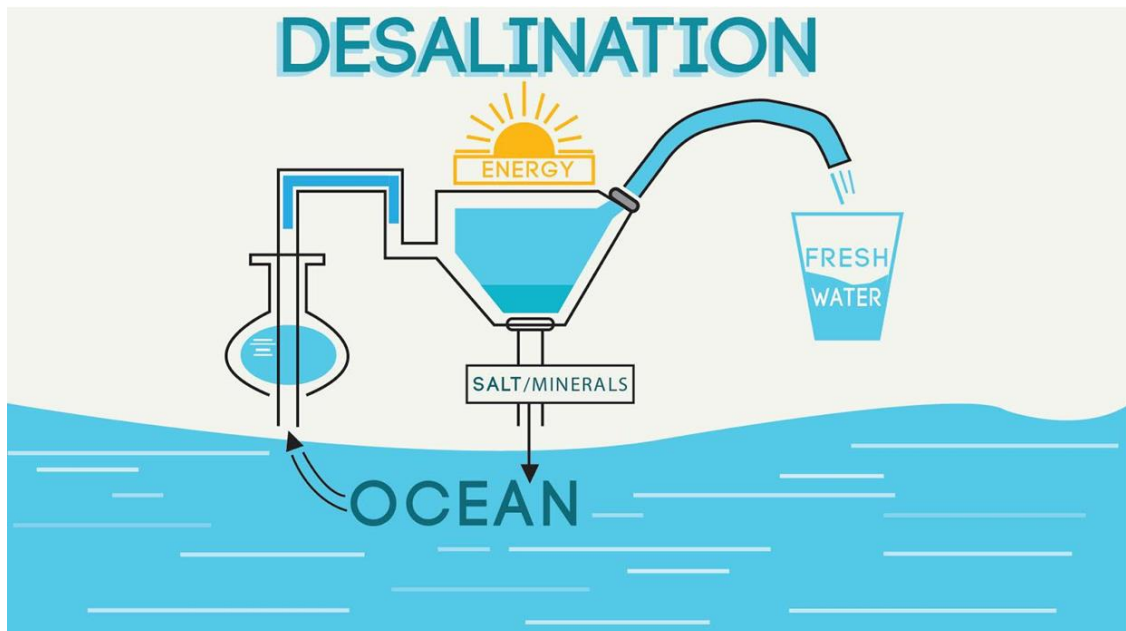




ΙΟΥΛΙΑ ΚΑΡΑΝΙΚΟΛΑ

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΝΕΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2022





ΙΟΥΛΙΑ ΚΑΡΑΝΙΚΟΛΑ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5599

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΝΕΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

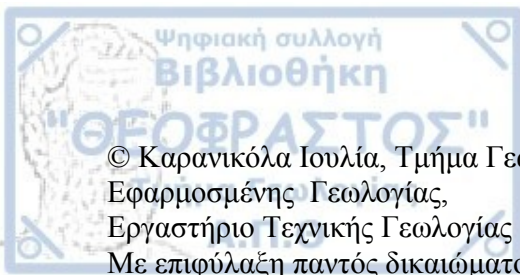
Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας,
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Στ. ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ

© Καρανικόλα Ιουλία, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.



© Καρανικόλα Ιουλία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας,
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Αφαλάτωση υφάλμυρων νερών με τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας: Υφιστάμενη κατάσταση – Προοπτικές - *Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Karanikola Ioulia, School of Geology, Department of Tectonic, Historic and Applied Geology, Laboratory of Engineering Geology & Hydrogeology, 2022

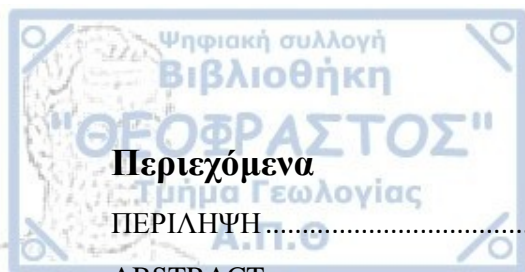
All rights reserved.

Desalination of brackish water using Renewable Energy Sources: Existing situation - Perspectives - *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

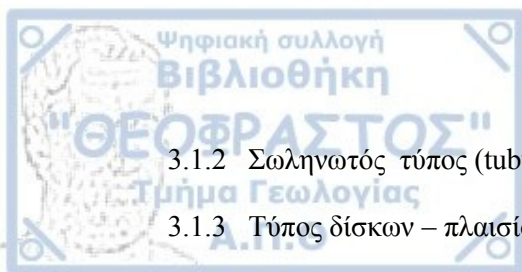
Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.





Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	10
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	14
1. ΤΟ ΝΕΡΟ.....	14
1.1 Σημασία του νερού	14
1.2 Υδρολογικός κύκλος.....	15
1.3 Λειψυδρία	15
1.4 Λειψυδρία στην Ελλάδα	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	18
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	18
2.1 Αφαλάτωση.....	18
2.2 Μέθοδοι της αφαλάτωσης.....	19
2.2.1 Μέθοδος μεμβρανών.....	19
2.2.1.1 Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis-RO).....	19
2.2.1.2 Στάδια επεξεργασίας.....	20
2.2.1.3 Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis – ED).....	20
2.2.2 Μέθοδοι εξάτμισης	22
2.2.2.1 Πολυβάθμια Εξάτμιση (Multi -Effect Evaporation ή Distillation - ME ή MED).....	22
2.2.2.2 Πολυβάθμια Εκτόνωση (Multi-Stage Flash Distillation - MSF)	23
2.2.2.3 Εξάτμιση με Συμπύεση Ατμών (Vapor Compression - VC)	23
2.2.2.4 Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation).....	24
2.3 Σύγκριση μεθόδων	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	28
3. MEMBRANES.....	28
3.1 Μεμβράνες Αντίστροφης Όσμωσης.....	28
3.1.1 Σπειροειδής μεμβράνη (spiral – wound module).....	29



3.1.2 Σωληνωτός τύπος (tubular module).....	29
3.1.3 Τύπος δίσκων – πλαισίου ή επίπεδος τύπος (plate and frame module)	30
3.1.4 Τύπος κοίλων ινών ή τριχοειδών σωλήνων (hollow – fiber module).....	31
3.2 Τρόπος λειτουργίας συσκευής.....	32
3.3 Διάθεση της άλμης.....	33
3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αφαλάτωσης	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	34
4. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	34
4.1 Ηλιακή ενέργεια.....	35
4.2 Αιολική ενέργεια	36
4.3 Γεωθερμική ενέργεια	38
4.4 Βιομάζα	39
4.5 Θαλάσσια ενέργεια.....	39
4.6 Πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	40
4.7 Μειονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	42
5. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ.....	42
5.1 Στρογγυλή Μεγίστης	43
5.2 Μήλος.....	45
5.3 Κίμωλος και Σουσάκι Κορινθίας.....	46
5.4 Μονάδες αφαλάτωσης σε άνυδρα νησιά της Ελλάδας χωρίς τη χρήση ΑΠΕ	48
5.4.1 Ερμούπολη Σύρου.....	49
5.4.3. Ηράκλειο Κρήτης.....	50
5.5 Abu Dhabi.....	51
5.6 Kwinana, Περθ, Αυστραλία.....	52
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	56
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	58

Το νερό είναι αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας και απαραίτητο στοιχείο για την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη μιας περιοχής. Τα τελευταία χρόνια, όσο αυξάνεται και αστικοποιείται ο πληθυσμός του πλανήτη άρχισε να εμφανίζεται και το πρόβλημα της λειψυδρίας και πλέον το 40% της γης δεν έχει νερό ούτε για τις βασικές του ανάγκες. Για τον λόγο αυτό επινοήθηκαν διάφοροι τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου με την αφαλάτωση να αποτελεί τον πιο διαδεδομένο και αποτελεσματικό.

Η αφαλάτωση είναι η διεργασία που επιτρέπει την ανάκτηση πόσιμου νερού από θαλασινό και υφάλμυρα νερά έχοντας δύο κύριες κατηγορίες μεθόδων: τη μέθοδο μίας φάσης και τη μέθοδο με αλλαγή φάσης. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν η Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis-RO), αποτελώντας την πιο διαδεδομένη μέθοδο, και η Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis-ED), ενώ στη δεύτερη κατηγορία μεθόδων ανήκουν η Πολυβάθμια Εξάτμιση (Multi-Effect Evaporation ή Distillation-ME ή MED), η Πολυβάθμια Εκτόνωση (Multi-Stage Flash Distillation - MSF), η Εξάτμιση με Συμπίεση Ατμών (Vapor Compression-VC) και η Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation). Εκτός όμως αυτών των μεθόδων αφαλάτωσης υπάρχουν και άλλες μέθοδοι, όπως είναι: η Γεωθερμική Αφαλάτωση (Geothermal desalination) και το Πάγωμα (Freezing desalination).

Στην Αντίστροφη Όσμωση, όντας η σημαντικότερη, θα εξετάσουμε τους τύπους των μεμβρανών που ανέρχονται σε τέσσερις και είναι: η σπειροειδής μεμβράνη (spiral – wound module), ο σωληνωτός τύπος (tubular module), ο τύπος δίσκων – πλαισίου ή επίπεδος τύπος (plate and frame module) και ο τύπος κοίλων ινών ή τριχοειδών σωλήνων (hollow – fiber module). Θα εξετάσουμε επίσης τα στάδια επεξεργασίας του νερού κατά την αντίστροφη όσμωση μέχρι τη στιγμή που θα προσφέρεται πόσιμο για κατανάλωση.

Η διαδικασία της αφαλάτωσης πραγματοποιείται κυρίως με συμβατικές μεθόδους αλλά καταλυτικό ρόλο μπορούν να παίζουν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Από αυτές δεν συμφέρουν όλες παρά μόνο η ηλιακή ενέργεια, η αιολική και η γεωθερμική ενέργεια ενώ με περιορισμένη εφαρμογή η βιομάζα και η θαλάσσια ενέργεια. Η εφαρμογή αυτών, κυρίως στα νησιά, είναι προτιμότερη καθώς λόγω της γεωγραφικής τους θέσης η προσφερόμενη ενέργεια από τις ΑΠΕ βρίσκεται σε περίσσεια συγκριτικά με την ποσότητα που χρειάζεται η διαδικασία της αφαλάτωσης για να λειτουργήσει επαρκώς. Από αυτές η πιο διαδεδομένη



είναι η ηλιακή ενέργεια ενώ η ενέργεια που χαρακτηρίζεται με τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι η γεωθερμική.

Τέλος, άξια παρατήρησης καθίσταται η αφαλάτωση στην Ελλάδα καθώς αποτελεί τεχνική των τελευταίων χρόνων στα νησιά κυρίως του Αιγαίου που αντιμετωπίζουν πολύ σημαντικό πρόβλημα λειψυδρίας και η οποία είχε αντιμετωπισθεί στο παρελθόν με τη μεταφορά νερού στα άνυδρα νησιά. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η Στρογγυλή Μεγίστης, η Μήλος, η Κίμωλος, το Σουσάκι, κ.ά., όπου λειτουργούν μονάδες αφαλάτωσης με τη χρήση ΑΠΕ, ενώ νησιά όπως η Ερμούπολη Σύρου, η Τήνος και το Ηράκλειο Κρήτης λειτουργούν τις μονάδες αφαλάτωσης με συμβατικές μεθόδους. Μεγάλες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης λαμβάνουν επίσης χώρα ανά τον κόσμο με τις μεγαλύτερες να συναντώνται στο Abu Dhabi και στο Περθ της Αυστραλίας.



ABSTRACT

Water is an essential part of the life and socio-economic development of a region. This problem has appeared in the recent years as the world population keeps growing. It is estimated that over 40% of world population does not have enough water, not even for their basic needs. For this reason, many ways to face this problem have been invented. Desalination is the most common and effective way.

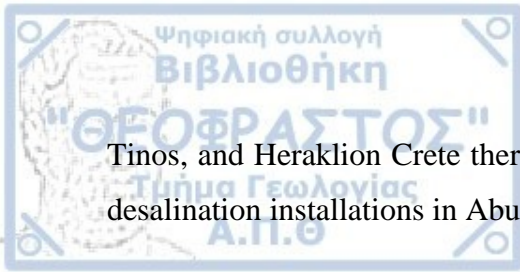
Desalination is the process of getting potable water from sea water. There are two main categories of processes: the process of one phase and the one of changing phase. In the first category, there are Reverse Osmosis (RO), which is the most common process, and Electrodialysis (ED). In the second category of processes there are Multi-Effect Evaporation or Distillation (ME or MED), Multi - Stage Flash Distillation (MSF), Vapor Compression (VC) and Solar Distillation. Apart from these processes of desalination, there are other ways, such as Geothermal Desalination and Freezing Desalination.

In Reverse Osmosis, which is the most important, we will examine the types of their module which are four: the spiral - wound module, the tubular module, the plate and frame module and the hollow - fiber module. We will, also examine the stages of water processing during Reverse Osmosis up to the moment when it is ready for consumption.

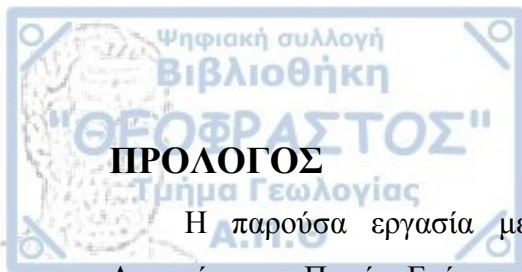
The procedure of desalination takes place mainly in traditional ways but Renewable Energy Sources can play an important role, too. Only sun, wind and geothermic powers and in some extent, biomass and water energy offer a profit.

Their application, especially in islands, is preferable because due to their geographical position the Renewable Energy Sources is more compared to the quantity (of energy) needed to make desalination procedure work sufficiently. Among them solar energy is the most popular whereas, geothermic power is the one with the least environmental consequences.

Finally, desalination procedure in Greece is interesting to be observed because it is an experiment of the last years, especially in the islands of the Aegean Sea, which face a huge problem of water shortage and which have been faced in the past by transferring water to these islands. Stroglyi Megistis, Milos, Kimolos are some examples where Renewable Energy Sources desalination procedure take place. In other islands, such as Ermoupoli Syrou,



Tinos, and Heraklion Crete there are conventional desalination methods. There are, also, big desalination installations in Abu Dhabi and Perth in Australia.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία με τίτλο «Αφαλάτωση υφάλμυρων νερών με τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας: Υφιστάμενη κατάσταση – Προοπτικές» εκπονήθηκε στο πλαίσιο της προπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας στο τμήμα Γεωλογίας του ΑΠΘ.

Το θέμα που θα αναπτυχθεί είναι η διεργασία της αφαλάτωσης των υφάλμυρων νερών και η συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η λειψυδρία είναι ένα φαινόμενο το οποίο με την πάροδο των χρόνων γίνεται εντονότερο τόσο παγκοσμίως όσο και στην Ελλάδα. Για την καταπολέμηση της είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν διεργασίες ώστε όλες οι περιοχές ανά τον πλανήτη να έχουν τη δυνατότητα χρήσης καθαρού πόσιμου νερού. Τέτοια διεργασία είναι η αφαλάτωση η οποία, αν και πλέον είναι αρκετά διαδεδομένη στο εξωτερικό, στην Ελλάδα ο αριθμός των εγκατεστημένων μονάδων είναι αποθαρρυντικός. Είναι πολύ σημαντικό να αντιληφθούμε ότι οι τεχνολογίες της αφαλάτωσης είναι πολύ καλή λύση για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον Καθηγητή κ. Βουδούρη Κωνσταντίνο για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος, την εμπιστοσύνη του και τη συνεχή προθυμία του για βοήθεια κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που με στήριξε σε όλα τα ακαδημαϊκά μου χρόνια και συνεχίζει να το κάνει.





