

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ



**ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ»**

**ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ
ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**



ΠΑΣΙΣΗΣ Β. ΙΩΑΝΝΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2011

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΠΑΣΙΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ – ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

- **Παπαδάκης Γεώργιος – Καθηγητής (Επιβλέπων)**
- **Θεοχάρης Τσούτσος – Αναπληρωτής Καθηγητής**
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείο Κρήτης
- **Χρήστος Καραβίτης - Λέκτορας**

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ, καταρχήν, πολύ τον επιβλέποντα καθηγητή κο Γεώργιο Παπαδάκη για την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε.

Επίσης, ευχαριστώ πολύ όλους τους φίλους που με βοήθησαν στη συλλογή του υλικού για τη συγγραφή της εργασίας αυτής.

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

Περίληψη

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

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, η δυνατότητα εφαρμογής και η αξιοπιστία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στα συστήματα αφαλάτωσης έχουν συζητηθεί εκτενώς ως μια καινοτόμος προσέγγιση για την αφαλάτωση του νερού οικονομικά και περιβαλλοντικά φιλικά.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα πολλών ερευνητικών προγραμμάτων έχουν δείξει ότι ο συνδυασμός ΑΠΕ - αφαλάτωση θα μπορούσε να είναι οικονομικά ανταγωνιστική με τις συμβατικές μεθόδους ή άλλες πιθανές λύσεις σε απομακρυσμένες περιφέρειες όπου το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό και, ενδεχομένως, υπάρχει κατάλληλο δυναμικό ΑΠΕ.

Η μεταπτυχιακή αυτή διατριβή έχει ως στόχο να αξιολογήσει συστήματα αφαλάτωσης νερού τροφοδοτούμενα από ενέργεια που έχει παραχθεί από ΑΠΕ, ώστε να αντιμετωπιστεί καλύτερα το πρόβλημα της έλλειψης νερού που αντιμετωπίζεται σήμερα και το οποίο αναμένεται μελλοντικά να γίνει ακόμα πιο έντονο.

Στα πλαίσια λοιπόν αυτής της εργασίας γίνεται αρχικά αναφορά στο πρόβλημα έλλειψης νερού και στους παράγοντες που προκαλούν την έλλειψη αυτή. Ακολουθεί μία σύντομη αναφορά σε προτάσεις και λύσεις πάνω στο συγκεκριμένο πρόβλημα, όπως η μεταφορά νερού η κατασκευή φραγμάτων και η αφαλάτωση.

Έπειτα γίνεται μια ανάλυση στις μεθόδους αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται σήμερα. Οι μέθοδοι χωρίζονται σε θερμικές, στις οποίες απαιτείται θερμότητα και παρατηρείται αλλαγή φάσης, και σε μεμβρανών, στις οποίες το φρέσκο νερό διαχωρίζεται από την άλμη με χρήση ειδικών μεμβρανών. Σήμερα η κυρίαρχη μέθοδος σε όλον τον κόσμο είναι αυτή της αντίστροφης όσμωσης.

Λόγω του γεγονότος ότι για την αφαλάτωση του νερού είναι αναγκαία η χρήση ενέργειας, γίνεται αναφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αποτελούν τον πιο φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο παραγωγής ενέργειας, και ερευνάται πώς αυτές συνδυάζονται με τις διαφορετικές μεθόδους αφαλάτωσης.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται η αρχική αναφορά στις οικονομικές απαιτήσεις που μπορεί να έχει μία μονάδα αφαλάτωσης, δηλαδή στο κόστος αρχικής επένδυσης, διαχείρισης και λειτουργίας, συντήρησης, προσωπικού κτλ. Ακολουθεί αναφορά στα οικονομικά δεδομένα των σημαντικότερων μεθόδων αφαλάτωσης και στις

προοπτικές εξέλιξης. Ακολουθεί μία ανάλυση του τρόπου επιλογής μεθόδου αφαλάτωσης με βάση το νερό και τις ΑΠΕ. Τέλος γίνεται αναφορά στα γενικά κριτήρια για τη διαστασιολόγηση και την επιλογή σημαντικών παραμέτρων σε μία εγκατάσταση αφαλάτωσης.

Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύεται η αφαλάτωση με χρήση ηλιακής ενέργειας. Πρώτα γίνεται αναφορά σε φωτοβολταϊκά και θερμικά συστήματα και έπειτα αναλύονται όλα τα είδη ηλιακής αφαλάτωσης με κάθε πιθανό συνδυασμό με ΑΠΕ. Πρώτα αναφερόμαστε στην Αντίστροφη Όσμωση, μετά στην Ηλιακή πολλαπλή εξάτμιση, μετά στην Ηλιακή πολυβάθμια εκτόνωση, ακολουθεί η Ηλιακή θερμική και μηχανική συμπίεση ατμού με απορρόφηση και προσρόφηση και τέλος η ηλεκτροδιάλυση, η ύγρανση – αφύγρανση και ο ηλιακός αποστακτήρας.

Στο έκτο κεφάλαιο βλέπουμε την αφαλάτωση με αιολική ενέργεια. Αφού πρώτα γίνει αναφορά στα είδη αιολικών παρκών και στα προβλήματα που μπορεί να προκαλέσουν, μελετάμε μετά τους τρόπους αιολικής αφαλάτωσης (RO και MVC). Αυτό που παρατηρήσαμε είναι ότι ο σύστημα αντίστροφης όσμωσης γίνεται επιλογή, εάν υπάρχει τουλάχιστον κάποια αδύναμη διαθέσιμη σύνδεση με το δίκτυο ενώ αν πρόκειται για μεμονωμένες αιτήσεις για περαιτέρω μακρινούς χώρους, η διαδικασία με συμπίεση ατμού είναι μια πολύ κατάλληλη διαδικασία για την αφαλάτωση που οφείλεται στη μεταβλητότητα της λειτουργίας.

Στο 7^ο κεφάλαιο μελετάμε την προοπτική αφαλάτωσης με γεωθερμική και κυματική ενέργεια. Στην αρχή του κεφαλαίου γίνεται μία αναφορά στην γεωθερμική ενέργεια και στις χρήσεις της. Έπειτα, αφού πρώτα μιλήσουμε για τα γεωθερμικά πεδία γενικά και μετά αναφερθούμε σε αυτά στον Ελληνικό χώρο, θα αναλύσουμε την αφαλάτωση με γεωθερμική ενέργεια. Τέλος θα γίνει αναφορά και στην κυματική ενέργεια και στους τρόπους αφαλάτωσης με αυτή.

Το κεφάλαιο 8 αναλυτικότερα αναφέρεται στο κόστος μίας μονάδας, παραγωγής και μεταφοράς νερού. Παρατηρείται πως η αφαλάτωση νερού είναι αρκετά φθηνότερη σε σχέση με τη μεταφορά νερού με πλοία που είναι ο σημερινός τρόπος επίλυσης του προβλήματος της έλλειψης νερού. Στο τέλος του κεφαλαίου παραθέεται και ένα παράδειγμα σχεδιασμού μίας μονάδας αφαλάτωσης με τη χρήση προγράμματος των Χημικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Κλείνοντας, στο κεφάλαιο 9, γίνεται σύγκριση των τεχνολογιών που έχουν προαναφερθεί. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί αφαλάτωσης με ΑΠΕ. Ο πιο διαδεδομένος είναι Φ/Β-Αντίστροφη Όσμωση και ακολουθεί ο συνδυασμός Α/Γ- Αντίστροφη Όσμωση. Σε αυτό συνέβαλαν οι ραγδαίες βελτιωτικές εξελίξεις των τελευταίων ετών στη διάρκεια ζωής των μεμβρανών. Βέβαια η τεχνολογία συνδυασμού ΑΠΕ-αφαλάτωση μπορεί να προτείνεται ως “φθηνή” και φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική για παροχή πόσιμου νερού, αλλά η αλήθεια είναι πως ακόμα δε μπορεί να ανταγωνιστεί τις τιμές του νερού που παράγεται με συμβατικά καύσιμα, λαμβάνοντας υπόψη την τωρινή τιμή καυσίμων και το γεγονός ότι η τεχνολογία αυτή δε μπορεί να χαρακτηριστεί ακόμα ώριμη. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως ο συνδυασμός

ΑΠΕ-αφαλάτωση μπορεί να βρει χρήση, στην περίπτωση βέβαια που έχουν εξαντληθεί όλες οι άλλες συμβατικές μέθοδοι αφαλάτωσης. Δεδομένου ότι είναι αδύνατον να καλύψει όλες τις ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης, πρέπει να λειτουργεί συμπληρωματικά σε μια ευρύτερη πολιτική ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων και επ' ουδενί πρέπει να αντικαταστήσει τις προσπάθειες για συλλογή του βρόχινου νερού, τον περιορισμό των διαρροών από το δίκτυο ύδρευσης, και την επιλογή κατάλληλων καλλιεργειών στην αγροτική παραγωγή που δεν είναι υδροβόρες, έτσι ώστε να γίνεται η μέγιστη εξοικονόμηση νερού. Θα πρέπει λοιπόν, σε μελλοντικές εφαρμογές, να αποτελέσει προτεραιότητα η παράλληλη χρήση της τεχνολογίας αυτής, με αντίστοιχη παροχή κινήτρων.

Summary

Greece is one of the 7 European countries facing water scarcity problem. Desalination, compared with conventional interventions for water supply, has an advantage in terms of economic costs and environmental impacts. The biggest disadvantage of desalination systems are large energy requirements traditionally provided by conventional energy (fossil fuels and electricity).

During the last decade, the applicability and reliability of renewable energy sources (RES) in desalination systems has been extensively discussed as an innovative, economical and environmentally friendly approach to water.

Furthermore, the results of several research projects have shown that the combination of RES - desalination could be economically competitive with conventional methods or other possible solutions to remote areas where the cost of electricity is high and, with adequate resources RES.

This thesis aims to evaluate desalination systems powered by energy produced from RES in order to overcome the problem of the water shortage we face today and in the future is expected to become even more intense.

This thesis talks about the lack of water and the factors causing the shortage. First, there are some proposals and solutions on this particular problem. Following is an analysis of the desalination methods used today. There are two methods, heat and films. Heat requires a phase change, and films require fresh water to separated from the brine using special membranes. Currently the dominant method across the world is that of reverse osmosis.

The desalination of water requires energy. Renewable energy is the most environmentally friendly form of energy. This results in the investigation of the combinations between these forms of energy and the different methods of desalination.

Chapter 4 is the initial report on the financial requirements that a desalination plant requires. This includes the initial investment costs, operation and management, maintenance, personnel, etc. There is also a reference to the financial data of major desalination methods and outlook. There is also an analysis of the proper combinations between water desalination and electricity. Finally there is a reference to the general criteria for sizing and selection of important parameters in a desalination plant.

The next chapter analyzes the desalination using solar energy. First referring to photovoltaic and thermal systems and then analyzing all kinds of solar desalination in every possible combination with RES. In the sixth chapter we discuss desalination using wind power. First are mentioned the types of wind farms and their disadvantages.

In the seventh chapter we consider the prospect of desalination using geothermal and wave energy. The chapter is a reference to geothermal energy and its uses. Then after a first discussion about the geothermal fields in general we take a look in the Greek market.

Chapter 8 further analyses the cost of the whole unit, the production and transfer of water. It becomes clear that water desalination is quite cheaper than water transportation by ship, which is the current way of solving the problem of water shortage. At the end of the chapter we present an example of designing a desalination

plant using the program used by Chemical Engineering department at the University of Athens.

Finally, in chapter 9, we compare the technologies that have been mentioned. We conclude that there are many combinations of desalination with renewable energy. The most common is the PV Reverse Osmosis, followed by combination Wind- Reverse Osmosis. The improvement of the membrane life expectancy played an important role in the RO domination.

The combination of these technologies (RES and desalination) is thought to be "cheap" and environmentally friendly, but the truth is that they still cannot compete with the prices of water that is being produced by fossil fuels, taking into account the current value of fuel and the fact that this technology can not be identified as mature.

This leads us to the conclusion that the combination of RES-desalination may find use only when we exhausted all other conventional desalination methods. Since it is impossible to cover all the needs for drinking water and irrigation, it should be complementary to a broader policy of integrated water resources management and in no way it should replace efforts to collect rainwater, reducing leakage from the water supply, and selecting not water-intensive crops in agriculture is, in order to make the maximum water conservation.

Περιεχόμενα

Εξεταστική Επιτροπή	i
Ευχαριστίες	ii
Περίληψη	iii
Κεφάλαιο 1. Έλλειψη νερού και τρόποι λύσης του προβλήματος	1
1.Εισαγωγή.....	2
1.1.Έλλειψη νερού.....	3
1.2.Παράγοντες που προκαλούν την έλλειψη.....	4
1.3.Προτάσεις και λύσεις.....	5
1.3.1.Μεταφορά νερού.....	5
1.3.2.Κατασκευή φραγμάτων.....	6
1.3.3.Αφαλάτωση.....	7
Κεφάλαιο 2. Τρόποι αφαλάτωσης	8
2.Εισαγωγή.....	9
2.1.Μέθοδοι αφαλάτωσης.....	9
2.2. Μέθοδοι αφαλάτωσης με βάση την απόσταση.....	10
2.2.1.Απόσταση πολλαπλής φάσης.....	10
2.2.2.Εξάτμιση πολλαπλής επίδρασης.....	11
2.2.3.Συμπίεση ατμών.....	11
2.2.4.Μηχανική συμπίεση ατμού.....	12
2.2.4.1.Ενεργειακές απαιτήσεις συστήματος MVC.....	14
2.3.Μέθοδοι αφαλάτωσης με διεργασίες μεμβράνης.....	14
2.3.1.Αντίστροφη Ηλεκτροδιάλυση.....	14
2.3.2.Ηλεκτροδιάλυση.....	15
2.3.2.1.Αντιδράσεις ανόδου και καθόδου.....	16
2.3.2.2.Αποδοτικότητα ρεύματος.....	17
2.3.2.3.Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.....	17
2.3.2.4.Μονάδα Ηλεκτροδιάλυσης.....	18
2.3.3.Αντίστροφη Όσμωση.....	19
2.3.3.1.Υπολογισμός οσμωτικής πίεσης.....	22
2.3.3.2.Απόρριψη άλατος.....	23
2.3.3.3.Ανάκτηση προϊόντος.....	23
2.3.3.4.Διαφορετικά συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης.....	24
2.3.3.5.Μεμβράνες.....	25
2.3.4.6.Μοντελοποίηση RO – Εξισώσεις μεταφοράς μάζας.....	29
2.3.5.Νανοφιλτράρισμα.....	31
2.3.6.Ανταλλαγή Ιόντων.....	32
2.3.7.Απόσταση με μεμβράνες.....	32
2.4.Αφαλάτωση με ψύξη.....	33
2.5.Γεωθερμική αφαλάτωση.....	33
2.6.Ηλιακή Υγροποίηση/Αφυγροποίηση.....	33
2.7.Συμπεράσματα.....	34
Κεφάλαιο 3.Ενέργεια και αφαλάτωση	35
3.1.Εισαγωγή-Πηγές ενέργειας για αφαλάτωση.....	36
3.2.Συμβατικές μορφές ενέργειας.....	38
3.3.Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	39
3.3.1.Ηλιακή θερμική ενέργεια.....	39

3.3.2. Ηλιακή ενέργεια από φωτοβολταϊκά.....	40
3.3.3. Αιολική ενέργεια.....	41
3.3.4. Υβριδικά συστήματα.....	42
3.3.5. Βιομάζα.....	42
3.3.6. Γεωθερμία.....	42
3.3.7. Θαλάσσια ενέργεια.....	43
3.4. Προσαρμογή ΑΠΕ.....	44
3.5. Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ.....	47
3.6. Λόγοι χαμηλής διείσδυσης των ΑΠΕ.....	48
3.7. Συμμετοχή των ΑΠΕ στην αφαλάτωση.....	49

Κεφάλαιο 4. Αφαλάτωση, Οικονομικά κριτήρια, Διαστασιολόγηση και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....

4. Εισαγωγή-Οικονομικά δεδομένα αφαλάτωσης.....	51
4.1. Ανάλυση συνολικού κόστους.....	52
4.1.1. Κόστος επένδυσης.....	52
4.1.2. Κόστος διαχείρισης και λειτουργίας.....	52
4.1.3. Κόστος συντήρησης.....	52
4.1.4. Απαιτήσεις προσωπικού.....	53
4.1.5. Απαιτήσεις σε ενέργεια.....	53
4.2. Οικονομικά δεδομένα διαδικασιών αφαλάτωσης.....	54
4.2.1. Αντίστροφη Ώσμωση.....	54
4.2.2. Εξάτμιση πολλαπλής επίδρασης.....	56
4.2.3. Συμπύεση ατμών.....	56
4.3. Προοπτικές εξέλιξης.....	56
4.4. Επιλογή μεθόδου με βάση το νερό και τις ΑΠΕ.....	57
4.5. Γενικά κριτήρια για τη διαστασιολόγηση και την επιλογή σημαντικών παραμέτρων σε μία εγκατάσταση αφαλάτωσης.....	58
4.5.1. Νερό τροφοδοσίας.....	58
4.5.2. Ποιότητα παραγόμενου νερού.....	59
4.5.3. Μέγεθος μονάδας.....	59
4.5.4. Εναπόθεση άλμυς.....	59
4.6. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	60
4.7. Μέθοδοι άντλησης νερού – απόληψης αλμολοίπου.....	61
4.8. Σχετική νομοθεσία.....	65

Κεφάλαιο 5. Αφαλάτωση με τη χρήση ηλιακής ενέργειας.....

5.1. Εισαγωγή.....	67
5.2. Φωτοβολταϊκά στοιχεία.....	67
5.3. Ηλιακά θερμικά συστήματα.....	70
5.4. Αφαλάτωση με χρήση ηλιακής ενέργειας.....	72
5.4.1. Ηλιακή Αντίστροφη Ώσμωση.....	73
5.4.1.1. Α.Ο. με φωτοβολταϊκά.....	73
5.4.1.1.1. Α.Ο. Υφάλμυρου νερού με Φ/Β.....	73
5.4.1.1.2. Α.Ω θαλασσινού νερού με Φ/Β.....	75
5.4.1.2. Α.Ω με θερμικά ηλιακά συστήματα.....	75
5.4.1.2.1. Α.Ω. με παραβολικούς ηλιακούς συλλέκτες.....	75
5.4.1.2.2. Α.Ω. με ηλιακούς συλλέκτες κενού.....	76
5.4.1.3. Α.Ω. με ηλιακή λίμνη.....	76
5.4.2. Ηλιακή πολλαπλή εξάτμιση.....	76
5.4.2.1. Πολλαπλή εξάτμιση με ηλιακή λίμνη.....	77

5.4.2.2. Πολλαπλή εξάτμιση με ηλιακούς συλλέκτες.....	79
5.4.2.3. Πολλαπλή εξάτμιση με θερμικά Φ/Β.....	81
5.4.3. Ηλιακή πολυβάθμια εκτόνωση.....	82
5.4.3.1. Πολυβάθμια εκτόνωση με ηλιακή λίμνη.....	83
5.4.3.2. Πολυβάθμια εκτόνωση με ηλιακούς συλλέκτες.....	84
5.4.4. Ηλιακή θερμική συμπίεση ατμού.....	88
5.4.5. Ηλιακή μηχανική συμπίεση ατμού.....	91
5.4.6. Ηλιακή συμπίεση υδρατμού με απορρόφηση.....	94
5.4.7. Ηλιακή συμπίεση ατμού με προσρόφηση.....	97
5.4.8. Ηλιακή ηλεκτροδιάλυση.....	99
5.4.9. Ηλιακή ύγρανση – αφύγρανση.....	102
5.4.10. Ηλιακός αποστακτήρας.....	103
5.4.10.1. Ηλιακός αποστακτήρας τύπου οροφής.....	104
5.4.10.2. Ηλιακός αποστακτήρας στοιβάδας νερού με εξωτερική γυάλινη επιφάνεια.....	105
5.4.10.3. Παθητικοί – Ενεργητικοί ηλιακοί αποστακτήρες.....	106
5.4.10.4. Ηλιακός αποστακτήρας πολλαπλής διάχυσης.....	106
5.4.10.5. Ηλιακός αποστακτήρας με κλίση.....	107
5.4.10.6. Ηλιακός αποστακτήρας με σωλήνες για αφαλάτωση θαλασσινού νερού.....	108

Κεφάλαιο 6. Αφαλάτωση με χρήση αιολικής ενέργειας.....

6.1. Εισαγωγή – Ιστορική αναφορά.....	111
6.2. Αιολικά Πάρκα.....	112
6.2.1. Χερσαία Αιολικά Πάρκα.....	113
6.2.3. Παράκτια Αιολικά πάρκα.....	113
6.2.4. Υπεράκτις Α/Γ.....	113
6.2.5. Πλωτές Α/Γ.....	114
6.3. Προβλήματα που προκαλούν οι Α/Γ.....	115
6.4. Αιολική ενέργεια στην αγορά.....	117
6.5. Μέθοδοι και συσκευές αιολικής αφαλάτωσης.....	119
6.5.1. Αιολική Αντίστροφη Όσμωση.....	119
6.5.2. Αιολική Μηχανική Συμπίεση Ατμού.....	119
6.5.3. Παραγωγικότητα αιολικού συστήματος MVC.....	120
6.6. Συμπεράσματα.....	122

Κεφάλαιο 7. Αφαλάτωση με χρήση γεωθερμικής και ωκεάνιας ενέργειας.....

7.1. Γεωθερμική ενέργεια – Εισαγωγή.....	125
7.2. Τα γεωθερμικά πεδία.....	126
7.3. Χρήσεις γεωθερμικής ενέργειας.....	126
7.3.1. Τρόπος λειτουργίας.....	126
7.3.2. Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας.....	127
7.4. Γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα.....	128
7.5. Τρόποι αφαλάτωσης.....	130
7.6. State of the art.....	131
7.6.1. Μονάδα αφαλάτωσης στην Κίμωλο.....	131
7.6.2. Μονάδα αφαλάτωσης στο Σουσάκι Κορυνθίας.....	132
7.7. Κυματική ενέργεια.....	132
7.8. Τυπολόγιο ενέργεια κυμάτων.....	134
7.9. Αφαλάτωση με κυματική ενέργεια.....	135

Κεφάλαιο 8. Σχεδιασμός μονάδας αφαλάτωσης – Αξιολόγηση – Κόστος μεταφοράς και παραγωγής νερού.....

128

8.1.Σχεδιαστική προσέγγιση.....	140
8.1.1.Αρχικός σχεδιασμός μονάδας ΑΠΕ – Αφαλάτωσης.....	141
8.1.2.Κόστος μονάδας αφαλάτωσης.....	143
8.2.Οικονομική αξιολόγηση μονάδας.....	148
8.3.Κόστος μεταφοράς και παραγωγής πόσιμου νερού.....	149
8.3.1.Μεταφορά νερού και κόστος της.....	150
8.3.2.Παραγωγή πόσιμου νερού με αφαλάτωση και κόστος της.....	152
8.4.Εφαρμογή λογισμικού.....	155
8.5.Συμπεράσματα.....	159
Κεφάλαιο 9. Προτάσεις – Συμπεράσματα.....	160
9.1.Εισαγωγή – Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	161
9.2. Σύγκριση μεθόδων.....	163
9.3.Προτάσεις – Συμπεράσματα.....	171
Βιβλιογραφία.....	175
Πίνακας συμβόλων.....	182

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΛΛΕΙΨΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό είναι βασικό στοιχείο για τη διατήρηση ζωής στον πλανήτη μας. Τόσο το υπόγειο όσο και το επιφανειακό νερό (λίμνες, ποτάμια) χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση. Το νερό αυτό πρέπει να είναι από κάθε άποψη αβλαβές για την υγεία των ανθρώπων, οργανοληπτικά άμεμπτο και απολύτως καθαρό, απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς και οποιεσδήποτε ουσίες, σε αριθμούς και συγκεντρώσεις, που αποτελούν ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά θα πρέπει να κυμαίνονται σε ορισμένες αποδεκτές προδιαγραφές, οι οποίες αποτελούν τα πρότυπα ποιότητας και θεσπίζονται νομοθετικά. Το νερό αποτελεί το 60% περίπου της μάζας του ανθρώπινου σώματος και είναι βασικός παράγοντας της κυκλοφορίας και της ηλεκτρολυτικής ισορροπίας του οργανισμού μας. Ποσοστό περίπου 0.5% από την ολική ποσότητα του νερού στη γη (υπογείου και επιφανειακού) προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση.

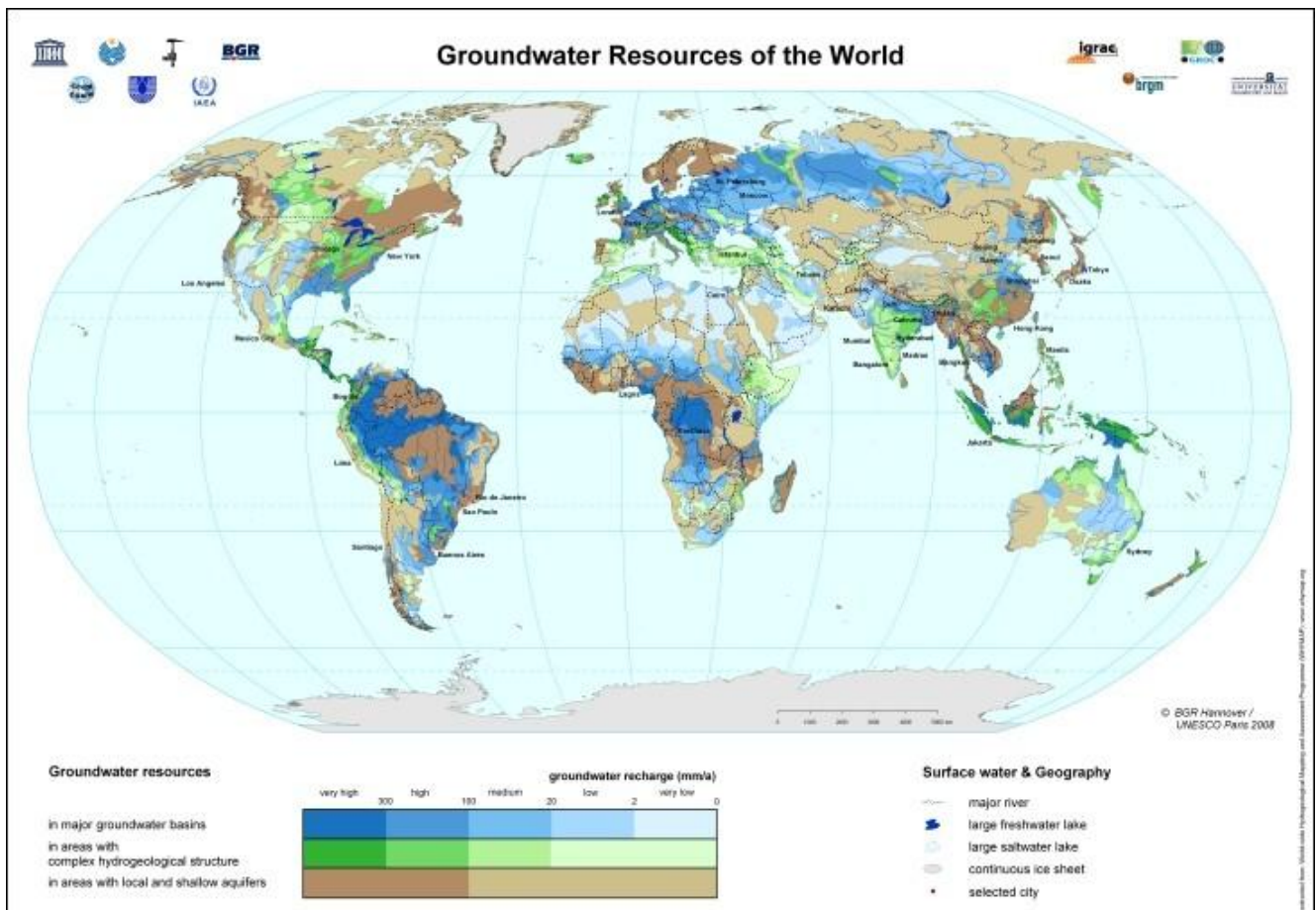
Παγκοσμίως, η χρήση του νερού έχει αυξηθεί κατά έξι φορές τα τελευταία 100 χρόνια, ενώ αναμένεται ότι ο αριθμός αυτός θα διπλασιασθεί έως το 2050, κυρίως λόγω των συστημάτων άρδευσης και της ζήτησης εκ μέρους της γεωργίας. Η ανάγκη των ανθρώπων σε νερό, είναι πολύ μεγαλύτερη από την ποσότητα που απαιτείται μόνο για πόσιμο, για πλύσιμο και άλλες οικιακές ανάγκες. Υπολογίζεται ότι απαιτείται περίπου 70 φορές μεγαλύτερη ποσότητα νερού για την παραγωγή της τροφής ενός ατόμου, από εκείνη την ποσότητα η οποία απαιτείται για τις οικιακές ανάγκες.



Εικόνα 1.1. Το νερό είναι ένα από τα πολυτιμότερα αγαθά που μας παρέχει η φύση

1.1. ΕΛΛΕΙΨΗ ΝΕΡΟΥ

Τα τελευταία χρόνια ολοένα και μεγαλώνει το πρόβλημα της έλλειψης πόσιμου νερού σε πολλές από τις χώρες του αναπτυσσόμενου αλλά, και του κατά τα κοινώς λεγόμενα, αναπτυγμένου κόσμου. Το 1/3 του πλανήτη αντιμετωπίζει έλλειψη νερού λόγω της κακής διαχείρισης των υδάτινων πόρων και της εντεινόμενης χρήσης τους ενώ σύμφωνα με στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας περίπου 1.1 δισεκατομμύριο άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό και πόσιμο νερό.



Εικόνα 1.2 Παγκόσμια αποθέματα νερού

Ενδεικτικά, αρκετές από αυτές τις χώρες βρίσκονται στην Μέση Ανατολή καθώς και στην λεκάνη της Μεσογείου. Το κοινό σε αυτές τις περιοχές όσο αφορά τις κλιματολογικές συνθήκες είναι οι ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου, καθώς και οι έντονες συνθήκες ξηρασίας των περιοχών αυτών που ορισμένες φορές αγγίζουν τα όρια της ερημοποίησης.

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

Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα νέα δεν φαίνεται να είναι ελπιδοφόρα καθώς η υπερθέρμανση του πλανήτη αναμένεται να χειροτερέψει την κατάσταση στο μέλλον.

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

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

1.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΤΗΝ ΕΛΛΕΙΨΗ

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

Υπάρχουν όμως και παράγοντες που συνεισφέρουν στο πρόβλημα που δεν έχουν να κάνουν με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Το μικρό ύψος των βροχοπτώσεων και οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στις περιοχές αυτές προκαλούν μικρή προσφορά νερού. Επίσης η μικρή έκταση των νησιών περιορίζει την ποσότητα του νερού που μπορεί να συγκεντρωθεί στα εδάφη τους. Η ολόπλευρη προσβολή των νησιών από την θάλασσα ευνοεί την επιφανειακή αλλά και την υπόγεια απορροή καθώς και διάφορα φαινόμενα υφαλμύρωσης που καταστρέφουν τυχόν υπόγεια αποθέματα πόσιμου νερού. Οι κλιματολογικές συνθήκες και κυρίως η έντονη ηλιοφάνεια κάνουν την εξάτμιση να είναι πολύ έντονη γεγονός που οδηγεί μεγάλο ποσοστό του νερού της βροχής να επιστρέφει στην ατμόσφαιρα.

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

1.3. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ

Για να λυθεί το σημαντικό πρόβλημα της λειψυδρίας υπάρχουν διάφορες λύσεις όπως η μεταφορά νερού, η κατασκευή φραγμάτων και η αφαλάτωση.

1.3.1. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

Η μεταφορά του νερού με πλοία υδροφόρες είναι σωτήρια λύση για μεγάλο πλήθος νησιών εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Τα νησιά που υδροδοτούνται με πλωτά μέσα είναι η Αμοργός, τα Κουφονήσια, η Κίμωλος, η Ηρακλεία, η Σχοινούσα, η Φολέγανδρος, η Τήνος, η Σίκινος, η Θηρασιά, η Δονούσα, η Μήλος, το Αγαθονήσι, οι Λειψοί, η Μεγίστη, η Νίσυρος, η Πάτμος, η Σύμη, η Χάλκη, η Παλιόνησος και η



Εικόνα 1.3. Σε αρκετά νησιά της παραπάνω εικόνας εμφανίζεται πρόβλημα λειψυδρίας

Ψέριμος. Χαρακτηριστικό των τελευταίων χρόνων είναι ότι εκτός από τα προαναφερθέντα νησιά, λόγω της όξυνσης του προβλήματος, αναγκάζονται να συμπληρώσουν τις ανάγκες τους με μεταφορά νερού και μεγάλα νησιά όπως η Ίος και η Μήλος. Η λύση αυτή φαίνεται σχετικά απλοϊκή καθώς δεν απαιτεί ιδιαίτερες υποδομές. Το μόνο που χρειάζεται είναι μια δεξαμενή κατάλληλης χωρητικότητας η οποία θα μπορεί να δεχτεί την απαιτούμενη ποσότητα νερού για να καλύψει τις

ανάγκες των κατοίκων. Όσο απλή κι αν ακούγεται αυτή η λύση, έχει ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα που δεν είναι άλλο από το κόστος ανά κυβικό μέτρο του παρεχόμενου νερού το οποίο είναι ιδιαίτερα υψηλό. Το νερό για την μεταφορά προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ, τα πλοία μισθώνονται από το Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας.

Το κόστος νερού ανά κυβικό μέτρο στα ελληνικά νησιά φαίνεται να είναι από 4 έως 10 € [Π]. Επίσης στα αρνητικά της παραπάνω λύσης θα πρέπει να υπολογίζουμε και το περιβαλλοντικό κόστος από την μεταφορά που έχει να κάνει με τα καυσαέρια των πλοίων και την μόλυνση της θάλασσας από τα πλοία. Πολλές ενστάσεις για την καταλληλότητα αυτής της μεθόδου προέρχονται και από τις αμφιβολίες σχετικά με την ποιότητα του νερού. Πολλές φορές δεν τηρούνται οι απαιτούμενες συνθήκες υγιεινής και αμφισβητείται η καταλληλότητα για χρήση αυτού του νερού από τους κατοίκους των νησιών. Επίσης, συχνά είναι δύσκολη έως ανέφικτη η διάθεσή του λόγω αυξημένης ζήτησης είτε λόγω αδυναμίας προσέγγισης των δεξαμενόπλοιων στα λιμάνια των πιο μικρών νησιών. Τέλος, δεν πρέπει να παραβλέψουμε ότι το μεταφερόμενο νερό έχει προέλθει από κάποια ηπειρωτική περιοχή όπου ναι μεν το πρόβλημα δεν είναι τόσο έντονο αλλά δεν παύει και εκεί να είναι πολύτιμο και θα αναγκαστεί να το στερηθεί [Δ].

Συχνά, αυτή η κατάσταση μονοπωλίου και η ομηρία της τοπικής κοινωνίας από τους μεγαλοεπιχειρηματίες που εμπορεύονται το νερό δίνει την δυνατότητα στους τελευταίους να εκβιάζουν καταστάσεις με μόνο σκοπό την αύξηση των κερδών τους. Παρόλα ταύτα, θεωρείται μέχρι τις μέρες μας η μοναδική λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας των μικρών νησιών.

1.3.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Η λύση της κατασκευής των φραγμάτων χρησιμοποιείται για να εκμεταλλευτούμε το ανάγλυφο του εδάφους των νησιών, με τις έντονες κλίσεις και υψομετρικές διαφορές που προκαλεί δυσκολία στην κατακράτηση του νερού. Το έντονο ανάγλυφο του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα, ειδικά σε περιπτώσεις βροχοπτώσεων, σημαντικό ποσοστό του νερού να σχηματίζει χείμαρρους οι οποίοι κατευθύνονται ανεξέλεγκτοι προς την θάλασσα και δεν αξιοποιούνται κατάλληλα.



Εικόνα 1.4 Φράγμα στη Μύκονο – Μαράθι

Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Μυκόνου, η οποία είναι σχετικά ξερό νησί, όπου μετά την κατασκευή 2 φραγμάτων στην περιοχή Μαράθι, χωρητικότητας 3 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων νερού και 1 εκατομμυρίου κυβικών μέτρων νερού, λύθηκε το πρόβλημα της ύδρευσης.

Φυσικά ούτε αυτή η λύση είναι απεγάδιαστη καθώς η κατασκευή ενός φράγματος, έστω και μικρού, έχει υψηλό κόστος, απαιτεί πληθώρα υποδομών ενώ προκαλεί και σημαντική αλλοίωση στο περιβάλλον καθώς είναι μια μόνιμη και βαριά κατασκευή η οποία ενδεχομένως και να προκαλεί και αισθητική όχληση.

1.3.3. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Η αφαλάτωση είναι η διεργασία αφαίρεσης των αλάτων από αλατούχα ύδατα τα οποία μπορεί να είναι είτε το αλμυρό νερό της θάλασσας είτε υφάλμυρο νερό από κάποια πηγή. Με αυτόν τον τρόπο λαμβάνουμε πόσιμο νερό ή νερό για άρδευση. Η συγκέντρωση του παραγόμενου νερού σε άλατα έχει να κάνει με την πηγή προέλευσης του νερού και την μέθοδο αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται.

Η διαδικασία της αφαλάτωσης μπορεί να γίνει με πολλές μεθόδους. Η επιλογή της μεθόδου έχει να κάνει με πολλές παραμέτρους όπως η τοποθεσία, οι ειδικές καταστάσεις κάθε περιοχής, η διαθεσιμότητα της ενέργειας, η προέλευση του νερού (αλμυρό ή υφάλμυρο) κτλ. Γενικά δεν γίνεται να βγει ένα συμπέρασμα για το ποια μέθοδος αφαλάτωσης είναι η βέλτιστη. Η κάθε μέθοδος μπορεί να αξιολογηθεί μόνο με βάση τις δεδομένες απαιτήσεις του εκάστοτε προβλήματος. Η “βέλτιστη” μέθοδος είναι σε κάθε περίπτωση αυτή που παράγει αξιόπιστα την ζητούμενη ποσότητα νερού στην αναμενόμενη ποιότητα και με ένα αποδεκτό κόστος. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι οι περισσότερες μέθοδοι απαιτούν μια προεργασία με χημικά στο νερό που θα χρησιμοποιηθεί ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία αλάτων, η διάβρωση, η γήρανση και η γενικότερη δυσλειτουργία του εξοπλισμού. Σε κάποιες από τις διαδικασίες απαιτείται και η χημική επεξεργασία του νερού και μετά το τέλος της αφαλάτωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΡΟΠΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

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

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία εκτενής βιβλιογραφική αναφορά, καθώς και μία γενική κατηγοριοποίηση, για τα συστήματα αφαλάτωσης.

2.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Κάνοντας μια γενική κατηγοριοποίηση των μεθόδων μπορούμε να πούμε ότι οι σημαντικότερες ανήκουν στις παρακάτω κατηγορίες:

Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από τις μεθόδους αφαλάτωσης που βασίζονται στην απόσταξη, στις οποίες το νερό αλλάζει τουλάχιστον δύο φορές φάση, καθώς περνάει από την υγρή στην αέρια φάση και αντίστροφα, μέχρις ότου να συμπυκνωθεί και πάλι σε υγρή μορφή.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις μεθόδους όπου χρησιμοποιούνται μεμβράνες για τον διαχωρισμό του νερού από τα άλατα και τις διάφορες προσμίξεις.

Ενδεικτικά, στις μεθόδους αφαλάτωσης με βάση την απόσταξη οι κυριότερες μέθοδοι είναι η απόσταξη πολλαπλής φάσης (Multi stage flash distillation MSF), η εξάτμιση πολλαπλής επίδρασης (Multiple Effect Evaporator MED/ME) και η συμπίεση του ατμού (Vapor Compression VC).

Οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούν διεργασίες μεμβράνης είναι η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis Reversal ER), η αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis RO), η μέθοδος νανοφιλτραρίσματος (Nanofiltration NF) και η απόσταξη μέσω μεμβράνης (Membrane Distillation MD).

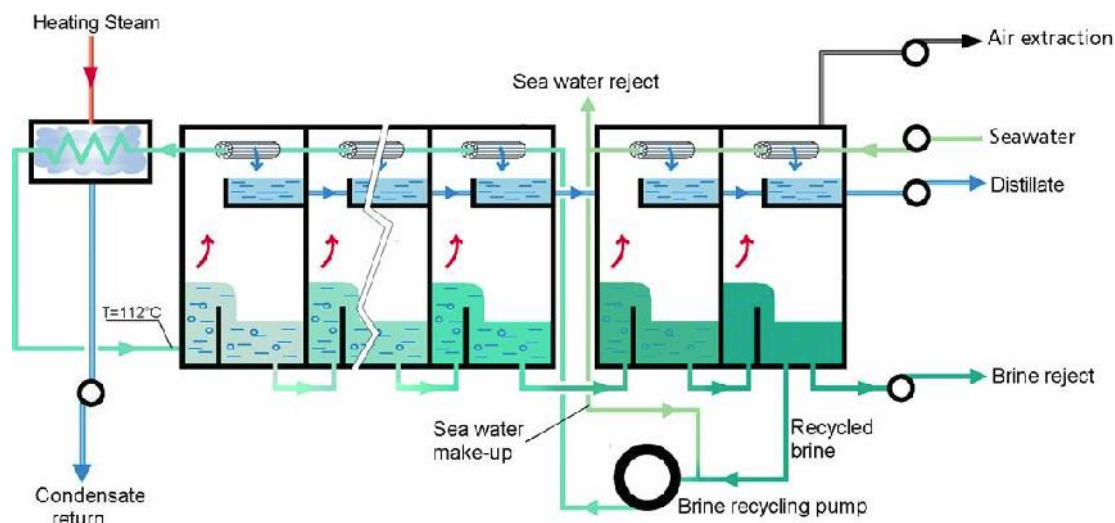
Οι μέθοδοι αφαλάτωσης, που βρήκαν ευρεία εφαρμογή, έχουν πλήρως δοκιμαστεί και κυκλοφορούν στο εμπόριο τα τελευταία 30 με 40 χρόνια. Αυτές είναι η εξάτμιση (απόσταξη), οι ιοντικές μέθοδοι, η αντίστροφη όσμωση.

Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι αφαλάτωσης, οι οποίες βέβαια δεν βρήκαν ευρεία εμπορική εφαρμογή, όπως η ψύξη και η απόσταξη με μεμβράνες [P].

2.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΞΗ

2.2.1. ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΦΑΣΗΣ

Η απόσταξη πολλαπλής φάσης είναι μια μέθοδος αφαλάτωσης που αποστάζει θαλασσινό νερό ατμοποιώντας αστραπιαία ένα μέρος του νερού σε πολλές βαθμίδες οι οποίες θα μπορούσαν να θεωρηθούν αναγεννητικοί εναλλάκτες θερμότητας. Αρχικά το θαλασσινό νερό θερμαίνεται σε ένα δοχείο που ονομάζεται βραστήρας άλμης. Αυτό επιτυγχάνεται συμπυκνώνοντας ατμό σε μια σειρά σωλήνων που μεταφέρουν θαλασσινό νερό διαμέσου του βραστήρα άλμης. Στη συνέχεια το θερμό νερό μεταφέρεται σε ένα άλλο δοχείο, που ονομάζεται βαθμίδα, στο οποία η περιβάλλουσα πίεση είναι χαμηλότερη από τον βραστήρα άλμης. Αυτή η απότομη μετάβαση του θερμού νερού σε χαμηλότερη πίεση προκαλεί τον ταχύτατο βρασμό του και την απότομη μετατροπή του σε ατμό. Κατά κανόνα μόνο ένα μικρό ποσοστό του νερού μετατρέπεται σε ατμό, οπότε το υπόλοιπο νερό περνάει από μια σειρά πρόσθετων βαθμίδων, κάθε μια εκ των οποίων έχει χαμηλότερη περιβάλλουσα πίεση από την προηγούμενη. Ο ατμός που παράγεται συμπυκνώνεται σε κατάλληλους σωλήνες που υπάρχουν σε κάθε βαθμίδα. Επειδή το κρύο θαλασσινό νερό εισερχόμενο στην διαδικασία ρέει κοντά στο αποσταγμένο νερό με αντίθετη φορά, σχετικά μικρό ποσοστό θερμότητας χάνεται στο περιβάλλον. Το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας προσλαμβάνεται από το θαλασσινό νερό και με αυτό τον τρόπο η ενέργεια ανακυκλώνεται και αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης της διάταξης.



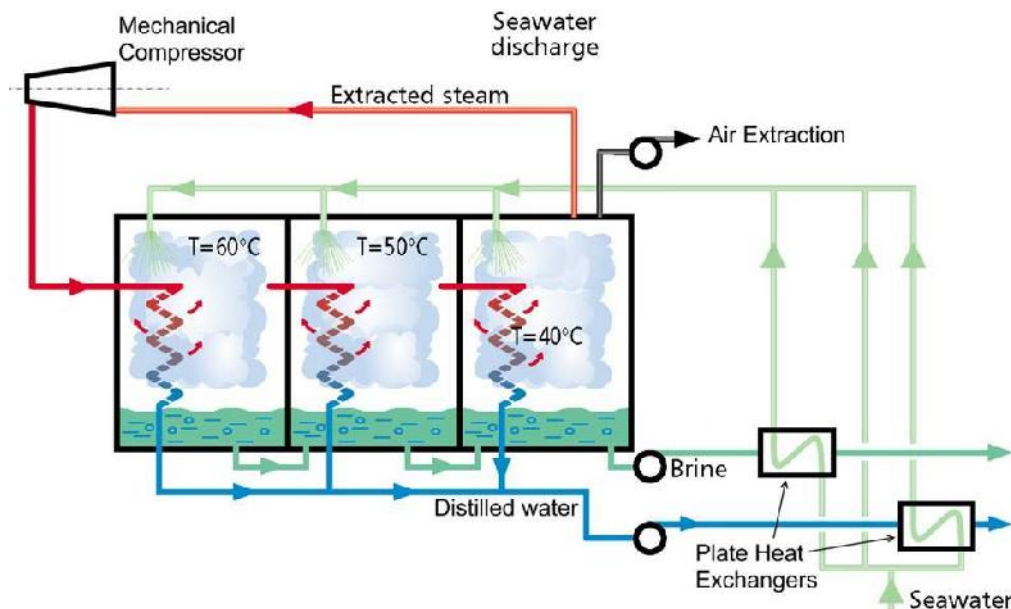
Εικόνα 2.1. Σχηματική αναπαράσταση μονάδας απόσταξης πολλαπλής φάσης, MSF

Ένας τρόπος για την θέρμανση του θαλασσινού νερού κατά την διαδικασία της MSF είναι με την χρήση συμπαραγωγής. Η αποβαλλόμενη ενέργεια από ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιείται για να παράσχει την απαιτούμενη θερμότητα που χρειάζεται η διαδικασία της αφαλάτωσης ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται και η ψύξη του εργοστασίου παραγωγής ενέργειας χωρίς αυτή θερμότητα να αποβάλλεται στο περιβάλλον με ζημιολόγο πιθανώς τρόπο. Επίσης,

κάτι τέτοιο βελτιώνει τα οικονομικά δεδομένα της εγκατάστασης καθώς το κόστος για την ενέργεια είναι το πιο σημαντικό από όλα και η συμπαραγωγή μειώνει την απαιτούμενη ενέργεια κατά 50%-66%.

2.2.2. ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ

Στη μέθοδο της εξάτμισης πολλαπλής επίδρασης το νερό βράζει σε μια ακολουθία δοχείων, κάθε ένα εκ των οποίων κρατιέται σε χαμηλότερη πίεση από το προηγούμενο. Επειδή το σημείο βρασμού του νερού μειώνεται όσο μειώνεται και η πίεση, ο ατμός που έχει προέλθει από τον βρασμό σε κάθε δοχείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση του επόμενου. Μόνο για την θέρμανση του πρώτου δοχείου απαιτείται εξωτερική πηγή θερμότητας. Παρόλο που θεωρητικά τέτοιες διατάξεις μπορούν να έχουν αυθαίρετα μεγάλο αριθμό βαθμίδων, στην πράξη η τοποθέτηση πάνω από 4 βαθμίδων δεν προσφέρει κάτι επιπλέον.



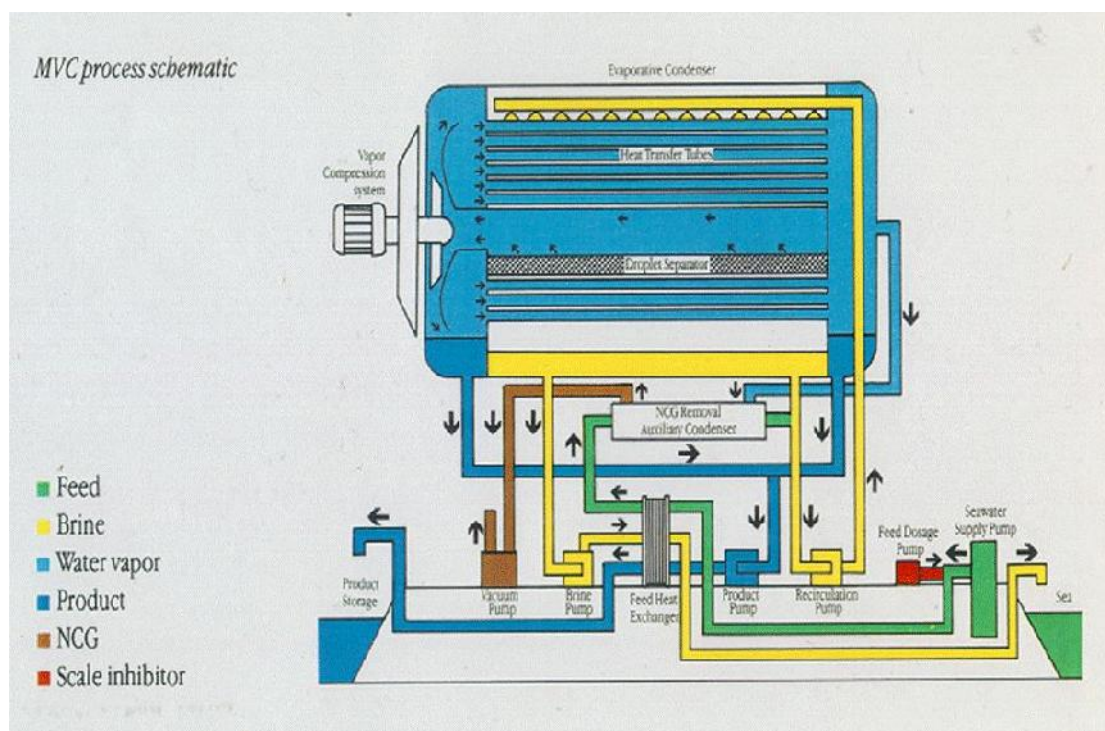
Εικόνα 2.2. Σχηματική αναπαράσταση μονάδας εξάτμισης πολλαπλής επίδρασης, MED/ED

2.2.3. ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΟΥ

Η μέθοδος της συμπίεσης του ατμού αναφέρεται στην διαδικασία απόσταξης κατά την οποία ο ατμός που εξατμίζεται από το θαλασσινό ή το υφάλμυρο νερό λαμβάνεται από μια διάταξη θερμότητας που τον συμπιέζει. Καθώς η συμπίεση του ατμού αυξάνει τόσο την πίεση όσο και την θερμοκρασία του, είναι εφικτό να χρησιμοποιήσουμε την αποβαλλομένη θερμότητα που προκύπτει από την συμπίεση για να δημιουργήσουμε επιπλέον ατμό.

Η συμπίεση του ατμού που περιγράφεται παραπάνω μπορεί να γίνει με 2 τρόπους. Ο πρώτος είναι με την χρήση ενός συστήματος εκβολής που λειτουργεί με ατμό σε μανομετρική πίεση από εξωτερική πηγή ώστε να ανακυκλώνει τον ατμό κατά την

διαδικασία της αφαλάτωσης. Ο δεύτερος τρόπος είναι με την συμπίεση του ατμού μέσω μιας μηχανικής διάταξης, η οποία της περισσότερες φορές λειτουργεί με ηλεκτρισμό. Αυτή η διαδικασία έχει ονομαστεί μηχανική συμπίεση ατμού (Mechanical Vapor Compression MVC).

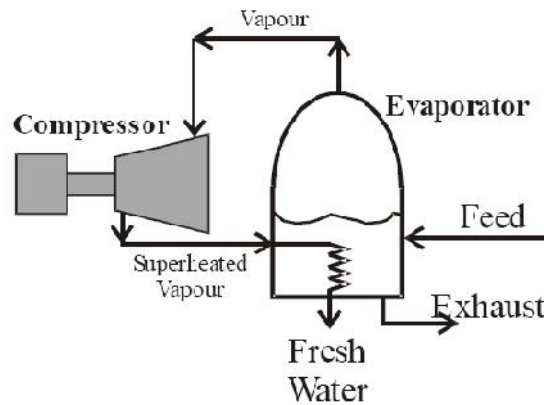


Εικόνα 2.3. Σχεδιάγραμμα μονάδας μηχανικής συμπίεσης ατμού, MVC

Υπάρχουν 2 εκδοχές της μηχανικής συμπίεσης ατμού. Η μια είναι η συμπίεση ατμού (VC) η οποία λαμβάνει χώρα σε μανομετρικές πιέσεις και η άλλη είναι η συμπίεση ατμού υπό κενό (Vacuum Vapor Compression VVC) η οποία πραγματοποιείται σε πολύ χαμηλές ατμοσφαιρικές πιέσεις. Η συμπίεση τροφοδοτείται μηχανικά από διατάξεις που λειτουργούν ως μηχανικές τουρμπίνες. Όπως παράγεται ο ατμός μεταφέρεται σε ένα συμπυκνωτή όπου εναλλάσσεται θερμότητα και ο ατμός μετατρέπεται και πάλι σε νερό. Το πόσιμο νερό που προκύπτει μεταφέρεται στις δεξαμενές αποθήκευσης ενώ η θερμότητα χρησιμοποιείται και πάλι σε προηγούμενα στάδια της διαδικασίας. Η διαδικασία της συμπίεσης ατμού υπό κενό είναι η πιο αποδοτική διαδικασία απόσταξης όσο αφορά την κατανάλωση ενέργειας και τους ρυθμούς παραγωγής πόσιμου νερού. Επίσης είναι ιδιαίτερα αξιόπιστη και εύκολη στην διαχείριση και στην λειτουργία και είναι πολύ ανθεκτική, οπότε μπορεί να λειτουργήσει ακόμα και υπό αντίξοες συνθήκες.

2.2.4. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΟΥ

Η τεχνολογία της συμπίεσης ατμού βασίζεται σε μία απλή αρχή. Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους αφαλάτωσης όπου η θερμότητα μεταφέρεται άμεσα στο νερό τροφοδοσίας, εδώ φτάνουμε σε ψηλότερες θερμοκρασίες με αύξηση της πίεσης του συστήματος. Ένα συνηθισμένο τέτοιο σύστημα αποτελείται από έναν συμπιεστή, έναν εξατμιστή και έναν εναλλάκτη θερμότητας (Εικόνα 2.4). [77]



Εικόνα 2.4. Διάγραμμα συστήματος συμπίεσης ατμού

Μέρος του ατμού που δημιουργείται στον εξατμιστή οδηγείται στον συμπιεστή όπου και συμπιέζεται, αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία συμπύκνωσής της. Αυτός ο πεπιεσμένος ατμός επιστρέφεται στον εξατμιστή μέσω σωληνώσεων, οι οποίες δουλεύουν και σαν εναλλάκτες θερμότητας μεταξύ του ατμού και του διαλύματος τροφοδοσίας. Καθώς ο ατμός συμπυκνώνεται και φεύγει από το σύστημα σαν καθαρό νερό, οι σωληνώσεις θερμαίνονται, αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας και προκαλώντας έτσι την παραγωγή περισσότερου ατμού. Ο συμπιεστής, πέρα από το γεγονός ότι οδηγεί στην αύξηση της πίεσης του εξατμισμένου ατμού (και κατά συνέπεια και στην θερμοκρασία συμπύκνωσής του), μειώνει την πίεση του νερού τροφοδοσίας, ρίχνοντας έτσι και το σημείο βρασμού του. [77]

Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που εισάγεται χρησιμοποιείται από τον συμπιεστή, είτε πρόκειται για μηχανική είτε για θερμική συμπίεση ατμού. Είναι επίσης απαραίτητη μία πρόσθετη πηγή θερμότητας, για την εκκίνηση και για να αντισταθμίσει πιθανές θερμικές απώλειες. [77]

Τέλος, για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος, χρησιμοποιείται ένας εναλλάκτης για προθέρμανση του διαλύματος τροφοδοσίας, ο οποίος εκμεταλλεύεται τη θερμότητα που βρίσκεται στην κατα τα άλλα άχρηστη άλμη και στο απόσταγμα εξόδου. [77]

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα ενός συστήματος μηχανικής συμπίεσης ατμού είναι:

το μικρό του μέγεθος, δεν έχει απαιτήσεις εγκατάστασης, η καλή του απόδοση, η ενεργειακή του ανεξαρτησία, δεν επηρεάζεται από την αλατότητα του νερού τροφοδοσίας, η εύκολη μετακίνησή του, η μη ανάγκη ύπαρξης ψύξης και η ικανότητα να δουλεύει με μηχανή βενζίνης ή πετρελαίου. Βέβαια το σημαντικότερο πλεονέκτημα του MVC είναι ότι ξαναχρησιμοποιεί την θερμότητα αντί να την αφήνει να πάει χαμένη, καταργώντας έτσι την ανάγκη για ψύκτρα. Ένα τέτοιο σύστημα είναι παρόμοιο με έναν σφόνδυλο, δηλαδή μικρή μηχανική κατανάλωση ενέργειας (όπως το έργο συμπιεστή) που χρησιμεύει στο να διατηρήσει την κυκλοφορία ενός μεγάλου ποσού ενέργειας.

2.2.4.1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ MVC

Με βάση την θερμοδυναμική ανάλυση που έκαναν οι Spiegler and El-Sayed, το έργο που απαιτείται από μία μονάδα μηχανικής συμπίεσης ατμού δίνεται από την παρακάτω εξίσωση: [77]

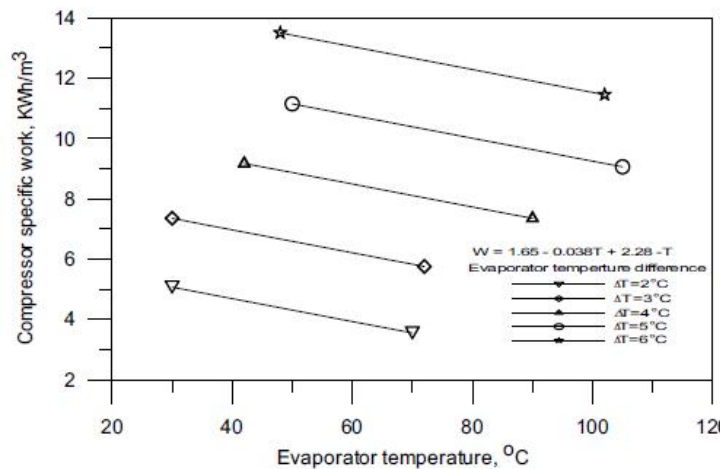
$$W = 1.65 - 0.038T_1 + 2.28\Delta T \quad (2)$$

Όπου:

T: θερμοκρασία (°C) και W σε (kWh/m³)

Σε αυτή την εξίσωση, το απαιτούμενο έργο του συμπιεστή δίνεται σε από τη θερμοκρασία λειτουργίας του εξατμιστή και τη διαφορά θερμοκρασίας των σωληνώσεων. Η θερμοκρασία λειτουργίας του εξατμιστή κυμαίνεται από 30 έως 105°C με μία αντίστοιχη διαφορά θερμοκρασίας 2-6 °C. Το σφάλμα αυτής της εξίσωσης είναι λιγότερο από ±3%. [77]

Στην εικόνα 2.5. βλέπουμε το έργο σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία εξατμιστή του ΔT των σωληνώσεων. Είναι ξεκάθαρο το ειδικό έργο του συμπιεστή μειώνεται με την πτώση της θερμοκρασίας. Αυτό οφείλεται στον ειδικό όγκο του ατμού που συμπιέζεται. [77]



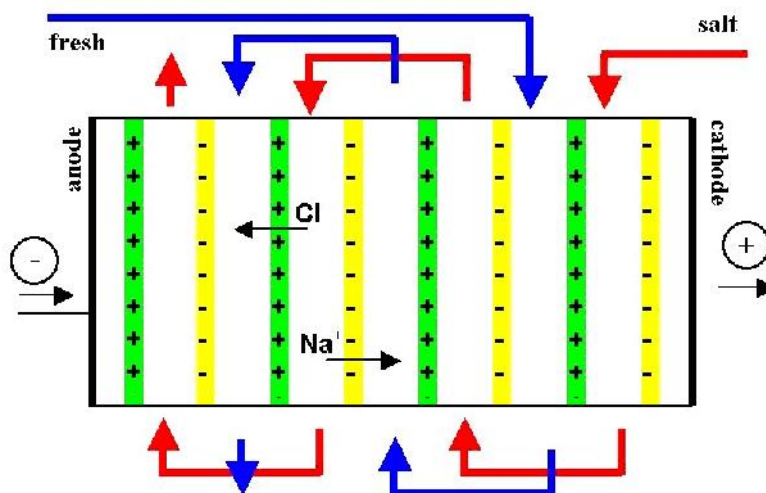
Εικόνα 2.5. Ειδικό έργο ισεντροπικής συμπίεσης για διαφορετικούς [77]

2.3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

2.3.1. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ

Η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (Reverse Electrodialysis RED) είναι μια μέθοδος που εκμεταλλεύεται την οσμωτική ενέργεια που είναι η ενέργεια που ανακτάται εξαιτίας της διαφοράς στην συγκέντρωση αλατιού μεταξύ του θαλασσινού νερού και του πόσιμου νερού. Για την πραγματοποίηση της μεθόδου ένα διάλυμα που περιέχει άλατα καθώς και μια ποσότητα φρέσκου νερού διοχετεύονται σε μια

δέση από εναλλασσόμενες μεμβράνες ανόδου και καθόδου. Η διαφορά χημικού δυναμικού μεταξύ του αλατούχου και του πόσιμου νερού δημιουργεί μια διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού μεταξύ κάθε μεμβράνης ενώ η συνολική τάση που δημιουργείται είναι το άθροισμα όλων των επιμέρους τάσεων που δημιουργούνται. Η μέθοδος αυτή επηρεάζεται μόνο από την συγκέντρωση των ιόντων και όχι από το ηλεκτρικό πεδίο γι' αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην κατάλληλη επιλογή μεμβρανών.



Εικόνα 2.6. Πορεία που ακολουθούν τα ιόντα κατά την διεργασία της αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης

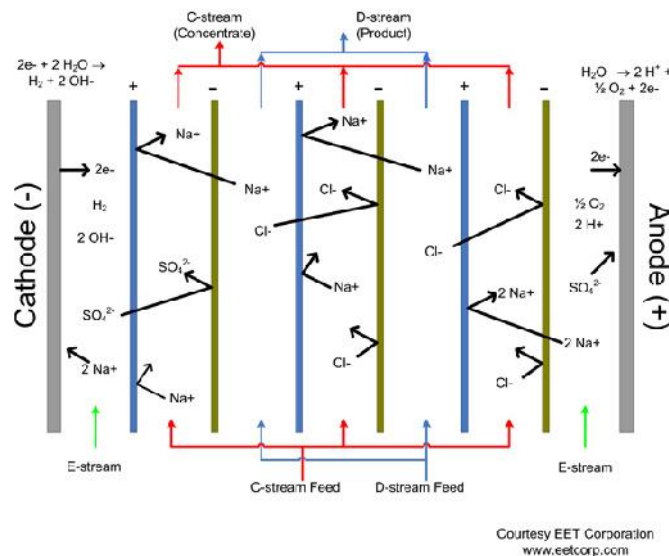
2.3.2. ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ

Η ηλεκτροδιάλυση είναι μία διαδικασία η οποία χρησιμοποιείται για την μεταφορά ιόντων άλατος μέσω μεμβράνης, από ένα διάλυμα σε ένα άλλο, κάτω από την επιρροή μίας διαφοράς δυναμικού. Η διάταξη στην οποία λαμβάνει χώρα αυτή η διαδικασία ονομάζεται κύτταρο ηλεκτροδιάλυσης. Το κύτταρο αυτό αποτελείται από έναν θάλαμο τροφοδοσίας και έναν θάλαμο συγκέντρωσης, οι σχηματίζονται από δύο μεμβράνες ανταλλαγής (ανιόν και κατιόν), οι οποίες είναι τοποθετημένες ανάμεσα από δύο ηλεκτρόδια. Σε όλα σχεδόν τα είδη ηλεκτροδιάλυσης, πολλαπλά "κύτταρα" ηλεκτροδιάλυσης τοποθετούνται σε μια διαμόρφωση που ονομάζεται δέση ηλεκτροδιάλυσης, με εναλλαγή στις μεμβράνες, ανιόν και κατιόν. [78]

Η διαδικασία της ED είναι διαφορετική σε σχέση με τις τεχνικές απόσταξης και τις άλλες τεχνικές βασισμένες σε μεμβράνες. Λόγω της ποσότητας την διαλυμένων ειδών στο νερό τροφοδοσίας, πολύ λιγότερη από αυτή του υγρού, με την ηλεκτροδιάλυση μπορούμε να έχουμε πολύ μεγαλύτερη ανάκτηση σε πολλές εφαρμογές. [78]

Σε μία δέσμη ED, υπάρχει η ροή του καθαρισμένου νερού (D, diluate), η ροή της άλμης (C) και η ροή των ηλεκτρονίων (E), οι οποίες περνάνε από καθορισμένα σημεία των μεμβρανών. Κάτω από την επήρεια μίας διαφοράς δυναμικού, τα αρνητικά φορτισμένα ιόντα (π.χ. χλωριούχα) στην ροή D μετακινούνται προς την θετικά φορτισμένη άνοδο, περνώντας μέσα από τη θετικά φορτισμένη μεμβράνη. Η επόμενη μεμβράνη όμως είναι αρνητικά φορτισμένη, εμποδίζοντας τα να συνεχίσουν την προηγούμενή τους κίνηση. Έτσι μένουν εγκλωβισμένα στην ροή C (άλμη). Το ανάποδο γίνεται με τα θετικά φορτισμένα ιόντα (νάτριο) τα οποία και αυτά μετακινούνται στην ροή της άλμης. Σαν αποτέλεσμα αυτής της μετακίνησης, ρέει ηλεκτρικό ρεύμα μεταξύ ανόδου και καθόδου. Για να ισορροπηθεί αυτή η ροή ρεύματος και το φορτίο να μείνει σταθερό, μεταφέρεται η ίδια ποσότητα ανιόντων και κατιόντων από το D στο C. Το τελικό αποτέλεσμα δίνει την ροή C με υψηλή συγκέντρωση σε ιόντα και την ροή D, η οποία είναι απεμπλουτισμένη από ιόντα.

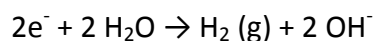
Η ροή E είναι το ρεύμα ηλεκτρονίων το οποίο ρέει δίπλα από κάθε ηλεκτρόδιο στην δέσμη ηλεκτροδιάλυσης. Αυτό το ρεύμα E μπορεί να αποτελείται από την ίδια σύνθεση με τη ροή τροφοδοσίας (π.χ. χλωριούχο νάτριο) ή μπορεί να είναι ξεχωριστό διάλυμα που αποτελείται από διαφορετική σύνθεση (π.χ. θειικό νάτριο). Ανάλογα με τη διαμόρφωση της στοιβάς ανιόντα και κατιόντα μπορεί να μεταφερθούν από τη ροή ηλεκτρονίων στη ροή C, ή ανιόντα και κατιόντα από τη ροή D μπορεί να μεταφερθούν στη ροή E. Σε κάθε περίπτωση, αυτή η μεταφορά είναι απαραίτητη για να μεταφερθεί ρεύμα σε ολόκληρη τη στοιβά και να διατηρηθούν ηλεκτρικά ουδέτερα τα διαλύματα. [78]



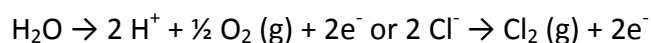
Εικόνα 2.7 Σχηματική αναπαράσταση της ηλεκτροδιάλυσης

2.3.2.1. ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΝΟΔΟΥ ΚΑΙ ΚΑΘΟΔΟΥ

Οι αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα στα ηλεκτρόδια. Στην κάθοδο έχουμε:



ενώ στην άνοδο:



Στην κάθοδο σχηματίζονται μικρές ποσότητες υδρογόνου και στην άνοδο σχηματίζεται οξυγόνο ή αέριο χλώριο (εξαρτάται από τη σύνθεση της ροής ηλεκτρονίων και από τη ρύθμιση των μεμβρανών ανταλλαγής ιόντων). Τα αέρια αυτά, συνήθως, στη συνέχεια διαχέονται καθώς το ρεύμα E εκρέει από κάθε διαμέρισμα ηλεκτροδίου, και συνδυάζονται για να διατηρηθεί ένα ουδέτερο pH και να αποφορτιστεί τα ρεύμα ή επανακυκλοφορεί σε μια ξεχωριστή δεξαμενή E. Βέβαια, έχουν γίνει προτάσεις από κάποιους για συλλογή αυτού υδρογόνου, ώστε να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. [Wikipedia]

2.3.2.2. ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Μετρώντας την απόδοση ενός τέτοιου συστήματος, μετράμε πόσο αποτελεσματικά γίνεται η μεταφορά των ιόντων μέσω των μεμβρανών για δεδομένο ρεύμα. Συνήθως μία αποδοτικότητα κοντά στο >80% είναι η εμπορικά επιθυμητή ώστε να ελαχιστοποιηθεί το ενεργειακό κόστος. Μία χαμηλή αποδοτικότητα οδηγεί σε διάσπαση του νερού στη ροή C και D, παραμερισμό ρευμάτων μεταξύ των ηλεκτροδίων ή διάχυση των ιόντων από τη ροή C στην D.

Η αποδοτικότητα ρεύματος υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$\xi = \frac{zFQ_f(C_{inlet}^d - C_{outlet}^d)}{NI}$$

Όπου:

ξ = αποδοτικότητα ρεύματος

z = φορτίο του ιόντος

F = σταθερά Faraday = 96,485 Amp-s/mol

ή $F = eN_A$, $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ και $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$

Q_f = ρυθμός ροής D, L/s

C_{inlet}^d = συγκέντρωση ροής εισόδου στο κύτταρο ηλεκτροδιάλυσης, mol/L

C_{outlet}^d = συγκέντρωση ροής εξόδου στο κύτταρο ηλεκτροδιάλυσης, mol/L

N = αριθμός ζευγών κυττάρων ηλεκτροδιάλυσης

I = ηλεκτρικό ρεύμα, Amps.

Η αποδοτικότητα ρεύματος είναι γενικά μία εξίσωση της συγκέντρωσης στην τροφοδοσία. [78]

2.3.2.3. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά την αφαλάτωση του νερού εξαρτάται από την συγκέντρωση του άλατος του νερού τροφοδοσίας και υπολογίζεται από τη σχέση: [78]

$$E = \frac{nIRtzFQ(C_{inlet}^d - C_{outlet}^d)}{a}$$

Όπου:

E = η πειραματικά προσδιοριζόμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

n = ο αριθμός των στοιχειωδών μονάδων της συστοιχίας

I = η ένταση ρεύματος που διαρρέει την συστοιχία ηλεκτροδιαπίδωσης

R = η ηλεκτρική αντίσταση της κυψέλης

t = ο χρόνος

z = το φορτίο ιόντος

F = η σταθερά *Faraday* = 96,485 Amp-s/mol

ή $F = eN_A$, $e = 1.6 \times 10^{-19} C$ και $N_A = 6.022 \times 10^{23} mol^{-1}$

Q = η παροχή του προς αφαλάτωση νερού τροφοδοσίας

C_{inlet}^d = η συγκέντρωση στο εισερχόμενο νερό τροφοδοσίας (mol/L)

C_{outlet}^d = η συγκέντρωση στο εξερχόμενο καθαρό νερό (mol/L)

a = η απόδοση ρεύματος

Για συγκεντρώσεις άλατος μεταξύ 500 και 10000 mg/l η ηλεκτροδιαπίδωση είναι η περισσότερο οικονομική μέθοδος συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες γνωστές μεθόδους αφαλάτωσης όπως η ιοντοανταλλαγή (*ion exchange*), η αντίστροφη όσμωση (*reverse osmosis*), η πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση (*multi-stage-flash- evaporation*) και η μηχανική συμπίεση ατμών (*mechanical vapor compression*). Για συγκεντρώσεις άλατος < 500 mg/l πλεονεκτεί από άποψη κατανάλωσης λιγότερης ενέργειας η ιοντοανταλλαγή, ενώ για συγκεντρώσεις άλατος > 10000 mg/l πλεονεκτούν η αντίστροφη όσμωση και η πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση. Πολύ οικονομικότερη αφαλάτωση επιτυγχάνεται με τη μέθοδο του χωρητικού απιονισμού (*capacitive deionization*). Η μέθοδος αυτή όμως βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο και δεν έχει αξιοποιηθεί βιομηχανικά ακόμα. [78]

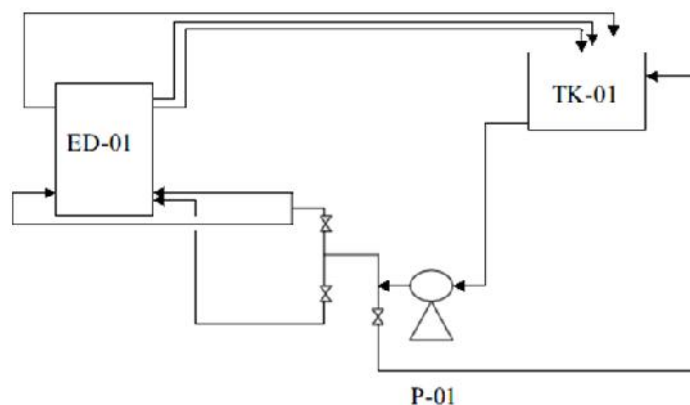
2.3.2.4. ΜΟΝΑΔΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗΣ

Σε αυτή την παράγραφο θα δούμε αναλυτικότερα από τι αποτελείται μία μονάδα ηλεκτροδιάλυσης. Η ανάλυση αυτή θα γίνει με βάση τη μελέτη των *T. Mohammadi* και *A. Kaviani*. Μία μονάδα ED αποτελείται από τη δεξαμενή αποθήκευσης νερού τροφοδοσίας, μία αντλία, έναν τρόπο τροφοδοσίας με ενέργεια και ένα (ή περισσότερα) κύτταρα ηλεκτροδιάλυσης. Το κάθε κύτταρο περιέχει ένα ζευγάρι μεμβρανών ανταλλαγής ιόντων (κατιόν και ανιόν) και ένα ζευγάρι ηλεκτροδίων από λευκόχρυσο (άνοδος και κάθοδος). [78]

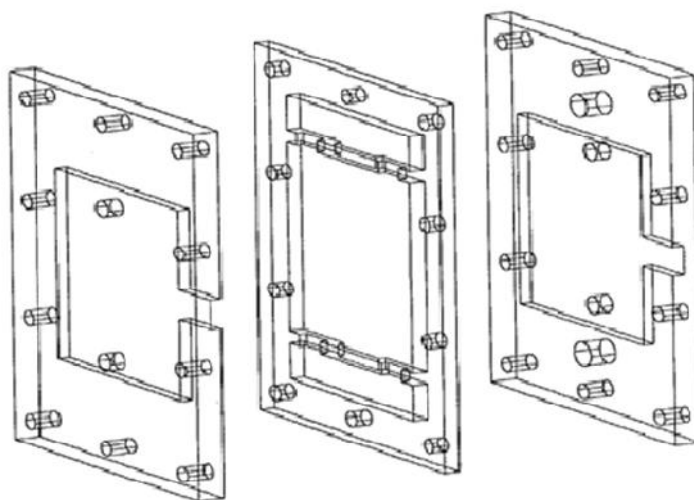
Οι μεμβράνες ανταλλαγής ιόντων είναι συνήθως ένα πανί ενισχυμένο με ρητίνη. Τέτοιες είναι οι CR67, MK111 και AR204SXR412, με την πρώτη να έχει το χρώμα του κεχριμπαριού και τη δεύτερη να είναι κίτρινη. Η αποτελεσματική επιφάνεια κάθε μεμβράνης είναι κοντά στα 60×65 mm², ενώ το πάχος ενός κυττάρου αραίωσης είναι 4 mm και ενός κυττάρου συγκέντρωσης (αριστερά και δεξιά) είναι 3 mm. [78]

Το ηλεκτρικό δυναμικό εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια. Και τα δύο ηλεκτρόδια είναι κατασκευασμένα συνήθως από καθαρή πλατίνα. Η επιφάνεια κάθε ηλεκτροδίου είναι $4.2 \times 4.2 \text{ mm}^2$. Ένας ανορθωτής παρέχει την απαραίτητη DC ενέργεια σε διαφορετικές τάσεις (π.χ. RST Spastell TRFO). [78]

Τα παρακάτω σχήματα (Εικόνες 2.8. και 2.9.) μας δείχνουν αντίστοιχα μία πιλοτική μονάδα και ένα διάγραμμα ενός κυττάρου ηλεκτροδιάλυσης. [78]



Εικόνα 2.8. Πιλοτική μονάδα ηλεκτροδιάλυσης σχεδιασμένη από το τμήμα Χημικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου του Ιράν [78]



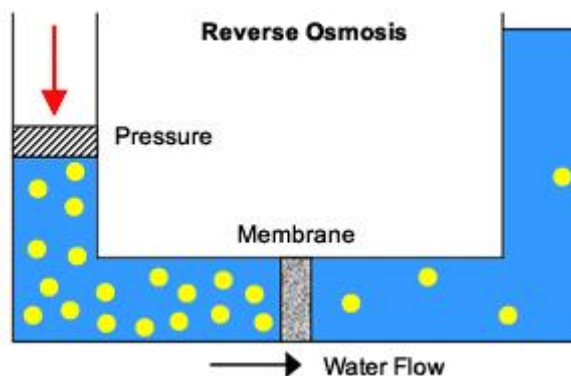
Εικόνα 2.9. Διάγραμμα κυττάρου ηλεκτροδιάλυσης [78]

2.3.3. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ

Η διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης είναι μία από τις πιο σημαντικές και ελπιδοφόρες μεθόδους, κάτι που θα φανεί και από την παρακάτω ανάλυση. Η αντίστροφη όσμωση είναι μια διαδικασία διαχωρισμού η οποία χρησιμοποιεί πίεση για να ωθήσει ένα διάλυμα μέσω μιας μεμβράνης η οποία κρατάει την διαλυμένη ουσία στην μια της πλευρά και επιτρέπει στον καθαρό, πλέον, διαλύτη να περάσει από την άλλη μεριά. Με άλλα λόγια, είναι μια διαδικασία που εξαναγκάζει τον διαλύτη που βρίσκεται σε μια περιοχή υψηλής συγκέντρωσης της διαλυμένης

ουσίας να περάσει, μέσα από μια μεμβράνη, σε μια περιοχή όπου η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας είναι πολύ πιο χαμηλή, ασκώντας μια πίεση η οποία είναι πιο μεγάλη από την οσμωτική πίεση. Αυτή είναι η αντίστροφη διαδικασία από την ορθή όσμωση η οποία είναι η φυσική κίνηση του διαλύτη μέσω μιας μεμβράνης από μια περιοχή με χαμηλή συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας σε μια περιοχή με υψηλή συγκέντρωση αυτής όταν δεν ασκείται καμία εξωτερική πίεση.

