



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ

ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

**Οικολογικά Συστήματα Αφαλάτωσης για  
την ολοκληρωμένη ανάπτυξη της Μήλου**

**Νάνου Μάρθα**

Μεταπτυχιακή (Διπλωματική) Εργασία η οποία  
υποβάλλεται για μερική εκπλήρωση των  
απαιτήσεων για το Διεπιστημονικό –  
Διατμηματικό Δίπλωμα Ειδίκευσης του Δ.Π.Μ.Σ.  
του Ε.Μ.Πολυτεχνείου "Περιβάλλον και  
Ανάπτυξη"

**Περιβάλλον**

**και**

**Ανάπτυξη**

**Αθήνα, Ιούλιος 2012**

**Επιτροπή Παρακολούθησης:**

Επισκέπτης Καθηγητής Χ. Κορωναίος  
(επιβλέπων)

Αν. Καθηγήτρια Α. Παππά  
Επίκουρος Καθηγητής Ι. Σαγιάς

## Περιεχόμενα

<i>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Εισαγωγή</i> .....	4
Περίληψη.....	7
Abstract .....	8
<i>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Μήλος – Παρουσίαση της περιοχής μελέτης</i> .....	9
2.1 Γενικά στοιχεία για το νησί.....	9
2.1.1 Γεωγραφία.....	9
2.1.2 Μορφολογία .....	11
2.1.3 Κλίμα.....	11
2.1.4 Γεωλογία .....	13
2.1.5 Ηφαιστειότητα.....	13
2.1.6 Υδρογεωλογία – Υδρολογία.....	14
2.1.7 Σεισμικότητα .....	15
2.1.8 Δημογραφικά στοιχεία - Απασχόληση.....	16
2.2 Υδρογραφικό δίκτυο .....	17
2.3 Ενεργειακό Σύστημα.....	19
2.3.1 Ηλεκτρική Ενέργεια .....	19
2.3.2 Γεωθερμικό Πεδίο .....	21
2.3.3 Ηλιακή Ενέργεια .....	26
2.3.4 Αιολική Ενέργεια .....	27
<i>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αφαλάτωση</i> .....	29
3.1 Ιστορία και παραδείγματα αφαλάτωσης σε παγκόσμια κλίμακα.....	32
3.2 Μέθοδοι αφαλάτωσης .....	35
3.3 Οι απαιτήσεις σε ενέργεια μιας μονάδας αφαλάτωσης.....	58
3.4 Χρήση ΑΠΕ στην αφαλάτωση.....	58
3.4.1 Αφαλάτωση με χρήση ηλιακής ενέργειας.....	59
3.4.2 Αφαλάτωση με χρήση αιολικής ενέργειας.....	64
3.4.3 Εφαρμογές αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας .....	67
3.4.4 Αφαλάτωση με χρήση γεωθερμίας.....	68
3.4.5 Περιγραφή Τεχνολογίας.....	71
3.4.6 Πλεονεκτήματα της χρήσης της γεωθερμίας στην αφαλάτωση .....	86
3.4.7 Περιορισμοί στην ανάπτυξη.....	87
3.5 Συνδυασμοί αφαλάτωσης και ΑΠΕ.....	89

3.6 Άλλες χρησιμοποιούμενες ΑΠΕ.....	93
<i>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Το πρόβλημα της έλλειψης νερού στον Ελληνικό νησιωτικό χώρο - η περίπτωση της Μήλου.....</i>	<i>94</i>
4.1 Εξέταση της περίπτωσης της Μήλου .....	99
4.2 Τεχνική περιγραφή του έργου .....	100
4.3 Οφέλη από την δημιουργία της μονάδας.....	103
<i>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Οικολογικά Συστήματα Αφαλάτωσης στην Μήλο.....</i>	<i>104</i>
5.1 Εγκατάσταση Μονάδας Αφαλάτωσης.....	104
5.2 Αποτίμηση Παραγόντων για την Αφαλάτωση .....	105
5.3 Περιβαλλοντική αποτίμηση.....	114
5.4 Προγραμματισμός χρήσης τεχνολογιών για την κάλυψη των αναγκών της Μήλου.....	117
5.5 Προσδιορισμός των κύριων παραμέτρων της μονάδας αφαλάτωσης .....	129
5.6 Η μονάδα αφαλάτωσης.....	135
5.7 Κόστος αφαλάτωσης .....	138
<i>Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Συμπεράσματα.....</i>	<i>142</i>
Βιβλιογραφία.....	145

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Εισαγωγή

Η έλλειψη νερού στα νησιά του Αιγαίου είναι ένα πρόβλημα με προϊστορία. Τα νησιά ήταν ανέκαθεν άνυδρα, ωστόσο, στα νεότερα χρόνια το πρόβλημα της έλλειψης νερού σε αυτά εντείνεται λόγω της αύξησης του πληθυσμού, του βιοτικού επιπέδου και του τουρισμού. Η πολιτεία είχε επιλέξει ως προσωρινή λύση στο πρόβλημα την μεταφορά νερού (μη πόσιμου) στα νησιά με πλοία. Ωστόσο, τα ποσά που δαπανώνται με αυτή την πρακτική αυξάνουν ολοένα και περισσότερο, ενώ το πρόβλημα δεν λύνεται επί της ουσίας.

Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία της αφαλάτωσης έχει ωριμάσει αρκετά. Ήδη έχουν εγκατασταθεί σε αρκετά νησιά μονάδες αφαλάτωσης και έχουμε κάποια καλά παραδείγματα εφαρμογών. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελεί η μονάδα αφαλάτωσης της Μήλου, η οποία λειτουργεί αντλώντας την ενέργεια που χρειάζεται από αιολική μηχανή συνδεδεμένη με το δίκτυο. Πρόκειται για ένα έργο πρωτοποριακό για τα δεδομένα της Ελλάδας, το οποίο όμως αξιοποιεί μόνο το αιολικό δυναμικό του νησιού αφήνοντας ανεκμετάλλευτο το γεωθερμικό και ηλιακό δυναμικό του νησιού. Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης είναι ο συνδυασμός της γεωθερμίας, της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας της Μήλου για την πλήρη κάλυψη των αναγκών του νησιού σε νερό. Η λύση που προτείνεται είναι ο συνδυασμός των μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ, των οποίων το δυναμικό είναι άφθονο στο νησί.[1]

Οι τεχνολογίες αφαλάτωσης νερού απασχολούν την διεθνή επιστημονική κοινότητα και αυτό είναι έκδηλο από την πληθώρα των δημοσιεύσεων σε διάφορα έγκριτα περιοδικά. Οι M.A Darwish και συνεργάτες [2] υπολόγισαν την ανηγμένη ενέργεια που καταναλώνεται από τις μονάδες αφαλάτωσης με Άμεση Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων, την μοναδική μέθοδο που χρησιμοποιείται έως σήμερα στην περιοχή του Κουβέιτ. Η ανηγμένη ενέργεια που καταναλώνεται υπολογίστηκε ότι ανέρχεται σε 25 Kwh/m<sup>3</sup> ποσό που είναι αρκετά υψηλότερο συγκρινόμενο με άλλες μεθόδους αφαλάτωσης όπως είναι η Αντίστροφη Όσμωση όπου η μέση κατανάλωση είναι 5 Kwh/m<sup>3</sup> και η Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης με κατανάλωση 12 Kwh/m<sup>3</sup>.

Η μικρή ειδική ενέργεια που καταναλώνεται από μονάδες αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης αποτελεί βασική αιτία για την ευρύτερη εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου. Οι Ghazi Al – Enezi και Nagla Fawzi [3] μελέτησαν παραμετρικά την

απόδοση των μεμβρανών αυτών. Συγκεκριμένα, ασχολήθηκαν με εγκατάσταση αφαλάτωσης μιας βαθμίδας, δύο βαθμίδων και με μονάδα δύο περασμάτων, με τους υπολογισμούς τους να πραγματοποιούνται συναρτήσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας και της θερμοκρασίας. Οι Masaru Kurihara και συνεργάτες [4] ανέπτυξαν μία μέθοδο προκειμένου να περιορίσουν ακόμα περισσότερο την ειδική καταναλισκόμενη ενέργεια καθώς και το μέγεθος του χώρου εγκατάστασης. Πρόκειται για μια μονάδα αφαλάτωσης μετατροπής άλμης δύο βαθμίδων (BCS, Brine Conversion System). Με βάση την συγκεκριμένη μέθοδο, λειτουργεί με επιτυχία πιλοτική εγκατάσταση στο Toray's Ehime. Οι Gerry Filteau και Peter Moss δημοσίευσαν [5] πληροφορίες και τεχνικά στοιχεία για την απόδοση και τα χαρακτηριστικά μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης που λειτουργούσαν σε πολύ χαμηλότερη πίεση τροφοδοσίας. Οι S.A. Avlonitis και συνεργάτες [6] αξιολόγησαν και εκτίμησαν την καταναλισκόμενη ενέργεια καθώς και το κόστος αντικατάστασης των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης θαλασσινού νερού (SWRO, SeaWater Reverse Osmosis). Πρότειναν μεθόδους για την μείωση του κόστους ενέργειας και για βέλτιστη διαδικασία καθαρισμού των μεμβρανών. Ειδικότερα, η μέθοδος καθαρισμού που προτάθηκε βασίστηκε σε συνδυασμό υδροδυναμικού και χημικού καθαρισμού σύμφωνα με τον οποίο η απόδοση των μεμβρανών βελτιώνεται και ο χρόνος ζωής τους επιμηκώνεται. Επιπλέον οι Ioannis Karagiannis και Petros G. Soldatos [7] πραγματοποίησαν περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης στα νησιά του Αιγαίου σχετικά με την κατανάλωση νερού. Δημοσίευσαν στοιχεία που αφορούν στις μεταφερόμενες ποσότητες νερού, την εποχικότητα της ζήτησης καθώς και τις υφιστάμενες μονάδες αφαλάτωσης που έχουν εγκατασταθεί στα νησιά του Αιγαίου.

Πολλοί επιστήμονες έχουν εστιάσει το ενδιαφέρον τους στην άμεση αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας με μηχανική σύζευξη χωρίς να μεσολαβεί μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια που συνεπάγεται σημαντικές απώλειες. Εκτεταμένη έρευνα πραγματοποιήθηκε από τους Liu και συνεργάτες [8] οι οποίοι κατασκεύασαν μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης που περιελάμβανε σύστημα ανεμόμυλου-αντλίας, ρυθμιστή ροής και πίεσης, στοιχείο μεμβράνης αντίστροφης όσμωσης και σύστημα ελέγχου. Με το σύστημα ελέγχου επετεύχθη λειτουργία της μονάδας για ταχύτητες ανέμου κάτω από 5 m/sec. Δεδομένου ότι η σύζευξη Α/Γ-αντλίας παρουσιάζει ιδιαιτερότητες και δυσκολίες στην υλοποίησή της, οι Juan La Rotta, Alvaro Pinilla [9] μελέτησαν πειραματικά την απόδοση και την δυναμική

συμπεριφορά μιας εμπορικής αντλίας θετικής μετατόπισης οδηγούμενης από την Α/Γ. Οι Rod Robinson και συνεργάτες [10] σε περίοδο δύο ετών εξέτασαν το ενδεχόμενο αξιοποίησης υπόγειων υδάτων που θα καθίστανται πόσιμα αφού υποστούν αφαλάτωση. Η διεργασία αυτή πραγματοποιείται με οδήγηση των αντλιών του συστήματος αφαλάτωσης άμεσα από Α/Γ. Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε ο σχεδιασμός του πρωτότυπου συστήματος, η κατασκευή του και ο διαγνωστικός έλεγχος, προκειμένου να προσδιοριστεί η ποσότητα και η ποιότητα του παραγόμενου αφαλατωμένου νερού και η αξιοπιστία λειτουργίας του υπό διάφορες συνθήκες. Από τα παραπάνω είναι έκδηλο πως η αφαλάτωση καθώς και η ενέργεια σε διάφορες μορφές παρουσιάζουν ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον και μπορούν να μελετηθούν σε ένα ευρύ φάσμα παραμέτρων.

Η μελέτη που ακολουθεί, αποτελεί μια εφ'όλης της ύλης, ολοκληρωμένη μεθοδολογική προσέγγιση του ζητήματος της αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ στο νησί της Μήλου. Καταρχήν, γίνεται λεπτομερής καταγραφή της παρούσας κατάστασης που επικρατεί στην Μήλο. Στην συνέχεια, ακολουθεί μια θεωρητική περιγραφή των τεχνολογιών αφαλάτωσης και των τρόπων σύνδεσης τους με μονάδες ΑΠΕ έτσι ώστε να διαμορφωθεί τελικά μια ολοκληρωμένη πρόταση η οποία θα εξασφαλίζει την κάλυψη των αναγκών της Μήλου σε νερό με τον συνδυασμό αιολικής, γεωθερμικής και ηλιακής ενέργειας.

Τέλος, καταγράφονται τα βασικότερα συμπεράσματα από την μελέτη.

## Περίληψη

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εξετάζεται η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών της Μήλου, από μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες θα παράγουν πόσιμο νερό. Οι ενεργειακές ανάγκες της αφαλάτωσης θα καλύπτονται από παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Στόχος είναι η εκμετάλλευση του υψηλού ηλιακού, αιολικού και γεωθερμικού δυναμικού που παρουσιάζει το νησί της Μήλου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της περιοχής μελέτης, και εξετάζεται το διαθέσιμο δυναμικό της σε ηλιακή, αιολική και γεωθερμική ενέργεια.

Στην συνέχεια, στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι μέθοδοι αφαλάτωσης, οι οποίες χωρίζονται σε θερμικές και μεμβρανών. Οι πρώτες περιλαμβάνουν αλλαγή φάσης, ενώ οι δεύτερες πραγματοποιούνται σε μία μόνο φάση, δηλαδή την υγρή. Παρουσιάζονται επίσης οι τρόποι σύνδεσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με μονάδες αφαλάτωσης. Ο συνδυασμός συστήματος αφαλάτωσης με ΑΠΕ είναι τεχνικά εφικτός. Δύο είναι οι πιθανοί τρόποι συνδυασμού των τεχνολογιών αφαλάτωσης, τα πλήρως αυτόνομα συστήματα τα οποία δεν απαιτούν την σύνδεσή τους σε κάποιο δίκτυο διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς είναι ικανά να παράγουν από μόνα τους την απαιτούμενη για την λειτουργία τους ηλεκτρική ενέργεια, και τα συνδεδεμένα συστήματα στο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στα οποία η μονάδα αφαλάτωσης καθώς και η μονάδα ΑΠΕ συνδέονται στο δίκτυο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας αναλύεται η υφιστάμενη κατάσταση υδροδότησης των άνωδρων νησιών του Αιγαίου η οποία συνίσταται κυρίως από τις μεταφερόμενες ποσότητες νερού με υδροφόρα πλοία από την ηπειρωτική χώρα και τις γεωτρήσεις, ιδιωτικές ή δημοτικές. Επίσης, παρουσιάζεται η εγκατεστημένη μονάδα αφαλάτωσης της Μήλου, η οποία κάνει χρήση ενέργειας που παράγεται από μονάδα ΑΠΕ.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για την επιλογή εκείνη της μονάδας ΑΠΕ που θα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της αφαλάτωσης και θα είναι μια επένδυση βιώσιμη και συμφέρουσα για τον επενδυτή.

Τέλος, στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρατίθενται τα τελικά συμπεράσματα της μελέτης.

## **Abstract**

This master thesis examines the cover of water needs in the island of Milos, using desalination plants which will produce potable water. The desalination's energy requirements will be covered by energy produced from Renewable Energy Sources (RES). The purpose is to exploit the rich solar, wind and geothermal resources of Milos.

In the second chapter, there is a presentation of the study area and the available potential in solar, wind, and geothermal energy.

The third chapter, describes the two categories of desalination, thermal and membrane. The first include phase change, while the second are carried out in the liquid phase. There is also a presentation of the ways in which the Renewable Energy Sources can be connected to desalination plants. The combination of Renewable Energy Sources and desalination plant is technical feasible. There are two possible ways of compining the two technologies, the fully autonomous system that does not require connection to an electricity distribution network and is capable of generating on its own the necessary electricity for its functioning, and a system connected to the grid where both the desalination plant and the RES unit are connected to the grid.

In the fourth chapter, the current situation of water supply in the arid islands of the Aegean is explained. It mainly consists of the transported water quantities from the mainland and private or municipal wells. Furthermore, there is a presentation of the desalination plant in Milos which uses energy generated from a RES.

In the fifth and sixth chapter, the methodology for the selection of the RES plant that will be covering the energy needs of the desalination so as the investment to be viable and profitable for the investor, is presented.

At the end of the master thesis, the final conclusions of the study are presented.



## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Μήλος – Παρουσίαση της περιοχής μελέτης

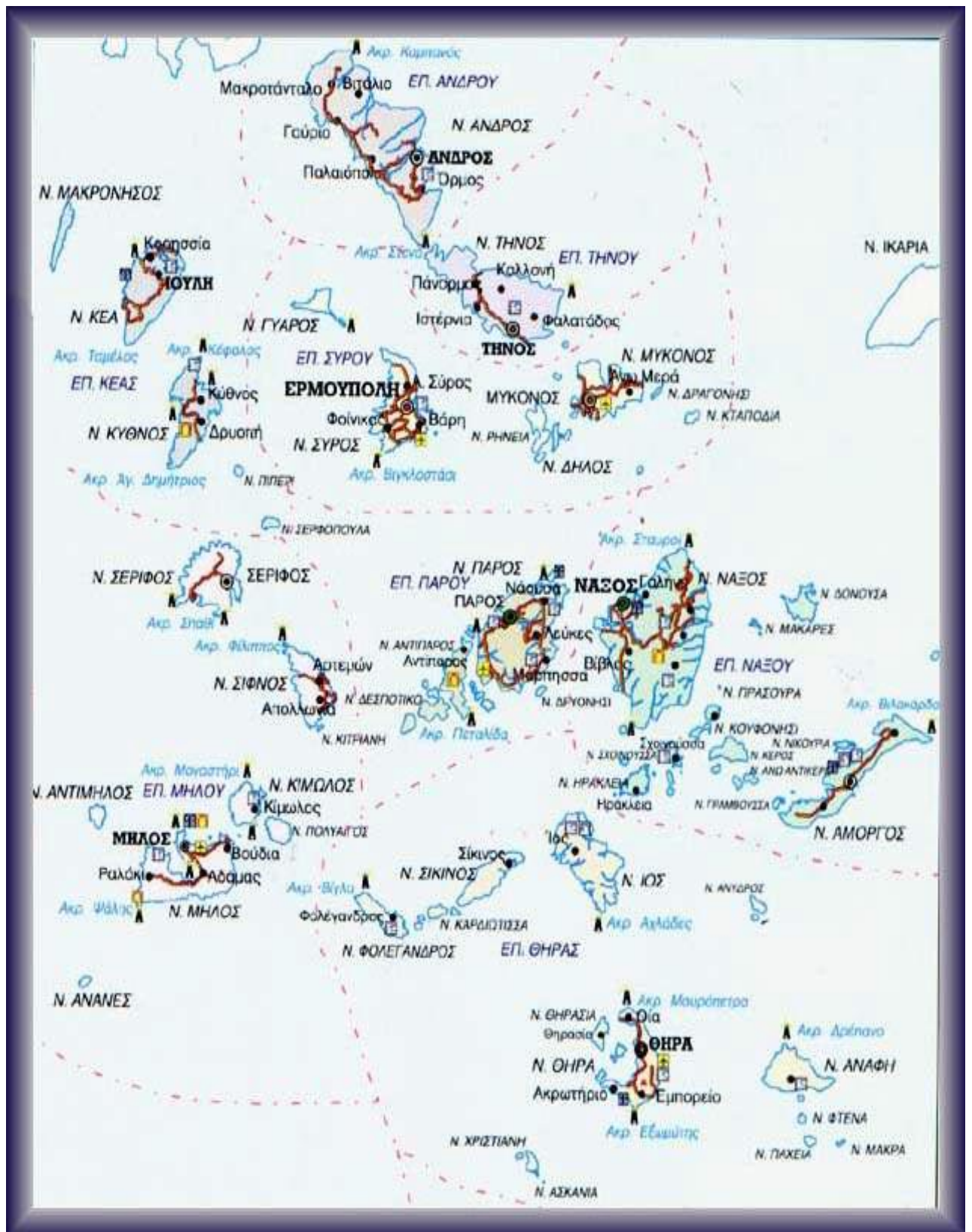
### 2.1 Γενικά στοιχεία για το νησί

#### 2.1.1 Γεωγραφία

Η νήσος Μήλος βρίσκεται στο σύμπλεγμα των Κυκλάδων με γεωγραφικό πλάτος 36<sup>ο</sup> 41' Βόρειο και γεωγραφικό μήκος 24<sup>ο</sup> 25' Ανατολικό. Η επιφάνειά του ανέρχεται σε 151 km<sup>2</sup> με μήκος ακτών 126 km και έδαφος μάλλον ορεινό με χαμηλό ύψος βουνών και υψηλότερη κορυφή αυτή του Προφήτη Ηλία στα 751 m. Είναι ένα ηφαιστειακό νησί, ξηρό και ανεμώδες με ετήσια βροχόπτωση κάτω των 400 mm. Οι οικισμοί του νησιού αποτελούν σήμερα τον Δήμο της Μήλου με κύριο λιμάνι στον Αδάμαντα. Οι περισσότεροι οικισμοί είναι συγκεντρωμένοι στο Βόρειο και Βορειοανατολικό μέρος του νησιού.[11] Στην εικόνα 1 παρατίθεται δορυφορική εικόνα της Μήλου και στην εικόνα 2 ο χάρτης της Μήλου.



Εικόνα 1: Μήλος, Πηγή: Google Earth



Εικόνα 2: Το νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων. Πηγή: [www.mykosmos.gr](http://www.mykosmos.gr)

### **2.1.2 Μορφολογία**

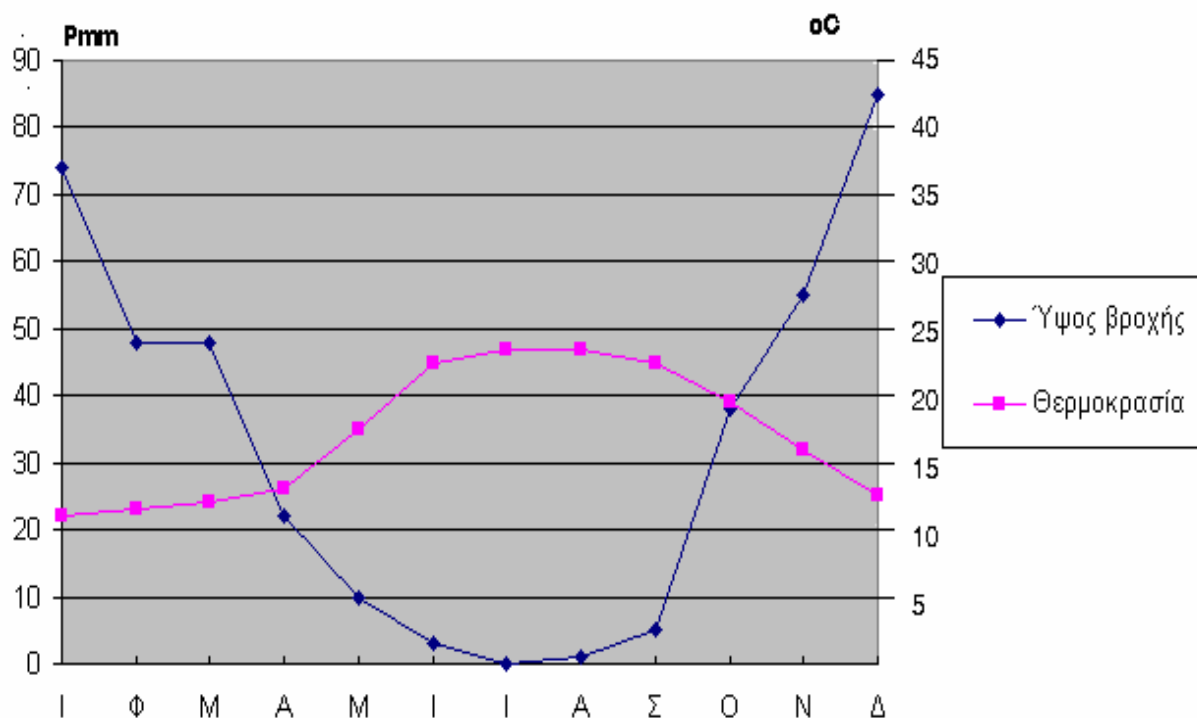
Η Μήλος καταλαμβάνει έκταση 151.000 στρέμματα και σε ποσοστό 86% είναι υψομετρικά χαμηλότερη από 200μ. Η μορφολογία του νησιού εξαρτάται άμεσα από τη γεωλογία της.

Στο Νοτιοδυτικό και Δυτικό μέρος του νησιού οι μεγάλοι και πολυάριθμοι ηφαιστειακοί δόμοι επέδρασαν καθοριστικά στη μορφολογία του. Έτσι το μέρος αυτό είναι πιο λοφώδες από ότι το ανατολικό με υψηλότερο σημείο την κορυφή Προφήτης Ηλίας, με υψόμετρο 751μ., η οποία σημειώνεται ότι είναι και η υψηλότερη του νησιού. Στο ανατολικό τμήμα η μεγαλύτερη εξάπλωση των χαλαρών και εξαλλοιωμένων πετρωμάτων έδωσε χαμηλό ανάγλυφο. Στο τμήμα αυτό το μεγαλύτερο υψόμετρο είναι 251μ. στην Μουρτόραχη.[12]

Οι μορφολογικές κλίσεις ποικίλουν, αλλά είναι γενικά πολύ μεγάλες στις κλιτείς των ηφαιστειακών δομών (Πλάκα) και στις εξωτερικές κλιτείς των ηφαιστειακών κώνων (Φυρίπλακα) καθώς και στο σύνολο των κλιτύων του ηφαιστειακού κώνου του Προφήτη Ηλία. Πιο απότομο ανάγλυφο και μεγάλες μορφολογικές κλίσεις παρουσιάζονται στις Ανατολικές ακτές της νήσου με χαρακτηριστικές περιπτώσεις τους κρημούς της ακτογραμμής ανατολικά της περιοχής Δεμενεγάκι και Θειορυχείων, στα μεγάλα ρήγματα (Λεκάνη Ζεφυρίας) και στα ορυχεία της βορειοανατολικής Μήλου.

### **2.1.3 Κλίμα**

Το κλίμα της Μήλου είναι μεσογειακό και τις περισσότερες μέρες του χρόνου επικρατεί ηλιοφάνεια. Οι χειμώνες είναι ήπιοι με λίγες βροχοπτώσεις και τα καλοκαίρια είναι ζεστά με καθόλου βροχοπτώσεις. Κύριος παράγοντας δροσιάς είναι τα κυκλαδίτικα μελέμια (βόρειοι περιοδικοί άνεμοι) που από τα μέσα του Ιουλίου μέχρι και τα μέσα Αυγούστου πνέουν σχεδόν καθημερινά.



**Διάγραμμα 1:** Κλιματολογικές συνθήκες. Ύψος βροχής – θερμοκρασίας. Πηγή: ΕΜΥ

Σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα (διάγραμμα 1) του σταθμού της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας στη Μήλο, το νησί είναι άνομβρο γενικά και η ετήσια βροχόπτωση εκτιμάται κάτω των 400 mm το χρόνο, ενώ η μέση ετήσια υγρασία είναι 811.4 mm. Οι περισσότερες βροχές παρατηρούνται τον Δεκέμβριο (85 mm μέσο μηνιαίο ύψος βροχής), ενώ τον Ιούλιο και τον Αύγουστο οι βροχές είναι ιδιαίτερα σπάνιες (0.3 mm και 1.1 mm μέσο μηνιαίο ύψος βροχής για τον Ιούλιο και τον Αύγουστο αντίστοιχα).

Οι μέσες θερμοκρασίες κυμαίνονται από 10.7° C τον Ιανουάριο ως 25.1° C τον Ιούλιο. Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία και η μέση μέγιστη θερμοκρασία είναι 8.5° C τον Φεβρουάριο και 28.3° C τον Ιούλιο αντίστοιχα, δηλαδή περίπου 1 προς 3.3. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 17.4° C, η μέση θερινή θερμοκρασία είναι 24° C και η μέση χειμερινή 12° C, δηλαδή η μέση θερινή είναι μόλις 2 φορές μεγαλύτερη από τη μέση χειμερινή.[13]

### **2.1.4 Γεωλογία**

Η Μήλος είναι ηφαιστειογενές νησί, αποτέλεσμα εκτεταμένης ηφαιστειακής δραστηριότητας.

Εξαιτίας φαινομένων τα οποία συνδυάζονται άμεσα με το γεωλογικό καθεστώς στο χώρο του τόξου (έντονη τεκτονική γεωθερμική δραστηριότητα, εξαλλοιώσεις) έχουν δημιουργηθεί οικονομικού ενδιαφέροντος προϊόντα εξαλλοίωσης (καολίνης, μπετονίτης) ή μεταλλοφόρες (βαρύτης, άργυρος, θείο, μαγγάνιο κλπ.) καθώς και σημαντικά γεωθερμικά πεδία στο νησί, κυρίως στη περιοχή της Ανατολικής Μήλου.

Η στρωματοποιημένη εικόνα του νησιού από τους κατώτερους προς τους ανώτερους σχηματισμούς είναι η εξής: κρυσταλλικό υπόβαθρο, νεογενή ιζήματα, παλιοί ηφαιστειακοί τόφοι και τοφίτες, ιγνιμβρίτες, παλιές ρυολιθικές εκχύσεις, παλιές δακτιλικές – ανδεσιτικές εκχύσεις, διαφόρων τύπων αναβλήματα, νεότεροι τόφοι, διάφορα λαχάρ, νεότερες ρυολιθικές εκχύσεις και αναβλήματα και νεότερες αποθέσεις.[14]

### **2.1.5 Ηφαιστειότητα**

Τα ηφαιστειακά φαινόμενα στη Μήλο φαίνεται ότι άρχισαν στο Α. Πλειόκαινο. Χρονικά προηγούνται τα πυροκλαστικά πετρώματα που ακολουθούνται από μία ιγνιμβριτική σειρά περιορισμένης σύστασης. Ακολουθεί η δραστηριότητα κύριων εκχύσεων που δίνει δόμους και ρεύματα λάβας ανδεσιτικής έως ρυολιθικής σύστασης. Μέρος της ίδιας δραστηριότητας είναι τα περιορισμένης έκτασης πυροκλαστικά προϊόντα, προϊόντα από πυρακτωμένα σύννεφα καθώς και ο σχηματισμός του «πρώιμου λαχάρ».

Μετά τη δραστηριότητα του τύπου των εκχύσεων που αναφέρθηκε ανορθώθηκαν στη Μήλο, μερικά μεγαλύτερα ηφαιστειακά κέντρα (σειρά Φυριπλάκας – Τράχηλα). Η δραστηριότητα τους ήταν κύρια εκρηκτική και δημιούργησε στρώσεις από τεμάχη λάβας, κισσήρεις και τέφρες σε συνεχείς εναλλαγές.

Η τελευταία αυτή δραστηριότητα τερμάτισε ουσιαστικά τον ηφαιστειακό κύκλο του νησιού. Ακολούθησαν βέβαια τοφίτες που αποτέθηκαν σε σύγχρονες εποχές αλλά

είναι άγνωστη η ακριβή τους τοποθέτηση. Οι σύγχρονες εκδηλώσεις περιορίζονται πλέον σε ισχυρά γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας και σε έντονη υδροθερμική δραστηριότητα.[15]

### **2.1.6 Υδρογεωλογία – Υδρολογία**

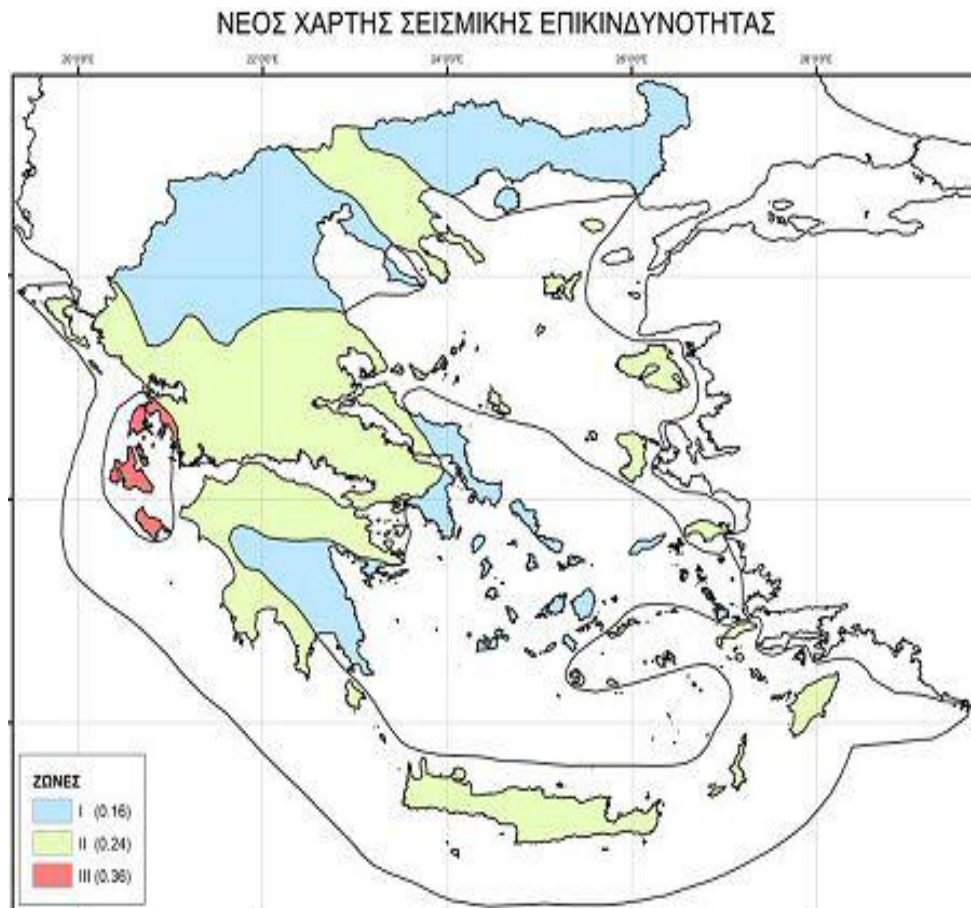
Η υπάρχουσα μορφολογία, η τεκτονική δομή, η ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων, η ηλικία του γεωλογικού υποβάθρου και το κλίμα επέδρασαν κατά μεγάλο βαθμό στη μορφή της ανάπτυξης του υδρογραφικού δικτύου.

Η ύπαρξη των δομών και των ηφαιστειακών κώνων συντελεί στην ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου σε ακτινοειδή μορφή. Το δίκτυο αποκλίνει από την κεντρική υπερυψωμένη περιοχή όπως παρατηρείται στο δυτικό τμήμα του νησιού στις περιοχές Χονδρό Βουνό και Προφήτης Ηλίας, όπου τα ρέματα του Αγίου Ιωάννη, Δασίφνου, Κακοποταμός, Τούλι, Λεμονιάς και άλλα ενδιάμεσα ρέματα αποκλίνουν και δημιουργούν κενές περιοχές, δηλαδή περιοχές χωρίς υδρογραφικό δίκτυο. Η ακτινοειδής μορφή επομένως του υδρογραφικού παρατηρείται στις θέσεις εκείνες του νησιού όπου υπάρχουν δόμοι και λόφοι. Στο ανατολικό τμήμα επίσης, στη θέση Άγιοι Θεόδωροι, στη Μουρτόραχη, υπάρχει κενή περιοχή χωρίς ρέματα, λόγω απόκλισης εξαιτίας του ψηλού αναγλύφου. Παράλληλη επίσης ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου παρατηρείται στα δυτικά και νοτιοδυτικά του νησιού όπου υπάρχουν απότομες κλιτείς των δομών και των λόφων.[16]

Γενικά οι κύριοι κλάδοι των διαφόρων δικτύων είναι παράλληλοι μεταξύ τους, καθώς επίσης σε πολλές θέσεις και οι δευτερεύοντες κλάδοι διατάσσονται παράλληλα. Οι δευτερεύοντες κλάδοι σε πολλά σημεία συνδέονται ορθογωνίως με τους κύριους κλάδους. Στις θέσεις Ζεφύρια, Λειβαδιά, Βουβάλια και Λουτρά, το υδρογραφικό δίκτυο λείπει ή είναι ελάχιστα ανεπτυγμένο (τυφλά ρέματα διότι δεν εκβάλλουν στη θάλασσα) εξαιτίας των πετρωμάτων τα οποία έχουν μεγάλη περατότητα. Τα συναντώμενα πετρώματα εδώ είναι αλλούβιες αποθέσεις, πρόσφατοι ηφαιστειακοί σχηματισμοί και ρεύματα λάβας που παρουσιάζουν μεγάλη περατότητα.

### 2.1.7 Σεισμικότητα

Στην εικόνα 3 που ακολουθεί παρατηρούνται οι ισχύουσες ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου. Η Μήλος ως επί το πλείστον χαρακτηρίζεται από μικρή σεισμική επικινδυνότητα, όπως παρουσιάζεται στον χάρτη, βρισκόμενη στην 1η Ζώνη με τιμές ενεργού εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού έως 0,16 g.[17]



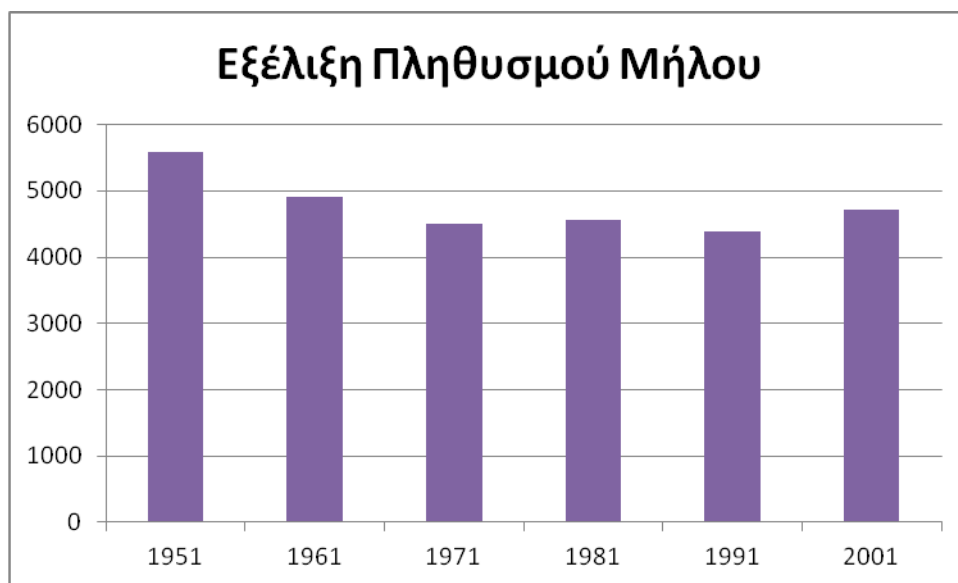
**Εικόνα 3:** Νέος Χάρτης Σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδας 2004,  
Πηγή: Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας - ΥΠΕΧΩΔΕ

### 2.1.8 Δημογραφικά στοιχεία - Απασχόληση

Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή και τα προσωρινά αποτελέσματα της γενικής απογραφής πληθυσμού για το 2011, ο μόνιμος πληθυσμός της Μήλου ανέρχεται στους 4.960 ανθρώπους. Από αυτούς, οι 2.510 είναι άρρενες, οι 2.450 γυναίκες και η πυκνότητα του πληθυσμού είναι 30.97 άνθρωποι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.[18] Τα στοιχεία αυτά περιλαμβάνονται στον πίνακα 1 που ακολουθεί και στο διάγραμμα 2 απεικονίζεται η εξέλιξη του πληθυσμού του νησιού.

Δήμος Μήλου	Πληθυσμός 1951	Πληθυσμός 1961	Πληθυσμός 1971	Πληθυσμός 1981	Πληθυσμός 1991	Πληθυσμός 2001
<b>Οικισμός</b>						
<b>Μήλος</b>	4829	4155	3631	3453	3222	3460
<b>Αδάμαντας</b>	759	759	872	1103	1168	1254
<b>Σύνολο</b>	<b>5588</b>	<b>4914</b>	<b>4503</b>	<b>4556</b>	<b>4390</b>	<b>4714</b>

Πίνακας 1: Εξέλιξη Πληθυσμού Δήμου Μήλου, Πηγή: ΕΣΥΕ.



Διάγραμμα 2: Εξέλιξη του πληθυσμού της Μήλου. Πηγή: ΕΣΥΕ

- ✓ Η περιοχή της Μήλου χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό μεσήλικων και υπερήλικων, γεγονός που οφείλεται στην μετακίνηση των νέων από την περιοχή σε άλλες περιοχές της Ελλάδας.



- ✓ Η περιοχή έχει ήδη εισέλθει σε φάση τριτογενοποίησης της οικονομίας. Χαρακτηριστικό είναι το εξαιρετικά χαμηλό ποσοστό των απασχολούμενων στην γεωργία.
- ✓ Είναι σαφής ο προσανατολισμός της περιοχής μελέτης προς τον τριτογενή τομέα με κύριους αποδέκτες τους κλάδους του εμπορίου, μεταφορών και των λοιπών υπηρεσιών και λιγότερο τον τουρισμό. Από την άλλη πλευρά όμως, καθώς ο ορυκτός πλούτος της περιοχής είναι ιδιαίτερα σημαντικός, δημιουργεί σημαντικές ευκαιρίες για την απασχόληση και την τοπική οικονομία.
- ✓ Αναφορικά με τη συμμετοχή των γυναικών στην απασχόληση, πρέπει να σημειωθεί ο ιδιαίτερα μικρός βαθμός ένταξής τους στην παραγωγική διαδικασία, με μεγαλύτερη συγκέντρωση στον τριτογενή τομέα παραγωγής. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι λειτουργούν περισσότερο συμπληρωματικά στην τοπική οικονομία. Η συμπληρωματικότητα αυτή είναι αρκετά συνηθισμένη στην ελληνική περιφέρεια. Σημειώνεται πάντως ότι τα τελευταία έτη έχει παρατηρηθεί μεγαλύτερη συμμετοχή του γυναικείου φύλλου στην απασχόληση.

## **2.2 Υδρογραφικό δίκτυο**

Η υπάρχουσα μορφολογία, καθώς και η τεκτονική δομή, είχαν σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη του παρακάτω περιγραφόμενου υδρογραφικού δικτύου. Η ύπαρξη των δόμων και των ηφαιστειακών κώνων συντελεί στην ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου με ακτινοειδή μορφή. Το δίκτυο αποκλίνει από την κεντρική υπερυψωμένη περιοχή, όπως παρατηρείται στο δυτικό τμήμα του νησιού, στις περιοχές Χονδρό Βουνό και Προφήτης Ηλίας, όπου τα ρέματα (Αγιαννιού, Δασίφνου, Κακοπόταμος, Τούλι, Λεμονιάς και άλλα ενδιάμεσα ρέματα) αποκλίνουν και δημιουργούν κενές περιοχές, δηλαδή περιοχές χωρίς υδρογραφικό δίκτυο. Η ακτινοειδής μορφή του υδρογραφικού δικτύου παρατηρείται στις θέσεις εκείνες του νησιού όπου υπάρχουν δόμοι και λόφοι. Στο ανατολικό τμήμα, επίσης, στη θέση Άγιοι Θεόδωροι, στη Μουρτοράχη, υπάρχει κενή περιοχή, χωρίς ρέματα, λόγω απόκλισης, εξαιτίας του υψηλού αναγλύφου (Shafiqheh Andseta, 1983).

Επίσης, παρατηρείται η παράλληλη μορφή του υδρογραφικού δικτύου που συναντάται στο βόρειο τμήμα του νησιού, στην περιοχή Καμίνια, λόγω της τεκτονικής της περιοχής. Εδώ τα υπάρχοντα ρήγματα είναι παράλληλα και το υδρογραφικό δίκτυο ακολουθεί τη διεύθυνσή τους. Παράλληλη επίσης ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου παρατηρείται στα δυτικά και νοτιοδυτικά του νησιού, όπου υπάρχουν απότομες κλιθείες των δόμων και των λόφων. Γενικά, οι κύριοι κλάδοι των διαφόρων δικτύων είναι παράλληλοι μεταξύ τους, καθώς επίσης σε πολλές θέσεις και οι δευτερεύοντες κλάδοι διατάσσονται παράλληλα. Οι δευτερεύοντες κλάδοι σε πολλά σημεία συνδέονται ορθογωνίως με τους κύριους κλάδους.[19]

Στις θέσεις Ζεφυρία, Λειβάδια, Βουνάλια και Λουτρά το υδρογραφικό δίκτυο απουσιάζει εξαιτίας της μεγάλης περατότητας των πετρωμάτων. Τα συναντούμενα στρώματα εδώ είναι αλλούβιες αποθέσεις, πρόσφατοι ηφαιστειακοί σχηματισμοί και ρεύματα λάβας που παρουσιάζουν μεγάλη περατότητα επίσης. Η περιοχή αποστραγγίζεται από πολλά ρέματα διαιρετικού μήκους, τα οποία δημιουργούν πολλές αυτοτελείς λεκάνες απορροής διαφόρων μεγεθών.

Στο δυτικό τμήμα, η κύρια γραμμή του υδροκρίτη (γραμμή διαχωρισμού των υδάτων), λόγω της ύπαρξης πολλών λόφων δεν διακρίνεται σαφώς. Στο νοτιο-δυτικό μέρος η υδροκριτική γραμμή παύει πλέον να είναι μια γραμμή και γίνεται ένα σημείο το οποίο βρίσκεται σε υψόμετρο 751 m, στην κορυφή του Προφήτη Ηλία. Οι μεγαλύτερες λεκάνες του δυτικού τμήματος είναι οι λεκάνες των ρεμάτων Αγιαννιού και Δασίφνου, που πηγάζουν από τον Προφήτη Ηλία.

Στο ανατολικό τμήμα γενικά παρατηρείται μεγαλύτερος αριθμός λεκανών απορροής απ' ό,τι στο δυτικό, με μικρότερο όμως εμβαδόν. Στο ανατολικό και νοτιοανατολικό παράκτιο τμήμα του νησιού υπάρχουν πολλές μικρές αυτοτελείς λεκάνες. Η μεγαλύτερη λεκάνη του ανατολικού τμήματος είναι η λεκάνη της Ζεφυρίας που είναι σύμπλεγμα από λεκάνες πολλών τυφλών υδατορευμάτων. Τα υδατορεύματα αυτά δεν εκβάλλουν στη θάλασσα, διότι αναπτύσσονται σε αλλούβια στρώματα με αυξημένη περατότητα. Στην περιοχή αυτή είναι δύσκολος ο διαχωρισμός μιας σαφούς υδροκριτικής γραμμής. Ο υδροκρίτης της λεκάνης της Ζεφυρίας είναι μια κύρια υδροκριτική γραμμή για όλες τις γειτονικές λεκάνες της κεντρικής περιοχής. Η κύρια υδροκριτική γραμμή στο ανατολικό τμήμα είναι περισσότερο γωνιώδης απ' ό,τι στο

δυτικό που είναι ομαλή. Οι οξύληκτες μορφές εξαρτώνται από την τεκτονική της περιοχής, καθώς και από την γεωλογία.

Στο νοτιοανατολικό τμήμα η παρουσία του υποβάθρου στην επιφάνεια και ο έντονος τεκτονισμός διευκολύνει τη δίοδο των υδροθερμικών διαλυμάτων, τα οποία επιφέρουν εξαλλοίωση στα υπάρχοντα πετρώματα, κατά διάφορες διευθύνσεις. Η διαφορετική αυτή εξαλλοίωση υποδηλώνει διαφορετική ταχύτητα διάβρωσης, με αποτέλεσμα η υδροκριτική γραμμή διαχωρισμού των λεκανών απορροής να είναι πολύπλοκη.

Πάντως, στη Μήλο η επίδραση της τεκτονικής φαίνεται σαφώς στη σημερινή ανάπτυξη της λεκάνης της Ζεφυρίας. Η λεκάνη της Ζεφυρίας ήταν μια κλειστή λεκάνη μεγάλης τάξης, με πολλούς και μεγάλους παραποτάμους που ήταν ενωμένοι με τον κύριο κλάδο που περνούσε βόρεια του οικισμού της Ζεφυρίας και έφτανε στη θάλασσα. Μετά από τα τεκτονικά γεγονότα που συνέβησαν στην περιοχή, το σύστημα ρηγμάτων με διεύθυνση B-N βυθίζει το τμήμα αυτό και αλλάζει τη μορφολογική κλίση ολόκληρης της περιοχής. Έτσι δημιουργείται απόθεση των αλλούβιων και μείωση της μεταφορικής ικανότητας των ρευμάτων. Τα ρεύματα διαχωρίζονται από τον κύριο κλάδο και έτσι δημιουργούνται τυφλά ρεύματα. Επίσης, στις περιοχές με έντονο ανάγλυφο τα ρεύματα έχουν μεγαλύτερη διαβρωτική ικανότητα απ' ό,τι στις περιοχές με μικρή κλίση, όπως είναι η πεδιάδα της Ζεφυρίας.

## **2.3 Ενεργειακό Σύστημα**

### **2.3.1 Ηλεκτρική Ενέργεια**

Η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται στους καταναλωτές στη Μήλο με απ'ευθείας πρόσβαση σε δύο επίπεδα τάσεως, την χαμηλή τάση (0,4 kV) και την μέση τάση (15 kV), ενώ τα τιμολόγια διακρίνονται ανάλογα με τη χρήση τους. Κατά κανόνα, το μέγεθος της ζήτησης οδηγεί και στο αντίστοιχο επίπεδο τάσεως με χαμηλότερες τιμές στα υψηλά επίπεδα τάσεως, κυρίως λόγω μειωμένων επενδύσεων στο δίκτυο, μικρές απώλειες και μειωμένες δαπάνες εκμετάλλευσης. Βασικά χαρακτηριστικά των τιμολογίων είναι η χρέωση για ζήτηση ισχύος (kW) και η χρέωση για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh), εκτός από μερικές περιπτώσεις στη χαμηλή τάση όπου

χρεώνεται μόνο η ενέργεια (kWh). Οι τάσεις που επικρατούν είναι οι διαφορετικές χρεώσεις για κάθε ζώνη ζήτησης με κατάλληλους μετρητές για να αποθαρρύνουν υψηλές καταναλώσεις στη ζώνη αιχμής και τελικά τη μείωση της μέγιστης ζήτησης, κάτι που δεν αποκλείεται να εφαρμοσθεί σύντομα στα νησιά.[20]

Η νήσος Μήλος δεν είναι συνδεδεμένη με το Εθνικό Σύστημα και ηλεκτροδοτείται από τον αυτόνομο σταθμό (ΑΣΠ) της ΔΕΗ που λειτουργεί με μονάδες πετρελαίου. Ο σταθμός είναι εγκατεστημένος κοντά στη θάλασσα μεταξύ Αδάμαντα και Ζεφυρίας και διαθέτει 9 μονάδες διαφόρων μεγεθών με συνολική αποδιδόμενη ισχύ 13.5 MW περίπου (εγκατεστημένη ισχύς 21.35 MVA). Λόγω παλαιότητας των μονάδων η αξιοπιστία τους κρίνεται χαμηλή και τα ενδεχόμενα βλαβών με μείωση της αποδιδόμενης ισχύος είναι πιθανά δημιουργώντας πρόβλημα ιδιαίτερα όταν εμφανίζονται κατά την θερινή περίοδο. Για την κάλυψη των αιχμών της θερινής περιόδου η ΔΕΗ προσφεύγει στην ενοικίαση ηλεκτροπαραγωγών μονάδων που αποτελεί μια πρόσθετη δαπάνη.

Το δίκτυο μέσης τάσης (15kV) είναι αρκετά εκτεταμένο για την ηλεκτροδότηση των καταναλωτών του νησιού. Η μέγιστη ζήτηση παρουσιάζεται κατά τον μήνα Αύγουστο τις βραδινές ώρες, ενώ το ελάχιστο του έτους είναι της τάξης των 2,1 MW κυρίως τους χειμερινούς μήνες και την Άνοιξη. Οι μήνες υψηλής ζήτησης είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος και ακολουθούν ο Σεπτέμβριος και ο Ιούνιος. Ο ρυθμοί αύξησης της ζήτησης ενέργειας και ισχύος είναι υψηλοί (της τάξης του 10% ετησίως) ενώ ο ετήσιος συντελεστής φορτίου είναι χαμηλός γύρω στο 43% με αποτέλεσμα μεγάλες διακυμάνσεις της ισχύος κατά τη διάρκεια του 24ώρου και εποχιακά.

Δεν αναφέρθηκαν μέτρα εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί. Προς το παρόν η εξοικονόμηση ενέργειας έγκειται στην ευαισθησία της κάθε οικογένειας ξεχωριστά.

### 2.3.2 Γεωθερμικό Πεδίο

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μία ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη, συνεπώς ανανεώσιμη, μορφή ενέργειας, η οποία αποτελεί ένα φυσικό εγχώριο πλούτο που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικό ποσοστό από τις ενεργειακές ανάγκες της χώρας μας. Παρά το γεγονός ότι έχει συμπληρωθεί μία τριακονταετία περίπου από την έναρξη των γεωθερμικών ερευνών στην Ελλάδα, διάστημα στο οποίο εντοπίστηκε ένας σημαντικός αριθμός γεωθερμικών πεδίων και πλήθος γεωθερμικά ελπιδοφόρων περιοχών, οι προσπάθειες που έγιναν κατά καιρούς για την αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών απέφεραν πενιχρά αποτελέσματα. Ένας από τους λόγους για την καθυστέρηση ανάπτυξης εντατικής έρευνας και αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα, αποτελούν και οι αντιδράσεις των τοπικών κοινωνιών, οι οποίες ενισχύονται από αστοχίες που συνδέονται με σχετικές ενέργειες του παρελθόντος.[21]

Οι έρευνες για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα άρχισαν το 1970 και μέχρι το 1980 αφορούσαν μόνο στις περιοχές που είχαν καταρχήν ενδιαφέρον για υψηλή ενθαλπία. Δόθηκε προτεραιότητα σε περιοχές οι οποίες δεν είχαν συνδεθεί με το χερσαίο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ. Εντοπίστηκαν δύο γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας (Μήλος, Νίσυρος) με πολύ καλά χαρακτηριστικά, αλλά η αξιοποίησή τους δεν προχώρησε. Επίσης εντοπίστηκαν και άλλα πιθανά πεδία υψηλής ενθαλπίας, για τα οποία, όμως, συστηματική έρευνα δεν έχει γίνει μέχρι σήμερα.

