

ΤΕΙ ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ  
ΚΑΙ ΥΦΑΛΜΥΡΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ  
ΣΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΚΑΠΟΤΗ ΑΡΙΑΔΝΗ 8872

ΧΑΤΖΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ 9036

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η μείωση των βροχοπτώσεων, οι ακραίες μετεωρολογικές μεταβολές και η κακή διαχείριση των υδάτινων πόρων είναι μερικοί παράγοντες που οδήγησαν πολλές χώρες στον κόσμο σε αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ύδρευσης και άρδευσης. Η κακή διαχείριση των υδάτινων πόρων, που θεωρείται από τα σημαντικότερα αίτια στο πρόβλημα της λειψυδρίας, οφείλεται στην υπερεκμετάλλευση του υπογείου και του επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα, στην έλλειψη σχεδίου διαχείρισης, αλλά και στην τάση για προσωρινές και μη αποτελεσματικές λύσεις. Σε πολλές περιπτώσεις, οι εναλλακτικές λύσεις που εφαρμόστηκαν, όπως π.χ. η κατασκευή λιμνοδεξαμενών, δεν θεωρήθηκαν ικανές ή οικονομικά βιώσιμες για να αποτελέσουν τη λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας.

Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της μεταφοράς νερού με δεξαμενόπλοια στα ελληνικά νησιά που αποτελεί εδώ και πολλά χρόνια τον πιο διαδεδομένο τρόπο παροχής νερού, γεγονός όμως που επιβαρύνει κατά πολύ το ταμείο του κράτους. Από αναφορές, στα ελληνικά νησιά το κόστος του νερού ανά κυβικό μέτρο κυμαίνεται από 2 έως 7 ευρώ, ενώ ποιοτικά δεν χαρακτηρίζεται ως πόσιμο. Επιπλέον, η διάθεση του δεν είναι πάντα εφικτή είτε λόγω της αυξημένης ζήτησης ή είτε λόγω αδυναμίας προσέγγισης των δεξαμενόπλοιων στα λιμάνια των μικρών νησιών. Παρόλα αυτά ακόμα και σήμερα θεωρείται από πολλούς ως η μοναδική λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας των ελληνικών νησιών.

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

αναπτυσσόμενη βιομηχανία, έχουν ξεκινήσει να επενδύουν δυναμικά σε μονάδες αφαλάτωσης για τη παραγωγή καθαρού νερού.

Για την παραγωγή πόσιμου αλλά και βιομηχανικού νερού, από θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αφαλάτωσης. Οι μέθοδοι αυτές χωρίζονται κυρίως σε δύο κατηγορίες: στις μεθόδους εξάτμισης και στις μεθόδους μεμβρανών. Πιο συγκεκριμένα, οι μέθοδοι της εξάτμισης είναι οι εξής: πολυβάθμια εξάτμιση ( multiple effect distillation – MED), πολυβάθμια εκτόνωση ( multi-stage flash distillation –MSF), εξάτμιση με επανασυμπύεση ατμών (vapor compression – VC [TC ή MVC]). Αντίστοιχα, οι μέθοδοι μεμβρανών είναι η αντίστροφη ώσμωση (reverse osmosis –RO) και η ηλεκτροδιάλυση (electrodialysis – ED ή electrodialysis reversal-EDR).

Μέθοδοι όπως η αντίστροφη ώσμωση και η πολυβάθμια εκτόνωση μέχρι σήμερα έχουν σημειώσει σημαντικό αριθμό εφαρμογών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης βασίζεται σε παράγοντες όπως η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας, η απαιτούμενη ποιότητα του παραγόμενου νερού, το μέγεθος της μονάδας, η διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας, η διαθεσιμότητα του περιβάλλοντος χώρου, ο προϋπολογισμός της επένδυσης και ο απαιτούμενος χρόνος παράδοσης της μονάδας.

Μερικοί από τους λόγους που η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης έχει επικρατήσει για την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού είναι η αξιοπιστία της σε όλο το εύρος μεγεθών (από μερικά λίτρα ως χιλιάδες κυβικά μέτρα την ημέρα), η σχετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η συμπαγής και “modular” κατασκευή της και ο σχετικά μικρός χρόνος κατασκευής της σε σχέση με άλλες μεθόδους.

Παρόλο που όλες οι μέθοδοι χαρακτηρίζονται ως ενεργοβόρες, με ενδεικτικές τιμές 15kwh/κ.μ. για τις μονάδες vc ή καταναλώσεις που μπορεί να ξεπερνούν τις 29kwh/κ.μ. για τις μονάδες msf, η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης με τη χρήση των συστημάτων ανάκτησης ενέργειας (energy recovery devices) έχει καταφέρει να μειώσει δραστικά την ενεργειακή της κατανάλωση περίπου στις 2,5kwh/κ.μ. σε μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.

Για μονάδες που δεν κάνουν χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας οι ενεργειακές καταναλώσεις είναι της τάξεως των 5-8 kWh/κ.μ.

Η συνεχής εξέλιξη των μεμβρανών, η βελτίωση απόδοσης των αντλιών, η χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας αλλά και η σωστή σχεδίαση και επιλογή υλικών, έχουν μειώσει δραστικά το κόστος του παραγόμενου νερού σε 0,75-1,5 ευρώ/κ.μ. για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού και σε λιγότερο από 0,5 ευρώ/κ.μ. για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Παρόλα αυτά το τελικό κόστος του παραγόμενου νερού κάθε μονάδας επηρεάζεται από τη λογική του 'economies of scale' και από τοπικούς παράγοντες όπως το κόστος του ανθρώπινου δυναμικού, το κόστος χημικών, το κόστος μεταφοράς νερού κλπ.

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

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

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

Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες εφαρμογές συνδυάζουν την τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια. Επίσης ένας σημαντικός αριθμός εφαρμογών αφορά στο συνδυασμό ηλιακών θερμικών συστημάτων με τεχνολογίες εξάτμισης και κυρίως με την τεχνολογία πολλαπλής εξάτμισης ατμών. Ελάχιστες εφαρμογές αφορούν στο συνδυασμό των υπόλοιπων τεχνολογιών, αιολική ενέργεια με μηχανική συμπίεση ατμών, φωτοβολταϊκά με ηλεκτροδιάλυση, ηλιακά θερμικά με εξάτμιση πολλαπλών σταδίων και γεωθερμία με τεχνολογία πολλαπλής εξάτμισης ατμών.

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

Από τις υπάρχουσες εφαρμογές το κόστος του παραγόμενου νερού από μονάδες Α/Ο με ΑΠΕ κυμαίνεται από 2,5-10 ευρώ/κ.μ. Σημειώνεται ότι το κόστος αυτό είναι ενδεικτικό εφόσον οι περισσότερες από τις εφαρμογές είναι πιλοτικές μονάδες και όχι μονάδες που λειτουργούν υπό πραγματικές συνθήκες. Το κόστος του παραγόμενου νερού ανά μονάδα κυβικού από τα συστήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, όπως

από τη διαθεσιμότητα του δυναμικού ΑΠΕ, την αγωγιμότητα του νερού τροφοδοσίας, το μέγεθος του συστήματος, το σχέδιο της μονάδας, κλπ.

Το 2001 στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος αναπτύχθηκε ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα αντίστροφης ώσμωσης για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Το σύστημα αποτελείται από μονάδα Α/Ο με δυνατότητα ωριαίας παραγωγής πόσιμου νερού 3,96kwp, ρυθμιστές φόρτισης, συσσωρευτές ενέργειας και δυο μετατροπείς ισχύος. Στο πλαίσιο του έργου αναπτύχθηκε επίσης λογισμικό πρόγραμμα για την παρακολούθηση και τη λειτουργία του συστήματος εξ αποστάσεως. Το σύστημα λειτουργεί από το 2001 με επιτυχία και με στόχο τη διάδοση και προώθηση τέτοιων συστημάτων σε απομακρυσμένες και απομονωμένες περιοχές. Η μονάδα έχει εγκατασταθεί στο Αιολικό Πάρκο του ΚΑΠΕ στην Κερατέα.

Στην Ελλάδα, δύο από τις πιο πρόσφατες εφαρμογές αφορούν στην ανάπτυξη και εγκατάσταση συστημάτων ώσμωσης με ΑΠΕ στο πλαίσιο του επιχειρησιακού προγράμματος ανταγωνιστικότητας. Συγκεκριμένα, το πρώτο έργο αφορά στη σχεδίαση και εγκατάσταση μονάδας Α/Ο θαλασσινού νερού, ημερήσιας παραγωγής 2x1000κ.μ. στη Μήλο. Μια ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 850kw συνδεδεμένη στο δίκτυο παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια στ μονάδα αφαλάτωσης. Από σχετική αναφορά, η ενεργειακή κατανάλωση της μονάδας Α/Ο κυμαίνεται στις 2,23-2,5kwh/κ.μ. λόγω της χρήσης συστήματος ανάκτησης ενέργειας και αντλιών υψηλής απόδοσης. Όπως επίσης αναφέρεται, το κόστος για τη προμήθεια του πόσιμου νερού από μονάδα από τη μονάδα αφαλάτωσης στον τελικό αποδέκτη ανέρχεται στα 1,8 ευρώ/κ.μ. συμπεριλαμβανομένου του κόστους υποδομής και της εγκατάστασης της μονάδας Α/Ο και της Α/Γ.

Το δεύτερο έργο αφορά στη σχεδίαση και κατασκευή μιας πιλοτικής πλωτής μονάδας Α/Ο με Α/Γ και Φ/Β. Η καινοτόμα αυτή μονάδα έχει εγκατασταθεί στη νήσο Ηρακλειά, με σκοπό τη δοκιμαστική λειτουργία της και την κάλυψη μέρους των αναγκών νερού του νησιού. Η μονάδα Α/Ο έχει ονομαστική δυναμικότητα παραγωγής νερού 3,3 κ.μ./ώρα. Το σύστημα είναι αυτόνομο και καλύπτει τις ενεργειακές του απαιτήσεις κυρίως από μια Α/Γ

ονομαστικής ισχύος 20kw. Το κόστος του παραγόμενου νερού αναμένεται να είναι υψηλό λόγω κόστους κατασκευής του συστήματος πλεύσης αλλά και του αναμενόμενου κόστους συντήρησης του.

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

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

# 1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## 1.1 ΝΕΡΟ (H<sub>2</sub>O)



**Εικόνα 1:** Νερό

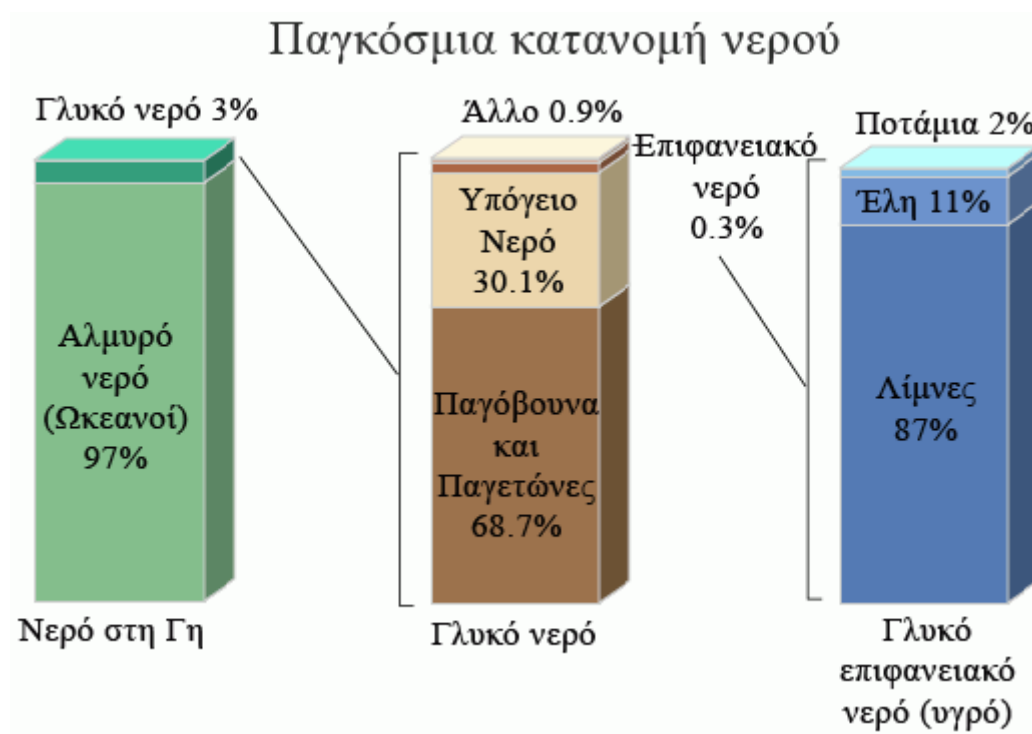
Νερό: το μόριο της ζωής. (H<sub>2</sub>O). το νερό είναι μια κοινή χημική ουσία που είναι απαραίτητη για την επιβίωση όλων των γνωστών μορφών ζωής. Εκτός από την τυπική υγρή μορφή υπάρχει επίσης η στερεή (πάγος) και η αέρια (υδρατμοί). Αξίζει να σημειωθεί ότι το νερό αποτελεί το 50-90% του βάρους όλων των ζωντανών οργανισμών. Είναι μία από τις πιο σημαντικές ενώσεις που υπάρχουν στην Γη, αφού συντηρεί τα φυτά και τα ζώα. Παίζει καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση του καιρού και συμβάλλει στον σχηματισμό της επιφάνειας του πλανήτη μέσα από διαδικασίες όπως είναι η διάβρωση.



Το 71% της επιφάνειας της Γης καλύπτεται από νερό. Το νερό αυτό είναι κατά 97% αλμυρό, θαλασσινό νερό. Το υπόλοιπο 3% είναι φρέσκο νερό, δυνητικά κατάλληλο για χρήση από τους ανθρώπους. Το μεγαλύτερο ποσοστό του φρέσκου νερού ( 68,7% περίπου) βρίσκεται με την μορφή παγετώνων



στους πόλους και στις κορυφές των οροσειρών. Ένα ποσοστό της τάξεως του 30,1% αποτελούν τα υπόγεια ύδατα, ενώ μόλις το 0,9% των παγκόσμιων αποθεμάτων φρέσκου νερού βρίσκεται σε λίμνες, ποτάμια, έλη κλπ.



**Εικόνα 2:** Παγκόσμια κατανομή υδάτινων πόρων.

Το νερό που επεξεργαζόμαστε για να πούμε και να φέρουμε εις πέρας τις καθημερινές μας δραστηριότητες είναι ελάχιστο με την συνολική ποσότητα νερού.

Το ανθρώπινο σώμα είναι από 55% έως 78% νερό ανάλογα με το μέγεθος του σώματος. Για να λειτουργήσει κανονικά το σώμα χρειάζεται από 1 έως 7litra νερού κάθε μέρα για την αποφυγή της αφυδάτωσης. Το ακριβές ποσό εξαρτάται από το επίπεδο της δραστηριότητας, τη θερμοκρασία, την υγρασία και άλλους παράγοντες.

Από τη βιολογική σκοπιά, το νερό έχει πολλές διακριτές ιδιότητες που το καθιστούν ιδιαίτερα σημαντικό για τη διατήρηση της ζωής και το ξεχωρίζουν από άλλες ουσίες. Το μόριο αυτό ουσιαστικά επιτρέπει στα οργανικά συστατικά να αντιδρούν με τέτοιο τρόπο ώστε τελικά να

επιτυγχάνεται η αντιγραφή. Όλες οι γνωστές μορφές ζωής εξαρτώνται από το νερό. Το νερό είναι ζωτικό τόσο σαν διαλυτικό στο οποίο πολλές ουσίες του οργανισμού διαλύονται, όσο και σαν απαραίτητο στοιχείο για πολλές μεταβολικές διεργασίες του σώματος.

Το νερό που απαιτεί ο σύγχρονος πολιτισμός είναι σημαντικά περισσότερο από αυτό που χρειάζεται για τη φυσική επιβίωση. Χρησιμοποιούνται πια τεράστιες ποσότητες νερού για την βιομηχανία, για γεωργικές δραστηριότητες και για αστικές ανάγκες όπως είναι τα αποχετευτικά συστήματα. Αξίζει να αναφερθεί ότι η χρήση του γλυκού νερού διπλασιάστηκε παγκοσμίως μεταξύ των ετών 1940 – 1980.

Το νερό είναι πολύ σημαντικό για τις διαδικασίες της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής και παίζει σπουδαίο ρόλο στην οξεοβασική ισορροπία και την ενζυμική λειτουργία.

Αν τελειώσουμε όλα τα αποθέματα νερού στον πλανήτη μας, αν ο συνδυασμός της κατάχρησης, της κλιματικής αλλαγής, και της μόλυνσης εξαφανίζει κάθε σταγόνα κατάλληλου νερού για πόση, τι κάνουμε;

Κάποιοι θα μπορούσαν να πουν ότι πρέπει να βρούμε νερό σε άλλον πλανήτη. Νερό υπάρχει σε άλλους πλανήτες, τουλάχιστον σε μερικούς. Στον Εγκέλαδο, έναν δορυφόρο του Κρόνου το 91% της ατμόσφαιρας είναι νερό! Στη δικιά μας σελήνη βρέθηκαν λίγα ποσά νερού σε υγρή μορφή το 2008. Σημαντικά στοιχεία υποστηρίζουν ότι στον Εγκέλαδο εκτός από την ατμόσφαιρα υπάρχει υγρό νερό κάτω από την επιφάνεια. Αυτά όμως είναι αστεία να τα σκεφτόμαστε τώρα, και πρέπει να πράττουμε ώστε να παραμένουν αστεία για πάντα.

Το νερό είναι σημαντικό. Χωρίς νερό, δεν υπάρχει ούτε ζωή. Μην το σπαταλάτε!

## 1.2 ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Ο κύκλος του νερού — γνωστός και ως υδρολογικός κύκλος — είναι η συνεχής ανακύκλωση του νερού της γης μέσα στην υδρόσφαιρα και στην ατμόσφαιρα. Το συνεχές της κυκλικής διαδικασίας του κύκλου του νερού επιτυγχάνεται εξαιτίας της λιακής ακτινοβολίας..



**Εικόνα 3:** Ο κύκλος του νερού.

Το νερό του πλανήτη αλλάζει συνεχώς φυσική κατάσταση, από τη στερεά μορφή των πάγων στην υγρή μορφή των ποταμών, λιμνών και της θάλασσας και την αέρια των υδρατμών.

Πιο συγκεκριμένα, λόγω της θέρμανσης και των ανέμων στην επιφάνεια της γης τα νερά της εξατμίζονται και μαζεύονται ως υδρατμοί δημιουργώντας τα σύννεφα. Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται, υγροποιούνται και στη συνέχεια πέφτουν ως βροχή ή άλλες μορφές νετού, εμπλουτίζοντας έτσι τις αποθήκες νερού της γης, είτε είναι αυτές επιφανειακές, όπως οι θάλασσες και οι λίμνες, είτε είναι υπόγειες.

### **1.3 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ**

Το νερό αποτελεί το 85% της επιφάνειας του πλανήτη και το 70% του «ζώντος βάρους » των έμβιων, συνιστώντας έτσι τη βάση και το σημαντικότερο υλικό της ζωής.

Δεν είναι υπερβολή να πούμε ότι η ζωή είναι μια χημεία του νερού που με τον κύκλο του τροφοδοτεί και ενδυναμώνει τη ζωή. Ξεδιψά τα διψασμένα κύτταρα και διατηρεί έτσι την θερμοδυναμική απόδοση της βιολογικής μηχανής. Την ίδια στιγμή διαπερνά το έδαφος, γεμίζοντας τους υπόγειους υδροφορείς ή το συμπαρασύρει με το πέρασμα του διαμορφώνοντας την μορφολογία του στα ορεινά και στην αέναη μετακίνηση της στεριάς μέσα στην θάλασσα.

Γι' αυτό είναι ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος, ένας τροφοδότης της ζωής και ταυτόχρονα ένας αποδέκτης των διαφόρων ουσιών που είναι άχρηστες πια.

Ο ανθρώπινος πολιτισμός κατάφερε να μετατρέψει τον ανανεώσιμο φυσικό πόρο σε αγαθό σε στενότητα και ανεπάρκεια.

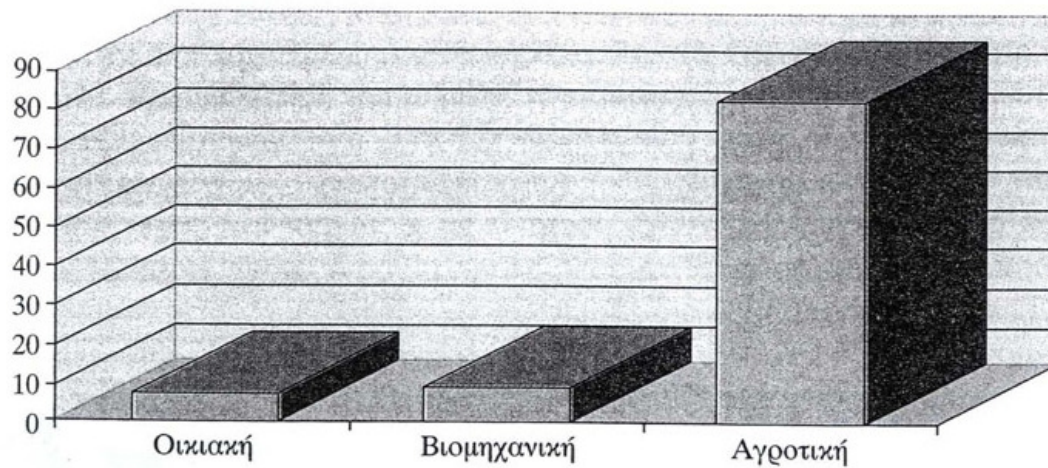
Το γλυκό νερό λιγοστεύει ολοένα και περισσότερο ενώ η κατάχρηση του όχι μόνο εξαντλεί τα αποθέματα του αλλά και υπονομεύει τη ζωή που ευδοκιμεί στους ταμιευτήρες του. Έτσι υπονομεύουμε τα θεμέλια της ύπαρξης μας.

Η μείωση των βροχοπτώσεων, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η παγκόσμια αναθέρμανση από καύσεις και αποδασώσεις προκαλούν διαρκώς την μετατόπιση των ζωνών βροχοπτώσεων στους πόλους. Περιοχές των τροπικών και της εύκρατης ζώνης να γνωρίζουν μία χωρίς προηγούμενη περίοδο ξηρασίας και ερημοποίηση. Από την έναρξη της σύγχρονης εποχής με την κατακόρυφη έξαρση των καύσεων του βιομηχανικού πολιτισμού επικρατεί το φαινόμενο της μείωσης των βροχοπτώσεων.

Το φαινόμενο της μείωσης των βροχοπτώσεων έχει σαν αποτέλεσμα την δραματική πτώση της παροχής των ποταμών κατά τους θερινούς μήνες και η

εντατικοποίηση της διάβρωσης του εδάφους στα ορεινά, που υπολογίζεται κάθε χρόνο ίση με ένα νησί σαν την Πάτμο (20 εκατ. τόνοι).

Σήμερα από τα 3500 δισεκ. m<sup>3</sup> νερού που καταναλώνονται παγκοσμίως το 85% απορροφάτε από τη γεωργία, το 10% από τη βιομηχανία και το 5% από τα νοικοκυριά.



Σχήμα 1: ποσοστιαία κατανάλωση νερού.

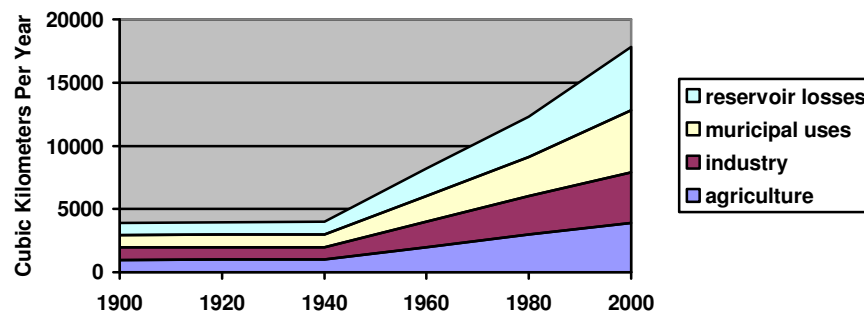
Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού			
Μορφή Νερού	Όγκος νερού σε κυβικά χιλιόμετρα	Ποσοστό γλυκού νερού	Ποσοστό συνολικού νερού
Ωκεανοί, Θάλασσες & Κόλποι	1.338.000.000	--	96,5
Παγόβουνα, Παγετώνες & Μόνιμο χιόνι	24.064.000	68,7	1,74
Υπόγειο Νερό	23.400.000	--	1,7
Γλυκό	10.530.000	30,1	0,76
Αλμυρό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

Πηγή: Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.

Εκτίμηση των μέσων ετήσιων φυσικών διακινήσεων του νερού της Γης (συνιστώσων του υδρολογικού κύκλου)

Επιφάνεια αναφοράς	Έκταση σε δισεκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα	Διακίνηση	Μέσος ετήσιος όγκος σε κυβικά χιλιόμετρα	Ποσοστό επί των κατακρημνισμάτων, %
Σύνολο επιφάνειες Γης	510,0	Κατακρημνίσματα = Εξατμοδιαπνοή	577.000	100,0
Ωκεανοί	361,1	Κατακρημνίσματα	458.000	100,0
		Εξάτμιση	505.000	110,3
Ξηρά	148,9	Κατακρημνίσματα	119.000	100,0
		Εξατμοδιαπνοή	72.000	60,5
		Συνολική απορροή	47.000	39,5
		Επιφανειακή συνιστώσα απορροής	44.700	37,6
		Υπόγεια συνιστώσα απορροής	2.300	1,9

Πηγή: Δ. Κουτσογιάννης και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999. Η επιφανειακή και η υπόγεια συνιστώσα απορροής αναφέρονται στην έξοδο προς τη θάλασσα.



**Εικόνα 4:** Η γεωργία καταναλώνει την μερίδα του λέοντος σε φρέσκο νερό.

Στα τέλη της 10ετίας του '80 το σύνολο των ετησίων βροχοπτώσεων και στις 5 ηπείρους εκτιμάται σε 113000 δισεκ. m<sup>3</sup> δίνοντας για τις χερσαίες εκτάσεις του πλανήτη ένα μέσο ετήσιο ύψος βροχοπτώσεων περίπου στα 0,80 m. Από αυτά τα 2/3 περίπου εξατμίζονται αφήνοντας τα υπόλοιπα να οδεύουν προς την θάλασσα με την μορφή των ποταμών, χειμάρρων, πλημμυρών και κατακλυσμών από τα οποία απομένει μόνο 1/4 για εκμετάλλευση.

#### **1.4 ΛΕΙΨΥΔΡΙΑ ΚΑΙ ΞΗΡΑΣΙΑ**

Ένας από τους σημαντικότερους περιβαλλοντικούς παράγοντες, γεωπολιτικής και κοινωνικό- οικονομικής πίεσης και αστάθειας σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι η ανεπάρκεια των υδάτινων αποθεμάτων (λειψυδρία) και η γεωγραφική κατανομή τους.

Από το 1950 η παγκόσμια κατανάλωση νερού έχει υπέρ-τριπλασιαστεί και η απάντηση σε αυτή την αυξανόμενη ζήτηση συνήθως υπήρξε η κατασκευή περισσότερων και μεγαλύτερων έργων διαχείρισης νερού. Η αύξηση του πληθυσμού και η αστικοποίηση έχουν δημιουργήσει τεράστια προβλήματα, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η υπέρ-άντληση των υπόγειων υδάτων, και η εξάντληση του υδροφόρου, σε πολλές περιοχές του



κόσμου, κυρίως στην Μέση Ανατολή, είναι πιθανόν να οδηγήσουν σε μη αντιστρεπτά αποτελέσματα, διαταράσσοντας την παγκόσμια ειρήνη.

Καθώς ανεβαίνουν οι θερμοκρασίες, τα αποθέματα νερού της νότιας Ευρώπης θα μειώνονται. Ταυτόχρονα, η γεωργία και ο τουρισμός θα απαιτούν περισσότερο νερό και ειδικότερα στις θερμότερες και ξηρότερες περιφέρειες.

Η αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων και η μικρότερη ροή των ποταμών στον νότο θα επηρεάσουν επίσης την ποιότητα του νερού. Τα αυξημένα ακραία φαινόμενα βροχόπτωσης και οι αστραπιαίες πλημμύρες αυξάνουν τον κίνδυνο μόλυνσης από την υπερχείλιση της απορροής των ομβρίων υδάτων και τις έκτακτες εκκενώσεις από τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων.

Την άνοιξη του 2008, η στάθμη του νερού στις δεξαμενές που υδροδοτούν την Βαρκελώνη ήταν τόσο χαμηλή ώστε καταστρώθηκαν σχέδια για την προμήθεια νερού μέσω μεταφοράς με πλοίο. Με ένα εκτιμώμενο κόστος των 22 εκατομμυρίων Ευρώ, ευρέθησαν έξι φορτία πλοίων, που το κάθε ένα είχε αρκετό γλυκό νερό για να γεμίσει δέκα πισίνες ολυμπιακών διαστάσεων. Το γλυκό νερό επρόκειτο να έρθει από την Ταραγόνα στην νότια Καταλονία, την Μασσαλία και την Αλμέρια, μία από τις ξηρότερες περιοχές της νότιας Ισπανίας. Κατά σύμπτωση, ο Μάιος ήταν βροχερός, οι δεξαμενές πληρώθηκαν επαρκώς και τα σχέδια «μπήκαν στο ράφι». Ωστόσο, οι συζητήσεις για την εκτροπή υδάτων από ποταμούς όπως ο Ebro και ακόμη και ο Rhône στην Γαλλία συνεχίζονται.

Η Κύπρος βιώνει μία μεγάλη ξηρασία. Η ζήτηση νερού έχει αυξηθεί τα τελευταία 17 χρόνια και ανέρχεται σε περισσότερα από 100 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ( $m^3$ ) γλυκού νερού κατ' έτος ενώ κατά την διάρκεια των τελευταίων τριών ετών ήταν διαθέσιμα μόνο 24, 39 και 19 εκατομμύρια  $m^3$  αντίστοιχα.

