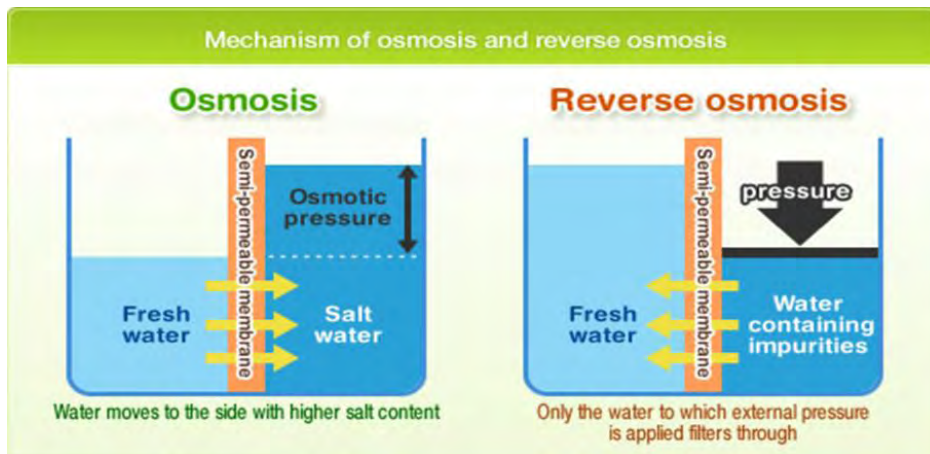


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ: ΤΕΧΝΙΚΕΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



ΧΡΥΣΟΒΕΡΓΗ ΑΘΗΝΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΝΑΚΟΥΔΗΣ ΒΑΣΙΛΗΣ, ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2014

Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
2. ΤΟ ΝΕΡΟ	9
2.1. Χαρακτηριστικά νερού	9
2.2. Έλλειψη νερού	10
2.2.1. Η Πληθυσμιακή αύξηση που οδηγεί στην αύξηση της ζήτησης.....	10
2.2.2. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	10
2.2.3. Η κακή διαχείριση των φυσικών πόρων	11
2.2.4. Η αστυφιλία.....	11
2.3. Λύσεις για αντιμετώπιση της λειψυδρίας.....	12
3. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ.....	13
3.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	13
3.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ.....	14
4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	15
4.1. Θερμικές μέθοδοι.....	15
4.1.1. Πολυβάθμια εκτόνωση (Multiple Stage Flashing, MSF).....	15
4.1.2. Πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED).....	16
4.1.3. Εξάτμιση με επανασυμπύεση ατμών (Mechanical Vapor Compression –MVC ή VC)	17
4.1.3.1. Μέθοδος Παγώματος (Freezing Process).....	17
4.1.4. Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation).....	18
4.1.5. Αφαλάτωση με ύγρανση- αφύγρανση (Humidification Dehumidification - HD).....	18
4.2. Μέθοδοι μεμβρανών.....	18
4.2.1. Αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis - RO)	18
4.2.1.1. Μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης	20
4.2.1.2. Κατασκευή των μεμβρανών	21
4.2.1.2.1. Ασύμμετρες μεμβράνες	21
4.2.1.2.2. Σύνθετες μεμβράνες.....	21
4.2.1.3. Υλικό μεμβρανών	21
4.2.1.3.1. Οξική κυτταρίνη.....	21
4.2.1.3.2. Σύνθετο πολυαμίδιο.....	22
4.2.1.4. Διαμόρφωση Μεμβρανών	22
4.2.1.4.1. Σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών.....	23
4.2.1.4.2. Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών	23
4.2.1.4.3. Μεμβράνες σπειροειδούς περιέλιξης.....	23
4.2.1.4.4. Στοιχεία μεμβρανών κοίλων ινών	24
4.2.1.5. Περιγραφή διαδικασίας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση	24
4.2.1.5.1. Τροφοδοσία θαλασσινού νερού	25
4.2.1.5.2. Προεπεξεργασία νερού τροφοδότησης.....	25
4.2.1.5.3. Στάδιο αντίστροφης όσμωσης	26

4.2.1.5.4.	Τελικό στάδιο επεξεργασίας	26
4.2.2.	Ηλεκτροδιάλυση (elektrodialysis-ED).....	26
4.2.3.	Νανοφιλτράρισμα (Nanofiltration- NF).....	28
4.3.	Υβριδικές μέθοδοι (Hybrid Facilities)	28
4.4.	Ιοντοανταλλαγή (Ion Exchange)	28
5.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	30
6.	ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ	33
6.1.	Ηλιακή Ενέργεια	35
6.1.1.	Ηλιακοί αποστακτήρες	35
6.1.2.	Φωτοβολταϊκά.....	36
6.2.	Αιολική Ενέργεια	36
6.3.	Γεωθερμική Ενέργεια	37
6.4.	Ωκεάνια Ενέργεια	38
6.5.	Βιομάζα και αφαλάτωση	39
7.	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ	40
7.1.	Μονάδα αφαλάτωσης Ras al-Khair στη Σαουδική Αραβία	43
7.2.	Μονάδα αφαλάτωσης στην Llobregat της Ισπανίας.....	45
7.2.1.	Πρόσληψη νερού και διαδικασία προ-επεξεργασίας.....	46
7.2.2.	Στάδιο επεξεργασίας νερού	48
7.2.3.	Διαδικασία μετεπεξεργασίας	48
7.2.4.	Απόβλητα διαδικασίας.....	49
7.2.5.	Δραστηριότητες που έχουν προγραμματιστεί στη δήλωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων	50
8.	ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	52
8.1.	Η μονάδα αφαλάτωσης στην Μήλο.....	55
8.1.1.	Παρουσίαση της μονάδας αφαλάτωσης.....	57
8.1.1.1.	Αντλιοστάσιο παροχής θαλασσινού νερού.....	57
8.1.1.2.	Προεπεξεργασία θαλασσινού νερού	58
8.1.1.3.	Αντίστροφη όσμωση.....	58
8.1.1.4.	Μετεπεξεργασία αφαλατωμένου νερού	59
8.1.1.5.	Δεξαμενή Λειτουργίας- Τροφοδότησης με τον καταθλιπτικό αγωγό.....	59
8.1.1.6.	Ανεμογεννήτρια.....	60
8.1.1.7.	Ηλεκτρικό Σύστημα Διαχείρισης Λειτουργίας του σύνθετου Έργου Μονάδα Αφαλάτωσης- Ανεμογεννήτρια με το υπάρχον ηλεκτρικό σύστημα του νησιού	60
8.1.2.	Αποτελέσματα λειτουργίας.....	61
9.	ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ	62
9.1.	Πλωτές πλατφόρμες αφαλάτωσης.....	62
9.1.1.	Υδριάδα	63
9.1.1.1.	Γενικά χαρακτηριστικά	63
9.1.1.2.	Τεχνικά χαρακτηριστικά	64
9.1.1.3.	Παραγόμενη ενέργεια και διαχείρισή της	65
9.1.1.4.	Λειτουργία αντίστροφης όσμωσης	66

9.1.1.5.	Έλεγχος διαδικασιών αφαλάτωσης.....	66
9.1.1.6.	Πλεονεκτήματα μονάδας αφαλάτωσης.....	66
9.1.1.7.	Κοινωνικο-οικονομικά στοιχεία.....	68
9.2.	Θεμελιωμένες Πλατφόρμες Αφαλάτωσης.....	68
10.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	69
10.1.	Άμεσο κόστος.....	69
10.1.1.	Κόστος γης.....	69
10.2.	Λειτουργικό κόστος.....	71
10.3.	Κόστος παραγόμενου νερού.....	73
10.4.	Οικονομικά δεδομένα διαδικασιών αφαλάτωσης.....	75
10.5.	Χαρακτηριστικές τιμές κόστους παραγόμενου νερού στον κόσμο.....	77
10.6.	Οικονομικά στοιχεία στην Ελλάδα.....	79
10.7.	Κόστος παραγόμενου νερού υβριδικών συστημάτων.....	80
11.	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	82
11.1.	Επιδράσεις κατά τη φάση κατασκευής.....	82
11.2.	Επιδράσεις κατά τη φάση της λειτουργίας.....	82
11.2.1.	Φυσικό περιβάλλον.....	82
11.2.1.1.	Επιπτώσεις κατά την άντληση θαλασσινού νερού.....	82
11.2.1.2.	Επιπτώσεις από την απόρριψη άλμης στο θαλάσσιο οικοσύστημα.....	83
11.2.1.3.	Επιπτώσεις από τις ενεργειακές ανάγκες της αφαλάτωσης.....	85
11.2.1.4.	Επιπτώσεις στις κλιματικές αλλαγές.....	86
11.2.1.5.	Επιπτώσεις στα υπόγεια ύδατα.....	86
11.2.1.6.	Επιπτώσεις στο έδαφος.....	87
11.2.2.	Ανθρωπογενές περιβάλλον.....	87
11.2.2.1.	Επιπτώσεις στη γεωργία.....	87
11.2.2.2.	Ηχορύπανση.....	88
11.2.2.3.	Κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις.....	88
11.2.2.4.	Απασχόληση- Εισόδημα.....	89
11.3.	Αντιμετώπιση περιβαλλοντικών επιπτώσεων.....	90
11.3.1.	Υδροληψία.....	90
11.3.2.	Διάθεση άλμης.....	90
11.3.3.	Χημικά.....	91
11.3.4.	Θόρυβος.....	91
12.	ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ.....	92
12.1.	Γενικά.....	92
12.2.	Αντιμετώπιση των κοινωνικών αντιδράσεων.....	93
13.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	94
13.1.	Ξένη Βιβλιογραφία.....	94
13.2.	Ελληνική Βιβλιογραφία.....	96
13.3.	Διαδίκτυο.....	98

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1. Προδιαγραφές πόσιμου νερού της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (Κουκουτσάκης 2007)	9
Πίνακας 2. Ανώτατες περιεκτικότητες συστατικών μόλυνσης (Κουκουτσάκης 2007).....	10
Πίνακας 3. Σύγκριση μεθόδων αφαλάτωσης (Συσκάκη 2013).....	31
Πίνακας 4. Σύγκριση των διάφορων μεθόδων αφαλάτωσης ως προς το μέγεθος των επιπτώσεων τους	31
Πίνακας 5. Οι μεγαλύτερες εγκαταστάσεις μονάδων αφαλάτωσης στον κόσμο (Gleick, Katz & Lee, The World's Water 2006-2007, The International Desalination & Water Reuse Quarterly industry website. Installed desalination growth slowed in 2011 2012, Construction Week Online, 2013)	42
Πίνακας 6. Μεγαλύτερες εγκαταστάσεις μονάδων αφαλάτωσης με τη χρήση της αντίστροφης όσμωσης παγκοσμίως (Poseidon Resources Corporation, 2010, The International Desalination & Water Reuse Quarterly industry website, 2011-2012)	42
Πίνακας 7. Γενικά χαρακτηριστικά της μονάδας αφαλάτωσης Llobregat (fulleto dessalinitzatora angles 2009).....	50
Πίνακας 8. Μονάδες αφαλάτωσης με τη χρήση της αντίστροφης όσμωσης στα ελληνικά νησιά (Zotalis et al. 2013).....	54
Πίνακας 9. Κόστος αφαλατωμένου νερού ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη ενέργεια και το είδος του τροφοδοτούμενου νερού (Zotalis et al. 2013).....	72
Πίνακας 10. Απαιτήσεις σε ενέργεια συμβατικών μονάδων αφαλάτωσης (Σαμακίδης 2009).	72
Πίνακας 11. Κόστος αφαλατωμένου θαλασσινού και υφάλμυρου νερού σε σχέση με τη δυναμικότητα παραγωγής (Πληροφορίες από την εταιρία Veolia)	74
Πίνακας 12. Κόστος ανάλογα με τη δυναμικότητα παραγωγής σε μονάδες αντίστροφης όσμωσης (Καραγιάννης & Σολδάτος 2011).....	76
Πίνακας 13. Κόστος ανάλογα με τη δυναμικότητα παραγωγής σε μονάδες αφαλάτωσης που κάνουν χρήση θερμικών διεργασιών (Καραγιάννης & Σολδάτος 2011)	76
Πίνακας 14. Χημικά χαρακτηριστικά της άλμης (Πιτσαρή 2011)	84
Πίνακας 15. Δείκτες εγκατάστασης MSF (Τουμάσης 2005)	86
Πίνακας 16. Δείκτες εγκατάστασης RO(Τουμάσης 2005)	86

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1. Έλλειψη πόσιμου νερού (World Meteorological Organisation - WMO, Geneva, 1996)	12
Εικόνα 2. Μονάδα αφαλάτωσης Corp. Al Jubail, Σαουδική Αραβία (www.sasakura.co.jp, 25/10/2013)	16
Εικόνα 3. Μηχανές ηλεκτροδιάλυσης στο Tehran (www.ir.all.biz)	27
Εικόνα 4. Φωτοβολταϊκά πάνελ (www.users.sch.gr, 27/11/2013)	36
Εικόνα 5. Αιολικό πάρκο (www.solarmarket.gr, 18/11/2013)	37
Εικόνα 6. Απεικόνιση της εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας που θα παρέχει ενέργεια για τη θέρμανση των σωλήνων στη μονάδα της πολυβάθμιας εκτόνωσης (www.water-technology.net, 20/11/2013).....	43

Εικόνα 7. Εναέρια απεικόνιση της μεγαλύτερης εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης στον κόσμο, Ras Al-Khair, Σαουδική Αραβία (www.aeconline.ae, 20/11/2013)	44
Εικόνα 8. Ο μεγαλύτερος εξατμιστήρας που χρησιμοποιείται για την μέθοδο της πολυβάθμιας εκτόνωσης, ένας από τους οχτώ που χρησιμοποιούνται στο εργοστάσιο αφαλάτωσης Ras Al Khair (www.waterworld.com, 21/10/2013)	45
Εικόνα 9. Τοποθεσία εγκατάστασης αφαλάτωσης και απεικόνιση περιοχής πρόσληψης νερού (fulleto dessalinitzatora angles 2009)	46
Εικόνα 10. Πύργος πρόσληψης νερού (fulleto dessalinitzatora angles 2009)	47
Εικόνα 11. Χρήση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννήτριας στη μονάδα αφαλάτωσης Llobregat (Miguel Angel SANZ, Carlos MIGUEL, Ramon ARBOS, Maria MUNOZ, Josep MESA, IDA manuscript, 2011)	50
Εικόνα 12. Εγκαταστάσεις μονάδας αφαλάτωσης Μήλου (Συσκάκη 2013)	57
Εικόνα 13. Μονάδα αφαλάτωσης Μήλου (Συσκάκη 2013)	59
Εικόνα 14. Ανεμογεννήτρια τροφοδοσίας της μονάδας αφαλάτωσης στο αιολικό πάρκο της Μήλου (Συσκάκη 2013)	60
Εικόνα 15. Πλωτή μονάδα αφαλάτωσης Υδριάδα (www.hellaskps.gr, 25/11/2013)	63

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1. Κατανομή του νερού στη Γη (www.env-edu.gr, 9/10/2013)	8
Σχήμα 2. Διαδικασία πολυβάθμιας εκτόνωσης (www.sidem-desalination.com, 25/10/2013)	15
Σχήμα 3. Απεικόνιση διαδικασίας πολυβάθμιας εξάτμισης (www.roplant.org, 25/10/2013)	17
Σχήμα 4. Παράδειγμα ηλιακής απόσταξης (www.sswm.info, 26/10/2013)	18
Σχήμα 5. Διαδικασία αντίστροφης όσμωσης (www.dialanro.com, 26/10/2013)	19
Σχήμα 6. Μηχανισμός όσμωσης και αντίστροφης όσμωσης (www.hitachi.com, 26/10/2013)	20
Σχήμα 7. Σωληνοειδείς μεμβράνες (Αυλωνίτης 2006)	22
Σχήμα 8. Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών (www.purewaterlab.org, 30/10/2013)	23
Σχήμα 9. Μεμβράνη σπειροειδούς περιέλιξης (www.espwaterproducts.com, 2/11/2013)	24
Σχήμα 10. Στοιχεία μεμβρανών κοίλων ινών (Αυλωνίτης 2006)	24
Σχήμα 11. Διαδικασία αντίστροφης όσμωσης (Γεωργίου 2008)	25
Σχήμα 12. Διαδικασία ηλεκτροδιάλυσης (www.nzdl.org, 3/11/2013)	28
Σχήμα 13. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (www.b2green.gr, 18/11/2013)	33
Σχήμα 14. Διάταξη αφαλάτωσης με εκμετάλλευση θερμικού δυναμικού	38
Σχήμα 15. Διάταξη αφαλάτωσης με κυματική ενέργεια	38
Σχήμα 16. Διαδικασία με τη χρήση της βιομάζας (ADIRA 2005)	39
Σχήμα 17. Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης ανά γεωγραφική περιοχή (%) (Clayton 2011)	41
Σχήμα 18. Παγκόσμια δυναμικότητα αφαλάτωσης 2010-2016 (IEA-ETSAP and IRENA, Water Desalination Using Renewable Energy, Technology Brief I12, 2012)	42