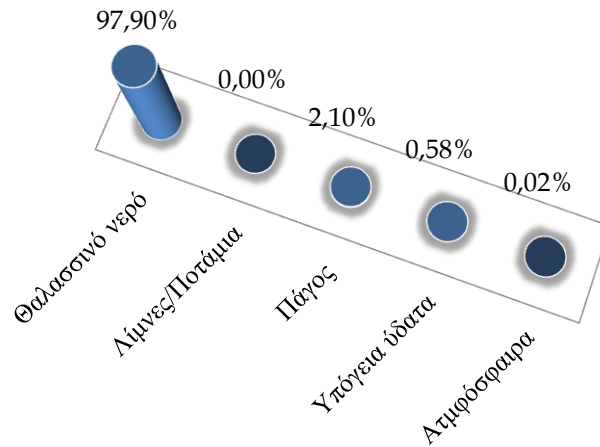
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΤΟ ΝΕΡΟ

1.1 Σημασία του νερού

Ο σημαντικότερος φυσικός πόρος είναι το νερό συμβάλλοντας άμεσα στη ζωή και την ανάπτυξη. Αποτελεί την πιο διαδεδομένη χημική ένωση με μοριακό τύπο H_2O , εμφανίζεται σε τρεις μορφές την υγρή, τη στερεή (πάγος) και την αέρια (υδρατμοί) και εντοπίζεται σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς, τόσο ζωικούς όσο και φυτικούς, αλλά και στις τροφές. Στο ανθρώπινο σώμα το νερό καταλαμβάνει το 70% ενώ στο αίμα το 90%, καταλαμβάνει το 70% του πλανήτη και η κατανομή του στη φύση διακρίνεται στο 97,9% στο θαλασσινό νερό, 0,02% σε λίμνες και ποταμούς, 2,1% στους πάγους, 0,58% στα υπόγεια ύδατα και 0,02% στην ατμόσφαιρα υπό μορφή υδρατμών (Γράφημα 1). Ωστόσο, από τη συνολική του ποσότητα μόνο το 2,6% είναι πόσιμο ενώ από αυτό, το 98,8% εντοπίζεται στα παγοκαλύμματα και στα υπόγεια ύδατα.

Κατανομή νερού (%)



Γράφημα 1. Η κατανομή του νερού στον πλανήτη σε ποσοστό επί %.

1.2 Υδρολογικός κύκλος

Το νερό στον πλανήτη μας ακολουθεί μια κυκλική τροχιά, τον λεγόμενο «υδρολογικό κύκλο». Οι διεργασίες που περιλαμβάνονται σε αυτόν είναι η εξάτμιση, η συμπύκνωση και η επιστροφή με αποστράγγιση στη θάλασσα. Πιο συγκεκριμένα, το νερό των επιφανειακών υδάτων και των ωκεανών εξατμίζεται και φτάνει στην ατμόσφαιρα, συμπυκνώνεται σε σύννεφα τα οποία περιέχουν σταγονίδια, κατακρημνίζεται και φτάνει ξανά στη θάλασσα, στα ποτάμια και τις λίμνες με την αποστράγγιση.



Εικόνα 1. Ο υδρολογικός κύκλος του νερού με τις διεργασίες που πραγματοποιούνται και συμβάλλουν στην κίνησή του. (Πηγή: ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ. *Κύκλος του νερού*.)

1.3 Λειψυδρία

Η έλλειψη του πόσιμου νερού χαρακτηρίζει την εποχή που ζούμε, καθώς ο πληθυσμός της Γης αυξάνεται διαρκώς, γίνεται μαζική χρήση του νερού και ταυτόχρονα καταγράφεται ρύπανση και μόλυνση των υδάτων. Από αυτήν την ξηρασία και ρύπανση το έτος 2000 πέθαναν περισσότεροι από 2,2 εκατομμύρια άνθρωποι, από έρευνα της UNESCO το 2003 παρατηρήθηκε ότι στα επόμενα χρόνια τα αποθέματα νερού θα είναι 30% λιγότερα για τον κάθε άνθρωπο ενώ από άλλη έρευνα που πραγματοποίησε η φιλανθρωπική οργάνωση WaterAid το 2004 αποκαλύφθηκε ότι κάθε 15 δευτερόλεπτα ένα παιδί πεθαίνει στη Βρετανία από τη μόλυνση των υδάτων. Έτσι σύμφωνα με τις παραπάνω παρατηρήσεις πολλοί αναφέρουν ότι η λειψυδρία θα είναι η αιτία του τρίτου παγκοσμίου πολέμου καθώς προβλέπουν ότι το καθαρό νερό θα αποτελεί το «πετρέλαιο του μέλλοντος». Το συγκεκριμένο φαινόμενο αντιμετωπίζεται σε όλο τον πλανήτη με κάποιες χώρες να μην έχουν νερό ούτε για τις βασικές τους ανάγκες, ενώ ο Καναδάς θεωρείται η πλουσιότερη χώρα διότι έχει πλεονάζουσα ποσότητα γλυκού νερού.

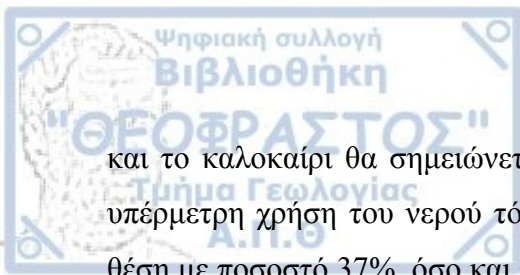


Εικόνα 2. Ξηρό έδαφος, απουσία νερού/υγρασίας.

(Πηγή: *Η διαχείριση των υδάτων, η λειψυδρία και η επερχόμενη ερημοποίηση*. krokeai.gr)

1.4 Λειψυδρία στην Ελλάδα

Οι χώρες της Νότιας Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένων της Ελλάδας και Κύπρου, στα επόμενα χρόνια θα κληθούν να αντιμετωπίσουν εντονότερα το φαινόμενο της λειψυδρίας, σύμφωνα με διεθνή έρευνα από το Πανεπιστήμιο της Νέας Νότιας Ουαλίας της Αυστραλίας με επικεφαλής τον καθηγητή Ασίς Σάρμα. Ένας από τους λόγους όξυνσης του φαινομένου είναι η κλιματική αλλαγή που παρά τις αυξανόμενες πλημμύρες, η θερμοκρασία θα ανέβει



και το καλοκαίρι θα σημειώνεται έντονη ξηρασία. Εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι η υπέρμετρη χρήση του νερού τόσο για αστική χρήση, με την Αττική να κατέχει την πρώτη θέση με ποσοστό 37%, όσο και για αγροτικές εργασίες, με πρώτη την Θεσσαλία με ποσοστό 25%. Η υπερεκμετάλλευση των υπόγειων αποθεμάτων λόγω των πολυάριθμων γεωτρήσεων στον Ελλαδικό χώρο οδήγησε στην υφαλμύριση με αποτέλεσμα να αντλείται θαλασσινό νερό και να μη μπορεί να γίνει χρήση του για τις διαδικασίες που απαιτούν γλυκό νερό. Τέλος, σημαντική είναι η ρύπανση των υδάτων από νιτρικά ιόντα από τη χρήση λιπασμάτων στη γεωργία, καθώς σε μεγάλη ποσότητα δεν μπορεί να γίνει χρήση του νερού ως πόσιμου.

Έτσι έπρεπε να βρεθούν λύσεις για την άντληση πόσιμου νερού και κυρίως για τα νησιά του Αιγαίου που αντιμετωπίζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα στη χώρα μας. Η λύση που είχε βρεθεί ήταν η μεταφορά πόσιμου νερού με δεξαμενόπλοια ωστόσο ήταν ασύμφορη οικονομικά και έτσι πλέον τα νησιά του Αιγαίου αντιμετωπίζουν το πρόβλημα με την αφαλάτωση.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

2.1 Αφαλάτωση

Αφαλάτωση (desalinization) ονομάζεται η διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μια αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Έτσι, κατ' επέκταση, η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια/λίμνες και υπεραλατούχα διαλύματα.

Αποτελεί την καταλληλότερη μέθοδο για ανάκτηση πόσιμου νερού καθώς οι άλλες λύσεις για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας (τεχνητή βροχή, μεταφορά νερού με δεξαμενόπλοια, ανακύκλωση νερών των υπονόμων για αρδευτική χρήση, φράγματα) αποδείχθηκαν, κυρίως, οικονομικά ασύμφωρες και μη αποτελεσματικές. Οι περιοχές που είναι ευνοϊκές για εγκατάσταση των μονάδων είναι περιοχές που πρωτίστως έχουν σοβαρή έλλειψη πόσιμου νερού ώστε να υπάρχει λόγος να εγκατασταθεί η μονάδα, να είναι παραθαλάσσια, ώστε να υπάρχει άφθονο θαλασσινό νερό προς χρήση για την αφαλάτωση και το κλίμα να είναι ξηρό.

2.2 Μέθοδοι της αφαλάτωσης

Η αφαλάτωση επιτυγχάνεται με έξι (6) μεθόδους οι οποίες διακρίνονται σε δύο (2) κύριες κατηγορίες, τις μεθόδους που πραγματοποιούνται σε μία φάση που είναι η υγρή και στις μεθόδους με αλλαγή φάσης οι οποίες για να επιτευχθούν, απαραίτητη είναι η συμβολή της θερμότητας επομένως έχουμε θερμικές διεργασίες.

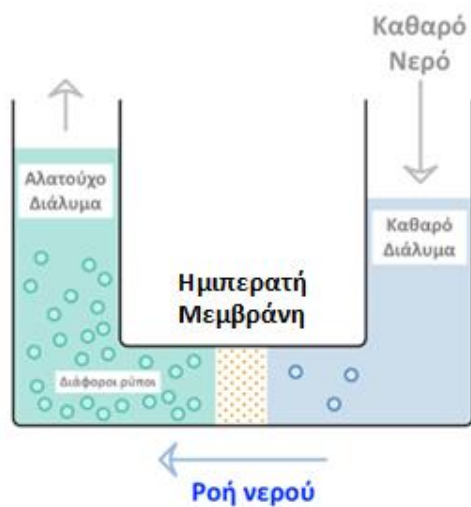
2.2.1 Μέθοδος μεμβρανών

Η μέθοδος με αλλαγή στη φάση λέγεται αλλιώς και μέθοδος των μεμβρανών, καθώς στις συσκευές της αφαλάτωσης χρησιμοποιούνται μεμβράνες για να καταστεί εφικτός ο διαχωρισμός του καθαρού νερού από τα άλατα και τις διάφορες προσμίξεις. Αυτές οι διαδικασίες αφαλάτωσης μεμβρανών είναι η αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis – RO) και η ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis – ED).

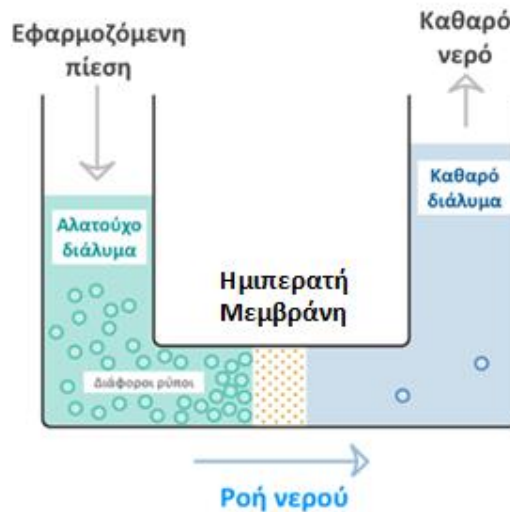
2.2.1.1 Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis-RO)

Η αντίστροφη όσμωση είναι η αντίστροφη διαδικασία της όσμωσης, όπως γίνεται αντιληπτό και από την ονομασία της, αποτελώντας τη σημαντικότερη και την πιο διαδεδομένη διαδικασία αφαλάτωσης. Σε αυτήν εντοπίζουμε τέσσερις (4) διαφορετικούς τύπους μεμβρανών που θα εξηγήσουμε στο κεφάλαιο 3.

Η όσμωση είναι η μεταφορά νερού μέσα σε ένα σύστημα μεμβρανών από το αραιότερο διάλυμα στο πυκνότερο διάλυμα και η μεταφορά αυτή σταματάει όταν τα δύο υγρά έρθουν σε ισορροπία καθαρότητας. Η πίεση της μεταφοράς λέγεται οσμωτική πίεση (Εικόνα 3). Για τη διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης έχουμε ένα σύστημα μεμβρανών όπου υπάρχουν δύο υγρά διαλύματα, εκ των οποίων το ένα είναι αραιότερο (καθαρό) και το άλλο πυκνότερο (με διαλυμένα άλατα και προσμίξεις), και το νερό, με μία εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την οσμωτική που προέρχεται από την πίεση του θαλασσινού νερού από μία αντλία για την εισχώρησή του στο σύστημα, κινείται από το πυκνότερο προς το αραιότερο διάλυμα. Κατά την κίνηση αυτή το νερό περνάει από την ημιπερατή μεμβράνη η οποία δεν επιτρέπει τη διέλευση των διαφόρων ρύπων στο καθαρότερο διάλυμα με αποτέλεσμα να έχουμε από τη μία πλευρά της μεμβράνης το “ανεπιθύμητο” νερό με τις προσμίξεις και από την άλλη το καθαρό νερό το οποίο θέλουμε να αξιοποιήσουμε (Εικόνα 4).



Εικόνα 3. Διαδικασία όσμωσης
(Πηγή: <https://www.biomec.gr>)



Εικόνα 4. Διαδικασία αντίστροφης όσμωσης.
(Πηγή: <https://www.biomec.gr>)

2.2.1.2 Στάδια επεξεργασίας

Τα στάδια επεξεργασίας στα οποία υπόκειται το θαλασσινό νερό είναι τέσσερα:

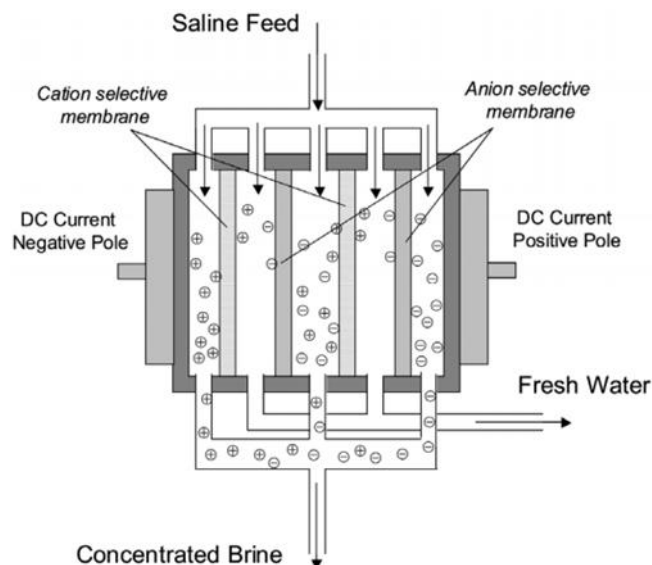
- I. Το στάδιο της προεπεξεργασίας όπου το νερό καθαρίζεται από μικροοργανισμούς και στερεά υλικά για την προστασία της συσκευής.
- II. Το στάδιο επεξεργασίας όπου από το νερό αφαιρείται το άλας.
- III. Το στάδιο σταθεροποίησης του pH από 5 στο 7 με την προσθήκη υδροξειδίου του νατρίου.
- IV. Το στάδιο που το πόσιμο νερό συλλέγεται, αποθηκεύεται και είναι έτοιμο προς διανομή.