Για να αμβλυνθεί η κρίση νερού το περασμένο καλοκαίρι στάλθηκαν φορτία νερού με πλοία από την Ελλάδα. Μέχρι τον Σεπτέμβρη του 2008, 29 πλοία είχαν φτάσει από την Ελλάδα. Η λειψυδρία στην Ελλάδα επιβράδυνε τις

αποστολές. Η κυπριακή κυβέρνηση αναγκάστηκε να εφαρμόσει έκτακτα μέτρα στα οποία περιλαμβανόταν η μείωση της υδροδότησης κατά 30%.

Από την έκθεση της Διεύθυνσης Υδάτων της περιφέρειας Κρήτης στην Ελλάδα προέκυψε μία ιδιαίτερα ζοφερή εικόνα για τα αποθέματα υπόγειων υδάτων του νησιού. Οι υδροφόροι – οι υπόγειοι υδροταμιευτήρες - υποχώρησαν κατά 15 μέτρα από το 2005 λόγω της υπεράντλησης υδάτων. Τα θαλάσσια ύδατα άρχισαν να διεισδύουν, ρυπαίνοντας τα εναπομείναντα αποθέματα.

Το πρόβλημα της λειψυδρίας συνδέεται άμεσα με το φαινόμενο της ξηρασίας. Η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο που χαρακτηρίζεται από την παρατεινόμενη απουσία ή τη σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων σε μια περιοχή για μικρό ή μεγάλο χρονικό διάστημα. Η ξηρασία επηρεάζει άμεσα τα αποθέματα νερού και έχει επιπτώσεις στις αγροτικές και υδρολογικές δραστηριότητες. Αποτελεί μια συνιστώσα της κλιματικής μεταβλητότητας και μπορεί να παρατηρηθεί σε όλα τα σημεία του πλανήτη. Εμφανίζει όμως μεγαλύτερη συχνότητα στις άνυδρες περιοχές με σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις λόγω της επίδρασης στην υποβάθμιση του εδάφους, στις καλλιεργούμενες εκτάσεις και στις εθνικές οικονομίες των χωρών που πλήττει.

## **1.5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ**

Το πρόβλημα των περιορισμένων υδάτινων πόρων απαιτεί, εκτός από την συνεργασία των κρατών σε πολιτικό επίπεδο, και την συνεργασία σε επίπεδο επιστημονικών γνώσεων και τεχνολογικής ανάπτυξης. Οι νέες προηγμένες τεχνολογίες εξοικονόμησης αλλά και παραγωγής νερού, σε συνδυασμό με την ορθολογική και βιώσιμη διαχείριση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων, παρέχουν ελπίδες για τον περιορισμό του προβλήματος τα επόμενα χρόνια. Με τεχνικές που είναι διαθέσιμες σήμερα, οι αγρότες θα

μπορούσαν να περιορίσουν τις απαιτήσεις τους σε νερό κατά 10-50%, οι βιομηχανίες κατά 40-90% και οι πόλεις κατά το ένα τρίτο, χωρίς υποβάθμιση της οικονομικής απόδοσης ή της ποιότητας της ζωής.

Εκτός από την κατασκευή φραγμάτων και τον εκσυγχρονισμό των αρδευτικών συστημάτων, το πρόβλημα του νερού μπορεί να αντιμετωπιστεί με διάφορες μεθόδους, όπως:

- Αφαλάτωση του θαλασσινού και του υφάλμυρου νερού
- Τεχνητή βροχή
- Ανακύκλωση του χρησιμοποιημένου νερού (των υδάτων της βιομηχανίας)
- Υδατο-δεξαμενές
- Περισσότερο αποτελεσματική κατανομή του διαθέσιμου νερού
- Χρήση της βιοτεχνολογίας
- Ανακύκλωση των νερών των υπονόμων για αρδευτικές χρήσεις
- Συλλογή των υδάτων των πλημμυρών και
- Εκμετάλλευση των εποχιακά ρεόντων υδάτων.

Μία λύση που προτιμάται είναι η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Αποτελεί μια βιώσιμη τεχνολογία για την παραγωγή γλυκού νερού. Η λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια.

## **1.6 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΝΕΡΟΥ**

Το νερό είναι ίσως το πολυτιμότερο αγαθό που μας παρέχει η φύση. Αποτελεί αναμφισβήτητα σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη, την υγιεινή διαβίωση, την ίδια την ζωή. Όμως, αυτή η πηγή ζωής αποτελεί πλέον είδος εν ανεπάρκεια. Επιπλέον, οι λιγιστές ποσότητες νερού που απομένουν δε χαρακτηρίζονται πάντα από την καλύτερη ποιότητα.

Οι ωκεανοί είναι οι μεγαλύτερες υδαταποθήκες. Τα αποθέματα νερού που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους είναι μεν σημαντικά σε

ποσότητα, αλλά ένα μέρος τους δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί γιατί περιέχει μεγάλες ποσότητες διαλυμένων ουσιών.

Το νερό των λιμνών και των ποταμών είναι ένα μικρό ποσοστό του συνόλου, παρόλα αυτά είναι εξαιρετικά σημαντικό για τον άνθρωπο γιατί είναι γλυκό νερό, έτοιμο για χρήση.

Αν το νερό ήταν άφθονο, τότε δεν θα χρειαζόταν καμία σοβαρή διαχείριση πέρα από τα αρδευτικά έργα. Τώρα, όμως που το νερό βρίσκεται σε προϋούσα σπανιότητα, υπάρχει επείγουσα ανάγκη δημιουργίας ενός αυστηρού και αποτελεσματικού σχεδίου διαχείρισης που να κατευθύνεται βασικά στην αντιμετώπιση των ελλείψεων με έμφαση την περιστολή της κατανάλωσης και παράλληλα, όπου είναι δυνατόν, στην αύξηση της προσφοράς.

Πέρα από την ποσότητα του νερού, που είναι ιδιαίτερα σημαντική δεδομένων των αυξημένων αναγκών μας, είναι επιτακτική η ανάγκη για την διατήρηση της υψηλής ποιότητας του νερού. Η ρύπανση των τρεχούμενων νερών, των λιμνών και των υπόγειων νερών είναι ευρεία τόσο στις ανεπτυγμένες από την εντατικοποίηση ποικίλων δραστηριοτήτων, όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου άλλα πιο πειστικά οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα έχουν συχνά προτεραιότητα.

Τα παραπάνω καθιστούν σαφή την ανάγκη για ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων. Για να προστατευτούν τα αποθέματα του νερού, ικανοποιώντας ταυτόχρονα τις ανάγκες μας, είναι απαραίτητη η κατανόηση των διεργασιών με τις οποίες ανανεώνονται τα αποθέματα αυτά.

Η Ελλάδα, όπως εξάλλου και ολόκληρος ο πλανήτης, βρίσκεται τα τελευταία χρόνια αντιμέτωπη με ένα μείζον οικολογικό πρόβλημα, αυτό της απειλούμενης λειψυδρίας. Το πρόβλημα αυτό οφείλεται σε μία σειρά από αίτια όπως η έλλειψη σχεδιασμού, η καταστροφή των δασών, η περιφρόνηση των φυσικών νόμων που διέπουν τον υδρολογικό κύκλο, η μείωση των βροχοπτώσεων λόγω κλιματικών αλλαγών, κ.ά.

Αν και η ορθή διαχείριση του νερού απαιτεί παρεμβάσεις σε πολλά επίπεδα, με πρώτη την εξοικονόμηση νερού στην υδροφόρο γεωργία, ο καθένας μας μπορεί να συμβάλλει με τον τρόπο του στο να περιορισθεί η

σπατάλη που γίνεται σήμερα. Έτσι, ενώ ο καθένας καταναλώνει κατά μέσο όρο 150 – 200 λίτρα νερού ημερησίως για την ικανοποίηση των βασικών αναγκών του, εύκολα θα μπορούσαμε να καταναλώνουμε λιγότερο από 80 λίτρα την ημέρα. Αυτό μπορεί να γίνει με δύο βασικούς τρόπους: την αλλαγή κάποιων συνηθειών μας και τη χρήση απλών τεχνολογιών εξοικονόμησης.

Ας δούμε στη συνέχεια μερικούς απλούς τρόπους εξοικονόμησης νερού:

- Μην αμελείται τις διαρροές στα υδραυλικά σας. Μια βρύση που στάζει μπορεί να σας κοστίσει μέχρι και 200 λίτρα επιπλέον κατανάλωση κάθε μήνα.
- Μην κρατάτε συνέχεια ανοικτή τη βρύση όταν πλένεστε, ξυρίζεστε ή βουρτσίζετε τα δόντια σας.
- Προτιμήστε το ντους από το μπάνιο στη μπανιέρα.
- Βρύσες με περιορισμό ροής. Η ροή για τις βρύσες κουζίνας πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερη από τις βρύσες μπάνιου, 6-8 λίτρα/μιν αντίστοιχα. Υπάρχουν συστήματα που αναμειγνύουν αέρα μέσα στο νερό και δίνουν την εντύπωση πιο δυνατής ροής μέσα από τη βρύση ή την κεφαλή του ντους. Σε συνδυασμό με τα συστήματα περιορισμού της ροής, μπορούν να εξοικονομήσουν νερό χωρίς απώλεια άνεσης για τον χρήστη.
- Διακόπτες της παροχής νερού με φωτοκύτταρα. Εξασφαλίζουν μέγιστη εξοικονόμηση νερού, αφού η βρύση κλείνει αυτόματα όταν το νερό δε χρησιμοποιείται. Τα συστήματα αυτά έχουν μεγάλο κόστος και η χρήση τους δεν συνιστάται σε κατοικίες. Είναι όμως χρήσιμα και τα συναντάμε σε κοινόχρηστους χώρους όπου συνήθως γίνεται μεγάλη σπατάλη νερού π.χ. κέντρα διασκέδασης, εστιατόρια.
- Καζανάκια ελεγχόμενης ή διπλής ροής. Από τα καζανάκια, προτιμότερα είναι εκείνα στα οποία η ροή εξαρτάται από τον χρόνο πίεσεως του κουμπιού. Μια άλλη λύση είναι τα καζανάκια με επιλογή μικρής ή μεγάλης ροής ( συνήθως 3-6 λίτρα αντίστοιχα). Τα καζανάκια σταθερής ροής 6-9 λίτρα δεν συνιστώνται.

- Χρήση οικιακών συσκευών όπως πλυντήρια ρούχων και πιάτων με πιστοποίηση για την κατανάλωση νερού και ενέργειας. Οι συσκευές αυτές καταναλώνουν ένα τρίτο λιγότερο νερό από τις άλλες.

Εξοικονόμηση νερού σε μεγάλο βαθμό μπορεί να επιτευχθεί κατά το σχεδιασμό των κήπων και του περιβάλλοντος χώρου. Οι εξωτερικοί χώροι πρέπει να σχεδιάζονται και να διαμορφώνονται έτσι ώστε:

- Να χρειάζονται λιγότερο νερό.
- Να αποφεύγονται είδη με μεγάλες απαιτήσεις σε νερό, όπως το γκαζόν και όπου αυτό είναι αναπόφευκτο να χρησιμοποιούνται διαπερατά υλικά, όπως το χαλίκι, σπασμένες πέτρες και πλάκες με οπές, όπου το νερό της βροχής συγκρατείται στο έδαφος και συνεισφέρει στον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα.
- Να χρησιμοποιούνται φυτά με χαμηλής ανάγκης σε νερό και μεγάλη αντοχή στον ήλιο, δηλαδή προσαρμοσμένα στο ελληνικό τοπίο και τις τοπικές μικροκλιματικές συνθήκες.
- Να επιλέγεται ένα αποδοτικό σύστημα ποτίσματος, ανάλογα με το μέγεθος του χώρου ( για μεγαλύτερους, κοινόχρηστους κήπους συνιστάται το πότισμα στάγδην ή ένα υπόγειο σύστημα ).
- Οι υπόλοιποι χώροι ( γκαράζ, διάδρομοι ) να απορροφούν το νερό της βροχής ώστε να εμπλουτίζεται ο υδροφόρος ορίζοντας.

## **1.7 ΤΡΟΠΟΙ ΕΥΡΕΣΗΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ**

Κάποιοι θα μπορούσαν να πουν ότι πρέπει να βρούμε νερό σε άλλον πλανήτη. Νερό υπάρχει σε άλλους πλανήτες, τουλάχιστον σε μερικούς. Στον εγκέλαδο, έναν δορυφόρο του Κρόνου το 91% της ατμόσφαιρας είναι νερό. Στην δικιά μας σελήνη βρέθηκαν λίγα ποσά νερού σε υγρή μορφή το 2008. Σημαντικά στοιχεία υποστηρίζουν ότι στον εγκέλαδο εκτός από την ατμόσφαιρα υπάρχει υγρό νερό κάτω από την επιφάνεια. Αυτά όμως είναι

αστεία για να τα σκεφτόμαστε τώρα. Πρέπει να πράξουμε έτσι ώστε να παραμείνουν αστεία. Πρέπει να σκεφτούμε πιο προσιτούς τρόπους εύρεσης πόσιμου νερού. Να κινηθούμε σε άλλες πηγές νερού.

Άλλες πηγές γλυκού νερού είναι: η τεχνητή βροχή και η αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού. Μέθοδοι που χρησιμοποιούνται ευρέως τα τελευταία χρόνια και στην χώρα μας.

Η μέθοδος της τεχνητής βροχής συνιστάται στην υπέρλεπτη διασπορά υγροσκοπικών αλάτων με τη μορφή « σύννεφου» εντός των νεφών, όταν αυτά βρίσκονται πάνω από τους ταμιευτήρες. Τα άλατα αυτά προκαλούν συμπύκνωση των υδρατμών και κατακρήμνισή τους με τη μορφή βροχής.

Η μέθοδος επεμβαίνει στο φαινόμενο της μη συμπύκνωσης των νερών προς βροχή λόγω συνθηκών υψηλών θερμοκρασιών στην περιοχή.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου αποδείχτηκαν πενιχρά τόσο σε ποσότητα όσο και σε σχέση κόστους/οφέλους, γι' αυτό και εγκαταλείφθηκε.

Η αφαλάτωση τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να διαδίδεται συστηματικά.

Το κόστος λειτουργίας της το οποίο στη 10ετία του '80 ανέρχονταν σε περισσότερα από 5 δολάρια/m<sup>3</sup> έχει μειωθεί σήμερα σε τιμές κάτω του 1 δολαρίου.

## **1.8 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΕΡΟΥ**

Η διαδικασία παραγωγής πόσιμου νερού ή νερού για βιομηχανική και γεωργική χρήση από θαλασσινό και υφάλμυρο νερό, υπόγειο ή επιφανειακό νερό προϋποθέτει την πλήρη γνώση των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων του. Σε πολλές περιπτώσεις βέβαια η ακριβής γνώση των φυσικών ιδιοτήτων δεν είναι τόσο σημαντική. Σε άλλες όμως και μικρή απόκλιση από το σημείο βρασμού του νερού σε ορισμένη πίεση μπορεί να μας οδηγήσει σε λανθασμένο σχεδιασμό του αποστακτήρα.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι τεχνικές κατεργασίας και αφαλάτωσης νερού χρησιμοποιούνται και για υφάλμυρο νερό (brackish water) η σύσταση του οποίου μπορεί να ποικίλει έτσι ώστε είναι πάρα πολύ δύσκολο να δοθούν φυσικές χαρακτηριστικές για το υφάλμυρο νερό. Ένας τρόπος κατάταξης του είδους του νερού μπορεί να γίνει με την ποσότητα της πάσης φύσεως διαλυμένων στερεών ουσιών. Ο τρόπος έκφρασης των διαλυμένων στερεών ουσιών γίνεται ως συνολικά διαλυτά στερεά (total dissolved solids, TDS) και μετράται ως μέρη στο εκατομμύριο (part per million, ppm). Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι ο προσδιορισμός όλων των χαρακτηριστικών του νερού, θαλασσινού, υφάλμυρου ή πόσιμου, θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με ορισμένες μεθόδους που ακολουθούν διεθνώς αποδεκτά πρότυπα, όπως MIL, FED, ASTM specifications.

Σύμφωνα λοιπόν με την περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά, TDS, το νερό μπορεί να διαχωριστεί σε διάφορες κατηγορίες:

1. πόσιμο νερό (tap-water) με  $TDS < 500$  ppm
2. ελαφρά υφάλμυρο νερό, μπορεί να είναι και πόσιμο σύμφωνα με τις σχετικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
3. υφάλμυρο νερό, μη πόσιμο και συνήθως ακατάλληλο για καλλιέργειες  $2000 \text{ ppm} < TDS < 10000 \text{ ppm}$
4. θαλασσινό νερό (sea water)  $30000 \text{ ppm} < TDS < 42000 \text{ ppm}$ .

Πάντως η περιεκτικότητα σε διαλυμένα στερεά δεν είναι σταθερά για κάθε κατηγορία νερού. Η σύσταση του θαλασσινού νερού μπορεί να επηρεάζεται από την εκβολή ποταμών. Ακόμη και μια συγκεκριμένη πηγή υφάλμυρου ή πόσιμου νερού δεν έχει σταθερή περιεκτικότητα. Παράγοντες όπως ταχύτητα άντλησης, ύψος βροχοπτώσεως, υπόγεια διάθεση λυμάτων μπορούν και επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά, αλλά και το μικροβιακό της φορτίο.

#### *1.8.1. Χημική σύσταση θαλασσινού, υφάλμυρου και πόσιμου νερού.*

Το θαλασσινό νερό περιέχει συνήθως όλα σχεδόν όλα τα γνωστά στοιχεία υπό μορφή ιόντων. Η πλειοψηφία όμως των ιόντων αυτών είναι τόσο



μικρές ποσότητες ώστε μπορούν να αγνοηθούν. Μία τυπική σύσταση του θαλασσινού νερού, από τη διεθνή βιβλιογραφία, δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Είδος ιόντος	Περιεκτικότητα,ppm
Νάτριο,Na <sup>+</sup>	10561
Μαγνήσιο,Mg <sup>+</sup>	1272
Ασβέστιο,Ca <sup>++</sup>	400
Κάλιο, K <sup>+</sup>	380
Χλώριο, Cl <sup>-</sup>	18980
Θειικά, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	2649
Όξινα ανθρακικά, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	142
Βρώμιο, Br	65
Άλλα στερεά	34
TDS	34483

Η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού εκφράζεται πολλές φορές και ως αλατότητα (salinity). Με τον όρο αυτό περιγράφουμε την περιεκτικότητα σε ολικά στερεά όταν όλα τα ανθρακικά άλατα έχουν μετατραπεί σε οξείδια, όλα τα βρωμιούχα και ιωδιούχα έχουν αντικατασταθεί από χλωριούχα και όλες οι οργανικές ουσίες έχουν πλήρως οξειδωθεί. Η αλατότητα ποικίλει με το βάθος και την τοποθεσία που βρισκόμαστε.

Τα επιφανειακά νερά περιέχουν μικρές συγκριτικά ποσότητες αλάτων έτσι ώστε με σχετικά απλή κατεργασία μπορούν να γίνουν πόσιμα. Τέλος στις άνυδρες περιοχές υπάρχουν μεγάλες ποσότητες υπογείων νερών που μπορούν να παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα. Σε εκείνες τις περιπτώσεις που η ποιότητα των υπογείων υδάτων, κατόπιν χημικής και μικροβιολογικής ανάλυσης, κρίνεται ικανοποιητική αντλούνται και χρησιμοποιούνται για ύδρευση. Γενικά η περιεκτικότητα σε άλατα των υπογείων υδάτων αυξάνει με το βάθος, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις στον γενικό αυτό κανόνα. Έτσι πριν την εγκατάσταση μονάδος αφαλάτωσης για υφάλμυρο νερό θα πρέπει να γίνει

γεωλογική μελέτη ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα και η ποσότητα του υφάλμυρου νερού.

Το επιφανειακό νερό παρουσιάζει μικρή γενικά περιεκτικότητα σε άλατα κυρίως του ασβεστίου και μαγνησίου. Τα δύο άλατα αποτελούν την λεγόμενη σκληρότητα (hardness) του νερού, η οποία σε ένα βαθμό είναι απαραίτητη. Υψηλή όμως σκληρότητα προκαλεί σοβαρά προβλήματα στην διαδικασία αφαλάτωσης.

## **1.9 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Η έλλειψη νερού αποτελεί ένα από τα κυριότερα περιβαλλοντικά προβλήματα σε όλη την περιοχή της Μεσογείου, καθώς συνδέεται με το ξηρό κλίμα της περιοχής και τις αυξημένες ανάγκες από τον τουρισμό και την γεωργία. Ο τουρισμός, η αστική ανάπτυξη, η σύγχρονη γεωργία, η βελτίωση της ποιότητας ζωής και η βιομηχανοποίηση οδηγούν στην εκτεταμένη χρήση των υδάτινων πόρων. Το πρόβλημα μάλιστα αναμένεται να επιδεινωθεί τα επόμενα χρόνια, λόγω αλλαγών στα κοινωνικοοικονομικών μεταβολών, αλλά και λόγω της πιθανότητας μείωσης των βροχοπτώσεων, εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών.

Η περιορισμένη ύπαρξη υδάτινων αποθεμάτων σε όλες τις παράκτιες μεσογειακές χώρες έχει οδηγήσει σε μια εξάντληση των υπόγειων αποθεμάτων, λόγω της υπέρ-άντλησης. Έτσι, παρατηρείται σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων.

Όσον αφορά την Ελλάδα, διαθέτει αξιόλογο υδατικό δυναμικό. Ωστόσο, το ανάγλυφο του εδάφους και η γεωλογική του σύνθεση, και οι κλιματολογικές συνθήκες μειώνουν σημαντικά την διαθέσιμη πρακτικά ποσότητα νερού και παρεμποδίζουν την αξιοποίησή της. Επίσης, σοβαρό πρόβλημα δημιουργείται από την άνιση γεωγραφική κατανομή των βροχοπτώσεων, καθώς το μεγαλύτερο μέρος αυτών σημειώνονται στη Δυτική Ελλάδα.

Τα ποσοτικά προβλήματα νερού στην χώρα μας εστιάζονται στην εξάντληση των υπόγειων υδάτινων αποθεμάτων, κυρίως λόγω των ανεξέλεγκτων γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία χρόνια στις αστικές περιοχές, με την επέκταση των πόλεων.

Το πρόβλημα της διαχείρισης των υδάτινων πόρων δεν είναι μόνο ποσοτικό (λειψυδρία) αλλά και ποιοτικό, ενώ συνδέεται με την διάβρωση, η οποία μειώνει την ικανότητα αποθήκευσης νερού στο έδαφος.

Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η Ελλάδα είναι το πρόβλημα της ρύπανσης και φυσικά της εισερχόμενης ρύπανσης, καθώς το 25% των επιφανειακών υδάτων προέρχεται από γειτονικές χώρες, μέσω των ποταμών Έβρου, Νέστου, Στρυμόνα και Αξιού.

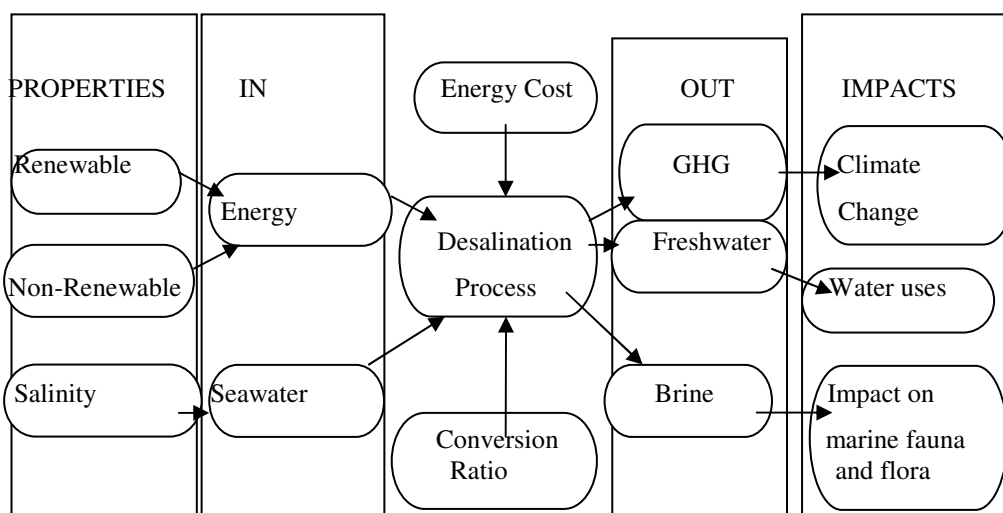
Τίθεται λοιπόν επιτακτικά το θέμα της προστασίας των υδάτινων πόρων και της ορθολογικής διαχείρισής του. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να υπάρξει σημαντική μείωση των απωλειών νερού σε ευαίσθητες και υποβαθμισμένες περιοχές. Ο έλεγχος των αρδεύσεων και ο εμπλουτισμός του υδροφόρου ορίζοντα με καλής ποιότητας νερό θα ανακόψουν την πορεία υποβάθμισης των υδάτινων πόρων.

## 2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>:

### 2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ;

Αφαλάτωση: “Μάννα” εκ θαλάσσης. Είναι η διαδικασία απομάκρυνσης του πλεονάζοντος αλατιού και άλλων μετάλλων από το νερό, με σκοπό την παραγωγή φρέσκου νερού κατάλληλο για κατανάλωση από ζώα και άρδευση. Επιπλέον στην περίπτωση που απομακρυνθεί το σύνολο του αλατιού, το παραγόμενο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για κατανάλωση από τους ανθρώπους. Το νερό το οποί υφίσταται αφαλάτωση μπορεί να είναι θαλάσσιο, υφάλμυρο ή ακόμα και επεξεργασμένα λύματα. Σε ορισμένες περιπτώσεις από την διαδικασία μπορεί να παράγουμε και επιτραπέζιο αλάτι.

Εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές με ξηρό κλίμα, φτωχές σε πόσιμο νερό και με πρόσβαση όμως σε θαλασσινό νερό.



**Εικόνα 5:** Σχηματικό διάγραμμα των εισόδων και των παραμέτρων ενός συστήματος αφαλάτωσης. Είσοδος αποτελούν η ενέργεια (ανανεώσιμη ή μη)

και το αλμυρό νερό και έξοδος το φρέσκο νερό, η άλμη (brine) και τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG).

Ένα καλό παράδειγμα για να καταλάβουμε τον ορισμό της αφαλάτωσης είναι το παράδειγμα με το πείραμα όπου έγινε από παιδιά του νηπιαγωγείου.

Με την ευκαιρία μιας βροχερής ημέρας τα νήπια με τους νηπιαγωγούς τους έθεσαν σε εφαρμογή ένα πείραμα για την αφαλάτωση.

Ξεκίνησαν από το ερώτημα αν γίνεται να αφαιρεθεί το αλάτι από την θάλασσα και τα περισσότερα νήπια απάντησαν πως αυτό είναι αδύνατον γιατί το αλάτι που υπάρχει μέσα σ' αυτή είναι πάρα πολύ, μόνο τρία νήπια απάντησαν πως αυτό μπορεί να γίνει.

Πήραν λοιπόν νερό από την βρύση και το έβαλαν μέσα σε μία κατσαρόλα δοκιμάζοντας πρώτα όλα τα νήπια και διαπίστωσαν ότι το νερό ήταν γλυκό. Στην συνέχεια δύο – δύο παιδιά πρόσθεταν αλάτι μέσα στο νερό και αφού έλιωσε δοκίμασαν κάποια από τα παιδιά και διαπίστωσαν ότι το νερό ήταν αλμυρό. Έπειτα έβαλαν την κατσαρόλα στο μάτι της κουζίνας για να ζεσταθεί. Μόλις άρχισε να βγάζει ατμούς τοποθέτησαν το καπάκι της κατσαρόλας, που προηγουμένως το είχαν βάλει στο ψυγείο για να κρυώσει. Άρχισαν να σχηματίζονται οι πρώτες σταγόνες νερού και να πέφτουν στο ποτήρι που είχαν τοποθετήσει στην άκρη από το καπάκι. Έπειτα από κάποια ώρα που μαζεύτηκε λίγο νερό δοκίμασαν τα νήπια και διαπίστωσαν ότι το νερό ήταν γλυκό.

## **2.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ**

Το καθαρό νερό είναι απόλυτα απαραίτητο για την γεωργική και βιομηχανική παραγωγή και γενικά για κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα και ακόμα για την ίδια την ζωή.

Ο πλανήτης μας βιώνει μια συνεχή μείωση των διαθέσιμων αποθεμάτων καθαρού νερού σε συνδυασμό με μια σημαντική αύξηση της ζήτησης που είναι

το αποτέλεσμα της οικονομικής ανάπτυξης και της ανόδου του βιοτικού επιπέδου.

Οι συνθήκες αυτές καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για λύσεις που να εξασφαλίζουν επάρκεια στην διαθεσιμότητα ποιοτικού νερού με συνέπεια ο κλάδος της επεξεργασίας νερού να παρουσιάσει ιδιαίτερα ευνοϊκές προοπτικές.

Ταυτόχρονα, οι ραγδαίες περιβαλλοντικές αλλαγές σε συνδυασμό με τον περιορισμό των διαθέσιμων παραδοσιακών ενεργειακών πόρων οδηγούν στην αναζήτηση νέων ενεργειακών λύσεων που να εξασφαλίζουν την εξοικονόμηση ενέργειας.

Η αφαλάτωση είναι μία από τις πιο σημαντικές μεθόδους για ένα από τα πιο μείζον προβλήματα αυτού του πλανήτη.

Θα πρέπει, σαν παράδειγμα, να έχουμε στο μυαλό μας έναν νησιώτη που περνά τον χρόνο του ανάμεσα στο μικρό κομμάτι γης και την απέραντη θάλασσα που το περιβάλλει. Το να μπορούσε να χρησιμοποιήσει το θαλασσινό νερό για να το πιει και για να αρδεύει τα χωράφια του θα πρέπει να είναι μια έμμονη σκέψη. Όσο το νερό ή μάλλον η έλλειψη του γίνεται θέμα ζωτικής σημασίας τόσο όλοι μας θα πρέπει να θέσουμε σε λειτουργία το «Μάννα» εκ θαλάσσης.