Σχήμα 19. Διάγραμμα ροής νερού κατά την διαδικασία αφαλάτωσης (Miguel Angel SANZ, Carlos MIGUEL, Ramon ARBOS, Maria MUNOZ, Josep MESA, IDA manuscript, 2011).....	49
Σχήμα 20. Έλλειμμα ή / και πλεόνασμα του πόσιμου νερού ανά υδατικό διαμέρισμα στην Ελλάδα (Steforoulou et al. 2008).....	52
Σχήμα 21. Παραγωγή αφαλατωμένου νερού σύμφωνα με την προέλευση του νερού που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία της μονάδας (Zotalis et al. 2013).....	53
Σχήμα 22. Παραγωγή αφαλατωμένου νερού ανάλογα με τις χρήσεις του, στην Ελλάδα (Zotalis et al. 2013).....	53
Σχήμα 23. Παραγωγή αφαλατωμένου νερού σύμφωνα με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, στην Ελλάδα (Zotalis et al. 2013).....	53
Σχήμα 24. Πλωτή εξέδρα Υδριάδας (www.news.pathfinder.gr , 25/11/2013)	65
Σχήμα 25. Σχηματική παράσταση των συστημάτων της πλωτής μονάδας αφαλάτωσης και της μεταξύ τους διασύνδεσης (www.periplanomeno.wordpress.com , 27/11/2013).....	67
Σχήμα 26. Σχέση δυναμικότητας μονάδας με κόστος (Μουτάφης 2008)	74
Σχήμα 27. Κόστος μονάδων αφαλάτωσης που κατασκευάστηκαν μεταξύ 1995 και 2005 (Ulrich Ebensperger & Phyllis Isley, 2005)	79
Σχήμα 28. Κόστος λειτουργίας (€/m ³) μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με αντίστροφη όσμωση στα ελληνικά νησιά (Zotalis 2012)	80
Σχήμα 29. Κατανάλωση ενέργειας των διαφόρων σταδίων της διαδικασίας αφαλάτωσης (Wilf 2004)	85

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

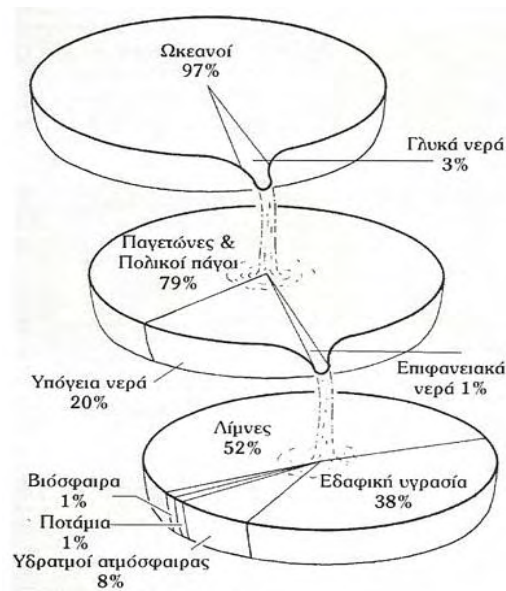
Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Αφαλάτωση: Τεχνικές, Τεχνολογίες και Εφαρμογές» πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια φοίτησης στο πρόγραμμα σπουδών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013-2014.

Την επίβλεψη της εργασίας αυτής είχε ο επίκουρος καθηγητής Βασίλης Κανακούδης, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την έμπρακτη βοήθειά του και την παραχώρηση στοιχείων, δεδομένων και βιβλιογραφίας, χωρίς τα οποία η περάτωση της εργασίας δεν θα ήταν εφικτή.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό αποτελεί αδιαμφισβήτητα το σημαντικότερο αγαθό για την ανθρωπότητα. Χωρίς αυτό δεν θα υπήρχε ζωή. Ικανοποιεί στοιχειώδεις λειτουργικές ανάγκες των οργανισμών και των οικοσυστημάτων βελτιώνοντας το βιοτικό επίπεδο.

Παρατηρώντας τον πλανήτη μας από το διάστημα θα τον χαρακτηρίζαμε ως γαλάζιο πλανήτη αφού παντού επικρατεί το γαλάζιο, λόγω των ωκεανών που καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το 70% της Γης καλύπτεται από νερό. Από αυτό το ποσοστό το 97% είναι θαλασσινό νερό και μόνο το 3% είναι γλυκό, επομένως άμεσα πόσιμο. Συναντάται σε διάφορες μορφές όπως στη στερεή (πάγος, χιόνι), στην υγρή (νερό θαλασσών, ποταμών, λιμνών, πηγών) και στην αέρια (υδρατμοί στην ατμόσφαιρα) (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Κατανομή του νερού στη Γη (www.env-edu.gr, 9/10/2013)

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού που αποτελούν απόρροια της πολικότητας και της ικανότητας των μορίων του να συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου αποτελούν και τους σημαντικότερους λόγους που το καθιστούν απαραίτητο στοιχείο της ζωής. Οι βασικές φυσικοχημικές του ιδιότητες είναι:

- Η μεγάλη διαλυτική ικανότητά του.
- Η μεγάλη αντίσταση σε θερμικές μεταβολές (μεγαλύτερη από κάθε υγρό).
- Η ανάπτυξη ισχυρών δυνάμεων συνοχής και συνάφειας.
- Η μεγάλη πυκνότητα σε υγρή μορφή απ' ό,τι σε στερεή.
- Η αντιστρεπτή διάσταση του νερού σε κατιόντα υδρογόνου και ανιόντα υδροξυλίου (Μαρκοζάννες 2013).

2. ΤΟ ΝΕΡΟ

2.1. Χαρακτηριστικά νερού

Το νερό λόγω της μεγάλης διαλυτικής ικανότητάς του περιέχει ποσότητες πολλών μετάλλων υπό μορφή ιόντων και μορίων. Ορισμένα από αυτά είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπως στη βιομηχανία τροφίμων, στη βιομηχανία υφανσίμων υλών, φαρμάκων, στη γεωργία και σε πολλούς άλλους τομείς. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι ακόμη και το πόσιμο νερό περιέχει τέτοιες ουσίες και μέταλλα, οι οποίες σε μεγάλες ποσότητες θεωρούνται επιβλαβείς και τοξικές. Όσον αφορά στο θαλασσινό νερό, αυτό περιέχει πλήθος αλάτων και μετάλλων. Τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα των αλάτων αυτών κατέχει το χλωριούχο νάτριο σε ποσότητα περίπου 3,5% που θεωρείται αρκετά μεγάλη. Βέβαια, η περιεκτικότητά του δεν είναι ίδια σε όλες της θάλασσες. Κλειστές θάλασσες με μικρή εξάτμιση εξαιτίας της μικρής ηλιοφάνειας και των γλυκών νερών που δέχονται από τα ποτάμια έχουν μικρότερη περιεκτικότητα σε χλωριούχο νάτριο. Χαρακτηριστικά, η Βόρεια θάλασσα έχει 2,8% χλωριούχο νάτριο, η Βαλτική 1,5% και ο Εύξεινος Πόντος μόλις 1-1,5%. Από την άλλη ανοιχτές θάλασσες, όπως η Μεσόγειος η Ερυθρά Θάλασσα και η Θάλασσα του Σουέζ και έχουν 4%, 4% και 7,8% αντίστοιχα. Εκτός από το χλωριούχο νάτριο όμως στις θάλασσες περιέχονται και άλλες χημικές ενώσεις και όλα σχεδόν τα μέταλλα σε μικρές όμως ποσότητες. Το πιο γνωστό είναι η πλατίνα, το ουράνιο, το τιτάνιο και το ασήμι (Κανάκης κ.ά., 2010).

Για να μπορέσει ο άνθρωπος να χρησιμοποιήσει το νερό πρέπει αυτό να πληρεί συγκεκριμένες προδιαγραφές, οι οποίες είναι ελαστικές όσον αφορά στη βιομηχανική και την κοινοτική χρήση αλλά ιδιαίτερα αυστηρές στην περίπτωση του πόσιμου νερού. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει θεσπίσει αντίστοιχα όρια, η υπέρβαση των οποίων καθιστά αυτόματα το νερό μη πόσιμο. Στον Πίνακα 1 φαίνονται τα επιτρεπόμενα όρια όσον αφορά την περιεκτικότητα αλάτων. Εκτός όμως από τα άλατα υπάρχει και η μόλυνση από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Ο Πίνακας 2 καταγράφει τις ανώτατες περιεκτικότητες των πιο γνωστών συστατικών μόλυνσης. Τέλος το νερό μπορεί να χαρακτηριστεί ως σκληρό ή μαλακό ανάλογα με την ποσότητα αλάτων που είναι διαλυμένα σ' αυτό. Η σκληρότητα του νερού συνήθως εξαρτάται από τα άλατα μαγνησίου και χλωρίου και μετρείται σε γερμανικούς, γαλλικούς ή αγγλικούς βαθμούς. Έτσι, τα φυσικά νερά χωρίζονται σε: α) πολύ μαλακά (4 γερμ. βαθμούς), β) μαλακά (4-8 γερμ. βαθμούς), γ) μέτρια μαλακά (8-12 γερμ. βαθμούς), δ) σκληρά (12-30 γερμ. βαθμούς) και ε) πολύ σκληρά (πάνω από 30 γερμ. βαθμούς) (www.7gym-laris.lar.sch.gr, 16/10/2013).

Πίνακας 1. Προδιαγραφές πόσιμου νερού της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (Κουκουτσάκης 2007)

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΑΝΩΤΑΤΗ <u>αποδεκτή</u> ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (mg/l)	ΑΝΩΤΑΤΗ <u>επιτρεπτή</u> ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (mg/l)
Υλικά διαλυμένα άλατα TDS	500	1500
Χλωριούχα	200	600
Θειικά	200	400
Ασβέστιο	75	100
Μαγνήσιο	30	150
Φθοριούχα	0,7	1,7
Νιτρικά	<50	100
Χαλκός	0,05	1,5
Σίδηρος	0,1	1
Χλωριούχο νάτριο	250	-

Πίνακας 2. Ανώτατες περιεκτικότητες συστατικών μόλυνσης (Κουκουτσάκης 2007)

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΜΟΛΥΝΣΗΣ	ΑΝΩΤΑΤΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ
Νιτρικά ως N	10,0 mg/l
Φθοριούχα	1,4-2,4 mg/l
Βάριο	1,0 mg/l
Άργυρος	0,05 mg/l
Αρσενικό	0,05 mg/l
Μόλυβδος	0,05 mg/l
Χρώμιο	0,05 mg/l
Κάδμιο	0,01 mg/l
Υδράργυρος	0,002 mg/l
Σελήνιο	0,01 mg/l
Θολότητα	1-5 NTU
Κολοβακτηρίδια	1/100 ml
Ράδιο 226 και 228	5pCi/p
Στρόντιο 90	8 pCi/l
Ακτινοβολία α	15pCi/l
Ακτινοβολία β	50pCi/l

2.2. Έλλειψη νερού

Το νερό βρίσκεται παντού γύρω μας δίνοντας την ψευδαίσθηση ότι επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών μας για πολλούς αιώνες ακόμη. Ωστόσο, στοιχεία από έρευνες έχουν δείξει ότι τα τελευταία χρόνια τα αποθέματα των υδατικών πόρων μειώνονται δραματικά. Η διαθεσιμότητα του νερού δεν επαρκεί πλέον να καλύψει όλες τις ανάγκες της σύγχρονης εποχής και διαφαίνεται ότι στο μέλλον οι εξελίξεις θα είναι ακόμη χειρότερες. Οι παράγοντες που προκαλούν την έλλειψη νερού καταγράφονται παρακάτω:

2.2.1. Η Πληθυσμιακή αύξηση που οδηγεί στην αύξηση της ζήτησης

Η ζήτηση πόσιμου νερού εξαρτάται άμεσα από δημογραφική αύξηση σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι περισσότερες προβλέψεις υπολογίζουν ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός θα σταθεροποιηθεί στα 8,5 με 9 δισεκατομμύρια ανθρώπους έως το 2050 με το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού να συγκεντρώνεται στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η αύξηση αυτή του πληθυσμού πυροδοτεί τόσο την αύξηση της κατανάλωσης του πόσιμου νερού για οικιακή χρήση, αλλά και της κατανάλωσης για γεωργικές καλλιέργειες, για βιομηχανική χρήση και για πολλούς άλλους τομείς. Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι ο τριπλασιασμός του παγκόσμιου πληθυσμού τον τελευταίο αιώνα συνοδεύτηκε από εξαπλασιασμό της κατανάλωσης πόσιμου νερού. Παράλληλα με την αύξηση του πληθυσμού όμως έχουμε και ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου γεγονός που αυξάνει την ζήτηση σε νερό για την κάλυψη των αναγκών (Παλιεράκης 2007).

2.2.2. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί θέμα μείζονος σημασίας τα τελευταία χρόνια με τους επιστήμονες να κρούουν τον κώδωνα του κινδύνου αν δεν λάβουν χώρα σημαντικές αλλαγές πρακτικής και νοοτροπίας. Οι επιπτώσεις αυτού του φαινομένου είναι εμφανείς και στον τομέα του νερού. Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας οδηγεί στη μεγαλύτερη εξάτμιση των νερών από το θερμότερο έδαφος. Αυτό σε συνδυασμό με τη μείωση των βροχοπτώσεων εντείνουν της ανησυχίες των ερευνητών. Σύμφωνα με έρευνα του Ινστιτούτου Έρευνας του Πόσιμα, τα επόμενα χρόνια

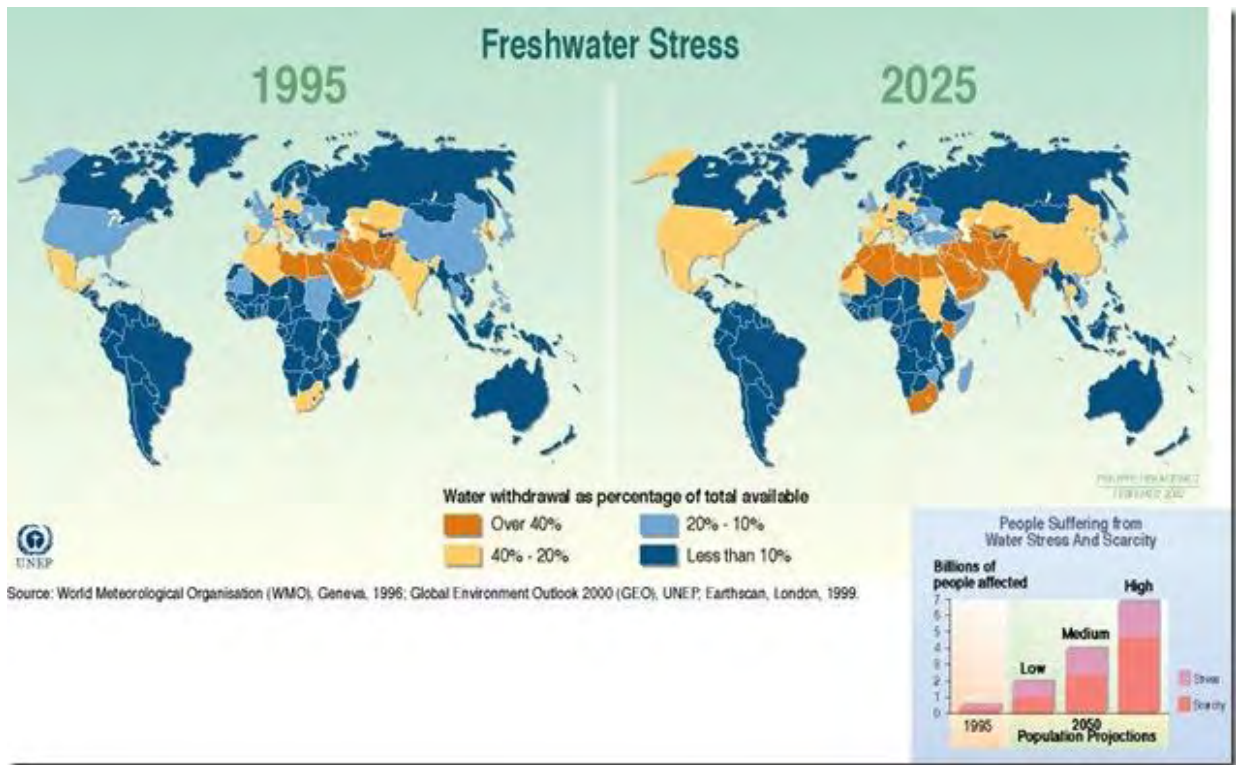
περίπου ένα δις επιπλέον άνθρωποι θα αντιμετωπίσουν σημαντικά προβλήματα στην πρόσβαση των υδατικών πόρων. Η έρευνα η οποία ανέλυσε 19 διαφορετικά κλιματικά μοντέλα και εξέτασε συνολικά περισσότερα από 150 διαφορετικά μελλοντικά σενάρια αναφέρει ότι ακόμη και αν τα κράτη υλοποιήσουν τις δεσμεύσεις τους για τη μείωση των ρύπων, η παγκόσμια μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα αυξηθεί κατά 3,5 βαθμούς Κελσίου, δεδομένο που θα οδηγήσει σε ολική ή μερική έλλειψη πρόσβασης σε υδατικούς πόρους επιπλέον 668 εκατομμύρια ανθρώπους. Περιοχές όπως η νότια Ευρώπη, η Μέση Ανατολή, η βόρεια Αφρική και οι νοτιοδυτικές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών θα πληγούν περισσότερο. Τέλος η έρευνα εκτιμά ποιά εδάφη θα επηρεαστούν με την επερχόμενη αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα με άνοδο 2°C αναμένεται να πληγούν περισσότερο ημιάγονες περιοχές και τούνδρες, με άνοδο 3°C πλούσιες σε βιοποικιλότητα περιοχές με άμεση επίδραση και στα γειτονικά τους οικοσυστήματα και με άνοδο πέραν των 4°C οι επιπτώσεις θα είναι καταστροφικές ακόμη και για τις πλέον πλούσιες σε βιοποικιλότητα περιοχές του πλανήτη όπως τα δάση του Αμαζονίου (www.tvxs.gr, 16/10/2013).