2.2.1.3 Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis – ED)

Η ηλεκτροδιάλυση είναι μια ιδιαίτερη διαδικασία διαφορετική από την αντίστροφη όσμωση καθώς δε συναντάμε μεταφορά του νερού λόγω οσμωτικής, ή κάποιας άλλης εξωτερικής, πίεσης αλλά απομάκρυνσης ιόντων ή ιοντογενών ουσιών από το νερό με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού δυναμικού που προκαλεί μεταφορά ιόντων.

Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδιάλυση είναι οι κατιοντοδιαπερατές (Κ) και οι ανιοντοδιαπερατές (Α) οι οποίες είναι ηλεκτρικά αγωγίμες. Οι πρώτες αποτελούνται από αδιάλυτα πολυανιόντα και το φορτίο τους είναι αρνητικό, προσελκύοντας και επιτρέποντας μόνο κατιόντα να τις διαπερνούν. Στην αντίθετη περίπτωση, οι ανιοντοδιαπερατές μεμβράνες (Α) αποτελούνται από αδιάλυτα πολυκατιόντα με θετικό φορτίο επομένως επιτρέπουν τη διέλευση των ανιόντων όντας αντίθετα φορτισμένα.

Η διάταξη αυτών των δύο τύπων μεμβρανών είναι εναλλάξ και παράλληλες σε κάθε ηλεκτρολυτικό κελί (Εικόνα 5). Η συσκευή συνδέεται με ηλεκτρική πηγή μέσω των ηλεκτροδίων που υπάρχουν στα πλευρικά τοιχώματά της και προωθείται το νερό προς αφαλάτωση, όπου τα διαλυμένα ιόντα κατά τη διάρκεια της κίνησής τους κατακρατούνται από τις μεμβράνες ενώ τα άλατα τις διαπερνούν. Για αυτόν τον λόγο η συγκεκριμένη μέθοδος προτιμάται για τα υφάλμυρα νερά που είναι φτωχότερα σε άλατα σε σχέση με το θαλασσινό νερό.



Εικόνα 5. Συσκευή ηλεκτροδιάλυσης. (Πηγή: Μουτάφης, 2008).

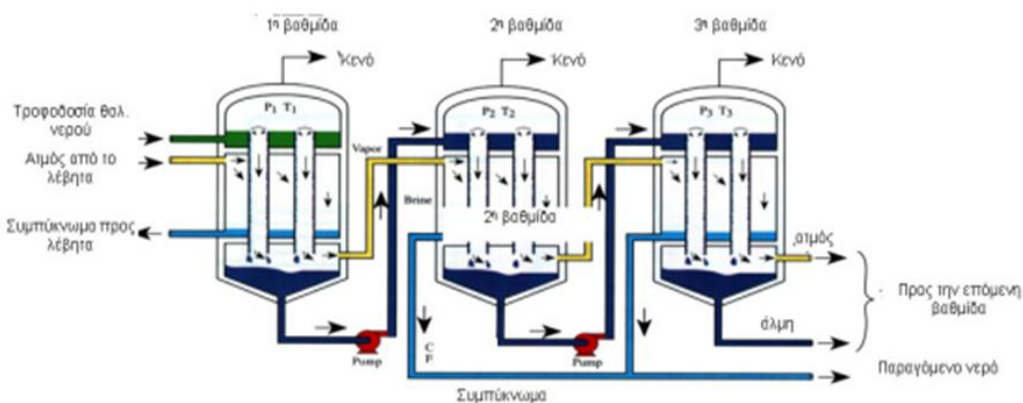
2.2.2 Μέθοδοι εξάτμισης

Η μέθοδος της εξάτμισης περιλαμβάνει διαδικασίες οι οποίες απαιτούν θερμότητα με αποτέλεσμα να παρατηρούμε αλλαγή της φυσικής κατάστασης του νερού, δηλαδή αλλαγή φάσης. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως σε χώρες που διαθέτουν ενεργειακούς πόρους και αυτές εντοπίζονται στη Μέση Ανατολή.

2.2.2.1 Πολυβάθμια Εξάτμιση (Multi -Effect Evaporation ή Distillation - ME ή MED)

Η μέθοδος της πολυβάθμιας εξάτμισης (ME) λειτούργησε για περίπου έναν αιώνα και πλέον δεν χρησιμοποιείται, καθώς αντικαταστάθηκε από την μέθοδο της πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF) που θα εξετάσουμε στην επόμενη παράγραφο, η οποία ήταν πιο οικονομική. Ωστόσο μεγαλύτερη απόδοση είχε η ME αρχίζοντας να μπαίνει ξανά στο παρασκήνιο των μεθόδων αφαλάτωσης.

Η διαδικασία της πολυβάθμιας εξάτμισης είναι η εισροή ατμού θέρμανσης μέσα στους σωλήνες και μια λεπτή στρώση θαλασσινού νερού βρίσκεται σε επαφή με αυτούς, έτσι θερμαίνονται οι σωλήνες θερμαίνοντας και το νερό το οποίο εξατμίζεται. Ο παραγόμενος ατμός μεταβαίνει στο στάδιο της συμπύκνωσης όπου συλλέγεται ως καθαρό νερό και ο υπόλοιπος ατμός συνεχίζει στην επόμενη βαθμίδα με λιγότερη αλατότητα βράζοντας σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Ωστόσο, υπάρχει κενός χώρος στην κάθε βαθμίδα ώστε να μπορεί να ελέγχεται η πίεσή της και να επιτευχθεί η υψηλότερη απόδοση παραγόμενου νερού με την ελάχιστη διάβρωση των βαθμίδων (Εικόνα 6).

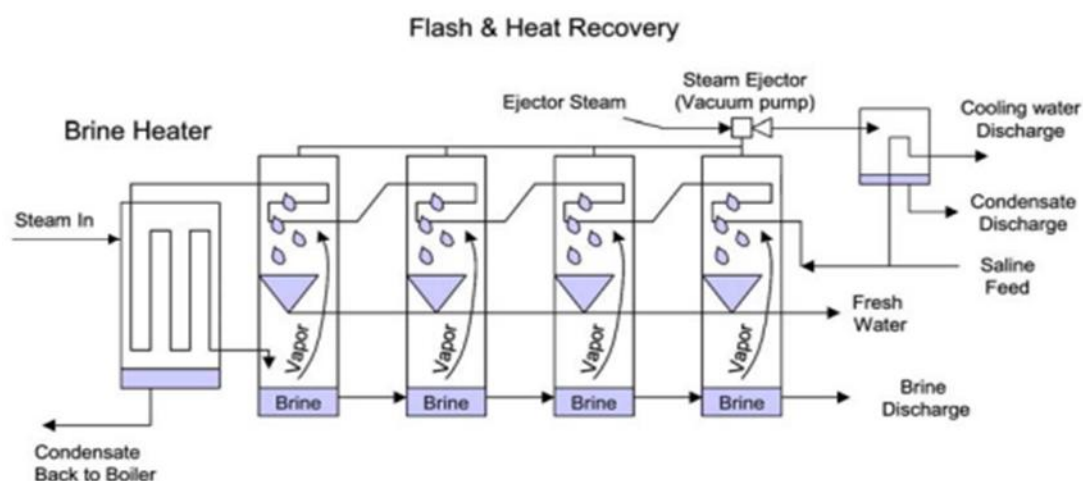


Εικόνα 6. Πολυβάθμια εξάτμιση (Πηγή: Μουτάφης, 2008).

2.2.2.2 Πολυβάθμια Εκτόνωση (Multi-Stage Flash Distillation - MSF)

Η μέθοδος την πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF) είναι μεταγενέστερη από την πολυβάθμια εξάτμιση (ME) και την αντικατέστησε λόγω οικονομικών παραμέτρων, όμως ο βαθμός απόδοσής της είναι χαμηλότερος. Η συγκεκριμένη μέθοδος καλύπτει μεγάλο μέρος της παγκόσμιας αφαλάτωσης, καθώς καλύπτει περίπου το 40% αυτής.

Η διαδικασία είναι η εισροή, σχεδόν, βρασμένου θαλασσινού νερού μέσα στους σωλήνες όπου με την πίεση που υπάρχει στη βαθμίδα το νερό μεταβαίνει σε αλλαγή φάσης, στον ατμό. Ο ατμός έρχεται σε επαφή με τους σωλήνες που μεταφέρουν το θαλασσινό νερό και έτσι λόγω θερμοκρασίας έχουμε ξανά τη μετατροπή του ατμού σε νερό, καθαρό νερό, με αποτέλεσμα τη συλλογή του. Έτσι, η διαδικασία αυτή συνεχίζει και στις επόμενες βαθμίδες (Εικόνα 7) αλλά με λιγότερη ποσότητα αλατιού.



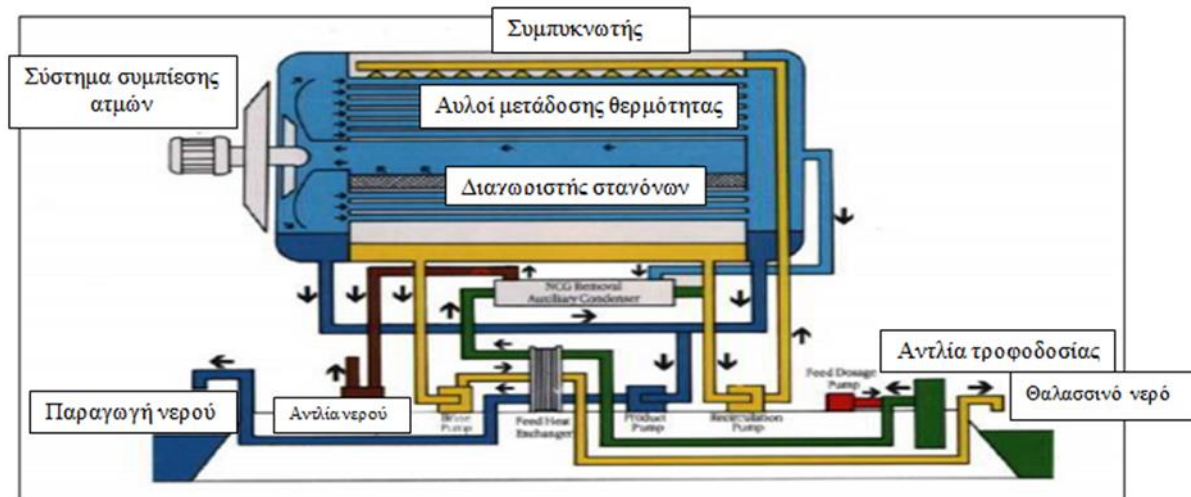
Εικόνα 7. Σύστημα πολυβάθμιας εκτόνωσης. (Πηγή: Μουτάφης, 2008).

2.2.2.3 Εξάτμιση με Συμπύεση Ατμών (Vapor Compression - VC)

Η μέθοδος της εξάτμισης με συμπύεση ατμών (VC) διαφέρει από τις προηγούμενες μεθόδους καθώς δεν χρειάζεται θερμότητα προκειμένου να παραχθεί πόσιμο νερό αλλά χαμηλότερη πίεση καθώς λειτουργεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Η διαδικασία της είναι απλή καθώς έχουν το θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό να σχηματίζει λεπτή στρώση (για αποτελεσματικότητα) επάνω από σωλήνες στους οποίους στο εσωτερικό τους κινείται υψηλής θερμοκρασίας ατμός και σε συνεργασία με έναν

αεροσυμπιεστή που δημιουργεί υποπίεση, το νερό θερμαίνεται και εξατμίζεται. Ο παραγόμενος ατμός στη συνέχεια συλλέγεται και συμπυκνώνεται επιτυγχάνοντας το στόχο, δηλαδή την παραγωγή πόσιμου νερού (Εικόνα 8). Η μέθοδος εφαρμόζεται σε μονάδες αφαλάτωσης μικρού και μεσαίου μεγέθους.



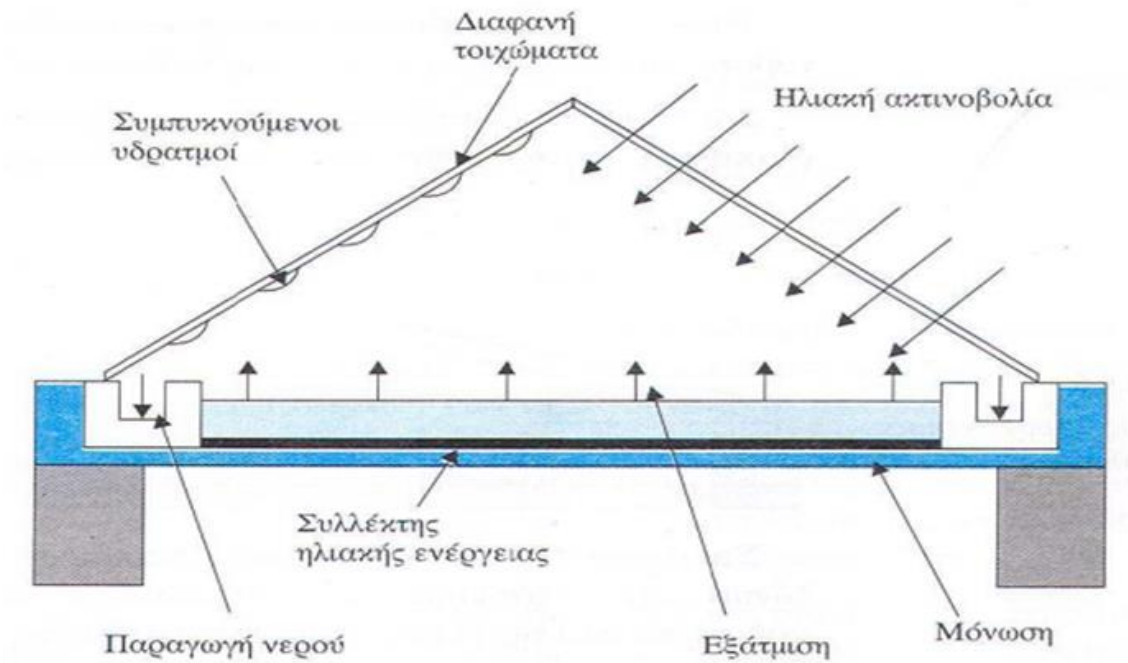
Εικόνα 8. Σύστημα εξάτμισης με συμπίεση ατμών.

2.2.2.4 Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation)

Η μέθοδος της ηλιακής απόσταξης μας παραπέμπει στη λειτουργία του θερμοκηπίου καθώς η λειτουργία τους είναι παρόμοια.

Η διαδικασία περιλαμβάνει μια διαφανή κεκλιμένη οροφή η οποία καλύπτει ποσότητα νερού προς αφαλάτωση. Οι ακτίνες του ήλιου καθώς περνούν από τη διαφανή οροφή ζεσταίνουν το χώρο αυξάνοντας τη θερμοκρασία και προκαλώντας την εξάτμιση του νερού. Καθώς αυτό εξατμίζεται, προσκολλάται στην κεκλιμένη διαφανή οροφή δημιουργώντας ένα στρώμα νερού το οποίο κυλάει και τελικά συλλέγεται (Εικόνα 9). Το παραγόμενο νερό δεν είναι καθαρό από μικροοργανισμούς, διότι οι θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται στον χώρο ανέρχονται μέχρι τους 55°C τη θερινή περίοδο, και γι' αυτό απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία.

Η παρούσα μέθοδος εκμεταλλεύεται αποκλειστικά την ηλιακή ενέργεια ώστε να παραχθεί το πόσιμο νερό επομένως είναι η φιλικότερη απ' όλες προς το περιβάλλον. Το νερό που παράγει δεν είναι σε μεγάλη ποσότητα και προτιμάται κυρίως για οικιακή χρήση.