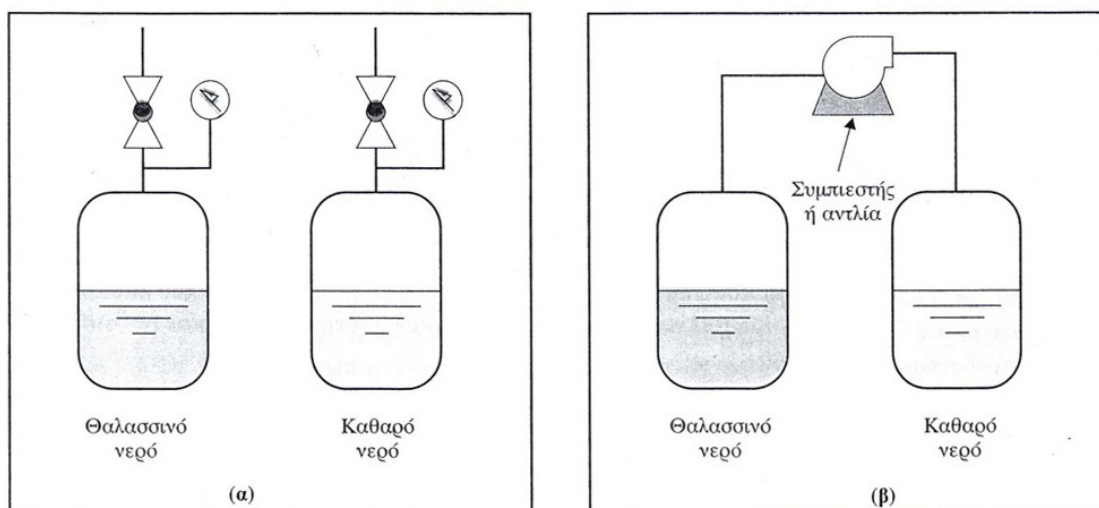
## **2.3 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ**

### *2.3.1 Ελάχιστο θεωρητικό έργο αφαλάτωσης*

Είναι προφανές ότι η διεργασίες αφαλάτωσης είναι μη αυθόρμητες διεργασίες και συνεπώς απαιτούν ενέργεια. Η ενέργεια που απαιτείται μπορεί να χρησιμοποιείται με διάφορες μορφές, θερμότητα, ηλεκτρική κλπ. Στην ανάλυση που ακολουθεί θα υπολογιστεί το ελάχιστο θεωρητικώς απαιτούμενο ποσό ενέργειας, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το είδος της ενέργειας που χρησιμοποιείται, επειδή οι μεταβολές που λαμβάνουν χώρα θεωρούνται αντιστρεπτές και συνεπώς δεν έχουμε απώλειες ενέργειας.

Στην πραγματικότητα βέβαια οι μετατροπές ενέργειας συνοδεύονται από απώλειες, υπό μορφή θερμότητας, έτσι ώστε η πραγματικά απαιτούμενη ενέργεια για την αφαλάτωση νερού να είναι πολλαπλάσια της θεωρητικώς υπολογιζόμενης. Εκείνο που ενδιαφέρει είναι το θεωρητικός απαιτούμενο ελάχιστο έργο για την αφαλάτωση ορισμένης ποσότητας θαλασσινού νερού. Με τον όρο έργο θεωρούμε εκείνη την ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την παραγωγή μηχανικού έργου.

Ο υπολογισμός του ελάχιστου έργου αφαλάτωσης μπορεί να γίνει με τη χρησιμοποίηση του σχήματος 2 όπου δείχνεται μία υποθετική διεργασία αφαλάτωσης. Στο σχήμα 2 περιλαμβάνονται δύο δοχεία που περιέχουν το μεν ένα θαλασσινό νερό το δε άλλο καθαρό νερό. Τα δύο δοχεία είναι τοποθετημένα σε κλειστό χώρο σταθερής θερμοκρασίας.



Σχήμα 2: διεργασία αφαλάτωσης

Αμέσως πριν την έναρξη της διεργασίας της αφαλάτωσης ο περιεχόμενος αέρας στα δύο δοχεία αφαιρείται. Έτσι η διεργασία αφαλάτωσης περιλαμβάνει την μεταφορά νερού χωρίς άλατα από το δοχείο του θαλασσινού νερού στο δοχείο του καθαρού νερού.

Είναι προφανές ότι για οποιαδήποτε θερμοκρασία η τάση των ατμών στο δοχείο του καθαρού νερού θα είναι μεγαλύτερη από εκείνη του δοχείου του θαλασσινού νερού. Η διαφορά πίεσης στα δύο δοχεία είναι μικρή, αλλά πάντως υπαρκτή. Λόγω της διαφοράς πίεσης που αναφέρθηκε, αν ενωθούν τα

δοχεία οι ατμοί του νερού από το δοχείο του καθαρού νερού θα μεταφέρονται στο δοχείο του θαλασσινού νερού αυθόρμητα, χωρίς δαπάνη ενέργειας, με αποτέλεσμα η διεργασία που λάμβανε χώρα να είναι η αντίστροφη του επιδιωκόμενου αποτελέσματος της αφαλάτωσης. Έτσι για την εκτέλεση της διεργασίας της αφαλάτωσης απαιτείται η χρήση αντλίας ή συμπιεστή, ο οποίος με δαπάνη ενέργειας θα μεταφέρει τους ατμούς του νερού από το δοχείο του θαλασσινού νερού στο δοχείο του καθαρού νερού. Η αντλία ή ο συμπιεστής θα ανεβάζουν την πίεση κατά τόσο ώστε αυτή να είναι κατά ελάχιστο μεγαλύτερη από τη διαφορά πίεσης μεταξύ της πίεσης στο δοχείο του καθαρού νερού και στο δοχείο του θαλασσινού νερού. Έτσι οι ατμοί μεταφέρονται στο δοχείο του καθαρού νερού, όπου υγροποιούμενοι μετατρέπονται σε νερό. Ο χώρος που βρίσκονται τα δύο δοχεία είναι απείρου μάζας, έτσι ώστε το ποσό θερμότητας που παράγεται από την αντλία ή το συμπιεστή δεν μεταβάλλει τη θερμοκρασία στην οποία εκτελείται η διεργασία.

Το ελάχιστο έργο συνεπώς που απαιτείται για τη διεργασία της αφαλάτωσης είναι αυτό που χρησιμοποιούμενου συμπιεστή, δηλαδή το έργο συμπίεσης. Το έργο αυτό δίνεται από τη σχέση,

$$W=p*\Delta V$$

Όπου W το απαιτούμενο έργο, p είναι η διαφορά τάσης ατμών του καθαρού νερού και του θαλασσινού νερού στη συγκεκριμένη θερμοκρασία και ΔV ο όγκος των ατμών.

Στους 25 °C η πίεση του καθαρού νερού είναι 3170N/m<sup>2</sup> και του θαλασσινού νερού 3111N/m<sup>2</sup>. Ο όγκος των ατμών 1gr νερού, υπολογιζόμενος από την καταστατική εξίσωση των αερίων, είναι:

$$V=(m/MB)/(R*T)/p=1/18*(8,314*298)/3170=0,043m^3$$

Το ελάχιστο απαιτούμενο έργο, αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου που αναφέρθηκε είναι η πολύ μικρή ταχύτητα αφαλάτωσης. Αν θέλουμε να αυξήσουμε την ταχύτητα θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε συμπιεστή μεγαλύτερης πίεσης, πράγμα που θα οδηγήσει σε μη αντιστρεπτές διεργασίες και συνεπώς μεγαλύτερη δαπάνη ενέργειας.



Θα πρέπει ακόμη να αναφερθεί ότι το ως άνω έργο είναι το αρχικά απαιτούμενο έργο, όταν δηλαδή μία μικρή ποσότητα από το θαλασσινό νερό μετατραπεί σε καθαρό νερό. Σε διαφορετική περίπτωση, όταν δηλαδή θέλουμε να συνεχίσουμε τη διεργασία με το ίδιο θαλασσινό νερό, το οποίο θα συμπυκνώσουμε, η απαιτούμενη ενέργεια είναι μεγαλύτερη.

### 2.3.2 Ελάχιστο απαιτούμενο ποσό θερμότητας

Το ποσό ενέργειας που υπολογίσθηκε προηγουμένως αναφέρεται στο ελάχιστο απαιτούμενο καθαρό έργο, δηλαδή σε μηχανική ενέργεια ή ηλεκτρική ενέργεια λαμβανομένου υπόψη των συντελεστών απόδοσης. Αντίθετα εάν το διατιθέμενο ποσό ενέργειας αναφέρεται σε θερμότητα, τότε το υπάρχον ποσό θερμότητας δεν μπορεί να μετατραπεί εξ ολοκλήρου σε μηχανικό έργο σύμφωνα με το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα.

Το ποσό θερμότητας που μπορεί να μετατραπεί σε ωφέλιμο μηχανικό καθορίζεται από τον συντελεστή απόδοσης της θερμικής μηχανής. Στην περίπτωση μίας ιδανικής θερμικής μηχανής Carnot που λειτουργεί μεταξύ των απολύτων θερμοκρασιών  $T$  και  $T_0$  ο συντελεστής απόδοσης δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = (T - T_0) / T$$

όπου  $\eta$  ο συντελεστής απόδοσης,  $T$  η απόλυτη θερμοκρασία της θερμής δεξαμενής και  $T_0$  απόλυτη θερμοκρασία της ψυχρής δεξαμενής.

Και η απαιτούμενη θερμότητα θα είναι:

$$Q = 0,97 / \eta$$

## **2.4 ΚΟΣΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ**

Όπως έχει αναφερθεί η μετατροπή του θαλασσινού νερού σε πόσιμο δεν παρουσιάζει καμία πλέον τεχνολογική δυσκολία. Υπάρχουν διάφορες διαθέσιμες μέθοδοι οι οποίες συνεχώς βελτιώνονται όχι τόσο στη βασική λειτουργία τους αλλά σε επιμέρους διεργασίες, με στόχο την ελαχιστοποίηση

του κόστους του παραγόμενου νερού. Βεβαίως οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος της αφαλάτωσης είναι αρκετοί με αλληλεπίδραση μεταξύ τους αλλά και με μεταβολές των ίδιων παραγόντων από χώρα σε χώρα αλλά και από περιοχή σε περιοχή. Από την άλλη πλευρά πολλές φορές η λειτουργία μιας μονάδας αφαλάτωσης και το επενδυτικό σχέδιο, δεν στηρίζεται σε οικονομικά στοιχεία και αναλύσεις, αλλά σε πολιτικές και κοινωνικές επιλογές που έχουν σχέση με συγκεκριμένους εθνικούς στόχους.

Η τεχνολογία αφαλάτωσης μπορεί πλέον να ανταγωνισθεί οικονομικά τις συμβατικές μεθόδους παροχής πόσιμου νερού από επιφανειακά και υπόγεια αποθέματα πόσιμου νερού. Στις συμβατικές μεθόδους διάθεσης πόσιμου νερού, το κόστος παραγωγής και επένδυσης αναφέρεται στις εγκαταστάσεις συλλογής, καθαρισμού, απολύμανσης του νερού και μεταφοράς του στους καταναλωτές. Από την άλλη πλευρά οι μέθοδοι αφαλάτωσης ως εκ της διαδικασίας που σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιείται, δεν απαιτούν καθαρισμό του παραγόμενου νερού. Απαιτούν όμως την επένδυση σημαντικών ποσών για τη δημιουργία της εγκατάστασης και σημαντικό σχετικά κόστος για τη λειτουργία τους. Έτσι οι μέθοδοι αφαλάτωσης εφαρμόζονται εκεί που υπάρχει έλλειψη φυσικών πηγών πόσιμου νερού και οι καταναλωτές είναι διαθέσιμοι να πληρώσουν το πιθανόν αυξημένο κόστος παραγωγής νερού. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι δεν θα υπάρχει να γίνεται προσπάθεια ελαχιστοποίησης το κόστος παραγωγής με όλα τα δυνατά μέσα στο σχεδιασμό και λειτουργία της εγκατάστασης της αφαλάτωσης.

Το κόστος της αφαλάτωσης παρουσιάζεται συνήθως ανά μονάδα παραγόμενου νερού ( $m^3$ ). Παράγοντες που καθορίζουν το κόστος του παραγόμενου νερού είναι οι εξής:

1. είδος μεθόδου αφαλάτωσης.

Κάθε μέθοδος έχει διαφορετικό κόστος παραγωγής νερού σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους παράγοντες. Δεν είναι δυνατή η σύγκριση του κόστους παραγωγής νερού απλά εξετάζοντας τις διαφορετικές μεθόδους. Κάθε μέθοδος θα πρέπει να εξεταστεί στο συγκεκριμένο τόπο και για τη συγκεκριμένη

δυναμικότητα και να αξιολογηθεί συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Έτσι θα πρέπει να αξιολογηθούν για κάθε μέθοδο ενδεικτικά

- Το κόστος επένδυσης και η οικονομική διάρκεια ζωής της μονάδας.
- Η δυναμικότητα της μονάδας. Γενικά αυξανόμενης δυναμικότητας μειώνεται το κόστος παραγωγής παραγόμενου νερού.
- Η ύπαρξη ανταλλακτικών και κατάλληλου εργατικού δυναμικού.
- Συχνότητα και κόστος συντήρησης.
- Διάρκεια αξιόπιστης λειτουργίας.
- Διάρκεια ζωής.

#### 2. κόστος θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού

Θα πρέπει να αξιολογηθεί η δαπάνη επένδυσης και λειτουργίας του συστήματος απόληψης θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού. Επίσης θα πρέπει να αναλυθεί λεπτομερώς η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας της εγκατάστασης ώστε να σχεδιαστεί η προ-κατεργασία του θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού για να μην προκαλεί προβλήματα στις εγκαταστάσεις της αφαλάτωσης.

#### 3. κόστος ενέργειας

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

#### 4. κόστος λειτουργίας

Περιλαμβάνεται κάθε δαπάνη για την λειτουργία της μονάδας, ανθρώπινο δυναμικό, χημικά, κλπ. Η αυτοματοποίηση των διεργασιών που επιτρέπει η εισαγωγή νέων τεχνολογιών μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

#### 5. δυναμικότητα παραγωγής

Ο όγκος παραγωγής είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες του τελικού κόστους. Ο λόγος είναι ότι πολλές επί μέρους δαπάνες είναι σταθερές

και ανεξάρτητες της δυναμικότητας. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η δυναμικότητα τόσο μικρότερο είναι το κόστος ανά  $m^3$  παραγόμενου νερού. Θα πρέπει βέβαια να εξετασθεί παράλληλα και το κόστος επένδυσης ανά μονάδα προϊόντος.

#### 6. είδος νερού προς αφαλάτωση

Το είδος του νερού που χρησιμοποιείται προς αφαλάτωση αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα που θα καθορίσει και το τελικό κόστος του παραγόμενου νερού. Υψηλή συγκέντρωση αλάτων, όπως το θαλασσινό νερό, απαιτεί πολύ μεγαλύτερη πίεση λειτουργίας σε μία μονάδα αντίστροφης ώσμωσης από ότι στην περίπτωση του υφάλμυρου νερού. Ακόμη κακής ποιότητας θάλασσα που απαιτεί πολύπλοκη προ-κατεργασία επιβαρύνει το συνολικό κόστος παραγωγής. Πριν από οποιαδήποτε απόφαση για την μέθοδο κατεργασίας θα πρέπει να γίνει λεπτομερής ανάλυση του διατιθέμενου νερού προς επεξεργασία και μάλιστα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Τα τελευταία χρόνια με αφορμή διάφορα υπό κατασκευή φράγματα και άλλα έργα υδατικών πόρων, ιδιαίτερα σε νησιώτικες περιοχές, γράφονται και συζητούνται κόστη παραγωγής πόσιμου νερού από αυτά τα έργα σε σύγκριση με αυτά από μονάδες αφαλάτωσης. Οι συγκρίσεις αυτές συνήθως δε λαμβάνουν υπόψη τους τις τελευταίες εξελίξεις και τάσεις κυρίως σε ότι αφορά αυτές των μεμβρανών μακροδιήθησης, υπερδιήθησης, μικροδιήθησης, αντίστροφης ώσμωσης και άλλων. Σε πολλές Μεσογειακές χώρες με τους διαθέσιμους σήμερα νέους τύπους μεμβρανών και κυρίως τη συνεχώς μειούμενη ενέργεια ανά μονάδα όγκου παραγόμενου νερού, το λειτουργικό κόστος της αφαλάτωσης αλλά και το κόστος της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μειώνεται χρόνο με το χρόνο δραστικά. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις επιφανειακών ταμιευτήρων, δεν υπολογίζονται τα κόστη της επεξεργασίας και μεταφοράς, προκειμένου το συλλεγόμενο σ' αυτούς νερό να καταστεί πόσιμο και φυσικά διαθέσιμο στους καταναλωτές.

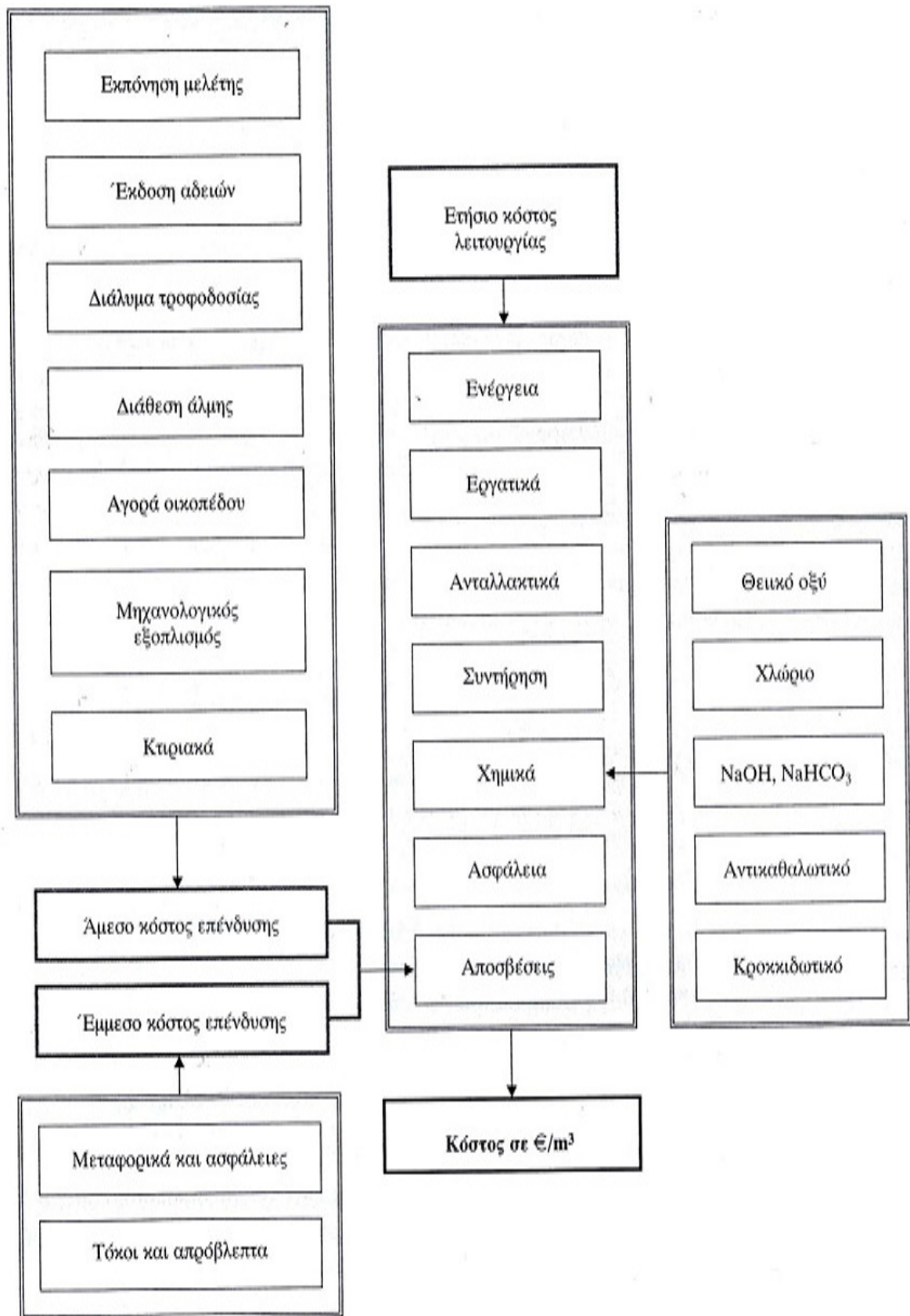
Τα οικονομικά συστήματα που είναι διαθέσιμα μέχρι σήμερα υποστηρίζουν την μέθοδο της αφαλάτωσης. Το δημόσιο από το 2004 έως το 2006 ξόδεψε για την μεταφορά νερού στα άνειδρα νησιά του Αιγαίου, περίπου

25,5 εκατομμύρια ευρώ. Με τα χρήματα αυτά θα είχαν κατασκευαστεί 15 μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού συνολικής παραγωγής 30000 κυβικών μέτρων την ημέρα με κόστος 0,4 ευρώ ανά κυβικό μέτρο, ενώ μόνο το 2006 δαπανήθηκαν πάνω από 9,5 εκατομμύρια ευρώ για την μεταφορά νερού.

«Σε περιοχές όπου το κόστος της αφαλάτωσης γίνεται ανταγωνιστικό σε σχέση με τη μεταφορά νερού από υδροφόρες, η κατασκευή μονάδων αφαλάτωσης σαφώς και συμφέρει. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στον συγκεκριμένο τομέα έχουν μειώσει το κόστος του παραγομένου νερού κάτω από 0,5 ευρώ ανά κυβικό μέτρο. Η τεχνολογία έχει προχωρήσει τόσο στις μέρες μας που μας επιτρέπει να λειτουργήσουμε μια μονάδα αφαλάτωσης με τηλεχειριστήριο από χιλιόμετρα μακριά» επισημαίνει ο κ. Γ. Τσακίρης καθηγητής Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων. Του ΕΜΠ.

Όσον αφορά το κόστος μεταφοράς του νερού στις Κυκλάδες, αυτό πλησιάζει τα 8,21 ευρώ /κυβικό μέτρο ενώ στα Δωδεκάνησα τα 4,8 ευρώ. Την ίδια ώρα το κόστος ενός κυβικού μέτρου αφαλατωμένου νερού από την θάλασσα δεν ξεπερνάει τα 0.8 ευρώ, συνυπολογίζοντας και τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας. Ένα επιπλέον βασικό στοιχείο είναι ότι οι μονάδες αφαλάτωσης έχουν λειτουργία καθ' όλη την διάρκεια του έτους ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες.

Όσον αφορά την ποιότητα του νερού που παράγεται από αφαλάτωση, με κατάλληλη επεξεργασία μπορεί η γεύση του να μην διαφέρει ιδιαίτερα από αυτή του γλυκού νερού.



Σχήμα 3: Στοιχεία κόστους μονάδας αφαλάτωσης

## **2.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ**

Η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή ενός κυβικού μέτρου νερού σε μονάδα αφαλάτωσης δεν είναι καθόλου μικρή, αν λάβει κανείς υπόψη τα προβλήματα ηλεκτροδότησης που αντιμετωπίζουν τα νησιά του Αιγαίου το καλοκαίρι. Σε συνδυασμό μάλιστα με την ανομβρία που, 'όπως εκτιμούν οι ειδικοί, θα θέσει εκτός δικτύου τις υδροηλεκτρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας, το πρόβλημα γιγαντώνεται. Για παράδειγμα, μια μονάδα αφαλάτωσης τελευταίας τεχνολογίας καταναλώνει 2,3 κιλοβατώρες ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού.

Μια καλή λύση ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της λειψυδρίας σε συνδυασμό με ελλείμματα ενέργειας που παρουσιάζονται το καλοκαίρι στα νησιά, είναι οι μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν με ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά στοιχεία. Σ' αυτές τις μονάδες, το κόστος παραγόμενου νερού από την θάλασσα φτάνει τα 3-4 ευρώ ανά κυβικό μέτρο ενώ ταυτόχρονα δεν αντλείται ρεύμα από το επιβαρυνμένο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες δίκτυο. Με δύο τέτοιες μονάδες αφαλάτωσης που παράγουν από 1000 κυβικά μέτρα νερό, θα μπορούσαμε να καλύψουμε τις ανάγκες των Κυκλάδων το καλοκαίρι.

Δεν είναι όμως μόνο οι Κυκλάδες και τα νησιά του Αιγαίου που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της έλλειψης νερού. Στη χώρα μας αλλά και στον πλανήτη ολόκληρο υπάρχουν πάρα πολλές παράκτιες περιοχές όπου η έλλειψη πόσιμου νερού έστω και υφάλμυρου είναι η ίδια ή και χειρότερη. Στις περιοχές αυτές όπως και στα νησιά το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η παραγωγή φρέσκου νερού μέσω αφαλάτωσης να έχει επίσης υψηλό κόστος. Όμως στις περισσότερες περιοχές υπάρχει υψηλό ηλιακό και αιολικό δυναμικό ώστε να προσφέρεται η δυνατότητα συνδυασμού τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) με συστήματα αφαλάτωσης για την παραγωγή φρέσκου νερού. Η λύση αυτή είναι σήμερα τεχνικά και οικονομικά εφικτή αλλά και περιβαλλοντικά αποδεκτή.

## **2.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

Πλεονεκτήματα:

- Αντιμετώπιση της λειψυδρίας
- Κάλυψη σημαντικού μέρους των αναγκών άρδευσης και ύδρευσης
- Αύξηση της προσφοράς πόσιμου νερού
- Σωστή διαχείριση του νερού
- Αύξηση καλλιεργειών και συνεπώς αύξηση της οικονομίας
- Είναι αρκετά οικονομική
- Ελάχιστες απαιτήσεις σε προσωπικό και μάλιστα δεν χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό

Μειονεκτήματα:

- Επιβάρυνση του περιβάλλοντος με ρύπους
- Αλλοίωση θαλάσσιου περιβάλλοντος
- Απόβλητα άλμης τα οποία διοχετεύονται χωρίς να υπάρχουν περιοριστικά μέτρα από την πολιτεία και καταστρέφουν την θαλάσσια πανίδα και χλωρίδα.

## **2.7 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ**

Η αφαλάτωση γενικά απαιτεί κάτι λιγότερο από μία κιλοβατώρα ενέργειας ανά κυβικό μέτρο θαλασσινού νερού. Με τη μέθοδο συμπύκνωσης ατμών απαιτούνται γύρω στις 12 κιλοβατώρες. Επειδή αυτή η ποσότητα αφορά ηλεκτρική ενέργεια, πρέπει να δοθεί μέσα από ανεμογεννήτριες ή φωτοβολταϊκά. Αυτό συνεπάγεται ότι εκτός από την συσκευή αφαλάτωσης να χρειαστούμε και επιπλέον συσκευές παροχής ενέργειας.

Η αφαλάτωση μέσω απόσταξης νερού απαιτεί 628,5 κιλοβατώρες. Αυτή η μεγάλη ποσότητα ενέργειας όμως μπορεί να δοθεί κατευθείαν από τον ήλιο



χωρίς ανεμογεννήτριες ή φωτοβολταϊκά. Χρειάζεται μόνο μία συσκευή μεγάλης επιφάνειας. Η συσκευή αυτή, εάν είναι από γυαλί, μπορεί να έχει πάρα πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής. Εάν η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται μέσω ηλιακού κήπου τότε το εμβαδόν του κήπου πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 157 τετρ.μέτρα.

Στο εδάφιο της αφαλάτωσης μέσω απόσταξης ο ηλιακός κήπος θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερος από 157 μέτρα. Η συσκευή όπου θα γινόταν η συμπύκνωση των ατμών θα έπρεπε να αποτελείται από 1058 λεπτότοιχα πλαστικά σωληνάκια 9 χιλιοστών διατομής και μήκων 2 μέτρων το καθένα. Θα δημιουργούσαμε μια χτένα μήκους 10 μέτρων περίπου. Εάν η χτένα ψυχόταν με θαλασσινό νερό, θα χρειαζόμασταν περίπου 1000 κιλά νερού ψύξης.

## **2.8 Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Με την πάροδο των ετών, παρουσιάζεται σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα. Η χώρα μας, λόγω της γεωγραφικής θέσης ( στο ύψος περίπου του Ολύμπου, από τον 40<sup>ο</sup> παράλληλο, ενώ το 95% βρίσκεται κάτω του 40<sup>ο</sup>, 30') είναι λογικό να αποτελεί μια από τις περιοχές που θα πληγούν από τις επιπτώσεις της λειψυδρίας. Οι παλιές μέθοδοι ανάκτησης νερού από ποτάμια και λίμνες φυσικές ή τεχνητές αποτυγχάνουν να λύσουν το πρόβλημα. Ιδιαίτερα πλήττονται κάποια από τα ελληνικά νησιά, των οποίων οι κάτοικοι εφοδιάζονται με νερό χαμηλής ποιότητας που μεταφέρεται με δεξαμενόπλοια.

Οι Κυκλάδες για παράδειγμα χρειάζονται 12.000.000 m<sup>3</sup> πόσιμου νερού ανά ημέρα την ώρα που η ποσότητα αυτή καλύπτεται μέχρι σήμερα στο 60 με 65%. Μέχρι το 2030 η ζήτηση θα έχει διπλασιαστεί. Οι συμβατικές μέθοδοι παροχής νερού όπως οι γεωτρήσεις παράγουν υφάλμυρο νερό στις περισσότερες περιπτώσεις, ακατάλληλο για πώληση κατά την Ευρωπαϊκή και την εναρμονισμένη Εθνική νομοθεσία.

Η συνηθισμένη όμως πολιτική είναι να ελέγχονται οι υδάτινοι πόροι από τοπικές δημοτικές ή νομαρχιακές επιχειρήσεις ύδρευσης. Οι επιχειρήσεις αυτές προσπαθούν να έχουν μειωμένα κέρδη για να κρατούν την τιμή του νερού σε χαμηλά επίπεδα. Η πολιτική αυτή δεν αφήνει περιθώρια για επενδύσεις σε νερό υψηλής ποιότητας. Παρόλα αυτά μερικές εταιρίες ύδρευσης κατάφεραν να εγκαταστήσουν μικρά ή μεγαλύτερα εργοστάσια αφαλάτωσης. Παρακάτω θα δούμε διάφορα φράγματα για αφαλάτωση που υπάρχουν σε διάφορα νησιά μας.