2.2.3. Η κακή διαχείριση των φυσικών πόρων

Βασικό πρόβλημα που εντείνει την υπάρχουσα κατάσταση είναι η κακή ή λανθασμένη διαχείριση του νερού. Η αμέλεια, η αδιαφορία, η ελλιπής ενημέρωση και η υιοθέτηση υδατικά επιζήμιων πρακτικών προκαλούν την κατασπατάληση του πολύτιμου αυτού αγαθού. Όσον αφορά στην οικιακή χρήση του, μεγάλες ποσότητες νερού χάνονται εξαιτίας ενεργειών ήσσονος σημασίας όπως το πλύσιμο αυτοκινήτων ή αυλών. Παράλληλα, η παλαιότητα των δικτύων μεταφοράς (ύδρευσης και άρδευσης) έχει ως αποτέλεσμα να χάνονται μεγάλες ποσότητες νερού. Έτσι, έπεται η αύξηση της ζήτησης για την κάλυψη των αναγκών και αναζητούνται προσωρινές μη βιώσιμες λύσεις που διαιωνίζουν την κατάσταση. Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζει και ο τουρισμός στο εν λόγω φαινόμενο ιδιαίτερα κατά του καλοκαιρινούς μήνες όπου αυξάνει ραγδαία η κατανάλωση και μάλιστα σε περιοχές με αρνητικό υδατικό ισοζύφιο (π.χ. παράκτιες περιοχές και νησιά).

2.2.4. Η αστυφιλία

Η δημογραφική αυτή παράμετρος οδηγεί στην αλόγιστη χρήση του νερού. Παρατηρείται έντονα τα τελευταία χρόνια ένα κύμα μετακίνησης των ανθρώπων στα μεγάλα αστικά κέντρα. Το ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού που κατοικεί στις πόλεις από 14% που ήταν το 1900 έφτασε το 29% στα 1950 και αναμένεται να ξεπεράσει το 60% μέχρι το 2030. Αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση της ζήτησης και κατ' επέκταση την υπεράντληση του υπόγειου υδροφόρου στις περιοχές αυτές (Εικόνα 1) αλλά και τη δημιουργία μεγαλύτερων ποσοτήτων μη επεξεργασμένων αστικών λυμάτων που αποτελούν σημαντική εστία ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (Παλιεράκη 2007). Η έλλειψη νερού έχει δημιουργήσει πολλά προβλήματα παγκοσμίως. Περισσότεροι από 2,2 εκατομμύρια άνθρωποι πέθαναν το 2000 από ασθένειες που σχετίζονται με την κατανάλωση μολυσμένου νερού ή από τη μη επάρκειά του λόγω ξηρασίας. Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας το 80% όλων των γνωστών ασθενειών σχετίζονται με το νερό. Δυστυχώς στην εποχή μας, η οποία χαρακτηρίζεται από ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις, 1 δισεκατομμύριο άνθρωποι σε ολόκληρο τον κόσμο δεν έχουν επαρκή πρόσβαση σε πόσιμο νερό ενώ 4.000 παιδιά πεθαίνουν καθημερινά λόγω της έλλειψης νερού. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει μια έρευνα που διεξήγαγε η φιλανθρωπική οργάνωση Water Aid όπου αναφέρεται ότι στη Μ.Βρετανία πεθαίνει ένα παιδί κάθε 15 δευτερόλεπτα από ασθένειες που σχετίζονται με το νερό (Raully et al. 2005, Papapetrou et al. 2010).



Εικόνα 1. Έλλειψη πόσιμου νερού (World Meteorological Organisation - WMO, Geneva, 1996)

2.3. Λύσεις για αντιμετώπιση της λειψυδρίας

Οι λύσεις για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας ποικίλουν και είναι αναγκαίο να παρθούν από τοπικούς φορείς και περιβαλλοντικές οργανώσεις προκειμένου να εξοικονομηθεί το νερό. Παρακάτω αναφέρονται οι πιθανές λύσεις.

- Βελτίωση των υποδομών με αντικατάσταση των πεπαλαιωμένων δικτύων για τον περιορισμό των απωλειών.
- Κατασκευή λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων.
- Φράγματα ανάσχεσης, για εμπλουτισμό των υδροφορέων.
- Ενημέρωση των καταναλωτών για ορθότερη χρήση του νερού.
- Κατασκευή παράλληλου δικτύου κατώτερης ποιότητας νερού για χρήσεις στις οποίες δεν απαιτείται άριστης ποιότητας νερό.
- Επεξεργασία των λυμάτων και ανακύκλωση του νερού εξόδου του βιολογικού καθαρισμού για δευτερεύουσες χρήσεις (πότισμα, καθαριότητα, οικοδομικές εργασίες, πλυντήρια αυτοκινήτων, χρήση στα λιμάνια κλπ.).
- Υδρογεωτρήσεις όπου ενδείκνυται.
- Κατασκευή μονάδων αφαλάτωσης.
- Μεταφορά νερού με πλοία (Μιχαλακόπουλος 2010).

3. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Όπως προαναφέρθηκε, η μείωση των βροχοπτώσεων, η κακή διαχείριση των υδατικών πόρων αλλά και οι μετεωρολογικές μεταβολές αποτελούν ορισμένους από τους παράγοντες που πολλές χώρες παγκοσμίως αναζητούν εναλλακτικές πηγές ύδρευσης. Μία απ’ αυτές τις πηγές είναι και η αφαλάτωση, η χρήση της οποίας μέχρι τώρα ενδείκνυται για την παραγωγή γλυκού νερού σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν πηγές φυσικού νερού.

Αφαλάτωση είναι η διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μια αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Έτσι, κατεπέκταση, η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες.

3.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Τα πλεονεκτήματα της αφαλάτωσης ποικίλουν τόσο από οικονομικής όσο και από περιβαλλοντικής άποψης. Αυτά είναι:

- **Αυξημένη αξιοπιστία στην υδατοπρομήθεια:** Η αφαλάτωση μπορεί να προσφέρει νερό σε ικανοποιητική ποσότητα και ποιότητα με ψηλό βαθμό αξιοπιστίας και απεξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες. Παράλληλα, πολλά νησιά που έχουν ως μόνη λύση απόκτησης πόσιμου νερού την μεταφορά του μέσω πλοίων με την δημιουργία μονάδων αφαλάτωσης αυτονομούνται (Envecο A.E.- LA.CO Ltd 2010).
- **Οικονομικά οφέλη:** Η μεταφορά νερού ιδιαίτερα στα άνυδρα νησιά κοστίζει πολύ στο κράτος. Μέσω της αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού κόστος αυτό μειώνεται αρκετά. Μάλιστα με την συνεχή τεχνολογική ανάπτυξη που πραγματοποιείται στο μέλλον το κόστος αυτό θα μειωθεί κι άλλο.
- **Πλεονεκτήματα στο περιβάλλον:** Μέσω της αφαλάτωσης αποδεσμεύονται μεγάλες ποσότητες νερού που προέρχονται από τις συμβατικές μονάδες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το νερό αυτό να χρησιμοποιείται για άλλες χρήσεις όπως η γεωργία γεγονός που μειώνει το φαινόμενο της υπεράντλησης του υπόγειου υδροφορέα, συμβάλλοντας θετικά στην προστασία των εδαφών, την καταπολέμηση της απερήμωσης και της υφαλμύρωσης των υπόγειων νερών και τελικά στην αειφορία του περιβάλλοντος (Κασάπη 2009).
- **Βελτίωση στην ποιότητα και την υγιεινή:** Η ποιότητα του αφαλατωμένου νερού είναι εγγυημένη οπότε αποφεύγονται προβλήματα υγείας που σχετίζονται με το νερό, όπως συμβαίνει με τις γεωτρήσεις. Επίσης, σε περιπτώσεις που η ύδρευση γίνεται από γεωτρήσεις με υφάλμυρο νερό, η ποιότητα των αστικών λυμάτων εμφανίζεται βελτιωμένη και σαν συνέπεια ο καθαρισμός τους είναι ευκολότερος και πιο αποτελεσματικός (Ντάνου κ.ά. 2010).
- **Κοινωνικά οφέλη:** Με την επίτευξη της παραγωγής άριστου ποιοτικού και ποσοτικού πόσιμου νερού εξασφαλίζεται η οικονομική ανάπτυξη των περιοχών και το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων τους. Παράλληλα, υπάρχουν θετικές κοινωνικές αντιδράσεις που προέρχονται από ευχαριστημένους πολίτες.

Αναλογιζόμενος κανείς όλα τα παραπάνω εύλογα αντιλαμβάνεται τη μεγάλη χρησιμότητα της μεθόδου.

3.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Η ιδέα της αφαλάτωσης έχει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Παρ’ όλο όμως που υπάρχει εκτενέστερη βιβλιογραφία μέχρι και το Μεσαίωνα σχετικά με τη μετατροπή του θαλασσινού νερού σε γλυκό, οι περιγραφές παρέμειναν σε θεωρητικό και πρακτικό επίπεδο χωρίς καμία πρακτική εφαρμογή. Πρώτος ο Αριστοτέλης το 350 π.Χ. ασχολήθηκε με το διαχωρισμό του αλατιού από το νερό της θάλασσας. Το 200 μ.Χ. πρώτοι οι Έλληνες ναυτικοί επινοούν μικρές μονάδες αφαλάτωσης με σκοπό να καλύψουν τις ανάγκες τους κατά τη διάρκεια των ταξιδιών τους. Τον 8^ο αιώνα υπάρχει αναφορά Άραβα συγγραφέα στην αφαλάτωση που βασίζεται στην απόσταξη του νερού. Τον 16^ο αιώνα τα πλοία που εξερευνούν τους ωκεανούς προβαίνουν στην εν λόγω διαδικασία αλλά μόνο σε περίπτωση ανάγκης. Κατά το Μεσαίωνα ο Giovanni Battista della Porta στο βιβλίο του με τίτλο, “Magiae Naturalis” περιγράφει τρόπους αφαλάτωσης με τη εκμετάλλευση διαφόρων μορφών ενέργειας ενώ αναφέρεται και στην παραγωγή νερού από την υγρασία της ατμόσφαιρας. Το 1675 έχουμε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μια συσκευή απόσταξης θαλασσινού νερού με σκοπό την παραγωγή πόσιμου νερού. Ακολουθεί το 1683 ένα δεύτερο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που αναφέρεται και πάλι στην απόσταξη νερού στην περιοχή της Αγγλίας. Η πρώτη λεπτομερής αναφορά γίνεται το 1724 από το Γάλλο ναύαρχο, A.F.B Deslanes. Αργότερα, το 1739 ο φιλόσοφος Stephan Hales εκδίδει βιβλίο σχετικά με τα προβλήματα της αφαλάτωσης καθώς και εκτεταμένη βιβλιογραφία. Μέσα στον ίδιο αιώνα, με την ανάπτυξη της ατμοπλοΐας, η αναγκαιότητα μεγάλης ποσότητας ύδατος για τη λειτουργία των μηχανών απαιτούσε την εφαρμογή της μεθόδου προς αποφυγή της ταχύτατης διάβρωσής τους. Παράλληλα, το 1870 κατατίθεται στις ΗΠΑ το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια ενώ δύο χρόνια αργότερα στο Chacabuco, Las Salinas της Χιλής κατασκευάζεται η πρώτη μεγάλη εγκατάσταση αφαλάτωσης με ηλιακή ενέργεια από το Σουηδό μηχανικό Carlos Wilson. Το 1890 στη δυτική Αυστραλία λόγω του ξηρού κλίματος κατασκευάζονται οι πρώτες μονάδες αφαλάτωσης. Η Καλιφόρνια εκδήλωσε ενδιαφέρον για την συγκεκριμένη τεχνική το 1930 εξαιτίας της μεγάλης ξηρασίας απ’ την οποία βασανιζόταν αλλά δυστυχώς η οικονομική κατάσταση της χώρας δεν επέτρεψε την έρευνα του θέματος. Μετά το τέλος του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου η αφαλάτωσης συναντά ευρείας αποδοχής καθώς η καλή ποιότητα νερού αποτελεί απαίτηση των πολιτών. Το 1950 η Αμερικανική κυβέρνηση ιδρύει το Τμήμα Αλμυρού Νερού και ξεκινά την έρευνα ενώ τον ίδιο χρόνο στη Μέση Ανατολή εφαρμόζεται μια νέα θερμαντική μέθοδος αφαλάτωσης. Οι ερευνητές Sydney Loeb και Shrinivasa Sourirajan ξεκινούν τα πειράματα πάνω στην αντίστροφη ώσμωση στο πανεπιστήμιο UCLA της Καλιφόρνιας την πρώτη πειραματική μονάδα της οποίας έχουμε το 1965. Στα τέλη της δεκαετίας του ’70 ο John Cadotte εφεύρει μια νέα μεμβράνη για τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Μείωση του ενδιαφέροντος προς την τεχνική της αφαλάτωσης έχουμε το 1973 λόγω έλλειψης της διαθέσιμης ενέργειας. Χρησιμοποιούνταν κυρίως για εμπορικούς ή στρατιωτικούς σκοπούς. Το 1980 έχουμε την πρώτη μονάδα που εξυπηρετεί την Jeda της Σαουδικής Αραβίας. Με τη ραγδαία ανάπτυξη της βιομηχανίας αλλά και την εμφάνιση του προβλήματος της λειψυδρίας η χρήση της αφαλάτωσης εκτοξεύεται και μεγάλα ποσά δαπανώνται για έρευνα. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι απ’ το 1990 και μετά το κόστος της αφαλάτωσης πέφτει στο ένα τρίτο (Καραχάλιου 2010, Δαγκαλίδης 2009, Κωστάκη 2010, Μουτάφης 2008).

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Οι τεχνολογίες αφαλάτωσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο μεγάλες ομάδες:

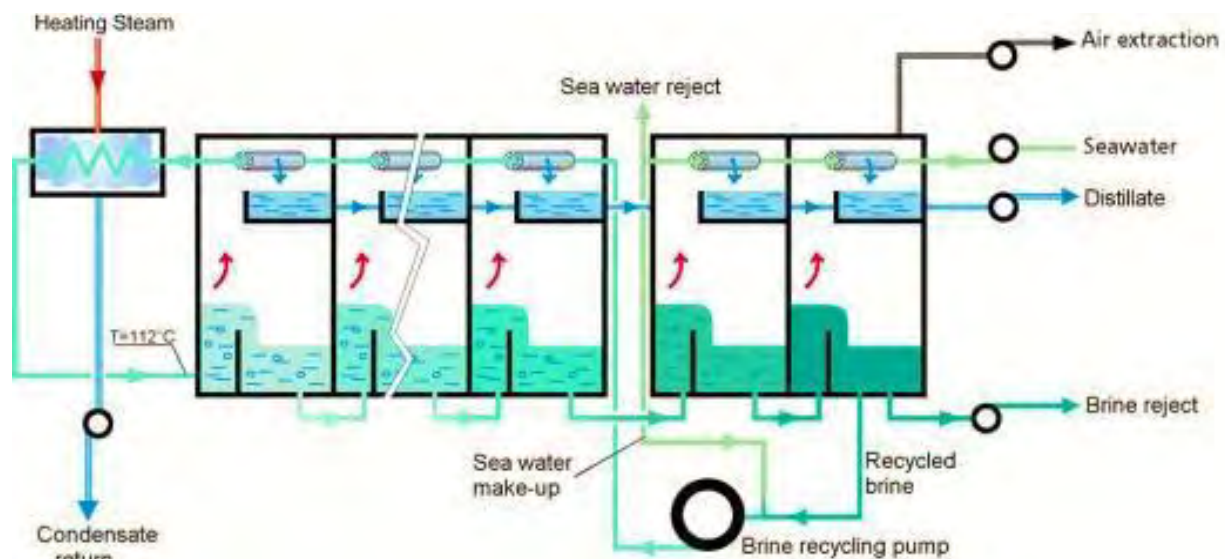
1. Σε διεργασίες που περιλαμβάνουν αλλαγή φάσης (θερμικές διεργασίες), όπου μέσω της θερμότητας το νερό περνάει από την υγρή στην αέρια φάση και αντίστροφα, μέχρις ότου συμπυκνωθεί και πάλι στην υγρή μορφή. Οι διεργασίες αυτές είναι η απόσταξη και η κρυστάλλωση, η τελευταία όμως δεν χρησιμοποιείται ευρέως.
2. Σε διεργασίες που περιλαμβάνουν μία μόνο φάση, την υγρή με τη χρησιμοποίηση μεμβρανών για το διαχωρισμό του αλατιού απ’ το αλατούχο διάλυμα (Καραχάλιου 2010).