Εικόνα 9. Μέθοδος ηλιακής απόσταξης. (Πηγή: Συσκάκη, 2013).

2.3 Σύγκριση μεθόδων

Η σωστή σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης θα πρέπει να γίνει σύμφωνα με οτιδήποτε είναι απαραίτητο για να λειτουργήσει μία μονάδα. Αυτές οι παράμετροι είναι το είδος του νερού τροφοδοσίας, η μορφή και ο τύπος ενέργειας που απαιτείται και είναι διαθέσιμος, η ποιότητα και η ποσότητα του παραγόμενου νερού, η κατανάλωση ενέργειας της εγκατάστασης και το κόστος της.

Από τον πίνακα 1 συμπεραίνουμε ότι η πιο συμφέρουσα είναι η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης με μεγάλο συντελεστή να έχει η κατανάλωση ενέργειας. Η αντίστροφη όσμωση έχει την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και το χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης και παράλληλα είναι αξιόπιστη από τα λιγότερα έως τα περισσότερα λίτρα παραγωγής.

Πίνακας 1: Συγκριτικά αποτελέσματα για τις διάφορες μεθόδους αφαλάτωσης.

Μέθοδος	Νερό τροφοδοσίας	Μορφή ενέργειας	Παραγωγή προϊόντος (m ³ /ημέρα)	Τύπος Ενέργειας	Κατανάλωση Ενέργειας	Κόστος Εγκατάστασης €/ (m ³ /ημέρα)
BWRO	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	2,5- >50.000	Ηλεκτρική	0,5-3 KWh/m ³	300-2000
ED	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	15-50.000	Ηλεκτρική	1,5-4 KWh/m ³	1000-5000
SWRO	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	0,4- >70.000	Ηλεκτρική	<5KWh/ m ³ <3KWh/m ³ με ανάκτηση ενέργειας	650-4400
MSF	Θαλασσινό	Θερμική	1.000-60.000	Θερμική/ Ηλεκτρική	290kJ/kg 4-6KWh/m ³	1000-2000
MED	Θαλασσινό	Θερμική	500-20.000	Θερμική/ Ηλεκτρική	270kJ/kg 2,5-3 KWh/m ³	850-1750
VC	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	25-2.500	Ηλεκτρική	8-15 KWh/m ³	1000-2350





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. MEMBRANES

3.1 Μεμβράνες Αντίστροφης Όσμωσης

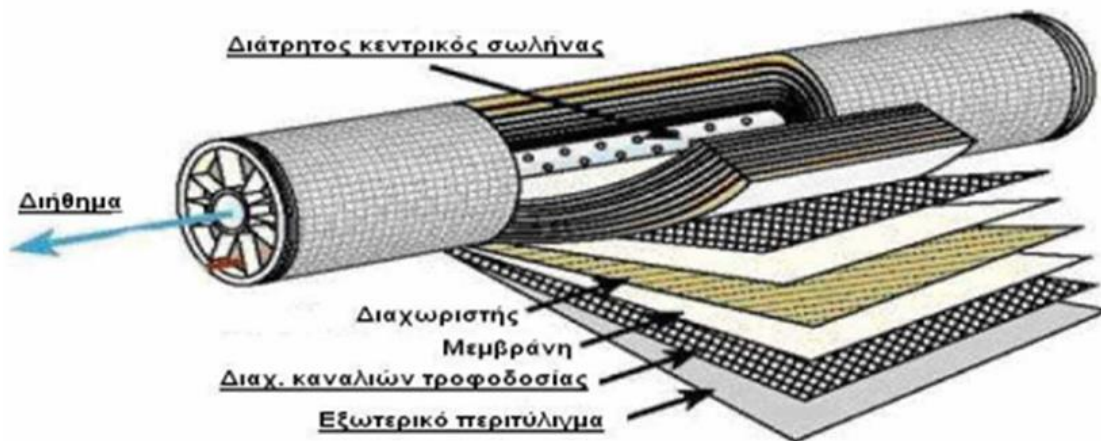
Η διεργασία της αντίστροφης όσμωσης κατατάσσεται στις μεθόδους των μεμβρανών επομένως και στο δικό της σύστημα επεξεργασίας του υφάλμυρου και θαλασσινού νερού χρησιμοποιούνται μεμβράνες. Αυτές κατασκευάζονταν τα παλαιότερα χρόνια από εστέρες κυτταρίνης (CA) όμως δεν ήταν και τόσο αποδοτικές με αποτέλεσμα οι νεότερες μεμβράνες να κατασκευάζονται από συνθετικά υλικά όπως είναι τα πολυμερή πολυαμίδια (PA).

Οι μεμβράνες όμως για να καταστούν ικανές για τη χρήση τους στην αντίστροφη όσμωση πρέπει να πληρούν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που είναι η αντοχή και η σταθερή απόδοσή τους σε μεγάλο εύρος pH, η μηχανική τους αντοχή, το χαμηλό τους κόστος και η εύκολη κατασκευή τους, η μεγάλη αντοχή τους στο χρόνο (διάρκεια ζωής 3 – 5 χρόνια) και όσο το δυνατόν περισσότερη απόρριψη αλάτων.

3.1.1 Σπειροειδής μεμβράνη (spiral – wound module)

Ο τύπος της σπειροειδής μεμβράνης είναι ο πιο διαδεδομένος για τη διεργασία της αντίστροφης όσμωσης διότι το κόστος του είναι χαμηλότερο σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους και δεν προκαλεί μεγάλη ρύπανση στο περιβάλλον.

Η συσκευή αποτελείται από επίπεδα φύλλα μεμβρανών που είναι ανά δύο συγκολλημένα και μεταξύ τους παρεμβάλλεται ένας διαχωριστής δημιουργώντας μια δομή «μεμβράνη-διαχωριστής-μεμβράνη» όπου μπορεί να υπάρχουν μέχρι 26 τέτοιες δομές. Αυτό το σύστημα είναι τυλιγμένο γύρω από έναν διάτρητο κεντρικό σωλήνα. Το νερό προς αφαλάτωση εισέρχεται μέσω των μεμβρανών στο εσωτερικό τμήμα του σωλήνα και κατά τη διάρκεια της εισροής το νερό «καθαρίζεται». Έτσι μέσα στον σωλήνα υπάρχει το καθαρό νερό το οποίο εξέρχεται και συλλέγεται (Εικόνα 10).

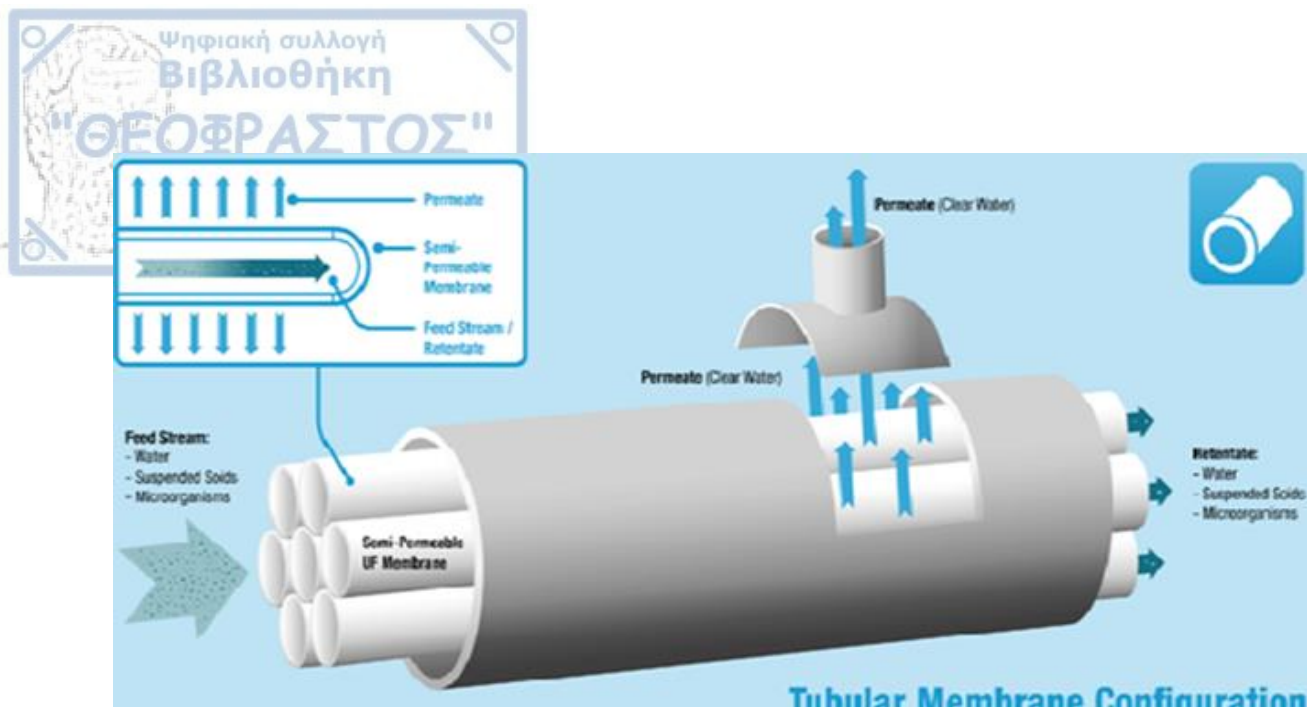


Εικόνα 10. Τύπος Σπειροειδής Μεμβράνης (Πηγή: Συσκάκη, 2013).

3.1.2 Σωληνωτός τύπος (tubular module)

Ο σωληνωτός τύπος δεν έχει αντοχή σε μεγάλες θερμοκρασίες και σε μεγάλο εύρος τιμών pH, έχει μεγάλο κόστος και γι' αυτό χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου το όφελος είναι μεγαλύτερο από το κόστος ώστε να υπάρχει κέρδος. Ωστόσο θετικό του είναι η αντοχή του σε μεγάλη ρύπανση του νερού προς αφαλάτωση και πλέον χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερο βαθμό στην υπερδιήθηση.

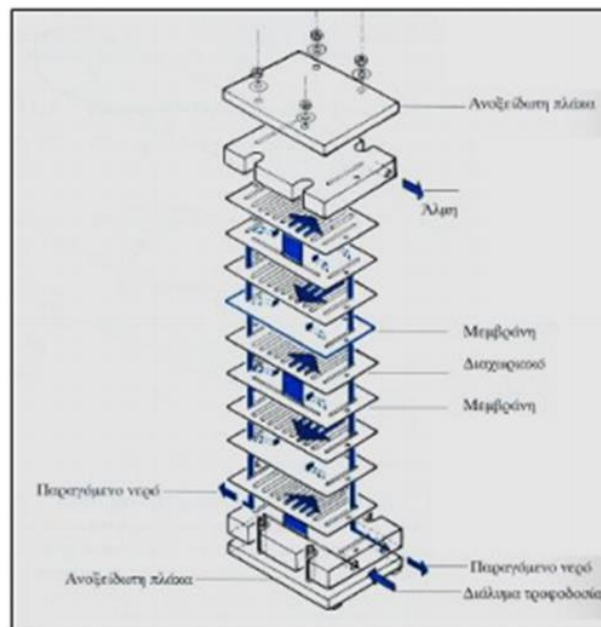
Η συσκευή αποτελείται από σωλήνες μέσα στους οποίους εντοπίζονται οι μεμβράνες, το νερό περνάει μέσα από αυτές και εξέρχεται καθαρό ώστε να συλλεχθεί. Το νερό με τα υπολείμματα από το καθαρισμένο πλέον νερό, απορρίπτεται από άλλη διέξοδο (Εικόνα 11).



Εικόνα 11. Τύπος Σωληνωτός Μεμβρανών (Πηγή: Συσκάκη, 2013).

3.1.3 Τύπος δίσκων – πλαισίου ή επίπεδος τύπος (plate and frame module)

Ο επίπεδος τύπος είναι και αυτός με πολύ υψηλό κόστος άρα η χρήση του είναι αρκετά περιορισμένη. Αποτελείται από επίπεδα φύλλα μεμβράνης που είναι κατανομημένα σε στοιβάδες πάνω σε στηρίγματα. Μέσα στη συσκευή υπάρχουν οι διαχωριστές που χωρίζουν την μεμβράνη και το στήριγμά της, κατευθύνοντας το νερό έξω από αυτή ώστε να γίνει η λήψη του (Εικόνα 12, Εικόνα 13).



Εικόνα 12. Επίπεδος τύπος μεμβρανών (Πηγή: Μιχαλόπουλος, 2013).

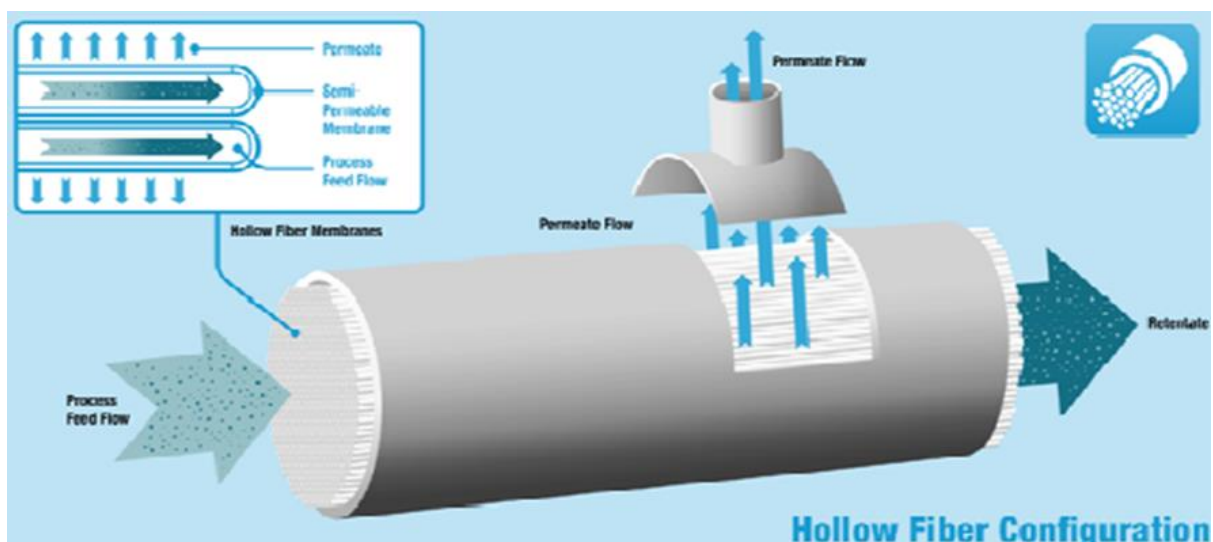


Εικόνα 13. Επίπεδος τύπος μεμβρανών (Πηγή: Συσκάκη, 2013).

3.1.4 Τύπος κοίλων ινών ή τριχοειδών σωλήνων (hollow – fiber module)

Ο τύπος των κοίλων ινών είναι η πιο εξελιγμένη μορφή μεμβρανών αφαλάτωσης και χρησιμοποιείται παγκοσμίως ενώ ένα σημαντικό του μειονέκτημα είναι η δυσκολία της συσκευής ως προς τον καθαρισμό της.