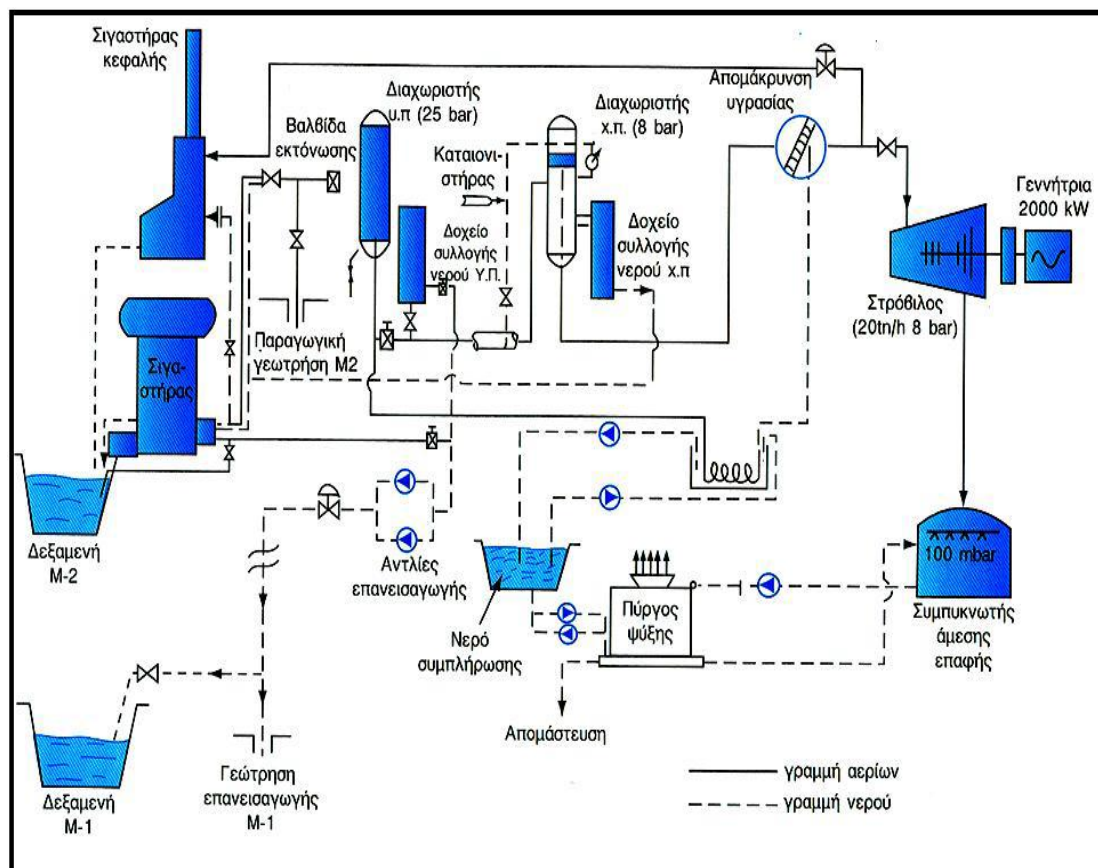
Η Μήλος βρίσκεται στο λεγόμενο «ηφαιστειακό τόξο του Ν. Αιγαίου», σε σημείο όπου οι λιθοσφαιρικές πλάκες Ευρώπης και Αφρικής συγκλίνουν απελευθερώνοντας μεγάλα ποσά θερμότητας στο φλοιό της γης. Τα μη υδροπερατά πετρώματά του (μπεντονίτης, καολίνης, κ.α.) εγκλωβίζουν τα γεωθερμικά ρευστά και έτσι εμποδίζουν την απώλεια θερμότητας από τον γεωθερμικό ταμειυτήρα.

Στο γεωθερμικό πεδίο Μήλου, μετά από πολύπλευρες έρευνες του ΙΓΜΕ προσδιορίστηκαν το 1973 συγκεκριμένες θέσεις για βαθιές γεωτρήσεις. Η ΔΕΗ έκανε (1975-1981) 5 συνολικά γεωτρήσεις σε βάθος 1.000 - 1.400 μέτρων, που παράγουν συνολικά 350 t/h (μίγμα ρευστών, νερού και ατμού σε σχέση 1 :1 περίπου). Εγκατέστησε (1985) μια πειραματική γεωθερμοηλεκτρική μονάδα ισχύος 2 MW η

οποία έδειξε ότι το νερό του μίγματος που διαχωρίζεται έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα, που δημιουργούν σοβαρά αλλά όχι ανυπέβλητα προβλήματα διάβρωσης και περιλίθωσης.

Πιο συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός της τότε μονάδας έγινε με βάση τις προκαταρκτικές αναλύσεις των γεωθερμικών ρευστών. Η κατασκευή της μονάδας περατώθηκε στις αρχές του 1986. Ο σχεδιασμός προέβλεπε τον διαχωρισμό του γεωθερμικού ρευστού σε κυκλωνικό διαχωριστή σε πίεση 8 bar. Ο κορεσμένος ατμός θα οδηγείτο στον ατμοστρόβιλο, ενώ η υγρή φάση θα επανεισάγεται στον ταμιευτήρα.

Η μονάδα αντιμετώπισε από την αρχή προβλήματα λόγω δημιουργίας επικαθίσεων στη βαλβίδα εκτόνωσης και στις κατάντη επιφανειακές εγκαταστάσεις. Οι επικαθίσεις αποτελούνταν από θειούχα άλατα βαρέων μετάλλων και πυριτικές επικαθίσεις. Οι τελευταίες επικαθίσεις περιορίστηκαν σημαντικά με την αλλαγή των συνθηκών της εκτόνωσης του γεωθερμικού ρευστού, από τα 8 bar στα 25 bar. Στην εικόνα 4 που ακολουθεί γίνεται σχηματική αναπαράσταση της συγκεκριμένης γεωθερμικής μονάδας.



**Εικόνα 4:** Σχηματικό διάγραμμα της γεωθερμικής μονάδας της Μήλου. Πηγή: Φιτίκας-Ανδρίτσος, 2004

Μετά τον εντοπισμό του ιδιαίτερα υψηλού γεωθερμικού δυναμικού της Μήλου, η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, ξεκίνησε την κατασκευή σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το νησί και το ευρύ νησιωτικό σύμπλεγμα.

Ωστόσο, η κύρια γεώτρηση ορύχθηκε στην περιοχή της Ζεφυρίας, πολύ κοντά στη μεγαλύτερη πόλη του νησιού, τον Αδάμαντα, όπου είχε μόλις ξεκινήσει η τουριστική ανάπτυξη. Επιπλέον, η αρνητική εμπειρία του κοινού από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις (το μεγαλύτερο τμήμα του νησιού είχε ήδη υποστεί επιδράσεις από την τοπική μεταλλευτική δραστηριότητα), είχε σαν αποτέλεσμα τη σφοδρή αντίδραση των κατοίκων ως προς το σταθμό ηλεκτροπαραγωγής, με το απλό σύνθημα «σε καμία περίπτωση»!

Αιτίες της αρνητικής τοποθέτησης του κοινού ήταν η ιδιαίτερα επιβαρυνόμενη ατμόσφαιρα, οφειλόμενη στην ανεξέλεγκτη διαρροή υδρόθειου και άλλων επικίνδυνων αερίων από τη γεώτρηση, τη ρύπανση των επιφανειακών νερών (βρόχινο νερό και νερό υδατοδεξαμενών) με αρσενικό και θειϊκά ιόντα και την απόθεση μεγάλων ποσοτήτων υγρών και στερεών αποβλήτων στον όρμο της Αγίας Κυριακής.

Αποτέλεσμα των ανωτέρω επιπτώσεων, ήταν η δημιουργία έντονων διαμαρτυριών, με συγκεντρώσεις και απεργίες, οι οποίες διήρκεσαν 2 περίπου χρόνια (1987-1989) και οδήγησαν στην επιβολή παύσης λειτουργίας του πιλοτικού σταθμού.

Μέχρι και σήμερα, 20 περίπου χρόνια μετά, οι αρνητικές αντιδράσεις των κατοίκων δεν έχουν επιλυθεί.

Οι λόγοι για τους οποίους οι κάτοικοι είναι ενάντιοι σε ένα τέτοιο σχέδιο είναι οι εξής:

- Η αρνητική τους εμπειρία από τη λειτουργία πιλοτικής μονάδας στο παρελθόν (1986-89), λόγω διαρροών αερίων, καθώς και από ατύχημα κατά τη διάρκεια ερευνητικής γεώτρησης, με διαρροή γεωθερμικού ρευστού.
- Η αδιαφορία και η έλλειψη ενημέρωσης από τη ΔΕΗ προς τους κατοίκους για τα σχέδια στην περιοχή.
- Η επιβάρυνση του περιβάλλοντος του νησιού.
- Η δέσμευση εκτάσεων για την εκμετάλλευση και η απαξίωση άλλων λόγω γειτνίασης με γεωτρήσεις.
- Οι ενδεχόμενες αρνητικές επιπτώσεις στον τουρισμό.

Σήμερα, το γεωθερμικό δυναμικό της Μήλου σε ρευστά υψηλής ενθαλπίας κατά μία πρώτη εκτίμηση ανέρχεται σε 120 MWe τουλάχιστον. Δεν αποκλείουν όμως οι ειδικοί να υπερβεί και τα 200 MWe.

Πιο συγκεκριμένα, το γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας της Μήλου έχει έκταση μεγαλύτερη των 50 Km<sup>2</sup>, οριοθετείται από την περιοχή του Αδάμαντα και εκτείνεται Ανατολικά και Νοτιοανατολικά μέχρι και την ευρύτερη περιοχή του χωριού Ζεφυρία. Χαρακτηρίζεται ως ένα από τα πλουσιότερα γεωθερμικά πεδία του κόσμου από πλευράς θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του γεωθερμικού ρευστού (θερμοκρασία, πίεση, ενθαλπία). Οι πρώτες ερευνητικές – παραγωγικές γεωτρήσεις έγιναν από τη ΔΕΗ σε συνεργασία με την Ιταλική Εταιρεία Ηλεκτρισμού (ENEL), σε βάθη 1.000 έως 1.400 μέτρα. Οι θερμοκρασίες των ρευστών στον ταμιευτήρα είναι 300 έως 325° C.

Από τις χημικές αναλύσεις των δειγμάτων (υγρής και αέριας φάσης) προκύπτει ότι τα βασικότερα στοιχεία στο γεωθερμικό ρευστό είναι: νάτριο (Na), ασβέστιο (Ca), κάλιο (K), χλώριο (Cl), καθώς και πυριτικά και θειούχα άλατα σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Η ιδιαίτερα υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα, της τάξης των 120.000 ppm TDS, αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στην εκμετάλλευση του πεδίου. Οι δοκιμαστικές αντλήσεις επιβεβαίωσαν την ύπαρξη ρευστών συνολικής ισχύος 120 MWe.

Τα χαρακτηριστικά του **βεβαιωμένου πεδίου** υψηλής ενθαλπίας έχουν ως εξής :

- Έκταση 50 Km<sup>2</sup>
- Θερμοκρασία (στον πυθμένα των γεωτρήσεων) 300-325 °C
- Βάθος ταμιευτήρα: 1000 - 1400 m.
- Παραγωγή: 339 ton/h ρευστού εκ των οποίων 200 ton/h κεκορεσμένου ατμού και 139 ton/h θερμού νερού.
- Πίεση 11 – 29 ATM.

Πέραν του πεδίου υψηλής ενθαλπίας, στην περιοχή συναντώνται και γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας. Επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας και θερμές πηγές υπάρχουν σε πολλά σημεία του νησιού. Μετά από έρευνες του ΙΓΜΕ, στην περιοχή



του Αδάμαντα, εντοπίζεται ρηχός ταμιευτήρας νερού θερμοκρασίας 45-73<sup>ο</sup> C. Η έκτασή του εκτιμάται σε 30 Km<sup>2</sup> και το βάθος του κυμαίνεται από 10 έως 100 m. Το βεβαιωμένο δυναμικό του πεδίου είναι 200 m<sup>3</sup>/h και το πιθανό 1.000 m<sup>3</sup>/h. Τα ρευστά περιέχουν υδρόθειο και τα συνολικά διαλυμένα στερεά ανέρχονται σε 5-30 gr/l.

Τα χαρακτηριστικά του **βεβαιωμένου πεδίου** χαμηλής ενθαλπίας έχουν ως εξής :

- Έκταση 30 Km<sup>2</sup>
- Θερμοκρασία 45- 73 °C
- Βάθος ταμιευτήρα: 10 - 100 m
- Παροχή: 200 m<sup>3</sup>/h

Επιπλέον η περιοχή του Δήμου διαθέτει πλούσιο αιολικό φωτοβολταϊκό δυναμικό, ικανό για να καλύψει σημαντικό ποσοστό των ενεργειακών αναγκών του νησιού.

Στην περιοχή της Μήλου έχουν εγκατασταθεί σημαντικές επιχειρήσεις με αντικείμενο δραστηριοποίησης την εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου. Η πλέον γνωστή επιχείρηση είναι η S & B Βιομηχανικά Ορυκτά.

Το φθινόπωρο του 2007 υπογράφηκε συμφωνία μέσω μνημονίου συνεργασίας μεταξύ της S & B Βιομηχανικά Ορυκτά και της ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε για την αξιοποίηση του γεωθερμικού πεδίου της Μήλου. Στα σχέδια της κοινοπραξίας, εφόσον πάρει την έγκριση των κατοίκων και του αρμόδιου υπουργείου, είναι σε πρώτη φάση να αναπτύξει και να θέσει σε λειτουργία πιλοτικό σταθμό αξιοποίησης των γεωθερμικών πεδίων της Μήλου, ισχύος 5 MW. Ο πιλοτικός αυτός σταθμός μπορεί να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών του νησιού.

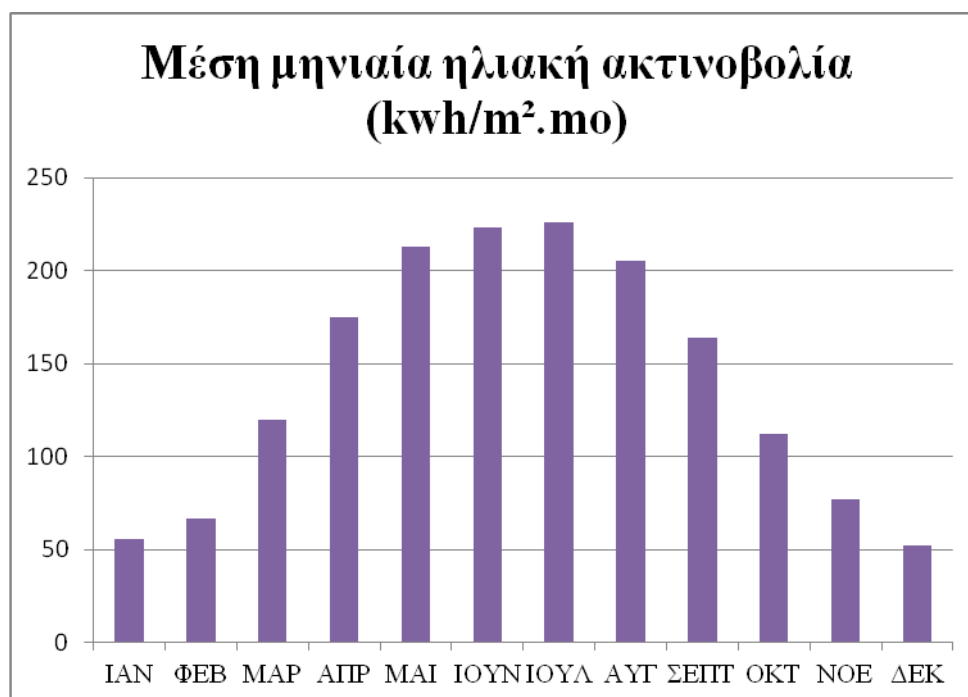
### 2.3.3 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην διαδικασία της αφαλάτωσης είτε για να παράγει θερμική ενέργεια που απαιτείται ώστε να λειτουργήσουν οι μέθοδοι αλλαγής φάσης, είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται στις μεθόδους που χρησιμοποιούν μεμβράνες. Μέχρι στιγμής, ως προς την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, στο νησί υπάρχουν εγκατεστημένοι ηλιακοί συλλέκτες για παραγωγή θερμού νερού (sanitary water) στους οικισμούς.[22] Στον πίνακα 2 που ακολουθεί περιλαμβάνονται οι τιμές τις μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας.

ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
56	67	120	175	213	223	226	205	164	112	77	52

Πίνακας 2: Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία (Kwh/m<sup>2</sup>.mo), πηγή: ΤΕΕ

Η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία είναι της τάξεως των 140,83 Kwh/m<sup>2</sup>, ενώ η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία της τάξεως των 1780 Kwh/m<sup>2</sup>. Στο διάγραμμα 3 που ακολουθεί απεικονίζεται η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στο νησί της Μήλου.



Διάγραμμα 3: Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στο νησί της Μήλου. Πηγή: ΤΕΕ

### 2.3.4 Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια του ανέμου που προέρχεται από τη μετακίνηση αερίων μαζών της ατμόσφαιρας. Οι μετακινήσεις του αέρα, οι άνεμοι, προέρχονται από τις μεταβολές και τις διαφορετικές από τόπο σε τόπο τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης. Οι τιμές αυτές της πίεσης οφείλονται στη διαφορετική θέρμανση (απορρόφηση ενέργειας) της ατμόσφαιρας κάθε τόπου από τον ήλιο.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις από μετεωρολογικούς οργανισμούς η ισχύς του ανέμου σε παγκόσμια κλίμακα είναι  $3.6 \times 10^9$  MW ενώ ταυτόχρονα η εκμεταλλεύσιμη ενέργεια σε διάφορες τοποθεσίες του κόσμου αντιστοιχεί στο 1% και υπολογίζεται ότι είναι περίπου  $175 \times 10^{12}$  KWh.

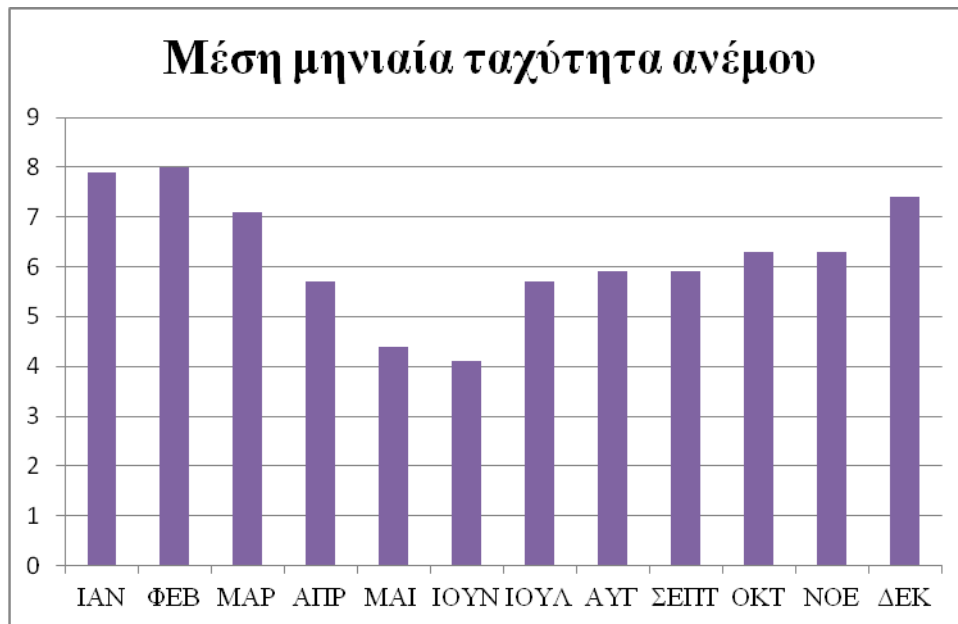
Στο νησί της Μήλου έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί, από το καλοκαίρι του 2007, μια μονάδα αφαλάτωσης, δυναμικότητας  $2.600 \text{ m}^3$  πόσιμο νερού την ημέρα, που μπορεί να καλύψει όλες τις ανάγκες του νησιού σε νερό.

Η μονάδα αφαλάτωσης στη Μήλο λειτουργεί αντλώντας την ενέργεια που χρειάζεται από *αιολική μηχανή* συνδεδεμένη με το δίκτυο. Είναι ένα πρωτοποριακό έργο, το πρώτο στην Ελλάδα, το οποίο συμβάλλει όχι μόνο στην αυτονομία του νησιού, αλλά και στην ουσιαστική βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων του. Το έργο επιτυγχάνει την πλήρη υποκατάσταση του νερού που μέχρι πρότινος προερχόταν από μεταφορά υδροφόρων πλοίων ή από τοπικές γεωτρήσεις, με πόσιμο νερό άριστης ποιότητας.[23]

Η μονάδα της Μήλου έχει σχεδιαστεί, ώστε να καλύπτει πλήρως, τόσο τις βραχυπρόθεσμες ανάγκες του νησιού σε νερό, καλύπτοντας, μάλιστα, και τις καλοκαιρινές αιχμές του συστήματος, όσο και τις μακροπρόθεσμες ανάγκες του σε ορίζοντα εικοσαετίας, με πρόβλεψη επέκτασής της το 2015 κατά  $1.120 \text{ m}^3/\text{d}$ , με το σκεπτικό των πανομοιότυπων δομικών μονάδων (modular units) που επεκτείνουν τη δυναμικότητα, συνδεδεμένες μεταξύ τους. Στον πίνακα 3 που ακολουθεί περιλαμβάνονται οι τιμές της μέσης μηνιαίας ταχύτητας του ανέμου, και στο διάγραμμα 4 γίνεται απεικόνιση των τιμών αυτών.

ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
7,9	8	7,1	5,7	4,4	4,1	5,7	5,9	5,9	6,3	6,3	7,4

Πίνακας 3: Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου (m/sec), πηγή: TEE

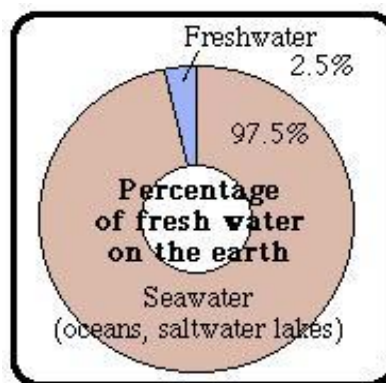


**Διάγραμμα 4:** Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου στο νησί της Μήλου. Πηγή: ΤΕΕ

Η μεση ετήσια ταχύτητα ανέμου στο νησί της Μήλου είναι της τάξεως των **6,225 m/sec**.

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αφαλάτωση

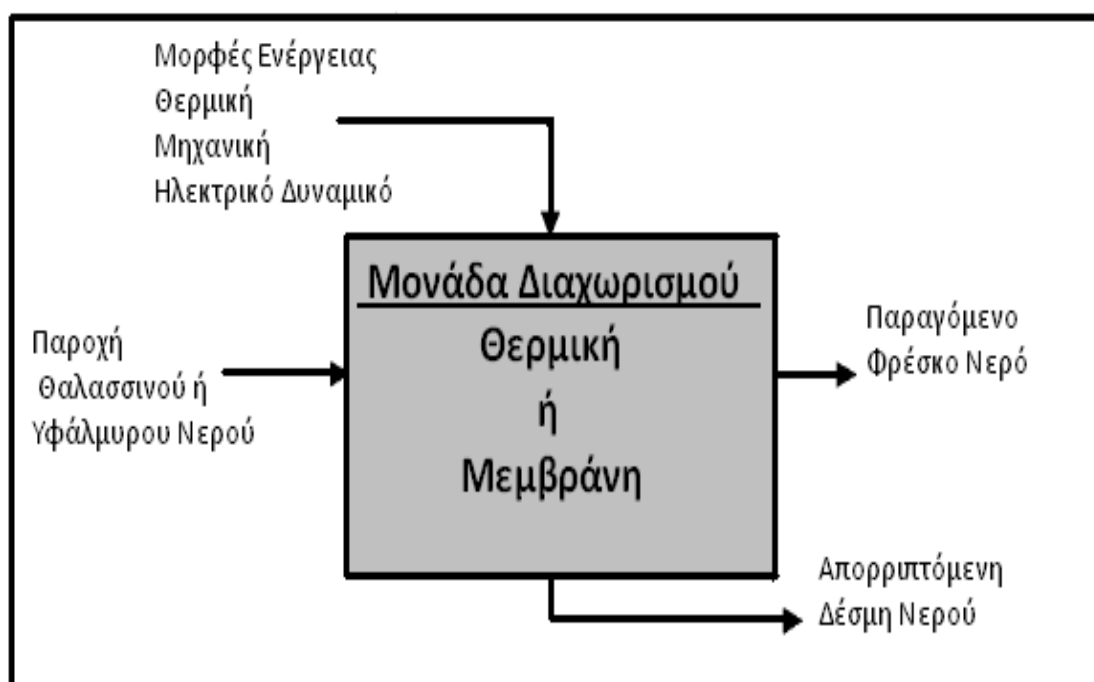
Το νερό είναι ένα από τα σημαντικότερα αγαθά της ανθρωπότητας, βασικός παράγοντας και στοιχείο της ανθρώπινης εξέλιξης και του πολιτισμού. Το γλυκό νερό που υπάρχει στην γη αποτελεί μόλις το 3%. Το υπόλοιπο είναι αλμυρό.[24] Στην εικόνα 5 που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατανομή του νερού στην γη.



Εικόνα 5: Κατανομή του νερού στην γη. Πηγή: Wikipedia

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού της γης, οι αυξημένες ανάγκες που προκύπτουν από την ανάπτυξη της βιομηχανίας και της γεωργίας, καθώς και η αυξανόμενη μόλυνση των υδατικών πόρων του πλανήτη μας, έχουν οδηγήσει σε σημαντικά προβλήματα λειψυδρίας σε συγκεκριμένες περιοχές, λαμβάνοντας υπόψιν και την ύπαρξη μεγάλων, παραδοσιακά ξηρών περιοχών, όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι σε υψηλά επίπεδα, ενώ οι βροχοπτώσεις σπάνιες. Έντονο πρόβλημα λειψυδρίας, αν και παράδοξο, σημειώνεται στις παράκτιες περιοχές και στα νησιά. Η μόνη ανεξάντλητη πηγή νερού είναι οι ωκεανοί των οποίων το νερό όμως είναι υψηλής αλμυρότητας. Στην περίπτωση που οι περιοχές διαβρέχονται από θάλασσα και δεν διαθέτουν φυσικές υδάτινες πηγές, ή όταν τα υπάρχοντα αποθέματα έχουν μολυνθεί σε σημείο που οι συμβατικοί, χημικοί ή φυσικοί τρόποι καθαρισμού δεν αποδίδουν, η αφαλάτωση του θαλάσσιου ή υφάλμυρου νερού αποτελεί λύση του προβλήματος.

Με τον όρο «αφαλάτωση» χαρακτηρίζεται η οποιαδήποτε διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μία αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα.[25] Έτσι, κατ' επέκταση η αφαλάτωση είναι μία μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες. Εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές με ξηρό κλίμα, φτωχές σε πόσιμο νερό και με πρόσβαση στο θαλασσινό νερό. Η αφαλάτωση άρχισε να αναπτύσσεται κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα με την εμφάνιση της λειψιδρίας σε πολλές περιοχές της γης. Όπως είναι γνωστό περίπου το 97.3% των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού βρίσκεται στην θάλασσα αναμεμιγμένο σε μεγάλες αναλογίες με διάφορα διαλυμένα άλατα σε τέτοια μορφή που η χρήση του, είτε ως πόσιμο, είτε ως τέτοιο ικανό για βιομηχανικές διεργασίες καθίσταται αδύνατη. Στην εικόνα 6 που ακολουθεί γίνεται σχηματική περιγραφή της διαδικασίας της αφαλάτωσης.



**Εικόνα 6:** Σχηματική περιγραφή της διαδικασίας αφαλάτωσης. Πηγή: Hisham T. El-Dessouky , Hisham M. Ettouney, Fundamentals Of Salt Water Desalination, Elsevier 2002.

Η ενέργεια είναι από τις πιο σημαντικές παραμέτρους στην διαδικασία της αφαλάτωσης και αφορά περίπου στο 25 – 40 % του συνολικού κόστους παραγωγής φρέσκου νερού. Το ποσοστό αυτό είναι παράμετρος των ενεργειακών αναγκών του εργοστασίου αφαλάτωσης, που εξαρτάται κυρίως από την χρησιμοποιούμενη μέθοδο, αλλά και του κόστους της ενέργειας αυτής. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) μπορούν να παράγουν θερμική ενέργεια (ηλιακοί συλλέκτες, γεωθερμία), ηλεκτρική ενέργεια (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες), ή μηχανική ενέργεια (ανεμογεννήτριες).

Αν και τα συστήματα αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν μπορούν να συναγωνιστούν αυτά που χρησιμοποιούν συμβατικές όσον αφορά το κόστος του παραγόμενου νερού, τα συστήματα αυτά βρίσκουν πολλές εφαρμογές σε απομονωμένες περιοχές και αναμένεται να εξαπλωθούν λόγω της φιλικότητας τους προς το περιβάλλον.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η παραγωγή πόσιμου νερού με την χρήση αφαλάτωσης είναι μια από τις πιο ελπιδοφόρες μεθόδους για την αντιμετώπιση της λειψιδρίας στα άνυδρα νησιά του Αιγαίου. Ωστόσο οι μέθοδοι αφαλάτωσης χαρακτηρίζονται γενικά ως τεχνολογίες ενεργοβόρες.[26] Πολλά από τα νησιά είναι απομονωμένα, μη συνδεδεμένα στο ηπειρωτικό δίκτυο παροχής ενέργειας και εξασφαλίζουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια, από ευαίσθητα και μικρής δυναμικής τοπικά αυτόνομα συστήματα τα οποία συνήθως τροφοδοτούνται από ντιζελογεννήτριες. Άρα η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των μεθόδων αφαλάτωσης με συμβατικές πηγές ενέργειας είναι μικρής ισχύος και καταπονούνται υπερβολικά μη μπορώντας να ανταποκριθούν στα υπόλοιπα φορτία. Ακόμα και όταν υπάρχει δυνατότητα να γίνει παροχή ενέργειας, η λύση αυτή δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα, καθώς οι πηγές ενέργειας που είναι διαθέσιμες είναι ακριβές, όπως το ντίζελ. Και μάλιστα σε μια περίοδο που πρέπει να μειωθούν σημαντικά οι εκπομπές αερίων, δεν αποτελεί σε καμιά περίπτωση λύση η περαιτέρω επιβάρυνση του περιβάλλοντος με συμβατικές μονάδες παροχής ενέργειας. Για να εφαρμοσθεί λοιπόν η αφαλάτωση πρέπει να λυθεί το πρόβλημα παροχής ενέργειας.

Η λύση στο παραπάνω πρόβλημα δεν είναι άλλη από την χρησιμοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Η λύση αυτή όμως δεν αποτελεί πανάκεια. Απαιτείται μελέτη της κάθε περίπτωσης αναλυτικά καθώς πρέπει να διερευνηθεί το δυναμικό της κάθε μορφής ΑΠΕ στην περιοχή ώστε να επιλεγθεί η κατάλληλη και

να διαστασιολογηθεί σωστά. Πρέπει να γίνει τεχνικοοικονομική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η διαθεσιμότητα της κάθε τεχνολογίας και η εμπορική της ωριμότητα, η δυνατότητα εφαρμογής της στην κάθε περίπτωση, οι υπάρχουσες υποδομές, καθώς και αυτές που απαιτούνται να γίνουν, το κόστος της επένδυσης και της εγκατάστασης.

### **3.1 Ιστορία και παραδείγματα αφαλάτωσης σε παγκόσμια κλίμακα**

Η ιστορία της αφαλάτωσης ξεκινάει από πολύ παλιά. Οι πρώτες προσπάθειες για αφαλάτωση του νερού έγιναν από τους αρχαίους κόσμους ως και τον Μεσαίωνα, ενώ το 1675 κατατέθηκε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μία συσκευή απόσταξης θαλάσσιου νερού για την παραγωγή πόσιμου νερού. Από τότε και ως τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα η πρόοδος ήταν σχετικά αργή. Το ενδιαφέρον έγινε έντονο μετά το τέλος του 2<sup>ου</sup> Παγκοσμίου Πολέμου, όπου τα επόμενα χρόνια σημειώθηκε ραγδαία αύξηση και βελτίωση των τεχνικών και εφαρμογών αφαλάτωσης. Σήμερα λειτουργούν περίπου σε όλο τον κόσμο 9000 εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με συνολική παροχή περίπου 18.700.000 m<sup>3</sup>/day.

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

**Σαουδική Αραβία:** Η μεγαλύτερη εγκατάσταση αφαλάτωσης στον κόσμο σήμερα βρίσκεται στην Σαουδική Αραβία. Αυτή τροφοδοτεί το 50% του πόσιμου νερού της χώρας, κάνοντας χρήση της αντίστροφης ώσμωσης με το νερό του Περσικού κόλπου. Η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης ξεκίνησε την λειτουργία της στην περιοχή της Jeda. Σήμερα, η Σαουδική Αραβία βρίσκεται στην πρώτη θέση της παγκόσμιας βιομηχανίας αφαλάτωσης, με ικανότητα επεξεργασίας 5.000.000 m<sup>3</sup>/day, μία θέση μπροστά από τις ΗΠΑ.

**Αυστραλία:** Στην Δυτική Αυστραλία υπάρχουν αρκετά υπόγεια νερά, υφάλμυρα με περιεκτικότητα σε αλάτι περίπου 0.3%. Παρόμοιες συνθήκες επικρατούν και στην Νότια Αυστραλία. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι σχεδόν παντού έντονη, οπότε θα μπορούσε να γίνει αξιοποίηση των υπογείων νερών με την βοήθεια ηλιακών αποστακτήρων. Έχει αποδειχθεί ότι η ηλιακή απόσταξη στην Αυστραλία αποτελεί την οικονομικότερη μέθοδο παραγωγής πόσιμου νερού. Η μεγαλύτερη αποστακτική



εγκατάσταση αξιοποίησης υφάλμυρων νερών στην Αυστραλία βρίσκεται στο Coober Pedy στα νότια της ηπείρου. Οι αποστακτήρες καλύπτονται από γυάλινη επιφάνεια 3.8 km<sup>2</sup>. Η μονάδα ξεκίνησε την λειτουργία της τον Νοέμβριο του 1966 και εξυπηρετεί έναν μικρό συνοικισμό εργατών μεταλλείων.[27] Το πρωτογενές νερό προέρχεται από βάθος 70 m μέτρων με περιεκτικότητα σε αλάτι 2.4%.

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

**Λιβύη:** Στο Tobruk λειτουργεί συσκευή αφαλάτωσης βασισμένη στην διαδικασία παραγωγής γλυκού νερού με εξάτμιση και μετέπειτα συμπύκνωση. Η εγκατάσταση παρέχει 10 μετρικούς τόνους νερού ημερησίως, υπάρχει όμως μια μικρή ποσότητα άλατος.

**ΗΠΑ:** Από τους τεχνικούς του στρατού των ΗΠΑ επινοήθηκε ένας απλός φορητός ηλιακός αποστακτήρας, με κύρια χρήση τον εξοπλισμό των σωσιβίων λέμβων. Η συσκευή αποτελείται από πέντε υπερκείμενα στρώματα από διαφορετικά υλικά, εκτεταμένα σε λεπτό πλαίσιο. Το πάνω στρώμα είναι πλαστικό φύλλο, το δεύτερο είναι χοντρό χαρτόνι κρεπ, το τρίτο είναι από υδρόφιλο υλικό, το τέταρτο αλουμίνιο και το πέμπτο είναι ένα κομμάτι ύφασμα. Ο αποστακτήρας ποτίζεται με θαλασσινό νερό και στην συνέχεια εκτίθεται στο ηλιακό φως, με αποτέλεσμα το νερό να εξατμιστεί λόγω της παραγόμενης θερμότητας. Έπειτα συμπυκνώνεται επάνω στο φύλλο του αλουμινίου γλυκό νερό.

**Ισραήλ:** Οι απαιτήσεις σε γλυκό νερό ανέρχονται ετησίως περίπου στα 1.8 δισεκατομύρια m<sup>3</sup>. Ο καθηγητής A.Kogan ανέπτυξε μια νέα οικονομική μέθοδο ηλιακής αφαλάτωσης για την λύση του προβλήματος. Η μέθοδος Kogan – Rose υλοποιείται σε δύο φάσεις: Στην πρώτη φάση το θαλασσινό νερό, που έχει θερμανθεί από τον ήλιο, συμπυκνώνεται με συσκευή αντιρροής όπου ψυχρό ρεύμα αφαλατωμένου νερού ρέει προς την αντίθετη κατεύθυνση. Έτσι το ρεύμα του θαλασσινού νερού γίνεται ψυχρότερο προς την κατεύθυνση ροής του αφήνοντας αλάτι, ενώ το αφαλατωμένο νερό γίνεται θερμότερο. Στην συνέχεια η θερμότητα που

έχει απορροφηθεί από το αφαλατωμένο ρεύμα, επανακτάται με εναλλάκτη θερμότητας.

**Τουρκμενία:** Στην Τουρκμενία, την νοτιότερη Σοβιετική Δημοκρατία της Μέσης Ασίας, ολικής επιφάνειας 488.100 km<sup>2</sup> βρίσκεται η αμμώδης έρημος Karakum, με επιφάνεια 350.000 km<sup>2</sup>. Η έρημος είναι ολοκληρωτικά εκτεθειμένη στον ήλιο και τους ανέμους. Δια μέσου των αιώνων έχουν συσσωρευτεί τεράστιες αλυσίδες φυσικών προχωμάτων και λόφων. Έχει 250 ημέρες ηλιοφάνεια και απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία + 49° C, με απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία - 32° C. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν εκτεταμένες εγκαταστάσεις άρδευσης, το πρόβλημα της ύδρευσης των πόλεων και των χωριών της Τουρκμενίας παραμένει έντονο. Για τον λόγο αυτό έχουν κατασκευαστεί σε μεγάλη έκταση στην έρημο της Τουρκμενίας εγκαταστάσεις μετατροπής του υπόγειου αλμυρού νερού της ερήμου, σε πόσιμο, με χρήση της ηλιακής ενέργειας.

**Ιαπωνία:** Λειτουργεί μονάδα αφαλάτωσης με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης με ημερήσια παροχή 6300 εκατομμύρια λίτρα.

Το 1995 υπήρχαν παγκοσμίως πάνω από 11000 μονάδες αφαλάτωση, τα δύο τρίτα από αυτές στην Μέση Ανατολή, κυρίως στην Σαουδική Αραβία, με συνολική απόδοση 7.4 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού τον χρόνο. Μερικές χώρες που αντιμετωπίζουν σημαντικό πρόβλημα νερού, όπως το Ισραήλ, έχουν αναπτύξει καλλιέργειες σε ξηρό περιβάλλον, με εξαιρετικά περιορισμένα αποθέματα νερού, που είχαν υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι.

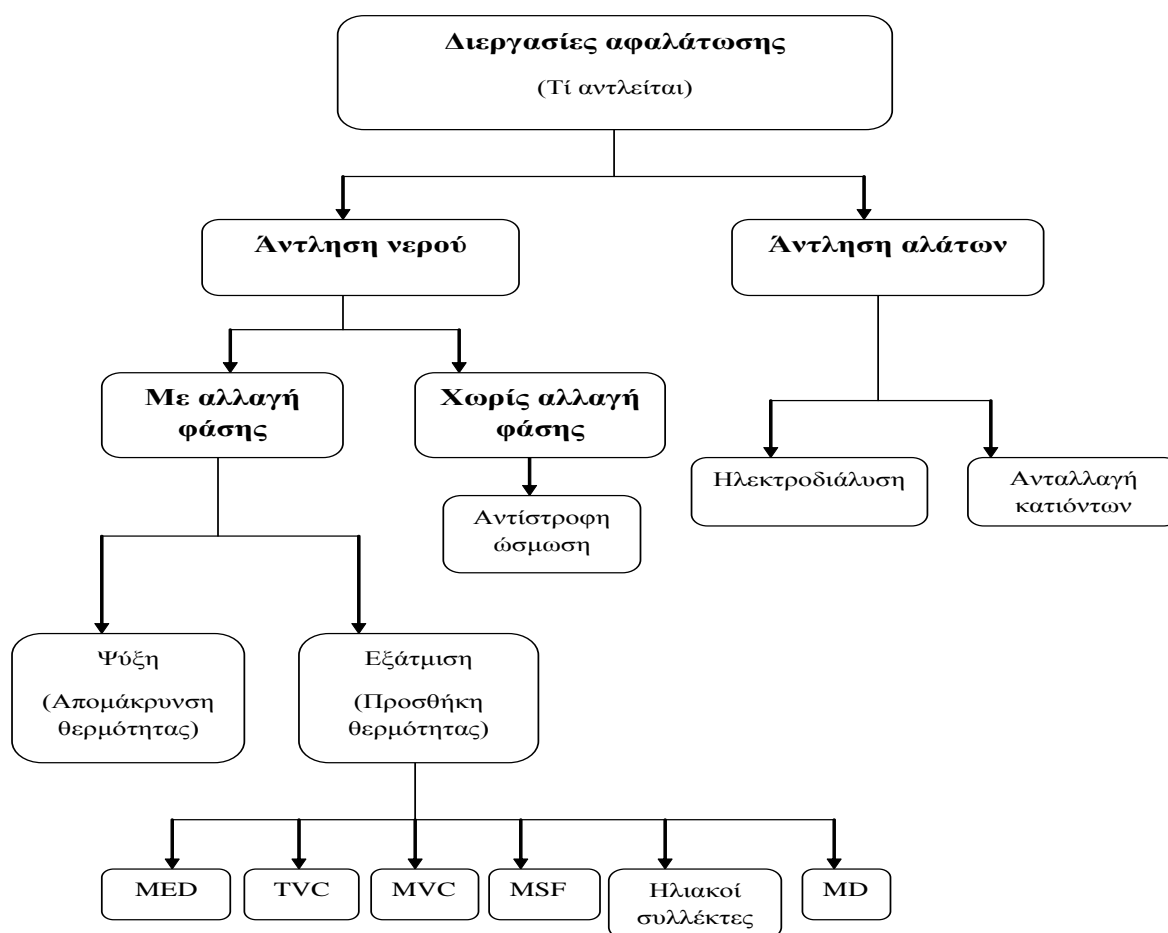
### 3.2 Μέθοδοι αφαλάτωσης

Πολλές μέθοδοι αφαλάτωσης έχουν αναπτυχθεί ως τώρα, αρκετές από τις οποίες έχουν βρει μεγάλη εφαρμογή. Οι μέθοδοι αφαλάτωσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάσει των εξής κριτηρίων:

#### 1) Του τμήματος που αντλείται από το υδατικό διάλυμα

- ✓ Αντληση νερού
- ✓ Αντληση αλάτων

Στην εικόνα 7 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διεργασίες αφαλάτωσης βάσει του τμήματος που αντλείται από το υδατικό διάλυμα.

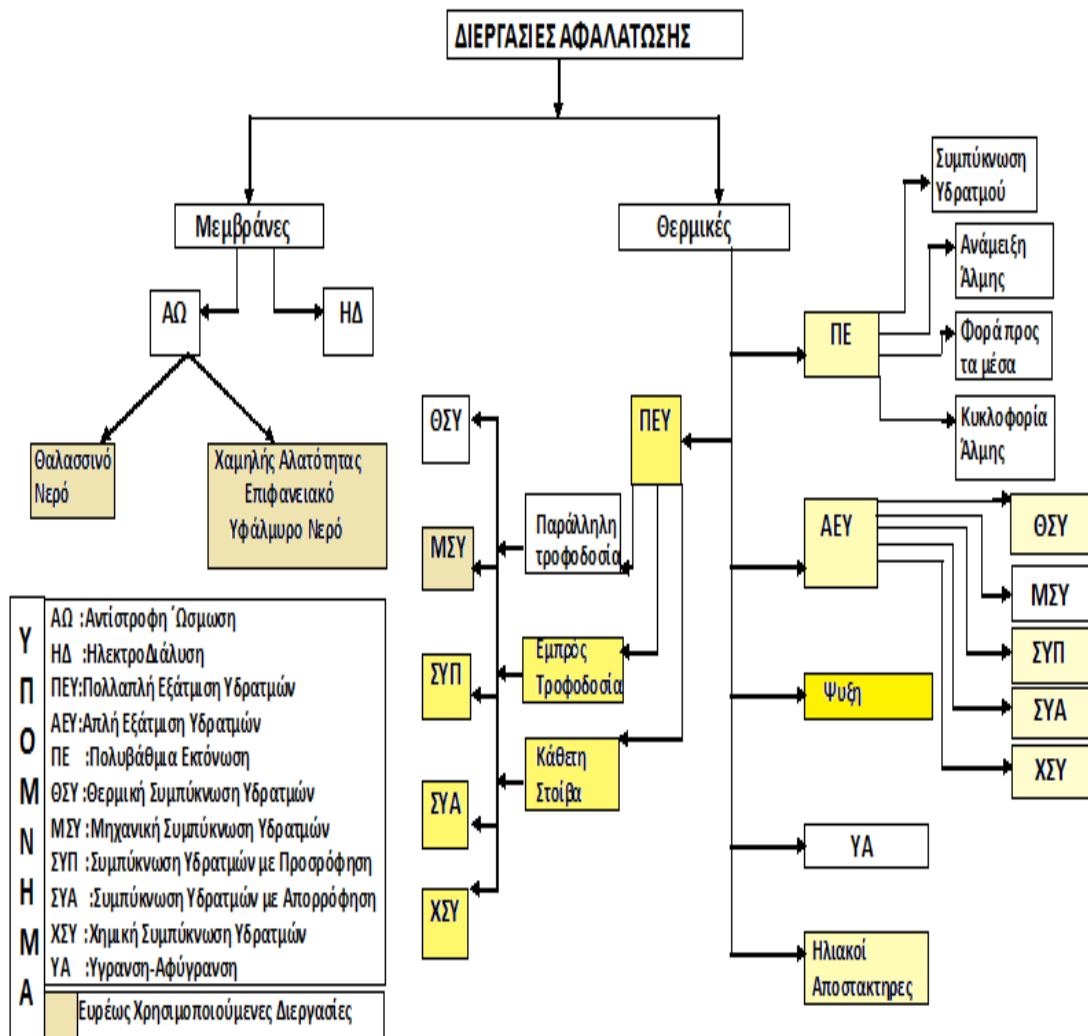


**Εικόνα 7:** Διεργασίες αφαλάτωσης βάσει του αντλούμενου υλικού από το υδατικό διάλυμα.  
Πηγή: Cipollina A., Micale G., Rizzuti L., Seawater desalination conventional and renewable energy processes, Green energy and technology volumes, Springer, 2009

2) Του τύπου της διεργασίας διαχωρισμού

- ✓ Μέθοδοι μεμβρανών
- ✓ Θερμικές μέθοδοι

Στην εικόνα 8 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διεργασίες αφαλάτωσης βάσει του τύπου της διεργασίας διαχωρισμού.

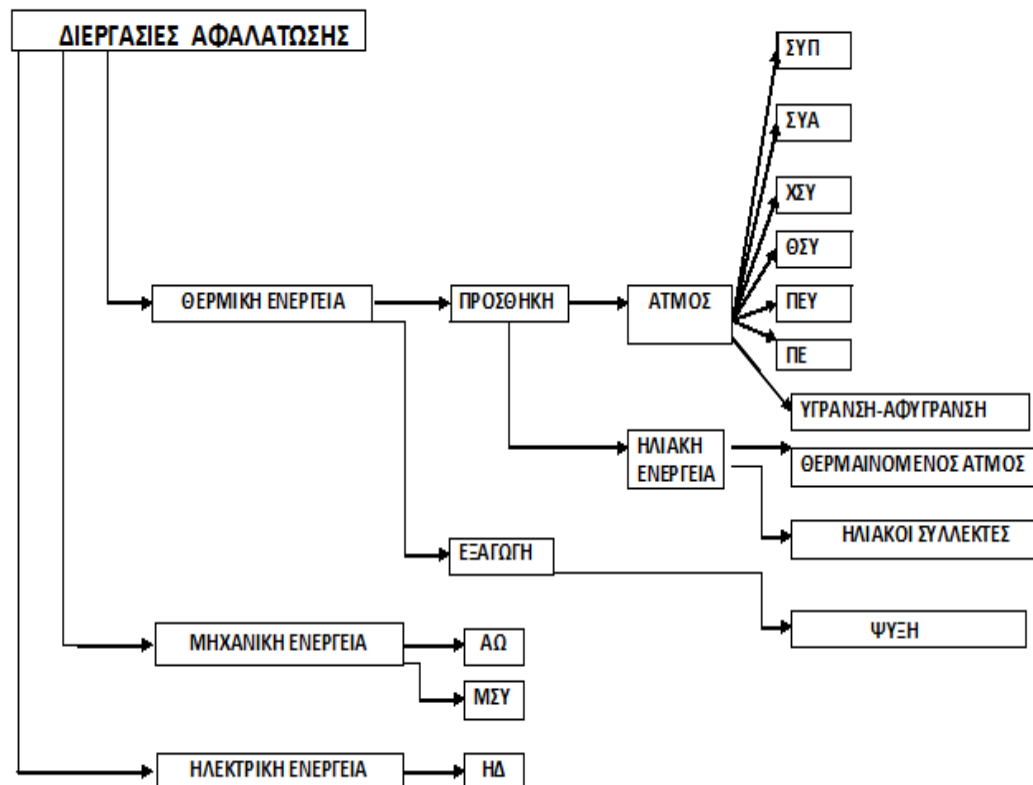


**Εικόνα 8:** Διεργασίες αφαλάτωσης βάσει του τύπου της διεργασίας διαχωρισμού. Πηγή: : Hisham T. El-Dessouky , Hisham M. Ettouney, Fundamentals Of Salt Water Desalination, Elsevier 2002.

3) Του τύπου ενέργειας που χρησιμοποιείται

- ✓ Μηχανική ενέργεια
- ✓ Θερμική ενέργεια
- ✓ Ηλεκτρική ενέργεια

Στην εικόνα 9 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διεργασίες αφαλάτωσης βάσει του τύπου ενέργειας που χρησιμοποιείται.



**Εικόνα 9:** Διεργασίες αφαλάτωσης βάσει του τύπου ενέργειας που χρησιμοποιείται. Πηγή: Hisham T. El-Dessouky , Hisham M. Ettouney, Fundamentals Of Salt Water Desalination, Elsevier 2002.

Η πιο δημοφιλής, ίσως, κατηγοριοποίηση στην διεθνή βιβλιογραφία [28] είναι βάσει του τύπου διεργασίας διαχωρισμού. Ακολουθώντας λοιπόν αυτόν τον τρόπο κατάταξης, οι κυριότερες μέθοδοι αφαλάτωσης που έχουν ευρεία εφαρμογή σήμερα είναι:

#### 1) Μέθοδοι θερμικής απόσταξης

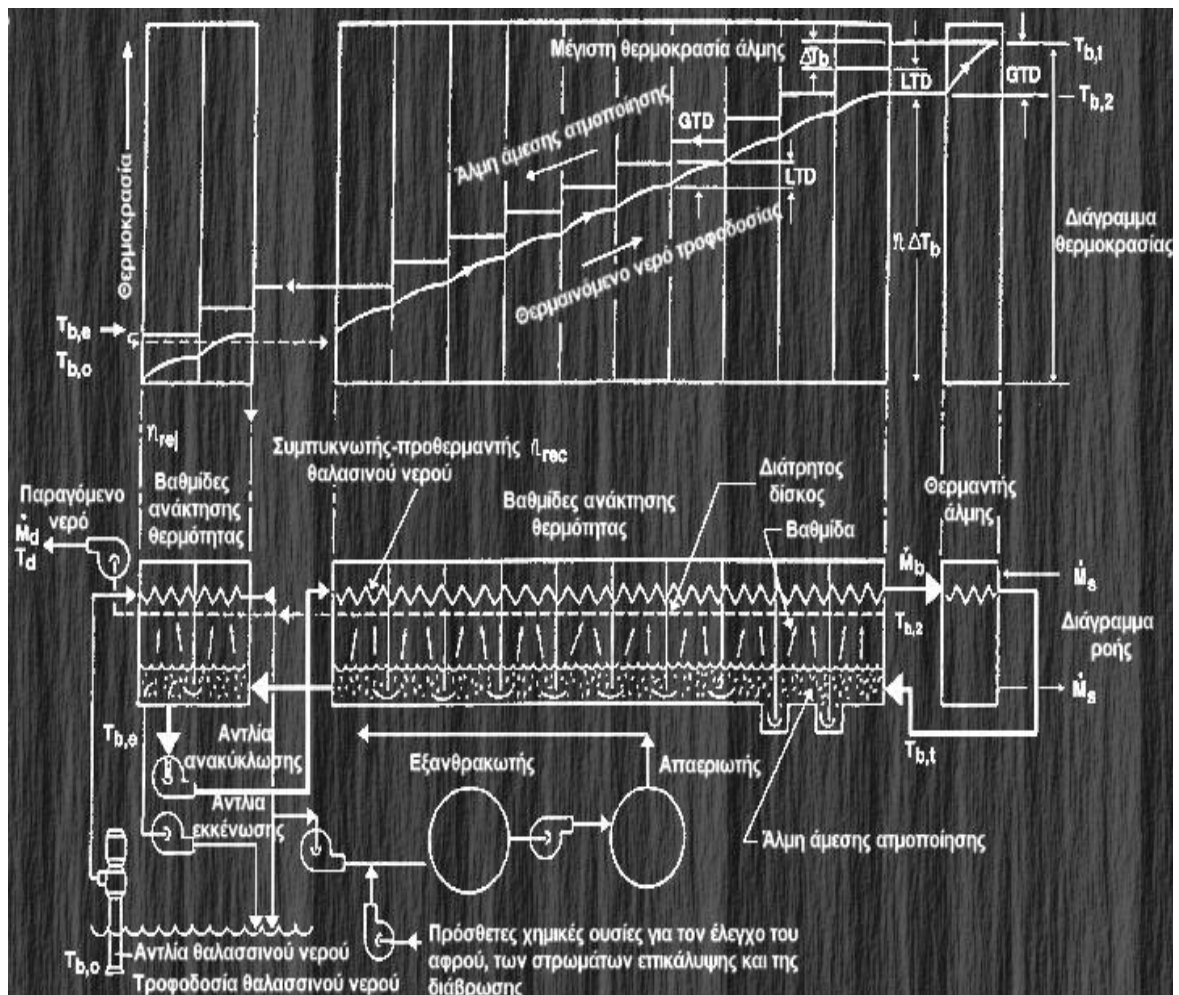
Η πιο διαδεδομένη μέθοδος που αποτελεί το 76% του συνόλου των μεθόδων αφαλάτωσης για εγκαταστάσεις με παροχές μεγαλύτερες από 4000 m<sup>3</sup>/day και το 59.4% για παροχές μεταξύ 100 και 4000 m<sup>3</sup>/day.