Παρακάτω ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή των μεθόδων που προαναφέρθηκαν.

4.1. Θερμικές μέθοδοι

4.1.1. Πολυβάθμια εκτόνωση (Multiple Stage Flashing, MSF)

Εμφάνιση της μεθόδου έχουμε στα τέλη της δεκαετίας του 50 και από τότε έχουν παρατηρηθεί αλματώδεις βελτιώσεις καθιστώντας την ικανή για την αφαλάτωση μεγάλων ποσοτήτων θαλασσινού νερού.



Σχήμα 2. Διαδικασία πολυβάθμιας εκτόνωσης (www.sidem-desalination.com, 25/10/2013)

Το θαλασσινό νερό θερμαίνεται σε θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη απ’ το σημείο βρασμού και εισέρχεται στον πρώτο θάλαμο όπου επικρατεί πίεση χαμηλότερη απ’ την πίεση κορεσμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ατμοποίηση του νερού. Στη συνέχεια ο ατμός έρχεται σε επαφή με σωλήνες, οι οποίοι μεταφέρουν το κρύο θαλασσινό νερό, υγροποιείται και συλλέγεται ως καθαρό νερό. Κατά κανόνα, μόνο ένα μικρό ποσοστό του νερού μετατρέπεται σε ατμό, οπότε το υπόλοιπο νερό περνάει από μια σειρά πρόσθετων βαθμίδων όπου επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία. Σε κάθε βαθμίδα μειώνεται σταδιακά η πίεση με σκοπό να παρακολουθήσει την αντίστοιχη μείωση της θερμοκρασίας της άλμης (Σχήμα 2).



Εικόνα 2. Μονάδα αφαλάτωσης Corp. Al Jubail, Σαυδική Αραβία (www.sasakura.co.jp, 25/10/2013)

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στην συγκεκριμένη μέθοδο μικρό ποσοστό θερμότητας εκλύεται στο περιβάλλον καθώς το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας προσλαμβάνεται από το θαλασσινό νερό, το οποίο ρέει μέσα σε σωλήνες κοντά στο αποσταγμένο νερό, και με αυτόν τον τρόπο η ενέργεια ανακυκλώνεται (Ντάνου κ.ά. 2010).

Για την αποτελεσματικότερη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης με πολυβάθμια εκτόνωση λαμβάνουν χώρα οι παρακάτω διαδικασίες:

- Για την αποφυγή της δημιουργίας επικαθίσεων απαιτείται η προκατεργασία του αλατούχου διαλύματος
- Χρησιμοποίηση πολλών βαθμίδων
- Χρησιμοποίηση αντλιών κενού για την αποφυγή συγκέντρωσης αερίων στους χώρους απόσταξης
- Επαναχρησιμοποίηση της άλμης με σκοπό την μείωση της απαιτούμενης ενέργειας αλλά και γενικότερα του κόστους της εφαρμογής

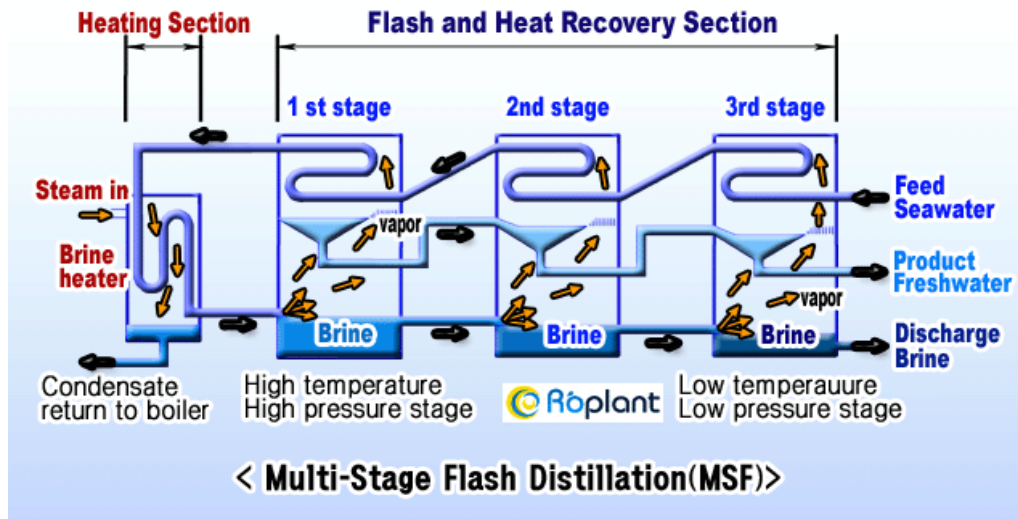
Η εγκατάσταση γίνεται ακόμη πιο φιλική στο περιβάλλον με τη χρήση της συμπαραγωγής όπου η θέρμανση του θαλασσινού νερού γίνεται χρησιμοποιώντας της αποβαλλόμενη ενέργεια από ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας. Γι' αυτό το λόγο τέτοιου τύπου μονάδες αφαλάτωσης συνήθως βρίσκονται κοντά σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς.

Η πολυβάθμια εκτόνωση είναι η πιο διαδεδομένη θερμική μέθοδος και χρησιμοποιείται για μεγάλες ποσότητες νερού.

4.1.2. Πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED)

Τα εξατμιστήρια πολλαπλών βαθμίδων αποτελούνται από μια δέσμη σωλήνων ή θύσανο σωλήνων με οριζόντια ή κατακόρυφη διάταξη και από ένα περίβλημα ή κέλυφος που περιβάλλει τους σωλήνες. Στη μέθοδο αυτή το νερό τροφοδοσίας θερμαίνεται, μετατρέπεται σε ατμό και με τη

μορφή αυτή διαπερνά τους σωλήνες. Παράλληλα, μια άλλη ποσότητα κρύου θαλασσινού νερού ψεκάζεται πάνω σ’ αυτούς τους σωλήνες δημιουργώντας ένα πολύ λεπτό στρώμα νερού το οποίο και εξατμίζεται άμεσα. Μέρος αυτού του ατμού συμπυκνώνεται και συλλέγεται σε καθαρό νερό. Ο υπόλοιπος ατμός και το θαλασσινό νερό συνεχίζουν στην επόμενη βαθμίδα όπου ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία (Σχήμα 3). Απαραίτητο είναι σε κάθε επόμενη βαθμίδα η πίεση στο θάλαμο να είναι χαμηλότερη από αυτή που αντιστοιχεί στο σημείο βρασμού του διαλύματος στην προηγούμενη βαθμίδα.



Σχήμα 3. Απεικόνιση διαδικασίας πολυβάθμιας εξάτμισης (www.roplant.org, 25/10/2013)

Η πολυβάθμια εξάτμιση είναι η πρώτη μέθοδος αφαλάτωσης και χρησιμοποιείται σε κατασκευές με μικρές ως μεσαίες παροχές. Έχει αρκετά πλεονεκτήματα όμως λόγω τεχνικών προβλημάτων έχει αντικατασταθεί κυρίως τα τελευταία χρόνια απ’ τη μέθοδο της πολυβάθμιας εκτόνωσης (Νικολάου 2012, Ντάνου κ.ά. 2010, Καραχαλιού 2010, Κωστάκη 2010, Δαγκαλίδης 2009, Σαμακίδης 2009, Κασάπη 2009, Εσαμ 2009, Κατεΐνα 2008, Μουτάφης 2008, Παλιεράκης 2007).

4.1.3. Εξάτμιση με επανασυμπύεση ατμών (Mechanical Vapor Compression –MVC ή VC)

Η μέθοδος αυτή εκμεταλλεύεται την ιδιότητα του νερού να έχει διαφορετικά σημεία βρασμού ανάλογα με την πίεση. Καυτός ατμός περνά μέσα από σωλήνες πάνω στους οποίους ψεκάζεται το θαλασσινό νερό. Με τη βοήθεια αεροσυμπιεστή αυτό θερμαίνεται και ατμοποιείται. Οι ατμοί αυτοί στη συνέχεια συλλέγονται και συμπυκνώνονται σχηματίζοντας καθαρό νερό (Νικολάου 2012, Ντάνου κ.ά. 2010, Καραχαλιού 2010, Κωστάκη 2010, Δαγκαλίδης 2009, Σαμακίδης 2009, Κασάπη 2009, Εσαμ 2009, Κατεΐνα 2008, Μουτάφης 2008, Παλιεράκης 2007).

4.1.3.1. Μέθοδος Παγώματος (Freezing Process)

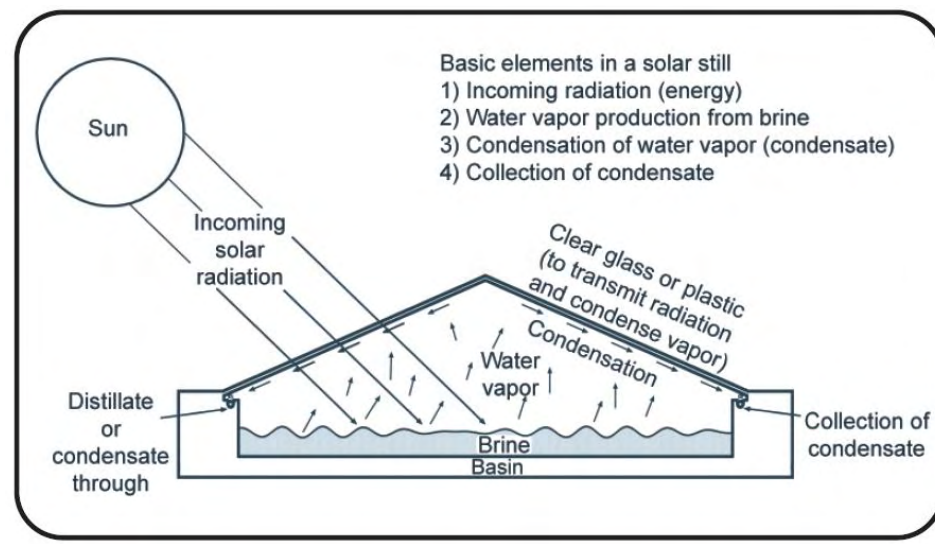
Στηρίζεται στο φαινόμενο του ότι το αλμυρό νερό όταν ψύχεται μετατρέπεται σε κρυστάλλους πάγου οι οποίοι δεν περιέχουν αλάτι. Το θαλασσινό νερό εισέρχεται στο θάλαμο παγώματος όπου μετατρέπεται σε πάγο και σε μικρής ποσότητας υδρατμό. Τα άλατα συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του πάγου. Οι κρύσταλλοι του πάγου μεταφέρονται στον θάλαμο διαχωρισμού όπου πλένονται με σκοπό την αφαίρεση του αλάτος και στη συνέχεια υγροποιούνται. Παράλληλα, ο υδρατμός που παράγεται στο θάλαμο παγώματος συμπιέζεται και παρέχεται στο θάλαμο υγροποίησης όπου συμβάλλει στην υγροποίηση των κρυστάλλων.

Η μέθοδος του παγώματος δε χρησιμοποιείται ιδιαίτερα λόγω της δυσκολίας σχηματισμού μεγάλων κρυστάλλων πάγου, αλλά και εξαιτίας του ότι για το πλύσιμο των κρυστάλλων απαιτείται ποσότητα νερού ίση περίπου με το μισό του παραγομένου, γεγονός που την καθιστά αντικοινωνική. (Δαγκαλίδης 2012, Ντάνου κ.ά. 2010, Εσααμ 2009, Κασάπη 2009, Κατεΐνα 2008, Μουτάφης 2008, Παλιεράκης 2007).

4.1.4. Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation)

Η εν λόγω μέθοδος βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το θαλασσινό νερό το οποίο βρίσκεται στον πυθμένα της διάταξης θερμαίνεται μέσω των ακτινών του ηλίου και εξατμίζεται. Οι υδρατμοί συλλέγονται στην οροφή της διάταξης η οποία είναι κεκλιμένη, οπότε συμπυκνώνεται και μετατρέπεται σε καθαρό νερό (Σχήμα 4).

Τα λειτουργικά κόστη της τεχνικής αυτής είναι μηδενικά καθώς δεν χρησιμοποιούν κανενός είδους καύσιμο παρά μόνο την ηλιακή ενέργεια, γεγονός που την καθιστά και ιδιαίτερα φιλική προς το περιβάλλον. Η απόδοση όμως τέτοιων εγκαταστάσεων είναι αρκετά χαμηλή.



Σχήμα 4. Παράδειγμα ηλιακής απόσταξης (www.sswm.info, 26/10/2013)

4.1.5. Αφαλάτωση με ύγρανση- αφύγρανση (Humidification Dehumidification - HD)

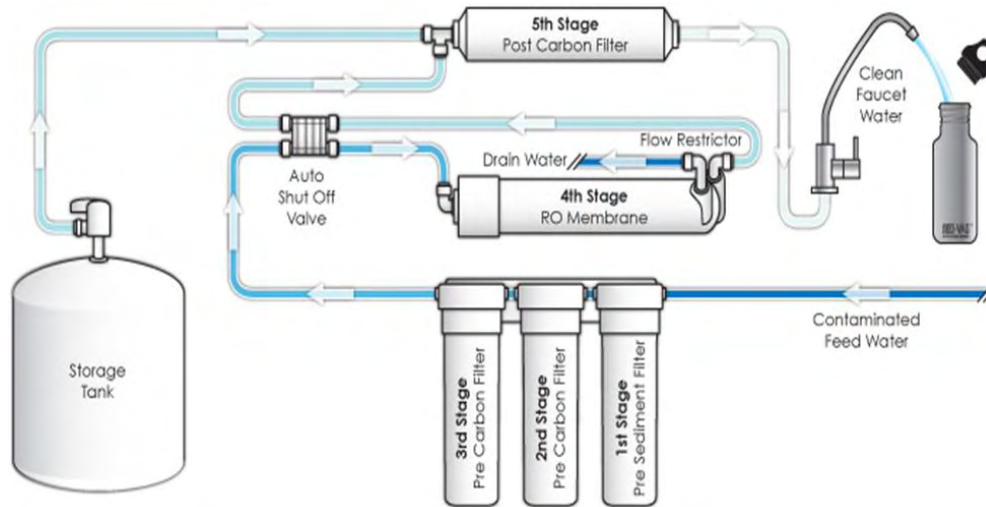
Στη μέθοδο αυτή το θαλασσινό νερό θερμαίνεται ενώ ταυτόχρονα από πάνω του περνά ξηρός αέρας που ανακυκλώνεται. Ο αέρας αυτός γίνεται υγρός και περνάει μέσα απ'το συμπυκνωτή για αφύγρανση.

4.2. Μέθοδοι μεμβρανών

4.2.1. Αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis - RO)

Από τις μεθόδους αφαλάτωσης η αντίστροφη όσμωση αποτελεί την πιο εύχρηστη και ευρέως διαδεδομένη εφαρμογή. Σημαντικό ρόλο στους προηγούμενους χαρακτηρισμούς παίζει η αξιοθαύμαστη ευελιξία της. Η χρήση της ποικίλει καθώς επιτρέπει την κατασκευή διατάξεων και συστημάτων από την πιο μεγάλη εγκατάσταση ύδρευσης πυκνοκατοικημένων πόλεων, μέχρι την κατασκευή μιας μικρής συσκευής για οικιακή χρήση. Η ικανότητά της αυτή την κατατάσσει στην κορυφή της λίστας για την επιλογή των διαφόρων μηχανισμών αφαλάτωσης.

Στη μέθοδο αυτή ο διαχωρισμός του άλατος από το αλατούχο διάλυμα γίνεται με τη βοήθεια μεμβρανών. Η χρήση της μεθόδου γινόταν αρχικά μόνο για την αφαλάτωση υφάλμυρων νερών ενώ απ’ τις αρχές του 1970 ξεκίνησε η εφαρμογή της σε βιομηχανική κλίμακα για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Θεωρείται απ’ τις πιο επιτυχείς μεθόδους αφαλάτωσης καθώς το παραγόμενο νερό είναι αρκετά μικρής περιεκτικότητας σε άλατα, με αποτέλεσμα να είναι ικανό για κάθε χρήση, παράλληλα όμως είναι και μία απ’ τις λιγότερες ενεργοβόρες μεθόδους με συνέπεια το χαμηλό κόστος παραγωγής νερού. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε το ότι το 88% των μεθόδων που χρησιμοποιούν μεμβράνες αφορά η αντίστροφη όσμωση καθώς και το 42% της παγκόσμιας παραγωγής αφαλατωμένου νερού.