Η μεμβράνη είναι ημιπερατή και είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε να επιτρέπει την διέλευση του διαλύτη αλλά όχι και της διαλυμένης ουσίας και των όποιων προσμίξεων. Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται για την αντίστροφη όσμωση έχουν πυκνό πλέγμα στο πολυμερές υλικό περίβλημά τους όπου και γίνεται κυρίως ο διαχωρισμός. Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται η κατασκευή καθώς και ο τρόπος χρήσης των μεμβρανών.

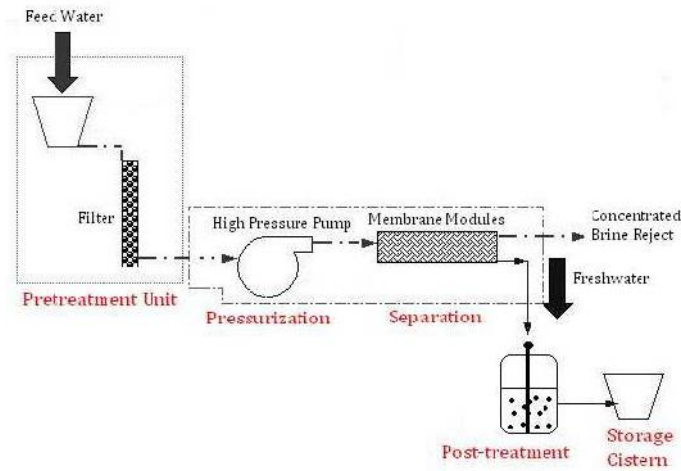


Εικόνα 2.10. Σχέδιο που εξηγεί απλά την διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης

Για να γίνει ο διαχωρισμός σημαίνει ότι πρέπει να ασκηθεί υψηλή πίεση στην μεριά της υψηλής συγκέντρωσης της διαλυμένης ουσίας, η οποία είναι της τάξης των 2-17 bar για υφάλμυρο νερό και 40-70 bar για θαλασσινό νερό, το οποίο έχει οσμωτική πίεση 24 bar, η οποία και πρέπει να υπερκεραστεί. Στην διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης οι δυνάμεις που επηρεάζουν την κίνηση του νερού είναι δύο. Η πρώτη είναι η δύναμη λόγω της οσμωτικής πίεσης που αναγκάζει τον διαλύτη να κινηθεί από την περιοχή με χαμηλή συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας στην περιοχή με την υψηλή συγκέντρωση αυτής. Η δεύτερη είναι αντίθετη στην πρώτη, προκαλεί αντίθετη κίνηση του νερού και οφείλεται στην πίεση που επιβάλλουμε εμείς εξωτερικά. Ο σκοπός μας είναι να υπερिशύσει η δεύτερη δύναμη ώστε να προκύψει διαλύτης, δηλαδή νερό, απαλλαγμένος από την διαλυμένη ουσία, δηλαδή άλατα και προσμίξεις, και να επιτευχθεί η διαδικασία της αφαλάτωσης. Αυτός είναι άλλωστε και ο λόγος για τον οποίο η πίεση που επιβάλλουμε εξωτερικά πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την οσμωτική πίεση του διαλύματος.

Ένα από τα πλεονεκτήματα της αντίστροφης όσμωσης, το οποίο είναι πολύ σημαντικό για την επιλογή της για την αφαλάτωση, είναι ότι είναι από τις λιγότερο ενεργοβόρες μεθόδους, γεγονός που κάνει το κόστος παραγωγής του νερού ακόμα πιο χαμηλό.

Μια επισκόπηση του συστήματος αντίστροφης όσμωσης και των μεγάλων εξαρτημάτων φαίνεται στην εικόνα 2.11.

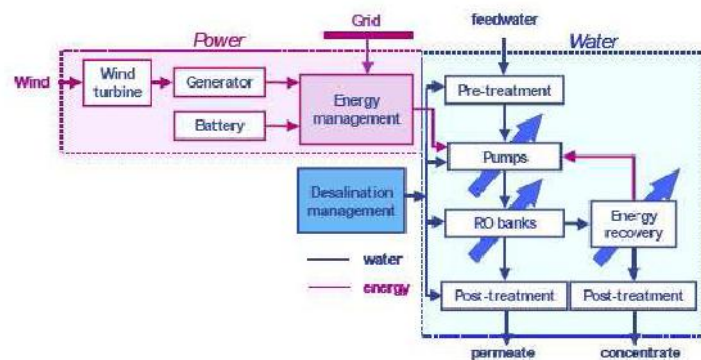


Εικόνα 2.11. Μονάδα αντίστροφης όσμωσης [79]

Η προεργασία είναι κρίσιμης σημασίας στην εξασφάλιση της καθαρότητας των μεμβρανών και γενικά στην καλή λειτουργία της μονάδας. Για αυτό τα αιωρούμενα σωματίδια απομακρύνονται με την μέθοδο της διήθησης. Συνήθως η διαδικασία καθαρισμού, πέρα από διήθηση, περιλαμβάνει και προσθήκη οξέως (ή κάποιας άλλης χημικής ουσίας) ώστε να αποτραπεί η καθίζηση αλάτων και η ανάπτυξη μικροοργανισμών. Τέλος, η προσθήκη χημικών γίνεται και με σκοπό να εξασφαλισθεί ένα σταθερό PH, που έχει καθορίσει ο κατασκευαστής της μεμβράνης.

Το σύστημα ΑΟ αποτελείται από πολλαπλά δοχεία πίεσης που είναι συνδεδεμένα σε σειρά. Από τη στιγμή που η πτώση πίεσης σε ένα τέτοιο σύστημα είναι μικρή, η πυκνή άλμη έχει σημαντική ενεργειακή πίεση, η οποία αν ανακτηθεί μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα του συνολικού συστήματος.

Για όλα τα τμήματα του συστήματος έχουν δημιουργηθεί φυσικά και οικονομικά μοντέλα, προκειμένου να καταστεί δυνατή μία μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος, σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας του. Αυτά τα μοντέλα περιλαμβάνουν επίσης περιορισμούς του τρέχοντος εξοπλισμού που θα μπορούσαν να περιορίσουν τον σχεδιασμό.



Εικόνα 2.12. Συνιστώσες του μοντέλου του συστήματος αιολικής ενέργειας - Αντίστροφης όσμωσης [79]

2.3.3.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΩΣΜΩΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

Η οσμωτική πίεση ενός διαλύματος είναι φυσική ιδιότητα του διαλύματος και δεν εξαρτάται από την εκάστοτε μεμβράνη, παρά μόνο απ' τη θερμοκρασία του και τη συγκέντρωση των διαλυμένων σ' αυτό στερεών. Ο τύπος που παρέχει την οσμωτική πίεση ενός διαλύματος είναι:

$$\pi = R \cdot T \cdot \sum X_i \quad (\text{τύπος του van't Hoff})$$

όπου

π είναι η οσμωτική πίεση (kPa)

T είναι η θερμοκρασία (K)

R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων ίση με 8,314 kPa.m³/kgmol.K ή 0,082 lt.bar/mol.K

$\sum_i X_i$ είναι η συγκέντρωση όλων των συστατικών στο διάλυμα (kg.mol/m³)

Μια συνήθης προσέγγιση της οσμωτικής πίεσης είναι ότι συγκέντρωση 1000 ppm συνολικών διαλυμένων στερεών (Total Dissolved Solids) δίνει 75,84 kPa οσμωτικής πίεσης, δηλαδή σχηματικά: **1000 ppm TDS = 75,84 kPa οσμωτική πίεση**

Η οσμωτική πίεση του θαλασσινού νερού μπορεί να υπολογιστεί με καλή προσέγγιση ως εξής:

Η περιεκτικότητα του αλατιού στη θάλασσα είναι περίπου 33 gr/lt και για απλότητα θεωρούμε ότι είναι μόνο NaCl. Το ατομικό βάρος του νατρίου είναι 23 gr και του χλωρίου 35,5 gr, άρα το μοριακό βάρος του χλωριούχου νατρίου είναι 58,5 gr. Οπότε τα moles του NaCl στο θαλασσινό νερό είναι 33/58,5 = 0,564 mol/lt. Όμως το NaCl διαλύεται σε ιόντα Na⁺ και Cl⁻, άρα η συγκέντρωση των ιόντων είναι διπλάσια, δηλαδή 2·0,564 = 1,128 mol/lt.

Υποθέτοντας θερμοκρασία του νερού 15 °C ο τύπος του van't Hoff δίνει:

$$\pi_{\text{θαλ}} = 0,082 \cdot (273+15) \cdot 1,128 = 26,64 \text{ bar, δηλαδή σχεδόν } 27 \text{ bar}$$

Η πίεση λειτουργίας μιας εγκατάστασης αντίστροφης όσμωσης καλείται να υπερνικήσει:

- την οσμωτική πίεση
- τις απώλειες τριβών
- την αντίσταση των μεμβρανών
- την πίεση εκροής του προϊόντος νερού

Αν η πίεση λειτουργίας είναι ίση ή λίγο μεγαλύτερη απ' το άθροισμα των αντιστάσεων αυτών, τότε η ροή διαμέσου της μεμβράνης θα είναι ελάχιστη ή μηδενική, άρα πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη απ' την οριακή αυτή τιμή, ώστε η διεργασία να είναι οικονομικά αξιοποιήσιμη.

2.3.3. 2. ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΑΛΑΤΟΣ

Η απόρριψη του άλατος (Salt Rejection) ορίζεται ως:

$$SR = 100\% \left(1 - \frac{X_p}{X_f}\right)$$

Όπου

X_f η συγκέντρωση του νερού τροφοδοσίας (feed)

X_p η συγκέντρωση του προϊόντος (permeate)

Για παράδειγμα, αν το νερό τροφοδοσίας είναι θαλασσινό συγκέντρωσης 42.000 ppm και το προϊόν έχει αλατότητα 150 ppm, η απόρριψη του άλατος θα είναι:

$$SR = 100\% (1 - 150 / 42.000) = 99,64 \%$$

Αν το νερό τροφοδοσίας είναι υφάλμυρο με αλατότητα 5.000 ppm και το προϊόν 150 ppm, η απόρριψη του άλατος θα είναι:

$$SR = 100\% (1 - 150 / 5.000) = 97 \%$$

Η υπάρχουσα τεχνολογία των μεμβρανών σήμερα μας παρέχει τιμές του SR μεγαλύτερες το 99 % τόσο για θαλασσινό όσο και για υφάλμυρο νερό. Να σημειωθεί ότι στις δυο αυτές περιπτώσεις οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται είναι διαφορετικές, επειδή αλλάζουν σημαντικά οι απαιτήσεις, όπως είδαμε στο πιο πάνω παράδειγμα.

2.3.3.3. ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ

Η ανάκτηση (recovery) ή λόγος μετατροπής του τροφοδοτικού νερού σε προϊόν ορίζεται ως:

$$Y = 100\% \frac{M_p}{M_f}$$

Όπου

Y: το ποσοστό ανάκτησης (%)

M_f : η παροχή του τροφοδοτικού νερού

M_p : η παροχή του προϊόντος

Η τιμή του Y επηρεάζει την παροχή του προϊόντος και τη ροή του άλατος διαμέσου της μεμβράνης. Όσο το ποσοστό ανάκτησης μεγαλώνει, τόσο η συγκέντρωση του

άλατος στη μεμβράνη, από την πλευρά της τροφοδοσίας, αυξάνει και έχει ως συνέπεια την αυξημένη ροή του άλατος στο προϊόν. Η αυξημένη συγκέντρωση άλατος στη μεμβράνη αυξάνει και την οσμωτική πίεση και άρα, για σταθερή πίεση λειτουργίας, ελαττώνεται ο ρυθμός παραγωγής προϊόντος.

Η ανάκτηση στις μεμβράνες ξεκίνησε από χαμηλά ποσοστά, της τάξης του 10 – 20% για να φτάσει σήμερα σε τιμές άνω του 50%. Αυτό οφείλεται αφενός στην ωρίμανση της τεχνολογίας σχεδίασης και κατασκευής των μεμβρανών, αφετέρου στην τοποθέτηση πολλαπλών σπειροειδών μεμβρανών στο ίδιο δοχείο πίεσης.

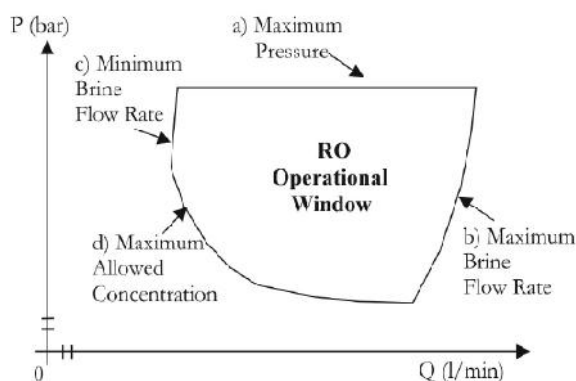
2.3.3.4. ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΟΣΜΩΣΗΣ

Όπως έχει αναφερθεί πολλές φορές μέχρι τώρα, η ΑΟ είναι είναι μία πολύ καθιερωμένη τεχνολογία. Βέβαια, η χρήση της σε μικρά απομονωμένα συστήματα (για χρήση μερικών κυβικών) ακόμα αναπτύσσεται. Περιοχές όπως νησιά και απομονωμένες περιοχές στο εσωτερικό κάποιας χώρας, όπου η παροχή ενέργειας μπορεί να είναι ένα πρόβλημα, γίνονται ιδανικές για χρήση αυτής της τεχνολογίας. Σε αυτές τις περιοχές, το ρεύμα συχνά παρέχεται από ένα αδύναμο δίκτυο, συνδεδεμένο με το κυρίως δίκτυο, ή παράγεται τοπικά από ντιζελογεννήτριες. Βασισμένοι στις τελευταίες μελέτες που έχουν γίνει, μπορούμε να πούμε πως οι μέγιστες αποδοτικότητες μπορούν να βελτιωθούν όταν το σύστημα δουλεύει σε συγκεκριμένη ροή και συνθήκες πίεσης.

Τεράστια είναι η συνεισφορά του P. Feron et al, ο οποίος μελετά τέτοιου είδους συστήματα, όσων αφορά τις μεταβλητές ροή και πίεση. Σε αυτή τη μελέτη δημιούργησε έναν πίνακα (Εικόνα 2.13) όπου καθορίζονται οι ιδανικοί παράμετροι λειτουργίας που μπορεί να δουλεύει μία μεμβράνη. Τα τέσσερα όρια είναι τα ακόλουθα:

- ✚ Μέγιστη πίεση τροφοδοσίας (καθορίζεται από την μηχανική αντίσταση της μεμβράνης).
- ✚ Μέγιστος ρυθμός ροής της άλμης (δεν πρέπει να ξεπερνάει κάποιο μέγιστο καθώς μπορεί να καταστρέψει τη μεμβράνη)
- ✚ Ελάχιστος ρυθμός ροής της άλμης (πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς, καθώς μία πτώση μπορεί να οδηγήσει σε υγροποίηση και ρύπανση της μεμβράνης).
- ✚ Μέγιστη συγκέντρωση προϊόντος — αν η χρησιμοποιούμενη πίεση είναι μικρότερη από ένα προκαθορισμένο ποσό, η συγκέντρωση διηθήματος θα είναι πολύ υψηλή.

Εικόνα 2.13. Ιδανικά σημεία λειτουργίας μεμβράνης ΑΩ [79]



Βασισμένοι στα παραπάνω, οι Marcos S. Miranda και David Infield διαχώρισαν τα διάφορα συστήματα ΑΩ.

- **ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ**

Σε αυτά τα συστήματα παρέχεται μία επιπρόσθετη πηγή ενέργειας (μία γεννήτρια ή ακόμα και το δίκτυο) ώστε η παροχή ενέργειας στη μονάδα να είναι συνεχής. Η δευτερεύουσα πηγή συμπληρώνει την παραγώμενη από τις Α/Γ ώστε να καλύπτεται η ενεργειακή κατανάλωση από την ΑΩ.

Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι, όπως σε όλα τα υβριδικά συστήματα, έχουμε μείωση στην χρήση καυσίμων. Βέβαια, σε περίπτωση έλλειψης καυσίμου, συντήρησης της γεννήτριας, διακοπές ρεύματος κτλ, τότε η μονάδα ΑΩ δε μπορεί να λειτουργήσει, καθώς δε μπορεί να την τροφοδοτείται μόνη της.

- **ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

Τα συστήματα χωρίς εξωτερική ενεργειακή πηγή μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, σε συστήματα που λειτουργούν υπό σχεδόν σταθερές συνθήκες λειτουργίας και σε συστήματα που λειτουργούν σε μεταβλητές συνθήκες.

2.3.3.5. MEMBRANES

Οι μεμβράνες της αντίστροφης όσμωσης έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: [79]

- Αποτελούνται από ένα λεπτό φιλμ πολυμερούς υλικού με πάχος μερικές χιλιάδες Angstroms ($1\text{\AA} = 1 \times 10^{-10}\text{m}$) τοποθετημένο σε πορώδες πολυμερές.
- Οι μεμβράνες του εμπορίου έχουν υψηλή διαπερατότητα στο νερό και υψηλό βαθμό ημιδιαπερατότητας, δηλαδή το κλάσμα της ροής του νερού προς τη ροή των διαλυμένων ιόντων είναι πολύ μεγάλο.
- Πρέπει να έχουν σταθερή απόδοση σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών και pH, αλλά και καλή μηχανική αντοχή.
- Οι μεμβράνες του εμπορίου έχουν διάρκεια ζωής 3 – 5 χρόνια, ανάλογα με τη μεμβράνη, την ποιότητα του τροφοδοτούμενου νερού και τη λειτουργία της εγκατάστασης.
- Οι περισσότερες περιλαμβάνουν τις ουσίες *οξικά άλατα κυτταρίνης* (cellulose acetate, CA) και *πολυαμίδες* (polyamide, PA).
- Πολλές φορές η επιλογή της μεμβράνης γίνεται περισσότερο με κριτήριο τη συμβατότητα, παρά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν την ικανότητα φίλτρανσης και τη ροή του νερού διαμέσου αυτής.

- **MEMBRANES ΑΠΟ CA**

Οι αρχικές CA μεμβράνες (τέλη του '50) αποτελούνταν μόνο από πολυμερή *δισοξικού άλατος κυτταρίνης* (cellulose diacetate), ενώ σήμερα κατασκευάζονται

από μίγμα *δισοξικών και τρισοξικών αλάτων κυτταρίνης* (cellulose diacetate and triacetate). Τα στάδια κατασκευής μιας τέτοιας μεμβράνης περιλαμβάνουν τη χύτευση του λεπτού φιλμ, στη συνέχεια έκπλυση σε ψυχρό λουτρό και ανόπτηση σε υψηλή θερμοκρασία. Με τη χύτευση εξατμίζεται μέρος του διαλύτη, η ψυχρή έκπλυση απομακρύνει τον εναπομείναντα διαλύτη και άλλα περιττά υλικά, ενώ η ανόπτηση, που γίνεται με καυτό νερό θερμοκρασίας 60 – 90 °C, βελτιώνει την ημιπερατότητα της μεμβράνης.

Οι μεμβράνες που προκύπτουν έχουν ασύμμετρη κατασκευή με ένα πυκνό επιφανειακό στρώμα πάχους 0,1 – 0,2 μm το οποίο και αναλαμβάνει την απόρριψη του άλατος. Το υπόλοιπο τμήμα της μεμβράνης είναι πορώδες και έχει υψηλή διαπερατότητα στο νερό. Οι ιδιότητες της CA μεμβράνης (απόρριψη άλατος και ροή νερού) μπορούν να ρυθμιστούν κατά το στάδιο της ανόπτησης με μεταβολή της θερμοκρασίας και της διάρκειας αυτής.

- **MEMBRANES ΑΠΟ ΡΑ**

Οι μεμβράνες αυτές αποτελούνται από δυο στρώματα, το πρώτο είναι ένα *πολυσουλφονικό πορώδες* (porous polysulfone) και το δεύτερο ένα ημιπερατό στρώμα από *αμίνες* (amine) και ομάδες *όξινων καρβοξυλικών χλωριδίων* (carboxylic acid chloride functional groups). Έτσι μπορεί να γίνει ξεχωριστή βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών της (απόρριψη άλατος και ροή νερού), σε σχέση με την CA που είναι ενιαία.

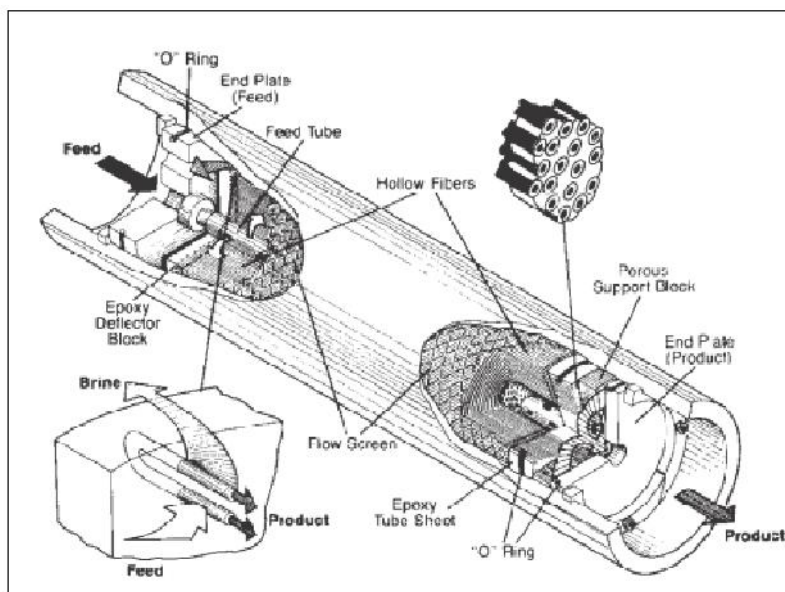
Οι μεμβράνες αυτές έχουν σταθερότερη συμπεριφορά σε ένα μεγάλο εύρος τιμών του pH, σε σχέση με τις CA, αλλά και διαβρώνονται πιο εύκολα από τα ελεύθερα χλώρια. Οι CA έχουν πιο λεία επιφάνεια σε σχέση με τις ΡΑ και αυτό τις καθιστά πιο κατάλληλες για εφαρμογές που έχουν πολλά διαλυμένα στερεά, όπως επιφανειακά ύδατα και αποχετεύσεις.

- **ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ**

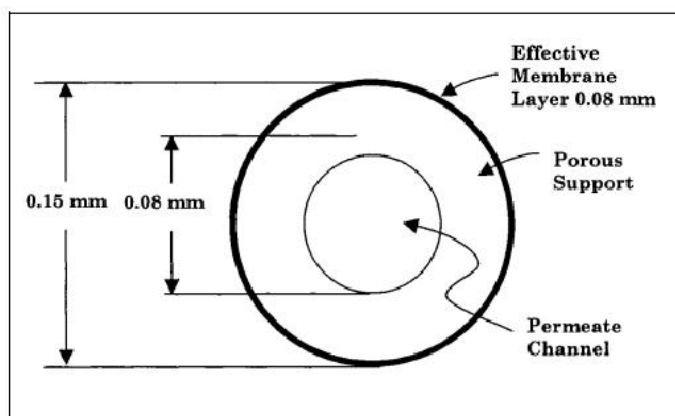
Δυο είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενες διαμορφώσεις μεμβρανών στις εφαρμογές της αντίστροφης όσμωσης: τα *κοίλα νήματα* (Hollow Fine Fiber) και τα *σπειροειδή τυλίγματα* (Spiral Wound).

- **Διαμόρφωση κοίλων νημάτων**

Στη διαμόρφωση αυτή οι μεμβράνες είναι δέσμες κοίλων (δηλαδή κούφια) νημάτων από υλικό που μπορεί να περιέχει κυτταρίνες. Τα νήματα έχουν τη μορφή ανθρώπινης τρίχας με εσωτερική διάμετρο περίπου 42 μm και εξωτερική περίπου 85 μm, όπως στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 2.14. Μembrάνη σε διαμόρφωση κοίλων νημάτων [79]



Εικόνα 2.15. Διαστάσεις κοίλου νήματος [79]

Άρα τα νήματα στην ουσία είναι τριχοειδείς σωλήνες. Εκατομμύρια τέτοια νήματα δένονται μαζί και διπλώνονται στη μέση σε μήκος περίπου 120 cm. Ένας διάτρητος πλαστικός σωλήνας, που παίζει το ρόλο του διανομέα του τροφοδοτικού νερού, μπαίνει στο κέντρο της δέσμης καθόλο το μήκος της. Τα δυο άκρα της δέσμης συγκολλούνται και στο ένα άκρο σχηματίζεται μια επιφάνεια υφασματοειδής από τις απολήξεις των νημάτων, όπου και παραλαμβάνεται το προϊόν. Η δέσμη μαζί με τον πλαστικό σωλήνα έχουν διάμετρο 10 – 20 cm και τοποθετούνται στο δοχείο πίεσης, που είναι κυλινδρικό μήκους 135 – 140 cm και διαμέτρου 15 – 30 cm. Η σύνθεση αυτή έχει τη μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια (επιφάνεια ανά μονάδα όγκου) απ’ όλες τις διαμορφώσεις μεμβρανών. [79]

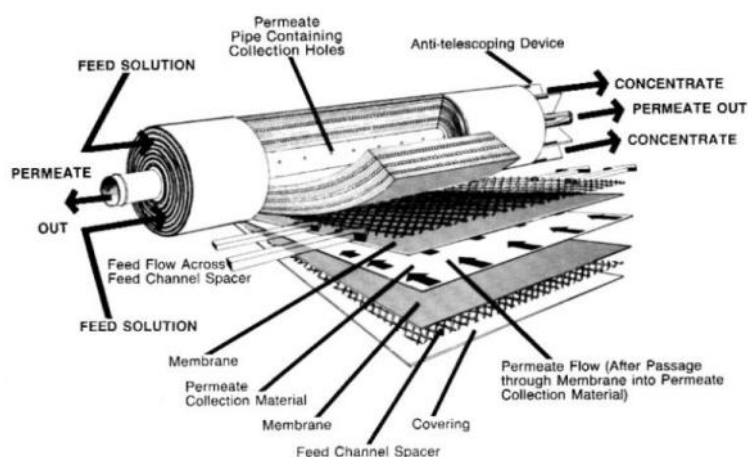
Το τροφοδοτικό νερό εισέρχεται όπως στο σχήμα διαμέσου του κεντρικού διάτρητου σωλήνα και εξαπλώνεται ακτινικά περνώντας μέσα από τους νηματοειδείς σωλήνες. Λόγω της υψηλής πίεσης εισδύει στο εσωτερικό των νημάτων, έχοντας φιλτραριστεί και παραλαμβάνεται από το ένα άκρο του δοχείου, ενώ η άλμη, που παραμένει στο εξωτερικό των νημάτων, παραλαμβάνεται από άλλη έξοδο.

Στη διαμόρφωση των κοίλων νημάτων η παροχή του προϊόντος ανά μονάδα επιφάνειας της μεμβράνης είναι χαμηλή, με αποτέλεσμα τα νήματα να λειτουργούν σε συνθήκες στρωτής ροής. Για το λόγο αυτό πρέπει να διατηρείται μια ελάχιστη τιμή ροής στην απόρριψη, ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή της συγκέντρωσης τροφοδοτικού νερού (άρα και άλμης) στην επιφάνεια όλων των νημάτων. Η διαμόρφωση αυτή μπορεί να λειτουργήσει με ανάκτηση 50% και να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ελάχιστης ροής απόρριψης. [79]

Η διαμόρφωση των κοίλων νημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υφάλμυρο και για θαλασσινό νερό. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις μεμβράνες αυτές είναι μίγματα CA και PA. Λόγω της πυκνής διάταξης των νημάτων και της βίαιης ροής που τα διαπερνά, το τροφοδοτικό νερό χρειάζεται περισσότερη προεπεξεργασία απ' ό,τι στη διαμόρφωση των σπειροειδών τυλιγμάτων, δηλαδή μικρότερο ποσοστό αιωρούμενων στερεών.

Διαμόρφωση σπειροειδών τυλιγμάτων

Σ' αυτή τη διαμόρφωση δυο επίπεδα φύλλα μεμβράνης διαχωρίζονται από ένα διάτρητο υλικό που συλλέγει το προϊόν νερό και σφραγίζονται στις τρεις πλευρές τους, με την τέταρτη να παραμένει ανοιχτή για τη συλλογή του προϊόντος. Ανάμεσά τους μπαίνει ένα πλέγμα που βοηθάει το τροφοδοτικό νερό στην κυκλοφορία.



Πολλά πακέτα τέτοιων φύλλων τυλίγονται γύρω από έναν πλαστικό διάτρητο σωλήνα που συλλέγει τελικά το προϊόν από το σύνολο των μεμβρανών. Οι διαστάσεις μιας τυπικής εμπορικής διαμόρφωσης σπирάλ είναι 100 ως 150 cm μήκος και 10 ως 20 cm διάμετρος.

Εικόνα 2.16. Μεμβράνη σε διαμόρφωση σπειροειδών τυλιγμάτων [79]

Η πορεία του τροφοδοτικού νερού στην είσοδο μέχρι την έξοδο της άλμης είναι ευθεία γραμμή κατά την αξονική διεύθυνση, ενώ το προϊόν διαπερνάει κάθετα τις μεμβράνες κατά την ακτινική διεύθυνση. Το πλέγμα ανάμεσα στις μεμβράνες ενισχύει την τύρβη και μειώνει την επιλεκτική συγκέντρωση άλμης (πόλωση). Οι κατασκευαστές προτείνουν ανάκτηση 10 – 20 % ανά στοιχείο για το λόγο αυτό και η οποία ανάκτηση είναι συνάρτηση του μήκους της ευθείας πορείας του τροφοδοτικού νερού από την είσοδο ως την έξοδό του ως άλμη. Για να λειτουργήσει η εγκατάσταση με αποδεκτά ποσοστά παραγωγής νερού χρησιμοποιούνται τρεις έως οκτώ μεμβράνες σε ένα δοχείο πίεσης, με την άλμη που εξέρχεται από το ένα να γίνεται η τροφοδοσία του επόμενου. Η άλμη του τελευταίου στοιχείου εξέρχεται από το δοχείο και απορρίπτεται, ενώ το προϊόν από κάθε στοιχείο εισέρχεται στον συλλέκτη, δηλαδή τον κεντρικό αγωγό και

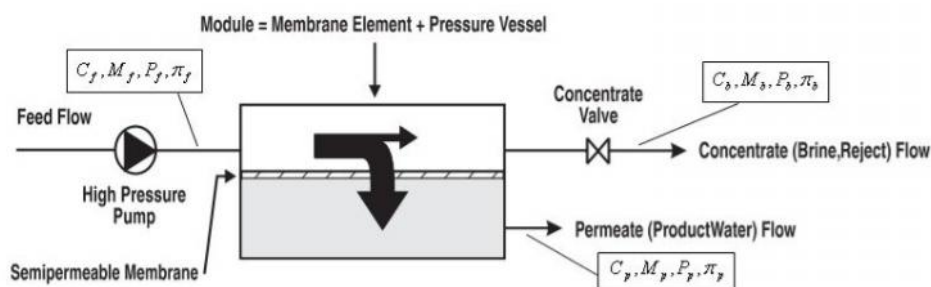
παραλαμβάνεται ως συνολικό προϊόν. Με τη μέθοδο αυτή ένα μόνο δοχείο πίεσης με 4 ως 6 μεμβράνες στη σειρά μπορεί να δώσει προϊόν με ανάκτηση ως και 50 %.

Οι σπειροειδείς διαμορφώσεις χρησιμοποιούν επίπεδες μεμβράνες από μίγμα δισοξικών και τρισοξικών αλάτων κυτταρίνης είτε από συνθετικό λεπτό φιλμ διαφόρων ενεργών πολυμερών με διαστρωμάτωση. Τα πολυμερή αυτά μπορεί να είναι πολυαμίδες, πολυσουλφίδια, πολυουρεθάνες και άλλα. Οι συνθετικές μεμβράνες παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόρριψη άλατος σε χαμηλές πιέσεις λειτουργίας σε σχέση με τις κυτταρίνες. [79]

2.3.4.6. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ RO – ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΑΖΑΣ

Εδώ παρουσιάζεται ένα απλό μοντέλο για τη λειτουργία της RO. Οι απλοποιητικές παραδοχές που γίνονται είναι: [79]

- ✚ μόνιμη κατάσταση και ισόθερμη λειτουργία
- ✚ οι συντελεστές διαπερατότητας του νερού και του άλατος είναι ανεξάρτητοι της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης
- ✚ περίπου ίσοι συντελεστές διαπερατότητας για τα διάφορα ιόντα του άλατος
- ✚ η ροή του άλατος διαμέσου της μεμβράνης είναι αμελητέα μπροστά σ' αυτή του νερού
- ✚ η συγκέντρωση του άλατος απ' την πλευρά της τροφοδοσίας μεταβάλλεται γραμμικά κατά μήκος της μεμβράνης
- ✚ η συγκέντρωση του άλατος στο νερό σε οποιαδήποτε στιγμή και θέση είναι ομοιόμορφη



Εικόνα 2.17. Σχηματική λειτουργία συσκευής αντίστροφης όσμωσης [79]

- ✚ Μάζα προϊόντος και άλατος

Η μάζα του προϊόντος και του άλατος βρίσκονται απ' τις παρακάτω σχέσεις:

$$M_f = M_p + M_b$$

$$C_f M_f = C_p M_p + C_b M_b$$

όπου

M_f είναι η παροχή μάζας του τροφοδοτικού νερού (kg/s)

M_p είναι η παροχή μάζας του προϊόντος (kg/s)

M_b είναι η παροχή μάζας της άλμης (kg/s)

C_f είναι η αλατότητα του τροφοδοτικού νερού (kg/m^3)

C_p είναι η αλατότητα του προϊόντος (kg/m^3)

C_b είναι η αλατότητα της άλμης (kg/m^3)

Μεταφορά του νερού

Η μεταφορά του νερού διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης δίνεται από τη σχέση:

$$M_p = (\Delta P - \Delta \pi) K_w A$$

Όπου

M_p είναι η ροή του νερού μέσα από τη μεμβράνη (m^3/s)

ΔP είναι η διαφορά της οσμωτικής πίεσης εκατέρωθεν της μεμβράνης (kPa)

K_w είναι ο συντελεστής διαπερατότητας του νερού ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ s kPa}$)

A είναι το εμβαδό της επιφάνειας της μεμβράνης (m^2)

Να διευκρινιστεί ότι στην προηγούμενη εξίσωση οι όροι ΔP και $\Delta \pi$ παριστούν τη διαφορά υδραυλικής και οσμωτικής πίεσης αντίστοιχα εκατέρωθεν της μεμβράνης, πιο συγκεκριμένα:

$$\Delta P = \bar{P} - P_p$$

$$\Delta \pi = \bar{\pi} - \pi_p$$

Όπου

\bar{P} και $\bar{\pi}$ είναι η υδραυλική και η οσμωτική πίεση αντίστοιχα του προϊόντος P και π είναι η μέση υδραυλική και οσμωτική πίεση αντίστοιχα στην πλευρά της τροφοδοσίας και δίνονται απ' τις σχέσεις:

$$\bar{P} = \frac{1}{2}(P_f + P_b)$$

$$\bar{\pi} = \frac{1}{2}(\pi_f + \pi_b)$$

Όπου

P_f και π_f είναι η υδραυλική και η οσμωτική πίεση αντίστοιχα στην τροφοδοσία P_b και π_b είναι η υδραυλική και η οσμωτική πίεση αντίστοιχα στην απόρριψη

Μεταφορά του άλατος

Η μεταφορά του άλατος διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης δίνεται από τη σχέση:

$$M_s = (\bar{C} - C_p) K_s A$$

Όπου:

M_s είναι η ροή του αλάτος μέσα από τη μεμβράνη (kg/s)

K_s είναι ο συντελεστής διαπερατότητας της μεμβράνης για το αλάτι ($m^3/m^2 s$)

C_p είναι η ολική συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών στο προϊόν (kg/m^3)

A είναι το εμβαδό της επιφάνειας της μεμβράνης (m^2)

Ο όρος \bar{C} δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{C} = \frac{M_f C_f + M_b C_b}{M_f + M_b}$$

όπου C_f και C_b είναι οι συγκεντρώσεις του αλάτος στην τροφοδοσία και στην άλμη αντίστοιχα

Απ' τις παραπάνω σχέσεις διαπιστώνουμε ότι για μια δεδομένη μεμβράνη:

- η ροή του νερού μέσα από αυτήν είναι ανάλογη με τη διαφορά πίεσης ($\Delta P - \Delta \pi$) στα άκρα της
- η ροή του αλάτος είναι ανάλογη με τη διαφορά των συγκεντρώσεων ($\bar{C} - C_p$) στα άκρα της και είναι ανεξάρτητη της εφαρμοζόμενης πίεσης (διότι γίνεται με διάχυση)

Η αλατότητα του προϊόντος εξαρτάται απ' τους ρυθμούς μεταφοράς νερού και αλάτος διαμέσου της μεμβράνης:

$$C_p = \frac{M_s}{M_p}$$

Το γεγονός ότι το νερό και το αλάτι έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μεταφοράς μάζας διαμέσου μιας μεμβράνης δημιουργεί το φαινόμενο της απόρριψης του αλάτος. Καμία μεμβράνη δεν είναι ιδανική με την έννοια ότι απορρίπτει πλήρως το αλάτι, αλλά με την αύξηση της πίεσης αυξάνουμε το ρυθμό μεταφοράς μάζας του νερού σε σχέση με αυτόν του αλάτος και το προϊόν έχει λιγότερη αλατότητα.

2.3.5. ΝΑΝΟΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ

Μια άλλη διεργασία μεμβράνης για την παραγωγή πόσιμου νερού από αλμυρό ή υφάλμυρο νερό είναι η διεργασία του νανοφιλτραρίσματος (nanofiltration NF). Είναι μια σχετικά καινούργια μέθοδος η οποία και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου έχουμε νερό με μικρό ποσοστό διαλυμένων ουσιών όπως σε επιφανειακά ύδατα ή σε κινούμενο υπόγειο νερό. Αυτό επιτυγχάνεται με την αφαίρεση των φυσικών και των συνθετικών οργανικών στοιχείων που έχουν μολύνει το νερό. Αυτή η μέθοδος συχνά εφαρμόζεται σε συνδυασμό με την αντίστροφη όσμωση. Σε πειράματα όμως που έγιναν αποδείχθηκε ότι η αφαλάτωση που γινόταν με αυτό τον τρόπο αφαιρούσε μεν τις διαλυμένες ουσίες που έπρεπε ώστε να μειωθεί η συγκέντρωση των αλάτων και να γίνει το νερό πόσιμο, όμως ταυτόχρονα χανόταν και πλήθος θρεπτικών συστατικών, όπως ασβέστιο και ιόντα μαγνησίου, με αποτέλεσμα η συγκέντρωσή τους να έπεφτε κάτω από τα επιτρεπτά όρια που θέτει

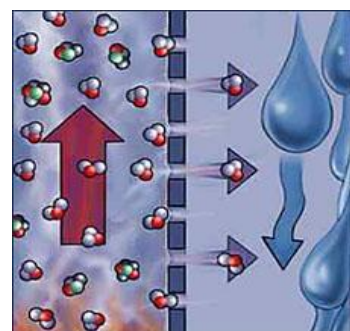
ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας. Έτσι έπρεπε στη συνέχεια να προστεθούν ξανά όλα τα θρεπτικά στοιχεία του νερού που χάθηκαν. Παρόλα αυτά, το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν έχει ιδιαίτερες οικονομικές απαιτήσεις οπότε καθίσταται συμφέρουσα για αναπτυσσόμενες χώρες που έχουν αυξημένες ανάγκες για φθινό νερό σε μεγάλες ποσότητες. Βέβαια, υπάρχουν ενδοιασμοί για το κατά πόσο θα μπορέσουν αυτές οι χώρες να παράγουν και να διαχειριστούν την απαιτούμενη τεχνολογία.

2.3.6. ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΙΟΝΤΩΝ

Μια άλλη μέθοδος που βρίσκει εφαρμογή και στο πεδίο της αφαλάτωσης είναι η ανταλλαγή ιόντων (ion exchange). Αυτή περιλαμβάνει την ανταλλαγή ιόντων μεταξύ δυο ηλεκτρολυτών ή μεταξύ ενός διαλύματος ηλεκτρολυτών και ενός complex. Η διαδικασία αυτή συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψει την διαδικασία καθαρισμού και διαχωρισμού υγρών, και όχι μόνο διαλυμάτων, που περιέχουν ιόντα. Οι ανταλλαγές ιόντων χωρίζονται σε ανταλλαγές ανιόντων όπου ανταλλάσσονται αρνητικά φορτισμένα ιόντα (ανιόντα) και σε ανταλλαγές κατιόντων όπου ανταλλάσσονται θετικά φορτισμένα ιόντα (κατιόντα). Επίσης, υπάρχουν και οι αμφοτερικοί ανταλλαγές όπου είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί ανταλλαγή ανιόντων και κατιόντων ταυτόχρονα.

2.3.7. ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

Η απόσταξη με μεμβράνες είναι μία διεργασία που λειτουργεί με κινούσα δύναμη τη διαφορά θερμοκρασίας. Η διαφορετική θερμοκρασία εκατέρωθεν των πλευρών μιας μικροπερατής υδρόφοβης μεμβράνης επιτρέπει τον διαχωρισμό των δύο φάσεων ενός υγρού, με τα μόρια των σχηματιζόμενων ατμών του θερμότερου διαλύματος να μεταφέρονται μέσα από τους πόρους της διαχωριστικής μεμβράνης.



Εικόνα 2.19. Απόσταξη με μεμβράνη

Πρόκειται για μέθοδο που δεν έχει βρει ακόμα εφαρμογές ευρείας κλίμακας, αν και παρατηρείται τα τελευταία χρόνια αναγέννηση του ενδιαφέροντος για την μέθοδο αυτή, λόγω των δυνατοτήτων συνδιασμού της με την θερμική ηλιακή ενέργεια.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι έχει χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας, χρειάζεται πηγή ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας, μπορεί να λειτουργεί ικανοποιητικά με μεταβλητή πηγή θερμικής ενέργειας, οι μεμβράνες δε χρειάζονται συχνές αλλαγές και τέλος το όλο σύστημα λειτουργεί σε ατμοσφαιρική πίεση.

Βέβαια και αυτή η μέθοδος έχει κάποια μειονεκτήματα, όπως ο χαμηλός ρυθμός παραγωγής αφαλατομένου νερού και η αβεβαιότητα στο κόστος του παραγόμενου νερού.

Η απόσταξη με μεμβράνες έχει μελετηθεί τα τελευταία χρόνια από πολλούς μελετητές όπως οι Blanco Gálvez, et al., (2009), Banat and Jwaied, (2008), Koschikowski, et al., (2003) και Cabassud and Wirth, (2003)

2.4. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΨΥΞΗ

Δεν έχει βρει ακόμα βιομηχανική εφαρμογή παρ' ότι είναι μία απλή μέθοδος στην εφαρμογή της.

Όπως είναι γνωστό, ο πάγος που σχηματίζεται κατά την ψύξη του θαλασσινού νερού αποτελείται από γλυκό νερό και άλατα που συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του πάγου.

Η μέθοδος αυτή απέτυχε γιατί δεν έγινε δυνατόν να σχηματιστούν μεγάλοι κρύσταλλοι πάγου. Οι λεπτοί κρύσταλλοι συγκρατούσαν στην επιφάνειά τους τα άλατα, για την απομάκρυνση των οποίων χρειαζόταν να χρησιμοποιηθεί η μισή ποσότητα νερού. Έτσι η μέθοδος κρίθηκε αντιοικονομική. Η μέθοδος έχει μελετηθεί τα τελευταία χρόνια από πολλούς μελετητές όπως οι Rice and Chau, (1997), Cheng, et al., (1987), Abdul-Fattah, (1987), Schroeder, (1980), Lloyd, (1977) και Fournier, et al., (1974).

2.5. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

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

2.6. ΗΛΙΑΚΗ ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ / ΑΦΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ

Μια ακόμα μέθοδος αφαλάτωσης είναι η μέθοδος ηλιακής υγραποίησης αφυγραποίησης (solar humidification dehumidification SHD). Αυτή είναι μια θερμική μέθοδος που βασίζεται στην εξάτμιση του θαλασσινού ή του υφάλμυρου νερού και την συνεχή συμπύκνωση του παραγόμενου ατμού, κυρίως σε ατμοσφαιρική πίεση. Η διαδικασία αυτή μιμείται τον φυσικό κύκλο του νερού αλλά σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα. Η πιο απλή μέθοδος εφαρμόζεται σε ένα ηλιακό κάτοπτρο όπου εξατμίζεται το θαλασσινό νερό σε ένα δοχείο καλυμμένο με γυαλί και στη συνέχεια συμπυκνώνεται ο υδρατμός στην κάτω πλευρά του γυάλινου καλύμματος. Άλλες πιο εξελιγμένες μέθοδοι διαχωρίζουν την περιοχή όπου ανακτάται η ηλιακή θερμότητα με την περιοχή όπου γίνεται η εξάτμιση και η συμπύκνωση. Η βέλτιστη σχεδίαση της διάταξης χρησιμοποιεί χωριστό τμήμα για την εξάτμιση και την

συμπύκνωση. Ένα μεγάλο ποσοστό της θερμότητας που χάνεται κατά την διάρκεια της εξάτμισης μπορεί να ανακτηθεί κατά την διαδικασία της συμπύκνωσης. Ένα παράδειγμα μεθόδου που κάνει χρήση της ηλιακής υγραποίησης αφυγραποίησης καθώς και της βέλτιστης σχεδίασης που προαναφέρθηκε είναι η υγραποίηση πολλαπλής επίδρασης (Multiple Effect Humidification ΜΕΗ). Τα πλεονεκτήματα της υγραποίησης- αφυγραποίησης είναι ότι με πηγές ενέργειας χαμηλής θερμότητας, δεν απαιτείται τεχνολογία υψηλού επιπέδου, χαρακτηρίζεται από απλότητα στον σχεδιασμό και έχει υψηλή απόδοση. [Ρ]

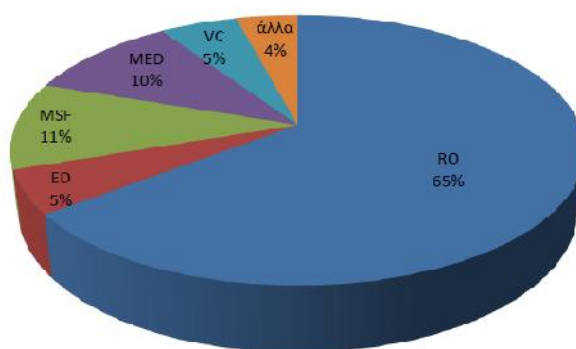
2.7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στον πίνακα 2.1 φαίνεται μια συγκεντρωτική απεικόνιση των κυριότερων μεθόδων αφαλάτωσης

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ	ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΦΑΣΗΣ MSF
	ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΜΕD/ΜΕ
	ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΟΥ VC
ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ	ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ ΕD
	ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ RO
	ΝΑΝΟΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΝF
	ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΜΕΣΩ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΜD
ΛΟΙΠΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ (ΨΥΞΗ)
	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ
	ΗΛΙΑΚΗ ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ ΑΦΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ

Πίνακας 2.1 Κατηγοριοποίηση των κυριότερων μεθόδων αφαλάτωσης

Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η συμμετοχή κάθε μεθόδου αφαλάτωσης στο σύνολο των διεργασιών που πραγματοποιούνται.



Εικόνα 2.20. Συμμετοχή διεργασιών αφαλάτωσης [79]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η παραγωγή πόσιμου νερού με την χρήση αφαλάτωσης είναι μια πολύ ελπιδοφόρα μέθοδος για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Οι περιοχές αυτές, όμως, συνήθως είναι απομονωμένες, χωρίς να είναι εύκολη η πρόσβαση σε αυτές, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα, συχνά, να μην είναι εύκολη η παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περιοχές αυτές συνήθως δεν είναι συνδεδεμένες σε κάποιο ισχυρό δίκτυο παροχής ενέργειας, όπως παραδείγματος χάριν τα ελληνικά νησιά που δεν είναι διασυνδεδεμένα με το Ηπειρωτικό δίκτυο παροχής ενέργειας της Ελλάδας, ή είναι συνδεδεμένες με ανίσχυρα και μικρής δυναμικότητας τοπικά δίκτυα τα οποία συνήθως τροφοδοτούνται από γεννήτριες diesel.



Εικόνα 3.1 Χάρτης διασυνδεδεμένου συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Άρα η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των μεθόδων αφαλάτωσης με συμβατικές πηγές ενέργειας είναι συχνά ανέφικτη, καθώς τα τοπικά δίκτυα παροχής ενέργειας είναι μικρής ισχύος και ήδη καταπονούνται υπερβολικά μη μπορώντας να ανταποκριθούν στα υπόλοιπα φορτία. Ακόμα και όταν υπάρχει η δυνατότητα να γίνει η παροχή ενέργειας η λύση αυτή δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα καθώς οι πηγές ενέργειας που είναι διαθέσιμες είναι ακριβές, όπως το ντίζελ, σε αντίθεση με τον φθηνό πλην πολύ ρυπογόνο λιγνίτη.

Βλέποντας τον φυσικό κύκλο του νερού, κάποιος μπορεί να νομίζει πως το νερό είναι ένα ανανεώσιμο στοιχείο. Αυτό είναι εν μέρει σωστό. Αν λάβουμε όμως υπόψη πως η διαθεσιμότητα του κατάλληλου σε καθαρότητα και ποιότητα νερού πέφτει δραματικά λόγω της πληθυσμιακής αύξησης, της αλόγιστης χρήσης και της μόλυνσης, ίσως δούμε το ζήτημα αυτό με άλλο μάτι. Σε αντίθεση με το γεγονός ότι το νερό καλύπτει το 70,9% της επιφάνειας του πλανήτη μας, υπάρχει μία παγκόσμια κρίση όσων αφορά την διαθεσιμότητα καλού ποιοτικά νερού. Αυτή η κατάσταση έχει οδηγήσει στην χρήση μεθόδων καθαρισμού και αφαλάτωσης.

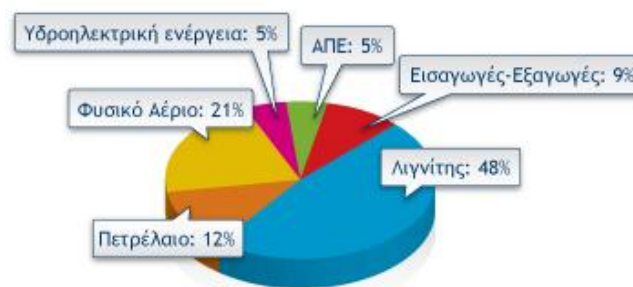
Στις περισσότερες από τις ξερές, ημι-άνυδρες και απομακρυσμένες περιοχές το καθαρό νερό είναι πολύ δυσεύρετο. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι περιοχές στη λεκάνη της μεσογείου και στη μέση ανατολή. Εκεί οι μεγάλες πόλεις υποφέρουν από έλλειψη καλού ποιοτικά νερού, αλλά έχουν την τύχη να έχουν κοντά τους άφθονες πηγές αλμυρού νερού. Κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού υπάρχει η τάση στην κατασκευή μεγάλων μονάδων καθώς είναι πιο οικονομικές και κατάλληλες για πυκνοκατοικημένες περιοχές. Αυτήν την πρακτική δυστυχώς δεν μπορούν να την ακολουθήσουν οι φτωχότερες χώρες. Επίσης υπάρχουν και αραιοκατοικημένες περιοχές όπου ακόμα και η ηλεκτροδότηση είναι δύσκολη. Για αυτές τις περιοχές η αφαλάτωση με ΑΠΕ είναι η ιδανική λύση.

Δυστυχώς, με τα σημερινά δεδομένα δεν χρησιμοποιούμε καθόλου τα πλεονεκτήματα της αφαλάτωσης με ΑΠΕ. Πιο συγκεκριμένα, τέτοιες μονάδες είναι αρκετά σπάνιες και αυτές που ήδη υπάρχουν είναι τόσο μικρές ώστε να καλύπτουν περιορισμένη ζήτηση. Είναι χαρακτηριστικό πως αντιπροσωπεύουν μόνο το 0.02% όλων των μονάδων αφαλάτωσης. Αυτό οφείλεται κυρίως σε συσχετιζόμενες αιτίες.

- **Τεχνολογία:** Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με την αφαλάτωση, οδηγεί στην σύνδεση αυτών των δύο διαφορετικών τεχνολογιών (τεχνολογίες μετατροπής ενέργειας και αφαλάτωσης). Και οι δύο θεωρούνται ώριμες σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, ακόμη και αν υπάρχουν ακόμη σημαντικά περιθώρια όσον αφορά την αύξηση της αποτελεσματικότητας, καθώς και τον όγκο και την μείωση κόστους.
- **Κόστος:** Παρά το γεγονός ότι γίνονται σπουδαίες μελέτες τα τελευταία χρόνια στον τομέα των ανανεώσιμων, ακόμα θεωρείται ανώριμη σαν τεχνολογία, κάτι που κάνει κάποια εξαρτήματα τόσο ακριβά ώστε σε μερικές περιπτώσεις η εμπορευματοποίηση να γίνεται απαγορευτική. Για τις περισσότερες χημικές βιομηχανίες το κόστος της ενέργειας είναι χαμηλό και κυμαίνεται συνήθως, ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος, από 1 έως 5 % του συνολικού κόστους (σε ακραίες περιπτώσεις αγγίζει το 10 %). Αντίθετα στην βιομηχανία της αφαλάτωσης το κόστος ανέρχεται στο 40 % του συνολικού κόστους, όπως αναφέρουν χαρακτηριστικά ο Hellmann, et al., (2001). Εξ'αίτιας, λοιπόν, αυτού του υψηλού κόστους, γίνεται έρευνα πάνω σε όλες τις πιθανές εναλλακτικές ώστε να μπορούμε να παράγουμε όσο το δυνατόν περισσότερο αφαλατωμένο νερό φθηνότερα.

- Διαθεσιμότητα: Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι απεριόριστες, είναι όμως και παροδικές και συνεπώς παρουσιάζουν διαλείποντα χαρακτήρα, που οδηγούν σε περιορισμούς σχετικά με το μέγιστο των ικανοτήτων εκμετάλλευσης ανά μονάδα χρόνου. Επιπλέον, η γεωγραφική κατανομή του δυναμικού των ΑΠΕ δεν ανταποκρίνεται πάντα στην ζήτηση νερού σε τοπικό επίπεδο.
- Βιωσιμότητα: Στις περισσότερες περιπτώσεις, η ωριμότητα των συναφών τεχνολογιών δεν ταιριάζει με το χαμηλό επίπεδο των υποδομών, οι οποίες συχνά χαρακτηρίζουν περιοχές με σοβαρή έλλειψη νερού. Η πείρα έχει δείξει ότι πολλές προσπάθειες ενσωμάτωσης προηγμένων λύσεων αφαλάτωση σε απομονωμένες περιοχές, απέτυχε λόγω της έλλειψης αξιόπιστης τεχνικής υποστήριξης.

Άρα για να εφαρμοστεί η αφαλάτωση πρέπει να λυθεί το πρόβλημα της παροχής ενέργειας.



Εικόνα 3.2 Απεικόνιση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα για το έτος [52]

Αν και τα συστήματα αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δε μπορούν να συναγωνιστούν αυτά που χρησιμοποιούν συμβατικές, όσον αφορά το κόστος του παραγόμενου νερού, μπορούν όμως εύκολα να βρουν εφαρμογή σε απομονωμένες περιοχές και να εξαπλωθούν, λόγω και της φιλικότητάς τους και στο περιβάλλον.

3.2. ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι λεγόμενες συμβατικές μορφές ενέργειας, οι οποίες κυρίως χρησιμοποιούνται σήμερα στις μεγάλες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης παρουσιάζουν συχνές και πολλές φορές σημαντικές αυξομειώσεις κόστους, κάτι που επηρεάζει άμεσα στην τιμή του παραγόμενου αφαλατωμένου νερού. Επίσης η μεταφορά του αφαλατωμένου νερού μακριά από την περιοχή παραγωγής του μπορεί να αυξήσει σημαντικά την τιμή του. Αυτές οι συνθήκες καθιστούν αναγκαία, εκτός από ακραίες περιπτώσεις, την κατανάλωσή του νερού στην ευρύτερη περιοχή παραγωγής του, όπου κατά κανόνα πρέπει να διατίθεται και η ενέργεια για την τροφοδότηση της εγκατάστασης [58].

Μία συμβατική μορφή ενέργειας για τροφοδοσία μιας μονάδας αφαλάτωσης είναι η [ηλεκτρική ενέργεια](#). Αυτή μπορεί να φτάσει σε οποιαδήποτε περιοχή καλυπτόμενη από δίκτυο, καθώς δεν δημιουργούνται ζητήματα με την απόσταση και την ποσότητα. Μία άλλη μορφή ενέργειας είναι η [θερμότητα](#). Αυτή, σε αντίθεση με την ηλεκτρική ενέργεια, πρέπει να διατίθεται επιτόπου, καθώς η μεταφορά της ακόμα και σε μικρές αποστάσεις είναι τελείως ασύμφορη [58].

Ένας άλλος τρόπος είναι η τροφοδοσία ενέργειας από πυρηνικό εργοστάσιο, όπως π.χ. με ατμό που παράγεται σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα. Ο συνδυασμός [πυρηνικής ενέργειας](#) – αφαλάτωσης (Al-Mutaz, 2003) είναι οικονομικός μόνο σε μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης [58].

Τέλος έχουμε και την [απορριπτόμενη ενέργεια](#). Αυτή είναι ενέργεια που απορρίπτεται στο περιβάλλον σε τεράστιες ποσότητες, η οποία κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αφαλάτωση (Shih and Shih, 2000 - Low and Tay, 1991 και El-Dessouky, 1989). Ιδιαίτερα χρήσιμη απορριπτόμενη ενέργεια είναι των απαερίων των μηχανών Diesel και των αεροστροβίλων (Low and Tay, (1991), Toelkes, (1987) και Rautenbach and Arzt, (1983)) [58].

3.3. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι μορφές των ΑΠΕ οι οποίες έχουν διερευνηθεί επιστημονικά και έχουν γίνει κάποια βήματα για την εκμετάλλευσή τους είναι πάρα πολλές. Όμως, για διάφορους λόγους, δεν είναι όλες κατάλληλες για χρήση σε διαδικασίες αφαλάτωσης. Οι κυριότερες μορφές, που έχει διαπιστωθεί ότι μπορούν να αποτελέσουν μια βιώσιμη λύση φαίνονται επιγραμματικά παρακάτω. Θα αναλυθούν εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μπορούν να παράσχουν θερμική ενέργεια (ηλιακοί συλλέκτες, γεωθερμία), ηλεκτρική ενέργεια (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες) ή μηχανική ενέργεια (ανεμογεννήτριες). Κάθε σύστημα αφαλάτωσης παρουσιάζει προβλήματα όταν συνδέεται με συστήματα παροχής ενέργειας που μεταβάλλονται, όπως συμβαίνει με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και για τον λόγο αυτόν, είτε συνδέονται στο κεντρικό δίκτυο είτε χρησιμοποιούνται σε ένα αυτόνομο δίκτυο, προστίθεται κάποιο μικρό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, όπως μπαταρίες, ώστε να εξασφαλιστεί μία σταθερή παροχή ενέργειας.

3.3.1. ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ηλιακή θερμική ενέργεια είναι από τις πολλά υποσχόμενες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού και μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε ποικιλοτρόπως.

Ένας τρόπος είναι με την χρήση της θερμικής ενέργειας όπου μπορούμε να έχουμε ένα σύστημα απόσταξης που θα αποτελείται από τον ηλιακό συλλέκτη και τον

αποστάκτη ή από ένα ολοκληρωμένο σύστημα που τα περιλαμβάνει και τα δυο. Η πρώτη περίπτωση χαρακτηρίζεται έμμεση ηλιακή αφαλάτωση ενώ η δεύτερη ονομάζεται άμεση ηλιακή αφαλάτωση. Η έμμεση ηλιακή αφαλάτωση συνήθως γίνεται μέσω ενός εμπορικά διαθέσιμου ηλιακού συλλέκτη και μιας επίσης εμπορικά διαθέσιμης διάταξης αφαλάτωσης.

Επίσης η ηλιακή θερμική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ή μηχανική ενέργεια και να εξυπηρετήσει τις αντίστοιχες εφαρμογές.

3.3.2. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να συλλεχθεί από μια διάταξη φωτοβολταϊκών πάνελ και να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι κυψέλες των φωτοβολταϊκών είναι συνήθως από πυρίτιο, αν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα ημιαγωγικά υλικά. Στις εφαρμογές που κυκλοφορούν στην αγορά βλέπουμε ότι μπορούν να επιτευχθούν αποδόσεις της τάξης του 15-28% για μονοκρυσταλλικές κυψέλες πυριτίου και 10-11% για πολυκρυσταλλικές κυψέλες πυριτίου. Η ηλεκτρική παραγωγή μπορεί να αυξηθεί συγκεντρώνοντας την ηλιακή ακτινοβολία σε ορισμένα σημεία με την χρήση κατάλληλων ανακλαστικών καθρεφτών καθώς και με την χρήση κατάλληλων αισθητήρων που εντοπίζουν την θέση του ήλιου και στρέφουν ανάλογα τις κυψέλες στην σωστή κατεύθυνση. Η κυριότερη κατεύθυνση στην έρευνα στον χώρο των φωτοβολταϊκών είναι η αύξηση της απόδοσης των κυψελών, η μείωση του κόστους κατασκευής των και η έρευνα για άλλα ημιαγωγικά υλικά, όπως το CIS που είναι ευαίσθητο και σε ακτινοβολίες που ανήκουν στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος του φωτός ή το GaAs για το οποίο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 30% [4].

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών είναι από τις πιο ώριμες και προχωρημένες στο χώρο των ΑΠΕ. Ειδικότερα, για την αφαλάτωση, οι προσπάθειες που έχουν γίνει για τον συνδυασμό ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά με την διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης ήταν επιτυχείς και συνιστούν οικονομικά βιώσιμη και εμπορικά εκμεταλλεύσιμη λύση. Το κατά πόσο αυτή η τεχνολογία είναι ανταγωνιστική με την παραγωγή ενέργειας από συμβατικές πηγές έχει να κάνει με την χωρητικότητα της μονάδας με την απόσταση από το ηλεκτρικό δίκτυο καθώς και με την συγκέντρωση άλατος στο νερό τροφοδοσίας [5].



Εικόνα 3.3 Το πάρκο Nellis Solar Power Plant στην βάση Nellis Air Force Base στις ΗΠΑ. Αυτές οι διατάξεις ακολουθούν την πορεία του ηλίου σε έναν άξονα

3.3.3. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει λύση, ειδικά για τις παράκτιες περιοχές, στις οποίες συνήθως το αιολικό δυναμικό είναι αυξημένο. Το αιολικό δυναμικό θεωρείται κατάλληλο αν η μέση τιμή της ταχύτητας τους ανέμου είναι πάνω από 5m/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 100kW
- 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 κι αλλιώς δεν είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για τη χρήση στην αφαλάτωση. Οι νέες στρατηγικές ελέγχου και οι νέοι τρόποι αποθήκευσης ενέργειας βελτιώνουν τις δυνατότητες παραγωγής 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 όσμωση 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 όσμωσης.



Εικόνα 3.4 Αιολικό πάρκο στο Χόλσταϊν της Γερμανίας (www.wikipedia.com)

Πάντως, σε απομονωμένες περιοχές για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού, και όχι αλμυρού, είναι προτιμότερη η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση από την αντίστροφη όσμωση καθώς είναι λιγότερο ευαίσθητη στην λειτουργία με την μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια που προέρχεται από τις ανεμογεννήτριες.

Ο συνδυασμός των πλεονεκτημάτων των δυο παραπάνω μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να αποτελέσει πολύ καλή λύση. Ένα τέτοιο σύστημα ονομάζεται *υβριδικό*.

3.3.4. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα συμπληρωματικά χαρακτηριστικά του ανέμου και του ηλίου καθιστούν την χρήση υβριδικών συστημάτων μία υποσχόμενη εναλλακτική. Καθώς η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη μόνο κατά τη διάρκεια μίας ηλιόλουστης μέρας, η αιολική θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις άλλες περιπτώσεις. Όπως είναι φυσικό, είναι αναμενόμενη η χρήση τους σε περιοχές με πού ηλιοφάνεια και επαρκές αιολικό δυναμικό, όπως είναι τα νησιά των Κυκλάδων και τα Δωδεκάνησα.

3.3.5. ΒΙΟΜΑΖΑ

Η χρήση της βιομάζας για αφαλάτωση *δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτική* καθώς τα οργανικά υπολείμματα δεν είναι συνήθως διαθέσιμα σε άνυδρες περιοχές ενώ η παραγωγή τους απαιτεί πιο πολύ νερό από ότι η αφαλάτωση που θα προκύψει με την χρήση τους. Επίσης, η οικονομική απόδοση των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν την βιομάζα ως μέσο για παραγωγή ενέργειας επηρεάζεται και από την απόσταση του τόπου παραγωγής της βιομάζας από τον τόπο κατανάλωσης της. Γενικά, η οικονομικά αποδεκτή αξιοποίηση της βιομάζας είναι μια δύσκολη υπόθεση καθώς τα προβλήματα που εγείρονται είναι πάρα πολλά.

3.3.6. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Η γεωθερμία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αφαλάτωση *με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα* και αποτελεί πολύ καλή λύση και για την Ελλάδα καθώς στα εδάφη της βρίσκονται πάρα πολλές πηγές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στον ελληνικό χώρο είναι η Μήλος, στα εδάφη της οποίας έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες εκμετάλλευσης της γεωθερμίας, είτε σε πειραματικό επίπεδο είτε πιο προχωρημένες [87].

Οι πηγές γεωθερμικής ενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν με βάση την μετρούμενη θερμοκρασία τους ως χαμηλής θερμοκρασίας (<100°C), μεσαίας θερμοκρασίας (100-150°C) και υψηλής θερμοκρασίας (>150°C). Το θερμικό δυναμικό ποικίλει από 15 ως 75 °C ανά χιλιόμετρο βάθους αλλά η ροή θερμότητας είναι ανώμαλη σε διάφορες ηπειρωτικές περιοχές. Χαμηλής θερμότητας πηγές γεωθερμίας στα ανώτερα 100 μέτρα μπορούν να αποτελέσουν μια φθηνή λύση για αφαλάτωση. Οι πηγές γεωθερμίας υψηλής πίεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε μηχανική. Αυτή η δυνατότητα σε συνδυασμό και με την δυνατότητα μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε

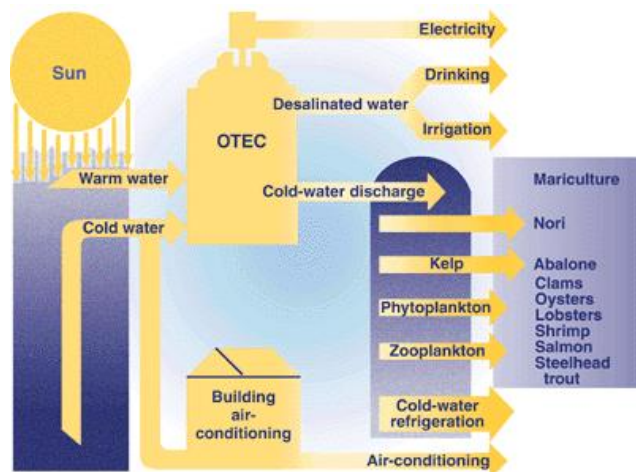
ηλεκτρική, επιτρέπουν την χρήση διάφορων μεθόδων αφαλάτωσης που να ταιριάζουν στην μορφή της ενέργειας [87].



Εικόνα 3.5 Μονάδα αφαλάτωσης με γεωθερμία στο Nesjavellir της Ισλανδίας

3.3.7. ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Αυτή ορίζεται ως η ενέργεια των κυμάτων, των παλιρροιών καθώς και το θερμικό δυναμικό της θάλασσας. Σήμερα υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας και της ενέργειας της παλίρροιας ενώ η εκμετάλλευση του θερμικού δυναμικού είναι πολύ ακριβή, γεγονός που αποτρέπει την εμπορική της εκμετάλλευση. Αυτή η τεχνολογία περιλαμβάνει την εφαρμογή ενός κύκλου μετατροπής ισχύος λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ των επιφανειακών υδάτων και των υδάτων σε βάθος 1000 μέτρων ή και περισσότερο. Τα θερμά ύδατα βράζουν σε ένα θάλαμο υπό κενό και στη συνέχεια συμπυκνώνονται εξαιτίας των κρύων υδάτων. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια εφαρμογή της ωκεάνιας ενέργειας που συνδυάζει και την παραγωγή πόσιμου νερού μέσω αφαλάτωσης.



Εικόνα 3.6 Χρήση της τεχνολογίας OTEC (Ocean thermal energy conversion) για την αφαλάτωση νερού

3.4. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΑΠΕ

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

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

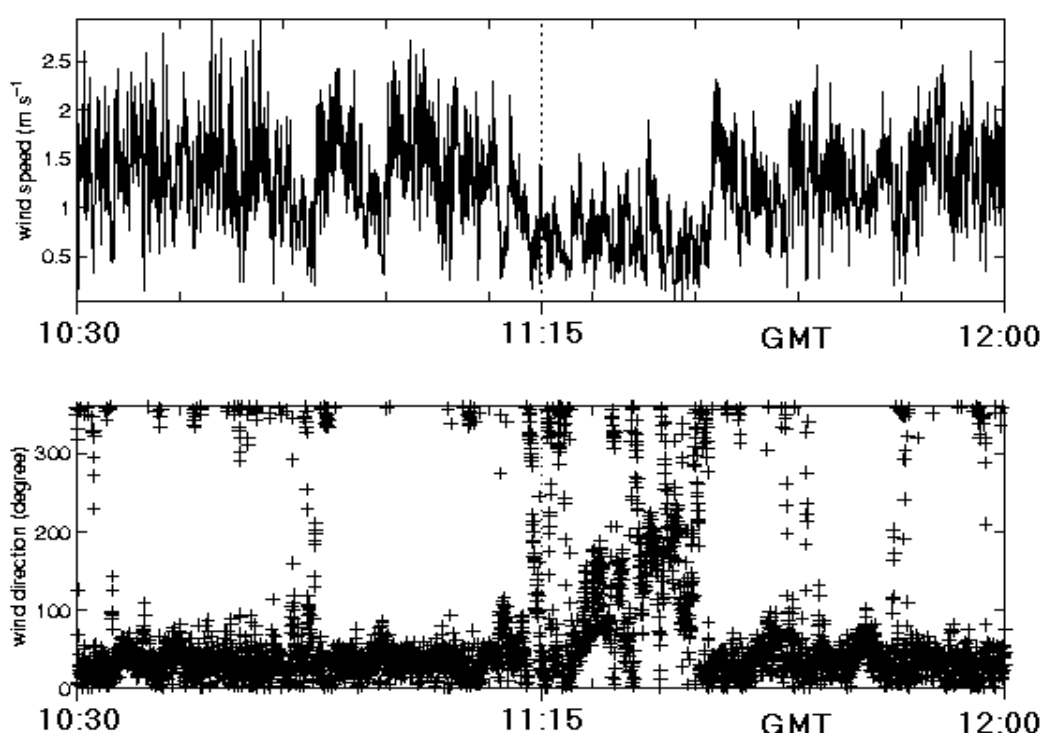
Όσο αφορά την προσαρμογή της μορφής ΑΠΕ που θα επιλέξουμε με την μέθοδο αφαλάτωσης, με εξαίρεση κάποιους βασικούς κανόνες, δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο γενικό συμπέρασμα. Οι τελικές επιλογές πρέπει να γίνουν με βάση κάποια τοπικά στοιχεία και παραμέτρους.

Αυτά τα τοπικά στοιχεία είναι οι γεωγραφικές συνθήκες, η τοπογραφία της περιοχής, η χωρητικότητα της διάταξης και η ενέργεια που είναι διαθέσιμη σε χαμηλό κόστος, η ύπαρξη των τοπικών υποδομών, η περιεκτικότητα σε αλάτι του νερού. Κάποια πιο γενικά κριτήρια είναι η ανθεκτικότητα του συστήματος, η απλότητα της λειτουργίας, το χαμηλό κόστος συντήρησης, το μέγεθος της κατασκευής, η εύκολη μεταφορά του εξοπλισμού στην τοποθεσία, η διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας και η αντοχή σε αντίξοες συνθήκες που ενδεχομένως να επικρατούν στις απομονωμένες περιοχές.

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

Επίσης πρέπει να λάβουμε υπόψη τον τυχαίο και παροδικό χαρακτήρα που έχουν οι περισσότερες από τις ΑΠΕ καθώς προκαλεί αδυναμία πρόβλεψης για το μέλλον και δυσκολίες στον προγραμματισμό. Αυτή η συμπεριφορά πάντως, δεν πρέπει να εκπλήσσει καθώς οι περισσότερες μορφές ΑΠΕ εξαρτώνται από στοιχεία της φύσης όπως η ταχύτητα του ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία, των οποίων οι ακριβείς τιμές είναι δύσκολο να προβλεφθούν [79].

Ενδεικτικά, στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η έντονη μεταβολή της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου σε κάποια περιοχή. Αυτό που πρέπει να παρατηρήσει κανείς είναι ότι όλες αυτές οι εναλλαγές έχουν γίνει στο χρονικό διάστημα ενενήντα λεπτών. Με αυτό τον τρόπο βλέπουμε και στην πράξη τον τυχαίο και παροδικό χαρακτήρα και το πόσο δύσκολο είναι να γίνει η οποιαδήποτε πρόβλεψη [79].



Εικόνα 3.6 Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου [79]

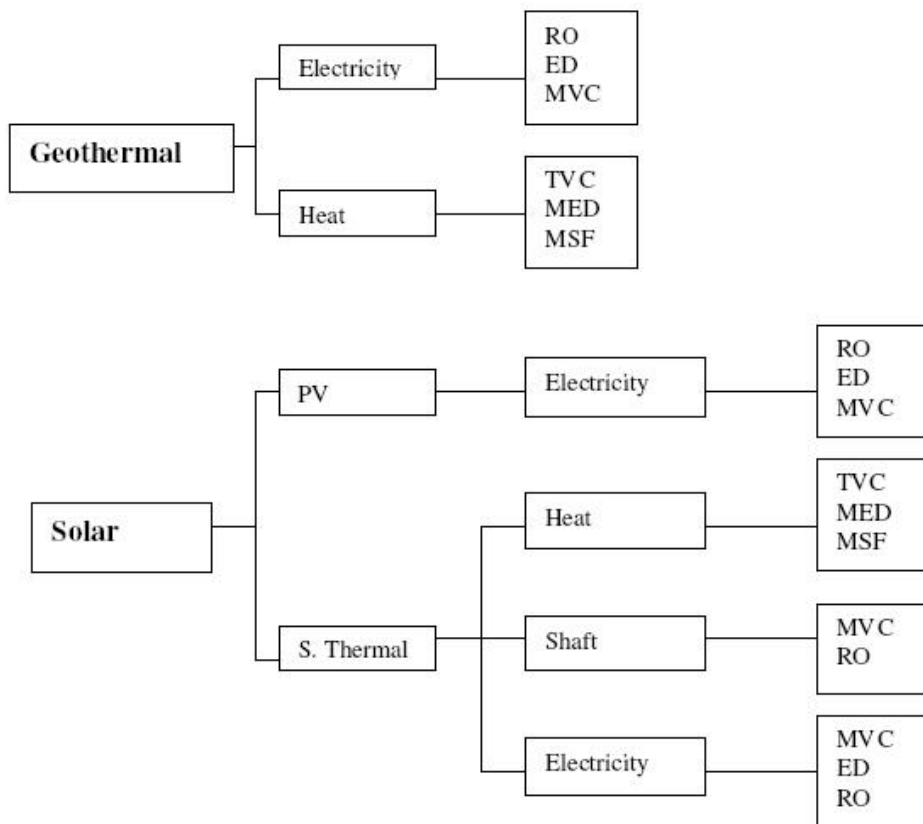
Υπάρχουν 3 γενικές στρατηγικές με τις οποίες μπορούμε να επιτύχουμε την προσαρμογή.

Η πρώτη έχει να κάνει με την διαχείριση ισχύος και στόχος είναι η παροχή στην μονάδα αφαλάτωσης της απαιτούμενης ισχύος, άσχετα με τις συνθήκες που επικρατούν εκείνη την στιγμή. Αυτό απαιτεί ένα υβριδικό σύστημα το οποίο θα διαθέτει ένα πλήθος επιλογών για την κατάλληλη πηγή ενέργειας. Μπορεί να συνδυάζει ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. αιολική και φωτοβολταϊκά), να χρησιμοποιεί μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. το δίκτυο ή ντιζελογεννήτριες) ή να χρησιμοποιεί κάποιο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. μπαταρίες). Απαιτείται η παρουσία φορτίου απόρριψης (dump load) για την διοχέτευση της πλεονάζουσας ενέργειας [79].