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

Οι μέθοδοι θερμικής απόσταξης είναι οι ακόλουθες:

### I. Πολυβάθμια Εκτόνωση (Multi-Stage Flushing, MSF) - Πολυδιάστατοι αποστακτήρες άμεσων εξατμίσεων (ΠΑΕ)

Η αρχή λειτουργίας σχεδόν των περισσότερων και μεγαλύτερων εγκαταστάσεων αφαλάτωσης ΠΑΕ (MSF) περιγράφεται στην εικόνα 10. Το (θαλασσινό) νερό τροφοδοσίας προθερμαίνεται μέσω θερμότητας, που έχει ανακτηθεί εσωτερικά από συμπυκνούμενο υδρατμό, καθώς διέρχεται από τα διάφορα στάδια της διεργασίας. Ακολούθως θερμαίνεται σε δοχείο (θερμαντής άλμης) έως μία μέγιστη θερμοκρασία από ατμό παραγόμενο από εξωτερική πηγή θερμότητας.



**Εικόνα 10:** Σχηματικό διάγραμμα MSF διεργασίας. Πηγή: New proposed system for freeze water desalination using auto – reserved R-22 vapor compression heat pump by Ahmed Attia. 2009

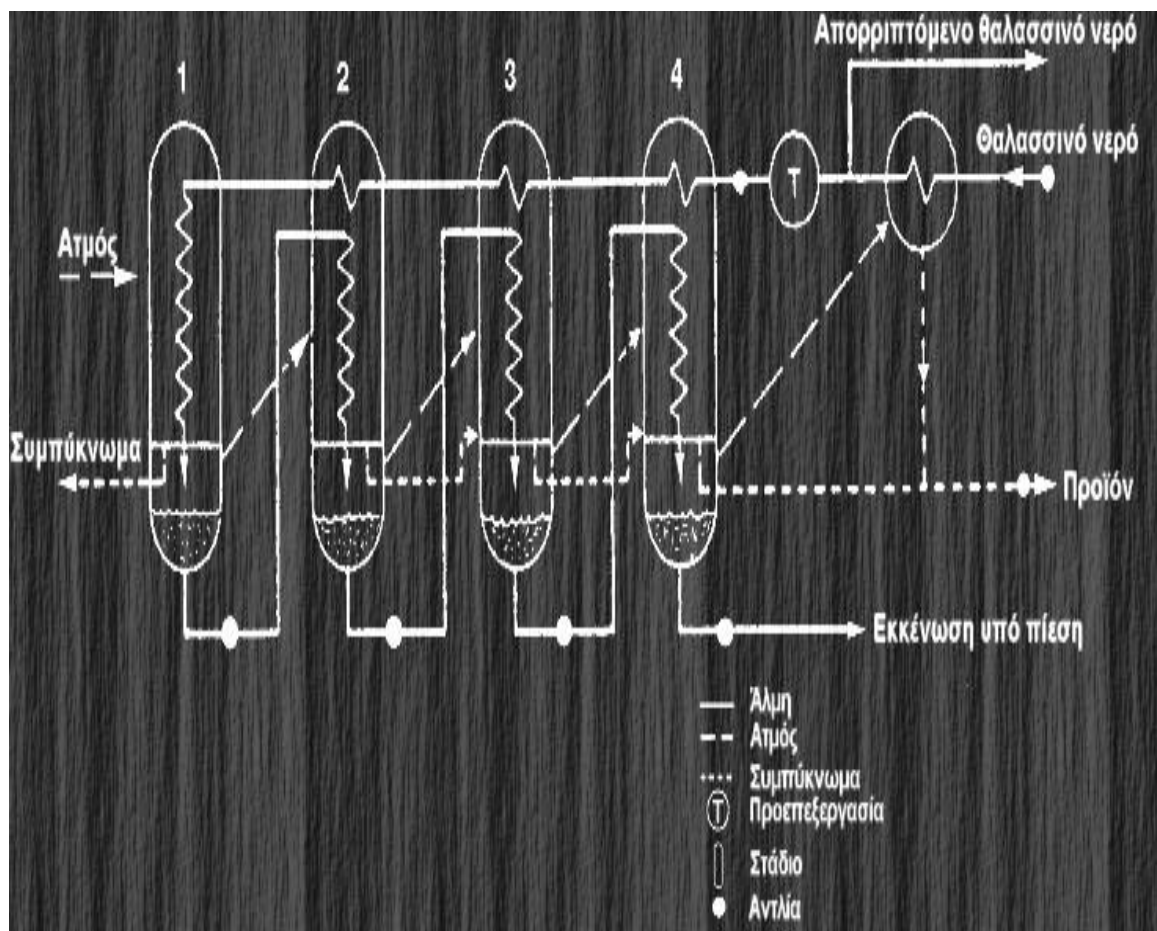
Το νερό αυτό θερμοκρασίας **T<sub>b,t</sub>** διοχετεύεται ως ρεύμα ελεύθερης επιφάνειας μέσα από μία αλληλουχία βαθμίδων οι οποίες διαμορφώνονται από κατακόρυφα τοιχώματα διαχωρίζοντας την ποσότητα υδρατμού σε καθένα από τα στάδια της διαδικασίας. Τα τοιχώματα αυτά επιτρέπουν τα ποσά υδρατμού της κάθε βαθμίδας να υπόκεινται σε σταθερή αλλά διαφορετική μεταξύ τους πίεση, η οποία μειώνεται κατά μήκος της διαδρομής που διασχίζει το νερό τροφοδοσίας λόγω της σταδιακής μείωσης της θερμοκρασίας στο συμπυκνωτή – θερμαντή θαλασσινού νερού. Ο τελευταίος εγκαθίσταται άνωθεν του ρεύματος θαλασσινού νερού και η παρουσία του βελτιώνει την απόδοση της εγκατάστασης. Η επικρατούσα πίεση σε κάθε στάδιο επιτρέπει την ατμοποίηση του εισερχόμενου νερού. Η λανθάνουσα θερμότητα ή θερμότητα ατμοποίησης παρέχεται από την μείωση της αισθητής θερμότητας του ατμοποιούμενου νερού με επακόλουθη σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας του ρεύματος νερού τροφοδοσίας. Η ατμοποίηση έχει ως αποτέλεσμα την έντονη παραγωγή φυσαλίδων που συνοδεύεται από τυρβώδη ροή και είναι γνωστή ως άμεση ατμοποίηση (flash evaporation). Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της MSF διεργασίας, είναι το γεγονός ότι η ατμοποίηση προέρχεται από το ρεύμα του (θαλασσινού) νερού τροφοδοσίας και όχι από τις θερμαινόμενες επιφάνειες (όπως συμβαίνει με άλλες διεργασίες απόσταξης) στις οποίες η εξάτμιση συνήθως προκαλεί σχηματισμό στρωμάτων επικάλυψης και επομένως σταδιακή μείωση των συντελεστών μετάδοσης θερμότητας. Επιπρόσθετα, το γεγονός ότι η αισθητή θερμότητα του νερού είναι πολύ μικρότερη συγκριτικά με την λανθάνουσα θερμότητα και η μέγιστη θερμοκρασία περιορίζεται λόγω του ενδεχόμενου σχηματισμού στρωμάτων επικάλυψης και διάβρωσης, υπαγορεύει την ανάγκη για αρκετά μεγάλη παροχή του ρεύματος τροφοδοσίας.



## II. Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (Multi Effect Distillation, MED) -

Αποστακτήρες πολλαπλών διαβαθμίσεων (ΠΔ)

Η αρχή λειτουργίας της διεργασίας αυτής (εικόνα 11) βασίζεται στην χρησιμοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας του υδρατμού που παράγεται σε ένα στάδιο (*effect*) για την παραγωγή υδρατμού σε επόμενο στάδιο επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό εσωτερική ανάκτηση θερμότητας και ικανοποιητικό ενεργειακό βαθμό απόδοσης. Στη διεργασία αυτή χρησιμοποιούνται εκτεταμένα ατμοποιητές οριζόντιου σωλήνα *ME* (*HTME*) και κατακόρυφου σωλήνα *ME* (*VTE*).



**Εικόνα 11:** Σχηματικό διάγραμμα ME διεργασίας. Πηγή: New proposed system for freeze water desalination using auto – reserved R-22 vapor compression heat pump by Ahmed Attia.

2009

Στους ατμοποιητές *HTME*, ο υδρατμός ανακυκλώνεται μέσω οριζόντιας δέσμης σωλήνων, οι οποίοι εκτίθενται σε εξωτερικό ψεκασμό με ψυχρότερο θαλασσινό νερό. Ο υδρατμός που διέρχεται από αυτούς τους σωλήνες συμπυκνώνεται και η

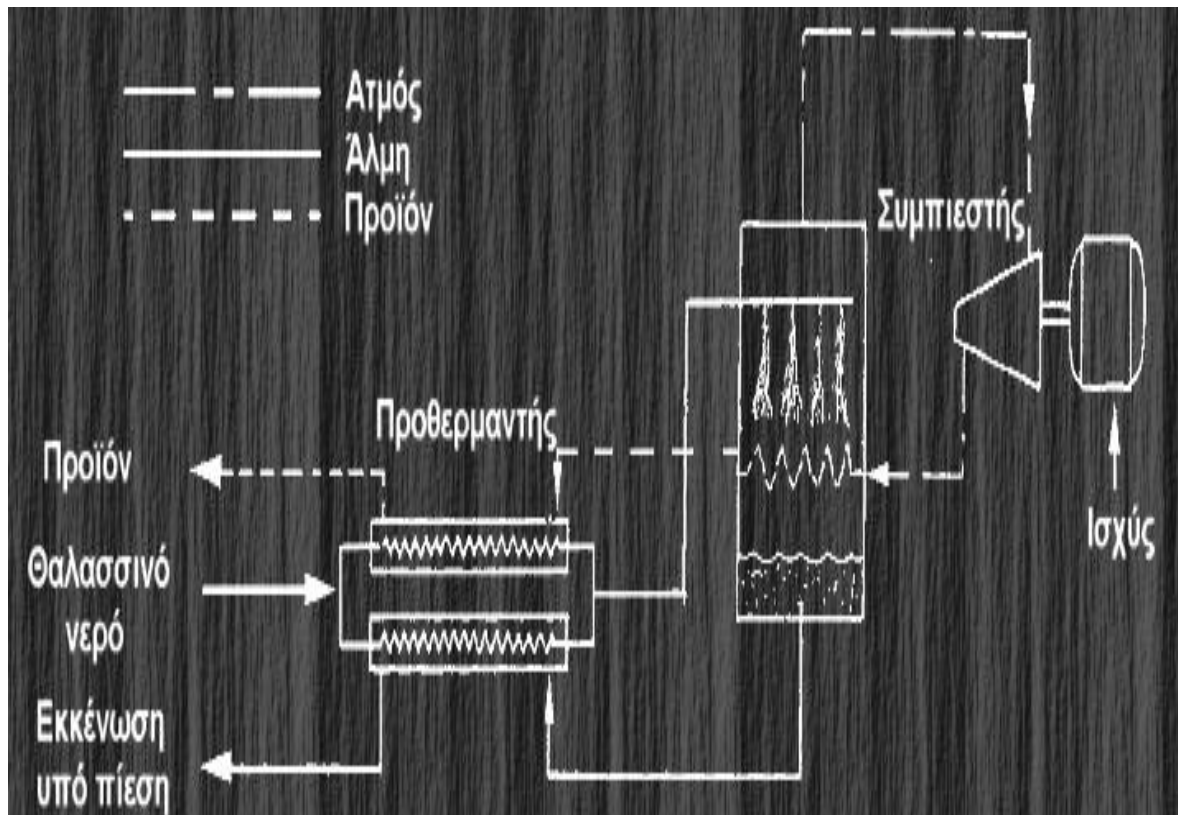
λανθάνουσα θερμότητα μεταφέρεται μέσα από τα τοιχώματά τους στο θαλασσινό νερό που προσκρούει στην εξωτερική επιφάνειά τους προκαλώντας την εξάτμισή του. Ο υδρατμός που παράγεται ρέει στο εσωτερικό των σωλήνων του επόμενου σταδίου και η διαδικασία επαναλαμβάνεται από στάδιο σε στάδιο.

Στους συμπυκνωτές VTE το θαλασσινό νερό τυπικά ρέει καθοδικά στο εσωτερικό κατακόρυφων σωλήνων και ατμοποιείται στο εξωτερικό αυτών, ως αποτέλεσμα της συμπύκνωσης του υδρατμού που προέρχεται από προηγούμενο στάδιο υψηλότερης θερμοκρασίας. Παρόλο που η εσωτερική ανάκτηση αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό για τις μεθόδους MSF και ME, υπάρχουν τρεις ειδοποιεί διαφορές μεταξύ τους. Η πρώτη διαφορά είναι ότι στην διεργασία ME η εξάτμιση λαμβάνει χώρα στις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας ενώ στη διεργασία MSF συμβαίνει στην ελεύθερη επιφάνεια του ρεύματος νερού τροφοδοσίας. Το γεγονός αυτό καθιστά την ME διεργασία πιο επιρρεπή στο σχηματισμό στρωμάτων επικάλυψης. Συγχρόνως ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας μεταξύ του υδρατμού και του προθερμασμένου θαλασσινού νερού είναι χαμηλότερος στην MSF διεργασία διότι το θερμαινόμενο θαλασσινό νερό δεν ζέει. Αντίθετα στην ME διεργασία το θερμαινόμενο θαλασσινό νερό ζέει που σημαίνει ότι οι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας σε κατάσταση βρασμού είναι σημαντικά υψηλότεροι συγκρινόμενοι με αυτούς όπου η συναλλαγή θερμότητας δεν προκαλεί ζέση. Επιπλέον, στην διεργασία ME απαιτείται μικρότερη παροχή νερού τροφοδοσίας σε σχέση με την MSF διεργασία. Συγκεκριμένα, για τον περιορισμό στο 1/3 της συγκέντρωσης του νερού τροφοδοσίας στο τελευταίο στάδιο της διεργασίας απαιτείται ροή θαλασσινού νερού παροχής μόνο 1.5 φορές μεγαλύτερη από την παροχή του παραγόμενου νερού απόσταξης. Επιπρόσθετα, απαιτείται μια αντλία για κάθε στάδιο αλλά μικρότερης ισχύος από τις αντλίες που χρησιμοποιούνται στην MSF διεργασία.

### III. Απόσταξη με Συμπίεση Ατμών (Vapour Compression, VC) -

Αποστακτήρες με συμπίεση ατμού (ΣΑ)

Όπως προαναφέρθηκε, η τάση των ατμών του θαλασσινού νερού είναι χαμηλότερη από το καθαρό νερό στην ίδια θερμοκρασία, με τη διαφορά πίεσης να είναι ανάλογη προς την άνοδο του σημείου βρασμού. Η αφαλάτωση στην μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται με την ατμοποίηση του θαλασσινού νερού και τη συμπύκνωσή του παρέχοντας καθαρό νερό. Για το λόγο αυτό, η πίεση του παραγόμενου από το θαλασσινό νερό υδρατμού πρέπει να αυξηθεί κατά μέγεθος ίσο με την προαναφερόμενη διαφορά πίεσης, προσαυξημένης κατά ένα ποσό για την αντιστάθμιση των διαφόρων απωλειών. Με τον τρόπο αυτό, η θερμότητα για την εξάτμιση του νερού προέρχεται από την συμπίεση του ατμού και όχι από την άμεση συναλλαγή θερμότητας από την παραγωγή ατμού σε έναν λέβητα. Αυτή είναι η αρχή λειτουργίας στην οποία βασίζεται η απόσταξη με συμπίεση ατμών.

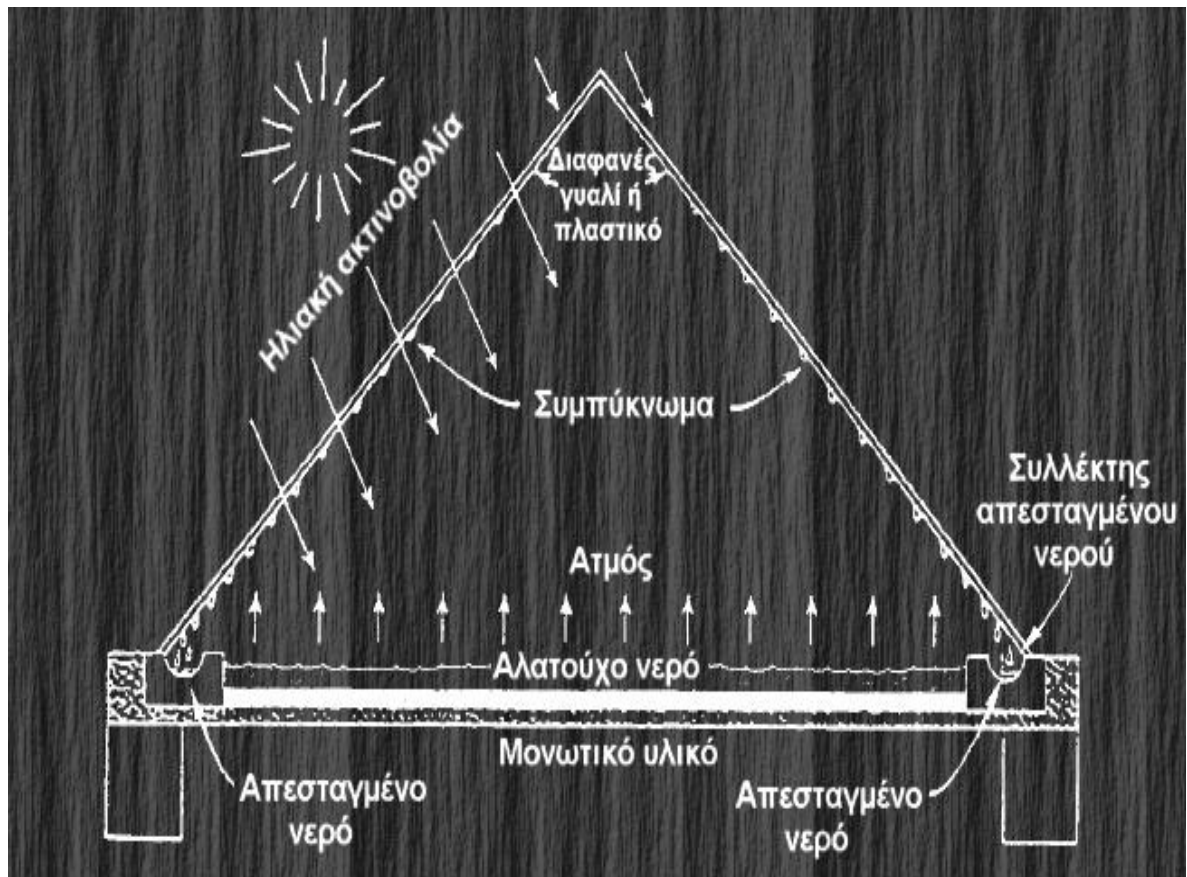


**Εικόνα 12:** Σχηματικό διάγραμμα VC διεργασίας. Πηγή: New proposed system for freeze water desalination using auto – reserved R-22 vapor compression heat pump by Ahmed Attia. 2009

Επιπλέον, όπως φαίνεται στην εικόνα 12 η θερμότητα συμπύκνωσης του ατμού υπό πίεση ανακτάται εσωτερικά χρησιμοποιώντας αυτή για την ατμοποίηση του θαλασσινού νερού. Επιπρόσθετη ανάκτηση ποσότητας θερμότητας πραγματοποιείται με την μεταφορά θερμότητας από το εκρέον ρεύμα άλμης και το παραγόμενο νερό απόσταξης (το οποίο πρέπει να ψυχθεί όσο το δυνατόν περισσότερο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος) στο νερό τροφοδοσίας το οποίο με τον τρόπο αυτό προθερμαίνεται. Στην εικόνα 12 το προθερμασμένο νερό τροφοδοσίας ψεκάζεται σε δέσμη οριζόντιων σωλήνων που μεταφέρουν το συμπυκνωμένο και υπό πίεση υδρατμό σε θερμοκρασία υψηλότερη από αυτή του νερού τροφοδοσίας. Τα σταγονίδια που δημιουργούνται από τον μηχανισμό ψεκασμού εξατμίζονται λόγω της επαφής τους με την εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων και παρέχεται η απαραίτητη ψύξη για την εσωτερικά διενεργούμενη συμπύκνωση. Εναλλακτικά, στην θέση του συμπιεστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας διαχύτης και συγκεκριμένα ένα αποκλίνον ακροφύσιο το οποίο ενισχύει την αξιοπιστία του συστήματος λόγω της απλότητας στον σχεδιασμό αλλά και της απουσίας κινούμενων τμημάτων αλλά παράλληλα μειώνει την απόδοση της εγκατάστασης διότι ένας διαχύτης είναι λιγότερο αποδοτικός συγκριτικά με έναν μηχανικό συμπιεστή.

#### **IV. Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation) - Ηλιακοί αποστακτήρες (ΗΑ)**

Πολλές περιοχές με έντονα φαινόμενα λειψυδρίας παρουσιάζουν υψηλό ποσοστό ηλιοφάνειας κατά την διάρκεια του έτους. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα στη χρήση της ηλιακής ενέργειας σχετίζεται με το κόστος της εγκατάστασης. Έτσι απαιτείται μεγάλη επιφάνεια συλλογής λόγω του γεγονότος ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι διαχεόμενη. Για παράδειγμα θεωρώντας μίας βαθμίδας ηλιακό αποστακτήρα, παράγεται από αυτόν 3.5 με 4.8 kg καθαρού νερού ανά  $m^2$  την ημέρα ή απαιτούνται 208 με 286  $m^2$  συλλέκτες ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή 1  $m^3$  καθαρού νερού την ημέρα. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 13 ένας ηλιακός αποστακτήρας αποτελείται από μια δεξαμενή θαλασσινού νερού στην οποία το νερό εκτίθεται στον ήλιο και θερμαίνεται. Η αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από αυτήν του περιβάλλοντος προκαλεί εξάτμιση του θαλασσινού νερού διαχωρίζοντας με τον τρόπο αυτό το καθαρό νερό (με την μορφή ατμού) από το αλατούχο διάλυμά του. Ο ατμός συμπυκνώνεται στο ψυχρότερο κάλυμμα του αποστακτήρα και το συμπύκνωμα αυτό συλλέγεται από τους *συλλέκτες απεσταγμένου νερού (distillate trough)*.

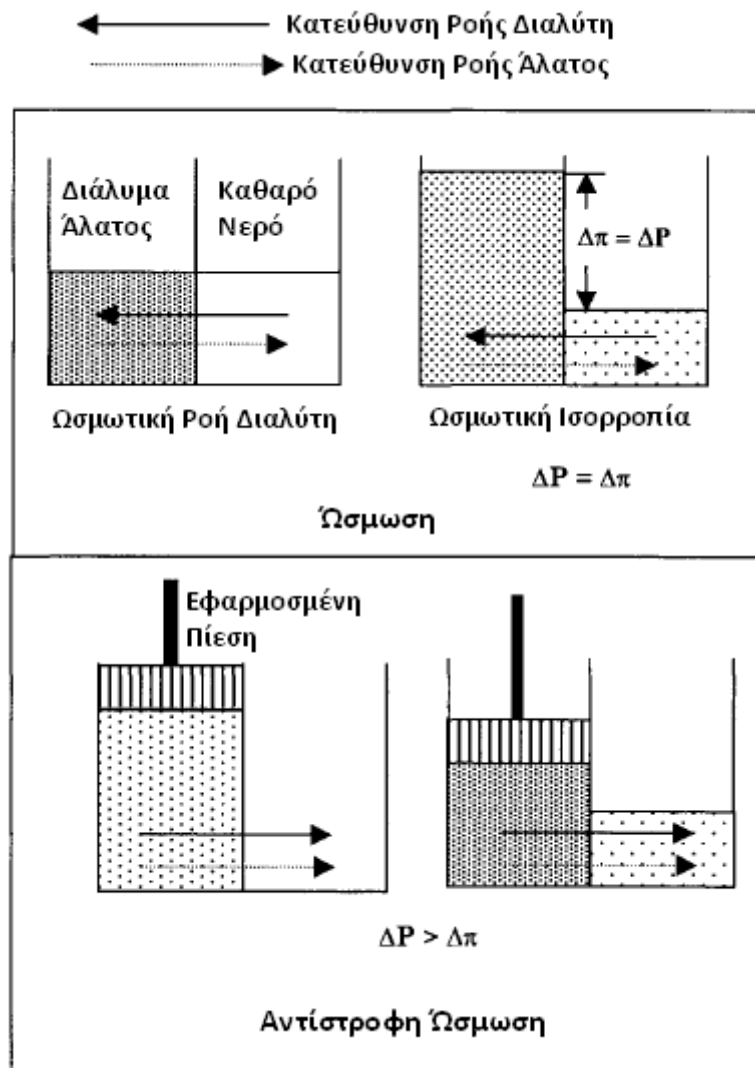


**Εικόνα 13:** Σχηματικό διάγραμμα ηλιακής απόσταξης. Πηγή: New proposed system for freeze water desalination using auto – reserved R-22 vapor compression heat pump by Ahmed Attia. 2009

Καθώς η θερμότητα συμπύκνωσης σε μίας βαθμίδας ηλιακό αποστακτήρα χάνεται στο περιβάλλον, είναι φανερό πως είναι δυνατόν να κατασκευαστούν μεγαλύτερης αποδοτικότητας αποστακτήρες με σχεδιασμό πολλαπλών βαθμίδων όπου η θερμότητα συμπύκνωσης χρησιμοποιείται για την εξάτμιση επιπρόσθετης ποσότητας θαλασσινού νερού. Ένας αριθμός τέτοιων αποστακτήρων έχει κατασκευαστεί και δοκιμαστεί αλλά δεν είναι ακόμα ανταγωνιστικοί.

## 2) Μέθοδοι με μεμβράνες

Η μέθοδος πλεονεκτεί κυρίως στην αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Κατά αυτή την μέθοδο γίνεται χρήση ειδικών μεμβρανών οι οποίες επιτρέπουν την διέλευση των μορίων του άλατος αλλά όχι του νερού. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι εγκαταστάσεις που λειτουργούν με την διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης. Για την τεχνική αυτή απαιτείται χρήση μικρού ποσοστού ηλεκτρικής ενέργειας για την αντιστροφή της τάσης που έχουν τα μόρια του άλατος να βρίσκονται σε διάλυμα με νερό και έπειτα να επιτευχθεί ο διαχωρισμός μέσω των μεμβρανών. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να φτάσει τα 7 kWh ανά 5000 lt πόσιμου νερού, και μπορεί να προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια μετά από φωτοβολταϊκή μετατροπή, καθιστώντας το σύστημα αυτοδύναμο. Η αντίστροφη όσμωση πραγματοποιείται μέσα σε χαλύβδινα δοχεία που περιέχουν διατάξεις διαδοχικών ζευγών μεμβρανών που φτάνουν μέχρι τις 200. Η διάρκεια ζωής των μεμβρανών είναι 1 ½ -2 χρόνια. Εκτός όμως από τις μεμβράνες που δημιουργούν διαδοχικά διαμερίσματα γλυκού και αλμυρού νερού, χρησιμοποιούνται και ηλεκτρόδια, τα θετικά είναι εμβαπτισμένα στο γλυκό νερό και τα αρνητικά είναι εμβαπτισμένα στο αλμυρό. Η τροφοδοσία πηγαίνει στα διαμερίσματα του γλυκού νερού, απ' όπου τα ιόντα του άλατος, λόγω του ηλεκτροστατικού πεδίου που δημιουργούν τα ηλεκτρόδια, οδηγούνται προς τα διαμερίσματα του αλμυρού νερού, μέσω των μεμβρανών. Έτσι το παραγόμενο αφαλατωμένο νερό είναι αρκετά μικρής περιεκτικότητας σε άλατα, με αποτέλεσμα να είναι ικανό για κάθε χρήση. Ο χειρισμός μιας μονάδας αντίστροφης όσμωσης είναι αρκετά απλός. Η κατανάλωση της ενέργειας στις μεθόδους με μεμβράνες μετριέται σε kWh/m<sup>3</sup>. [29] Στην εικόνα 14 που ακολουθεί απεικονίζεται η διεργασία της όσμωσης και της αντίστροφης όσμωσης.



**Εικόνα 14:** Διεργασία ώσμωσης και αντίστροφης ώσμωσης. Πηγή: Hisham T. El-Dessouky , Hisham M. Ettouney, Fundamentals of Salt Water Desalination, Elsevier 2002.

Οι μέθοδοι με μεμβράνες είναι:

**ι) Αντίστροφη ώσμωση (ΑΩ) - (Reverse Osmosis, RO):** αποτελεί το 32,6% του συνολικά παραγόμενου νερού παγκοσμίως με εγκαταστάσεις με παροχές μεγαλύτερες από  $4000 \text{ m}^3 / \text{d}$  και το 19,5% για παροχές μεταξύ  $100$  και  $4000 \text{ m}^3 / \text{d}$ .

(α) χωρίς ανάκτηση ενέργειας

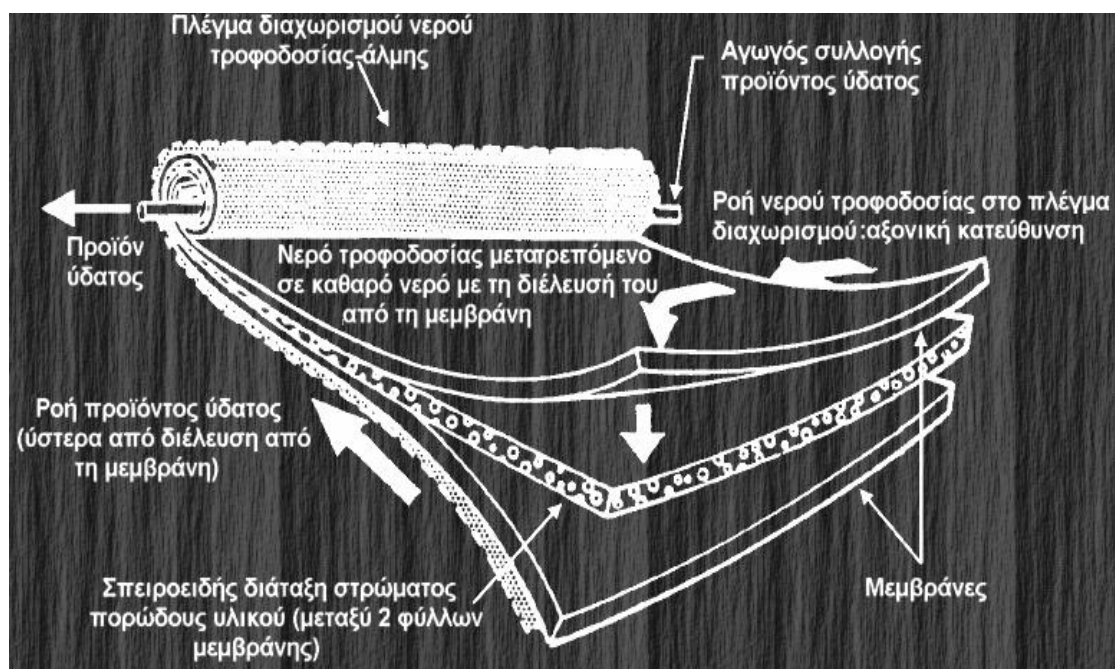
(β) με ανάκτηση ενέργειας (ΑΩ-ΑΕ)

Ο διαχωρισμός σωματιδίων από το υγρό που τα περιέχει με την επιβολή πίεσης σε αυτό και τη διέλευσή του μέσα από πορώδη επιφάνεια όπου σωματίδια μεγαλύτερα από το μέγεθος των πόρων παραμένουν στην ανάντι πλευρά της μεμβράνης, είναι γνωστός ως **διήθηση**. Ημιπερατές μεμβράνες μεγάλης πυκνότητας που διαχωρίζουν τα ιόντα των αλάτων από το νερό συγκρατώντας τα άλατα στην ανάντι πλευρά και επιτρέποντας το υπό πίεση καθαρό νερό να διέλθει μέσα από την μεμβράνη είχαν παρασκευαστεί στην δεκαετία του 1950. Η αντίστροφη διαδικασία ονομάζεται **ώσμωση**. Αν μία ημιπερατή μεμβράνη τοποθετείται για να διαχωρίσει το νερό από το αλατούχο διάλυμά του αυτό τείνει να ρέει μέσα από την μεμβράνη προς το αλατούχο διάλυμα. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και στα κύτταρα των ζωντανών οργανισμών. Η κινητήρια δύναμη του ρεύματος αυτού είναι ανάλογη με τη διαφορά συγκέντρωσης μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης και ονομάζεται **ωσμωτική πίεση**, η οποία είναι υψηλότερη κατά **2.51 MPa** στην πλευρά της μεμβράνης όπου βρίσκεται το καθαρό νερό για τυπικό θαλασσινό νερό των 25° C. Αν πίεση μεγαλύτερη από την ωσμωτική επιβληθεί στην πλευρά της μεμβράνης όπου βρίσκεται το αλατούχο υδατικό διάλυμα, το ρεύμα του νερού δύναται να αντιστραφεί έτσι ώστε το νερό να διέλθει μέσα από την μεμβράνη από την πλευρά του διαλύματος στην πλευρά του καθαρού νερού. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **αντίστροφη ώσμωση** και αποτελεί βασική αρχή στην οποία στηρίζεται η **αφαλάτωση αντίστροφης ώσμωσης RO**.

Αντίθετα με τα φίλτρα, η επιλεκτική διήθηση του νερού στην αντίστροφη ώσμωση δεν σχετίζεται με το μέγεθος των πόρων της μεμβράνης και των ιόντων άλατος. Μία εξήγηση που θα μπορούσε να δοθεί για το εν λόγω φαινόμενο σχετίζεται με το πολύ λεπτό ενεργό επιφανειακό στρώμα της μεμβράνης το οποίο σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου με τα μόρια του νερού καθιστώντας τα τελευταία μη ικανά να διαλύσουν το άλας. Με τον τρόπο αυτό το άλας δεν δύναται να διαπεράσει το στρώμα αυτό. Τα μόρια του νερού που προσεγγίζουν το στρώμα μεταφέρονται μέσα από αυτό σχηματίζοντας με το ίδιο δεσμούς υδρογόνου μετατοπίζοντας τα μόρια νερού που προγενέστερα είχαν δεσμευθεί από το υδρογόνο στις περιοχές αυτές. Τα μετατοπισμένα μόρια νερού κινούνται με τριχοειδή δράση μέσα από τους πόρους του υπόλοιπου τμήματος της μεμβράνης και καταλήγουν στην πλευρά του καθαρού νερού. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι μεμβρανών που χρησιμοποιούνται στις RO εγκαταστάσεις είναι οι σπειροειδείς και οι τριχοειδείς.

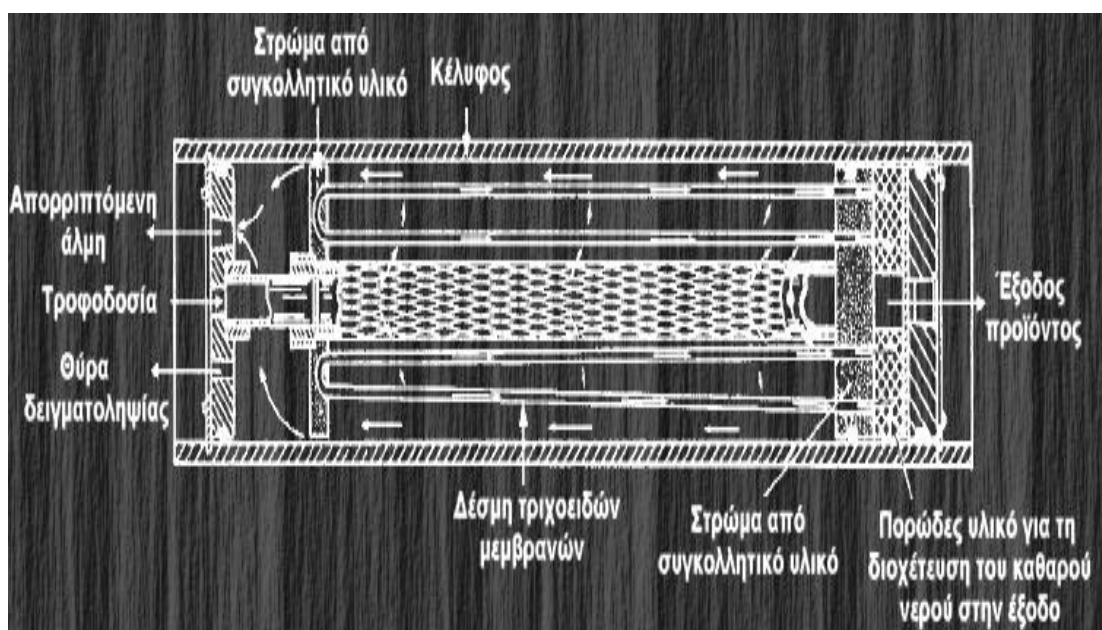


Στους σπειροειδείς τύπους (εικόνα 15), δύο φύλλα επικολλώνται μεταξύ τους και περιβάλλουν με σπειροειδή διάταξη ένα διάτρητο σωλήνα σχηματίζοντας ένα κύλινδρο. Ένα από τα φύλλα αυτά αποτελείται από πέντε στρώματα εκ των οποίων τα δύο εξωτερικά αποτελούν τις ημιπερατές μεμβράνες. Κάθε μία από αυτές υποστηρίζεται από ειδικό υλικό για ενίσχυση της μηχανικής τους αντοχής ενώ το κεντρικό στρώμα που παρεμβάλλεται ανάμεσά τους είναι λεπτότερο από πορώδες υλικό και παραλαμβάνει το καθαρό νερό. Το δεύτερο εκ των δύο φύλλων αποτελείται από πορώδες πλέγμα μέσα από το οποίο διέρχεται το υψηλής πίεσης θαλασσινό νερό τροφοδοσίας σε αξονική κατεύθυνση. Το παραγόμενο νερό διαχωρίζεται από το αλατούχο διάλυμά του και διέρχεται μέσα από τις δύο μεμβράνες προς το κεντρικό στρώμα το οποίο διοχετεύει σπειροειδώς το καθαρό νερό προς το κέντρο του κυλίνδρου καταλήγοντας στον διάτρητο σωλήνα. Οι ημιπερατές μεμβράνες τυπικά κατασκευάζονται από οξική κυτταρίνη και πρόσφατα από διάφορα σύνθετα υλικά πολυμερών.



**Εικόνα 15:** Σπειροειδής τύπος μεμβράνης . Πηγή: A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems by Mohamed Eltawil, Zhao Zhengming, Liqiang Yuan, 2007

Οι τριχοειδείς τύποι μεμβρανών (εικόνα 16) αποτελούνται από δέσμη μεγάλου αριθμού ινών ημιπερατής μεμβράνης (με εσωτερική κυλινδρική κοιλότητα) εξωτερικής διαμέτρου 25~250  $\mu\text{m}$  (τυπικό πάχος των τοιχωμάτων των ινών 5 με 50  $\mu\text{m}$ ) τοποθετημένη σε δοχείο πίεσης που εμπεριέχει θαλασσινό νερό. Ο κοίλος πυρήνας της κάθε ίνας στεγανοποιείται στο ένα άκρο. Το υπό πίεση θαλασσινό νερό διοχετεύεται στη μονάδα μέσα από ένα κεντρικό πορώδη σωλήνα τροφοδοσίας προκειμένου να επιτευχθεί η κυκλοφορία του στην εξωτερική επιφάνεια των ινών και η διέλευσή του μέσα από τα τοιχώματα της μεμβράνης στον κοίλο πυρήνα της. Συνακόλουθα το καθαρό νερό οδηγείται στο ελεύθερο άκρο της κάθε ίνας όπου και συλλέγεται. Η άλμη με την συνεχώς αυξανόμενη συγκέντρωσή της ρέει ακτινικά και αποτίθεται στο εξωτερικό κέλυφος της δέσμης των ινών. Οι ίνες αυτές συνήθως κατασκευάζονται από πολυαμίδιο ή τριοξική κυτταρίνη, παρέχοντας 20 φορές μεγαλύτερη επιφάνεια ανά μονάδα όγκου συγκριτικά με τον σπειροειδή τύπο.



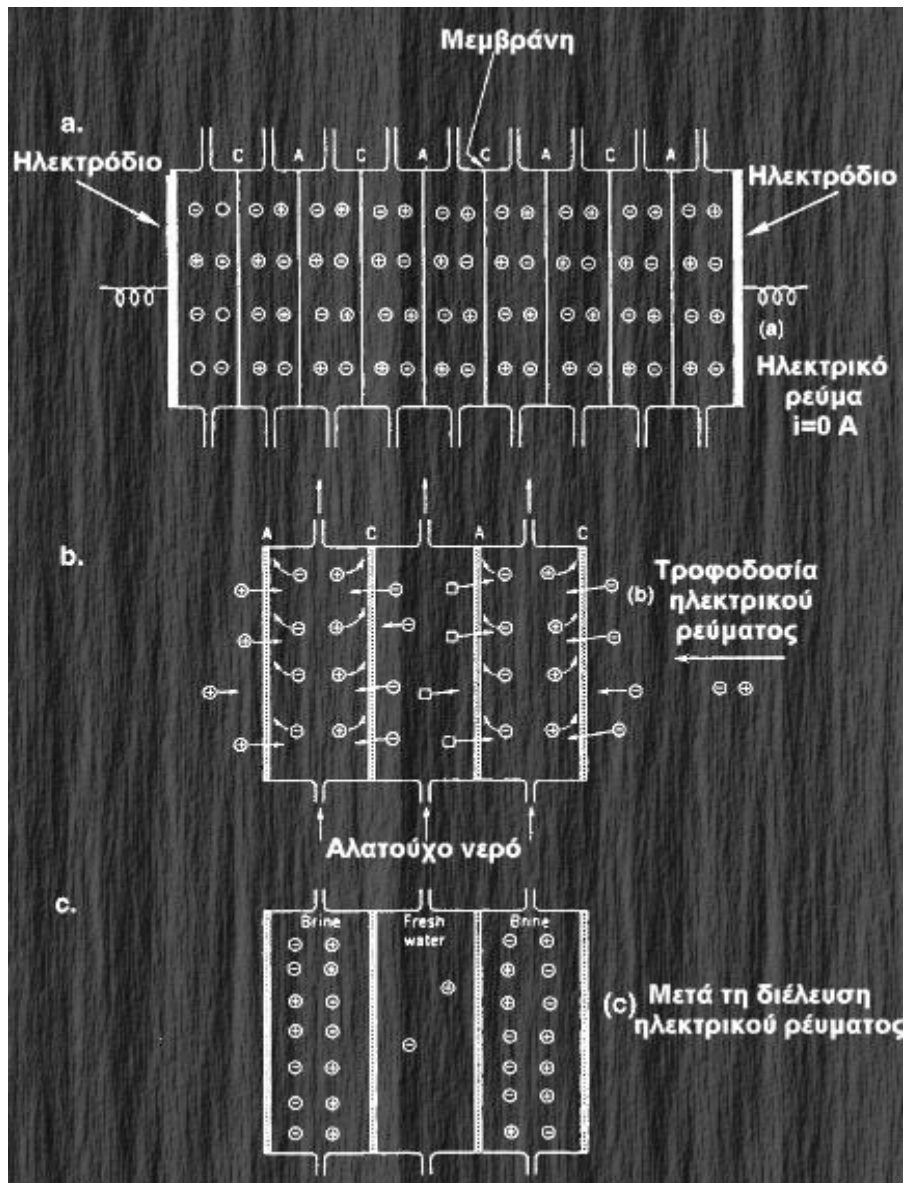
**Εικόνα 16:** Τριχοειδής τύπος μεμβράνης. Πηγή: A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems by Mohamed Eltawil, Zhao Zhengming, Liqiang Yuan, 2007

Η διάρκεια ζωής των μεμβρανών επηρεάζεται από τη σταδιακή χημική αποσύνθεση ή μετατροπή. Για παράδειγμα οι μεμβράνες οξικής κυτταρίνης υδρολύονται με τον χρόνο. Ο βαθμός υδρόλυσης παρουσιάζει ένα απότομο ελάχιστο για διάλυμα με pH 4.5-5 και αυξάνει δραματικά με την θερμοκρασία. Οι μεμβράνες είναι επιρρεπείς

στην απόφραξη τους από σκόνη και στην εξασθένηση της επιλεκτικής τους ικανότητας λόγω της παρουσίας μικροοργανισμών στο θαλασσινό νερό. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η προσεγμένη προεπεξεργασία του νερού τροφοδοσίας η οποία δύναται να περιλαμβάνει διήθηση, χλωρίωση για την καταστροφή οργανικής ύλης και μικροοργανισμών, αφαίρεση επιπρόσθετης ποσότητας χλωρίου για την αποφυγή δημιουργίας στρωμάτων επικάλυψης θειϊκού ασβεστίου ( $\text{CaSO}_4$ ) και σχηματισμού αφρού. Απαραίτητος κρίνεται και ο περιοδικός καθαρισμός της μεμβράνης (χημικός ή μηχανικός). Όλες οι ανωτέρω εργασίες επιβαρύνουν το κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας.

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

Στη διεργασία της ηλεκτροδιάλυσης το αλατούχο διάλυμα διοχετεύεται μεταξύ δύο μεμβρανών η μία διαπερατή στα κατιόντα και η δεύτερη διαπερατή στα ανιόντα. Συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα διοχετεύεται στο σύστημα μέσω δύο ηλεκτροδίων, της ανόδου και της καθόδου, που εκτίθενται στο διάλυμα (εικόνα 17). Με τον τρόπο αυτό προκαλείται κίνηση των κατιόντων του διαλύματος προς την κάθοδο και των ανιόντων στην άνοδο. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 17 τα ανιόντα και τα κατιόντα καθώς κατευθύνονται προς την άνοδο και την κάθοδο αντίστοιχα διέρχονται μέσα από τις αντίστοιχες μεμβράνες που είναι διαπερατές σε αυτά. Η κίνηση των ιόντων αυτών μειώνει την συγκέντρωση του άλατος στο νερό τροφοδοσίας του θαλάμου στον οποίο προϋπήρχαν, ενώ αυξάνει τη συγκέντρωση στους γειτονικούς θαλάμους.



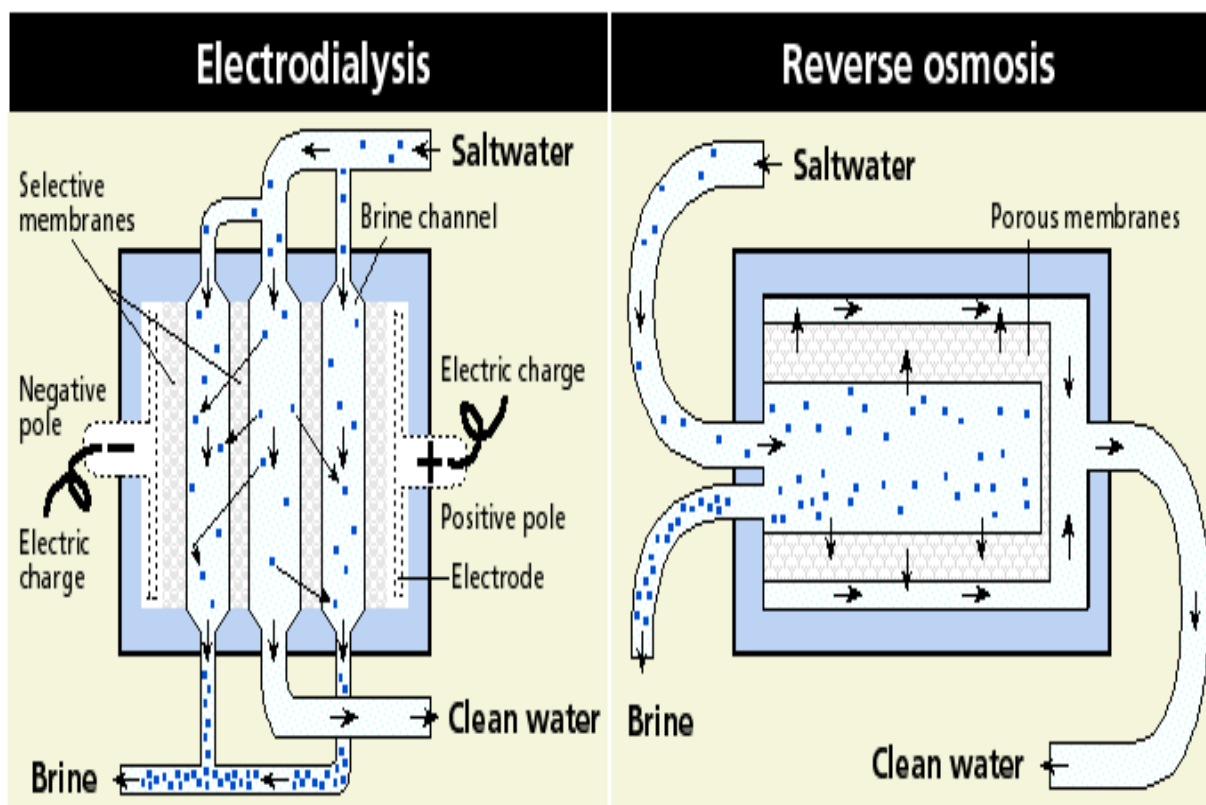
**Εικόνα 17:** Σχηματική διάταξη ηλεκτροδιάλυσης. Πηγή: A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems by Mohamed Eltawil, Zhao Zhengming, Liqiang Yuan, 2007

Δεκάδες με εκατοντάδες τέτοιοι θάλαμοι συναποτελούν μια τυπική εγκατάσταση ED που οδηγεί στη δημιουργία εναλασσόμενων τμημάτων καθαρού νερού και άλμης. Στη συγκεκριμένη διαδικασία η τροφοδοσία του θαλασσινού νερού είναι συνεχής προς όλους τους θαλάμους ενώ τόσο το παραγόμενο καθαρό νερό όσο και η άλμη εξέρχονται με εναλλαγή. Το μέγεθος των μεμβρανών είναι περίπου  $0.5 \times 1 \text{ m}^2$  και απέχουν μεταξύ τους απόσταση  $1 \text{ mm}$ . Κατασκευάζονται συνήθως από πολυμερή και ενισχύονται με πλέγματα από άλλα πολυμερή ή fiberglass.

Για τη διεργασία αυτή απαιτείται προσεγμένη και εκτενής προεπεξεργασία παρόμοια με αυτή που περιγράφηκε στην διεργασία της αντίστροφης ώσμωσης. Τα λειτουργικά

προβλήματα που προκαλούνται λόγω δημιουργίας στρωμάτων επικάλυψης περιορίζονται με την αντίστροφη διεργασία της ηλεκτροδιάλυσης κατά την οποία το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό ρεύμα περιοδικά αντιστρέφει τους πόλους του (περίπου 3-4 φορές την ώρα) με αποτέλεσμα να προλαμβάνεται η συσσώρευση επαρκούς ποσότητας άλατος στις μεμβράνες που θα μπορούσαν να προκαλέσουν καθίζηση των αλάτων και επακόλουθη δημιουργία στρωμάτων επικάλυψης.

Η τάση που χρησιμοποιείται είναι κατά προσέγγιση  $1V$  ανά ζεύγος μεμβρανών ενώ το ηλεκτρικό ρεύμα είναι της τάξεως των  $100 A$  ανά μονάδα επιφάνειας ( $m^2$ ) της μεμβράνης. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας αυξάνει με τη συγκέντρωση του νερού τροφοδοσίας και ανέρχεται στα  $10 MW$  ανά μονάδα όγκου ( $m^3$ ) παραγόμενου νερού και ανά  $1000 ppm$  μείωση της αλατότητας. Από την ενέργεια αυτή η μισή ποσότητα χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό και η υπόλοιπη για την άντληση. Στην εικόνα 18 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διαφορές στην λειτουργία των μεθόδων ηλεκτροδιάλυσης και αντίστροφης ώσμωσης.



**Εικόνα 18:** Διαφορές στην λειτουργία των μεθόδων EDR και RO. Πηγή: A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems by Mohamed Eltawil, Zhao Zhengming, Liqiang Yuan, 2007

Αν θέλαμε να **συγκρίνουμε τις τεχνικές απόσταξης με τις αντίστοιχες που κάνουν χρήση μεμβρανών** (κυρίως της αντίστροφης ώσμωσης) θα λέγαμε ότι η απόσταξη προσφέρει μια μεγαλύτερη δυνατότητα για τις οικονομίες κλίμακας. Οι μονάδες απόσταξης δεν χρειάζεται να διακόπτουν την λειτουργία τους τόσο συχνά για καθάρισμα και συντήρηση του εξοπλισμού όπως συμβαίνει με τις μονάδες RO, παρόλο που μπορούν και πρέπει να σβήνουν κυρίως για καθαρισμό και αντικατάσταση σωλήνων. Οι ανάγκες προετοιμασίας του τροφοδοτικού νερού είναι μεγαλύτερες στις μονάδες RO, κυρίως στο στάδιο προ της εισόδου στις μεμβράνες. Τέλος, σε αντίθεση με τις μονάδες RO, οι μονάδες απόσταξης δεν παράγουν απόβλητα από το πλύσιμο ή την προετοιμασία των μεμβρανών.

Στον αντίποδα, τα κυριότερα **πλεονεκτήματα της μεθόδου RO** είναι ότι γενικά δεν χρειάζεται θέρμανση του τροφοδοτικού νερού, με αποτέλεσμα οι θερμικές απώλειες να είναι χαμηλότερες. Έχουν λιγότερα προβλήματα διάβρωσης, χαμηλότερες απαιτήσεις ενέργειας, υψηλότερο βαθμό απόδοσης, μπορούν να απομακρύνουν εκτός από αλάτι και άλλα ανεπιθύμητα συστατικά όπως βακτήρια, ενώ για την ίδια ποσότητα παραγόμενου νερού οι εγκαταστάσεις είναι πολύ μικρότερες σε όγκο.

Όσον αφορά την **ποιότητα νερού** που παράγεται, οι μονάδες απόσταξης παράγουν νερό υψηλής ποιότητας με συγκεντρώσεις από 1.0 έως 50 ppm tds (**tds**=total dissolved solids), ενώ οι μονάδες αντίστροφης ώσμωσης παράγουν νερό με συγκεντρώσεις 10 – 500 ppm tds. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι τα διεθνή όρια για το πόσιμο νερό είναι 500 mg/L, που αντιστοιχούν περίπου σε 500 ppm.