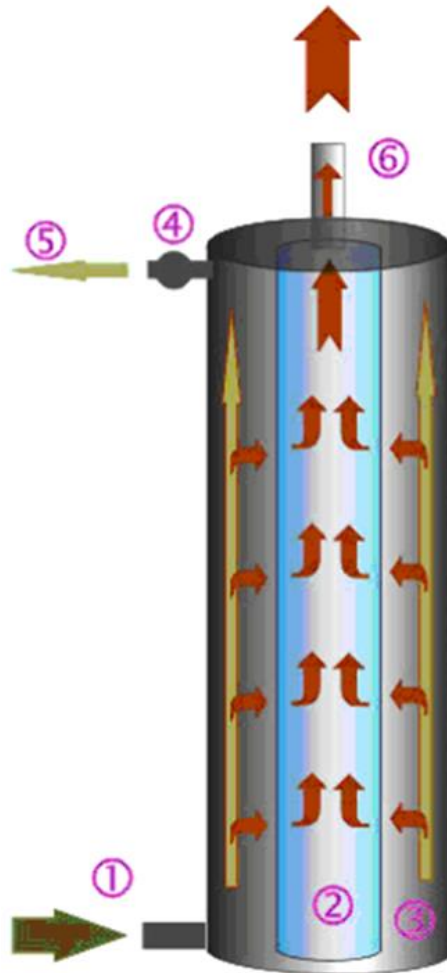
Η λειτουργία του προσδιορίζεται από την κίνηση του νερού προς αφαλάτωση στο εξωτερικό μέρος των ινών ενώ το καθαρό νερό μεταφέρεται από το εσωτερικό τους προς τα έξω ώστε να γίνει λήψη του (Εικόνα 14).



Εικόνα 14. Τύπος τριχοειδών σωλήνων. (Πηγή: Συσκάκη, 2013).

3.2 Τρόπος λειτουργίας συσκευής

Στην εικόνα 15 έχουμε τη συσκευή της αντίστροφης όσμωσης. Το νερό προς αφαλάτωση εισέρχεται από την είσοδο στο σημείο 1 και καταλαμβάνει τον ελεύθερο χώρο της συσκευής που είναι ο χώρος 3. Το νερό μετά από μια εξωτερική πίεση αναγκάζεται να διαπεράσει από την μεμβράνη 2 στο εσωτερικό της από την οποία το νερό έχει καθαριστεί από άλατα και προσμίξεις επομένως έχουμε μόνο το καθαρό νερό μέσα στο χώρο 2. Αυτό το νερό (πάνω από το 30% του εισερχόμενου νερού στη συσκευή) εξέρχεται από την έξοδο 6 και συλλέγεται ως καθαρό νερό. Το υπόλοιπο νερό με τα υπολείμματα που απέμειναν από το καθαρό νερό εξέρχεται από τη βαλβίδα 4, στην έξοδο 5, η οποία ανοίγει όταν η εξωτερική πίεση που ασκείται υπερβεί την πίεση της βαλβίδας. Αυτή είναι η διεργασία που ακολουθεί το νερό προς αφαλάτωση στην αντίστροφη όσμωση.



Εικόνα 15. Αναπαράσταση λειτουργίας της συσκευής της αντίστροφης όσμωσης.
(Πηγή: Μουτάφης, (2008).

3.3 Διάθεση της άλμης

Η διάθεση της άλμης είναι ένα σημαντικό πρόβλημα των μονάδων της αφαλάτωσης. Είναι ένα από τα μειονεκτήματα της μεθόδου καθώς έχει και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η διάθεση της άλμης γίνεται σε επιφανειακά νερά, σε παράκτια νερά όπως το θαλάσσιο περιβάλλον, σε συστήματα αποχέτευσης, σε λίμνες εξάτμισης, στην άρδευση και στην επεξεργασία του συμπυκνώματος για συγκεκριμένη ανάκτηση άλατος με μεταβολές του pH ώστε να αφαιρεθούν συγκεκριμένα άλατα.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα ύδατα, παράκτια και θαλάσσια, προκαλούνται λόγω των φυσικών ιδιοτήτων της άλμης και πιο συγκεκριμένα της υψηλότερης θερμοκρασίας που συνήθως έχει, της υψηλότερης συγκέντρωσης σε άλατα αλλά και από τις χημικές ουσίες που περιέχει εξαιτίας της επεξεργασίας του νερού.

Η υψηλή συγκέντρωση σε άλατα και σε χημικά συστατικά έχει επιπτώσεις στα θαλάσσια οικοσυστήματα (π.χ. ποσειδώνια) και τα θαλάσσια είδη καταστρέφοντάς τα και μετρώντας σοβαρές απώλειες αυτών. Οι θαλάσσιοι οργανισμοί είναι ανεκτικοί σε ένα εύρος τιμών διακύμανσης της αλατότητας χωρίς να επηρεάζονται ενώ πάνω από αυτό το όριο οι οργανισμοί είτε μεταναστεύουν είτε πεθαίνουν (Jenkins, 2006).

Ωστόσο τα επεξεργασμένα ύδατα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε υδροβιότοπους ή στην ιχθυοκαλλιέργεια ή με ανάμειξη με επεξεργασμένα νερά από εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών λυμάτων να διατίθενται από κοινού στην παράκτια περιοχή. Πλέον στις χώρες που έχουν μεγάλο βαθμό εξάρτησης από τις αφαλατώσεις, η διαχείριση της άλμης απαιτεί κατάλληλο σχεδιασμό και είναι σημαντικό κομμάτι για την αδειοδότηση της μονάδας.

3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αφαλάτωσης

Η εγκατάσταση της μονάδας αφαλάτωσης φέρει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα της εγκατάστασης είναι η ανάληψη καλής ποιότητας πόσιμου νερού, η αποφυγή της υφαλμύρισης και η διατήρηση των υδατικών πόρων ενώ τα μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος παραγωγής πόσιμου νερού, η διάθεση της άλμης ως βιομηχανικό απόβλητο, οι αέριες εκπομπές από την κατανάλωση ενέργειας, η ηχορύπανση από την μονάδα κατά τη λειτουργία της και η χρήση μεγάλης παραθαλάσσιας έκτασης.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η διαδικασία της αφαλάτωσης πραγματοποιείται κυρίως με συμβατικές μορφές ενέργειας. Η πιο διαδεδομένη μορφή είναι η ηλεκτρική ενέργεια η οποία φτάνει στις μονάδες αφαλάτωσης μέσω του δικτύου αλλά είναι αρκετά ασύμφορη καθώς εντοπίζεται αυξομείωση στο κόστος της και κατά συνέπεια θα υπάρχει και η αντίστοιχη αυξομείωση στην τιμή του παραγόμενου νερού.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι η οικονομικότερη και πιο φιλική προς το περιβάλλον λύση για τις μονάδες αφαλάτωσης συγκριτικά με τις συμβατικές. Σε κάποιες απομακρυσμένες περιοχές οι οποίες δεν είναι συνδεδεμένες με το κεντρικό δίκτυο είναι ανέφικτη η χρήση του, επομένως, οι ΑΠΕ είναι η μοναδική λύση. Ωστόσο, δεν είναι όλες οι ΑΠΕ συμφέρουσες για την αφαλάτωση και εξ' αυτού, οι σημαντικότερες και πιο διαδεδομένες είναι η ηλιακή ενέργεια (θερμική και με απευθείας μετατροπή σε ηλεκτρική), η αιολική ενέργεια και η γεωθερμία. Άλλες ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται σε μικρότερο βαθμό είναι η βιομάζα και η θαλάσσια ενέργεια.

4.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις μονάδες αφαλάτωσης είτε ως ηλιακή θερμική ενέργεια είτε με τη βοήθεια φωτοβολταϊκών μετατρέποντάς την σε ηλεκτρική. Η ηλιακή θερμική ενέργεια αποτελείται από ένα σύστημα απόσταξης και μπορεί να μετατραπεί σε μηχανική είτε ηλεκτρική ενέργεια και να χρησιμοποιηθεί αντιστοίχως.

Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με τη χρήση φωτοβολταϊκών αποτελεί την πιο διαδεδομένη λύση από τις ΑΠΕ για την αφαλάτωση. Τα πάνελ στην πλειονότητά τους είναι κατασκευασμένα από πυρίτιο και οι κυψέλες τους είναι είτε μονοκρυσταλλικές είτε πολυκρυσταλλικές. Το ρεύμα που παράγεται εξαρτάται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και από την επιφάνεια του πάνελ. Για να αυξηθεί η συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας τα φωτοβολταϊκά έχουν αισθητήρες που περιστρέφονται προς την κατεύθυνση που καλύπτεται η μεγαλύτερη επιφάνειά τους είτε έχουν αντανακλαστικούς καθρέφτες που κατευθύνουν προς αυτά την ηλιακή ακτινοβολία (Εικόνα 16).



Εικόνα 16. Φωτοβολταϊκό πάρκο που φαίνονται τα πάνελ και ο μηχανισμός περιστροφή τους για τη μεγαλύτερη δυνατή παραγωγή ηλεκτρισμού. Πηγή: SIGMA HELLAS. <https://www.sigmahellas.gr/el/energy/photovoltaic-pv/>

Έχουν πραγματοποιηθεί με επιτυχία προσπάθειες για τον συνδυασμό των φωτοβολταϊκών πάνελ με την αντίστροφη όσμωση τόσο στις απομακρυσμένες περιοχές από το δίκτυο όσο και σε αυτές που έχουν πρόσβαση σε αυτό, αποτελώντας μια συμφέρουσα μέθοδο που έχει ξεκινήσει ήδη να χρησιμοποιείται. Συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους, πιο οικονομική μπορεί να καταστεί η ίδια με βάση δύο παραμέτρους που είναι το μέγεθος της μονάδας αφαλάτωσης και η συγκέντρωση του άλατος στο νερό που τροφοδοτεί την μονάδα.

4.2 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι αυτή που προέρχεται από την εκμετάλλευση της δράσης του ανέμου. Χαρακτηρίζεται ως “ήπια μορφή ενέργειας” και συγκαταλέγεται στις “καθαρές πηγές” όπως λέγονται αυτές που δεν παράγουν ή δεν εκπέμπουν ρύπους. Ιστορικά θεωρείται από τις πρώτες ΑΠΕ που εκμεταλλεύτηκαν και πλέον εκμεταλλεύονται με τις ανεμογεννήτριες και τους ανεμόμυλους. Στα νησιά που χρίζουν από αφαλάτωση αλλά και από την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των ανθρώπων, όντας αποκομμένα από το κεντρικό δίκτυο της χώρας, θεωρείται ιδανική και οικονομική λύση, καθώς όλα τους χαρακτηρίζονται από δυνατούς ανέμους.

Η εκμετάλλευση πραγματοποιείται με τις ανεμογεννήτριες οι οποίες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την ισχύ τους σε τέσσερις κατηγορίες:

- I. Πολύ μικρής ισχύος που είναι μικρότερη από 10 kW,
- II. Μικρής ισχύος που είναι μικρότερη από 100 kW,
- III. Μεσαίας ισχύος που είναι μικρότερη από 0,5 MW,
- IV. Μεγάλης ισχύος που είναι μεγαλύτερη από 0,5 MW.

Ανάλογα με το αιολικό δυναμικό οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται στα σημεία που θα υπάρχει μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας. Έτσι, διακρίνονται τρεις βασικές περιοχές αιολικών πάρκων:

- I. Χερσαία Αιολικά Πάρκα (Εικόνα 17),
- II. Παράκτια Αιολικά Πάρκα (Εικόνα 18),
- III. Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα (Εικόνα 19).



Εικόνα 17. Χερσαίο αιολικό πάρκο. (Πηγή: Σαχτούρη, 2008).



Εικόνα 18. Παράκτιο αιολικό πάρκο. (Πηγή: OFFLINE POST).



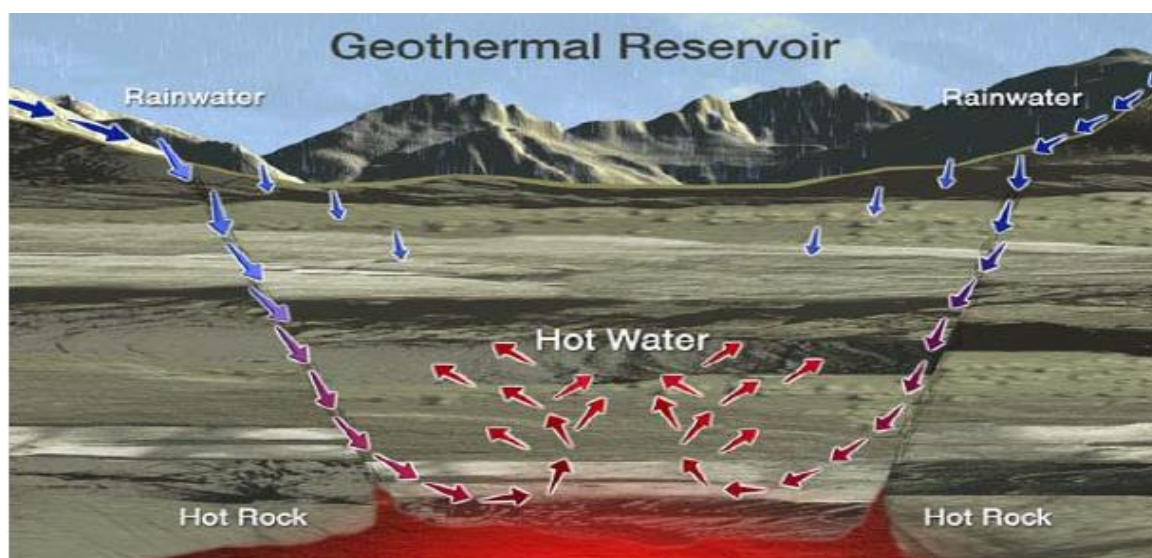
Εικόνα 19. Θαλάσσιο αιολικό πάρκο. Πηγή: ECONOMISTAS. (2019. 04.14).

4.3 Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια ήπια μορφή ενέργειας η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης και ρέει προς την επιφάνεια (Εικόνα 20). Αυτή εξέρχεται μέσω των θερμών πηγών, των θερμοπιδάκων, των ατμίδων και των υδροθερμικών κρατήρων που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης και γίνεται αντιληπτό το μέρος ύπαρξης γεωθερμικών ρευστών σε βάθος. Οι γεωθερμικές πηγές ανάλογα με τη θερμοκρασία τους διακρίνονται στις τρεις ακόλουθες κατηγορίες:

- I. Υψηλής ενθαλπίας, με θερμοκρασία $>150^{\circ}\text{C}$ και αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,
- II. Μέσης ενθαλπίας, με θερμοκρασία $80^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ και αξιοποιείται για αγροτικές διεργασίες,
- III. Χαμηλής ενθαλπίας, με θερμοκρασία $25^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$ και αξιοποιείται για την αφαλάτωση, για την θέρμανση χώρων και τις ιχθυοκαλλιέργειες.