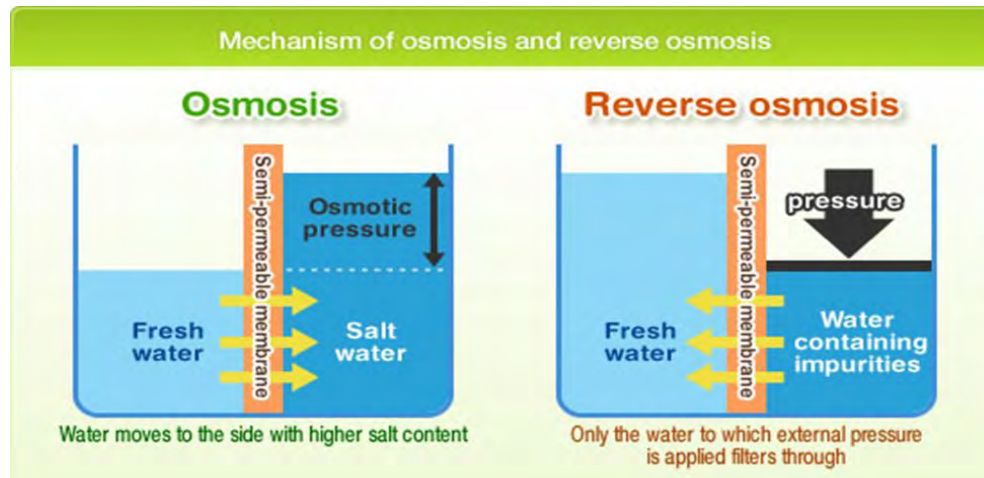
Σχήμα 5. Διαδικασία αντίστροφης όσμωσης (www.dialanro.com, 26/10/2013)

Η εν λόγω τεχνική βασίζεται στο αντίστροφο του φαινομένου της όσμωσης απ’ όπου προήλθε και το όνομά της. Η διαδικασία περιγραφής του φαινομένου της όσμωσης είναι η εξής:

Μια ημιπερατή μεμβράνη χωρίζει ένα δοχείο σε δύο τμήματα. Ο όρος ημιπερατή μεμβράνη αναφέρεται σε εκείνες τις μεμβράνες από πορώδες υλικό του οποίου οι πόροι είναι πάρα πολύ μικροί και δεν επιτρέπουν τη διέλευση από αυτούς των συστατικών του διαλύματος. Αν τοποθετήσουμε από τη μία πλευρά της μεμβράνης καθαρό νερό και απ’ την άλλη ίση ποσότητα νερού που περιέχει άλατα, το διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση θα περάσει μέσα από την μεμβράνη προς το πυκνότερο διάλυμα μέχρι να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις. Αυτό συμβαίνει καθώς η ταχύτητα διάδοσης του καθαρού νερού προς το αλατούχο είναι μεγαλύτερη από εκείνη από του αλατούχου προς το καθαρό. Η διαδικασία τερματίζεται όταν οι δύο συγκεντρώσεις γίνουν ίσες. Θεωρητικά κάτι τέτοιο είναι αδύνατο καθώς από τη μία πλευρά έχουμε καθαρό διαλύτη χαρακτηρίζοντας τη διαδικασία ως ατέρμονη. Ωστόσο στην πράξη η συνεχής μετακίνηση του διαλύτη οδηγεί στην αύξηση του όγκου του διαλύματος και στη ανύψωση της στάθμης του γεγονός που επιφέρει την άσκηση υδροστατικής πίεσης από την πλευρά του διαλύματος με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας διάδοσης του διαλύτη από το διάλυμα προς το διαλύτη. Έτσι κάποια στιγμή οι συγκεντρώσεις των διαλυμάτων θα εξισωθούν και το φαινόμενο της όσμωσης θα σταματήσει μακροσκοπικά. Στο τέλος της διαδικασίας το αλατούχο διάλυμα έχει υψηλότερη στάθμη. Αν με τη βοήθεια ενός πλωτήρα εξασφαλίσουμε την στεγανότητα των τοιχωμάτων του δοχείου και ακολούθως ασκήσουμε κάποιο βάρος πάνω από το διάλυμα έτσι ώστε να αποτρέψουμε την ανοδική του πορεία, τότε η ροή σταματά και οι πιέσεις των δύο διαλυμάτων εξισώνονται. Η αρχική

πίεση που ασκήθηκε από το βάρος που τοποθετήσαμε ονομάζεται οσμωτική πίεση (Νικολάου 2012, Ντάνου κ.ά. 2010, Καραχαλιού, 2010, Κωστάκη 2010, Εσαμ 2009, Δαγκαλίδης 2009, Σαμακίδης 2009, Κασάπη 2009, Κατεΐνα 2008, Μουτάφης 2008, Παλιεράκης 2007).

Εάν τώρα ασκήσουμε μια τεχνητή πίεση στο αλατούχο διάλυμα μεγαλύτερη της οσμωτικής θα έχουμε αντιστροφή της πιο πάνω διαδικασίας. Η ροή αντιστρέφεται με αποτέλεσμα το αλατούχο διάλυμα να διαπερνά τη μεμβράνη, η οποία κατακρατά μεγάλο ποσοστό των αλάτων, και να εξέρχεται απ’ αυτή με τη μορφή του καθαρού νερού. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται αντίστροφη όσμωση και πάνω σ’ αυτή στηρίζεται η εν λόγω τεχνική αφαλάτωσης. Τα δύο φαινόμενα απεικονίζονται στο σχήμα 6.



Σχήμα 6. Μηχανισμός όσμωσης και αντίστροφης όσμωσης (www.hitachi.com, 26/10/2013)

4.2.1.1. Μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης

Οι μεμβράνες είναι πολύ λεπτά φύλλα τα οποία αποτελούν ένα φράγμα στην ελεύθερη ροή του διαλύματος τροφοδότησης. Αποτελούνται από δύο διακεκριμένες στοιβάδες: μία λεπτότατη στοιβάδα, τον υμένα (skin), που είναι το δραστικό τμήμα της μεμβράνης για το διαχωρισμό του νερού από τα διαλυμένα ή αιωρούμενα συστατικά, και από ένα λεπτό στρώμα από πορώδες υλικό το οποίο είναι περατό τόσο στο νερό όσο και στα υπόλοιπα συστατικά που περιέχονται σ’ αυτό (Εσαμ 2009). Τα βασικά χαρακτηριστικά μιας μεμβράνης για τη διεργασία της αντίστροφης όσμωσης είναι τα ακόλουθα:

- Οι μεμβράνες σχηματίζονται από λεπτό στρώμα από πολυμερές υλικό πάχους αρκετών χιλιάδων Angstroms το οποίο ρίχνεται σε πολυμερές πορώδες υλικό
- Μεγάλη απόρριψη αλάτων με υψηλή διαπερατότητα διαλύτη, δηλαδή το ποσοστό της μεταφοράς νερού πρέπει να είναι πολύ υψηλότερο από το ρυθμό μεταφοράς των διαλυμένων ιόντων
- Ικανότητα να σχηματίζει λεπτά διαχωριστικά στρώματα μεγάλης αντοχής
- Ικανότητα κατασκευής με μεγάλο λόγο επιφάνειας προς όγκο
- Μεγάλο εύρος λειτουργικών παραμέτρων, πίεσης, θερμοκρασίας και είδους διαλύματος τροφοδοσίας
- Μεγάλη αντοχή σε χημικά αντιδραστήρια και βιολογικές επιθέσεις

- Μεγάλη διάρκεια ζωής. Η διάρκεια ζωής κυμαίνεται από 3-5 χρόνια, εξαρτώμενη από την ποιότητα του νερού προς επεξεργασία και τον τρόπο χρήσης και καθαρισμού
- Ικανότητα λειτουργίας σε μεγάλο εύρος pH και θερμοκρασίας και να έχουν καλή μηχανική ακεραιότητα
- Χαμηλό κόστος (Νικολάου 2012, Αυλωνίτης 2006)

Παρά την ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη στον τομέα της αφαλάτωσης δεν έχει επιτευχθεί ακόμη η κατασκευή μεμβρανών που να ικανοποιούν όλες τις πιο πάνω απαιτήσεις. Ωστόσο συνεχείς είναι οι προσπάθειες για τη βελτιστοποίησή τους.

4.2.1.2. Κατασκευή των μεμβρανών

Οι μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης χωρίζονται λόγω της κατασκευής τους σε δύο βασικές κατηγορίες:

4.2.1.2.1. Ασύμμετρες μεμβράνες

Οι ασύμμετρες μεμβράνες δεν έχουν ομογενής κατασκευή και αποτελούνται από δύο διαφορετικά στρώματα. Το πρώτο στρώμα είναι αρκετά λεπτό με πάχος που κυμαίνεται μεταξύ 0.1-2 μm το οποίο δεν περιέχει καθόλου πόρους, έχει την ικανότητα να απορρίπτει το αλάτι και επιτρέπει τη διέλευση του νερού. Το αμέσως επόμενο στρώμα είναι πολύ πιο παχύ (πάνω από 100 μm), χωρίς ιδιότητες απόρριψης και με μεγάλη ικανότητα απορρόφησης. Το στρώμα αυτό γίνεται όλο και πιο πορώδες με την αύξηση του πάχους του εξαιτίας του αυξανόμενου αριθμού και της διαμέτρου των πόρων και καθιστά τη μεμβράνη ικανή στο να αντέξει τις εφαρμοζόμενες υψηλές πιέσεις.

4.2.1.2.2. Σύνθετες μεμβράνες

Οι μεμβράνες αυτές αποτελούνται από διαφορετικά στρώματα. Το στρώμα που βρίσκεται στην κορυφή έχει πάχος 0.5-2.5 μm και είναι αυτό το οποίο απορρίπτει το αλάτι ενώ ακολουθούν ένα ή περισσότερα στρώματα από διαφορετικά υλικά με συνολικό πάχος 100-200 μm (Αυλωνίτης 2006).

4.2.1.3. Υλικό μεμβρανών

4.2.1.3.1. Οξική κυτταρίνη

Στις αρχές της δεκαετίας του '60 οι επιστήμονες Reid και Breton ανακάλυψαν τις ευεργετικές ιδιότητες της οξικής κυτταρίνης στην παρασκευή μεμβρανών. Το υλικό αυτό αποτελεί από τότε πρότυπο και οποιαδήποτε άλλη ανακάλυψη συγκρίνεται με αυτό (Αλεξάκης 1993).

Η οξική κυτταρίνη είναι πολυμερές, στερεό και λεπτόκοκκο προϊόν το οποίο αφού αναμιχθεί με ένα διαλυτικό μέσο δημιουργεί ένα μίγμα το οποίο εκχύνεται στην επιφάνεια του πορώδους στερεού. Όντας πολυμερές το υλικό αυτό μετά τη στερεοποίησή του μικροσκοπικά αποτελείται από αλυσίδες, που συνδέονται μεταξύ τους με μόρια νερού αποτελώντας τις δομικές μονάδες της μεμβράνης. Το πλέγμα αυτό που δημιουργείται απ' τις δομικές μονάδες επιτρέπει τη διέλευση χημικών ουσιών οι οποίες ταιριάζουν χημικά με τα μόρια που αποτελούν το πλέγμα της μεμβράνης όπως για παράδειγμα το καθαρό νερό. Άλλες ουσίες πιθανώς μεγαλύτερου μεγέθους εμποδίζονται.

Οι ασύμμετρες μεμβράνες κατασκευάζονταν αρχικά από οξική κυτταρίνη (cellulose acetate, CA), η οποία με το πέρασμα των χρόνων αντικαταστάθηκε από μίγμα διοξειδίου και τριοξειδίου κυτταρίνης (Νικολάου 2012).

4.2.1.3.2. Σύνθετο πολυαμίδιο

Από το συγκεκριμένο υλικό κατασκευάζονται οι σύνθετες μεμβράνες. Η πορώδης πολυσουλφόνη και τα αρωματικά πολυαμίδια αποτελούν το πρώτο και το δεύτερο στρώμα της δεύτερης κατηγορίας κατασκευής των μεμβρανών.

Οι μεμβράνες πολυαμιδίου (PA) χρησιμοποιούνται περισσότερο στην αγορά σήμερα καθώς υπερτερούν έναντι των μεμβρανών κυτταρίνης. Η αντοχή τους σε υψηλές τιμές pH και θερμοκρασίας, η υψηλή απόρριψή τους σε αλάτι, η υψηλότερη ειδική ροή του νερού και οι χαμηλότερες πιέσεις λειτουργίας είναι μερικά απ’ τα πλεονεκτήματά τους. Ωστόσο, οι μεμβράνες πολυαμιδίου είναι αρκετά ευαίσθητες σε οξειδωτικές ενώσεις όπως το ελεύθερο χλώριο και δεν έχουν σταθερή απόδοση σε περιπτώσεις όπου το τροφοδοτικό νερό αποτελείται από μεγάλη ποσότητα ακαθαρσιών.

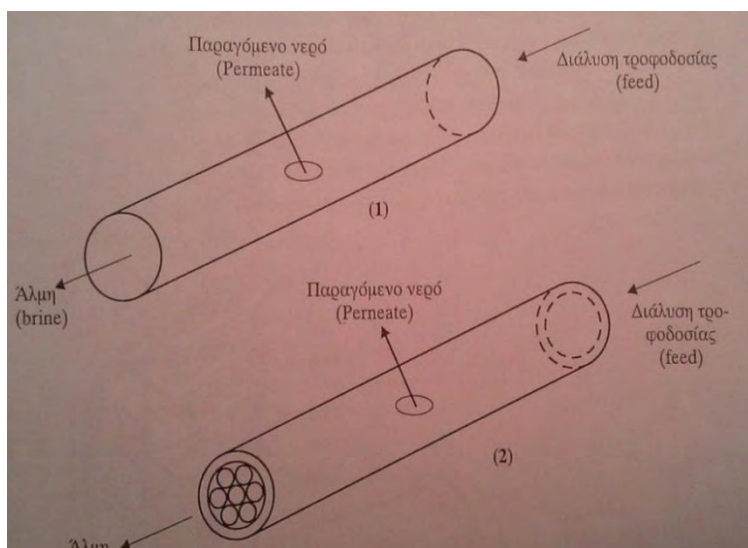
Η συνήθης διάρκεια ζωής όλων των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης είναι 3-5 χρόνια. Βέβαια κατά το χρονικό αυτό διάστημα έχουμε την περιοδική αφαίρεση των μεμβρανών με σκοπό τον καθαρισμό τους και την απομάκρυνση από την επιφάνειά τους των συγκεντρωμένων αποθέσεων. Όπως είναι φυσικό οι συνεχείς αυτές πλύσεις έχουν ως επακόλουθο η μεμβράνη να υποστεί βλάβη και να απαιτείται η αντικατάστασή της (Νικολάου 2012).

4.2.1.4. Διαμόρφωση Μεμβρανών

Από την δεκαετία του ’60 μέχρι και σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί οι ακόλουθες διαμορφώσεις μεμβρανών:

- Σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών (tubular module)
- Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών (plate and frame modules)
- Στοιχεία μεμβρανών σπειροειδούς περιέλιξης (spiral wound modules)
- Στοιχεία μεμβρανών κοίλων ινών (hollow fiber modules)

Στην πράξη χρησιμοποιούνται σήμερα κυρίως οι δύο τελευταίες διαμορφώσεις ενώ οι δύο πρώτες χρησιμοποιούνται για ερευνητικούς σκοπούς (Αυλωνίτης 2006).



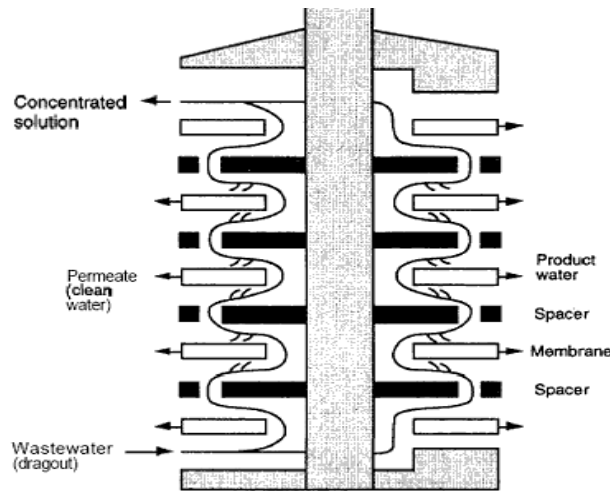
Σχήμα 7. Σωληνοειδείς μεμβράνες (Αυλωνίτης 2006)

4.2.1.4.1. Σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών

Η διαμόρφωση αυτή αποτελείται από διάφορες σωληνοειδείς μεμβράνες διαμέτρου περίπου 1 cm, οι οποίες τοποθετούνται μέσα σε ειδικά δοχεία με ανθεκτικά τοιχώματα. Το τροφοδοτούμενο νερό εισέρχεται στο σωλήνα, το παραγόμενο νερό εξέρχεται κάθετα στη διεύθυνση ροής αφού φιλτραρίζεται από τα στρώματα των μεμβρανών που βρίσκονται παράλληλα στην κυλινδρική επιφάνεια του σωλήνα ενώ η άλμη εξέρχεται απ’ την άλλη πλευρά του (Σχήμα 7).

4.2.1.4.2. Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών

Οι διαμορφώσεις σε αυτήν την κατηγορία ποικίλουν κατασκευαστικά ανάλογα με την κάθε εταιρία κατασκευής τους (Σχήμα 8).