ΛΕΡΟΣ: Ήδη από το αρχικό σενάριο παρουσιάζεται θετικό οικονομικό αποτέλεσμα στη χρήση ύδρευσης, πράγμα που οφείλεται στην αναμενόμενη λειτουργία του φράγματος Παρθενίου, το οποίο θα πρέπει να αποτελέσει το βασικό έργο κάλυψης των ιδιαίτερα υψηλών υδρευτικών απαιτήσεων (τριπλάσιες από τις αρδευτικές). Με τη λειτουργία του φράγματος αφενός θα σταματήσουν οι μεταφερόμενες ποσότητες ύδατος, οι οποίες ανάλογα με την υδρολογική χρονιά φτάνουν και στο 10% των απαιτήσεων, αφετέρου θα μειωθούν οι αντλούμενες ποσότητες από υδροφορείς που ήδη είναι ιδιαίτερα επιβαρυνμένοι. Η καθυστέρηση αποδοτικής λειτουργίας του φράγματος αντιμετωπίζεται μόνο με την κατασκευή πρόσθετης μονάδας αφαλάτωσης, δυναμικότητας τουλάχιστον 500 κυβικών μέτρων την ημέρα.

ΧΑΛΚΗ: Το σύνολο των αναγκών καλύπτεται από μεταφερόμενες ποσότητες και το οικονομικό αποτέλεσμα βελτιώνεται ήδη από το αρχικό σενάριο με την κατασκευή μονάδας αφαλάτωσης που αντικαθιστά τις μεταφερόμενες ποσότητες. Βελτιώνεται επίσης με επιπρόσθετα έργα (μονάδα επεξεργασίας λυμάτων και αντικατάσταση δικτύων ύδρευσης) και μετά το 2015 γίνεται θετικό στην ύδρευση.

ΊΟΣ: Η βελτίωση του οικονομικού αποτελέσματος της ύδρευσης οφείλεται στην αναβάθμιση του υπάρχοντος βιολογικού καθαρισμού. Στο τελικό σενάριο διερευνήθηκε διαχειριστικά και οικονομικά η λειτουργία της λιμνοδεξαμενής Επάνω Κάμπου (εγκεκριμένη οριστική μελέτη ΥΠΑΑΤ), η οποία μπορεί να αποτελέσει εναλλακτική δυνατότητα (έργο δεύτερης προτεραιότητας) για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών.

**ΚΥΘΝΟΣ:** Η προβλεπόμενη κατασκευή δύο μονάδων αφαλάτωσης αντιμετωπίζει επαρκώς τις υδρευτικές απαιτήσεις. Η βελτίωση του οικονομικού αποτελέσματος (μετά το 2015 θετικό) στο τελικό σενάριο οφείλεται στη μείωση του περιβαλλοντικού κόστους με την κατασκευή μονάδας επεξεργασίας λυμάτων. Στο τελικό σενάριο διερευνήθηκε διαχειριστικά και οικονομικά η λειτουργία του φράγματος της Επισκοπής (εγκεκριμένη οριστική μελέτη ΥΠΑΑΤ), η οποία όμως κρίνεται ασύμφορη.

**ΚΕΑ:** Η βελτίωση του οικονομικού αποτελέσματος στο τελικό σενάριο οφείλεται στη μείωση των ελλειμμάτων ύδρευσης και άρδευσης και στη μείωση του περιβαλλοντικού κόστους με την κατασκευή μονάδας επεξεργασίας λυμάτων. Η μείωση των ελλειμμάτων επιτυγχάνεται με την κατασκευή του φράγματος στο Κεραμίδι (εγκεκριμένη οριστική μελέτη ΥΠΑΑΤ) που μπορεί να αποτελέσει μακροπρόθεσμη λύση στη διαχειριστική ενότητα.

**ΝΑΞΟΣ:** Οι αρδευτικές απαιτήσεις είναι περίπου πενταπλάσιες από τις υδρευτικές (που είναι ιδιαίτερα αυξανόμενες) και συγκεντρώνονται κυρίως στον Δήμο Νάξου. Τα μεγάλα ελλείμματα στην αρδευτική χρήση, συνεπώς και το υψηλό κόστος φυσικών πόρων, δίνουν εξαιρετικά δυσμενές οικονομικό αποτέλεσμα στο αρχικό σενάριο προβλεπόμενων έργων. Η σημαντική βελτίωση θα έλθει με την κατασκευή του φράγματος του Τσικαλαριού, το οποίο αναμένεται να αρδεύσει επαρκώς 4.700 στρέμματα στον Δήμο Νάξου, ανακουφίζοντας υφαλμυρισμένους υδροφορείς, και τη δραστική μείωση κατά 20% των αρδευόμενων εκτάσεων στα δημοτικά διαμερίσματα Νάξου, Αγ. Αρσενίου, Γλινάδου, Γαλανάδου, Βίβλου. Σημαντικές βελτιωτικές παρεμβάσεις στο οικονομικό αποτέλεσμα της ύδρευσης επίσης είναι η αντικατάσταση των πεπαλαιωμένων δικτύων. Ως ασύμφορη κρίνεται, ύστερα από διερεύνηση στα διαχειριστικά σενάρια, με τα σημερινά δεδομένα, η μεταφορά νερού από το φράγμα Τσικαλαριού σε κοντινά άνυδρα νησιά, αφού στα περισσότερα από αυτά ήδη προβλέπονται μικρές μονάδες αφαλάτωσης (Δονούσα, Ηρακλεία, Σχοινούσα). Η λιμνοδεξαμενή Κινίδαρου (εγκεκριμένη οριστική μελέτη ΥΠΑΑΤ), η οποία διερευνήθηκε στο τελικό σενάριο, μόνο ως

εναλλακτική μακροπρόθεσμη παρέμβαση μπορεί να εξετασθεί.

ΠΑΡΟΣ: Η μείωση των ελλειμμάτων στο τελικό σενάριο και η βελτίωση του οικονομικού αποτελέσματος (θετικό και για τις δύο χρήσεις σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης) επιτυγχάνεται κυρίως με την αντικατάσταση των πεπαλαιωμένων δικτύων ύδρευσης και με νέα μονάδα αφαλάτωσης δυναμικότητας 2.500 κ.μ./ημ. Οι τρεις λιμνοδεξαμενές (εγκεκριμένες μελέτες ΥΠΑΑΤ), οι οποίες διερευνήθηκαν στα διαχειριστικά σενάρια μόνον ως εναλλακτικές μακροπρόθεσμες παρεμβάσεις, μπορούν να εξετασθούν, αφού ο έντονος τουριστικός χαρακτήρας του νησιού, συνεπώς και η άμεση απαίτηση ικανοποίησης των ιδιαίτερα αυξημένων θερινών υδρευτικών αναγκών, επιβάλλει την κατασκευή μεγάλης μονάδας αφαλάτωσης.

ΔΟΝΟΥΣΑ: Η προβλεπόμενη μονάδα αφαλάτωσης, η αντικατάσταση των δικτύων ύδρευσης και η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων οδηγούν σε θετικό οικονομικό αποτέλεσμα μετά το 2014 και στα δύο σενάρια.

ΦΟΛΕΓΑΝΔΡΟΣ: Η προβλεπόμενη μονάδα αφαλάτωσης 300 κ.μ./ημ. αντιμετωπίζει ως ένα σημείο την αναμενόμενη υδρευτική ζήτηση και βελτιώνει το οικονομικό αποτέλεσμα μετά το 2009, αντικαθιστώντας τις μεταφερόμενες ποσότητες που κατά κύριο λόγο καλύπτουν σήμερα τις υδρευτικές ανάγκες. Η βελτίωση του οικονομικού αποτελέσματος στο τελικό σενάριο επιτυγχάνεται με τη μείωση των ελλειμμάτων στην ύδρευση. Αυτό γίνεται με την κατασκευή επιπλέον μονάδας αφαλάτωσης δυναμικότητας 150 κ.μ./ημ.

ΛΗΜΝΟΣ: Εδώ οι αρδευτικές απαιτήσεις είναι περίπου τετραπλάσιες από τις υδρευτικές. Στο αρχικό σενάριο μεγαλώνουν τα ελλείμματα, πράγμα που οφείλεται στην απουσία έργων αντιμετώπισης των αυξημένων μελλοντικών υδρευτικών απαιτήσεων, ιδιαίτερα στον Δήμο Μύρινας. Τα βασικά έργα και μέτρα με τα οποία περιορίζονται τα ελλείμματα στο νησί είναι η αντικατάσταση των δικτύων ύδρευσης, η αξιοποίηση του υπόγειου υδάτινου δυναμικού στον υδροφορέα του Σκιδίου στον Δήμο Μούδρου, η κατασκευή του φράγματος Κάσπακα και της λιμνοδεξαμενής της Ατσικής (εγκεκριμένες οριστικές μελέτες ΥΠΑΑΤ) και ο περιορισμός των μη οργανωμένα αρδευόμενων εκτάσεων κατά 10%. Όσον αφορά το φράγμα Κάσπακα, μπορεί

να υδροδοτήσει την πόλη της Μύρινας, ανακουφίζοντας τον ήδη επιβαρυσμένο υδροφορέα του Αυλώνα, και να συμβάλει στην κάλυψη των αρδευτικών αναγκών του δημοτικού διαμερίσματος Κάσπακα.

**ΚΩΣ:** Η ιδιαίτερα αυξητική τάση των υδρευτικών αναγκών (αύξηση 26% σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση) καλύπτεται ως ένα σημείο στο αρχικό σενάριο με έργα αξιοποίησης των υφιστάμενων ταμιευτήρων Μεσσαριάς και Πλατέως. Σημαντικό επίσης έργο για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών και τη μείωση του κόστους φυσικών πόρων αποτελεί και η επαναχρησιμοποίηση της εκροής της ΜΕΥΑ του Δήμου Κω για άρδευση. Η βελτίωση του οικονομικού αποτελέσματος στο τελικό σενάριο επιτυγχάνεται με τη μείωση των υδρευτικών ελλειμμάτων αντικαθιστώντας τα δίκτυα ύδρευσης. Το σημαντικότερο προτεινόμενο έργο αποτελεί η κατασκευή του Φράγματος της Μίας, το οποίο προβλέπεται να καλύψει μεγάλο μέρος των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών του Δήμου Ηρακλειδών.

**ΚΑΛΥΜΝΟΣ:** Σημαντικό έργο προσφοράς τόσο για την ύδρευση όσο και για την άρδευση αποτελεί η λιμνοδεξαμενή Βαθέος. Η κατασκευασμένη λιμνοδεξαμενή θα μπορέσει να συνεισφέρει στο σύστημα εφόσον ολοκληρωθούν τα έργα αξιοποίησής της, τα οποία αφορούν κυρίως έργα δικτύων. Το αποτέλεσμα του αρχικού σεναρίου μπορεί να είναι αρνητικό, αλλά οφείλεται κυρίως σε ορισμένα αρκετά ξηρά υδρολογικά έτη, τα οποία οδηγούν σε αρνητικό συνολικό οικονομικό αποτέλεσμα τη διαχειριστική ενότητα, παρότι μετά το 2015, που ολοκληρώνονται οι διαχειριστικές παρεμβάσεις, το οικονομικό αποτέλεσμα θα είναι θετικό.

**ΜΗΛΟΣ:** Το σημαντικό υδρευτικό πρόβλημα που υπήρχε (ανάγκη για μεταφερόμενες ποσότητες) καλύφθηκε με τη δημιουργία μεγάλης μονάδας αφαλάτωσης (2.600 κ.μ. την ημέρα), η οποία θα λειτουργεί με αιολική ενέργεια και παρέχει τη δυνατότητα επέκτασης. Στο αρχικό σενάριο, επίσης, μειώνονται οι απώλειες των δικτύων με ανάλογα έργα. Με στόχο την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών και τη βελτίωση του οικονομικού αποτελέσματος, προτείνεται η μείωση των αρδευόμενων εκτάσεων κατά 10% στο τελικό σενάριο (αφού οι υδρευτικές ανάγκες καλύπτονται επαρκώς).

ΤΗΝΟΣ: Η μείωση των ελλειμμάτων επιτυγχάνεται με έργα αξιοποίησης και ολοκλήρωσης του φράγματος στη Λιβάδα, με την κατασκευή δύο φραγμάτων (Βόλακα και Βακέτας) ανάσχεσης και εμπλουτισμού, με την αντικατάσταση των υδρευτικών δικτύων των Δήμων Εξωμβούργου και Τήνου και με προμήθεια νέας φορητής μονάδας αφαλάτωσης δυναμικότητας 1.000 κυβικών μέτρων την ημέρα. Στο τελικό σενάριο προτείνονται επιπρόσθετα έργα μονάδων επεξεργασίας λυμάτων στον Δήμο Τήνου και στον Δήμο Εξωμβούργου, που στοχεύουν στη μείωση του περιβαλλοντικού κόστους και στη βελτίωση του οικονομικού αποτελέσματος.

### *2.8.1 Περιοχές εφαρμογής συστήματος αφαλάτωσης στην Ελλάδα*

Τα δεδομένα της Ε.Μ.Υ. από τους 18 πιο αξιόπιστους μετεωρολογικούς σταθμούς για τα τελευταία 40 χρόνια, μετά από μια πρώτη στατιστική επεξεργασία, συνηγορούν για μία σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων στον Ελλαδικό χώρο.

Πιο συγκεκριμένα:

- Η βορειοδυτική και νοτιοδυτική Ελλάδα εμφανίζει μια μείωση της τάξεως του 23% - 29%.
- Η υπόλοιπη Βόρεια Ελλάδα εμφανίζει να μικρότερη μείωση έως και 20%.
- Η περιοχή της Στερεάς Ελλάδας 19% - 23%.
- Η Πελοπόννησος, η Αττική και οι Κυκλάδες εμφανίζουν αύξηση της τάξεως του 13% - 29%.
- Τέλος η Κρήτη εμφανίζει μείωση της τάξεως του 10%.

Βάση των παραπάνω φαίνεται σε ποιες περιοχές εφαρμόζεται πλέον το σύστημα της αφαλάτωσης τόσο του θαλασσινού όσο και του υφάλμυρου νερού.

### **3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>:**

#### **3.1. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΥΦΑΛΜΥΡΟΥ ΝΕΡΟΥ**

Η αφαλάτωση του υφάλμυρου νερού εφαρμόζεται όταν η περιεκτικότητα των υπογείων υδάτων (πηγάδια-γεωτρήσεις) σε άλατα είναι εκτός των ορίων του πόσιμου και παρουσιάζουν συνήθως άλατα νατρίου (αλμυρότητα) ή/και άλατα ασβεστίου και μαγνησίου (σκληρότητα).

Κάθε είδος υφάλμυρου νερού έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά. Οπότε, η αξιολόγηση της ποιότητας του ανεπεξέργαστου νερού της κάθε περιοχής είναι πιο σημαντικός παράγοντας για την κατασκευή ενός συστήματος κατάλληλου να ικανοποιήσει τις δεδομένες απαιτήσεις.

Η αφαίρεση αλάτων από το νερό είναι μια βασική λειτουργία. Επίσης αφαιρούνται κατά 100% τα βακτήρια που είναι ανθεκτικά στο χλώριο, όπως το κρυπτοσπορίδιο. Έτσι παράγεται νερό που είναι ασφαλές για πόση.

Η αφαίρεση βαρέων αλάτων είναι ένα ακόμα πλεονέκτημα της αφαλάτωσης. Μπορεί να αφαιρεθεί το 90 - 99% των ιόντων όπως είναι το αρσενικό και το φθόριο.

**10 -15** γραμμάρια στερεών σωματιδίων περιέχονται σε ένα λίτρο υφάλμυρου νερού (brackish water)

Η δαπάνη κτήσης για σύστημα αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού προσεγγιστικά υπολογίζεται: για τις ανάγκες πόσιμου νερού μιας οικογένειας από 1200 μέχρι 3000 ευρώ για κάθε κυβικό παραγόμενου νερού με κόστος παραγόμενου νερού περίπου 0,15 ως 2 ευρώ ανά κυβικό. Για τις ανάγκες πόσιμου νερού εστιατορίων, εξοχικών κέντρων κλπ από 600 μέχρι 1500 ευρώ για κάθε κυβικό παραγόμενου νερού ανά 24ωρο και κόστος παραγωγής 0,25 ως 0,5 ευρώ ανά κυβικό. Για τις ανάγκες ενός εργοστασίου, ξενοδοχείου ή ενός Δήμου η δαπάνη κτήσης υπολογίζεται σε 200 ως 500 ευρώ ανά κυβικό παραγόμενου νερού ανά 24ωρο και το κόστος παραγωγής 0,15 ως 0,3 ευρώ ανά κυβικό νερό αφαλατωμένου νερού.

### 3.2 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Σε περιπτώσεις άνυδρων περιοχών, η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με την χρήση της τεχνολογίας είναι περισσότερο διαδεδομένη.

Όπως και το υφάλμυρο νερό έτσι και το θαλασσινό έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά. Έτσι σε κάθε περιοχή εξετάζεται διαφορετικά ο τρόπος και το σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί για την αφαλάτωση του.

Η αφαίρεση των αλάτων και εδώ είναι εξίσου σημαντική, αν όχι ακόμη πιο σημαντική, από την αφαίρεση των αλάτων του υφάλμυρου νερού.

Στην αφαλάτωση του θαλασσινού νερού πρέπει η απαραίτητη διαδικασία να γίνει με μεγαλύτερη προσοχή και φυσικά μεγαλύτερο κόστος. Έτσι θα παραχθεί κατάλληλο νερό για πόση και όχι μόνο. Θα πρέπει να έχουμε υπόψη ότι το **97%** του νερού στο πλανήτη είναι θαλασσινό νερό και ακατάλληλο για πόση ή για άρδευση. **33-37** γραμμάρια στερεών σωματιδίων περιέχονται σε ένα λίτρο θαλασσινού νερού (37,000 μέρη στο εκατομμύριο).

Η δαπάνη κτήσης για σύστημα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού υπολογίζεται προσεγγιστικά: για τις ανάγκες μιας οικογένειας από 5000 ως 10000 ευρώ ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού με κόστος παραγωγής 2 ως 5 ευρώ ανά κυβικό μέτρο νερού. Για τις ανάγκες εστιατορίων, εξοχικών κέντρων κλπ από 2000 ως 3500 ευρώ ανά κυβικό με κόστος παραγωγής 2 ως 4 ευρώ ανά κυβικό μέτρο νερού. Για τις ανάγκες ενός εργοστασίου, ξενοδοχείου ή Δήμου η δαπάνη κτήσης υπολογίζεται σε 800 ως 2000 ευρώ για κάθε κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού ανά 24ωρο και το κόστος παραγωγής από 0,35 ως 0,8 ευρώ ανά κυβικό αφαλατωμένου νερού.

Οι αποκλίσεις στα κόστη που παρατηρούνται παραπάνω έχουν να κάνουν με την ανάγκη σε αφαλατωμένο νερό, από τη χημική σύσταση του υφάλμυρου νερού ή του θαλασσινού νερού καθώς και από το βαθμό αυτοματοποίησης του συστήματος.



### 3.3 ΧΡΟΝΙΚΟ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

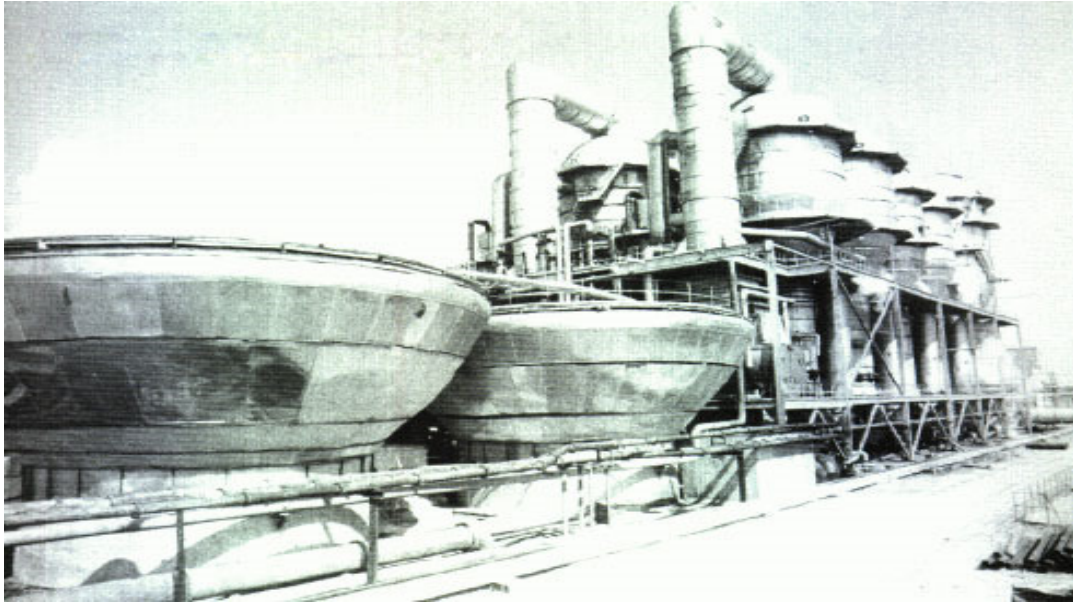
Το χρονικό της αφαλάτωσης ξεκινά το 350 π.Χ. με τον Αριστοτέλη να πειραματίζεται με τον διαχωρισμό νερού – αλατιού. Το 200 μ.Χ. ναυτικοί μεταφέρουν μικρές πρωτόγονες μονάδες αφαλάτωσης στα πλοία τους. Τον 16<sup>ο</sup> αιώνα τα πλοία που εξερευνούν τους ωκεανούς μεταφέρουν μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν μόνο σε περίπτωση ανάγκης. Στην συνέχεια το 1850 ο Αμερικανός μηχανικός Norbert Rillieux κατοχυρώνει πατέντες για μεθόδους απόσταξης της ζάχαρης που ελαττώνουν τις απαιτήσεις ενέργειας κατά 80%.

Το 1890 στην Δυτική Αυστραλία λόγω του ξηρού κλίματος κατασκευάζονται μονάδες αφαλάτωσης (πάντα με την θερμαντική μέθοδο). Το νερό ήταν ακριβό. Τα 4.5 λίτρα νερού κόστιζαν όσο το ένα τρίτο του μισθού του ανειδίκευτου εργάτη. Στα τέλη



του 19<sup>ου</sup> αιώνα η μέθοδος απόσταξης του Rillieux αρχίζει και εφαρμόζεται και στην αφαλάτωση. Το 1950 η Αμερικανική κυβέρνηση ιδρύει το Τμήμα Αλμυρού Νερού με σκοπό να υποστηρίξει την έρευνα για την αφαλάτωση. Επίσης το 1950 ξεκινά μια νέα μέθοδος θερμαντικής αφαλάτωσης και εφαρμόζεται σε χώρες της Μέσης Ανατολής. Το 1960 ξεκινούν στο πανεπιστήμιο UCLA της Καλιφόρνια τα πειράματα πάνω στην ανάστροφη όσμωση με την κατασκευή των πρώτων μεμβρανών από δύο ερευνητές, τους Sydney Loeb και Shrinivasa Sourirajan. Το 1965 η πρώτη πειραματική μονάδα αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού με την μέθοδο της ανάστροφης όσμωσης. Τέλος της δεκαετίας του '70 ο John Cadotte του America's Midwest Research

Institute και του Film Tec Corporation εφεύρει μια πολύ βελτιωμένη μεμβράνη που θα χρησιμοποιηθεί καθολικά στα επόμενα χρόνια. Το 1980 ξεκινά η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης την λειτουργία της στην Jeda της Σαουδικής Αραβία.



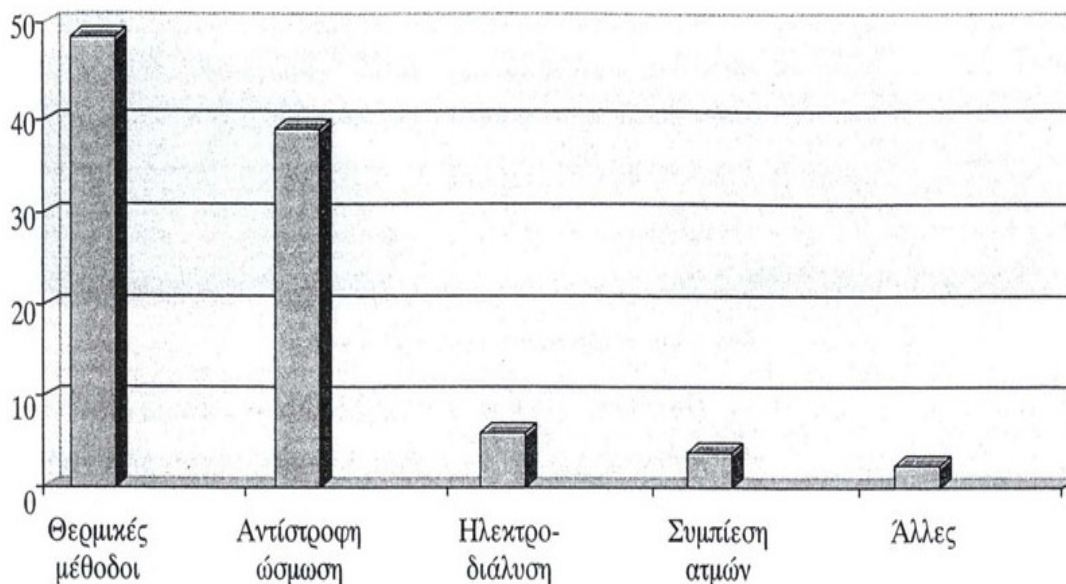
Η μονάδα αφαλάτωσης Σεβτσένκο BN350 στην Κασπία.

## 4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> :

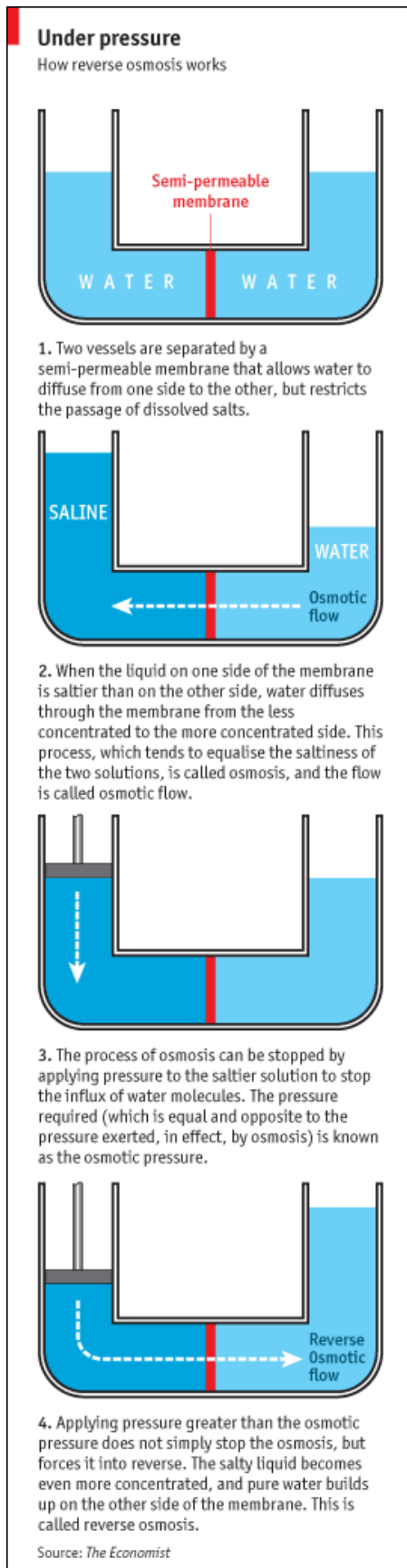
### 4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Η αφαλάτωση είναι φυσική διεργασία αποχωρισμού αλάτων και νερού από υδατικά διαλύματα και χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα ως καθαρά βιομηχανική μέθοδος για την παραγωγή καθαρού πόσιμου νερού για κάθε χρήση: οικιακή, βιομηχανική, αγροτική κλπ.

Η αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού χρησιμοποιείται εδώ και αρκετές δεκαετίες για την επίλυση προβλημάτων έλλειψης νερού σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Από τις μεθόδους αφαλάτωσης που έχουν δοκιμαστεί, αυτές που βρήκαν ευρεία εφαρμογή, έχουν αποδειχτεί και κυκλοφορούν στο εμπόριο τα τελευταία 30 -40 χρόνια, είναι οι ακόλουθες: (α) θερμικές μέθοδοι, (β) αντίστροφη ώσμωση, (γ) ηλεκτροδιάλυση, (δ) συμπίεση ατμών και (ε) υβριδικές μέθοδοι.



Σχήμα 4: μέθοδοι αφαλάτωσης



Οι τεχνολογίες αφαλάτωσης που έχουν επικρατήσει και είναι ευρύτατα διαδεδομένες σήμερα βασίζονται στις αρχές της απόσταξης και της αντίστροφης ώσμωσης αφού το 56% της παγκόσμιας εγκατεστημένης δυναμικότητας αναφέρεται σε μονάδες απόσταξης, το 36% σε μονάδες αντίστροφης ώσμωσης και το υπόλοιπο 8% στις υπόλοιπες είδους τεχνολογίες.

Περίπου το μισό τα παγκόσμιας δυναμικότητας είναι εγκατεστημένο στην περιοχή του Περσικού Κόλπου, το 15% στις Η.Π.Α. και το υπόλοιπο σε διάφορες άλλες χώρες.

Υπάρχουν δύο κυρίες μέθοδοι αφαλάτωσης. Η πρώτη είναι η γνωστή στους περισσότερους, η θερμαντική μέθοδος, παρόμοια με " την απόσταξη " που μάθαμε στο σχολείο. Το θαλασσινό νερό ζεσταίνεται, εξατμίζεται, το αλάτι μένει και το καθαρό νερό περνώντας από διαδοχικούς θαλάμους υγροποιείται απαλλαγμένο από τα σωματίδια. Η μέθοδος έχει βελτιωθεί και δεν επαφίεται μόνο στην θερμότητα, αλλά χρησιμοποιεί και την πίεση για να ελαττώσει την απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας.