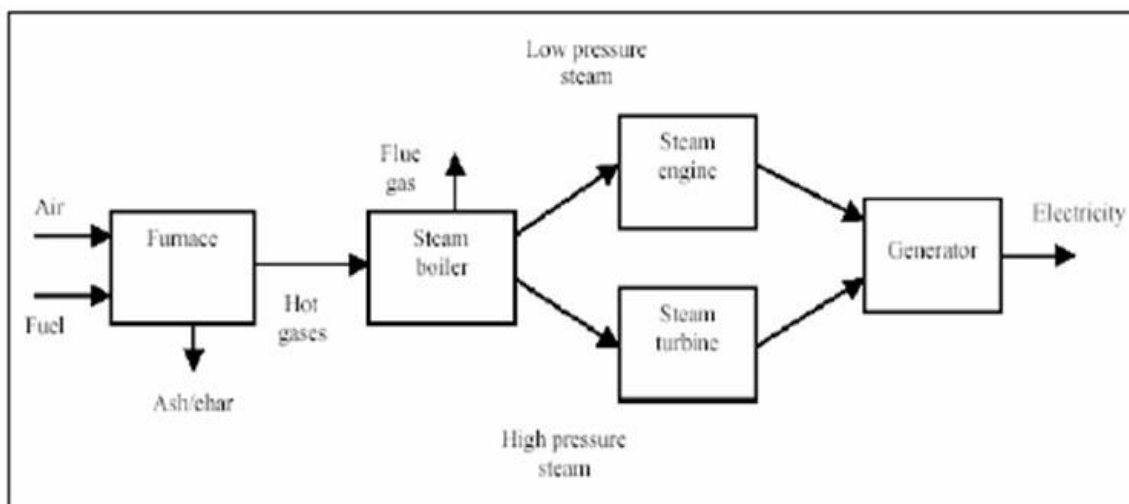
Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αξιοποίηση της γεωθερμίας είναι λιγότερες από αυτές της αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Η αρνητική στάση της πολιτείας απέναντι σε αυτήν είναι εξαιτίας της εκπομπής H_2S το οποίο διαθέτει άσχημη οσμή και γίνεται αντιληπτό. Ωστόσο, μπορεί να ελεγχθεί και να περιοριστεί σε σχέση με το CO_2 το οποίο εκπέμπεται σε μεγάλο βαθμό από τις άλλες ΑΠΕ συγκριτικά με τη γεωθερμία, αλλά δεν γίνεται αντιληπτό από τους πολίτες διότι είναι άοσμο και δεν μπορεί να διακριθεί οπτικά.



Εικόνα 20. Η γεωθερμία και η κίνηση της προς την επιφάνεια για εκμετάλλευση. (Πηγή: ADIRA HANDBOOK, (2005).

4.4 Βιομάζα

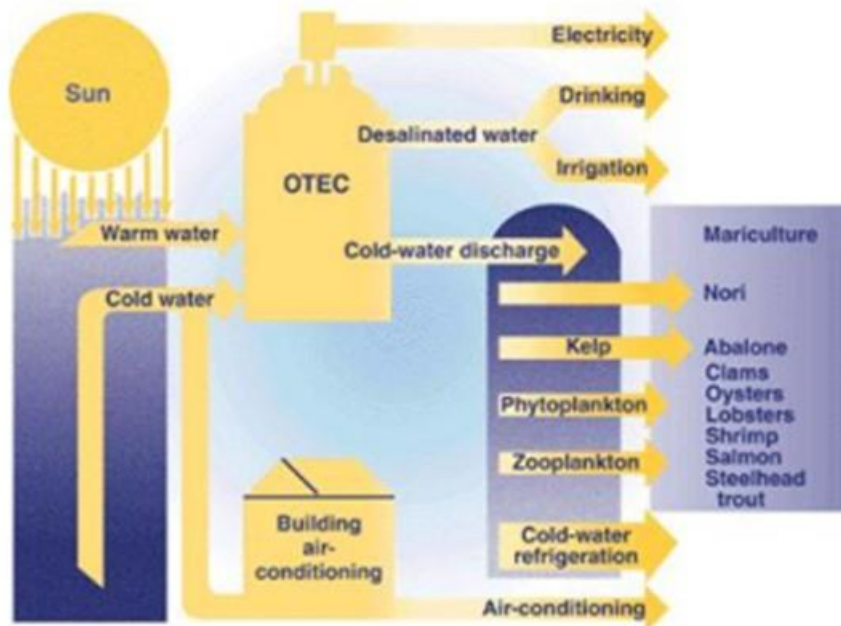
Η βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα αποβλήτων ή υπολειμμάτων βιολογικής προελεύσεως. Αποτελεί την παλαιότερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και είναι φιλική προς το περιβάλλον καθώς εκμεταλλεύεται τα απορρίμματα και τους προσδίδει αξία. Ωστόσο, η βιομάζα δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη για τη διαδικασία της αφαλάτωσης καθώς στις άνυδρες περιοχές που χρίζουν πόσιμο νερού δεν είναι συνήθως δυνατή η ύπαρξη ικανοποιητικών ποσοτήτων υπολειμμάτων για την εκμετάλλευσή τους.



Εικόνα 21. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη βιομάζα. (Πηγή: ADIRA HANDBOOK, 2005).

4.5 Θαλάσσια ενέργεια

Η θαλάσσια ενέργεια είναι η ακριβότερη σε σχέση με τις άλλες ΑΠΕ. Περιλαμβάνει την ενέργεια από τη διαφορά θερμοκρασίας της επιφάνειας και του βάθους της θάλασσας, την ενέργεια των παλιρροιών και των κυμάτων ενώ δεν έχει γνωρίσει μεγάλη εφαρμογή λόγω υψηλού κόστους επένδυσης και λειτουργίας. Ωστόσο, πιστεύεται ότι θα ήταν η ιδανικότερη πηγή ενέργειας για την αφαλάτωση κάτω υπό ορισμένες συνθήκες οι οποίες ακόμα διερευνώνται (Εικόνα 22).



Εικόνα 22. Εκμετάλλευση της θαλάσσιας ενέργειας για την αφαλάτωση. (Πηγή: Πασίσης, 2011).

4.6 Πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Οι ΑΠΕ αποτελούν την καλύτερη λύση για την τροφοδότηση ενέργειας των συστημάτων ώστε να πραγματοποιηθεί η αφαλάτωση κυρίως στα άνυδρα νησιά που έχουν τη μεγαλύτερη ανάγκη. Στα νησιά αυτά, η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών, και ειδικά την περίοδο του καλοκαιριού, είναι αυξημένη πάνω από το φυσιολογικό όριο. Για το λόγο αυτό, δεν επαρκεί ώστε να χρησιμοποιηθεί στην αφαλάτωση σε αντίθεση με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που βρίσκονται σε αφθονία στις περιοχές αυτές, καθώς, τα νησιά ευνοούνται από τους ανέμους, την ηλιακή ακτινοβολία και κάποια από αυτά και με τη γεωθερμία.

Εξίσου σημαντικός λόγος προτίμησης των ΑΠΕ για την αφαλάτωση είναι η μικρότερη ρύπανση που προκαλούν στο περιβάλλον συγκριτικά με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, έχουν πολύ μικρή εκπομπή CO₂ ενώ για τις συμβατικές πηγές αυτό αποτελεί πολύ σοβαρό πρόβλημα καθώς τροφοδοτεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Τέλος, άλλος λόγος προτίμησης χρήσης των ΑΠΕ είναι ότι με δεδομένο πως τα νησιά αφθονούν σε αυτές, δεν εμπλέκονται άλλοι εξωτερικοί παράγοντες και η παραγωγή του πόσιμου νερού είναι καθαρά τοπικό ζήτημα το οποίο μπορεί να ρυθμιστεί σύμφωνα με τις



ανάγκες της κάθε περιοχής ενώ οποιαδήποτε ανάγκη προκύψει μπορεί να αντιμετωπιστεί άμεσα.

4.7 Μειονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Τα μειονεκτήματα για τη χρήση των ΑΠΕ στην αφαλάτωση έχουν να κάνουν τόσο με την πηγή ενέργειας όσο και με την μέθοδο της αφαλάτωσης που θα επιλεγθεί. Πιο συγκεκριμένα, αν και έχουν εντοπιστεί τα τεχνολογικά ζητήματα για την εφαρμογή των ΑΠΕ, υπάρχουν ακόμα περιθώρια βελτίωσής τους αλλά και ο συνδυασμός παραπάνω από μια ανανεώσιμη πηγή μπορεί να φέρει προβλήματα στην εφαρμογή τους.

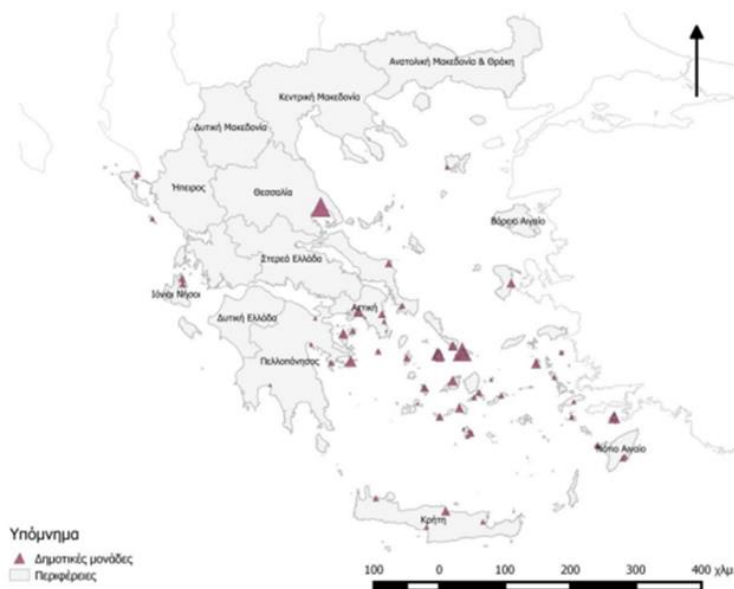
Ένα άλλο πρόβλημα, είναι το κόστος επένδυσης αναφορικά με την παραγωγή της ενέργειας το οποίο ανέρχεται σε υψηλά επίπεδα. Αυτό συμβαίνει λόγω της τεχνολογίας των ΑΠΕ αλλά και όλων των απαραίτητων εξαρτημάτων για την εκμετάλλευσή τους.

Τέλος, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι απρόβλεπτες καθώς εξαρτώνται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή δίνοντας τη μια μέρα τη μέγιστη δυνατή απόδοσή τους και την άλλη μέρα μπορεί να δώσουν σημαντικά μικρότερη. Επίσης, δεν είναι σίγουρο ότι οι περιοχές που χρίζουν πόσιμο νερού θα αποτελούν ευνοϊκά σημεία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ώστε οι εγκαταστάσεις να βρίσκονται στην άμεσα ενδιαφερόμενη περιοχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

Η χώρα μας, όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, αντιμετωπίζει το πρόβλημα της λειψυδρίας κυρίως στα νησιά του Αιγαίου και ειδικότερα στις Κυκλάδες (Εικόνα 23).



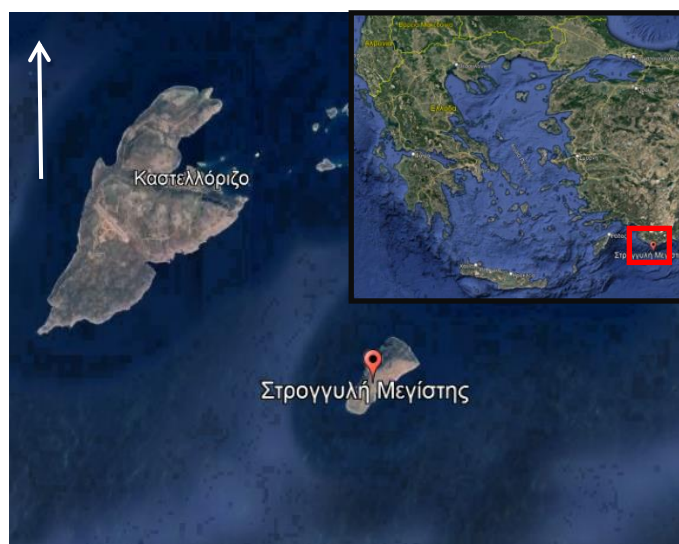
Εικόνα 23. Μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα. (Πηγή: Μπακογιάννη, 2006).

Η αποτελεσματικότερη λύση που βρέθηκε ήταν η αφαλάτωση και πλέον υπάρχουν περίπου 100 μονάδες και βρίσκονται κυρίως στα νησιά Μύκονος, Τήνος, Πάρος, Σύρος, Μήλος, Ίος, Θήρα, Λέρος, Σίφνος, Χίος, Νίσυρος, Στρογγυλή Μεγίστης, Κίμωλος και Οινούσες. Από αυτές τις μονάδες το 80% είναι μικρού μεγέθους και το 20% μεσαίου ενώ όλες λειτουργούν με αντίστροφη όσμωση (RO) εκτός από μία στην Αθήνα που λειτουργεί με πολυβάθμια εξάτμιση (MED). Μονάδα αφαλάτωσης υπάρχει και στο Σουσάκι Κορινθίας και λειτουργεί με εκτονωτική εξάτμιση και εκτόνωση.

Από το παραγόμενο νερό το 21,7% δηλαδή το 16.025 m³/ημέρα προέρχεται από υφάλμυρο νερό, το 73,3% δηλαδή το 54.160 m³/ημέρα προέρχεται από θαλασσίνο νερό ενώ το υπόλοιπο 5% προέρχεται από νερό δικτύου και επιφανειακά ύδατα. Η μεγαλύτερη δημοτική μονάδα παραγωγής σε δυναμικότητα βρίσκεται στο Βόλο με 5000 m³/ημέρα.

5.1 Στρογγυλή Μεγίστης

Η Στρογγυλή Μεγίστης ή Στρογγύλη εντοπίζεται στο ανατολικότερο τμήμα της Ελλάδας κοντά στο Καστελλόριζο και αποτελεί νησίδα των Δωδεκανήσων (Εικόνα 24). Με την τελευταία απογραφή που έγινε το 2011, διαπιστώθηκε ότι στο νησί δεν διαμένουν μόνιμοι κάτοικοι αλλά κυρίως σώματα του Ελληνικού στρατού, ενώ από γεωμορφολογικής άποψης χαρακτηρίζεται από βραχώδες έδαφος που καλύπτεται από θάμνους και φρύγανα χωρίς την ύπαρξη δενδρώδους βλάστησης.



Εικόνα 24. Νήσος Στρογγύλη στο ανατολικότερο άκρο της Ελλάδας και το πιο κοντινό νησί στην Κύπρο.

Το πρόβλημα της λειψυδρίας που αντιμετώπιζε το νησί ήταν μεγάλο καθώς δεν διέθετε νερό προς πόση. Η λύση που είχε βρεθεί ήταν η μεταφορά σε καθημερινή βάση πόσιμου νερού με πλοίο του Πολεμικού Ναυτικού, αλλά ήταν πολύ ακριβή διαδικασία καθώς κόστιζε 20 ευρώ/κυβικό και έπρεπε να αντικατασταθεί. Το 2014 έγινε η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης στην Ελλάδα που λειτουργεί αποκλειστικά με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και δεν βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο.

Η μονάδα διαθέτει φωτοβολταϊκά πάνελ, τα οποία περιστρέφονται ώστε να γίνεται η μεγαλύτερη δυνατή κάλυψη της επιφάνειας τους από την ηλιακή ακτινοβολία και αυτό πραγματοποιείται με το σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας (Εικόνα 25). Ωστόσο, περιλαμβάνει και σύστημα ανάκτησης ενέργειας που η προερχόμενη πίεση από την παραγωγή της άλμης χρησιμοποιείται για να κινεί την τουρμπίνα και να επιτυγχάνεται η άντληση του θαλασσινού νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το κόστος λειτουργίας της μονάδας να είναι ιδιαίτερα χαμηλό.



Εικόνα 25. Φωτοβολταϊκά πάνελ για τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης στην Στρογγύλη με τη συμβολή της ηλιακής ενέργειας. (Πηγή: energypress. (2018. 09.10), Ανάκτηση από <https://energypress.gr/news/egkainiastike-monada-afalatosis-poy-leitoyrgei-apokleistika-meliaki-energeia>).