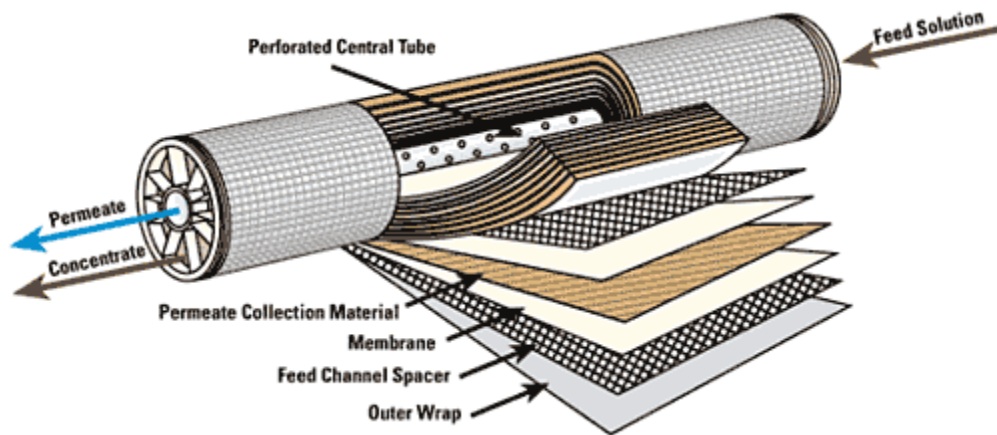


Σχήμα 8. Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών (www.purewaterlab.org, 30/10/2013)

4.2.1.4.3. Μεμβράνες σπειροειδούς περιέλιξης

Η διαμόρφωση των μεμβρανών αυτών που φαίνεται στο Σχήμα 9 είναι η εξής : Δύο στοιχεία επίπεδων μεμβρανών, όπου ανάμεσά τους παρεμβάλλεται ένα πορώδες πολυμερές υλικό, ενώνονται μεταξύ τους δημιουργώντας ένα πακέτο. Τα τρία αυτά στρώματα συγκολλούνται μεταξύ τους στις τρεις πλευρές τους ενώ η τέταρτη παραμένει ανοιχτή. Η σημασία του ενδιάμεσου πορώδους υλικού είναι αρκετά μεγάλη καθώς συμβάλλει στο να μην έρχονται σε επαφή οι μεμβράνες και προσκολλώνται μεταξύ τους λόγω της υψηλής πίεσης καθώς επίσης επιτρέπει την κυκλοφορία του νερού ανάμεσά τους. Το ανοιχτό άκρο του πακέτου συνδέεται σ’ ένα διάτρητο σωλήνα γύρω από τον οποίο τυλίγεται το υπόλοιπο πακέτο αφού έχει προηγηθεί η προσθήκη πλέγματος αμφότερα των επιφανειών του. Ειδική ρητίνη με υαλοβάμβακα καλύπτει όλο το σύστημα το οποίο τοποθετείται σε ειδικό δοχείο πίεσης. Το τροφοδοτικό διάλυμα κινείται αξονικά κατά μήκος του σωλήνα συλλογής ενώ το παραγόμενο νερό κινείται εγκάρσια και σπειροειδώς στο εσωτερικό του φακέλου καταλήγοντας στο διάτρητο κυλινδρικό σωλήνα απ’ όπου και εξέρχεται.

Τα στοιχεία των μεμβρανών σπειροειδούς περιέλιξης κατασκευάζονται συνήθως από επίπεδο φύλλο μεμβράνης είτε από μίγμα διοξειδίου και τριοξειδίου κυτταρίνης είτε από λεπτό σύνθετο επικάλυμμα. Χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω του συμπαγούς χαρακτήρα τους αλλά και της εξοικονόμησης κόστους και ενέργειας.

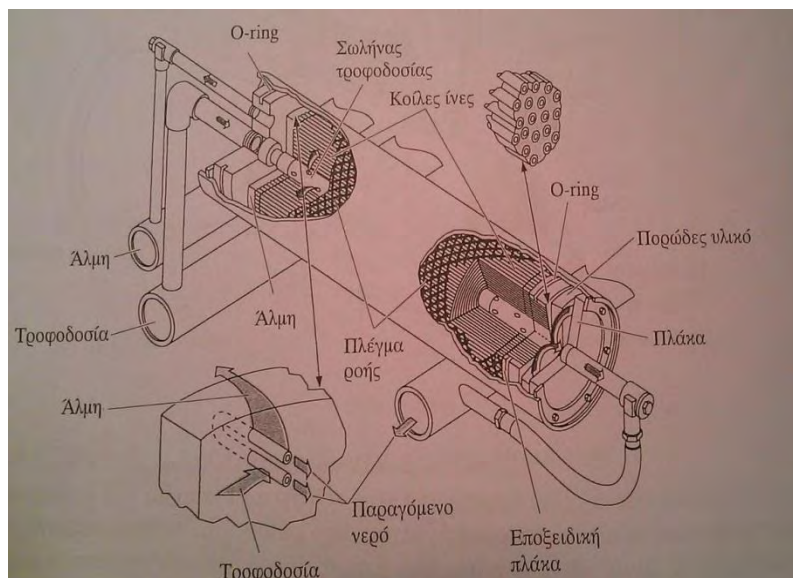


Σχήμα 9. Μembrάνη σπειροειδούς περιέλιξης (www.espwaterproducts.com, 2/11/2013)

4.2.1.4.4. Στοιχεία μεμβρανών κοίλων ινών

Η διαμόρφωση αυτή αποτελείται από κοίλες ίνες οι οποίες κάμπτονται και σχηματίζουν σχήμα U δημιουργώντας δέσμες όπως φαίνεται στο Σχήμα 10. Το αλατούχο διάλυμα περνά μέσα από διάτρητο σωλήνα γύρω απ’ τον οποίο είναι διατεταγμένες οι κοίλες ίνες και με την άσκηση πίεσης τις διαπερνά εγκάρσια, φιλτράρεται και εξέρχεται από το ανοιχτό άκρο που βρίσκεται σε ανοιχτό πορώδες υλικό.

Αυτός ο τύπος αποτελεί την πιο εξελιγμένη μορφή μεμβρανών με βασικό όμως μειονέκτημα την εύκολη μόλυνση των μεμβρανών (Εσσαμ 2009, Αυλωνίτης 2006, Αλεξάκης 1993).



Σχήμα 10. Στοιχεία μεμβρανών κοίλων ινών (Αυλωνίτης 2006)

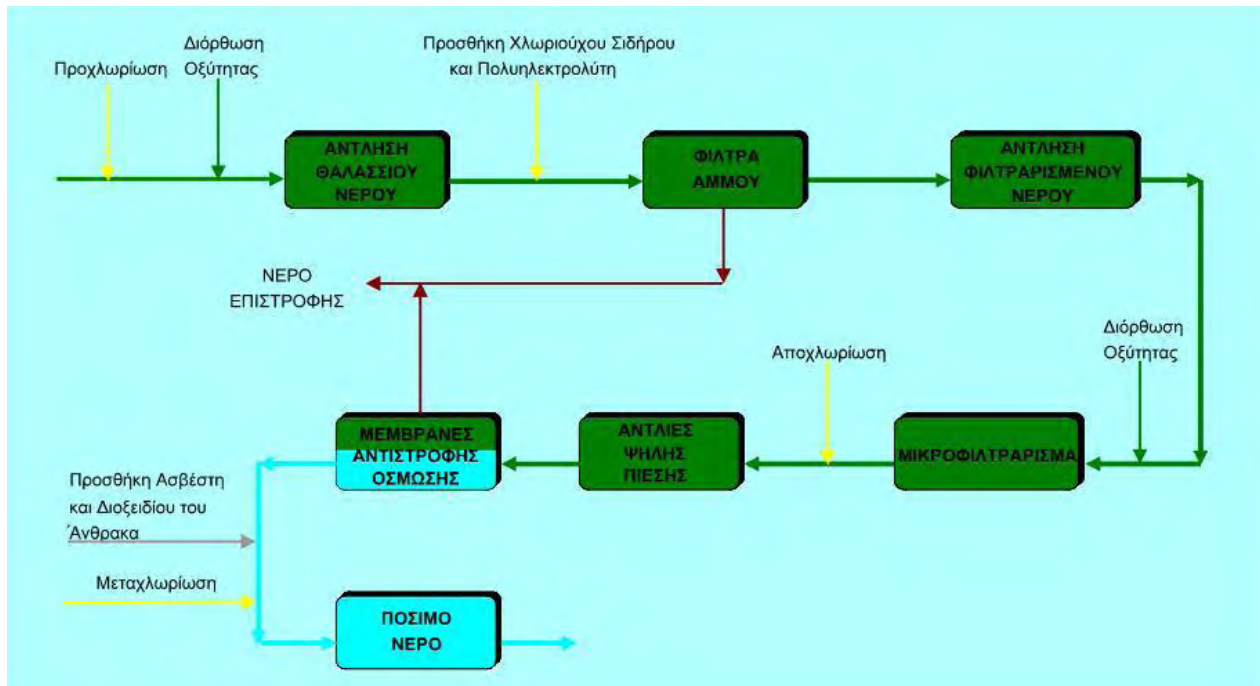
4.2.1.5. Περιγραφή διαδικασίας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση

Η πορεία λειτουργίας μιας τέτοιας εγκατάστασης χωρίζεται στα παρακάτω στάδια (Σχήμα 11) (Καραγιάννης 2010):

1. Τροφοδοσία θαλασσινού νερού
2. Προεπεξεργασία νερού τροφοδότησης

3. Στάδιο αντίστροφης όσμωσης

4. Τελικό στάδιο επεξεργασίας



Σχήμα 11. Διαδικασία αντίστροφης όσμωσης (Γεωργίου 2008)

4.2.1.5.1. Τροφοδοσία θαλασσινού νερού

Η άντληση του θαλασσινού νερού μπορεί να γίνει είτε επιφανειακά είτε υπόγεια από ποτάμι. Οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτή την επιλογή είναι η τοποθεσία της εγκατάστασης αλλά και η δυναμικότητα της μονάδας.

4.2.1.5.2. Προεπεξεργασία νερού τροφοδότησης

Το θαλασσινό νερό που θα χρησιμοποιηθεί στην αφαλάτωση περιέχει πληθώρα συστατικών εκτός από τα άλατα, όπως μικροοργανισμούς, αιωρούμενα συστατικά και κολλοειδείς ουσίες τα οποία είναι ιδιαίτερα επιβλαβή για τις μεμβράνες και καθίσταται απαραίτητη η απομάκρυνσή τους.

Η προεπεξεργασία του θαλάσσιου νερού συνήθως περιλαμβάνει:

- Τοποθέτηση φίλτρου εισόδου χρησιμοποιώντας σχάρα στην αναρρόφηση για να μην εισέλθουν ψάρια, φύκια και πλαστικά.
- Προχλωρίωση του θαλάσσιου νερού για την αποφυγή δημιουργίας επιστρώματος μόλυνσης οργανικής κυρίως προέλευσης. Η διαδικασία γίνεται με τη χρήση κυρίως διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου το οποίο οξειδώνει και σκοτώνει όλους τους μικροοργανισμούς οι οποίοι είναι πιθανόν να επικαθίσουν στις μεμβράνες και να μειώσουν την παραγωγή του νερού καθώς επίσης και την ποιότητά του.
- Κροκίδωση του τροφοδοτούμενου νερού όπου με την προσθήκη χλωριούχου σιδήρου και πολυηλεκτρολύτη συσσωματώνονται τα αιωρούμενα στερεά που είναι διαλυμένα στο νερό και τα οποία διαχωρίζονται από αυτό σε επόμενο στάδιο.

- Προσθήκη οξέος, συνήθως θειικό ή υδροχλωρικό οξύ για τη ρύθμιση της οξύτητας και αντικαθαλωτικού για την αποφυγή απόθεσης αλάτων. Τα αντικαθαλωτικά παρεμποδίζουν τη δημιουργία κρυστάλλων στα πρώτα στάδια του σχηματισμού των αλάτων αποτρέποντας το σχηματισμό επικαθίσεων.
- Τοποθέτηση πολυστρωματικών φίλτρων που περιλαμβάνουν από των πυθμένα προς τα πάνω τις εξής στρώσεις: χαλαζιακά μικρά χαλίκια, αδρανή πυριτική άμμο και για την κατακράτηση ακόμα μικρότερων στερεών αιωρούμενων σωματιδίων.
- Τοποθέτηση φίλτρων πολυπροπυλενίου για την κατακράτηση των στερεών ουσιών με μέγεθος μέχρι και 1μm, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν φθορά στις μεμβράνες.
- Αποχλωρίωση του διαλύματος καθώς το χλώριο που έχει χρησιμοποιηθεί εάν φθάσει στις μεμβράνες θα τις καταστρέψει. Η αποχλωρίωση γίνεται με τη βοήθεια θειοθειικού νατρίου ή θειώδους νατρίου ή όξινου θειώδους νατρίου ή μεταθειώδους νατρίου ή με φίλτρα ενεργού άνθρακα.
- Αποστείρωση με υπεριώδη ακτινοβολία (Καραχάλιου 2010).

4.2.1.5.3. Στάδιο αντίστροφης όσμωσης

Στο στάδιο αυτό το προεπεξεργασμένο νερό πιέζεται από μια αντλία χαμηλής πίεσης και τροφοδοτεί τα φίλτρα και την αντλία υψηλής πίεσης. Στην αντλία υψηλής πίεσης ασκείται πίεση μεγαλύτερη από την οσμωτική διοχετεύοντας το διάλυμα στα στοιχεία αντίστροφης όσμωσης τα οποία αποτελούνται από ειδικά δοχεία που περιέχουν 1-7 στοιχεία μεμβρανών. Ένα μέρος του διαλύματος διαπερνά τις μεμβράνες οι οποίες κατακρατούν τα άλατα ενώ το υπόλοιπο απορρίπτεται, γεγονός που γίνεται εσκεμμένα με σκοπό την προστασία των μεμβρανών αλλά και την αποφυγή της υπερβολικής αύξησης της οσμωτικής πίεσης. Η πίεση της αντλίας κυμαίνεται μεταξύ 17-27 ατμόσφαιρες για υφάλμυρο νερό και μεταξύ 55-82 ατμόσφαιρες για θαλασσινό νερό.

4.2.1.5.4. Τελικό στάδιο επεξεργασίας

Το αφαλατωμένο νερό παρουσιάζει πολύ μικρή σκληρότητα και χαμηλό pH οπότε υφίσταται μια περαιτέρω επεξεργασία από συστήματα αποστείρωσης, σταθεροποίησης και εμπλουτισμού του με μεταλλικά στοιχεία καθώς επίσης αφαίρεσης αερίων, όπως το υδροθείο, χλωρίωσης και προσαρμογής του pH ώστε να είναι κατάλληλο για χρήση (Νικολάου 2012, Καραχάλιου, 2010, Ντάνου κ.ά. 2010, Κωστάκη 2010, Δαγκαλίδης 2009, Σαμακίδης 2009, Εσααμ 2009, Κασάπη 2009, Κατεΐνα 2008, Μουτάφης 2008, Παλιεράκης 2007).

4.2.2. Ηλεκτροδιάλυση (elektrodialysis-ED)

Οι Mayer και Strauss ήταν αυτοί οι οποίοι πρωτοπεριέγραψαν τη μέθοδο της ηλεκτροδιάλυσης το 1940 ενώ το 1953, δέκα χρόνια πριν την εμφάνιση της μεθόδου της αντίστροφης όσμωσης, έχουμε την εμπορική εφαρμογή της μεθόδου από τον Juda et al. Η ηλεκτροδιάλυση βασίζεται στις παρακάτω αρχές:

1. Τα περισσότερα άλατα που είναι διαλυμένα στο νερό είναι ιόντα, τα οποία είναι είτε θετικά (κατιόντα) είτε αρνητικά (ανιόντα) φορτισμένα.
2. Τα ιόντα έλκονται από ηλεκτρόδια με αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο.
3. Οι μεμβράνες κατασκευάζονται με την ιδιότητα να επιτρέπουν την είσοδο είτε των ανιόντων (ανιονικές) είτε των κατιόντων (κατιονικές).

Η βασική αρχή της ηλεκτροδιάλυσης είναι ο αποχωρισμός των αλάτων από το νερό με εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος σε ιοντικές μεμβράνες, οι οποίες είναι πολυμερείς, διασταυρούμενης δομής έτσι ώστε να είναι αδιάλυτες στο νερό. Το θαλασσινό νερό εισέρχεται με τη βοήθεια αντλίας στην ηλεκτρολυτική κυψέλη. Η δέσμη ηλεκτροδιάλυσης αποτελείται από μια σειρά στενών θαλάμων χωριζόμενων μεταξύ τους εναλλακτικά από ανιονικές και κατιονικές μεμβράνες. Τα εξωτερικά τμήματα της κυψέλης φέρουν ηλεκτρόδια στα οποία διοχετεύεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα με αποτέλεσμα την εμφάνιση ηλεκτρικού πεδίου μέσα στη δέσμη και κατ' επέκταση την κίνηση των ιόντων. Τα κατιόντα κινούνται προς το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο ενώ τα ανιόντα προς το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο προκαλώντας σε μια περιοχή του μέσου της δέσμης την πτώση του διαλύματος σε ιόντα δηλαδή το καθαρό νερό. Τα φορτισμένα σωματίδια κατά τη μετακίνησή τους διέρχονται μέσα από μεμβράνες οι οποίες είναι περατές μόνο από κατιόντα, και επομένως επιτρέπουν τη διέλευση μόνο των κατιόντων και από μεμβράνες περατές μόνο από ανιόντα που επιτρέπουν τη διέλευση μόνο των ανιόντων. Με τον τρόπο αυτό εξέρχονται από τις μεμβράνες τα άλατα του τροφοδοτούμενου νερού και απομένει στο θάλαμο το καθαρό νερό (Σχήμα 12). Στη συνέχεια το καθαρό αυτό νερό υφίσταται επιπλέον επεξεργασία για τη ρύθμιση της σκληρότητας και του pH. Παρακάτω στην Εικόνα 3 φαίνονται οι μηχανές ηλεκτροδιάλυσης στο Tehran.