Η δεύτερη που ξεκίνησε την δεκαετία του 1960 πειραματικά, και έχει εφαρμοστεί εμπορικά την δεκαετία του '90, είναι η

ανάστροφη όσμωση ( reverse osmosis ). Με αυτή τη μέθοδο το θαλασσινό

νερό πιέζεται και περνά από μία μεμβράνη η οποία συγκρατεί τα σωματίδια και το αλάτι, και περνά μόνο το πόσιμο νερό. Η μέθοδος ονομάζεται έτσι γιατί αναστρέφει τη φυσική διαδικασία κατά την οποία όταν υγρό με αυξημένη αλμυρότητα βρεθεί σε επαφή μέσω μιας πορώδους μεμβράνης με υγρό ελλατωμένης αλμυρότητας, το καθαρό υγρό θα περάσει στην περιοχή υψηλής αλμυρότητας, ώστε στο τέλος η αλμυρότητα να εξισωθεί και από τις δύο πλευρές της μεμβράνης. Τέτοιες μεμβράνες υπάρχουν άφθονες στην φύση ( οι μεμβράνες των κυττάρων είναι πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα ), αλλά για να βρεθεί το κατάλληλο υλικό για τις μεμβράνες της αφαλάτωσης χρειάστηκε να περάσουν 40 χρόνια.

Η μέθοδος αυτή χρειάζεται λιγότερη ενέργεια και είναι πολύ πιο φθηνή από την θερμαντική μέθοδο. Βελτιώνεται διαρκώς με νέες μεμβράνες οι οποίες αφήνουν περισσότερο καθαρό νερό να περάσει. Προς το παρόν μόνο το 50% του νερού από την διαδικασία παράγεται σαν καθαρό νερό. Το υπόλοιπο είναι νερό που έχει πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι και θεωρούνταν υπόλειμμα (waste stream), αλλά νέες μέθοδοι το χρησιμοποιούν για να κινήσουν τουρμπίνες και να παράγουν ενέργεια ώστε να χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες της αφαλάτωσης.

Υπάρχουν και άλλες δύο μέθοδοι αφαλάτωσης αλλά αυτές δεν έχουν βρει χρηστικές εφαρμογές. Η ηλεκτρόλυση εκμεταλλεύεται τα ηλεκτρικά φορτία του αλατιού και φορτίζοντας ηλεκτρικά μια ποσότητα θαλασσινού νερού μαζεύει το αλάτι στα ηλεκτρόδια ενώ το καθαρό νερό διαχωρίζεται από το αλμυρό με την βοήθεια μιας μεμβράνης.

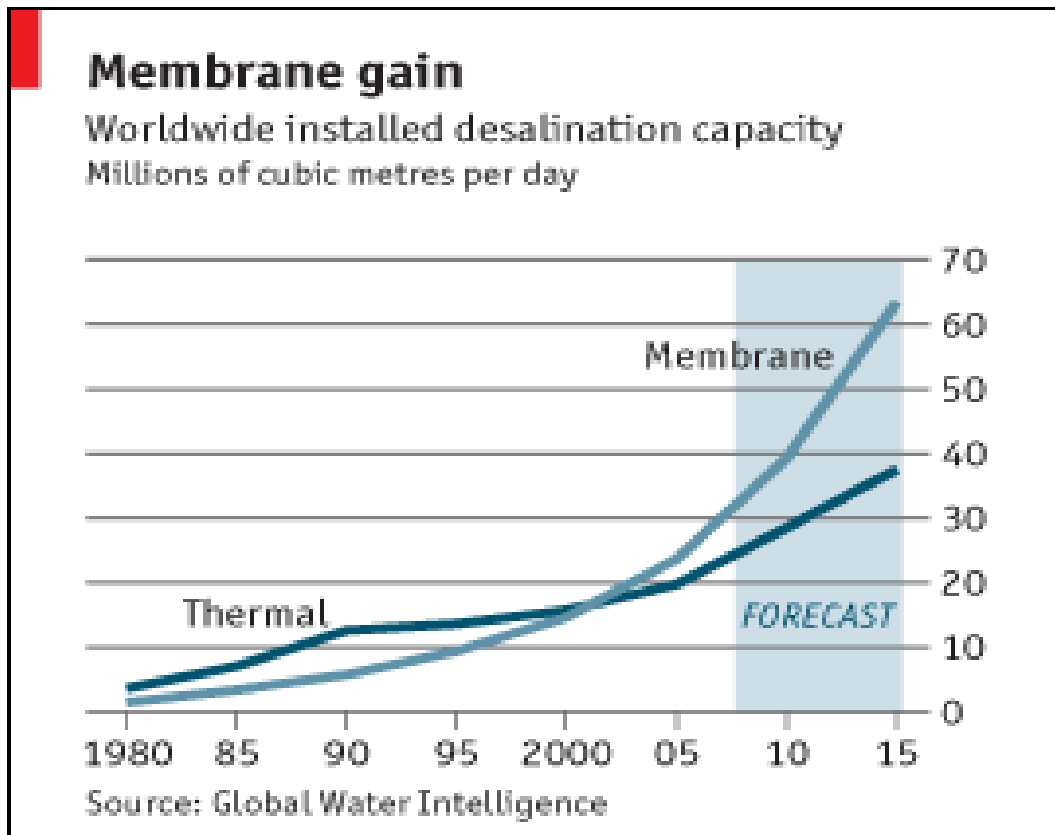
Η Ψύξη είναι η άλλη. Όταν τα παγόβουνα διαμορφώνονται στους πόλους από θαλασσινό νερό, το αλάτι ψύχεται και αυτό, αλλά το αλάτι αφαιρείται φυσικά, μετά από ένα χρονικό διάστημα, (γι' αυτό και τα παγόβουνα που είναι χωρίς αλάτι είναι πιο ελαφριά και επιπλέουν στην θάλασσα). Η φυσική αυτή διαδικασία όμως, είναι πολύ δύσκολο να αναπαραχθεί σε εργοστασιακή κλίμακα.

## Μέθοδοι αφαλάτωσης ( Desalination methods )

- Απόσταξη (Distillation)
  1. Multi stage flash (MSF)
  2. Multiple effect evaporator (MED/ME)
  3. Συμπύκνωση ατμού (Vapor compression evaporation, VC)
  4. Εξαέρωση / Συμπύκνωση (evaporation/condensation)
- Μέθοδοι με μεμβράνες (Membrane processes)
  1. Ηλεκτρόλυση (Electro dialysis reversal, EDR)
  2. Αντίστροφη όσμωση (Reverse osmosis, RO)
  3. Νανόφιλτρα (Nanofiltration, NF)
  4. Ευθεία όσμωση ( Forward osmosis, FO)
  5. Δύλιση με μεμβράνες ( Membrane distillation, MD)
- Πάγωμα ( freezing)
- Γεωθερμική αφαλάτωση ( Geothermal desalination)
- Κρυσταλλοποίηση με υδρικό αιθάνιο ( Methane hydrate crystallization)
- Υψηλής ποιότητας ανακύκλωση νερού (High grade water recyching)
- Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών (Solar humidification HDH, MEH).

Πίνακας 1: Συνοπτική παρουσίαση των μεθόδων αφαλάτωσης.

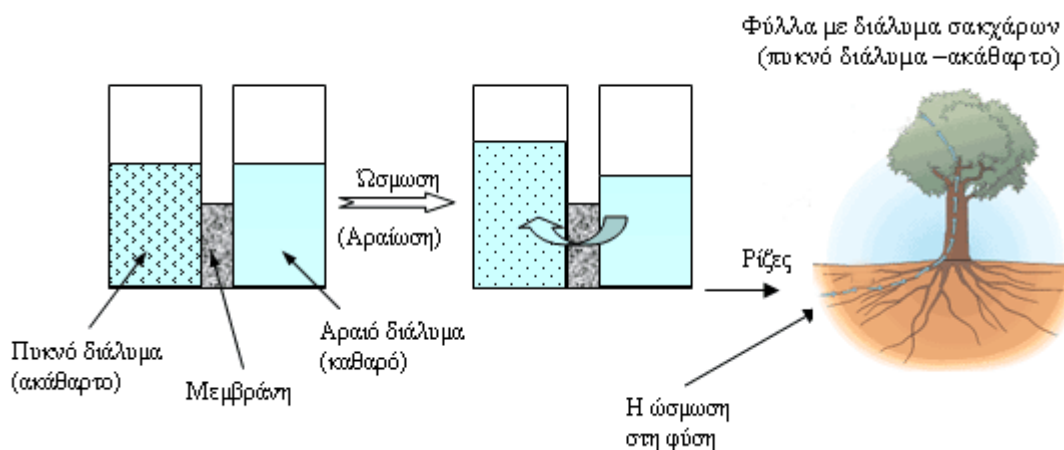
Παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα χρήσης των δύο κύριων μεθόδων αφαλάτωσης από το '80 μέχρι και σήμερα.



Πηγή: Economist 7 June 2008

## 4.2 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ

Ωσμωση ονομάζεται το φαινόμενο της διέλευσης περισσότερων μορίων διαλύτη, μέσω ημιπερατής μεμβράνης, από τον διαλύτη στο διάλυμα ή από το διάλυμα μικρότερης συγκέντρωσης ( αραιότερο ) προς το διάλυμα μεγαλύτερης συγκέντρωσης σε διαλυμένη ουσία ( πυκνότερο ).



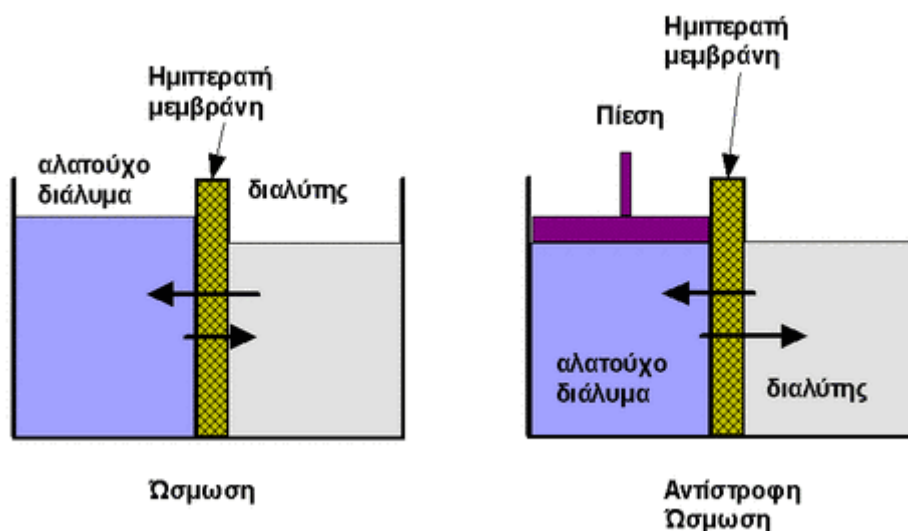
Η αντίστροφη ώσμωση (reverse osmosis) είναι μία διαδικασία αφαλάτωσης με την οποία ο διαλύτης ενός διαλύματος, συνήθως το νερό, μεταφέρεται και διαχωρίζεται μέσω μεμβράνης, από τα συστατικά του διαλύματος, με την άσκηση πίεσης.

Οι ημιπερατές μεμβράνες που επιτρέπουν την διέλευση του νερού αλλά όχι των αλάτων αποτελούν την καρδιά του συστήματος αφαλάτωσης. Αν και οι ημιπερατές ιδιότητες διαφόρων μεμβρανών ήταν γνωστές για πολλά χρόνια, μόλις το 1959 από τις εργασίες των C.E. Reid και E.J. Breton κατέστη δυνατή η παρασκευή κατάλληλων ημιπερατών μεμβρανών από οξική κυτταρίνη, που επέτρεπαν την διέλευση νερού, αλλά όχι αλάτων. Έκτοτε πλήθος ερευνητών ασχολήθηκαν με το θέμα, λόγω της σπουδαιότητάς του και της πρακτικής εφαρμογής του, με αποτέλεσμα την παρασκευή πλήθους μεμβρανών, αλλά και την μοντελοποίηση της όλης διεργασίας της αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση, έτσι ώστε να μειωθεί το κόστος της αφαλάτωσης.

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου στηρίζεται στο φαινόμενο της ώσμωσης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Μια ημιπερατή μεμβράνη



χωρίζει ένα διάλυμα από τον καθαρό διαλύτη. Ο όρος ημιπερατή μεμβράνη (semipermeable membrane) αναφέρεται σε εκείνες τις μεμβράνες οι οποίες επιτρέπουν την διέλευση από αυτές κάποιων συστατικών, κυρίως του διαλύτη ενός διαλύματος, ενώ δεν επιτρέπουν στα συστατικά του διαλύματος να περνούν.



Η ταχύτητα διόδου του νερού από τον καθαρό διαλύτη προς το διάλυμα είναι μεγαλύτερη από εκείνη από το διάλυμα προς τον διαλύτη. Έτσι ο διαλύτης μεταφέρεται από το νερό προς το διάλυμα και το φαινόμενο ονομάζεται ώσμωση (osmosis). Η διεργασία της ώσμωσης θα συνεχιστεί μέχρις ό, του οι δύο συγκεντρώσεις να γίνουν ίσες. Επειδή κάτι τέτοιο δεν πρόκειται να συμβεί ποτέ, αφού από την μία πλευρά έχουμε καθαρό διαλύτη, θεωρητικά το φαινόμενο να εξελισσόταν συνεχώς. Στην πράξη λόγω της αύξησης του όγκου του διαλύματος και ανύψωσης της στάθμης του, έχουμε την άσκηση υδροστατικής πίεσης, από την μεριά του διαλύματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας διόδου του διαλύτη από το διάλυμα προς τον διαλύτη. Έτσι κάποια στιγμή οι δύο ταχύτητες από και προς το διάλυμα θα εξισωθούν και τότε θα έχουμε μια δυναμική ισορροπία, έτσι ώστε το φαινόμενο της ώσμωσης να σταματήσει μακροσκοπικά.

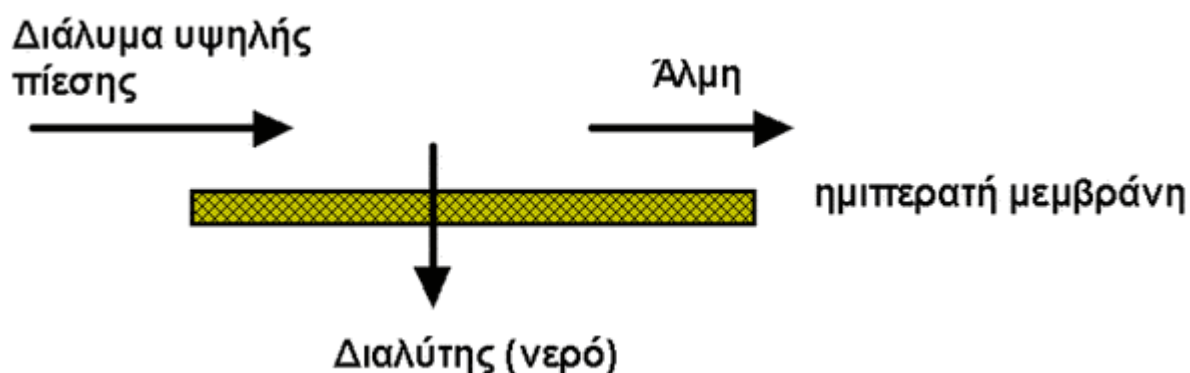
Η εξωτερική πίεση που θα μπορούσαμε να ασκήσουμε στο διάλυμα, ώστε να σταματήσει το φαινόμενο της ώσμωσης, χωρίς να αλλάξει ο όγκος του

διαλύματος ονομάζεται οσμωτική πίεση και είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης του διαλύματος και της θερμοκρασίας.

$$\Pi = C \cdot R \cdot T$$

Όπου  $\Pi$  η οσμωτική πίεση,  $c$  η συγκέντρωση του διαλύματος σε mol/lit,  $R^*$  η παγκόσμια σταθερά των αερίων και  $T$  η απόλυτη θερμοκρασία.

Εάν τώρα ασκήσουμε μία εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την οσμωτική πίεση, με την βοήθεια ενός εμβόλου στη μεριά του διαλύματος, τότε η φορά μετακίνησης του διαλύτη θα αλλάξει, με το νερό να κινείται από το διάλυμα προς το διαλύτη. Αυτή είναι η διεργασία την αντίστροφης ώσμωσης.



Μια αντλία υψηλής πίεσης διοχετεύει συνεχώς το αλατούχο διάλυμα στην επιφάνεια της μεμβράνης, η οποία βρίσκεται μέσα σ' ένα δοχείο υψηλής πίεσης. Το διάλυμα τροφοδοσίας διαχωρίζεται σε δύο μέρη. Σε εκείνο που διέρχεται από τη μεμβράνη και είναι το καθαρό παραγόμενο νερό με πολύ μικρή συγκέντρωση αλάτων και στο απορριπτόμενο διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης, την άλμη.

#### 4.2.1 Μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης

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

- Μεγάλη απόρριψη αλάτων με υψηλή διαπερατότητα διαλύτη
- Ικανότητα να σχηματίζει λεπτά διαχωριστικά στρώματα μεγάλης αντοχής
- Ικανότητα κατασκευής με μεγάλο λόγο επιφάνειας προς όγκο

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

Μέχρι σήμερα καμία μεμβράνη δεν ικανοποιεί όλες τις προηγούμενες ιδιότητες. Άλλωστε κάποιες από αυτές είναι ανταγωνιστικές κάποιων άλλων έτσι ώστε να πρέπει να αριστοποιήσουμε για να έχουμε την καλύτερη συμπεριφορά της διεργασίας της αντίστροφης ώσμωσης, RO.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι μεμβρανών:

1. οι ασύμμετρες μεμβράνες (asymmetric membranes)
2. οι σύνθετες μεμβράνες (composite membranes)

και η διαμόρφωσή τους έχει ως εξής:

- σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών
- δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών
- στοιχεία μεμβρανών σπειροειδούς περιέλιξης
- στοιχεία μεμβρανών κοίλων ινών

Οι δύο τελευταίες διαμορφώσεις είναι εκείνες που κυριαρχούν στην διεθνή εμπορική αγορά, με τις δύο πρώτες να χρησιμοποιούνται κυρίως για ερευνητικούς σκοπούς.

#### 4.2.2 Θεωρητική μελέτη λειτουργίας μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης

Η εξήγηση της διεργασίας της αφαλάτωσης με την λογική της διήθησης ίσως φαίνεται ελκυστική, απέχει πάντως πολύ από την πραγματικότητα. Αρκεί κανείς να σκεφτεί ότι η διήθηση οφείλεται στη διαφορά μεγέθους των σωματιδίων, κάτι που δεν ισχύει στην περίπτωση της αφαλάτωσης αφού τα ιόντα των αλάτων είναι μικρότερου μεγέθους από τα μόρια του νερού, τα οποία άλλωστε σχηματίζουν και μεγαλομόρια μέσω των δεσμών υδρογόνου.

Οι σύνθετες μεμβράνες δεν παρουσιάζουν πόρους στην επιφάνεια τους και συνεπώς δεν μπορούν να λειτουργήσουν ως φίλτρα.

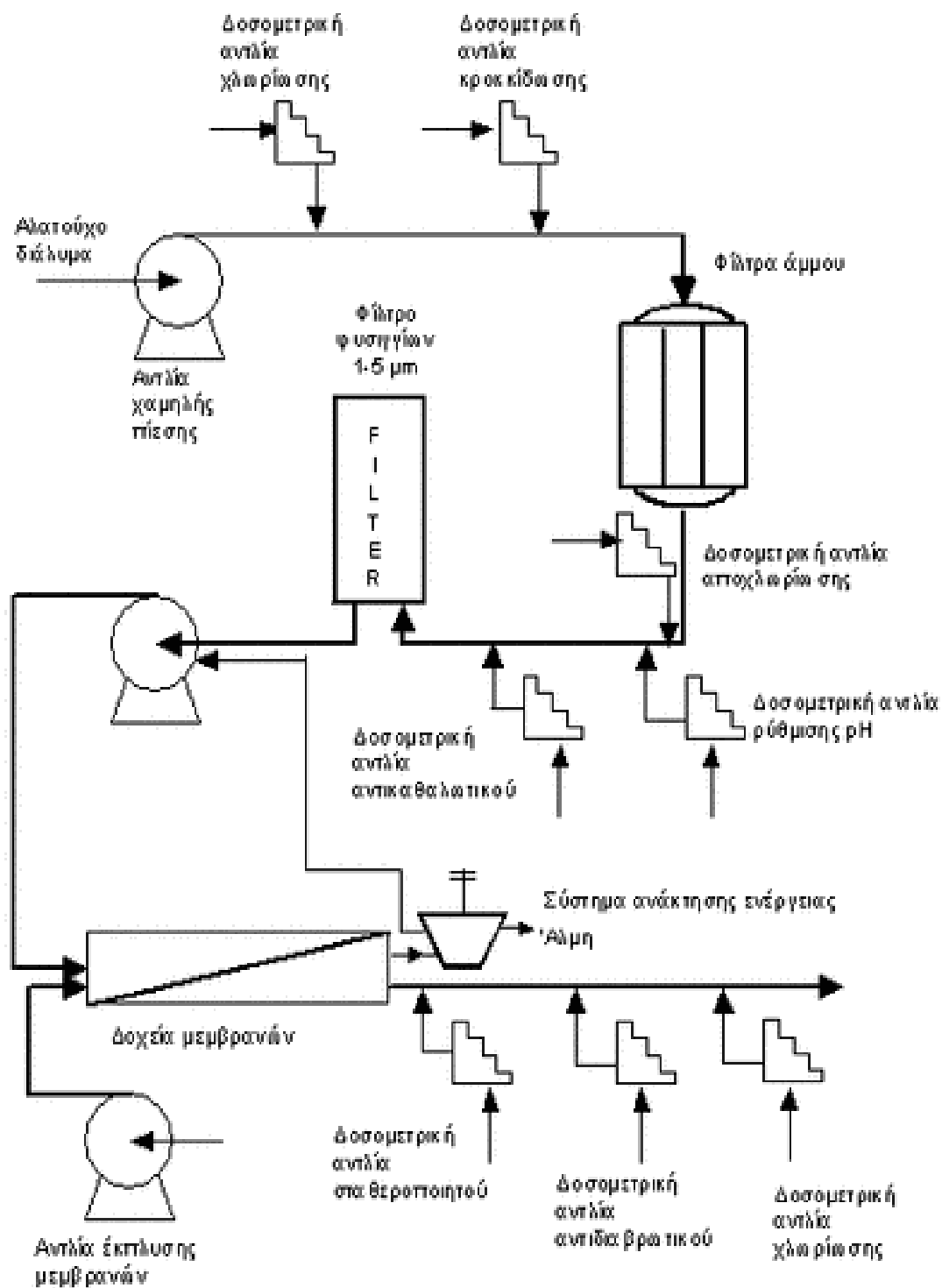
Για την εξήγηση του φαινομένου της αφαλάτωσης και του τρόπου που αυτή γίνεται με την βοήθεια των μεμβρανών έχουν αναπτυχθεί διάφορες θεωρίες. Οι θεωρίες αυτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Στις δομικές θεωρίες (structural theories) που προσπαθούν να συνδέσουν την δομή των μεμβρανών με τις απορριπτικές ιδιότητες τους στα άλατα. Οι θεωρίες αυτές μπορούν να οδηγήσουν μόνο σε ποιοτικά συμπεράσματα, διότι η μαθηματική επεξεργασία τους είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη.
- Στις φαινομενολογικές θεωρίες (phenomenological theories) όπου γίνεται προσπάθεια σύνδεσης των ιδιοτήτων απόρριψης των μεμβρανών με μακροσκοπικές ιδιότητες που μπορούν να μετρηθούν. Αν και η προσέγγιση αυτή δεν δίνει καμία πληροφορία για τις μακροσκοπικές ιδιότητες και τον μηχανισμό αφαλάτωσης, είναι πολύ χρήσιμες για την διατύπωση σχέσεων που περιγράφουν την συμπεριφορά των μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης. Επίσης μπορούν να χρησιμεύσουν στην εξέταση παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν τη διεργασία της αφαλάτωσης.

#### *4.2.3 Σχεδιασμός εγκαταστάσεων αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση*

Ένα σύστημα παραγωγής αφαλατωμένου νερού με αντίστροφη ώσμωση αποτελείται από τρία κυρίως μέρη:

- Το σύστημα προ-κατεργασίας νερού
- Το κυρίως σύστημα αφαλάτωσης
- Το σύστημα μετ-επεξεργασίας νερού.



Μονογραμμικό διάγραμμα μιας πλήρους εγκατάστασης αφαλάτωσης με R.O.

#### 4.2.4 Σχεδιασμός συστήματος αντίστροφης όσμωσης

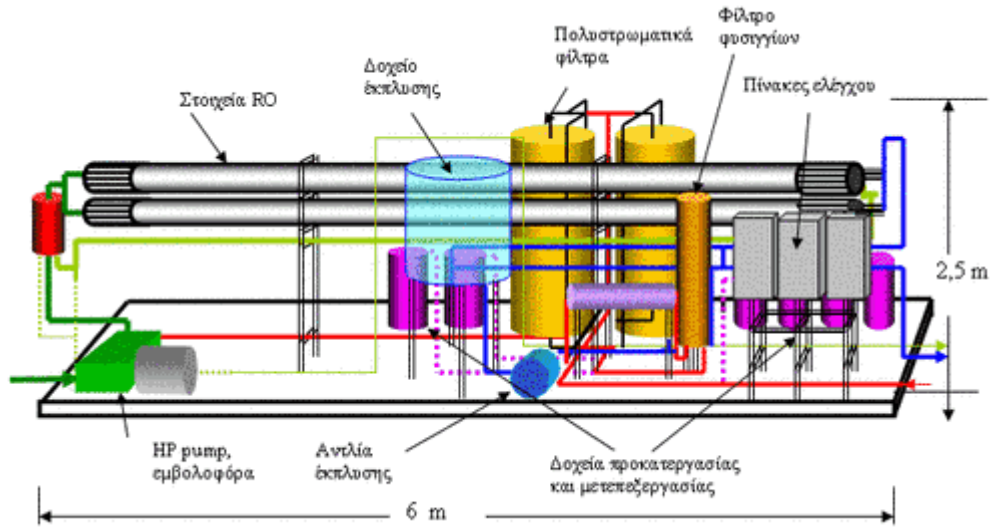
Ο σχεδιασμός μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση θα πρέπει να περιλαμβάνει όλα εκείνα τα στοιχεία που θα επιτρέπουν την κατασκευή και οικονομική λειτουργία της εγκατάστασης. Δηλαδή θα πρέπει να μελετά και να υπολογίζει τα εξής:

- Επιλογή παραμέτρων λειτουργίας, ανάκτησης, ποιότητας νερού, πίεσης κλπ.
- Σχεδιασμός του κυρίως συστήματος αντίστροφης όσμωσης, αριθμός και διευθέτηση στοιχείων μεμβρανών
- Υδροδυναμικό σχεδιασμό της εγκατάστασης, διαστάσεις σωληνώσεων και εξαρτημάτων, φίλτρων κλπ.
- Υπολογισμό αντλητικών συστημάτων
- Επιλογή υλικών κατασκευής
- Υπολογισμός βοηθητικών εγκαταστάσεων, προκατεργασίας, μετεπεξεργασίας, χημικού καθαρισμού κλπ.
- Σχεδιασμός λειτουργίας εγκατάστασης
- Επιλογή ενδεικτικών οργάνων και οργάνων ελέγχου
- Κατασκευαστικά σχέδια της εγκατάστασης και διαγράμματα ροής
- Σχεδιασμός συστήματος ελέγχου
- Υπολογισμός κόστους κατασκευής και λειτουργίας της μονάδας.

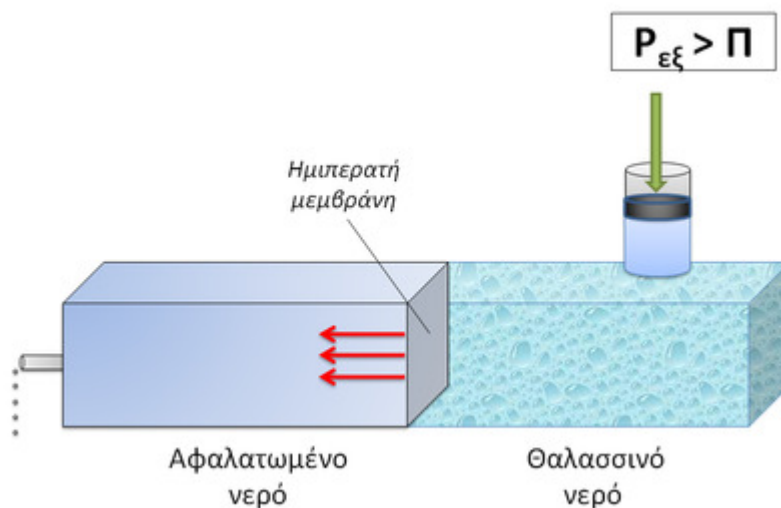
Για το σχεδιασμό του κυρίως συστήματος αντίστροφης όσμωσης διατίθενται από τις εταιρίες παραγωγής στοιχείων μεμβρανών ειδικά λογισμικά, τα οποία μας παρέχουν τον αριθμό και την διάταξη των στοιχείων μεμβρανών, την απαιτούμενη ισχύ της αντλίας υψηλής πίεσεως, και μέρος της προ-κατεργασίας, σύμφωνα με την επιθυμητή παραγωγή και τη σύσταση του νερού προς επεξεργασία.

Εκτός από το σχεδιασμό του συστήματος απαιτείται και η χωροθέτηση κατά εργονομικό τρόπο των επί μέρους εξαρτημάτων της μονάδας

αφαλάτωσης. Στο επόμενο σχήμα δίνεται η τρισδιάστατη απεικόνιση μιας μικρής μονάδας αφαλάτωσης δυναμικότητας 100m<sup>3</sup>/day.



### Αντίστροφη ώσμωση



### Αναπαράσταση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με αντίστροφη ώσμωση

Όταν στο διάλυμα που έρχεται σε επαφή μέσω της ημιπερατής μεμβράνης με τον καθαρό διαλύτη ασκηθεί πίεση μικρότερη από την οσμωτική πίεση του διαλύματος (δηλ. όταν  $P_{εξ} < \Pi$ ), τότε στο διάλυμα θα συνεχίσει να εισέρχεται διαλύτης, αλλά με μικρότερο ρυθμό.