Το αφαλατωμένο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην καθαρή μορφή του (π.χ ως νερό προετοιμασίας σε boiler παραγωγικών μονάδων), ή να αναμιχθεί με λιγότερο καθαρό νερό και να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, πόση κλπ.

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

**Υβριδικές μέθοδοι:** Ένα σύστημα ονομάζεται υβριδικό, όταν η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τη συνεργασία τουλάχιστον δύο διαφορετικών πηγών ενέργειας. Το ένα σύστημα δρα επικουρικά ως προς το άλλο.

Ένα κοινό υβριδικό σύστημα αποτελείται συνήθως από τα ακόλουθα επιμέρους συστήματα:

1. Μία πρωτογενή πηγή ενέργειας (π.χ. ανανεώσιμη πηγή ενέργειας)
2. Μία δευτερογενή πηγή, η οποία προσφέρει πρόσθετη ενέργεια στο σύστημα υπό κανονικές συνθήκες και κάλυψη της απαιτούμενης ενέργειας σε περιπτώσεις όπου η πρωτογενής πηγή είναι εκτός λειτουργίας.
3. Ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (για μη διασυνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα) για τη διασφάλιση της σταθερότητας της παροχής ενέργειας.
4. Ένας ελεγκτής φόρτισης.
5. Το υλικό εγκατάστασης ( καλώδια, κουτιά ασφαλείας κτλ)
6. Οι συσκευές κατανάλωσης ενέργειας

Στην αφαλάτωση συνήθως τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν ανεμογεννήτρια με τη σύνδεση σε κάποιο δίκτυο, την χρήση ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους με ντίτζελ και τα φωτοβολταϊκά. Τα φωτοβολταϊκά ανήκουν στον χώρο των ΑΠΕ και αποτελούν μια καλή λύση.

Τα υβριδικά συστήματα πλεονεκτούν έναντι των άλλων γιατί σε περίπτωση αδυναμίας παροχής ενέργειας από την πρώτη πηγή, χρησιμοποιείται η εφεδρική οπότε το σύστημα δεν τίθεται εύκολα εκτός λειτουργίας. Η επιλογή αυτή έχει αυξημένο κόστος επένδυσης και εγκατάστασης της μονάδας, παρόλα αυτά όμως τα υβριδικά συστήματα αποτελούν συμφέρουσες λύσεις για εγκαταστάσεις μικρού και μεσαίου μεγέθους. Απαιτούν να γίνει ακριβής υπολογισμός της συμμετοχής κάθε μιας πηγής στην παραγωγή ενέργειας, καθώς και προσεκτική σχεδίαση της στρατηγικής λειτουργίας του συστήματος.

Το υβριδικό σύστημα σχεδιάζεται και υπολογίζεται βάσει του αιολικού και ηλιακού δυναμικού, του αρχικού κόστους και του κόστους διαχείρισης και λειτουργίας. Τα φωτοβολταϊκά έχουν υψηλό αρχικό κόστος, αλλά έχουν μικρές απαιτήσεις κατά την λειτουργία τους, και μεγάλη διάρκεια ζωής. όσο πιο υψηλό είναι το κόστος

εγκατάστασης και λειτουργίας κάποιας ΑΠΕ τόσο πιο μικρό είναι το ποσοστό συμμετοχής της στο υβριδικό σύστημα. Το κόστος για το εργατικό δυναμικό επίσης είναι σημαντικό και γι αυτό προτιμάται η λύση της πλήρως αυτοματοποιημένης λειτουργίας της μονάδας, ώστε να μην είναι απαραίτητη η παρουσία εξειδικευμένου προσωπικού.

Ο καλύτερος συνδυασμός είναι αυτός που δίνει το μικρότερο κόστος παραγόμενου νερού. Συγκρινόμενο με ένα αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών, το υβριδικό σύστημα παρουσιάζει πολύ χαμηλότερο κόστος παραγωγής νερού σε σχέση με το αυτόνομο λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασης του δεύτερου.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει μια μεθοδολογία για την βελτιστοποίηση του μεγέθους ενός συστήματος αφαλάτωσης, με χρήση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννήτριας, στην οποία μέσα από τις διαθέσιμες συσκευές που κυκλοφορούν στο εμπόριο, επιλέγεται ο βέλτιστος αριθμός και το κατάλληλο μέγεθος των μονάδων, ώστε το συνολικό κόστος, σε χρονικό ορίζοντα 20ετίας, να γίνεται ελάχιστο, ενώ συγχρόνως καλύπτεται η ζήτηση του νερού. Η ελαχιστοποίηση του κόστους έγινε με την χρήση γενετικών αλγόριθμων. Η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόστηκε για τον σχεδιασμό συστημάτων αφαλάτωσης που καλύπτουν τις απαιτήσεις σε πόσιμο νερό μιας μικρής κοινότητας, με σκοπό να αποδείξει την αποτελεσματικότητά της σε μονάδες αφαλάτωσης διαφορετικού μεγέθους. Το συνολικό κόστος του συστήματος αφαλάτωσης επηρεάζεται πολύ από τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του συστήματος καθώς και από τον βαθμό αξιοποίησης του διαθέσιμου ηλιακού και αιολικού δυναμικού.

**Ψύξη:** Η μέθοδος ψύξης (Freezing Process) είναι μια απλή σχετικά μέθοδος αφαλάτωσης. Βασίζεται στην απομάκρυνση των αλάτων από το νερό που στερεοποιείται σε χαμηλές θερμοκρασίες (μειωμένη διαλυτότητα αλάτων στον πάγο). Η μέθοδος δεν έχει επιτυχία λόγω της αδυναμίας σχηματισμού μεγάλων κρυστάλλων πάγου. Οι λεπτοί κρύσταλλοι πάγου συγκρατούν στην επιφάνειά τους άλατα και η απομάκρυνσή τους απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού. Από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν η ενεργειακά βέλτιστη είναι η RO και η ME. Μία σύγκριση του κόστους των εγκαταστάσεων μιας μονάδας αφαλάτωσης και του κόστους κατεργασίας αποδεικνύει, ότι η φθηνότερη είναι η μέθοδος ME. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στο γεγονός οι κρύσταλλοι του πάγου, που σχηματίζονται όταν παγώνει το θαλασσίνο νερό είναι σχεδόν πλήρως απαλλαγμένοι από ίχνη άλατος. Σε αντίθεση με



τις θερμικές μεθόδους αφαλάτωσης, όπου η αφαλάτωση λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες πολύ υψηλότερες της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, εδώ οι θερμοκρασίες πρέπει να είναι πολύ χαμηλές έτσι ώστε να σχηματιστεί πάγος. Πρέπει λοιπόν το σύστημα να προστατευθεί θερμικά, ώστε να μην ανέβει η θερμοκρασία του, ενώ σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους που πρέπει να καθαρίσουν μόνο ατμό και υγρό, εδώ ο καθαρισμός γίνεται σε πάγο, κάτι που είναι πολύ πιο δύσκολο. Από την άλλη η χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας απαγορεύει τη δημιουργία επικαθίσεων και προστατεύει από την διάβρωση. Η μέθοδος αποτετελείται από δύο υποκατηγορίες:

- Άμεσης κατάψυξης
- Έμμεσης κατάψυξης

Η μοναδική εγκατάσταση με την μέθοδο ψύξης που κατασκευάστηκε με το πρόγραμμα Soleras στο Yabu της Σαουδικής Αραβίας, έχει τεθεί εκτός λειτουργίας λόγω πολλών προβλημάτων λειτουργίας. Είχε χωρητικότητα 210 m<sup>3</sup>/d αφαλατωμένου νερού και τροφοδοτείτο με θαλάσσιο νερό. Η πηγή ενέργειας ήταν παραβολικά κάτοπτρα με εστίαση αιχμής.

Όλες οι μέθοδοι της αφαλάτωσης απαιτούν σημαντική ποσότητα ενέργειας για να πετύχουν τον διαχωρισμό αλάτων από το θαλάσσιο νερό. Αυτό δημιουργεί πρόβλημα διότι η καύση μεγάλων ποσοτήτων συμβατικών καυσίμων: πετρέλαιο, είδη ορυκτού άνθρακα, φυσικά καύσιμα, αέρια, μολύνει το περιβάλλον. Επίσης πρόβλημα αποτελεί και η εύρεση μεγάλων ποσοτήτων των συμβατικών καυσίμων. Αποτέλεσμα είναι η ανάπτυξη και εξέλιξη τεχνικών αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ, οι οποίες έχουν μικρό κόστος, διατίθενται ελεύθερα και καθιστούν τις εγκαταστάσεις αυτοδύναμες. Παρά τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ η χρήση τους δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί τεχνολογικά σε βαθμό τέτοιο ώστε να είναι ανταγωνιστικές των συμβατικών πηγών ενέργειας. Αυτό οφείλεται κυρίως στην διάχυτη μορφή τους, δηλαδή στην αραιωμένη ποσότητα της ενέργειας που καθιστά την συμπύκνωση ή την συλλογή τους μια δαπανηρή επιχείρηση. Η ενέργεια δηλαδή θα πρέπει να συμπυκνωθεί και έπειτα να μετατραπεί σε μια εύχρηστη μορφή ενέργειας. Ένα δεύτερο μειονέκτημα είναι η ασταθής και κυμαινόμενη ροή τους.[30]

### **3.3 Οι απαιτήσεις σε ενέργεια μιας μονάδας αφαλάτωσης**

Η ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται κατά την αφαλάτωση είναι κυρίως ηλεκτρισμός και θερμότητα. Οι ενεργειακές ανάγκες μιας μονάδας αφαλάτωσης εξαρτώνται από την αλατότητα και την θερμοκρασία του τροφοδοτικού νερού, την ποιότητα του παραγόμενου νερού και την τεχνολογία αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται. Εκτός από ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια, οι μονάδες που χρησιμοποιούν τεχνολογίες MSF, MED και VC χρησιμοποιούν και θερμική ενέργεια για θέρμανση του τροφοδοτικού νερού. Εξαιτίας της χαμηλής αποδοτικότητας της μετατροπής θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό, υπάρχει ένα υψηλό ενεργειακό πέναλτι αν η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση του τροφοδοτικού νερού. Για παράδειγμα, σε αντιδιαστολή με τα 3,500 με 7,000 kWh/AF (AF= acre foot=1233,5 m<sup>3</sup>) ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούνται για μια μονάδα διύλησης MSF, η θερμική ενέργεια που απαιτείται είναι περίπου 270 εκατομμύρια Btu/AF (~ 26,000 kWh/AF). Για τις μονάδες τεχνολογίας MED οι απαιτήσεις θερμικής ενέργειας υπολογίζονται σε 230 εκατομμύρια Btu/AF (~ 22,000 kWh/AF). Συνολικά, οι ολικές ενεργειακές ανάγκες για τις μονάδες απόσταξης είναι αρκετά υψηλότερες από αυτές που χρησιμοποιούν μεμβράνες.

Γενικά πάντως, οι ανάγκες σε ενέργεια των μονάδων αφαλάτωσης είναι πάρα πολύ υψηλές. Τόσο οι μονάδες απόσταξης, όσο και οι RO, θα μπορούσαν να περιορίσουν τις ανάγκες τους με την χρήση μονάδων συμπαραγωγής.

### **3.4 Χρήση ΑΠΕ στην αφαλάτωση**

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

Έρευνα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, έδειξε μια σημαντική αγορά δυναμικού για την ανάπτυξη των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις Ανατολικές Μεσογειακές χώρες, όπως η Κύπρος, η Αίγυπτος, ο Λίβανος και η Παλαιστίνη. Η ανάλυση των εποχιακών και χωρικών διακυμάνσεων της παροχής ύδατος και της ζήτησης δείχνει ότι τα προβλήματα έλλειψης νερού σε εθνικό ή

περιφερειακό επίπεδο υπάρχουν ή αναμένεται να εμφανιστούν στο εγγύς μέλλον. Μια παρόμοια ανάλυση στην Ελλάδα προσδιόρισε τα νησιά του Αιγαίου ως τις πιο άγονες περιοχές της χώρας.

Παρακάτω γίνεται μια σύντομη περιγραφή των βασικότερων μεθόδων αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Εκτενέστερη ανάλυση ακολουθεί στην συνέχεια της εργασίας.

### 3.4.1 Αφαλάτωση με χρήση ηλιακής ενέργειας

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην διαδικασία της αφαλάτωσης είτε για να παράγει θερμική ενέργεια που απαιτείται ώστε να λειτουργήσουν οι μέθοδοι αλλαγής φάσης, είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται στις μεθόδους που χρησιμοποιούν μεμβράνες. Το υψηλό κόστος των φωτοβολταϊκών κυψελών και των ηλιακών αποστακτηρίων την καθιστούν ακριβή μέθοδο, εκτός και αν η μονάδα γίνεται σε πολύ απομονωμένη περιοχή. [31] Στην εικόνα 19 παρουσιάζεται ο γενικός μηχανισμός της αφαλάτωσης.

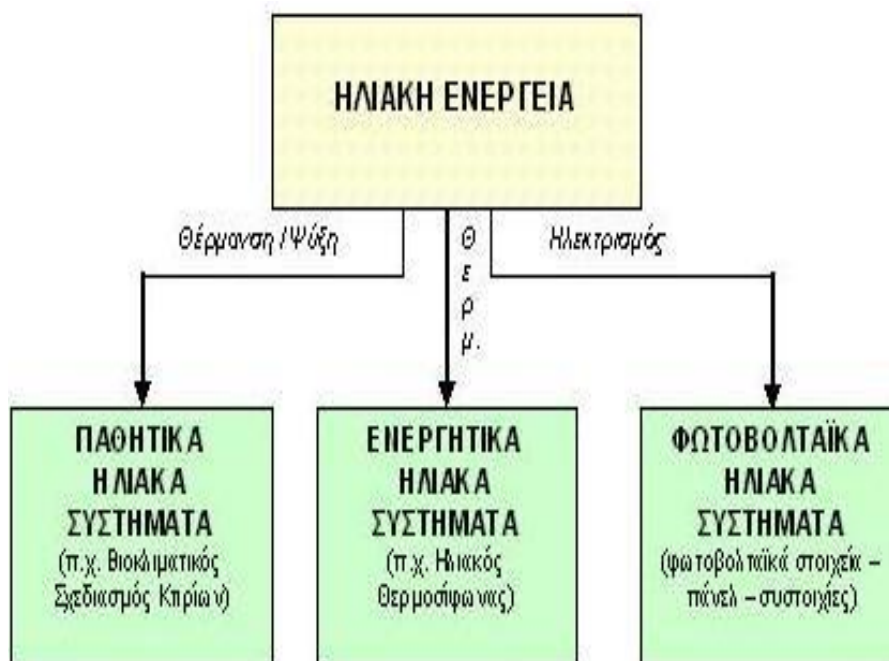


**Εικόνα 19:** Γενικός μηχανισμός της αφαλάτωσης. Πηγή: Wikipedia

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

με την διαφορά ότι τα σύγχρονα συστήματα είναι εξοπλισμένα με συσκευές μέτρησης και ελέγχου.

Η αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια αποτελείται από ένα σύστημα αφαλάτωσης, το οποίο χρησιμοποιεί ως πηγή ενέργειας για την λειτουργία του, την ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί είτε άμεσα είτε έμμεσα. Άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας γίνεται στους ηλιακούς αποστακτήρες, όπου μια ποσότητα νερού θερμαίνεται απ' ευθείας από την ηλιακή ακτινοβολία, εξατμίζεται και στη συνέχεια οι σχηματιζόμενοι ατμοί συμπυκνώνονται σε αφαλατωμένο νερό. Πρόκειται, δηλαδή για ένα παθητικό σύστημα ηλιακής εφαρμογής. Η έμμεση χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας, προϋποθέτει τη μετατροπή της σε μια άλλη μορφή ενέργειας. Συνήθως σε θερμική ή ηλεκτρική, ικανή να τροφοδοτήσει ένα συμβατικό σύστημα αφαλάτωσης. Η άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας γίνεται σε συσκευές που ονομάζονται «ηλιακοί αποστακτήρες» (solar stills). Η αντίστοιχη μέθοδος καλείται «ηλιακή απόσταξη» (solar distillation). Η αφαλάτωση που πραγματοποιείται με έμμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας, ονομάζεται «ηλιο προωθούμενη» (solar assisted) ή «ηλιακά κινούμενη» (solar driven) αφαλάτωση. Οποιοδήποτε σύστημα συμβατικής αφαλάτωσης συνδέεται με ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας. Στην εικόνα 20 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τεχνολογικές εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας.



Εικόνα 20: Τεχνολογικές εφαρμογές ηλιακής ενέργειας. Πηγή: Wikipedia

Διακρίνονται οι εξής τεχνολογίες θερμικής αφαλάτωσης:

- Η «Εξάτμιση Πολλαπλών Βαθμίδων» (Multiple Stage Flash-Distillation ή MSF)
- Η «Εκρηκτική Εξάτμιση» (Multiple Effect Distillation ή MED)
- Η «Θερμική Επανασυμπίεση Ατμών» (Vapor Compression ή VC)

Η θερμική αφαλάτωση αφορά ηλιακά συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ατμό ή θερμό νερό.

Άλλες μέθοδοι αφαλάτωσης, διαφορετικές της θερμικής είναι οι ακόλουθες:

- Η «Μηχανική Επανασυμπίεση Ατμών» (Mechanical Vapor Compression ή MVC)
- Η «Αντίστροφη Ώσμωση» (Reverse Osmosis ή RO)
- Η «Ηλεκτροδιάλυση» (Electrodialysis ή ED)

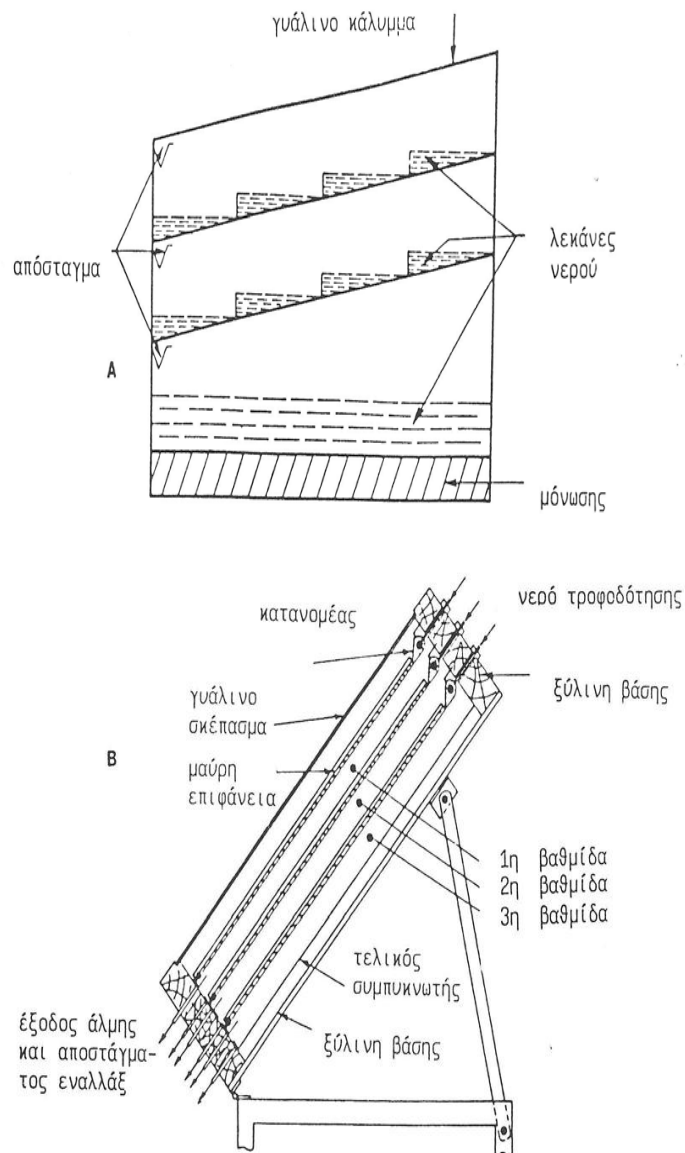
Οι προαναφερθείσες μέθοδοι αφαλάτωσης αφορούν τη μηχανική αφαλάτωση η οποία συνδέεται με συστήματα που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Τα μηχανικά συστήματα αφαλάτωσης αναφέρονται ενδεικτικά. Τόσο η συμβατική ηλιακή απόσταξη όσο και τα συστήματα αφαλάτωσης με ηλιακή κίνηση, λειτουργούν με συνθήκες ασταθούς λειτουργίας, εφόσον εξαρτώνται από την ημερήσια ένταση και διάρκεια της ηλιακής ακτινοβολίας και γενικά τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Σε ελάχιστες περιπτώσεις είναι δυνατή η θερμική αποθήκευση μικρής χρονικής διάρκειας.

Η αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια, άμεση ή έμμεση, έχει βρει εφαρμογή σε:

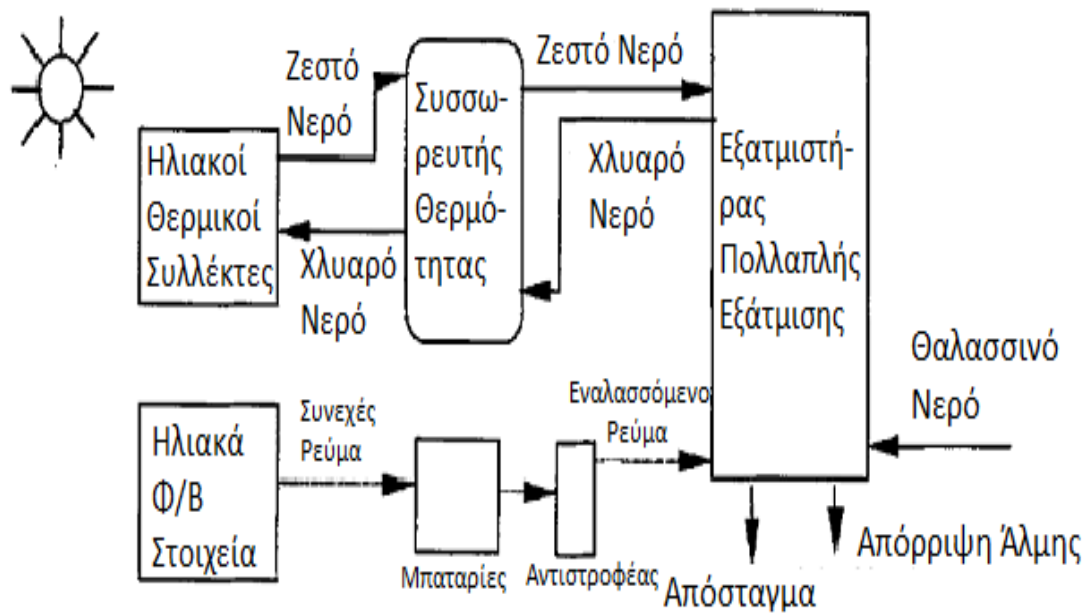
- Μονάδες μικρής παροχής
- Απόμακρες ή ερημικές άγονες ή ημιάγονες περιοχές, όπου διαθέτουν άφθονο θαλασσινό ή αλμυρό νερό, ενώ στερούνται σε καύσιμα και ηλεκτρική ενέργεια. Οι περιοχές αυτές ανήκουν στη λεγόμενη «ευήλιο ζώνη», όπου η ακτινοβολία είναι έντονη, ενώ το ύψος της ετήσιας βροχόπτωσης μηδαμινό.

Απόμακρες κοινότητες υπάρχουν επίσης στην ενδοχώρα των ηπειρωτικών περιοχών. Η μεταφορά καυσίμων σε αυτές τις περιοχές έχει υψηλό κόστος, ενώ οι πηγές νερού είναι συνήθως υφάλμυρες ή αλμυρές. Η εκλογή της μεθόδου αφαλάτωσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως π.χ. από την ζητούμενη παροχή, από τις τοπικές δυνατότητες της αγοράς, όπως και από το αν ζητείται ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδότηση της κοινότητας.

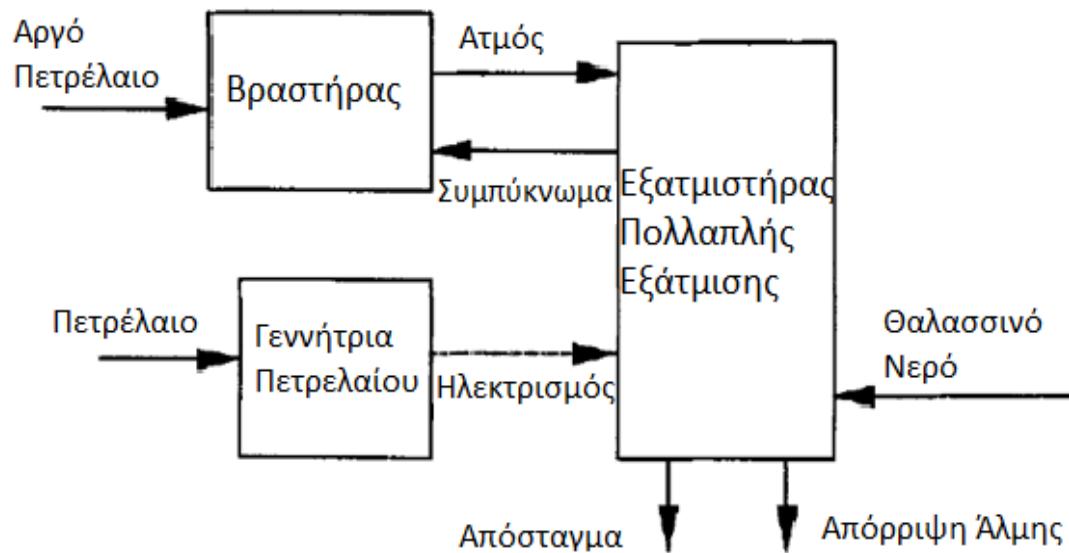
Στην εικόνα 21 που ακολουθεί απεικονίζονται ηλιακοί αποστακτήρες A και B πολλαπλών βαθμίδων. Στις εικόνες 22, 23 και 24 απεικονίζονται συστήματα που λειτουργούν μόνο με ηλιακή ενέργεια, μόνο με καύσιμα ή και με συνδυασμό ηλιακής ενέργειας και καυσίμων αντίστοιχα.



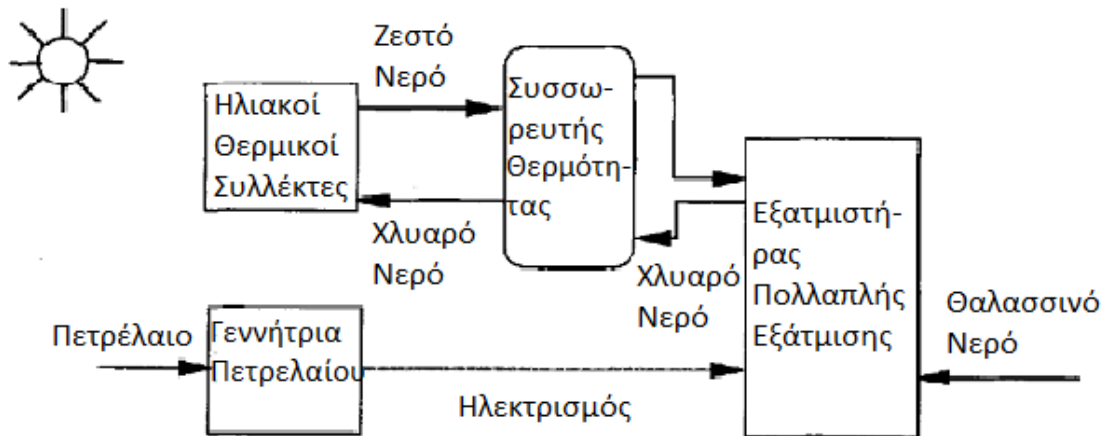
**Εικόνα 21:** Ηλιακοί αποστακτήρες κεκλιμένου επιπέδου A και B πολλαπλών βαθμίδων  
 Πηγή: A comprehensive techno-economical review of indirect solar desalination by  
 Muhammad Tauha Ali, Hassan E.S. Fath, Peter R. Armstrong. 2011



**Εικόνα 22:** Σύστημα λειτουργίας αποκλειστικά και μόνο με ηλιακή ενέργεια. Πηγή: El-Nashar Ali M., The economic feasibility of small solar MED seawater desalination plants for remote arid areas, Desalination Vol. 134, pp. 173-186, Elsevier Journal 2001.



**Εικόνα 23:** Σύστημα λειτουργίας αποκλειστικά και μόνο με την χρήση καυσίμων. Πηγή: El-Nashar Ali M., The economic feasibility of small solar MED seawater desalination plants for remote arid areas, Desalination Vol. 134, pp. 173-186, Elsevier Journal 2001.



**Εικόνα 24:** Σύστημα λειτουργίας τόσο με χρήση ηλιακής ενέργειας όσο και με χρήση καυσίμων. Πηγή: El-Nashar Ali M., The economic feasibility of small solar MED seawater desalination plants for remote arid areas, Desalination Vol. 134, pp. 173-186, Elsevier Journal 2001.

### 3.4.2 Αφαλάτωση με χρήση αιολικής ενέργειας

Η αφαλάτωση με αιολική ενέργεια είναι λιγότερο διαδεδομένη μέθοδος αφαλάτωσης η οποία έχει τεθεί σε εφαρμογή τα τελευταία χρόνια.[32]

Η αιολική ενέργεια, ωστόσο, μπορεί να αποτελέσει λύση, ειδικά για τις παράκτιες περιοχές, στις οποίες το αιολικό δυναμικό είναι αυξημένο. Το αιολικό δυναμικό θεωρείται κατάλληλο αν η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου είναι πάνω από 5 m/s. Στις περιοχές αυτές η αιολική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την αφαλάτωση όσο και για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κατοίκων. Οι νέες τεχνολογίες για ανεμογεννήτριες μικρού και μεσαίου μεγέθους προσφέρουν υψηλή αξιοπιστία και χαμηλό κόστος επένδυσης. Η κατηγοριοποίηση των ανεμογεννητριών με βάση την ονομαστική τους ισχύ μπορεί να γίνει ως εξής:

- Ανεμογεννήτριες πολύ μικρού μεγέθους: ονομαστική ισχύς μικρότερη από 10 KW.
- Ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους: ονομαστική ισχύς μικρότερη από 100 KW.
- Ανεμογεννήτριες μεσαίου μεγέθους: ονομαστική ισχύς μικρότερη από 0.5 MW.
- Ανεμογεννήτριες μεγάλου μεγέθους: ονομαστική ισχύς μεγαλύτερη από 0.5 MW.



Οι τεχνολογίες είναι ώριμες, με εξαίρεση ίσως τις πολύ μεγάλες ανεμογεννήτριες, οι οποίες όμως έτσι και αλλιώς δεν είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για χρήση στην αφαλάτωση. Οι νέες στρατηγικές ελέγχου και οι νέοι τρόποι αποθήκευσης ενέργειας βελτιώνουν τις δυνατότητες παραγωγής των ανεμογεννητριών.

Η σύζευξη ανεμογεννήτριας με μονάδα αφαλάτωσης είναι τεχνολογικά εφικτή, απαιτεί όμως σύστημα αποθήκευσης ενέργειας και συστήματα ηλεκτρονικά για να αντιμετωπίσει την χρονική μεταβλητότητα της αιολικής ενέργειας.

Η ανεμογεννήτρια συνδυάζεται με μεθόδους αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης ή ηλεκτροδιάλυσης και είναι δυνατή επίσης η σύνδεσή της με μονάδα που εφαρμόζει την μέθοδο επανασυμπίεσης ατμών (VC), η οποία εκτός από θερμική, χρειάζεται και ηλεκτρική ενέργεια. Εάν υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης με ένα έστω αδύναμο ηλεκτρικό δίκτυο, η μέθοδος αντίστροφης ώσμωσης είναι η καλύτερη επιλογή γιατί μπορεί να παράγει νερό σε χαμηλότερο κόστος, κυρίως λόγω της χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας. Αν πρόκειται για αυτόνομες εφαρμογές σε απομακρυσμένες περιοχές, η MVC είναι πιο κατάλληλη μέθοδος αφαλάτωσης γιατί αντέχει περισσότερο σε μεταβολές των παραμέτρων λειτουργίας της. Η ανεμογεννήτρια δεν μπορεί να παράγει συνεχώς ρεύμα αλλά η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται άμεσα από την ταχύτητα του ανέμου.

Έχουν γίνει προσπάθειες για απευθείας σύνδεση ανεμογεννήτριας ισχύος 2,2 KW με μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης δυναμικότητας 3 m<sup>3</sup>/d. Για να αντιμετωπιστεί η μεταβαλλόμενη ταχύτητα του ανέμου, το σύστημα περιελάμβανε πολύπλοκο ηλεκτρονικό σύστημα διαχείρισης ενέργειας. Όταν η ανεμογεννήτρια συνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος, τότε το δίκτυο λύνει τα προβλήματα αστάθειας της ανεμογεννήτριας.

Σε μελέτες που εκπονήθηκαν [1], [2], [3], [4], [5] έγινε διερεύνηση πολλών παραμέτρων σχετικά με τον συνδυασμό ανεμογεννήτριας και συστημάτων αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης, όσον αφορά την σκοπιμότητα και την αποτελεσματικότητά τους. Εξετάστηκαν οι περιορισμοί που υπάρχουν στη λειτουργία του συστήματος λόγω της μεταβλητής ισχύος της ΑΠΕ, καθώς και το μέγιστο όριο διακύμανσης της ισχύος των ανεμογεννητριών, ώστε αυτό να παραμένει οικονομικά βιώσιμο, με γνώμονα την απλότητα και το χαμηλό κόστος.

Οι πτυχές που διερευνήθηκαν ήταν οι εξής:

1. Μελετήθηκαν οι συνιστώσες μοντέλων που περιελάμβαναν την ανεμογεννήτρια, το σύστημα αντίστροφης ώσμωσης, τις συσκευές ανάκτησης ενέργειας, την αποθήκευση ενέργειας καθώς και την ενσωμάτωση και σύνδεσή τους σε μία εγκατάσταση. Αναπτύχθηκε ένα μοντέλο που υπολογίζει την ενέργεια σε συνδυασμό με το κόστος του νερού, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γίνει αξιολόγηση διαφόρων συνδυασμών ανεμογεννήτριας και αντίστροφης ώσμωσης.

2. Αναλύθηκαν και μελετήθηκαν διάφοροι συνδυασμοί της Α/Γ με αντίστροφη ώσμωση ως προς την αντοχή τους στις διακυμάνσεις ισχύος της ανεμογεννήτριας και τη δυνατότητα που έχουν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις ποιότητας του νερού, με το χαμηλότερο κόστος παραγόμενου νερού.

3. Αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία για τον υπολογισμό του μεγέθους, την αξιολόγηση και τη λειτουργία συνδυασμού Α/Γ με αντίστροφη ώσμωση, σε συστήματα συνδεδεμένα απευθείας καθώς και σε αυτόνομα συστήματα που διαθέτουν σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

Η τεχνολογία των Α/Γ είναι ώριμη και οι νέες στρατηγικές ελέγχου που αναπτύσσονται συνεχώς βελτιώνουν τις δυνατότητες εφαρμογής των ανεμογεννητριών. Σε σύγκριση με την λύση των φωτοβολταϊκών η αιολική ενέργεια είναι πιο συμφέρουσα από οικονομικής άποψης, ενώ απαιτείται και πολύ μικρότερη έκταση για την εγκατάσταση του εξοπλισμού.

Με δεδομένο ότι η αντίστροφη ώσμωση έχει την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας από όλες τις διαδικασίες αφαλάτωσης, ο συνδυασμός της με την αιολική ενέργεια σε παράκτιες περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό, για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού, καθίσταται ιδιαίτερα δελεαστικός. Το κόστος παραγωγής του νερού επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες, από την χωρητικότητα της μονάδας καθώς και από τις αλλαγές στην ισχύ του ανέμου και στην τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης. Πάντως, σε απομονωμένες περιοχές για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού, και όχι αλμυρού, είναι προτιμότερη η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση αντί για την αντίστροφη όσμωση, καθώς είναι λιγότερο ευαίσθητη στην λειτουργία με μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια που προέρχεται από τις ανεμογεννήτριες. Γενικά μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η αφαλάτωση σε συνδυασμό με ανεμογεννήτρια

μπορεί να είναι ανταγωνιστική με τα άλλα συστήματα αφαλάτωσης και μπορεί να παρέχει ασφαλές και καθαρό πόσιμο νερό με περιβαλλοντικά υπεύθυνο τρόπο και προσφέροντας μια βιώσιμη λύση στις αυξανόμενες ανάγκες για πόσιμο νερό.

### **3.4.3 Εφαρμογές αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας**

Εφαρμογή ανεμογεννήτριας σε συνδυασμό με μονάδα αφαλάτωσης με την μέθοδο MVC δυναμικότητας  $50 \text{ m}^3/\text{d}$ , πραγματοποιήθηκε το 1999 στα Κανάρια νησιά, στο Pozo Izquierdo, στην Ισπανία. Το νερό τροφοδοσίας ήταν θαλασσινό και εγκαταστάθηκαν δύο ανεμογεννήτριες ισχύος 230 KW έκαστη. Η ονομαστική ισχύς του συμπιεστή ήταν 30 KW και η κατανάλωση ενέργειας  $16 \text{ KWh}/\text{m}^3$ .

Άλλη εφαρμογή στα Κανάρια νησιά, στο Pozo Izquierdo, έγινε το 2004. Ανεμογεννήτρια ισχύος 15 KW είναι συνδεδεμένη με μονάδα αφαλάτωσης με την μέθοδο αντίστροφης ώσμωσης, δυναμικότητας  $19,2 \text{ m}^3/\text{d}$ . Το νερό τροφοδοσίας είναι θαλασσινό και υπάρχει σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες 190 h.

Μια πιλοτική εφαρμογή αφαλάτωσης με την μέθοδο MVC σε συνδυασμό με ανεμογεννήτρια, πραγματοποιήθηκε στην Γερμανία στο νησί Borkum το 1991, όπου μια ανεμογεννήτρια ισχύος 45 KW είναι συνδεδεμένη με μια μονάδα δυναμικότητας  $48 \text{ m}^3/\text{d}$ , η οποία επεξεργάζεται θαλασσινό νερό. Ο συμπιεστής έχει ισχύ 36 KW και το σύστημα λειτουργεί με διακυμάνσεις στην ταχύτητα του συμπιεστή, ενώ μια θερμική αντίσταση τίθεται σε λειτουργία όταν ο συμπιεστής δουλεύει σε οριακή ταχύτητα.

Μια άλλη εφαρμογή αφαλάτωσης με τη μέθοδο MVC σε συνδυασμό με ανεμογεννήτρια πραγματοποιήθηκε στην Γερμανία, στο νησί Ruegen το 1995. Η ανεμογεννήτρια ήταν ονομαστικής ισχύος 300 KW και συνδέθηκε με μονάδα δυναμικότητας  $300 \text{ m}^3/\text{d}$ , η οποία επεξεργαζόταν θαλασσινό νερό. Η κατανάλωση ενέργειας ήταν  $9-20 \text{ KWh}/\text{m}^3$ .

Άλλη εφαρμογή αφαλάτωσης σε συνδυασμό με ανεμογεννήτρια πραγματοποιήθηκε το 2003-2004 στο νησί Fuerteventura όπου μια ανεμογεννήτρια ισχύος 225 KW είναι συνδεδεμένη με μια μονάδα αφαλάτωσης με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης, δυναμικότητας  $56 \text{ m}^3/\text{d}$ . Το νερό τροφοδοσίας είναι θαλασσινό και υπάρχει βοηθητικό σύστημα παροχής ενέργειας με ντίζελ, ισχύος  $2 \times 160 \text{ KVA}$ .

Το 2003 στο Crest UK, στο πανεπιστήμιο Loughborough, έκαναν άμεση σύνδεση ανεμογεννήτριας ισχύος 2,5 KW με μονάδα αντίστροφης όσμωσης δυναμικότητας 12 m<sup>3</sup>/d, που χρησιμοποιούσε θαλασσίνο νερό.

#### 3.4.4 Αφαλάτωση με χρήση γεωθερμίας

Γνωρίζουμε ήδη ότι στο νησί της Μήλου λειτουργεί μονάδα αφαλάτωσης για την κάλυψη των αναγκών του νησιού σε νερό, η οποία συνδυάζει την αιολική και την ηλιακή ενέργεια. Παρακάτω θα παρουσιάσουμε τους τρόπους με τους οποίους η γεωθερμία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην αφαλάτωση.

Η αφαλάτωση με χρήση γεωθερμίας (geothermal desalination) είναι μια πρωτοπόρα και υπό διερεύνηση μέθοδος αφαλάτωσης. Αυτή εκμεταλλεύεται την θερμότητα που προέρχεται από την γη για την παραγωγή ποσίμου νερού. Τα διαβεβαιωμένα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι είναι πιο εύκολη στην χρήση και στη διαχείριση από την αντίστροφη όσμωση και ότι η ενέργεια που προέρχεται από την γεωθερμική θερμότητα είναι από τις πιο φιλικές στο περιβάλλον μορφές ενέργειας. Οι σχετικές έρευνες είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο αλλά έχουν δείξει ότι με νερό θερμοκρασίας περίπου 100° C και μια πηγή ψύξης, η μελετώμενη διαδικασία εξάτμισης και συμπύκνωσης μπορεί να λειτουργήσει αρκούντως ικανοποιητικά.[33]

Μία μικρή μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (η πρώτη παρόμοια μονάδα στον κόσμο) αποπερατώθηκε πρόσφατα στην Κίμωλο, ενώ αντίστοιχο πρόγραμμα βρίσκεται σε στάδιο υλοποίησης στην Μήλο. Στην Κίμωλο χρησιμοποιείται η μέθοδος της *εξάτμισης πολλαπλού φαινομένου* (Multiple-Effect Distillation, MED) υπό συνθήκες μερικού κενού σε κατακόρυφους αγωγούς. Η μονάδα, που κατασκευάστηκε κατά την περίοδο 1998-99, χρησιμοποιεί γεωθερμικό νερό χαμηλής ενθαλπίας (61°C) για τη θέρμανση του νερού τροφοδοσίας. Κατά τη δοκιμαστική περίοδο λειτουργίας της μονάδας παράγονταν 3,2 m<sup>3</sup>/h αφαλατωμένου νερού άριστης ποιότητας με τη χρήση 50 m<sup>3</sup>/h γεωθερμικού νερού.

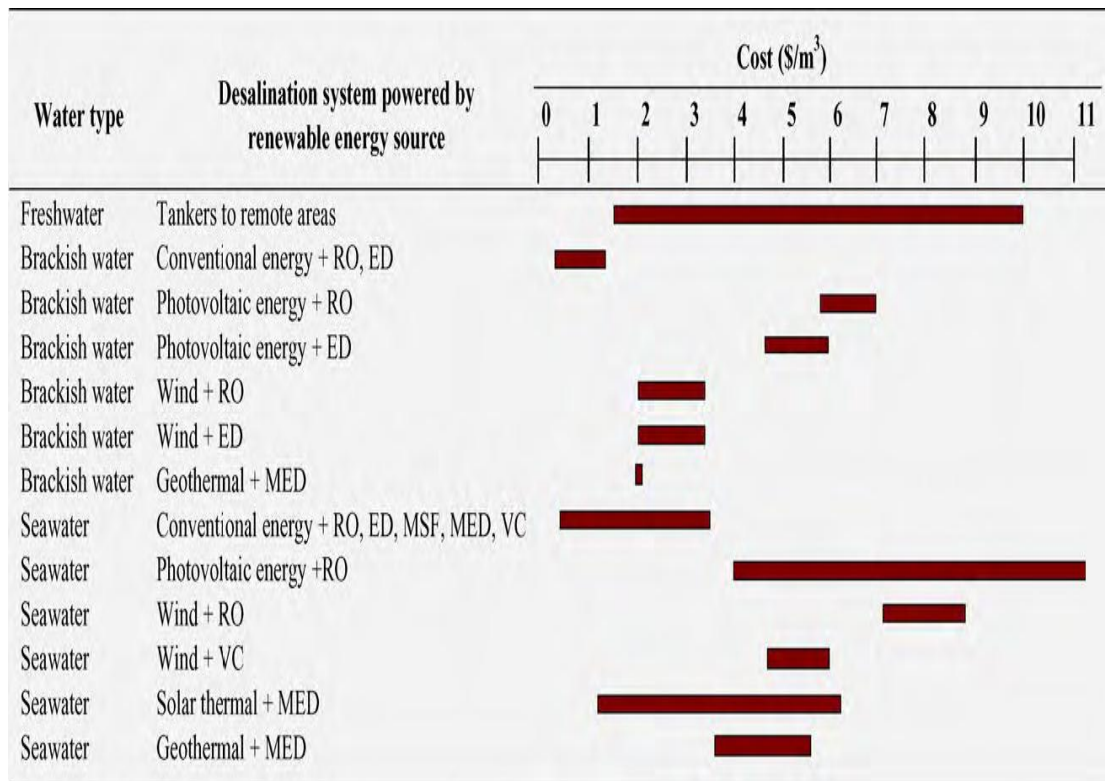
Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι γεωθερμικών πηγών ενέργειας. Αυτοί ταξινομούνται με βάση την μέτρηση της θερμοκρασίας ως εξής: 1) χαμηλή (<100° C), 2) μέτρια (100° C – 150° C και 3) υψηλή θερμοκρασία (> 150° C). Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιείται άμεσα σε συνδυασμό με εξάτμιση με πολλαπλές βαθμίδες (MED), ΜΕΗ, θερμική εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών (TVC) και απόσταξη με

μεμβράνες (MD χαμηλή θερμοκρασία) ή με πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση (MSF μέτρια θερμοκρασία). Ο γεωθερμικός ατμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει μηχανικό έργο σε αντλίες που λειτουργούν με αντίστροφη όσμωση ή προκειμένου να παράγει ηλεκτρική ενέργεια για την διαδικασία της ηλεκτροδιάλυσης. Κατά συνέπεια η θερμική μετατροπή της ενέργειας σε ισχύ ή σε ηλεκτρισμό επιτρέπει την μελλοντική σύνδεση της γεωθερμικής ενέργειας με άλλα συστήματα αφαλάτωσης όπως αντίστροφη όσμωση (RO) , ηλεκτροδιάλυση (ED) και MVC.

Η γεωθερμική ενέργεια συνδέεται άμεσα με μονάδες αφαλάτωσης με τρεις διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με τον τύπο της πηγής: α) εάν οι γεωθερμικές πηγές περιέχουν στην μεγαλύτερη αναλογία τους ατμό υπό πίεση, ο ατμός συμπυκνώνεται, παράγοντας κατ' ευθείαν αφαλατωμένο συμπύκνωμα. β) Όταν η πηγή ελκύει μίγμα νερού και ατμού τότε αρχικά εκτονώνεται κατάλληλα για την παραγωγή ατμού και θερμής άλμης. Ο μεν ατμός διοχετεύεται σε αμοστρόβιλο ενώ η άλμη τροφοδοτείται στα εξατμιστήρια της αφαλάτωσης. γ) Εάν η πηγή αποτελείται από γεωθερμικά μίγματα όπου το υγρό βρίσκεται σε πολύ μεγαλύτερη αναλογία από τον ατμό χρησιμοποιούνται εξατμιστήρια πολλαπλών βαθμίδων ή πολλαπλών εκτονώσεων, ανάλογα με την ενθαλπία της άλμης. [34]

Αν και η γεωθερμική ενέργεια δεν συνδυάζεται συχνά με την ηλιακή ενέργεια (φωτοβολταϊκά PV ή ηλιακοί συλλέκτες) ή με την αιολική ενέργεια, παρουσιάζει ωστόσο μια ώριμη τεχνολογία η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να παρέχει ενέργεια αφαλάτωσης σε ανταγωνιστικό κόστος. Επιπλέον, συγκριτικά με τις άλλες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, το κύριο πλεονέκτημα της είναι ότι δεν απαιτείται θερμική αποθήκευση. Η πιο ενδιαφέρουσα επιλογή γεωθερμικής αφαλάτωσης σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες θερμικής αφαλάτωσης, είναι η άμεση χρήση των γεωθερμικών ρευστών τα οποία βρίσκονται σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες. Μια γεωθερμική πηγή υψηλής πίεσης επιτρέπει την άμεση χρήση της ενέργειας σε μηχανικά καθοδηγούμενη αφαλάτωση ενώ τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής θερμοκρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ηλεκτρική ενέργεια η οποία θα οδηγείται από αντίστροφη όσμωση RO ή ηλεκτροδιάλυση ED. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της χρήσης της γεωθερμίας στην αφαλάτωση είναι ότι η συγκεκριμένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας μπορεί να παρέχει ισχύ 24 ώρες το 24ωρο. Η γεωθερμική

ενέργεια είναι γενικά αναλλοίωτη και παρουσιάζει λιγότερα προβλήματα τροφοδοσίας ενέργειας σε σχέση με την αιολική ή την ηλιακή ενέργεια. [35]



**Εικόνα 29:** Κόστος αφαλατωμένου νερού για διάφορους συνδυασμούς αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πηγή: Renewable and sustainable approaches for desalination by Veera Gnaneswar Gude, Nagamany Nirmalakhandan, Shuguang Deng. 2009

### 3.4.5 Περιγραφή Τεχνολογίας

#### Γεωθερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής θερμικής ενέργειας

Η εγκατάσταση γεωθερμικών μονάδων με σκοπό την παραγωγή θερμού νερού χρήσης γίνεται σε γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας. Η αξιοποίηση ενός τέτοιου γεωθερμικού πεδίου για την παραγωγή θερμικής ενέργειας περιλαμβάνει την έρευνα, την εκμετάλλευση και την διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού. Η ενέργεια αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των θερμικών απαιτήσεων πλήθους εφαρμογών των γεωργικού, βιοτεχνικού και βιομηχανικού τομέα. Τέτοιου είδους εφαρμογές εκτός των θερμοκηπίων, είναι η θέρμανση των δεξαμενών μονάδων υδατοκαλλιεργειών ή ιχθυοκαλλιεργειών, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων, η θέρμανση εδαφών, η θέρμανση κτιριακών εγκαταστάσεων, κλπ.

Τα συστήματα αξιοποίησης των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής θερμοκρασίας μπορεί να αποτελούνται από πέντε υποσυστήματα:

- i. Το σύστημα παραγωγής ενέργειας, που εκτός του γεωθερμικού ταμιευτήρα περιλαμβάνει τις παραγωγικές γεωτρήσεις, τις αντλίες και γενικότερα όλον τον απαραίτητο εξοπλισμό για την άντληση στην επιφάνεια των γεωθερμικών ρευστών. Στην περίπτωση που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν διαβρωτικές ιδιότητες ή μπορεί να επιφέρουν επικαθίσεις αλάτων ή οποιαδήποτε άλλη φθορά στον εξοπλισμό μέσω του οποίου αξιοποιούνται, είναι απαραίτητη η χρήση εναλλάκτη θερμότητας. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την έγχυση ή επανέγχυση των γεωθερμικών ρευστών στο υπέδαφος χωρίς επιφανειακές απώλειες και πρόκληση περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- ii. Το σύστημα μεταφοράς και διανομής το οποίο μεταφέρει την γεωθερμική ενέργεια από την θέση παραγωγής στους χρήστες και την διανέμει στους ανεξάρτητους καταναλωτές. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει κυρίως σωληνώσεις, κυκλοφορητές, βάνες, αναμονές.
- iii. Το σύστημα του χρήστη/καταναλωτή το οποίο βρίσκεται εντός της παραγωγικής του μονάδας (γεωργικής, βιοτεχνικής ή βιομηχανικής).
- iv. Το σύστημα διάθεσης της απορριπτόμενης ενέργειας, το οποίο οδηγεί την απορριπτόμενη γεωθερμική ενέργεια (η ενέργεια που απομένει μετά την ενεργειακή αξιοποίησή της) σε επιφανειακούς ή υπόγειους αποδέκτες

ρευστών ή πίσω στον γεωθερμικό ταμιευτήρα από τον οποίο αντλήθηκαν. Στο σύστημα αυτό υπάγονται και οι γεωτρήσεις έγχυσης ή επανέγχυσης.

- v. Το εφεδρικό σύστημα παραγωγής ενέργειας, το οποίο χρησιμοποιείται στην περίπτωση που για τον οποιονδήποτε λόγο το σύστημα παραγωγής ενέργειας τεθεί εκτός λειτουργίας είτε για την κάλυψη του ενεργειακού φορτίου αιχμής.

### **Γεωθερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας**

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω της αξιοποίησης των γεωθερμικών πεδίων υψηλής θερμοκρασίας και περιλαμβάνει την έρευνα, την εκμετάλλευση και την διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο εθνικό δίκτυο μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Δύο είναι οι κύριοι τύποι των γεωθερμικών εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:

- εκτόνωσης ατμού (μονοφασικής ροής – ξηρού ατμού και διφασικής ροής)
- δυαδικού κύκλου

Η επιλογή του τύπου του εργοστασίου εξαρτάται κυρίως από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του γεωθερμικού πεδίου. Τα εργοστάσια εκτόνωσης ατμού είναι πιο αποδοτικά οικονομικά όταν οι θερμοκρασίες των γεωθερμικών ρευστών είναι μεγαλύτερες από 175° C. Για μικρότερες θερμοκρασίες ή στις περιπτώσεις γεωθερμικών πεδίων με ρευστά κακής ποιότητας (μπορεί να έχουν επιπτώσεις στο φυσικό, βιωτικό και ανθρωπογενές περιβάλλον) προτιμούνται τα εργοστάσια δυαδικού κύκλου.

Τα συστήματα αξιοποίησης των γεωθερμικών πεδίων υψηλής θερμοκρασίας μπορεί να αποτελούνται από πέντε υποσυστήματα:

- i. Το υποσύστημα αμοπαγωγής, που εκτός του γεωθερμικού ταμιευτήρα περιλαμβάνει παραγωγικές γεωτρήσεις, αντλίες, βαλβίδες, διαχωριστές και γενικότερα όλον τον απαραίτητο εξοπλισμό για την άντληση στην επιφάνεια των γεωθερμικών ρευστών και την παραγωγή ατμού. Στην περίπτωση εφαρμογής της τεχνολογίας του δυαδικού κύκλου συμπεριλαμβάνεται και ο εναλλάκτης θερμότητας.
- ii. Το υποσύστημα ηλεκτροπαραγωγής μέσω του οποίου η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Ο εξοπλισμός αυτού του υποσυστήματος μπορεί



να περιλαμβάνει κύρια την ατμοτουρμπίνα, την ηλεκτρογεννήτρια, τον συμπυκνωτή και τον πύργο ψύξης.