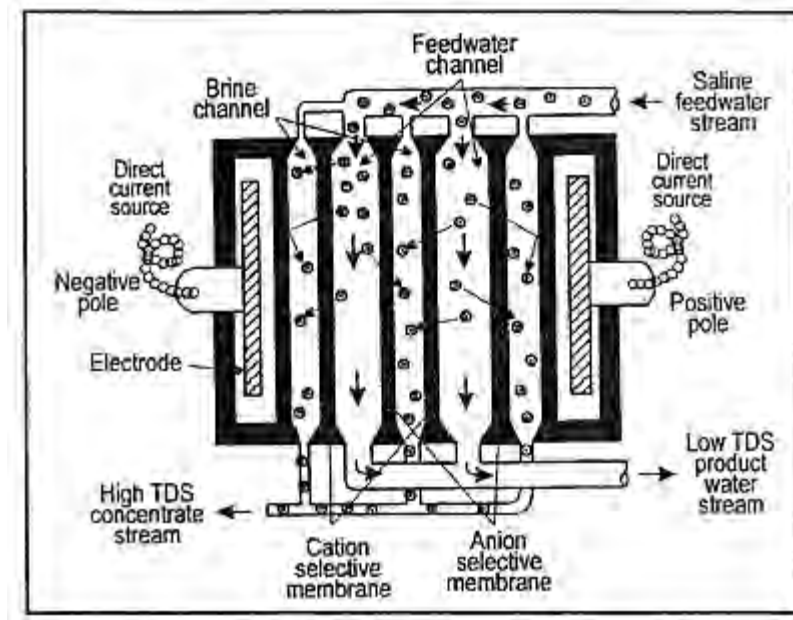


Εικόνα 3. Μηχανές ηλεκτροδιάλυσης στο Tehran (www.ir.all.biz)

Ωστόσο, η εν λόγω μέθοδος αφαλάτωσης οδηγεί στην γρήγορη αχρήστευση των μεμβρανών λόγω των επικαθίσεων που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνειά του και προέρχονται από τα διάφορα διαλυμένα υλικά που συναντώνται μέσα στο νερό. Ακόμη και ο χημικός καθαρισμός των μεμβρανών δεν επιφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό προτιμάται μια βελτιωμένη μέθοδος της ηλεκτρόλυσης που ονομάζεται αντιστρεπτή ηλεκτροδιάλυση (electrodialysis reverse, EDR). Βασίζεται στην αλλαγή της πολικότητας ορισμένες φορές το λεπτό που έχει ως αποτέλεσμα οι αποθέσεις να αποκολλώνται από τις μεμβράνες και να αιωρούνται στο νερό.

Η τεχνική της ηλεκτροδιάλυσης χρησιμοποιείται κυρίως σε νερά χαμηλής συγκέντρωσης αλάτων, όπως τα υφάλμυρα καθώς όσο αυξάνει η συγκέντρωση του διαλύματος τόσο αυξάνει και η απαιτούμενη ενέργεια (Νικολάου 2012, Κωστάκη 2010, Καραχαλιού 2010, Ντάνου κ.ά. 2010, Εσαμ

2009, Δαγκαλίδης 2009, Σαμακίδης 2009, Κασάπη 2009, Κατεΐνα 2008, Μουτάφη 2008, Παλιεράκης 2007).



Σχήμα 12. Διαδικασία ηλεκτροδιάλυσης (www.nzdl.org, 3/11/2013)

4.2.3. Νανοφιλτράρισμα (Nanofiltration- NF)

Είναι μια σχετικά καινούργια μέθοδος η οποία εφαρμόζεται κυρίως σε διαλύματα με μικρό ποσοστό διαλυμένων ουσιών. Και εδώ χρησιμοποιούνται μεμβράνες για την αφαίρεση των οργανικών στοιχείων που περιέχει το νερό και πρέπει να αφαιρεθούν ώστε να είναι κατάλληλο για χρήση. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι κατά τη διαδικασία αφαιρούνται μεν οι διαλυμένες ουσίες που πρέπει, αφαιρούνται όμως και αρκετά θρεπτικά συστατικά τα οποία είναι απαραίτητα να υπάρχουν μέσα στο νερό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μετά την αφαλάτωση τα θρεπτικά αυτά συστατικά να πρέπει να προστεθούν ξανά (Σαμακίδης 2009).

4.3. Υβριδικές μέθοδοι (Hybrid Facilities)

Μια άλλη μέθοδο, η οποία μπορεί να μειώσει τα συνολικά κόστη της αφαλάτωσης. Τέτοια συστήματα δεν είναι εφαρμοστέα στις περισσότερες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, αλλά μπορεί να αποδειχθούν σε πολλές περιπτώσεις οικονομικά προσοδοφόρες. Πρόκειται ουσιαστικά για το συνδυασμό δύο ή και περισσότερων μεθόδων αφαλάτωσης, όπως για παράδειγμα των δύο θερμικών μεθόδων της πολυβάθμιας εκτόνωσης και της πολυβάθμιας εξάτμισης με την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης, συνδυάζοντας παραγωγικά τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της κάθε μεθόδου.

4.4. Ιοντοανταλλαγή (Ion Exchange)

Οι εγκαταστάσεις που κάνουν χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου περιλαμβάνουν στρώματα από συνθετικές ρητίνες που έχουν την ικανότητα να ανταλλάσσουν ιόντα με εκείνες από τα μεταλλικά νερά με τα οποία έρχονται σε επαφή. Τα στρώματα αυτά των ρητινών βρίσκονται μέσα σε ανταλλακτήρες κατιόντων και ανιόντων αντίστοιχα.

Το τροφοδοτούμενο νερό εισέρχεται από το άνω μέρος μιας στήλης στην οποία υπάρχει η ρητίνη. Αρχικά περνά από τον ανταλλακτήρα κατιόντων όπου του αφαιρούνται τα ανιόντα και τη θέση τους παίρνουν κατιόντα υδρογόνου και στη συνέχεια περνά από τον ανταλλακτήρα ανιόντων όπου του αφαιρούνται τα κατιόντα και τη θέση τους παίρνουν ιόντα υδροξυλίου. Με αυτόν τον τρόπο αφαιρούνται τα ανεπιθύμητα συστατικά απ’ το νερό, το οποίο είναι πλέον καθαρό και ταυτόχρονα με την αντίδραση του υδρογόνου και του υδροξυλίου έχουμε την παραγωγή επιπλέον φρέσκου νερού.

Με το πέρασμα των χρόνων οι ρητίνες φθάνουν σε κατάσταση κορεσμού χάνοντας τη αποτελεσματικότητά τους. Για την αποκατάστασή τους απαιτείται η προσθήκη οξέων και βάσεων στην ήδη υπάρχουσα ρητίνη γεγονός που καθιστά την μέθοδο αυτή οικονομική.

Ωστόσο το παραγόμενο απ’ αυτή τη διαδικασία αφαλάτωσης νερό είναι ακατάλληλο για πόση ή για οποιαδήποτε άλλη χρήση που προορίζεται για τον ανθρώπινο οργανισμό καθώς περνώντας από τη ρητίνη αποσπά τμήματα των άκρων του μορίου της τα οποία είναι βλαβερά για τον ανθρώπινο οργανισμό. Για να γίνει το παραγόμενο αυτό νερό κατάλληλο για πόση απαιτείται η προσθήκη ειδικών φίλτρων με συνδυασμό ενεργού άνθρακα και μεμβρανών για την συλλογή των οργανικών αυτών καταλοίπων.

Παράλληλα, η ιοντοαλλαγή δεν καθίσταται αποδοτική στην περίπτωση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού καθώς η ρητίνες δρουν αποτελεσματικά μόνο σε νερό μικρής περιεκτικότητας σε άλατα. Η βέλτιστη και οικονομικότερη χρήση της μεθόδου είναι η παραγωγή απιονισμένου νερού από το νερό της βρύσης (Ντάνου κ.ά. 2010, Δαγκαλίδης 2009, Κατεΐνα 2008, Παλιεράκη 2007).

Εκτός απ’ τις προαναφερθείσες μεθόδους υπάρχουν κι άλλες οι οποίες όμως δεν είτε βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο είτε δεν χρησιμοποιούνται λόγω του αυξημένου κόστους τους και άλλων αρνητικών συνεπειών που επιφέρουν. Τέτοιες μέθοδοι είναι η απόσταξη μέσω μεμβράνης, η κρυσταλλοποίηση με υδρικό μεθάνιο κλπ.

5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Η βέλτιστη επιλογή της τεχνικής που θα χρησιμοποιηθεί στην αφαλάτωση τόσο του υφάλμυρου όσο και του θαλασσινού νερού εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Ποιότητα τροφοδοτούμενου νερού
- Απαιτούμενη ποιότητα και ποσότητα παραγόμενου νερού
- Μέγεθος μονάδας
- Διαθεσιμότητα ενέργειας
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Περιβαλλοντολογικοί περιορισμοί
- Διαθεσιμότητα και εμπειρία προσωπικού (Παπαδάκης 2012)

• **Νερό τροφοδοσίας**

Η ποιότητα του τροφοδοτούμενου νερού καθορίζει και τη τεχνολογία αφαλάτωσης που θα χρησιμοποιηθεί. Στην επεξεργασία υφάλμυρων νερών επιλέγεται κυρίως η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης, ενώ για την επεξεργασία θαλασσινού νερού προτιμώνται η πολυβάθμια εκτόνωση, η πολυβάθμια εξάτμιση και η επανασυμπύεση ατμών. Η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης χρησιμοποιείται και για τις δύο κατηγορίες νερών. Το υφάλμυρο νερό πλεονεκτεί έναντι του θαλασσινού εξαιτίας της μικρής συγκέντρωσης αλάτων πράγμα που συνδέεται άμεσα με το μέγεθος της απαιτούμενης ενέργειας.

• **Ποιότητα παραγόμενου νερού**

Το παραγόμενο νερό από τις θερμικές διεργασίες είναι αποσταγμένο με πολύ χαμηλή συγκέντρωση αλάτων, περίπου 10ppm. Αντίθετα, το αφαλατωμένο νερό των διεργασιών μεμβρανών έχει συγκέντρωση αλάτων 350-500ppm. Ανάλογα με τη χρήση του νερού επιλέγονται και οι αντίστοιχες τεχνικές.

• **Μέγεθος μονάδας**

Ανάλογα με τη ζήτηση του νερού επιλέγεται και καθορίζεται και το μέγεθος της μονάδας. Οι διεργασίες μεμβρανών είναι κατάλληλες για κάθε μέγεθος μονάδας αφαλάτωσης. Αντίθετα, οι θερμικές μέθοδοι δεν είναι εξίσου αποδοτικές για οποιοδήποτε μέγεθος. Για μεγάλες εγκαταστάσεις προτιμάται η διεργασία απόσταξης πολλαπλής επίδρασης, για μεσαίου μεγέθους εφαρμογές η εξάτμιση πολλαπλής αντίδρασης ενώ για μικρές κατάλληλη είναι η μηχανική συμπύεση.

• **Διαθεσιμότητα ενέργειας**

Για τη λειτουργία της μονάδας απαιτούνται μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ποσά αυτά διαφοροποιούνται όμως σε σχέση με την επιλεγόμενη μέθοδο. Η πολυβάθμια εξάτμιση απαιτεί 4-6 kWh/m³ ενώ η επανασυμπύεση ατμών 8-15 kWh/m³. Η αντίστροφη όσμωση και η ηλεκτροδιάλυση είναι οικονομικότερες μέθοδοι με απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια που κυμαίνεται από 0,5-3 kWh/m³ και 1,5-4 kWh/m³ αντίστοιχα (Νικολάου 2012).

Συγκρίνοντας τις τεχνικές απόσταξης με τις τεχνικές μεμβρανών προκύπτει ότι η απόσταξη προσφέρει μεγαλύτερη δυνατότητα για οικονομίες κλίμακας. Οι μονάδες αυτές δεν διακόπτονται

συχνά για καθάρισμα ή συντήρηση όπως συμβαίνει με αυτές των μεμβρανών. Επίσης, παράγουν μικρότερες ποσότητες αποβλήτων σε σχέση με τις διεργασίες μεμβρανών καθώς δε παράγουν απόβλητα από το πλύσιμο ή την προετοιμασία των μεμβρανών. Τέλος, απαιτείται μικρότερη προεπεξεργασία του τροφοδοτούμενου νερού.

Στους Πίνακες 3 και 4 απεικονίζονται συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά των σημαντικότερων μεθόδων αφαλάτωσης και το μέγεθος των επιπτώσεων της εν λόγω τεχνικής απόκτησης πόσιμου νερού αντίστοιχα.

Πίνακας 3. Σύγκριση μεθόδων αφαλάτωσης (Συσκάκη 2013)

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ					
Μέθοδοι	Νερό τροφοδοσίας	Μορφή ενέργειας	Παραγωγή προϊόντος (m ³ /ημέρα)	Κατανάλωση ενέργειας	Κόστος εγκατάστησης (€/m ³ /ημέρα)
MSF	Θαλασσινό	Θερμική	1.000-60.000	290kJ/kg, 4-6kWh/m ³	1.000-2.000
MED	Θαλασσινό	Θερμική	500-20.000	270kJ/kg, 2,5-3kWh/m ³	850-1.750
VC	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	25-2.500	8-15kWh/m ³	1.000-2.350
SWRO	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	0,4-70.000	<5kWh/m ³ , <3lWh/m ³ με ανάκτηση ενέργειας	650-4.400
BWRO	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	2,5-50.000	0,5-3kWh/m ³	300-2.000
ED	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	15-50.000	1,5-4kWh/m ³	1.000-5.000

Πίνακας 4. Σύγκριση των διάφορων μεθόδων αφαλάτωσης ως προς το μέγεθος των επιπτώσεων τους

Επιπτώσεις	Αντίστροφη Όσμωση	Απόσταξη (MSF)	Ηλεκτροδιάλυση
Θόρυβος	H	M	L
Υγρά Απόβλητα	M	H	M
Ποιότητα Παραγόμενου Νερού	-	-	-
Ιχνοστοιχεία	L	H	L
Τοξικές Ουσίες	M	H	M
Αέρια Ρύπανση	L	H	M
Industrial Risk	L	H	M
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	10	17	10

H= Μεγάλη Αρνητική Επίδραση ; M = Μέτρια Αρνητική Επίδραση ; L = Χαμηλή Αρνητική Επίδραση
 [UNEP, Mediterranean Action Plan, Seawater Desalination in Mediterranean Countries, 2001.]

** Χαμηλότερη βαθμολογία είναι η βέλτιστη επιλογή

Όσον αφορά τις μεθόδους αντίστροφης όσμωσης οι θερμικές απώλειες είναι χαμηλότερες καθώς δεν χρειάζεται η θέρμανση του τροφοδοτικού νερού, παρουσιάζουν λιγότερα προβλήματα διάβρωσης και έχουν χαμηλότερες απαιτήσεις ενέργειας. Επιπρόσθετα, έχουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης, απομακρύνουν εκτός από το αλάτι και ανεπιθύμητα συστατικά όπως βακτήρια και καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο.

Γενικότερα, τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα μια μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση είναι:

- Μικρότερο κόστος αγοράς εξοπλισμού και εγκατάστασης.
- Οικονομικότερη και απλοποιημένη λειτουργία και συντήρηση.
- Σε περίπτωση αύξησης της ζήτησης εύκολη επέκταση της μονάδας.
- Μικρότερη κατανάλωση σε σχέση με τις θερμικές μεθόδους εξάτμισης.
- Λειτουργία με ανάκτηση ισχύος έως και 70%.
- Μικρό μέγεθος μονάδας και κατοχή μικρής έκτασης αποφεύγοντας την οπτική όχληση στις περιοχές.
- Μεγάλη εφαρμογή και εμπειρία σχεδίασης και τοποθέτησης.
- Καλή συνεργασία με ΑΠΕ (Μουτάφης 2008).