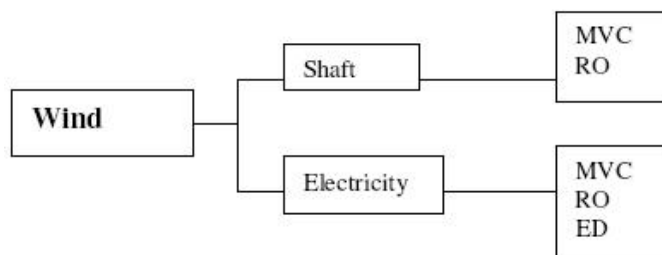
Η δεύτερη στρατηγική μπορεί να χαρακτηριστεί ως στρατηγική παρόντος φορτίου. Διέπεται από την λογική της προσαρμογής του φορτίου στην μεταβλητή εισερχόμενη ισχύ ώστε να απορροφάται όλη η παραγόμενη ισχύς και βασίζεται μόνο στις ΑΠΕ. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δυο τρόπους, είτε ξεκινώντας και σταματώντας την διαδικασία της αφαλάτωσης διαρκώς, ώστε η μονάδα να αποκλίνει από το φυσιολογικό σημείο σχεδιασμού του, είτε μετακινώντας το σημείο λειτουργίας της μονάδας [79].

Τέλος, η τρίτη στρατηγική συνδυάζει τα παραπάνω. Όσο αφορά την διαχείριση φορτίου ένας στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της εξάρτησης από μη ανανεώσιμες πηγές. Σε ότι έχει να κάνει με την διαχείριση ισχύος όμως, ο έλεγχος δεν εφαρμόζεται μόνο στην πλευρά της μονάδας αφαλάτωσης αλλά και σε αυτή της πηγής ανανεώσιμης ενέργειας. Για παράδειγμα, αν μιλάμε για ανεμογεννήτρια τότε μπορούμε να ελέγξουμε την γωνία πτερυγίων και τον αριθμό στροφών [79].

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



Εικόνα 3.7 Εφαρμογές γεωθερμικής και ηλιακής ενέργειας [79]



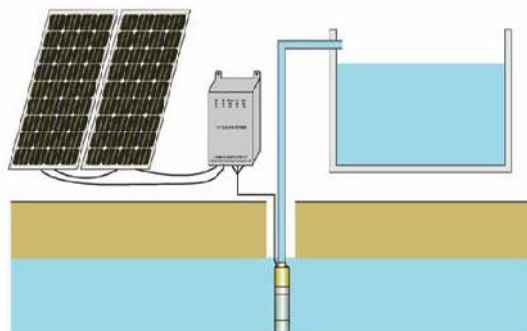
Εικόνα 3.8 Εφαρμογές αιολικής ενέργειας [79]

3.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΕ

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

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

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



Εικόνα 3.10 Ηλιακή αντλία

Η λύση πάντως των ΑΠΕ δεν αποτελεί πανάκεια. Απαιτείται μελέτη της κάθε περίπτωσης αναλυτικά καθώς πρέπει να διερευνηθεί το δυναμικό της κάθε μορφής ΑΠΕ στην περιοχή ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη. Πρέπει να γίνει τεchnικοοικονομική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η διαθεσιμότητα της κάθε τεχνολογίας και η εμπορική της ωριμότητα, η δυνατότητα εφαρμογής της στην κάθε

περίπτωση, οι υπάρχουσες υποδομές καθώς και αυτές που απαιτείται να γίνουν, το κόστος της επένδυσης και της εγκατάστασης.

Επίσης με την χρήση των ΑΠΕ επιτυγχάνεται διαφοροποίηση στην προμήθεια της ηλεκτρικής ενέργειας. Δεν υπάρχει πλέον η εξάρτηση από τους μεγάλους παραγωγούς και προμηθευτές, το μονοπώλιο καταρρέει και οι οικονομικές διακυμάνσεις είναι πιο δύσκολο να πλήξουν την κοινωνία. Πρέπει να δώσουμε ιδιαίτερη σημασία σε αυτό το στοιχείο καθώς οι περιοχές όπου απαιτείται να εφαρμοστεί η λύση της αφαλάτωσης αντιμετωπίζουν προβλήματα ανάπτυξης, τα οποία είναι εύκολο να επιδεινωθούν καθώς η διαδικασία της αφαλάτωσης είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα και απαιτεί σημαντικό κεφάλαιο. Δεν πρέπει να παραλείψουμε το γεγονός ότι στην εποχή μας, όπου η μόλυνση του περιβάλλοντος απειλεί ολοένα και περισσότερο και η εκπομπή των ρύπων περιορίζεται αυστηρά από το πρωτόκολλο του Κιότο, η παράβαση του οποίου επισύρει αυστηρές ποινές, η κατανάλωση ενέργειας που προέρχεται από συμβατικά καύσιμα πρέπει, στον βαθμό που είναι δυνατό, να αποφευχθεί. Έτσι, οι ΑΠΕ φαντάζουν ως ιδανική λύση για την αφαλάτωση, μιας και η κατανάλωση ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλή.



Εικόνα 3.11 Μόλυνση του αέρα

3.6. ΛΟΓΟΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΠΕ

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

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

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

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

Οι ελλείψεις σε εξοπλισμό, τεχνογνωσία και υποδομές των απομονωμένων περιοχών αποτελεί ένα ακόμα πρόβλημα. Έτσι καθίσταται δύσκολη η εφαρμογή μεθόδων υψηλής τεχνολογίας σε τέτοια μέρη καθώς υπάρχει ο κίνδυνος της αποτυχίας λόγω της αδυναμίας παροχής αξιόπιστης τεχνικής υποστήριξης. Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι η χρήση των ΑΠΕ αυξάνει κατά πολύ το κόστος της επένδυσης, και ιδιαίτερα, όσο πιο πολύπλοκος είναι ο συνδυασμός των ΑΠΕ, (π.χ. ένα υβριδικό σύστημα) τόσο πιο ακριβή γίνεται η επένδυση. Το κόστος αυτό όμως αντισταθμίζεται από τα πολλαπλά οφέλη που έχουμε, ακριβώς λόγω της χρήσης των ΑΠΕ. Αυτά είναι η μείωση της ενέργειας που αντλείται από το δίκτυο, που ειδικά σε περιόδους αιχμής είναι πολύ σημαντική. Αυξάνεται η ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ και το πιθανό περίσσειμα μπορεί να δοθεί προς χρήση στο δίκτυο. Μειώνεται η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και το κόστος για την αγορά αυτών, ιδιαίτερα στις μέρες μας που οι τιμές τους είναι σε διαρκή άνοδο. Έτσι, επιτυγχάνεται και μείωση των αερίων που είναι υπαίτια για το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς και των χρημάτων που απαιτούνται για τον περιορισμό τους. Η γενική άποψη είναι ότι μπροστά σε όλα αυτά τα οφέλη μια μικρή αύξηση του ισοσταθμισμένου κόστους νερού είναι ασήμαντη.

3.7. ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

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



Εικόνα 3.12 Συμμετοχή ΑΠΕ στην αφαλάτωση [79]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ, ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Με τον σημερινό τρόπο που γίνονται οι επενδύσεις, μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους που λαμβάνονται υπ όψη σε μία επένδυση, αν όχι η σημαντικότερη, είναι οι οικονομικές παράμετροι της, όπως η οικονομική απόδοση. Η αφαλάτωση δεν θα μπορούσε να ξεφεύγει από αυτό τον κανόνα. Η οικονομική απόδοση της μονάδας απεικονίζεται στο ισοσταθμισμένο κόστος το οποίο μετράται σε € ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος.

Ο προσδιορισμός των οικονομικών δεδομένων σε μια μονάδα αφαλάτωσης είναι δύσκολος καθώς είναι πολλοί οι παράγοντες που επηρεάζουν, όπως η επιλογή της μεθόδου και το νερό τροφοδοσίας. Όσο αφορά το νερό τροφοδοσίας, η αφαλάτωση θαλασσινού νερού κοστίζει 3 με 5 φορές παραπάνω από αυτή του υφάλμυρου, για μονάδες ίδιου μεγέθους, καθώς όσο πιο μεγάλη είναι η συγκέντρωση των αλάτων τόσο πιο πολύ ενέργεια απαιτείται. Το συνολικό κόστος είναι το άθροισμα του κόστους επένδυσης, του κόστους λειτουργίας και του κόστους συντήρησης. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία σύντομη αναφορά στο κόστος και στο κεφάλαιο 8 θα επανέλθουμε σε αυτό το θέμα αναλυτικότερα.

4.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

4.1.1. ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

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

4.1.2. ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Εδώ περιλαμβάνεται το κόστος για την ενέργεια, για το προσωπικό καθώς και για τα αναλώσιμα που χρησιμοποιούνται.

4.1.3. ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Το κόστος συντήρησης μιας μονάδας αφαλάτωσης αποτελείται από το κόστος προετοιμασίας του νερού, τον τακτικό καθαρισμό του συστήματος, την αντικατάσταση του μηχανικού εξοπλισμού, των διάφορων αναλώσιμων τμημάτων και των συστημάτων ελέγχου

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

4.1.4. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ

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

4.1.5. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Θεωρητικά, η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή καταναλισκόμενης ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί είναι $0,8 \text{ kWh/m}^3$ παραγόμενου νερού, ανεξαρτήτως από την επιλεγμένη διαδικασία. Η κατανάλωση ενέργειας βασίζεται σε πολλούς παράγοντες. Κάποιες από αυτές είναι η συγκέντρωση θαλασσινού νερού, η θερμοκρασία λειτουργίας, ο ρυθμός μετατροπής, οι απώλειες θερμότητας, η διαφορά θερμοκρασίας στις θερμικές διεργασίες κ.α. Οι διαδικασίες που περιλαμβάνουν αλλαγή φάσης του νερού απαιτούν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας. Για τον λόγο αυτό, οι διαδικασίες απόσταξης εφαρμόζονται κυρίως σε χώρες όπου υπάρχει άφθονο φθινό πετρέλαιο, όπως στην Μέση Ανατολή. Παρόλα αυτά θερμικές διαδικασίες οι οποίες χρησιμοποιούν ατμό που έχει προέλθει από συμπαραγωγή είναι οικονομικά ελκυστικές και συγκρίνονται με το κόστος της αντίστροφης όσμωσης. Για τις διεργασίες μεμβράνης, οι απαιτήσεις ενέργειας εξαρτώνται από την αλμυρότητα του νερού τροφοδοσίας. Μια λύση είναι η χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας καθώς έτσι η εξοικονόμηση μπορεί να αγγίξει το 40%.

Οι απαιτήσεις σε ενέργεια για τις κυριότερες μεθόδους φαίνονται στον πίνακα 4.1. ενώ στον πίνακα 4.2. υπάρχει μια συγκεντρωτική απεικόνιση των επιμέρους στοιχείων κόστους για τις διάφορες μεθόδους.

Prosses	Energy of steam kWh/m^3	Electric energy consumption kWh/m^3	Electric equivalent consumption kWh/m^3
MSF	7,5 - 11	2,5 - 3,5	10 - 14,5
MED	4 - 7	~2	6 - 9
VC	-	7 - 15	7 - 15
SWRO	-	4 - 6 with energy recovery 7-13 without energy recovery	4 - 6 with energy recovery 7 - 13 without energy recovery
BWRO	-	0,5 - 2,5	0,5 - 2,5
ED	-	0,7 - 2,5	0,7 - 2,5

Πίνακας 4.1. Απαιτήσεις σε ενέργεια μεθόδων αφαλάτωσης [92]

Διαδικασία	Επένδυση €/m ³ day	Ενέργεια €/m ³ day	Αναλώσιμα €/m ³ day	Προσωπικό €/m ³ day	Συντήρηση €/m ³ day	Συνολικό Κόστος €/m ³ day
MSF	1000-2000	0,6-1,8	0,03-0,09	0,03-0,2	0,02-0,06	0,68-2,15
MED	900-1800	0,38-1,12	0,02-0,15	0,03-0,2	0,02-0,06	0,45-1,53
VC	900-2500	0,56-2,4	0,02-0,15	0,03-0,2	0,02-0,08	0,63-2,83
SWRO	800-1600	0,32-1,28	0,09-0,25	0,03-0,2	0,02-0,05	0,46-1,78
BWRO	200-500	0,04-0,4	0,05-0,13	0,03-0,2	0,004-0,02	0,12-0,75
ED	266-328	0,06-0,4	0,05-0,13	0,03-0,2	0,006-0,009	0,15-0,74

Πίνακας 4.2. Στοιχεία κόστους για μεθόδους αφαλάτωσης [92]

4.2. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Η κάθε διαδικασία αφαλάτωσης ανταποκρίνεται διαφορετικά ανάλογα με την πηγή ενέργειας που θα επιλέξουμε να χρησιμοποιήσουμε. Αυτό φυσικά επηρεάζει την παραγωγή του νερού και κατά συνέπεια και το κόστος του. Στην συνέχεια θα αναφέρουμε κάποια στοιχεία που επηρεάζουν την οικονομική συμπεριφορά, και όχι μόνο, για τις κυριότερες διαδικασίες αφαλάτωσης καθώς και κάποιες συγκρίσεις μεταξύ τους.

4.2.1. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ

Η διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης έχει αποδειχθεί πως είναι η πιο συμφέρουσα ενεργειακά, καθώς έχει την μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση, γεγονός που δίκαια την κατατάσσει στις δημοφιλέστερες μεθόδους, καθώς απαιτείται περίπου η μισή ενέργεια σε σχέση με αυτή των θερμικών διεργασιών.[92] Με την βελτίωση και εξέλιξη των νέων σύνθετων μεμβρανών, οι οποίες πλέον είναι ανθεκτικότερες στην υψηλή πίεση, επιτυγχάνονται υψηλότεροι ρυθμοί μετατροπής του νερού. Οι νέες αυτές μεμβράνες έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, γεγονός που μειώνει το κόστος συντήρησης της μονάδας. Επίσης η αντίστροφη όσμωση χαρακτηρίζεται από τον απλό σχεδιασμό των μονάδων της, την μικρή έκταση που αυτές καταλαμβάνουν, τον μικρότερο χρόνο κατασκευής (1 μήνας) και τις μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με αυτές των θερμικών διεργασιών.

Το μειονέκτημά της, όμως, είναι ότι παρόλο που είναι απλή στην λειτουργία, απαιτείται η συνεχής παρουσία εξειδικευμένου προσωπικού καθώς η εγκατάσταση πρέπει να βρίσκεται διαρκώς υπό συνεχή παρακολούθηση, διότι διάφορα σφάλματα μπορούν να οδηγήσουν σε κάποια πιθανή καταστροφή των μεμβρανών. Η λειτουργία της αντίστροφης όσμωσης με μεταβλητή εισερχόμενη ισχύ δεν ενδείκνυται. Κατά αυτό τον τρόπο δεν μπορεί να λειτουργήσει με τον βέλτιστο τρόπο, γι'αυτό και το ιδεατό είναι η λειτουργία της υπό σταθερή ισχύ. Για αυτό χρειάζεται μια ενδιάμεση διάταξη αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. μία μπαταρία) η οποία, όμως, μειώνει την άμεσα διαθέσιμη ενέργεια και αυξάνει το αρχικό κόστος επένδυσης. Η μπαταρία απορροφά το πλεόνασμα της παραγόμενης ενέργειας το οποίο και δίδεται όταν η ζήτηση υπερκαλύπτει την παραγωγή και το ισοζύγιο ισχύος τείνει να γίνει αρνητικό. Επίσης απαιτείται επάρκεια στα χημικά που

χρησιμοποιούνται (αναλώσιμα) για την προετοιμασία του νερού καθώς και πλήθος εφεδρικών μεμβρανών σε περίπτωση βλάβης της κύριας.

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

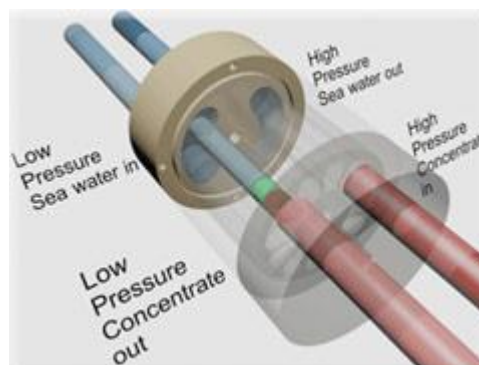
Το αυξανόμενο κόστος της αντίστροφης όσμωσης μπορεί να αντιμετωπιστεί με δύο τρόπους.

- ✚ Ο πρώτος είναι η αποτελεσματικότερη σχεδίαση της όλης διαδικασίας και η ανάλυση, η μοντελοποίηση και ο σχεδιασμός κάθε κομματιού της διαδικασίας ξεχωριστά. Κάποιο λάθος στον σχεδιασμό μπορεί μελλοντικά να καταστρέψει οικονομικά ολόκληρη την μονάδα.
- ✚ Ο δεύτερος είναι η βελτίωση της οικονομικής απόδοσης της μονάδας αφαλάτωσης με την μείωση του λειτουργικού κόστους της μονάδας το οποίο είναι πάνω από το μισό του συνολικού ετήσιου κόστους της μονάδας.

Έχει αποδειχθεί ότι μπορούν να επιτευχθούν υψηλότεροι βαθμοί απόδοσης όταν η μονάδα λειτουργεί σε σταθερή ροή και πίεση. Τέσσερις παράγοντες επηρεάζουν το σημείο λειτουργίας της μονάδας και αυτοί είναι:

1. Η μέγιστη πίεση του νερού τροφοδοσίας, η οποία καθορίζεται από την μηχανική αντοχή των μεμβρανών.
2. Ο μέγιστος ρυθμός ροής της άλμης, ο οποίος δεν πρέπει να ξεπερνιέται γιατί προκαλούνται έτσι βλάβες στην μεμβράνη.
3. Ο ελάχιστος ρυθμός ροής της άλμης ο οποίος πρέπει να τηρείται για να αποφευχθεί η δημιουργία ιζήματος και, κατά συνέπεια, η καταστροφή της μεμβράνης.
4. Η μέγιστη συγκέντρωση παραγόμενου νερού, η οποία εξαρτάται από την ασκούμενη πίεση. Αν αυτή είναι χαμηλότερη από κάποια τιμή οδηγεί στην υπερβολική αύξηση της συγκέντρωσης του παραγόμενου νερού

Η ανάκτηση ενέργειας, στην διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης για θαλασσινό νερό, είναι σημαντικός παράγοντας για την μείωση του κόστους της εγκατάστασης. Γι' αυτό είναι σημαντική η χρήση ενός εναλλάκτη πίεσης για την αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας της άλμης και την επιστροφή της στο σύστημα, αυξάνοντας τον βαθμό απόδοσης της διάταξης και μειώνοντας σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας καθώς μικραίνει το μέγεθος της αντλίας υψηλής πίεσης.



Εικόνα 4.1 Απλό σχήμα εναλλάκτη πίεσης

4.2.2. ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ

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

4.2.3. ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΟΥ

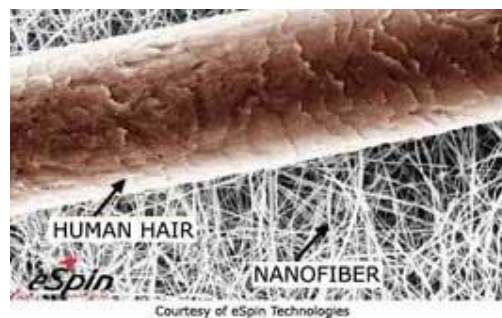
Η MVC παρόλο που καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από την RO (αντίστροφη όσμωση) παρουσιάζει λιγότερα προβλήματα από αυτή λόγω της ανοχής της στην μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια. Επίσης, είναι πιο κατάλληλη για απομονωμένες περιοχές γιατί είναι πιο ανθεκτική, δύναται να λειτουργήσει σωστά χωρίς ιδιαίτερα εξειδικευμένο προσωπικό και δεν χρειάζεται τόσα χημικά στην προεργασία νερού όπως η RO. Μιας και είναι διαδικασία απόσταξης δεν απαιτεί μεμβράνες μειώνοντας, έτσι, το κόστος και προσφέρει καλύτερο ποιοτικά νερό. Τέλος, λόγω της απόσταξης που γίνεται, σε περίπτωση μολυσμένου νερού εξασφαλίζεται η απουσία μικροοργανισμών και μικροβίων από το παραγόμενο νερό. Το πλεονέκτημα της απουσίας των μικροοργανισμών το έχουν όλες οι διαδικασίες απόσταξης.

Μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι οι μονάδες που χρησιμοποιούν μηχανική συμπίεση (VC) έχουν χαμηλότερη απόδοση από τις αντίστοιχες μονάδες που χρησιμοποιούν εξάτμιση πολλαπλής επίδρασης (MED) και απόσταση πολλαπλής φάσης (MSF).

4.3. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ

Λαμβάνοντας υπόψη τα οικονομικά δεδομένα των διαφόρων μεθόδων αφαλάτωσης, πρέπει να αναφέρουμε τις διάφορες προοπτικές εξέλιξης στους τομείς στους οποίους στρέφεται η έρευνα σήμερα, καθώς αναμένεται μελλοντικά να επιτευχθεί σημαντική μείωση στο κόστος.

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



Εικόνα 4.2. Μέγεθος νανοϊνών σε σύγκριση με μία ανθρώπινη τρίχα

στάδια των διαδικασιών.

Στον αντίποδα, όσων αφορά τις διεργασίες μεμβρανών, οι εξελίξεις αφορούν τον τομέα της βελτίωσης της απαιτούμενης προεργασίας και της μείωσης του κόστους των μεμβρανών. Πρόοδος υπάρχει στην βελτίωση των λειτουργιών της μεμβράνης ώστε να βελτιωθεί η αποκατάσταση και η απόρριψη του άλατος και στην μείωση των χημικών και βιολογικών επιπτώσεων των σφαλμάτων. Εξελίξεις υπάρχουν και στον τομέα της βελτίωσης της λειτουργίας με μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια, που είναι γενικό χαρακτηριστικό γνώρισμα των ΑΠΕ.

4.4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΤΙΣ ΑΠΕ

Για να ληφθεί η σωστή απόφαση και να γίνει σωστή επιλογή της κατάλληλης μεθόδου αφαλάτωσης πρέπει να λάβουμε υπόψη πολλές παραμέτρους με βάση την περιοχή. Αυτές είναι η τοποθεσία και η δημογραφική διανομή της, η αλμυρότητα του νερού, η πηγή προέλευσης του, ο τύπος ΑΠΕ που θα χρησιμοποιήσουμε καθώς και η μορφή που θα έχει η ενέργεια που χρειαζόμαστε (θερμική, ηλεκτρική κτλ). Οι δυο μορφές του νερού που έχουμε να αντιμετωπίσουμε είναι το αλμυρό και το υφάλμυρο. Όπως είναι εύκολα αντιληπτό, όσο πιο μεγάλη είναι η συγκέντρωση του άλατος τόσο περισσότερη ενέργεια απαιτείται για τον διαχωρισμό του από το καθαρό νερό. Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται κάποιοι συνδυασμοί νερού, διαδικασίας αφαλάτωσης, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και κατανάλωσης ενέργειας. [92]

Νερό τροφοδοσίας	Τρόπος αφαλάτωσης	Θερμική Ενέργεια (kJ/kg)	Ηλεκτρική Ενέργεια (kWh/m ³)
Αλμυρό νερό	MSF	190-290	4 - 6
	MED	150-290	2,5 - 3
	VC	-	8 - 12
	RO με ανάκτηση ενέργειας	-	3 - 5
	RO χωρίς ανάκτηση ενέργειας	-	7 - 10
Υφάλμυρο νερό, 1500-1300 ppm TDS	RO	-	1 - 3
	ED	-	1,5 - 4

Ppm = parts per million

TDS = total dissolved solids

Πίνακας 4.3 Ενεργειακές απαιτήσεις ανάλογα με το νερό τροφοδοσίας [92]

Τεχνολογία	Νερό τροφοδοσίας	Τεχνολογία αφαλάτωσης
Ηλιακή Θερμική	Αλμυρό νερό	MEB
	Αλμυρό νερό	MSF
Φωτοβολταϊκά	Αλμυρό νερό	RO
	Υφάλμυρο νερό	RO
	Υφάλμυρο νερό	ED
Αιολική ενέργεια	Αλμυρό νερό	RO
	Υφάλμυρο νερό	RO
	Αλμυρό νερό	MVC
Γεωθερμία	Αλμυρό νερό	MEB

Πίνακας 4.4 Συνδυασμοί μορφής ενέργειας, νερού τροφοδοσίας και μεθόδου αφαλάτωσης [92]

Αν το νερό τροφοδοσίας είναι υφάλμυρο η ηλεκτροδιάλυση είναι πιο κατάλληλη γιατί είναι πιο ανθεκτική και εύρωστη από την RO καθώς και πιο απλή και εύχρηστη στην λειτουργία και στην συντήρηση. Επιπλέον μπορεί πιο εύκολα να προσαρμοστεί σε μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια, όπως αυτή που προέρχεται από τις ανεμογεννήτριες, και να λειτουργήσει απρόσκοπτα. [92]

Παρατηρώντας τους παραπάνω πίνακες (4.3 και 4.4) πρέπει να αναφέρουμε ότι με βάση την δυνατότητα της θερμομηχανικής μετατροπής μπορούμε να κάνουμε έμμεση χρήση της θερμικής ενέργειας για αντίστροφη όσμωση (RO), εξάτμιση πολλαπλής επίδρασης (MED) και συμπίεση ατμού (MVC).

4.5. ΓΕΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

4.5.1. ΝΕΡΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Το νερό τροφοδοσίας παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή της διαδικασίας. Η εμπειρία έχει δείξει ότι για θαλασσινό νερό συμφέρει να επιλέξουμε θερμικές διεργασίες και αντίστροφη όσμωση, ενώ για υφάλμυρο νερό είναι πιο κατάλληλες η αντίστροφη όσμωση και η ηλεκτροδιάλυση. Ειδικά όσο αφορά τις διεργασίες μεμβράνης, η ηλεκτροδιάλυση είναι καλύτερη για χαμηλή συγκέντρωση άλατος ενώ δεν πρέπει να παραλείψουμε το ότι η αντίστροφη όσμωση απαιτεί και προετοιμασία του νερού η οποία μπορεί να αυξήσει το κόστος.

Σε περίπτωση που υπάρχει η δυνατότητα επιλογής, η λύση του υφάλμυρου έχει το πλεονέκτημα της χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης καθώς αυτή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την συγκέντρωση των αλάτων.

4.5.2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Οι θερμικές διεργασίες παράγουν αποσταγμένο νερό με πολύ χαμηλή συγκέντρωση αλάτων, της τάξης των 10-20 ppm, ενώ οι διεργασίες μεμβράνης παράγουν νερό με συγκέντρωση 350-500 ppm. Η επεξεργασία που απαιτείται για το νερό που έχει παραχθεί ποικίλει ανάλογα με την μελλοντική χρήση του.

4.5.3. ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

Το μέγεθος της μονάδας καθορίζεται κυρίως από την ζήτηση νερού. Οι διεργασίες απόσταξης είναι κατάλληλες για μονάδες μεγάλου μεγέθους. Η απόσταξη πολλαπλής φάσης χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μεγάλου μεγέθους, η εξάτμιση πολλαπλής επίδρασης χρησιμοποιείται σε μεσαίου μεγέθους εφαρμογές ενώ εξαίρεση αποτελεί η μηχανική συμπίεση που είναι για πιο μικρές εφαρμογές. Οι διεργασίες μεμβράνης είναι κατάλληλες για κάθε είδους εφαρμογές.

4.5.4. ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ ΑΛΜΗΣ

Όταν η μονάδα βρίσκεται κοντά στην ακτογραμμή δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα. Όταν όμως είναι εγκατεστημένη σε ηπειρωτικές περιοχές το πρόβλημα είναι μεγάλο καθώς η άλμη μπορεί να μολύνει τα γειτονικά οικοσυστήματα. Μια λύση είναι η δημιουργία λιμνών εξάτμισης. Εναλλακτικά, συνιστάται να εφαρμοστεί η ανάκτηση ενέργειας από την άλμη στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό ώστε να μειωθεί η ποσότητα της αλλά και το μέγεθος του συστήματος διαχείρισης της.



Εικόνα 4.3 Τεχνητή λίμνη εξάτμισης. Σκοπός της είναι η αποφυγή της μόλυνσης των γειτονικών οικοσυστημάτων της μονάδας.

4.6 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Οι μονάδες αφαλάτωσης παρουσιάζουν δύο κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων:

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



Εικόνα 4.4. Αυτόνομη Μονάδα Αφαλάτωσης Αντίστροφης όσμωσης στα Κανάρια Νησιά με φωτοβολταϊκά κελιά.

Επίσης, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις διακρίνονται:

1. Κατά το στάδιο της κατασκευής
 - 1.1 Ηχορύπανση
 - 1.2 Αισθητική ρύπανση
 - 1.3 Δημιουργία σκόνης
2. Κατά το στάδιο λειτουργίας

Όπως παρουσιάστηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η αφαλάτωση απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας, η οποία εξαρτάται φυσικά από την ύπαρξη ή όχι συστήματος ανάκτησης της υδραυλικής ενέργειας της άλμης. Επίσης η χρήση συμβατικών καυσίμων παράγει αέριους ρύπους προς το περιβάλλον όπως CO, CO₂, SO₂ και NO_x, καθώς και στερεά σωματίδια. Σύμφωνα με τη Συνθήκη του Κιότο υπάρχει δέσμευση μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 5% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 έως το 2008 - 2012. [Z]

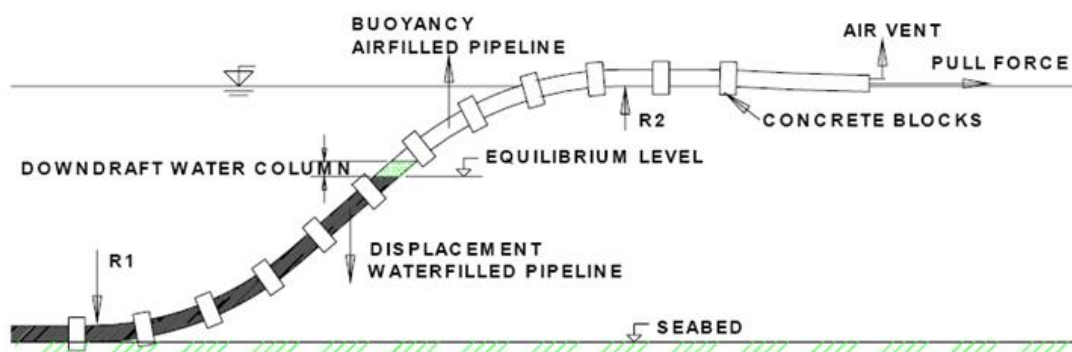
Στο πλαίσιο λοιπόν της προστασίας του περιβάλλοντος, εντάσσεται ο συνδυασμός των ενεργειακών καταναλώσεων των μονάδων αφαλάτωσης με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Πλέον ο συνδυασμός των τεχνολογιών είναι εφαρμόσιμος και τεχνοοικονομικά εφικτός. Η αποτελεσματικότητα και η απόδοση του συνδυασμού

των τεχνολογιών αυτών εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως το δυναμικό των ΑΠΕ (αιολικό, ηλιακό), η ποιότητα του τροφοδοτούμενου νερού (υφάλμυρο ή θαλασσινό), κλπ. Επίσης, εξαρτάται από την ικανότητα του συστήματος να παρέχει σταθερή ισχύ και συνεχή λειτουργία, άρα πρέπει να υπάρχει σχεδιασμός για αποθήκευση ενέργειας. Η χρήση όμως συσσωρευτών που εξασφαλίζουν σταθερή παροχή ισχύος στην μονάδα αφαλάτωσης αυξάνει κατά πολύ το κόστος της εγκατάστασης. Είναι χαρακτηριστικό ότι η αφαλάτωση ξεκίνησε να χρησιμοποιείται κυρίως στη Μέση Ανατολή όπου υπάρχει έλλειψη νερού, αλλά άφθονη ενέργεια με την μορφή του πετρελαίου. [Z]

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

4.7 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ – ΑΠΟΛΗΨΗΣ ΑΛΜΟΛΟΙΠΟΥ

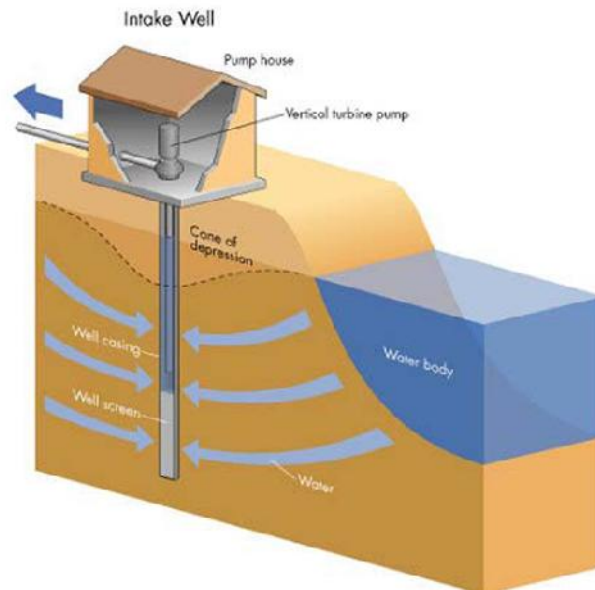
🚧 Αγωγοί ανοικτού άκρου (open intake)



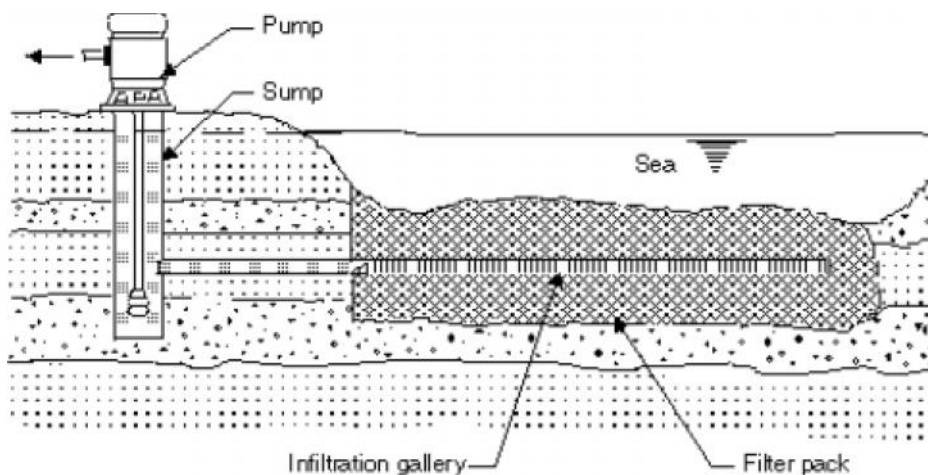
S-LAY INSTALLATION OF FLEXIBLE PIPELINES

Εικόνα 4.5. Αγωγοί ανοικτού άκρου (Open intake)

Beach Wells

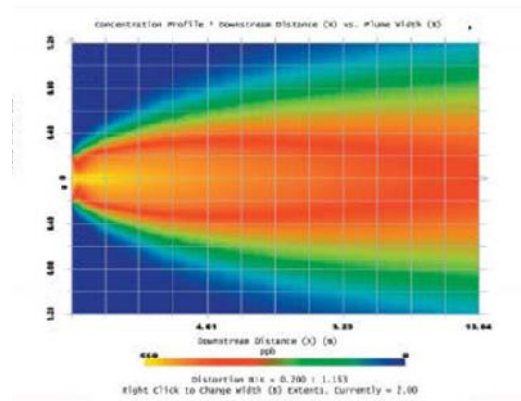
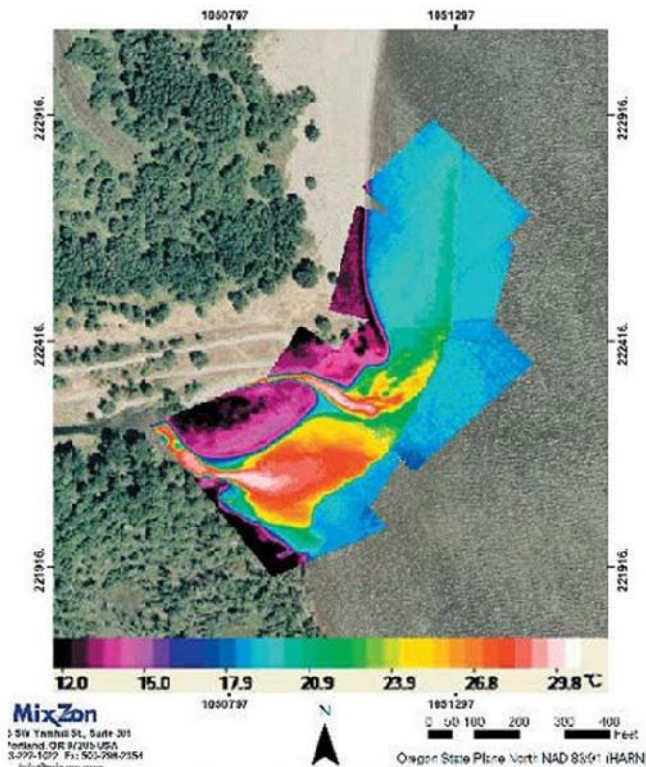


Στοές διήθησης (infiltration galleries)



Εικόνα 4.6. Στοά διήθησης

Τα αποπλύματα των μεμβρανών επίσης απορρίπτονται στη θάλασσα μαζί με το αλμόλιπο. Για την δημιουργία ενός κυβικού γλυκού νερού, απαιτείται άντληση τριών περίπου κυβικών θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού. Συχνά με την απορρόφηση θαλασσινού νερού, απορροφώνται θαλάσσιοι μικροοργανισμοί και πλαγκτόν, μέχρι και μικρά ψάρια. Στην Κύπρο και στην Σαουδική Αραβία, όπου υπάρχουν οι μεγαλύτερες μονάδες στον κόσμο, έπειτα από χρόνια απόρριψης της άλμης στη θάλασσα, καταστράφηκε η χλωρίδα και η πανίδα σε ακτίνα πολλών χιλιομέτρων από τις εγκαταστάσεις της αφαλάτωσης. Η άλμη επίσης, δεν μπορεί να ταφεί στην γη διότι καταστρέφει τις καλλιέργειες. [Z]



Εικόνα 4.7. Μελέτη διασποράς αλμολοιπού με κατάλληλα υπολογιστικά μοντέλα

Οι συμβατικοί τρόποι για την διαχείριση της άλμης είναι η απόρριψή της απ' ευθείας πίσω στην θάλασσα, η απόρριψη σε σύστημα αποχέτευσης, η

απόρριψη σε γεωτρήσεις ή απ' ευθείας στο έδαφος. Κάποιες φορές μπορεί να χρησιμοποιηθεί ηλιακή λίμνη, με σκοπό την εξάτμιση του νερού, παραγωγή και συλλογή του αλατιού και αποθήκευση της θερμότητας. Για την απόρριψη της άλμης πρέπει να γίνει μελέτη βυθομέτρησης, μελέτη ανάγλυφου βυθού, μελέτη κυμάτων και ρευμάτων. Ορισμένα είδη θαλάσσιας βλάστησης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην αλατότητα, όπως π.χ. τα φύκια *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, και *Caulerpa prolifera*. [7]

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

ΒΑΣΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ: ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ, ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΛΜΗΣ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	kg CO ₂ /m ³	gr NO _x /m ³	gr SO _x /m ³	Σκόνη (gr) /m ³ νερού
MSF	1,98 - 23,41	4,46 - 28,30	11,34 - 28,01	1,02
MEE	1,19 - 18,05	2,53 - 21,43	15,74 - 26,31	2,04
RO	1,75 - 2,79	2,05 - 4,05	2,79 - 11,13	2,07

Πίνακας 4.5.

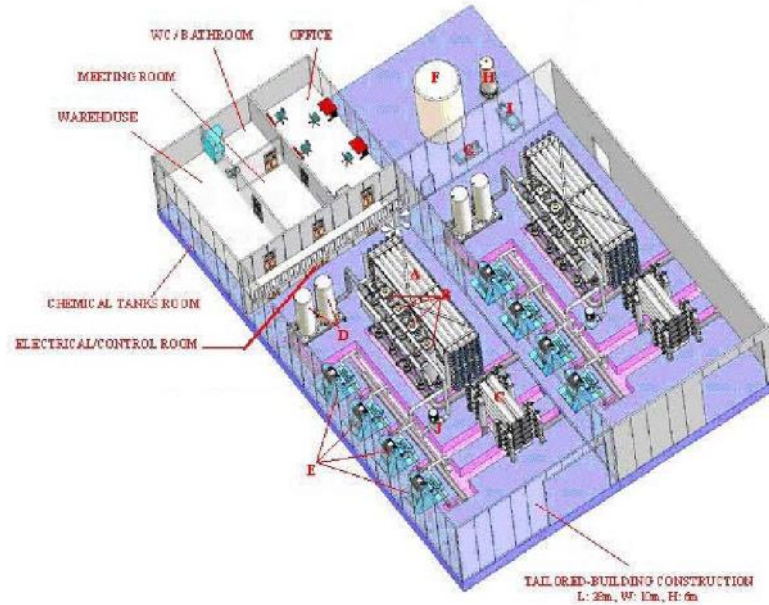
Για όλα αυτά βεβαίως τα προαναφερόμενα, υπάρχουν λύσεις: ήδη αναφέρθηκε ότι οι ΑΠΕ μπορούν να προσφέρουν ενέργεια για τις ανάγκες της αφαλάτωσης, με μείωση της ταχύτητας απορρόφησης του θαλασσινού νερού δεν απορροφώνται τα μεγαλύτερα ψάρια, και η επιστροφή της άλμης με μεγάλη πίεση επιτρέπει την διασπορά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

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

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

Με την προσθήκη αντιδραστηρίων κατά του αφρισμού, δημιουργούνται αλκυλιωμένες πολυγλυκόλες, λιπαρά οξέα, εστέρες λιπαρών οξέων, ενώ απαιτείται επίσης πλύση μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης με αλκαλικά διαλύματα (pH = 11-12), κάθε 3 έως 6 μήνες, για την απομάκρυνση λάσπης και βιολογικών επικαθήσεων, πλύση με όξινα διαλύματα (pH = 2-3), για απομάκρυνση οξειδίων μετάλλων και σκουριάς και πλύση με απορρυπαντικά. [Z]

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί και η περιβαλλοντική επίπτωση της ηχορύπανσης, τόσο στο στάδιο της κατασκευής της μονάδας αφαλάτωσης, όσο και στο στάδιο λειτουργίας, (μονάδες αντίστροφης όσμωσης) με τις αντλίες υψηλής πίεσης, τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας, τις τουρμπίνες κλπ. Εξίσου σημαντική μπορεί να θεωρηθεί και η ενδεχόμενη αισθητική ρύπανση με την τοποθέτηση μονάδων αφαλάτωσης σε παραθαλάσσιες περιοχές. Επιβάλλεται η χωροθέτησή τους μακριά από αρχαιολογικούς χώρους και τουριστικά θέρετρα, καθόσον για μια μονάδα 5.000 -10.000 m³/ημέρα απαιτείται έκταση 10.000 m². [Z]



Εικόνα 4.8. Χωροταξία Μονάδων Αφαλάτωσης

Σε κάποιες περιπτώσεις προτιμώνται τα θαλάσσια πηγάδια ως πηγές τροφοδοσίας σε σχέση με τα ανοιχτά συστήματα, όπου υπάρχει και η φίλτρανση μέσω άμμου. Όμως χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για να μην επηρεάσουν τον παράκτιο υδροφόρα και δεν προτιμώνται για μονάδες μέσης και μεγάλης δυναμικότητας λόγω των μικρών παροχών τους.

4.8 ΣΧΕΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

- Κ.Υ.Α. 15393/2332/2002
- Ν. 3010/2002, Εναρμόνιση του Ν. 1650/1986 με τις Οδηγίες 97/11 Ε.Ε. και 96/61 Ε.Ε.

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

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

- Κ.Υ.Α. Η.Π. 11014/703/Φ104/2003

Α/Α	ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΟΥ Ή ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΣΥΕ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΡΩΤΗ		ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΕΥΤΕΡΗ		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
			ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ 1 ^α	ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ 2 ^α	ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ 3 ^α	ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ 4 ^α	
Σύλλογη, καθάρισμα και διανομή νερού							
265	Αφαλάτωση νερού	410.0α	> 100 m ³ /ημέρα	≤ 100 m ³ /ημέρα			Οι ποσότητες αναφέρονται στην δυναμικότητα της εγκατάστασης, ως προς το παραγόμενο προϊόν (όγκος νερού)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, η καλύτερη λύση, όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση μονάδων αφαλάτωσης, είναι ο συνδυασμός τους με ΑΠΕ. Ο συνδυασμός των δυο τεχνολογιών είναι τεχνικά εφικτός και έχει πλέον αρκετές εφαρμογές παγκοσμίως. Η πλειονότητα των εφαρμογών αυτών αφορά μικρές, αυτόνομες πιλοτικές μονάδες που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο εθνικών και κοινοτικών προγραμμάτων. Μέχρι σήμερα έχουν καταγραφεί παγκοσμίως πάρα πολλές εφαρμογές συνδυασμού των δύο τεχνολογιών για την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού. Η μέχρι σήμερα έρευνα και λειτουργία πιλοτικών συστημάτων έχει αποδείξει ότι υπάρχουν τεχνολογίες που είναι αρκετά υποσχόμενες, με δυνατότητα κάλυψης μιας κυρίως μονάδας σε απομακρυσμένη περιοχή χωρίς εύκολη πρόσβαση σε ηλεκτρισμό, με νερό καλής ποιότητας σε κόστος συγκρίσιμο ή χαμηλότερο, σε ορισμένες περιπτώσεις, από άλλες πηγές νερού.

Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες εφαρμογές συνδυάζουν την τεχνολογία αφαλάτωσης με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια ενώ λιγότερες αναφέρονται για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας. Στο παρών κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την ανάλυση των συστημάτων που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια.

Γενικότερα, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε άμεσα μέσω της θέρμανσης και της εξάτμισης του θαλασσινού ή του υφάλμυρου νερού στους ηλιακούς αποστακτήρες, είτε έμμεσα συλλαμβάνοντας την ηλιακή ενέργεια με κάποια από τις τεχνικές που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια για την κίνηση μιας συμβατικής μεθόδου αφαλάτωσης. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στις έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και οι ηλιακές θερμικές μονάδες. Παρακάτω ακολουθεί σύντομη ανάλυση της λειτουργίας των μονάδων αυτών.

5.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (PV / ΦΒ)

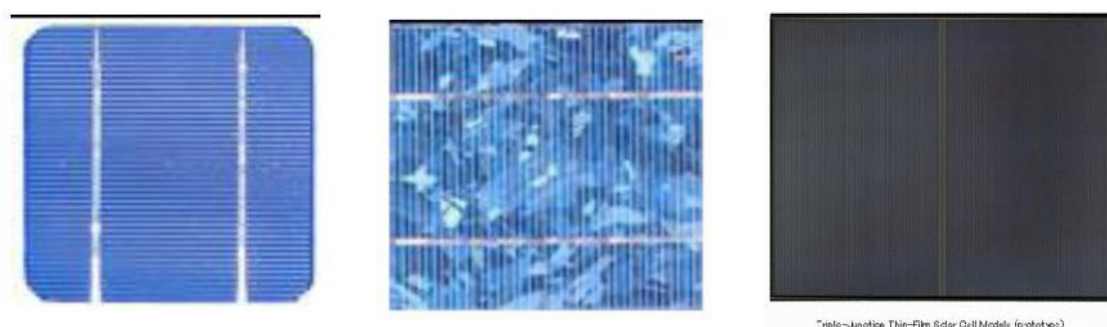
Οι ηλιακές κυψέλες, κοινώς τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, είναι «συσκευές» που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου (1839 Becquerel). Κατά το φαινόμενο αυτό, το ηλιακό φως που προσπίπτει σε έναν ημιαγωγό δυο στρωμάτων δημιουργεί ηλεκτρικό δυναμικό μεταξύ τους. Η τάση αυτή μπορεί να ενεργοποιήσει μια, ανάλογης τάσης και ισχύς συσκευή ή να διανεμηθεί στο ηλεκτρικό σύστημα.

Αναλυτικά, οι μονοκρυσταλλικές κυψέλες (m-Si) κατασκευάζονται τεμαχίζοντας έναν ενιαίο κρύσταλλο, (πάχος κυψέλης 1/3 έως 1/2 του χιλιοστού), από ένα μεγάλο πλίνθωμα ενιαίου κρυστάλλου που έχει επεξεργαστεί σε θερμοκρασίες περίπου 1400°C, κάτι που είναι μια πολύ ακριβή διαδικασία. Το πυρίτιο πρέπει να

είναι πολύ υψηλής καθαρότητας και να έχει τέλεια δομή κρυστάλλου. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά έχουν την καλύτερη απόδοση.

Οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες (p-Si) κατασκευάζονται με μια διαδικασία χύτευσης κατά την οποία το λειωμένο βιομηχανικό πυρίτιο χύνεται σε μια φόρμα όπου και μορφοποιείται, κατόπιν τεμαχίζεται. Δεδομένου ότι οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες γίνονται από χύτευση είναι σημαντικά φτηνότερη η παραγωγή τους, αλλά όχι τόσο αποδοτικές όσο και οι μονοκρυσταλλικές. Αυτή η χαμηλότερη αποδοτικότητα, που κυμαίνεται μεταξύ 13% και 15%, οφείλεται στις ατέλειες στη δομή του κρυστάλλου ως αποτέλεσμα της διαδικασίας χύτευσης.

Τέλος, τα λεπτά φιλμ άμορφου πυριτίου, τα οποία αποτελούν μια από τις τεχνολογίες λεπτού υμένα (thin films), κατασκευάζονται με εναπόθεση πυριτίου επάνω σε ένα υπόστρωμα γυαλιού από ένα αντιδραστικό αέριο όπως το σιλάνιο (SiH_4). Δεν έχει κρυσταλλική δομή, και το πάχος του (2-3 μm) είναι πολύ μικρότερο από το κρυσταλλικής μορφής πυρίτιο (200-500 μm). Από κατασκευαστική άποψη είναι το απλούστερο και επομένως και το πιο φθηνό. Η απόδοσή του είναι συγκριτικά μικρότερη από τα προαναφερθέντα ήδη. Παρόλα αυτά, είναι ικανοποιητική ακόμη και σε συνθήκες έλλειψης ηλιοφάνειας. Η αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών άμορφου πυριτίου κυμαίνεται μεταξύ 4% και 11%, ανάλογα με την τεχνολογία και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν.

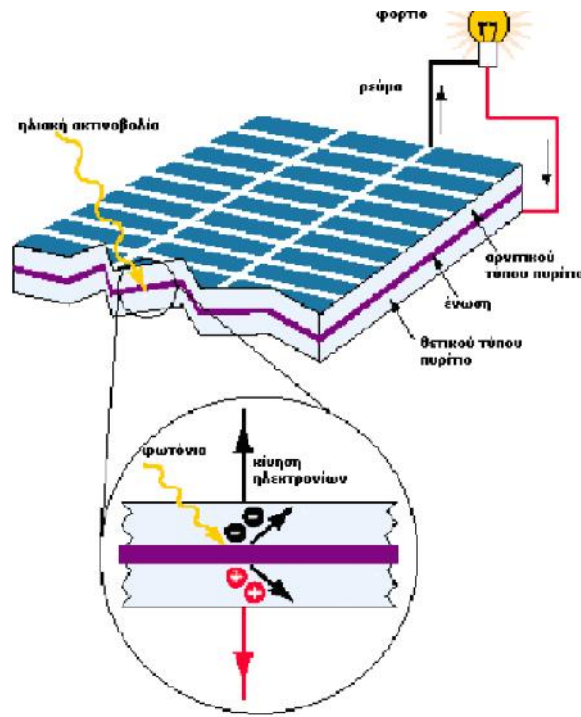


Εικόνα 5.1 Τα προαναφερθέντα είδη φωτοβολταϊκών, μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό και thin film [11]

Εκτός από τους παραπάνω τρεις τύπους φωτοβολταϊκών κυψελών από πυρίτιο που διατίθενται στην παγκόσμια αγορά, γίνονται έρευνες για τη χρησιμοποίηση και άλλων στοιχείων (είτε μόνα τους ή σε συνδυασμό) όπως αρσενιούχο γάλλιο (GaAs), θειούχο κάδμιο (CdS), φωσφορούχο ίνδιο (InP) κτλ. [11]

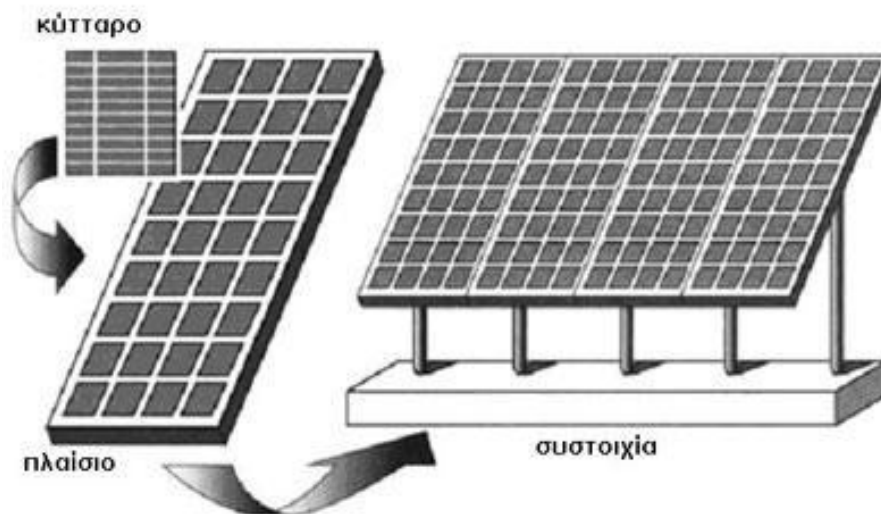
Η λειτουργία των ηλιακών κυψελών στηρίζεται στην δυνατότητα απορρόφησης των φωτονίων από τα φωτοβολταϊκά κύτταρα. Από την απορρόφηση ενός φωτονίου ένα ηλεκτρόνιο απωθείται από ένα άτομο πυριτίου. Αυτό συμβαίνει όταν η ενέργεια του φωτονίου είναι τουλάχιστον ίση ή ξεπερνάει το ενεργειακό κενό του ημιαγωγού οπότε και απορροφάται από τα ηλεκτρόνια σθένους. Η ενέργεια που αποκτούν τους δίνει τη δυνατότητα να μεταπηδούν στη περιοχή αγωγιμότητας αφήνοντας πίσω μια θετικά φορτισμένη οπή, δημιουργώντας έτσι μια διαφορά δυναμικού. Το ελευθερωμένο ηλεκτρόνιο και το θετικό φορτίο έχουν την τάση να αλληλοεξουδετερωθούν μεταξύ τους. Χρησιμοποιώντας όμως μια δίοδο επιτρέπουμε τη ροή ηλεκτρονίων μόνο προς τη μία κατεύθυνση (από το θετικό προς

το αρνητικό φορτίο), οπότε δεν μπορούν να εξουδετερωθούν παρά μόνο εάν κλείσει το κύκλωμα. Όταν όμως, οι ηλεκτρικές επαφές στο μπροστινό και οπίσθιο τμήμα του κυττάρου συνδέονται μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κατευθύνονται στο θετικά φορτισμένο πυρίτιο, παράγοντας κατά συνέπεια ρεύμα. [11]



Εικόνα 5.2 Σχηματική Απεικόνιση Λειτουργίας Ηλιακών Κυψελών [11]

Τέλος, πολλά Φ/Β πλαίσια σχηματίζουν τις Φ/Β συστοιχίες. Στις συστοιχίες ο εγκαταστάτης μπορεί να ενώσει τα πλαίσια σε σειρά ή παράλληλα ανάλογα την τάση και την ένταση του ρεύματος που επιθυμεί για το σύστημά του. [11]



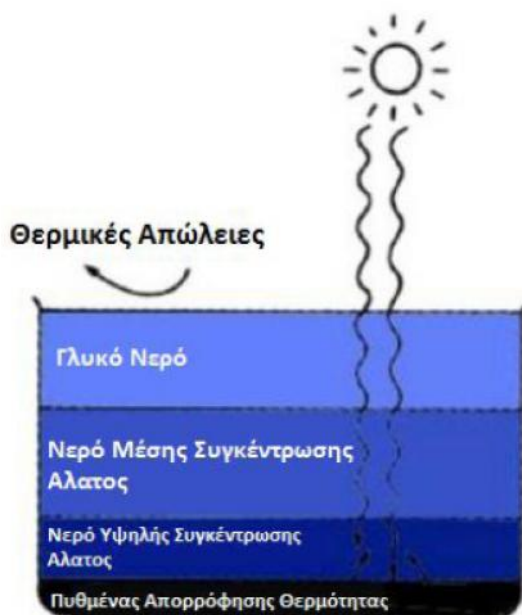
Εικόνα 5.3 Φωτοβολταϊκά πλαίσια και συστοιχίες [11]

5.3. ΗΛΙΑΚΑ ΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια με σκοπό την παραγωγή θερμότητας, η οποία συνήθως χρησιμοποιείται για την θέρμανση νερού. Η βασική αρχή λειτουργίας των ηλιακών θερμικών συστημάτων είναι η εξής. Καθώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ηλίου διαπερνά τον συλλέκτη, παγιδεύεται στο εσωτερικό του και απορροφάται από την επιφάνειά που βρίσκεται μέσα στον συλλέκτη, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της. [11]

Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στις διεργασίες αφαλάτωσης για την εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας είναι οι ηλιακοί συλλέκτες και διακρίνονται σε στατικούς συλλέκτες και συλλέκτες εντοπισμού του ηλίου, οι οποίοι μπορούν να έχουν έναν ή δυο άξονες. Οι τύποι των συλλεκτών που χρησιμοποιούνται κυρίως στις μέρες μας είναι οι ηλιακές λίμνες με κλίμακα αλατότητας, οι επίπεδοι συλλέκτες, οι ηλιακοί συλλέκτες κενού και οι παραβολικοί συλλέκτες. [11]

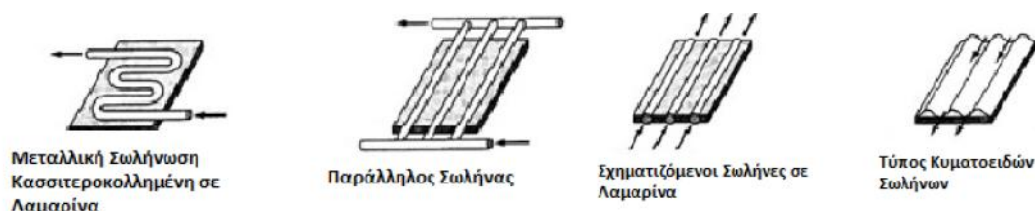
Αναλυτικότερα, η ηλιακή δεξαμενή με κλίμακα αλατότητας είναι μια αβαθής λίμνη με μια κατακόρυφη κλίμακα αλατότητας, όπως παρουσιάζεται και στην *Εικόνα 5.4*, έτσι ώστε το πυκνότερο και με μεγαλύτερη συγκέντρωση άλατος νερό να παραμένει στον πυθμένα της λίμνης και να μην αναμιγνύεται με το γλυκό νερό του ανωτάτου επιπέδου. Ως αποτέλεσμα, τα χαμηλότερα επίπεδα υψηλότερης συγκέντρωσης άλατος είναι και αυτά με τις υψηλότερες θερμοκρασίες, ενδεικτικά 70-85° C. Η θερμότητα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού, με την χρήση επιπρόσθετης θερμότητας από κάποια συμβατική πηγή, για την παροχή ενέργειας σε διεργασίες αφαλάτωσης, όπως επίσης και για την παροχή θερμότητας με σκοπό την θέρμανση κτιρίων. Η ηλιακή δεξαμενή αποτελεί έναν τύπο ηλιακού συλλέκτη που διαθέτει το δικό του σύστημα αποθήκευσης. Η αρχή λειτουργίας της είναι η συλλογή ενέργειας μέσω της απευθείας απορρόφησης αλλά και διάχυσης του ηλιακού φωτός. Αποτελείται από τρία επίπεδα νερού διαφορετικής συγκέντρωσης αλατότητας. Ηλιακές δεξαμενές με κλίμακα αλατότητας, έχουν υψηλή συγκέντρωση άλατος κοντά στον πυθμένα, ένα μέσο επίπεδο μη συναγωγής και μέσης συγκέντρωσης και ένα επιφανειακό συναγωγίμο επίπεδο με χαμηλή συγκέντρωση άλατος. Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια της δεξαμενής και εγκλωβίζεται στον πυθμένα της, όπου βρίσκεται η υψηλότερη συγκέντρωση άλατος. Το υψηλής αλατότητας νερό, θερμαίνεται εξαιτίας της απορρόφησης της ηλιακής ενέργειας στον πυθμένα της δεξαμενής αλλά δεν



Εικόνα 5.4 Ηλιακή λίμνη με κλίμακα αλατότητας [12]

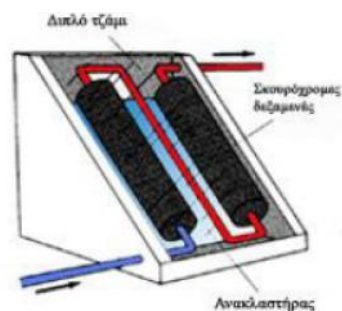
μπορεί να ανέλκει σε υψηλότερα επίπεδα της δεξαμενής λόγω της υψηλής του πυκνότητας. Έτσι, απλά παραμένει στον πυθμένα της όπου θερμαίνεται μέχρι να αρχίσει σχεδόν να βράζει, ενώ την ίδια στιγμή τα δυο παραπάνω στρώματα νερού παραμένουν σε σχετική ηρεμία. Το τελευταίο επίπεδο που βρίσκεται στον πυθμένα της δεξαμενής καλείται και ζώνη αποθήκευσης, είναι πολύ πυκνό και μπορεί να θερμανθεί έως και 100° C. Η θερμή αυτή άλμη μπορεί έπειτα να χρησιμοποιηθεί ως πηγή θερμότητας, τόσο κατά την διάρκεια της ημέρας όσο και της νύχτας. [26]

Ο πιο διαδεδομένος τύπος συλλέκτη είναι αυτός του επίπεδου συλλέκτη. Αποτελείται από απορροφητικές πλάκες, οι οποίες περιέχουν αγωγούς από τους οποίους διέρχεται το προς θέρμανση ρευστό. Η απορροφητική πλάκα περιέχεται σε ένα αεροστεγές και αδιάβροχο πλαίσιο, το οποίο είναι καλυμμένο από την πλευρά του ηλίου με διαφανές υλικό και από την άλλη με θερμομονωτικό υλικό. Η απορροφητική πλάκα για να απορροφά το μέγιστο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας είναι μαύρη και ματ και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της προκύπτουν από ποικίλες τεχνικές (ηλεκτροχημικές κ.α.) προκειμένου να αυξηθεί η απορροφητικότητα της πλάκας. [11]



Εικόνα 5.5 Τύποι επίπεδων ηλιακών συλλεκτών [11]

Ένας ακόμα τύπος συλλέκτη είναι αυτός με σωλήνες κενού και φαίνεται στην Εικόνα 5.5. Έχει την ίδια αρχή λειτουργίας με τους επίπεδους συλλέκτες, αλλά η απορροφητική επιφάνεια στην περίπτωση αυτή είναι ένα κυλινδρικό μαύρο γυαλί τοποθετημένο στο εσωτερικό άλλου προστατευτικού γυαλιού. Μεταξύ τους δημιουργείται κενό για την εξάλειψη των απωλειών αγωγιμότητας και συναγωγής. Με αυτούς τους τύπους συλλεκτών μπορούν να επιτευχθούν υψηλότερες θερμοκρασίες, έως και 200° C, και άρα υψηλότερες αποδόσεις. [11]



Εικόνα 5.6 Ηλιακός συλλέκτης κενού [11]

Το τελευταίο από τα είδη των ηλιακών συλλεκτών είναι ο παραβολικός συλλέκτης. Ο τύπος αυτός είναι ένας γραμμικός συλλέκτης με μια παραβολική διατομή, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.6. Η ανακλαστική επιφάνειά του συγκεντρώνει την ηλιακή ακτινοβολία στον σωλήνα αποδοχής που βρίσκεται κατά μήκος του σημείου συγκέντρωσης, θερμαίνοντας έτσι το υγρό μεταφοράς που ρέει μέσα του. Οι παραβολικοί συλλέκτες έχουν τυπικούς βαθμούς συγκέντρωσης που κυμαίνονται από 10 έως 100 και θερμοκρασίες λειτουργίας 100-400° C. Για τον λόγο αυτό

μπορούν και επιτυγχάνουν πολύ πιο υψηλές θερμοκρασίες σε σχέση με τους επίπεδους συλλέκτες και τους συλλέκτες κενού. [11]



Εικόνα 5.7 Σχηματική απεικόνιση παραβολικού συλλέκτη [3]

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου ηλιακού συλλέκτη εξαρτάται κυρίως από τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες, τις απαιτήσεις αλλά και τις δυνατότητες επιλογής που προσφέρει το σύστημα για το οποίο προορίζονται. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθούν τα παρακάτω γενικά χαρακτηριστικά: [4]

- ✚ Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες είναι κατάλληλοι για συστήματα χαμηλών θερμοκρασιών και για περιοχές με πολλές ηλιόλουστες μέρες. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες με επιλεκτική επιφάνεια δίνουν, με κάποιο κόστος πάντα, μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας και υψηλότερη αποδοτικότητα.
- ✚ Οι ηλιακοί συλλέκτες κενού εξασφαλίζουν κάποια εισαγωγή ενέργειας ακόμα και τις συννεφιασμένες μέρες. Αυτή η απόδοση για υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας και χαμηλή μόνωση είναι σημαντικά καλύτερη σε σχέση με αυτή των επίπεδων συλλεκτών και για τον λόγο αυτό δίνουν μεγαλύτερο αριθμό ωρών λειτουργίας.

Οι ηλιακοί παραβολικοί συλλέκτες απαιτούν μηχανισμό διπλού άξονα και μεγάλης ακρίβειας για τον εντοπισμό της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά μπορούν και παράγουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες, περισσότερο από 120° C. Ενδεικτικά, για την ηλιακή αφαλάτωση η θερμοκρασία αυτή είναι υψηλότερη από την απαιτούμενη. [4]

5.4 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Όπως ήδη γνωρίζουμε, οι συμβατικές μέθοδοι αφαλάτωσης διακρίνονται σε δυο κύριες κατηγορίες: οι θερμικές διεργασίες και οι διεργασίες με χρήση μεμβράνης. Ένας αντίστοιχος διαχωρισμός μπορεί να γίνει και στις μεθόδους ηλιακής αφαλάτωσης. Έτσι, υπάρχουν τα συστήματα έμμεσης και άμεσης συλλογής. Όπως υποδηλώνουν και τα ονόματα των δυο κατηγοριών, τα συστήματα άμεσης συλλογής χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για να παράγουν απόσταγμα απευθείας στον ηλιακό συλλέκτη. Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα έμμεσης συλλογής χρησιμοποιούν δυο υπομονάδες, μια για την συλλογή της ηλιακής ενέργειας και μια για την αφαλάτωση, με σκοπό την παραγωγή πόσιμου νερού. [5]

5.4.1. ΗΛΙΑΚΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ

Η ανάγκη εγκατάστασης μονάδων αφαλάτωσης σε απομακρυσμένες περιοχές χωρίς δυνατότητα πρόσβασης σε ηλεκτρισμό καθιστά μονόδρομο την επιλογή υβριδικών συστημάτων που κάνουν χρήση της ηλιακής ενέργειας. Όπως είδαμε και στα προηγούμενα Κεφάλαια, η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης αποτελεί μια από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες διεργασίες αφαλάτωσης. Η υψηλή ωριμότητα και η αξιοπιστία και των δύο τεχνολογιών καθώς και η ελάχιστη απαιτούμενη συντήρησή τους, καθιστά την χρήση συστημάτων ηλιακής αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση (RO) τον πρώτο σε προτίμηση συνδυασμό.

Επιπλέον, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και κυρίως η άφθονη ηλιακή ενέργεια, μπορεί να επιλύσει προβλήματα σχετικά με την χρήση της περιορισμένης ποσότητας των στερεών καυσίμων. Η ΑΩ (RO) μπορεί να συνδυαστεί και με τους δυο τρόπους εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, δηλαδή τόσο με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία όσο και με τα θερμικά ηλιακά συστήματα.

5.4.1.1. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ

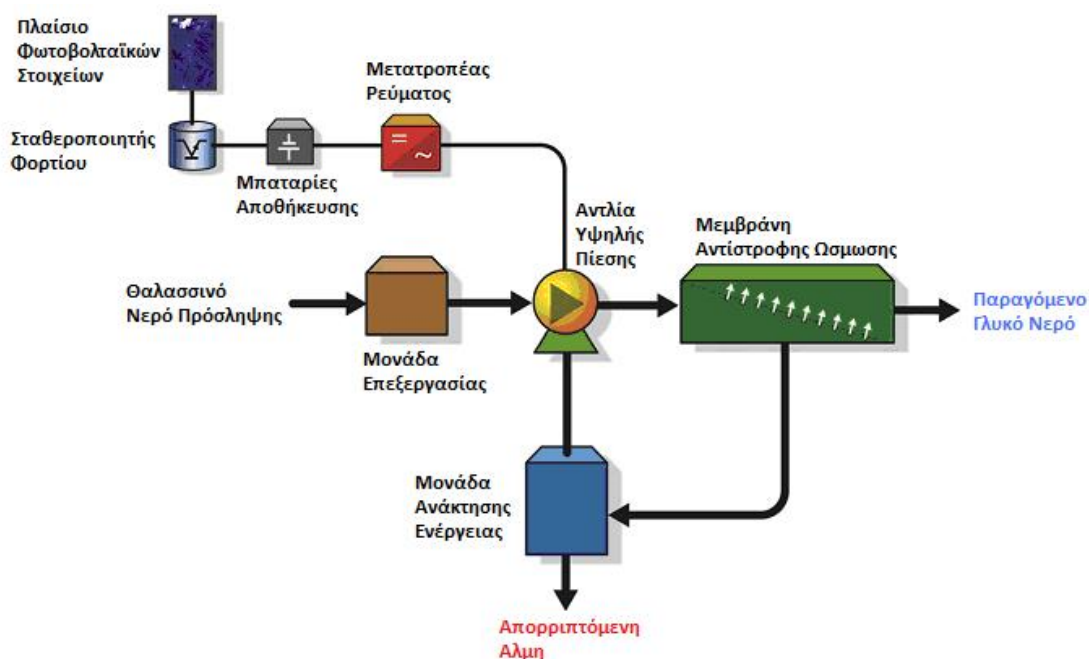
Η τροφοδότηση μονάδων αντίστροφης όσμωσης από φωτοβολταϊκά στοιχεία (RO-PV) αποτελεί μια από τις πιο υποσχόμενες μορφές αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ειδικά όταν χρησιμοποιείται σε απομακρυσμένες περιοχές. Έτσι, τα τελευταία χρόνια αυτού του τύπου τα συνδυασμένα συστήματα έχουν συγκεντρώσει την προσοχή μας και έχουν λάβει μεγάλη προβολή. Υπάρχουν δυο τύποι τέτοιων συστημάτων στην αγορά, αυτά που λειτουργούν με υφάλμυρο νερό και αυτά που λειτουργούν με θαλασσινό νερό. Διαφορετικά είδη μεμβρανών χρησιμοποιούνται για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού και είναι εφικτοί αρκετά υψηλότεροι βαθμοί ανάκτησης, με αποτέλεσμα η ανάκτηση ενέργειας να είναι λιγότερο κρίσιμη.

5.4.1.1.1. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ (RO) ΥΦΑΛΜΥΡΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ Φ/Β

Το υφάλμυρο νερό έχει πολύ χαμηλότερη οσμωτική πίεση από το θαλασσινό. Έτσι η αφαλάτωσή του απαιτεί πολύ λιγότερη ενέργεια, δηλαδή και λιγότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης, οι χαμηλές πιέσεις που συναντάμε σε αυτού του είδους τα συστήματα επιτρέπουν την χρήση πλαστικών εξαρτημάτων χαμηλού κόστους. Έτσι το συνολικό κόστος του παραγόμενου νερού είναι χαμηλότερο. [6]

Το σύστημα αποτελείται από δύο κύριες υπομονάδες, την υπομονάδα παραγωγής ενέργειας και την υπομονάδα αφαλάτωσης (Εικόνα 5.8). Το τμήμα της αφαλάτωσης, όπου βρίσκεται η μεμβράνη διαχωρισμού, τροφοδοτείται με την χρήση μίας παλινδρομικής αντλίας υψηλής πίεσης και η οποία είναι κατάλληλα συνδεδεμένη με την υπομονάδα παραγωγής ενέργειας για την ανάκτηση ενέργειας από το ρεύμα της άλμης που αφήνει την διεργασία. Το ρεύμα διηθήματος που αφήνει την μεμβράνη αποτελεί το καθαρό προϊόν του συστήματος. Η αντλία υψηλής πίεσης

λειτουργεί μέσω ενός τριφασικού μοτέρ το οποίο τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από την υπομονάδα παραγωγής ενέργειας. Η υπομονάδα παραγωγής ενέργειας αποτελείται από ενότητες φωτοβολταϊκών, συσσωρευτές αποθήκευσης, ελεγκτή φορτίου μπαταρίας και έναν αντίστροφέα συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (DC / AC). [6]



Εικόνα 5.8 Αντίστροφη Όσμωση (RO) υφάλμυρου νερού με χρήση φωτοβολταϊκών [6]

Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια (DC) και μεταφέρεται στον ελεγκτή φορτίου μπαταρίας, ο οποίος προστατεύει τις μπαταρίες από υπερφόρτωση ή υπερβολικής απώλειες. Η αποθηκευμένη στις μπαταρίες ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εφεδρική ηλεκτρική ενέργεια κατά τις περιόδους χαμηλής ηλιοφάνειας. [6]

Πολλά από τα πρώιμα συστήματα αντίστροφης όσμωσης υφάλμυρου νερού με φωτοβολταϊκά στοιχεία ήταν ουσιαστικά συμβατικά συστήματα αντίστροφης όσμωσης που θα μπορούσαν να είχαν σχεδιαστεί για να λειτουργούν με ρεύμα ή πετρέλαιο, αλλά τροφοδοτούνται από μπαταρίες που φορτίζονται από φωτοβολταϊκά. Γενικά, αυτή η προσέγγιση απαιτεί αρκετά μεγάλη συστοιχία φωτοβολταϊκών για μια δεδομένη ροή προϊόντος εξαιτίας της φτωχής αποδοτικότητας και των μπαταριών των συμβατικών συστημάτων αντίστροφης όσμωσης. Πολλά φωτοβολταϊκά και τακτικές αλλαγές μπαταριών αυξάνει αυτόματα το κόστος του παραγόμενου νερού. [6]

5.4.1.1.2. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ (RO) ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ Φ/Β

Η Ωσμωτική πίεση του θαλασσινού νερού είναι ψηλότερη από αυτή του υφάλμυρου. Έτσι η αφαλάτωσή του απαιτεί πολύ περισσότερη ενέργεια και αναπόφευκτα περισσότερα φωτοβολταϊκών. Επίσης, οι υψηλές πιέσεις που συναντάμε στα συστήματα αντίστροφης όσμωσης (RO) θαλασσινού νερού απαιτούν δυνατότερα μηχανικά εξαρτήματα. Έτσι, το ολικό κόστος του νερού που παράγεται σε αυτού του είδους τα συστήματα είναι πιθανό να βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με αυτό που παράγεται στα αντίστοιχα υφάλμυρου νερού. [6]

5.4.1.2. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ ΜΕ ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η εμπειρία στο συνδυασμό της διεργασίας αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης (RO) τόσο θαλασσινού όσο και υφάλμυρου νερού με θερμικά ηλιακά συστήματα είναι αρκετά περιορισμένη. Αναφορικά, υπάρχουν μόνο δύο τέτοιες εφαρμογές, μαζί με ένα μειωμένο αριθμό θεωρητικών αναλύσεων και προτάσεων σχεδιασμού. [52]

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας με σκοπό την τροφοδότηση των συστημάτων άντλησης νερού είναι μια τεχνική που μελετάται από τον 19^ο αιώνα. Η ίδια η διεργασία συμβάλλει στην μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται για την άντληση του νερού σε ένα ορισμένο ύψος. Αυτός ο τύπος συστήματος που μετατρέπει την θερμική ηλιακή ενέργεια σε μηχανική ενέργεια συνήθως αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως θερμική ηλιακή μηχανή. [51]

5.4.1.2.1. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ ΜΕ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΥΣ ΗΛΙΑΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

Η ανάλυση αυτού του συστήματος θα γίνει με βάση την παρουσίαση του T.E. Bowman για ένα προκαταρκτικό μοντέλο ικανό να παράγει 7,6 και 26,5 m³ αφαλατωμένου νερού από υφάλμυρο νερό αλατότητας 5400 ppm. Το σύστημα αυτό λειτουργεί ανεξάρτητα από το δίκτυο αλλά έχει έναν λέβητα πετρελαίου και ένα εφεδρικό σύστημα θερμικής αποθήκευσης. Η θερμική αυτή αποθήκη αποτελείται από έναν συσσωρευτή ατμού που συνδέεται με δυο κινητήρες εμβόλων ατμού. Ο ένας από τους κινητήρες συνδέεται απευθείας με την αντλία υψηλής πίεσης της μονάδας ΑΩ, ενώ ο άλλος με μια ηλεκτρική γεννήτρια για την παραγωγή βοηθητικού ηλεκτρισμού. Ο ατμός παράγεται από την ανταλλαγή θερμότητας ένα υγρό μεταφοράς θερμότητας που κυκλοφορεί σε βόρεια-νότια προσανατολισμένο ηλιακό πεδίο, το οποίο αποτελείται από δυο σειρές παραβολικών συλλεκτών με άνοιγμα 133,4 m². Στο συσσωρευτή παράγεται ξηρός κορεσμένος υδρατμός, ο οποίος διπλασιάζεται ως μια θερμική μονάδα αποθήκευσης και ο οποίος πρέπει να είναι σε θέση να προμηθεύει τη ζήτηση των κινητήρων ατμού μέχρι και μισή ώρα, όταν το σύστημα δεν μπορεί να λάβει ενέργεια τόσο από το ηλιακό πεδίο όσο και από τον λέβητα. Το ηλιακό πεδίο είναι σχεδιασμένο να παράγει αρκετή ενέργεια ώστε να εφοδιάζει την ποσότητα του ατμού που απαιτείται και από τους δυο κινητήρες για οκτώ ώρες σε μια μέση

ηλιοφάνεια του καλύτερου μήνα του χρόνου για την εκάστοτε περιοχή εγκατάστασης. [51]

Όσον αφορά το σύστημα αντίστροφης όσμωσης (RO) αυτό αποτελείται από δύο διαρρυθμίσεις λεπτών ινών με παράλληλη σύνδεση, ώστε να επιτρέπεται η μονή ή διπλή λειτουργία τους ανάλογα με την διαθέσιμη ενέργεια, και ποσοστό μετατροπής να φτάνει το 75%. [51]

5.4.1.2.2. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ ΜΕ ΗΛΙΑΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΚΕΝΟΥ

Ένα χαρακτηριστικό σύστημα αυτού του τύπου έχει εισηγηθεί από τους Δ. Μανωλάκο και άλλους [52] και λειτουργεί τόσο για υφάλμυρο όσο και για θαλασσινό νερό. Το νερό που κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες του συστήματος θερμαίνεται έως μια θερμοκρασία, ενδεικτικά 77°C, και στη συνέχεια μεταφέρεται στον εναλλάκτη θερμότητας όπου παράγει υπέρθερμο υδρατμό τετραφθοροαιθανίου. Ο υπέρθερμος υδρατμός χρησιμοποιείται σε συσκευές επέκτασης όπου παράγεται η απαιτούμενη μηχανική ενέργεια για τη λειτουργία των αντλιών στο σύστημα ΑΩ, στο βρόγχο κυκλοφορίας του νερού αλλά και στο βρόγχο του υπερθερμού υδρατμού. Δεν υπάρχει μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια, έτσι η μηχανική ενέργεια μεταφέρεται απευθείας στις συσκευές επέκτασης. Το σύστημα χρησιμοποιεί το νερό τροφοδοσίας του συστήματος της ΑΩ ως το υγρό ψύξης για την συμπύκνωση του υδρατμού. Αυτό επίσης συμβάλλει στην προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας στην μονάδα της αντίστροφης όσμωσης (RO). [52]

5.4.1.3. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ ΜΕ ΗΛΙΑΚΗ ΛΙΜΝΗ

Γενικά, οι ηλιακές λίμνες μπορούν να τροφοδοτήσουν ένα σύστημα τόσο με θερμική όσο και με ηλεκτρική ενέργεια, αρκετά φθηνότερα από τις παραπάνω επιλογές. Αυτό που δεν διαθέτουν είναι διείσδυση στην αγορά αφαλάτωσης που έχουν οι παραπάνω μέθοδοι. [56]

5.4.2. ΗΛΙΑΚΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΕΞΑΤΜΙΣΗ

Η πολλαπλή εξάτμιση (Multiple Effect Evaporation) είναι μία θερμική διεργασία που μπορεί να έμμεσα την ηλιακή ακτινοβολία. Ειδικότερα τα τελευταία χρόνια που έχουν πραγματοποιηθεί πολλές εξελίξεις στις διεργασίες χαμηλών θερμοκρασιών, έχει παρατηρηθεί αύξηση της δυναμικότητας τέτοιων συστημάτων και παράλληλα μείωση της ενέργειας που καταναλώνουν παρέχοντας με τον τρόπο αυτό μακροχρόνια λειτουργία υπό αξιοσημείωτα σταθερές συνθήκες. Επίσης, φαινόμενα όπως ο σχηματισμός ιζημάτων αλλά και η διάβρωση είναι ελάχιστα, οδηγώντας έτσι τα συστήματα αυτά σε διαθεσιμότητες που αγγίζουν ποσοστά από 94% έως 96%.