- iii. Το υποσύστημα διάθεσης της απορριπτόμενης ενέργειας, το οποίο οδηγεί τα απορριπτόμενα γεωθερμικά ρευστά (τα ρευστά που απομένουν μετά την ενεργειακή αξιοποίησή της) πίσω στον γεωθερμικό ταμιευτήρα από τον οποίο αντλήθηκαν. Το υποσύστημα αυτό περιλαμβάνει την γεώτρηση επανεισαγωγής και τα δίκτυα σωληνώσεων.
- iv. Το δίκτυο μεταφοράς της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το εργοστάσιο στο δίκτυο του ΔΕΣΜΗΕ.
- v. Το δίκτυο μεταφοράς της θερμικής ενέργειας που παράγεται από την αξιοποίηση του προϊόντος του γεωθερμικού ρευστού.

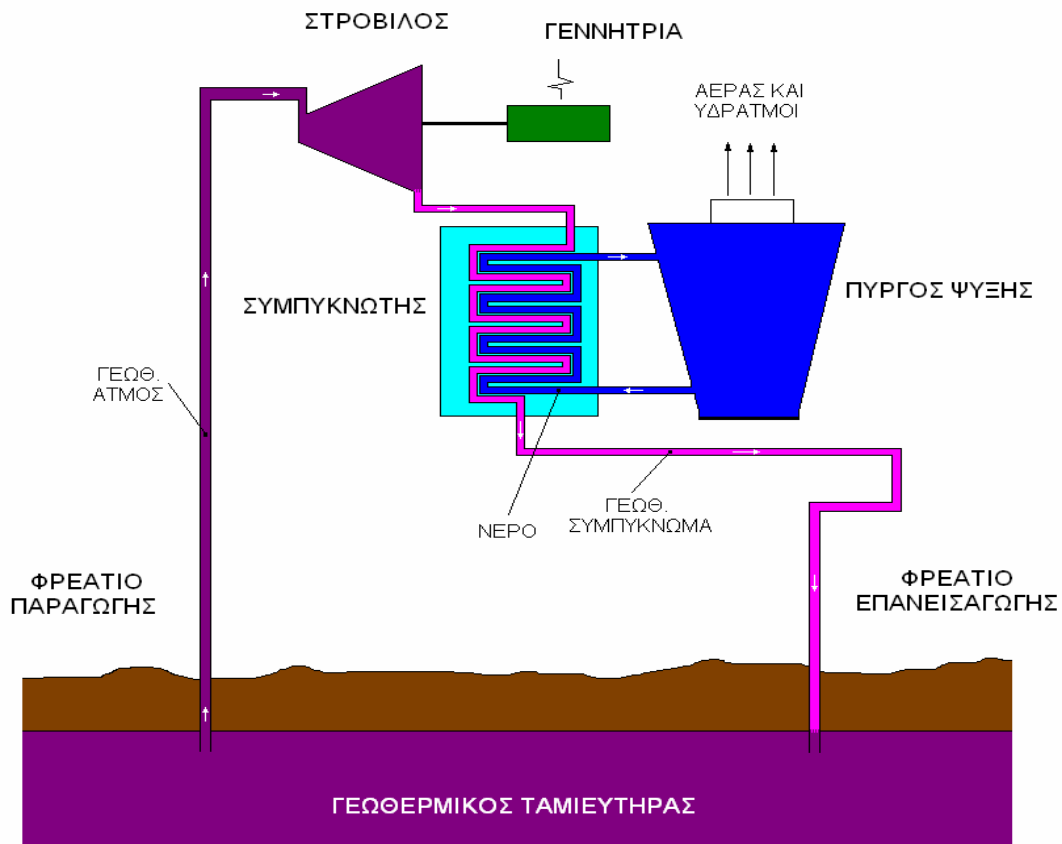
Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεωθερμίας επηρεάζεται σημαντικά από τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού ρευστού, δηλαδή την θερμοκρασία, την πίεση, την περιεκτικότητά του σε αέρια και σε σωματίδια καθώς και την παροχή του. Βάσει λοιπόν αυτών των χαρακτηριστικών του γεωθερμικού μέσου, το οποίο είναι διαθέσιμο σε κάθε περιοχή, σχεδιάζεται και η αντίστοιχη μονάδα παραγωγής. Παρακάτω παραθέτονται οι πιο κοινές διατάξεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιώντας την γεωθερμία.

### **Με χρήση ξηρού ατμού**

Η διάταξη παραγωγής με χρήση ξηρού ατμού αποτελεί την απλούστερη και οικονομικά ελκυστικότερη διάταξη αξιοποίησης του γεωθερμικού δυναμικού για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Βρίσκει εφαρμογή σε περιοχές όπου το γεωθερμικό μέσο λαμβάνεται από το φρεάτιο παραγωγής σε καθαρή αέρια φάση με μικρό ποσοστό υδρατμών.

Στην περίπτωση αυτή λοιπόν, το γεωθερμικό μέσο ταυτίζεται απόλυτα με το εργαζόμενο μέσο, πράγμα το οποίο αποτελεί και την ειδοποιό διαφορά αυτής της διάταξης σε σχέση με τις υπόλοιπες. Το γεωθερμικό μέσο λοιπόν, το οποίο αποτελείται από υπέρθερμο ατμό, οδηγείται απευθείας και χωρίς να παρεμβάλλεται καμία επεξεργασία (με εξαίρεση κάποια πιθανή χημική επεξεργασία) στο κατάλληλα διαμορφωμένο ζεύγος αμοστρόβιλου – ηλεκτρογεννήτριας, στο οποίο εκτονώνεται και ως αποτέλεσμα έχουμε την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτού του τύπου η διάταξη μπορεί να λειτουργήσει είτε με συμπυκνωτή, είτε με απευθείας

απόρριψη του ατμού στην ατμόσφαιρα. Στην πρώτη περίπτωση, όπως φαίνεται και στην εικόνα 25, ο ατμός μετά τον αμοστρόβιλο οδηγείται στον συμπυκνωτή, όπου συμπυκνώνεται σε υγρή φάση με την βοήθεια του πύργου ψύξης. Η διεργασία αυτή συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας η οποία διοχετεύεται στο περιβάλλον μέσω του πύργου ψύξης, όπως ακριβώς και στις συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας. Εδώ να σημειώσουμε ότι η συμπύκνωση του ατμού που εξέρχεται από τον αμοστρόβιλο βελτιώνει τον βαθμό απόδοσης του θερμοδυναμικού κύκλου, καθώς αυξάνεται η πτώση πίεσης που επιτυγχάνεται στον αμοστρόβιλο. Επίσης, η κατανάλωση ατμού είναι περίπου η μισή σε σχέση με την διάταξη της απευθείας απόρριψης του ατμού στην ατμόσφαιρα. Το μοναδικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης διάταξης είναι η πολυπλοκότητά της πράγμα που οδηγεί σε αυξημένες απαιτήσεις σε κατασκευαστικό, χωροταξικό και αναπόφευκτα οικονομικό επίπεδο. Εδώ να σημειώσουμε ότι μετά τη συμπύκνωση υπάρχει η δυνατότητα ο υγροποιημένος ατμός να διοχετευθεί πίσω στο γεωθερμικό ταμιευτήρα μέσω του φρεατίου επανεισαγωγής. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη διατήρηση της πίεσης του γεωθερμικού μέσου σε υψηλά επίπεδα για μεγάλο χρονικό διάστημα εκμετάλλευσης του αντίστοιχου γεωθερμικού πεδίου. Συνήθως η εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ξηρού τύπου με συμπυκνωτή κυμαίνεται μεταξύ 55-60 MW, πρόσφατα βέβαια έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν σταθμοί ισχύος 110 MW. Στην δεύτερη περίπτωση, η οποία αποτελεί και την πιο απλή μορφή μονάδας παραγωγής ενέργειας από τις δύο, ο χαμηλής πλέον ενθαλπίας και πίεσης ατμός εξέρχεται από τον αμοστρόβιλο και ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Αν και αυτή η διάταξη χρειάζεται περίπου διπλάσια ποσότητα ατμού σε σχέση με την αντίστοιχη με συμπυκνωτή για την παραγωγή ίδιας ποσότητας ενέργειας, έχει κάποια ενδιαφέροντα και χρήσιμα πλεονεκτήματα. Αρχικά, χρησιμοποιείται κατά κόρον σε πιλοτικές και εφεδρικές μονάδες, σε περιπτώσεις μικρών παροχών ατμού καθώς και σε δοκιμές παραγωγής ηλεκτρισμού στα πλαίσια αξιολόγησης της παραγωγής ενός γεωθερμικού πεδίου. Ακόμα η χρήση της είναι επιτακτική σε περιπτώσεις όπου ο ατμός έχει υψηλά ποσοστά (>12% κατά βάρος) περιεκτικότητας μη συμπυκνώσιμων συστατικών. Τέλος, μια τέτοια μονάδα παραγωγής που λειτουργεί με ατμοσφαιρική διάθεση ατμού λόγω της απλότητάς του μπορεί να κατασκευαστεί και να εγκατασταθεί για λειτουργία σε σύντομο χρονικό διάστημα (13-14 μήνες). Η εγκατεστημένη ισχύς αυτού του είδους των σταθμών είναι μεταξύ 2,5-5 MW.

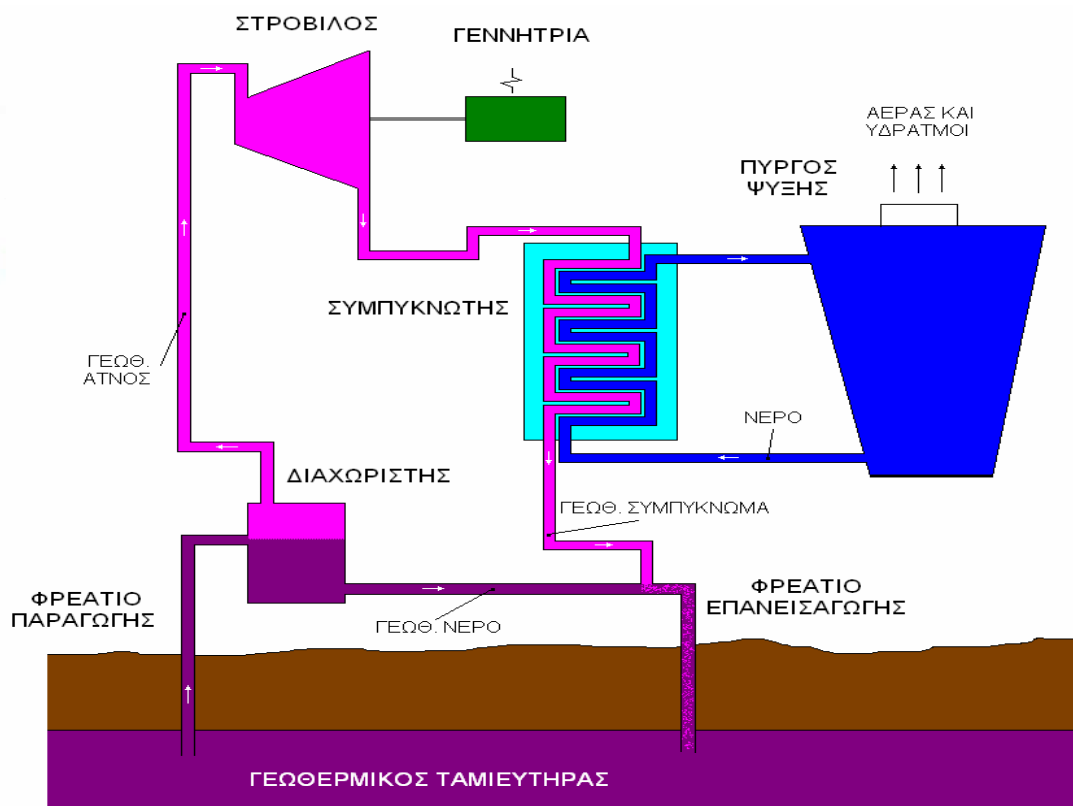


**Εικόνα 25:** Διάταξη ξηρού ατμού με συμπυκνωτή τύπου θερμικού εναλλάκτη.  
 Πηγή: MUFFLER, P. and CATALDI, R., 1978. Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics* , 7, 53-89.

Οι συμβατικοί ατμοστρόβιλοι σε διατάξεις ξηρού ατμού έχουν ως απαίτηση γεωθερμικά πεδία με ατμό ελάχιστης θερμοκρασίας  $150^{\circ}\text{C}$ . Με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα βέβαια υπάρχει η δυνατότητα εκμετάλλευσης υπέρθερμου γεωθερμικού ατμού θερμοκρασίας μέχρι και  $300\text{-}350^{\circ}\text{C}$  και ολόενα και αυξανόμενης πίεσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης, ο οποίος δεν υπερβαίνει το 30%. Η απαίτηση μιας τυπικής γεωθερμικής μονάδας παραγωγής αυτής της διάταξης σε ξηρό ή υπέρθερμο ατμό είναι περίπου  $6.5\text{ kg}$  ανά παραγόμενη  $\text{kWh}$ . Να σημειώσουμε βέβαια, ότι τα γεωθερμικά πεδία που παράγουν καθαρό ατμό είναι αρκετά σπάνια και υπάρχουν μόνο σε συγκεκριμένες περιοχές στον κόσμο.

### Με στιγμιαία ατμοποίηση εργαζόμενου μέσου (flash stream)

Η διάταξη παραγωγής με στιγμιαία ατμοποίηση του εργαζόμενου μέσου (εικόνα 26) είναι η πιο συχνά εφαρμοζόμενη διάταξη ηλεκτροπαραγωγής μέσω γεωθερμίας. Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου το γεωθερμικό μέσο που λαμβάνεται από το φρεάτιο παραγωγής δεν είναι καθαρός ατμός, αλλά μπορεί να είναι είτε μίγμα νερού-ατμού, είτε ατμός με υψηλό ποσοστό υγρασίας, είτε θερμό νερό σε υψηλή πίεση. Η ιδιαιτερότητα λοιπόν, αυτής της διάταξης εντοπίζεται στην ύπαρξη ενός ειδικού ταμιευτήρα που είναι τοποθετημένος πριν τον αμοστρόβιλο και ονομάζεται διαχωριστής. Το γεωθερμικό ρευστό, από το φρεάτιο παραγωγής, διοχετεύεται στον διαχωριστή και χάρη στην απότομη πτώση πίεσης που δημιουργείται στο εσωτερικό του, μέρος του ρευστού ατμοποιείται στιγμιαία. Έτσι καταλήγουμε να έχουμε καθαρό ατμό, ο οποίος και οδηγείται στον αμοστρόβιλο, και ζεστό νερό, που αποτελεί το ποσοστό του γεωθερμικού ρευστού που δεν ατμοποιήθηκε. Τέλος, να σημειώσουμε ότι ο διαχωριστής εκτός του ότι τροφοδοτεί τον αμοστρόβιλο με το απαραίτητο εργαζόμενο μέσο, τον προστατεύει επίσης από την είσοδο νερού.

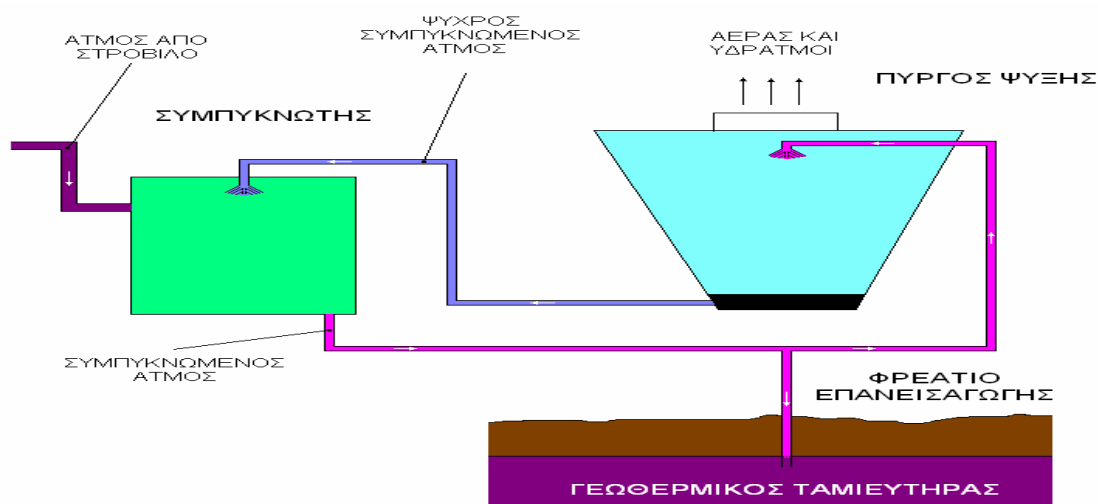


**Εικόνα 26:** Διάταξη στιγμιαίας ατμοποίησης εργαζόμενου μέσου με συμπυκνωτή τύπου θερμικού εναλλάκτη.

Πηγή: MUFFLER, P. and CATALDI, R., 1978. Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*, 7, 53-89.

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται στην ηλεκτρογεννήτρια της μονάδας η οποία είναι συζευγμένη με τον ατμοστρόβιλο ο οποίος κινείται από τον ατμό που προέρχεται από τον διαχωριστή. Ο ατμός μετά τον ατμοστρόβιλο διοχετεύεται στον συμπυκνωτή, όπου και συμπυκνώνεται δημιουργώντας υποπίεση, αυξάνοντας έτσι την παραγόμενη ισχύ από τον ατμοστρόβιλο.

Να σημειώσουμε εδώ ότι ο συμπυκνωτής μπορεί να είναι τύπου θερμικού εναλλάκτη ή τύπου άμεσου επαφής. Στους συμπυκνωτές άμεσου επαφής (εικόνα 27) το ψύχον μέσο (ψυχρός συμπυκνωμένος ατμός) προερχόμενο από τον πύργο ψύξης ψεκάζεται πάνω στο εξερχόμενο από τον ατμοστρόβιλο μίγμα ατμού προκαλώντας τη συμπύκνωσή του. Ο συμπυκνωμένος ατμός που προκύπτει εξέρχεται από τον συμπυκνωτή, και ένα μέρος του οδηγείται, μαζί με το γεωθερμικό νερό από το διαχωριστή, στο φρεάτιο επανεισαγωγής. Ο υπόλοιπος συμπυκνωμένος ατμός εισέρχεται στον πύργο ψύξης και αφού ψυχθεί οδηγείται πάλι στον συμπυκνωτή όπου χρησιμοποιείται ως ψύχον μέσο. Ένα μικρό τμήμα του συμπυκνωμένου ατμού που εισέρχεται στον πύργο ψύξης απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα υπό την μορφή υδρατμών. Το υψηλής θερμοκρασίας και υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα γεωθερμικό νερό που παραμένει υγροποιημένο στον διαχωριστή, πριν διοχετευθεί στο φρεάτιο επανεισαγωγής, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως μέσο κεντρικής θέρμανσης σε γειτονικούς οικισμούς, έτσι ώστε να αξιοποιηθεί το υψηλό θερμικό του περιεχόμενο.



**Εικόνα 27:** Μονάδα στιγμιαίας ατμοποίησης εργαζόμενη με συμπυκνωτή άμεσου επαφής.

Πηγή: MUFFLER, P. and CATALDI, R., 1978. Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics* , 7, 53-89.

Για να αυξήσουμε την απόδοση αυτής της διάταξης και ανάλογα πάντα με την θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού που μας παρέχει η πηγή μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δύο διαχωριστές. Το γεωθερμικό ρευστό εισέρχεται στον πρώτο διαχωριστή όπου ένα μέρος του ατμοποιείται και το υπόλοιπο μέρος, το οποίο αποτελείται ουσιαστικά από ζεστό νερό, διοχετεύεται στον δεύτερο διαχωριστή για περαιτέρω ατμοποίηση. Εδώ να σημειώσουμε ότι ο ατμός που παράγεται στον δεύτερο διαχωριστή είναι χαμηλότερης πίεσης. Για να εκμεταλλευτούμε τώρα τον ατμό που παρέχεται με δύο διαφορετικές πιέσεις χρησιμοποιούμε ατμοστρόβιλο διπλής εισόδου. Η διάταξη αυτή ονομάζεται διπλή ατμοποίηση με αποτόνωση και μας δίνει την δυνατότητα να αξιοποιούμε το μεγαλύτερο μέρος του δυναμικού της γεωθερμικής πηγής για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Εάν η πηγή έχει υψηλό επίπεδο αιωρούμενων και διαλυμένων στερεών, μπορεί να είναι αναγκαία η ενσωμάτωση εξοπλισμού ελέγχου των επικαθίσεων στην είσοδο της διάταξης και εξοπλισμού αποκατάστασης των στερεών στην έξοδο αυτής. Αυτό προφυλάσσει τον εξοπλισμό της μονάδας από απόφραξη και διατηρεί το γεωθερμικό ρευστό καθαρό για επανεισαγωγή στον ταμιευτήρα. Επιπροσθέτως, να αναφέρουμε ότι αν υφίστανται σημαντικές εκροές μη συμπυκνώσιμων αερίων, μπορεί να είναι αναγκαία η εγκατάσταση εξοπλισμού αποβολής των αερίων αυτών από τον συμπυκνωτή για να μην αυξηθεί η αντίθλιψη στο σύστημα με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης της εγκατάστασης.

Οι μονάδες που χρησιμοποιούν αυτού του είδους τις διατάξεις έχουν ισχύ περίπου 5-100 MW. Τα επιθυμητά θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του ατμού είναι τα εξής: πίεση 0,5-0,6 MPa και θερμοκρασία 155-165° C, οπότε ο στρόβιλος απαιτεί παροχή περίπου 8 kg ατμού ανά παραγόμενη kWh.

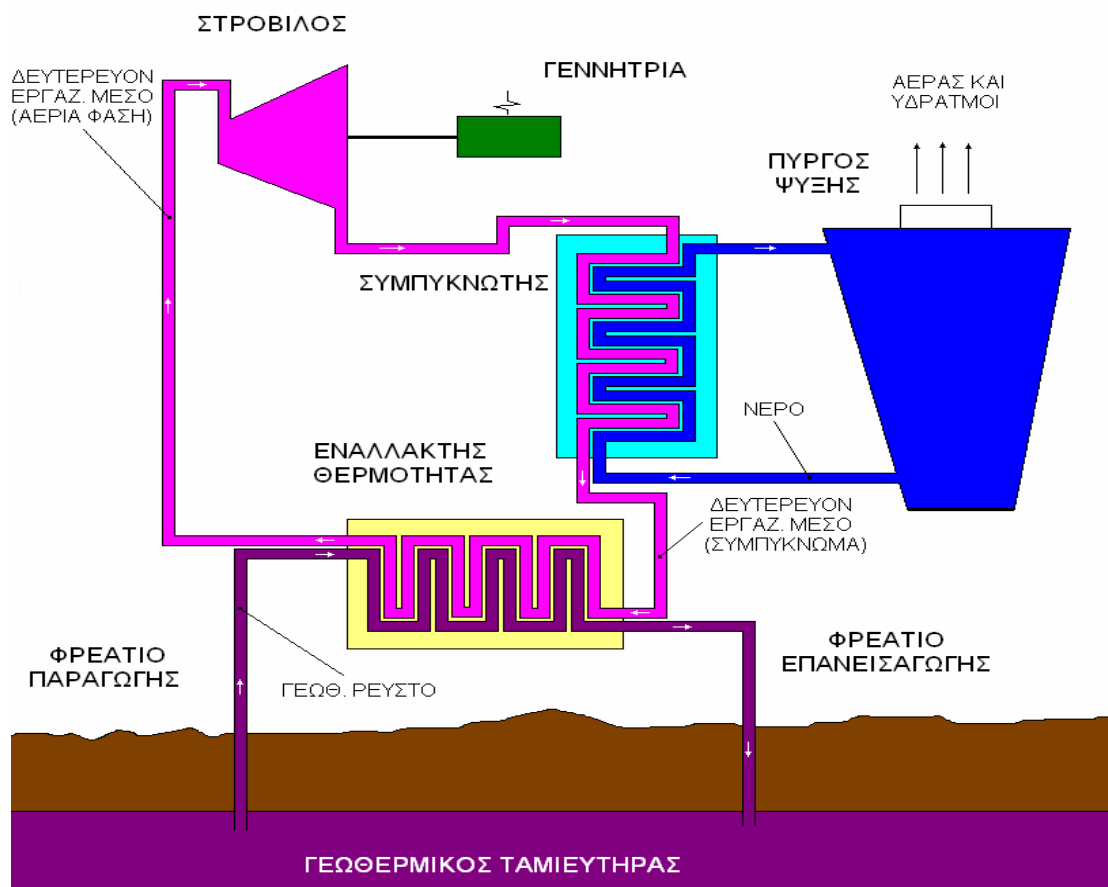
### **Μη ξεχωριστά εργαζόμενα μέσα (binary cycle)**

Η διάταξη παραγωγής με ξεχωριστά εργαζόμενα μέσα είναι η πλέον κατάλληλη για περιοχές όπου η θερμοκρασία του γεωθερμικού μέσου δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή (<180° C). Στην διάταξη αυτή λοιπόν, (εικόνα 28) έχουμε δύο εργαζόμενα μέσα, το γεωθερμικό (πρωτεύον) που προέρχεται από την αντίστοιχη πηγή, και το δευτερεύον. Αρχικά, το γεωθερμικό μέσο που λαμβάνεται μέσω του παραγωγικού φρεατίου οδηγείται σε κατάλληλο θερμικό εναλλάκτη, όπου αποδίδει μέρος της θερμικής του ενέργειας στο δευτερεύον εργαζόμενο μέσο και στη συνέχεια επιστρέφει στο γεωθερμικό ταμιευτήρα μέσω του φρεατίου επανεισαγωγής. Το γεωθερμικό μέσο

μπορεί να αποτελείται από θερμό ατμό, θερμό νερό, ή και μίγμα αυτών. Το δευτερεύον εργαζόμενο μέσο τώρα χρησιμοποιείται σε ένα συμβατικό οργανικό κύκλο Rankine (OCR). Συγκεκριμένα, το ρευστό διερχόμενο από τον εναλλάκτη απορροφά θερμότητα και ατμοποιείται καθώς παρουσιάζει χαμηλό σημείο ζέσεως (<math>100^{\circ}\text{C}</math>) βάσει και του οποίου έχει επιλεγεί. Στη συνέχεια οδηγείται στο ζεύγος αμοστροβίλου – ηλεκτρογεννήτριας όπου και εκτονώνεται παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Τέλος, αφού εισέλθει στον συμπυκνωτή, ο οποίος είναι τύπου θερμικού εναλλάκτη, και υγροποιηθεί οδηγείται και πάλι στον αρχικό εναλλάκτη εκτελώντας έναν κλειστό θερμοδυναμικό κύκλο. Ως εργαζόμενο μέσο επιλέγονται οργανικές ρευστές ουσίες τύπου υδρογονανθράκων (HFC) που έχουν χαμηλό σημείο ζέσεως και υψηλή τάση ατμών σε χαμηλές θερμοκρασίες (σε σχέση με τον υδάτινο ατμό) και συνήθως χρησιμοποιείται ισοπετάνιο, πεντάνιο ή βουτάνιο.

Εάν γίνει σωστή επιλογή του δευτερεύοντος ρευστού, η διάταξη αυτή μπορεί να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να αξιοποιούνται γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ  $85 - 170^{\circ}\text{C}$ . Το ανώτερο όριο εξαρτάται από την θερμοκή σταθερότητα του οργανικού ρευστού, ενώ το κατώτατο όριο από οικονομοτεχνικούς παράγοντες, καθώς κάτω από μια ορισμένη θερμοκρασία, εξαιτίας του μεγέθους και της ικανότητας των απαιτούμενων εναλλακτών, το όλο πρόγραμμα ίσως κατέληγε ασύμφορο από οικονομικής απόψεως.

Εκτός από τις περιπτώσεις χαμηλής – μέσης ενθαλπίας, η διάταξη ξεχωριστών εργαζόμενων μέσων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί εκεί όπου η εφαρμογή της στιγμιαίας ατμοποίησης του ρευστού θα πρέπει να αποφεύγεται (πχ. για την αποφυγή απόφραξης των γεωτρήσεων). Στην περίπτωση αυτή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υποβρύχιες αντλίες, ώστε τα γεωθερμικά ρευστά να παραμένουν υπό σταθερή πίεση και σε υγρή φάση, ενώ η ενέργεια μπορεί να λαμβάνεται και να αξιοποιείται μέσω του δευτερεύοντος εργαζόμενου μέσου.



**Εικόνα 28:** Μονάδα με ξεχωριστά εργαζόμενα μέσα και συμπυκνωτή τύπου θερμικού εναλλάκτη.

Πηγή: MUFFLER, P. and CATALDI, R., 1978. Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*, 7, 53-89.

Εδώ να σημειώσουμε ότι στην δεκαετία του 1990 αναπτύχθηκε μια νέα μέθοδος παραγωγής με ξεχωριστά εργαζόμενα μέσα και ονομάστηκε κύκλος Kalina. Ο κύκλος αυτός χρησιμοποιεί ως δευτερεύον εργαζόμενο μέσο ένα μίγμα νερού και αμμωνίας το οποίο διερχόμενο από τον στρόβιλο υψηλής πίεσης εκτονώνεται σε υπέρθερμες συνθήκες και πριν εισέλθει στον στρόβιλο χαμηλής πίεσης, πραγματοποιείται αναθέρμανση αυτού. Ο κύκλος Kalina είναι πολύ πιο αποδοτικός από τους αντίστοιχους οργανικούς κύκλους Rankine αλλά και πιο περίπλοκος, ενώ η αξιοπιστία του μένει να αποδειχθεί σε μακροχρόνια εφαρμογή του σε μονάδες παραγωγής ενέργειας.

Η διάταξη αυτή, των ξεχωριστών εργαζόμενων μέσων, λόγω της παράλληλης και ξεχωριστής λειτουργίας του δευτερεύοντος εργαζόμενου μέσου, επιτρέπει την αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών τα οποία είναι χημικά ακάθαρτα και σε αντίθετη περίπτωση θα δημιουργούσαν επικαθίσεις αλάτων και φθορά στις σωληνώσεις.



Απαραίτητη προϋπόθεση βέβαια, είναι η διατήρηση των σωληνώσεων των παραγωγικών φρεατίων υπό πίεση, ώστε να αποφύγουμε την ατμοποίηση του γεμάτου προσμίξεις γεωθερμικού ρευστού.

### **Με γρήση συνδυασμένου κύκλου**

Μονάδες τέτοιου τύπου συνδυάζουν τις διατάξεις συμβατικού ατμοστρόβιλου και ξεχωριστού εργαζόμενου μέσου. Ο ατμός λοιπόν, ο οποίος έχει προέλθει είτε κατευθείαν από το φρεάτιο παραγωγής, είτε μέσω στιγμιαίας ατμοποίησης στον διαχωριστή, εκτονώνεται στον πρώτο ατμοστρόβιλο και στην συνέχεια οδηγείται σε έναν θερμικό εναλλάκτη, στον οποίο χρησιμοποιείται ως πρωτεύον εργαζόμενο μέσο σε μία διάταξη δύο εργαζόμενων μέσων. Στον εναλλάκτη αυτόν, ο ατμός αποδίδει θερμότητα στο δευτερεύον εργαζόμενο μέσο, το οποίο ατμοποιείται και οδηγείται στον δεύτερο ατμοστρόβιλο. Οι δύο ατμοστρόβιλοι είναι συνδεδεμένοι με μία ηλεκτρογεννήτρια την οποία και στρέφουν με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εδώ να σημειώσουμε ότι στην περίπτωση που έχουμε συνδυασμό διατάξεων στιγμιαίας ατμοποίησης και ξεχωριστών εργαζόμενων μέσων, η απόδοση θερμότητας στη δεύτερη διάταξη γίνεται μέσω ενός πιο πολύπλοκου θερμικού εναλλάκτη. Στον εναλλάκτη αυτόν εκτός από τον ατμό που προέρχεται από τον πρώτο ατμοστρόβιλο, σαν πρωτεύον εργαζόμενο μέσο λειτουργεί και το θερμό νερό που έχει παραμείνει στον διαχωριστή μετά την διαδικασία της ατμοποίησης.

Ο συμβατικός ατμοστρόβιλος λειτουργεί αποδοτικότερα όταν τροφοδοτείται με ατμό υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης, ενώ η διάταξη ξεχωριστών εργαζόμενων μέσων έχει μεγαλύτερη απόδοση όταν χρησιμοποιεί πρωτεύον εργαζόμενο μέσο χαμηλότερης θερμοκρασίας. Οι δύο αυτές συνθήκες πληρούνται σε μια διάταξη συνδυασμένου κύκλου, επιτυγχάνοντας έτσι αρκετά υψηλό βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης.

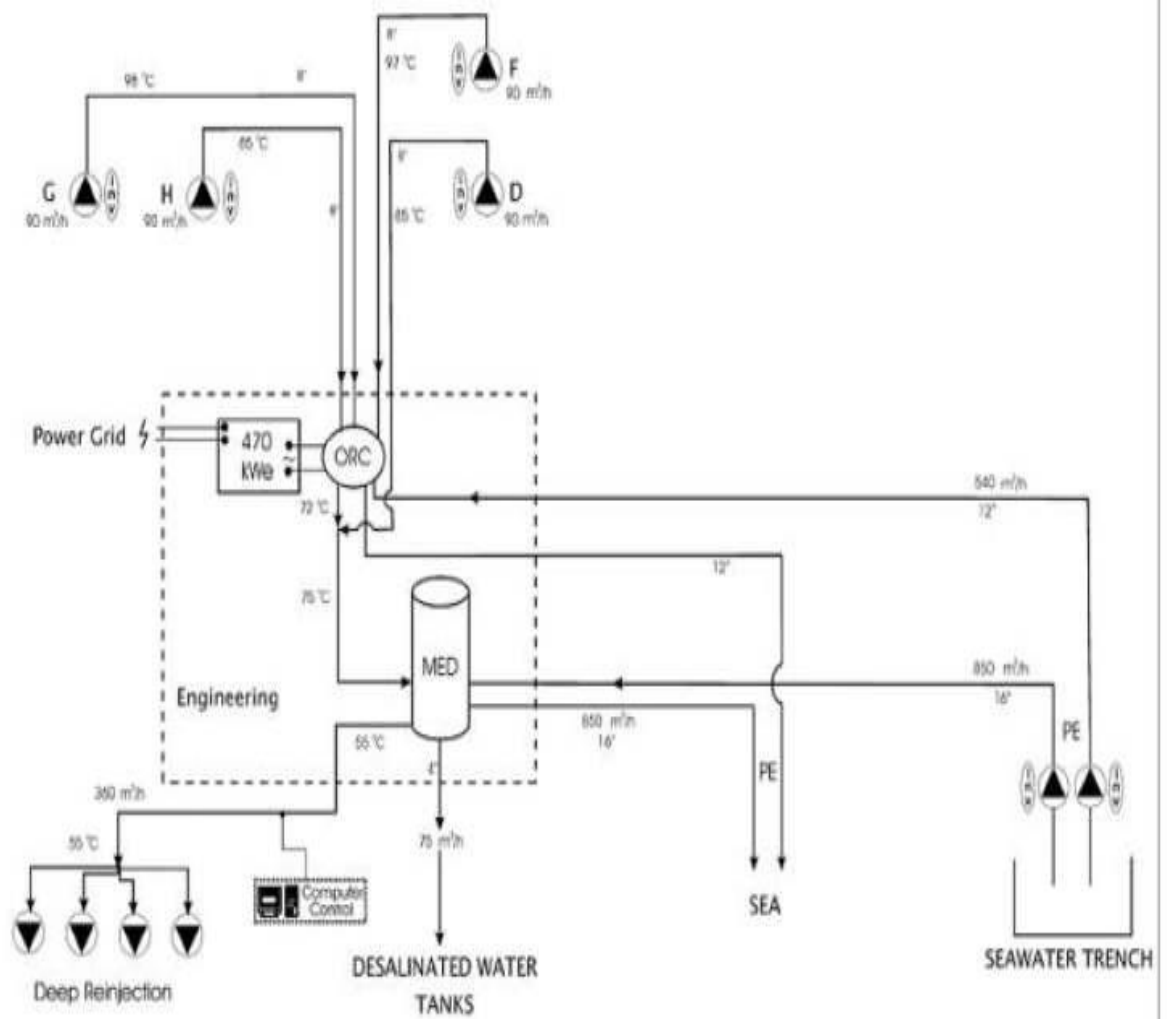
Τέλος, σε μια συμβατική γεωθερμική μονάδα παραγωγής, αντί η θερμότητα συμπύκνωσης του εργαζόμενου μέσου να απελευθερώνεται στο περιβάλλον, υπάρχει η δυνατότητα εκμετάλλευσής της για επιπρόσθετη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με αντικατάσταση του συστήματος συμπυκνωτή – πύργου ψύξης σε μια διάταξη ξεχωριστών εργαζόμενων μέσων.

Παρακάτω ακολουθεί η ανάλυση μιας πειραματικής μονάδας αφαλάτωσης με χρήση γεωθερμικής ενέργειας η οποία έχει εφαρμοσθεί στο νησί Samsø της Δανίας με

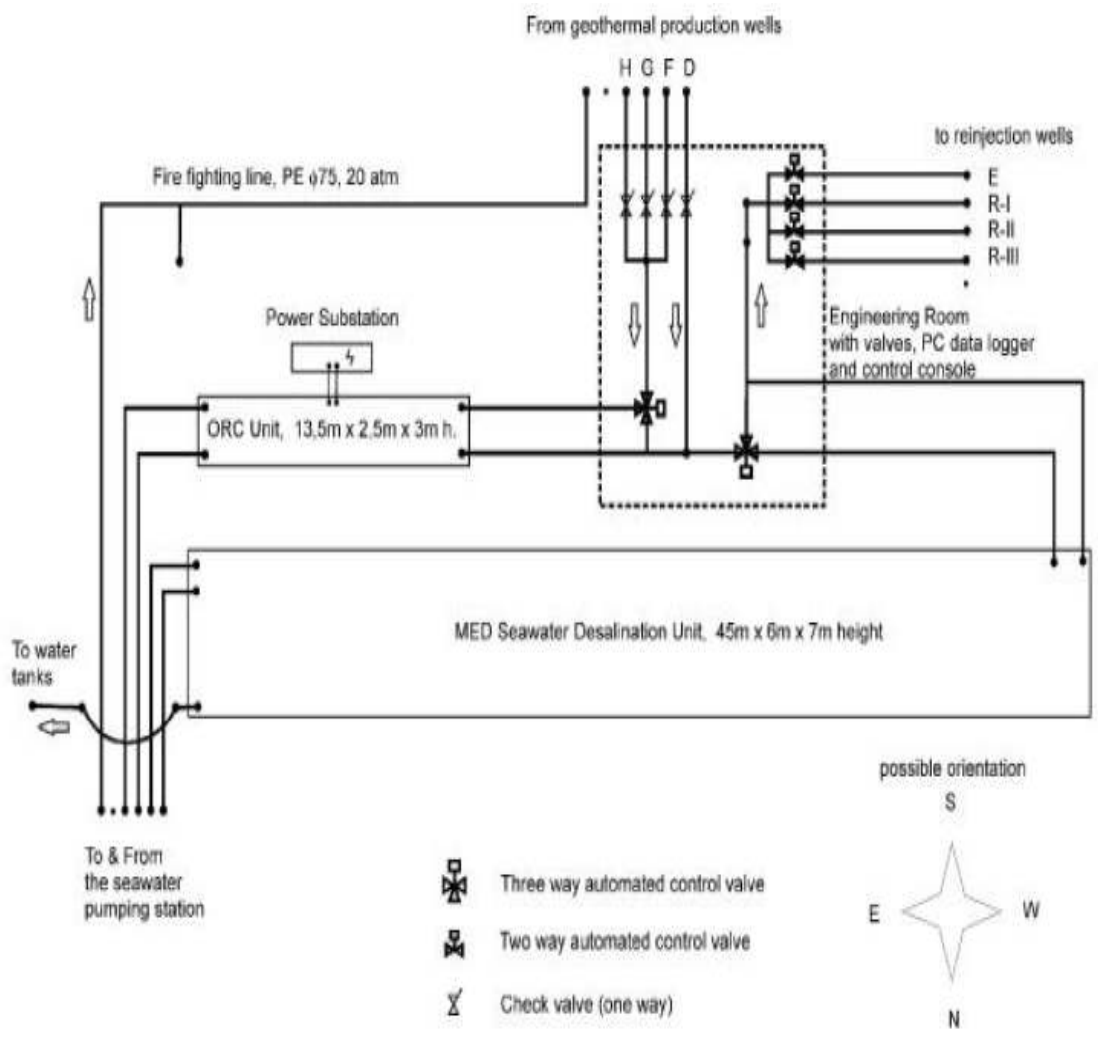
πληθυσμό, έκταση και διαθέσιμο γεωθερμικό δυναμικό παρόμοιο με το νησί της Μήλου.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της γεωχημικής έρευνας που χρηματοδοτήθηκε από την ΔΕΗ, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η πιο ελπιδοφόρα περιοχή του νησιού για την μέγιστη αξιοποίηση των γεωθερμικών πηγών, είναι το ανατολικό τμήμα του νησιού.

Σύμφωνα με δεδομένα αξιολόγησης του ΚΑΠΕ, τα βαθύτερα γεωθερμικά ρευστά αντιστοιχούν σε βραστό θαλασσίνο νερό αλατότητας 80.000 ppm, γεγονός που θα μπορούσε να δικαιολογήσει την κατασκευή μονάδας παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας με διαθέσιμο γεωθερμικό δυναμικό της τάξεως των 260 MWe. Παράλληλα η αξιολόγηση έδειξε ότι η ελάχιστη ροή θερμότητας από τα βαθύτερα πετρώματα δεν μπορεί να είναι μικρότερη από 87,8 MWth. Με βάση το συγκεκριμένο ενεργειακό δυναμικό, θα ήταν εφικτή η κατασκευή και λειτουργία μιας μονάδας αφαλάτωσης τροφοδοτούμενη από γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας με δυνατότητα παραγωγής νερού της τάξεως των 75-80 m<sup>3</sup>/h. Η μονάδα υπολογίζεται αρχικά να λειτουργήσει με μόνη πηγή ενέργειας την γεωθερμία. Η τοπική κοινότητα θα επωφεληθεί σε μεγάλο βαθμό από την λειτουργία της, καθώς το αφαλατωμένο νερό που θα παράγεται θα κοστολογείται σε πολύ χαμηλό κόστος (μόλις 1.5 €/m<sup>3</sup>), και θα γίνεται χρήση μιας βιώσιμης και φιλικής στο περιβάλλον πηγής ενέργειας. Στις εικόνες 29 και 30 που ακολουθούν παρουσιάζεται η σχηματική διάταξη της μονάδας αφαλάτωσης με χρήση γεωθερμικής ενέργειας.



**Εικόνα 29:** Σχηματική διάταξη της μονάδας αφαλάτωσης με χρήση γεωθερμίας. Πηγή: Geothermal utilization for seawater desalination by W. Teplitz-Sembitzky, 2004



**Εικόνα 30:** Σχήμα της μονάδας αφαλάτωσης. Πηγή: Geothermal utilization for seawater desalination by W. Teplitz-Sembitzky, 2004

Η μονάδα αφαλάτωσης θα περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Γεωθερμικές γεωτρήσεις παραγωγής: Η παραγωγή θα πρέπει να προέρχεται από τις γεωτρήσεις που βρίσκονται πιο κοντά στην θάλασσα λόγω της υψηλής ενεργειακής απόδοσης καθώς και του κόστους μεταφοράς του ζεστού νερού. Οι γεωτρήσεις F, D, G και H θα παράγουν 300 m<sup>3</sup>/h νερό θερμοκρασίας 55-99° C.
- Οι υποβρύχιες γεωθερμικές αντλίες και οι μετατροπείς εγκαθίστανται στις γεωτρήσεις παραγωγής.
- Ένα δίκτυο σωληνώσεων θα μεταφέρει το γεωθερμικό νερό στην κύρια μονάδα. Οι σωληνώσεις θα είναι φτιαγμένες από χάλυβα ή fiberglass.
- Ύπαρξη γραμμών μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από την κύρια μονάδα στις γεωτρήσεις.
- Μονάδα ORC η οποία θα μετατρέπει περίπου το 7% της γεωθερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική, σχεδιασμένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παράγει περίπου 470 kWe.
- MED-TVC (μονάδα εξάτμισης με πολλαπλές βαθμίδες) μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού η οποία θα παρέχει 75-80 m<sup>3</sup> / h αφαλατωμένου νερού.
- Κεντρικό εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος θα μεταφέρει την ενέργεια του ζεστού γεωθερμικού νερού από την μονάδα ORC στην MED-TVC μονάδα αφαλάτωσης.
- Γεωτρήσεις επαναισαγωγής (RE I, RE II) θα βρίσκονται στα όρια του γεωθερμικού πεδίου, κοντά στις ακτές, κατάντι και σε υψόμετρο χαμηλότερο των κύριων εγκαταστάσεων με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς του νερού και προκειμένου να αποφευχθεί η διατάραξη του ζεστού μέρους του γεωθερμικού υδροφόρου ορίζοντα. Η γεώτρηση E θα λειτουργεί επίσης σαν γεώτρηση επαναισαγωγής.
- Γραμμές μεταφοράς γεωθερμικού νερού από τον κεντρικό εναλλάκτη θερμότητας στα πηγάδια επαναισαγωγής. Σωληνώσεις από χάλυβα ή fiberglass.
- Γραμμές μεταφοράς θαλασσινού νερού οι οποίες θα μεταφέρουν 1000 m<sup>3</sup> / h θαλασσινού νερού ψύξης στην μονάδα εξάτμισης με πολλαπλές βαθμίδες (MED-TVC) καθώς και 200-575 m<sup>3</sup> / h νερού ψύξης για την μονάδα ORC. Οι σωληνώσεις θα είναι κατασκευασμένες από πολυαιθυλένιο, ενώ τα θαλασσινό

νερό θα προσλαμβάνεται από μια δεξαμενή κοντά στην γραμμή της θάλασσας.

- Γραμμή μεταφοράς αφαλατωμένου νερού από την εγκατάσταση στις δεξαμενές νερού κοντά στην πόλη του Αδάμαντα. Οι σωληνώσεις θα είναι από πολυαιθυλένιο.
- Κεντρικό σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου για καταγραφή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Σε περιοχές όπου το πόσιμο νερό είναι σπάνιο και μπορούν να αναπτυχθούν γεωθερμικές πηγές θερμοκρασίας 80-100° C, σε αποδεκτό κόστος. ίσως είναι σκόπιμο να εξετασθεί η επιλογή της γεωθερμικής αφαλάτωσης. Ωστόσο τέτοιες εφαρμογές έχουν περιορισμένα αποτελέσματα. Για δεξαμενές με υψηλότερες θερμοκρασίες υπάρχει η επιλογή χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας για ένα εργοστάσιο αφαλάτωσης.

### **3.4.6 Πλεονεκτήματα της χρήσης της γεωθερμίας στην αφαλάτωση**

Η γεωθερμική ενέργεια, αν και όχι τόσο διαδεδομένη όσο η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αφαλάτωση λόγω των περακάτω πλεονεκτημάτων που συγκεντρώνει:

- ✓ Αποτελεί μια σταθερή και αξιόπιστη παροχή θερμότητας, εξασφαλίζοντας την σταθερότητα τόσο της θερμικής αφαλάτωσης όσο και της αντίστροφης όσμωσης.
- ✓ Η τεχνολογία παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας έχει ήδη δοκιμαστεί με επιτυχία. Κυρίως για άντληση ζεστού νερού από τους υπόγειους υδροφορείς.
- ✓ Η θερμοκρασία μιας τυπικής γεωθερμικής πηγής είναι της τάξεως των 70° – 90° C, η οποία είναι ιδανική για αφαλάτωση χαμηλής θερμοκρασίας MED (πολυβάθμια εξάτμιση).
- ✓ Η γεωθερμική αφαλάτωση είναι οικονομικά συμφέρουσα ενώ όπου είναι δυνατόν χρησιμοποιείται και για ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- ✓ Είναι φιλική προς το περιβάλλον καθώς είναι η μόνη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας χωρίς εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου.

- ✓ Με την γεωθερμική αφαλάτωση επιτυγχάνεται η αποθήκευση των εισαγόμενων ορυκτών καυσίμων έτσι ώστε αυτά να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά για άλλους σκοπούς.

### **3.4.7 Περιορισμοί στην ανάπτυξη**

Αν και οι δυνατότητες χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού είναι πολλές, η διαδικασία δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί σε εμπορικό επίπεδο. Ο κύριος λόγος για αυτό είναι ότι η υπάρχουσα τεχνολογία, αν και έχει ήδη αποδειχθεί ότι είναι τεχνικά εφικτή, δεν μπορεί να ανταγωνισθεί επί του παρόντος, με βάση το κόστος παραγωγής του νερού, τις τεχνολογίες της αντίστροφης όσμωσης. Ωστόσο, αναγνωρίζεται επίσης ότι εξακολουθεί να υπάρχει σημαντικό περιθώριο βελτίωσης των συστημάτων αφαλάτωσης τα οποία βασίζονται σε γεωθερμική ενέργεια.

Μπορούμε επίσης να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι υπό τις παρούσες συνθήκες, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν είναι ικανή να μειώσει το κόστος της αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού. Αντίθετα, τεχνικά προβλήματα σχεδιασμού καθώς και το υψηλό κόστος των επενδύσεων που συνδέονται με σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα κάνουν την απόσταξη με αντίστροφη όσμωση πιο ακριβή.

Έτσι, οι θερμικές τεχνικές απόσταξης με άμεση θέρμανση από τη γεωθερμία θα είναι η επικρατέστερη μέθοδος επιλογής για τις περισσότερες γεωθερμικές μονάδες αφαλάτωσης. Μια εφικτή εναλλακτική λύση θα μπορούσε να αποτελέσει η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας από φτηνές δεξαμενές σε παράκτιες περιοχές με σκοπό την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης.

## **Συμπεράσματα**

Οι γεωθερμικές πηγές υψηλής θερμοκρασίας είναι κατάλληλες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι γεωθερμικές πηγές χαμηλής θερμοκρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αφαλάτωση. Οι ζεστοί πυθμένες μπορούν να τροφοδοτούν άμεσα την μονάδα της απόσταξης. Το κύριο πλεονέκτημα των γεωθερμικών πηγών είναι ότι η ενέργεια εξόδου είναι γενικά αμετάβλητη και παρουσιάζει λιγότερα προβλήματα διακοπής καθιστώντας τις ιδανικές για θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης. Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα του γεωθερμικού νερού είναι ότι μπορεί να χρησιμεύσει τόσο σαν μέσο τροφοδοσίας της μονάδας αφαλάτωσης όσο και σαν μέσο μεταφοράς θερμότητας στην μονάδα.

Στην περίπτωση περιορισμένης γεωθερμικής ενέργειας, θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης όπως είναι η πολυβάθμια εξάτμιση (MED) ή η θερμική συμπίεση ατμών (TVC) μπορούν να έχουν άριστα αποτελέσματα όταν συνδυαστούν με γεωθερμικές πηγές με κυριότερο όφελος την εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας η οποία απαιτείται για προθέρμανση.

Ωστόσο, οι γεωθερμικοί πυθμένες παρουσιάζουν το μειονέκτημα υψηλής περιεκτικότητας σε αλάτι, το οποίο μπορεί να δημιουργήσει λειτουργικά προβλήματα, λόγω των σκληρών σχηματισμών και της απόρριψης της άλμης και ειδικά αν η μονάδα δεν βρίσκεται κοντά στην θάλασσα.



### 3.5 Συνδυασμοί αφαλάτωσης και ΑΠΕ

Τα συμπληρωματικά χαρακτηριστικά του ανέμου και του ηλίου καθιστούν την χρήση υβριδικών συστημάτων μια υποσχόμενη εναλλακτική. Καθώς η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη μόνο κατά την διάρκεια της ηλιόλουστης μέρας, η αιολική θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις άλλες περιπτώσεις. Όπως είναι φυσικό, αυτό αφορά σε περιοχές με αρκετή ηλιοφάνεια, με επαρκές αιολικό δυναμικό, όπως είναι τα νησιά των Κυκλάδων και τα Δωδεκάνησα. [36]

Ο συνδυασμός ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μονάδων αφαλάτωσης, αποτελεί μια τεχνική πρόκληση, η οποία συνίσταται στο γεγονός ότι η τροφοδοσία από ανανεώσιμες πηγές δεν μπορεί να είναι συνεχής και στο υψηλό κόστος του όλου συστήματος μετατροπής. Από την άποψη της ενεργειακής τροφοδοσίας, υβριδικά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν περισσότερες από μία πηγές ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα διαθέτουν και σύστημα αποθήκευσης, μπορούν να σταθεροποιήσουν την απαιτούμενη ενέργεια για την μονάδα αφαλάτωσης. Ωστόσο υπάρχουν και περιπτώσεις συστημάτων, όπου η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί μόνο όταν διατίθεται το απαιτούμενο ποσό ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή θεωρείται ότι η επιλεγμένη τεχνολογία αφαλάτωσης λειτουργεί ικανοποιητικά παρά τις συχνές διακοπές.

Γενικότερα, οι ανανεώσιμες πηγές που μπορούν να συνδυαστούν με την αφαλάτωση (Renewable Energy Source – Desalination, RES-D) είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Ηλιακή ενέργεια,
- ✓ Αιολική ενέργεια,
- ✓ Γεωθερμική ενέργεια και
- ✓ Ενέργεια των ωκεανών

Η διάταξη συλλογής της ανανεώσιμης ενέργειας, ανάλογα με την εφαρμοζόμενη μέθοδο που χρησιμοποιείται, μπορεί να είναι είτε άμεση (όπως για παράδειγμα στην περίπτωση του ηλιακού αποστακτήρα, Solar still) ή έμμεση με τη μετατροπή της ανανεώσιμης στην κατάλληλη μορφή ενέργειας που απαιτεί η τεχνική αφαλάτωσης (D. G. Harrison et al, 1996):

(i) Μετατροπή σε θερμική ενέργεια όταν συνδυάζεται με θερμικές τεχνικές αφαλάτωσης, όπως MSF (πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση), MED (εξάτμιση με πολλαπλές βαθμίδες),

(ii) Μετατροπή σε ηλεκτρική (μέσω φωτοβολταϊκών, ανεμογεννητριών, υδροστροβίλων, ενέργεια κυμάτων): (α) για να κινήσει τις αντλίες σε σύστημα αντίστροφης ώσμωσης ή εξάτμισης με μηχανική συμπίεση ατμών, ή (β) για τη δημιουργία του ηλεκτρικού πεδίου που απαιτείται στα συστήματα ηλεκτροδιάλυσης.