Όταν στο διάλυμα ασκηθεί εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την οσμωτική πίεση του διαλύματος (δηλ.  $P_{εξ} > \Pi$ ), τότε το φαινόμενο

αντιστρέφεται και μόρια διαλύτη θα εξέρχονται από το διάλυμα προς τον καθαρό διαλύτη (ή από το πυκνότερο προς το αραιότερο διάλυμα). Το φαινόμενο αυτό λέγεται αντίστροφη ώσμωση. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η συγκέντρωση του διαλύματος, αφού απομακρύνεται μέρος από την ποσότητα του διαλύτη.

Το φαινόμενο της αντίστροφης ώσμωσης βρίσκει εφαρμογή στην **αφαλάτωση του θαλασσινού νερού** για την αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας : Η ωσμωτική πίεση του νερού των ωκεανών είναι 27 Atm. Αν ασκηθεί αρκετά μεγάλη εξωτερική πίεση (περίπου 70 Atm), η ώσμωση μπορεί να σταματήσει και να αντιστραφεί, οπότε από τη μεμβράνη θα παρέχεται καθαρό νερό. Οι ημιπερατές μεμβράνες κατασκευάζονται από οξική κυτταρίνη ή από πολυαμίδια με τη μορφή μικροσκοπικών διάτρητων ινών. Το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας εισάγεται υπό πίεση στις ίνες και εξέρχεται αφαλατωμένο.

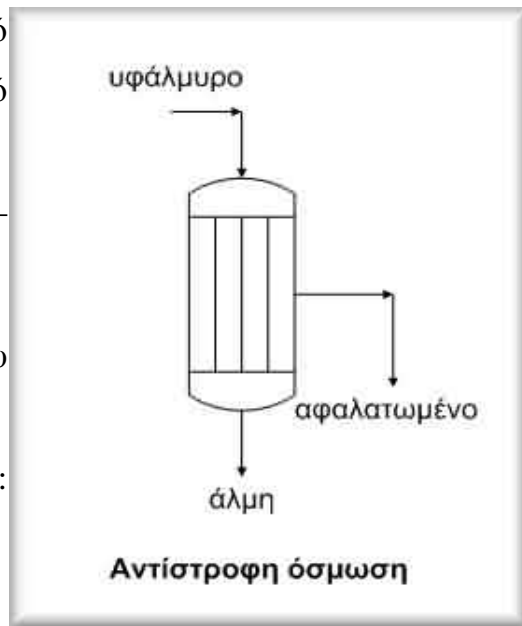
Η μεγαλύτερη εγκατάσταση αφαλάτωσης στον κόσμο βρίσκεται στη Σαουδική Αραβία όπου παράγεται το 50 % του νερού που καταναλίσκεται, με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Τα τελευταία χρόνια η μέθοδος αυτή έχει εξαπλωθεί και σε πολλές πόλεις των Η.Π.Α. Για παράδειγμα στην πόλη Σάντα Μπάρμπαρα από το 1992 λειτουργεί εγκατάσταση αντίστροφης ώσμωσης για την παραγωγή 30400 m<sup>3</sup> πόσιμου νερού τη μέρα.

Ανάλογες συσκευές, μικρής δυναμικότητας, είναι συχνά χειροκίνητες και χρησιμοποιούνται στα πλοία ή σε ορισμένες εγκαταστάσεις ξηράς π.χ. σε κάμπινγκ

Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης απαιτεί ενέργεια ή μηχανικό έργο για να κινήσει μια αντλία υψηλής πίεσεως η οποία αυξάνει την πίεση του αλατούχου διαλύματος σε τιμές που είναι εφικτή η πραγματοποίηση της διεργασίας της αντίστροφης ώσμωσης (οσμωτική πίεση). Η τιμή αυτή της πίεσεως εξαρτάται κατά μείζονα λόγο από τη συγκέντρωση του άλατος στο διάλυμα. Μια τυπική της τιμή μπορεί να θεωρηθεί της τάξεως των 65 bar.



- λειτουργεί με νερό θαλασσινό (θ) και νερό υφάλμυρο (υ).
- Εύρος μεγεθών: 0,4 – 128000 m<sup>3</sup> / ημέρα (θ)
- 2,5 – 98000 m<sup>3</sup> / ημέρα (υ)
- Ποιότητα παραγόμενου νερού: 250 – 500 ppm TDS
- Απαιτούμενη ενέργεια: ηλεκτρική 3 - 15 Kw/m<sup>3</sup> (θ)
- ηλεκτρική 0,5 – 3 Kw/m<sup>3</sup> (υ)



Η απαιτούμενη ενέργεια αρχικά ήταν πολύ υψηλή. Με την αύξηση της ανάκτησης του νερού ( παραγόμενη ποσότητα / ποσότητα νερού τροφοδοσίας), την αύξηση της θερμοκρασίας και την ανάκτηση ενέργειας από την άλμη η κατανάλωση της ενέργειας ελαττώθηκε.

Το κόστος της εγκατάστασης ενός συστήματος αντίστροφης όσμωσης με το πέρασ των ετών έχει μειωθεί γι' αυτό το μέγεθος των εγκαταστάσεων έχει δεκαπλασιαστεί από το 1995 έως το 2005. Αυτό έχει και σαν συνέπεια το κόστος του πόσιμου νερού το οποίο είναι: 1€/ m<sup>3</sup> για το θαλασσινό νερό και 0,44€/ m<sup>3</sup> για το υφάλμυρο νερό.

Δεν είναι όμως μόνο το κόστος της εγκατάστασης που έχει αλλάξει αλλά και η ποιότητα των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται.

Έτη	1980	1990	2000
Ανάκτηση νερού (%)	25	40 – 50	55 – 65
Πίεση λειτουργίας (bar)	70	83	97
Αλατότητα παραγόμενου νερού (ppm)	500	300	<200
Ειδική κατανάλωση (KW/m <sup>3</sup> )	12	6	2 – 5

Πίνακας πρόοδος αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση.

#### **4.3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ:**

Η θερμική μέθοδος αφαλάτωσης είναι μία μέθοδος απομάκρυνσης διαλυμένων ουσιών. Χρησιμοποιείται όταν διαθέτουμε υπερβολικά επιβαρυμένα νερά (θάλασσα) ή χαμηλού κόστους θερμική ενέργεια.

Στους βραστήρες, ενώ έχουμε πολύ ικανοποιητική απομάκρυνση των διαλυμένων υγρών και των στερεών ουσιών, έχουμε μηδενικά κατακράτηση των διαλυμένων αερίων τα οποία θα αποστάξουν στο αφαλατωμένο νερό.

Η λύση των βραστήρων παρουσιάζεται δελεαστική σε μονάδες που είναι:



- κοντά σε παραλία
- διαθέτουν αμελητέο ή χαμηλό κόστος θερμική ενέργειας
- βρίσκονται σε περιοχές που υπάρχει έλλειψη φυσικού πόσιμου νερού
- το διατιθέμενο νερό είτε τοπικών δικτύων είτε γεωτρήσεων είναι επιβαρυμένης ποιότητας

Η θερμική μέθοδος της αφαλάτωσης μπορεί να είναι:

1. Η πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση όπου αντιπροσωπεύει το 93% των θερμικών μεθόδων.
2. Η απόσταξη σε πολλαπλές βαθμίδες και
3. Η εξάτμιση με επανασυμπύεση ατμών.

#### *4.3.1. Πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση (ΠΕΕ)*

Η πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση βασίζεται στην παραγωγή ατμού από θαλασσινό νερό ή άλμη λόγω της ξαφνικής μείωσης της πίεσης κατά την είσοδο του θαλασσινού νερού σε θάλαμο κενού. Η διεργασία επαναλαμβάνεται από βαθμίδα σε βαθμίδα σε βαθμιαίως ελαττούμενη πίεση. Η εν λόγω διεργασία εξωτερική τροφοδοσία με ατμό, σε θερμοκρασίες της τάξεως των 100°C.

#### *4.3.2 Αφαλάτωση με απλή και πολλών βαθμιδών απόσταξη*

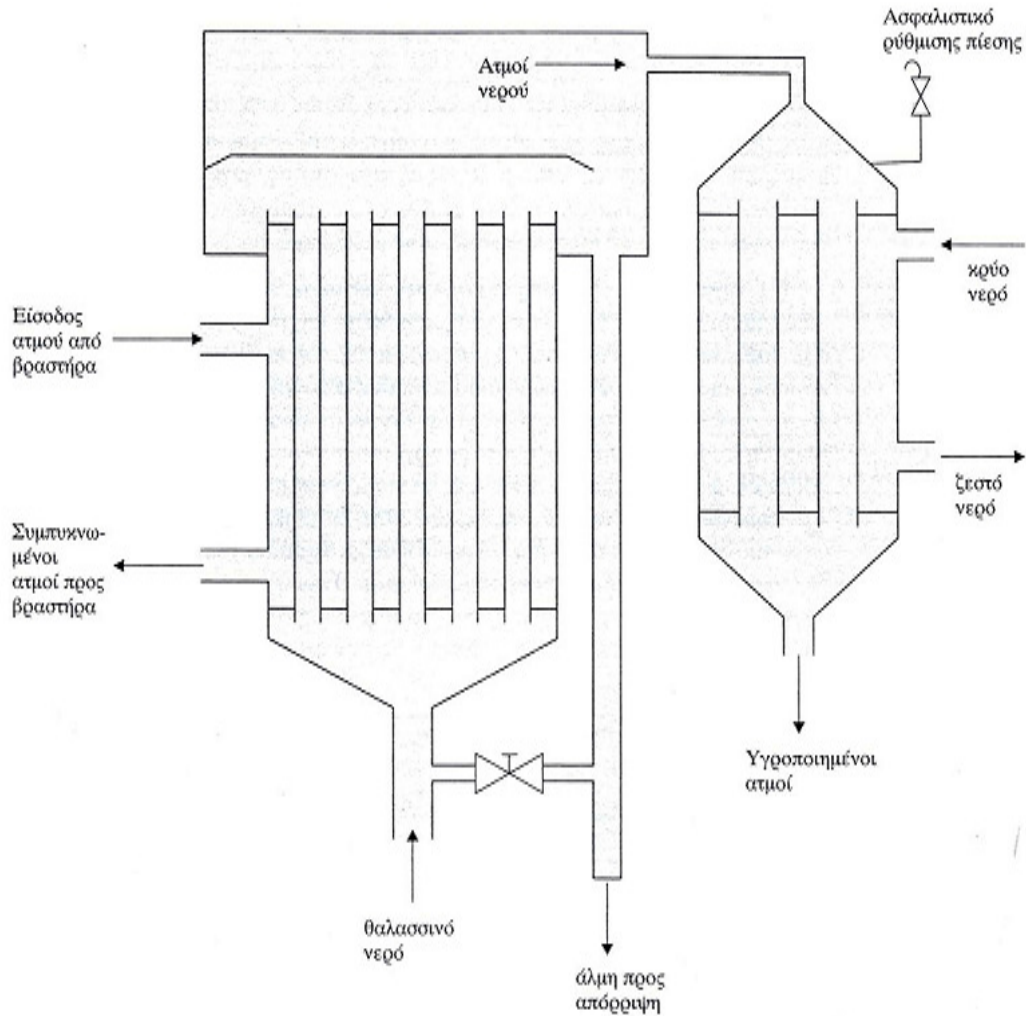
Η μέθοδος της αφαλάτωσης με απόσταξη στηρίζεται στο γεγονός ότι η θέρμανση του θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού εξαερώνει το νερό ενώ τα εν διαλύσει στερεά παραμένουν αμετάβλητα στο υπόλοιπο διάλυμα. Αυτό βεβαίως όταν η θερμοκρασία της λειτουργίας της διεργασίας της απόσταξης δεν υπερβαίνει τους 300C. Επειδή για να έχουμε απόσταξη απαιτείται και με τους δύο τρόπους μετάδοσης θερμότητας δίδονται παρακάτω οι βασικές αρχές της μετάδοσης θερμότητας.

##### *4.3.2.1 Διεργασία αφαλάτωσης με Απλή απόσταξη*

Η διεργασία αφαλάτωσης με απλή απόσταξη δίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η θάλασσα ή το υφάλμυρο νερό, εισάγεται από το κάτω μέρος ενός εναλλάκτη θερμότητας.

Η θάλασσα θερμαίνεται στον εναλλάκτη από ατμούς νερού σε θερμοκρασία βρασμού ή υπέρθερμους, οι οποίοι υγροποιούνται και επιστρέφουν στο βραστήρα στην ίδια θερμοκρασία. Το αλατούχο νερό φτάνει

στο σημείο βρασμού του οπότε ατμοί νερού αρχίζουν να ανέρχονται στην αποστακτική στήλη. Η θερμοκρασία του υπέρθερμου ατμού θα πρέπει να είναι οπωσδήποτε να είναι μεγαλύτερη από το σημείο βρασμού του αλατούχου νερού. Επειδή πολλές φορές η θερμοκρασία των υπέρθερμών ατμών είναι σταθερή και μη ελεγχόμενη, θα πρέπει να ρυθμίζουμε την πίεση στον αποστακτήρα ώστε το σημείο του βρασμού του αλατούχου διαλύματος να είναι μικρότερο από τη θερμοκρασία των υπέρθερμων ατμών. Καθώς το νερό εξατμίζεται και ανέρχεται στην αποστακτική στήλη η συγκέντρωση του αλατούχου νερού αυξάνει και τελικά ανάλογα με το σχεδιασμό που έχουμε κάνει απορρίπτεται από την έξοδο ως άλμη. Εάν θέλουμε μπορούμε να ανακυκλώσουμε την άλμη και να εξάγουμε περισσότερο από αυτήν. Η απορριπτόμενη άλμη βρίσκεται στη θερμοκρασία βρασμού. Έτσι το ενεργειακό της περιεχόμενο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τη βοήθεια ενός εναλλάκτη θερμότητας.



Σχήμα 5: Απλή απόσταξη

Οι παραγόμενοι ατμοί του νερού με τη βοήθεια ενός συμπυκνωτή υγροποιούνται προς νερό, το οποίο με την κατάλληλη μετ-επεξεργασία διατίθεται στην κατανάλωση. Η μέθοδος της απλής απόσταξης που παρουσιάστηκε είναι η πρώτη ιστορικά μέθοδος αφαλάτωσης που εφαρμόστηκε.

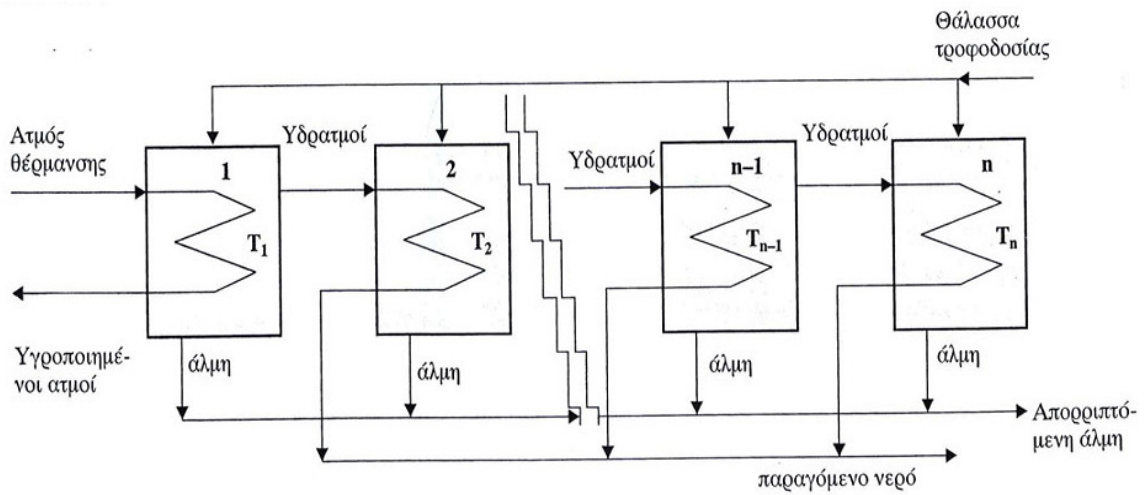
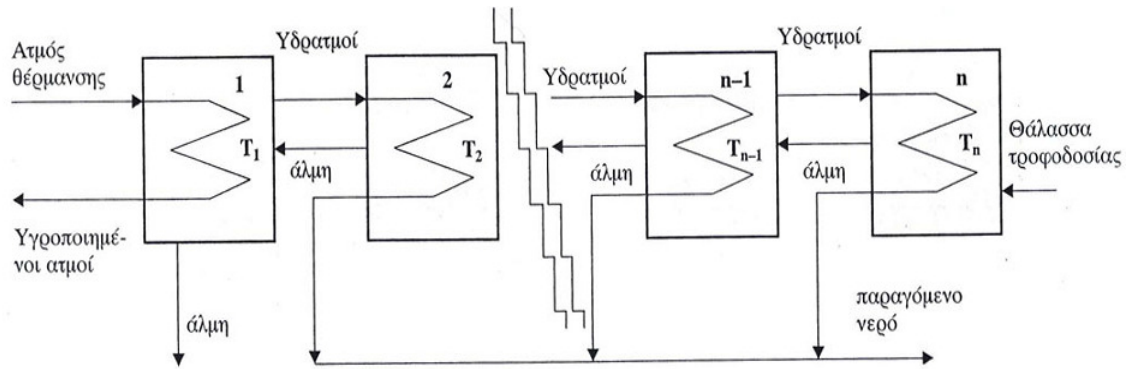
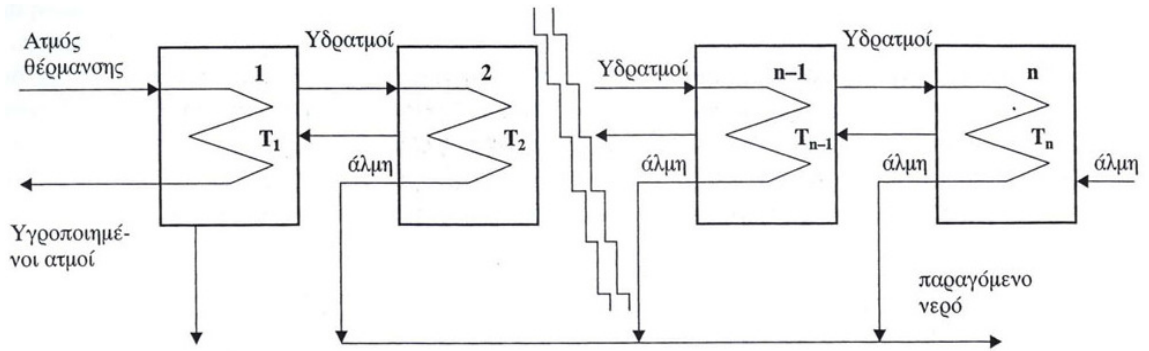
#### 4.3.3 Απόσταξη πολλών βαθμίδων

Η χρησιμοποίηση πολυβάθμιων αποστακτήρων γίνεται με στόχο την ελάττωση του κόστους παραγωγής νερού μέσω της αύξησης της αποδοτικότητας του αποστακτήρα και της μείωσης της χρησιμοποιούμενης ενέργειας. Από την άλλη πλευρά δεν απορρίπτεται στο περιβάλλον άλη και

νερό ψύξης υψηλού θερμικού περιεχόμενου που αποτελεί θερμική μόλυνση για το περιβάλλον. Η βασική αρχή λειτουργίας των πολυβάθμιων αποστακτήρων είναι ότι μειούμενης της πίεσης λειτουργίας κάθε σταδίου μειώνεται και το σημείο βρασμού του αποσταζόμενου διαλύματος. Έτσι οι παραγόμενοι ατμοί από τον πρώτο αποστακτήρα ψύχονται στον δεύτερο αποστακτήρα και η θερμότητα που παράγεται χρησιμοποιείται για το βράσιμο του θαλασσινού νερού στον δεύτερο αποστακτήρα. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται και στις επόμενες βαθμίδες. Με απλά λόγια ο δεύτερος εξατμιστήρας λειτουργεί ως συμπυκνωτής για τον πρώτο, ο τρίτος για τον δεύτερο κλπ.

Λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες θερμότητας είναι προφανές ότι η θερμοκρασία βρασμού και συνεπώς η πίεση του διαλύματος τροφοδοσίας θα μειώνεται συνεχώς. Η παραγόμενη άλμη από την πρώτη βαθμίδα, που βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία αποτελεί το διάλυμα τροφοδοσίας στη δεύτερη βαθμίδα κλπ. έτσι δεν απαιτείται η θέρμανση του διαλύματος τροφοδοσίας μέχρι το σημείο της ζέσεώς του, διότι το σημείο ζέσεως σε κάθε επόμενη βαθμίδα είναι μικρότερο της προηγούμενης.

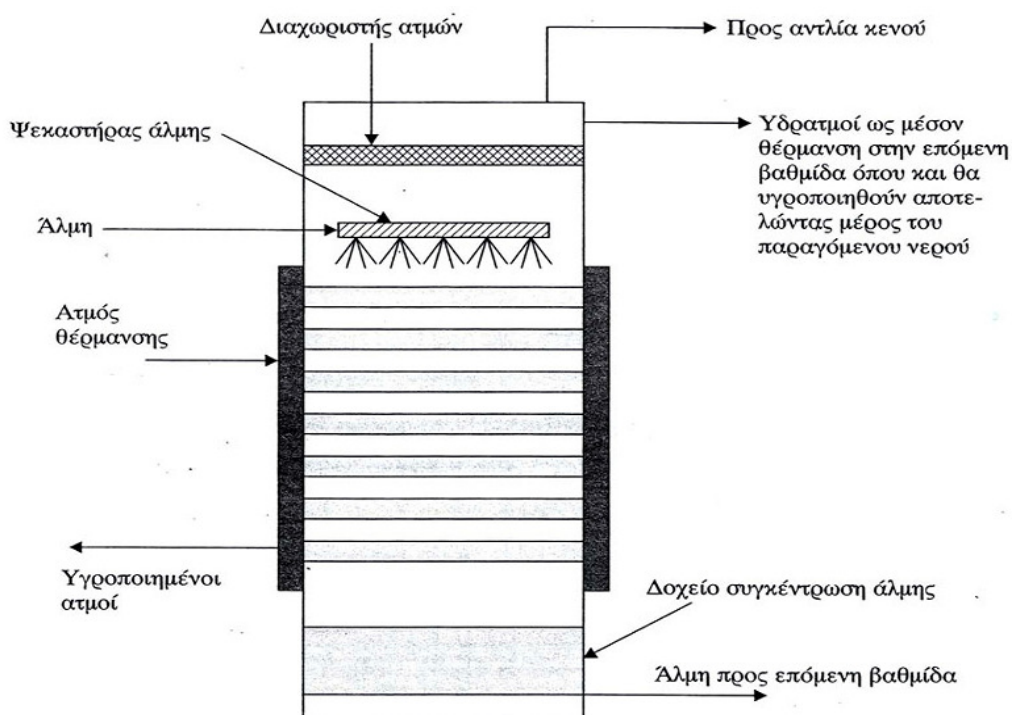
Στα παρακάτω σχήματα δίνονται παραστατικά μία εγκατάσταση πολυβάθμιας απόσταξης όπου η ροή του διαλύματος τροφοδοσίας γίνεται κατά διαδοχικό τρόπο στις βαθμίδες απόσταξης.



Η πίεση σε όλους τους αποστακτήρες είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής και συνεπώς απαιτούνται αντλίες κενού. Ακόμη θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αντλίες Ρ, που θα μεταφέρουν το παραγόμενο νερό στην κατανάλωση αλλά και όλα τα υπόλοιπα διακινούμενα ρευστά, όπως η άλμη. Επίσης θα πρέπει το διάλυμα τροφοδοσίας να είναι ελεύθερο από μη υγροποιούμενα αέρια. Σε διαφορετική περίπτωση τα αέρια θα συσσωρεύονται στους αποστακτήρες αυξάνοντας την πίεση και τελικά σταματώντας τον βρασμό. Έτσι ο κάθε αποστακτήρας θα έχει τη δική του αντλία κενού ή θα συνδέεται με τον επόμενο που θα έχει ούτως η άλλως χαμηλότερη πίεση και τελευταίος θα συνδέεται με αντλία κενού. Σε κάθε βαθμίδα περιέχονται:

- Εναλλάκτης θερμότητας
- Διαχωριστής ατμών
- Ακροφύσια ψεκασμού άλμης, ο οριζόντιος ψεκαστής κατερχόμενης λεπτής μεμβράνης είναι ο συνηθέστερα χρησιμοποιούμενος
- Δοχείο συγκέντρωσης άλμης

Όλα τα παραπάνω φαίνονται στο επόμενο σχήμα.

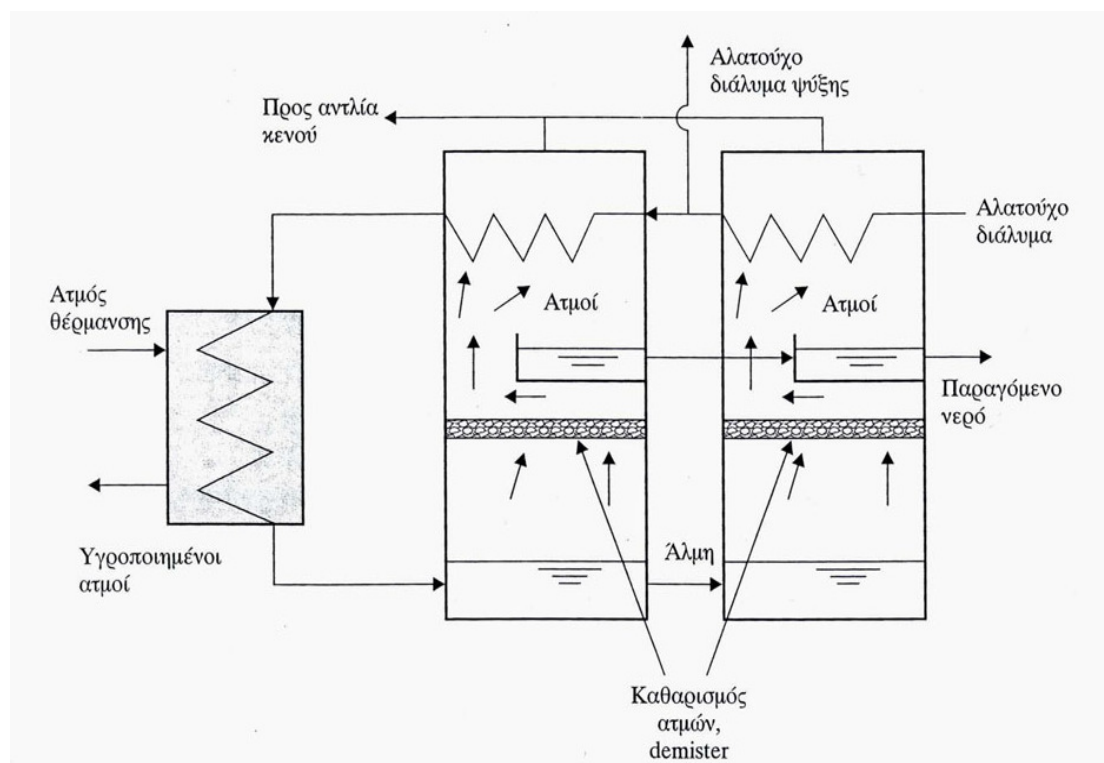




#### 4.4 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΑΣΤΡΑΠΙΑΙΑ ΕΞΑΕΡΩΣΗ

Η μέθοδος αφάλατωσης με πολυβάθμια αστραπιαία εξαέρωση εφαρμόζεται σε εγκαταστάσεις μεγάλης παραγωγής αφάλατωμένου νερού και αποτελεί μια καινοτόμο θεώρηση της απόσταξης. Η βασική διαφορά της μεθόδου αυτής είναι ότι η δημιουργία των ατμών του παραγόμενου νερού γίνεται σε όλη την μάζα της άλμης και όχι στην επιφάνεια των εναλλακτών όπως στην απόσταξη. Η θέρμανση της άλμης και η εξάτμιση του νερού γίνονται σε διαφορετικά δοχεία, σε αντίθεση με την πολυβάθμια απόσταξη όπου γίνονται στο ίδιο δοχείο. Έτσι στην πολυβάθμια αστραπιαία εξαέρωση το αλμυρό νερό θερμαίνεται με έναν εναλλάκτη θερμότητας κάτω από πίεση έτσι ώστε να αποφεύγεται ο βρασμός και κατόπιν διοχετεύεται σε ένα δοχείο χαμηλής πίεσης όπου και λαμβάνει χώρα εξαέρωση του νερού.

Τα στοιχεία και η αρχή της μεθόδου παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα.