Η ηλιακή πολλαπλή εξάτμιση (SMEE) μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση ηλιακών λιμνών αλλά και την χρήση ηλιακών συλλεκτών.

5.4.2.1. ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΜΕ ΗΛΙΑΚΗ ΛΙΜΝΗ

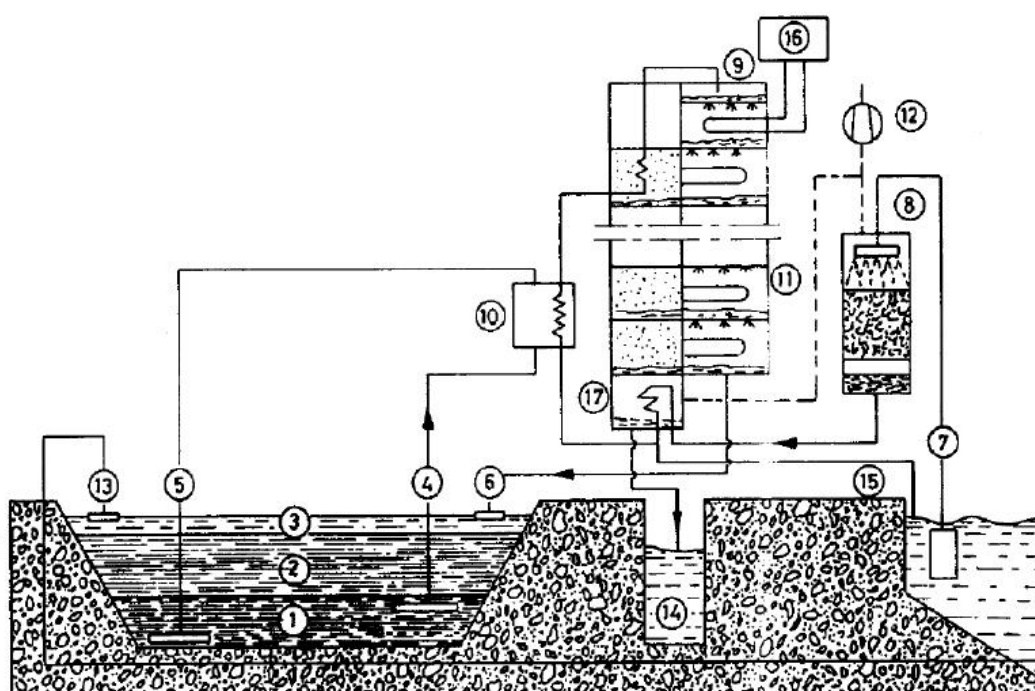
Η ηλιακή λίμνη είναι ένας ιδανικός συνδυασμός με τα συστήματα αφαλάτωσης καθώς μπορεί και συλλέγει παθητικά την θερμότητα, την αποθηκεύει και την μεταφέρει με χαμηλά κόστη άντλησης. Επιπλέον, αυτού του τύπου τα υβριδικά συστήματα έχουν χαμηλά λειτουργικά κόστη και απαιτούν χαμηλό κεφάλαιο εγκατάστασης. [7]

Ο συνδυασμός των ηλιακών λιμνών με τα συστήματα πολλαπλής εξάτμισης (MEE) αποδεικνύεται αρκετά αποδοτικός εφόσον η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας που παρέχεται από την ηλιακή λίμνη (60-75°C) ταιριάζει με την απαιτούμενη των συστημάτων αφαλάτωσης με πολλαπλή εξάτμιση, η οποία κυμαίνεται στους 50-60°C. Επίσης, αυτού του τύπου ηλιακά συστήματα είναι εξαιρετικά ευέλικτα σε αλλαγές της παροχής ενέργειας και η λειτουργία τους είναι εξαιρετικά σταθερή υπό συνθήκες μεταβαλλόμενες παροχής θερμότητας. [7]

Στις συμβατικές μονάδες πολλαπλής εξάτμισης (MEE), η κύρια πηγή θερμότητας (ατμός ή ζεστό νερό) τροφοδοτεί την πρώτη βαθμίδα που έχει και την υψηλότερη θερμοκρασία, ενώ ο υδρατμός που παράγεται στην τελευταία βαθμίδα συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή. Μέρος του νερού ψύξης από τον συμπυκνωτή συνήθως λαμβάνεται ως τροφοδοσία της πρώτης βαθμίδας. Τελικά, η τροφοδοσία αυτή συνήθως προθερμαίνεται σε μια αναγεννητική συσκευή τροφοδοσίας από τμήματα του υδρατμού που παράγεται στις μεταγενέστερες βαθμίδες. Η διαφορά των συμβατικών συστημάτων με τα υβριδικά συστήματα είναι ότι η αναγεννητική συσκευή τροφοδοσίας είναι ένας ηλιακός προθερμαντήρας που τροφοδοτεί μέρος της απαιτούμενης ενέργειας στην τροφοδοσία που αφήνει την μονάδα του συμπυκνωτή και παρέχει την υπολειπόμενη ενέργεια σε ένα βοηθητικό boiler ατμού. Έτσι, η έξοδος της υπομονάδας παραγωγής ενέργειας που στην περίπτωση μας είναι η ηλιακή λίμνη αποτελεί την είσοδο για την υπομονάδα αφαλάτωσης με ΠΕ. Όσο η λειτουργία της ηλιακής λίμνης είναι να παρέχει αυτή την απαιτούμενη ενέργεια αντί του βραστήρα άλμης, ο απαιτούμενος βαθμός απόδοσης του boiler ατμού μειώνεται και έτσι αυξάνεται ο συνολικά κερδισμένος βαθμός απόδοσης. Η ηλιακή θερμότητα που παρέχεται στην τροφοδοσία στον ηλιακό προθερμαντήρα εξαρτάται από την θερμοκρασία της ζώνης αποθήκευσης της λίμνης, την θερμοκρασία της τροφοδοσίας που αφήνει τον συμπυκνωτή, τον ρυθμό τροφοδοσίας αλλά και την αποδοτικότητα του ηλιακού προθερμαντήρα που λαμβάνεται είναι ίση με 0,75. Η θερμοκρασία της ζώνης αποθήκευσης της λίμνης δεν είναι μόνο συνάρτηση των καιρικών συνθηκών αλλά εξαρτάται και από τον βαθμό εξαγωγής του φορτίου, το οποίο είναι συνάρτηση της δυναμικότητας του συστήματος αφαλάτωσης με πολλαπλή εξάτμιση. Συνεπώς, η σωστή διαστασιολόγηση της ηλιακής λίμνης σε συνδυασμό με την δυναμικότητα της υπομονάδας αφαλάτωσης είναι κρίσιμοι παράγοντες για την απόδοση του υβριδικού ηλιακού συστήματος αυτού του τύπου. Με δεδομένη την παραπάνω αναλογία υπάρχει μια κρίσιμη περιοχή στον βαθμό για την οποία η μέση ετήσια εξαγωγή ενέργειας εξισορροπείται από την μέση ετήσια εισαγωγή ηλιακής ενέργειας, έτσι ώστε η μέση ετήσια θερμοκρασία της ζώνης αποθήκευσης να παραμένει σταθερή. Από την άλλη πλευρά, μεγαλύτερη η μικρότερη τιμή από την

κρίσιμη έχει ως αποτέλεσμα η αντίστοιχη ενέργεια να υπερβαίνει ή να υπολείπεται στην λίμνη και να προκαλείται μη σταθερή αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας της ζώνης αποθήκευσης της λίμνης, αντίστοιχα. [7]

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ξανά ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα αυτού του υβριδικού συστήματος, η ανακυκλοφορία της άλμης. Στα συμβατικά συστήματα η άλμη που απέμεινε απορριπτόταν στην θάλασσα. Αντίθετα, στην περίπτωση του υβριδικού συστήματος η άλμη απορρίπτεται στην ηλιακή λίμνη διατηρώντας τα επίπεδα ισορροπίας άλατος αλλά και την θερμοκρασία στην συναγωγήμη κάτω ζώνη της λίμνης σταθερή. Παρακάτω, στην *Εικόνα 5.9*, ακολουθεί σχηματική απεικόνιση της μονάδας πολλαπλής εξάτμισης με ηλιακή λίμνη. [7]



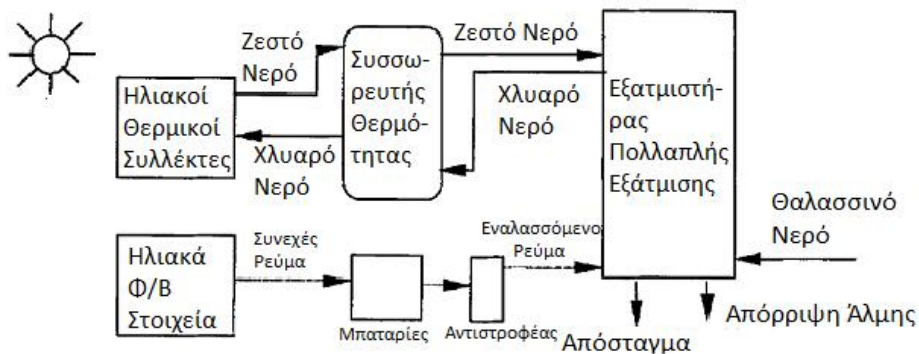
Εικόνα 5.9 Σύστημα Πολλαπλής Εξάτμισης Με Ηλιακή Λίμνη (MEE-SP). [7]

ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
1. Ζώνη Αποθήκευσης	10. Ηλιακός Θερμαντήρας
2. Ζώνη Μέσης Αλατότητας	11. Βαθμίδες Εξατμιστήρα
3. Επιφανειακή ζώνη	12. Σύστημα Κενού
4. Θερμικός Βρόγχος (Εξαγωγής)	13. Επαναχρησιμοποίηση Άλμης
5. Θερμικός Βρόγχος (Εισαγωγής)	14. Απόσταγμα
6. Σύστημα Έκπλυσης	15. Ψύξη Νερού
7. Πρόσληψη Θαλασσινού Νερού	16. Βοηθητικός Προθερμαντήρας
8. Προσθετικά Εξαέρωση	17. Συμπυκνωτής Κατακόρυφης Ροής
9. Πρώτη Βαθμίδα	

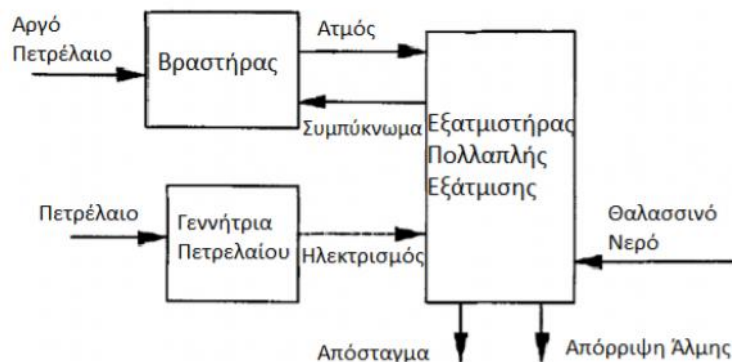
5.4.2.2. ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΜΕ ΗΛΙΑΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

Τα συστήματα αφαλάτωσης πολλαπλής εξάτμισης (ΜΕΕ) σε συνδυασμό με υπομονάδες παραγωγής ενέργειας, οι οποίες εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια, συνήθως σχεδιάζονται για να λειτουργήσουν με τρεις διαφορετικούς τρόπους που εξαρτώνται από τις πηγές θερμότητας. [8]

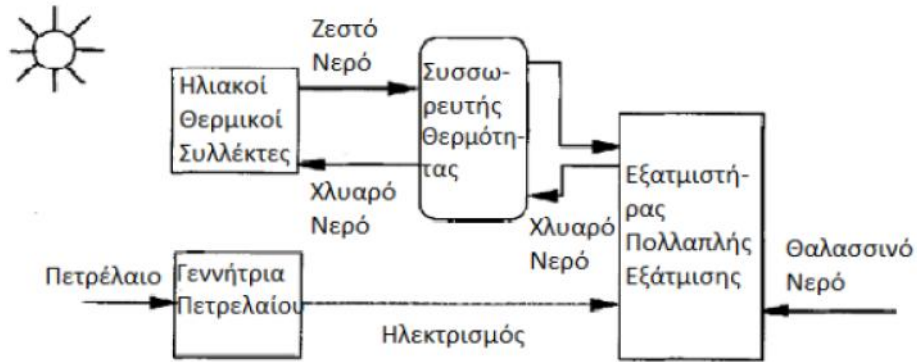
Αρχικά, υπάρχουν τα συστήματα λειτουργίας μόνο με εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, όπως παρουσιάζονται στην *Εικόνα 5.10*. Στην περίπτωση αυτή, η ενέργεια που εισέρχεται στην πρώτη βαθμίδα προέρχεται αποκλειστικά και μόνο από θερμική ενέργεια που παράγεται από συστοιχία θερμικών συλλεκτών. Οι αντλίες της διαρρύθμισης αυτής λειτουργούν με ηλεκτρισμό που παράγεται με την σειρά του από φωτοβολταϊκά στοιχεία. Στην συνέχεια, υπάρχουν τα συστήματα τα οποία λειτουργούν μόνο με καύσιμα, όπως βλέπουμε στην *Εικόνα 5.11*. Σε αυτό τον τύπο συστημάτων, οι αντλίες απορρόφησης θερμότητας τροφοδοτούν όλη την θερμότητα που απαιτείται από την μονάδα αφαλάτωσης. Τέλος, υπάρχουν τα υβριδικά συστήματα, στα οποία η ενέργεια που απαιτείται προέρχεται τόσο από τους ηλιακούς συλλέκτες όσο και από τις αντλίες απορρόφησης (*Εικόνα 5.12*). Σε αυτήν την περίπτωση λειτουργίας υπάρχουν δυο διαφορετικές φιλοσοφίες που θέλουν είτε την αντλία θερμότητας να λειτουργεί συνεχώς για 24 ώρες και να έχει συνεισφορά 30% στην παρεχόμενη ενέργεια, είτε να λειτουργεί διακοπτόμενα κατά βούληση ανάλογα με την διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας. [8]



Εικόνα 5.10 Σύστημα λειτουργίας μόνο με εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας [8]



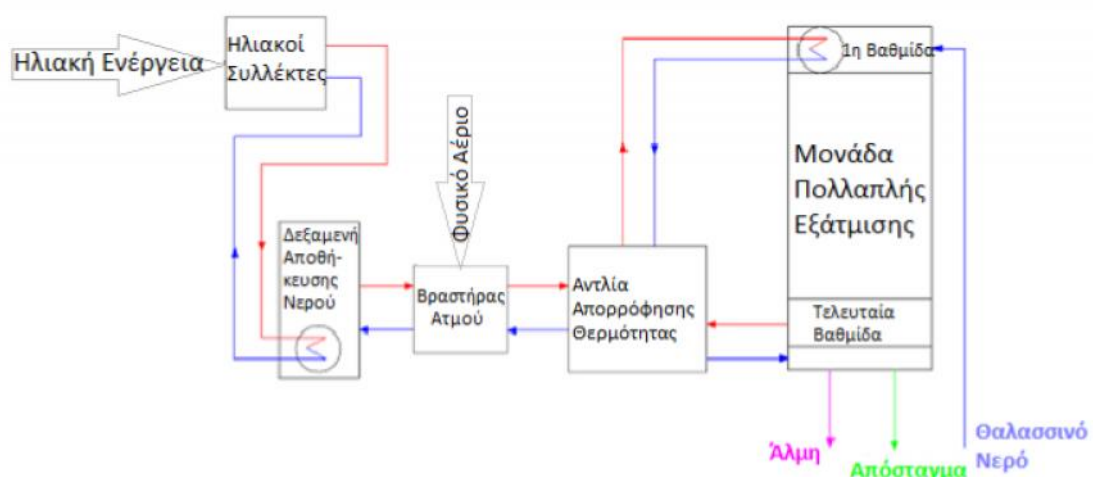
Εικόνα 5.11 Σύστημα λειτουργίας με χρήση καυσίμων. [8]



Εικόνα 5.12 Σύστημα λειτουργίας με χρήση ηλιακής ενέργειας και με χρήση καυσίμων. [8]

Αναλυτικότερα, όπως μπορούμε να δούμε και στην *Εικόνα 5.13* το συνδυασμένο σύστημα αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, την μονάδα αφαλάτωσης ΠΕ, το σύστημα αποθήκευσης θερμού νερού ή λαδιού, το boiler ατμού, και την αντλία μεταφοράς θερμότητας για την ανάκτηση θερμότητας από την τελευταία βαθμίδα της μονάδας αφαλάτωσης. [9]

Γενικά, η συνδεσμολογία περιλαμβάνει τις υπομονάδες παραγωγής ενέργειας και αφαλάτωσης, την δεξαμενή αποθήκευσης και την αντλία απορρόφησης θερμότητας. Οι ηλιακοί συλλέκτες συνδέονται με την μονάδα αφαλάτωσης πολλαπλής εξάτμισης και αποτελούν την πηγή ενέργειας του συστήματος. Σκοπός τους είναι η θέρμανση του υγρού μεταφοράς θερμότητας, νερό ή λάδι, που θα τροφοδοτήσει την πρώτη βαθμίδα της μονάδας αφαλάτωσης. Οι συλλέκτες που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις διαρρυθμίσεις είναι παραβολικού τύπου, επίπεδου τύπου και ηλιακοί συλλέκτες κενού. Οι θερμοκρασίες που μπορεί να φτάσει το θερμαινόμενο υγρό κυμαίνονται από 80°C για επίπεδους συλλέκτες έως και 95°C για παραβολικούς συλλέκτες και συλλέκτες κενού. [8]



Εικόνα 5.13 Συνδυασμένο σύστημα αφαλάτωσης Πολλαπλής Εξάτμισης με ηλιακούς συλλέκτες (MEE-SC). [9]

5.4.2.3. ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΜΕ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ Φ/Β

Μέχρι τώρα γνωρίζαμε ότι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χρησιμοποιούνται για την απευθείας παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, απορρίπτοντας την παραγόμενη θερμότητα απευθείας στο περιβάλλον. Ωστόσο, μια νέα προοπτική συλλογής και εκμετάλλευσης της θερμότητας αυτής είναι διαθέσιμη για την παραγωγή θερμικής ενέργειας. Η ηλιακή θερμότητα είναι διαθέσιμη σε πολύ χαμηλό κόστος, εφόσον η επένδυση στον συλλέκτη αφορά κυρίως την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Με βάση αυτή την δυνατότητα έχει μελετηθεί η συμπαραγωγή ψύξης και θέρμανσης του νερού, αναδεικνύοντας μια πολύ καλή αναλογία μεταξύ κόστους και αποδοτικότητας υπό συγκεκριμένες οικονομικές συνθήκες. [27]

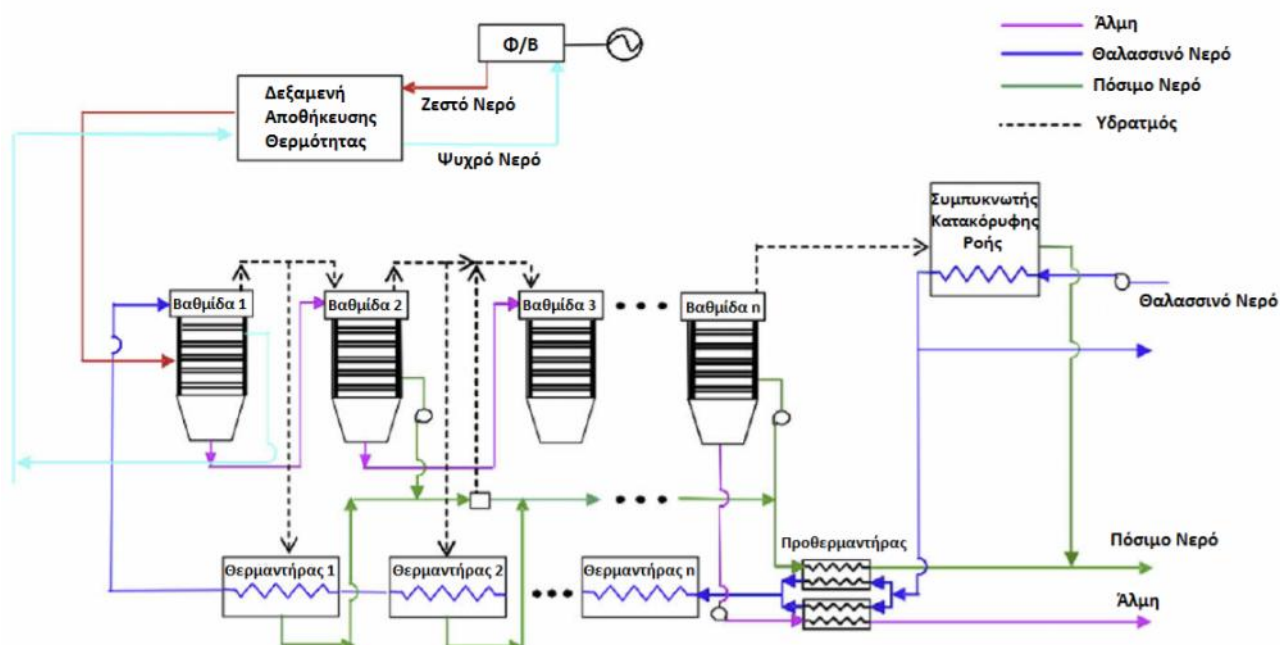
Μερικά θερμικά φωτοβολταϊκά συστήματα βασίζονται σε επίπεδους συλλέκτες χωρίς συγκέντρωση. Αυτός ο τρόπος χρησιμοποιήθηκε πολύ τον τελευταίο καιρό, με διάφορα σχήματα συλλεκτών να προσαρμόζονται σε διάφορες εφαρμογές. Ωστόσο, αυτού του τύπου οι συλλέκτες φτάνουν χαμηλές θερμοκρασίες (40-60°C). Οι θερμικές διεργασίες όμως απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες εισόδου προκειμένου να λειτουργήσουν με έναν ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης και να έχουν αξιόλογους μεγέθους εναλλάκτες θερμότητας. Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι τα Φ/Β με συγκεντρωτική δυνατότητα λειτουργούν σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες, ενώ παράλληλα μπορούν και διατηρούν υψηλή αποδοτικότητα στην μετατροπή ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι ένα συγκεντρωτικό φωτοβολταϊκό με κατάλληλη παροχή νερού ψύξης μπορεί να δώσει ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και να υποστηρίξει μια μονάδα αφαλάτωσης πολλαπλής εξάτμισης. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό που καθιστά το σύστημα αρκετά ελκυστικό είναι η δυναμική του να λειτουργεί σε ανταγωνιστικό κόστος ακόμα και με τις συμβατικές μονάδες και χωρίς την χρήση της απορριπτόμενης θερμότητας. [27]

Η συνδεσμολογία και σε αυτή την περίπτωση περιλαμβάνει την υπομονάδα των φωτοβολταϊκών, την υπομονάδα αφαλάτωσης πολλαπλής εξάτμισης και την δεξαμενή αποθήκευσης, εφόσον το σύστημα θεωρείται ότι είναι αυτόνομο ηλιακό. Αναλυτικότερα, η υπομονάδα συλλεκτών αποτελείται από θερμικά συγκεντρωτικά φωτοβολταϊκά στοιχεία τα οποία είναι εγκατεστημένα πάνω σε μια πλάκα ψύξης η οποία απορρίπτει την περίσσεια θερμότητα μεταφέροντάς την στο υγρό ψύξης. Συνήθως το υγρό αυτό είναι νερό, αν και για θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 100°C μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα υγρά. Το θερμό, πλέον, νερό ψύξης αφήνει την διάταξη των θερμικών συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών στοιχείων και κατευθύνεται προς τον εναλλάκτη θερμότητας, όπου παρέχει την ενέργειά του στην διεργασία αφαλάτωσης. Αντίστοιχα, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά παρέχεται στο δίκτυο. [27]

Μία σχηματική απεικόνιση του συστήματος φαίνεται στην *Εικόνα 5.14*. Το ζεστό υγρό που φεύγει από την διάταξη των συλλεκτών τροφοδοτεί την πρώτη βαθμίδα της μονάδας αφαλάτωσης πολλαπλής εξάτμισης. Η θερμότητα αυτή εξατμίζει ένα μέρος του εισερχόμενου θαλασσινού νερού και το απομένον υγρό (άλμη) ρέει στην επόμενη βαθμίδα. Η απομένουσα άλμη μετά και την τελευταία βαθμίδα απορρίπτεται πίσω στη θάλασσα. Ο υδρατμός που σχηματίζεται σε κάθε

εξατμιστήρα συμπυκνώνεται στην επόμενη βαθμίδα, που είναι χαμηλότερης θερμοκρασίας, και έτσι παρέχεται η πηγή θερμότητας για επιπλέον εξάτμιση. Ο υδρατμός που σχηματίζεται στην τελευταία βαθμίδα προθερμαίνει το εισερχόμενο θαλασσινό νερό τροφοδοσίας στον συμπυκνωτή. Επιπλέον προθέρμανση επιτυγχάνεται και από τον υδρατμό που απορρέει από κάθε βαθμίδα. [27]

Τέλος, και εφόσον το σύστημα θεωρείται ηλιακά αυτόνομο, είναι απαραίτητη η ύπαρξη μιας θερμικής δεξαμενής αποθήκευσης. Πρέπει να είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να μην χάνει την ενέργεια που αποθηκεύεται και να μπορεί να υποστηρίξει το σύστημα για 24 ώρες κατά τους θερινούς μήνες. Κατά τους χειμερινούς μήνες, το σύστημα διακόπτει τη λειτουργία όσο η δεξαμενή αυτή είναι άδεια, μέχρι το επόμενο πρωί ηλιοφάνειας όπου θα ξαναγίνει φόρτιση της. Η δομή της δεξαμενής αυτής περιέχει ένα στρώμα κρύου υγρού που βρίσκεται στον πυθμένα της και ένα στρώμα θερμού υγρού που βρίσκεται στην επιφάνεια. Έτσι ο ρυθμός ψύξης του νερού ρυθμίζεται να είναι ίδιος με τον ρυθμό θέρμανσης του.



Εικόνα 5.14 Σύστημα Αφαλάτωσης πολλαπλής Εξάτμισης με Θερμικά συγκεντρωτικά Φ/Β (ΜΕΕ-ΤΡV). [27]

5.4.3. ΗΛΙΑΚΗ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΕΚΤΟΝΩΣΗ

Η συμβατική μέθοδος της πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF) αποτελεί μια από τις πιο αποδοτικές διεργασίες αφαλάτωσης. Συνεπώς, ο συνδυασμός της με την ηλιακή ενέργεια την καθιστά ελκυστική κυρίως για απομακρυσμένες και άγονες περιοχές.

Η ηλιακή MSF ανήκει στην κατηγορία των θερμικών διεργασιών με έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Ο πιο κοινός τύπος συστημάτων είναι αυτός με χρήση ηλιακών λιμνών, όπως επίσης και ηλιακών παραβολικών συλλεκτών.

5.4.3.1. ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΕΚΤΩΝΩΣΗ ΜΕ ΗΛΙΑΚΗ ΛΙΜΝΗ

Η ηλιακή λίμνη σε συνδυασμό με ένα τέτοιο αποδοτικό σύστημα αφαλάτωσης, προσφέρει υψηλές δυνατότητες για την παραγωγή μεγάλης ποσότητας πόσιμου νερού, σε μεγάλη κλίμακα και σε ανταγωνιστικές τιμές, σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες αφαλάτωσης με χρήση καυσίμων, για απομακρυσμένες και άγονες περιοχές. [26]

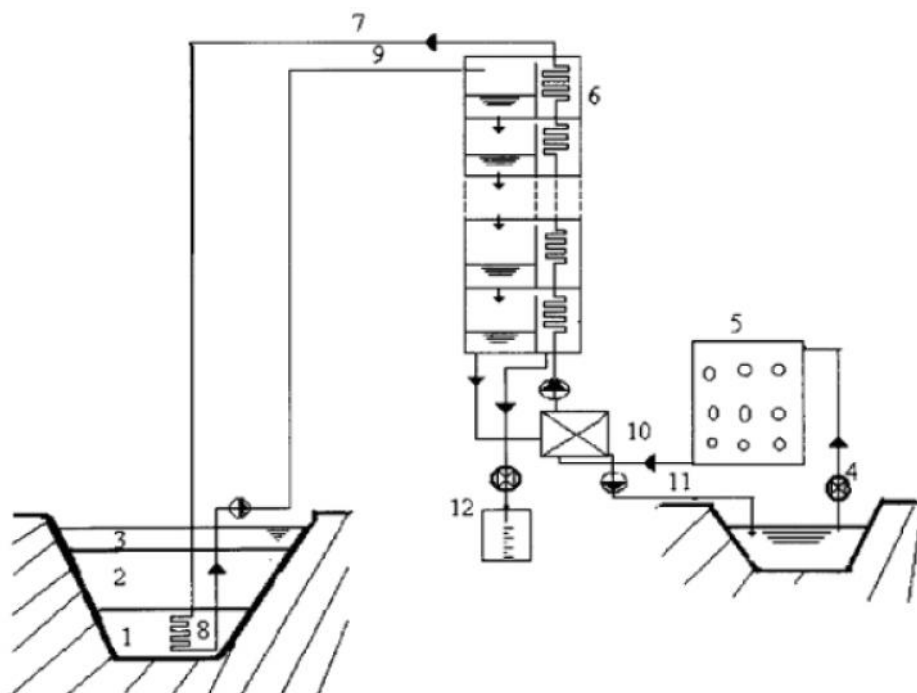
Αυτού του είδους τα συστήματα αποτελούνται από την συμβατική υπομονάδα αφαλάτωσης πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF), την υπομονάδα συλλογής ηλιακής ενέργειας, που στην περίπτωση μας είναι η ηλιακή λίμνη και λειτουργεί και ως μονάδα αποθήκευσης θερμότητας, και το σύστημα επεξεργασίας του υφάλμυρου ή θαλασσινού νερού. Επίσης, διαθέτουν το σύστημα αντλιών διακίνησης που παίρνουν ενέργεια από κάποια γεννήτρια, ενώ ακόμα είναι δυνατόν να έχουν έναν βοηθητικό βραστήρα ατμού, ο οποίος θα τροφοδοτείται είτε από την γεννήτρια ή από φυσικό αέριο. Η διάταξη του συστήματος παρουσιάζεται σχηματικά στην *Εικόνα 5.15*. [26]

Πριν ξεκινήσει η περιγραφή της διεργασίας, είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι για να γίνει η χρήση της ηλιακής λίμνης στο σύστημα πρέπει να έχει προηγηθεί λειτουργία προσαρμογής της τουλάχιστον για 2 χρόνια. Στο διάστημα αυτό η ηλιακή λίμνη αποκτά μια σταθερή θερμοκρασία στην ζώνη αποθήκευσης της, εξασφαλίζοντας έτσι την ισορροπημένη λειτουργία της. Η θερμοκρασία αυτή έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης, καθώς για θερμοκρασίες μικρότερες από αυτή το σύστημα δεν λειτουργεί αποδοτικά, ενώ για μεγαλύτερες αυξάνονται οι θερμικές απώλειες της λίμνης. Συνεπώς, η θερμοκρασία της ζώνης αποθήκευσης της λίμνης δεν είναι μόνο συνάρτηση των καιρικών συνθηκών αλλά και του ρυθμού εξαγωγής θερμότητας, ο οποίος εξαρτάται από την δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης. Άρα, το μέγεθος της ηλιακής λίμνης σε συνδυασμό με την δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης καθορίζουν την αποδοτικότητα του συστήματος. [70]

Αρχικά, η ηλιακή λίμνη συλλέγει την ηλιακή ενέργεια στην ζώνη αποθήκευσης της και είναι υπεύθυνη για την θέρμανση του νερού. Αμέσως μετά, έχοντας το νερό στην ανώτατη του θερμοκρασία (περίπου 90°C), εισέρχεται στην πρώτη βαθμίδα της μονάδας αφαλάτωσης. Ο ρυθμός εξάτμισης της διεργασίας πολυβάθμιας εκτόνωσης είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας της θερμικής ενέργειας που παρέχεται από την λίμνη. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία της παρεχόμενης ενέργειας, τόσο υψηλότερα είναι και τα ποσοστά εξάτμισης. [26]

Σε αυτή την περίπτωση του συστήματος, η ηλιακή λίμνη δεν συλλέγει απλώς την ηλιακή ενέργεια αλλά παράλληλα την αποθηκεύει. Η λειτουργία της ως δεξαμενή αποθήκευσης είναι αρκετά σημαντική για το σύστημα, καθώς είναι υπεύθυνη για την εξασφάλιση της ισορροπημένης λειτουργίας του. Αυτό συμβαίνει γιατί ενώ τα συμβατικά συστήματα λειτουργούν με μια σχετικά σταθερή παροχή θερμικού φορτίου, τα συνδυασμένα συστήματα είναι αρκετά δύσκολο να λειτουργήσουν με μια ισχυρά μεταβαλλόμενη πηγή ενέργειας όπως είναι η φύση της ηλιακής

ενέργειας, τόσο κατά τις νυχτερινές ώρες όσο και τις ημέρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. [26]



Εικόνα 5.15 Σύστημα Πολυβάθμιας Εκτόνωσης με ηλιακή λίμνη (MSF-SP) [13]

ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
1. Ζώνη Αποθήκευσης	7. Προθερμασμένο υφάλμυρο νερό
2. Ζώνη Μέσης Αλατότητας	8. Εναλλάκτης θερμότητας
3. Επιφανειακή ζώνη	9. Υφάλμυρο νερό για απόσταξη
4. Υφάλμυρο νερό πλόσληψης	11. Αποβολή Άλμης
5. Επεξεργασία νερού	12. Απόσταγμα
6. Μονάδα αφαλάτωσης πολυβάθμιας εκτόνωσης	

5.4.3.2. ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΕΚΤΟΝΩΣΗ ΜΕ ΗΛΙΑΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

Η συμβατική μέθοδος πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF) καλύπτει το 60% στην παγκόσμια αγορά αφαλάτωσης, ενώ στην Μέση Ανατολή το ποσοστό αυτό εκτοξεύεται σχεδόν στο 80%. Ο λόγος για μια τόσο ισχυρή κυριαρχία είναι η υψηλή αξιοπιστία σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος μιας πολύ ώριμης τεχνολογίας. [14]

Είναι λοιπόν αναμενόμενο με τέτοια ποσοστά επικράτησης να αναφερθούμε αρκετά στον συνδυασμό αυτών των συστημάτων με την ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή λίμνη, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, αποτελεί μια επιλογή που ωστόσο αποδεικνύεται κατάλληλη για συστήματα αφαλάτωσης μικρής παραγωγικότητας. Για συστήματα μεγάλης παραγωγικότητας που βρίσκονται σε άγονες και

απομακρυσμένες περιοχής η επιλογή των ηλιακών συλλεκτών ως πηγή ενέργειας του συστήματος ενδείκνυται ως η καταλληλότερη. Οι τύποι ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως οι παραβολικοί συλλέκτες και λιγότερο οι επίπεδοι και οι κενού, ενώ υπάρχουν συστήματα με τον συνδυασμό και των δυο τύπων, παραβολικών και επίπεδων συλλεκτών, για μεγαλύτερη αποδοτικότητα.[15]

Γενικά, το σύστημα αφαλάτωσης ΠΕ (MSF) αποτελείται από τρία κύρια υποσυστήματα: αυτό της συλλογής θερμότητας, της θερμικής αποθήκευσης και της πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF). Το πρώτο σύστημα στην περίπτωση αυτή αποτελείται από ηλιακούς συλλέκτες και πρέπει να λειτουργεί σε θερμοκρασίες κατάλληλες με τις απαιτήσεις του συστήματος πολυβάθμιας εκτόνωσης. Η σχηματική απεικόνιση του συστήματος παρουσιάζεται στην *Εικόνα 5.15*. [15]

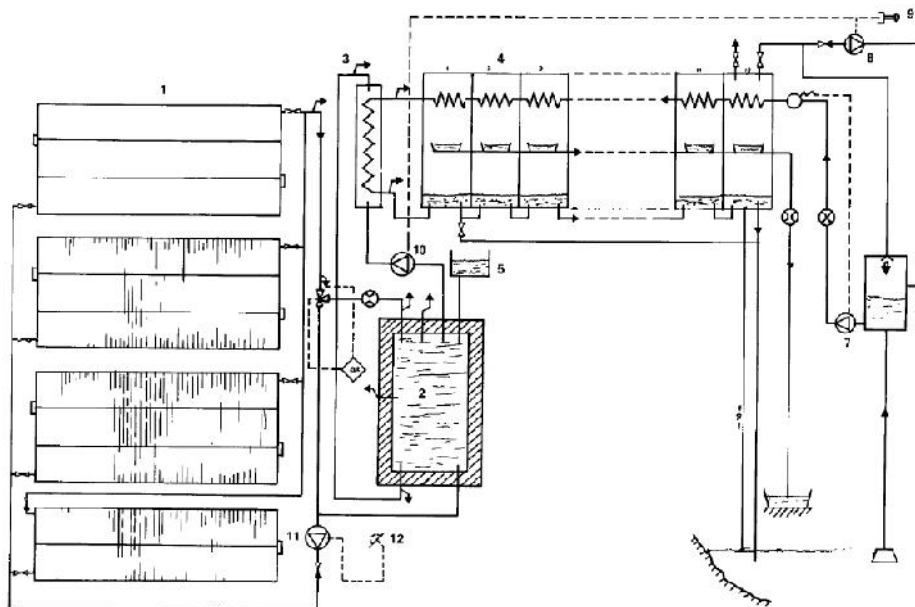
Αναλυτικότερα, η υπομονάδα ηλιακών συλλεκτών αποτελείται συνήθως από μια διάταξη συγκεντρωτικών παραβολικών συλλεκτών, και σπανιότερα από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με σύστημα καθώς και ένα σύστημα κυκλοφορίας κλειστού βρόγχου. Η ηλιακή ακτινοβολία περνά μέσα από το γυάλινο κάλυμμα του συλλέκτη, αντανακλάται από την παραβολική διατομή, στον χάλκινο σωλήνα απορρόφησης. Το νερό, το οποίο λειτουργεί ως υγρό συλλογής θερμότητας, κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες αποθήκευσης μεταφέροντας παράλληλα μακριά την απορροφημένη θερμική ενέργεια. Η κυκλοφορία του νερού επιτυγχάνεται από μία αντλία που λειτουργεί μόνο κατά τις ώρες ηλιοφάνειας. [15]

Η υπομονάδα θερμικής αποθήκευσης αποτελείται από μια δεξαμενή, μονωμένη με πολυουρεθάνης, και είναι συνδεδεμένη με το υποσύστημα συλλογής με τη βοήθεια ενός συστήματος αγωγών και της αντλίας του υποσυστήματος συλλογής. Η ρύθμιση της κυκλοφορίας πραγματοποιείται μέσω μιας θερμοστατικής βαλβίδας, η οποία εξασφαλίζει την επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου από τους συλλέκτες. Κατά τη λειτουργία του συστήματος τις πρωινές ώρες, το υποσύστημα των συλλεκτών χρησιμοποιεί το ψυχρότερο πόσιμο νερό που βρίσκεται στον πυθμένα της δεξαμενής αποθήκευσης, το θερμαίνει και το επανακυκλοφορεί αδιάζοντάς το αυτή τη φορά στην επιφάνεια της δεξαμενής. Παράλληλα με αυτή τη διαδικασία, το ζεστό νερό που βρίσκεται ήδη στην επιφάνεια της δεξαμενής χρησιμοποιείται από τους εναλλάκτες για τη θέρμανση της άλμης που εισέρχεται στους θαλάμους εκτόνωσης της μονάδας αφαλάτωσης. Κατά την διάρκεια αυτής της διεργασίας, μέρος της θερμικής ενέργειας που έχει συλλεχθεί, χρησιμοποιείται για την θέρμανση του υγρού στην δεξαμενή αποθήκευσης. Συνεπώς, η δεξαμενή λειτουργεί ως ένας θερμικός αποσβεστήρας μεταξύ των συστημάτων συλλογής ηλιακής ενέργειας και αφαλάτωσης. [15]

Τέλος, η υπομονάδα αφαλάτωσης με πολυβάθμια εκτόνωση (MSF) είναι διασυνδεδεμένη με τα υποσυστήματα συλλογής και αποθήκευσης θερμότητας μέσω του κύριου εναλλάκτη (θερμαντήρας άλμης). Το ζεστό νερό αντλείται από την επιφάνεια της δεξαμενής αποθήκευσης στον θερμαντήρα άλμης μέσω της αντλίας θερμού νερού. Το ζεστό νερό αποδίδει κάποια από την θερμική του ενέργεια στην άλμη, στον κύριο εναλλάκτη θερμότητας, και ρέει πίσω στην δεξαμενή αποθήκευσης, αλλά αυτή την φορά στον πυθμένα της. Το σύστημα αφαλάτωσης ΠΕ

(MSF) αποτελείται από μια σειρά μονάδων εξατμιστήρων-συμπυκνωτών, μια αντλία κενού, μια αντλία κυκλοφορίας θαλασσινού νερού και ελεγκτήρες. Η διαδικασία που ακολουθείται περιγράφεται ως εξής: Το θαλασσινό νερό θερμαίνεται στον κύριο εναλλάκτη (θερμαντήρας άλμης) και ρέει στους θαλάμους εκτόνωσης της πρώτης βαθμίδας. Τμήμα του θερμασμένου θαλασσινού νερού εκτονώνεται και ο παραγόμενος υδρατμός συμπυκνώνεται στο εξωτερικό των σωλήνων του συμπυκνωτή της πρώτης βαθμίδας. Αυτό επιτυγχάνεται αφού ο υδρατμός διασχίσει το πλέγμα αποθάμβωσης και απαλλαγεί από τα ανεπιθύμητα σταγονίδια εισερχόμενης άλμης. Έτσι, όταν έρχεται σε επαφή με τους ψυχρούς σωλήνες του συμπυκνωτή, χάνει όλη του την θερμότητα και συμπυκνώνεται στην εξωτερική τους επιφάνεια. Οι σωλήνες του συμπυκνωτή είναι γεμάτοι με το δροσερό νερό που ρέει εξωτερικά του θερμαντήρα άλμης. Το απομένον τμήμα του θαλασσινού νερού ρέει στην επόμενη βαθμίδα, όπου η πίεση είναι μικρότερη με αποτέλεσμα μια επιπλέον ποσότητα να εκτονώνεται και να δημιουργεί επιπλέον υδρατμό. Ο παραγόμενος υδρατμός συμπυκνώνεται και η ίδια διαδικασία ακολουθείται στις επόμενες βαθμίδες. Στην τελευταία βαθμίδα, η θερμοκρασία της άλμης είναι η χαμηλότερη και το επίπεδο κενού είναι το υψηλότερο.[15]

Η αντλία κενού χρησιμοποιείται για να παρέχει το απαιτούμενο επίπεδο κενού και να το διατηρεί με την απομάκρυνση των μη συμπυκνώσιμων αερίων. Το επίπεδο κενού στις διάφορες βαθμίδες είναι αυτορυθμιζόμενο σύμφωνα με την θερμοκρασία της άλμης και του ρυθμού ροής της μέσα στο σύστημα.[15]

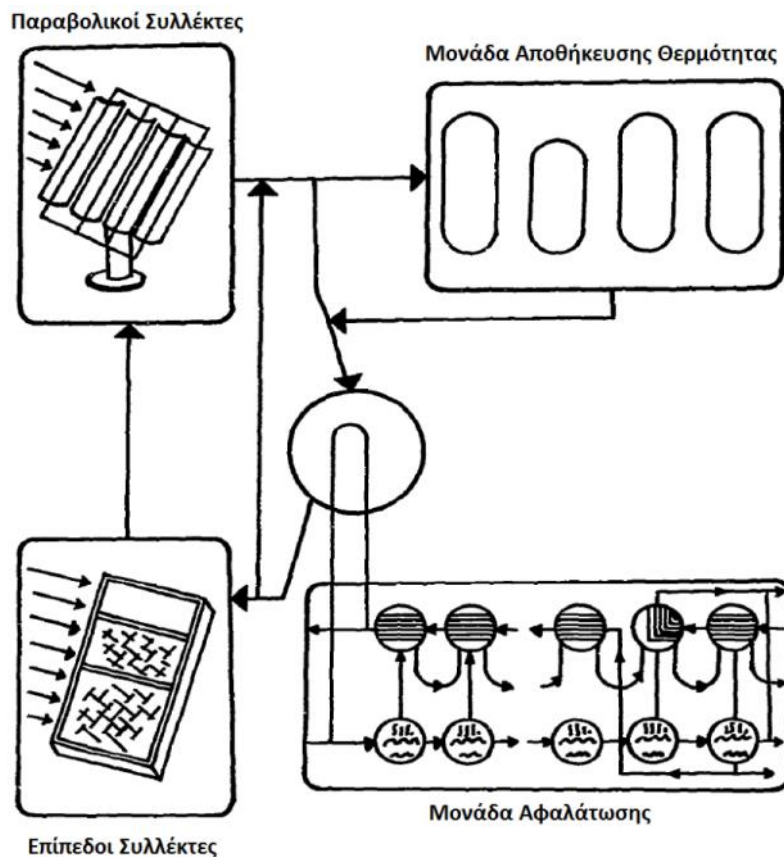


Εικόνα 5.16 Απεικόνιση συστήματος Αφαλάτωσης Πολυβάθμιας Εκτόνωσης (MSF) με ηλιακούς συλλέκτες[15]

ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
1. Υπομονάδα ηλιακών συλλεκτών	7. Αντλία πρόσληψης θαλασσινού νερού
2. Δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας	8. Αντλία κενού
3. Θερμαντήρας άλμης	9. Κουμπί εκκίνησης
4. Ηλιακή μονάδα αφαλάτωσης Πολυβάθμιας Εκτόνωσης	10. Βρόγχος αντλίας εναλλάκτη θερμότητας
5. Δοχείο πίεσης και διαστολής	11. Βρόγχος αντλίας συλλογής
6. Απαερωτής	12. Διακόπτης αισθητήρα ηλιακής ακτινοβολίας

Ολόκληρη η ποσότητα της άλμης που αφήνει την τελευταία βαθμίδα απορρίπτεται. Η ροή του θαλασσινού νερού εντός των σωλήνων του συμπυκνωτή εξισορροπεί το σύνολο της απορριπτόμενης άλμης και της ροής του αποστάγματος. Εκτός των απωλειών θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων, όλη η ενέργεια που απελευθερώνεται από το εκτονωμένο υγρό μεταφέρεται από τον υδρατμό στους σωλήνες του συμπυκνωτή. Οι διάφορες βαθμίδες του συστήματος μονώνονται ανεξάρτητα και συνδέονται με σωληνώσεις ροής της άλμης και ψύξης του συμπυκνωτή. Το σύστημα είναι επίσης εξοπλισμένο με τον απαερωτή και με μονάδες χημικής προεργασίας και παροχής δοσολογίας χλωρίου.[15]

Για την ολοκλήρωση αυτού του τύπου συστημάτων αξίζει να αναφερθεί και ο συνδυασμός δυο τύπων ηλιακών συλλεκτών, τόσο παραβολικών όσο και επίπεδων, σε μια μονάδα αφαλάτωσης με πολυβάθμια εκτόνωση. Το σύστημα αποτελείται από τις ίδιες υπομονάδες μόνο που σε αυτή την περίπτωση προστίθεται στην υπομονάδα παραβολικών συλλεκτών μια διάταξη με επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, η οποία αντικαθιστά την αντλία μεταφοράς θερμότητας του συστήματος. Έτσι, πραγματοποιείται η συλλογή και η κυκλοφορία του υγρού μεταφοράς θερμότητας βοηθώντας παράλληλα τους παραβολικούς συλλέκτες να φτάσουν υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας. Η σχηματική διάταξη του συστήματος αυτού παρουσιάζεται στην *Εικόνα 5.17*. [16]



Εικόνα 5.17 Απεικόνιση συστήματος Αφαλάτωσης Πολυβάθμιας Εκτόνωσης (MSF) με επίπεδους και παραβολικούς ηλιακούς συλλέκτες [16]

5.4.4. ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΟΥ

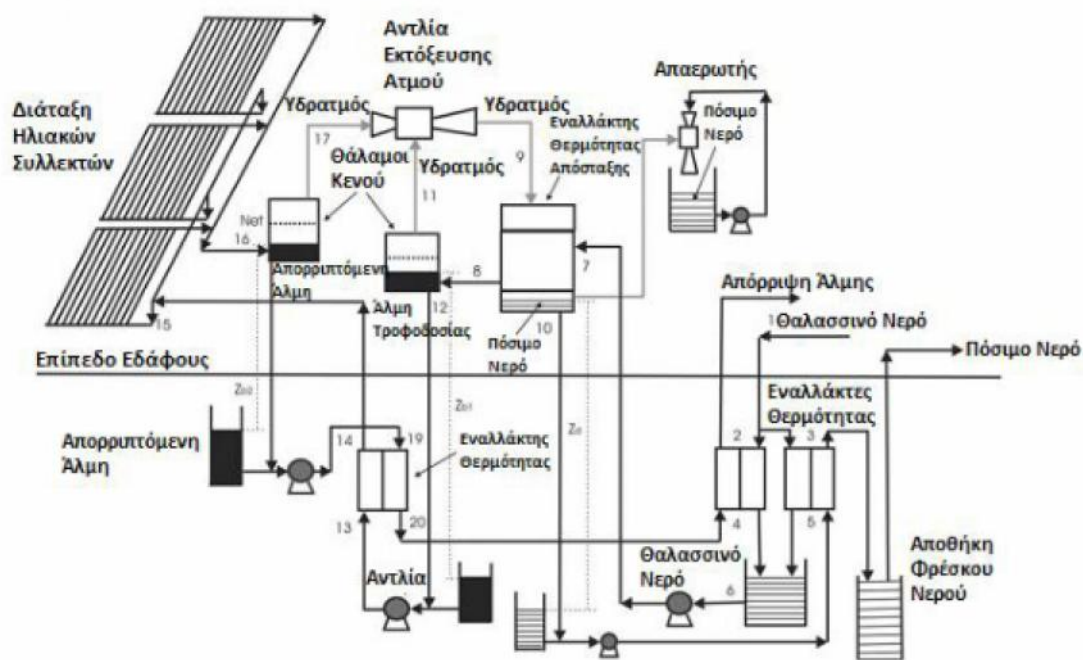
Η θερμική συμπίεση υδρατμού (TVC) είναι μια ακόμα διεργασία αφαλάτωσης που εντάσσεται στην κατηγορία λειτουργίας έμμεσης εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Για τον συνδυασμό αυτό, ως μονάδα συλλογής ενέργειας του συστήματος επιλέγονται οι ηλιακοί συλλέκτες. Ωστόσο, στο παρών κεφάλαιο δεν θα μελετηθεί ο πιο απλός συνδυασμός των δύο, αλλά, μια πρόσφατα εισηγημένη καινοτομική ιδέα με πολλές προοπτικές. Η ηλιακή βαρομετρική αφαλάτωση θαλασσινού νερού μέσω υπόγειας βαρομετρικής διάταξης, αποτελεί μια τεχνολογία που με την χρήση της θερμικής συμπίεσης υδρατμού έχει αρκετά καλή ενεργειακή αποδοτικότητα και πολλά υποσχόμενα τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά. [17]

Η τεχνολογία της ηλιακής βαρομετρικής αφαλάτωσης θαλασσινού νερού μέσω υπόγειας βαρομετρικής διάταξης, αποτελεί μια απλή διεργασία ηλιακής αφαλάτωσης η οποία περιλαμβάνει μια υπόγεια βαρομετρική διάταξη και μια υπομονάδα ηλιακών συλλεκτών. Παρακάτω θα ακολουθήσει ανάλυση της διεργασίας αυτής για σύστημα μιας και δυο βαθμίδων με χρήση ηλιακών θερμοσυμπιεστών υδρατμού, οι οποίοι μπορούν και εκμεταλλεύονται ικανοποιητικά την ηλιακή ακτινοβολία αλλά μπορούν και εξασφαλίζουν την σταθερή λειτουργία του συστήματος. [17]

Το σύστημα σε αυτή την περίπτωση αποτελείται από την υπομονάδα συλλογής ενέργειας, την υπομονάδα αφαλάτωσης, το σύστημα αντλιών και τους εναλλάκτες θερμότητας. Ως υπομονάδα συλλογής ενέργειας χρησιμοποιούνται ηλιακοί συλλέκτες κενού. Αυτοί οι συλλέκτες είναι εξοπλισμένοι με κυλινδρικούς διάφανους γυάλινους σωλήνες διπλής επίστρωσης και κλειστό ενδιάμεσο χώρο κενού. Η διάταξη των ηλιακών συλλεκτών κενού του συστήματος αποτελείται από μια σειρά διάφανων σωλήνων τοποθετημένους σε οριζόντιο πλέγμα, αγωγούς, αισθητήρες, πολλαπλασιαστές εισαγωγής/ εξαγωγής και ρυθμιστικές βαλβίδες. [17]

Ένα απλοποιημένο διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος μιας βαθμίδας παρουσιάζεται στην *Εικόνα 5.18*. Το θαλασινό νερό τροφοδοσίας αντλείται από μια υπόγεια δεξαμενή βάθους περίπου 10m και προθερμαίνεται από την απορριπτόμενη άλμη και από το αποσταγμένο νερό, το οποίο παράγεται στους εναλλάκτες θερμότητας αντίστροφης λειτουργίας. Η προθέρμανση του πραγματοποιείται σε εναλλάκτη θερμότητας αποστάγματος που έχει τοποθετηθεί στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας. Εκεί το θαλασινό νερό τροφοδοσίας απορροφά την λανθάνουσα θερμότητα του υδρατμού που συμπυκνώνεται σε παραγόμενο απόσταγμα και ως αποτέλεσμα εξατμίζεται μερικώς. Το μίγμα της άλμης τροφοδοσίας με τον υδρατμό και τον αέρα αφήνει τον εναλλάκτη αποστάγματος και εισέρχεται στον πρώτο θάλαμο κενού από τον οποίο εξέρχεται το μίγμα υδρατμού και αέρα και εισέρχεται στην αντλία εκτόξευσης ατμού. Παράλληλα, η άλμη τροφοδοσίας ρέει σε έναν εναλλάκτη αντίστροφης λειτουργίας για να θερμανθεί από την απορριπτόμενη άλμη του δεύτερου θαλάμου κενού και μετά από το πεδίο ηλιακών συλλεκτών. Καθώς ρέει εντός των σωλήνων της υπομονάδας των ηλιακών συλλεκτών, η άλμη τροφοδοσίας απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και μετατρέπεται σε ένα θερμότερο μίγμα απορριπτόμενης άλμης,

υδρατμού και αέρα το οποίο απελευθερώνεται μέσα στον δεύτερο θάλαμο κενού. Από αυτόν, η απορριπτόμενη άλμη αντλείται σε ένα διαθέσιμο μέρος ενώ το θερμό και υπό πίεση μίγμα του υδρατμού και του αέρα ρέει στην αντλία εκτόξευσης ατμού. Εκεί αφού αναμιχθεί με το αναρροφώμενο υπό κατάθλιψη μίγμα υδρατμού και αέρα που έρχεται από τον πρώτο θάλαμο κενού, εισέρχεται στον εναλλάκτη αποστάγματος όπου ο υδρατμός συμπυκνώνεται σε παραγόμενο αποσταγμένο νερό και ο αέρας εξαερώνεται μέσω ενός συστήματος αντλιών. Τέλος, το παραγόμενο νερό στον εναλλάκτη αποστάγματος κατευθύνεται σε μια υπόγεια δεξαμενή αποθήκευσης όπου θα διανεμηθεί για χρήση. Η ομαλή λειτουργία του συστήματος εξασφαλίζεται από βαρομετρικές στήλες νερού με ρυθμισμένα επίπεδα και δεν παρουσιάζονται στο σχηματικό διάγραμμα. [17]

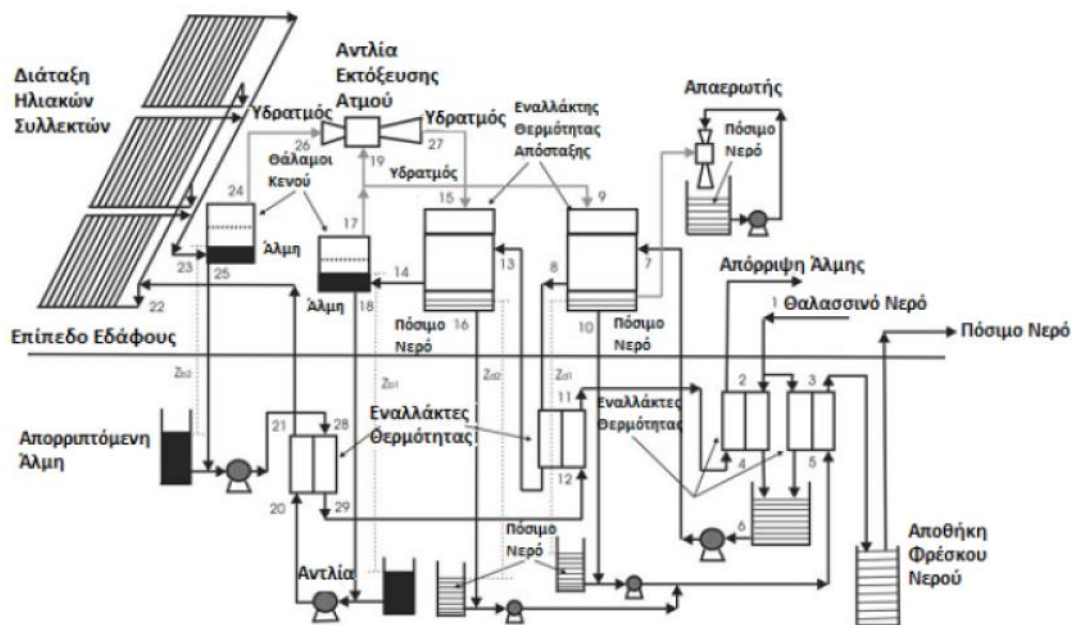


Εικόνα 5.18: Σύστημα μιας βαθμίδας ηλιακής βαρομετρικής αφαλάτωσης με χρήση θερμικής συμπίεσης υδρατμού (TVC). [17]

Το αντίστοιχο σύστημα δυο βαθμίδων παρουσιάζεται στην *Εικόνα 5.19*. Το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας αντλείται από μια υπόγεια δεξαμενή βάθους περίπου 10m και προθερμαίνεται από την απορριπτόμενη άλμη και από το αποσταγμένο νερό, το οποίο παράγεται στους εναλλάκτες θερμότητας αντίστροφης λειτουργίας. Η προθέρμανση του πραγματοποιείται σε εναλλάκτη αποστάγματος που έχει τοποθετηθεί στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας. Εκεί το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας θερμαίνεται απορροφώντας την λανθάνουσα θερμότητα του υδρατμού που συμπυκνώνεται σε παραγόμενο απόσταγμα. Στη συνέχεια ακολουθεί περαιτέρω θέρμανση του καθώς ρέει εντός του δεύτερου εναλλάκτη θερμότητας απορριπτόμενης άλμης και νερού τροφοδοσίας με αντίστροφη λειτουργία και εισέρχεται στον δεύτερο εναλλάκτη θερμότητας αποστάγματος, όπου απορροφώντας τη λανθάνουσα θερμότητα του υδρατμού που συμπυκνώνεται σε παραγόμενο απόσταγμα εξατμίζεται μερικώς. Το μίγμα άλμης τροφοδοσίας, υδρατμού και αέρα εξέρχεται από τον δεύτερο εναλλάκτη αποστάγματος και

εισέρχεται στον δεύτερο θάλαμο κενού όπου χωρίζεται σε δύο ρεύματα: στο μίγμα υδρατμού και αέρα, το οποίο κατευθύνεται στην αντλία του εκτοξευτήρα ατμού και στον πρώτο εναλλάκτη θερμότητας αποστάγματος και στην άλμη τροφοδοσίας, η οποία θερμαίνεται από την κυκλοφορία της στον εναλλάκτη θερμότητας απορριπτόμενης άλμης και άλμης τροφοδοσίας με αντίστροφη λειτουργία και την έπειτα εισαγωγή της στην υπομονάδα των ηλιακών συλλεκτών. Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τους σωλήνες ροής των ηλιακών συλλεκτών μετατρέπουν την άλμη τροφοδοσίας σε ένα θερμότερο μίγμα απορριπτόμενης άλμης, υδρατμού και αέρα το οποίο απελευθερώνεται από την διάταξη των ηλιακών συλλεκτών στον δεύτερο θάλαμο κενού. Από εκεί, η απορριπτόμενη άλμη αντλείται σε ένα διαθέσιμο χώρο, ενώ το θερμό υπό πίεση μίγμα υδρατμού και αέρα ρέει στην αντλία του εκτοξευτήρα ατμού, και αφού αναμιχθεί με το αναρροφώμενο υπό κατάθλιψη μίγμα υδρατμού και αέρα που έρχεται από τον πρώτο θάλαμο κενού, εισέρχεται στον δεύτερο εναλλάκτη θερμότητας αποστάγματος όπου ο υδρατμός συμπυκνώνεται σε παραγόμενο αποσταγμένο νερό και ο αέρας εξαerώνεται μέσω ενός συστήματος αντλιών. [17]

Το παραγόμενο αποσταγμένο νερό και από τους δυο εναλλάκτες θερμότητας αποστάγματος κατευθύνεται σε μια υπόγεια δεξαμενή αποθήκευσης από όπου διατίθεται για χρήση. Και σε αυτή τη διάταξη η ομαλή λειτουργία εξασφαλίζεται από βαρομετρικές στήλες νερού με ρυθμισμένα επίπεδα που δεν παρουσιάζονται στο σχηματικό διάγραμμα. [17]



Εικόνα 5.19: Απεικόνιση συστήματος δύο βαθμίδων ηλιακής βαρομετρικής αφαλάτωσης με χρήση θερμικής συμπίεσης υδρατμού (TVC). [17]

Μπορεί τα συστήματα ηλιακής βαρομετρικής αφαλάτωσης με χρήση θερμικής συμπίεσης υδρατμού να έχουν ως κινητήρια ενέργεια την ηλιακή, ωστόσο, η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητη για την άντληση όλων των απαραίτητων υγρών, δηλαδή, του θαλασσινού νερού τροφοδοσίας, του παραγόμενου

αποστάγματος και της απορριπτόμενης άλμης, καθώς επίσης και για την λειτουργία του συστήματος απαέρωσης και όλων των μονάδων ελέγχου του συστήματος. [17]

Γενικότερα, αυτού του είδους τα συστήματα φαίνεται να συγκεντρώνουν το ενδιαφέρον λόγω του καλύτερου βαθμού απόδοσης σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα θερμικής συμπίεσης. Ακόμα, το γεγονός ότι μπορούν να λειτουργήσουν και με άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εκτός της ηλιακής, τα καθιστά ιδανικά τόσο για απομακρυσμένες και άγονες περιοχές όσο και για περιοχές χωρίς άμεση πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο. Τέλος, παρότι η μελέτη των ηλιακών θερμικών συστημάτων συμπίεσης υδρατμού πραγματοποιήθηκε για υπόγεια διάταξη, τα συστήματα με διάταξη πάνω από το έδαφος ακολουθούν την ίδια διαδικασία. [17]

5.4.5. ΗΛΙΑΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΟΥ

Η μηχανική συμπίεση υδρατμού (MVC) αποτελεί μια αρκετά ελκυστική τεχνολογία κατάλληλη για τον σχεδιασμό μονάδων αφαλάτωσης μικρής δυναμικότητας με έναν λογικό βαθμό κινητικότητας και συμπαγούς κατασκευής. Συνεπώς, ο συνδυασμός της με την ηλιακή ενέργεια εμφανίζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για περαιτέρω μελέτη.

Η μηχανική συμπίεση υδρατμού (MVC) ανήκει στην κατηγορία θερμικών διεργασιών και μπορεί να κάνει έμμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας. Ωστόσο, η κατασκευή ενός αυτόνομου συστήματος που να εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από την ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι πρακτικά εφικτή. Αυτό οφείλεται στον μεγάλο αριθμό μπαταριών που είναι απαραίτητες ως εφεδρεία του συστήματος κατά τις βραδινές ώρες ή τις ώρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια, στο μεγάλο κόστος συντήρησης και εγκατάστασης καθώς και στην μικρή του αξιοπιστία. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω στοιχεία, ένα ηλιακό σύστημα μηχανικής συμπίεσης με παράλληλη χρήση γεννήτριας αποτελεί την ιδανική επιλογή για να παρέχει πόσιμο νερό μικρές κοινότητες αλλά και ταυτόχρονα να παράγει αρκετή ενέργεια για τη στέγαση φορέων εκμετάλλευσης και λειτουργίας των σταθμών με ελάχιστη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Η μελέτη ενός τέτοιου συστήματος θα ακολουθήσει παρακάτω. [18]

Ένα υβριδικό ηλιακό σύστημα αφαλάτωσης με μηχανική συμπίεση υδρατμού (MVC) και χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων, γεννήτριας και εναλλακτών τύπου πλάκας, αποτελεί τον ιδανικό συνδυασμό για τους παρακάτω λόγους: [18]

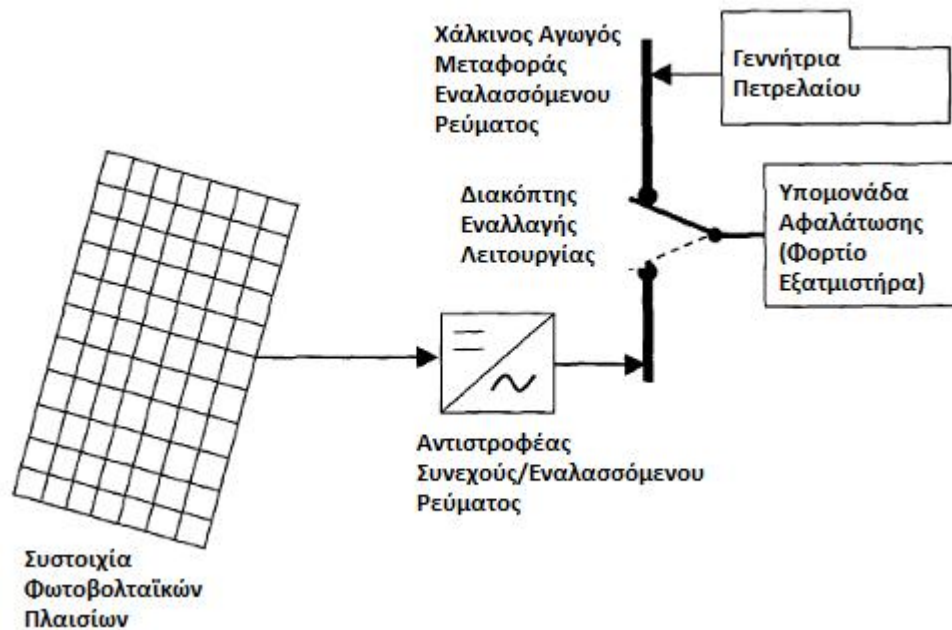
- Μείωση των εκπομπών των αερίων καύσης.
- Συμπαγής κατασκευή με περιορισμένες ανάγκες για την επιφάνεια του εδάφους.
- Το σύστημα μπορεί σχεδιαστεί ενιαίο και έτσι γίνεται εύκολη η διάλυση, η τοποθέτηση αλλά και η μεταφορά του.
- Χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις
- Δεν υπάρχει ανάγκη επιπλέον θέρμανσης (boiler ή ηλεκτρικοί θερμοαντήρες).
- Ευκολία στην λειτουργία και την συντήρηση.

- Υψηλή αξιοπιστία και αντοχή χαρακτηρίζουν τα συστήματα μηχανικής συμπίεσης υδρατμού που βρίσκονται σε εξέδρες ανοιχτής θάλασσας.
- Καταλληλότητα για μονάδες μικρής δυναμικότητας που μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες μιας μικρής κοινότητας.
- Περιορισμένες δυνατότητες πρόσληψης.
- Ευνοϊκά χαρακτηριστικά μεταφοράς θερμότητας.
- Η εξάτμιση λαμβάνει χώρα σε μειωμένες θερμοκρασίες, γεγονός που ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο διάβρωσης και δημιουργίας ιζημάτων.
- Απλός εξοπλισμός χημικής επεξεργασίας.
- Πολλά από τα εξαρτήματα του συστήματος μπορούν να βρεθούν στην αγορά, έτσι η συναρμολόγηση του είναι εφικτή ακόμα και σε τοπικό επίπεδο.