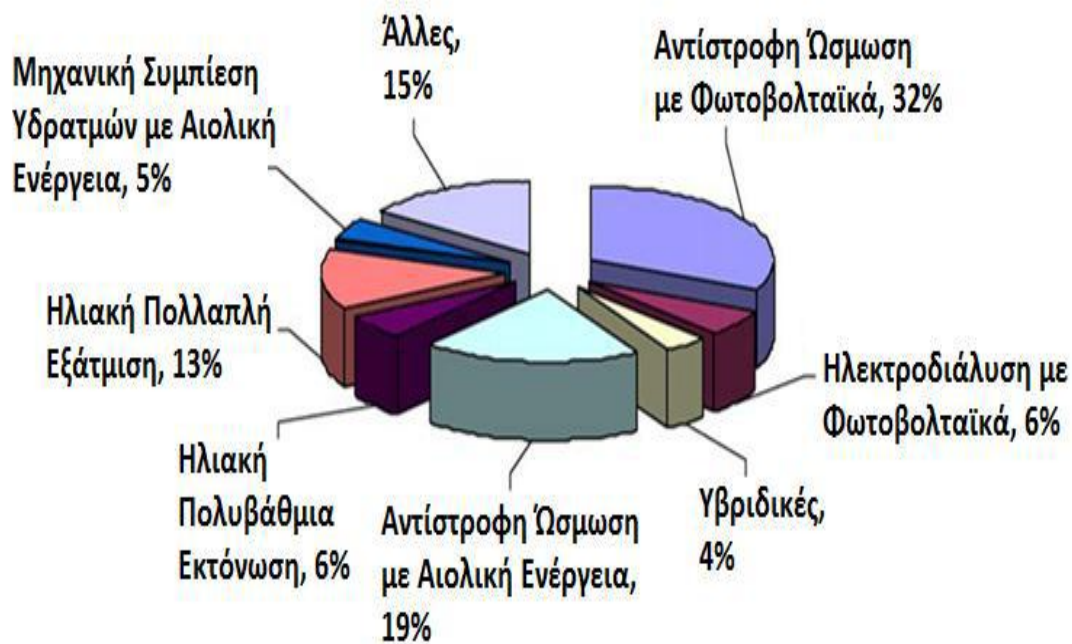
Ο συνδυασμός αντίστροφης ώσμωσης - αιολικής ενέργειας, αποτελεί μια δύσκολη επιλογή δεδομένου ότι η σταθερή ενεργειακή απαίτηση της μονάδας αντίστροφης ώσμωσης, πρέπει να συνδυαστεί με την έντονα μεταβαλλόμενη ισχύ που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες. Ωστόσο σε πολλές περιοχές το κόστος παραγωγής ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με την ενέργεια του ηλεκτρικού δικτύου, με αποτέλεσμα ο συνδυασμός να είναι προτιμητέος για μονάδες μικρής και μέσης δυναμικότητας. Ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών-αντίστροφης ώσμωσης, προτιμάται για μικρές αυτόνομες μονάδες. Επειδή και οι δύο τεχνολογίες έχουν εφάμιλλη ωριμότητα, τα συστήματα αυτού του τύπου είναι αξιόπιστα, απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και είναι εξαιρετικά για απομονωμένες περιοχές. Οι θερμικές μέθοδοι απαιτούν μεγάλες ποσότητες θερμότητας που μπορούν να ληφθούν με εκμετάλλευση γεωθερμικής ή ηλιακής ενέργειας.

Γενικά, η κατάλληλη επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού διεργασίας αφαλάτωσης-ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Δυναμικότητα της μονάδας: Οι MSF και MED χρησιμοποιούνται συνήθως σε μονάδες μεγάλων δυναμικοτήτων λόγω των οικονομικών κλίμακας. Οι MVC και TVC χρησιμοποιούνται σε μεσαίες και μικρές μονάδες, ενώ αντίθετα οι διεργασίες μεμβρανών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλο το εύρος δυναμικοτήτων. Λόγω της μεγάλης απαιτούμενης επιφάνειας, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να τροφοδοτήσει μόνο μικρές και μεσαίες μονάδες. Αντίθετα μονάδες με αιολική ενέργεια μπορούν να έχουν αρκετά υψηλή δυναμικότητα. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται σε μονάδες θερμικών διεργασιών ανεξάρτητα από τη δυναμικότητα.

- Δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί στον τόπο εγκατάστασης επηρεάζει το ενεργειακό κόστος, το οποίο με την σειρά του καθορίζει και την βιωσιμότητα της μονάδας.
- Ποιότητα νερού τροφοδοσίας: Οι μέθοδοι απόσταξης χρησιμοποιούνται συνήθως για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού, επειδή η ενεργειακή κατανάλωση δεν επηρεάζεται σημαντικά από την αλμυρότητα. Η αντίστροφη ώσμωση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για αφαλάτωση είτε θαλασσινού είτε υφάλμυρου νερού λόγω της σημαντικής προόδου που έχει σημειωθεί στην τεχνολογία μεμβρανών. Αντίθετα, η ηλεκτροδιάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αφαλάτωση μόνο υφάλμυρου νερού, επειδή η ενεργειακή κατανάλωση συνδέεται άμεσα με την συγκέντρωση αλάτων.
- Ποιότητα παραγόμενου νερού: Γενικά οι θερμικές διεργασίες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή απεσταγμένου νερού (λιγότερο από 10 ppm TDS για βιομηχανική χρήση). Αντίθετα, οι διεργασίες μεμβρανών, χρησιμοποιούνται για παραγωγή πόσιμου νερού (συγκέντρωση 300-500 ppm TDS).
- Απλότητα της διεργασίας: Όλες οι διεργασίες αφαλάτωσης χρειάζονται μια εμπειρία στον χειρισμό. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η τεχνολογία Α.Π.Ε. με το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για μικρές μονάδες σε απομονωμένες περιοχές.
- Κόστος παραγωγής νερού: Το επενδυτικό και το λειτουργικό κόστος τόσο της μονάδας Α.Π.Ε., όσο και της μονάδας αφαλάτωσης πρέπει να εκτιμώνται ιδιαίτερα προσεκτικά. Γενικά οι θερμικές διεργασίες παρουσιάζουν υψηλότερα κόστη από τις διεργασίες μεμβρανών, ενώ το κόστος παραγωγής ενέργειας από Α.Π.Ε. εξαρτάται από το ενεργειακό δυναμικό της περιοχής.

Στην εικόνα 31 που ακολουθεί απεικονίζεται το ποσοστό μερίσματος των κυριότερων διεργασιών σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην αγορά της αφαλάτωσης.

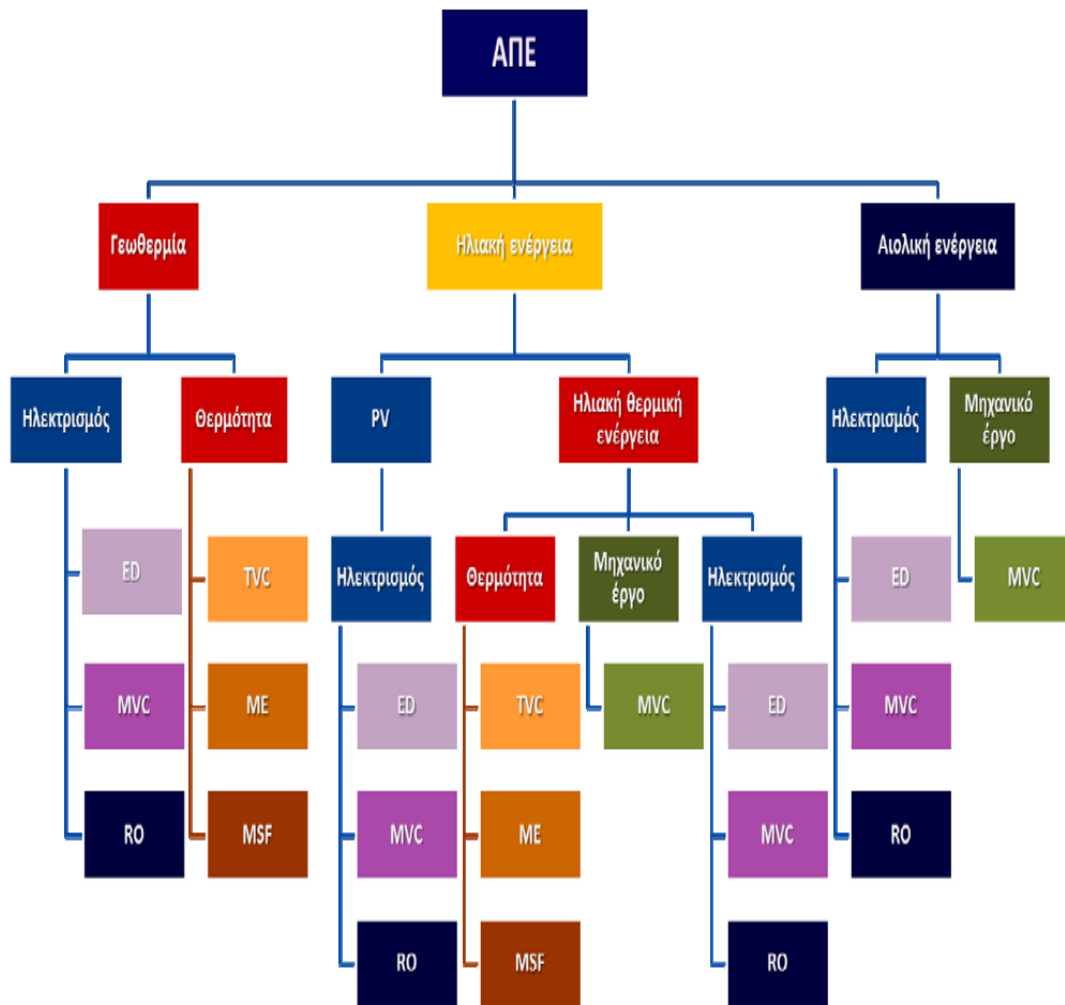


**Εικόνα 31:** Ποσοστό μερίσματος των κυριότερων διεργασιών σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην αγορά της αφαλάτωσης. Πηγή: Renewable and sustainable approaches for desalination by Veera Gnaneswar Gude, Nagamany Nirmalakhandan, Shuguang Deng. 2009

Η εμπειρία από τη λειτουργία των εφαρμογών αυτών έχει οδηγήσει στον προσδιορισμό κάποιων συνδυασμών που φαίνεται να παρουσιάζουν συγκριτικά πλεονεκτήματα και για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί σε μεγαλύτερο βαθμό.

Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί ότι δεν υπάρχει ένας μοναδικός, ενδεδειγμένος συνδυασμός RES-D, αλλά αντίθετα η καταλληλότητα του συστήματος εξαρτάται από μία πληθώρα παραγόντων όπως: το μέγεθος της μονάδας, η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας, η διαθεσιμότητα ηλεκτρικού δικτύου και τεχνικών υποδομών, καθώς επίσης και η διαθεσιμότητα του δυναμικού ανανεώσιμης ενέργειας.

Στην εικόνα 32 απεικονίζονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί ΑΠΕ με τεχνολογίες αφαλάτωσης.



**Εικόνα 32:** Πιθανοί συνδυασμοί ΑΠΕ με τεχνολογίες αφαλάτωσης. Πηγή: Ασημακόπουλος et al. , 2010.

### 3.6 Άλλες χρησιμοποιούμενες ΑΠΕ

Η χρήση της βιομάζας έχει ενταθεί τα τελευταία χρόνια και αποτελεί έναν χαμηλών ρύπων τρόπο παραγωγής ενέργειας. Παρόλα αυτά ο συνδυασμός της με την αφαλάτωση δεν είναι μια υποσχόμενη εναλλακτική καθώς τα οργανικά υπολείμματα δεν είναι συνήθως διαθέσιμα σε άγονες περιοχές και η ανάπτυξη της βιομάζας απαιτεί περισσότερο φρέσκο νερό από όσο πιθανώς να παράγει η μονάδα αφαλάτωσης. [37]

## **Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Το πρόβλημα της έλλειψης νερού στον Ελληνικό νησιωτικό χώρο - η περίπτωση της Μήλου**

### **Η έλλειψη νερού στα ελληνικά νησιά**

Στα νησιά του Αιγαίου συναντάται το τυπικό μεσογειακό ξηρό κλίμα. Στην πλειοψηφία τους έχουν περιορισμένους υδάτινους πόρους, ιδιαίτερα στις Κυκλάδες και στα Δωδεκάνησα. Επιπλέον, η είσοδος του θαλασσινού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα, δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο την εξεύρεση πόσιμου νερού. Ως αποτέλεσμα, τα αποθέματα υδάτινων πόρων δεν επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών του τοπικού πληθυσμού. Το πρόβλημα γίνεται ακόμη μεγαλύτερο κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, όταν και οι ανάγκες σε πόσιμο νερό αυξάνουν έως και πέντε φορές πάνω από το κανονικό. Μέχρι σήμερα, η έλλειψη αντιμετωπιζόταν με τη μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία με υψηλό κόστος που κυμαινόταν από 5-8 €/m<sup>3</sup>. [38]

Τα νησιά με το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι κυρίως οι Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα. Τα πιο μεγάλα από τα νησιά των Κυκλάδων είναι η Πάρος, η Σύρος, η Τήνος, η Μύκονος, η Σαντορίνη και η Μήλος. Αντίστοιχα, η Σύμη, η Πάτμος, η Χάλκη, η Λέρος και οι Λειψοί είναι τα νησιά των Δωδεκανήσων με την σημαντικότερη έλλειψη σε πόσιμο νερό.

Τα ελληνικά νησιά θα μπορούσαν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το μέσο ημερήσιο έλλειμμά τους σε νερό: [39]

- Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει νησιά με μέσο ημερήσιο έλλειμμα σε νερό ανάμεσα σε 1000 και 2500 m<sup>3</sup>. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα Κουφονήσια, η Κίμωλος, η Τήνος, η **Μήλος**, οι Λειψοί, η Μεγίστη, η Νίσυρος, η Πάτμος, η Σύμη και η Χάλκη.
- Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει νησιά με μέσο ημερήσιο καλοκαιρινό έλλειμμα της τάξης των 100 με 250 m<sup>3</sup>. Τα νησιά αυτά είναι η Αμοργός, η Ηρακλεία, η Σχοινούσα, η Φολέγανδρος, η Σίκινος, η Θηρασιά και το Αγαθονήσι.

- Τέλος, στην τρίτη κατηγορία θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν η Δονούσα, η Παλιόνησος και η Ψέριμος και αφορά σε νησιά με μέσο καλοκαιρινό ημερήσιο έλλειμμα νερού μικρότερο από 100 m<sup>3</sup> πόσιμου νερού.

Πολλές μελέτες έχουν γίνει και πολλές προτάσεις έχουν διατυπωθεί σχετικά με το πρόβλημα της έλλειψης νερού. Οι κύριες προτάσεις περιλαμβάνουν:

- Μεταφορά νερού από άλλα γειτονικά νησιά ή από την ηπειρωτική χώρα
- Εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης νερού
- Κατασκευή ταμιευτήρων νερού (όπως αυτοί στην Μύκονο και στην Αστυπάλαια), που με πολύ μικρό λειτουργικό κόστος αποτελούν μια μακροπρόθεσμη λύση για το πρόβλημα της έλλειψης νερού
- Κατασκευή νέων φραγμάτων
- Βελτίωση υποδομών των νησιών, όπως η συντήρηση του δικτύου παροχής νερού, ώστε να μειωθούν οι απώλειες σε νερό

Από όλες αυτές τις εναλλακτικές, η μεταφορά νερού και η κατασκευή μονάδων αφαλάτωσης αποτελούν τις πιο δημοφιλείς λύσεις.

## **Μεταφορά νερού**

Σήμερα, μεταφορά του νερού γίνεται σε 22 νησιά των Κυκλάδων και Δωδεκανήσων. Στον πίνακα 3 παρουσιάζεται διαχρονικά η μεταφερόμενη ποσότητα νερού για τις χρονιές 2002 – 2011, όπως επίσης και το συνολικό κόστος μεταφοράς για την αντίστοιχη περίοδο.

Υπάρχει μια πολύ σημαντική μείωση των μεταφερόμενων ποσοτήτων νερού από το έτος 2008 και μετά, και κυρίως μετά το 2010. Αυτό οφείλεται στην ολοκλήρωση του έργου της αναβάθμισης και του εκσυγχρονισμού του συστήματος υδροληψίας των υδροφόρων πλοίων από τις γεωτρήσεις της περιοχής «Κάλαθος» Ρόδου. Το έργο κόστισε 242.069.77 €.

	ΚΥΚΛΑΔΕΣ		ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΑ		ΣΥΝΟΛΑ	
Έτος	Ποσότητες σε m <sup>3</sup>	Δαπάνες €	Ποσότητες σε m <sup>3</sup>	Δαπάνες €	Ποσότητες σε m <sup>3</sup>	Δαπάνες €
2002	329.343	2.561.278	617.745	3.109.358	947.088	5.670.637
2003	336.777	2.772.718	605.019	3.214.680	941.796	5.987.398
2004	338.812	2.787.235	759.737	4.034.203	1.098.549	6.821.438
2005	464.562	4.006.916	969.676	5.082.935	1.434.238	9.089.852
2006	567.719	4.677.686	1.005.338	4.905.044	1.573.057	9.582.730
2007	697.117	5.802.509	1.101.628	5.403.900	1.798.745	11.206.409
2008	687.731	5.721.921	1.141.724	5.765.706	1.829.455	11.487.628
2009	429.075	3.569.904	826.910	4.175.895	1.255.985	7.745.799
2010	59.769	575.713	95.345	9.053.169	155.114	1.480.883
<b>Σύνολα</b>	<b>3.910.905</b>	<b>32.475.884</b>	<b>7.123.122</b>	<b>44.744.890</b>	<b>11.034.027</b>	<b>69.072.774</b>

Πίνακας 4: Ποσότητες και κόστος μεταφοράς νερού.

Πηγή: Υπουργείο Αιγαίου

### Το κόστος της μεταφοράς νερού

Αν και σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία το κόστος της μεταφοράς νερού φαίνεται να μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, παρόλα αυτά η μεταφορά νερού αποτελεί μια μάλλον ακριβή λύση αν παρατηρήσουμε και τα στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος για την διαχρονική εξέλιξη του ανά κυβικό μεταφορικού κόστους του νερού. Τα στοιχεία αυτά φαίνονται στον πίνακα 4.

	ΚΥΚΛΑΔΕΣ	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΑ
Έτος	Κόστος σε €/m <sup>3</sup>	Κόστος σε €/m <sup>3</sup>
2002	7.78	5.03
2003	8.23	5.31
2004	8.23	5.31
2005	8.63	5.24
2006	8.24	4.88
2007	8.32	4.91
2008	8.32	5.05
2009	8.32	5.05
2010	9.63	9.49

Πίνακας 5: Διαχρονική εξέλιξη του κόστους μεταφοράς νερού

Πηγή: Υπουργείο Αιγαίου



Καθίσταται λοιπόν σαφές πως η μεταφορά νερού αποτελεί μια δαπανηρή λύση στο πρόβλημα της έλλειψης νερού. Επιπλέον, το παραπάνω κόστος δεν φτάνει στον τελικό καταναλωτή αφού οι τιμές που αυτός πληρώνει, διαμορφώνονται σε χαμηλά επίπεδα. Συνεπώς, η λύση της μεταφοράς του νερού έχει ουσιαστικά ένα σημαντικό κοινωνικό κόστος και αποτελεί λύση προσωρινού μόνο χαρακτήρα.

## **Αφαλάτωση νερού**

Μια εναλλακτική λύση στη μεταφορά νερού είναι η τοποθέτηση και λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης νερού. Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο οι μέθοδοι αφαλάτωσης χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: Στις θερμικές και στις μεθόδους που χρησιμοποιούν μεμβράνες με πιο σημαντική εκπρόσωπο την αντίστροφη όσμωση. Η τελευταία, λόγω των χαμηλότερων απαιτήσεών της σε ενέργεια είναι και η επικρατούσα τα τελευταία χρόνια παγκοσμίως και είναι η μοναδική χρησιμοποιούμενη μέθοδος αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά.

Στην Ελλάδα, στα νησιά Νίσυρος, Κίμωλος, Κεφαλονιά, Ιθάκη και Καστελόριζο υπάρχουν εγκαταστάσεις ηλιακής απόσταξης για την ύδρευση με πόσιμο νερό με μέση επιφάνεια εξάτμισης  $2.450 \text{ m}^2$ . Οι εγκαταστάσεις αυτές σχεδιάστηκαν να παράγουν ανάλογα με την κατασκευαστική διάταξη και το κλίμα από 7,5 μέχρι  $15 \text{ m}^2$  πόσιμο νερό ανά  $\text{m}^2$  την ημέρα.

Η παλαιότερη μονάδα αφαλάτωσης στη νήσο Πάτμο είναι αρκετά μεγάλη. Σχεδιάστηκε, κατασκευάστηκε και τέθηκε σε λειτουργία από τον καθηγητή Δρ. Α. Δελιγιάννη και την σύζυγό του. Η μονάδα αυτή είχε επιφάνεια εξάτμισης  $8,665 \text{ m}^2$  και παρήγαγε κατά μέσο όρο 25.000 λίτρα νερού την ημέρα. Η δεξαμενή που ήταν γεμάτη με θαλασσινό νερό είχε επενδυθεί με μαύρο φύλλο βουτυλικού ελαστικού. Το περιεχόμενο θαλασσινό νερό που επικαλυπτόταν με γυαλί είχε βάθος μόνο 2cm. Το θαλασσινό νερό έφθανε τους  $60-70^\circ \text{ C}$  με την θερμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και αλλαζόταν κάθε 2-4 ημέρες ανάλογα με την εποχή του έτους. Η απομακρυσμένη άλμη είχε περιεκτικότητα σε αλάτι σχεδόν τριπλάσια από την αρχική.

Πριν την κατασκευή της μονάδας το πόσιμο νερό προερχόταν από τις βροχοπτώσεις και την προμήθεια από δεξαμενόπλοια.

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

## Έργα σε λειτουργία του ομίλου Vector

### Θηρασιά 1994

Ανάπτυξη και επίδειξη αυτόνομης αιολικής μονάδας αφαλάτωσης Ν.Θηρασίας.

Το έργο ισχύος 15kW, 5 m<sup>3</sup> / ημ. χρηματοδοτήθηκε από το Πρόγραμμα APAS RENA-CT94-0055 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και υλοποιήθηκε σε συνεργασία με την Αναπτυξιακή Α.Ε.

### Σύρος 1997

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

## Μονάδες αντίστροφης όσμωσης στα ελληνικά νησιά

Περιοχή	Ημερομηνία εγκατάστασης	Ημερήσια παραγωγή m <sup>3</sup> /day	Νερό τροφοδοσίας
Ορνός - Μύκονος	1989	1200	θαλασσινό
Ερμούπολη - Σύρος	1989	1200	θαλασσινό
	1993	800	θαλασσινό
	1998/99	960	θαλασσινό
Κίτι - Σύρος	1993	144	θαλασσινό
Οία - Σαντορίνη	1994	400	θαλασσινό
	1998	150	θαλασσινό
Θηρασιά -	1997	200 (l/h)	θαλασσινό

<b>Σαντορίνη</b>			
<b>Ομηρούπολη - Χίος</b>	2000	600	υφάλμυρο
<b>Νίσυρος</b>	1991	300	θαλασσινό
<b>Ιθάκη</b>	1983	500	θαλασσινό

**Πίνακας 6:** Εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης

Πηγή: Υπουργείο Αιγαίου

Η αφαλάτωση είναι μια ενεργοβόρος μέθοδος παραγωγής φρέσκου νερού. Το τελικό κόστος εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το είδος της χρησιμοποιούμενης ενέργειας. Είναι σαφές πως σε περιπτώσεις που οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν την κύρια πηγή παροχής ενέργειας, το κόστος της αφαλάτωσης είναι πολλαπλάσιο.

#### 4.1 Εξέταση της περίπτωσης της Μήλου

Η Μήλος αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα νησιά των Κυκλάδων, με περίπου 5000 μόνιμους κατοίκους. Κάθε χρόνο, και μέχρι το 2006, σημαντικές ποσότητες νερού μεταφέρονταν στο νησί προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες σε φρέσκο, πόσιμο νερό. Από το 2007 στο νησί της Μήλου λειτουργεί μονάδα αφαλάτωσης η οποία αντλεί την ενέργεια που χρειάζεται από αιολική μηχανή συνδεδεμένη με το δίκτυο.

Η μονάδα της Μήλου έχει σχεδιαστεί, ώστε να καλύπτει πλήρως, τόσο τις βραχυπρόθεσμες ανάγκες του νησιού σε νερό, καλύπτοντας, μάλιστα, και τις καλοκαιρινές αιχμές του συστήματος, όσο και τις μακροπρόθεσμες ανάγκες του σε ορίζοντα εικοσαετίας, με πρόβλεψη επέκτασής της το 2015 κατά 1.120 m<sup>3</sup>/d, με το σκεπτικό των πανομοιότυπων δομικών μονάδων (modular units) που επεκτείνουν τη δυναμικότητα, συνδεδεμένες μεταξύ τους.

Η μονάδα αφαλάτωσης είναι δυναμικότητας 2.600 m<sup>3</sup> πόσιμο νερού την ημέρα, και μπορεί να καλύψει όλες τις ανάγκες του νησιού σε νερό.

Η μονάδα αυτή αντισταθμίζει την απαιτούμενη για τη λειτουργία της ηλεκτρική ενέργεια από ίση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία προέρχεται από μια ανεμογεννήτρια ισχύος 600 kW, εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο μηδενική επιβάρυνση στο περιβάλλον και ταυτόχρονα υψηλής ποιότητας πόσιμο νερό σε χαμηλή τιμή.

Το όλο επίσης σύστημα αντισταθμίζει ηλεκτρικής ενέργειας και άλλες χρήσιμες πληροφορίες, όπως π.χ. τα αποθέματα νερού στις δεξαμενές, την ποιότητα του νερού,

τα δρομολόγια των πλοίων, τα διαθέσιμα κρεβάτια στα ενοικιαζόμενα δωμάτια του νησιού κ.τ.λ., παρέχονται από ένα εξελιγμένο ηλεκτρονικό σύστημα SCADA, που η εταιρεία ανέπτυξε γι' αυτόν το σκοπό, και καταγράφονται σε οθόνες που υπάρχουν σε καίρια σημεία του νησιού, όπως στο δημαρχείο και στο λιμάνι άφιξης των πλοίων. Δεν υπάρχει κανένα όριο στη δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης, διότι είναι σχεδιασμένη και κατασκευάζεται στη βάση των modules, γεγονός που συντελεί στην εύκολη και γρήγορη επεκτασιμότητά της, ανάλογα με τις ανάγκες παραγωγής νερού. Έχει δοθεί, επίσης, η δέουσα προσοχή στη χωροθέτηση της μονάδας, έτσι ώστε να μην υπάρχει καμία επιβάρυνση στο φυσικό περιβάλλον. Δε χρησιμοποιούνται επικίνδυνες ουσίες και η απαιτούμενη για τη λειτουργία της μονάδας ενέργεια εξασφαλίζεται από τον άνεμο.

## 4.2 Τεχνική περιγραφή του έργου

Ειδικότερα, για την παραγωγή πόσιμου νερού, χρησιμοποιείται θαλασσινό νερό μετά από επεξεργασία, αφαλάτωση και, στην συνέχεια, εμπλουτισμό. Η μέθοδος αφαλάτωσης που επιλέχθηκε είναι η αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis, RO), η οποία βασίζεται, κυρίως, στην τεχνολογία ειδικών μεμβρανών, με εφαρμογή υψηλής πίεσης νερού, και χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό και ηλεκτρική ενέργεια. Είναι σημαντικό, επίσης, να τονιστεί ότι, σε αντίθεση με άλλες παρόμοιες εφαρμογές αφαλάτωσης, στη μονάδα αφαλάτωσης της Μήλου, χάρη στο σχεδιασμό της και στην τεχνολογία αιχμής που χρησιμοποιήθηκε, δεν πραγματοποιείται προχλωρίωση – αποχλωρίωση και δοσομέτρηση θειϊκού οξέος στην είσοδο των μεμβρανών, ούτε στο παραγόμενο νερό, και σε γενικές γραμμές, έχει επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή χρήση χημικών.

Η μονάδα αφαλάτωσης αποτελείται από τέσσερα βασικά υποσυστήματα: το αντλιοστάσιο παροχής θαλασσινού νερού και τους σωλήνες προσαγωγής - απόρριψης, την προεπεξεργασία θαλασσινού νερού, τη διάταξη των μεμβρανών (αντίστροφη ώσμωση), την μετεπεξεργασία αφαλατωμένου νερού και την δεξαμενή γλυκού νερού.

Το θαλασσινό νερό που αντλείται από τη θάλασσα περνάει αρχικά από μια φάση προεπεξεργασίας, με αυτόματα πολυστρωματικά φίλτρα χαλαζιακής άμμου/ανθρακίτη και σακόφιλτρα από πολυπροπυλένιο, για την κατακράτηση ξένων σωμάτων και οργανισμών. Ως χημικό προκατεργασίας χρησιμοποιείται μόνο

αντικαθαλατωτικό, κατάλληλο για χρήση σε μονάδες αφαλάτωσης παραγωγής πόσιμου νερού.

### **Αντίστροφη όσμωση**

Το φιλτραρισμένο νερό οδηγείται στην συνέχεια στις μεμβράνες υψηλής απόρριψης, χαμηλής ενέργειας, οι οποίες τροφοδοτούνται από αντλίες θετικής εκτόπισης, υψηλής απόδοσης, κατασκευασμένες από υπερκράματα ανοξειδώτου χάλυβα. Η μονάδα λειτουργεί σε τέσσερις (4) ημιαυτόνομες συστοιχίες των 560 m<sup>3</sup>/d, προσδίδοντας έτσι στο σύστημα σημαντική λειτουργική ευελιξία, μεγιστοποιώντας παράλληλα τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία της.

Το σημαντικό πλεονέκτημα της προτεινόμενης τεχνολογίας, που την καθιστά σαφώς πιο αποδοτική από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία αντίστροφης ώσμωσης, είναι το πλέον σύγχρονο σύστημα ανάκτησης ενέργειας που βασίζεται στην τεχνική της εναλλαγής πίεσης. Με το πρωτοποριακό αυτό σύστημα ανακτάται το 97% της πίεσης του συμπυκνώματος και μεταφέρεται στο φρέσκο θαλασσινό νερό, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται εντυπωσιακά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, προσφέροντας παράλληλα υψηλή απόδοση και λειτουργική αξιοπιστία, ακόμα και για σημαντικές μεταβολές των παραμέτρων λειτουργίας της μονάδας (αλατότητα, θερμοκρασία θαλασσινού νερού κ.τ.λ.), καθώς και μειωμένες ανάγκες συντήρησης.

Η μετακατεργασία του αφαλατωμένου νερού πραγματοποιείται με φίλτρα δολομιτικού πετρώματος που επιτρέπουν τη ρύθμιση της σκληρότητας και τον έλεγχο του pH, χωρίς την ανάγκη δοσομέτρησης θειϊκού οξέος. Επιπλέον, πραγματοποιείται χλωρίωση του αφαλατωμένου νερού, όπως σε οποιαδήποτε εγκατάσταση ύδρευσης, με χρήση διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου και ειδικό σύστημα δοσομέτρησης. Το απομένον αλμόλοιπο απορρίπτεται στη θάλασσα, σε κατάλληλο σημείο (μακριά από το σημείο άντλησης), το οποίο επιλέχθηκε βάσει ειδικής μελέτης διάχυσης που εκπονήθηκε. Η μονάδα είναι εξοπλισμένη με όλο τον απαιτούμενο ηλεκτρολογικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό, καθώς και με πληθώρα βοηθητικών συστημάτων (αυτόματη έκπλυση μεμβρανών και χημικού καθαρισμού κ.τ.λ.) και οργάνων ελέγχου σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας (τιμές ροών, αγωγιμότητας, PH, πιέσεων, θερμοκρασιών, σήματα alarm κ.τ.λ.). Επιπλέον, παρέχεται υψηλό επίπεδο αυτοματισμών και παρακολούθησης του συστήματος, βάσει ειδικού προγράμματος που έχει αναπτυχθεί.

Το σύνολο του εξοπλισμού της προκατεργασίας, της αντίστροφης ώσμωσης και της μετεπεξεργασίας είναι εγκατεστημένο σε containers, ομαδοποιημένο σε δύο πλήρως αυτόνομες υπομονάδες των 1120 m<sup>3</sup>/d. Χωριστά μέρη του συστήματος αποτελούν οι αντλίες αναρρόφησης θαλασσινού νερού, το σημείο απόρριψης του αλμόλοιπου και η δεξαμενή πόσιμου ύδατος (100 m<sup>3</sup>), απ' όπου το πόσιμο νερό οδηγείται, μέσω αντλιών μεταπρόωθησης, στην κεντρική συστοιχία δεξαμενών (3.000 m<sup>3</sup>), για διοχέτευσή του στο δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Μήλου. Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης παράγεται από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, με την επέκταση του υφιστάμενου Αιολικού Πάρκου της Αιολικής Μήλου Α.Ε. στη θέση «Κουτσουνόρραχη» με μία νέα ανεμογεννήτρια ισχύος 850 kW. Ουσιαστικά, δηλαδή, η ηλεκτρική ενέργεια την οποία καταναλώνει η μονάδα αφαλάτωσης από το δίκτυο, αντισταθμίζεται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία εγχέεται στο δίκτυο από την ανεμογεννήτρια.

Κάθε υποσύστημα του έργου, δηλαδή η μονάδα αφαλάτωσης και η ανεμογεννήτρια, ελέγχονται μέσω αυτόνομων συστημάτων scada. Επιπλέον, για το συντονισμό των δύο συστημάτων και για την κάλυψη των αναγκών του συστήματος πρόβλεψης και διαχείρισης της μονάδας αφαλάτωσης και της ανεμογεννήτριας, έχει εγκατασταθεί κεντρικό σύστημα τηλεέγχου - τηλεχειρισμού (Master Scada), το οποίο έχει σχεδιαστεί, ώστε να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει όλες τις ανάγκες πρόβλεψης, λειτουργίας και διαχείρισης της μονάδας αφαλάτωσης, των κεντρικών δεξαμενών λειτουργίας, καθώς και της ανεμογεννήτριας. Το σύστημα αυτό συλλέγει στοιχεία και εκτελεί σενάρια λειτουργίας, έχοντας πάντα σαν κύριο στόχο τη βέλτιστη διαχείριση της ανεμογεννήτριας και της μονάδας αφαλάτωσης, ιδιαίτερα κατά τις ώρες αιχμής ή και κατά τις ώρες υψηλής αιολικής παραγωγής, σε συνδυασμό με τα μέγιστα και ελάχιστα φορτία, επιτυγχάνοντας παράλληλα την ελάχιστη δυνατή παρέμβαση του συντηρητή – χειριστή των μονάδων. Το έργο κατασκευάστηκε από την εταιρεία Αιολική Μήλου Α.Ε., είναι προϋπολογισμού 3,5 εκ. € και έχει επιδοτηθεί από το Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης. Στον πίνακα 7 που ακολουθεί παρουσιάζεται το κόστος της μονάδας αφαλάτωσης της Μήλου.

<b>Συνολικός προϋπολογισμός έργου</b>	<b>4.800.000 €</b>	<b>Έργα υποδομής, μονάδα αφαλάτωσης (και επέκτασή της), δεξαμενές, δίκτυο, Α/Γ, Scada</b>
<b>Ίδια κεφάλαια</b>	30%	Αιολική Μήλου Α.Ε
<b>Δάνειο</b>	25%	Εμπορική Τράπεζα
<b>Επιδότηση</b>	45%	ΕΠΙΛΑΝ Μέτρο 6.3 και Αναπτυξιακός
<b>Ετήσια παραγωγή νερού</b>	>450.000	m <sup>3</sup>
<b>Ειδική κατανάλωση ενέργειας</b>	2,5 kWh/m <sup>3</sup>	Μονάδα αφαλάτωσης μόνο
<b>Συνολική ειδική κατανάλωση ενέργειας</b>	4,0 kWh/m <sup>3</sup>	ΜΑ και αντλίες θαλασσινού νερού και αντλίες μεταπρώθησης
<b>Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α/Γ</b>	~ 1.900.000	Kwh/έτος
<b>Κόστος νερού για τον Δήμο Μήλου</b>	1,8	€/m <sup>3</sup>

**Πίνακας 7:** Κόστος της μονάδας αφαλάτωσης

Πηγή: Αιολική Μήλου Α.Ε

### 4.3 Οφέλη από την δημιουργία της μονάδας

Η μονάδα αφαλάτωσης της Μήλου είναι ένα πρωτοποριακό για τα δεδομένα της Ελλάδας έργο, το οποίο προσέφερε πληθώρα πλεονεκτημάτων στην καλύτερη κάλυψη των αναγκών του νησιού σε νερό. Τα οφέλη της μονάδας είναι τα εξής:

- ✓ Άμεση και οριστική αντιμετώπιση προβλήματος λειψυδρίας με το βέλτιστο τεχνικά, περιβαλλοντικά και χρονικά τρόπο
- ✓ Άριστη ποιότητα παραγόμενου νερού
- ✓ Εφαρμογή της πλέον προηγμένης και αξιόπιστης τεχνολογίας
- ✓ Εντυπωσιακά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας
- ✓ Σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη χάρη στο σχεδιασμό του συστήματος και στη χρήση ΑΠΕ για την κάλυψη των αναγκών της μονάδας
- ✓ Υψηλή διαθεσιμότητα και αξιοπιστία
- ✓ Πολλαπλά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη
- ✓ Μείωση κόστους προμήθειας νερού κατά 80%
- ✓ Μείωση δαπανών για άντληση και για χρήση εμφιαλωμένου νερού
- ✓ Ορθολογικότερη χρήση υδάτινων αποθεμάτων
- ✓ Απαλλαγή από προβλήματα συντήρησης οικιακών συσκευών
- ✓ Αποδέσμευση κονδυλίων για τη βελτίωση και επέκταση του δικτύου ύδρευσης του νησιού.

## **Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Οικολογικά Συστήματα Αφαλάτωσης στην Μήλο**

### **5.1 Εγκατάσταση Μονάδας Αφαλάτωσης**

Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι η κατασκευή μιας μονάδας αφαλάτωσης η οποία θα καλύπτει τις ανάγκες του νησιού σε νερό αξιοποιώντας το δυναμικό της Μήλου σε γεωθερμία, αιολική και ηλιακή ενέργεια. Γενικότερα, οι εγκαταστημένες μονάδες αφαλάτωσης διακρίνονται σε τρεις τύπους:

1. Συμβατικές, οι οποίες λειτουργούν χρησιμοποιώντας ορυκτά καύσιμα για την παροχή της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα.
2. Υβριδικές, οι οποίες συνδυάζουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με τη χρήση συμβατικής μορφής ενέργειας, ορυκτών καυσίμων. Είναι αυτές που προτιμούνται συνήθως. Έχει ως βασική πηγή ενέργειας τις ΑΠΕ και παράλληλα συνεργάζεται και με άλλη πηγή ενέργειας συμβατική ή ανανεώσιμη. Προκειμένου, όταν το ενεργειακό δυναμικό δεν είναι αρκετό, να μην διακόπτεται η τροφοδοσία. Αυτά τα συστήματα έχουν μεγάλη εφαρμογή.
3. Αυτόνομες, οι οποίες χρησιμοποιούν αποκλειστικά και μόνο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και δεν είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο. Προτιμούνται σε νησιωτικές περιοχές απομακρυσμένες, στις οποίες δεν υπάρχει σταθερή τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι οι πιο φιλικές προς το περιβάλλον και έχουν μεγάλη εφαρμογή στην περιοχή της Μεσογείου. Σε αυτές τις μονάδες κρίνεται συνήθως απαραίτητη η αποθήκευση της ενέργειας για τις περιόδους του χρόνου που δεν είναι διαθέσιμη. Αυτό αποτελεί επιπρόσθετο κόστος. Μπορεί όμως να αντιμετωπιστεί με την αποθήκευση του παραγόμενου νερού σε δεξαμενές. Η μέθοδος αυτή είναι οικονομικά πιο συμφέρουσα.



Για την εγκατάσταση μιας μονάδας αφαλάτωσης, ακολουθούνται διάφορα στάδια. Αρχικά, εντοπίζεται το πρόβλημα παροχής νερού. Αξιολογείται η διαθεσιμότητα των στοιχείων. Προσδιορίζεται η ζήτηση νερού, το ενεργειακό δυναμικό και η κοινωνικοοικονομική κατάσταση. Επιλέγεται το νερό τροφοδοσίας (θαλασσινό ή υφάλμυρο) και η διαθεσιμότητα αυτού. Κρίνεται η διαθεσιμότητα των ικανοποιητικών πόρων του νερού τροφών (υφάλμυρο νερό ή νερό της θάλασσας). Μελετάται η ύπαρξη σημαντικών πηγών ανανεώσιμης ενέργειας, η παροχή ηλεκτρισμού και το αν πρόκειται για μια στρατηγική περιοχή. Μερικά από αυτά που πρέπει να μελετώνται για την εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης στα νησιά, είναι απαραίτητο να τηρούνται τα παρακάτω:

- i. Να μην υπάρχει πρόβλημα τροφοδοσίας-παροχής ηλεκτρικής ενέργειας
- ii. Να διατηρείται η θαλάσσια βιοποικιλότητα
- iii. Να υπάρχει νομικό καθεστώς – θεσμικό πλαίσιο και να τηρείται

Επίσης, πολύ βασικό κομμάτι της εγκατάστασης αποτελεί ο τρόπος αποθήκευσης της ενέργειας και το σύστημα που θα επιλεγθεί. Σύμφωνα με τον Σπύρου Ι., (2009) αυτά είναι:

- Μπαταρίες
- Σύστημα αντλησιοταμίευσης
- Σφόνδυλος (Flywheel)
- Συμπιεσμένος αέρας (Compressed air)
- Υπεραγώγιμο πηνίο (superconducting coil)

## **5.2 Αποτίμηση Παραγόντων για την Αφαλάτωση**

Σύμφωνα με τον Καλογήρου (2005), οι παράγοντες που πρέπει να εξετάζονται για την περιοχή που επιθυμείται η εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης, ώστε να βρεθεί η κατάλληλη μέθοδος είναι οι εξής:

- Πηγή ενεργειακής τροφοδοσίας μονάδας
- Ενεργειακές απαιτήσεις
- Το μέγεθος της παραγωγής και η ποιότητα του πόσιμου νερού
- Απαιτήσεις επεξεργασίας θαλασσινού νερού

- Το κόστος εξοπλισμού
- Η επιφάνεια γης που απαιτείται για την εγκατάσταση του εξοπλισμού

Η μέθοδος της αφαλάτωσης αντιπροσωπεύει σημαντικές επενδύσεις κεφαλαίου, με υψηλά τρέχοντα κόστη λειτουργίας και συντήρησης. Εντούτοις, το κόστος αυτό τείνει να μειωθεί αρκετά και σε πολλές περιπτώσεις οδηγείται κάτω από το κόστος των συμβατικών διαδικασιών επεξεργασίας. Κατά την αξιολόγηση της οικονομικής δυνατότητας πραγματοποίησης ενός συστήματος αφαλάτωσης είναι σημαντικό να εκτιμηθούν συγκεκριμένες δαπάνες, όπως:

- Δαπάνες απαιτούμενης επεξεργασίας για την παραγωγή (τεχνολογία αφαλάτωσης και ποιότητα νερού τροφοδοσίας)
- Δαπάνες απαιτούμενης επεξεργασίας μετά την παραγωγή του αφαλατωμένου νερού, ώστε να αποτελεί πόσιμο νερό (εξαρτάται από τις προσδοκίες τελικών χρηστών).
- Δαπάνες ενέργειας (εξαρτάται από την διαθέσιμη παροχή ενέργειας στην περιοχή). Άλλωστε οι τεχνολογίες αφαλάτωσης καταναλώνουν πολύ.
- Δαπάνες για το διαθέσιμο ειδικευμένο προσωπικό που θα απασχολείται στις εγκαταστάσεις
- Δαπάνες για τη διάθεση της άλμης
- Δαπάνες για μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Οι προαναφερθείσες δαπάνες αντιπροσωπεύουν μόνο τις δαπάνες για την προβλεπόμενη λειτουργία μιας μονάδας αφαλάτωσης. Υπάρχουν ωστόσο δαπάνες για την εύρεση της κατάλληλης περιοχής εγκατάστασης της μονάδας, όπως και για την περιοχή εξαγωγής των προϊόντων της αφαλάτωσης. Η γεωγραφική θέση εγκατάστασης μιας μονάδας αφαλάτωσης, η οποία θα χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) κατέχει πολύ σημαντικό ρόλο στην επιτυχία της απόφασης.

Τα κριτήρια καταλληλότητας της θέσης είναι ταξινομημένα σε δύο σημαντικές ομάδες, στα μακροστοιχεία, που αφορούν την επιλογή των ευνοϊκών περιοχών, και στους ειδικούς παράγοντες, που καλούνται να επιδείξουν την ακριβή θέση και μέθοδο λειτουργίας. Βέβαια, δεδομένου ότι μερικοί παράγοντες δεν είναι μετρήσιμοι, η υποκειμενικότητα δεν μπορεί να αποφευχθεί. Έτσι στη συνέχεια θα αναφερθούν όλοι

οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη, σύμφωνα με σημαντικό αριθμό μελετών στα πλαίσια του προγράμματος MEDA, για τη λήψη της απόφασης εγκατάστασης μιας αυτόνομης μονάδας αφαλάτωσης, για τη λύση του προβλήματος κάλυψης των υδρευτικών αναγκών (ADIRA Handbook, 2008).

### **Ειδικοί παράγοντες**

Όσον αφορά στους ειδικούς παράγοντες τα κριτήρια που πρέπει να πληρούνται είναι τα εξής:

1. Η διαθεσιμότητα των στοιχείων να είναι αρκετή (για το νερό, την ενέργεια και τις κοινωνικοοικονομικές καταστάσεις). Το νησί της Μήλου έχει μελετηθεί επανειλημμένως από αρκετούς δημόσιους φορείς, όπως η ΔΕΗ, το ΚΑΠΕ, το ΙΓΜΕ, η ΚΕΔΚΕ, η ΕΜΥ, από Πανεπιστημιακά ιδρύματα και κυρίως από το Υπουργείο Ανάπτυξης. Επίσης στη συγκεκριμένη περιοχή αναφέρεται η Ευρωπαϊκή κοινότητα. Οπότε υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα στοιχεία και πρόσφατα.
2. Ο πληθυσμός της περιοχής ενδιαφέροντος να είναι μικρότερος ή ίσος με 2500 κατοίκους. Αυτό είναι ένα προτεινόμενο όριο. Δεν είναι δεσμευτικό για την επιλογή εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης. Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή και τα αποτελέσματα της γενικής απογραφής πληθυσμού για το 2001, ο μόνιμος πληθυσμός της Μήλου ανέρχεται στους 4714 ανθρώπους με τον Αδάμαντα, την μεγαλύτερη σε πληθυσμό περιοχή της Μήλου, να συγκεντρώνει τους 1254.
3. Η ζήτηση νερού να είναι μεγαλύτερη ή ίση με 1.000 l/day. Αυτή είναι μια προτεινόμενη ελάχιστη απαίτηση. Η ζήτηση του νερού υπολογίζεται ανά χρήση ύδατος. Πρέπει να υπάρχει μια ελάχιστη απαίτηση για την εγκατάσταση της μονάδας και πέρα από αυτήν η όποια αύξηση της ζήτησης προκύψει να είναι αντιμετωπίσιμη. Αυτό διευκρινίζεται στο κεφάλαιο εκτίμησης του ισοζυγίου προσφοράς ζήτησης.

## Τεχνικοί παράγοντες

Όσον αφορά στους τεχνικούς παράγοντες τα κριτήρια που πρέπει να πληρούνται είναι τα εξής:

1. Ύπαρξη της δυνατότητας χρήσης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Οι συνιστώμενες ελάχιστες τιμές για την ενεργειακή δυνατότητα είναι οι ακόλουθες:
  - i. Αιολική ενέργεια: Η ετήσια μέση ταχύτητα να είναι μεγαλύτερη ή ίση με 6.5 m/s
  - ii. Ηλιακή ενέργεια: Η σφαιρική ηλιακή ακτινοβολία να είναι μεγαλύτερη από τον μέσο όρο ημέρας, 4,500 Wh/m<sup>2</sup> ή ο αριθμός ηλιόλουστων ημερών το χρόνο να είναι μεγαλύτερος από 200.

Μέσα από την συγκεκριμένη μελέτη προτείνεται η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε αυτήν την περίπτωση εξετάζεται το ενεργειακό δυναμικό. Οι μορφές ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια και η γεωθερμία. Η ετήσια μέση ταχύτητα του αέρα για τη χρησιμοποίηση της αιολικής ενέργειας στην περιοχή της Μήλου δεν είναι μεγαλύτερη ή ίση με 6.5 m/s, όπως προτείνεται. Όπως προαναφέρθηκε είναι περίπου 6.225 m/s. Η διαφορά όμως που παρουσιάζει σε σχέση με τις συνιστώμενες τιμές είναι σχεδόν αμελητέα. Σύμφωνα με τις μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας του Κεφαλαίου 2, ο μέσος όρος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερος από τον μέσο όρο ημέρας, 4,500 Wh/m<sup>2</sup>. Συγκεκριμένα, είναι της τάξεως των 4,700 Wh/m<sup>2</sup>. Αντίστοιχα, και το διαθέσιμο γεωθερμικό δυναμικό ευνοεί την χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

2. Διαθεσιμότητα και ποιότητα του νερού τροφοδοσίας. Το θαλασσίνο ή το υφάλμυρο νερό τροφοδοσίας πρέπει να είναι διαθέσιμο αδιάκοπτα. Βασικό ρόλο παίζουν οι εποχιακές μεταβολές στην θερμοκρασία, στην ποιότητα καθώς επίσης και στην ποσότητα του νερού τροφοδοσίας καθώς αυτό μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία της μονάδας. Επομένως, αποτελούν σοβαρούς παράγοντες για την επιλογή της θέσης - περιοχής. Η διαθεσιμότητα του νερού τροφοδοσίας στην Μήλο είναι αδιάκοπτη καθώς πρόκειται για θαλασσίνο νερό τροφοδοσίας και για παράκτιες περιοχές. Σημαντικές αλλαγές στη θερμοκρασία του νερού και στην ποιότητα του δεν υπάρχουν, για να επηρεάσουν την μονάδα αφαλάτωσης. Η αλατότητα του θαλασσινού νερού

στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και κατά συνέπεια και της Μήλου είναι περίπου ίση με 37.5000 ppm (Wilf M., Schierach M., 2000).

**3. Βασικές υποδομές νερού σε περίπτωση υφάλμυρου νερού υδροφορέα**

- i. Ύπαρξη των φρεατίων
- ii. Το βάθος της στάθμης του ύδατος στη γεώτρηση να είναι μικρότερο από 50 μ.
- iii. Η κατάσταση του συστήματος διανομής νερού να είναι καλή

Στην περιοχή έρευνας δεν μελετάται η αφαλάτωση υφάλμυρων υπόγειων υδάτων, αλλά η αφαλάτωση θαλασσινού νερού, το οποίο επιλέγεται να αντλείται από παράκτια πηγάδια ή γεωτρήσεις, προκειμένου να μην διαταράσσεται η οικολογική ποιότητα του οικοσυστήματος.

**4. Υποδομές εδάφους και οικοδόμησης**

- i. Ύπαρξη επίπεδης περιοχής για την εγκατάσταση της μονάδας (για φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, εγκαταστάσεις αφαλάτωσης κ.α.). Στον πίνακα 8 που ακολουθεί δίνεται η απαιτούμενη έκταση για την ανάπτυξη τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά παραγόμενη GWh και για χρονικό διάστημα 30 χρόνων. Η μικρότερη έκταση απαιτείται για χρήση γεωθερμίας. Όπως αναφέρθηκε στον πίνακα 8 η απαιτούμενη έκταση για την ανάπτυξη τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά παραγόμενη GWh και για χρονικό διάστημα 30 χρόνων με τη χρήση ηλιακής, αιολικής και γεωθερμικής ενέργειας είναι 5.299 m<sup>2</sup>. Ο έλεγχος αυτής της παραμέτρου απαιτεί εργασία πεδίου. Θα θεωρηθεί ότι υπάρχει απαιτούμενη επίπεδη περιοχή για την εγκατάσταση της μονάδας αφαλάτωσης.
- ii. Επίσης από την εργασία πεδίου θα επιλεγεί αν η τοποθέτηση και προστασία του εξοπλισμού θα βρίσκεται εντός κτηριακών εγκαταστάσεων ή σκέπαστρου ή θα εγκατασταθεί σε container.

Μορφή Ενέργειας	Απαιτούμενη έκταση γης (σε m <sup>2</sup> )
Ηλιακά - Θερμικά	3.560
Αιολική	1.335
Γεωθερμία	404

**Πίνακας 8:** Απαιτούμενη έκταση ανά μορφή ΑΠΕ. Πηγή: Voivontas, D. et al. , 2001

5. Περιβαλλοντικές απαιτήσεις (σχετικές με την επεξεργασία άλμης): Μια σημαντική απαίτηση για μια επιτυχή και μακράς διάρκειας μονάδα αφαλάτωση είναι η δυνατότητα διάθεσης της άλμης κατά τρόπο περιβαλλοντικά αποδεκτό.

i. Στις εσωτερικές περιοχές:

- ✓ Διάθεση άλμης για επαναχρησιμοποίηση για την παραγωγή αλατιού
- ✓ Διάθεση σε αλατούχους υγροτόπους
- ✓ Διάθεση μέσω σωλήνα σε ασφαλή και μελετημένο χώρο, ώστε να μην υπάρχουν περιβαλλοντικές επιδράσεις

ii. Στις παραλιακές περιοχές:

- ✓ Διάθεση στη θάλασσα, εάν δεν προκαλείται τοπικός αντίκτυπος στη θαλάσσια ζωή.

Μία από τις περιπτώσεις που αναλύθηκαν παραπάνω θα επιλεγεί. Προτείνεται εφαρμογή δικτύου παρακολούθησης.

#### 6. Υποδομές ηλεκτρικής ενέργειας

Συνήθως στις περιοχές ενδιαφέροντος δεν υπάρχει πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια για το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού (μεγαλύτερο από 75%), επειδή:

- ✓ Η ηλεκτρική ενέργεια κοστίζει πολύ
- ✓ Υπάρχει έλλειψη παροχής ενέργειας ή είναι σε κακή κατάσταση

Όσον αφορά την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης, προτείνεται να μην χρησιμοποιείται το δίκτυο του Δήμου, αλλά το σύστημα κατά κύριο λόγο να είναι αυτόνομο.