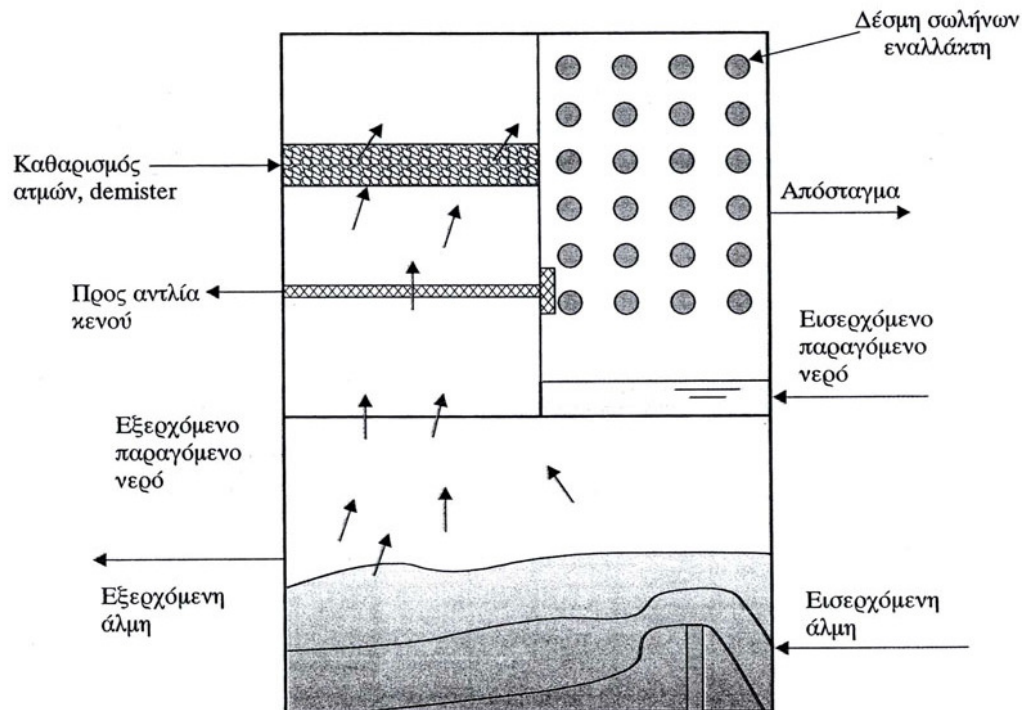


#### 4.4.1 Αρχή της λειτουργίας

Το νερό, θαλασσινό ή υφάλμυρο με την βοήθεια ενός εναλλάκτη θερμότητας, που χρησιμοποιεί θερμούς ατμούς για μέσον θέρμανσης, θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία. Το νερό τροφοδοσίας για λόγους οικονομίας θερμότητας έχει προ-θερμανθεί από τους παραγόμενους ατμούς. Η πίεση παραμένει λίγο μεγαλύτερη από την τάση των ατμών για τη συγκεκριμένη θερμοκρασία. Στη συνέχεια το θερμό πλέον διάλυμα τροφοδοσίας εισέρχεται σε δοχείο όπου η επικρατούσα πίεση είναι μικρότερη από εκείνη του εναλλάκτη. Έτσι το διάλυμα αρχίζει να εξαερώνεται αστραπιαία από όλη τη μάζα του, μέχρις ότου η πίεση γίνει ίση με την τάση κορεσμένων ατμών του διαλύματος. Κατά την διάρκεια του βρασμού απαιτείται σημαντικό ποσό θερμότητας, λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης, το οποίο προσφέρεται από το θερμό διάλυμα τροφοδοσίας το οποίο και ψύχεται. Αποτέλεσμα της ψύξης του διαλύματος είναι η μείωση τελικά της τάσης κορεσμένων ατμών έτσι ώστε τελικά να έχουμε παύση του βρασμού.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι παρά το γεγονός της σημαντικής μείωσης της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του αστραπιαίου βρασμού, η μέθοδος παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως έχει αναφερθεί. Οι παραγόμενοι ατμοί υγροποιούνται στον συμπυκνωτήρα, ο οποίος χρησιμοποιείται ως μέσον ψύξεως στο εισερχόμενο διάλυμα τροφοδοσίας για λόγους οικονομίας κατανάλωσης ενέργειας. Η παραγόμενη άλμη διοχετεύεται στο επόμενο στάδιο όπου και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται αναλυτικότερη εικόνα της βαθμίδας:



#### **4.5 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΗΛΙΑΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΗ**

Όπως έχει είδη αναφερθεί το κόστος παραγωγής αφαλατωμένου νερού εξαρτάται σημαντικά από το κόστος της απαιτούμενης ενέργειας. Έτσι η προσπάθεια χρησιμοποίησης της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή νερού, με μηδενικό κόστος ενέργειας, θα μείωνε σημαντικά το συνολικό κόστος παραγωγής αφαλατωμένου νερού.

##### *4.5.1 Αρχή της μεθόδου ηλιακής εξάτμισης*

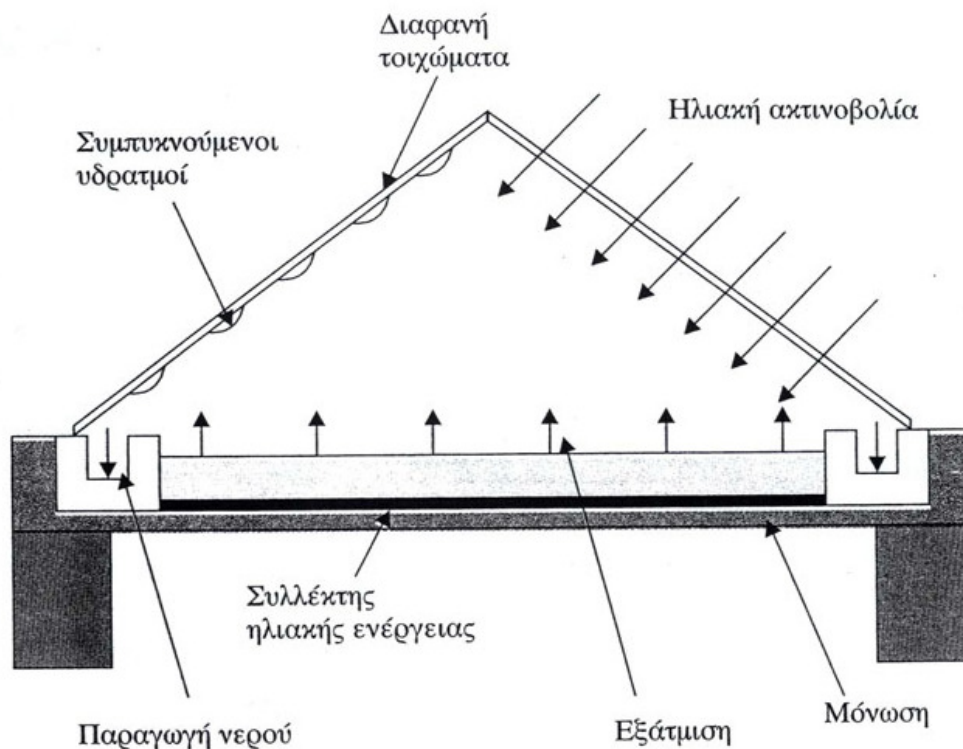
Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μία ανεξάντλητη και χωρίς κόστος μορφή ενέργειας. Αφού για την αφαλάτωση απαιτούνται σημαντικά ποσά ενέργειας είναι λογικό να χρησιμοποιήσει κανείς την ηλιακή ενέργεια ως πηγή ενέργειας για την παραγωγή αφαλατωμένου νερού.

Η χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να γίνει άμεσα στους ηλιακούς αποστακτήρες, όπου το νερό εξατμίζεται άμεσα με την βοήθεια της ηλιακής ενέργειας και οι παραγόμενοι ατμοί συμπυκνώνονται προς το παραγόμενο αφαλατωμένο νερό. Η έμμεση χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνει τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε άλλης μορφής ενέργειας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή αφαλατωμένου νερού με τις γνωστές μεθόδους. Σε αυτές τις περιπτώσεις έχουμε αφαλάτωση κινούμενη με ηλιακή ενέργεια.

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας εφαρμόζεται σε μονάδες μικρής δυναμικότητας και κυρίως στις περιπτώσεις εκείνες που δεν είναι διαθέσιμη άλλη μορφή ενέργειας. Έτσι η μέθοδος χρησιμοποιείται για την παραγωγή νερού σε απομακρυσμένες άνυδρες περιοχές.

Οι ηλιακοί αποστακτήρες είναι απλοί στην κατασκευή τους και την τοποθέτησή τους. Αποτελούνται από ένα τηγάνι (pan) που η επιφάνεια του έχει μεγάλη απορροφητικότητα σε ηλιακή ακτινοβολία, στο οποίο τροφοδοτείται τα θαλασσινό νερό, και ένα διαφανές κάλυμμα το οποίο επιτρέπει τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας από αυτό. Η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει το αλατούχο διάλυμα τροφοδοσίας, το νερό εξατμίζεται και ανέρχεται προς τα πάνω. Συμπυκνώνεται στη διάφανη επιφάνεια η οποία είναι συνήθως κατασκευασμένη από γυαλί, σχηματίζει ένα λεπτό στρώμα που ρέει προς την βάση όπου και συλλέγεται. Στο παρακάτω σχήμα δίνεται η μορφή ενός ηλιακού αποστακτήρα αυτής της μορφής, τύπου θερμοκηπίου.

Η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται από τα διαφανή τοιχώματα, τα οποία στην περίπτωση του παραπάνω σχήματος έχουν ισόπλευρη διάταξη και απορροφάτε από τη βάση του τηγανιού. Η βάση του τηγανιού έχει καλυφθεί από ένα φωτο-απορροφητικό υλικό. Το υλικό αυτό είναι συνήθως χρωστική μαύρου χρώματος ή διάφορα πολυμερή υλικά. Το τηγάνι πληρούται από το διάλυμα προς αφαλάτωση, το ύψος της στάθμης του οποίου μπορεί να ποικίλει.



Η θερμοκρασία εντός του αποστακτήρα μεταβάλετε, με την μεγαλύτερη τιμή στο προς εξάτμιση διάλυμα και μικρότερη στα διαφανή τοιχώματα. Πάντως η θερμοκρασία εντός του αποστακτήρα ποτέ δεν υπερβαίνει τους 80C, έτσι ώστε δεν έχουμε ποτέ βρασμό.

Η παραγωγή νερού των ηλιακών αποστακτήρων μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με την χρήση μεθόδων που αυξάνουν την προσπίπτουσα ακτινοβολία, όπως καθρέφτες, φακούς κλπ. το κόστος λειτουργίας των ηλιακών αποστακτήρων είναι μηδενικό. Από την άλλη πλευρά το κόστος επένδυσης ανά παραγόμενο κυβικό μέτρο νερού είναι σημαντικό λόγω της μικρής παραγωγής τους ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας.

#### 4.5.2 Απόδοση της μεθόδου

Η συνολική απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια από μία οριζόντια επιφάνεια περιλαμβάνει διάφορες ακτινοβολίες όπως είναι η ορατή ακτινοβολία σε ποσοστό περίπου 40%, η υπεριώδη ακτινοβολία σε ποσοστό περίπου 5% και η υπέρυθη ακτινοβολία σε ποσοστό περίπου 55%.

Μπορούμε να αυξήσουμε το ποσό της προσπίπτουσα ακτινοβολίας που λαμβάνει ένας ηλιακός αποστακτήρας εάν τον περιστρέφουμε ακολουθώντας την πορεία του ήλιου, έτσι ώστε οι ακτίνες να είναι πάντα κάθετες στον συλλέκτη. Το κόστος ενός τέτοιου μηχανισμού είναι σημαντικό. Ο επικλινής συλλέκτης λαμβάνει μεγαλύτερο ποσό ενέργειας από τον οριζόντιο. Έτσι επιλέγεται γωνία κλίσης για την επιφάνεια του συλλέκτη, που αντιστοιχεί στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου που βρισκόμαστε.

Η απόδοση των ηλιακών αποστακτών είναι μικρότερη του 50% και η αποδιδόμενη θερμική ενέργεια τους είναι πολύ μικρότερη από τους συνήθεις ηλιακούς συλλέκτες. Συνεπώς η μέθοδος θα καθίσταται πλέον ελκυστική όταν μειώνονται οι απώλειες ενέργειας και αυξάνεται η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών. Η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών καθορίζεται από δύο παράγοντες:

1. τις μετεωρολογικές συνθήκες, ημερήσια ηλιοφάνεια, ένταση ακτινοβολίας, υγρασία, ταχύτητα ανέμου κλπ.
2. το σχεδιασμό και κατασκευή του ηλιακού αποστακτήρα.

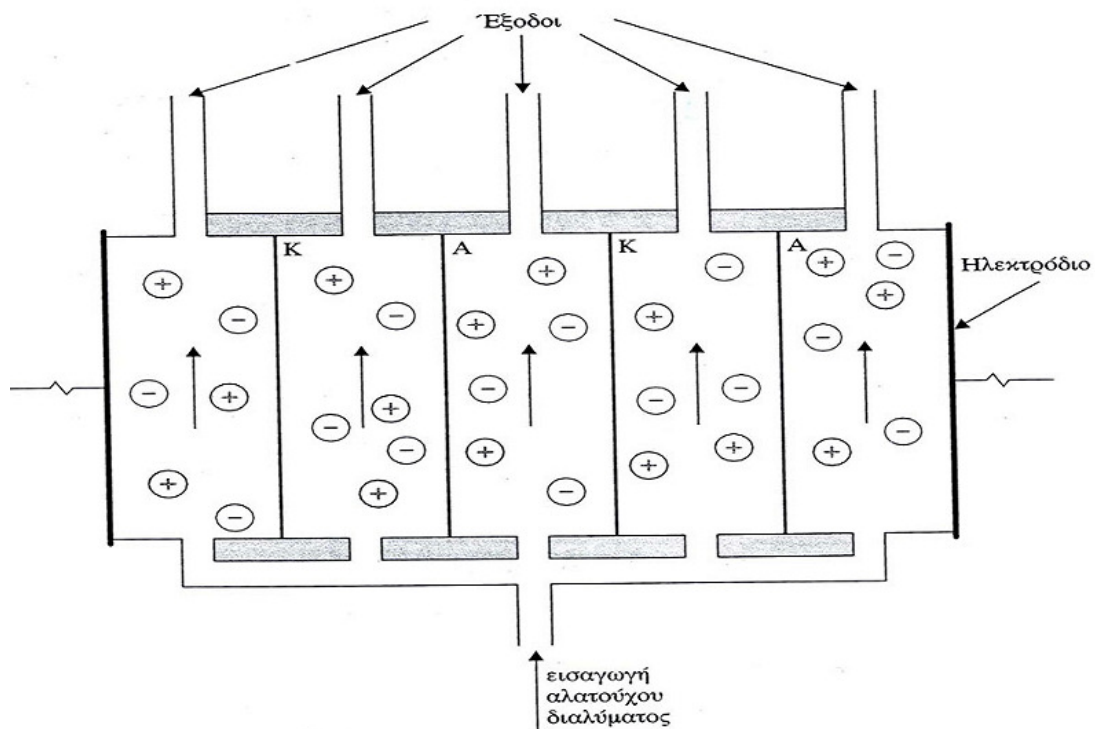
#### **4.6 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ**

Σε όλες τις μεθόδους απόσταξης αλλά και στην αντίστροφη ώσμωση το πόσιμο νερό απομακρύνεται και περιλαμβάνεται από την κύρια μάζα του διαλύματος. Το διάλυμα που απομένει έχοντας υψηλότερη συγκέντρωση από εκείνη που αρχικά είχε διατίθεται προς κάποιον αποδέκτη. Η ηλεκτροδιάλυση είναι μία διεργασία αφαλάτωσης στην οποία τα άλατα υπό μορφή ιόντων απομακρύνονται από την κύρια μάζα του διαλύματος μέσω μεμβρανών και έτσι το διάλυμα που παραμένει περιέχει άλατα μικρότερης συγκέντρωσης, δηλαδή πόσιμο νερό. Έτσι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης των ιόντων στο αλατούχο διάλυμα.

Η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης εφαρμόζεται κυρίως για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού και όχι θαλασσινού νερού. Χρησιμοποιεί ειδικές μεμβράνες και δια τούτο κατατάσσεται στις μεθόδους μεμβρανών.

#### 4.6.1 Αρχή της μεθόδου

Η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης χρησιμοποιεί ειδικές φορτισμένες μεμβράνες που επιτρέπουν επιλεκτικά τη δίοδο των ιόντων από αυτές. Οι μεμβράνες διακρίνονται σε κατιονικές που επιτρέπουν την δίοδο των κατιόντων από αυτές και ανιονικές που επιτρέπουν την δίοδο των ανιόντων. Η κατασκευή και η λειτουργία μιας μονάδας ηλεκτροδιάλυσης απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



## 5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> :

### 5.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

#### *5.1.1 Αιολικά συστήματα αφαλάτωσης*

Αυτόνομες αιολικές μονάδες αφαλάτωσης: οι μονάδες αυτές τροφοδοτούνται είτε απευθείας με θαλασσινό νερό είτε από το νερό κάποιας γεώτρησης με μικρότερη περιεκτικότητα σε αλάτι αλλά ακόμη μη πόσιμο. Στη δεύτερη περίπτωση η απόδοση του συστήματος είναι ακόμη μεγαλύτερη.



**Εικόνα 6:**Σύστημα αφαλάτωσης.

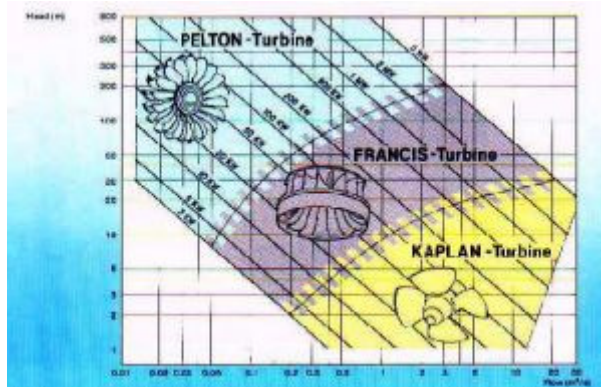


Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά μεγέθη και τιμές διάφορων μοντέλων συστημάτων αφαλάτωσης .

<b>Ενδεικτικά μεγέθη και τιμές συσκευών αφαλάτωσης για οικιακές εγκαταστάσεις</b>				
Μοντέλο συσκευής	Παραγωγή νερού σε lt/h	Αριθμός φίλτρων	Τύπος φίλτρων	Ενδεικτικό κόστος συστήματος (€)
HP SC 70	70	1	2540	7.150
HP SC 140	140	2	2540	9.240
HP SC 200	200	3	2540	11.330
HP CS 260	260	4	2540	14.740
HP CS 140/1	140	1	31540	8.400
HP CS 2760/2	260	2	31540	12.200

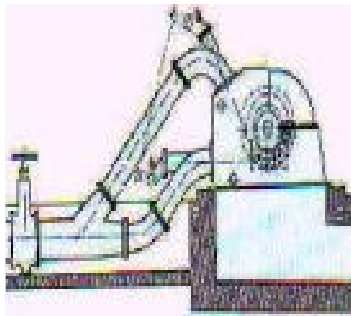
### **Υδροηλεκτρική ενέργεια – Τύποι υδροστροβίλων**

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι υδροστροβίλων; Οι υδροστροβίλοι Pelton, Francis και Kaplan. Αυτός ο διαχωρισμός έχει γίνει βάση της περιοχής λειτουργίας κάθε στροβίλου, όπως φαίνεται στο κάτωθι διάγραμμα:



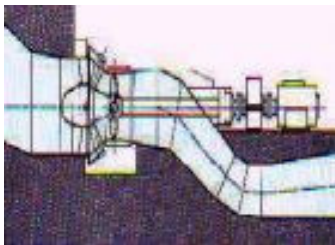
Τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε στροβίλου είναι τα ακόλουθα:

#### Ο στρόβιλος pelton



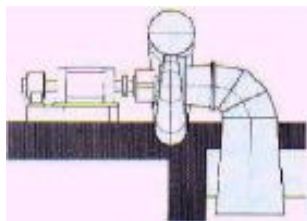
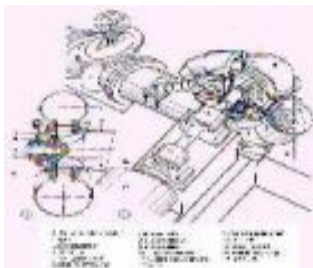
- Δυνατός σχεδιασμός, χαμηλή επένδυση
- Μικρή βασική περιοχή για την αποθήκευση του στροβίλου με εύκολο σχεδιασμό, λόγω του λογικού κόστους κατασκευής
- Ομαλή πορεία αποδοτικότητας, είναι κατάλληλος για μεταβλητή ροή.

#### Ο στρόβιλος Kaplan



- Κατάλληλος για υψηλές ροές
- Μικρή ευαισθησία κατά του πάγου, ζημιών και πλύσης – κρυσταλλοποίησης άμμου.

#### Ο στρόβιλος francis



- Δυνατός σχεδιασμός, μικρός χώρος στροβίλου
- Πολλές στροφές (ταχύτητα κινητήρα)το λεπτό, κυρίως άμεση σύζευξη με τον στρόβιλο
- Κατάλληλη για ισχυρή μεταβολή σε επίπεδα κάτω από το νερό.

### 5.1.2 Σύστημα φωτοβολταϊκής ηλεκτροδιάλυσης

Ένα ερευνητικό εργαστήριο Ισπανικού πανεπιστημίου έχει αναπτύξει τα τελευταία χρόνια ένα σύστημα ηλεκτροδιάλυσης για την αφαλάτωση του νερού η λειτουργία του οποίου υποστηρίζεται από φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Ένα σύστημα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιοχές όπου ενώ υπάρχουν φυσικά υπόγεια αποθέματα νερού (π.χ. παραθαλάσσιες ζώνες) δεν είναι δυνατή η σύνδεση οποιασδήποτε συσκευής στο ηλεκτρικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής για την επεξεργασία τους.

Η ηλεκτροδιάλυση είναι μια τεχνική που βασίζεται στη κίνηση και διαχωρισμό των ιόντων από μια σειρά επιλεκτικών μεμβρανών υπό την επίδραση ενός εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου. Η τεχνική έχει αποδείξει μέχρι σήμερα τη δυνατότητα εφαρμογής της εκτός από την αφαλάτωση του αλμυρού νερού, στον καθαρισμό αμινοξέων και άλλων οργανικών διαλυμάτων, στην επεξεργασία προϊόντων εκχύλισης ή βιομηχανικών αποβλήτων αλλά και στην παραγωγή αλατιού. Σε μια συνήθη διάταξη ηλεκτροδιάλυσης μεμβράνες ανταλλαγής ανιόντων και κατιόντων τοποθετούνται διαδοχικά μεταξύ της καθόδου και της ανόδου. Η εφαρμογή μιας κατάλληλης διαφοράς δυναμικού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων, έχει ως αποτέλεσμα τα κατιόντα να μετακινούνται προς την κάθοδο και τα ανιόντα αντίστοιχα προς την άνοδο. Στην πορεία τους αυτή όμως τα κατιόντα διαπερνούν τις μεμβράνες ανταλλαγής κατιόντων και παρακρατούνται από τις μεμβράνες ανταλλαγής ανιόντων.

Σε μια αντίστοιχη διεργασία αντίθετης φοράς υπόκεινται ταυτόχρονα και τα ανιόντα τα οποία διαπερνούν τις μεμβράνες ανταλλαγής ανιόντων, που διαθέτουν σταθεροποιημένες θετικές χημικές ομάδες και παρακρατούνται από τις μεμβράνες ανταλλαγής κατιόντων. Αυτή η κίνηση όλων των ιόντων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσής τους σε συγκεκριμένες περιοχές της διάταξης και αντίστοιχη ταυτόχρονη μείωση της σε άλλες.

Η απευθείας σύνδεση μιας αντιστοιχίας φωτοβολταϊκών σε ένα τέτοιο σύστημα ηλεκτροδιάλυσης μειώνει σημαντικά το κόστος της επένδυσης που απαιτείται για όλα τα συστήματα αυτού του είδους λόγω του υψηλού κόστους των συσσωρευτών και των μετατροπέων που συνήθως είναι απαραίτητα. Οι συσσωρευτές αυτοί χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις όπου τα χρονικά διαστήματα αυξημένης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και οι ώρες της ηλιοφάνειας δεν συμπίπτουν.

Ο βασικός λόγος για την απευθείας σύνδεση του συστήματος ηλεκτροδιάλυσης είναι απλός: αντί να γίνεται αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες για μεταγενέστερη χρήση το επεξεργασμένο, κατά την διάρκεια της ηλιοφάνειας, νερό μπορεί να αποθηκευτεί οποιαδήποτε στιγμή σε δεξαμενές πολύ πιο εύκολα και οικονομικά.

## 6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### 6.1 ΧΡΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΦΑΛΑΤΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ



Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΒ) θεωρούνται ιδανικά ενεργειακής μετατροπής αφού, χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη, κατασκευάζονται από το δεύτερο πιο διαδεδομένο στοιχείο στον φλοιό της γης ( το πυρίτιο ), δεν έχουν κινούμενα μέρη και παράγουν ηλεκτρισμό που αποτελεί την πιο χρήσιμη μορφή ενέργειας. Όμως ο χαμηλός βαθμός απόδοσης και υψηλό κόστος του δεν ευνοούν την ευρεία χρήση τους. Συνήθως τα ΦΒ απευθύνονται σε περιοχές εφαρμογών όπου το υψηλό κόστος δεν αποτελεί σημαντικό εμπόδιο π.χ. έλλειψη εναλλακτικών μεθόδων.



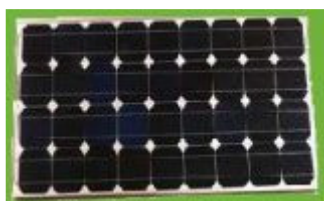
Οι υβριδικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΥΒΣ) που συνδυάζουν την αιολική ενέργεια με σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελούν βέλτιστη λύση για μη διασυνδεδεμένα δίκτυα για τη μεγιστοποίηση της διείσδυσης αιολικής ενέργειας. Σε αρκετές μελέτες έχει

διερευνηθεί η βέλτιστα τεχνοοικονομικά διαστασιολόγηση τέτοιων συστημάτων, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στην απορριπτόμενη ενέργεια των αιολικών πάρκων .

Ο Νόμος 3468/2006 αποσαφήνισε τον ορισμό των Υβριδικών Συστημάτων, καθώς έθεσε περιορισμούς στο μέγεθος των μονάδων ΑΠΕ, των μονάδων αποθήκευσης και στην ενέργεια που δύναται να απορροφά από το δίκτυο ο σταθμός σε ετήσια βάση. Σύμφωνα με το νόμο, ως υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής ορίζεται μια μονάδα η οποία: χρησιμοποιεί μια τουλάχιστον μορφή ΑΠΕ, η συνολική ενέργεια που απορροφά από το δίκτυο σε ετήσια βάση δεν ξεπερνά το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνει για την πλήρωση του συστήματος και η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων του σταθμού ΑΠΕ δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού κατά προσαύξηση μέχρι 20%.

Τα ΦΒ που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα είναι τα ακόλουθα:

- Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά
- Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά και
- Τα φωτοβολταϊκού άμορφου πυριτίου.



Μονο- κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια

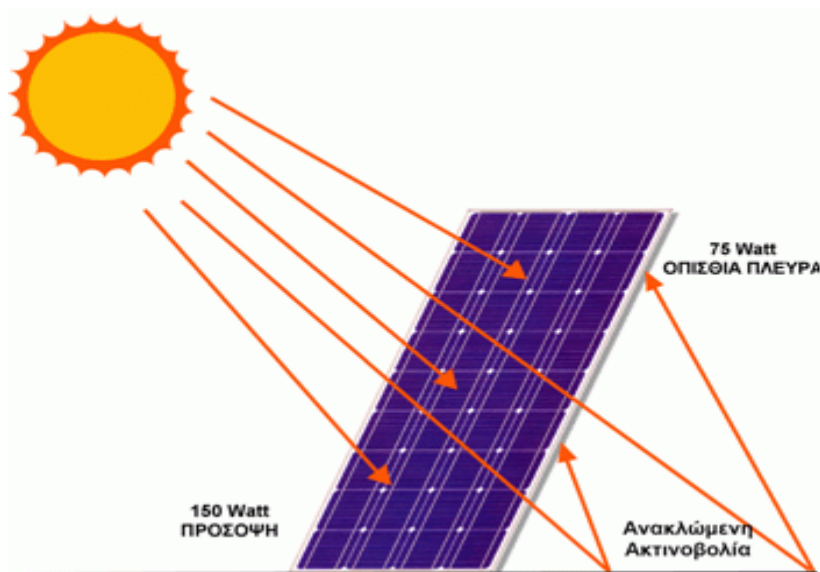


Πολύ- κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια

Τα πολύ-κρυσταλλικά ΦΒ πλαίσια έχουν ένα μέσο όρο αποδοτικότητας 10% και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές με χαμηλή ενεργειακή ζήτηση. Για υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις χρησιμοποιούνται περισσότερο τα μονό-κρυσταλλικά πλαίσια λόγω της υψηλότερης αποδοτικότητας (περίπου 14%) οδηγώντας στην μείωση της απαιτούμενης έκτασης της περιοχής της εγκατάστασης. Τα πλαίσια αξιοποιούν τις βασικές αρχές της βιομηχανικής κατασκευής για να διασφαλίζεται η μακροζωία τους ακόμα και στο πιο αντίξοο περιβάλλον.

Τα ΦΒ στοιχεία είναι φτιαγμένα από υψηλής αποδοτικότητας ΦΒ πλαίσια πυριτίου, ικανά να παράγουν ενέργεια με μόνο 4-5% ηλιακής ακτινοβολίας.

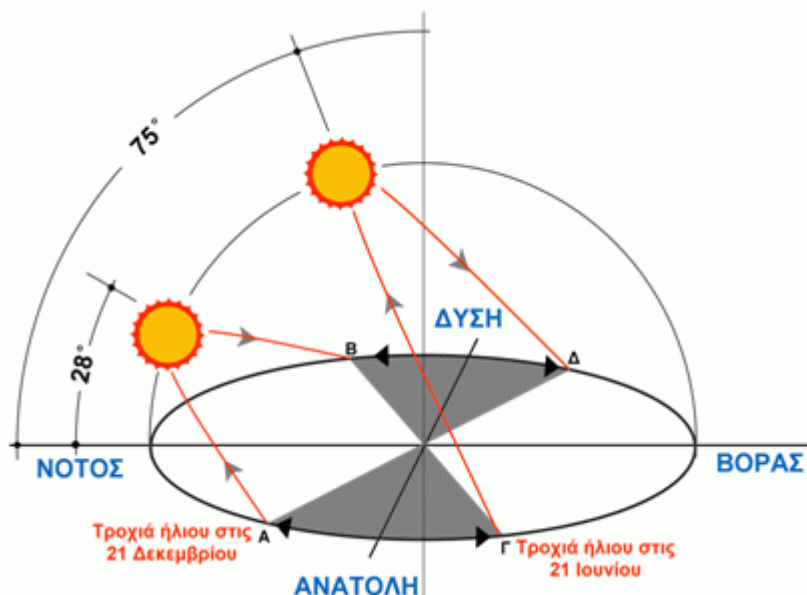
## **6.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – Φ.Β. ΔΙΠΛΗΣ ΟΨΕΩΣ**



Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών διπλής όψεως προέκυψε από τις διαστημικές ανάγκες της Σοβιετικής Ένωσης. Για τους δορυφόρους η μόνη πηγή ενέργειας είναι η ηλιακή και για την υποστήριξη των οργάνων τους χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκές κυψέλες. Προκειμένου οι δορυφόροι με τα panels να είναι ενεργειακά αυτόνομοι, επινοήθηκε η τεχνική λείανσης της κυψέλης και από την πίσω πλευρά και το κλείσιμό της σε "σάντουιτς τζάμι-

τζάμι". Αυτή η επινότηση οδήγησε σε ένα προϊόν που αποδίδει περισσότερη ενέργεια από μικρότερη επιφάνεια. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό, από τη χρονική διάρκεια που θα "βλέπουν" τον Ήλιο κάθετα. Τα συμβατικά panels, αξιοποιούν μέρος μόνο της προσφερόμενης ηλιακής ενέργειας, αφού είναι ενεργά από τη μία όψη μόνο, η οποία ενεργοποιείται όταν ο ήλιος βρίσκεται στο νότιο μισό του ορίζοντα και σε μία περιοχή περίπου 150°.