5.2 Μήλος

Η Μήλος εντοπίζεται στο Αιγαίο πέλαγος και ανήκει στο νησιωτικό τόξο των Κυκλάδων (Εικόνα 26). Χαρακτηρίζεται ως ηφαιστειακό νησί καθώς δημιουργήθηκε από ηφαιστειακή έκρηξη πριν περίπου 2 με 3 εκατομμύρια χρόνια και αποτελούσε ένα στρωματοηφαίστειο χωρίς εκρήξεις. Εξαιτίας της ηφαιστειακής της προέλευσης, διαπιστώθηκε ως το μεγαλύτερο γεωθερμικό πεδίο στην Ελλάδα που εκμεταλλεύτηκε για 2 χρόνια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όμως λόγω κάποιων αστοχιών σταμάτησε η αξιοποίησή του.



Εικόνα 26. Το νησί της Μήλου όπου εντοπίστηκε το μεγαλύτερο γεωθερμικό πεδίο.

Στο νησί ήταν απαραίτητη η διαδικασία της αφαλάτωσης καθώς το νερό που υπήρχε δεν ήταν πόσιμο. Η μονάδα που δημιουργήθηκε το 2009, βασίστηκε στις ΑΠΕ και πιο συγκεκριμένα στην αιολική ενέργεια (Εικόνα 27). Αυτή αποτελείται από τις 4 δεξαμενές που έχουν χωρητικότητα 3.000 m^3 όπου αποθηκεύεται το πόσιμο νερό, ένα αγωγό που συνδέει τη μονάδα με τις δεξαμενές και έχει μήκος 2.800 μέτρα, την ανεμογεννήτρια που εξυπηρετεί στην σύνδεση της μονάδας με την αιολική ενέργεια και έχει ισχύ 850 kW και τέλος, από το ηλεκτρονικό σύστημα τηλεπαρακολούθησης. Η μονάδα είναι δυναμικότητας $3.000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$

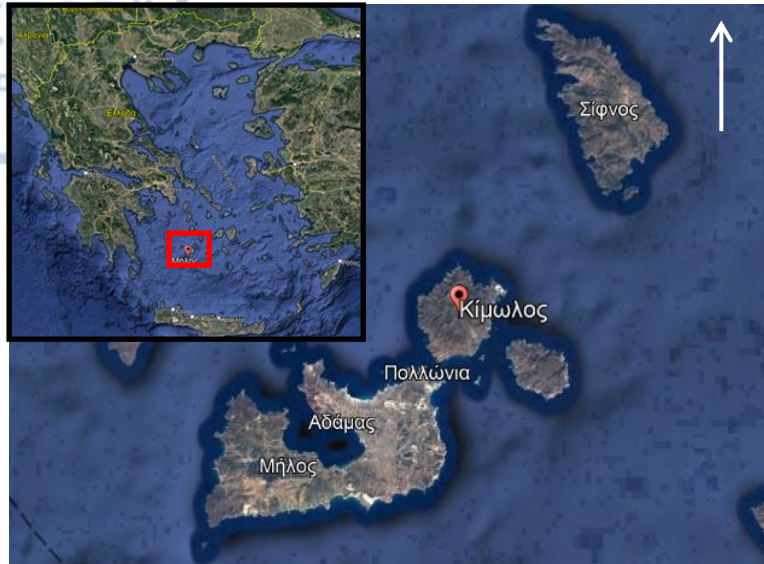
και καλύπτει πλήρως τις ανάγκες του νησιού τόσο τους χειμερινούς όσο και τους καλοκαιρινούς μήνες που η ζήτηση πόσιμου νερού είναι αρκετά αυξημένη λόγω του τουρισμού. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για να την αφαλάτωση του νερού είναι η αντίστροφη όσμωση (RO) η οποία απαιτεί μόνο την ηλεκτρική ενέργεια που καλύπτεται από την αιολική. Για αυτόν τον λόγο, η συγκεκριμένη μονάδα που εκμεταλλεύεται την αιολική ενέργεια είναι λειτουργικά πολύ οικονομική.



Εικόνα 27. Μονάδα αφαλάτωσης στη Μήλο. (Πηγή: Γρυμάνης, 2021).

5.3 Κίμωλος και Σουσάκι Κορινθίας

Η Κίμωλος είναι νησί του Αιγαίου πελάγους, ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων και βρίσκεται βόρεια της Μήλου. Το πρόβλημα της λειψυδρίας είναι μεγάλο στο συγκεκριμένο νησί και η αντιμετώπισή του αποπερατώθηκε το 1999 με μια μονάδα αφαλάτωσης με πολυβάθμια εξάτμιση δυναμικότητας 80 m³/ημέρα και τη συμβολή της γεωθερμίας. Το νησί βρίσκεται στις υψηλής ενθαλπίας περιοχές με γεωθερμία.



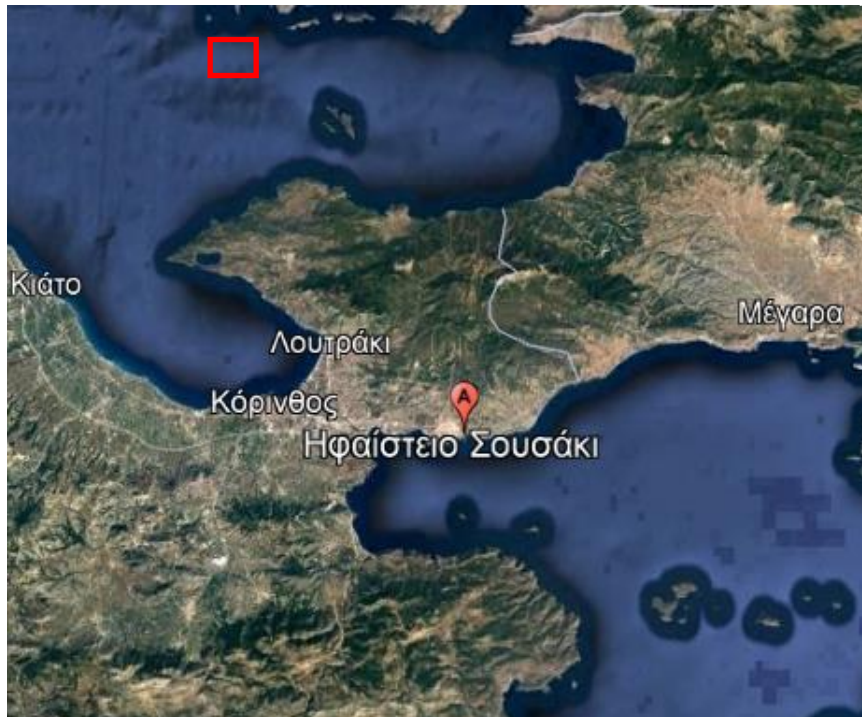
Εικόνα 28. Το νησί της Κιμώλου στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων.

Η μονάδα αφαλάτωσης αξιοποιούσε τη μέθοδο MED σε χαμηλές θερμοκρασίες περίπου 61°C, σε κατακόρυφους αγωγούς και σε συνθήκες μερικού κενού. Το νερό που παράγονταν κατά τη δοκιμαστική περίοδο της μονάδας ήταν εξαιρετικής ποιότητας και ανερχόταν στα 3.2 m³/h και το γεωθερμικό νερό που χρησιμοποιούνταν ήταν στα 50 m³/h.



Εικόνα 29. Στη μονάδα αφαλάτωσης στην Κίμωλο η αντλία του γεωθερμικού συστήματος. (Πηγή: Υφαντίδης, 2014).

Το Σουσάκι βρίσκεται στα βορειοανατολικά της Κορίνθου και στη βορειοδυτική ακτή του ηφαιστειακού τόξου του νότιου Αιγαίου. Η περιοχή θεωρείται ότι αποτελεί υψηλής ενθαλπίας γεωθερμικό πεδίο και για την παραγωγή αφαλατωμένου νερού συμβάλει η γεωθερμική ενέργεια. Η μονάδα αφαλάτωσης συνδυάζει την εκτονωτική εξάτμιση με απόσταξη, δηλαδή χρησιμοποιεί δύο τρόπους αφαλάτωσης την hybrid multi flash και την distillation nunder vacuum.



Εικόνα 30. Η γεωγραφική τοποθεσία της περιοχής Σουσάκι Κορινθίας.

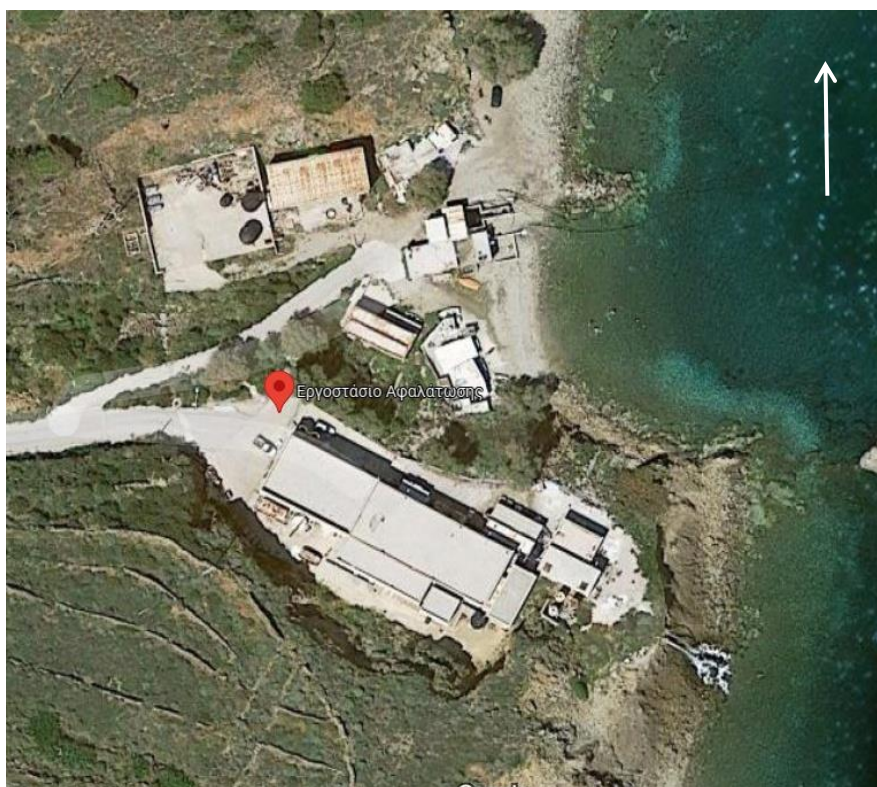
5.4 Μονάδες αφαλάτωσης σε άνυδρα νησιά της Ελλάδας χωρίς τη χρήση ΑΠΕ

Μονάδες αφαλάτωσης υπάρχουν και λειτουργούν στα νησιά της Ελλάδας κυρίως χωρίς την χρήση ΑΠΕ. Τέτοιες μονάδες συναντάμε στα νησιά της Σύρου, της Τήνου, της Σαντορίνης, της Πάρου, της Κρήτης, της Νισύρου, της Ίου και της Κέρκυρας και επεξεργάζονται υφάλμυρο νερό οι Τήνος, Πάρος, Κρήτη και Κέρκυρα ενώ οι υπόλοιπες θαλασσινό.

5.4.1 Ερμούπολη Σύρου

Η Σύρος συμπεριλαμβάνεται στα νησιά του Αιγαίου και πιο συγκεκριμένα στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων ενώ αντιμετωπίζει τη λειψυδρία με μια μονάδα αφαλάτωσης στην περιοχή του Αγίου Δημητρίου στην Ερμούπολη.

Αυτή καλύπτει στο 99% τις υδρευτικές ανάγκες των κατοίκων του δήμου, είναι παραγωγική από το 1989 και έχει έκταση 4.658 m². Το νερό προς αφαλάτωση είναι θαλασσινό και η επεξεργασία του πραγματοποιείται με τη λειτουργία της αντίστροφης όσμωσης (RO). Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο αντικαταστάθηκαν το 2007 και συντηρούνται κάθε χρόνο από δύο φορές από τη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ερμούπολης (ΔΕΥΑ Ερμούπολης). Η μονάδα αυξάνει την παραγωγή της σε αφαλατωμένο νερό το καλοκαίρι εξαιτίας του αυξημένου τουρισμού και την αύξηση των αναγκών. Τέλος, σημαντικό κομμάτι μιας μονάδας αφαλάτωσης είναι και η απόρριψη της άλμης όπου αυτή πραγματοποιείται μέσω ενός σωλήνα 30 μέτρων από την ακτή και καταλήγει στη θάλασσα στην περιοχή Αμπελάκι Αγίου Δημητρίου.



Εικόνα 31. Η μονάδα αφαλάτωσης στον Άγιο Δημήτριο στην Ερμούπολη της Σύρου.

5.4.2. Τήνος

Η Τήνος ανήκει στις Κυκλάδες και είναι το τρίτο μεγαλύτερο νησί των Κυκλάδων μετά τη Νάξο και την Άνδρο. Το πρόβλημα της λειψυδρίας και σε αυτό το νησί είναι μεγάλο και αντιμετωπίζεται με τέσσερις μονάδες αφαλάτωσης όπου οι τρεις βρίσκονται στον Άγιο Φωκά και συνεργάζονται ενώ η τρίτη βρίσκεται στην Αγκάλη. Οι μονάδες προμηθεύονται υφάλμυρο νερό και μέσω της αντίστροφης όσμωσης (RO) παράγουν νερό για ύδρευση το οποίο όμως δεν δύναται να καλύψει τις ανάγκες των περιοχών αυτών καθώς οι μονάδες στην περιοχή τους Αγίου Φωκά καλύπτουν συνολικά το 45% των αναγκών της περιοχής ενώ η μονάδα στην Αγκάλη καλύπτει το 15%. Στην περιοχή του Αγίου Φωκά η μία μονάδα είναι και η πιο πρόσφατη που τέθηκε σε λειτουργία το 2014, η προηγούμενη το 2009 ενώ η άλλη της περιοχής τέθηκε σε λειτουργία το 2004 και η τέταρτη το 2001 με την αντικατάσταση των μεμβρανών να πραγματοποιείται το 2008.



Εικόνα 32. Η τελευταία μονάδα αφαλάτωσης της Τήνου που τέθηκε σε λειτουργία το 2014. (Πηγή: ENERGIA.gr.)

5.4.3. Ηράκλειο Κρήτης

Στο νησί της Κρήτης και πιο συγκεκριμένα στο δήμο Γαζίου Ηρακλείου υπάρχει μονάδα αφαλάτωσης με έκταση 1.000 m², ενώ χρηματοδοτήθηκε και η δημιουργία καινούργιας μονάδας στον δήμο για την καλύτερη εξυπηρέτηση των κατοίκων αλλά και την διανομή αφαλατωμένου νερού και στις γύρω περιοχές. Η μονάδα δίνει τη μέγιστη απόδοσή

της κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου και έτσι καλύπτονται οι υδρευτικές ανάγκες των κατοίκων του δήμου. Εφαρμόζεται η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης (RO) που επεξεργάζεται υφάλμυρο νερό ενώ οι μεμβράνες της αντικαταστάθηκαν το 2009. Η απόρριψη της άλμης πραγματοποιείται στον Αλμυρό ποταμό με διάτρητο αγωγό που βρίσκεται επιφανειακά με τη συμβολή του καναλιού από το εργοστάσιο της ΔΕΗ.



Εικόνα 33. Μέρος από τη μονάδα αφαλάτωσης στις εγκαταστάσεις του δήμου Γαζίου Ηρακλείου. (Πηγή: kriti.efsyn.gr).

5.5 Abu Dhabi

Οι μεγαλύτερες μονάδες αφαλάτωσης βρίσκονται στη Μέση Ανατολή. Στη Σαουδική Αραβία και στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα εντοπίζονται οι μεγαλύτερες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης που επεξεργάζονται θαλασσίνο νερό για να καλύψουν τις ανάγκες για πόσιμο νερό της ευρύτερης περιοχής.