7. Η δυνατότητα πρόσβασης στην περιοχή να είναι σίγουρη και εξασφαλισμένη (οι δρόμοι να είναι μόνιμα “ανοιχτοί”). Το κόστος στην περίπτωση της Μήλου

που υπάρχουν ασφαλτοστρωμένοι ή μόνιμα “ανοιχτοί” δρόμοι είναι μηδενικό.

### **Κοινωνικοί και οικονομικοί παράγοντες**

Όσον αφορά στους κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες τα κριτήρια που πρέπει να πληρούνται είναι τα εξής:

1. Η συμμετοχή του τοπικού πληθυσμού σε αυτήν την ενέργεια εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης για την εξυπηρέτηση των αναγκών τους σε πόσιμο νερό να έχει:
  - i. Την συγκατάθεση και καλή συνεργασία των τοπικών αρχών.
  - ii. Να υπάρχει πραγματική ανάγκη, η οποία δεν δύναται να εξασφαλιστεί με κάποιον οικονομικότερο και κοινωνικά πιο αποδεκτό τρόπο.
  - iii. Να υπάρχουν τεχνικοί που θα καλύψουν τις θέσεις εργασίας για τις βασικές δυνατότητες λειτουργίας και συντήρησης, ή πιθανόν άνεργοι κάτοικοι, οι οποίοι είναι ικανοί να μάθουν τη συγκεκριμένη δουλειά.

Η τοποθέτηση μονάδας αφαλάτωσης στην παράκτια περιοχή μιας τουριστικής περιοχής δεν είναι πάντα αποδεκτή και επιθυμητή. Πρόκειται ουσιαστικά για μια βιομηχανική μονάδα που δεν είναι ιδιαίτερα εφικτό να είναι αισθητικά ωραία. Επίσης πρέπει να γίνει μελέτη για την απόρριψη της άλμης, ώστε να μην επηρεαστούν τα παράκτια ύδατα, για τους ανθρώπους και για το οικοσύστημα. Θετικό είναι το γεγονός ότι με τη χρήση ΑΠΕ, δεν υπάρχει θόρυβος και ατμοσφαιρική ρύπανση. Ακόμη πιο θετικό είναι το γεγονός, ότι μόνιμοι κάτοικοι και τουρίστες έχουν γνώση της σοβαρότητας της κατάστασης και έχουν ξεκινήσει να αντιμετωπίζουν το περιβάλλον και τους υδατικούς πόρους με ευαισθησία. Άλλωστε ποιος δεν θέλει να είναι σίγουρος για τη δυνατότητα σταθερής τροφοδοσίας με νερό.

- i. Οι τοπικές αρχές έχουν ενημερωθεί από διάφορα μέσα και είναι συνεργάσιμες. Στην περίπτωση της νήσου Μήλου, οι αρχές είναι πολύ καλά οργανωμένες.
- ii. Οφείλει η μέθοδος της αφαλάτωσης να αποτελεί την καλύτερη και μοναδική βιώσιμη λύση. Αυτό εξετάζεται στην παρούσα εργασία. Αν υπάρχει εφαρμογή και αν ναι σε ποια περιοχή είναι 100% χρήσιμη.
- iii. Ο πληθυσμός της Μήλου είναι εύκολα συγκρίσιμος με πόλεις της ενδοχώρας. Επίσης η Μήλος θεωρείται αυτάρκτης. Βασική ανάγκη είναι η πλήρωση

θέσεων ειδικού τεχνικού προσωπικού για τη σωστή λειτουργία, αλλά κυρίως για τη συντήρηση της μονάδας.

2. Κοινωνικές παροχές, ο βαθμός δηλαδή που θα αλλάξει η καθημερινότητα των κατοίκων προς το καλύτερο.
3. Τιμή πώλησης νερού, να είναι σε επίπεδο που μπορεί να πληρωθεί από όλες τις κοινωνικές τάξεις που διαμένουν στην περιοχή ή που καλούνται να το αγοράσουν. Επίσης, η τιμολόγηση να πραγματοποιηθεί με βάση τις απαιτούμενες ημερήσιες ποσότητες κάθε ατόμου. Αυτές οι ποσότητες να είναι σε μικρότερη τιμή μονάδας. Βέβαια, αυτή τη στιγμή το αφαλατωμένο νερό θα αποτελεί βιομηχανικό προϊόν, οπότε η τιμή πώλησης του έχει άμεση σχέση με τα έξοδα παραγωγής του. Σε αυτό το σημείο οφείλει να συνδράμει το κράτος, επιδοτώντας την προτεινόμενη αποδεδειγμένα βιώσιμη λύση. Δοκιμάζονται πάνω από μία εκδοχές, προκειμένου η τιμή του κυβικού να μπορεί να πληρωθεί από όλες τις κοινωνικές τάξεις που διαμένουν στην περιοχή ή που καλούνται να το αγοράσουν.
4. Κανόνες και κανονισμοί
  - i. Περιβαλλοντικοί περιορισμοί που επιβάλλονται από τους τοπικούς και εθνικούς κανονισμούς
  - ii. Νομοθετικά πλαίσια και οδηγίες
  - iii. Επιχορηγήσεις προγραμμάτων



Αφού εξετασθούν όλοι οι παράγοντες και προκύψουν οι περιοχές που πληρούν τα κριτήρια επιλογής, ακολουθούν δύο θεωρητικές προσεγγίσεις για την επιλογή της πιο κατάλληλης. Αυτές είναι:

**1. Συγκριτική προσέγγιση:** όπου συγκρίνονται όλες οι πιθανές περιοχές με μια περιοχή αναφοράς που μπορεί να είναι είτε μια περιοχή υπάρχουσας και καλά λειτουργούσας μονάδας, είτε ένα πρότυπο αποδεκτών κριτηρίων.

**2. Αριθμητική προσέγγιση ταξινόμησης:** όπου πραγματοποιούνται διάφοροι υπολογισμοί και οι περιοχές συγκρίνονται κατά τρόπο αριθμητικό. Αυτή είναι μια συστηματικότερη και πιο διαφανής προσέγγιση, καθώς αφήνει μικρότερα περιθώρια για υποκειμενικότητα και προσωπική κρίση.

Στη συνέχεια, αφού εκτιμηθούν οι παράγοντες και προταθούν θέσεις, θα ακολουθήσει η οικονομική ανάλυση της εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης της προτεινόμενης μονάδας. Χαρακτηριστικές έννοιες που συνοδεύουν αυτήν την ανάλυση είναι οι παρακάτω (Σπύρου Ι., 2009):

- ✓ Ο χρόνος ζωής του έργου, δηλαδή η χρονική διάρκεια πέραν της οποίας γίνεται ανακατασκευή ή ανανέωση. Αυτός μπορεί να ορίζεται για 10, 15, 20 ή και 25 χρόνια.
- ✓ Ο πληθωρισμός, καθώς ορίζει την αύξηση ή μείωση της τιμής των αγαθών. Την μία χρονιά μπορεί να είναι 1%, την επόμενη ή μεθεπόμενη χρονιά μπορεί να γίνει 4 ή 5%.
- ✓ Στην περίπτωση δανεισμού χρημάτων για την εγκατάσταση, προσδιορίζεται η διάρκεια αποπληρωμής και το επιτόκιο. Η διάρκεια αποπληρωμής ορίζεται ως το πλήθος των ετών που απαιτούνται ώστε τα αναμενόμενα καθαρά έσοδα (έσοδα μείον τα λειτουργικά έξοδα) να αποπληρώσουν το ποσό της επένδυσης. Υπολογίζεται χωρίς την αναγωγή των διαφόρων ποσών σε παρούσα αξία (Παπαντώνης, 2007).

### 5.3 Περιβαλλοντική αποτίμηση

Προκειμένου να αναπτυχθεί ένα σχέδιο διαχείρισης, πρέπει να δοθεί η βέλτιστη λύση του ζητήματος. Στην προκειμένη περίπτωση η βέλτιστη λύση αποτελεί συνδυασμό της τεχνικής, οικονομικής και περιβαλλοντικής αποτίμησης. Το ζήτημα που πραγματεύεται η παρούσα μελέτη, δεδομένου ότι έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχει πρόβλημα, είναι η δυνατότητα επιτυχούς τροφοδοσίας με πόσιμο νερό στο νησί της Μήλου μέσω της λειτουργίας μονάδων αφαλάτωσης. Υπάρχει πρόβλημα ποσότητας, ποιότητας, μεθόδου κάλυψης των αναγκών σε νερό και έλλειψη σχεδίου διαχείρισης. Μία τυπική μονάδα αφαλάτωσης, χρειάζεται απαραίτητως παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια παράγουν αέριους ρύπους όπως CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> και στερεά σωματίδια. Το ζήτημα της κατανάλωσης συμβατικής μορφής ενέργειας και των αρνητικών επιδράσεων αυτής λαμβάνει παγκόσμια διάσταση. Χαρακτηριστική αρνητική επίδραση είναι η ρύπανση της ατμόσφαιρας.

Η τροφοδοσία μονάδων αφαλάτωσης γίνεται ως επί το πλείστον απευθείας με θαλασσινό νερό. Το θαλασσινό νερό είναι ένα τμήμα μόνο του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Σε αυτό συναντώνται βιοκοινωνίες πλαγκτονικών, σπονδυλωτών και ασπόνδυλων θαλάσσιων οργανισμών. Συχνά κατά την είσοδο του θαλασσινού νερού στη μονάδα, σημειώνεται θνησιμότητα μικρών οργανισμών, όπως μικρά ψάρια, πλαγκτόν και αυγά ψαριών, αλλά και μεγάλων θαλάσσιων ειδών λόγω πρόσκρουσης στον αγωγό εισροής.

Επίσης, από τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης είναι αναπόφευκτη η εκροή της άλμης. Συνήθως η άλμη διατίθεται στο θαλάσσιο οικοσύστημα. Αυτό συνεπάγεται την αύξηση της αλατότητας στα σημεία απόθεσης. Εδώ, αξίζει να σημειωθεί, ότι κατά την αντίστροφη όσμωση παρατηρείται ένα ποσοστό 30 - 70 % άλμης στην έξοδο, το οποίο επιφέρει συμπύκνωση κατά 1.3 - 1.7 φορές.

Επίσης κατά τη λειτουργία μιας μονάδας αφαλάτωσης σημειώνεται αύξηση της θερμοκρασίας. Ειδικότερα, κατά τη μέθοδο με εξάτμιση - θερμικές μέθοδοι σημειώνεται αύξηση κατά 10 - 15° C ενώ κατά τη μέθοδο με μεμβράνες - μηχανικές μέθοδοι περίπου 3 - 4° C.

Χαρακτηριστική είναι ακόμη η χημική ρύπανση του θαλάσσιου οικοσυστήματος καθώς και η ηχορύπανση. Η χημική ρύπανση επιδρά αρνητικά στο θαλάσσιο οικοσύστημα και προκαλείται κυρίως από:

- Προϊόντα διάβρωσης των εσωτερικών επιφανειών, με αποτέλεσμα η άλμη όταν εξέρχεται των μονάδων αφαλάτωσης να περιέχει συχνά μικρές ποσότητες βαρέων μετάλλων λόγω διάβρωσης (Μέθοδοι με εξάτμιση, κράματα χαλκού, νικελίου, χρωμίου, ψευδαργύρου - Αντίστροφη όσμωση, μη μεταλλικό εξοπλισμό, ανοξειδωτος χάλυβας, σίδηρο, νικέλιο, χρώμιο, μολυβδαίνιο). Τα βαρέα μέταλλα τείνουν να απορροφούνται από τα αιωρούμενα στερεά και να δεσμεύονται στα ιζήματα.
- Προσθήκη αντισκοριακών μέσων
- Προσθήκη οξέων
- Προσθήκη απολυμαντικών μέσων
- Προσθήκη αντιδραστηρίων κατά του αφρισμού και κροκιδωτικών
- Πλύση μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης

Η ηχορύπανση εντοπίζεται αρχικά στο στάδιο της κατασκευής και χαρακτηρίζεται ως παροδική. Στο στάδιο λειτουργίας, εξαρτάται από την τεχνική αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, στις μονάδες που λειτουργούν με αντίστροφη όσμωση, θόρυβος προκαλείται από τις αντλίες υψηλής πίεσης, τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας, τις τουρμπίνες καθώς και από τη λειτουργία κάποιων ακόμη μερών του συστήματος.

Επίσης η εγκατάσταση της αποφέρει υποβάθμιση της χρήσης γης και αισθητική όχληση. Για μια μονάδα 5.000 - 10.000 m<sup>3</sup>/ημέρα απαιτείται έκταση περίπου 10.000 m<sup>2</sup>. Η θέση της εγκατάστασης οφείλει να είναι σε απόσταση από τουριστικά θέρετρα και αρχαιολογικούς χώρους.

Τέλος σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις από τη δράση της μονάδας αφαλάτωσης παρατηρείται επίδραση στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα της περιοχής. Συχνά οι σωληνώσεις τροφοδοσίας θαλασσινού νερού και αποβολής άλμης βρίσκονται πάνω από τον υδροφορέα, με σαφή κίνδυνο εισροής θαλασσινού νερού λόγω διαρροής. Επομένως κρίνεται πολύ σημαντική η στεγάνωση των σωληνώσεων (Κεσανάκης, 2008).

Μία από τις εναλλακτικές λύσεις που έχουν προταθεί, είναι η εκμετάλλευση για τους σκοπούς της αφαλάτωσης θαλάσσιων πηγαδιών, καθότι είναι λιγότερες οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τα ανοιχτά συστήματα τροφοδοσίας, λόγω

π.χ. της φίλτρανσης μέσω της άμμου). Αυτή η μέθοδος δεν προτιμάται για μονάδες αφαλάτωσης μικρής δυναμικότητας λόγω των μικρών παροχών και χρειάζονται προσοχή γιατί είναι πολύ να πιθανόν να επηρεάζουν τον παράκτιο υδροφόρα.

Σύμφωνα με τους S. Lattemann, T. Horner (2007), η τεχνική της αφαλάτωσης, συμβάλλει στην ευημερία του ανθρώπου, προσφέρει πλεονεκτήματα κοινωνικοοικονομικής, τεχνικής και εκ πρώτης όψεως περιβαλλοντικής φύσεως. Παρόλες αυτές τις θετικές ενδείξεις, επιφέρει και ένα πολύ αρνητικό αποτέλεσμα στο θαλάσσιο οικοσύστημα και ίσως όχι μόνο στην περίπτωση που δεν ελέγχεται η διάχυση της άλμης. Η χρήση της τεχνολογίας οφείλει να είναι βιώσιμη. Γιατί, αν γίνει πιο λεπτομερής αναφορά, μια μονάδα αφαλάτωσης κατά τη λειτουργία της, επιβαρύνει το θαλάσσιο κόσμο με χημικές ουσίες, υψηλής θερμοκρασίας διαλύματα, βαρέα μέταλλα, νιτρικά, νιτρώδη, φωσφορικά, αμμωνιακά και πολλά παραπροϊόντα καθώς επίσης και την ατμόσφαιρα, εκπέμποντας καυσαέρια.

Με βάση λοιπόν, όσων αναφέρθηκαν, συμπεραίνεται ότι η εγκατάσταση μιας μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού οφείλει να προβλέπει:

- ✓ Την πηγή της ενέργειας, να είναι ανανεώσιμη, καθώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι φιλικές προς το περιβάλλον.
- ✓ Τον τρόπο τροφοδοσίας της μονάδας με το θαλασσινό νερό. Είναι προτιμότερο να μην υπάρχει απευθείας τροφοδοσία, δεδομένου ότι υπάρχει σημαντικά αρνητική επίπτωση στο θαλάσσιο οικοσύστημα.
- ✓ Προσεκτική και μελετημένη διάθεση της άλμης, με τις τακτικές που έχουν προταθεί σε ανωτέρω κεφάλαια.
- ✓ Προβάδισμα των μηχανικών τεχνολογιών-μεμβρανών λόγω μικρότερης αύξησης θερμοκρασιών.
- ✓ Προσεκτική χρήση χημικών ουσιών ανάμειξης.

## 5.4 Προγραμματισμός χρήσης τεχνολογιών για την κάλυψη των αναγκών της Μήλου

### Εκτίμηση αναγκών ύδρευσης με βάση στοιχεία κατανάλωσης

Κατά την εκπόνηση της παρούσας μελέτης έγινε συλλογή των στοιχείων σε σχέση με τις ποσότητες του νερού που παραλήφθηκαν από τη μονάδα αφαλάτωσης, καθώς και των ποσοτήτων του νερού που καταγράφηκαν από τους μετρητές παροχής που χρησιμοποιούνται για τη χρέωση των τελικών χρηστών. Τα στοιχεία αυτά συλλέχθηκαν από την οικονομική υπηρεσία του Δήμου. Στον πίνακα 9 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ποσότητες επεξεργασμένου νερού που παρέλαβε ο Δήμος από τη μονάδα αφαλάτωσης.

<b>Χρονικό διάστημα</b>	<b>Παραληφθήσα ποσότητα (m<sup>3</sup>)</b>
23/7/2007 - 23/10/2007	38680
23/10/2007 - 20/12/2007	18582
20/12/2007 - 31/12/2007	3487
<b>Σύνολο έτους 2007</b>	<b>60749</b>
1/1/2008 - 20/3/2008	29119
20/3/2008 - 20/6/2008	53609
20/6/2008 - 22/9/2008	96481
22/9/2008 - 20/12/2008	74117
20/12/2008 - 31/12/2008	3146
<b>Σύνολο έτους 2008</b>	<b>256472</b>
1/1/2009 - 20/3/2009	54625
20/3/2009 - 19/6/2009	99000
19/6/2009 - 20/9/2009	90146
20/9/2009 - 20/12/2009	105577
20/12/2009 - 31/12/2009	8569
<b>Σύνολο έτους 2009</b>	<b>357917</b>
1/1/2010 - 20/3/2010	62482
21/3/2010 - 20/6/2010	129284
21/6/2010 - 20/9/2010	93383
21/9/2010 - 21/12/2010	103087
21/12/2010 - 31/12/2010	8750
<b>Σύνολο έτους 2010</b>	<b>396986</b>
1/1/2011 - 20/3/2011	53756
21/3/2011 - 20/6/2011	91391
<b>Σύνολο έτους 2011 (μέχρι 20/6)</b>	<b>145147</b>

**Πίνακας 9:** Παραληφθήσες ποσότητες αφαλατωμένου νερού. Πηγή: Μελέτη αξιολόγησης προβλημάτων υδρευτικού δικτύου Δήμου Μήλου και ποιότητας νερού μονάδας αφαλάτωσης. Χάγιος Φώτιος, 2011

Στον πίνακα 10 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συνολικές ποσότητες που καταγράφηκαν από τους μετρητές παροχής (ρολόγια) του Δήμου που υπάρχουν πριν την τελική χρήση και δύνανται να τιμολογηθούν. Σημειώνεται εδώ ότι έχουν συμπεριληφθεί και οι καταγραφές από τους μετρητές από παροχές στις οποίες δεν γίνεται χρέωση της παροχής νερού (π.χ. σχολεία, δημοτικοί οργανισμοί κλπ). Επίσης η στήλη που αναφέρεται σε άλλες μη καταγραφείσες παροχές προκύπτει από εκτίμηση του διοικητικά υπεύθυνου του Δήμου σε σχέση με την παροχή νερού σε διάφορες χρήσεις (σκάφη κλπ) το οποίο δεν είναι δυνατόν να καταγραφεί με μετρητές.

Έτος	Καταγραφές μετρητών (m <sup>3</sup> )	Άλλες μη καταγραφείσες παροχές (m <sup>3</sup> )	Σύνολο (m <sup>3</sup> )	Απώλεια ύδατος
2009	244465	5000	249465	45%
2010	292450	5000	297450	40%

**Πίνακας 10:** Καταγραφές νερού που παραδόθηκε στους τελικούς χρήστες. Πηγή: Μελέτη αξιολόγησης προβλημάτων υδρευτικού δικτύου Δήμου Μήλου και ποιότητας νερού μονάδας αφαλάτωσης. Χάγιος Φώτιος, 2011

#### Εκτίμηση αναγκών με βάση πληθυσμιακά στοιχεία

Οι ανάγκες σε νερό ύδρευσης εκτιμώνται με βάση τα πληθυσμιακά στοιχεία που τηρούνται από την ΕΣΥΕ, και συγκεκριμένα τους πραγματικούς πληθυσμούς του 2001. Ο υπολογισμός του μόνιμου αλλά και του εποχιακού πληθυσμού για το 2011 έγινε σύμφωνα με τα καθοριζόμενα σε προηγούμενο κεφάλαιο. Οι μέσες ανάγκες ανά κάτοικο και ημέρα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της ζήτησης του νερού ύδρευσης των Δήμων και Δημοτικών Διαμερισμάτων φαίνονται στον πίνακα 11 που ακολουθεί.

Δημοτικό Διαμέρισμα	Ανάγκες lt/ημέρα Μόνιμοι κάτοικοι
Πέρα Τριοβασάλου	150
Τρυπητής	150
Τριοβασάλου	150
Μήλου	150
Αδάμαντος	150

**Πίνακας 11:** Μέση ημερήσια υδατοκατανάλωση πραγματικού πληθυσμού. Πηγή: Μελέτη αξιολόγησης προβλημάτων υδρευτικού δικτύου Δήμου Μήλου και ποιότητας νερού μονάδας αφαλάτωσης. Χάγιος Φώτιος, 2011

Εκτός από την μέση ημερήσια υδατοκατανάλωση ανά άτομο για τον υπολογισμό της ζήτησης νερού για ύδρευση απαιτείται ο προσδιορισμός των αναγκών ύδατος για δημόσια χρήση, απώλειες δικτύων και λοιπές χρήσεις. Για τον υπολογισμό των παραπάνω ποσοτήτων χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες παραδοχές όπως προέκυψαν από τη διεθνή βιβλιογραφία, τις διαθέσιμες πληροφορίες και τις υφιστάμενες υδραυλικές μελέτες στην υπό μελέτη περιοχή.

\* Το ποσοστό αναφέρεται στην υδατοκατανάλωση του πραγματικού πληθυσμού

\*\* Το ποσοστό αναφέρεται στη μέση συνολική υδατοκατανάλωση

	Πέρα Τριοβασάλου	Τρυπητής	Τριοβασάλου	Μήλου	Αδάμαντος
<b>Ανάγκες Δημόσιας Χρήσης*</b>	10%	10%	10%	10%	10%
<b>Απώλειες δικτύων**</b>	20%	20%	20%	20%	20%
<b>Λοιπές ανάγκες**</b>	5%	5%	5%	5%	5%

**Πίνακας 12:** Προσδιορισμός λοιπών αναγκών και απωλειών. Πηγή: Μελέτη αξιολόγησης προβλημάτων υδρευτικού δικτύου Δήμου Μήλου και ποιότητας νερού μονάδας αφαλάτωσης. Χάγιος Φώτιος, 2011

Η ζήτηση του νερού για ύδρευση υπολογίζεται τόσο σε ετήσιο επίπεδο όσο και σε μηνιαίο για κάθε Δημοτικό Διαμέρισμα της νήσου Μήλου. Για την εποχιακή κατανομή των αναγκών ύδρευσης του πραγματικού πληθυσμού, η μέση ημερήσια υδατοκατανάλωση ανά κάτοικο τροποποιείται σύμφωνα με τα παρακάτω ποσοστά.

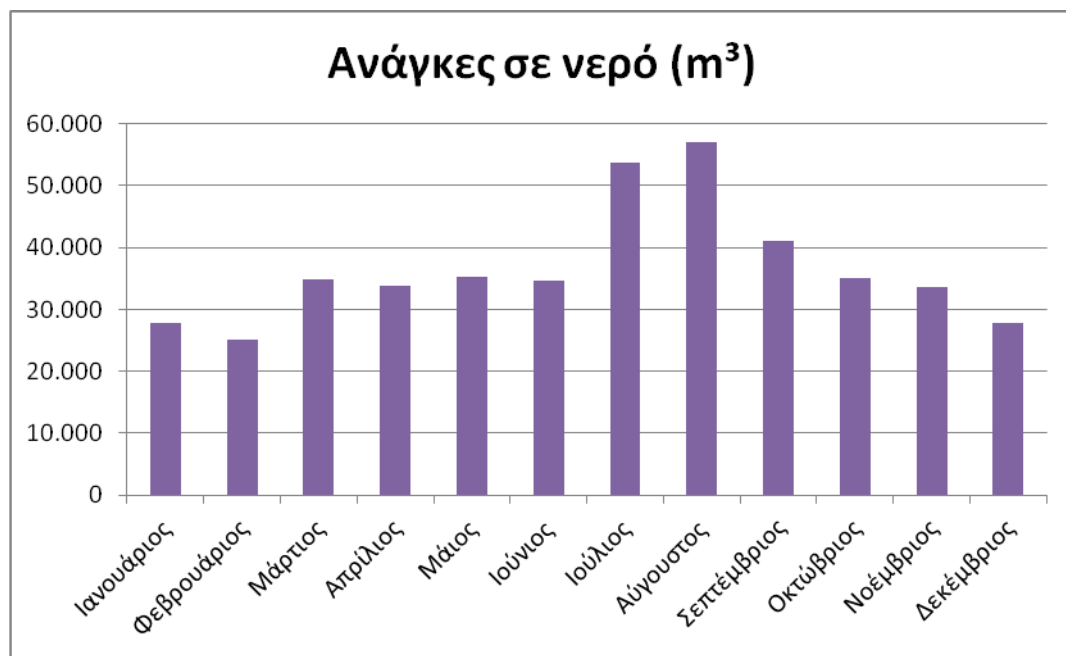
<b>Καλοκαίρι</b> (Ιούλιος, Αύγουστος, Σεπτέμβριος)	+20%
<b>Άνοιξη, Φθινόπωρο</b> (Μάρτιος, Απρίλιος, Μάϊος, Ιούνιος, Οκτώβριος, Νοέμβριος)	0%
<b>Χειμώνας</b> (Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος)	-20%

Στον πίνακα 13 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ανάγκες σε νερό ύδρευσης του μόνιμου πληθυσμού του Δήμου συμπεριλαμβανομένων και των λοιπών χρήσεων αλλά και των απωλειών.

<b>Μηνιαίες ανάγκες (m<sup>3</sup>)</b>						
	Πέρα Τριαβασάλου	Τρυπητής	Τριοβασάλου	Μήλου	Αδάμαντος	<b>Σύνολο</b>
Ιανουάριος	3.760	4.601	6.009	5.367	8.123	27.860
Φεβρουάριος	3.396	4.156	5.427	4.848	7.337	25.164
Μάρτιος	4.700	5.751	7.511	6.709	10.154	34.825
Απρίλιος	4.548	5.566	7.269	6.502	10.021	33.906
Μάιος	4.700	5.751	7.511	6.720	10.534	35.216
Ιούνιος	4.548	5.566	7.269	6.526	10.666	34.574
Ιούλιος	6.515	7.973	10.412	9.378	19.408	53.685
Αύγουστος	6.515	7.973	10.412	9.433	22.705	57.038
Σεπτέμβριος	5.458	6.679	8.723	7.822	12.405	41.086
Οκτώβριος	4.700	5.751	7.511	6.718	10.349	35.029
Νοέμβριος	4.548	5.566	7.269	6.492	9.827	33.702
Δεκέμβριος	3.760	4.601	6.009	5.367	8.123	27.860
<b>Σύνολο</b>	<b>57.148</b>	<b>69.934</b>	<b>91.332</b>	<b>81.882</b>	<b>139.652</b>	<b>439.944</b>

**Πίνακας 13:** Προσδιορισμός αναγκών μόνιμου πληθυσμού.

Πηγή: Μελέτη αξιολόγησης προβλημάτων υδρευτικού δικτύου Δήμου Μήλου και ποιότητας νερού μονάδας αφαλάτωσης. Χάγιος Φώτιος, 2011



**Διάγραμμα 5:** Οι μηνιαίες ανάγκες σε νερό του μόνιμου πληθυσμού της Μήλου.

Πηγή: Μελέτη αξιολόγησης προβλημάτων υδρευτικού δικτύου Δήμου Μήλου και ποιότητας νερού μονάδας αφαλάτωσης. Χάγιος Φώτιος, 2011



### **Υπολογισμός Υδρευτικών Αναγκών Εποχιακού Πληθυσμού**

Για τον υπολογισμό των αναγκών ύδρευσης του εποχιακού πληθυσμού χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των διανυκτερεύσεων που παρέχει η ΕΣΥΕ ανά Δημοτικό Διαμέρισμα, καθώς και συντελεστές ημερήσιας υδατοκατανάλωσης ανά παραθεριστή. Για τον υπολογισμό της συνολικής ζήτησης νερού ύδρευσης του εποχιακού πληθυσμού συνυπολογίστηκαν οι επισκέπτες των νησιών οι οποίοι δεν χρησιμοποιούν ξενοδοχειακά καταλύματα για την διαμονή τους, καθώς επίσης και αυτοί που διαμένουν σε δωμάτια τα οποία δεν είναι πιστοποιημένα από τον ΕΟΤ. Η κατανάλωση του νερού ύδρευσης του εποχιακού πληθυσμού ο οποίος διαμένει σε ξενοδοχεία και ενοικιαζόμενα δωμάτια υπολογίζεται από τις διανυκτερεύσεις που παρέχει η ΕΣΥΕ και τις υδατοκαταναλώσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 14.

Για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας υδατοκατανάλωσης του εποχιακού πληθυσμού λήφθηκε αυτή του πραγματικού πληθυσμού αυξημένη κατά 50%. Η λογική των μειωμένων αναγκών των παραθεριστών στα Δημοτικά Διαμερίσματα των μικρών Δήμων (<1000 κατοίκων) στηρίζεται στο ότι στους μικρούς Δήμους αναμένεται δημιουργία ενοικιαζόμενων δωματίων και μικρών ξενοδοχείων παρά μεγάλων ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων. Η χρονική διάρκεια της τουριστικής περιόδου θεωρείται το πεντάμηνο Μαΐου – Σεπτεμβρίου.

<b>Δημοτικό Διαμέρισμα</b>	<b>Ανάγκες lt/ημέρα Εποχιακοί / Παραθεριστές</b>
Πέρα Τριοβασάλου	225
Τρυπητής	225
Τριοβασάλου	225
Μήλου	225
Αδάμαντος	225

**Πίνακας 14:** Μέση ημερήσια υδατοκατανάλωση εποχιακού πληθυσμού. Πηγή: Μελέτη αξιολόγησης προβλημάτων υδρευτικού δικτύου Δήμου Μήλου και ποιότητας νερού μονάδας αφαλάτωσης. Χάγιος Φώτιος, 2011

Επιπλέον, υπάρχει ένας αριθμός τουριστών, οι οποίοι διαμένουν σε ενοικιαζόμενα δωμάτια, τα οποία δεν είναι πιστοποιημένα από τον ΕΟΤ και δεν καταγράφονται στα στοιχεία των διανυκτερεύσεων της ΕΣΥΕ. Για το λόγο αυτό ο Ανάδοχος προέβη σε προσαύξηση των διανυκτερεύσεων κατά 10% στα Δ.Δ. Πέρα Τριοβασάλου, Τρυπητής και Τριοβασάλου και 30% στα Δ.Δ. Μήλου και Αδάμαντος.

<b>Μηνιαίες ανάγκες (m<sup>3</sup>)</b>			
	<b>Μήλου</b>	<b>Αδάμαντος</b>	<b>Σύνολο</b>
Ιανουάριος	0	0	0
Φεβρουάριος	0	0	0
Μάρτιος	0	0	0
Απρίλιος	28	555	583
Μάιος	32	1.085	1.117
Ιούνιος	95	2.398	2.493
Ιούλιος	224	15.236	15.459
Αύγουστος	381	24.656	25.037
Σεπτέμβριος	88	1.751	1.839
Οκτώβριος	28	555	583
Νοέμβριος	0	0	0
Δεκέμβριος	0	0	0
<b>Σύνολο</b>	<b>875</b>	<b>46.236</b>	<b>47.112</b>

**Πίνακας 15:** Προσδιορισμός αναγκών εποχιακού πληθυσμού. Πηγή: Μελέτη αξιολόγησης προβλημάτων υδρευτικού δικτύου Δήμου Μήλου και ποιότητας νερού μονάδας αφαλάτωσης. Χάγιος Φώτιος, 2011

Σημαντικό ρόλο στη ζήτηση νερού ύδρευσης ασκούν και οι κάτοικοι, οι οποίοι διαμένουν στα νησιά τους καλοκαιρινούς μόνο μήνες σε ιδιόκτητα σπίτια (γηγενής τουρισμός). Σε πολλά νησιά το ποσοστό αυτό είναι ιδιαίτερα υψηλό. Για τον υπολογισμό της ζήτησης νερού του γηγενούς τουρισμού χρησιμοποιούνται οι μέσες ημερήσιες υδατοκαταναλώσεις που αφορούν τον πραγματικό πληθυσμό. Ο τουρισμός αυτός αφορά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.

<b>Μηνιαίες ανάγκες (m<sup>3</sup>)</b>						
	Πέρα Τριαβασάλου	Τρυπητής	Τριοβασάλου	Μήλου	Αδάμαντος	Σύνολο
Ιούλιος	1.945	2.380	3.108	2.776	4.202	14.410
Αύγουστος	1.945	2.380	3.108	2.776	4.202	14.410
<b>Σύνολο</b>	<b>3.889</b>	<b>4.760</b>	<b>6.216</b>	<b>5.552</b>	<b>8.404</b>	<b>28.820</b>

**Πίνακας 16:** Προσδιορισμός αναγκών γηγενούς πληθυσμού. Πηγή: Μελέτη αξιολόγησης προβλημάτων υδρευτικού δικτύου Δήμου Μήλου και ποιότητας νερού μονάδας αφαλάτωσης. Χάγιος Φώτιος, 2011

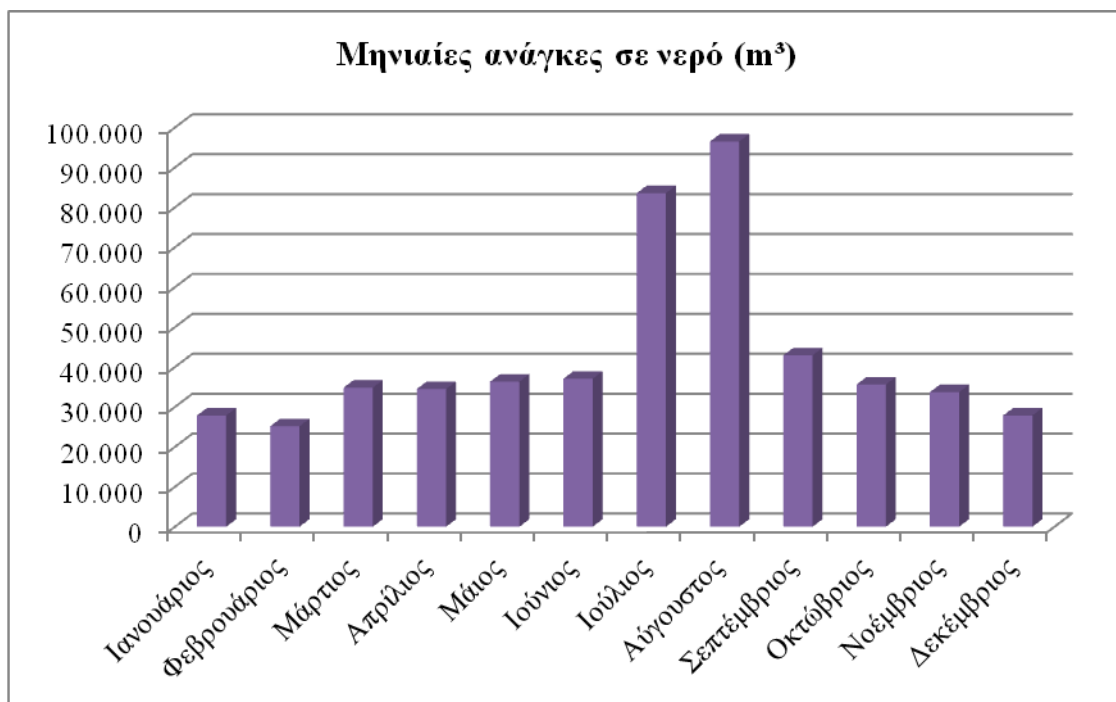
### Εκτίμηση συνολικών αναγκών ύδρευσης βάσει πληθυσμού

Οι συνολικές ανάγκες ύδρευσης ανά Δημοτικό Διαμέρισμα υπολογίσθηκαν όπως αναφέρεται στις προηγούμενες παραγράφους. Ο υπολογισμός τους γίνεται σε ενιαίο υπολογιστικό φύλλο για τους μόνιμους κατοίκους και τους παραθεριστές (συμπεριλαμβανομένου και του γηγενή τουρισμού), χωρίς όμως τις κτηνοτροφικές ανάγκες. Στον πίνακα 17 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συνολικές μηνιαίες ανάγκες του δήμου σε νερό ύδρευσης.

	<b>Μηνιαίες ανάγκες σε νερό (m<sup>3</sup>)</b>
Ιανουάριος	27.860
Φεβρουάριος	25.164
Μάρτιος	34.825
Απρίλιος	34.489
Μάιος	36.333
Ιούνιος	37.068
Ιούλιος	83.555
Αύγουστος	96.485
Σεπτέμβριος	42.925
Οκτώβριος	35.612
Νοέμβριος	33.702
Δεκέμβριος	27.860
<b>Σύνολο</b>	<b>515.878</b>

**Πίνακας 17:** Συνολικές μηνιαίες ανάγκες νερού ύδρευσης. Πηγή: Μελέτη αξιολόγησης προβλημάτων υδρευτικού δικτύου Δήμου Μήλου και ποιότητας νερού μονάδας αφαλάτωσης. Χάγιος Φώτιος, 2011

Η παραπάνω εκτίμηση γίνεται λαμβάνοντας απώλειες δικτύου 30%.



**Διάγραμμα 6:** Συνολικές μηνιαίες ανάγκες νερού ύδρευσης. Πηγή: Μελέτη αξιολόγησης προβλημάτων υδρευτικού δικτύου Δήμου Μήλου και ποιότητας νερού μονάδας αφαλάτωσης. Χάγιος Φώτιος, 2011

### **Συμπεράσματα**

Ο υπολογισμός των υδρευτικών αναγκών που έγινε στηριζόμενος σε πληθυσμιακά δεδομένα και αφορά στην υφιστάμενη κατάσταση (2011) παρουσιάζει σημαντική ταύτιση με τις τελικά προσδιορισμένες ανάγκες από τα οικονομικά στοιχεία του Δήμου για το έτος 2010 (515.877 m<sup>3</sup> έναντι 495.687 m<sup>3</sup>). Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η παραδοχή που έγινε από την προαναφερθείσα μελέτη για σημαντικές απώλειες δικτύου (της τάξης του 30%) ήταν κατά βάση σωστή και δίνει σε μεγάλο βαθμό την εξήγηση για το 40% της κατανάλωσης νερού του Δήμου το οποίο δεν καταγράφεται στους μετρητές ύδρευσης. Λαμβάνοντας υπόψη το δεδομένο του υψηλού κόστους απόκτησης του νερού από το Δήμο και της στρατηγικής σημασίας του νερού σαν αγαθό, ιδιαίτερα για ένα νησί με περιορισμένους υδατικούς πόρους και ταυτοχρόνως με μεγάλες υδρευτικές ανάγκες κατά τη διάρκεια της τουριστικής περιόδου, καθίσταται επιτακτική η άμεση αντιμετώπιση του φαινομένου των απωλειών στο δίκτυο ύδρευσης.

### Το ηλεκτρικό σύστημα

Όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια, η Μήλος είναι ένα αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα με τοπικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Στον τοπικό σταθμό της Μήλου υπάρχουν 11 θερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος (diesel και μαζούτ), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 19.5 MW. Ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι της τάξεως του 6%, ενώ η ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ήταν το 2008, 37.98 GWh. Η αιχμή ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας ήταν, για το ίδιο έτος, της τάξεως των 9.72 MW.

Μήνας	Ενέργεια από συμβατικές μονάδες (KWH)	Συνολική ενέργεια από ΑΠΕ (KWH)	Διείσδυση
Ιανουάριος	2.542.472	447.150	12,87
Φεβρουάριος	2.409.636	632.300	21,68
Μάρτιος	2.501.904	425.250	11
Απρίλιος	2.343.754	522.000	15,87
Μάϊος	2.440.056	337.200	7,67
Ιούνιος	2.451.340	413.400	10,75
Ιούλιος	3.813.759	420.380	7,88
Αύγουστος	4.210.227	711.136	14,28
Σεπτέμβριος	2.779.580	705.817	21,08
Οκτώβριος	1.840.241	505.600	22,04
Νοέμβριος	1.860.834	820.200	36,02
Δεκέμβριος	2.284.015	619.800	20,57
<b>Σύνολο</b>	<b>31.477.818</b>	<b>6.560.233</b>	<b>16</b>

**Πίνακας 18:** Διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Μήλο. Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος



**Διάγραμμα 7:** Διείδυση ΑΠΕ στο νησί της Μήλου. Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος

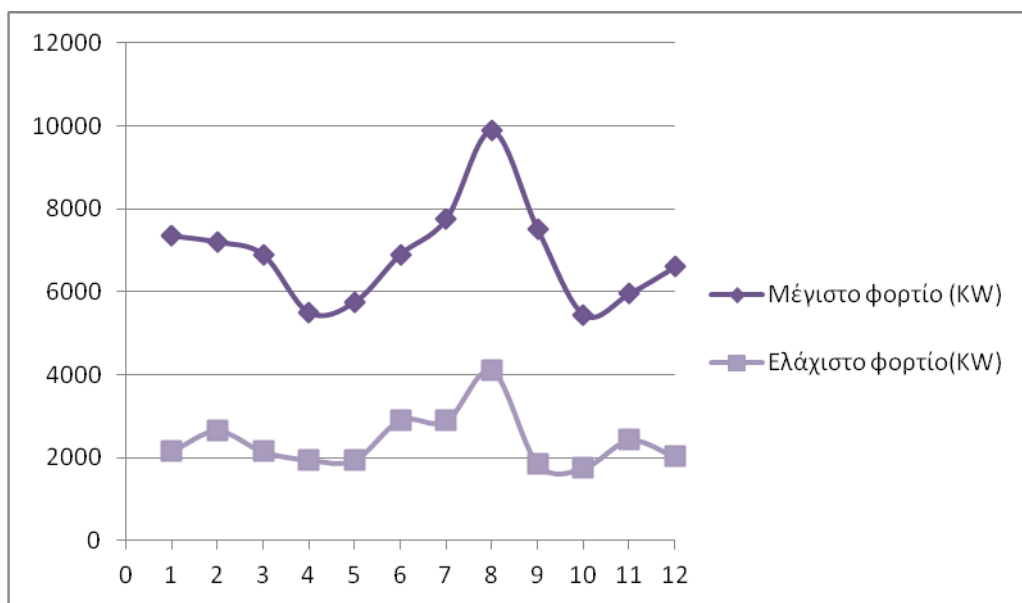
Από το διάγραμμα 7 είναι φανερό ότι τους χειμερινούς μήνες η διείδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι μεγαλύτερη από αυτή των καλοκαιρινών μηνών. Αυτό οφείλεται κυρίως στην μεγάλη ζήτηση ενέργειας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

### Αιγμές φορτίου

Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί πρώτα σε πίνακα και έπειτα σε γραφική μορφή η μηνιαία αιχμή του συστήματος, δηλαδή το μέγιστο φορτίο που θα πρέπει να εξυπηρετηθεί από την επιχείρηση ηλεκτρισμού κάθε μήνα και το ελάχιστο φορτίο. Με μια απλή διαίρεση αυτών υπολογίζεται και ο συντελεστής φορτίου κάθε μήνα.

Μήνας	Αιχμή φορτίου (KW)	Ελάχιστο φορτίο (KW)	Συντελεστής φορτίου (%)
Ιανουάριος	7.350	2.150	29,25
Φεβρουάριος	7.200	2.650	36,81
Μάρτιος	6.900	2.150	31,16
Απρίλιος	5.500	1.950	35,45
Μάιος	5.750	1.950	33,91
Ιούνιος	6.900	2.910	42,17
Ιούλιος	7.750	2.890	37,29
Αύγουστος	9.880	4.100	41,5
Σεπτέμβριος	7.500	1.850	24,67
Οκτώβριος	5.450	1.750	31,11
Νοέμβριος	5.950	2.420	40,67
Δεκέμβριος	6.600	2.030	30,76

**Πίνακας 19:** Συντελεστής φορτίου. Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντο

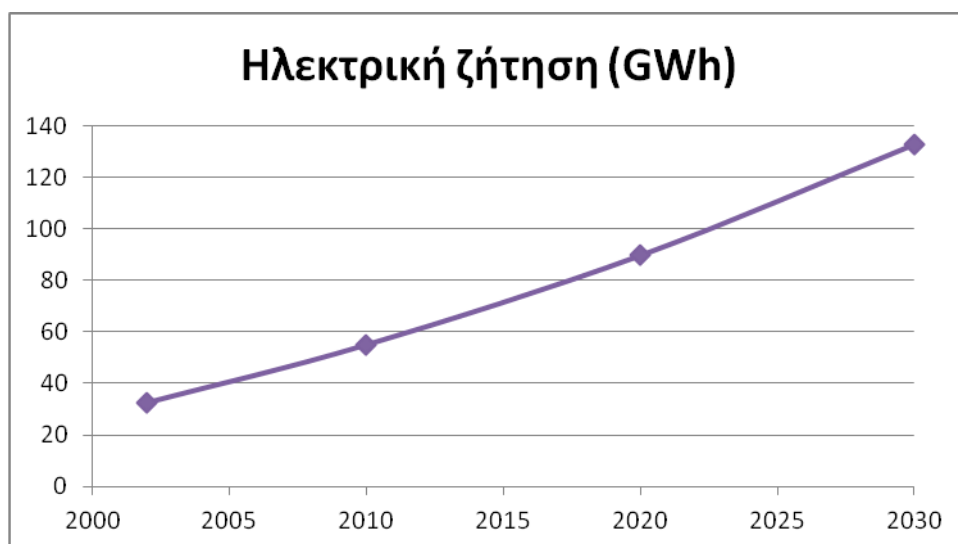


**Διάγραμμα 8:** Μηνιαία αιχμή και ελάχιστο φορτίο. Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος

Αν και η Μήλος είναι σχετικά μικρό νησί και με λίγους κατοίκους κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών, παρατηρείται ότι η αιχμή του φορτίου είναι αρκετά μεγάλη. Αυτό οφείλεται κυρίως στα ορυχεία που υπάρχουν στο έδαφος της. Δεν παρατηρούνται δηλαδή φαινόμενα όπως σε άλλα νησιά όπου η αιχμή φορτίου κατά τους θερινούς μήνες είναι υπερδιπλάσια από τους καλοκαιρινούς. Ο ετήσιος συντελεστής φορτίου υπολογίζεται από τον μέσο όρο των μηνιαίων συντελεστών και είναι ίσος με 34,65%.

2002 (GWh)	2010 Ρυθμός 2002 - 2010	GWh	2020 Ρυθμός 2010 - 2020	GWh	2030 Ρυθμός 2020 - 2030	GWh
32,06	7%	55,09	5%	89,73	4%	132,83

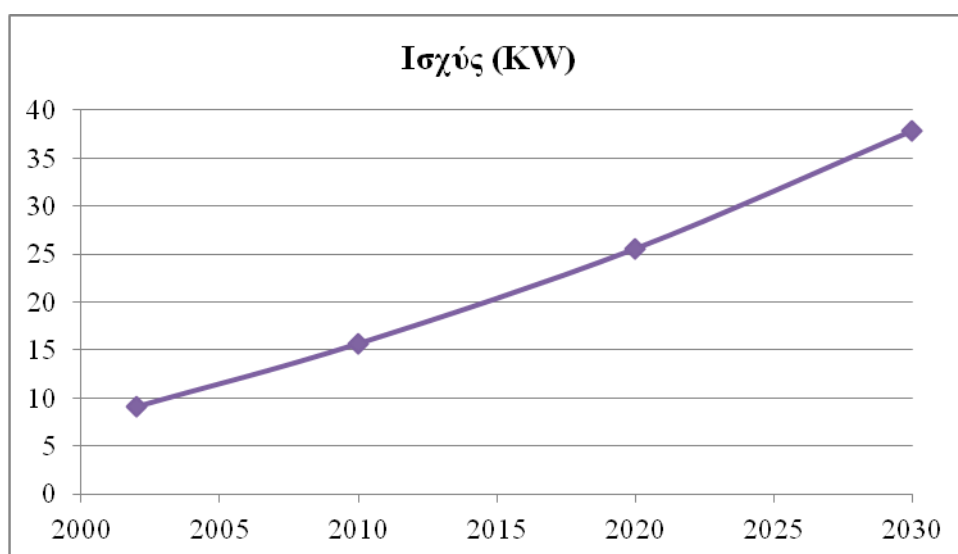
**Πίνακας 20:** Εξέλιξη της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια στην Μήλο. Πηγή: Προκαταρκτική μελέτη διασύνδεσης των Κυκλάδων με το Ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. ΕΜΠ 2004



**Διάγραμμα 9:** Εξέλιξη της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια στην Μήλο. Πηγή: Προκαταρκτική μελέτη διασύνδεσης των Κυκλάδων με το Ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. ΕΜΠ 2004

2002(MW)	2010	2020	2030		
9,15	15,72	25,61	37,91		
Ρυθμός 2002 - 2010	7%	Ρυθμός 2010 - 2020	5%	Ρυθμός 2020 - 2030	4%

**Πίνακας 21:** Εξέλιξη ισχύος στην Μήλο. Πηγή: Προκαταρκτική μελέτη διασύνδεσης των Κυκλάδων με το Ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. ΕΜΠ 2004



**Διάγραμμα 10:** Εξέλιξη ισχύος στην Μήλο. Πηγή: Προκαταρκτική μελέτη διασύνδεσης των Κυκλάδων με το Ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. ΕΜΠ 2004



### **Παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**

Στο νησί της Μήλου και πιο συγκεκριμένα στην θέση Κουτσουνοράχη είναι εγκατεστημένο αιολικό πάρκο αποτελούμενο από 4 ανεμογεννήτριες. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ήταν για το έτος 2008 της τάξεως των 2.65 MW. Στον πίνακα 22 παρουσιάζονται οι ανεμογεννήτριες με βάση τον κατασκευαστή τους καθώς και η ισχύς που προσφέρει η κάθε μία.

<b>Ισχύς πάρκου (MW)</b>	<b>Αριθμός Α/Γ</b>	<b>Κατασκευαστής</b>
1.2	2	ZOND
0.85	1	VESTAS
0.60	1	VESTAS

**Πίνακας 22:** Στοιχεία Α/Γ, Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος

Η τελευταία από τις παραπάνω Α/Γ εγκαταστάθηκε για να αντισταθμίσει την κατανάλωση ενέργειας από την αφαλάτωση που λειτουργεί στο νησί.

### **5.5 Προσδιορισμός των κύριων παραμέτρων της μονάδας αφαλάτωσης**

Το τιθέμενο πρόβλημα θα επιλυθεί λαμβάνοντας υπόψιν τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν στην Μήλο με βάση το αιολικό, ηλιακό και γεωθερμικό δυναμικό και τις ανάγκες του πληθυσμού του συγκεκριμένου νησιού. Αφού έχουν ήδη εκτιμηθεί οι ανάγκες του πληθυσμού σε νερό θα πρέπει να προσδιοριστεί η δυναμικότητα παραγωγής της μονάδας αφαλάτωσης καθώς και η ισχύς που αυτή καταναλώνει.

### **Ειδική καταναλισκόμενη ενέργεια ανά μέθοδο αφαλάτωσης**

Το κυριότερο κριτήριο για την επιλογή της μεθόδου αφαλάτωσης αποτελεί η ενέργεια που καταναλώνεται ανά κυβικό παραγόμενου νερού. Απαιτείται η μονάδα αφαλάτωσης να καταναλώνει όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια ανά κυβικό

παραγόμενου νερού. Στον πίνακα 23 που ακολουθεί παρατίθεται η ενέργεια που καταναλώνεται από τις διάφορες τεχνολογίες αφαλάτωσης σε kWh/m<sup>3</sup>. Είναι έκδηλο ότι η μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης για αφαλάτωση θαλασσινού νερού, καθώς και η ηλεκτροδιάλυση κατατάσσονται στις μεθόδους που έχουν τις λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις.

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδική ενέργεια (kWh/m <sup>3</sup> )
Άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (MSF)	10.0 - 14.5
Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (ME)	6.0 - 9.0
Απόσταξη με συμπίεση ατμών (VC)	7.0 - 15.0
Ηλεκτροδιάλυση (ED)	0.7 - 2.2
Αντίστροφη Ωσμωση (RO) - Υφάλμυρο νερό	0.5 - 2.5
Αντίστροφη Ωσμωση (RO) - Θαλασσινό νερό	4.0 - 13.0

**Πίνακας 23:** Ειδική καταναλισκόμενη ενέργεια ανά μέθοδο αφαλάτωσης. Πηγή: Voivontas, D. et al. , 2011

### **Κόστος αφαλάτωσης νερού και χρησιμοποιούμενη ενέργεια**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το κόστος τροφοδοσίας ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε ολικά διαλυτά στερεά μπορεί να χωριστεί σε υφάλμυρο και θαλασσινό. Σε περιπτώσεις που το νερό προς αφαλάτωση είναι υφάλμυρο το κόστος παραγωγής είναι μικρότερο σε σχέση με αυτό που θα είχε ένα ίδιο σύστημα που θα τροφοδοτείτο με θαλασσινό νερό. Λόγω της μικρότερης διαλυτότητας σε ολικά διαλυτά στερεά του υφάλμυρου νερού, το κόστος παραγωγής είναι μικρότερο σε σχέση με αυτό που θα είχε το ίδιο σύστημα που θα τροφοδοτούταν με θαλασσινό νερό. Ο κύριος λόγος είναι ότι η κατανάλωση του ρεύματος είναι μικρότερη, όπως επίσης και το κόστος συντήρησης. Γενικότερα, για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού, η αντίστροφη ώσμωση είναι η μέθοδος που θεωρείται πιο οικονομική . Παρόλα αυτά, κάποιες φορές χρησιμοποιούνται άλλες μέθοδοι όπως για παράδειγμα μια μονάδα αφαλάτωσης Πολυβάθμιας Εκρηκτικής Εξάτμισης στην νήσο Κίμωλο, η οποία εκμεταλλεύεται την γεωθερμία του νησιού παράγει 80 m<sup>3</sup> φρέσκο νερό την ημέρα με κόστος περίπου 2 €/ m<sup>3</sup>. Στον πίνακα 24 που ακολουθεί συνοψίζονται τα στοιχεία κόστους ανάλογα με το είδος της ενέργειας που χρησιμοποιείται.