Για τους παραπάνω λόγους, πραγματοποιείται η επιλογή εξατμιστήρα τύπου ψεκασμού με οριζόντιους σωλήνες, καθώς και εναλλακτών θερμότητας τύπου πλάκας. Επίσης, η επιλογή τιτανίου για το υλικό κατασκευής των σωλήνων και των εναλλακτών καθώς και ανοξείδωτου αδρανοποιημένου χάλυβα για το κέλυφος του εξατμιστήρα καταπολεμά την διάβρωση και βελτιώνει την οικονομία του συστήματος. Η απουσία της μονάδας απαέρωσης και η λειτουργία του εξατμιστήρα για χαμηλές θερμοκρασίες άλμης ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο διάβρωσης και σχηματισμού ιζημάτων και εξαλείφουν την ανάγκη εξειδικευμένης εργασίας, για καθαρισμό με οξύ, ενώ αντί αυτού, ένα απλό σύστημα δοσομετρητή οξέως μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Ωστόσο, το πρόβλημα είναι ένας σχετικά χαμηλός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, η ανάγκη για ένα σύστημα κενού και ο χειρισμός μεγαλύτερων όγκων υδρατμού από τον συμπιεστή. Παρόλα αυτά, η χρήση των συμπιεστών τύπου ανεμιστήρα επιτρέπουν την εφαρμογή υψηλότερων βαθμών συμπίεσης με περιορισμένη αύξηση του κόστους επένδυσης του συμπιεστή. [18]

Μια ακόμα παρατήρηση όσον αφορά την επιλογή υλικών, είναι ότι το επιπλέον κόστος των σωλήνων τιτανίου σε σχέση με αυτούς από κράμα χαλκού-νικελίου εξισορροπείται από την χρήση λεπτότερων σωλήνων και εναλλακτών από τιτάνιο. Το τιτάνιο είναι λιγότερο πυκνό σε σχέση με τα κράματα χαλκού και περισσότερο ανθεκτικό στην διάβρωση συναντάται κατά τη διεργασία της αφαλάτωσης. [18]

Η συνδεσμολογία του συστήματος παρουσιάζεται στην *Εικόνα 5.20*. Για την μεγαλύτερη ευελιξία του συστήματος προτείνεται η χρήση μιας ηλιακής διάταξης και μιας γεννήτριας πετρελαίου για κάθε εξατμιστήρα και κάθε μονάδα στέγασης καθώς έτσι μειώνεται η ταλαιπωρία σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος. Παρακάτω παρατίθεται μόνο η συνδεσμολογία των φωτοβολταϊκών με την υπομονάδα αφαλάτωσης. [18]



Εικόνα 5.20: Προτεινόμενη συνδεσμολογία για υβριδικό σύστημα αφαλάτωσης με μηχανική συμπίεση υδρατμού (MVC). [18]

Η συστοιχία των Φ/Β τροφοδοτεί την μονάδα αφαλάτωσης με την απαιτούμενη ενέργεια, ενώ κατά την διάρκεια της νύχτας ή τις μέρες χωρίς ηλιοφάνεια αναλαμβάνει λειτουργία η γεννήτρια πετρελαίου. Το ρεύμα που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά περνάει από τον αντιστροφέα ρεύματος, ο οποίος το μετατραπεί σε εναλασσόμενο ρεύμα. Έτσι είναι έτοιμο για χρήση από την μονάδα. Στην συνέχεια η διεργασία που ακολουθείται στην υπομονάδα αφαλάτωσης δεν διαφέρει από την αντίστοιχη της συμβατικής. Το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας αντλείται στο σύστημα και διαχωρίζεται σε δυο ρεύματα. Το πρώτο περνάει εντός των σωλήνων του συμπυκνωτή και ανακτά την λανθάνουσα θερμότητα που παράγεται κατά την δημιουργία υδρατμών στο εξωτερικό της επιφάνειας των σωλήνων του συμπυκνωτή. Έτσι, αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας. Στη συνέχεια ακολουθεί περαιτέρω θέρμανση του ήδη θερμού θαλασσινού νερού σε εναλλάκτη θερμότητας, αφού εκεί έρχεται σε επαφή με το θερμό ρεύμα της άλμης που αφήνει τον εξατμιστήρα. Το δεύτερο ρεύμα θερμαίνεται στον δεύτερο εναλλάκτη θερμότητας αφού εκεί έρχεται σε επαφή με το θερμό απόσταγμα που αφήνει τον θάλαμο υδρατμού στον εξατμιστήρα. [18]

Τα δυο αυτά ρεύματα αφήνουν τους εναλλάκτες και, αφού αναμιχθούν σε ένα πια ρεύμα, εισέρχονται στην πισίνα άλμης του εξατμιστήρα. Μια αντλία ανακύκλωσης αντλεί νερό από την πισίνα της άλμης και το ψεκάζει μέσω ακροφυσίων στην εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων οριζόντιας διάταξης του εξατμιστήρα, με σκοπό το σχηματισμό μιας λεπτής στοιβάδας. Η εξάτμιση πραγματοποιείται στο εξωτερικό των σωλήνων, καθώς η λεπτή στοιβάδα άλμης απορροφά όλη την λανθάνουσα θερμότητα από την συμπύκνωση των υδρατμών που πραγματοποιείται εντός των σωλήνων. [18]

5.4.6. ΗΛΙΑΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΥΔΡΑΤΜΟΥ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

Η χρήση των συστημάτων συμπίεσης υδρατμού (AbVC) για την διεργασία της αφαλάτωσης είναι ευρέως γνωστή. Τα συστήματα αυτά, όμως, χρησιμοποιούν σαν ψυκτικά μέσα χλωροφθοράνθρακες (CFC), οι οποίοι ως γνωστόν είναι οι κύριοι υπεύθυνοι για την καταστροφή του στρώματος του όζοντος. Για τον λόγο αυτό, πρόσφατα αντικαταστάθηκαν στα συστήματα συμπίεσης υδρατμού με τους υδροφθοράνθρακες (HFC). Ωστόσο, η χρήση αυτών των ψυκτικών υγρών έχει ως αποτέλεσμα πτώση στην αποδοτικότητα 5-10% και στην δυναμικότητα του συστήματος. Επιπλέον, οι υδροφθοράνθρακες (HFC) είναι ακριβότεροι στην παραγωγή τους σε σχέση με τους χλωροφθοράνθρακες (CFC). Επιπλέον, συστήματα επανασυμπίεσης υδρατμού χρησιμοποιήθηκαν για την διεργασία αφαλάτωσης, χωρίς όμως τα επιθυμητά αποτελέσματα. Τόσο τα συστήματα συμπίεσης όσο και τα συστήματα επανασυμπίεσης υδρατμού τροφοδοτούνταν από το ηλεκτρικό δίκτυο και οι συντελεστές απόδοσης τους παρουσιάζονταν χαμηλοί όταν οι ανεπάρκειες της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνονταν υπόψη, ενώ παράλληλα είχαν πολύ υψηλά κόστη συντήρησης. [19]

Τα συστήματα απορρόφησης (AbVC) συγκέντρωσαν το ενδιαφέρον μελέτης καθώς χρησιμοποιούν φιλικά προς το περιβάλλον ψυκτικά μέσα, όπως το νερό, και η χρήση τους σε συστήματα συμπίεσης ή επανασυμπίεσης, μείωσε σημαντικά τις εκπομπές του CO₂. Παρακάτω θα πραγματοποιηθεί ανάλυση διάφορων διαρρυθμίσεων αφαλάτωσης με χρήση των καινοτομικών συστημάτων απορρόφησης (AbVC). Το AbVC μπορεί να τροφοδοτηθεί από κάποια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, σε αυτή τη περίπτωση την ηλιακή ενέργεια, ή από μια υβριδική μέθοδο (παράλληλη χρήση ηλιακής ενέργειας και καυσίμων). Τα συστήματα απορρόφησης (AbVC) παρουσιάζουν μερικά ελκυστικά χαρακτηριστικά όπως ο υψηλός βαθμός απόδοσης, δεν απαιτείται καμία προεργασία ή χημική επεξεργασία, η εξαγωγή του νερού γίνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, απουσία ιζηματοποίησης αλλά και ελάχιστη διάβρωση. Επιπλέον, η διαδικασία συγκέντρωσης του συστήματος απορρόφησης πραγματοποιείται κοντά στην ατμοσφαιρική θερμοκρασία με το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτείται καμία επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας. Αυτό το σύστημα είναι αθόρυβο και απαιτεί ελάχιστη συντήρηση. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί υπό τη μορφή συγκεντρωμένου απορροφούμενου διαλύματος και το διάλυμα αυτό μπορεί να αναγεννηθεί για θερμοκρασία δωματίου για έναν αόριστο χρόνο χωρίς να απαιτείται μακροχρόνια δυνατότητα αποθήκευσης. Ακόμα, είναι ελκυστικό όσον αφορά τον τομέα του περιβάλλοντος γιατί το υγρό αποθήκευσης που χρησιμοποιεί είναι το νερό. [19]

Ο βασικός κύκλος ενός συστήματος απορρόφησης για αφαλάτωση του νερού παρουσιάζεται στην *Εικόνα 5.21*. Το σύστημα αποτελείται από μια γεννήτρια/ηλιακό συλλέκτη (στην περίπτωση μας είναι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες) έναν απορροφητή, έναν συμπυκνωτή και έναν εξατμιστήρα. [19]

Το σύστημα λειτουργεί σε ανοιχτό κύκλο. Αρχικά, η άλμη τροφοδοτεί τον εξατμιστήρα, όπως φαίνεται στην γραμμή 3 του σχήματος. Η θερμότητα που

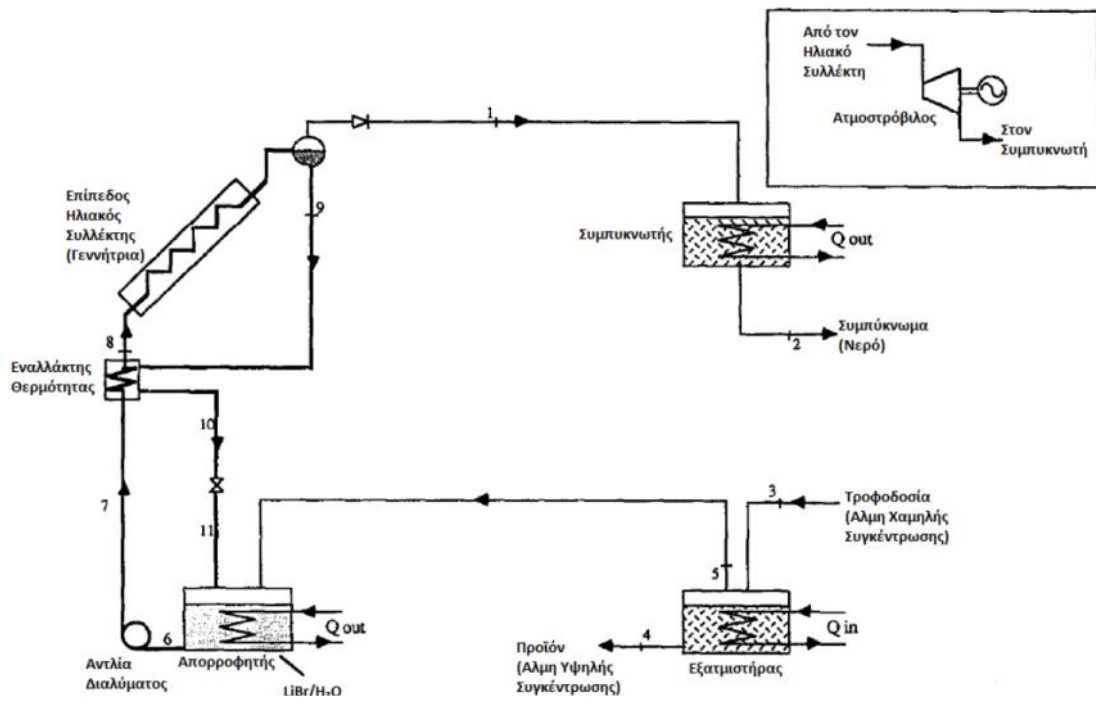
εξάγεται από τον εξατμιστήρα προκαλεί την εξάτμιση του νερού. Ο υδρατμός που παράγεται από τον εξατμιστήρα απορροφάται από το διάλυμα Βρωμιούχου Λιθίου (LiBr) στον απορροφητή και έτσι δημιουργείται θερμότητα μέσω της διαδικασίας απορρόφησης. Η αντλία λαμβάνει ένα "αδύναμο" διάλυμα από τον απορροφητή (γραμμή 6 του σχήματος) και στην συνέχεια ανυψώνει την πίεση του και το παραδίδει στην γεννήτρια/ηλιακό συλλέκτη μέσω της γραμμής 8. Η ηλιακή ενέργεια θερμαίνει το υγρό διάλυμα στην γεννήτρια και αυτό αποβάλλει τον υδρατμό που είχε προσληφθεί από το υγρό απορρόφησης. [19]

Ο υδρατμός αυτός είτε οδηγείται κατευθείαν μέσα στο σπείρωμα του συμπυκνωτή, είτε χρησιμοποιείται για να οδηγήσει μια τουρμπίνα ή μια διάταξη θετικής μετατόπισης, έτσι παράγει μηχανική ενέργεια και άρα ηλεκτρισμό. Το συμπύκνωμα, δηλαδή το αποσταγμένο νερό, αφήνει το σύστημα δια μέσου της γραμμής 2 του σχήματος. Το "ισχυρό" διάλυμα επιστρέφει στον απορροφητή, μέσω της γραμμής 11, αφού περάσει πρώτα μέσα από μια βαλβίδα εκτόνωσης. Το "αδύναμο" διάλυμα, μέσω της γραμμής 7, περνάει από τον απορροφητή μέσα από τον εναλλάκτη θερμότητας για να ανακτήσει την θερμότητα από το "ισχυρό" διάλυμα, που έρχεται από την γραμμή 9. Ο εναλλάκτης θερμότητας αποτελείται από μια μήτρα πυκνής διάταξης φύλλων μετάλλου. Το συμπυκνωμένο προϊόν, δηλαδή η συμπυκνωμένη άλμη, αφήνει το σύστημα δια μέσου της γραμμής 4. Οι ορολογίες "ισχυρό" και "αδύναμο" διάλυμα αναφέρονται στην υψηλή και χαμηλή συγκέντρωση, αντίστοιχα, του υγρού απορρόφησης στο μίγμα. [19]

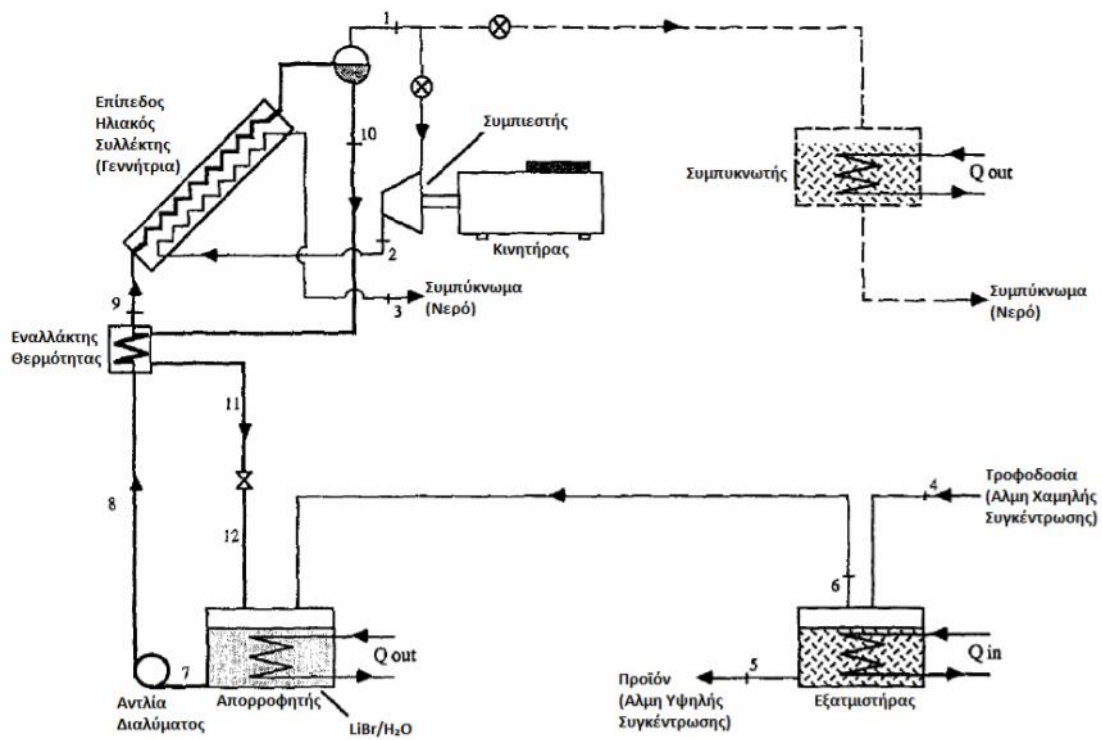
Το σύστημα μπορεί να τροφοδοτηθεί και με υβριδικές μεθόδους. Για παράδειγμα, το σύστημα απορρόφησης μπορεί να συνδυαστεί με μια μονάδα επανασυμπίεσης υδρατμού, όπως στην *Εικόνα 5.22*. Η μονάδα επανασυμπίεσης υδρατμού μπορεί να οδηγηθεί από μια κινητήρια μονάδα, όπως ένας κινητήρας αερίου, όταν δεν είναι διαθέσιμη η ηλιακή ενέργεια. [19]

Το σύστημα απορρόφησης (AbVC) μπορεί να έχει τη μορφή μιας περιστροφικής μονάδας, όπως παρουσιάζεται στην *Εικόνα 5.23*. Στην περίπτωση αυτή, η χρήση θα μπορούσε να γίνει από την εντατικοποίηση της διεργασίας, η οποία εκμεταλλεύεται την ακτινική ροή που παράγεται από την φυγόκεντρο δύναμη. Η εντατικοποίηση της διεργασίας επιτρέπει τεράστια μείωση του μεγέθους, του βάρους και του κόστους του συστήματος σε σχέση με τις συμβατικές σχεδιαστικές προσεγγίσεις. Πολλές από τις σωληνώσεις και τους εναλλάκτες μπορούν να απαλειφθούν από το σύστημα. [19]

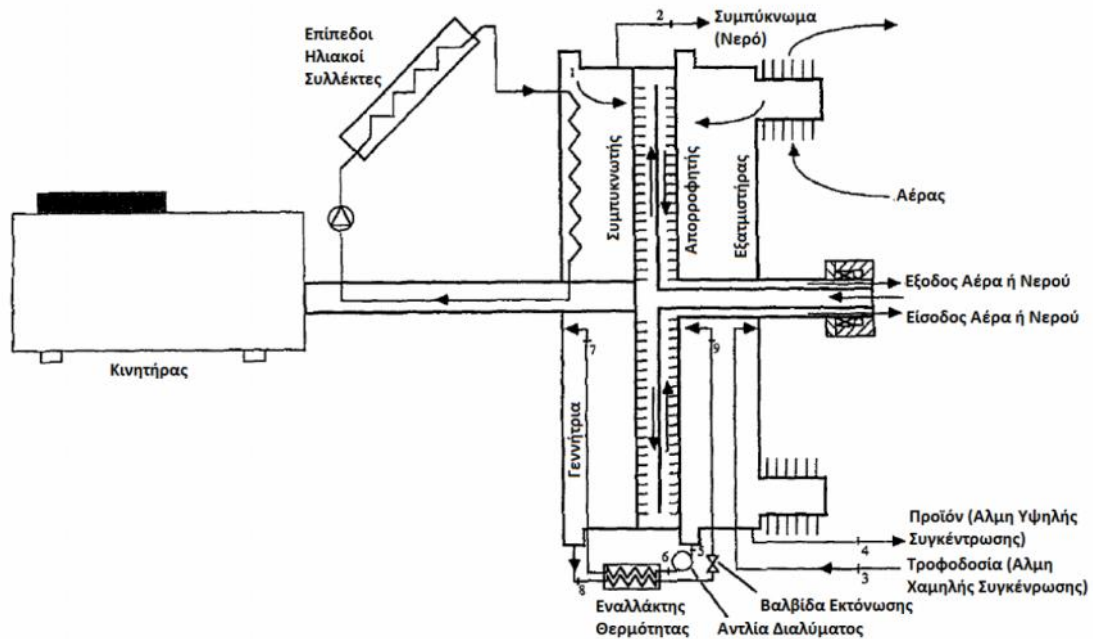
Αναφορικά, από θερμοδυναμική μελέτη που έγινε για τα συστήματα των *Εικόνων 5.21* και *5.23* βρέθηκε θερμικός συντελεστής απόδοσης ίσος με 1,04. Αντίστοιχα, για το υβριδικό σύστημα της *Εικόνα 5.22* υπολογίστηκε 7,9 για θερμοκρασίες εξατμιστήρα και απορροφητή 20 και 40°C αντίστοιχα, αλλά και θερμοκρασία γεννήτριας 80°C. [19]



Εικόνα 5.21 Σύστημα ηλιακής αφαλάτωσης μίας βαθμίδας με απορρόφηση (AbVC) [19]



Εικόνα 5.22 Υβριδικό σύστημα ηλιακής αφαλάτωσης με απορρόφηση (SAbVC) [19]



Εικόνα 5.23 Περιστροφική μονάδα αφαλάτωσης μίας βαθμίδας με απορρόφηση (abVC) [19]

5.4.7. ΗΛΙΑΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ

Αυτού του τύπου συστήματα αφαλάτωσης είναι συνδυασμός μιας μονάδας αφαλάτωσης πολλαπλής εξάτμισης και μιας αντλίας προσρόφησης θέρμανσης ανοιχτού κύκλου με χρήση εσωτερικής ανάκτησης θερμότητας. Χαρακτηριστική λειτουργία της αντλίας αυτής είναι η εκτόνωση, μέσω της οποίας τροφοδοτεί τη μονάδα αφαλάτωσης πολλαπλής εξάτμισης με ατμό και θαλασσινό νερό. Η διαρρύθμιση αυτή είναι μια καινοτομική θερμική τεχνική αφαλάτωσης που προσφέρει πολλά υποσχόμενες δυνατότητες για ανάπτυξη. [20]

Το σύστημα αφαλάτωσης περιλαμβάνει έναν εξατμιστήρα, ο οποίος βρίσκεται ανάμεσα σε δυο αντιδραστήρες γεμάτους με προσροφητικό υλικό, και μια μονάδα αφαλάτωσης, στην παρούσα ανάλυση, τριών βαθμίδων όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.24. Ως στερεό προσροφητικό υλικό, ο ζεόλιθος επιλέχθηκε για τις μοναδικές προσροφητικές ιδιότητες του σε σύγκριση με άλλα προσροφητικά μέσα. Ο ζεόλιθος είναι ένα κρυσταλλικό μεταλλικό αργιλοπυριτικό υλικό με μικροσκοπικού μεγέθους, αλλά ακριβής γεωμετρίας, δομή πόρων. [20]

Η διαδικασία ανάκτησης θερμότητας που προτείνεται στηρίζεται στην ιδέα του θερμικού κύματος. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στην θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας, η οποία απορρίπτεται από την επιφάνεια ψύξης, να χρησιμοποιηθεί άμεσα από την δεύτερη επιφάνεια που απαιτεί υψηλή θερμότητα. Όσον αφορά τη χαμηλή θερμική αγωγιμότητα της επιφάνειας, ο προσροφητής και το υγρό που δρα ως εναλλάκτης θερμότητας μπορεί να κατασκευαστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε η αντίσταση μεταφοράς θερμότητας από το υγρό στο προσροφητικό μέσο να είναι

μικρότερη από την αντίσταση κατά μήκος της διαδρομής του ρευστού. Υπό αυτές τις συνθήκες, σχηματίζεται ένα μέτωπο θερμοκρασίας στο υγρό και στην επιφάνεια προσρόφησης και αυτό το κύμα κινείται αργά κατά μήκος της επιφάνειας. [20]

Επιπλέον, ο εξατμιστήρας και η πρώτη βαθμίδα του συστήματος πολλαπλής εξάτμισης είναι συνδεδεμένα με τα δυο κρεβάτια προσρόφησης και υποβάλλονται υπό την ίδια πίεση. Έτσι, θεωρητικά περιορίζεται ο κύκλος προσρόφησης-εκρόφησης σε μια βαθμίδα λειτουργώντας εναλλακτικά στην προσρόφηση και εκρόφηση. Με τον τρόπο αυτό οι δύο επιφάνειες λειτουργούν ως θερμικοί συμπιεστές υδρατμού. [20]

Το υγρό μεταφοράς θερμότητας ρέει εντός των σωλήνων των επιφανειών προσρόφησης και δεν έρχεται σε άμεση επαφή με το προσροφητικό υλικό πλήρωσης του χώρου μεταξύ των σωλήνων. Το υγρό μεταφοράς θερμότητας κυκλοφορεί εντός των επιφανειών και των εναλλακτών μέσω μιας αντιστρεπτής αντλίας. Εναλλακτικά, η θέρμανση και η ψύξη των κρεβατιών πραγματοποιείται από την αλλαγή της κατεύθυνσης της ροής του υγρού μεταφοράς θερμότητας. [20]

Οι ηλιακοί παραβολικοί συλλέκτες θερμαίνουν το υγρό μεταφοράς θερμότητας. Η εξισορροπημένη λειτουργία του συστήματος εξασφαλίζεται από την ύπαρξη της αποθήκης θερμότητας καθώς και ενός επιπλέον θερμαντήρα καυσίμων. [20]

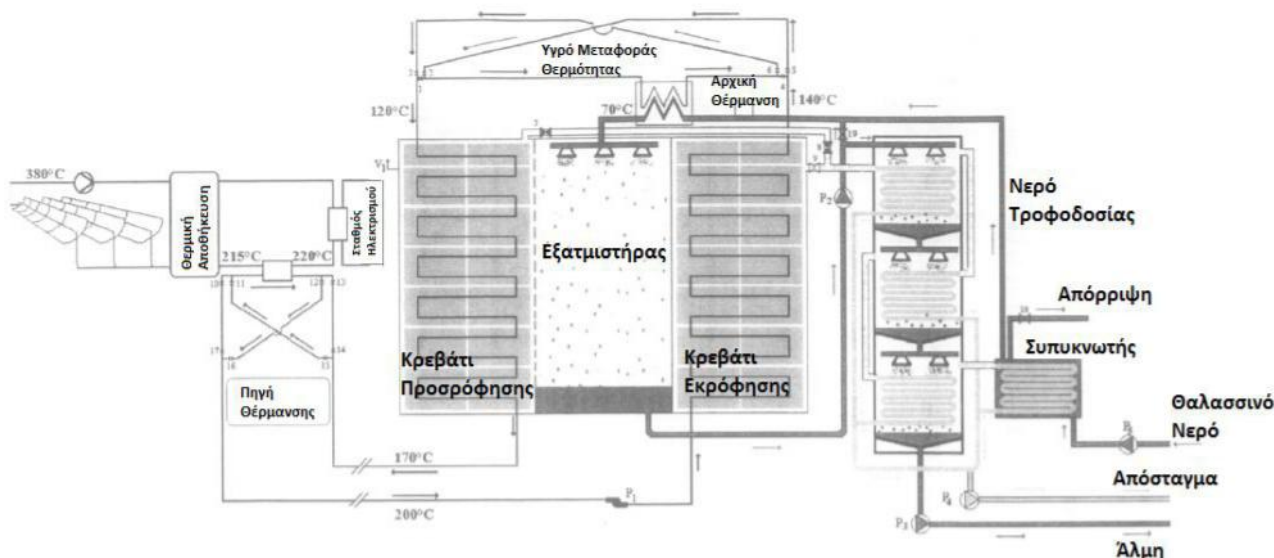
Στο σύστημα που παρουσιάζεται στην *Εικόνα 5.24*, το νερό τροφοδοσίας προθερμαίνεται στον συμπυκνωτή, όπου ο ατμός που συμπυκνώνεται προέρχεται από την τελευταία βαθμίδα της μονάδας αφαλάτωσης πολλαπλής εξάτμισης. Πριν την εισαγωγή του στον εξατμιστήρα, το θαλασσινό νερό θερμαίνεται από το υγρό μεταφοράς θερμότητας. Όταν το υγρό φτάσει την κατώτερη του θερμοκρασία, εισέρχεται σε αυτό η επιφάνεια η οποία βρίσκεται στη φάση προσρόφησης και το ψύχει, ώστε να της αφήσει την μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα υδρατμού. [20]

Μια αντλία κενού διατηρεί μειωμένη την πίεση κάτω από αυτή που αντιστοιχεί στην πίεση κορεσμού του εισερχόμενου θαλασσινού νερού. Η μείωση της πίεσης στον εξατμιστήρα προκαλεί την εκτόνωση μιας μικρής ποσότητας του νερού σε υδρατμό, όπως ακριβώς πραγματοποιείται και μέσα σε μια βαθμίδα της μονάδας αφαλάτωσης με πολυβάθμια εκτόνωση. Η λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης παρέχεται από ισόποση μείωση της αισθητής θερμότητας του νερού που εξατμίζεται, και καταλήγει σε σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας του. [20]

Ο ατμός που παράγεται στον εξατμιστήρα εισέρχεται από την πλευρά του στην επιφάνεια προσρόφησης. Η θερμότητα προσρόφησης αποβάλλεται από το κρεβάτι μέσω του υγρού μεταφοράς θερμότητας. Παράλληλα, το άνοιγμα της βαλβίδας 9 και το κλείσιμο των βαλβίδων 7 και 8 επιτρέπουν στον εκροφημένο ατμό που έρχεται από το δεύτερο κρεβάτι προσρόφησης να εισέλθει στην πρώτη βαθμίδα της μονάδας αφαλάτωσης με πολλαπλή εξάτμιση, η οποία στην παρούσα μελέτη διαθέτει συνολικά 3 βαθμίδες και χρησιμοποιεί την μέθοδο ψεκασμού σε οριζόντια συστοιχία σωλήνων. Ο ατμός συμπυκνώνεται σε μια συστοιχία σωλήνων που ψεκάζεται με νερό τροφοδοσίας. Η λανθάνουσα θερμότητα που απελευθερώνεται

κατά την συμπύκνωση του υδρατμού επιτρέπει σε μέρος του νερού τροφοδοσίας που ψεκάζεται να εξατμίζεται στην κατώτερη θερμοκρασία και πίεση. [20]

Η ίδια διαδικασία συμπύκνωσης και εξάτμισης επαναλαμβάνεται στις βαθμίδες 2 και 3. Ο υδρατμός που παράγεται στην τρίτη βαθμίδα συμπυκνώνεται στον τελευταίο συμπυκνωτή, ο οποίος ψύχεται με θαλασσινό νερό. Το συλλεγόμενο αποσταγμένο νερό από τα διάφορα επίπεδα συμπύκνωσης εξάγεται με την βοήθεια μιας αντλίας αποστάγματος νερού, ενώ η άλμη εξάγεται από την τρίτη βαθμίδα μέσω μιας αντλίας άλμης. [20]



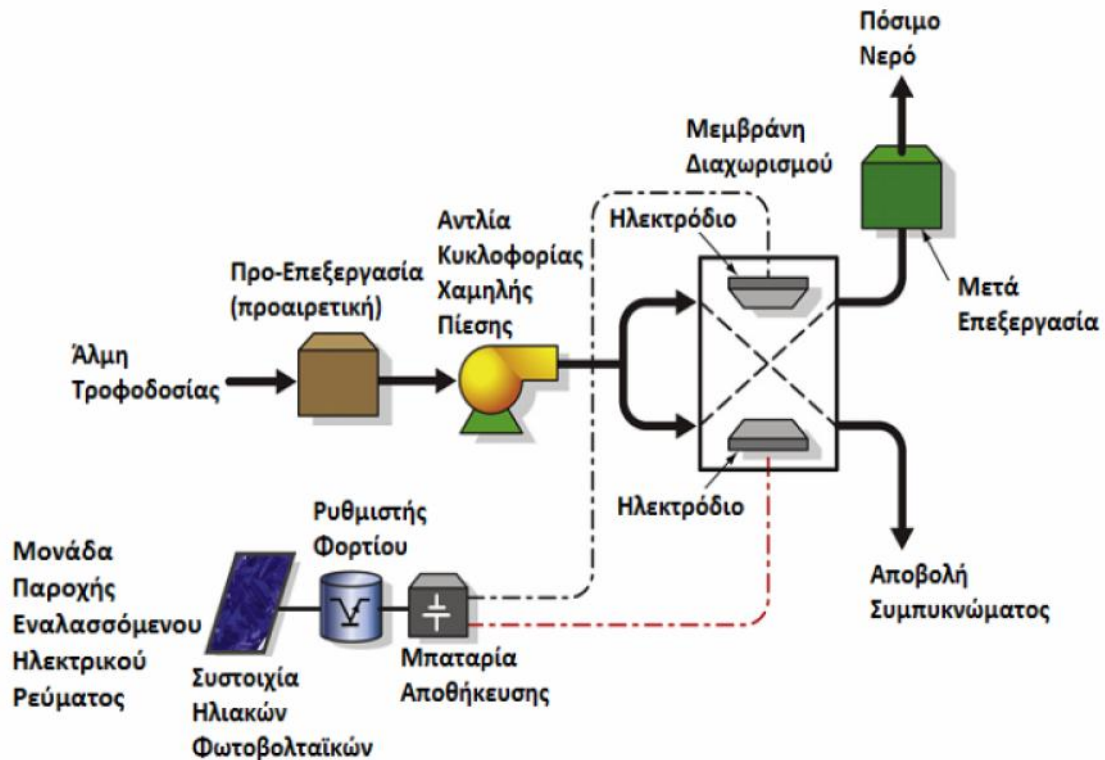
Εικόνα 5.24 Σύστημα ηλιακής αφαλάτωσης συμπύεσης υδρατμού με προσρόφηση (SAdVC) [20]

Όλη η παραπάνω διαδικασία που μόλις περιγράψαμε αφορά τον μισό κύκλο, όπου στην επιφάνεια 1 πραγματοποιείται η προσρόφηση ενώ στη 2 η εκρόφηση. Κατά τον άλλον μισό κύκλο, μόλις δηλαδή λάβει τέλος η παραπάνω διαδικασία, οι αντιστρεπτές αντλίες αντιστρέφουν την ροή κυκλοφορίας του ρευστού στο σύστημα. Το κρεβάτι προσρόφησης, το οποίο βρισκόταν σε φάση προσρόφησης, φέρεται σε μια υψηλότερη θερμοκρασία, αποσυνδέεται από τον εξατμιστήρα και συνδέεται στην πρώτη βαθμίδα του συστήματος πολλαπλής εξάτμισης. Έτσι, βρίσκεται στην φάση εκρόφησης. Η άλλη επιφάνεια προσρόφησης ψύχεται με την σειρά της, η σύνδεση της με τον εξατμιστήρα γίνεται πια ανοιχτή, ενώ η σύνδεση της με την πρώτη βαθμίδα του συστήματος πολλαπλής εξάτμισης κλείνει. Συνεπώς, αυτή η επιφάνεια βρίσκεται πια στη φάση της προσρόφησης. Μετά την ολοκλήρωση της δεύτερης φάσης του κύκλου λειτουργίας, η εγκατάσταση επιστρέφει στην αρχική της διαρρύθμιση. [20]

5.4.8. ΗΛΙΑΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ

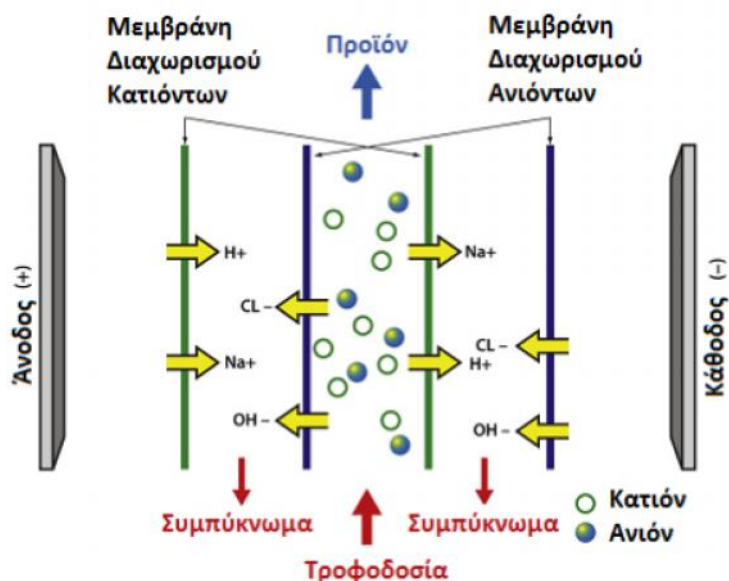
Η ηλεκτροδιάλυση (ED) είναι μια ηλεκτροχημική διεργασία και μια χαμηλού κόστους μέθοδος για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Λόγω της εξάρτησης της ενεργειακής κατανάλωσης της μεθόδου αυτής από την συγκέντρωση αλατότητας του νερού τροφοδοσίας, η ηλεκτροδιάλυση (ED) δεν θεωρείται οικονομικά

ελκυστική για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Κατά την διεργασία αυτή, τα ιόντα μεταφέρονται μέσω μιας μεμβράνης από το ηλεκτρικό πεδίο που εφαρμόζεται κατά μήκος αυτής. Μια τέτοια μονάδα αποτελείται από τα παρακάτω εξαρτήματα: το σύστημα προ-επεξεργασίας, την μεμβράνη διαχωρισμού, μια αντλία κυκλοφορίας χαμηλής πίεσης, το σύστημα τροφοδοσίας συνεχούς ρεύματος (ανορθωτής ή εν προκειμένω φωτοβολταϊκά στοιχεία) καθώς και ένα σύστημα επεξεργασίας του παραγόμενου νερού. Το σχηματικό διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος παρουσιάζεται στην παρακάτω *Εικόνα 5.25*. [21]



Εικόνα 5.25 Σχηματική απεικόνιση συστήματος ηλιακής ηλεκτροδιάλυσης (ED). [21]

Η βασική αρχή λειτουργίας ενός συστήματος αφαλάτωσης είναι η εξής: τα ηλεκτρόδια (γενικά κατασκευασμένα από νιόβιο ή τιτάνιο με πλατινένια επικάλυψη) είναι συνδεδεμένα με μια εξωτερική πηγή συνεχούς ρεύματος όπως μπαταρίες ή φωτοβολταϊκά σε ένα δοχείο αλμυρού νερού. Το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται μέσω του διαλύματος, με τα ιόντα να τείνουν να μεταναστεύσουν στο ηλεκτρόδιο με το αντίθετο φορτίο. Η αλατότητα του νερού απομακρύνεται καθώς το νερό διέρχεται μέσα από τις μεμβράνες επιλεκτικού διαχωρισμού που τοποθετούνται ανάμεσα στα δυο ηλεκτρόδια, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. [6]



Εικόνα 5.26 Ανταλλαγή ιόντων σε ένα σύστημα ηλεκτροδιάλυσης

Αυτές οι μεμβράνες αποτελούνται από ένα επίπεδο φύλλο πολυμερούς το οποίο υπόκειται σε ειδική επεξεργασία ώστε να παράγονται μικρές ρωγμές ή χαραμάδες στην επιφάνειά τους. Αυτές οι μικρές σχισμές είναι που επιτρέπουν την μεταφορά των ιόντων, ενώ μικρά σημεία επιλεκτικής μεταφοράς των ιόντων είναι που ενισχύουν την ιδιότητα διαχωρισμού των μεμβρανών. [22]

Μεταξύ κάθε ζεύγους μεμβρανών, ένα φύλλο κενού τοποθετείται για να αποτρέψει την κυκλοφορία του νερού κατά μήκος της επιφάνειας των μεμβρανών και για να μειώσει την δημιουργία της τύρβης. Ένα τέτοιο διαχωριστικό παρέχει ένα κανάλι μεταφοράς του νερού τροφοδοσίας και του παραγόμενου νερού αντίστοιχα, ενώ το επόμενο διαχωριστικό μεταφέρει την άλμη. Με βάση αυτή την διαρρύθμιση, το συμπυκνωμένο και το αραιωμένο διάλυμα δημιουργείται στα διαχωριστικά μεταξύ των εναλλασσόμενων μεμβρανών. Οι θάλαμοι ηλεκτροδιάλυσης (ED) μπορούν να τοποθετηθούν είτε οριζόντια, είτε κάθετα. Πρακτικά, μερικά ζεύγη μεμβρανών χρησιμοποιούνται μεταξύ ενός μόνο ζευγαριού ηλεκτροδίων, δημιουργώντας έτσι μια διαρρύθμιση ηλεκτροδιάλυσης (ED). Το νερό τροφοδοσίας περνά ταυτόχρονα μέσα από κανάλια μεταξύ όλων των θαλάμων, παρέχοντας με αυτό τον τρόπο συνεχώς ροή παραγόμενου νερού και άλμης εκτός των θαλάμων. Τα συστήματα ηλεκτροδιάλυσης (ED) που κυκλοφορούν στο εμπόριο, χρησιμοποιούν συνήθως μερικές εκατοντάδες ζεύγη θαλάμων. [22]

Μια διαφορετική διαρρύθμιση της προηγούμενης διεργασίας είναι η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (ED). Το σύστημα ακολουθεί την ίδια αρχή λειτουργίας μόνο που τα κανάλια προϊόντος και άλμης είναι ίδια στην κατασκευή τους. Σε αυτή την περίπτωση, η πόλωση των ηλεκτροδίων αλλάζει περιοδικά στον χρόνο αντιστρέφοντας έτσι την ροή μέσω των μεμβρανών. Αυτό εμποδίζει την εναπόθεση ιζημάτων και κολλοειδών ουσιών στις μεμβράνες χωρίς την προσθήκη χημικών στο θαλασσινό νερό τροφοδοσίας. Αυτό ενισχύει την βιωσιμότητα της διεργασίας καθώς το σύστημα είναι σαν να καθαρίζεται μόνο του. Γενικά, αυτού του τύπου η

διαρρύθμιση απαιτεί ελάχιστη προ-επεξεργασία του θαλασσινού νερού και προσθήκη χημικών με σκοπό τον καθαρισμό του συστήματος. [23]

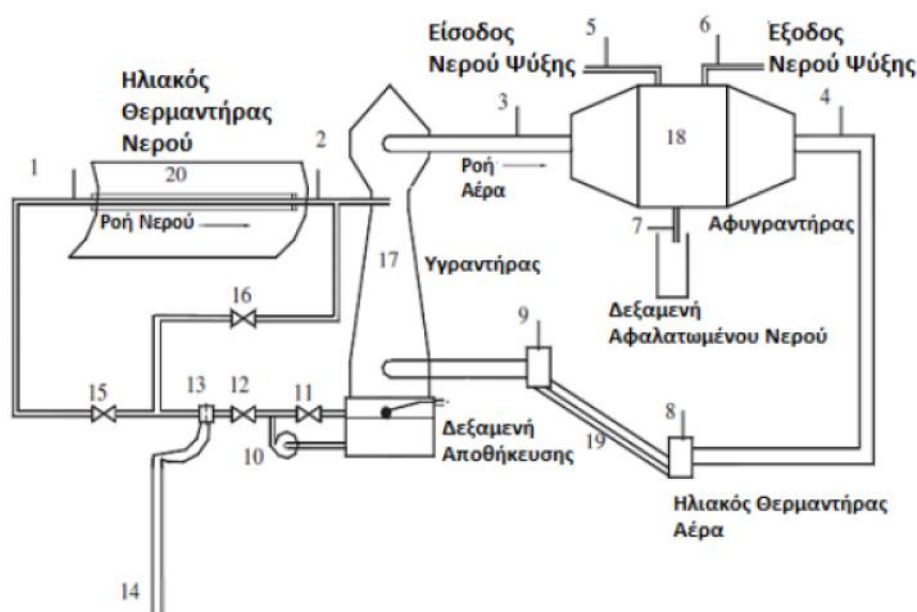
Συνοψίζοντας, η ηλεκτροδιάλυση (ED) είναι μια διεργασία αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται σε εμπορική κλίμακα περισσότερο από 10 χρόνια πριν την διεργασία της αντίστροφης όσμωσης. Τα συστήματά της είναι διαθέσιμα σε μεγάλο εύρος μεγεθών, από μικρές δυναμικότητες (κάτω από $2\text{m}^3/\text{day}$) μέχρι μεγάλες ($145.000\text{m}^3/\text{day}$). Αποτελεί ιδανική επιλογή για αφαλάτωση νερού χαμηλής αλατότητας ενώ είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος με αρκετές δυνατότητες βελτίωσής της. [6]

5.4.9 ΗΛΙΑΚΗ ΥΓΡΑΝΣΗ-ΑΦΥΓΡΑΝΣΗ

Το σχηματικό διάγραμμα του συστήματος παρουσιάζεται στο σχήμα 5.27. Τα κύρια εξαρτήματά του είναι ο υγραντήρας (πύργος ψύξης, 17), ο αφυγραντήρας (εναλλάκτης νερού ψύξης, 18), θερμαντήρας αέρα (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης, 19), θερμαντήρας νερού (συγκεντρωτικός συλλέκτης, 20). Το σύστημα αποτελείται από δυο βρόγχους, ο ένας για την θέρμανση του νερού και ο άλλος για την θέρμανση του αέρα, με μια σύνδεση με τον πύργο ψύξης που πραγματοποιεί την ύγρανση. Στον βρόγχο του νερού, το νερό αντλείται από την δεξαμενή αποθήκευσης μέσω μιας αντλίας (10) και διαχωρίζεται σε δυο κύρια ρεύματα, στο ρεύμα του δοκιμαστικού τομέα (12) και στο ρεύμα παράκαμψης (11). Το νερό ρέει, κατά την διάρκεια της ημέρας, μέσω της γραμμής του ηλιακού θερμαντήρα νερού κλείνοντας την βαλβίδα ελέγχου (16) και ανοίγοντας την βαλβίδα ελέγχου (15). Αντίστοιχα, κατά την διάρκεια της νύχτας, ρέει κατευθείαν μέσω του υγραντήρα κλείνοντας την βαλβίδα ελέγχου (15) και ανοίγοντας την βαλβίδα ελέγχου (16). Η θερμή άλμη καταιονίζεται από την κορυφή του υγραντήρα (17). Το νερό πέφτει στην δεξαμενή αποθήκευσης που βρίσκεται στον πυθμένα του υγραντήρα, από όπου χρησιμοποιείται για την επανακυκλοφορία του. Με την επανακυκλοφορία του θερμού νερού μειώνονται οι θερμικές απώλειες. Στον βρόγχο του αέρα, ο αέρας αντλείται από τον πυθμένα του υγραντήρα χρησιμοποιώντας έναν αξονικό ανεμιστήρα, ο οποίος εγκαθίσταται στην οροφή του υγραντήρα. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και από το σχήμα, τα κανάλια στον βρόγχο αυτό είναι ευθείας κατεύθυνσης ώστε να εξασφαλίζεται καλή αλληλεπίδραση στην εξάτμιση και στην συμπύκνωση, αλλά και να περιορίζονται οι μεγάλες απώλειες πίεσης. Ο αέρας ρέει δια μέσου του υγραντήρα μεταφέροντας το εξατμισμένο νερό στον αφυγραντήρα, όπου αυτός ψύχεται και αφυγραίνεται. Χρησιμοποιώντας έναν αξονικό ανεμιστήρα που είναι τοποθετημένος στο εξωτερικό του αφυγραντήρα, ο αέρας τροφοδοτείται πίσω στον υγραντήρα αφού έχει θερμανθεί από τον ηλιακό θερμαντήρα αέρος (19).

Πιο αναλυτικά, ο ηλιακός θερμαντήρας νερού, δηλαδή ο ηλιακός συγκεντρωτικός συλλέκτης, αποτελείται από ένα κατοπτρικό πλαίσιο παραβολικού σχήματος και χρησιμοποιείται για την θέρμανση της άλμης. Ο ηλιακός θερμαντήρας αέρα, δηλαδή ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης, δεν διαθέτει σωλήνες, αποτελείται από ένα γυάλινο περίβλημα και χρησιμοποιείται για την θέρμανση του αέρα. Ο υγραντήρας, είναι ένας πύργος ψύξης με τεχνητούς ανεμιστήρες, ο οποίος λειτουργεί σαν μια στήλη ύγρανσης με άμεση επαφή υγρού και αέρα. Διαθέτει ακροφύσια στο επάνω

μέρος του τα οποία ψεκάζουν το ζεστό νερό. Ακόμα, έχει μια μεγάλη επιφάνεια συναγωγής για μεγαλύτερη επαφή μεταξύ του υγρού και του αέρα. Τέλος, ο αφυγραντήρας είναι στην ουσία ένας εναλλάκτης θερμότητας νερού ψύξης και αποτελείται από μια εκτεταμένη επιφάνεια πολλαπλής ροής πηλίου ψύξης. Το συμπυκνωμένο πόσιμο νερό παράγει σταγονίδια μέσω μιας συνδεσμολογίας σωλήνων στην δεξαμενή συλλογής συμπυκνώματος. Το νερό ψύξης ρέει εντός των σωλήνων εκτεταμένης επιφάνειας. Τέλος, στο σύστημα υπάρχει και μια συσκευή μέτρησης (13) η οποία ρυθμίζει, μέσω ενός βαθμονομημένου τετραχλωράνθρακα, την ροή του νερού στο σύστημα. [24-25]



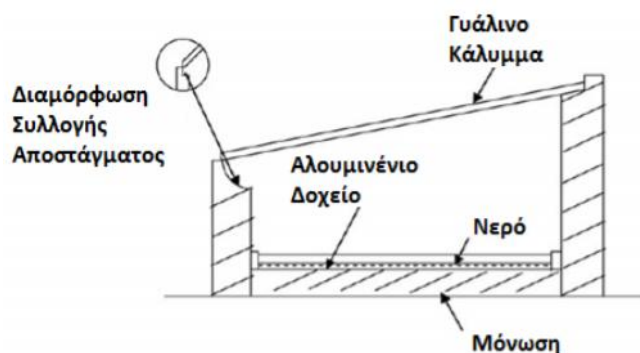
Εικόνα 5.27: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ηλιακής υγρανσης-αφύγρανσης (HD). [24]

5.4.10. ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΑΣ

Η αφαλάτωση με ηλιακό αποστακτήρα (Solar Still) αποτελεί την μοναδική μέθοδο παραγωγής πόσιμου νερού που εντάσσεται στην κατηγορία άμεσης εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Το προς επεξεργασία νερό εισέρχεται μέσα στην δεξαμενή, όπου εξατμίζεται από την ηλιακή ακτινοβολία που περνάει μέσα από ένα τζάμι ή καθαρό πλαστικό. Οι υδρατμοί από πόσιμο νερό, συμπυκνώνονται στην κορυφή του αποστακτήρα και κυλούν στα τοιχώματα από όπου μπορούν να συλλεχθούν και να απομακρυνθούν. Ένα σχηματικό διάγραμμα ενός ηλιακού αποστακτήρα απλού τύπου παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Αποτελείται από ένα μονωμένο μαύρο βαμμένο αλουμινένιο δοχείο, όπου περιέχεται το προς απόσταξη νερό σε μικρό βάθος. Ένα επικλινές κάλυμμα από γυαλί, το οποίο στηρίζεται στο αντίστοιχο πλαίσιο, καλύπτει το δοχείο και σφραγίζεται αεροστεγώς για την ελαχιστοποίηση της διαρροής υδρατμών. [28-29]

Μια διαμόρφωση συλλογής αποστάγματος δημιουργείται στο κάτω μέρος του γυάλινου καλύμματος και καταλήγει σε έναν καλά μονωμένο πλαστικό σωλήνα

μεταφοράς του. Το αλουμινένιο δοχείο που περιέχει το νερό τοποθετείται σε μια μονωμένη βάση, ενώ το ξύλινο πλαίσιο περικλείει το σύστημα. Γενικά, η μέγιστη αποδοτικότητα ενός ηλιακού αποστακτήρα κυμαίνεται στο 50% έχοντας πλήρη μόνωση. Λιγότερη μόνωση μπορεί να προκαλέσει μείωση της τάξης του 14,5% στην απόδοση του συστήματος. Την απόδοση, επίσης, επηρεάζει και η ταχύτητα του ανέμου. Μικρή αύξηση της μπορεί να μειώσει την αποδοτικότητα του συστήματος.



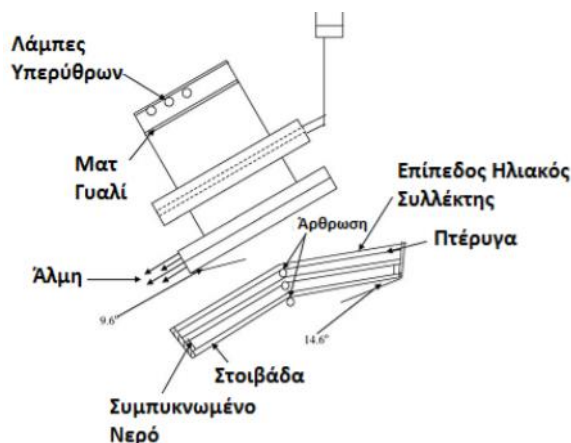
Εικόνα 5.28 σχηματικό διάγραμμα απλού ηλιακού αποστακτήρα (solar still). [29]

Τα συστήματα απόσταξης μπορούν να διακριθούν σε δυο κατηγορίες, στα ενεργητικά και στα παθητικά. Στην περίπτωση των ενεργητικών ηλιακών αποστακτήρων, μια επιπλέον θερμική ενέργεια από εξωτερικό εξοπλισμό παρέχεται στο δοχείο του παθητικού ηλιακού αποστακτήρα για γρηγορότερη εξάτμιση. Ο εξωτερικός αυτός εξοπλισμός μπορεί να είναι ένας συλλέκτης ή ένα συγκεντρωτικό πλαίσιο, η απορριπτόμενη θερμική ενέργεια ενός χημικού ή βιομηχανικού έργου ή ένα συμβατικό boiler. Αν δεν χρησιμοποιείται κανένας εξωτερικός εξοπλισμός τότε το σύστημα του ηλιακού αποστακτήρα είναι γνωστό ως παθητικό. Ως αποτέλεσμα του μεγάλου ενδιαφέροντος που επιδεικνύεται στον τομέα της απόσταξης, υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλιακών αποστακτήρων. Μερικοί από αυτούς είναι ενός ή πολλών βαθμίδων αποστακτήρες, ηλιακοί συγκεντρωτικοί αποστακτήρες, αποστακτήρες πολλαπλής εξάτμισης και αποστακτήρες γυάλινου καλύμματος δημιουργίας στοιβάδας νερού. Παρότι υπάρχουν τόσο διαφορετικοί τύποι μόνο οι ηλιακοί αποστακτήρες μιας βαθμίδας λεκανοειδούς τύπου είναι οικονομικά αποδεκτοί και μπορούν να καλύψουν αρκετά αποτελεσματικά την ανάγκη για νερό μιας μικρής κοινότητας. Ακόμα και για αυτό τον τύπο όμως υπάρχουν μικρές διαφοροποιήσεις για τις διάφορες διαρρυθμίσεις του. Παρακάτω αναλύονται οι διάφοροι τύποι ηλιακών αποστακτήρων.[29,33]

5.4.10.1 ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΑΣ ΤΥΠΟΥ ΟΡΟΦΗΣ

Αυτός ο τύπος αποστακτήρα (Roof type solar still) είναι αρκετά απλός στην κατασκευή του. Αποτελείται από λυγισμένες πλάκες, διαπερατές από τη θερμότητα, οι οποίες διαθέτουν στο κέντρο ένα κανάλι για την ροή του υγρού, το οποίο βρίσκεται κάτω από την πτυχή της κάμψης. Το υφάλμυρο νερό αντλείται από την κύρια δεξαμενή και εισέρχεται στο σύστημα μέσω του κεντρικού σωλήνα. Η άνω πλάκα του αποστακτήρα θερμαίνεται από υπέρυθρη ακτινοβολία ανάμεσα στα δυο φύλλα του ματ γυαλιού ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφο αποτέλεσμα

ακτινοβολήσης. Ένα μέρος της άλμης εξατμίζεται από την επιφάνεια του πορώδους φύλλου λαμβάνοντας την θερμότητα από την άνω πλάκα και συμπυκνώνεται κάτω από την αντίθετη επιφάνεια. Το συμπυκνωμένο πόσιμο νερό συλλέγεται σε ορθογώνιους σωλήνες και από τις δύο πλευρές του αποστακτήρα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. [29]

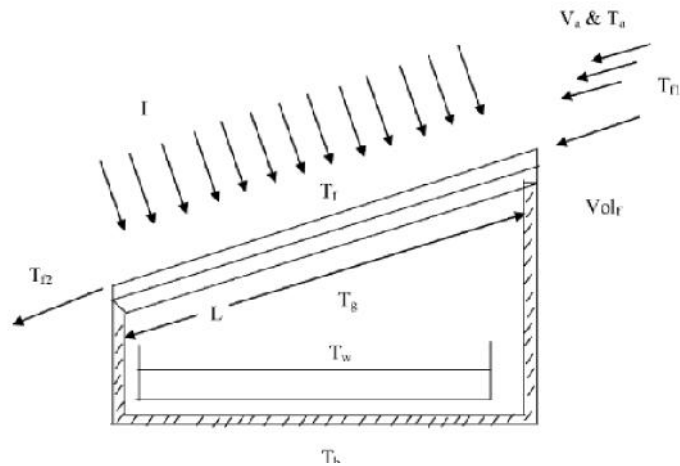


Εικόνα 5.29 Ηλιακός αποστακτήρας τύπου οροφής [29]

5.4.10.2. ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΑΣ ΣΤΟΙΒΑΔΑΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΓΥΑΛΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Αυτός ο τύπος αποστακτήρα (Water Film Cooling Over Glass Cover Of the Still) δεν είναι μόνο απλός στην κατασκευή του, αλλά αποτελεί και μια φθηνή και εύκολη μέθοδο παραγωγής πόσιμου νερού. Αποτελείται από ένα δοχείο, ένα γυάλινο κάλυμμα και μια στοιβάδα ψύξης. Η συνεχής παροχή της στοιβάδας νερού τροφοδοτεί το γυάλινο κάλυμμα με σκοπό την μείωση της θερμοκρασίας του. Για αυτό τον τύπο αποστακτήρα έχουν προταθεί πολλές βελτιώσεις με σκοπό την αύξηση της απόδοσης του συστήματος, όπως η χρήση επιβαλλόμενης συναγωγής, χρωστικών ουσιών καθώς και εξωτερικών πυκνωτών. Ωστόσο, ο πιο εύκολος τρόπος αύξησης της απόδοσης του είναι η χρήση μέρους του νερού ψύξης υπό την μορφή προθερμασμένου νερού του αποστακτήρα. [29]

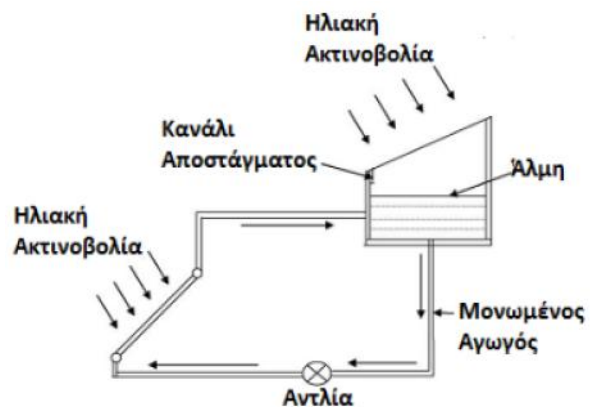
Η στοιβάδα ψύξης επίσης εκτελεί την σημαντική λειτουργία του αυτό-καθαρισμού του γυάλινου καλύμματος. Η παρουσία σκόνης και άλλων ακαθαρσιών στο γυάλινο κάλυμμα, μειώνει την απόδοση του αποστακτήρα. Ο συνεχής καθαρισμός του γυάλινου καλύμματος διατηρεί την αποδοτικότητα του συστήματος σε υψηλά επίπεδα. Η ορθή χρήση των παραμέτρων της στοιβάδας ψύξης μπορεί να αυξήσει την απόδοση έως 20%. [29]



Εικόνα 5.30 Σχέδιο Ηλιακού αποστακτήρα στοιβάδας νερού με εξωτερική γυάλινη επιφάνεια [29]

5.4.10.3. ΠΑΘΗΤΙΚΟΙ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΟΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΕΣ

Ένας ενεργητικός τύπος ηλιακού αποστακτήρα αποτελείται από ένα γυάλινο κάλυμμα, ένα δοχείο, έναν ανακλαστήρα και μια αντλία. Το υφάλμυρο νερό κυκλοφορεί στον ανακλαστήρα επίπεδης πλάκας, όπου η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει συνεχώς. Ως αποτέλεσμα το υφάλμυρο νερό θερμαίνεται και εν συνεχεία τροφοδοτεί τον αποστακτήρα. Εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας, το νερό εξατμίζεται και συλλέγεται στο γυάλινο κάλυμμα όπου ρέει κατά μήκος του καναλιού αποστάγματος. Έχει διαπιστωθεί ότι, οι παθητικοί ηλιακοί αποστακτήρες μπορεί να είναι οικονομικά αποδεκτοί όσον αφορά στην παροχή πόσιμου νερού. Από την άλλη πλευρά, οι ενεργητικοί ηλιακοί αποστακτήρες μπορεί να είναι οικονομικά ενδιαφέροντες από εμπορικής άποψης. Η σχηματική απεικόνιση ενός τέτοιου συστήματος παρουσιάζεται δίπλα. [29]



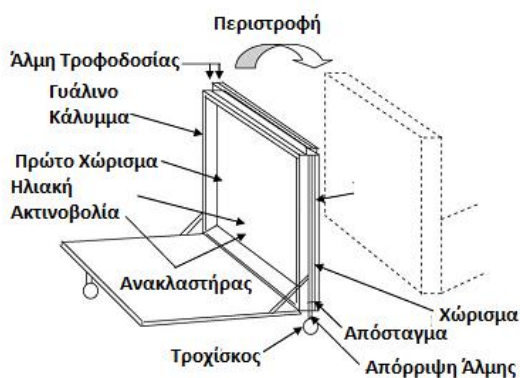
Εικόνα 5.31 Ενεργητικός ηλιακός αποστακτήρας με επίπεδο ηλιακό συλλέκτη [29]

5.4.10.4. ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΑΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

Οι ηλιακοί αποστακτήρες πολλαπλής διάχυσης (Multi-Effect Diffusion Type) εμφανίζουν μεγάλες δυνατότητες εξαιτίας της υψηλής τους αποδοτικότητας αλλά και της απλότητάς τους. Αποτελούνται από έναν ανακλαστήρα τύπου επίπεδης πλάκας, τροχίσκους για χειροκίνητη παρακολούθηση του αζιμούθιου, έναν αποστακτήρα κάθετου τύπου πολλαπλών βαθμίδων διάχυσης, ο οποίος διαθέτει γυάλινο κάλυμμα και έναν αριθμό παράλληλων και κάθετων χωρισμάτων με στενά διάκενα να περιλαμβάνονται μεταξύ τους. Το υφάλμυρο νερό τροφοδοτείται συνεχώς στις βαθμίδες. Η γωνία του ανακλαστήρα επίπεδης πλάκας και του αζιμούθιου του αποστακτήρα μπορούν να ρυθμιστούν χειροκίνητα, ώστε να

απορροφηθεί η ηλιακή ακτινοβολία στο πρώτο χωρίσμα αποδοτικά ανάλογα με την τοποθεσία και την εποχή. Τόσο η απευθείας ηλιακή ακτινοβολία, όσο και αυτή που προέρχεται από διάχυση και ανάκλαση από τον επίπεδο ανακλαστήρα, μεταδίδονται μέσω του γυάλινου καλύμματος και απορροφώνται από την μπροστά επιφάνεια των χωρισμάτων για να προκαλέσουν εξάτμιση της άλμης. Ένα σχήμα του συστήματος αυτού παρουσιάζεται παρακάτω. [29]

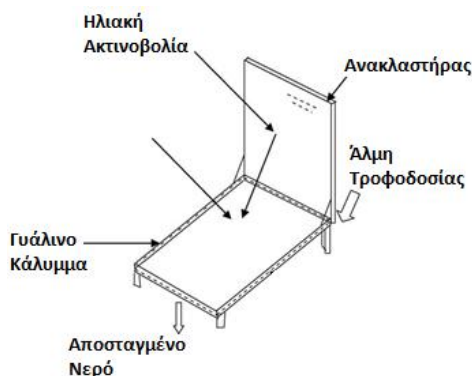
Ο υδρατμός διαχέεται μέσα από ένα υγρό στρώμα αέρα μεταξύ των χωρισμάτων και συμπυκνώνεται στην μπροστά επιφάνεια του επόμενου χωρίσματος. Η λανθάνουσα θερμότητα της συμπύκνωσης ανακτάται για να προκαλέσει περαιτέρω εξάτμιση στην κορεσμένη άλμη της βαθμίδας του δεύτερου χωρίσματος. Με τον τρόπο αυτό οι διεργασίες της εξάτμισης και της συμπύκνωσης επαναλαμβάνονται σε όλα τα χωρίσματα του τύπου αποστακτήρα διάχυσης για την αύξηση της παραγωγικότητας του αποστάγματος. [29]



Εικόνα 5.32 Ηλιακός αποστακτήρας πολλαπλής διάχυσης [29]

5.4.10.5. ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΑΣ ΜΕ ΚΛΙΣΗ

Η κατασκευή αυτού του τύπου αποστακτήρα είναι πού απλή. Το σύστημα αποτελείται από ένα γυάλινο κάλυμμα, μια πτέρυγα εξάτμισης και έναν κάθετο ανακλαστήρα τύπου επίπεδης πλάκας από υλικά υψηλής ανακλαστικής ιδιότητας, όπως ο καθρέφτης. Η άλμη τροφοδοτεί την πτέρυγα συνεχώς. Η απευθείας και η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία από τον εξωτερικό ανακλαστήρα διέρχονται μέσα από το γυάλινο κάλυμμα και απορροφώνται από την πτέρυγα. [29]

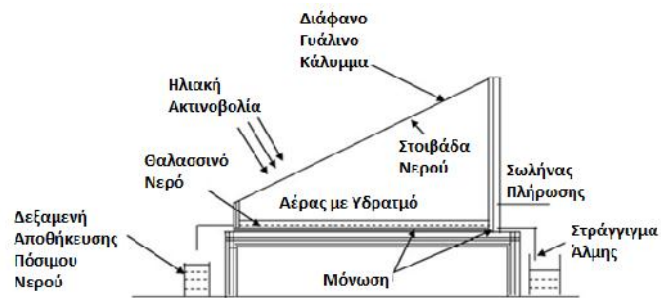


Εικόνα 5.33 Αποστακτήρας με κλίση και εξωτερικό επίπεδο ηλιακό συλλέκτη [29]

5.4.10.6. ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΑΣ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ ΓΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

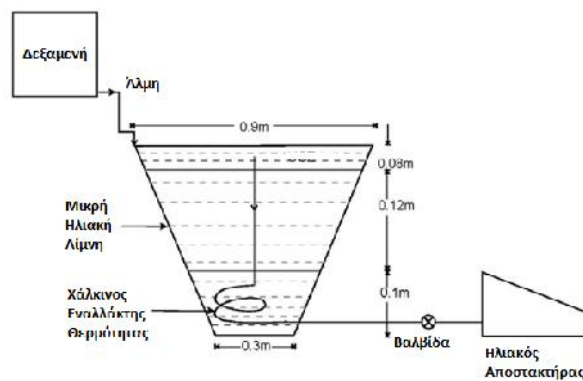
Αυτός ο τύπος αποστακτήρα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την χρήση σε παράκτιες περιοχές. Το σύστημα αποτελείται από ένα δίσκο βαμμένο μαύρο, ο οποίος είναι καλυμμένος με ένα κεκλιμένο διάφανο γυάλινο πλαίσιο, γεμάτο με θαλασσινό νερό. Με την βοήθεια της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας απελευθερώνει υδρατμό, ο οποίος φτάνει στην επιφάνεια του γυαλιού από όπου ανακτάται για χρήση. Τα δυο σημαντικά χαρακτηριστικά αυτού του τύπου αποστακτήρα είναι η τεχνολογική του απλότητα και η εκμετάλλευση μιας δωρεάν πηγής θερμότητας, όπως ο ήλιος. [31]

Ωστόσο, η ολική απόδοση του συστήματος είναι πολύ. Χρησιμοποιώντας σωλήνες κατάλληλων υλικών, ο κύριος σκοπός είναι η αύξηση της αποδοτικότητας. Οι σωλήνες του εξατμιστήρα, είναι βαμμένοι μαύροι στο κάτω μισό μέρος τους, βρίσκονται μέσα σε ένα μονωμένο δίσκο, ενώ οι σωλήνες του συμπυκνωτή στηρίζονται από κάτω. [29]



Εικόνα 5.34 Ηλιακός αποστακτήρας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού [29]

Οι ηλιακοί αποστακτήρες αποτελούν μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο παραγωγής πόσιμου νερού κυρίως για μικρή παραγωγή σε αγροτικές περιοχές. Για την αύξηση της παραγωγικότητας ενός τέτοιου συστήματος χρησιμοποιούνται οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Αυτοί



Εικόνα 5.35 Ενεργητικός ηλιακός αποστακτήρας με ηλιακή λίμνη [32]

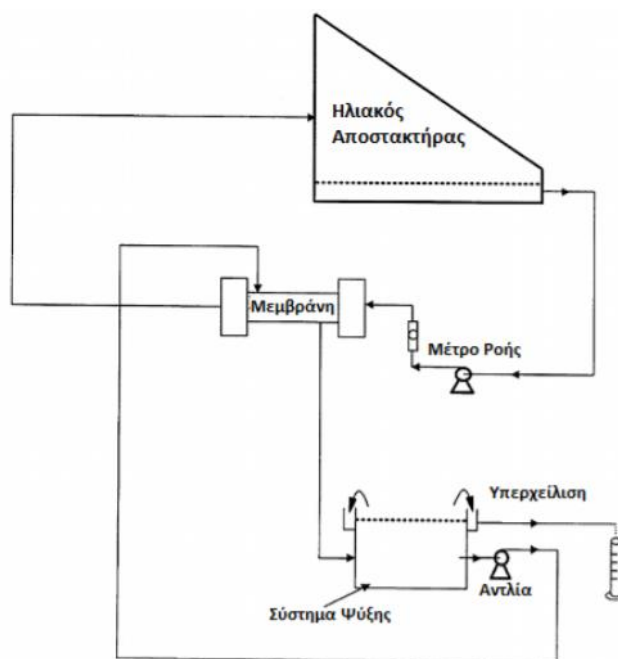
θερμαίνουν την άλμη πριν την είσοδό της στον αποστακτήρα. Μια εναλλακτική επιλογή αντί των

ηλιακών συλλεκτών είναι η χρήση της ηλιακής λίμνης με κλίμακα αλατότητας. Η ηλιακή λίμνη είναι υπεύθυνη για την θέρμανση της άλμης πριν αυτή εισέλθει στον ηλιακό αποστακτήρα. Προκειμένου να διατηρηθεί η ισορροπία μεταξύ των ζωνών αλατότητας της άλμης, μια δεξαμενή τροφοδοτεί την ηλιακή λίμνη με την απαιτούμενη ποσότητα νερού. Το σχηματικό διάγραμμα του ενεργητικού αυτού συστήματος παρουσιάζεται στην παραπάνω εικόνα. [32]

Όπως αναφέραμε και στην αρχή της παραγράφου ως ενεργητικά αναφέρονται τα συστήματα που κάνουν χρήση επιπλέον θερμικής ενέργειας από κάποιο εξωτερικό εξοπλισμό. Αυτός μπορεί να είναι κάποιος συλλέκτης ή ηλιακή λίμνη, όπως είδαμε

και παραπάνω, ή ακόμα και η απορριπτόμενη θερμική ενέργεια από κάποια άλλη διεργασία. Με βάση αυτήν την επιλογή αναφέρεται και το σύστημα ηλιακής αντίστροφης όσμωσης με χρήση φωτοβολταϊκών σε συνδυασμό με ηλιακό αποστακτήρα. Η μονάδα της ηλιακής αντίστροφης όσμωσης λειτουργεί όπως ακριβώς αναφέρθηκε στην προηγούμενως, μόνο που στην περίπτωση αυτή η απορριπτόμενη άλμη χρησιμοποιείται ως τροφοδοσία για την μονάδα του ηλιακού αποστακτήρα. Για μεγαλύτερη αύξηση της αποδοτικότητας αυτού του συστήματος, της τάξεως 10-15%, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ηλιακή λίμνη για την επιπλέον θέρμανση της άλμης. Στην περίπτωση αυτή, η απορριπτόμενη άλμη από την μονάδα της ηλιακής ΑΩ, θερμοκρασίας 30°C, προθερμαίνεται έως και την θερμοκρασία των 75°C περνώντας μέσα από την ηλιακή λίμνη και έπειτα τροφοδοτεί τον ηλιακό αποστακτήρα. [34]

Τέλος, μια ακόμα συνδυαστική χρήση των ηλιακών αποστακτήρων είναι ως μονάδες θέρμανσης της άλμης με σκοπό αυτή να χρησιμοποιηθεί μετά από άλλες μεθόδους αφαλάτωσης. Μια τέτοια εφαρμογή αναφέρεται σε συνδυασμό με μονάδα αφαλάτωσης μέσω μεμβρανών. Η διεργασία που ακολουθείται σε αυτό το σύστημα είναι η εξής: Το υφάλμυρο διάλυμα προετοιμάζεται διαλύοντας κρυστάλλους NaCl σε αποσταγμένο νερό έως μια συγκεκριμένη συγκέντρωση άλατος. Στην συνέχεια αυτό αντλείται από τον ηλιακό αποστακτήρα, όπου θερμαίνεται από την ηλιακή ενέργεια. Στην συνέχεια, το θερμό διάλυμα άλμης αντλείται από μια φυγοκεντρική αντλία από τον ηλιακό αποστακτήρα και οδηγείται στην πλευρά της μεμβράνης, όπου το νερό ψύξης έχει αντίθετη ροή από αυτή του διηθήματος στην πλευρά του εξωτερικού κελύφους. Η θερμοκρασία του νερού ψύξης ελέγχεται από ένα λουτρό ψύξης. Το νερό ψύξης και το συμπυκνωμένο διήθημα υδρατμού οδηγούνται πίσω στο λουτρό ψύξης. Η σχηματική απεικόνιση αυτού του συστήματος παρουσιάζεται παρακάτω. [35]



Εικόνα 5.36 Συνδυασμός ηλιακού αποστακτήρα με μονάδα αφαλάτωσης μεμβρανών [35]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

Όπως αναφέρθηκε αρκετές φορές ως τώρα, η χρήση της αιολικής ενέργειας σε εφαρμογές αφαλάτωσης είναι μια πολύ ενδιαφέρουσα λύση. Ωστόσο, η απόφαση δεν μπορεί να ληφθεί εύκολα σε κάθε περίπτωση καθώς η εκμετάλλευση του, πραγματικά πλούσιου και αστείρευτου σε κάποιες περιοχές, αιολικού δυναμικού απαιτεί την εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Αυτή η ενέργεια έχει πολλές συνέπειες και πολλές φορές εγείρει προβλήματα για τους κατοίκους της περιοχής αλλά και για το ίδιο το περιβάλλον.[97]

Η τεχνολογία αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας άρχισε να εξελίσσεται σημαντικά κυρίως στα τέλη του 20^{ου} αιώνα και στις αρχές του 21^{ου}, όμως, ταξιδεύοντας αιώνες πριν, εντοπίζονται πολλοί πολιτισμοί όπως της Κίνας, του Θιβέτ, της Ινδίας, του Αφγανιστάν, της Περσίας που αξιοποιούσαν τον άνεμο σαν κινητήριο δύναμη.[93]

Οι πρώτες χρήσεις του ανέμου αφορούσαν στην ναυτιλία, και συνεπώς στις εξερευνήσεις, που επηρέασαν αποφασιστικά την εξέλιξη της ανθρωπότητας καθώς και στους παραδοσιακούς ανεμόμυλους. Οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι κινούνται με την βοήθεια της αντίστασης των πτερυγίων τους στον άνεμο. Η διαφορά τους με τις σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι χαρακτηριστική, αφού σε αυτές η κίνηση οφείλεται στην άνωση.[97]

Μετά τον 18^ο αιώνα, ο άνθρωπος στράφηκε στην εντατική καύση παραγώγων του άνθρακα, και έτσι, οι τεχνολογίες αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας και γενικότερα των ΑΠΕ δεν εξελίχθηκαν περεταίρω, μέχρι να παρουσιαστούν τα πρώτα σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα.[97]



Εικόνα 6.1. Διαχρονική χρήση της αιολικής ενέργειας

Η πρώτη ανεμογεννήτρια (Smith Putnam – ΗΠΑ 1939) είχε διάμετρο 53μ και 1.25MW. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε σταθμό στην τεχνολογική εξέλιξη που πραγματοποιήθηκε με την συνεργασία αρκετών σημαντικών επιστημόνων της εποχής. Η επόμενη ανεμογεννήτρια ήταν διαμέτρου 24 μ. και εγκαταστάθηκε το 1956-57 στο νησί Gedser βορειοανατολικά της Δανίας, όπου λειτούργησε μέχρι το 1967. [93]

Στις αρχές του 1960 ο καθηγητής Ulrich Hötter επηρέασε τις έρευνες που γίνονταν για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών στη Γερμανία και τις ΗΠΑ, ενώ στις αρχές της δεκαετίας του 80 οι αδερφοί Gougeon από τις ΗΠΑ αναπτύσσουν το είδος του ρότορα που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα. Η περίοδος 1980 – 1995, αποτέλεσε το στάδιο όπου η αιολική ενέργεια άρχισε να εδραιώνεται σαν μια συμφέρουσα και ανταγωνιστική τεχνολογία. [93]

6.2 ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

Η Αιολική Ενέργεια, ως γνωστόν, αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα.

Η σημερινή τεχνολογία αιολικών πάρκων βασίζεται σε ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα 2 ή 3 πτερυγίων. Αρχικά ανυψώνεται ο πυλώνας και τοποθετείται τμηματικά πάνω σε θεμέλια. Μετά ανυψώνεται η πλήμνη στην κορυφή του πυλώνα. Στη βάση του πυλώνα συναρμολογείται ο άξονας της πτερύγωσης (οριζοντίου άξονα, πάνω στον οποίο είναι προσαρτημένα τα πτερύγια), ο οποίος αποτελεί το κινητό μέρος της ανεμογεννήτριας. Η πλήμνη περιλαμβάνει το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στη συνέχεια ο άξονας ανυψώνεται και συνδέεται στην πλήμνη. Τέλος, γίνονται οι απαραίτητες ηλεκτρικές συνδέσεις.

Η παραγωγή ποικίλλει με τον άνεμο. Οι μεμονωμένες ανεμογεννήτριες διασυνδέονται με ένα σύστημα συλλογής τάσης και ένα δίκτυο οπτικών ινών. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια ενισχύεται έπειτα με έναν μετασχηματιστή σε ένα σύστημα μετάδοσης υψηλής τάσης.

Κατά γενικό κανόνα, ένα Αιολικό Πάρκο είναι βιώσιμο σε περιοχές με μέση ετήσιο ταχύτητα ανέμου άνω των 6 m/s. Συνήθως, οι περιοχές επιλέγονται εκ των προτέρων βάσει γνωστών μετρήσεων Αιολικού Δυναμικού στην ευρύτερη περιφέρεια, και επικυρώνονται με ανεμολογικές μετρήσεις εντός του υποψήφιου Αιολικού Πάρκου. Η συλλογή συγκεκριμένων στοιχείων των περιοχών για την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου είναι κρίσιμη για τον καθορισμό της δυνατότητάς τους. Για να συλλεχθούν τα στοιχεία αυτά, εγκαθίσταται ένας ανεμολογικός ιστός στην περιοχή ενδιαφέροντος. Οι ιστοί διαθέτουν ανεμόμετρα για την μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου και ανεμοδείκτες για τον καθορισμό της διεύθυνσής του. Τα ύψη μέτρησης των ιστών ποικίλουν από 10 έως >100 μέτρα. Το δομικό τμήμα του ιστού αποτελείται από χάλυβδοσωλήνες που αφήνονται για να συλλέξουν τις μετρήσεις για ένα έως δύο έτη και αποσυναρμολογούνται έπειτα. Η συλλογή των μετρήσεων γίνεται μέσω καταγραφικής και αποθηκευτικής διάταξης. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στις ακριβείς θέσεις των ανεμογεννητριών επειδή μία διαφορά 80 m μπορεί μερικές φορές να διπλασιάσει την ενεργειακή παραγωγή.[98]

Υπάρχουν τέσσερις μορφές αιολικών πάρκων:

- Χερσαία αιολικά πάρκα.
- Παράκτια αιολικά πάρκα.
- Υπεράκτια αιολικά πάρκα.
- Πλωτά αιολικά πάρκα.



Εικόνα 6.2 Αιολικό πάρκο στην περιοχή Oldham County στο Texas

6.2.1. ΧΕΡΣΑΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

Χερσαία αιολικά πάρκα, ονομάζονται τα πάρκα που κατασκευάζονται σε κορυφογραμμές περιοχών με μεγάλο σχετικά υψόμετρο, τουλάχιστον τρία χιλιόμετρα προς το εσωτερικό από την πλησιέστερη ακτογραμμή. Αυτό συμβαίνει για την εκμετάλλευση της λεγόμενης τοπογραφικής επιτάχυνσης, της επιτάχυνσης δηλαδή που εμφανίζει ο άνεμος καθώς διασχίζει μια κορυφογραμμή. Η υψηλότερη ταχύτητα του ανέμου οδηγεί και σε αύξηση της παραγόμενης ενέργειας.

6.2.2. ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

Είναι τα πάρκα που βρίσκονται στην ξηρά εντός της ζώνης των τριών χιλιομέτρων από την ακτογραμμή ή στην θαλάσσια περιοχή, σε απόσταση δέκα χιλιομέτρων από την ακτογραμμή. Αυτές οι τοποθεσίες είναι αποδοτικές για εγκατάσταση, λόγω των ανέμων που δημιουργούνται από την άνιση θέρμανση του εδάφους και της θάλασσας. Οι ταχύτητες στην περιοχή αυτή εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του χερσαίου και παράκτιου ανέμου, ανάλογα με την κατεύθυνση του επικρατέστερου ανέμου.

6.2.3. ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Μια λύση σε πολλά προβλήματα που εγείρονται από την κατασκευή Α/Γ στην στεριά είναι να κατασκευάζονται στην θάλασσα. Αυτές είναι οι επονομαζόμενες υπεράκτιες ανεμογεννήτριες.

Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες έχουν πιο διακριτική παρουσία σε γενικές γραμμές καθώς το μέγεθος τους και ο θόρυβος που προκαλούν αμβλύνονται από την απόσταση που έχουν από την ακτή. Επειδή το νερό έχει ομαλότερη επιφάνεια από το έδαφος η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι σημαντικά υψηλότερη. Με αυτό τον

τρόπο επιτυγχάνονται πολύ μεγαλύτεροι συντελεστές χρησιμοποίησης σε σχέση με τις ΑΓ που είναι εγκατεστημένες στη στεριά.

6.2.4. ΠΛΩΤΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούμε στο πρόβλημα του βάθους στο οποίο πακτώνεται η Α/Γ. Όπως θα αναφερθεί η διαθέσιμη τεχνολογία ως τώρα καλύπτει βάθη μέχρι 100 μέτρα και καθιστά απαγορευτική την εγκατάσταση Α/Γ σε περιοχές όπου το βάθος είναι μεγαλύτερο. Οι περισσότερες θάλασσες του κόσμου δεν έχουν αυτή την μορφολογία στο βυθό τους με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η δημιουργία υπεράκτιου αιολικού πάρκου στα νερά τους.

Μια διέξοδος σε αυτή την κατάσταση είναι οι πλωτές ανεμογεννήτριες που έχουν αρχίσει να κυκλοφορούν στην αγορά. Αν και υπάρχουν κάποιες επιφυλάξεις ως προς την σταθερότητα, την εγκατάσταση και τον σχεδιασμό, φαίνεται πως τα προβλήματα σταδιακά ξεπερνιούνται.

Όταν μιλάμε για πλωτές ανεμογεννήτριες αναφερόμαστε σε ειδική μορφή ανεμογεννητριών που έχουν εξελιχθεί ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν πάνω σε πλωτή πλατφόρμα. Η πλωτή πλατφόρμα συνδέεται με ισχυρό και ανθεκτικό τρόπο με μια βάση που βρίσκεται στον βυθό, δημιουργώντας μια ιδιότυπη σύγχρονη άγκυρα. Η τεχνολογία σε αυτό τον τομέα με την βοήθεια και της ναυπηγικής έχει οδηγήσει στην κατασκευή διατάξεων που ακόμα και σε περιπτώσεις σφοδρής θαλασσοταραχής μένουν πρακτικά ακίνητες και λειτουργούν ανενόχλητες εκμεταλλευόμενες τον δυνατό άνεμο που φυσάει σε αυτές τις περιοχές. [94]

Οι πλωτές ανεμογεννήτριες συνδέονται, όπως και οι συνηθισμένες υπεράκτιες, με την στεριά με υπόγεια καλώδια, συνήθως συνεχούς ρεύματος. Για τον ίδιο λόγο, δεν επιδρούν αισθητικά και ακουστικά στο περιβάλλον των νησιών και των άλλων κοντινών περιοχών καθώς είναι δυνατή η μεταφορά τους είτε σε απομονωμένα σημεία είτε σε μεγάλη απόσταση από την ακτή ώστε να μην φαίνονται καν. Αυτή η μεταφορά μπορεί να γίνει και σε εποχιακή βάση ανάλογα με τις ανάγκες, όπως μπορεί πιθανώς να συμβαίνει κατά την τουριστική περίοδο. [94]



Εικόνα 6.3 Πλωτή μονάδα αφαλάτωσης, η οποία λειτουργεί με μία Α/Γ, είναι κατασκευασμένη από το Πανεπιστήμιο Αιγαίου. [95]

Βέβαια η συγκεκριμένη μονάδα, αν και πολλά υποσχόμενη, χρησιμοποιήθηκε μόνο μία φορά έως τώρα στο νησί της Ηρακλείας και από τότε δεν ξανατέθηκε σε λειτουργία. Δυστυχώς μία τέτοια κατασκευή, η οποία στοίχισε 2.3 εκατομμύρια ευρώ [95] φαίνεται να αμελείται λόγω κόστους, αν και οι υπεύθυνοι σχεδιασμού και κατασκευής υποστηρίζουν πως το κόστος των αμέσως επόμενων δεν πρόκειται να ξεπερνάει τις 700,000€ [95].