Στο Abu Dhabi τον Σεπτέμβριο του 1984 ξεκίνησε να λειτουργεί μονάδα αφαλάτωσης με τη συμβολή της ηλιακής ενέργειας, δηλαδή με τη χρήση ΑΠΕ. Η δημιουργία του απέβλεπε στην εξέταση της οικονομικής σκοπιμότητας και λειτουργικότητας παρόμοιων μονάδων για την παραγωγή αφαλατωμένου νερού και την αποστολή του στις ξηρές απομακρυσμένες περιοχές των ΗΑΕ με τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η μονάδα χρησιμοποιεί τη μέθοδο της πολυβάθμιας εξάτμισης χρησιμοποιώντας 1064 φωτοβολταϊκά πάνελ με συνολική επιφάνεια 1862 m² και έχει δυναμικότητα 80 m³/ημέρα.



Εικόνα 34. Μονάδα αφαλάτωσης στο Abu Dhabi. (Πηγή: UTILITIES.)

5.6 Kwinana, Περθ, Αυστραλία

Η Αυστραλία αντιμετωπίζει το πρόβλημα της λειψυδρίας καθώς τα τελευταία χρόνια έχει ενταθεί σε υψηλό βαθμό και ενώ στο παρελθόν είχε βιώσει παρόμοιες καταστάσεις ξηρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής, η υπάρχουσα κατάσταση είναι η χειρότερη διότι συνδυάζεται με την υπερθέρμανση του πλανήτη εξαιτίας του ανθρώπινου είδους. Λόγω της έλλειψης σημαντικών ποσοτήτων νερού, απειλείται ο κλάδος της γεωργίας, η χώρα πλήττεται από καταστροφικές φωτιές ενώ οι αρχές της χώρας μιλούν μέχρι και για «κλοπές νερού».

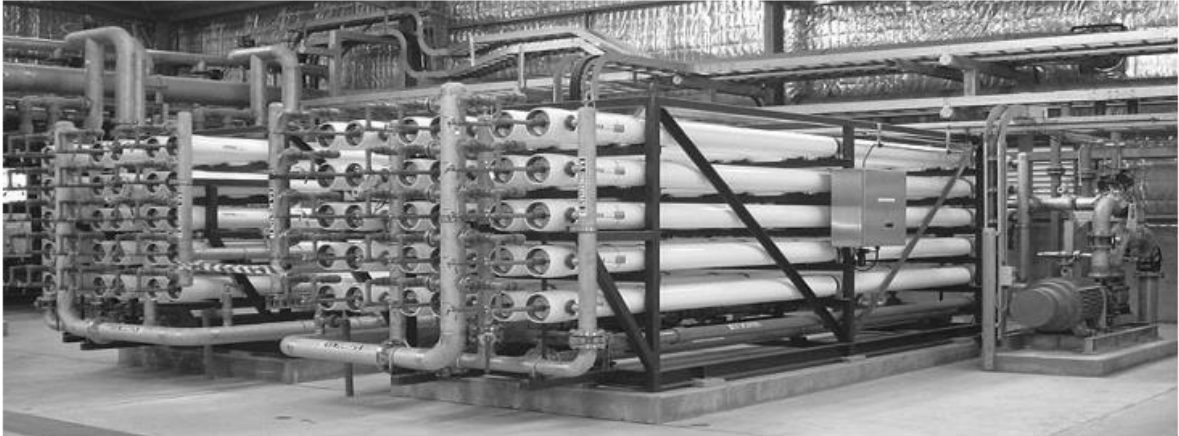
Στην περιοχή της Δυτικής Αυστραλίας και πιο συγκεκριμένα με έδρα τη Kwinana, 25 Km. νοτιότερα της πόλης Περθ, εδρεύει το εργοστάσιο αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με αντίστροφη όσμωση, του οποίου η λειτουργία ξεκίνησε το Νοέμβριο του 2006 (Εικόνα 35). Αποτελεί το μεγαλύτερο εργοστάσιο αφαλάτωσης στον κόσμο το οποίο λειτουργεί με τη συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και πιο συγκεκριμένα τροφοδοτείται ηλεκτρική ενέργεια από το αιολικό πάρκο με 48 ανεμογεννήτριες και το ηλιακό πάρκο του Geraldton.

Η μονάδα έχει ημερήσια ικανότητα 140.000 m³/ημέρα με σκοπό να επεκταθεί και σε 250.000 m³/ημέρα. Έτσι καλύπτει το 15% όλων των αναγκών στην πόλη του Περθ και εξυπηρετώντας 1,5 εκατομμύρια πληθυσμό.



Εικόνα 35. Οι εγκαταστάσεις του εργοστασίου της μονάδας αφαλάτωσης στην περιοχή Kwinana στη Δυτική νότια Αυστραλία. (Πηγή: *Safeguarding the Future of Perth's Drinking Water: Perth Seawater Desalination Plant.*)

Το εργοστάσιο είναι εγκατεστημένο σε περιοχή η οποία είναι περιβαλλοντικά προστατευόμενη. Εξαιτίας αυτού, η μελέτη της λειτουργίας του εργοστασίου για αστοχίες και περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι μεγάλη, ενώ η παρακολούθηση που αφορά τα ιζήματα, τη θερμοκρασία, κ.λπ. είναι πολύ αυστηρή. Το αφαλατωμένο νερό πριν διατεθεί προς εκμετάλλευση στους κατοίκους της περιοχής υπόκειται σε επεξεργασία με τη χρήση ασβεστίου, χλωρίου και φθορίου.



Εικόνα 36. Αριστερά επάνω είναι η περιοχή του εργοστασίου της μονάδας αφαλάτωσης του Περθ, δεξιά επάνω είναι το αιολικό πάρκο με τις 48 ανεμογεννήτριες με ισχύ 1,65 MW η καθεμία, κάτω είναι τα 12 συστήματα SWRO με 160 μεγαλίτρα/ημέρα και 6 συστήματα BWRO με 144 μεγαλίτρα/ημέρα. (Πηγή: MATTHEUS F A GOOSEN. ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/The-Kwinana-Seawater-Reverse-Osmosis-Desalination-SWRO-Plant-and-Wind-Farm-in-Perth_fig1_263610279)



Η αφαλάτωση αποδεικνύεται ο αποτελεσματικότερος τρόπος για ανάληψη πόσιμου νερού και καθίσταται απαραίτητη όσο περνούν τα χρόνια και η λειψυδρία γίνεται εντονότερη. Η πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδος είναι η αντίστροφη όσμωση τόσο παγκοσμίως όσο και στην Ελλάδα για μικρές και μεσαίες μονάδες, και συγκεκριμένα για το θαλασσινό και υφάλμυρο νερό. Η επεξεργασία του θαλασσινού νερού είναι πολυπλοκότερη σε σύγκριση με τα υφάλμυρα ύδατα καθώς περιέχουν περισσότερα άχρηστα στερεά, όμως, είναι μια αρκετά οικονομική και συμφέρουσα λύση για πόσιμο νερό.

Για τη λειτουργία των μονάδων αφαλάτωσης είναι χρήσιμη η συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), καθώς, είναι οικονομικότερη από τις συμβατικές μεθόδους και ειδικότερα η χρήση της ηλιακής ενέργειας θεωρείται η πιο διαδεδομένη ενώ για λιγότερα περιβαλλοντικά προβλήματα προτείνεται η γεωθερμία. Παραδειγματισμένοι από τις χώρες του εξωτερικού, θα ήταν εύλογο και η Ελλάδα, έχοντας το πλεονέκτημα της αφθονίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, να τις εκμεταλλευτεί και να τις χρησιμοποιήσει σε μεγαλύτερο εύρος για την κάλυψη, τουλάχιστον, των βασικών αναγκών τόσο σε περιοχές με έλλειψη άμεσης επικοινωνίας με κεντρικά δίκτυα, όσο και για περιοχές με εύκολη πρόσβαση προκειμένου να μειωθούν οι ρύποι από τις συμβατικές μεθόδους, αλλά και να καταστεί οικονομικότερη η διαδικασία της αφαλάτωσης.





AL-AMSHAWEEA SAJJAD, MOHD YUSRI BIN MOHD YUNUS, ABDUL AZIZ MOHD AZODDEIN, DAVID GERAIN T HASSELL, IHSAN HABIB DAKHIL, HASSIMI ABU HASAN. (19.01.2020). ScienceDirect. *Electrodialysis desalination for water and wastewater: A review*. Ανάκτηση 17.05.2021, από Elsevier: <https://www.sciencedirect.com>

Andreas N. Angelakis, Mohammad Valipour, Kwang-Ho Choo, Abdelkader T. Ahmed, Alper Baba , Rohitashw Kumar, Gurpal S. Toor and Zhiwei Wang. *Desalination: From Ancient to Present and Future*.

GOOSEN F. A. MATTHEUS. The Kwinana Seawater Reverse Osmosis Desalination SWRO Plant and Wind Farm in Perth. Ανάκτηση 22.09.2021, από ResearchGate: https://www.researchgate.net/figure/The-Kwinana-Seawater-Reverse-Osmosis-Desalination-SWRO-Plant-and-Wind-Farm-in-Perth_fig1_263610279

GOOSEN MATTHEUS, HACENE MAHMOUDI, NOREDDINE GHAF FOUR. (2010). *Water Desalination Using Geothermal Energy*. energies. file:///C:/Users/Rhea/Downloads/energies-03-01423.pdf

GUTIÉRREZ HECTOR, SALVADOR ESPÍNDOLA. (2010). *Using Low Enthalpy Geothermal Resources to Desalinate Sea Water and Electricity Production on Desert Areas in Mexico*. Bali, Indonesia : Proceedings World Geothermal Congress. <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/2808.pdf>

LENNTECH. Key issues in Seawater Desalination. Ανάκτηση 5.05.2021, από LENNTECH: https://www.lenntech.com/processes/desalination/general/desalination-key-issue.htm?gclid=Cj0KCQiAyoecBhCTARIsAOfpKxg23WEWTqxNcDu3eSPSj93DIOTXuyV1PftIMCm_4Zfu6j6Ge2xHe2YaArJwEALw_wcB

QUTEISHAT KOUSSAI, MOUSA ABU-ARABI. *Promotion of Solar Desalination in the MENA Region*. Middle East Desalination Research Center Muscat, Oman. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/QUTEISHAT%20and%20ABU-ARABI%202004%20Promotion%20of%20Solar%20Desalination%20in%20the%20MENA%20Region.pdf

SALVADOR ESPÍNDOLA HERNANDEZ . (2008). *Using Coastline Geothermal Resources For Desalination In Baja California, Mexico*. Brest, France: 2nd International Conference on Ocean Energy (ICOE 2008). file:///C:/Users/Rhea/Downloads/icoe2008_poster_06_diverse_gutierrez_paper.pdf

Science Wiki. (27.11.2019). Αφαλάτωση. Ανάκτηση 04.05.2021, από Science Wiki: <https://science.fandom.com/el/wiki/%CE%91%CF%86%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7>



SUEZ in Australia & New Zealand. Ανάκτηση 22.09.2021, από *Safeguarding the Future of Perth's Drinking Water: Perth Seawater Desalination Plant*: <https://www.suez.com.au/en-au/our-offering/success-stories/water/safeguarding-the-future-of-perth-s-drinking-water-perth-seawater-desalination-plant>

TOMASZEWSKA BARBARA, GULDEN GOKCEN AKKURT, MICHAL KACZMARCZYK, WIESLAW BUJAKOWSKI, NAZLI KELES, YAKUBU A.JARMA, ALPER BABA, MAREK BRYJAK, NALAN KABAY. (2021). *Utilization of renewable energy sources in desalination of geothermal water for agriculture*. ScienceDirect.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916421002228#s0015>

WATER CORPORATION. Ανάκτηση 2.10.2021, από Southern Seawater Desalination Plant: <https://www.watercorporation.com.au/Our-water/Desalination/Southern-Seawater-Desalination-Plant>

Ελληνόγλωσση

ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ. (2013). *Αφαλάτωση με ΑΠΕ σε άνυδρα ελληνικά νησιά*. Διπλωματική Εργασία. Αθήνα : ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΣΤΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, Τμήμα Χημικών Μηχανικών.
<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/8813/Georgopoulou.pdf?sequence=1>

Π. ΚΑΡΑΧΑΛΙΟΥ. (2010). *Τεχνολογίες Αφαλάτωσης και Προοπτικές στον Ελληνικό χώρο*. Διπλωματική Εργασία. Αθήνα.
<https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/958/1/documents/2010karachaliou.pdf>

ΚΑΤΩΠΟΔΗΣ, Κ., ΜΗΝΑΣ, Ι.-Χ. (2018). *Μελέτη μονάδας αφαλάτωσης για κάλυψη απαιτήσεων ύδρευσης ελληνικών νησιωτικών περιοχών*. Πτυχιακή Εργασία. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., Πάτρα.
<https://core.ac.uk/download/pdf/132805747.pdf>

ΜΑΘΙΟΥΔΑΚΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ . (2011). *Περιβαλλοντικές επιπτώσεις άλμης εργοστασίου αφαλάτωσης*. Διπλωματική Εργασία. Κρήτη: ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.
<http://artemis.library.tuc.gr/DT2012-0104/DT2012-0104.pdf>

ΜΙΧΑΛΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΗΣ. (2013). *Θερμοδυναμική ανάλυση συστημάτων αντίστροφης όσμωσης για αφαλάτωση θαλασσινού νερού*. Διπλωματική Εργασία. Αθήνα.
https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/38432/michalopoulos_v_desalination.pdf?sequence=1

ΜΟΥΤΑΦΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ. (2008). *Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο*. Διπλωματική Εργασία. Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών.
https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/2770/moutafisp_sikinos.pdf?sequence=3&isAllowed=y



ΜΠΑΚΟΓΙΑΝΝΗ, Δ. Η. (2016). *Χωρική κατανομή μονάδων αφαλάτωσης στην Ελλάδα. Διερεύνηση δυνατοτήτων αξιοποίησης της άλμης από τη βιομηχανία*. Μεταπτυχιακή Εργασία. ΕΜΠ, Αθήνα.

https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/43669/Bakogianni_Desalinaton.pdf?sequence=1

ΝΥΔΡΕΟΣ-ΣΑΚΟΥΕΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ. (2010). *Μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα: Αποτύπωμα Άνθρακα*. Μεταπτυχιακή Εργασία. Βόλος: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, Πολυτεχνική σχολή.
<https://core.ac.uk/download/pdf/132805747.pdf>

ΠΑΣΙΣΗΣ Β. ΙΩΑΝΝΗΣ. (2011). *Αφαλάτωση νερού με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*. Μεταπτυχιακή Εργασία. Αθήνα.
http://dspace.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/5720/Pasisis_1.pdf?sequence=1

ΣΥΣΚΑΚΗ ΚΑΛΛΙΟΠΗ. (2013). *Τεχνολογίες αφαλάτωσης νερού, εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εγκατάσταση και λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση*. Πτυχιακή Εργασία. Ηράκλειο.
<http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/mhx/2013/SyskakiKalliopi/attached-document-1382025641-644833-4479/SyskakiKalliopi2013.pdf>

ΥΦΑΝΤΙΔΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ. (2014). *Αφαλάτωση με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. Πτυχιακή Εργασία. Καβάλα: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΑΒΑΛΑΣ, Τμήμα Μηχανολογίας.
<http://digilib.teiimt.gr/jsrui/bitstream/123456789/2392/1/012014x01x067.pdf>

ΦΟΥΝΤΟΥΚΙΔΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ. (2015). *Αφαλάτωση Νερού με Αντίστροφη Ώσμωση*. Στο Ε. Φουντουκίδης, Χημική Τεχνολογία. Αθήνα.
<http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/units/?course=MECH102&id=568>