<b>Νερό τροφοδοσίας</b>	<b>Ενεργειακό σύστημα</b>	<b>Κόστος ανά m<sup>3</sup> (€)</b>
	Συμβατικό	0,21-1,06
<b>Υφάλμυρο</b>	Φωτοβολταϊκά	4,5-10,32
	Γεωθερμικό	2,00
	Συμβατικό	0,35-2,70
<b>Θαλασσινό</b>	Ανεμογεννήτρια	1,00-5,00
	Φωτοβολταϊκά	3,14-9,00
	Ηλιακοί συλλέκτες	3,5-8,00

**Πίνακας 24:** Κόστος παραγωγής νερού με χρήση διαφορετικών μορφών ενέργειας. Πηγή: Voivontas, D. et al. , 2011

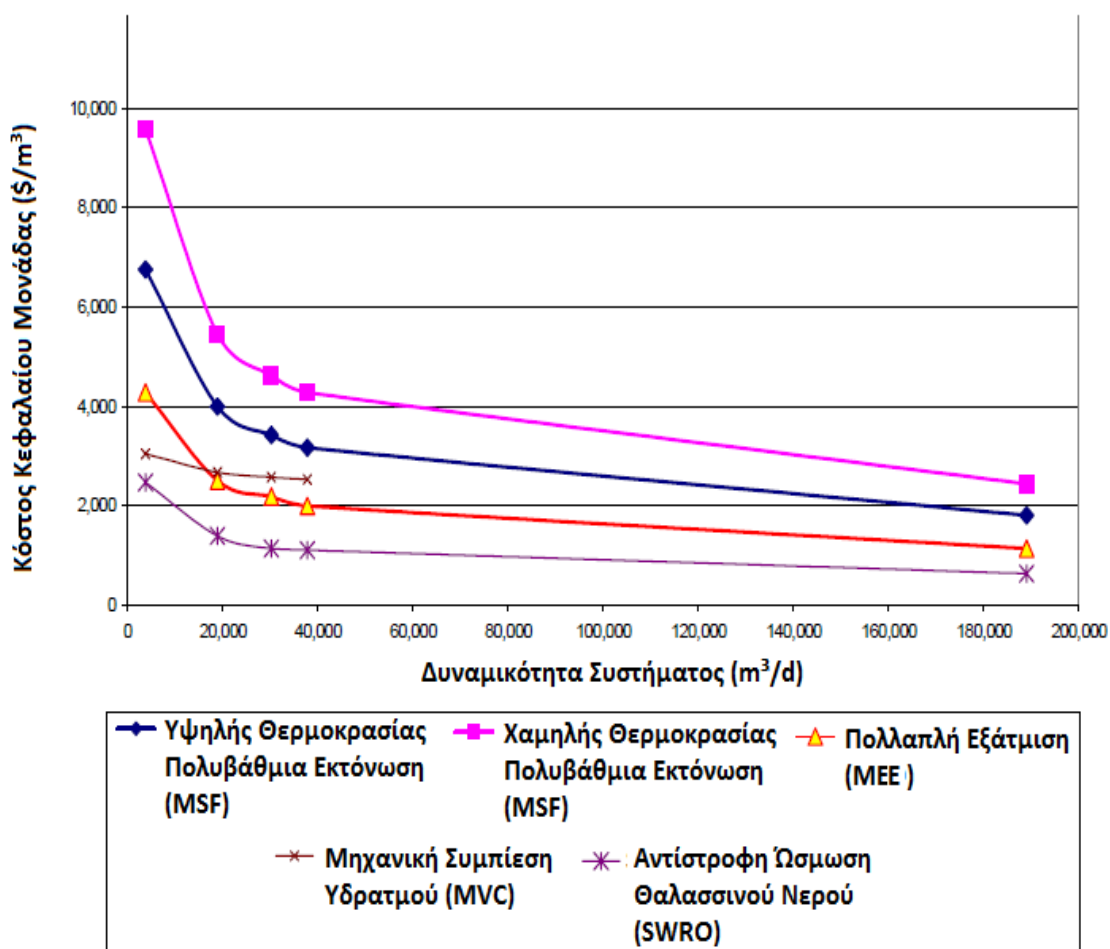
### **Κόστος αφαλάτωσης νερού για διαφορετικές μεθόδους αφαλάτωσης**

Οι θερμικές μέθοδοι αφαλάτωσης νερού θεωρούνται πιο ακριβές από τις αντίστοιχες των μεμβρανών διότι απαιτούν μεγάλες ποσότητες καυσίμων για την εξάτμιση του νερού τροφοδοσίας και τελικά την αφαλάτωσή του και χρησιμοποιούνται κυρίως για μεγάλα συστήματα, ώστε να επιτευχθούν οικονομίες κλίμακας. Γενικά, το κόστος αφαλάτωσης βαίνει μειούμενο τα τελευταία χρόνια, λόγω τεχνολογικής προόδου, η οποία έχει επιτρέψει τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, την εξέλιξη των χρησιμοποιούμενων υλικών αλλά και την χρησιμοποίηση νέων τεχνικών όπως είναι τα υβριδικά συστήματα. Στον πίνακα 25 παρουσιάζεται το κόστος παραγωγής φρέσκου νερού ανάλογα με την μέθοδο αφαλάτωσης.

<b>Μέθοδος αφαλάτωσης</b>	<b>Μέγεθος μονάδας (m<sup>3</sup>/μέρα)</b>	<b>Κόστος ανά m<sup>3</sup></b>
	<100	2,00-8,00
<b>MSF</b>	12.000-55.000	0,76-1,20
	>91.000	0,42-0,81
<b>MED</b>	23.000-528.000	0,42-1,40
<b>VC</b>	1.000-1.200	1,61-2,13

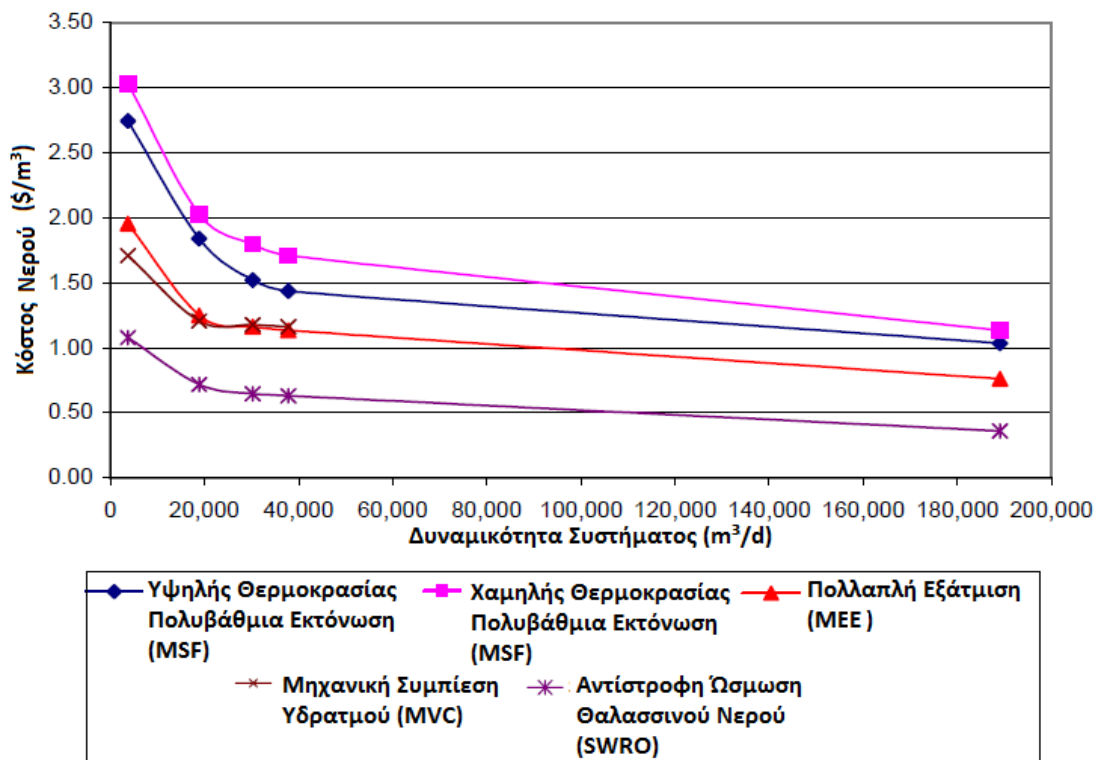
**Πίνακας 25:** Θερμικές μέθοδοι και κόστος παραγωγής φρέσκου νερού. Πηγή: Voivontas, D. et al. , 2011

Ένα ενδεικτικό κόστος κεφαλαίου ανά μονάδα για την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού παρουσιάζεται στα διαγράμματα 11 και 12 αντίστοιχα. Το ενδεικτικό κόστος του νερού για κάθε διεργασία αφαλάτωσης παρουσιάζεται στο διάγραμμα 13 για θαλασσινό νερό τροφοδοσίας και στο διάγραμμα 14 για υφάλμυρο νερό τροφοδοσίας.

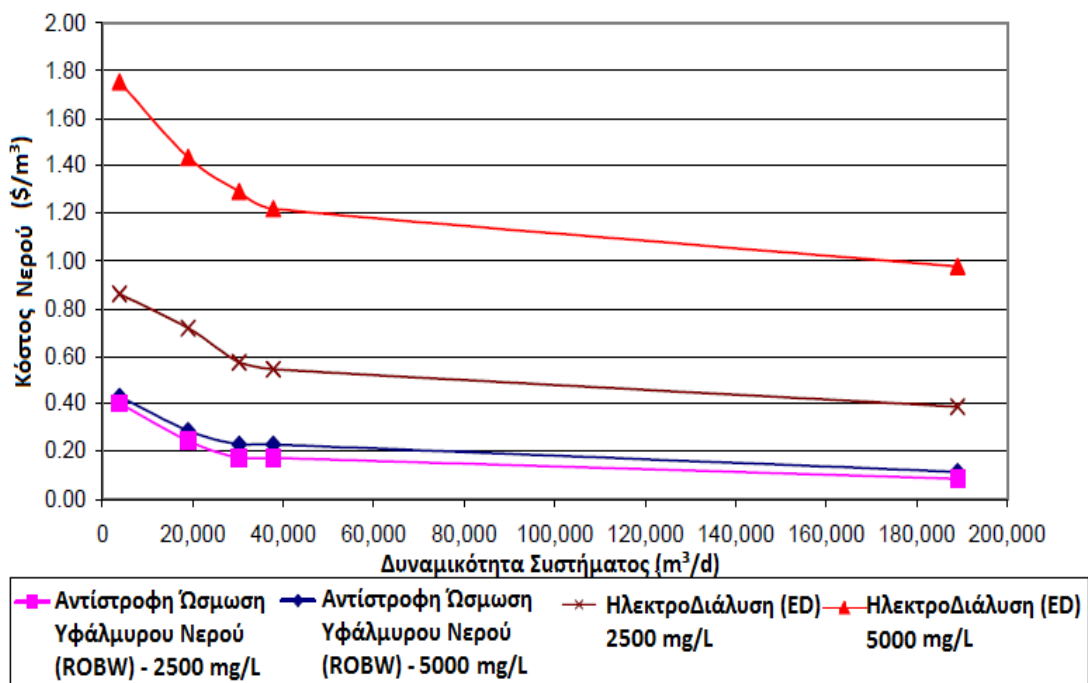


**Διάγραμμα 11:** Κόστος κεφαλαίου ανά μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.

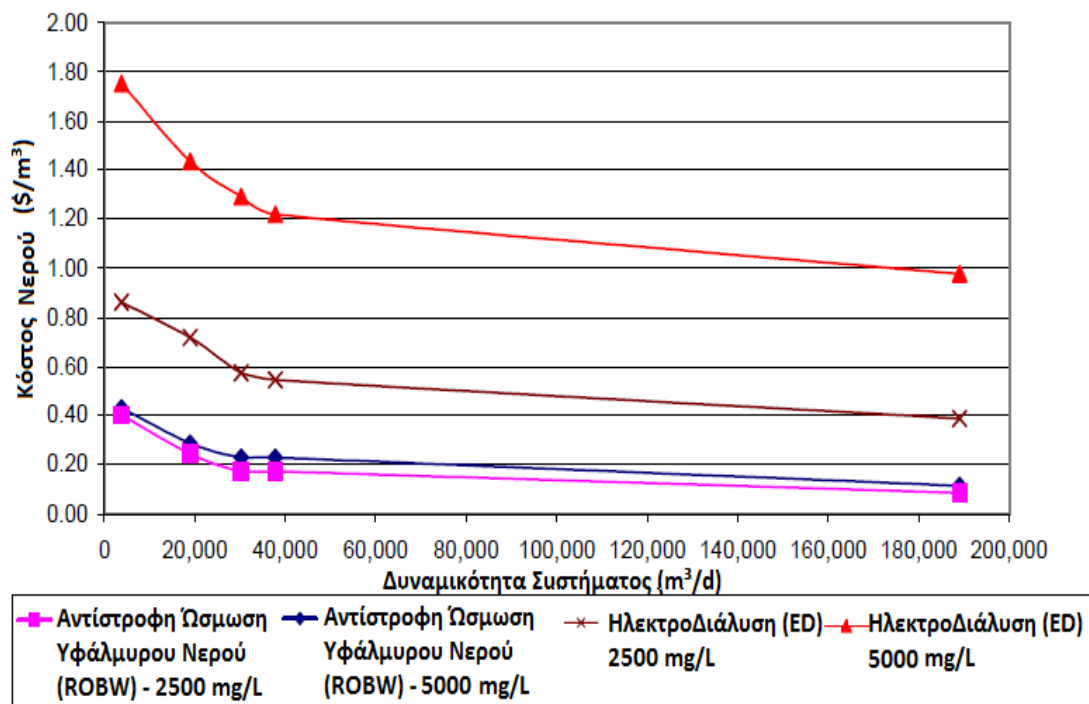
Πηγή: Bureau of Reclamation, Water Treatment Engineering and Research Group, Desalting Handbook for Planners, 3rd Edition, July 2004, Selection of Desalination Technologies, Tzen Eftihia



**Διάγραμμα 12:** Κόστος κεφαλαίου αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού. Πηγή: Bureau of Reclamation, Water Treatment Engineering and Research Group, Desalting Handbook for Planners, 3rd Edition, July 2004, Selection of Desalination Technologies, Tzen Eftihia



**Διάγραμμα 13:** Κόστος νερού αφαλάτωσης θαλασσινού νερού τροφοδοσίας. Πηγή: Bureau of Reclamation, Water Treatment Engineering and Research Group, Desalting Handbook for Planners, 3rd Edition, July 2004, Selection of Desalination Technologies, Tzen Eftihia



**Διάγραμμα 14:** Κόστος νερού αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού τροφοδοσίας. Πηγή: Bureau of Reclamation, Water Treatment Engineering and Research Group, Desalting Handbook for Planners, 3rd Edition, July 2004, Selection of Desalination Technologies, Tzen Eftihia

Γενικότερα, η ανάλυση όλων των οικονομικών δεδομένων που παρατέθηκαν παραπάνω απέδειξε ότι η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης (RO) τόσο θαλασσινού όσο και υφάλμυρου νερού τροφοδοσίας έχει την καλύτερη αναλογία μεταξύ κόστους και απόδοσης. Όσον αφορά τις θερμικές διαδικασίες, αυτή της μηχανικής συμπίεσης υδρατμού (MVC) είναι η πιο οικονομική όσον αφορά μικρότερα συστήματα, ενώ αυτή της πολλαπλής εξάτμισης (MEE) είναι η πιο οικονομική για μεγαλύτερης δυναμικότητας συστήματα. Για την επεξεργασία αποθεμάτων υφάλμυρου νερού ως νερό τροφοδοσίας με περιεκτικότητα άλατος 2.500-5.000 mg/L, η αντίστροφη ώσμωση είναι η πιο συμφέρουσα από όλες.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση γίνεται σαφές ότι η τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης είναι αυτή που συγκεντρώνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα, όσον αφορά το κόστος παραγωγής φρέσκου νερού αλλά και της ειδικής καταναλισκόμενης ενέργειας, σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες αφαλάτωσης. Προκειμένου να αξιοποιηθεί το ηλιακό, αιολικό και γεωθερμικό δυναμικό της Μήλου θα μπορούσαμε να συνδυάσουμε την ηλιακή (χρήση φωτοβολταϊκών) και αιολική ενέργεια (ανεμογεννήτριες) με την τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης, και την γεωθερμία με την θερμική μέθοδο της πολυβάθμιας εκτόνωσης.

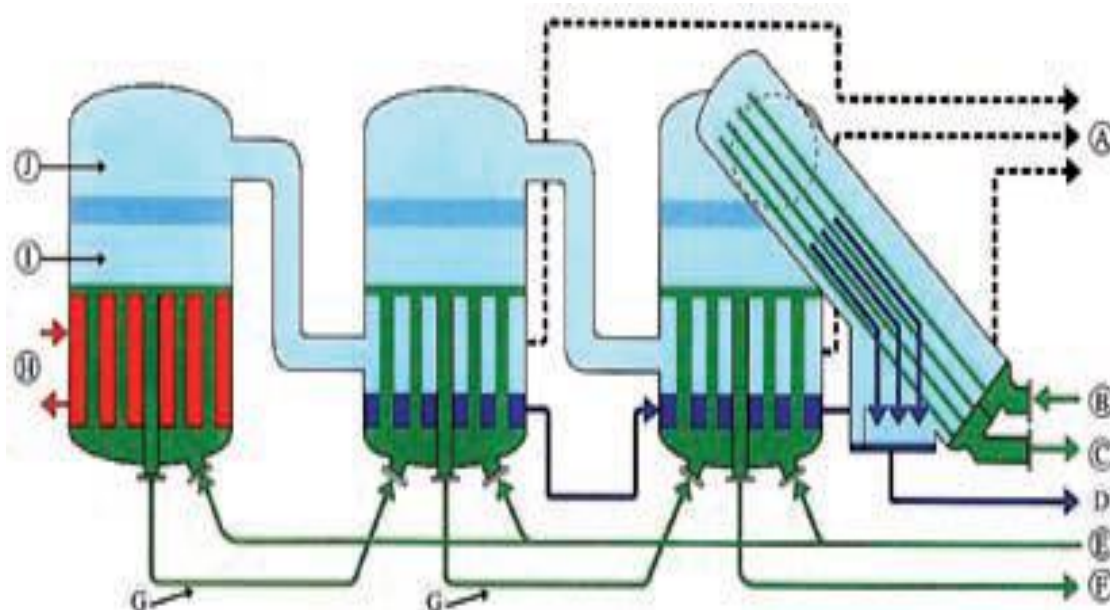
## 5.6 Η μονάδα αφαλάτωσης

Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης είναι η κάλυψη των αναγκών της Μήλου σε πόσιμο νερό να γίνει σε μεγάλο βαθμό από την γεωθερμία με την μέθοδο της πολυβάθμιας εκτόνωσης, και οι υπόλοιπες ανάγκες σε νερό να καλυφθούν από την ηλιακή και αιολική ενέργεια με την χρήση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών αντίστοιχα και την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης.

Για την λειτουργία της γεωθερμικής μονάδας αφαλάτωσης θα αξιοποιηθεί το γεωθερμικό δυναμικό χαμηλής ενθαλπίας του νησιού. Όπως έχουν ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο τα χαρακτηριστικά του βεβαιωμένου πεδίου χαμηλής ενθαλπίας του νησιού έχουν ως εξής :

- Έκταση 30 Km<sup>2</sup>
- Θερμοκρασία 45- 73 °C
- Βάθος ταμιευτήρα: 10 - 100 m
- Παροχή: 200 m<sup>3</sup>/h

Για τον υπολογισμό της ποσότητας νερού που θα παράγεται από την γεωθερμική μονάδα αφαλάτωσης θα χρησιμοποιηθούν στοιχεία από την μονάδα αφαλάτωσης με γεωθερμία που λειτουργεί στην Κίμωλο. Παρακάτω (Εικόνα 33) απεικονίζεται η συγκεκριμένη μονάδα η οποία λειτουργεί με την μέθοδο της πολυβάθμιας εκτόνωσης.



**Εικόνα 33:** Η μονάδα γεωθερμική αφαλάτωσης με την μέθοδο της πολυβάθμιας εκτόνωσης που λειτουργεί στην Κίμωλο. Πηγή: Η μονάδα γεωθερμικής αφαλάτωσης στην Κίμωλο. Καρύτσας.

Η μονάδα λειτουργεί με την μέθοδο της πολυβάθμιας εκτόνωσης MED, με απόσταξη υπό κενό σε κάθετους σωλήνες και χρησιμοποιεί χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμική ενέργεια, με θερμοκρασίες χαμηλότερες των 70° C. Σύμφωνα με τα στοιχεία παραγωγής πόσιμου νερού της μονάδας αφαλάτωσης στην Κίμωλο προκύπτει ο παρακάτω πίνακας.

	Γεωθερμικό νερό σε θερμοκρασία ταμειντήρα 60° C	Γεωθερμικό νερό σε θερμοκρασία ταμειντήρα 62° C
Παροχή γεωθερμικού νερού (m <sup>3</sup> /h)	Παραγωγή πόσιμου νερού (m <sup>3</sup> /h)	
50	2.89	3.09
60	3.55	3.80
70	3.98	4.25
80	4.33	4.62

**Πίνακας 26:** Ποσότητα παραγόμενου νερού ανά παροχή γεωθερμικού νερού. Πηγή: Η μονάδα γεωθερμικής αφαλάτωσης στην Κίμωλο. Καρύτσας.

Με βάση τον παραπάνω πίνακα και με δεδομένο ότι η παροχή γεωθερμικού νερού για το νησί της Μήλου είναι της τάξεως των 200 m<sup>3</sup>/h, η ποσότητα του παραγόμενου πόσιμου νερού θα είναι 10.825 m<sup>3</sup>/h για θερμοκρασία 60° C και 11.55 m<sup>3</sup>/h για θερμοκρασία 62° C. Οι ετήσιες ανάγκες σε νερό στο νησί, σύμφωνα με στοιχεία που έχουν αναλυθεί παραπάνω είναι 515.878 m<sup>3</sup>. Υποθέτοντας ότι η μονάδα θα λειτουργεί σε θερμοκρασία 62° C το νερό που θα παράγεται μέσα σε ένα έτος θα είναι: 11.55 m<sup>3</sup>/h \* 24 h/ημέρα \* 365 ημέρες/έτος = 101.178 m<sup>3</sup>/έτος. Επομένως από τα 515.818 m<sup>3</sup> νερού θα καλύπτονται από γεωθερμική μονάδα αφαλάτωσης τα 101.178 m<sup>3</sup>. Απομένουν 417.640 m<sup>3</sup> νερού τα οποία θα καλυφθούν από ηλιακή και αιολική ενέργεια.

Με τα νέα πλέον δεδομένα όπου οι ανάγκες σε νερό της Μήλου ανέρχονται σε 417.640 m<sup>3</sup> νερού, θα πραγματοποιηθεί η επιλογή της κατάλληλης μεμβράνης, για την κάλυψη σε νερό του νησιού από αιολική ενέργεια με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Ως στοιχείο μεμβράνης θα επιλεγεί η μεμβράνη με την κωδική ονομασία SW30HR-380 της εταιρείας DOW, τα χαρακτηριστικά στοιχεία λειτουργίας της οποίας παρέχονται στον πίνακα 27.



Μεμβράνη	Ενεργός επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	Πίεση λειτουργίας (bar)	Παροχή παραγόμενου νερού (m <sup>3</sup> /d)	Συντελεστής απόρριψης άλατος (%)
SW30HR-380	35	55	23	99.7

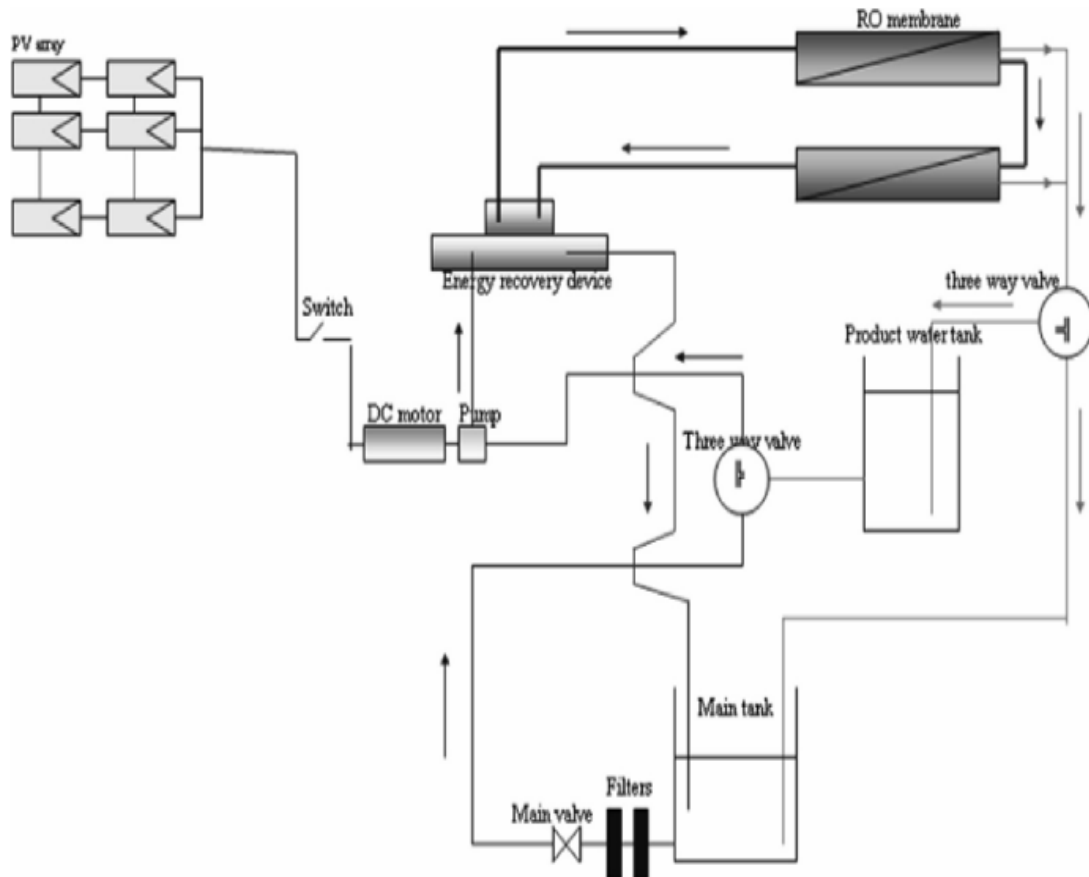
**Πίνακας 27:** Τα χαρακτηριστικά στοιχεία λειτουργίας της μεμβράνης SW30HR-380. Πηγή: [www.dow.com/liquidseps](http://www.dow.com/liquidseps)

Η συγκεκριμένη μονάδα αφαλάτωσης δεν θα λειτουργεί συνέχεια παρά μόνο τις ώρες με ηλιοφάνεια καθώς οι ανάγκες της σε ηλεκτρική ενέργεια θα καλύπτονται από φωτοβολταϊκά. Επομένως θα λειτουργεί περίπου 12 ώρες την ημέρα, δηλαδή περίπου 183 μέρες/έτος.

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε ότι η ετήσια παροχή του παραγόμενου νερού με χρήση της συγκεκριμένης μεμβράνης θα είναι:  $23 \text{ m}^3/\text{d} * 183 \text{ μέρες/έτος} = 4.209 \text{ m}^3/\text{έτος}$ . Επομένως θα χρειαστούμε:  $(417.640 / 4.209) = 99$  στοιχεία μεμβράνης. Επίσης δεδομένου ότι ο συντελεστής ανάκτησης είναι  $R = 13\%$  σύμφωνα με τις παρεχόμενες από την κατασκευάστρια εταιρεία προδιαγραφές η παροχή τροφοδοσίας κάθε στοιχείου μεμβράνης θα είναι  $4.209/0.13=32.377 \text{ m}^3$  νερού/έτος. Επομένως, η συνολική παροχή τροφοδοσίας θα είναι:  $99 \text{ μεμβράνες} * 32.377 \text{ m}^3 \text{ νερού/έτος/μεμβράνη} = 3.205.323 \text{ m}^3 \text{ νερού/έτος}$ .

Για την λειτουργία της μονάδας αντίστροφης όσμωσης, θα χρησιμοποιήσουμε την ηλιακή ενέργεια (φωτοβολταϊκά), για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτεί η μονάδα. Στην Εικόνα 34 απεικονίζεται σχεδιασμένη μια τυπική μονάδα αφαλάτωσης τεχνολογίας αντίστροφης όσμωσης, που χρησιμοποιεί φωτοβολταϊκά στοιχεία και στην οποία υπάρχει σύστημα επαναφοράς ενέργειας.

Η ικανότητα μετατροπής του φωτός σε ηλιακή ενέργεια με την φωτοβολταϊκή τεχνολογία είναι της τάξεως του 15 - 20%. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτεί μια μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση είναι της τάξεως των 4-5 kWh/m<sup>3</sup> νερού που παράγεται. Η συγκεκριμένη μονάδα θα παράγει 417.640 m<sup>3</sup> νερού/έτος, και αν υποθέσουμε ότι θα απαιτεί 5 kWh/m<sup>3</sup> νερού που παράγεται τότε η συνολικά απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια θα είναι  $417.640 \text{ m}^3 \text{ νερού/έτος} * 5 \text{ kWh/m}^3 = 2.088.200 \text{ kWh/έτος}$ .



**Εικόνα 34:** Απεικόνιση μονάδας αφαλάτωσης, αντίστροφης όσμωσης -Φωτοβολταϊκών στοιχείων – επαναφοράς ενέργειας. Πηγή: D. Manolakos, Essam Sh.Mohamed, I. Karagiannis, G. Papadakis, 2007

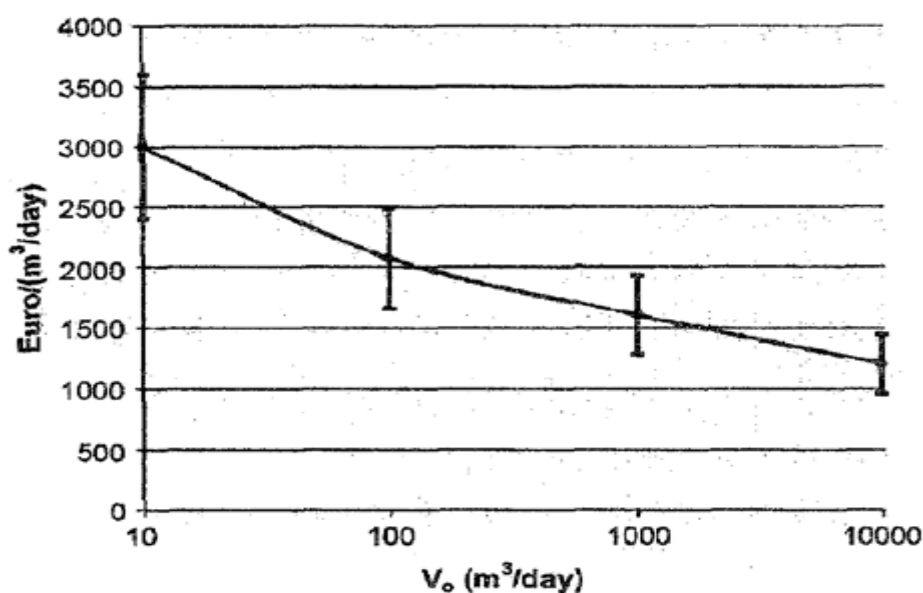
Από προηγούμενο κεφάλαιο γνωρίζουμε ότι η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία είναι της τάξεως των  $140,83 \text{ Kwh/m}^2$ , ενώ η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία της τάξεως των  $1780 \text{ Kwh/m}^2$ . Ας υποθέσουμε απαιτούμενη επιφάνεια εγκατάστασης του Φ/Β πάρκου περίπου  $10000 \text{ m}^2$ . Αν θεωρήσουμε απόδοση του φωτοβολταϊκού 15% και τις απώλειες της τάξεως των 17%, τότε:  $1780 \text{ Kwh/m}^2 * 10000 \text{ m}^2 * 15\% = 2.670.000 \text{ Kwh}$ . Και υπολογίζοντας και τις απώλειες, προκύπτει  $2.670.000 - 453.900 = 2.216.100 \text{ Kwh}$ . Άρα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από φωτοβολταϊκά υπερκαλύπτει τις ανάγκες της μονάδας αφαλάτωσης σε ηλεκτρική ενέργεια.

## 5.7 Κόστος αφαλάτωσης

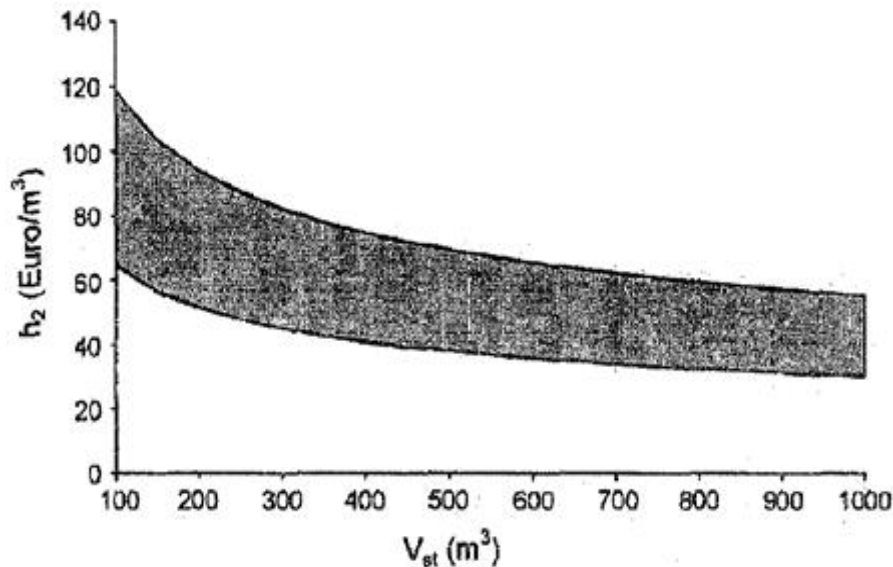
Στην περίπτωση της μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση, το κόστος της επένδυσης αποτελείται από δυο σκέλη: το αρχικό κόστος « $IC_{DU}$ », στο οποίο περιλαμβάνεται η αγορά και η εγκατάσταση όλου του εξοπλισμού της μονάδας

Αντίστροφης Όσμωσης (μεμβράνες, αντλίες, κ.λπ.) «IC<sub>RO</sub>», όπως και της δεξαμενής αποθήκευσης του αφαλατωμένου νερού «IC<sub>SR</sub>» και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας της μονάδας «FC<sub>DU</sub>». Χάριν απλοποίησης, το μεταβλητό κόστος συντήρησης και λειτουργίας θεωρείται μηδενικό. Είναι χαρακτηριστικό πως σε μια επένδυση αφαλάτωσης, το αρχικό κεφάλαιο αποτελεί το 30-37% του συνολικού κόστους, το 40-44% του συνολικού κόστους καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της εγκατάστασης δίνεται για τις απαιτήσεις σε ενέργεια, ενώ το 20-25% αποτελεί το υπόλοιπο κόστος συντήρησης και λειτουργίας της μονάδας. (Tchobanoglous, 2009).

Πιο αναλυτικά, μελέτες για τα ελληνικά δεδομένα (Kadellis et al., 2004) έχουν δείξει πως το αρχικό κόστος του βασικού εξοπλισμού της αφαλάτωσης μπορεί να εκφραστεί σαν συνάρτηση της ημερήσιας παροχής πόσιμου νερού «V<sub>o</sub>» δηλαδή:  $IC_{RO} = h_1 * V_o$  όπου ο παράγοντας  $h_1$  δίνεται στην εικόνα 35. Αντίστοιχα, το αρχικό κόστος για την αγορά και εγκατάσταση της δεξαμενής αποθήκευσης του παραγόμενου πόσιμου νερού εκφράζεται συναρτήσει του όγκου της δεξαμενής «V<sub>SR</sub>», δηλαδή  $IC_{SR} = h_2 * V_{SR}$  όπου ο  $h_2$  παράγοντας δίνεται στην εικόνα 36.



**Εικόνα 35:** Διακύμανση αρχικού κόστους μονάδας αφαλάτωσης συναρτήσει της δυναμικότητας της. Πηγή: Kadellis et al., 2004



**Εικόνα 36:** Διακύμανση αρχικού κόστους δεξαμενής αποθήκευσης νερού συναρτήσει του όγκου της. Πηγή: Kaldellis et al., 2004

Συνολικά, επομένως, το αρχικό κόστος της επένδυσης θα είναι:  
 $IC_{DU}=IC_{RO}+IC_{SR}=h_1 \cdot V_O+h_2 \cdot V_{SR}$

Για δυναμικότητα αφαλάτωσης  $V_O = 2.277 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$  και θεωρώντας την ακραία περίπτωση όπου όλη η ποσότητα του παραγόμενου νερού αποθηκεύεται σε δεξαμενή, δηλαδή  $V_{SR}=2.277 \text{ m}^3$ , από τις εικόνες 35 και 36 υπολογίζεται πως  $h_1=1.500 \text{ €/m}^3/\text{ημέρα}$  και  $h_2=30 \text{ €/m}^3$ .

Το συνολικό αρχικό κόστος της εγκατάστασης αφαλάτωσης θα είναι:  $IC_{DU}=1.500 \cdot 2.277+30 \cdot 2.277=3.483.810 \text{ €}$ . Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση γίνεται αντιληπτό πως το κόστος αγοράς της δεξαμενής αποθήκευσης νερού παίζει πολύ μικρό ρόλο στο αρχικό κόστος της συνολικής εγκατάστασης.

Όσον αφορά το σταθερό κόστος συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης αφαλάτωσης, αυτό δίνεται συναρτήσει του ετησίως παραγόμενου όγκου νερού « $V_t$ » χρησιμοποιώντας έναν συντελεστή « $\xi$ », και του κόστους κατανάλωσης ενέργειας. Θεωρώντας πως ο συντελεστής αυτός « $\xi$ » κυμαίνεται από 0,45 έως 0,65  $\text{€/m}^3$ , το κόστος συντήρησης και λειτουργίας για τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της μονάδας θα είναι:  $FC_{DU}=\xi \cdot V_t+\varepsilon_{DU} \cdot c_e \cdot V_t$ , όπου  $\varepsilon$  η ειδική κατανάλωση ενέργειας της μονάδας αφαλάτωσης που θεωρείται ίση με  $5 \text{ KWh/m}^3$  και  $c_e$  το ειδικό κόστος της ενέργειας, το οποίο σε σημερινές τιμές θεωρείται ίσο με  $0,10 \text{ €/KWh}$ . Έτσι, για μέση τιμή συντελεστή  $\xi=0.55$ , τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της εγκατάστασης, το κόστος

συντήρησης και λειτουργίας θα είναι:  $FC_{DU} = 0,55*417.640 + 5*0,1*417.640 = 438.522$  €, δηλαδή περίπου το 20% του αρχικού κόστους επένδυσης. Εδώ θα πρέπει να τονιστεί πως το σταθερό κόστος συντήρησης και λειτουργίας θα αναπροσαρμόζεται κάθε χρόνο βάσει του ετήσιου πληθωρισμού και του ρυθμού αύξησης της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα το οποίο θα τοποθετηθεί προκειμένου να καλύπτει τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια της μονάδας αφαλάτωσης είναι αξίας 8.500.000 €, που είναι ένα αρκετά υψηλό ποσό, και το οποίο θα μπορούσαμε να μειώσουμε με την τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας Vestas, ισχύος 0.83 MW η οποία θα μπορούσε να αντισταθμίσει τις ενεργειακές ανάγκες της μονάδας αφαλάτωσης.

Τέλος, το αρχικό κόστος επένδυσης/kWh για μια γεωθερμική μονάδα αφαλάτωσης κυμαίνεται από 2000€ - 3000€.

## **Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Συμπεράσματα**

Το πρόβλημα της έλλειψης νερού στα άνυδρα νησιά του Αιγαίου είναι οξύ. Η μεταφορά νερού επιβαρύνει σημαντικά το κράτος, ενώ η κακή ποιότητά του και η μη διαθεσιμότητά του πολλές φορές υποβαθμίζει το επίπεδο διαβίωσης των κατοίκων των νησιών και επιδρά αρνητικά στον τουρισμό. Η αφαλάτωση είναι η πλέον κατάλληλη λύση στο πρόβλημα και πρέπει να θεωρείται ανάγκη επιτακτική. Παράλληλα το δυναμικό των ΑΠΕ στα νησιά πρέπει να αξιοποιηθεί με εγκατάσταση μονάδων σε σύνδεση με τις αφαλατώσεις και το δίκτυο των νησιών, ώστε αφενός να καταστήσει τα έργα αυτά φιλικά προς το περιβάλλον και αφετέρου να μην επιβαρυνθούν τα ευαίσθητα αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα από πρόσθετες μεγάλες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Στην Μήλο υπάρχουν παραδείγματα εφαρμογών που αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των έργων αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ, ενώ οι σχετικές τεχνολογίες βρίσκονται σε αρκετά ώριμο στάδιο.

Παρόλα αυτά όμως το πλούσιο ανανεώσιμο δυναμικό της χώρας, δεν αξιοποιείται στην ένταση που θα μπορούσε. Σε πολλές περιοχές της Ελλάδος, κυρίως στα νησιά, η μέση ημερήσια ηλιοφάνεια είναι  $5,2 \text{ KWh/m}^2$ , ενώ φυσούν άνεμοι με μέση ταχύτητα  $10 \text{ m/sec}$ . Ωστόσο, σήμερα η διείσδυση των ΑΠΕ στην ενεργειακή παραγωγή των μη διασυνδεδεμένων νήσων (ΜΔΝ) δεν ξεπερνά το 11%. Η πρόταση εφαρμογής μιας μονάδας αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ στο νησί της Μήλου δεν έγινε τυχαία, αφού το συγκεκριμένο νησί διαθέτει αξιόλογο αιολικό (μέση ταχύτητα ανέμου  $6,225 \text{ m/sec}$ ), ηλιακό (μέση μηνιαία τιμή ηλιοφάνειας  $140,83 \text{ Kwh/m}^2$ ) και γεωθερμικό ( $120 - 200 \text{ Mwe}$ ) δυναμικό για ανάπτυξη των ΑΠΕ.

Όσον αφορά στον σχεδιασμό της μονάδας αφαλάτωσης, η επιλογή συμμετοχής σε αυτήν κάθε τεχνολογίας παροχής ισχύος αποτελεί συνισταμένη αρκετών παραγόντων που απαιτούν προσοχή κατά τον σχεδιασμό, καθώς δύο είναι τα βασικά κριτήρια που καθορίζουν την επιτυχία του σχεδιασμού μιας τέτοιας μονάδας: το χαμηλό κόστος υλοποίησης και η τεχνική της αξιοπιστία. Από τη μια, μια ενεργειακή επένδυση για να είναι οικονομικά βιώσιμη θα πρέπει να μπορεί το κόστος αγοράς, εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης του εξοπλισμού να είναι τέτοιο ώστε μέχρι το τέλος του οικονομικού κύκλου ζωής της επένδυσης, τα κέρδη από αυτήν να έχουν φτάσει σε επίπεδα που ικανοποιούν τον επενδυτή. Από την άλλη, η τεχνική αξιοπιστία της ενεργειακής επένδυσης σχετίζεται με παράγοντες όπως η σωστή συνέργεια μεταξύ

των τεχνολογιών ενεργειακής παραγωγής ή/και αποθήκευσης ενέργειας, η πιθανότητα μη παροχής ισχύος, η μη ικανοποίηση του φορτίου, το ποσοστό ενέργειας που παράγεται αλλά ξεπερνά τις ανάγκες των καταναλώσεων.

Το ελπιδοφόρο είναι ότι οι διαβουλεύσεις και οι σχεδιασμοί της πολιτείας είναι προς αυτές τις κατευθύνσεις, ωστόσο η δρομολόγηση έργων καθυστερεί. Γεγονός είναι ότι υπάρχουν ακόμα αρκετά σημαντικά ανοιχτά ζητήματα, όπως ο προσδιορισμός των των υδρευτικών αναγκών, η επιλογή των κατάλληλων θέσεων για την χωροθέτηση των έργων, η τιμολόγηση του νερού κ.ά. Η μελέτη αυτή δίνει απαντήσεις σε πολλά από αυτά τα ζητήματα.

Αρχικά απαιτείται επαναπροσδιορισμός των υδρευτικών αναγκών των νησιών και συγκεκριμένα της νήσου Μήλου. Η λογική που ακολουθείται από την πολιτεία να αποφασίζει τις υδρευτικές ανάγκες που θα καλύπτουν οι αφαλατώσεις βάσει των μεταφερόμενων ποσοτήτων νερού δεν είναι στη σωστή κατεύθυνση. Στον υπολογισμό πρέπει να ληφθεί υπόψιν το σύνολο των υδρευτικών απαιτήσεων της Μήλου και όχι ένα μέρος του.

Επιπλέον η λύση της αφαλάτωσης παρουσιάζεται ως εξαιρετικά οικονομική σε σύγκριση με τον μέχρι πρότινος βασικό τρόπο κάλυψης των αναγκών ύδρευσης μέσω μεταφοράς νερού, καθώς το κόστος παραγόμενου νερού προκύπτει πολύ χαμηλότερο του κόστους μεταφοράς νερού.

Στην συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε ο συνδυασμός 3 διαφορετικών ειδών ενέργειας, της ηλιακής, της αιολικής και της γεωθερμίας για τον σχεδιασμό μιας μονάδας αφαλάτωσης για παραγωγή πόσιμου νερού. Η ηλιακή και η αιολική ενέργεια θα συνδυαστούν με την τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης, και η γεωθερμία με την θερμική μέθοδο της πολυβάθμιας εκτόνωσης. Η αφαλάτωση με αντίστροφη ώσμωση απαιτεί χαμηλή ειδική ενέργεια συγκρινόμενη με αυτή που απαιτείται από τις υπόλοιπες μεθόδους. Το γεγονός αυτό καθιστά τη συγκεκριμένη μέθοδο ιδανική για εφαρμογή με τροφοδότηση από αιολική ενέργεια δεδομένου ότι ο βαθμός αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού μέσω Α/Γ είναι σχετικά μικρός.

Η υλοποίηση μονάδας αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ στο νησί της Μήλου είναι σίγουρα ένα σύνθετο έργο. Θα δώσει όμως στο νησί την ευκαιρία να ανεξαρτητοποιηθεί υδρευτικά και μάλιστα σε μια περίοδο που το πόσιμο νερό λιγοστεύει και η ενέργεια ακριβαίνει. Προβάλλει λοιπόν ως επιτακτική η ανάγκη να

προχωρήσει το έργο αυτό στο νησί της Μήλου, με το οποίο η φύση δεν ήταν απλόχερη με το νερό αλλά – αντισταθμιστικά θα έλεγε κανείς – το προίκισε με αιολικό, ηλιακό και γεωθερμικό δυναμικό που οφείλουμε να εκμεταλλευτούμε και να διαχειριστούμε αειφορικά.



## Βιβλιογραφία

- [1] Al-Enezi Ghazi, Fawzi Nagla (2002): *Design consideration of RO units: case studies*. Desalination, 153:281-286.
- [2] Avlonitis A.S., Kouroumbas K., Vlachakis N. (2003): *Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants*. Desalination 157: 151-158.
- [3] Darwish A.M., Al Asfour F., Al-Najem N. (2002): *Energy consumption in equivalent work by different desalting methods: case study for Kuwait*. Desalination 152: 83-92.
- [4] Cherkassky V.M. (1980): *Pumps fans compressors* (translated from the Russian by B.A. Nikolaev). Mir Publishers, Moscow.
- [5] Filteau Gerry, Moss Peter (1997): *Ultra-low pressure RO membranes:an analysis of performance and cost*. Desalination, 113: 147-152.
- [6] Gilau M. Amserom, Small J. Mitchell (2006): *Designing Cost-Effective Sea Water Reverse Osmosis System under Optimal Energy Options for Developing Countries*. Proceedings of the International Conference on Renewable Energy for Developing Countries, 2006.
- [7] Kaldellis J.K., Kavadias K.A., Kondili E. (2004): *Renewable energy desalination plants for the Greek islands-technical and economic considerations*. Desalination 170: 187-203.
- [8] Karagiannis C. Ioannis, Soldatos G. Petros (2007): *Current status of water desalination in the Aegean Islands*. Desalination 203: 56-51.
- [9] Kreith Frank (1999): *Mechanical Engineering Handbook*. CRC Press LLC.
- [10] Kurihara Masaru, Yamamura Hiroyuki, Nakanishi Takayuki, Jinno Synichirou (2001): *Operation and reliability of very high-recovery seawater desalination technologies by brine conversion two-stage RO desalination system*. Desalination 138: 191-199.
- [11] Γκάγκα Ανδρομάχη (2006): *Έρευνα για την αειφόρο ανάπτυξη στη Μήλο*.
- [12] Ελληνικός Οργανισμός Τουρισμού «Μελέτη Τουριστικής Ανάπτυξης Νοτίου Αιγαίου», Οκτώβριος 2003.
- [13] Επίσημος δικτυακός τόπος Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας Ελλάδος (www.hnms.gr)

- [14] Αναπτυξιακή Εταιρία Κυκλάδων Α.Ε., «*Ειδική Περιβαλλοντική Μελέτη Προγράμματος Βιοτόπου Οχιάς της Μήλου*», Αθήνα, Δεκέμβριος, 2001.
- [15] Τσενές, Η. «*Μελέτη Σκοπιμότητας για την ίδρυση αμιγούς δημοτικής Αναπτυξιακής Επιχείρησης*», Δήμος Μήλου, 2000.
- [16] Ανάπτυξη Συστημάτων και Εργαλείων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (No 14), «*Υποδομές και χρήσεις υδατικών πόρων δήμων και κοινοτήτων νήσων Αιγαίου*», Δήμος Μήλου.
- [17] Επίσημος δικτυακός τόπος Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (<http://www.oasp.gr/>).
- [18] Επίσημος δικτυακός τόπος Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδας (<http://www.statistics.gr/>).
- [19] Κοινοπραξία Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, «*Ανάπτυξη Συστημάτων και Εργαλείων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (No 14) – Υποδομές και Χρήσεις Υδατικών Πόρων Δήμων και Κοινοτήτων Νήσων Αιγαίου*», Υπουργείο Ανάπτυξης, Γενική Διεύθυνση Φυσικού Πλούτου, Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων, Μάρτιος 2004.
- [20] Επίσημος δικτυακός τόπος Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (<http://www.dei.gr/>).
- [21] Καρύτσας Κ., Μενδρινός Δ. «*Αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση*». 10<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας. Θεσσαλονίκη, 15-17 Απριλίου 2004.
- [22] 5<sup>ο</sup> Εθνικό συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας, Αθήνα 6-8 Νοεμβρίου 1996, Τόμος Α, σελίδα 478.
- [23] Αιολική Α.Ε., «*Μελέτη Σκοπιμότητας: Μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη νήσο Μήλο*», Αθήνα, Ιούλιος 2005.
- [24] Αλεξάκης Αλέξανδρος (1993): *Αφαλάτωση*. Εκδόσεις Μιχ. Σιδέρη, Αθήνα.
- [25] Τσακίρης Γιώργος: «*Το νερό στον 21ο αιώνα: Υπάρχει ελπίς;*» Κείμενα για την ολοκληρωμένη ανάπτυξη Δ.Π.Μ.Σ «Περιβάλλον και ανάπτυξη».
- [26] Ανδρίτσος Ν. «*Βιομηχανικό νερό, ποιότητα και επεξεργασία*. Παρουσίαση στο πλαίσιο του μαθήματος «Χημεία Περιβάλλοντος» του τμήματος Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων, Κοζάνη.
- [27] Wangnick/GWI. 2005. «*2004 worldwide desalting plants inventory*». Global Water Intelligence, Oxford, England.

- [28] Loupasis Stylianos (2002): *Renewable Energy Driven Desalination Systems—REDDDES: Technical analysis of existing RES desalination schemes*. Altener Programme.
- [29] Liu K.C. Clark, Park Jae-Woo, Migita Reef, Qin Gang (2002): *Experiments of a prototype wind-driven reverse osmosis desalination system with feedback control*. Desalination 150: 277-287.
- [30] Pestana I., Lattore F., Espinoza C., Gotor A. (2004): *Optimaization of RO desalination systems powered by renewable energies. Part I: Wind Energy*. Desalination, 160: 293-299.
- [31] Χαντζιάρας Βασίλειος (2000): *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μονάδες αφαλάτωσης: προοπτικές ένταξης στο Ν.Δωδεκανήσων*. Διπλωματική εργασία για την σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π.
- [32] Ταβέλης Φροίξος (2004): *Προοπτικές αφαλάτωσης με αιολική ενέργεια στην Κύπρο*. Διπλωματική εργασία για την σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π.
- [33] Fridleifsson, I.B., 2001. Geothermal energy for the benefit of the people. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5, 299-312.
- [34] Lunis, B. and Breckenridge E, R., 1991. Environmental considerations. In: Lienau, P.J. and Lunis, B.C., eds., *Geothermal Direct Use, Engineering and Design Guidebook*, Geo-Heat Center, Klamath Falls, Oregon, pp. 437 – 445.
- [35] Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, Αθήνα 2001. «*Guide for the Training of Engineers in the Electricity Production Technologies from Renewable Energy Sources*».
- [36] Αρθούρος Ζερβός, 2007. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*.
- [37] Μάλτας Ε., 2007. «*Σχεδιασμός και Έλεγχος Αυτόνομου Υβριδικού Συστήματος Ηλεκτροπαραγωγής Τύπου Φ/Β, Α/Γ και Θ/Η για την Οικονομικότερη Λειτουργία του*». Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνική Σχολή Δ.Π.Θ., Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ξάνθη.
- [38] Ασημακόπουλος Δ., Καρταλίδης Α., Αραμπατζής Γ., 2010. «*Αφαλάτωση με ΑΠΕ στα Άνδρα Νησιά*». Ημερίδα , ΠΕ, Αθήνα, Σεπτέμβριος.
- [39] Μανωλάκος Δ., 2008. *Συστήματα Αφαλάτωσης στο Νησιωτικό Χώρο*. Ημερίδα για τη Χωροθέτηση των ΑΠΕ, για τους Υδάτινους Πόρους στο Αιγαίο και την Αφαλάτωση. Άνδρος, Οκτώβριος.