6.3. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝ ΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Η εγκατάσταση ανεμογεννητριών, είτε πρόκειται για παραγωγή ενέργειας για μια μονάδα αφαλάτωσης, είτε για την παραγωγή ενέργειας προκειμένου να την διοχετεύσει στο δίκτυο, δεν είναι εύκολη υπόθεση. Συχνά ανακύπτουν πολλά προβλήματα, ειδικά στην δεύτερη περίπτωση, καθώς πλέον δεν μιλάμε για μια ανεμογεννήτρια αλλά για ένα αιολικό πάρκο που αποτελείται από κάποιον αριθμό ανεμογεννητριών.

Αν και η αιολική ενέργεια θεωρείται κατεξοχήν καθαρή και πράσινη, καθώς δεν χρησιμοποιούνται ορυκτά καύσιμα και δεν εκπέμπονται αέρια υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, είναι υπεύθυνη για κάποια άλλα προβλήματα περιβαλλοντικής και αισθητικής φύσεως κυρίως. Δεν θα ασχοληθούμε με το περιβαλλοντικό κόστος της κατασκευής τους, την ενέργεια που απαιτείται για να κατασκευαστούν καθώς και τους ρύπους που παράγονται κατά την διαδικασία αυτή καθώς μέσα σε λίγους μήνες λειτουργίας αυτό το χρέος αποπληρώνεται.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για να κριθεί μία τοποθεσία κατάλληλη, για την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου, είναι να έχει υψηλό αιολικό δυναμικό. Ως γνωστό, όσο πιο υψηλό είναι το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής τόσο καλύτερα είναι τα οικονομικά δεδομένα της λειτουργίας. Για αυτό τον λόγο προτιμώνται κυρίως περιοχές που βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο, όπως λόφοι και κορυφογραμμές, ή είναι κοντά στην ακτογραμμή. Ειδικά οι κορυφογραμμές προσφέρουν το πλεονέκτημα ότι ο αέρας επιταχύνεται εξαιτίας της μορφολογίας του εδάφους. Επίσης στις τοποθεσίες με μεγάλο υψόμετρο υπάρχει το πλεονέκτημα ότι διαταράσσεται λιγότερο η ροή του αέρα από τις ανωμαλίες του εδάφους.

Ειδικά όμως κάποιες ορεινές περιοχές συνήθως εμφανίζουν οικοσυστήματα σπάνιας ομορφιάς τα οποία, για να κατασκευαστούν όλες οι απαιτούμενες υποδομές για την λειτουργία του αιολικού πάρκου, θα πρέπει να αλλοιωθούν. Εκτός από την απαιτούμενη επιφάνεια για την τοποθέτηση και την στήριξη των Α/Γ απαιτείται η διάνοιξη δρόμων και η κατασκευή δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μέσα σε περιοχές οι οποίες συχνά είναι δασικές και έχουν ιδιαίτερη σημασία για την τοπική, και όχι μόνο, κοινωνία. Αυτό προκαλεί δικαιολογημένες αντιδράσεις από τους πολίτες καθώς συχνά οι κατασκευάστριες εταιρίες δρουν με ασυδοσία και έλλειψη σεβασμού στο περιβάλλον. Θετικό μπορεί να χαρακτηριστεί

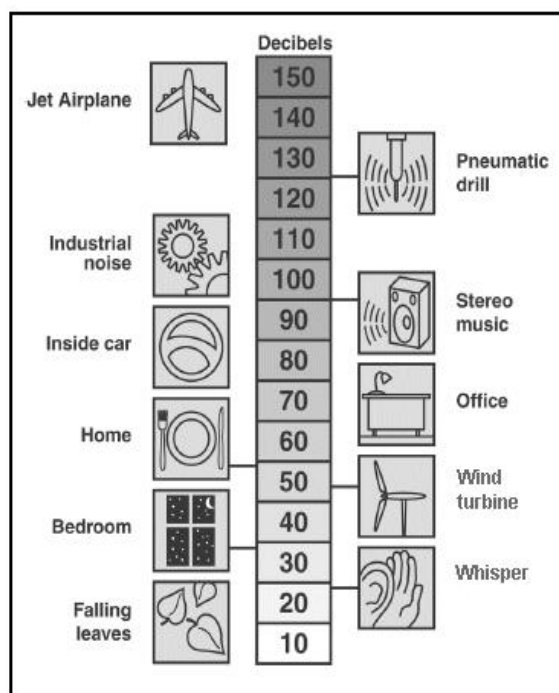
το γεγονός ότι ο χώρος ανάμεσα στις Α/Γ, με εξαίρεση τα λίγα τετραγωνικά μέτρα που καταλαμβάνουν οι βάσεις τους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες χρήσεις όπως η κτηνοτροφία και η γεωργία.

🚧 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΑΝΙΔΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Οι ανεμογεννήτριες έχουν μεγάλη επίδραση στην συμπεριφορά της πανίδας της περιοχής, ιδιαίτερα στα πουλιά. Αρκετά πουλιά σκοτώνονται καθώς χτυπάνε στα πτερύγια ενώ αυτά περιστρέφονται. Αξίζει όμως εδώ να σημειωθεί ότι ο αριθμός των πουλιών που σκοτώνονται με αυτό τον τρόπο είναι πραγματικά αμελητέος μπροστά σε αυτά που σκοτώνονται από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες όπως το κυνήγι, η κατασκευή υψηλών κτιρίων και η μόλυνση του περιβάλλοντος. Επίσης, έχουν γίνει αναφορές ότι ο θόρυβος από την λειτουργία της ΑΓ επηρεάζει τα ζώα, αν και πολλές καταγγελίες αγγίζουν τα όρια του κωμικού όπως αυτή Ελλήνων κτηνοτρόφων που κατηγορούσαν τις ΑΓ για το ότι τα ζώα τους δεν μπορούσαν να αναπαραχθούν.

🚧 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΗ ΟΧΛΗΣΗ

Αυτός ο θόρυβος δεν είναι ενοχλητικός μόνο για τα ζώα αλλά και για τους ανθρώπους. Έτσι έχουν γίνει πολλές κινήσεις πολιτών με σκοπό την απομάκρυνση αυτών των μηχανών από την περιοχή τους με προφανή αιτιολογία τον ενοχλητικό θόρυβο. Μια τέτοια δικαιολογία όμως, είναι εν μέρει ανυπόστατη καθώς το επίπεδο του αντιληπτού θορύβου από μία ανεμογεννήτρια σύγχρονων προδιαγραφών σε απόσταση 200 μέτρων, είναι μικρότερο από αυτό που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος μιας μικρής επαρχιακής πόλης και βεβαίως δεν αποτελεί πηγή ενόχλησης. Με δεδομένη δε τη νομοθετημένη απαίτηση να εγκαθίστανται οι ανεμογεννήτριες σε ελάχιστη απόσταση 500 μέτρων από τους οικισμούς, το επίπεδο είναι ακόμη χαμηλότερο και αντιστοιχεί πλέον σε αυτό ενός ήσυχου καθιστικού δωματίου. Επιπλέον, στις ταχύτητες ανέμου που λειτουργούν οι ανεμογεννήτριες ο φυσικός θόρυβος (θόρυβος ανέμου σε δένδρα και θάμνους) υπερκαλύπτει οποιονδήποτε θόρυβο που προέρχεται από τις ίδιες.



Εικόνα 6.4. Επίπεδο θορύβου Α/Γ

Συχνά προβάλλεται ως επιχείρημα και η οπτική όχληση και η αισθητική δυσαρμονία που προκαλείται από τα αιολικά πάρκα. Ασφαλώς και πρέπει να ληφθεί υπόψη

αυτή η παράμετρος πριν από την όποια εγκατάσταση, αλλά δεν πρέπει να παραβλέψουμε ότι στις περιοχές που γίνεται αυτό υπάρχει αναπτυγμένη τουριστική βιομηχανία και υπάρχει φόβος από τους επιχειρηματίες ότι με αυτό το έργο θα υποβαθμιστεί η περιοχή και θα χάσει την αξία της η γη.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Ενστάσεις έχουν διατυπωθεί όσο αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υπεράκτιων ανεμογεννητριών καθώς έχουν κατηγορηθεί ότι είναι ιδιαίτερα βλαβερές για τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Αυτό μπορεί να ισχύει μόνο σε περιπτώσεις όπου η περιοχή της εγκατάστασης είναι πάνω στον δρόμο μετανάστευσης κάποιων πουλιών, αν και αυτό λαμβάνεται ιδιαίτερα υπόψη και συνήθως αποφεύγεται. Από την άλλη λέγεται ότι οι βάσεις των ΑΓ συχνά ενσωματώνονται από τους υδρόβιους οργανισμούς στο οικοσύστημα τους και αρχίζουν να τις χρησιμοποιούν ως φυσικό τους χώρο. Ο υποθαλάσσιος θόρυβος καθώς και οι δονήσεις που μεταδίδονται στο νερό από την λειτουργία της ΑΓ μπορούν να αποφευχθούν με την χρησιμοποιώντας ειδικών υποθαλάσσιων κουρτίνων ηχομόνωσης.

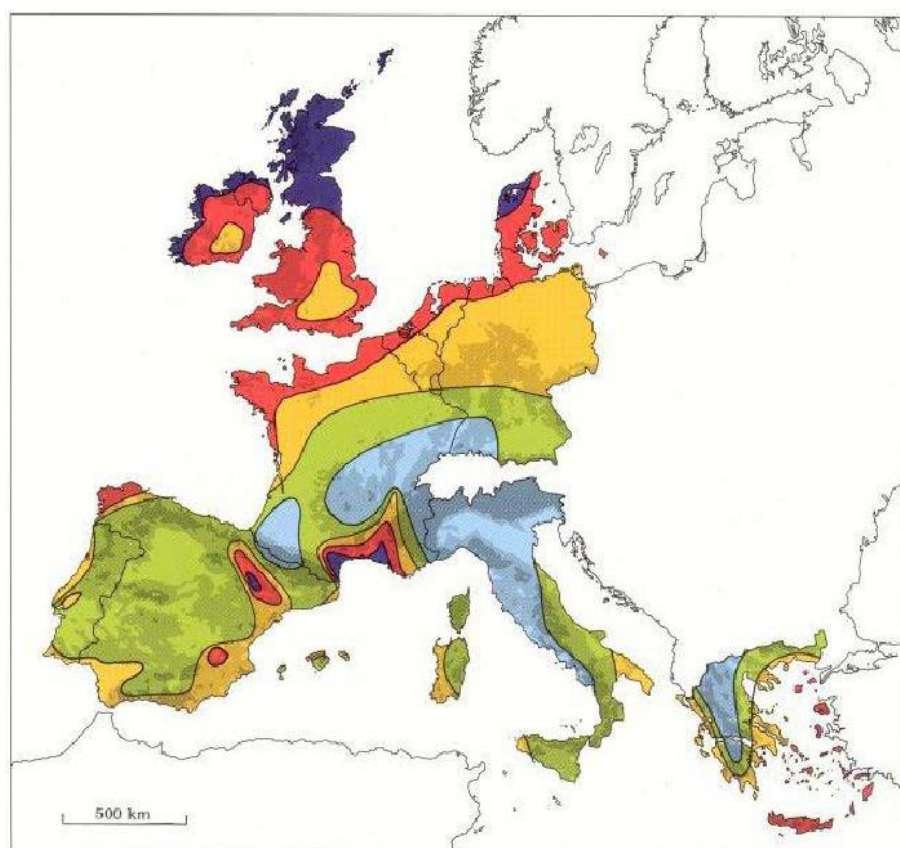
Όσο αφορά τις ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές, με δεδομένη την απόσταση από τις κατοικήσιμες περιοχές, δεν δημιουργείται σημαντικό πρόβλημα. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται προσεκτική τοποθέτηση ώστε να μην υπάρξει πρόβλημα στην διάδοση τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών κυμάτων, αν και όπως ειπώθηκε η κίνηση σε αυτές τις περιοχές είναι χαμηλή.

Επίσης πρέπει να αποφεύγεται η τοποθέτηση σε περιοχές όπου γίνεται εναπόθεση αποβλήτων και άλλων μολυσμένων ουσιών καθώς και σε περιοχές που βρίσκονται πάνω σε γραμμές διέλευσης πλοίων. Επίσης είναι καλό να υπάρχει στη στεριά κοντά στο αιολικό πάρκο ισχυρό δίκτυο μεταφοράς ενέργειας.

6.4. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ

Η μεγάλη ανάπτυξη αιολικών πάρκων για ηλεκτροπαραγωγή κατά την τελευταία δεκαετία παράλληλα με την ευαισθητοποίηση για το περιβάλλον οδήγησαν την αιολική ενέργεια σε σημαντικό κομμάτι του ενεργειακού ισοζυγίου.

Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών το 2009 έφτασε τα 159.213,3 MW, εκ των οποίων προστέθηκαν τον τελευταίο χρόνο 38.312 MW. Συνεπώς η αιολική ενέργεια παρουσίασε μία αύξηση της τάξης του 31.7%, η μεγαλύτερη που έχει σημειωθεί από το 2001. Το 2008 η εγκατεστημένη ισχύς ήταν 120.902,9 MW, ενώ το 2007 ήταν 93.926,8 MW. Θα πρέπει να τονισθεί ότι αυτή τη στιγμή ο συγκεκριμένος τομέας απασχολεί 550.000 εργαζόμενους παγκοσμίως με την προοπτική να φτάσουν το 2012 τους 1.000.000. Στην παγκόσμια αγορά την πρώτη θέση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του ανέμου καταλαμβάνουν οι Η.Π.Α., ενώ ακολουθούν η Κίνα και η Γερμανία. Ακολουθεί ο Πίνακας 6.7 όπου φαίνεται η εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας των 20 πρώτων χωρών, καθώς και ο αιολικός χάρτης της Ευρώπης (χάρτης 5.1). [96]



Wind resources ¹ at 50 metres above ground level for five different topographic conditions										
	Sheltered terrain ²		Open plain ³		At a sea coast ⁴		Open sea ⁵		Hills and ridges ⁶	
	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²
Dark Blue	> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
Red	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
Yellow	4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
Light Green	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0- 8.5	400- 700
Blue	< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400

Εικόνα 6.5 Αιολικός χάρτης της Ευρώπης

ΘΕΣΗ	ΧΩΡΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ 2009 [MW]	ΡΥΘΜΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟ 2009 [%]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ 2008 [MW]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ 2007 [MW]
1	Η.Π.Α.	35.159,0	39,3	25.237,0	16.823,0
2	Κίνα	26.010,0	113,0	12.210,0	5.912,0
3	Γερμανία	25.777,0	7,9	23.897,0	22.247,4
4	Ισπανία	19.149,0	14,7	16.689,0	15.145,1
5	Ινδία	10.925,0	14,0	9.587,0	7.850,0
6	Ιταλία	4.850,0	29,8	3.736,0	2.726,1
7	Γαλλία	4.521,0	32,8	3.404,0	2.455,0
8	Ην.Βασίλειο	4.092,0	28,1	3.195,0	2.389,0
9	Πορτογαλία	3.535,0	23,5	2.862,0	2.130,0
10	Δανία	3.497,0	10,6	3.163,0	3.125,0
11	Καναδάς	3.319,0	40,1	2.369,0	1.846,0
12	Ολλανδία	2.240,0	0,2	2.235,0	1.747,0
13	Ιαπωνία	2.056,0	9,4	1.880,0	1.528,0
14	Αυστραλία	1.877,0	25,6	1.494,0	817,3
15	Σουηδία	1.579,0	48,0	1.066,9	831,0
16	Ιρλανδία	1.260,0	22,7	1.027,0	805,0
17	Ελλάδα	1.109,0	12,0	989,7	873,3
18	Αυστρία	995,0	0,0	994,9	981,5
19	Τουρκία	796,5	138,9	333,4	206,8
20	Πολωνία	666,0	41,1	472,0	276,0

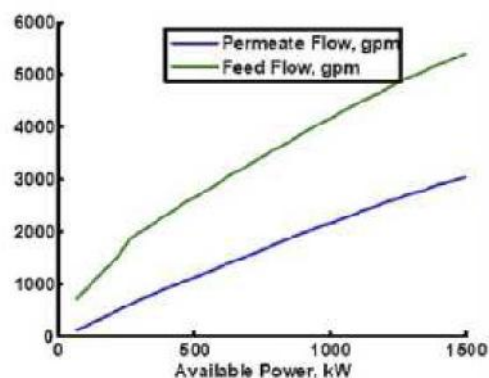
Πίνακας 6.1 Εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας των 20 πρώτων χωρών

6.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Η αφαλάτωση με αιολική ενέργεια, λόγω του χαμηλού της κόστους και την τεχνολογικής της ωριμότητας, θα μπορούσε να χρησιμοποιείται ευρέως ως κύρια μέθοδος, αντικαθιστώντας άλλες ενεργοβόρες μεθόδους. Για να αποδειχθεί η τεχνική σκοπιμότητα της αιολικής αφαλάτωσης τόσο με αντίστροφη όσμωση όσο με μηχανική συμπίεση ατμού, έχουν αναπτυχθεί συστήματα που χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας την αιολική ενέργεια για αφαλάτωση. Τα οικονομικά οφέλη της αιολικής αφαλάτωσης είναι πολλά. Το κόστος σύμφωνα με το τι αναμένεται για ένα συμβατικό σύστημα αφαλάτωσης αποδεικνύεται ιδιαίτερα ανταγωνιστικό, σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό που αντικαθιστούν το υψηλό κόστος της ενέργειας συμβατικών πηγών.[96] Μπορεί, λοιπόν, να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η αιολική αφαλάτωση μπορεί να είναι ανταγωνιστική σε σχέση με άλλα συστήματα αφαλάτωσης, καθώς έχει τη δυνατότητα να παρέχει ασφαλές και καθαρό πόσιμο νερό με φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο.

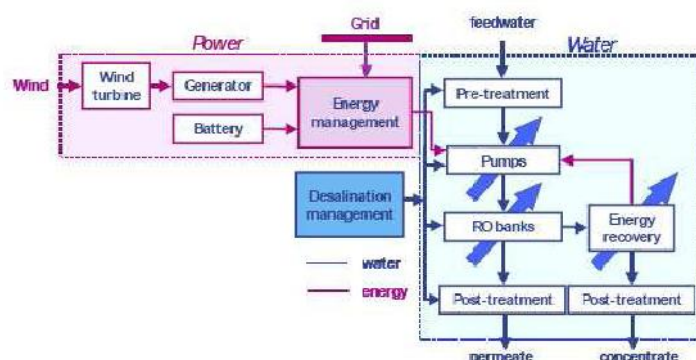
6.5.1. ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ

Είναι προφανές ότι η παραγωγή νερού ενός αιολικού συστήματος αφαλάτωσης εξαρτάται από τη διαθέσιμη ισχύ. Για το σύστημα αντίστροφης όσμωσης, η εξάρτηση αυτή φαίνεται στο Σχήμα 6.9. Υπό τις καλύτερες δυνατές συνθήκες, ένα τέτοιο σύστημα σχεδιασμένο για μια τουρμπίνα 1,5 MW μπορεί να παράγει μέχρι 5500 m³/d. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το κόστος κατασκευής επισκιάζει από το κόστος της αρχικής επένδυσης, αλλά θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και το κόστος συντήρησης. [Σ]



Εικόνα 6.9 Απόδοση προϊόντος ανάλογα με την χρήση της διαθέσιμης αιολικής [Σ]

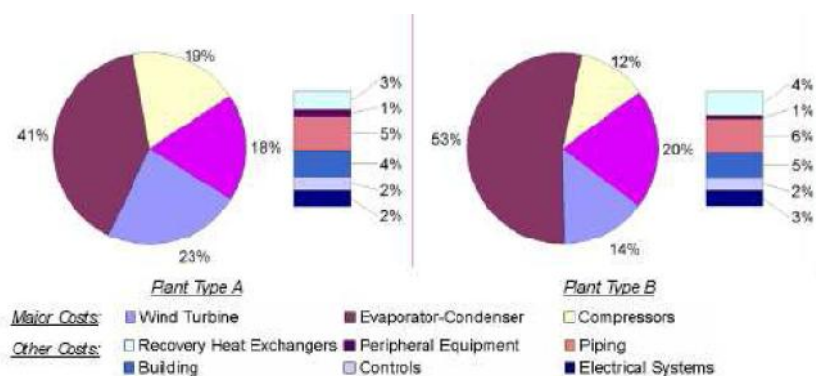
Για όλα τα τμήματα του συστήματος έχουν δημιουργηθεί φυσικά και οικονομικά μοντέλα, προκειμένου να καταστεί δυνατή μία μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος, σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας του. Αυτά τα μοντέλα περιλαμβάνουν επίσης περιορισμούς του τρέχοντος εξοπλισμού που θα μπορούσαν να περιορίσουν τον σχεδιασμό.



Εικόνα 6.10 Συνιστώσες του μοντέλου του συστήματος αιολικής ενέργειας - Αντίστροφης όσμωσης [79]

6.5.2. ΑΙΟΛΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΟΥ

Με τον υπολογισμό της απόδοσης ανέμου για μια τοποθεσία, από τον υπολογισμό της αναμενόμενης απόδοσης κατά ποικίλες εισροές αιολικής ενέργειας (Εικόνα 6.10.), μπορεί να θεωρηθεί ότι μπορούν να παραχθούν έως και 1.350 m³/d. Το αναμενόμενο εύρος για το κόστος του νερού μπορεί να καθοριστεί βασιζόμενο σε διάφορες τεχνικές και υλικά αφαλάτωσης. (Εικόνα 6.11.) [Σ]

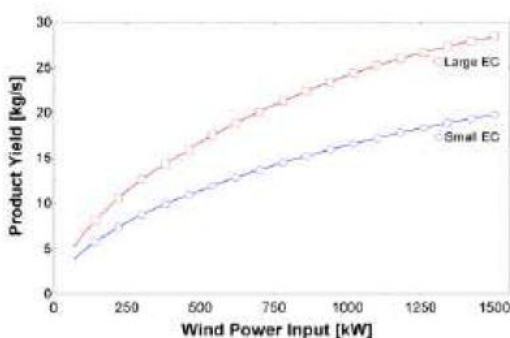


Εικόνα 6.11 Διακυμάνσεις του κόστους διαδικασίας για αφαλάτωση με MVC [Σ]

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

6.5.3. ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ MVC

Το σύστημα MVC τροφοδοτείται από την ενέργεια που παράγει η τουρμπίνα της ανεμογεννήτριας. Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται από τον συμπιεστή, την προθέρμανση εκκίνησης, την αντλία και από τα όργανα μετρήσεων και ελέγχου. Πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που καταναλώνεται στην MVC είναι το έργο του συμπιεστή (W). Το υπόλοιπο της απαιτούμενης ενέργειας μπορεί να υποτεθεί ότι είναι ένα κλάσμα ξ των εργασιών του συμπιεστή. Κατά συνέπεια, η παραγωγικότητα (Prod) ενός συστήματος MVC προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση: [77]



Εικόνα 6.12. Απόδοση προϊόντος για δύο συστήματα αιολικής αφαλάτωσης με μηχανική συμπίεση ατμού με διαφορετικά μεγέθη. [Σ]

$$Prod = \frac{P}{\xi \cdot W} \quad (3)$$

Αντικαθιστώντας όπου P: [77]

$$P = d^2(-1.47 + 0.329v + 0.0266v^2) \quad (1)$$

Όπου:

P: ημερήσια ισχύς (kWh/d)

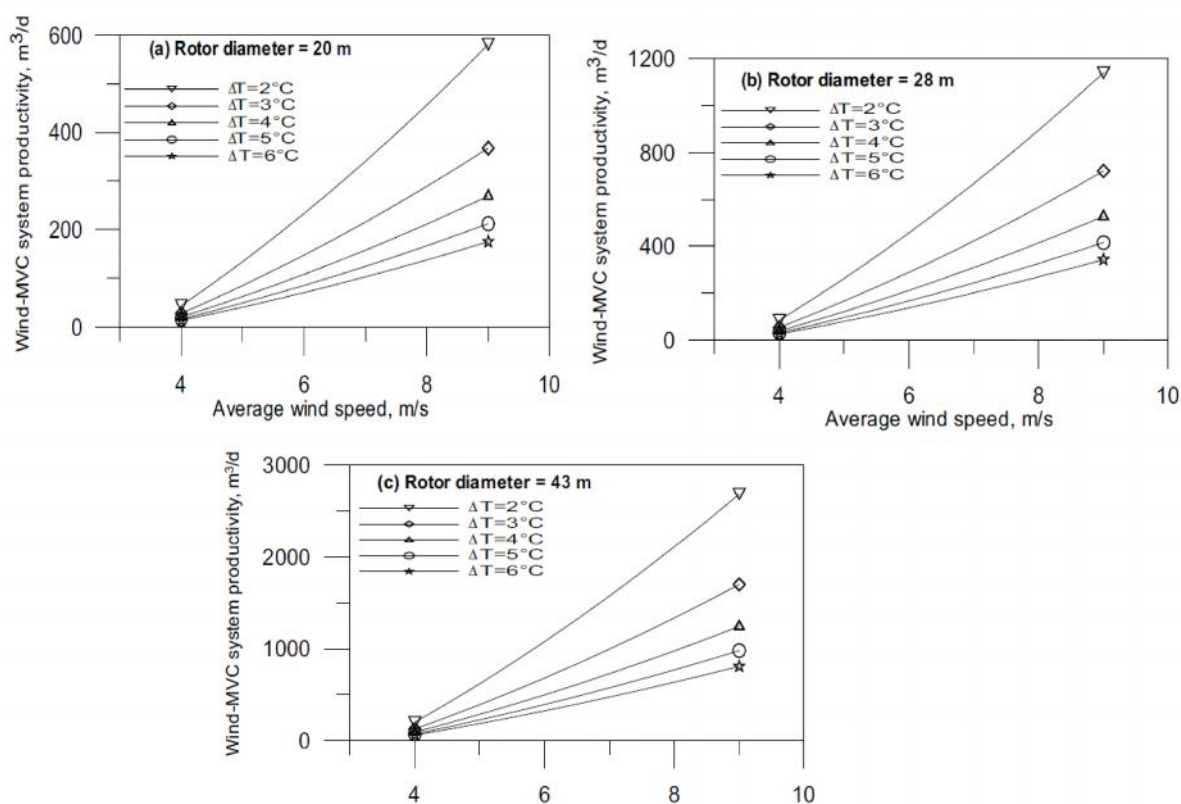
d: διάμετρος τουρμπίνας (m)

v: ταχύτητα ανέμου σε υψόμετρο 30m

Αντικαθιστώντας τις 1 και 2 (κεφάλαιο 2) στην εξίσωση 3: [77]

$$P = \frac{d^2(-1.47 + 0.329v + 0.0266v^2)}{\xi(1.65 - 0.038T_1 + 2.28\Delta T)}$$

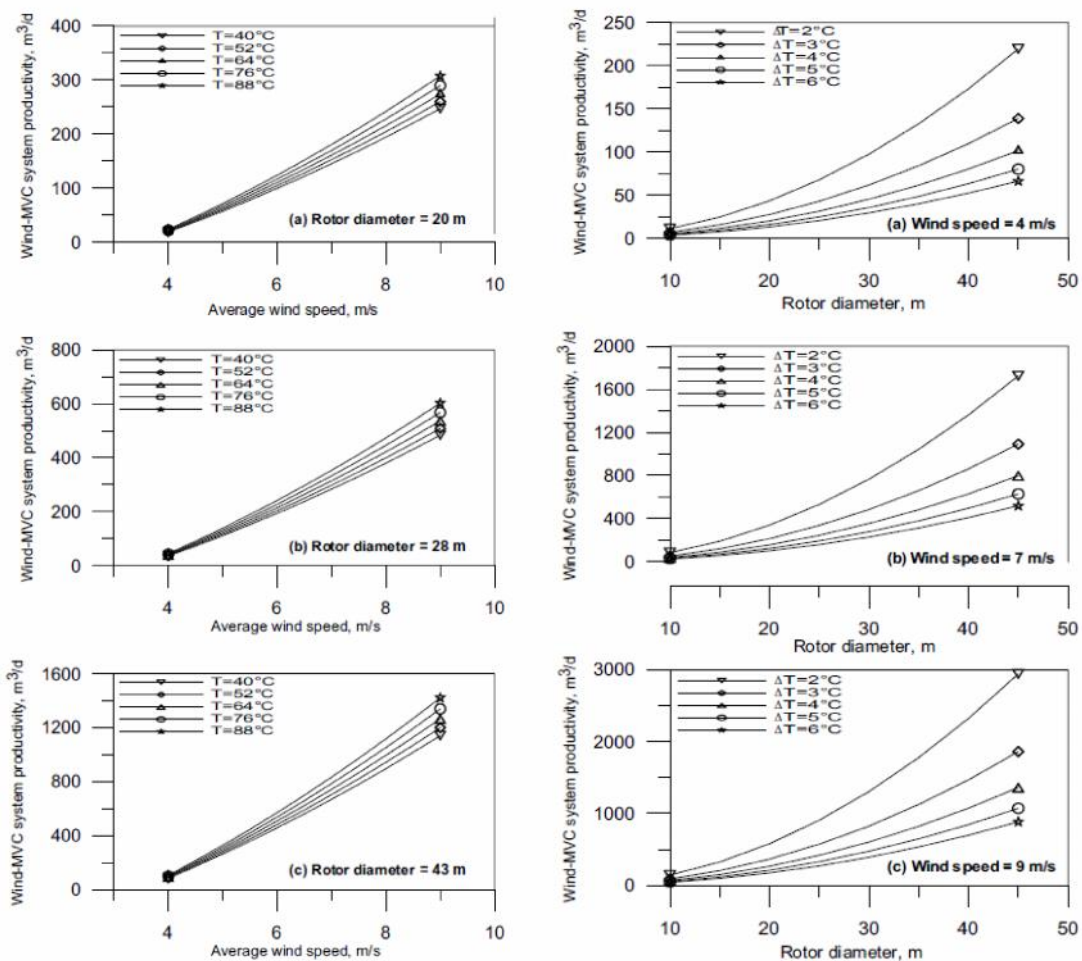
Αν υποθέσουμε ότι η ισεντροπική απόδοση του συμπιεστή είναι 75% και το έργο άντλησης (που απαιτείται για την τροφοδοσία, το απόσταγμα, την ανακύκλωση άλμης και την απαέρωση και την εξαγωγή των μη συμπυκνώσιμων αερίων), τα όργανα λειτουργίας και έλεγχου εκτιμάται ότι απαιτούν το 1 / 3 του έργου του συμπιεστή, τότε λαμβάνουμε τα παρακάτω διαγράμματα. [77]



Εικόνα 6.13 Η παραγωγικότητα ενός συστήματος MVC για διάφορες τιμές ταχύτητας ανέμου και ΔT [77]

Η Εικόνα 6.12 απεικονίζει την εναλλαγή της παραγωγικότητας ενός συστήματος MVC συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου, σε διαφορετικές διαμέτρους τουρμπίνας. Οι διάμετροι έχουν επιλεγεί με βάση τα καλύτερα σχέδια κατασκευής ώστε να δώσουν τη μέγιστη ονομαστική ισχύς. Επιπλέον, η θερμοκρασία λειτουργίας εξατμιστή επιλέγεται να είναι 60°C, ώστε να γίνει μία ρεαλιστική σύγκριση με τις διαφορές θερμοκρασίας του εξατμιστήρα. Από όλες τις καμπύλες φαίνεται πως όσο μειώνεται το ΔT , τόσο αυξάνεται η παραγωγικότητα. Αυτό οφείλεται στη μείωση του απαιτούμενου έργου στην περίπτωση που έχουμε μικρή διαφορά θερμοκρασίας εξατμιστή σε σχέση με τη μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας.[77]

Η Εικόνα 6.13 απεικονίζει την εναλλαγή της παραγωγικότητας ενός συστήματος MVC συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου, σε διαφορετικές θερμοκρασίες λειτουργίας του εξατμιστήρα. Η παραγωγικότητα αυξάνεται καθώς η ταχύτητα ανέμου και/ή διάμετρος τουρμπίνας αυξάνεται. Επίσης, η παραγωγικότητα του συστήματος αυξάνεται ελαφρώς με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του εξατμιστή, λόγω της μείωσης του έργου του συμπιεστή από τη μείωση του ειδικού όγκου των συμπιεσμένων ατμών, καθώς η θερμοκρασία λειτουργίας του εξατμιστή αυξάνεται.



Εικόνα 6.14 Παραγωγικότητα ενός συστήματος MVC συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου, με διαφορετικά Τα [77]

Εικόνα 6.15 Παραγωγικότητα ενός συστήματος MVC συναρτήσει της διαμέτρου της ανεμογεννήτριας, για διαφορετικά ΔT [77]

Η Εικόνα 6.14 απεικονίζει την εναλλαγή της παραγωγικότητας ενός συστήματος MVC συναρτήσει της διαμέτρου της ανεμογεννήτριας, για διαφορετικά ΔT . Παρατηρούμε πως η παραγωγικότητα αυξάνεται ραγδαία με την αύξηση της διαμέτρου, λόγω της δευτεροβάθμιας σχέσης που υπάρχει μεταξύ τους, για διαφορετικές ταχύτητες ανέμου. Παρατηρούμε επίσης πως η παραγωγικότητα μειώνεται με την αύξηση της διαφοράς ΔT , λόγω της αύξησης του έργου που αναλογεί στον συμπιεστή. [77]

6.6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για να κατανοήσουμε τη σκοπιμότητα της αιολικής αφαλάτωσης, αναλύθηκαν όλες οι διαδικασίες τόσο με αντίστροφη όσμωση και όσο και με διαδικασίες συμπίεσης ατμού. Το σύστημα αντίστροφης όσμωσης γίνεται επιλογή, εάν υπάρχει τουλάχιστον κάποια αδύναμη διαθέσιμη σύνδεση με το δίκτυο, μπορεί να παράγει νερό σε ελαφρώς χαμηλότερο κόστος, κυρίως λόγω της χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας. [T]

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

7.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε περιοχές με σχετικά πρόσφατη ηφαιστειότητα, παρουσιάζεται το φαινόμενο διάπυρο υλικό από το εσωτερικό της γης να έχει κινηθεί προς την επιφάνεια και το υπέδαφος να έχει θερμανθεί. Η θερμότητα αυτή μεταφέρεται σε τυχόν υδροφόρους σχηματισμούς της περιοχής. Τα νερά θερμαίνονται και κυκλοφορούν μέσα στα πετρώματα φθάνοντας σε πολλές περιπτώσεις μέχρι την επιφάνεια, αφού προηγουμένως έχουν εμπλουτιστεί από άλατα των πετρωμάτων (θερμές πηγές, ατμίδες), ενώ κάποιες άλλες φορές τα νερά εγκλωβίζονται σε μη υδροπερατά πετρώματα και αποκτούν θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 350°C. [87-88]



Εικόνα 7.1 Θερμοπίδακας

Η θερμική ροή εμφανίζεται:

1. Κατά τη βύθιση λιθοσφαιρικών πλακών.
2. Στα ηπειρωτικά βυθίσματα.
3. Στις ηπειρωτικές περιοχές διόγκωσης.

Έχουμε συνεχή απώλεια θερμότητας 10.9×10^{20} kJ/έτος. Η γεωθερμική ισχύς είναι περίπου 33TW.

Η Γεωθερμική ενέργεια αποτελεί ένα φυσικό εγχώριο πλούτο και ως εκ τούτου η εντατική της έρευνα και αξιοποίηση είναι πολλαπλά ωφέλιμη και θα πρέπει να

αντιμετωπίζεται με ιδιαίτερο αναπτυξιακό χαρακτήρα σε τοπικό και σε εθνικό επίπεδο. Η απαιτούμενη τεχνολογία για την εκμετάλλευση της γεωθερμίας που εμπεριέχεται σε ρευστά είναι πλέον δοκιμασμένη σε ευρεία κλίμακα. [87-88]

7.2 ΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Το κάθε γεωθερμικό πεδίο όμως παρουσιάζει ιδιαιτερότητες και απαιτεί εξειδικευμένες μελέτες για τη βέλτιστη τεχνικά και οικονομικά εκμετάλλευσή του. Όσον αφορά όμως την εκμετάλλευση της γεωθερμίας που εμπεριέχεται στα θερμά ξηρά πετρώματα και των σε εξέλιξη ηφαιστειών η τεχνολογία δεν έδωσε ακόμα πρακτικά αποδεκτές λύσεις. [87-88]

Κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων βάσει της ισχύος:

1. Ομαλή γεωθερμία: $T < 25^{\circ}\text{C}$, απόδοση $< 2\%$ (ψύξη – θέρμανση κτιρίων)
2. Χαμηλής ενθαλπίας: $T = 25 - 100^{\circ}\text{C}$, απόδοση 2 -8% (νερό οικιακής χρήσης)
3. Μέσης ενθαλπίας: $T = 100 - 150^{\circ}\text{C}$, απόδοση 2 -8% (ηλεκτροπαραγωγή με πτητικό ρευστό)
4. Υψηλής ενθαλπίας: $T > 150^{\circ}\text{C}$, απόδοση 8 – 18% (ηλεκτροπαραγωγή)

Ξηρού ατμού: $H > 1.5 \text{ MJ/kg}$,
Υγρής φάσης: $H > 2.5 \text{ MJ/kg}$

5. Θερμά ξηρά πετρώματα.

7.3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

7.3.1. ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η γεωθερμική ενέργεια, ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες: [87-88]

- Χαμηλής ενθαλπίας ($25-100^{\circ}\text{C}$)
- Μέσης ενθαλπίας ($100-150^{\circ}\text{C}$)
- Υψηλής ενθαλπίας ($>150^{\circ}\text{C}$)

Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η εγκατεστημένη ισχύς των γεωθερμικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο ανέρχεται σε 6.000 MWe περίπου. [87-88]

Η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης ενθαλπίας βρίσκεται σε διεθνές επίπεδο πολλές εφαρμογές στη γεωργία, τη γεωργική βιομηχανία, την κτηνοτροφία – ιχθυοκαλλιέργεια και τη θέρμανση χώρων.

Η τεχνολογία που απαιτείται για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών αυτής της κατηγορίας έχει αναπτυχθεί σε σημαντικό βαθμό και είναι ευρύτατα

γνωστή. Συνιστάται κυρίως στη χρήση εναλλακτών θερμότητας ή σε μερικές περιπτώσεις, στην απευθείας χρήση των γεωθερμικών ρευστών.

7.3.2. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ

Η χώρα μας παρουσιάζει ένα αρκετά αξιόλογο δυναμικό γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας. Με τις σημερινές γνώσεις μας από τα δεδομένα των γεωτρήσεων και από άλλες ενδείξεις στα γεωθερμικά πεδία, εκτιμάται ότι το βεβαιωμένο συνολικό δυναμικό της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας (με βάση την απόρριψη των νερών σε θερμοκρασίες περίπου 25°C) ανέρχεται σε 700-800 MW_{th}, περίπου. [87-88]

Οι ορατές εκμεταλλεύσεις τη γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα σε χρήσεις μόνο θέρμανσης (όπως τηλεθέρμανση κτιρίων, θερμοκήπια, ξηραντήρια αγροτικών προϊόντων και ιχθυοκαλλιέργειες) μπορούν μέχρι το έτος 2000 να αγγίξουν τα 150 MW_{th}, εγκατεστημένης ισχύος, εξοικονομώντας 17.000 περίπου τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (Τ Ι.Π.) το έτος. [87-88]

Στην πράξη όμως σήμερα η εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού χαμηλής ενθαλπίας στην χώρα μας είναι ασήμαντη έως μηδαμινή. Σήμερα υπάρχουν εγκατεστημένα στην χώρα μας μόλις 200 στρ. γεωθερμικών θερμοκηπίων με εγκατεστημένη ισχύ περί τα 20 MW_{th} που εξοικονομούν 2000Τ.Ι.Π. το έτος. Αυτό συμβαίνει παρ' όλο που οι συνθήκες παραγωγής και εκμετάλλευσης των γεωθερμικών ρευστών είναι συμφέρουσες και παρ' όλο που τα γεωθερμικά πεδία συμπίπτουν γεωγραφικά με εύφορες πεδιάδες με μεγάλη γεωργική παραγωγή.

Οι πλέον συνήθεις και τεχνικοοικονομικά συμφέρουσες χρήσεις που εφαρμόζονται κατά την αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας είναι: [87-88]

- ✚ **Τηλεθέρμανση**
- ✚ **Θέρμανση θερμοκηπίων.**
- ✚ **Ιχθυοκαλλιέργειες**
- ✚ **Αφαλάτωση θαλασσινού νερού**

Αφαλάτωση θαλασσινού νερού με γεωθερμικά ρευστά σαν θερμαντικό μέσο δύνανται να επιτευχθεί με τη μέθοδο της πολυσταδιακής εξάτμισης εν κενώ (MES). Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα η αφαλάτωση πρέπει η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών να είναι τουλάχιστον 60°C. Η θερμοκρασία απόρριψης σχεδιάζεται να είναι 40-50°C. [87-88]

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για περίπτωση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας 75°C και παροχής 100 m³/h επιτυγχάνεται αφαλάτωση 600 m³/h την ημέρα, σε οκτώ δράσεις, με εκτιμώμενο κόστος επένδυσης 550,000 δρχ. και κόστος αφαλάτωσης νερού περί της 350 δρχ./m³. Για να θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα μία εκμετάλλευση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας πρέπει το κόστος της

γεωθερμικής ενέργειας να αντιστοιχεί το πολύ στο 60% του κόστους αφαλάτωσης με πετρέλαιο. [87-88]

7.4. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η χώρα μας λόγω των ειδικών γεωλογικών συνθηκών της είναι πλούσια σε γεωθερμική ενέργεια . Μέχρι το 1980, οι έρευνες στη χώρα μας περιορίζονταν στον εντοπισμό γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεωθερμικό δυναμικό υψηλής ενθαλπίας εντοπίστηκε κυρίως κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος κ.λπ.). Παράλληλα όμως, είχαμε και τον εντοπισμό ρευστών μέσης και χαμηλής ενθαλπίας. Στη χώρα μας, το 1985, εγκαταστάθηκε μια μονάδα υψηλής ενθαλπίας ισχύος 2 MWe στη Μήλο, που λειτούργησε για κάποιο διάστημα μέχρι το 1989. Από το 1980 και μετά προχώρησε στη χώρα μας η έρευνα για τον εντοπισμό αξιοποιήσιμων γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας. [87-88]

Τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα σε ολόκληρη τη χώρα και εντοπίζονται κυρίως σε αγροτικές περιοχές. Στον πίνακα δίνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας και οι περιοχές γεωθερμικού ενδιαφέροντος αντίστοιχα. Το πιθανό γεωθερμικό δυναμικό των πεδίων χαμηλής ενθαλπίας ανέρχεται περίπου σε 700 MW_{th} και το βεβαιωμένο, περίπου σε 300 MW_{th} (1 MW_{th} μπορεί να καλύψει τις θερμικές απώλειες περίπου 6 στρεμμάτων γυάλινων θερμοκηπίων στην περιοχή Κορινθίας). [87-88]

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 ανυπέρβλητα προβλήματα διάβρωσης και περιλίθωσης. [87-88]

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. [87-88]

Στο Γεωθερμικό πεδίο Νισύρου, ύστερα από πολλές έρευνες στην περίοδο 1972-81, εντοπίστηκαν οι θέσεις για τις δύο πρώτες γεωτρήσεις έρευνας - παραγωγής. Οι γεωτρήσεις αυτές εκτελέστηκαν κατά το 1982-83. [87-88]

Η πρώτη, παρ' όλο που συνάντησε πολύ μεγάλες θερμοκρασίες (400°C) αλλά και πολύ δύσκολες συνθήκες ρευστών παράγει σήμερα μικρές μόνο ποσότητες μίγματος ατμών και νερού από το “Ρηχότερο” ρεζερβουάρ των 1.500 μ. (Το βαθύτερο ρεζερβουάρ στα 1.800 μ. έχει εγκαταλειφθεί λόγω ανυπέρβλητων τεχνικών προβλημάτων κατά την κατασκευή της γεώτρησης). [87-88]

Η δεύτερη γεώτρηση παράγει από βάθος 1.500 μ. (όπου η θερμοκρασία είναι περίπου 350°C) μίγμα ατμού και νερού. Η παραγωγή ατμού ανέρχεται περίπου στους 23 t/h και ισοδυναμεί με 3 Mwe. [87-88]

Το συνολικό γεωθερμικό δυναμικό της Νισύρου κατά μία πρώτη εκτίμηση ανέρχεται σε 40 MWe περίπου.

Πιθανά πεδία υψηλής ενθαλπίας βρίσκονται στα νησιά Κίμωλος, Πολύαιγος, Σαντορίνη, Κως και Λέσβος. Οι πιθανότητες είναι πολύ μεγάλες στα δύο πρώτα νησιά και μικρότερες στα άλλα, για τα οποία αλλού υπάρχουν εντελώς ελλιπή στοιχεία (Κως) και αλλού πολλά, αλλά με μικρές πιθανότητες (Λέσβος). [87-88]

Περιοχές υψηλής ενθαλπίας με ελάχιστες πιθανότητες είναι αυτές του Σουσακίου Κορινθίας και των Μεθάνων Τροιζηνίας. [87-88]

Στα νησιά Κίμωλος και Πολύαιγος, οι γεωθερμικές έρευνες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι συνθήκες σε αυτά είναι εντελώς παρόμοιες με αυτές της Μήλου. Πρόκειται για πολύ πιθανά πεδία υψηλής ενθαλπίας. Παρόμοιο γεωθερμικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και ο αβαθής υποθαλάσσιος χώρος μεταξύ των τριών νησιών όπως επίσης και αυτός του Όρμου Μήλου. Μελλοντικά σ' αυτούς τους χώρους μπορεί να γίνουν κεκλιμένες γεωτρήσεις από την παραλία ή και ακόμα στη θάλασσα. [87-88]

Στη Λέσβο, από τις μέχρι τώρα πολύπλευρες και εκτεταμένες γεωλογικές-γεωθερμικές έρευνες και τη συνθετική ερμηνεία των αποτελεσμάτων εντοπίστηκαν τρεις κύριες περιοχές ενδιαφέροντος: Πέτρας-Αργένου, Καλλονής-Στύψης και Πολιχνίτου. [87-88]

Οι πιθανές θερμοκρασίες των ρευστών στον ταμειυτήρα αναμένονται να είναι της τάξης των 100-14°C, χωρίς να αποκλείονται εντελώς και υψηλότερες. Η περιοχή που προτάθηκε για τις πρώτες βαθιές γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής βρίσκεται νότια του χώρου Στύψη. [87-88]

Στη Σαντορίνη η γεωθερμική έρευνα προσδιόρισε σαν ενδιαφέρουσα την περιοχή που βρίσκεται μεταξύ των οικισμών Μεγαλοχωρίου, Εμπορίου και Ακρωτηρίου. Μερικές συμπληρωματικές βαθιές γεωφυσικές έρευνες θα βοηθήσουν ουσιαστικά στην επιλογή της καλύτερης θέσης για την πρώτη βαθιά γεώτρηση έρευνας-παραγωγής, η οποία θα δώσει και την οριστική απάντηση σχετικά με την κατηγορία των ρευστών (υψηλής ή μέσης ενθαλπίας). [87-88]

Στην Κω η εντελώς προκαταρκτική διερεύνηση έδωσε ενθαρρυντικά στοιχεία. Η δυτική περιοχή του νησιού χρειάζεται συστηματική και πολύπλευρη γεωθερμική έρευνα. [87-88]

Η περιοχή Σουσακίου Κορινθίας, μετά από τη συνθετική ερμηνεία όλων των στοιχείων που προέκυψαν από τη γεωθερμική έρευνα, φαίνεται ότι έχει δυνατότητες παραγωγής ρευστών μέσης ενθαλπίας. Αυτά τα ρευστά έχουν

ιδιαίτερο ενδιαφέρον για μη ηλεκτρικές χρήσεις, σύμφωνα με τις συνθήκες της περιοχής. [87-88]

Η περιοχή του ηφαιστείου των Μεθάνων έχει καταρχήν ενδιαφέρον από γεωθερμική άποψη. Οι δυσμενείς όμως συνθήκες τοπογραφίας και γεωλογίας, τα λιγοστά στοιχεία και οι προκαταρκτικές εκτιμήσεις δεν επιτρέπουν αισιόδοξες προβλέψεις. Οποσδήποτε η περιοχή αυτή δεν έχει προτεραιότητα για αναζήτηση ρευστών υψηλής ενθαλπίας. [87-88]

Δεν είναι δυνατόν σήμερα να εκτιμηθεί το συνολικό δυναμικό της χώρας σε ρευστά υψηλής ενθαλπίας, γιατί λείπουν επαρκή ερευνητικά στοιχεία, και κυρίως οι πολυδάπανες βαθιές παραγωγικές γεωτρήσεις ως και η μελέτη της συμπεριφοράς τους στο χρόνο. [87-88]

7.5. ΤΡΟΠΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Η παραγωγή αφαλατωμένου νερού με χρήση γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με τους παρακάτω τρόπους. [Ο]

- Με απευθείας συμπύκνωση γεωθερμικού ατμού. Μπορεί να εφαρμοστεί στα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας της Μήλου και της Νισύρου.
- Με εξάτμιση θαλασσινού νερού σε συνθήκες μερικού κενού.
- Με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη γεωθερμία.

Η αφαλάτωση του θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού έχει καταστεί απολύτως αναγκαία σε πολλές νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές της χώρας μας, όπως ήδη έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα, ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Ήδη η αφαλάτωση εφαρμόζεται σε πολλά νησιά και ξενοδοχειακές μονάδες με την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, της οποίας το κόστος παραγωγής στα νησιά είναι αρκετά υψηλό. Συγχρόνως, ορισμένες μεγάλες βιομηχανίες εφαρμόζουν τη θερμική αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Σε παγκόσμιο επίπεδο, το μισό αφαλατωμένο νερό παράγεται με τεχνολογίες μεμβρανών και το άλλο μισό με θερμικές μεθόδους. Στη χώρα μας, με το πλούσιο γεωθερμικό δυναμικό πολλών νησιών, είναι δυνατή η θερμική αφαλάτωση με τη χρήση γεωθερμικών ρευστών. [Ο]

Δύο είναι οι βασικές τεχνικές για την θερμική αφαλάτωση του νερού. Η πρώτη, και παλαιότερη, είναι η πολυβάθμια εκτονωτική εξάτμιση (multiple flash distillation, MSF). Η δεύτερη μέθοδος είναι η απόσταξη πολλαπλού φαινομένου (multiple effect distillation, MED). Για μεγαλύτερες μονάδες συνιστάται η χρήση της μεθόδου MSF, που είναι και αποδοτικότερη. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου MED είναι ότι απαιτούνται μικρότερες επιφάνειες εναλλάκτη θερμότητας και ότι η λειτουργία της μονάδας με μικρότερη θερμοκρασία (ακόμα και μικρότερη από 70°C), με αποτέλεσμα να μην δημιουργούνται ιδιαίτερα προβλήματα επικαθίσεων (CaSO₄ και CaCO₃). Πολύ συνοπτικά, η περιγραφή της μεθόδου MED, η οποία έχει εφαρμοστεί σε μικρή μονάδα αφαλάτωσης στην Κίμωλο. [Ο]

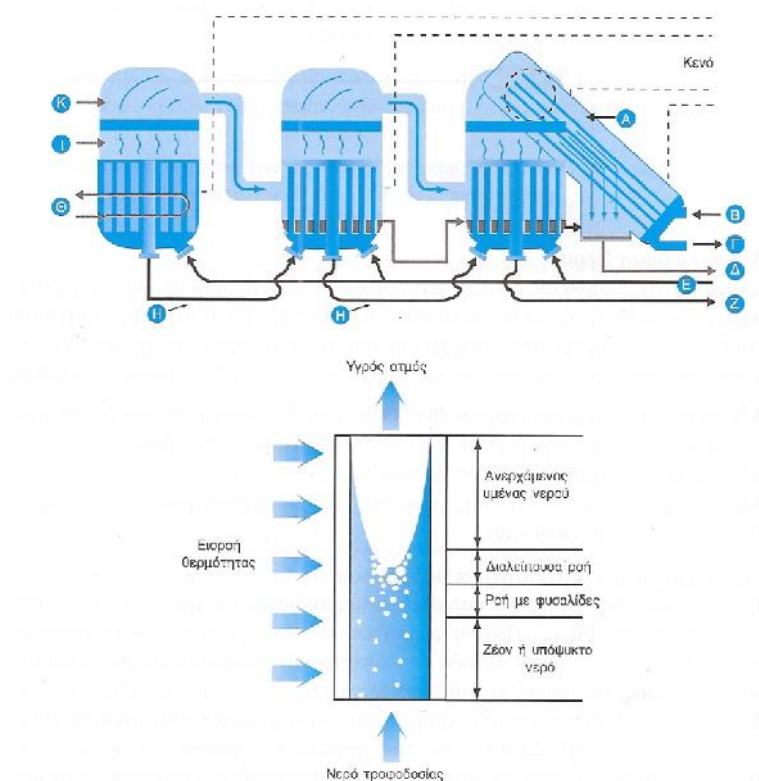
Οι υπόλοιπες μέθοδοι δεν είναι ιδανικές για να συνδυαστούν με συστήματα γεωθερμίας. Αυτό μπορεί να γίνει μόνο σε περίπτωση που γίνει συνδυασμός συστημάτων ή αν οι συνθήκες είναι οι ιδανικές. [Ο]

7.6. STATE OF THE ART

Μέχρι τώρα είχαν υλοποιηθεί μόνο λίγα προγράμματα, με σκοπό την απόδειξη πως η αφαλάτωση με γεωθερμία μπορεί να είναι αποδοτική τόσο από τεχνική όσο και από άποψη κόστους.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα πιο σύγχρονα παραδείγματα στη χώρα μας.

7.6.1. ΜΟΝΑΔΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΙΜΩΛΟ



Εικόνα 7.2 (Πάνω) Σχηματική παράσταση της διεργασίας αφαλάτωσης με τη μέθοδο της απόσταξης πολλαπλού φαινομένου. (Κάτω) Καθεστώτα ροής στους κατακόρυφους αγωγούς εξάτμισης. [Ο]

A: συμπυκνωτής, B και Γ: είσοδος και έξοδος θαλασσινού νερού ψύξης, Δ: προϊόν απόσταξης, E: τροφοδοσία θαλασσινού νερού, Z: έξοδος αλμολόιπου, H: ανάκτηση θερμότητας από το αλμόλοιπο, Θ: είσοδος-έξοδος γεωθερμικού ρευστού, I: υγρός ατμός.

Το θαλασσινό νερό τροφοδοτείται στο πρώτο δοχείο εξάτμισης (effect) της μονάδας με τη μορφή λεπτής στιβάδας σε σειρά κατακόρυφων αγωγών (Σχήμα 7.2), όπου και θερμαίνεται και από τη ροή γεωθερμικού νερού στους αγωγούς μεταφοράς θερμότητας. Σε άλλα συστήματα, η εισαγωγή του θαλασσινού νερού μπορεί να γίνει με καταιονισμό. Λόγω της χαμηλότερης πίεσης από την ατμοσφαιρική που επικρατεί μέσα στο δοχείο, και η οποία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια «τζιφαριού», μέρος του θαλασσινού νερού εξατμίζεται. Το υπόλοιπο νερό τροφοδοτείται μέσω ενός κεντρικού αγωγού στο δεύτερο δοχείο εξάτμισης, όπου επικρατεί ακόμα μικρότερη πίεση. Στο δοχείο προστίθεται επίσης και θαλασσινό νερό τροφοδοσίας. Εκεί, το αλμυρό νερό θερμαίνεται με τον ατμό από το πρώτο δοχείο, με σύγχρονη συμπύκνωση μέρους του ατμού. Ο ατμός από το δεύτερο δοχείο θερμαίνει το αλμυρό νερό στο τρίτο, από αυτό στο τέταρτο κ.ο.κ. Το συμπύκνωμα από κάθε δοχείο οδηγείται στον συμπυκνωτή, στον οποίο συμπυκνώνεται με τη βοήθεια ψυχρού θαλασσινού νερού ο ατμός από το τελευταίο δοχείο, και όλο μαζί τα συμπύκνωμα (αφαλατωμένο νερό) οδηγείται στην δεξαμενή αποθήκευσης. [Ο]

Αυτή η μικρή μονάδα αφαλάτωσης στην Κίμωλο (η πρώτη του είδους της στον κόσμο) αποπερατώθηκε το 1999. Με την εφαρμογή της μεθόδου δευτεροβάθμιας εξάτμιση φαινομένου (MED) σε συνθήκες μερικού κενού σε κατακόρυφους αγωγούς και σε χαμηλές θερμοκρασίες (61°C), θέλησαν να επιτύχουν παραγωγή μέχρι $200 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ αφαλατωμένου νερού ($\text{TDS} < 5 \text{ ppm}$). Το κόστος του αφαλατωμένου νερού υπολογιζόταν σε $650 \text{ drx}/\text{m}^3$. Κατά τη δοκιμαστική περίοδο λειτουργίας της μονάδας παράγονταν $3.2 \text{ m}^3/\text{h}$ αφαλατωμένου νερού άριστης ποιότητας, με χρήση $50 \text{ m}^3/\text{h}$ γεωθερμικού νερού, (Karytsas et al, 2002b).

7.6.2. ΜΟΝΑΔΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΤΟ ΣΟΥΣΑΚΙ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί μέρος των γεωθερμικών αποθεμάτων στο Σουσάκι Κορινθίας για την παραγωγή $300 \text{ m}^3/\text{day}$ φρέσκου αφαλατωμένου νερού, επιλύοντας έτσι το πρόβλημα λειψυδρίας στην περιοχή. Έτσι θα προκληθεί βιομηχανική, τουριστική και γεωργική ανάπτυξη στην περιοχή των Αγίων Θεοδώρων, Σουσάκι. Με τη χρήση πρωτοποριακής τεχνολογίας βελτιώνεται η ενεργειακή απόδοση και η αποτελεσματικότητα του κόστους της μονάδας αφαλάτωσης (χαμηλής ενθαλπίας). Η μέθοδος αυτή αποτελείται από μία υβριδική μονάδα η οποία συνδυάζει και τους δύο τρόπους γεωθερμικής αφαλάτωσης. Αυτή ονομάζεται hybrid multi effect flash-distillation under vacuum {ME(F-D)}, η οποία συνδυάζει την εκτονωτική εξάτμιση με απόσταξη, σε συνθήκες κενού, σε κατακόρυφους σωλήνες. [Ο]

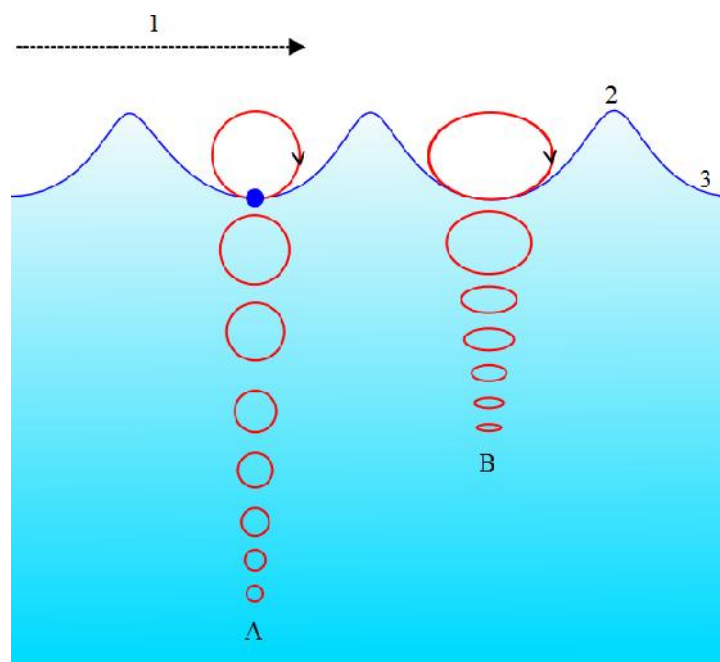
7.7. ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ωκεάνια ενέργεια είναι η ενέργεια που μεταφέρεται στην επιφάνεια των κυμάτων. Αυτή είναι ξεχωριστή από τη ημερήσια ροή της παλλιροϊκής ενέργειας και τη σταθερή ροή των ωκεάνιων ρευμάτων. Η παραγωγή ενέργειας με αυτόν τον τρόπο δεν είναι ευρέως διαδεδομένη, αν και έχουν γίνει προσπάθειες χρήσης της από το 1890. Το 2008 ξεκίνησε να λειτουργεί η πρώτη «φάρμα κυμάτων» στη Πορτογαλία, στο Aguçadoura Wave Park. [90]

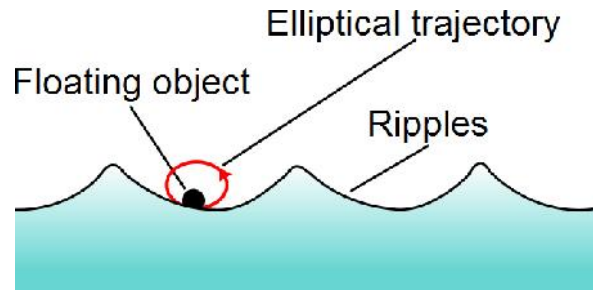
Τα κύματα δημιουργούνται από το πέρασμα του ανέμου πάνω από τη επιφάνεια της θάλασσας. Εφ' όσον τα κύματα διαδίδονται πιο αργά από την ταχύτητα του ανέμου πάνω από αυτά, έχουμε μία μεταφορά ενέργειας από τον άνεμο στα κύματα. Η διαφορά πιέσεων μεταξύ κυμάτων και αέρα, καθώς και η τριβή μεταξύ τους, συμβάλουν στην δημιουργία των κυμάτων. Το ύψος των κυμάτων εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου, τη διάρκεια που ο αέρας φυσάει, την απόσταση στην οποία ο άνεμος διεγείρει τα κύματα και από το βάθος και την γενικότερη τοπογραφία του πυθμένα της θάλασσας. Η ταχύτητα του ανέμου έχει ένα όριο πάνω από το οποίο ο χρόνος ή η απόσταση δεν θα παράγει μεγαλύτερα κύματα.[90]

Σε γενικές γραμμές, τα μεγαλύτερα κύματα είναι τα πιο ισχυρά, αλλά η ενέργεια των κυμάτων καθορίζεται από την ταχύτητα του κύματος, το μήκος του κύματος, καθώς και από την πυκνότητα του νερού. [90]

Τα κύματα διαδίδονται στην επιφάνεια του ωκεανού, και η κυματική ενέργεια μεταφέρεται οριζόντια με την ταχύτητα της ομάδας. Το μέσο ποσοστό μεταφοράς της ενέργειας των κυμάτων μέσα από ένα κάθετο επίπεδο του πλάτους της μονάδας, παράλληλα με την κορυφή του κύματος, ονομάζεται ροή της ενέργειας των κυμάτων (ή κυματική ενέργεια, η οποία δεν πρέπει να συγχέεται με την πραγματική ενέργεια που παράγεται από μια συσκευή ενέργειας από τα κύματα).



Εικόνα 7.3 Τροχιά που ακολουθεί ένα σωματίδιο μέσα στο νερό. Α: βαθιά νερά, Β: ρηχά νερά [89]



Εικόνα 7.4 Καθώς ένα σωματιδίου κινείται πάνω στην επιφάνεια των κυμάτων, ακολουθεί ελλειπτική τροχιά [89]

7.8. ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΥΜΑΤΩΝ

Σε νερά όπου όπου το βάθος είναι μεγαλύτερο από το μισό μήκος κύματος, η ροή της ενέργειας του κύματος είναι: [90]

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_{m0}^2 T \cong \left(0.5 \frac{kW}{m^3 s}\right) H_{m0}^2 T$$

Όπου: P η ροή της ενέργειας των κυμάτων ανά μονάδα κορυφή μήκους κύματος, H_{m0} το μέγιστο ύψος κύματος, T η περίοδος του κύματος, ρ η πυκνότητα και g η επιτάχυνση της βαρύτητας. Η παραπάνω εξίσωση δηλώνει πως η ενέργεια του κύματος είναι ανάλογη με την περίοδο και με το τετράγωνο του ύψους του μέγιστου κύματος. Όταν το H_{m0} δίδεται σε μέτρα και το T σε δευτερόλεπτα, οι μονάδα μέτρησης του αποτελέσματος είναι σε kilowatts ανά μέτρο μήκους του μετώπου του κύματος. [90]

Κατά τη διάρκεια δυνατών καταιγίδων, τα μεγαλύτερα κύματα μπορεί να αγγίζουν και τα 15 μέτρα σε ύψος, με περίοδο 15 δευτερόλεπτα. Με βάση τη παραπάνω εξίσωση, κύματα αυτού του μεγέθους μεταφέρουν 1.7 MW ισχύος σε κάθε μέτρο της ακτής. Μία αποτελεσματική συσκευή απαγωγής ενέργειας κυμάτων καταλαμβάνει όσο το δυνατών περισσότερη ενέργεια από τα κύματα, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του ύψους των κυμάτων, αφού περάσουν από τη συσκευή. [90]

Στη θάλασσα, η μέση ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα επιφάνειας κύματος είναι ανάλογο με το τετράγωνο του ύψους του μέγιστου κύματος, με βάση και την γραμμική θεωρία των κυμάτων: [90]

$$E = \frac{1}{16} \rho g H_{m0}^2$$

Όπου: E η μέση ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα οριζόντιας επιφάνειας (J/m^2), το άθροισμα της κινητικής και δυναμικής ενεργειακής πυκνότητας ανά μονάδα οριζόντιας επιφάνειας. Καθώς τα κύματα διαδίδονται, η ενέργειά τους μεταφέρεται. Η ταχύτητα μεταφοράς ενέργειας είναι ίδια με την ταχύτητα της

ομάδας. Έτσι, η ροή της ενέργειας των κυμάτων, μέσα από ένα κατακόρυφο επίπεδο μίας μονάδας κάθετου πλάτους στην κατεύθυνση διάδοσης του κύματος, ισούται με: [90]

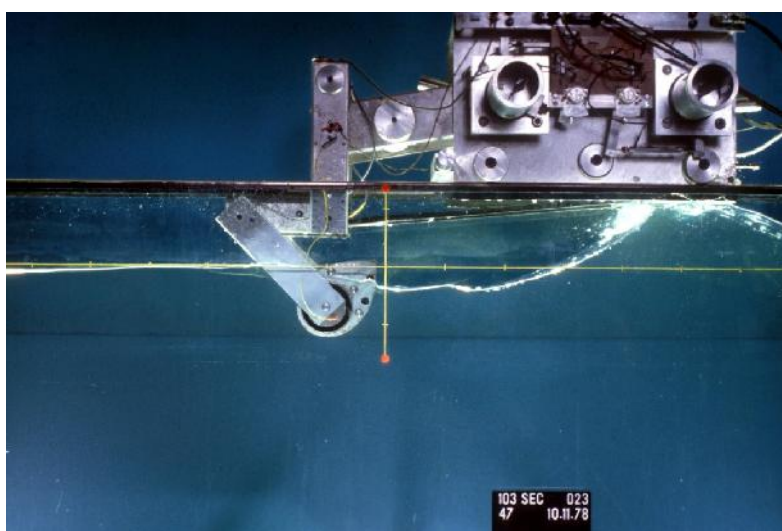
$$P = Ec_g$$

Όπου c_g είναι η ταχύτητα της ομάδας. Λόγω της σχέσης διασποράς για τα κύματα του νερού υπό την επίδραση της βαρύτητας, το c_g εξαρτάται από το μήκος κύματος λ , ή ισοδύναμα από τη περίοδο T . Επιπλέον, η σχέση διασποράς είναι μία εξίσωση του βάθους του νερού, h . Έτσι η c_g συμπεριφέρεται διαφορετικά σε βαθιά ή ρηχή θάλασσα. [90]

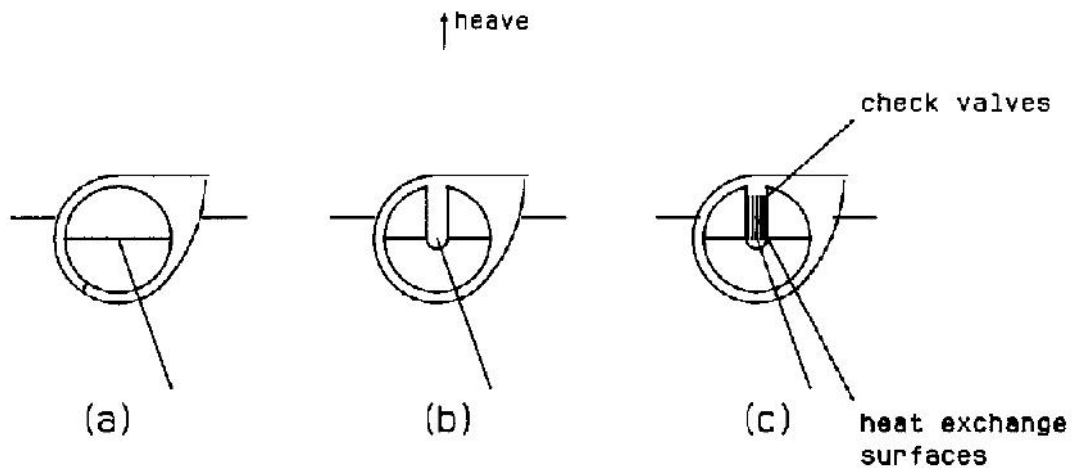
7.9 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Γενικά, αυτού του είδους η αφαλάτωση δεν είναι διαδεδομένη. Η πρώτη ιδέα προτάθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 80 από τους A.J. Cramer, R.E. Low και C.L. Pritchard, από το Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου. Το σύστημα που προτάθηκε ήταν βασισμένο στη χρήση της «Πάπιας του Εδιμβούργου», μίας διάταξης της οποίας η εναλλακτική ονομασία είναι και απορροφητής κυμάτων. Η Πάπια κατασκευάστηκε υπό την καθοδήγηση του καθηγητή S.H. Salter και σκοπός της είναι η απαγωγή ενέργειας από τα κύματα και η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια. Κάτω από ιδανικές συνθήκες η διάταξη έχει απόδοση μεγαλύτερη του 120%. Αυτή η απόδοση επιτυγχάνεται γιατί το μέτωπο του κύματος από το οποίο απορροφά ενέργεια η Πάπια είναι μεγαλύτερο από τις δικές της διαστάσεις (ακριβώς όπως απορροφά μία κεραία τα ραδιοκύματα). Δοκιμές με μικρό μοντέλο σε δεξαμενή με προσομοιωμένα κύματα έδωσε απόδοση της τάξης του 90%. [90]

Η Πάπια είναι μία καμπυλωτή διάταξη, δεμένη με άξονες κάθετα στην κατεύθυνση του κύματος. Σε ήρεμα νερά, τα 50-70% της διάταξης είναι βυθισμένο, με τη μύτη της να είναι στραμμένη στο επερχόμενο κύμα. [90]



Εικόνα 7.5 Δοκιμή της Πάπιας του Εδιμβούργου σε δεξαμενή.



Εικόνα 7.6 Ανάπτυξη της ιδέας της VC στην Πάπια. [90]

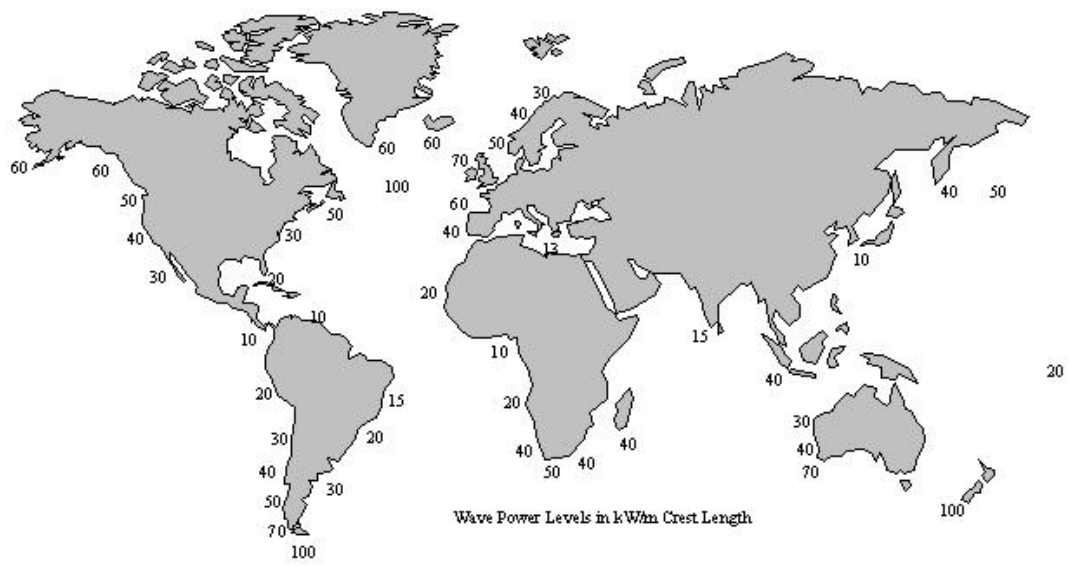
Σκοπός της όλης διάταξης είναι να πραγματοποιείται αφαλάτωση με συμπίεση ατμού μέσα στη Πάπια, καθώς ο πυρήνας της είναι κοίλος και κυλινδρικός. Καθώς η διάταξη κινείται το νερό στο εσωτερικό της θα παρέμενε σχεδόν ακίνητο, και θα δρούσε σαν αδρανειακό σύστημα αναφοράς. [90]

Στο σχήμα 7.6b παρατηρούμε ένα εμπόδιο το οποίο διχοτομεί τον εσωτερικό χώρο της Πάπιας. Καθώς, λοιπόν, το «ράμφος» της Πάπιας σηκώνεται, ο χώρος υδρατμών στα δεξιά μεγαλώνει, ενώ το αριστερό συμπιέζεται. Αφού το κύμα περάσει και το δεξί τμήμα της Πάπιας πέσει, η κίνηση αντιστρέφεται. Αυτή είναι η βάση ενός πολύ μεγάλου και αργοκίνητου παλινδρομικού συμπιεστή διπλής δράσης. Η αφαλάτωση γίνεται με ένα σύστημα εξατμιστή/συμπυκνωτή που βρίσκεται στο κεντρικό εμπόδιο (7.6c) και συνδέεται με τους χώρους ατμών με τη βοήθεια βαλβίδων αντεπιστροφής. [90]

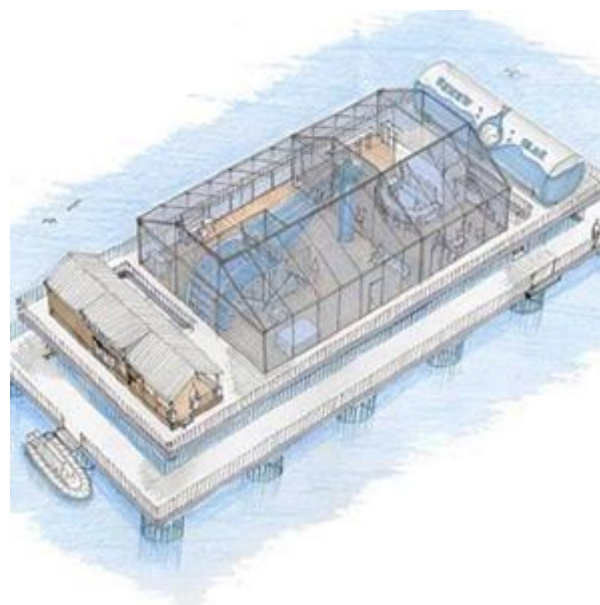
Με βάση την αρχική μοντελοποίηση υπολογίστηκε πως μία τέτοια διάταξη, με διαστάσεις 20m μήκος και 6m διάμετρο, με μία επιφάνεια ανταλλαγής θερμότητας 4000m^2 , δουλεύοντας με κύματα $15\text{-}20\text{kW/m}$, θα μπορούσε να παρέχει $1000\text{m}^3/\text{μέρα}$. [90]

Η παραπάνω διαδικασία είναι μία πρόταση που έγινε από το Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου στα τέλη της δεκαετίας του 80. Ο πιο απλός τρόπος αφαλάτωσης με κυματική ενέργεια είναι με τη χρήση της Πάπιας, αυτή τη φορά όμως δεν περιέχει κοίλο κομμάτι. Η Πάπια χρησιμοποιείται για παραγωγή ενέργειας, η οποία με τη σειρά της τροφοδοτείται σε μονάδα αφαλάτωσης RO. [90]

Πάντως η αφαλάτωση από κυματική ενέργεια δεν είναι διαδεδομένη. Μόνο μία μονάδα χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή, στο Τέξας, και είναι καινούρια πιλοτική διάταξη. [90]



Εικόνα 7.7 World wave power resource [90]



Εικόνα 7.8 Σκίτσο της μονάδας αφαλάτωσης με ενέργεια κυμάτων στο Τέξας των ΗΠΑ

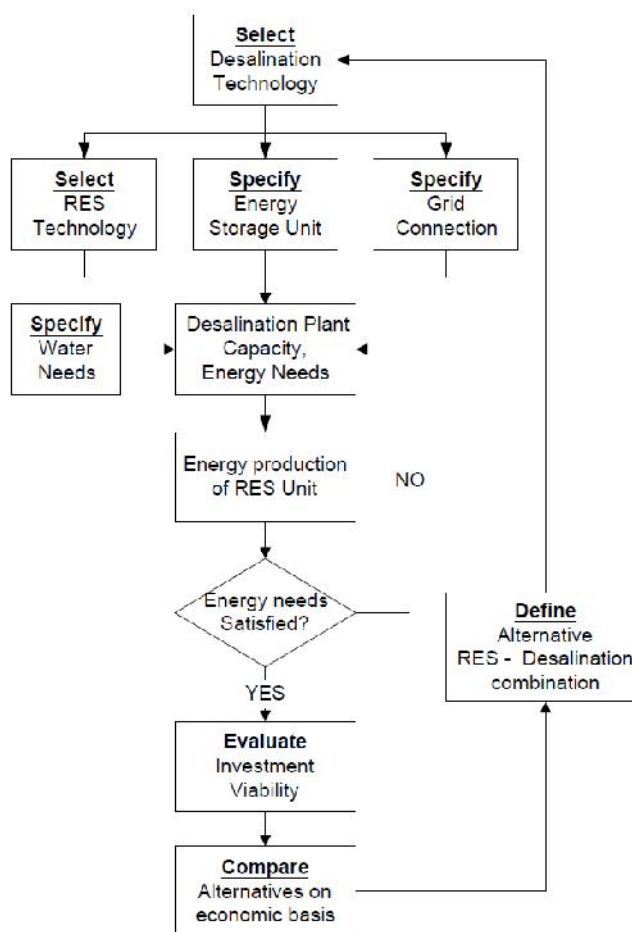
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ – ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΝΕΡΟΥ

8.1. ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Δυστυχώς δεν υπάρχει κάποιος ευθύς τρόπος επιλογής του κατάλληλου συνδυασμού τεχνολογίας ΑΠΕ και τρόπου αφαλάτωσης για κάποια μελέτη περίπτωσης. Ο σωστότερος τρόπος προσέγγισης είναι ο επαναληπτικός, ο οποίος προϋποθέτει μία προσεκτική αξιολόγηση των διαθέσιμων επιλογών ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουμε θέσει, δηλαδή να καλυφθεί η ζήτηση νερού και το έργο να είναι οικονομικά βιώσιμο. Η λήψη αποφάσεων επηρεάζεται από παράγοντες όπως η ποσότητα και ποιότητα του νερού τροφοδοσίας, οι προδιαγραφές του αφαλατωμένου νερού, ο τύπος και το μέγεθος της ΑΠΕ που έχουμε αποφασίσει να εκμεταλλευτούμε και η εμπορική ωριμότητα της τεχνολογίας που έχουμε αποφασίσει να χρησιμοποιήσουμε. Λαμβάνοντας τα παραπάνω υπόψη να αποφασίσουμε ποιος θα είναι ο βέλτιστος συνδυασμός για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Τέλος πρέπει να συμπεριλάβουμε στους υπολογισμούς μας τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας καθώς και τις οικονομικές απαιτήσεις του έργου.