Αντίθετα τα bifacial – windsol επιπλέον εκμεταλλεύονται: α) το χρόνο που ο ήλιος βρίσκεται βόρεια του νοητού άξονα ανατολής – δύσης και που κατά την θερινή περίοδο είναι πάνω από 7 ώρες ημερησίως, β) την ακτινοβολία που διαχέεται στο περιβάλλον και γ) αυτή που ανακλάται.



Το παραπάνω σχήμα δείχνει τη μεταβολή της θέσης του ήλιου σε ότι αφορά το μέγιστο και το ελάχιστο ύψος στον ουρανό το χειμώνα (21 Δεκεμβρίου), και το καλοκαίρι (21 Ιουνίου) που κυμαίνεται από 28° – 75° (στην Αττική) σε ότι αφορά τον οριζόντιο άξονα.

Επίσης δείχνει ταυτόχρονα και τη συνεχή μεταβολή της θέσης του ήλιου στον ορίζοντα κατά τη διάρκεια του χρόνου (Ανατολή – Δύση), άρα τη χρονική διάρκεια της ηλιοφάνειας, που κυμαίνεται από 142,5° το χειμώνα (21 Δεκεμβρίου) έως 222° το καλοκαίρι (21 Ιουνίου) μετρώντας από το σημείο του



Βορρά. Αυτή η μεταβολή αποτυπώνεται με τα γραμμοσκιασμένα τμήματα στο παραπάνω σχήμα. Οι κατασκευαστές του bifacial - windsol βέβαιοι για την υψηλή ποιότητα και αντοχή του, παρέχουν 5ετή εγγύηση προϊόντος και 25ετή εγγύηση του 80% της ισχύος του.

## 7 ΕΠΙΛΟΓΟΣ :

Το νερό είναι το μεγαλύτερο και πολυτιμότερο αγαθό στον πλανήτη για κάθε είδος ζωής. Ο μόνος που ευθύνεται για την ορθή διαχείριση του είναι ο άνθρωπος και μόνο. Είμαστε εμείς που επηρεάζουμε τον υδροφόρο ορίζοντα, την σπατάλη που γίνεται, ακόμα και τις βροχοπτώσεις με τις παρεμβάσεις μας στο περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό είμαστε οι μόνοι που επιβάλλεται να βρούμε την λύση σ' αυτό το πρόβλημα.

Πρέπει όλοι να λειτουργήσουμε σαν ομάδα αλλά και μεμονωμένα για τον ίδιο σκοπό. Έναν σκοπό που θα κάνει το δικό μας αλλά και των παιδιών μας το μέλλον καλύτερο. Δεν πρέπει να σκεφτόμαστε μόνο το σήμερα αλλά και το αύριο. Ο καθένας μπορεί να συμβάλλει με τον δικό του τρόπο για τον περιορισμό της σπατάλης που γίνεται.

Είναι σημαντικό να σκεφτούμε αυτούς που βρίσκονται σε περιοχές με λιγότερο αποθεματικό από εμάς και να θέσουμε σε λειτουργία τις απαραίτητες μεθόδους. Μέθοδοι καθημερινοί, απλοί αλλά και σύγχρονοι βάση της βιομηχανίας.

Οι πιο διαδεδομένες και σύγχρονες μέθοδοι είναι η τεχνητή βροχή και η αφαλάτωση. Η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος που ήδη χρησιμοποιείται σε πολλά μέρη του πλανήτη και φυσικά και στην χώρα μας. Είναι ένα μέσων για καλύτερη βιωσιμότητα. Μία μέθοδος που έχει την δυνατότητα να προμηθεύει με καλής ποιότητας πόσιμο νερό σε περιοχές όπου το έχουν πραγματικά ανάγκη, όπως είναι τα νησιά μας.

Η αφαλάτωση απασχολεί και θα απασχολήσει και στο μέλλον όλο και περισσότερους γιατί το πρόβλημα της μείωσης του κατάλληλου νερού για εμάς, την βιομηχανία και την γεωργία μεγαλώνει όλο και περισσότερο.

**Δεν πρέπει να μένουμε άπραγοι και να ξεχνάμε ότι την γη δεν την κληρονομήσαμε από τους γονείς μας αλλά την δανειστήκαμε από τα παιδιά μας και συνεπώς και τα αγαθά της.**

## **8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η κακή διαχείριση των υδάτινων πόρων, που θεωρείται από τα σημαντικότερα αίτια στο πρόβλημα της λειψυδρίας, οφείλεται στην υπερεκμετάλλευση του υπογείου και του επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα, στην έλλειψη σχεδίου διαχείρισης, αλλά και στην τάση για προσωρινές και μη αποτελεσματικές λύσεις.

Για την παραγωγή πόσιμου αλλά και βιομηχανικού νερού, από θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αφαλάτωσης. Οι μέθοδοι αυτές χωρίζονται κυρίως σε δύο κατηγορίες: στις μεθόδους εξάτμισης και στις μεθόδους μεμβρανών. Μέθοδοι όπως η αντίστροφη ώσμωση και η πολυβάθμια εκτόνωση μέχρι σήμερα έχουν σημειώσει σημαντικό αριθμό εφαρμογών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης βασίζεται σε παράγοντες όπως η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας, η απαιτούμενη ποιότητα του παραγόμενου νερού, το μέγεθος της μονάδας, η διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας, η διαθεσιμότητα του περιβάλλοντος χώρου, ο προϋπολογισμός της επένδυσης και ο απαιτούμενος χρόνος παράδοσης της μονάδας.

Μερικοί από τους λόγους που η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης έχει επικρατήσει για την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού είναι η αξιοπιστία της σε όλο το εύρος μεγεθών (από μερικά λίτρα ως χιλιάδες κυβικά μέτρα την ημέρα), η σχετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η συμπαγής και "modular" κατασκευή της και ο σχετικά μικρός χρόνος κατασκευής της σε σχέση με άλλες μεθόδους.

Παρόλο που όλες οι μέθοδοι χαρακτηρίζονται ως ενεργοβόρες, με ενδεικτικές τιμές 15kwh/κ.μ. για τις μονάδες vc ή καταναλώσεις που μπορεί να ξεπερνούν τις 29kwh/κ.μ. για τις μονάδες msf, η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης με τη χρήση των συστημάτων ανάκτησης ενέργειας (energy recovery devices) έχει καταφέρει να μειώσει δραστικά την ενεργειακή της κατανάλωση περίπου στις 2,5kwh/κ.μ. σε μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.

Για μονάδες που δεν κάνουν χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας οι ενεργειακές καταναλώσεις είναι της τάξεως των 5-8 kWh/κ.μ.

Η συνεχής εξέλιξη των μεμβρανών, η βελτίωση απόδοσης των αντλιών, η χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας αλλά και η σωστή σχεδίαση και επιλογή υλικών, έχουν μειώσει δραστικά το κόστος του παραγόμενου νερού σε 0,75-1,5 ευρώ/κ.μ. για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού και σε λιγότερο από 0,5 ευρώ/κ.μ. για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Παρόλα αυτά το τελικό κόστος του παραγόμενου νερού κάθε μονάδας επηρεάζεται από τη λογική του 'economies of scale' και από τοπικούς παράγοντες όπως το κόστος του ανθρώπινου δυναμικού, το κόστος χημικών, το κόστος μεταφοράς νερού κλπ.

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

Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες εφαρμογές συνδυάζουν την τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια. Επίσης ένας σημαντικός αριθμός εφαρμογών αφορά στο συνδυασμό ηλιακών θερμικών συστημάτων με τεχνολογίες εξάτμισης και κυρίως με την τεχνολογία πολλαπλής εξάτμισης ατμών. Ελάχιστες εφαρμογές αφορούν στο συνδυασμό των υπόλοιπων τεχνολογιών, αιολική ενέργεια με μηχανική συμπίεση ατμών, φωτοβολταϊκά με ηλεκτροδιάλυση, ηλιακά θερμικά με εξάτμιση πολλαπλών σταδίων και γεωθερμία με τεχνολογία πολλαπλής εξάτμισης ατμών.

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:**

- [el.wikipedia.org](http://el.wikipedia.org)
- [www.sychem.gr/SEN\\_afalawsh%20yfalmroy%20neroy.htm](http://www.sychem.gr/SEN_afalawsh%20yfalmroy%20neroy.htm) –
- [www.youngreporters.org/IMG/doc/water.doc](http://www.youngreporters.org/IMG/doc/water.doc)
- [zakynthos.greekliberals.net/.../afalatosi1](http://zakynthos.greekliberals.net/.../afalatosi1)
- [www.windfarms.gr/gr/afalatosi.html](http://www.windfarms.gr/gr/afalatosi.html)
- [www.ternica.gr/?page\\_id=46](http://www.ternica.gr/?page_id=46)
- [www.europages.gr/.../apotelesmata.html](http://www.europages.gr/.../apotelesmata.html)
- [www.sts.gr/151/1001.aspx](http://www.sts.gr/151/1001.aspx)
- [www.enet.gr/?i=news.el...id](http://www.enet.gr/?i=news.el...id)
- [www.cyprus.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/All/.../\\$file/Afalatosi\\_Kriti.pdf](http://www.cyprus.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/All/.../$file/Afalatosi_Kriti.pdf)
- [www.chania.teicrete.gr/docs/fp/vourdoubas/8.doc](http://www.chania.teicrete.gr/docs/fp/vourdoubas/8.doc)
- [www.allcom.com.gr/0010000019](http://www.allcom.com.gr/0010000019)
- [www.ecologiki.gr/afalatosi\\_nerou.html](http://www.ecologiki.gr/afalatosi_nerou.html)
- [www.mcw.gov.cy/.../B9067C476B5756F4C225756A002175A8?...](http://www.mcw.gov.cy/.../B9067C476B5756F4C225756A002175A8?...)
- [solygeiablog.pblogs.gr/.../afalawsh-einai-h-lysh.html](http://solygeiablog.pblogs.gr/.../afalawsh-einai-h-lysh.html)
- [www.ortsa.gr/article.php?aid](http://www.ortsa.gr/article.php?aid)
- [www.oia.gr/index.php?id=976](http://www.oia.gr/index.php?id=976)
- [www.youngreporters.org/article.php3?...](http://www.youngreporters.org/article.php3?...)
- [el.wiktionary.org/.../αφαλάτωση](http://el.wiktionary.org/.../αφαλάτωση)
- [openarchives.gr/.../Αφαλάτωση](http://openarchives.gr/.../Αφαλάτωση)
- [portal.tee.gr/portal/page/portal/.../me/.../mepaa\\_afalatosi.pdf](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/.../me/.../mepaa_afalatosi.pdf)
- [xanthi.olx.gr/iid-72202167](http://xanthi.olx.gr/iid-72202167)
- [theopemptou.blogspot.com/.../blog-post\\_13.html](http://theopemptou.blogspot.com/.../blog-post_13.html)
- [manolisvardis.wordpress.com/.../αφαλάτωση](http://manolisvardis.wordpress.com/.../αφαλάτωση)
- [www.aquaplus.gr/products6.php?...](http://www.aquaplus.gr/products6.php?...)
- [www.temak.gr/site/gr/.../reverse\\_osmosis](http://www.temak.gr/site/gr/.../reverse_osmosis)
- [www.proz.com/.../1065381-descalcificaci%F3n\\_descalcificar.html](http://www.proz.com/.../1065381-descalcificaci%F3n_descalcificar.html)
- [www.greekbooks.gr/BookDetails.aspx?...](http://www.greekbooks.gr/BookDetails.aspx?...)
- [www.apopsi.com.cy/2008/05/134/](http://www.apopsi.com.cy/2008/05/134/)
- [www.skroutz.gr](http://www.skroutz.gr)
- [www.alithia.gr/.../26042005,9890.html](http://www.alithia.gr/.../26042005,9890.html)
- [www.qualitynet.gr/displayITM1.asp](http://www.qualitynet.gr/displayITM1.asp)
- [www.kathimerini.gr/.../2009\\_315176](http://www.kathimerini.gr/.../2009_315176)
- [www.traveldailynews.gr/new.asp?...id](http://www.traveldailynews.gr/new.asp?...id)
- [dspace.lib.ntua.gr/handle/.../860](http://dspace.lib.ntua.gr/handle/.../860)
- [www.oneearth.gr/cgi-bin/oneearth/pages/3rdpagenew.pl?arcod...](http://www.oneearth.gr/cgi-bin/oneearth/pages/3rdpagenew.pl?arcod...)
- [dictionary.sensagent.com/αφαλάτωση/el-el/](http://dictionary.sensagent.com/αφαλάτωση/el-el/) - Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής
- [www.texnikos.gr/.../afalatosi.shtml](http://www.texnikos.gr/.../afalatosi.shtml)

- [www.mileikanea.gr/Afalatosi.pdf](http://www.mileikanea.gr/Afalatosi.pdf)
- [www.lselectronics.gr/index.php](http://www.lselectronics.gr/index.php)
- [www.netrino.gr/.../blog-post.php](http://www.netrino.gr/.../blog-post.php)
- [www.keawest.gr/.../viewtopic.php?...](http://www.keawest.gr/.../viewtopic.php?...)
- [www.ebooks.gr/book/167929](http://www.ebooks.gr/book/167929)
- [www.entthesis.net/index.php](http://www.entthesis.net/index.php)
- [www.facebook.com/note.php?note](http://www.facebook.com/note.php?note)
- [dspace.aua.gr/xmlui/handle/10329/35](http://dspace.aua.gr/xmlui/handle/10329/35)
- [www.ecocrete.gr/index.php](http://www.ecocrete.gr/index.php)
- [theopemptou.com/green/desalination.htm](http://theopemptou.com/green/desalination.htm)
- [www.skai.gr/articles/news/.../Τα-νησιά-ξεδιψούν-με-αφαλάτωση](http://www.skai.gr/articles/news/.../Τα-νησιά-ξεδιψούν-με-αφαλάτωση)
- [technologe.in.pathfinder.gr/desalination](http://technologe.in.pathfinder.gr/desalination)
- [www.eef.gr/app/webroot/CD/docfiles/dellaportas.doc](http://www.eef.gr/app/webroot/CD/docfiles/dellaportas.doc)
- [www.motocraft.gr/Tree/.../CoralSea4200](http://www.motocraft.gr/Tree/.../CoralSea4200)
- [www.buzzer.gr/tags/ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ](http://www.buzzer.gr/tags/ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ)
- [attiki.greekliberals.net/0010000043](http://attiki.greekliberals.net/0010000043)
- [www.hydrotech-group.com/.../cyprus-references-desalination-by-reverse-osmosis.php](http://www.hydrotech-group.com/.../cyprus-references-desalination-by-reverse-osmosis.php)
- [wikipedia.qwika.com/en2el/Desalination](http://wikipedia.qwika.com/en2el/Desalination)
- [en.openarchives.gr/view/102778](http://en.openarchives.gr/view/102778)
- [www.technicalreview.gr/index.php?...](http://www.technicalreview.gr/index.php?...)
- [www.apn.gr/.../%CC%E7%F7%E1%ED%DE%EC%E1%F4%E1-%E5%F0%E5%EE%E5%F1%...](http://www.apn.gr/.../%CC%E7%F7%E1%ED%DE%EC%E1%F4%E1-%E5%F0%E5%EE%E5%F1%...)
- [www.books.gr/ViewShopProduct.aspx?Id](http://www.books.gr/ViewShopProduct.aspx?Id)
- [www.freestuff.gr/forums/viewtopic.php?t](http://www.freestuff.gr/forums/viewtopic.php?t)
- [www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/.../\\$file/Afalatoseis.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/.../$file/Afalatoseis.pdf)
- [www.gozakynthos.gr/.../26209\\_7414.html](http://www.gozakynthos.gr/.../26209_7414.html)
- [www.certh.gr/32910EA5.el.aspx](http://www.certh.gr/32910EA5.el.aspx)
- [147.102.46.88/organosi/Projects/poster-energyres09-desalination](http://147.102.46.88/organosi/Projects/poster-energyres09-desalination)
- [www.cyprus.gov.cy/moa/wdd/WDD.nsf/all/.../\\$file/6a.pdf?openelement](http://www.cyprus.gov.cy/moa/wdd/WDD.nsf/all/.../$file/6a.pdf?openelement)
- [www.refrigerant-dynamic.gr/products10.php](http://www.refrigerant-dynamic.gr/products10.php)
- [www.an-attiki.gr/index.php?...](http://www.an-attiki.gr/index.php?...)
- [www.aquaplus.gr/products6.php?...](http://www.aquaplus.gr/products6.php?...)
- [www.chiosnews.com/cn642004110413AM.asp](http://www.chiosnews.com/cn642004110413AM.asp)
- [www.cyclist-friends.gr/showthread.php?t](http://www.cyclist-friends.gr/showthread.php?t)
- [www.politismospolitis.org/?p](http://www.politismospolitis.org/?p)
- [www.ppol.gr/cm/index.php?LID=1](http://www.ppol.gr/cm/index.php?LID=1)
- [www.unihealth.gr](http://www.unihealth.gr)
- [e-elftheria.com/?p=2083](http://e-elftheria.com/?p=2083)
- [www.europages.gr/.../αφαλάτωση.html](http://www.europages.gr/.../αφαλάτωση.html)
- [www.oikologio.gr/content/view/1400/2/](http://www.oikologio.gr/content/view/1400/2/)
- [antipariafwni.blogspot.com/.../blog-post\\_29.html](http://antipariafwni.blogspot.com/.../blog-post_29.html)

- [www.techteam.gr/.../119942-ydriada-:-ploth-oikologikh-afalatosh-apo-ellada/](http://www.techteam.gr/.../119942-ydriada-:-ploth-oikologikh-afalatosh-apo-ellada/)
- [www.mcw.gov.cy/.../090226%20-%20Ηλιακή%20Ενέργεια%20και%20Αφαλάτωση%20νερού.pdf...](http://www.mcw.gov.cy/.../090226%20-%20Ηλιακή%20Ενέργεια%20και%20Αφαλάτωση%20νερού.pdf...)
- [www.bibliopolio.gr/Τεχνολογία-περιβάλλοντος-Αφαλάτωση-c-1\\_25269\\_25520\\_25521\\_27147.html](http://www.bibliopolio.gr/Τεχνολογία-περιβάλλοντος-Αφαλάτωση-c-1_25269_25520_25521_27147.html)
- [fouskoto1.gr/.../showthread.php?t=4593](http://fouskoto1.gr/.../showthread.php?t=4593)
- [www.michanikos.gr/showthread.php?p](http://www.michanikos.gr/showthread.php?p)
- [www.acrobaser.gr/showthread.php?t...](http://www.acrobaser.gr/showthread.php?t...)
- [baristachampion.wordpress.com/.../αφαλάτωση-και-ποιότητα-νερού](http://baristachampion.wordpress.com/.../αφαλάτωση-και-ποιότητα-νερού)
- [www.waterinfo.gr/eedyp/Paros\\_papers/tzen\\_e.ppt](http://www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/tzen_e.ppt)
- [www.polyekdotiki.gr/.../epidotoymenes\\_ependyseis\\_se\\_schedia\\_gia\\_tin\\_afalatosi\\_thalassinoy\\_i\\_yfalmy](http://www.polyekdotiki.gr/.../epidotoymenes_ependyseis_se_schedia_gia_tin_afalatosi_thalassinoy_i_yfalmy)
- [ecology-salonika.org/2009/?p=1138](http://ecology-salonika.org/2009/?p=1138)
- [www.m-water.gr/.../32.html](http://www.m-water.gr/.../32.html)
- [medgreece.gr/tag/αφαλάτωση](http://medgreece.gr/tag/αφαλάτωση)
- [www.osmo.gr/pools-water-filters-greece-gr.php](http://www.osmo.gr/pools-water-filters-greece-gr.php)
- [www.makthes.gr/print.php?sid](http://www.makthes.gr/print.php?sid)
- [www.fatsimare.net/.../p2.../14966](http://www.fatsimare.net/.../p2.../14966)
- [www.anodosae.com/systems/irrigation-fertilization/desalination.aspx](http://www.anodosae.com/systems/irrigation-fertilization/desalination.aspx)
- [www.politis-news.com/.../hweb](http://www.politis-news.com/.../hweb)
- [www.bacteria.gr/main.php?...](http://www.bacteria.gr/main.php?...)
- [www.plant-management.gr/index.php?id](http://www.plant-management.gr/index.php?id)
- [www.2810.gr/site/news/.../48389](http://www.2810.gr/site/news/.../48389)
- [www.tinos.biz/word\\_dimoy/afalatosis.htm](http://www.tinos.biz/word_dimoy/afalatosis.htm)
- [www.kykladesnews.gr/.../123-2010-01-26-12-01-26.html](http://www.kykladesnews.gr/.../123-2010-01-26-12-01-26.html)
- [www.geodynamiki.gr/water.htm](http://www.geodynamiki.gr/water.htm)
- [www.ecocrete.gr/index.php?...](http://www.ecocrete.gr/index.php?...)
- [invenio.lib.auth.gr/search?p...f...](http://invenio.lib.auth.gr/search?p...f...)
- [www.motocraft.gr/Tree/.../AquaMini350](http://www.motocraft.gr/Tree/.../AquaMini350)
- [www.waterforlife.nsw.gov.au/\\_\\_\\_.../W4LPRESSGREEKFINAL110609.pdf](http://www.waterforlife.nsw.gov.au/___.../W4LPRESSGREEKFINAL110609.pdf)
- [www.alithia.gr/.../20012005,8469.html](http://www.alithia.gr/.../20012005,8469.html)
- [www.aggeliopolis.gr](http://www.aggeliopolis.gr) › Κρήτη › Επαγγελματικός εξοπλισμός
- [www.filterdyn.gr/cat.php?idsub](http://www.filterdyn.gr/cat.php?idsub)
- [www.qualitynet.gr/displayITM1.asp?...](http://www.qualitynet.gr/displayITM1.asp?...)
- [www.heraklion.gr](http://www.heraklion.gr) › ο δήμος
- [en.openarchives.gr/view/102648](http://en.openarchives.gr/view/102648)
- [dspace.aua.gr/xmlui/handle/10329/35?...](http://dspace.aua.gr/xmlui/handle/10329/35?...)
- [www.temak.gr/site/gr/news/fournoi](http://www.temak.gr/site/gr/news/fournoi)
- [laloslal.t35.com/ukno-desal.html](http://laloslal.t35.com/ukno-desal.html)

- [www.neasantorinis.gr/index.php?...](http://www.neasantorinis.gr/index.php?...)
- [dspace.lib.ntua.gr/handle/.../771](http://dspace.lib.ntua.gr/handle/.../771)
- [www.katalogos-kritis.gr/.../SofAdsredir.asp?...](http://www.katalogos-kritis.gr/.../SofAdsredir.asp?...)
- [www.lateam.gr/.../afalatosi-i-lusi-gia-ti-leipsudria-12468.html](http://www.lateam.gr/.../afalatosi-i-lusi-gia-ti-leipsudria-12468.html)
- [nautilus.cres.gr](http://nautilus.cres.gr) > ... > Γεωθερμική Ενέργεια
- [www.sigmalive.com/news/local/193026](http://www.sigmalive.com/news/local/193026)
- [www.oia.gr/index.php?id=1084](http://www.oia.gr/index.php?id=1084)
- [www.hydortech.gr/index.jsp;...](http://www.hydortech.gr/index.jsp;...)
- [www.gozakynthos.gr/.../9209\\_7365.html](http://www.gozakynthos.gr/.../9209_7365.html)
- [www.olimazi.eu/.../popup\\_article.php?...](http://www.olimazi.eu/.../popup_article.php?...)
- [villadidimo.blogspot.com/.../blog-post.html](http://villadidimo.blogspot.com/.../blog-post.html)
- [www.moa.gov.cy/moa/wdd/WDD.nsf/.../ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ%20ΤΕΠΑΚ.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/WDD.nsf/.../ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ%20ΤΕΠΑΚ.pdf)
- [www.unidrill.gr/nero.html](http://www.unidrill.gr/nero.html)
- [www.youtube.com/watch?v=UeUbIKPdvqQ](http://www.youtube.com/watch?v=UeUbIKPdvqQ)
- [www.weboffice.gr/.../%E1%F6%E1%EB%DC%F4%F9%F3%E7+%ED%E5%F1%EF%FD](http://www.weboffice.gr/.../%E1%F6%E1%EB%DC%F4%F9%F3%E7+%ED%E5%F1%EF%FD)
- [www.energytraining4europe.org/.../solar\\_thermal\\_15.htm](http://www.energytraining4europe.org/.../solar_thermal_15.htm)
- [κυκλαδικονφωσ.gr/arxeio/.../afalatwsh.htm](http://κυκλαδικονφωσ.gr/arxeio/.../afalatwsh.htm)
- [www.inews.gr](http://www.inews.gr) > ... > Ημερησία
- [www.mileikanea.gr/dhmos.htm](http://www.mileikanea.gr/dhmos.htm)
- [www.an-attiki.gr/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id](http://www.an-attiki.gr/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id)
- [16nip-kater.pie.sch.gr/drastiriothtes\\_08\\_09/afalatosi.pdf](http://16nip-kater.pie.sch.gr/drastiriothtes_08_09/afalatosi.pdf)
- [aquapurest.gr/GR\\_M\\_SOFTENERS.htm](http://aquapurest.gr/GR_M_SOFTENERS.htm)
- [www.104fm.gr/.../2636-----.html](http://www.104fm.gr/.../2636-----.html)
- [www.tinos.biz/deltiotypou8.htm](http://www.tinos.biz/deltiotypou8.htm)
- [ionianislands.greekliberals.net/1010000104](http://ionianislands.greekliberals.net/1010000104)
- [www.geodynamiki.gr/activ-3.htm](http://www.geodynamiki.gr/activ-3.htm)
- [stismites.wordpress.com/2008/11/23/250/](http://stismites.wordpress.com/2008/11/23/250/)
- [www.kykladesnews.gr/default.asp?...](http://www.kykladesnews.gr/default.asp?...)
- [www.typos.com.cy/nqcontent.cfm?a\\_id](http://www.typos.com.cy/nqcontent.cfm?a_id)
- [www.inout.gr/showthread.php?t=26150](http://www.inout.gr/showthread.php?t=26150)
- [www.filterdyn.gr/prod.php?](http://www.filterdyn.gr/prod.php?)
- [www.entthesis.net/index.php?...](http://www.entthesis.net/index.php?...)
- [www.e-ecology.gr/DiscView.asp?...](http://www.e-ecology.gr/DiscView.asp?...)
- [mam.avarchive.gr/.../digitalview.jsp?get](http://mam.avarchive.gr/.../digitalview.jsp?get)
- [openarchives.gr/.../Αφαλάτωση%20νερού-Κύπρος](http://openarchives.gr/.../Αφαλάτωση%20νερού-Κύπρος)



## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup>	
1.1 ΝΕΡΟ (H <sub>2</sub> O).....	7
1.2 ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	10
1.3 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ.....	11
1.4 ΛΕΙΨΥΔΡΙΑ ΚΑΙ ΞΗΡΑΣΙΑ.....	15
1.5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ.....	17
1.6 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΝΕΡΟΥ.....	18
1.7 ΤΡΟΠΟΙ ΕΥΡΕΣΗΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	21
1.8 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΕΡΟΥ.....	22
1.8.1 Χημική σύσταση θαλασσινού, υφάλμυρου και πόσιμου νερού.....	23
1.9 ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup>	
2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ.....	27
2.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	28
2.3 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	29
2.3.1 Ελάχιστο θεωρητικό έργο αφαλάτωσης.....	29
2.3.2 Ελάχιστο απαιτούμενο ποσό θερμότητας.....	32
2.4 ΚΟΣΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	32
2.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ.....	38
2.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	39
2.7 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	39
2.8 Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	40
2.8.1 Περιοχές εφαρμογής συστήματος αφαλάτωσης στην Ελλάδα.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup>	
3.1 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΥΦΑΛΜΥΡΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	46
3.2 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	47
3.3 ΧΡΟΝΙΚΟ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	48

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	50
4.2 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ.....	55
4.2.1 Μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης.....	57
4.2.2 Θεωρητική μελέτη λειτουργίας μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης.....	58
4.2.3 Σχεδιασμός εγκαταστάσεως αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση.....	59
4.2.4 Σχεδιασμός συστήματος αντίστροφης ώσμωσης.....	61
4.3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	65
4.3.1 Πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση (Π.Ε.Ε.).....	65
4.3.2. Αφαλάτωση με απλή και πολλών βαθμιδών απόσταξη.....	65
4.3.2.1 Διεργασία αφαλάτωσης με Απλή Απόσταξη.....	65
4.3.3. Απόσταξη πολλών βαθμιδών.....	68
4.4 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΑΣΤΡΑΠΙΑΙΑ ΕΞΑΕΡΩΣΗ.....	72
4.4.1 Αρχή της λειτουργίας.....	73
4.5 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΗΛΙΑΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΗ.....	74
4.5.1 Αρχή της λειτουργίας.....	74
4.5.2 Απόδοση της μεθόδου.....	76
4.6 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ .....	77
4.6.1 Αρχή της μεθόδου.....	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup>	
5.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	79
5.1.1 Αιολικά συστήματα αφαλάτωσης .....	79
5.1.2 Συστήματα φωτοβολταϊκής ηλεκτροδιάλυσης .....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup>	
6.1 ΧΡΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΦΑΛΑΤΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	84
6.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ-Φ.Β. ΔΙΠΛΗΣ ΟΨΕΩΣ.....	86
7. ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....	89
8.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	92