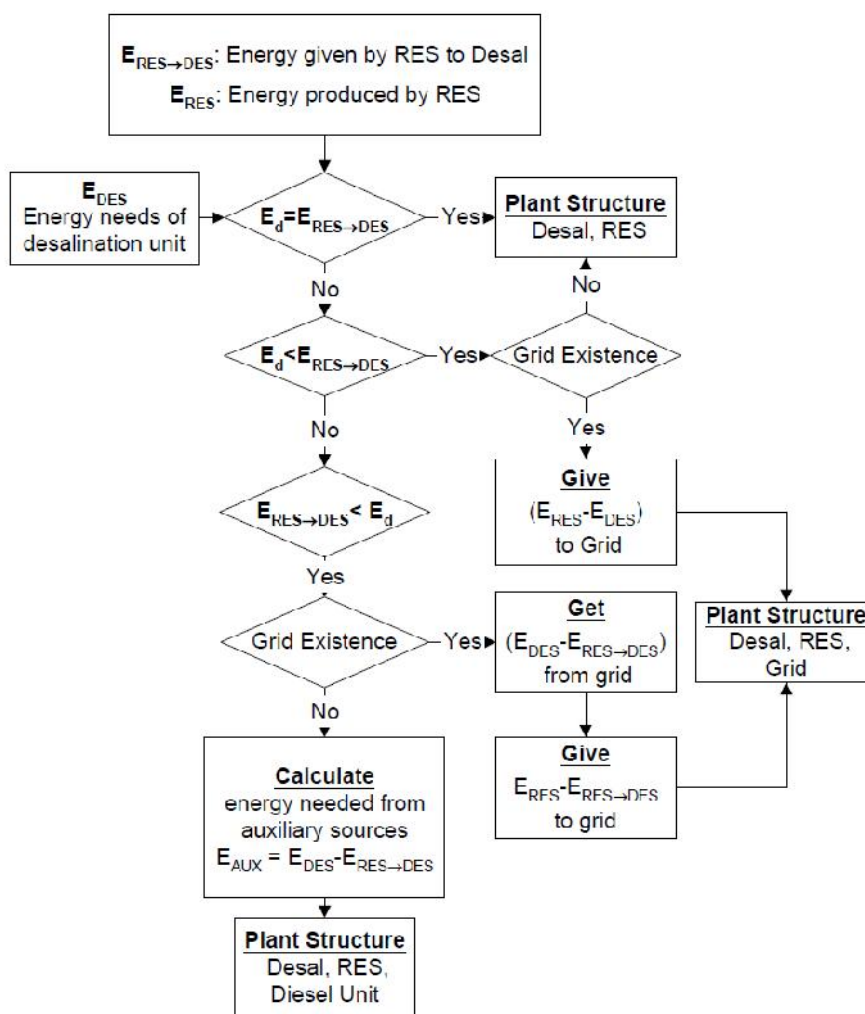
Ο τελικός αλγόριθμος σχεδιασμού παρουσιάζεται στην **Εικόνα 8.1**. Το πρώτο βήμα της προτεινόμενης προσέγγισης αποτελείται από τον ορισμό μίας λίστας με τις τεχνολογίες που μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες μας σε νερό. Στο δεύτερο βήμα, μελετούμε την κάθε επιλογή ώστε να προσδιορίσουμε την χωρητικότητα της μονάδας, τη δομή της μονάδας ισχύος και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά. Το τρίτο και τελευταίο βήμα γίνεται μία οικονομική ανάλυση της επένδυσης με βάση τον συνδυασμό τεχνολογίας ΑΠΕ και τρόπου αφαλάτωσης. Τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας εκτιμούνται, αξιολογώντας έτσι και την τιμή πώλησης του παραγόμενου νερού. Έχοντας την τιμή πώλησης νερού σαν μέτρο σύγκρισης μπορούμε να συγκρίνουμε τους πιθανούς συνδυασμούς τεχνολογιών μεταξύ τους και να επιλέξουμε τον καλύτερο. [91]



Εικόνα 8.1 Αλγόριθμος σχεδιασμού μονάδας ΑΠΕ-Αφαλάτωσης [91]

8.1.1. ΑΡΧΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΠΕ – ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Η χωρητικότητα της μονάδας και τα ημερήσια και εποχιακά κόστη καθορίζονται από τη ζήτηση νερού. Ο τρόπος αφαλάτωσης επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη τη χωρητικότητα της μονάδας, την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας και την ποσότητα του νερού που πρέπει να παράγεται. Τέλος, η χωρητικότητα της μονάδας, η αλατότητα του νερού τροφοδοσίας όπως και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μονάδας καθορίζουν τις ενεργειακές απαιτήσεις κάθε τρόπου αφαλάτωσης. [91]



Εικόνα 8.2 Αλγόριθμος για την εκτίμηση των ετήσιων ενεργειακών ροών και το μέγεθος της εγκατάστασης [91]

Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι το βέλτιστο ταίριασμα της ισχύος εξόδου της ΑΠΕ με τη ζήτηση σταθερής ενέργειας που έχει η διαδικασία αφαλάτωσης. Η διαχείριση ενέργειας και η διαχείριση ζήτησης είναι οι δύο λύσεις στο παραπάνω πρόβλημα. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιείται μία κατάλληλα ελεγχόμενη υβριδική μονάδα ΑΠΕ, η οποία είναι σε θέση να παρέχει μια σταθερή παραγωγή ενέργειας και το μέγεθός της καλύπτει την ονομαστική ζήτηση ισχύος της διαδικασίας αφαλάτωσης. Στη δεύτερη περίπτωση, η διαδικασία της αφαλάτωσης λειτουργεί μόνο όταν η ενεργειακή απόδοση της μονάδας ΑΠΕ είναι σε θέση να καλύψει τη ζήτηση ενέργειας. Η ανάλυση κόστους και τη σύγκριση μεταξύ των εναλλακτικών

συνδυασμών ΑΠΕ –Αφαλάτωσης μπορεί να επισημάνει το βέλτιστη λύση για κάθε διαφορετική περίπτωση. Η ενεργειακή ισορροπία, μεταξύ της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ και των ενεργειακών απαιτήσεων των διεργασιών αφαλάτωσης, χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της χωρητικότητας της μονάδας. [91]

Ο αλγόριθμος για την ανάλυση της ενεργειακής ροής σε ολόκληρη τη μονάδα και ο καθορισμός των αναγκών σε ενέργεια τροφοδοσίας εξόδου φαίνεται στην **Εικόνα 8.2**. Το δυναμικό της ΑΠΕ και ο διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση της μονάδας ΑΠΕ καθορίζει τη μέγιστη χωρητικότητα της μονάδας ισχύος και την παραγωγή ενέργειας. Η ενέργεια που παράγεται από τις ΑΠΕ ποικίλλει ανάλογα με το είδος τους και μόνο όταν φτάνει τις απαιτήσεις ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης παρέχεται σε αυτήν. Σε περίπτωση περίσσειας ενέργειας, αυτή πωλείται στο δίκτυο. Σε περίπτωση που οι ανάγκες της αφαλάτωσης δεν μπορούν να καλυφθούν μόνο με ΑΠΕ, χρησιμοποιούνται εξωτερικές πηγές (δίκτυο, γεννήτριες, μπαταρίες κλπ). [91]

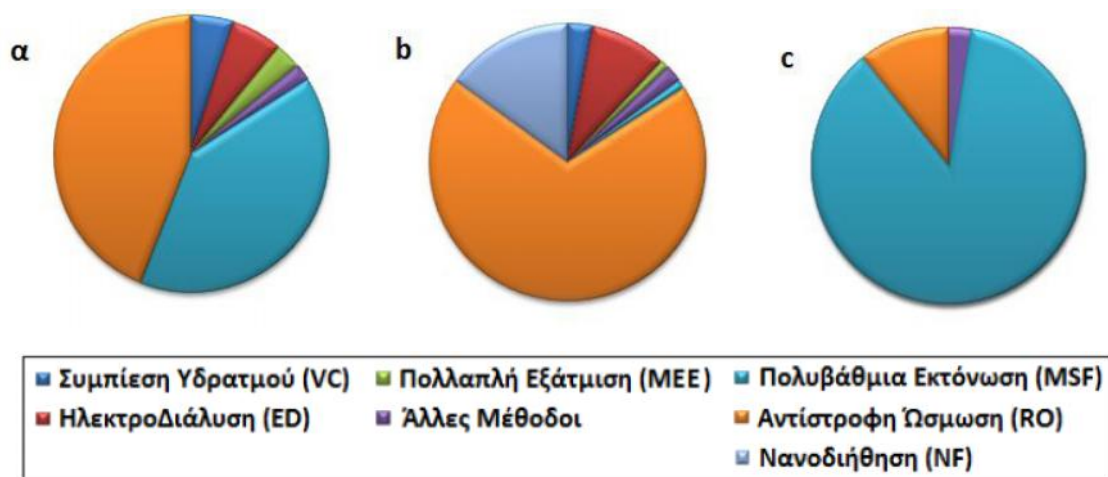
Αν η ενέργεια που παρέχεται από τις ΑΠΕ πληροί τις ενεργειακές απαιτήσεις της μονάδας αφαλάτωσης, τότε δεν υπάρξει ανάγκη χρήση κάποιας εξωτερικής πηγής ενέργειας. Ένα βοηθητικό σύστημα παροχής ενέργειας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να αντισταθμίσει τις περιόδους χαμηλής διαθεσιμότητας ΑΠΕ.

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό μιας μονάδας αφαλάτωσης είναι να έχει καλή αναλογία μεταξύ του κόστους και της αποδοτικότητάς της. Το κόστος της μονάδας προϊόντος επηρεάζεται από μερικούς σχεδιαστικούς και λειτουργικούς παράγοντες στους οποίους περιλαμβάνονται οι παρακάτω: [91]

- **Αλατότητα και ποιότητα του νερού τροφοδοσίας**. Μικρότερη συγκέντρωση άλατος επιτρέπει υψηλότερο βαθμό μετατροπής. Ως αποτέλεσμα, το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει με χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση και δόση χημικών συστατικών.
- **Δυναμικότητα του συστήματος**. Μεγαλύτερης δυναμικότητας συστήματα μειώνουν το κόστος κεφαλαίου ανά μονάδα προϊόντος. Αν και η αύξηση της δυναμικότητας του συστήματος περιλαμβάνει υψηλότερο κεφάλαιο.
- **Συνθήκες τοποθεσίας**. Η εγκατάσταση νέων μονάδων σαν προσθήκη σε υφιστάμενες τοποθεσίες, θα εξαλείψει το κόστος που σχετίζεται με εγκαταστάσεις για την πρόσληψη νερού τροφοδοσίας, για διαχείριση της άλμης και προεπεξεργασίας του νερού τροφοδοσίας.
- **Καταρτισμένο ανθρώπινο δυναμικό**. Η διαθεσιμότητα καταρτισμένου προσωπικού (λειτουργών, μηχανικών και διαχειριστών) μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη λειτουργία του συστήματος, δυναμικότητα παραγωγής και χρόνου συντήρησης.
- **Ενεργειακό κόστος**. Η διαθεσιμότητα ανέξοδων πηγών για χαμηλό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας έχει σημαντικό αντίκτυπο στο κόστος του προϊόντος ανά μονάδα.
- **Διάρκεια ζωής του έργου και απόσβεση**. Αύξηση της διάρκειας ζωής του έργου μειώνει το κόστος κεφαλαίου του προϊόντος.

Οι υπολογισμοί του κόστους της μονάδας προϊόντος εξαρτώνται από την δυναμικότητα της διεργασίας, τα χαρακτηριστικά της περιοχής και τις σχεδιαστικές ιδιότητες. Η δυναμικότητα του συστήματος καθορίζει τα μεγέθη του εξοπλισμού διαφόρων διεργασιών, μονάδων άντλησης αλλά και της επιφάνειας των μεμβρανών. Τα χαρακτηριστικά στοιχεία της περιοχής έχουν μια δυνατή επίδραση τόσο στον τύπο επεξεργασίας που θα εφαρμοστεί πριν και μετά την διεργασία αφαλάτωσης όσο και στον βαθμό κατανάλωσης των χημικών ουσιών. Επίσης, οι σχεδιαστικές ιδιότητες της διεργασίας επηρεάζουν την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας, του ατμού θέρμανσης και των χημικών. [91]

Το κόστος παραγωγής ενός συστήματος αφαλάτωσης χωρίζεται στο άμεσο και έμμεσο κόστος καθώς και στο ετήσιο κόστος λειτουργίας. Τα στοιχεία που καθορίζουν την κάθε κατηγορία περιγράφονται στα ακόλουθα σημεία, ενώ παρουσιάζονται σχηματικά στην *Εικόνα 8.3*:



Εικόνα 8.3: Κατανομή της παραγωγικής ικανότητας αφαλάτωσης ανάλογα με την μέθοδο που χρησιμοποιείται (α)Παγκοσμίως, (β)στα Ηνωμένα Έθνη, (c)στη Μέση Ανατολή (συμπεριλαμβάνονται η Σαουδική Αραβία, Κουβέιτ, Κατάρ, Μπαχρέιν και Ομάν.) [45]

8.1.2. ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

✚ Άμεσο Κόστος

Το άμεσο κόστος κεφαλαίου καλύπτει το κόστος αγοράς διάφορων τύπων εξοπλισμού και το κόστος της έκτασης, της κατασκευής και της οικοδόμησης. Παρακάτω δίνονται συνοπτικές περιγραφές για διάφορα κόστη ενεργειών και αντικειμένων. [1]

- Κόστος Έκτασης. Αυτό το κόστος μπορεί να ποικίλλει από μηδέν έως ένα ποσό το οποίο εξαρτάται από τις ιδιότητες της περιοχής. Τα κρατικά συστήματα αφαλάτωσης κανονικά έχουν μηδενική χρέωση. Επίσης, έργα τα οποία γίνονται σε συνεργασία με κυβερνητικούς ή κοινοτικούς παράγοντες

μπορούν να επιτύχουν αρκετά μειωμένες ή ακόμα και μηδενικές επιβαρύνσεις όσον αφορά το κόστος της εκμεταλλεύσιμης έκτασης.

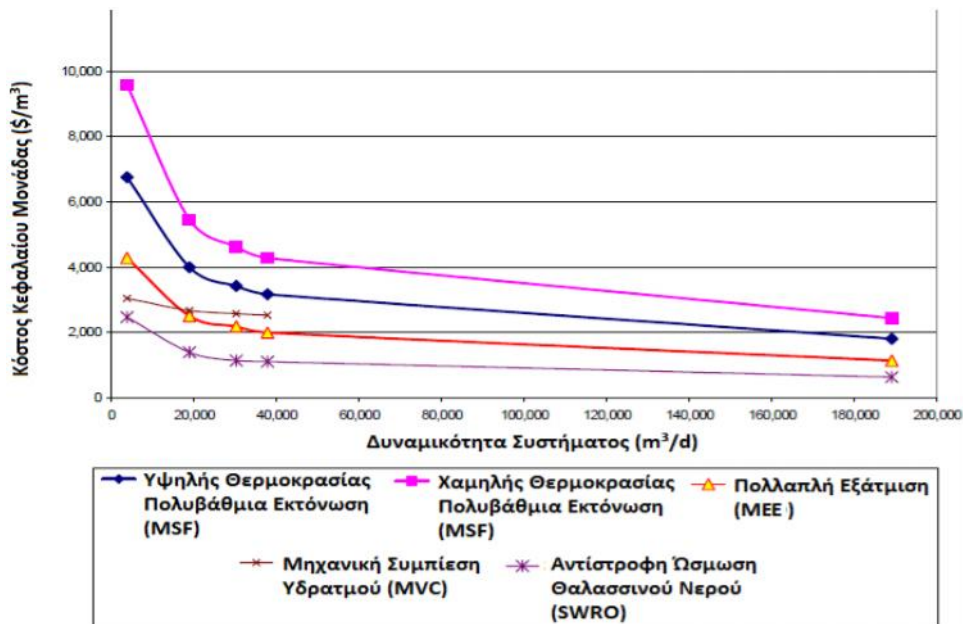
- [Παροχή από πηγάδι](#). Πρόσφατες εκτιμήσεις δείχνουν 650\$/m βάθους για την κατασκευή. Η μέση δυναμικότητα ενός πηγαδιού εκτιμάται σε 500 m³/d.
- [Εξοπλισμός Διεργασίας](#). Αυτό είναι ένα από τα πλέον σημαντικά στοιχεία κόστους και εξαρτάται από τον τύπο της διεργασίας και την δυναμικότητα. Το κόστος του εξοπλισμού της διεργασίας μπορεί να είναι λιγότερο από \$1000 και ένα ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί μια μονάδα αντίστροφης όσμωσης εργαστηριακής κλίμακας που λειτουργεί με νερό χαμηλής περιεκτικότητας αλατιού για μικρή οικιακή παραγωγή.

Από την άλλη πλευρά, το κόστος ενός εξοπλισμού αντίστροφης όσμωσης παραγωγής 100.000 m³/d είναι περίπου \$50×10⁶. Το κόστος εξοπλισμού της πολυβάθμιας εκτόνωσης και της πολλαπλής εξάτμισης είναι μεγαλύτερο από αυτό των διεργασιών αντίστροφης όσμωσης και σύμφωνα με πρόσφατες ενδείξεις φτάνει τα \$40×10⁶ για σύστημα δυναμικότητας 27.000 m³/d. Τα αντικείμενα τα οποία περιλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία είναι: [1]

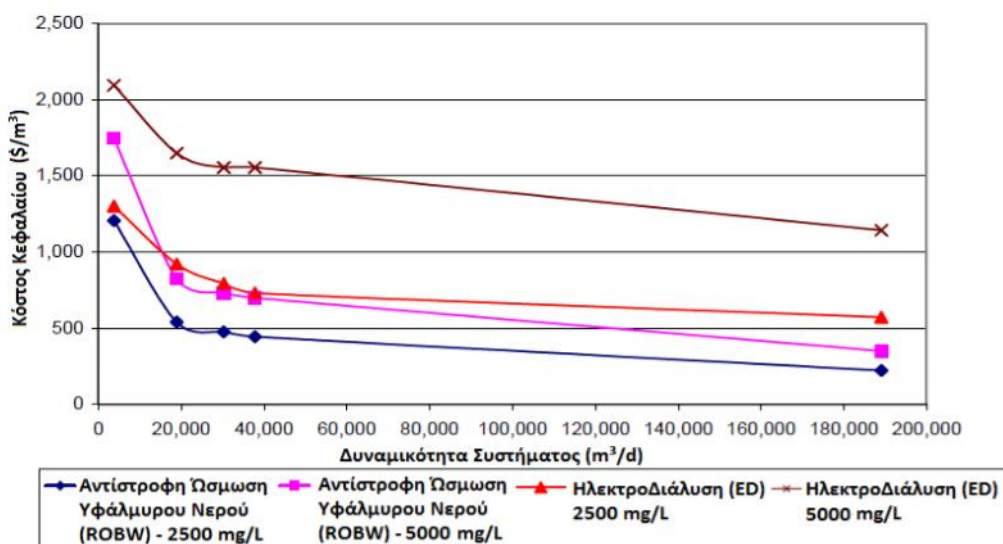
- ✓ Ο εξοπλισμός της διεργασίας.
 - ✓ Τα όργανα ελέγχου.
 - ✓ Τα ηλεκτρικά καλώδια.
 - ✓ Οι Αντλίες.
 - ✓ Τα συστήματα καθαρισμού της διεργασίας.
 - ✓ Τα συστήματα επεξεργασίας πριν και μετά τη διεργασία.
 - ✓ Η γραμμή δικτύου πρόσληψης θαλασσινού νερού και απόρριψης της άλμης.
 - ✓ Τα συστήματα χλωρίωσης
- [Βοηθητικός Εξοπλισμός](#). Σε αυτόν περιλαμβάνονται:
 - ✓ Ανοιχτός κύκλος πρόσληψης ή πηγάδι.
 - ✓ Σωληνώσεις μεταφοράς.
 - ✓ Δεξαμενές αποθήκευσης.
 - ✓ Γεννήτριες και μετατροπείς
 - ✓ Αντλίες
 - ✓ Σωληνώσεις και βαλβίδες
 - [Κόστος οικοδόμησης](#). Το κόστος οικοδόμησης κυμαίνεται μέσα σε ένα μεγάλο εύρος τιμών από \$100/m² έως \$1000/m². Το εύρος αυτό διαμορφώνεται από τις ιδιότητες της περιοχής και τον τύπο οικοδόμησης. Στο κόστος οικοδόμησης περιλαμβάνονται τα παρακάτω:
 - ✓ Δωμάτιο ελέγχου
 - ✓ Εργαστήριο
 - ✓ Γραφεία
 - ✓ Συνεργείο

- Κόστος Μεμβρανών. Το κόστος αυτό εξαρτάται από την δυναμικότητα του συστήματος και κυμαίνεται από \$500 έως \$1000 ανά μονάδα, έχοντας βαθμούς παραγωγής που κυμαίνεται από 50-100 m³/d.

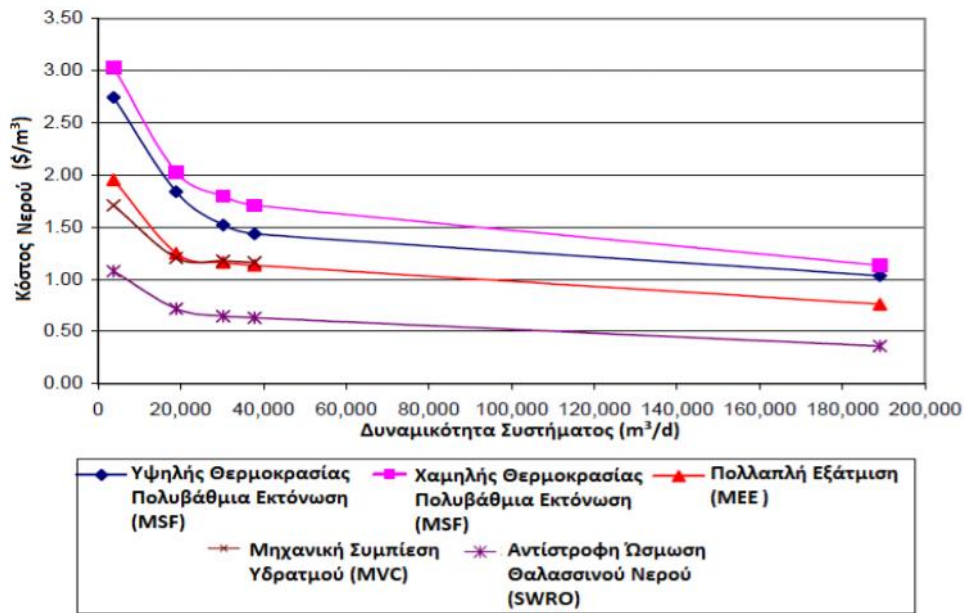
Ένα ενδεικτικό κόστος κεφαλαίου ανά μονάδα για την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού παρουσιάζεται στα διαγράμματα των **Εικόνων 8.4** και **8.5** αντίστοιχα. Ακόμα το ενδεικτικό κόστος του νερού για κάθε διεργασία αφαλάτωσης παρουσιάζεται στην **Εικόνα 8.6** για θαλασσινό νερό τροφοδοσίας και στην **Εικόνα 8.7** για υφάλμυρο νερό τροφοδοσίας. [49]



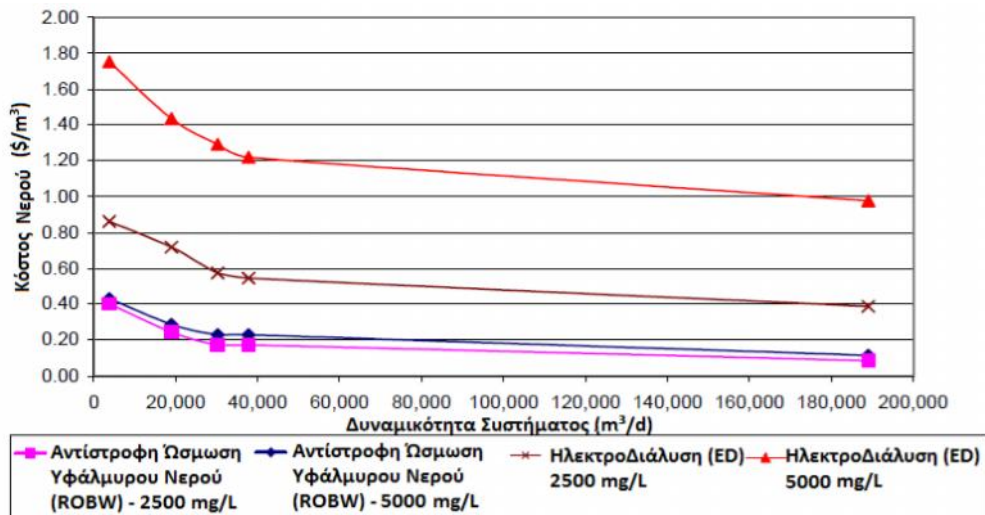
Εικόνα 8.4 Κόστος κεφαλαίου αφαλάτωσης θαλασσινού νερού. [49]



Εικόνα 8.5 Κόστος κεφαλαίου αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού [49]



Εικόνα 8.6 Κόστος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού τροφοδοσίας. [49]



Εικόνα 8.7 Κόστος αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού τροφοδοσίας. [49]

✚ Έμμεσο Κόστος

Όλα τα κόστη των αντικειμένων που περιλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία είναι εκφρασμένα ως ποσοστά επί τοις εκατό του συνολικού άμεσου κόστους κεφαλαίου. Στα έμμεσα κόστη κεφαλαίου περιλαμβάνονται τα παρακάτω: [1]

- [Ναύλα και ασφάλιση](#). Αυτό το κόστος είναι ίσο με το 5% του ολικού άμεσου κόστους.
- [Γενικά Έξοδα Κατασκευής](#). Αυτό το κόστος είναι ίσο με το 15% του άμεσου κόστους υλικών και εργασίας και μετά προσαρμόζεται στο μέγεθος, δηλαδή το ολικό κόστος κεφαλαίου, του συστήματος. Σε αυτό περιλαμβάνονται τα ακόλουθα:

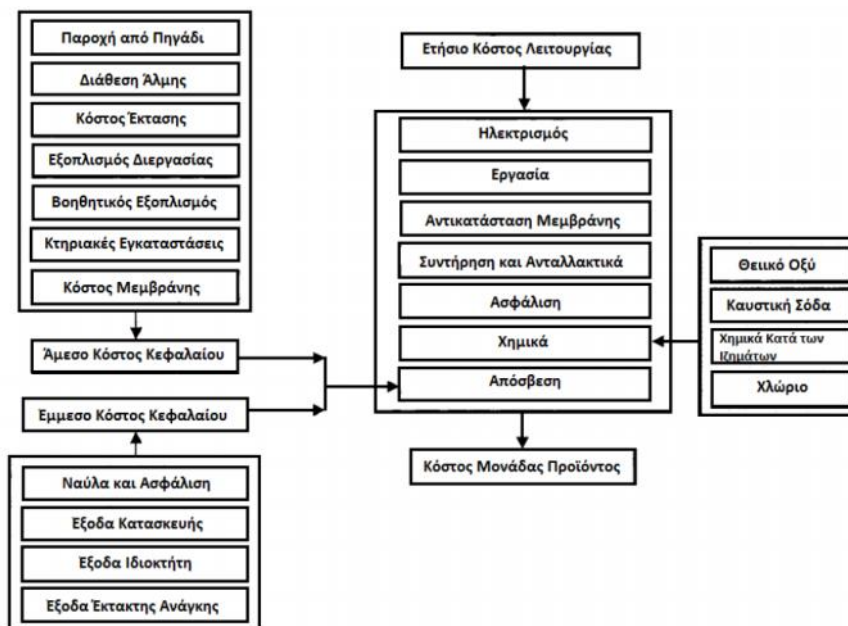
- ✓ Πρόσθετες παροχές.
 - ✓ Φόρτο εργασίας.
 - ✓ Επιβλέπων άτομα.
 - ✓ Προσωρινές εγκαταστάσεις.
 - ✓ Κατασκευαστικός εξοπλισμός.
 - ✓ Μικρά εργαλεία.
 - ✓ Κέρδη ανάδοχου κατασκευαστή.
- Έξοδα Ιδιοκτήτη. Ανέρχονται στο 10% του άμεσου κόστους υλικών και εργασίας και μετά προσαρμόζονται στο μέγεθος, δηλαδή το ολικό κόστος κεφαλαίου, του συστήματος (περιλαμβάνονται μηχανικά και νομικά έξοδα).
 - Έξοδα Έκτακτης Ανάγκης. Καταλαμβάνουν το 10% του ολικού άμεσου κόστους.

Κόστος Λειτουργίας

Το κόστος λειτουργίας καλύπτει όλες τις δαπάνες που πραγματοποιούνται μετά την ανάθεση των συστημάτων και κατά την διάρκεια της πραγματικής τους λειτουργίας. Σε αυτά περιλαμβάνονται η εργασία, η ενέργεια, τα χημικά, τα ανταλλακτικά μέρη και διάφορα άλλα που προκύπτουν στην πορεία. Ακολουθεί σύντομη ανάλυση των όσων ανήκουν σε αυτή την κατηγορία: [1]

- Ηλεκτρισμός. Το κόστος αυτό κυμαίνεται σε ένα εύρος του 0.04-0.09 kWh. Το ανώτατο όριο είναι χαρακτηριστικό των Ευρωπαϊκών χωρών ενώ το κατώτατο το βρίσκουμε στις χώρες του Κόλπου και στα Ηνωμένα Έθνη.
- Εργασία. Το κόστος αυτό είναι χαρακτηριστικό της περιοχής και εξαρτάται κατά πόσο το έργο είναι κρατικό ή ιδιωτικό. Επιπλέον, οι πρόσφατες τάσεις, όσον αφορά την λειτουργία των έργων, έχουν ως στόχο για τις αναθέτουσες λειτουργίες και τα έξοδα συντήρησης. Αυτό μειώνει το ανθρώπινο δυναμικό πλήρους απασχόλησης.
- Αντικατάσταση Μεμβράνης. Αυτή κυμαίνεται στο 5-20%/χρόνο. Το κατώτατο όριο εφαρμόζεται για υφάλμυρο νερό χαμηλής περιεκτικότητας άλατος που υποστηρίζεται από την σωστή λειτουργία του συστήματος και την προκατεργασία του, ενώ το ανώτατο αντιπροσωπεύει θαλασσινό νερό υψηλής αλατότητας, παρόμοιο με τις περιοχές του Κόλπου, σε συνδυασμό με σύστημα χαμηλής λειτουργίας προεπεξεργασίας ύδατος.
- Συντήρηση και Ανταλλακτικά. Αυτό το κόστος μπορεί να αντιστοιχεί σε μια τιμή χαμηλότερη από το 2% του συνολικού κόστους κεφαλαίου που χρησιμοποιείται ως ετήσιο ποσοστό.
- Ασφάλιση. Αυτή ανέρχεται στο 0,5% του ετήσιου κόστους κεφαλαίου.
- Απόσβεση και Πάγια Τέλη. Το μέγεθος αυτό αναφέρεται στην ετήσια πληρωμή που καλύπτει το συνολικό ποσό του έμμεσου και άμεσου κόστους. Η εμπειρία στον τομέα αφαλάτωσης έδειξε ότι η απόσβεση 30 χρόνων είναι επαρκής. Όσον αφορά το επιτόκιο, η μέση τιμή του είναι 5% και θα πρέπει να εξετάζεται στην οικονομική ανάλυση.

- **Χημικά.** Στα χημικά που χρησιμοποιούνται για την προεργασία και τον καθαρισμό του νερού τροφοδοσίας περιλαμβάνονται τον θειικό οξύ, η καυστική σόδα, το χλώριο και διάφορα χημικά ενάντια στην ιζηματοποίηση. Τα κόστη αυτών μπορεί να επηρεάζονται από την διαθεσιμότητα κοντινών κατασκευαστών αλλά και από τις τιμές της παγκόσμια αγοράς. Επίσης, η χημική επεξεργασία διαφέρει για τις θερμικές διεργασίες και τις διεργασίες μεμβρανών, όπου για τις τελευταίες το ειδικό κόστος είναι μεγαλύτερο. Ακόμα, η επεξεργασία εξαρτάται από την υψηλότερη θερμοκρασία της άλμης και την συγκέντρωση άλατος του νερού τροφοδοσίας.



Εικόνα 8.8. Στοιχεία Κόστους Διεργασιών Αφαλάτωσης [1]

8.2. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ

Η οικονομική ανάλυση της προτεινόμενης επένδυσης περιλαμβάνει την εκτίμηση του κεφαλαίου και των λειτουργικών δαπανών, την εκτίμηση της συνολικής έκπτωσης του κόστους του νερού και την αξιολόγηση στην αναμενόμενη τιμή πώλησης του νερού. [91]

Ο δείκτης κερδοφορίας (profitability index, PI) ορίζεται ως η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης ανά μονάδα αρχικής επένδυσης κεφαλαίου (εξίσωση 8A) και παρέχει ένα μέτρο της ελάχιστου περιθωρίου κερδοφορίας, το οποίο προσδιορίζει τη διαφορά της έκπτωσης κόστους και τιμής πώλησης. Θετικές τιμές στον δείκτη κερδοφορίας δείχνουν ότι η επένδυση είναι βιώσιμη, ενώ αρνητικές τιμές σημαίνουν πως η συνολική έκπτωση κόστους είναι υψηλότερη από την αναμενόμενη τιμή πώλησης του νερού. [91]

$$PI = \frac{NPV}{C_{INV}} \quad (8A)$$

Η καθαρή παρούσα αξία (NPV) της επένδυσης υπολογίζεται από τον τύπο 8B. [91]

$$NPV = \frac{SP_W \cdot Q_W \cdot SP_E \cdot Q_E - C_{INV} \cdot CR - C_{O\&M}}{R} \quad (8B)$$

Η συνολική έκπτωση του κόστους του νερού είναι συνάρτηση της αρχικής επένδυσης και του κόστους λειτουργίας συν το κόστος συντήρησης των ΑΠΕ της μονάδας αφαλάτωσης. Τόσο η μονάδα αφαλάτωσης όσο και το κόστος των ΑΠΕ λαμβάνονται υπόψη κατά την εκτίμηση του κόστους παραγωγής νερού. Σε περίπτωση που η μονάδα είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο τα έσοδα από πωλήσεις ενέργειας πρέπει να μην ληφθούν υπόψη καθώς ένα μέρος του κόστους της μονάδας καλύπτεται από τα έσοδα αυτά. Έτσι δεν επηρεάζουν το κόστος του νερού. [91]

$$DC_W = \frac{C_I \cdot R + C_{O\&M} - SP_E \cdot Q_E}{Q_W} \quad (8Γ)$$

Ο δείκτης κερδοφορίας χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αναμενόμενης τιμής πώλησης του νερού με βάση την συνολική έκπτωση του κόστους του συστήματος ΑΠΕ –Αφαλάτωση. Λαμβάνοντας υπόψη τις εξισώσεις 8Α – 8Γ, η τιμή πώλησης του νερού μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση 8Δ. [91]

$$SP_W = \frac{C_I \cdot R}{Q_W} \cdot PI + DC_W \quad (8Δ)$$

Η σύγκριση μεταξύ συστημάτων ΑΠΕ-Αφαλάτωσης βασίζεται στην εκτιμώμενη τιμή πώλησης του νερού ή την ολική έκπτωση κόστους. Επιπλέον, οι εκτιμώμενη τιμή του νερού μπορεί να συγκριθεί με τις πραγματικές τιμές πώλησης του, προκειμένου να προσδιοριστεί κατά πόσο η επένδυση είναι ανταγωνιστική προς τις συμβατικές μεθόδους ύδρευσης. Η διακύμανση της τιμής του νερού πώλησης με τον δείκτη κερδοφορίας βοηθά την λήψη αποφάσεων για τον προσδιορισμό της τιμής πώλησης που ταιριάζει καλύτερα στις οικονομικές απαιτήσεις του επενδυτή. Βασισμένοι στην εξίσωση 8Δ παρατηρούμε πως η γραφική παράσταση της τιμής πώλησης νερού με τον δείκτη κερδοφορίας είναι μία ευθεία γραμμή. Η κλίση της γραμμής εξαρτάται από την αρχική επένδυση, τις παραμέτρους χρηματοδότησης της επένδυσης (διάρκεια ζωής, προεξοφλητικό επιτόκιο) και την χωρητικότητα της μονάδας. Όσο μεγαλύτερη η κλίση, τόσο μεγαλύτερο είναι και το επενδυτικό ενδιαφέρον, καθώς μία μικρή αύξηση στην τιμή πώλησης αυξάνει αισθητά τον δείκτη κερδοφορίας και κατά συνέπεια και την καθαρή παρούσα αξία. Άρα ψηλότερες PI οδηγούν σε ψηλότερα εισοδήματα, τα οποία συνεπάγονται σε επικερδείς επενδύσεις. [91]

8.3. ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

Μέχρι σήμερα, η έλλειψη αυτή αντιμετωπιζόταν με τη μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία με υψηλό κόστος που κυμαινόταν από 5-8 €/m³ [Υ]. 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 τη σημαντικότερη έλλειψη σε πόσιμο νερό.

8.3.1. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ

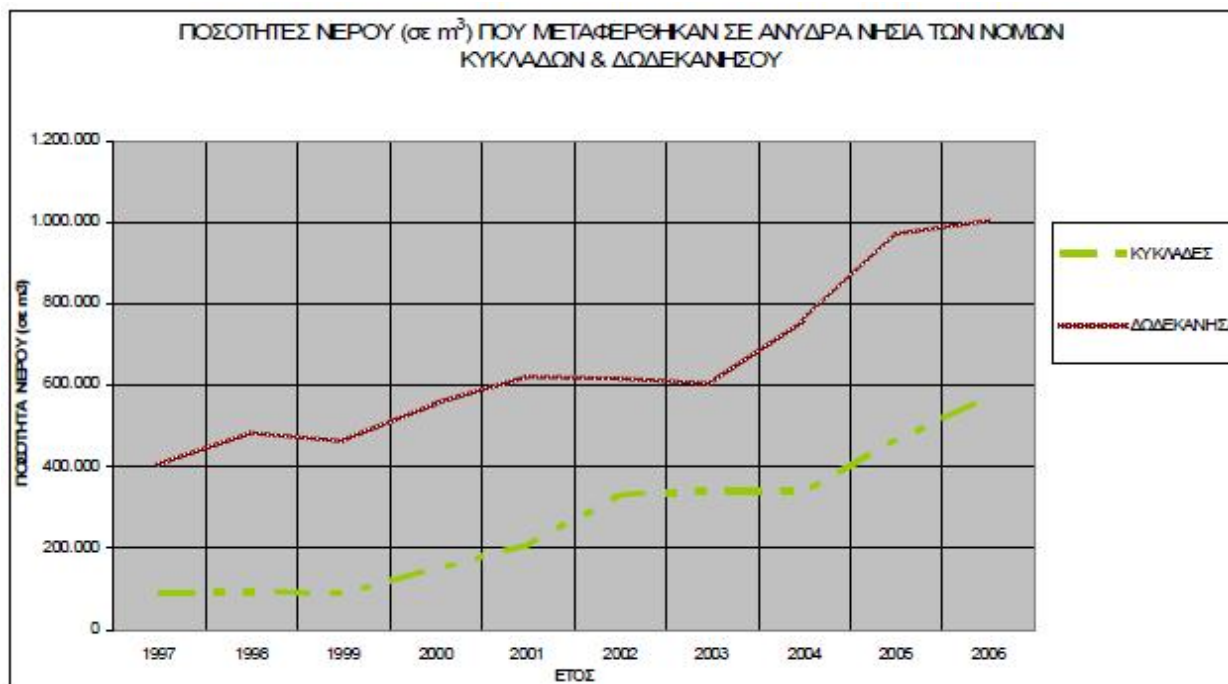
Σήμερα, μεταφορά του νερού γίνεται σε 22 νησιά των Κυκλάδων και Δωδεκανήσων. Στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζονται επίσημα στοιχεία του Υπουργείου Αιγαίου για τις μεταφερόμενες ποσότητες στα προαναφερθέντα νησιά για το 2006, ενώ στον Πίνακα 8.2 φαίνεται διαχρονικά η μεταφερόμενη ποσότητα για τις χρονιές 1997-2006, όπως επίσης και το συνολικό κόστος μεταφοράς για την αντίστοιχη περίοδο.

Δωδεκάνησα			Κυκλάδες		
Νησιά	Ποσότητες νερού (σε m ³ / έτος)	Μόνιμοι κάτοικοι	Νησιά	Ποσότητες νερού (σε m ³ / έτος)	Μόνιμοι κάτοικοι
Αγαθονήσι	21896	158	Αμοργός	25.024	1.859
Λειψοί	33907	698	Κουφονήσια	44.983	366
Μεγίστη	71489	509	Κίμωλος	39.949	769
Νίσυρος	25749	948	Ηρακλειά	16.818	151
Πάτμος	258172	2.984	Σχοινούσα	31.047	206
Σύμη	457142	2.606	Φολέγανδρος	60.153	667
Χάλκη	67833	313	Τήνος	14.571	8.574
Παλιόνησος	N/A	570	Σίκινος	17.084	238
Ψέριμος	650	130	Θηρασιά	12.729	268
Λέβιθα	430	8	Δονούσα	N/A	163
Λέρος	67500	8.123	Μήλος	298.040	4.771
Σύνολο	1.005.338	15.960	Σύνολο	567.719	9.458

Πίνακας 8.1. Μεταφερόμενες ποσότητες νερού σε άνυδρα νησιά για το 2006 [Υ, 99]

Έτος	Κυκλάδες		Δωδεκάνησα	
	Ποσότητες (σε m ³)	Κόστος (σε €)	Ποσότητες (σε m ³)	Κόστος (σε €)
1997	86525	311078	402.295	933802
1998	91050	650755	484.994	1312419
1999	87760	672712	461.855	1407916
2000	145570	1158370	555.212	2004234
2001	203792	1625093	621.297	2722540
2002	329343	2561278	617.745	3109358
2003	336777	2772718	605.019	3214680
2004	338812	2787235	759.737	4034203
2005	464562	4006916	969.676	5082935
2006	567719	4677686	1.005.338	4905044

Πίνακας 8.2 Ποσότητες και κόστος μεταφορά νερού [Υ, 99]



Εικόνα 8.9 Ποσότητες νερού που μεταφέρθηκαν σε άνυδρα νησιά των Κυκλάδων και Δωδεκανήσων [Υ, 99]

Υπάρχει μια πολύ σημαντική αύξηση των μεταφερόμενων ποσοτήτων από 500,000 m³ το 1997 σε σχεδόν 1,600,000 m³ το 2006. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί πως οι μεταφερόμενες ποσότητες κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών αφορούν τουλάχιστον τη μισή ετήσια ζήτηση. Το διάγραμμα (8.9) δείχνει ακόμα πιο ξεκάθαρα τόσο την διαχρονική αύξηση των μεταφερόμενων ποσοτήτων όσο και τον κατά νομό διαχωρισμό. Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται καθαρά πως στη δεκαετία 1997-2006, το πρόβλημα στις Κυκλάδες οξύνθηκε σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τα Δωδεκάνησα, καθώς λόγω κυρίως της αύξησης του τουρισμού παρατηρήθηκε αύξηση των μεταφερόμενων ποσοτήτων κατά σχεδόν 6.5 φορές έναντι περίπου 2.5 φορές που ήταν στα Δωδεκάνησα. [Υ, 99]

Η μεταφορά νερού έχει προσωρινό χαρακτήρα αφού αποτελεί μια μάλλον ακριβή λύση. Προς το παρόν αποτελεί όμως τη μόνη λύση που έχει υιοθετηθεί για κάποια άνυδρα νησιά παρά τα όποια μειονεκτήματά της. Πιο συγκεκριμένα, το Υπουργείο Αιγαίου επιδοτεί τη μεταφορά νερού δαπανώντας πολύ σημαντικά ποσά στη δραστηριότητα αυτή. Το 2006, το κόστος για τις συνολικά μεταφερόμενες ποσότητες στις Κυκλάδες και στα Δωδεκάνησα έφτασε το συνολικό ποσό των 9.5 εκατομμυρίων ευρώ. Ποσό, το οποίο συγκρινόμενο με τα περίπου 1.2 εκατ. ευρώ που δαπανήθηκαν το 1997 απεικονίζει τόσο την αύξηση των μεταφερόμενων ποσοτήτων όσο και αυτή του κόστους μεταφοράς. [Υ-99]

Η διαχρονική εξέλιξη του ανά κυβικό μεταφορικού κόστους του νερού φαίνεται στον Πίνακα 8.3. Είναι προφανής η αύξηση του κόστους του νερού με τη χρησιμοποίηση υδροφόρων πλοίων καθώς από 3.60 €/m³ και 2.32 €/m³ που κόστιζε το 1996 στις Κυκλάδες και στα Δωδεκάνησα, έφτασε να κοστίζει το 2006 πάνω από

8 €/m³ και γύρω στα 5 €/m³ αντίστοιχα. Η διαφορά στις δυο αυτές τιμές αποδίδεται στο γεγονός πως στις Κυκλάδες το νερό μεταφέρεται από την Αθήνα (ΕΥΔΑΠ), ενώ στα Δωδεκάνησα η μεταφορά γίνεται από τη Ρόδο, το μεγαλύτερο νησί των Δωδεκανήσων. [Υ-99]

Κυκλάδες			Δωδεκάνησα		
Έτος	Κόστος (σε €)	Κόστος (σε €)	Έτος	Κόστος (σε €)	Κόστος (σε €)
1997	3.6	2.32	2002	7.78	5.03
1998	7.15	2.71	2003	8.23	5.31
1999	7.67	3.05	2004	8.23	5.31
2000	7.96	3.61	2005	8.63	5.24
2001	7.97	4.38	2006	8.24	4.88

Πίνακας 8.3 Διαχρονική εξέλιξη του κόστους μεταφοράς νερού [Υ,99]

Καθίσταται λοιπόν σαφές πως η μεταφορά του 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 είναι διαμορφώνονται σε χαμηλά επίπεδα. Συνεπώς, η λύση της μεταφοράς του νερού έχει ουσιαστικά ένα σημαντικό κοινωνικό κόστος και αποτελεί λύση προσωρινού μόνο χαρακτήρα.

8.3.2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ

Μια εναλλακτική λύση στη μεταφορά νερού, όπως έχει ήδη διατυπωθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, 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 απαιτήσεων της σε ενέργεια είναι και η επικρατούσα τα τελευταία χρόνια παγκοσμίως και η μοναδική χρησιμοποιούμενη μέθοδος αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά. Στον Πίνακα 8.4 φαίνονται όλες οι υπάρχουσες μονάδες αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά.

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. Για να υπολογίσουμε το κόστος για μια συμβατική μονάδα παραγωγής ενέργειας, εξετάστηκε η περίπτωση του νησιού της Μήλου.

Κυκλάδες	Τοποθεσία	Δυναμικότητα (m ³ /d)	Έτος εγκατάστασης
Σύρος	Άνω Σύρος	120	1993
		250	2000
		500	2002
	Ερμούπολη	800	1992
		800	1997
		250 (2 μονάδες)	2001
		800 (4 μονάδες)	2002
	Ποσειδωνία	750 (3 μονάδες)	2002
	Ίος	Μυλοπότας	1000
Μύκονος	Κόρφος	1200 (2 μονάδες)	1989
		2550 (3 μονάδες)	2001
Πάρος	Νάουσα	1200	2002
Σίφνος	Καμάρες	500	2001
Τήνος	Τήνος	500	2001
Σαντορίνη	Οία	380	1995
Δωδεκάνησα			
Μεγίστη	Μεγίστη	50	1990
Νίσυρος	Νίσυρος	300	1991
		350	2002

Πίνακας 8.4 Εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης σε Κυκλάδες και Δωδεκάνησα [Υ,99]

✚ Η περίπτωση της Μήλου

Η Μήλος αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα νησιά των Κυκλάδων, με περίπου 5,000 μόνιμους κατοίκους. Κάθε χρόνο σημαντικές ποσότητες νερού μεταφέρονται στο νησί προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες σε φρέσκο, πόσιμο νερό. Στον Πίνακα 8.5 παρουσιάζονται οι μεταφερόμενες ποσότητες νερού ανά τρίμηνο για τις χρονιές 2002-2006. Αξίζει να σημειωθεί πως η μεταφορά νερού στο νησί ξεκίνησε το 2001, όταν μια σχετικά μικρή ποσότητα νερού μεταφέρθηκε στο νησί προκειμένου να καλυφθεί το έλλειμμα προσφερόμενου νερού (περίπου 27,000 m³). Τα χρόνια που ακολούθησαν οι μεταφερθείσες ποσότητες πολλαπλασιάστηκαν, φτάνοντας το 2006 τις σχεδόν 300,000 m³.

	2002	2003	2004	2005	2006
1ο τρίμηνο	437	318	204	301	563
2ο τρίμηνο	491	571	510	806	1027
3ο τρίμηνο	651	733	615	896	964
4ο τρίμηνο	490	396	415	543	709
Σύνολο έτους	189090	184482	159800	232778	298040

Πίνακας 8.5 Μέσες ημερήσιες μεταφερθείσες ποσότητες νερού στη νήσο Μήλο (m³) [Υ]

Με βάση και το ετήσιο έλλειμμα του νησιού που το 2006 έφτασε στις 300.000 m³, μια μονάδα αφαλάτωσης ημερήσιας δυναμικότητας 1.000 m³ φαίνεται πως θα κάλυπτε ιδανικά το έλλειμμα σε φρέσκο νερό. [Υ-99]

Θεωρούμε ότι το νερό που πρόκειται να αφαλατωθεί προέρχεται από γεώτρηση και είναι υφάλμυρο. Οι υπολογισμοί που γίνονται παρακάτω βασίζονται στην υπόθεση πως μια γεώτρηση 100 μέτρων θα μας δώσει τις απαραίτητες ποσότητες υφάλμυρου νερού. Το κόστος γεώτρησης για κάθε μέτρο βάθους είναι περίπου 100 €. Το κόστος του απαραίτητου κτιρίου, το οποίο στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι ένα λυόμενο που θα στεγάσει τη μονάδα της αφαλάτωσης και βοηθητικούς χώρους, υπολογίστηκε στις 32,000€. Μια μονάδα αφαλάτωσης δυναμικότητας 1000 m³/ημέρα και για υφάλμυρο νερό έχει κόστος γύρω στις 250,000€, ενώ για την εγκατάσταση και λοιπά έξοδα απαιτούνται επιπλέον 50.000€. Στον Πίνακα 5.6 δίνεται η σχετική ανάλυση κόστους για τη μονάδα αφαλάτωσης στη Μήλο. Αξίζει να σημειωθεί πως η οικονομική ζωή του συστήματος αφαλάτωσης προσδιορίζεται στα 20 έτη και το χρησιμοποιούμενο επιτόκιο είναι 5%. [Υ]

Επένδυση	Κόστος (€)	Απόσβεση (€)
Γεώτρηση	10000	802.4
Κτηριακή εγκατάσταση	32000	2567.8
Έξοδα εξοπλισμού αφαλάτωσης, εγκατάστασης κτλ	300000	24072.8
Συνολικό κόστος επένδυσης	342000	27443

Πίνακας 8.6 Ανάλυση κόστους εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης [Υ]

Τα κυριότερα λειτουργικά έξοδα περιλαμβάνουν το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, την αντικατάσταση των μεμβρανών, τα χημικά για την προκατεργασία και την μετακατεργασία του νερού ώστε να καταστεί ασφαλές, τα έξοδα απασχόλησης εργατικού δυναμικού και λοιπά έξοδα. Στον Πίνακα 8.7 συνοψίζονται τα λειτουργικά κόστη και υπολογίζεται το τελικό κόστος αφαλάτωσης νερού. Αξίζει να σημειωθεί πως η ετήσια ονομαστική δυναμικότητα του συστήματος αφαλάτωσης είναι 365000 m³. Παρόλα αυτά, το επίπεδο αυτό παραγωγής είναι πρακτικά αδύνατο. Μια ρεαλιστική προσέγγιση θα ήταν να υποθέσουμε πως για λόγους βλαβών, συντήρησης κλπ., η διαθεσιμότητα της μονάδας αφαλάτωσης είναι 85%, ήτοι ετήσια παραγωγή 310.000 m³. Σε αυτή την περίπτωση το κόστος παραγωγής του νερού φτάνει τα 0,79 €/ m³. [Υ]

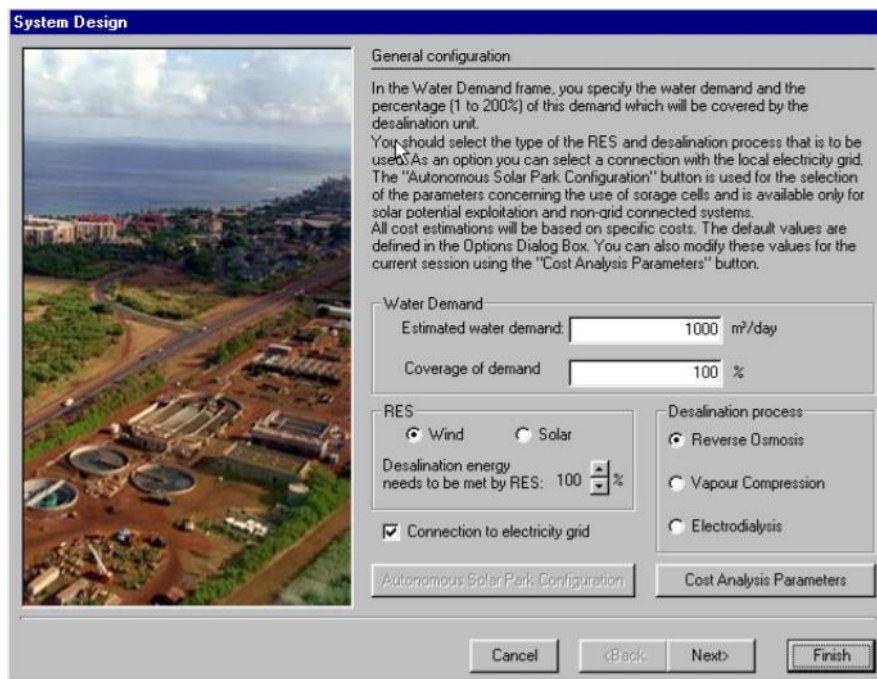
Το κόστος της αφαλάτωσης μπορεί να αυξηθεί μελλοντικά με ρυθμό μεγαλύτερο του πληθωρισμού, λόγω αύξησης του κόστους των εργατικών ή του κόστους παραγωγής του ηλεκτρικού. Επιπρόσθετα, το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του απαραίτητου εξοπλισμού, μπορεί στην πράξη να αποδειχτεί υψηλότερο από τις αρχικές προβλέψεις. Γι' αυτόν τον λόγο, υπολογίστηκε ένα απαισιόδοξο σενάριο βασισμένο σε αυξημένο κόστος εγκατάστασης, εργασίας και ηλεκτρικής ενέργειας κατά 50%. Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση όμως, το κόστος παραγωγής φρέσκου νερού με χρησιμοποίηση μονάδας αφαλάτωσης δεν υπερβαίνει τα 1,1 €/m³. [Υ]

Λειτουργικά έξοδα	
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας	85000
Κόστος εργατικών	78000
Κόστος χημικών	20000
Κόστος μεμβρανών	20000
Λοιπά έξοδα	15000
Σύνολο	218000
Αποσβέσεις	27443
Συνολικό αιτήσιο κόστος	245443
Ετήσια παραγωγή νερού (m ³)	310000
Κόστος νερού αφαλάτωσης (€/m ³)	0.79

Πίνακας 8.7 Υπολογισμός κόστους νερού αφαλάτωσης (σε €/έτος) [Υ]

8.4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

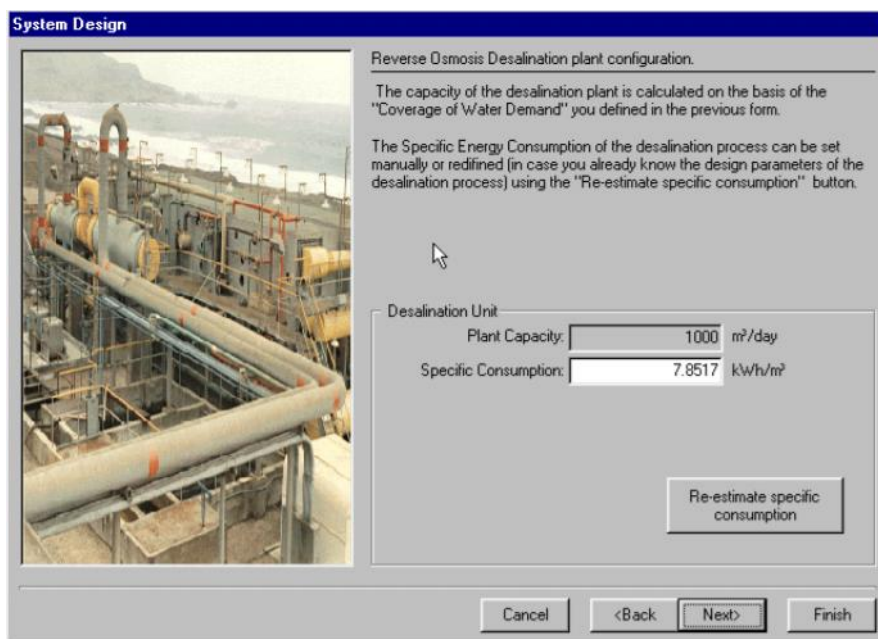
Με τη χρήση κάποιου σχεδιαστικού προγράμματος, το οποίο κάνει συνδυασμούς ΑΠΕ και τρόπων αφαλάτωσης, μπορούμε να λάβουμε μία αρκετά καλή εικόνα για το πώς θα πρέπει να σχεδιαστεί η μονάδα μας. Το πρόγραμμα, αφού του δώσουμε όλες τις παραμέτρους, προτείνει συνδυασμούς τεχνολογιών οι οποίοι εγγυώνται την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της αφαλάτωσης και παρέχει τα μέσα για να συγκρίνουμε όλες τις επιλογές με βάση τα οικονομικά δεδομένα. Παρακάτω παρουσιάζεται σαν παράδειγμα ένα τέτοιο εργαλείο, το οποίο έχει κατασκευαστεί από το τμήμα Χημικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Αθηνών. [91]



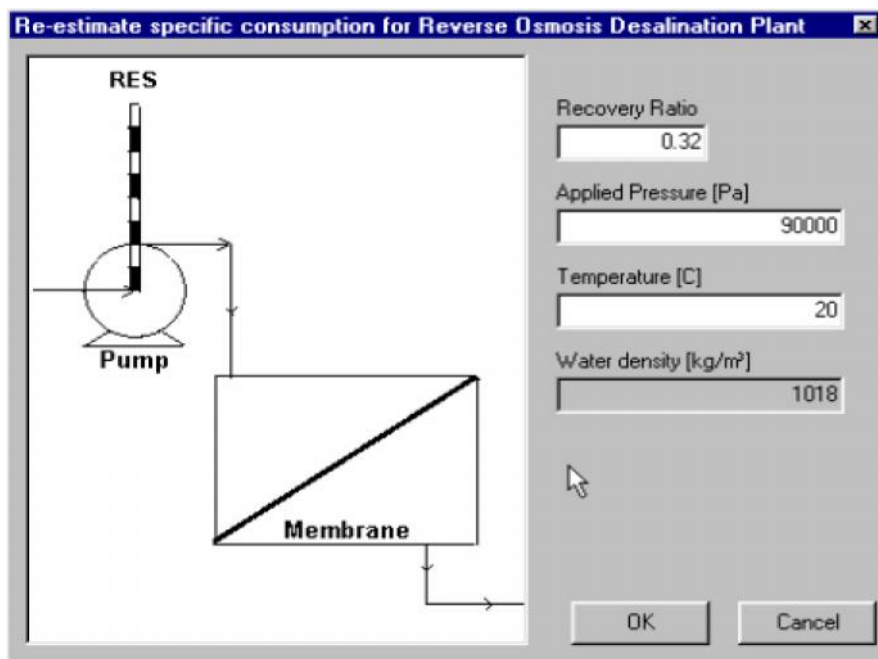
Εικόνα 8.10 Βήμα 1 - Εισαγωγή παραμέτρων μονάδας ΑΠΕ-Αφαλάτωσης [91]

Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιεί μία μέθοδο τεσσάρων βημάτων. Κάθε βήμα παρουσιάζεται με μία συγκεκριμένη μορφή και ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εξετάσει τα αποτελέσματα και επαναλάβει τους υπολογισμούς. Το πρώτο βήμα ξεκινά με μία φόρμα η οποία φαίνεται παραπάνω. [91]

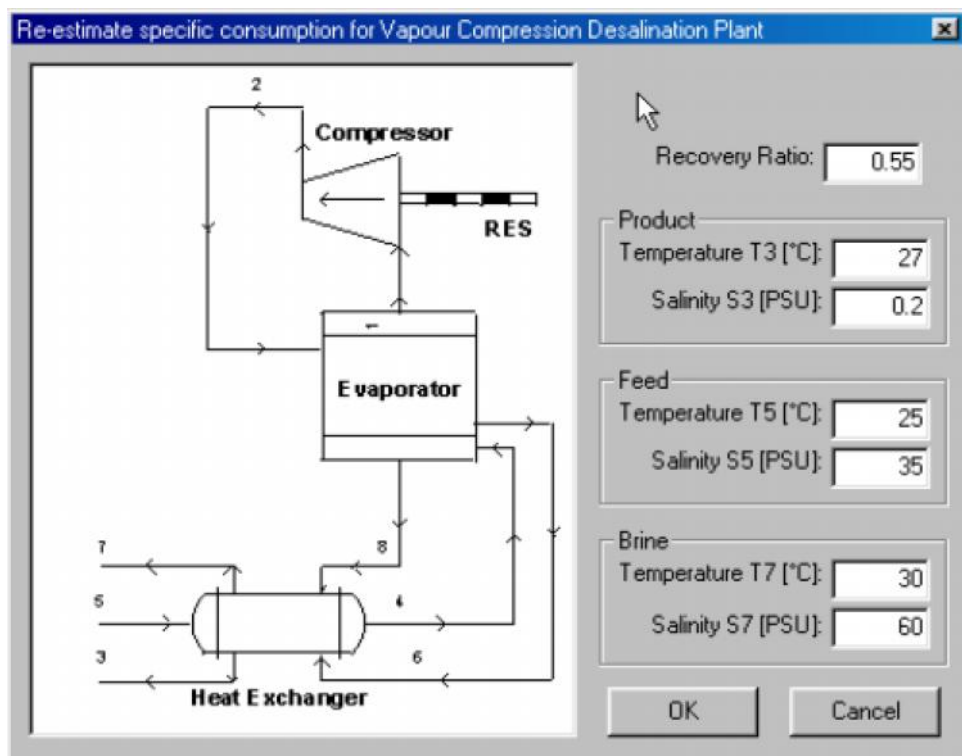
Στο δεύτερο βήμα παρουσιάζει τις ενεργειακές απαιτήσεις της μονάδας, δίνοντας παράλληλα τη δυνατότητα στον χρήστη να κάνει αλλαγές και πειραματισμούς χρησιμοποιώντας διαφορετικές σχεδιαστικές παραμέτρους. [91]



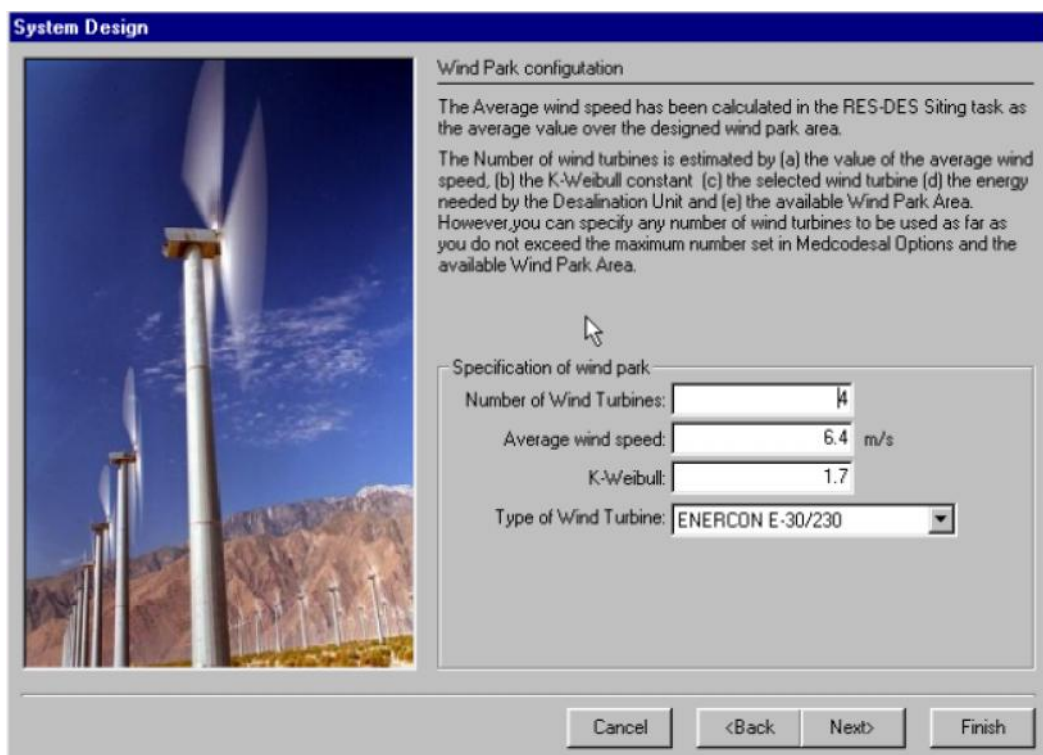
Εικόνα 8.11 Βήμα 2 - Οι ενεργειακές ανάγκες της επιλεγμένης διαδικασίας αφαλάτωσης [91]



Εικόνα 8.12 Βήμα 2 - Εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων της αντίστροφης όσμωσης [91]



Εικόνα 8.13 Βήμα 2 - Εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων της συμπίεσης ατμού [91]



Εικόνα 8.14 Βήμα 3 - Διαμόρφωση μονάδας ενέργειας με Α/Γ [91]

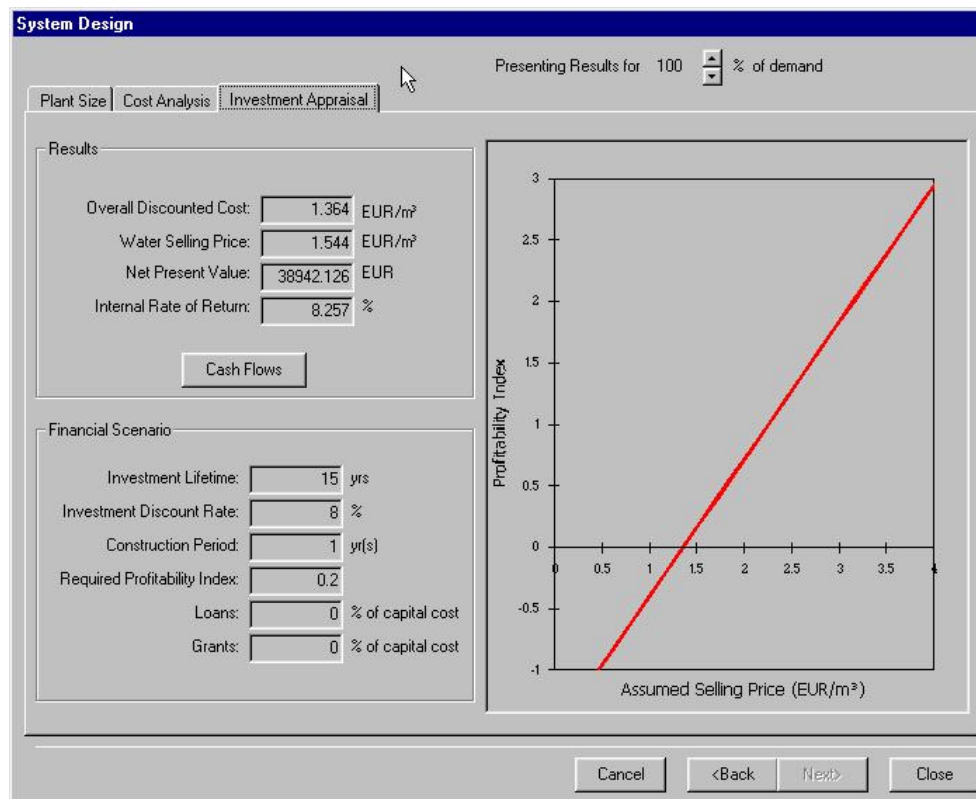
Το τρίτο βήμα παρουσιάζει την χωρητικότητα και τη δομή της μονάδας παραγωγής ενέργειας όπου ο χρήστης μπορεί μεταβάλλοντας την ικανότητα της μονάδας ΑΠΕ να εκτιμήσει τη νέα παραγωγή ενέργειας. [91]

Στο τελευταίο βήμα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της μονάδας, η ανάλυση του κόστους και η εκτίμηση της επένδυσης. [91]

Η φόρμα με τα χαρακτηριστικά της μονάδας δίνει λεπτομέρειες σχετικά με την ικανότητα της μονάδας, την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, τις βοηθητικές πηγές ενέργειας και τα χαρακτηριστικά της μονάδας ΑΠΕ. Η χωρητικότητα της μονάδας αντιπροσωπεύει το σημαντικότερο κομμάτι, γιατί οι παράμετροί της θα καθορίσουν την επιλογή τόσο του τρόπου αφαλάτωσης και της τεχνολογίας ΑΠΕ που θα χρησιμοποιήσουμε όσο και το μέγεθος της μονάδας παραγωγής. [91]

Εικόνα 8.15 Βήμα 4 - Παραγωγή νερού και οι ετήσια ροή ενέργειας της μονάδας [91]

Εικόνα 8.16 Βήμα 4 - Ανάλυση κόστους [91]



Εικόνα 8.17 Βήμα 4 - Αξιολόγηση επένδυσης [91]

8.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Καθίσταται σαφές πως η μεταφορά του νερού δε θα μπορούσε να αποτελέσει μια μόνιμη λύση στο πρόβλημα της έλλειψης νερού. Αντιθέτως, η αφαλάτωση μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη λύση στο πρόβλημα της υδροδότησης περιοχών που αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας (όπως τα νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων), καθώς προσφέρει σημαντικές ποσότητες σε πολύ χαμηλότερο κόστος από αυτό της μεταφοράς με υδροφόρες. Το κόστος της αφαλάτωσης δεν είναι το ίδιο σε κάθε νησί και εξαρτάται από την ποσότητα και την ποιότητα του παρεχόμενου για αφαλάτωση νερού, τις ειδικές συνθήκες και τον πληθυσμό του κάθε νησιού. Σήμερα έχουν εγκατασταθεί πολλές μονάδες αφαλάτωσης κυρίως στα νησιά του Αιγαίου.

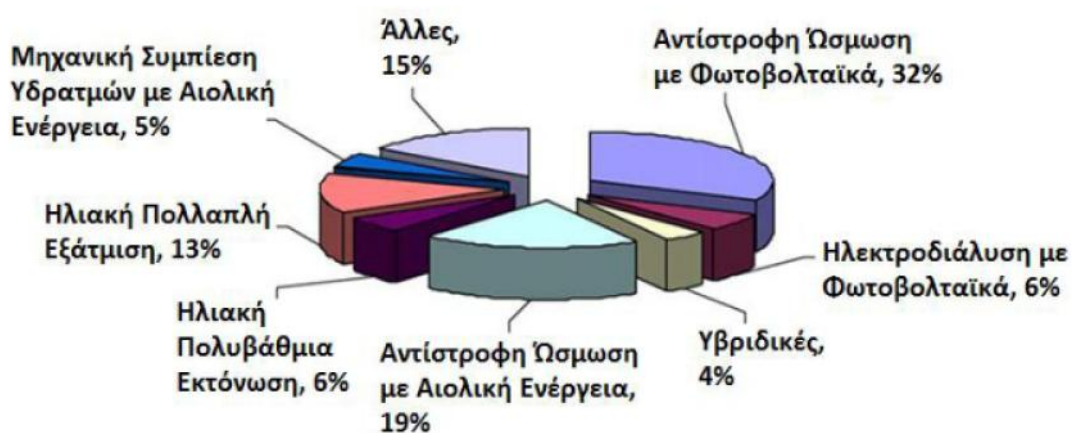
Στην παραπάνω ανάλυση [Υ], η Μήλος, χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστεί το κόστος του αφαλατωμένου νερού σε ποσότητα ικανή να καλύψει τις ανάγκες του νησιού. Μεγάλες ποσότητες νερού μεταφέρονται στο νησί κάθε χρόνο με κόστος που ξεπερνάει τα 8 €/ m³ και αυτό το κόστος αυξάνεται συνεχώς λόγω των αυξήσεων στα καύσιμα κ.α. Έπειτα από συνεκτίμηση όλων των στοιχείων κόστους για την εγκατάσταση και λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης υπολογίστηκε ότι το κόστος αφαλάτωσης για το υφάλμυρο νερό μπορεί να είναι της τάξης των 0,79€/m³. [Υ] Αυτό το κόστος είναι σημαντικά χαμηλότερο από το κόστος μεταφοράς νερού, δείχνοντας πως το μέλλον της υδροδότησης των άνυδρων νησιών μπορεί να είναι η αφαλάτωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι τα τελευταία 20 χρόνια έφεραν την επανάσταση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε πολλούς και διάφορους τομείς. Ο τομέας της αφαλάτωσης είναι ένας από αυτούς, αφού προσέφερε εύφορο έδαφος όχι μόνο λόγω του φιλικού προς το περιβάλλον χαρακτήρα του, αλλά και λόγω της ζωτικής σημασίας του σε κάποιες περιοχές. Υπάρχουν πολλά είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τα οποία μελετήθηκαν ως προς τον συνδυασμό τους με διάφορες διεργασίες αφαλάτωσης. Το δυναμικό της αγοράς τέτοιων συστημάτων αναγνωρίστηκε με βάση την τρέχουσα και μελλοντική τάση οικονομικής ανάπτυξης της κάθε περιοχής, όπως επίσης των βάσει των περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών της παραγόντων. Εφόσον, λοιπόν, υπάρχουν τόσα διαφορετικά κριτήρια επιρροής που αφορούν τον συνδυασμό των μεθόδων αφαλάτωσης με ανανεώσιμες μορφές ενέργειας είναι λογικό να μπορούμε να βρούμε ένα μεγάλο εύρος επιλογών τέτοιων εγκαταστάσεων. Στην *Εικόνα 9.1* παρουσιάζονται τα πιο δημοφιλή συστήματα καθώς και το αντίστοιχο ποσοστό τους στην αγορά. [38]



Εικόνα 9.1 Ποσοστό Μερισίματος των Κυριότερων Διεργασιών σε συνδυασμό με ΑΠΕ [38]

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν την ιδανική επιλογή παροχής ενέργειας σε αυτόνομα συστήματα αφαλάτωσης, ιδιαίτερα για άγονες και παράκτιες περιοχές όπου η συμβατική παροχή ενέργειας είναι ελλιπής. Αυτάρκεια και τοπική υποστήριξη είναι δύο από τις ιδιότητες που μπορούν να καλύψουν τα καινοτόμα αυτά συστήματα. Κυρίως οι κλιματικοί λόγοι είναι αυτοί που οδηγούν τα συστήματα αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σε μια αξιοσημείωτη συμφωνία στην βάση του χρόνου μεταξύ της παροχής ενέργειας και της ζήτησης νερού. Η λειτουργία και η συντήρηση αυτών των συνδυασμένων συστημάτων για τις άγονες περιοχές είναι τις περισσότερες φορές πιο εύκολη σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα. [38]

Γενικότερα, η διεργασία της αφαλάτωσης απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας. Έτσι, ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος που προέρχεται από την κατανάλωση στερεών καυσίμων από αυτή τη διεργασία είναι σημαντικός. Αξίζει να σημειωθεί ότι η

συνολική παγκόσμια δυναμικότητα του αφαλατωμένου νερού είναι περίπου 23×10^6 m^3/d . Η μείωση του κόστους των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας υπήρξε σημαντική κατά την πάροδο των τελευταίων δεκαετιών. Έτσι, οι μελλοντικές μειώσεις σε συνδυασμό με την αύξηση στις τιμές των στερεών καυσίμων θα μπορούσαν να καταστήσουν δυνατή την ανταγωνιστικότητα των συστημάτων αφαλάτωσης με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. [38]

Παρά τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα που για την χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε μονάδες αφαλάτωσης, το τρέχων ποσοστό των εγκαταστάσεών τους είναι πολύ μικρό και μόλις που αγγίζει το 0,02% της ολικής παραγωγής αφαλωμένου νερού. Οι λόγοι είναι οι εξής: [38]

- ❖ Η διαθεσιμότητα της ΑΠΕ δεν συμβαδίζει πάντα με την ζήτηση του σε κάθε περιοχή.
- ❖ Το αρχικό κόστος κατασκευής μίας τέτοιας εγκατάστασης, παρά το γεγονός ότι οι τιμές συνεχώς πέφτουν, καθιστά μία τέτοια επένδυση απαγορευτική.
- ❖ Οι τεχνολογίες συνδυασμού ΑΠΕ και των συστημάτων αφαλάτωσης. Μια πραγματική πρόκληση είναι ο βέλτιστος σχεδιασμός που συνδυάζει τεχνολογία παραγωγής ενέργειας και τρόπο αφαλάτωσης.
- ❖ Η βιωσιμότητα, όπου στις περισσότερες περιπτώσεις, η ωριμότητα των σχετικών τεχνολογιών δεν συναντά το χαμηλό επίπεδο των υποδομών, που συνήθως αντιπροσωπεύει τις περιοχές με έλλειψη αποθεμάτων πόσιμου νερού. Η μέχρι τώρα εμπειρία έδειξε ότι πολλά από τα συστήματα που εγκαταστάθηκαν σε άγονες περιοχές απέτυχαν λόγω της έλλειψης επαρκούς τεχνικής υποστήριξης.

Συνοψίζοντας, οι παράγοντες που μελετώνται για την εγκατάσταση και τον συνδυασμό συστήματος αφαλάτωσης με την κατάλληλη ΑΠΕ είναι οι εξής [38]:

- ❖ Η ποσότητα του γλυκού νερού που απαιτείται σε συγκεκριμένες εφαρμογές σε συνδυασμό με το φάσμα της εφαρμογής των διάφορων διεργασιών αφαλάτωσης.
- ❖ Η αποτελεσματικότητα της διεργασίας σε σχέση με την ενεργειακή της κατανάλωση.
- ❖ Η καταλληλότητα της διεργασίας για συνδυασμό με κάποια ΑΠΕ.
- ❖ Οι απαιτήσεις επεξεργασίας του θαλασσινού νερού.
- ❖ Το κόστος κεφαλαίου του εξοπλισμού και των υλικών εισαγωγής.
- ❖ Η έκταση γης που απαιτείται, ή που θα μπορούσε να διατεθεί, για την εγκατάσταση του εξοπλισμού.
- ❖ Κριτήρια ανθεκτικότητας και απλούστευση της λειτουργίας.
- ❖ Χαμηλή συντήρηση, συμπαγές μέγεθος και εύκολη μεταφορά στην περιοχή.
- ❖ Αποδοχή και υποστήριξη από την τοπική κοινότητα με ελάχιστη μεταβολή στον κοινωνικό περίγυρο.
- ❖ Οργάνωση στο τοπικό επίπεδο με σχετικά μικρή εκπαίδευση.

ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ (m ²)	ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ (m ²)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ (m ²)
Αντίστροφη Όσμωση (RO) Θαλασσινό νερό	1800	7800	9600
Υφάλμυρο νερό	1200	6800	8000
Ηλεκτροδιάλυση (ED)			
Ηλεκτροδιάλυση (ED)	1500	6800	8300
Θερμικές Διεργασίες			
Πολυβάθμια Εκτόνωση (MSF)	4800	7800	12600
Πολλαπλή Εκτόνωση (MED)	6000	7800	13800

Πίνακας 9.1 Απαιτούμενη έκταση εγκατάστασης για μονάδες παραγωγικότητας 19.000m³/d και μεγαλύτερες. [38]

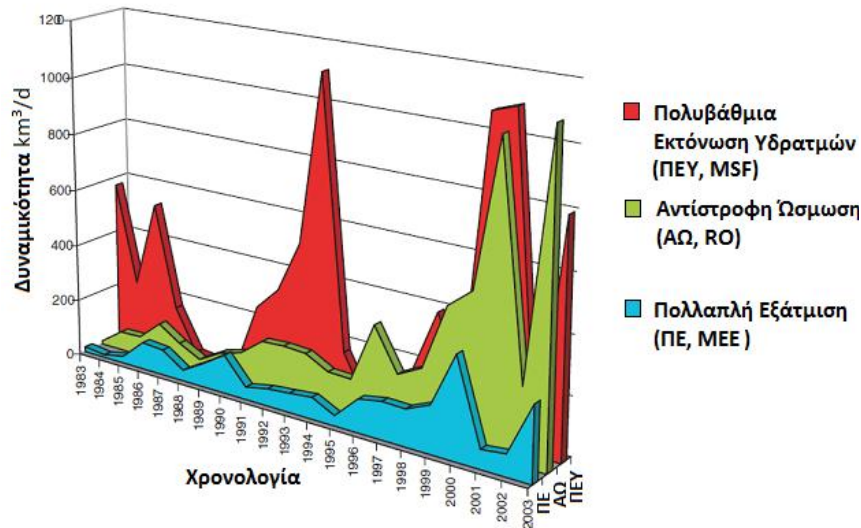
*Περιλαμβάνει την έκταση αποθήκευσης του παραγόμενου νερού σε 1 μέρα παραγωγικής, με σύστημα διανομής από αντλίες και τον ηλεκτρικό υποσταθμό.

Ο παραπάνω Πίνακας 9.1 αφορά την έκταση που απαιτούν μόνο οι συμβατικές μονάδες αφαλάτωσης. Στην περίπτωση συνδυασμού του με κάποια ΑΠΕ θα πρέπει να υπολογίσουμε επιπλέον την έκταση που κα καταλάβουν οι διατάξεις παραγωγής ενέργειας. [38]

9.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

Στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε η κατανομή και η ανάπτυξη όλων των συμβατικών διεργασιών παραγωγής γλυκού νερού. Επίσης, μελετήθηκε η απόδοση τους σε συνδυασμό με διάφορες παραμέτρους λειτουργίας τους. Με βάση όλα αυτά τα τεχνολογικά στοιχεία και με τον συνδυασμό μιας μικρής οικονομικής μελέτης των συστημάτων αυτών αλλά και την τάση της αγοράς αφαλάτωσης θα διεξαχθεί παρακάτω μία σύγκριση μεταξύ τους.

Αδιαμφισβήτητα, οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι αφαλάτωσης θαλασσινού νερού είναι οι θερμικές μέθοδοι, καθώς άρχισαν να χρησιμοποιούνται εδώ και 60 χρόνια. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος της πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF) αποτελεί πρώτη επιλογή καθώς το μερίδιό της στην παγκόσμια αγορά αφαλάτωσης ανέρχεται στο 60%, και στην Κεντρική Ασία αγγίζει το 80%. Η αιτία αυτού του μεγάλου ποσοστού είναι η αξιοπιστία που παρέχουν τα συστήματα αυτά λόγω της ώριμης τεχνολογίας τους. Ωστόσο, οι ραγδαίες βελτιωτικές εξελίξεις των τελευταίων ετών στη διάρκεια ζωής των μεμβρανών έκαναν την αντίστροφη όσμωση (RO) την πιο κοινή μέθοδο αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού, με αποτέλεσμα να αποτελεί πια έναν σοβαρό ανταγωνιστή των θερμικών μεθόδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού. Τρίτη σε σειρά προτίμησης φαίνεται να έρχεται η πολλαπλή εξάτμιση υδρατμού (ΜΕΕ), η οποία διαθέτει και αυτή σε ικανοποιητικό βαθμό μερικά από τα πλεονεκτήματα των θερμικών μεθόδων αφαλάτωσης. [41, 45]



Εικόνα 9.2 Εγκατεστημένη ισχύς των τεχνολογιών αφαλάτωσης συναρτήσει του χρόνου. [40]

Πιο αναλυτικά, οι λόγοι που βοήθησαν την πολυβάθμια εκτόνωση να επιβιώσει έναντι της ανερχόμενης αντίστροφης όσμωσης είναι κυρίως οι παρακάτω: [40]

- Η υψηλή αξιοπιστία του εγκαταστημένου συστήματος. Κατά τα χρόνια λειτουργίας τους τα συστήματα πολυβάθμιας εκτόνωσης έδειξαν υψηλή αξιοπιστία αλλά και πιθανή διάρκεια ζωής πολύ μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη που υπολογίστηκε κατά την διάρκεια κατασκευής τους. Στο σημείο αυτό πρέπει να υπενθυμιστεί ότι πριν από 30 χρόνια, που ήταν η περίοδος της πρώτης έκρηξης της αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής των συστημάτων αφαλάτωσης ανερχόταν στα 15 χρόνια. Ωστόσο, τα περισσότερα από αυτά τα συστήματα λειτουργούν ακόμα και σήμερα, ενώ αυτά που έχουν υποστεί ανακατασκευές ή βελτιώσεις προβλέπεται ότι θα λειτουργούν για ακόμα 10 χρόνια.
- Εύκολη λειτουργία. Η λειτουργία των συστημάτων πολυβάθμιας εκτόνωσης είναι πολύ εύκολη και έχουν σχεδόν τα ίδια χαρακτηριστικά με την μονάδα παραγωγής ενέργειας που είναι πάντα συνδεδεμένα. Αυτό σημαίνει ότι η εύρεση του προσωπικού συντήρησης και λειτουργίας είναι αρκετά εύκολη και δεν αποτελεί πρόβλημα στον ιδιοκτήτη.
- Πολύ αργή υποβάθμιση της απόδοσης του συστήματος κατά την διάρκεια των ετών. Είναι παγκοσμίως αναγνωρισμένο πως ένα σύστημα πολυβάθμιας εκτόνωσης με σωστή λειτουργία και συντήρηση, δεν παρουσιάζει καμία υποβάθμιση της απόδοσης του όσον αφορά την παραγωγή νερού και την ενεργειακή κατανάλωση.

Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά που μόλις αναφέρθηκαν συντέλεσαν στο να αποτελεί η πολυβάθμια εκτόνωση (MSF) την πρώτη επιλογή έναντι στην αντίστροφη όσμωση (RO) για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού, κυρίως για περιοχές που έχουν ανάγκη όχι μόνο τα αποθέματα νερού αλλά και την συμπαραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Από την άλλη πλευρά, η πολλαπλή εξάτμιση που αποτελεί και αυτή μια από τις πρώτες θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης, παρουσιάζει κάποια από τα παραπάνω

χαρακτηριστικά σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό. Ωστόσο διαθέτει και ένα μεγάλο μειονέκτημα στο οποίο οφείλεται και το έδαφος που έχασε στις αρχές του 1960 από την πολυβάθμια εκτόνωση. Αυτό είναι η δημιουργία ιζημάτων που παρουσιάστηκε εντόνως στα πρώιμα σχέδια των πρώτων μονάδων. Στα σημερινά συστήματα αυτό το φαινόμενο όπως και το πρόβλημα του χαμηλού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας έχει αντιμετωπιστεί, όμως παράλληλα έχει μεγαλώσει και η απόσταση μεταξύ των δυο θερμικών αυτών διεργασιών, αφού η πορεία της πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF) μέσα στις τελευταίες δεκαετίες χαρακτηρίζεται πιο εύστοχα ως ραγδαία εξελικτική παρά επαναστατική. [41]

	Πολυβάθμια Εκτόνωση (MSF)	Πολλαπλή Εξάτμιση (ΜΕΕ)	Πολλαπλή Εξάτμιση με Θερμική Συμπίεση Υδρατμού (ΜΕΕ - TVC)	Μηχανική Συμπίεση Υδρατμού (MVC)	Αντίστροφη Όσμωση (RO)
Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C)	<120	<70	<70	<70*	<45
Μορφή Κύριας Ενέργειας	Ατμός (Θέρμανση)	Ατμός (Θέρμανση)	Ατμός (Θέρμανση)	Μηχανική (Ηλεκτρική) Ενέργεια	Μηχανική (Ηλεκτρική) Ενέργεια
Θερμική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³) ***	12	6****	21****	Δεν εφαρμόζεται	Δεν εφαρμόζεται
Ηλεκτρική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)	3.5	1.5	1.5	8. - 14	4. - 7**
Τυπική Συγκέντρωση Άλατος Νερού Τροφοδοσίας (ppm TDS)	30000-100000	30000-100000	30000-100000	30000-50000	1000-45000
Ποιότητα Προϊόντος Νερού (ppm TDS)	<10	<10	<10	<10	<500
Τρέχουσα Τυπική Δυναμικότητα Συστήματος (m ³ /d)	5000-70000	500-12000	100-25000	10-25000	1-1000
* Σε εξαιρετικές περιπτώσεις με προσθήκη οξέως: 100°C.					
** Με νερό τροφοδοσίας θαλασσινό νερό, αλλιώς η κατανάλωση είναι μικρότερη.					
*** Εκφρασμένο σαν την ηλεκτρική ενέργεια που ο παραγόμενος ατμός σε έναν συμπιεστή δε μπορεί να παράγει εξαιτίας της εξαγωγής από τη διεργασία					
**** Για ίδιους βαθμούς απόδοσης και επιλεγμένες πιέσεις ατμού, το κόστος επένδυσης των συστημάτων πολλαπλής εξάτμισης είναι σημαντικά υψηλότερο από αυτό των συστημάτων πολυβάθμιας εκτόνωσης και το κόστος επένδυσης των συστημάτων πολλαπλής εξάτμισης με θερμική συμπίεση υδρατμού είναι χαμηλότερο από αυτό των συστημάτων πολυβάθμιας εκτόνωσης.					

Πίνακας 9.2 Βασικά Δεδομένα Διεργασιών [48]

Τα συστήματα αντίστροφης όσμωσης (RO) άρχισαν να εμφανίζονται στην αγορά αφαλάτωσης το 1973 και έκαναν από την αρχή την παρουσία τους αρκετά αισθητή. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα τις μεθόδου που την βοήθησε στην γρήγορη ανέλιξή της είναι η πολύ καλή αναλογία που έχει μεταξύ του κόστους των συστημάτων και της αποδοτικότητάς τους. Επίσης το χαμηλό κόστος κεφαλαίου, η εύκολη κατασκευή, λειτουργία, συντήρηση τους, η μικρή προαπαιτούμενη έκταση εγκατάστασης καθώς και τα λιγότερα προβλήματα διάβρωσης σε σχέση με την προκάτοχο μέθοδο πολυβάθμιας εκτόνωσης έκανε τα συστήματα αντίστροφης όσμωσης να αποτελέσουν γρήγορα την πρώτη επιλογή για παραγωγή γλυκού νερού. [43]

Ωστόσο, όμως, η μέθοδος αυτή δεν παύει να έχει και αρκετά μειονεκτήματα. Εξαιτίας της μεγάλης ευαισθησίας των μεμβρανών είναι αβέβαιος ο χρόνος ζωής τους και απαιτείται ουσιαστική προεπεξεργασία του νερού τροφοδοσίας. Η ποιότητα του παραγόμενου γλυκού νερού είναι χαμηλότερη σε σχέση με το αντίστοιχο των συστημάτων πολυβάθμιας εκτόνωσης. Παρατηρείται, επίσης, υποβίβασμός του ρεύματος του παραγόμενου νερού λόγω του φαινομένου ερπυσμού αλλά και συμπίεσης που λαμβάνει χώρα σε υψηλές θερμοκρασίες ή πιέσεις. Τέλος, ο εξοπλισμός αυτών των συστημάτων αποτελείται από πολύ μικρά εξαρτήματα, όπως αντλίες, φίλτρα, μεμβράνες, με το κάθε ένα από αυτά να αποτελεί πιθανή αιτία διαρροής. [43]

Η παραγωγή γλυκού νερού σε μεγάλα συστήματα αφαλάτωσης περιλαμβάνει σημαντικά ποσά ενεργειακής κατανάλωσης, ανάλογα με τον τύπο και την δυναμικότητα του συστήματος. Έτσι, ένα σύστημα πολυβάθμιας εκτόνωσης απαιτεί περίπου 240-300 kJ/kg προϊόντος θερμικής ενέργειας, υπό την μορφή ατμού, για να θερμάνει το ρεύμα ανακυκλοφορίας στον θερμομαντήρα άλμης, καθώς και 10-12kJ/kg προϊόντος μηχανικής (ή ηλεκτρικής) ενέργειας, για να δουλέψουν η τροφοδοσία, η ανακυκλοφορία, οι αντλίες απόρριψης άλμης και άλλα βοηθητικά. [43]

Ένας σύγχρονος σχεδιασμός 6 εκατομμυρίων γαλονιών την ημέρα (1 εκατομμύριο γαλόνια= 4500 τόνοι), με τροφοδοσία 50.000 ppm και υψηλότερη θερμοκρασία της άλμης 110°C, καταναλώνει περίπου 75 MW θερμικής ενέργειας και περίπου 3 MWe μόνο για την ανακυκλοφορία της άλμης ενώ για τις άλλες αντλίες και τα βοηθητικά εξαρτήματα χρειάζεται περίπου 1,2 MWe (ένα μέσο 2,5-4 kWh/tonn προϊόντος υπολογίζεται στον σχεδιασμό). Ένα σύστημα εξάτμισης της ίδιας δυναμικότητας και 12 βαθμίδων, θα κατανάλωνε σχεδόν την ίδια θερμική ενέργεια και περίπου 60% της μηχανικής ενέργειας άντλησης του ίδιου συστήματος πολυβάθμιας εκτόνωσης. [43]

Ένα σύστημα αντίστροφης όσμωσης (RO) θαλασσινού νερού θα κατανάλωνε μηχανική ή ηλεκτρική ενέργεια για να οδηγήσει την αντλία υψηλής πίεσης που τροφοδοτεί την μεμβράνη, εκτός των άλλων βοηθητικών αντλιών. Η ενεργειακή κατανάλωση των αντλιών υψηλής πίεσης της αντίστροφης όσμωσης θαλασσινού νερού με ανάκτηση ύδατος 25%, συνθήκες λειτουργίας 69bar και 60% αποδοτικότητα άντλησης, υπολογίζεται 12,7 kWh/m (χωρίς την ανάκτηση). Έτσι ένα

σύστημα μεγάλης δυναμικότητας, 6 εκατομμυρίων γαλονιών την ημέρα, αφαλάτωσης θαλασσινού νερού 50.000 ppm θα κατανάλωνε το ελάχιστο 14,29 MWe (περίπου 45,7 kJ/kg προϊόντος) μόνο για τις αντλίες υψηλής πίεσης. Οι ενεργειακές καταναλώσεις ευνοούν καθαρά την αντίστροφη όσμωση έναντι της πολυβάθμιας εκτόνωσης (45,7 kJ/kg μηχανικό έργο για τα συστήματα αντίστροφης όσμωσης έναντι 240 kJ/kg θερμικής ενέργειας και 2 ή 8 kJ/kg μηχανικής ενέργειας για τα συστήματα πολυβάθμιας εκτόνωσης και πολλαπλής εξάτμισης, αντίστοιχα. [43]

Όταν το σύστημα αντίστροφης όσμωσης (RO) έχει σαν νερό τροφοδοσίας του υφάλμυρο νερό, δηλαδή πολύ μικρότερης συγκέντρωσης άλατος (ppm), τότε οι μετρήσεις που αφορούν το σύστημα είναι ακόμα πιο ευνοϊκές. Στην περίπτωση αυτή δεν απαιτείται τόσο μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση, εφόσον οι πιέσεις στο σύστημα αυτό είναι κατά πολύ μικρότερες και η ανάκτηση θερμότητας πολύ μεγαλύτερη. Ακόμα, η χαμηλή αλατότητα του νερού δεν απαιτεί μεγάλη προεργασία και δεν καταπονεί τόσο τις μεμβράνες, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διάρκεια ζωής τους. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά του συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης (RO) υφάλμυρου νερού παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.3 συγκριτικά με τα χαρακτηριστικά του αντίστοιχου συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού. [43-44]

Παράμετρος	Αντίστροφη Όσμωση Θαλασσινού Νερού	Αντίστροφη Όσμωση Υφάλμυρου Νερού
Ροή Διηθήματος (L/m ² ·h)	12-15 (ανοικτού κυκλώματος πρόσληψης) 15-17(πηγάδι)	12-45 (υπογείων υδάτων)
Υδροστατική Πίεση	5500-8000	600-3000
Αντικατάσταση Μεμβράνης	20% ανά χρόνο κάθε 2-5 χρόνια	5% ανά χρόνο κάθε 5-7 χρόνια
Ανάκτηση %	35-45	75-90
Ph	5.5-7	5.5-7
Απόρριψη Άλατος %	99.4-99.7	95-99

Πίνακας 9.3: Σύγκριση Τυπικών Τιμών Παραμέτρων για Αντίστροφη Όσμωση Θαλασσινού και Υφάλμυρου Νερού. [45]

Χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες μεθόδους αφαλάτωσης εμφανίζεται να έχει η μηχανική συμπίεση υδρατμού. Το ποσό της ενέργειας που προστίθεται σε ένα τέτοιο σύστημα υπό τη μορφή έργου, είναι μικρό, αλλά ακόμα ακριβό (τυπική τιμή 50 kJ/kg αποστάγματος) συγκρινοντάς την με την πολλαπλή εξάτμιση και την πολυβάθμια εκτόνωση. Ως αποτέλεσμα τα συστήματα μηχανικής συμπίεσης υδρατμού είναι ευαίσθητα στις θερμικές απώλειες από ακτινοβολία ή από τα απορριπτόμενα ρεύματα. Βοηθητική θερμότητα συνήθως παρέχεται στο σύστημα για την διατήρηση της ομαλής λειτουργίας του. Ενδεικτικά, για μια μονάδα 100 m³/d και νερό τροφοδοσίας με συγκέντρωση άλατος 42.000 ppm, χρειάζονται 55 kW για τον συμπιεστή, 2 kW για την αντλία της άλμης, 2 kW για κάθε αντλία τροφοδοσίας, προϊόντος, κυκλοφορίας και κενού και 0,075 kW για την χημική αντλία. Δηλαδή, συνολικά απαιτείται έργο

16.578 kWh/m. Ακόμα, η ελάχιστη απαιτούμενη βοηθητική θερμότητα ενός τέτοιου συστήματος για μια θερμοκρασία θαλασσινού νερού 30°C, είναι 24kW όταν χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια για να παρέχει την επιπλέον θερμότητα. Αυτή η ενέργεια μπορεί να εξοικονομηθεί αν είναι διαθέσιμη μια φθηνή πηγή θερμικής ενέργειας, όπως μια γεννήτρια πετρελαίου. [46]

Ένα από τα αρνητικά του συστήματος μηχανικής συμπίεσης υδρατμού (MVC) είναι η παρουσία των φαινομένων διάβρωσης, όπως και ιζηματοποίησης. Για τον λόγο αυτό τα υλικά κατασκευής αυτών των συστημάτων είναι ακριβά και επιλέγονται πάντα με ιδιαίτερη προσοχή. Τέλος, ένα ακόμα αρνητικό για αυτή την μονάδα που αξίζει να αναφερθεί είναι η περαιτέρω επεξεργασία του παραγόμενου νερού. Σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους αφαλάτωσης, το παραγόμενο νερό από την μέθοδο μηχανικής συμπίεσης (MVC) είναι χαμηλής ποιότητας και ακατάλληλο για πόση και ως αποτέλεσμα η επεξεργασία του είναι υποχρεωτική. [46]

Διεργασία	Κόστος Εγκατάστασης (\$/Εκτάριο)	Κόστος Λειτουργίας
Πολυβάθμια Εκτόνωση (MSF)	\$1495000	\$5301.20
Πολλαπλή Εξάτμιση (MEE)	\$1011000	\$5306,54
Αντίστροφη Όσμωση (RO)	\$640700	\$3173,78

Πίνακας 9.4 Μέσο ενδεικτικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας διαφόρων διεργασιών αφαλάτωσης που προέκυψε έπειτα από μελέτη συστημάτων διαφόρων δυναμικοτήτων για τις χρονολογίες 1990-2006. [47]

Η ηλιακή αντίστροφη όσμωση (SRO), με χρήση κυρίως φωτοβολταϊκών στοιχείων, για συστήματα μικρής δυναμικότητας μπορεί να είναι τεχνικά και οικονομικά ελκυστική υπό ορισμένες συνθήκες. Ειδικότερα, για την ηλιακή αντίστροφη όσμωση (SRO) υφάλμυρου νερού με συγκέντρωση μικρότερη των 5.000 mg/L, η τιμή ανά κυβικό μέτρο είναι περίπου 20% μικρότερη από αυτή που ήδη χρεώνεται για το πόσιμο νερό της αντίστοιχης συμβατικής μεθόδου. Σε περιπτώσεις όμως που υπάρχει ηλεκτρικό δίκτυο στην περιοχή η μέθοδος της ηλιακής αντίστροφης όσμωσης (SRO) είναι ασύμφορη και μη αποδοτική. Μια καλή ιδέα είναι σε τέτοιες περιπτώσεις το σύστημα ηλιακής αντίστροφης όσμωσης να χρησιμοποιηθεί ως εφεδρικό. [53-56]

Για το ηλιακό σύστημα πολυβάθμιας εκτόνωσης (SMSF), συμπεράναμε ότι η χρήση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να ανταγωνιστεί την χρήση συμβατικών συστημάτων πολυβάθμιας (MSF) εκτόνωσης για ορισμένες κλιματολογικές συνθήκες. Επιπλέον, η μελλοντική μείωση του κόστους στην αγορά των ηλιακών συλλεκτών με την παράλληλη αύξηση της τιμής των συμβατικών μορφών ενέργειας θα είναι αξιοσημείωτη και θα γύρει την πλάστιγγα προς την χρήση της ηλιακής ενέργειας. [57-59]

Μελετώντας τα συστήματα πολλαπλής εξάτμισης (MEE) διαπιστώθηκε ότι, στην παρούσα κατάσταση η ηλιακή ενέργεια δεν μπορεί να ανταγωνιστεί ευνοϊκά τις ορυκτές πηγές ενέργειας, ιδίως υπό τις παρούσες διεθνείς τιμές του αργού πετρελαίου. Ωστόσο, σε πολλές απομακρυσμένες ηλιόλουστες περιοχές ανά τον

κόσμο όπου το πραγματικό κόστος των ορυκτών πηγών ενέργειας μπορεί να είναι πολύ υψηλό, η χρήση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να είναι μια ελκυστική εναλλακτική λύση. [60-62]

Η ηλιακή ηλεκτροδιάλυση (SED) φαίνεται να είναι μια αρκετά ελκυστική επιλογή για την παραγωγή νερού σε άγονες και απομακρυσμένες περιοχές, εφόσον υπό ορισμένες συνθήκες είναι ανταγωνιστική όχι μόνο με τις συμβατικές μεθόδους αφαλάτωσης αλλά και με τις ηλιακές, όπως η ηλιακή αντίστροφη όσμωση θαλασσινού νερού. [64] Γενικά, η ηλιακή ηλεκτροδιάλυση (SED) εμφανίστηκε αρκετά συμφέρουσα, όσον αφορά την ενεργειακή της κατανάλωση, για αφαλάτωση υφάλμυρου νερού μέσης περιεκτικότητας άλατος και διαλυμάτων χλωριούχου νατρίου χαμηλής περιεκτικότητας σε άλας. [65] Από την άλλη πλευρά, η κατανάλωση ενέργειας είναι υψηλότερη για υφάλμυρο νερό τροφοδοσίας χαμηλής περιεκτικότητας άλατος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το νερό χαμηλής περιεκτικότητας σε άλας εμφανίζει μεγαλύτερη αντίσταση κατά την ροή του. Τέλος, η ποιότητα του παραγόμενου νερού είναι αρκετά ικανοποιητική, ενώ εμφανίζει βελτίωση για νερό τροφοδοσίας μικρού ρυθμού ροής. Ενδεικτικά, το ποσοστό αφαίρεσης άλατος ανέρχεται σε 95% για υφάλμυρο νερό ενώ για διαλύματα χλωριούχου νατρίου με πολύ μικρό ρυθμό ροής μπορεί να αγγίξει ακόμα και το 99%. Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού τροφοδοσίας είναι ένας επιπλέον παράγοντας που ενισχύει το ποσοστό αφαίρεσης άλατος κατά την διεργασία.

Σύμφωνα με μια παγκόσμια έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2008 από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας της Ελλάδας (ΚΑΠΕ) για την Ηλιακή Ηλεκτροδιάλυση υπό την επίβλεψη της κ. Τζεν Ευτυχίας [66], βρέθηκε ότι ο αριθμός συστημάτων ηλεκτροδιάλυσης (ED) με φωτοβολταϊκά στοιχεία μικρής δυναμικότητας, έως 50 m³/ημέρα, ανέρχεται μόλις στις 6 εγκαταστάσεις με τις περισσότερες να έχουν εκθεσιακή κυρίως χρήση. Συνεπώς, η βιβλιογραφία της μεθόδου αυτής είναι αρκετά περιορισμένη όσον αφορά τα πρακτικά οικονομικά της στοιχεία. Για τον λόγο αυτό θα αναφερθούν ενδεικτικά μερικές τιμές κατανάλωσης ενέργειας, μέσου κόστους παραγόμενου νερού και μέσου ηλεκτρικού κόστους. Για σύστημα, λοιπόν, παραγωγικότητας 50 m³/ημέρα, με νερό τροφοδοσίας αλατότητας 3,500 ppm έχει ολική απαίτηση ενέργειας για την διεργασία της ηλεκτροδιάλυσης (ED) και της άντλησης 2.32 kWh, ειδική κατανάλωση ενέργειας 1 kWh/m³, ενώ το μέσο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και παραγόμενου νερού ανέρχεται αντίστοιχα στα 0.64 EUR/kWh και 3.86 EUR/m³. [64]

Η ηλιακή μηχανική συμπίεση υδρατμού έχει μόνο περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα. [18] Για την Ηλιακή Θερμική Συμπύεση Υδρατμού, δεν υπάρχει κάποιο πρωτότυπο σε λειτουργία οπότε είναι δύσκολο να δοθούν λειτουργικά στοιχεία.

Η ηλιακή συμπίεση υδρατμού με απορρόφηση λειτουργεί είτε με αυτόνομο ηλιακό σύστημα, είτε με υβριδικό σύστημα. Διαθέτει υψηλό βαθμό απόδοσης, δεν απαιτείται προεπεξεργασία, η εξαγωγή του νερού γίνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και φαινόμενα όπως η διάβρωση και η ιζηματοποίηση εκδηλώνονται σε ελάχιστο βαθμό. Ακόμα, χαρακτηρίζεται και για τον φιλικό ως προς το περιβάλλον χαρακτήρα της, καθώς το υγρό μεταφοράς θερμότητας που χρησιμοποιείται είναι το νερό. [19]

Τύποι Ηλιακών Αποστακτήρων	Ιδιότητες	Αποτελέσματα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Απλός Ηλιακός Αποστακτήρας	Ένταση της μόνωσης. Παραγωγικότητα σταθερής κατάστασης απόδοσης.	Τα Αποτελέσματα που προκύπτουν σε σύστημα χωρίς μόνωση είναι πιο ρεαλιστικά. Αύξηση των ενεργειακών Απωλειών με την παρουσία του ανέμου.	Εύκολη εγκατάσταση και λειτουργία. Απλή κατασκευή. Χαμηλό κόστος κεφαλαίου	Χαμηλή αποτελεσματικότητα. Χαμηλή παραγωγή νερού. Χρήση σε μικρές περιοχές
Ηλιακός Αποστακτήρας Τύπου Οροφής	Θερμοκρασία φωτοηλεκτρικών κυττάρων. Ένταση ηλιακής παραγωγικότητας	Ο λόγος νερού προς ενέργεια σε τέτοιο σύστημα είναι το κλειδί της ιδανικής λειτουργίας. Κύριος στόχος η Αύξηση παραγωγής.	Φορητότητα. Εύκολη μεταφορά. Χρησιμοποιείται σε καραβάνια μελέτης πόρων ή στρατιωτικές βάσεις. Εργαστηριακής χρήσης.	Χαμηλή απόδοση. Περιορισμένη παραγωγή.
Ηλιακός Αποστακτήρας Στιβάδας Νερού Στην Εξωτερική Γυάλινη Επιφάνειά Του	Παραγωγικότητα σταθερής κατάστασης απόδοσης. Θερμοκρασία δωματίου. Ταχύτητα ανέμου. Βαθμός υγρασίας.	Για έναν συμβατικό αποστακτήρα η αποδοτικότητα αυξάνει για χαμηλό V_a και μετά μειώνεται. Υψηλή τιμή του h_{fc} έχει ως αποτέλεσμα ενεργειακές απώλειες.	Πιο αποτελεσματικός από τον απλό ηλιακό αποστακτήρα. Υψηλότερη παραγωγικότητα νερού.	Πολύ ευαίσθητο λόγω της θερμοκρασίας του γυαλιού.
Παθητικός Ενεργητικός Ηλιακός Αποστακτήρας	Ετήσια απόδοση. Βάθος νερού. Κλίση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη.	Η απόδοση του συναρτήσει της ωριαίας απόδοσης για διάφορα βάθη νερού	Οι παθητικοί αποστακτήρες είναι πιο οικονομικοί στην παραγωγή ποσίου νερού.	Υψηλό κόστος κεφαλαίου. Όσο αυξάνεται το βάθος Μειώνεται η αποτελεσματικότητα
Ηλιακός Αποστακτήρας Πολλαπλής Διάχυσης	Ηλιακή ακτινοβολία και απορρόφηση. Ημερήσια και συνολική παραγωγή αποστάγματος. Μέγεθος της διάχυσης μεταξύ των χωρισμάτων.	Η μέση ημερήσια παραγωγή είναι το 1/5 της κλίμακας. Η παραγωγή είναι μέγιστη στο δεύτερο Χώρισμα ενώ μετά μειώνεται μέχρι το τελευταίο.	Ιδανικό για μικρές παραγωγές. Πιο αποτελεσματικό όταν το κενό είναι μικρό. Χρήση από τον στρατό.	Το κενό διάχυσης μεταξύ των Χωρισμάτων είναι το Βασικό πρόβλημα. Το κενό αέρα μεταξύ του γυαλίνου καλύμματος πρέπει να είναι το βέλτιστο.
Ηλιακός Αποστακτήρας Με Κλίση	Ρυθμός παραγωγής αποστάγματος. Απορροφημένη ηλιακή ακτινοβολία στην πτέρυγα. Ημερήσια ποσότητα αποστάγματος. Κλίση αποστακτήρα.	Ο ρυθμός παραγωγής αποστάγματος και η ποσότητα της απορροφημένης ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερα για αποστακτήρες με ανακλαστήρα τις ώρες 8 π.μ.-4 μ.μ.	Σε σύγκριση με τον απλό ηλιακό αποστακτήρα έχει αύξηση της ημερήσιας παράγωγης κατά 9%. Η παραγωγή του νερού είναι μεγάλη και χρησιμοποιείται για οικονομικούς λόγους.	Η πτέρυγα αποτελεί το κυρίως πρόβλημα. Απαιτεί Συνεχή ροή Νερού. Η μόλυνση των σωλήνων στην πτέρυγα συμβαίνει πάντα.
Ηλιακός Αποστακτήρας Με Σωλήνες Για Αφαλάτωση Θαλασσινού Νερού	Ημερήσια ενεργειακή αποδοτικότητα αποστακτήρα. Λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης.	Βελτιωμένη παραγωγικότητα γλυκού νερού σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα, όπου η εξάτμιση του θαλασσινού νερού και η συμπύκνωση του υδρατμού συμβαίνουν σε έναν περιορισμένο χώρο	Χρησιμοποιείται σε παράκτιες περιοχές. Ευκολία στη κατασκευή. Χρήση Ινώδους Υλικού. Υψηλότερη Αποδοτικότητα σε σχέση με τον απλό ηλιακό αποστακτήρα	Υψηλό κόστος κεφαλαίου. Ευαίσθητη συσκευή. Λόγω του ινώδους υλικού το κόστος αυξάνεται.

Πίνακας 9.5 Σύγκριση Διαφόρων ειδών ηλιακών αποστακτήρων. [29]

Τα συστήματα συμπύεσης υδρατμού με προσρόφηση (SAdVC) είναι ιδανικά για εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας. Η λειτουργία τους για θερμοκρασίες μικρότερες των 80°C τους επιτρέπει να εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ ακόμα τους δίνει το πλεονέκτημα της ελάχιστης εμφάνισης του φαινομένου της διάβρωσης

και ιζηματοποίησης. Η εμπορική τους διάθεση, ωστόσο, δεν είναι ακόμα βιώσιμη και έτσι οι εφαρμογές τους στον τομέα της αφαλάτωσης είναι περιορισμένες. Οι αντλίες προσρόφησης, ωστόσο, χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλες εφαρμογές που έχουν να κάνουν με ψύξη και θέρμανση χώρων. [71]

Η ηλιακή ύγρανση-αφύγρανση δεν είναι ακόμη τελειοποιημένη και έτσι δεν είναι ιδιαίτερα ελκυστική. Για τον λόγο αυτό δεν μπορούν να δοθούν ακόμα ακριβή οικονομικά δεδομένα. [67]

Η αφαλάτωση με ηλιακούς αποστακτήρες είναι η μοναδική άμεση μέθοδος εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι ηλιακοί αποστακτήρες (Solar stills) χρησιμοποιούνται για μικρή παραγωγή νερού και σε περιοχές με μικρό κόστος γης. Γενικότερα, οι παράμετροι που επηρεάζουν την παραγωγικότητα ενός ηλιακού αποστακτήρα είναι οι εξής: Αρχικά, μεγάλη επίδραση φαίνεται να έχει η επιφάνεια συμπίκνωσης. Αύξηση της παραμέτρου αυτής έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας. Μεγάλη προσοχή πρέπει επίσης να δίδεται και στο υλικό κατασκευής της επιφάνειας αυτής. Μια ακόμα παράμετρος που επηρεάζει την απόδοση αυτών των συστημάτων είναι η θερμοκρασία της λεκάνης δεξαμενής και του καλύμματος. Η υψηλή θερμοκρασία του καλύμματος έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγικότητας του συστήματος. Τέλος, σημαντική επίδραση έχει η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ακολουθεί Πίνακας σύγκρισης ιδιοτήτων των διαφόρων τύπων ηλιακών αποστακτήρων. [42]

Γενικότερα, η ανάλυση όλων των οικονομικών δεδομένων που παρατέθηκαν παραπάνω απέδειξε ότι η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης (RO) τόσο θαλασσινού όσο και υφάλμυρου νερού τροφοδοσίας έχει την καλύτερη αναλογία μεταξύ κόστους και απόδοσης. Όσον αφορά τις θερμικές διεργασίες, αυτή της μηχανικής συμπίεσης υδρατμού (MVC) είναι η πιο οικονομική για μικρότερα συστήματα, ενώ αυτή της πολλαπλής εξάτμισης (MEE) είναι η πιο οικονομική για μεγαλύτερης δυναμικότητας συστήματα. Για την επεξεργασία αποθεμάτων υφάλμυρου νερού (νερό τροφοδοσίας) με περιεκτικότητα άλατος 2,500-5,000 mg/L, η αντίστροφη όσμωση είναι η πιο συμφέρουσα από όλες.

9.3. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με όσα εκτέθηκαν ανωτέρω, η αφαλάτωση είναι πραγματικά μια λύση στο αδιέξοδο του υδατικού προβλήματος. Είναι μια λύση με την οποία αποφεύγονται σημαντικές επιπτώσεις από την έλλειψη του νερού. Ο άνθρωπος μπορεί να ζήσει κάτω από συνθήκες υγιεινής, χωρίς να στερείται έναν φυσικό πόρο που έχει καθοριστικό ρόλο στην επιβίωσή του.

Δυστυχώς ακόμα και η αφαλάτωση, μία τόσο υποσχόμενη τεχνολογία, η οποία είναι η καλύτερη λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας, δεν είναι άμοιρη ευθυνών.

Το κόστος των μονάδων αφαλάτωσης εξαρτάται από την δυναμικότητα της μονάδας αλλά και τον συνδυασμό τους με ΑΠΕ. Επίσης, τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας στην αφαλάτωση και αποθήκευσης ενέργειας στις ΑΠΕ, ανεβάζει σημαντικά το

κόστος του έργου και άρα την τιμή του νερού, οπότε αναιρεί τα οφέλη του. Ίσως το πρόβλημα για την γενικευμένη χρήση μεθόδων αφαλάτωσης δεν είναι τόσο ζήτημα οικονομικό, εφόσον το κόστος του παραγόμενου νερού δεν είναι κατ' ανάγκη απαγορευτικό, αλλά σχετίζεται με τις επιπτώσεις που υπάρχουν από τις μονάδες αφαλάτωσης.

Το συμπύκνωμα της πυκνής άλμης επιστρέφει στη θάλασσα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αλατότητα του νερού σε αρκετή απόσταση από το σημείο εξόδου και να επηρεάζεται το θαλάσσιο οικοσύστημα. Επομένως απαιτείται πολύ προσεκτική μελέτη, ανάλογα με την περιοχή, που αφορά τη θέση του σημείου απόρριψης της άλμης. Στην περίπτωση αφαλάτωσης με μεμβράνες, το αντλούμενο νερό προχλωριώνεται για την προστασία των μεμβρανών, το κόστος των οποίων είναι ιδιαίτερα μεγάλο. Κατά συνέπεια τα αποπλύματα των μεμβρανών καταλήγουν στη θάλασσα μαζί με το συμπύκνωμα της άλμης, επιβαρύνοντας περισσότερο το θαλάσσιο οικοσύστημα. Μια ακόμη επίπτωση ενός εργοστασίου αφαλάτωσης αφορά στο θάνατο ψαριών και άλλων θαλάσσιων ειδών τα οποία απορροφώνται από τον αγωγό υδροληψίας κατά την απορρόφηση του θαλάσσιου νερού και προσκρούουν πάνω στα πλέγματα.

Θα πρέπει να μπορέσουμε να αμβλύνουμε τις επιπτώσεις που υπάρχουν από τις μονάδες αφαλάτωσης με την εκπόνηση μελετών σχετικά με την αναγκαιότητα των μονάδων, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη λήψη ειδικών μέτρων και ρυθμίσεων τόσο κατά την εγκατάσταση όσο και κατά την επεξεργασία των μονάδων. Πρέπει να γίνεται επεξεργασία της άλμης και των χημικών ώστε να μην αποβάλλονται απ' ευθείας στην θάλασσα και προκαλούν μόλυνση και καταστροφή στην θαλάσσια ζωή και στην παράκτια περιοχή.

Για παράδειγμα, θα πρέπει οι μονάδες να κτίζονται σε περιοχές μη κατοικημένες, οι οποίες δεν έχουν τουριστική χρήση (θαλάσσιο μπάνιο, ψάρεμα κλπ.). Επίσης θα ήταν σκόπιμο οι μονάδες να βρίσκονται κοντά σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας, έτσι ώστε να αποφεύγεται το οικονομικό αλλά και το περιβαλλοντικό κόστος από την μεταφορά της ενέργειας. Σημαντική παράμετρος επίσης είναι η εύκολη πρόσβαση του σταθμού στο δίκτυο διανομής του νερού για κατανάλωση ώστε να αποφευχθεί το κόστος της μεταφοράς καθώς και το κόστος των εγκαταστάσεων που θα πρέπει να κατασκευαστούν για την μεταφορά του νερού.

Επίσης, κάνοντας έναν σωστό σχεδιασμό, θα μπορούσε μία μονάδα αφαλάτωσης να αποφέρει πολύ μεγαλύτερα κέρδη από το αναμενόμενο. Για παράδειγμα, μία μονάδα η οποία είναι κατασκευασμένη σε κάποιο νησί, είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτει τη μέγιστη ζήτηση νερού του νησιού. Η μεγάλη αυτή ποσότητα νερού απαιτείται τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν δηλαδή το νησί φιλοξενεί πολύ περισσότερα άτομα απ' ότι τον υπόλοιπο χρόνο. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η ζήτηση νερού πέφτει κατακόρυφα, το ίδιο και η παραγωγή νερού. Έχοντας κάνει πρώτα τις κατάλληλες μελέτες, θα μπορούσε η μονάδα να δουλεύει σε κανονικούς ρυθμούς όλη τη διάρκεια του χρόνου, αποθηκεύοντας αυτή την περίσσεια νερού. Θα πρέπει να βέβαια να ληφθεί υπόψη πως οι μεγάλες αποθήκες νερού κοστίζουν ακριβά, καθώς μία απλή δεξαμενή των 10,000 Lt κοστίζει πάνω

από 1000 €. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού αυτή η περίσσεια θα μπορούσε να πωληθεί σε γειτονικά νησιά, στα οποία δεν υπάρχει δυνατότητα κατασκευής μονάδας αφαλάτωσης και τα οποία τροφοδοτούνται με νερό από την κυρίως χώρα. Έτσι η τιμή του νερού θα μειωνόταν καθώς τα πλοία θα καταναλώναν λιγότερο καύσιμο για να παραδώσουν το νερό, μίας και δε θα πρέπει να διανύσουν όλη την αρχική απόσταση. Επίσης αυτό θα ευνοούσε και το ίδιο το νησί, καθώς μία μονάδα, η οποία δουλεύει στο 100% όλο τον χρόνο, θα απασχολεί περισσότερο προσωπικό.

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

Μια καλή προσέγγιση σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, δίνει το κόστος παραγόμενου νερού από αφαλάτωση με τα σημερινά δεδομένα από 0.80 – 3.00 €/m³ [Φ,Υ,98,99] για τα ελληνικά νησιά, σε μια μεσαίας δυναμικότητας μονάδα αντίστροφης όσμωσης, όταν το κόστος μεταφοράς του νερού στα νησιά συχνά ξεπερνά και τα 9 €/m³[Φ,Υ,98,99]. Στην Αθήνα, το τίμημα ανά κυβικό μέτρο νερού από την ΕΥΔΑΠ ανέρχεται σε 0.77 €/m³ (2η κλίμακα κατανάλωσης, μετά τα πρώτα 14.5 κυβικά).

Ο εξαιρετικά ενεργοβόρος χαρακτήρας των μεγάλων μονάδων αφαλάτωσης, δυναμικότητας παραγωγής νερού, μεγαλύτερης των 2.000 m³ ημερησίως, οδηγεί στην τοπική εγκατάσταση ΑΠΕ για την ενεργειακή τους τροφοδοσία. Σε αντίθετη περίπτωση και μόνο εξαιτίας αυτού, το γενικότερο περιβαλλοντικό ισοζύγιο προκύπτει έντονα αρνητικό.

Τα αλμόλοιπα της εγκατάστασης συνιστούν παράγοντα έντονης όχλησης και εύλογης επικινδυνότητας στην περιοχή διάθεσής τους (ιζηματογενέσεις, αύξηση αλατότητας, επικίνδυνες ουσίες από την παραγωγική διαδικασία, θερμοκρασία). Εάν το υδραυλικό τους φορτίο είναι υψηλό (π.χ. μεγαλύτερο των 2.000 m³/ημέρα), η θαλάσσια περιοχή εκβολής τους είναι σχετικά αβαθής, με μέτριας ή χαμηλής ταχύτητας ρεύματα (π.χ. κόλποι), στοιχεία εν γένει αποτρεπτικά για την κατασκευή της μονάδας, τότε η μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου θα πρέπει να εξετάσει διεξοδικά τους βιοτικούς παράγοντες της ευρύτερης θαλάσσιας περιοχής και τις επιπτώσεις των αλμολοίπων σ' αυτούς. Τούτο ισχύει κατά μείζονα λόγο, όταν η μη διατάραξη του θαλάσσιου οικοσυστήματος της περιοχής επιβάλλεται και για λόγους προστασίας της παραδοσιακής παράκτιας αλιείας. [Φ] Επειδή οι αλμόλοιποι παίζουν τόσο σημαντικό ρόλο, θα πρέπει να διερευνώνται με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων διασποράς, τα οποία είναι αντιπροσωπευτικά των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας του τρόπου διάχυσης (βάθος και ρεύματα περιοχής, φυσικά χαρακτηριστικά του θαλασσινού νερού, στάθμη των σημείων εκβολής από τους διαχύτες, φυσικά χαρακτηριστικά και αλατότητα αλμολοίπων κλπ.)

Η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια είναι μία ώριμη τεχνολογία και το μοναδικό πρόβλημα της είναι το υψηλό της κόστος. Παρ' όλα αυτά, η σύνδεση Φ/Β με διεργασίες μεμβράνης είναι μία πολύ ενδιαφέρουσα εναλλακτική για αυτόνομα συστήματα αφαλάτωσης σε απομονωμένες περιοχές. Βέβαια, εάν σε αυτή τη περιοχή είναι διαθέσιμη και η αιολική ενέργεια σαν εναλλακτική θα προτιμηθεί καθώς παρουσιάζει χαμηλότερο ενεργειακό κόστος από την Φ/Β ενέργεια.

Για υφάλμυρο νερό η RO και η ED σε συνδυασμό με Α/Γ είναι η βέλτιστη λύση. Η ηλιακή απόσταξη προτιμάται για αφαλάτωση θαλασσινού νερού, αν μπορούμε να λάβουμε υπόψη και άλλες μεθόδους: 1) Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να συνδυαστεί με αρκετές τεχνολογίες αφαλάτωσης, αρκεί βέβαια να είναι διαθέσιμη, και έχει σαν μεγάλο πλεονέκτημα ότι δεν απαιτείται αποθήκευση ενέργειας. 2) Η RO, καθώς και η VC, τροφοδοτούμενες από κυματική ενέργεια δεν πρέπει να απορρίπτονται παρά το γεγονός ότι η κυματική ενέργεια δεν είναι πολύ εμπορευματοποιημένη.

Κλείνοντας και έχοντας μελετήσει τα παραπάνω, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί αφαλάτωσης με ΑΠΕ. Ο πιο διαδεδομένος είναι Φ/Β-Αντίστροφη Όσμωση και ακολουθεί ο συνδυασμός Α/Γ- Αντίστροφη Όσμωση. Σε αυτό συνέβαλαν οι ραγδαίες βελτιωτικές εξελίξεις των τελευταίων ετών στη διάρκεια ζωής των μεμβρανών. Βέβαια η τεχνολογία συνδυασμού ΑΠΕ-αφαλάτωση μπορεί να προτείνεται ως “φθηνή” και φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική για παροχή πόσιμου νερού, αλλά η αλήθεια είναι πως ακόμα δε μπορεί να ανταγωνιστεί τις τιμές του νερού που παράγεται με συμβατικά καύσιμα, λαμβάνοντας υπόψη την τωρινή τιμή καυσίμων και το γεγονός ότι η τεχνολογία αυτή δε μπορεί να χαρακτηριστεί ακόμα ώριμη. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως ο συνδυασμός ΑΠΕ-αφαλάτωση μπορεί να βρει χρήση, στην περίπτωση βέβαια που έχουν εξαντληθεί όλες οι άλλες συμβατικές μέθοδοι αφαλάτωσης. Δεδομένου ότι είναι αδύνατον να καλύψει όλες τις ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης, πρέπει να λειτουργεί συμπληρωματικά σε μια ευρύτερη πολιτική ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων και επ' ουδενί πρέπει να αντικαταστήσει τις προσπάθειες για συλλογή του βρόχινου νερού, τον περιορισμό των διαρροών από το δίκτυο ύδρευσης, και την επιλογή κατάλληλων καλλιεργειών στην αγροτική παραγωγή που δεν είναι υδροβόρες, έτσι ώστε να γίνεται η μέγιστη εξοικονόμηση νερού. Θα πρέπει λοιπόν, σε μελλοντικές εφαρμογές, να αποτελέσει προτεραιότητα η παράλληλη χρήση της τεχνολογίας αυτής, με αντίστοιχη παροχή κινήτρων.

Βιβλιογραφία

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [Α] Μουτάφης Παναγιώτης: «Κάλυψη της ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Ρευστών, Αθήνα 2008
- [Β] Πέππα Φλώρα: «Ηλιακή Αφαλάτωση και Μελέτη Ηλιακού Αποστακτήρα στην Περιοχή της Αθήνας Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα Νοέμβριος 2007
- [Γ] Γ. Παλιεράκης: «Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών», Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, Αθήνα 2007
- [Δ] Αναστάσιος Ι. Καράμπελας: «Προηγμένες Μέθοδοι για προστασία και ενίσχυση των υδατικών πόρων», Ινστιτούτο Τεχνικής Χημικών Διεργασιών, Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Θεσσαλονίκη - Ημερίδα: «Η Συμβολή των Ερευνητικών Κέντρων στην Έρευνα την Τεχνολογική Ανάπτυξη και την Καινοτομία» Μέγαρο Μουσικής Αθηνών, 1η Απριλίου 2009
- [Ε] Γεωργίου Μαριάννα: «Οι Μονάδες Αφαλάτωσης στην Κύπρο, η σημασία τους στην Διαχείριση των Υδατικών Πόρων και οι Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις» Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, χρονολογία ανεξακρίβωτη
- [Ζ] Κεαννάκης Γιώργος, Κατσαράκης Νίκος, Σαββάκης Κώστας: «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού», Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Γενικό Τμήμα Θετικών Επιστημών, Τομέας Χημείας και Τεχνολογίας Υλικών, Ιεράπετρα, Φεβρουάριος 2008
- [Η] Δημ. Μανωλάκος: «Συστήματα Αφαλάτωσης στον νησιωτικό χώρο», Μηχανολόγος Μηχ/κός Ε.Μ.Π., Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2009
- [Θ] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας, Εργαστήριο Οργάνωσης Παραγωγής, Αφαλάτωση Νερού, Poster Energy Desalination 2009
- [Ι] Χρίστος Μιχαηλίδης: «Η Αφαλάτωση στην Κύπρο», Εκτελεστικός Μηχανικός, Υπουργείο Συγκοινωνιών και Έργων, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Σεπτέμβριος 2009
- [Κ] Αυλωνίτης, Σ. Α.: «Εισαγωγή στην τεχνολογία νερού και αφαλάτωσης», 1st ed., 330-333 pp., Εκδόσεις "ΙΩΝ" Στέλλα Παρίκου & ΣΙΑ Ο.Ε., ISBN 960-411-562-6, Αθήνα, 2006
- [Λ] Δεληγιάννη, Ε. and Β. Μπελεσιώτης: «Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης», Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης, 475 pp., Αθήνα, 1995
- [Μ] Νικητάκος Νικήτας.: «Ανάπτυξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο Θαλάσσιο Περιβάλλον», εκδόσεις Σιδέρη, 2008
- [Ν] Ριζόπουλος Γιάννης, Pathfinder technology: «Πλωτή αιολική μονάδα αφαλάτωσης: λύση για τα άνυδρα νησιά», Νοέμβριος 2007
- [Ξ] Ευγενία Τζέν: «Μια εναλλακτική λύση στη λειψυδρία», Σύγχρονη Τεχνική Επιθεώρηση, τεύχος Ιανουαρίου 2001
- [Ο] Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος, Γεωθερμία, Εκδόσεις Τζιόλα
- [Π] Ευτυχία Τζεν, Τεχνολογίες αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου νερού, <http://www.enthesis.net>
- [Ρ] Ε. Δεληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης, Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης, Αθήνα 1995
- [Σ] Ι. Χατζηβασιλειάδης, Μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη νήσο Πάτμο», Μελέτη Σκοπιμότητας, Σύμβουλος Μηχανικός εταιρείας ΙΤΑ, Αθήνα 2005
- [Τ] Κωστάκη Αθανασία, Αφαλάτωση με χρήση ηλιακής και αιολικής ενέργειας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας

[Υ] Ιωάννης Χρ. Καραγιάννης, "Οικονομική και περιβαλλοντική αξιολόγηση συστημάτων αφαλάτωσης νερού με χρήση ανανεώσιμων και μη πηγών ενέργειας. Εναλλακτικές στρατηγικές στον ελληνικό νησιωτικό χώρο.", ΓΠΑ, Τμήμα αγροτικής οικονομίας και ανάπτυξης

[Φ] Καραχάλιου, «Τεχνολογίες Αφαλάτωσης και Προοπτικές Εφαρμογής στον Ελληνικό χώρο», Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», ΕΜΠ

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΕΙΑ

[1] Hisham T. El-Dessouky , Hisham M. Ettouney, Fundamentals Of Salt Water Desalination, Elsevier 2002.

[2] http://el.wikipedia.org/wiki/Κύκλος_τοσ_νερού

[3] Kalogirou Soteris A., Solar Thermal Collectors and Applications, Science Direct- Elsevier Journal.

[4] Hamed O.A., Eisa E.I. and Abdalla W.E., Overview of solar desalination, Desalination Vol. 93, pp. 563-579, Elsevier Journal 1993.

[5] Kalogirou Soteris, Survey of solar desalination systems and system selection, Energy Vol. 22, No. 1, pp. 69-81, Elsevier Journal 1997.

[6] Al-Karaghoulis Ali, Renne David, Kazmerski Lawrence L., Technical and economic assessment of photovoltaic-driven desalination systems, Renewable Energy Vol. 35, pp. 323–328, Elsevier Journal 2010.

[7] Hawaj O.Al.mand Darwish M.A., Performance characteristics of a multi effect solar pond desalting system in an arid environment, Desalination Vol. 96, pp. 3-10, Elsevier Journal 1994.

[8] 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.

[9] Blanco Julián, Zarza Eduardo, Alarcón Diego, Malato Sixto, León Javier, Advanced Multi-Effect Solar Desalination Technology: The PSA Experience, Elsevier Journal.

[10] <http://www.env-edu.gr/Chapters.aspx?id=101>

[11] <http://www.energypoint.gr/>

[12] <http://www.rise.org.au/info/Tech/lowtemp/ponds.html>

[13] Safi M.J., Performance of a flash desalination unit intended to be coupled to a solar pond, Renewable Energy Vol.14, pp. 339-343, Elsevier Journal 1998.

[14] Borsani Roberto and Rebagliati Silvio, Fundamentals and costing of MSF desalination plants and comparison with other technologies, Desalination Vol. 182, pp. 29–37, Elsevier Journal 2005.

[15] Moustafa S.M.A., Jarrar D.I. and El-Mansy H.I., Performance Of a Self-Regulating Solar Multistage Flash Desalination System, Solar Energy Vol. 35, N.4, pp. 333-340, Elsevier Journal 1985.

[16] Manjarrez R. and Galvan Mexico M., Solar multistage flash evaporation (SMSF) as a solar energy application on desalination processes description of one demonstration project, Desalination Vol. 31, pp. 545-554, Elsevier Journal 1979.

[17] Reali Mario, Solar barometric distillation for seawater desalting, Part III: Analyses of one-stage and two-stage solar vapour thermo-compression distillation technologies, Desalination Vol. 207 , pp. 304–323, Elsevier Journal 2007.

[18] Helal A.M., Al-Malek S.A., Design of a solar-assisted mechanical vapor compression (MVC) desalination unit for remote areas in the UAE, Desalination Vol. 197 , pp. 273-300, Elsevier Journal 2006.

[19] Riffat S. B., Solar absorption system for water desalination, Renewable Energy, Vol. 6, No. 2, pp. 101 106, 1995, Elsevier Science Ltd.

- [20] Zejli D., Benchrifa R., Bennouna A., Bouhelal O.K., A solar adsorption desalination device: first simulation results, *Desalination* Vol. 168, pp. 127-135, Elsevier Journal 2004.
- [21] Adiga M.R., Adhikary S.K., Narayanan P.K., Harkare W.P., Gomkale S.D., Govindan K.P., Performance analysis of photovoltaic electro dialysis desalination plant at Tanote in the Thar desert, *Desalination* Vol. 67, pp. 59–66, Elsevier Journal 1987.
- [22] Kuroda O., Takahashi S., Kubota S., Kikuchi K., Eguchi Y., Ikenaga Y., et al, An electro dialysis seawater desalination system powered by photovoltaic cells, *Desalination* Vol. 67, pp. 161–169, Elsevier Journal 1987.
- [23] Lichtwardt M., Remmers H., Water treatment using solar powered electro dialysis reversal. In: *Proceedings of the mediterranean conference on renewable energy sources for water production*, 1996, Elsevier Journal.
- [24] Nafey A.S., Fath H.E.S., El-Helaby S.O., Soliman A., Solar desalination using humidification–dehumidification processes. Part II: An experimental investigation, *Energy Conversion and Management* Vol. 45, pp. 1263–1277, Elsevier Journal 2004. [25] Dai Y.J., Zhang H.F., Experimental investigation of a solar desalination unit with humidification and dehumidification, *Desalination* Vol. 130, pp. 169-175, Elsevier Journal 2000.
- [26] Posnansky M., Technical and economical aspects of solar desalination with particular emphasis on solar pond powered distillation plants, *Desalination*, pp. 81-95, Elsevier Science Publishers B.V.
- [27] Mittelman Gur, Kribus Abraham, Mouchtar Ornit, Dayan Abraham, Water desalination with concentrating photovoltaic/thermal (CPVT) systems, *Solar Energy* Vol. 83, pp. 1322–1334, Elsevier Journal 2009.
- [28] Vinoth K.K., Kasturi Bai R., Performance study on solar still wit enhanced condensation, *Desalination* Vol. 230(1–3), pp. 51–61, Elsevier Journal 2008.
- [29] Aayush Kaushal , Varun, Solar stills: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol. 14 , pp. 446–453, Elsevier Journal 2010.
- [30] Maalej A.Y., Solar still performance, *Desalination* Vol. 82, pp. 197–205, Elsevier Journal 1991.
- [31] Kunze H., A new approach to solar desalination for small and medium size use in remote areas, *Desalination* Vol. 139, pp. 35–41, Elsevier Journal 2001.
- [32] Velmurugana V., Sritharb K., Solar stills integrated with a mini solar pond — analytical simulation and experimental validation, *Desalination* Vol. 216, pp. 232–241, Elsevier Journal 2007.
- [33] Kalogirou Soteris A., Seawater desalination using renewable energy sources, *Progress in Energy and Combustion Science* Vol. 31 , pp. 242–281, Elsevier Journal 2005.
- [34] Hasnain Syed M., Alajlan Saleh A., Coupling of PV-powered RO brackish water desalination plant with solar stills, *Desalination* Vol. 116 , pp. 57-64, Elsevier Journal 1998.
- [35] Banat F., Jumah R., Garaibeh M., Exploitation of solar energy collected by solar stills for desalination by membrane distillation, *Renewable Energy* Vol. 25, pp. 293–305, Elsevier Journal 2002.
- [36] <http://maps.grida.no/go/graphic/trends-and-forecasts-in-water-use-by-sector>, Shiklomanov Igor A., State Hydrological Institute(SHI, S. Petersburg) and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO, Paris 1999).
- [37] <http://maps.grida.no/go/graphic/access-to-safe-drinking-water>
- [38] Eltawil Mohamed A., Zhengming Zhao, Yuan Liqiang, A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol. 13, pp. 2245–2262, Elsevier Journal 2009.
- [39] Bureau of reclamation, 2003, Selection of Desalination Technologies, Tzen Eftihia, <http://www.cres.gr/kape/publications/xrisima.htm>

- [40] Borsani Roberto, Rebagliati Silvio, Fundamentals and costing of MSF desalination plants and comparison with other technologies, *Desalination* Vol. 182, pp. 29–37, Elsevier Journal 2005
- [41] Hamed Osman A., Evolutionary developments of thermal desalination plants in the arab gulf region, Research & Development Center, SWCC
- [42] Tayeb Aghareed M., Performance Study Of Some Designs Of Solar Stills, *Energy Convers. Mgmt*, Vol. 33, No. 9, pp. 889-898, 1992
- [43] Darwish M.A., Critical Comparison between Energy Consumption in Large Capacity Reverse Osmosis (RO) and Multistage Flash (MSF) Seawater Desalting Plants, *Desalination* Vol. 6 , pp. 143-161, Elsevier Journal 1987
- [44] Belfort. G. editor, Synthetic Membrane Processes, Academic Press, 1984.
- [45] Greenlee Lauren F., Lawler Desmond F., Freeman Benny D., Marrot Benoit, Philippe Moulin Philippe, Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges, *water research* Vol. 43 ,pp. 2317 – 2348, Elsevier Journal 2009
- [46] Darwish M.A., Jawad M. Abdel, and Aly G.S., Comparison Between Small Capacity Mechanical Vapor Compression (MVC) and Reverse Osmosis (RO) Desalting Plants, *Desalination* Vol. 78 ,pp. 313-326, Elsevier Journal 1990
- [47] Professor Newcomb Ronald A., Cost Comparison of the Major Desalination Options World Wide Assets LLC, 2007
- [48] Wangnick K. IDA Inventory, 2004, Selection of Desalination Technologies, Tzen Eftihia, <http://www.cres.gr/kape/publications/xrisima.htm>.
- [49] Bureau of Reclamation, Water Treatment Engineering and Research Group, Desalting Handbook for Planners, 3rd Edition, July 2003, Selection of Desalination Technologies, Tzen Eftihia, <http://www.cres.gr/kape/publications/xrisima.htm>
- [50] Al-Mutaz I.S. and Al-Ahmed M.I., Evaluation of solar powered desalination processes, *Desalination* Vol. 73, pp. 181-190, Elsevier Journal 1989.
- [51] Bowman T.E., El-Nashar A.M., Thrasher B.H., Husseiny A.A. and Unione A.J., Design of a small sola powered desalination system, *Desalination*, Vol. 13, pp. 71–81, Elsevier Journal 1981.
- [52] Manolakos D., Papadakis G., Mohamed E.S., Kyritsis S. and Bouzianas K., Design of an autonomous low-temperature solar Rankine cycle system for reverse osmosis desalination. *Desalination*, Vol. 183, pp. 73–80, Elsevier Journal 2005.
- [53] Laborde H.M., Frang K.B., Nef H., Lima A.M.N., Optimization strategy for a small-scale reverse osmosis water desalination system based on solar energy, *Desalination* Vol. 133, pp. 1-12, Elsevier Journal 2001.
- [54] World Health Organization, Guidelines for Drinking Water Quality, Vol. 1, Recommendations, Geneva, 1984
- [55] Voros N.G., Kiranoudis C.T., Maroulis Z.B., Solar energy exploitation for reverse osmosis desalination plants, *Desalination* Vol. 115, pp. 83-101, Elsevier Journal 1998.
- [56] Gerofi J.P. and Fenton G.G., Comparison of solar RO and solar thermal desalination systems, *Desalination* Vol. 39, pp. 95-107, Elsevier Journal 1981
- [57] Hanafi Abdalla, Design and Performance of solar MSF desalination systems, *Desalination* Vol. 82, pp. 175-185, Elsevier Journal 1991
- [58] International Energy Agency, Guidelines for the economic analysis of renewable energy technology applications. Based on findings of the International Energy Workshop on the Economics of Renewable Energy Technologies, Chateau Montebello, Quebec, Canada, 1991
- [59] Garcia-Rodriguez Lourdes, Gomez-Camacho Carlos, Conditions for economical benefits of the use of solar energy in multi-stage flash distillation, *Desalination* Vol. 125, pp. 133-138, Elsevier Journal 1999
- [60] Hoffman Daniel, The application of solar energy for large-scale seawater desalination, *Desalination*, Vol. 89 , pp. 115- 184, Elsevier Journal 1992

- [61] Garcia-Rodriguez L., Gomez-Camacho C., Thermo-economic analysis of a solar multi-effect distillation plant installed at the Plataforma Solar de Almeria (Spain), *Desalination* Vol. 122, pp. 205-214, Elsevier Journal 1999
- [62] 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
- [63] Adiga Mahabala R., Adhikary S.K., Narayanan P.K., Harkare W.P., Comkale S.D. and Govindan K.P., Performance analysis of photovoltaic electro dialysis desalination plant at Tanote in Thar desert, *Desalination*, Vol. 67, pp. 59-66, Elsevier Journal 1987
- [64] Rheinländer Jürgen and Geyer Dieter, Photovoltaic Reverse Osmosis and Electro dialysis, Chapter 8: Application of Solar Photovoltaic Energy Production to RO and ED Desalination Processes.
- [65] AlMadani H.M.N., Water desalination by solar powered electro dialysis process, *Renewable Energy* Vol. 28, pp. 1915–1924, Elsevier Journal 2003
- [66] Tzen E., Theofiloyianakos D., Kologios Z., Autonomous reverse osmosis units driven by RE sources – experiences and lessons learned. *Desalination* Vol. 221, pp. 29–36, Elsevier Journal 2008.
- [67] Zamen M., Amidpour M., Soufari S.M., Cost optimization of a solar humidification–dehumidification desalination unit using mathematical programming, *Desalination* Vol. 239, pp. 92–99, Elsevier Journal 2009
- [68] Yamali Cemil, Solmus Ismail, A solar desalination system using humidification–dehumidification process: experimental study and comparison with the theoretical results, *Desalination* Vol. 220, pp. 538–551, Elsevier Journal 2008.
- [69] Parekh S., Farid M.M., Selman J.R. and Al-Hallaj S., Solar desalination with humidification–dehumidification technique — a comprehensive technical review, *Desalination*, Vol. 160 , pp. 167–186, Elsevier Journal 2003.
- [70] Agha K.R., The thermal characteristics and economic analysis of a solar pond coupled low temperature multi stage desalination plant, *Solar Energy* Vol. 83, pp. 501–510, Elsevier Journal 2009.
- [71] Chun W.G., Chen K., Ng K.C., Operation of solar and waste-heat powered adsorption desalination, <http://www.slideshare.net/iskandaruz/operation-of-solar-and-wasteheat-powered-adsorption-desalination>
- [72] Wangnick/GWI. 2005. 2004 worldwide desalting plants inventory. Global Water Intelligence, Oxford, England.
- [73] <http://www.arabianbusiness.com/825>
- [74] http://www.lastdaysrevelations.com/our_earths_environment.htm
- [75] <http://www.tanea.gr/default.asp?pid=2&artid=4512693&ct=3>
- [76] <http://www.hellaskps.gr/bestpractices/proj.asp?pld=77>
- [77] Aly Karameldin, A. Lotfy, S. Mekhemar, The Red Sea area wind-driven mechanical vapor compression desalination system
- [78] Toraj Mohammadi, Anita Kaviani Water shortage and seawater desalination by electro dialysis
- [79] Marcos S. Miranda, David Infield, A wind-powered seawater reverse-osmosis system without batteries
- [80] Component sizing for an autonomous wind-driven desalination plant, Panagiotis A. Koklas, Stavros A. Papathanasiou
- [81] Desalination by using alternative energy-Review and state of the art, E. Mathioudakis, V. Belessiotis, E. Delyannis
- [82] Economic analysis of wind powered desalination, L. Garcia-Rodriguez, V. Romero-Ternero, C. Gomez-Camacho
- [83] Feasibility study on wind powered desalination, Markus Forstmeier, Fredrik Mannerheim, Fernando D’Amato, Minesh Shah, Yan Liu, Michael Baldea, Albert Stella

- [84] Renewable energy driven desalination systems, Technical analysis of existing RES desalination systems, Stylianos Loupasis
- [85] Wind Energy Based Desalination Processes and Plants, Emilia Kondili, John K. Kaldellis Garcia-Rodriguez
- [86] Seawater reverse osmosis powered from renewable energy sources-hybrid wind/photovoltaic/grid power supply for small scale desalination in Libya, Sultan A. Kershman, Jurgen Rheinlander, Hansjorg Gabler
- [87] World Spaceflight News "21st Century Complete Guide to Geothermal Energy, Geothermal Heat Pumps, Electricity, Potential, Drilling, Photo Gallery, Geopowering the West, Department of Energy Renewable Energy Research and National Renewable Energy Lab NREL", Progressive Management (January 22, 2004).
- [88] L. M. Edwards, G. V. Chilingar, H. H. Rieke, W. H. Fertl "Handbook of Geothermal Energy", Gulf Pub Co (April 1, 1982).
- [90] A.J. Crerar, R.E. Low and C.L. Pritchard, WAVE POWERED DESALINATION
- [91] D. Assimacopoulos, A tool for the design of desalination plants powered by renewable energies
- [92] Ali Al-Karaghoul, David Renne, Lawrence L. Kazmerski, Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions
- [93] ΚΑΠΕ, 1998, Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, www.cres.gr
- [94] <http://www.hellaskps.gr/bestpractices/proj.asp?pld=77>
- [95] http://www.hellaskps.gr/bestpractices/media/EP_Antagonistikotita/PLOTI_Dimosievma_TANEA.pdf
- [96] Redlinger, R.; Andersen, P.D.; Morthorst, P.E., Renewable sources of energy, with special emphasis on wind energy
- [97] Price, Trevor J (3 May 2005). "James Blyth - Britain's first modern wind power engineer". *Wind Engineering* **29**: 191–200.
- [98] "The power of multiples: Connecting wind farms can make a more reliable and cheaper power source". (21-11-2007). http://www.eurekalert.org/pub_releases/2007-11/amst-tpo112107.php
- [99] J.K. Kaldellis, K.A. Kavadias and E. Kondili, Renewable energy desalination plants for the Greek islands — technical and economic considerations. *Desalination*, 170 (2004) 187–203.

ΠΙΝΑΚΕΣ

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

6.1. WWEA

ΕΙΚΟΝΕΣ

- 1.1. www.treehugger.com (11/2010)
- 1.2. Rockglacier.blogspot.com (11/2010)
- 1.3. Google-earth
- 1.4. www.e-mykonos.gr (11/2010)
- 2.1. www.sidem-desalination.com (12/2010)
- 2.2. www.sidem-desalination.com (12/2010)
- 2.3. www.ipe.kz/eng/img/mvc_2.JPG (12/2010)
- 2.4. www.ipe.kz/eng/img/mvc_2.JPG (12/2010)
- 2.6. www.leonardo-energy.org/23-reverse-electrodialysis (12/2010)
- 2.7. Wikipedia (12/2010)
- 2.10. www.islandnet.com/~tiger/Tiger/RO/how_ro_works.htm (12/2010)
- 2.19. www.kakaros.gr (12/2010)
- 3.1. www.investingreece.gov.gr (12/2010)
- 3.3. Wikipedia (12/2010)
- 3.4. Wikipedia (12/2010)
- 3.5. Wikipedia (12/2010)
- 3.10. (buyerisland.net/solar-pump-COM.htm) (12/2010)
- 3.11. www.stuffintheair.com (12/2010)
- 4.1. www.nextenergynews.com (12/2010)
- 4.3. www.picasaweb.google.com (12/2010)
- 4.4. Περιοδικό Science Illustrated – διαδίκτιο (12/2010)
- 4.6. Poster Energy 09 -Desalination, Ε.Μ.Π. Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών
- 4.7. Poster Energy 09 -Desalination, Ε.Μ.Π. Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών
- 4.8. Poster Energy 09 -Desalination, Ε.Μ.Π. Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών
- 6.1. Apollonasnaxou.blogspot.com (2/2011)
- 6.2. Wikipedia (2/2011)
- 6.4. Apollonasnaxou.blogspot.com (2/2011)
- 6.5. Copyright © 1989 by Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark
- 7.5. <http://www.mech.ed.ac.uk> (4/2011)
- 7.8. <http://www.popularmechanics.com/science/environment> (4/2011)

Πίνακας συμβόλων

RO: Αντίστροφη Όσμωση
MVC: Μηχανική συμπίεση ατμού
ED: Ηλεκτροδιάλυση
SMEE: ηλιακή πολλαπλή εξάτμιση
MEE: πολλαπλή εξάτμιση
MSF: πολυβάθμια εκτόνωσης
TVC: θερμική συμπίεση υδρατμού
AbVC: συστημάτων συμπίεσης υδρατμού
SAdVC: ηλιακή αφαλάτωση συμπίεσης υδρατμού με προσρόφηση
P: ημερήσια ισχύς (kWh/d)
d: διάμετρος του ρομπίνιας (m)
v: ταχύτητα ανέμου σε υψόμετρο 30m
W: έργο (kWh/m³)
T: θερμοκρασία °C
ξ: αποδοτικότητα ρεύματος
z: φορτίο του ιόντος
F: η σταθερά Faraday= 96,485 Amp-s/mol
 $e = 1.6 \times 10^{-19} C$
 $N_A = 6.022 \times 10^{23} mol^{-1}$
Q_f: ρυθμός ροής D, L/s
C_{inlet}^d: συγκέντρωση ροής εισόδου στο κύτταρο ηλεκτροδιάλυσης, mol/L
C_{outlet}^d: συγκέντρωση ροής εξόδου στο κύτταρο ηλεκτροδιάλυσης, mol/L
N: αριθμός ζευγών κυττάρων ηλεκτροδιάλυσης
I: ηλεκτρικό ρεύμα, Amps.
E: η πειραματικά προσδιοριζόμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
N: ο αριθμός των στοιχειωδών μονάδων της συστοιχίας
I: η ένταση ρεύματος που διαρρέει την συστοιχία ηλεκτροδιαπίδυσης
R: η ηλεκτρική αντίσταση της κυψέλης
t: ο χρόνος
Q: η παροχή του προς αφαλάτωση νερού τροφοδοσίας
α: η απόδοση ρεύματος
π: η οσμωτική πίεση (kPa)
R: η παγκόσμια σταθερά των αερίων ίση με 8,314 kPa.m³/kgmol.K ή 0,082 lt.bar/mol.K
SR: η απόρριψη του άλατος (Salt Rejection)
X_f: η συγκέντρωση του νερού τροφοδοσίας (feed)
X_p: η συγκέντρωση του προϊόντος (permeate)
Y: το ποσοστό ανάκτησης (%)
M_f: η παροχή του τροφοδοτικού νερού
M_p: η παροχή του προϊόντος
M_f: η παροχή μάζας του τροφοδοτικού νερού (kg/s)
M_p: η παροχή μάζας του προϊόντος (kg/s)
M_b: η παροχή μάζας της άλμης (kg/s)
C_f: η αλατότητα του τροφοδοτικού νερού (kg/m³)
C_p: η αλατότητα του προϊόντος (kg/m³)
C_b: η αλατότητα της άλμης (kg/m³)
M_p: η ροή του νερού μέσα από τη μεμβράνη (m³/s)
Δπ: η διαφορά της οσμωτικής πίεσης εκατέρωθεν της μεμβράνης (kPa)
K_w: ο συντελεστής διαπερατότητας του νερού (m³/m² s kPa)
A: το εμβαδό της επιφάνειας της μεμβράνης (m²)