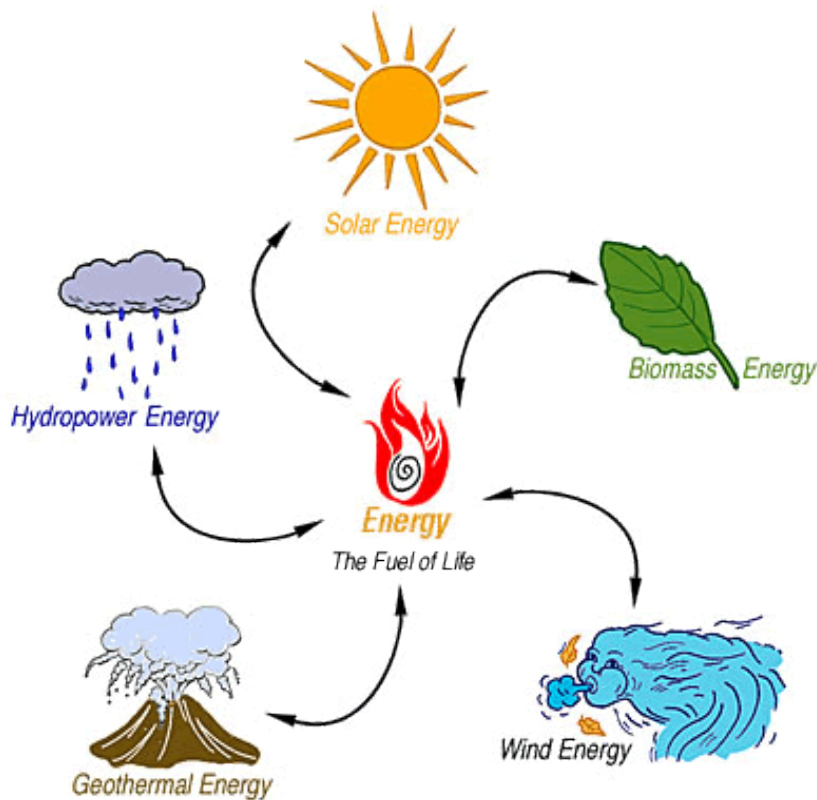
Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι η αντίστροφη όσμωση και η ηλεκτροδιάλυση καθώς έχουν τις μικρότερες αρνητικές επιπτώσεις.

Αναλογιζόμενος κανείς όλα τα παραπάνω, συμπαιρνεί ότι η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης είναι η πιο εύχρηστη αλλά ταυτόχρονα και η πιο συμφέρουσα σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνικές αφαλάτωσης. Χρησιμοποιείται για την παραγωγή πόσιμου νερού τόσο από υφάλμυρα νερά αλλά και το θαλασσινό ανεξάρτητα από το μέγεθος της μονάδας. Συναντάται τόσο σε μικρές ξενοδοχιακές μονάδες περιορισμένης δυναμικότητας όσο και σε μεγάλες εγκαταστάσεις, οι οποίες τροφοδοτούν με πόσιμο νερό ολόκληρες πόλεις. Παράλληλα, η ποιότητα του παραγόμενου νερού είναι αρκετά καλή απαιτώντας μικρή επεξεργασία του έτσι ώστε να είναι κατάλληλο για πόση, σε σύγκριση με άλλες μεθόδους όπως αυτή της πολυβάθμιας εκτόνωσης, όπου το νερό που παράγεται είναι απιονισμένο αλλά και της ιοντοανταλλαγής, όπου το νερό δεν περιέχει βασικά θρεπτικά συστατικά και είναι επικίνδυνο για τον άνθρωπο. Τέλος, η απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια της συγκεκριμένης μεθόδου είναι αρκετά μικρή καθιστώντας την οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον. Για όλους αυτούς τους λόγους αλλά και τους παραπάνω που αναφέρθηκαν αναλυτικότερα διαπιστώνεται ότι η τεχνική της αντίστροφης όσμωσης είναι η επικρατέστερη. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι προτιμάται από πολλές μονάδες αφαλάτωσης σε παγκόσμιο αλλά και διεθνές επίπεδο.

6. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Η ενέργεια αποτελεί έναν απ’ τους σημαντικότερους παράγοντες της παραγωγικής διαδικασίας. Χωρίς αυτή τίποτα δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει. Πηγές ενέργειας μπορεί να αποτελούν είτε ο ορυκτός πλούτος του πλανήτη είτε και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Σχήμα 13). Για την τελευταία κατηγορία το ενδιαφέρον έχει αυξηθεί ιδιαίτερα, καθώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι πρακτικά ανεξάντλητες και φιλικές προς το περιβάλλον.

Όπως είναι φυσικό, η ενέργεια είναι απ’ τις σημαντικότερες παραμέτρους και για τη λειτουργία μιας μονάδας αφαλάτωσης. Η αφαλάτωση αλμυρού ή υφάλμυρου νερού απαιτεί σημαντικές ποσότητες ενέργειας σε μορφή θερμότητας, ηλεκτρισμού ή μηχανικού έργου. Η κάλυψη όμως των ενεργειακών αναγκών των μεθόδων αφαλάτωσης με συμβατικές πηγές ενέργειας είναι συχνά ανέφικτη. Η γεωγραφική θέση αποτελεί τον σημαντικότερο ανασταλτικό παράγοντα για τις συγκεκριμένες πηγές ενέργειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, τα ελληνικά νησιά όπου λόγω μορφολογίας τα περισσότερα είναι δυσπρόσιτα και δεν είναι εύκολη η παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως είναι φυσικό τα νησιά δεν είναι διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό δίκτυο παροχής ενέργειας της Ελλάδας αλλά με ανίσχυρα και μικρής δυναμικής τοπικά δίκτυα, τα οποία παρέχουν μικρή ισχύς με αποτέλεσμα να καταπονούνται υπερβολικά χωρίς να μπορούν να ανταποκριθούν επαρκώς σε όλη τη ζήτηση ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Από την άλλη, ακόμη και σε περιοχές όπου υπάρχει η δυνατότητα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, η λύση αυτή δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα λόγω του υψηλού κόστους. Επομένως, η μόνη συμφέρουσα και ταυτόχρονα αποδοτική λύση είναι η χρησιμοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).



Σχήμα 13. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (www.b2green.gr, 18/11/2013)

Πιο συγκεκριμένα στην εν λόγω κατηγορία πηγών ενέργειας ανήκουν η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η γεωθερμική ενέργεια, η βιομάζα, τα αέρια που εκλύονται από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού, τα βιοαέρια και η υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς.

Ο συνδυασμός, λοιπόν, των διαφόρων τεχνικών αφαλάτωσης με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να επιφέρει εξαιρετικά αποτελέσματα. Αξίζει όμως να αναφερθούν τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τα μειονεκτήματα της σύμπραξης αυτής με σκοπό την καλύτερη αξιολόγηση της συγκεκριμένης κατηγορίας παραγωγής ενέργειας.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα ακόλουθα:

- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και κατ' επέκταση και προς τον άνθρωπο έχοντας μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Είναι ανεξάντλητες πηγές ενέργειας σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Το κόστος τους δεν εξαρτάται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας.
- Έχουν ως αποτέλεσμα τη αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος καθώς διατίθενται παντού.
- Ποικίλουν δίνοντας τη δυνατότητα στον χρήστη να εκμεταλλευτεί αυτή που του παρέχει το βέλτιστο αποτέλεσμα σε χαμηλότερο κόστος.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας κυρίως σε τοπικό επίπεδο καθώς για τη λειτουργία τους απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό το οποίο να διαμένει κοντά στις εγκαταστάσεις.
- Η κατασκευή των εγκαταστάσεων είναι αρκετά γρήγορη και σχετικά εύκολη επιτρέποντας τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
- Οδηγούν στην κοινωνική και οικονομική ανέλιξη απομονωμένων περιοχών οι οποίες πλέον με τη χρήση των ΑΠΕ ανεξαρτητοποιούνται και γίνονται αυτάρκειες (Νικολάου 2012).

Ειδικότερα όσον αφορά τη μονάδα αφαλάτωσης εκτός από τα παραπάνω μπορούμε να προσθέσουμε και τα εξής πλεονεκτήματα:

- Μειώνουν τη ενέργεια που χορηγείται από το δίκτυο και μάλιστα το πιθανό περίσσειμα ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το ίδιο το δίκτυο σε περιόδους αιχμής.
- Μειώνουν το λειτουργικό κόστος της μονάδας αφαλάτωσης καθώς όπως προαναφέρθηκε δεν επηρεάζονται από την τιμή των στερεών καυσίμων.
- Συμβάλλουν στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και των χρημάτων που απαιτούνται για τον περιορισμό τους και την αγορά δικαιωμάτων διοξειδίου του άνθρακα.

Τα βασικότερα μειονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα ακόλουθα:

- Έχουν αρκετά χαμηλό συντελεστή απόδοσης με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε αρκετά μεγάλη επιφάνεια γης.
- Δεν συμφέρει να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων εξαιτίας του πιο πάνω μειονεκτήματος.

- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος είναι υψηλό σε σχέση με τις τιμές των συμβατικών καυσίμων.
- Δεν είναι συνεχόμενες με αποτέλεσμα να απαιτείται η συγκέντρωση και η αποθήκευσή τους για τη χρησιμοποίησή τους από τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης γεγονός ιδιαίτερα δύσκολο και δαπανηρό.
- Δεν διατίθενται με την ίδια ποσότητα όλες τις εποχές του έτους και εξαρτώνται τόσο από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής.
- Παρουσιάζουν δυσκολία εκτίμησης επενδυτικού κινδύνου.
- Έχουν μεγάλες επενδυτικές δαπάνες λόγω των υψηλών κεφαλαιουχικών δαπανών των εγκαταστάσεων των μονάδων αφαλάτωσης αλλά και του υψηλού κόστους των τεχνολογιών που απαιτούνται για την εκμετάλλευση των ΑΠΕ (Κασάπη 2009).

Συνοψίζοντας τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι η εκμετάλλευση των ΑΠΕ στη διαδικασία της αφαλάτωσης είναι αρκετά ελπιδοφόρα. Αν και οι μορφές των ΑΠΕ είναι πάρα πολλές μόνο συγκεκριμένες μπορούν να έχουν τα επιθυμητά αποτελέσματα κατά τη χρησιμοποίησή τους στην αφαλάτωση. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μπορούν να παράγουν θερμική ενέργεια (ηλιακοί συλλέκτες, γεωθερμία), ηλεκτρική ενέργεια (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες) και μηχανική ενέργεια (ανεμογεννήτριες). Οι κυριότερες μορφές είναι οι παρακάτω:

6.1. Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας που εισέρχεται απ’ την ατμόσφαιρα. Χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών, μια από τις οποίες είναι και η διαδικασία της αφαλάτωσης. Στην εν λόγω διαδικασία η εκμετάλλευση της ηλιακή ενέργειας γίνεται για την παραγωγή θερμικής ενέργειας που απαιτείται για να λειτουργήσουν οι μέθοδοι αλλαγής φάσης ή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται στις μεθόδους που χρησιμοποιούν μεμβράνες. Για την εξαγωγή θερμικής ενέργειας χρησιμοποιούμε τους ηλιακούς αποστακτήρες ενώ για την μετατροπή του φωτός του ήλιου σε ηλεκτρισμό τα φωτοβολταϊκά.

6.1.1. Ηλιακοί αποστακτήρες

Οι ηλιακοί αποστακτήρες δεν απαιτούν τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας επομένως η λειτουργία τους είναι φθηνότερη. Τα έξοδα της κατασκευής και εγκατάστασής τους είναι αρκετά υψηλά, ωστόσο κατά τη φάση της λειτουργίας τους είναι μηδαμινά και περιορίζονται μόνο στα έξοδα της συντήρησής τους. Μειονέκτημα των αποστακτών είναι ότι απαιτούν μεγάλες επιφάνειες και δεν ενδείκνυται για μεγάλες απαιτήσεις ισχύος.

Η αρχή λειτουργίας ενός ηλιακού αποστακτήρα είναι αρκετά απλή. Μέσα σε μία μαύρη επιφάνεια ενός στεγανού θαλάμου τοποθετείται μια ποσότητα νερού. Το μαύρο χρώμα αποσκοπεί στην όσο το δυνατό καλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας. Η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει την αποθηκευμένη αυτή ποσότητα νερού, η οποία και εξατμίζεται. Οι υδρατμοί συγκεντρώνονται στην οροφή του αποστακτήρα όπου υπάρχει ένα διάφανο κάλυμμα. Εκεί συμπυκνώνονται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας σε αφαλατωμένο νερό, το οποίο ρέει πάνω στην κεκλιμένη επιφάνεια του καλύμματος και συλλέγεται σε συλλεκτικά αυλάκια.

6.1.2. Φωτοβολταϊκά

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ, που απεικονίζονται στην Εικόνα 4, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρισμό. Το φωτοβολταϊκό πάνελ αποτελεί τη βασική δομική μονάδα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Κάθε πάνελ αποτελείται από πολλές κυψέλες οι οποίες είναι κατασκευασμένες από πυρίτιο. Όταν το πυρίτιο εκτίθεται στο φως, τότε δημιουργούνται ηλεκτρικές διεργασίες και παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα μέσω των μετακινήσεων των ηλεκτρονίων από τη μια θέση στην άλλη. Μπορεί να επιτευχθεί αύξηση της ηλεκτρικής παραγωγής με την κατάλληλη κλίση των πάνελ ώστε να συγκεντρώνεται η ηλιακή ενέργεια σε συγκεκριμένα σημεία.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τον Απρίλιο του 2013 η IBM Research στην Ζυρίχη, Ελβετία, ανακοίνωσε, ότι μια ομάδα ερευνητών από διάφορες ελβετικές εταιρείες και πανεπιστήμια έχουν αναπτύξει ένα πρωτότυπο φωτοβολταϊκό σύστημα (HCPV), στο οποίο ο ήλιος μπορεί να επικεντρωθεί 2000 φορές. Το σύστημα αποτελείται από παραβολική κεραία με πλάκες καθρέφτη και παρακολουθεί τον ήλιο. Το φως του ήλιου επικεντρώνεται σε υγρόψυκτους δέκτες με 1 cm^2 ηλιακή συστοιχία κυψελών.



Εικόνα 4. Φωτοβολταϊκά πάνελ (www.users.sch.gr, 27/11/2013)

Κάθε δέκτης έχει ονομαστική ισχύ 25 kW. Επιπλέον τα ηλιακά κύτταρα βρίσκονται σε μικροδομημένα στρώματα για τη διεξαγωγή υγρού, το οποίο απορροφά τη θερμότητα. Έτσι το ολοκληρωμένο σύστημα ψύξης διατηρεί τα κύτταρα σε σταθερή θερμοκρασία ακόμη και στη 2000-πλάσια συγκέντρωση του ηλιακού φωτός. Έτσι το καινοτόμο υψηλής συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας σύστημα υπόσχεται τεράστιες αποδόσεις ενέργειας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αφαλάτωση του νερού (www.sunblog.gr, 18/11/2013).

6.2. Αιολική Ενέργεια

Η αφαλάτωση του νερού με αιολική ενέργεια ενδείκνυται κυρίως για παράκτιες περιοχές με αυξημένο αιολικό δυναμικό. Ιδιαίτερα στα νησιά η δημιουργία μικρών συστημάτων αφαλάτωσης με αιολική ενέργεια είναι η βέλτιστη λύση για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας. Το κόστος μιας τέτοιας μονάδας δεν είναι υψηλό και σε περιοχές με υψηλούς πόρους ανέμου θεωρείται αρκετά ανταγωνιστικό σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα αφαλάτωσης. Το μόνο μειονέκτημα της εν λόγω μεθόδου είναι η δυσκολία συνεχόμενης παροχής ισχύος στο σύστημα λόγω της εποχιακής μεταβλητότητας των ανέμων.



Εικόνα 5. Αιολικό πάρκο (www.solarmarket.gr, 18/11/2013)

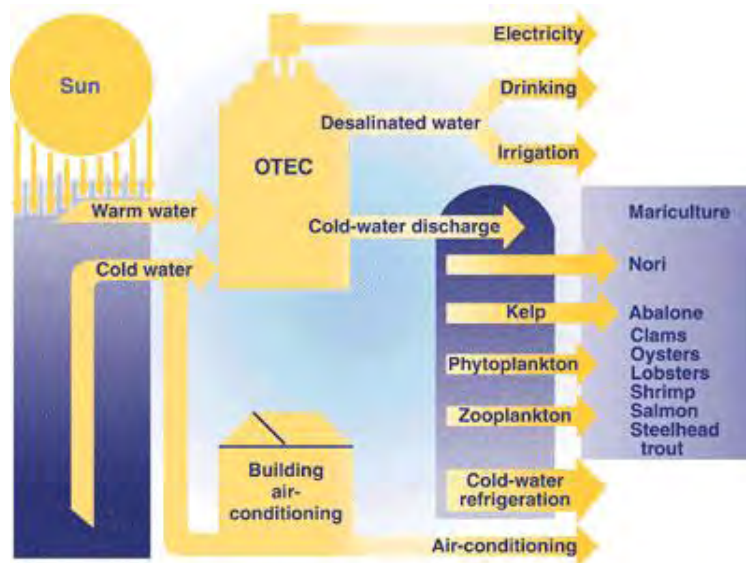
Με τη χρήση των ανεμογεννητριών (Εικόνα 5) η αιολική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται από το σύστημα αφαλάτωσης. Είναι όμως δυνατή και η απευθείας παραγωγή μηχανικού έργου για την κίνηση μηχανικών μερών των διατάξεων της αφαλάτωσης.

6.3. Γεωθερμική Ενέργεια

Η Γεωθερμική ενέργεια αποτελεί ένα φυσικό εγχώριο πλούτο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών μια εκ των οποίων είναι και η αφαλάτωση (Σχήμα 14). Το ενεργειακό περιεχόμενο των ρευστών που βρίσκεται εγκλωβισμένο μέσα στο υπέδαφος σε βάθος έως και 5 km μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αφαλάτωση για τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε μηχανική και ηλεκτρισμό. Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα η αφαλάτωση πρέπει η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών να είναι τουλάχιστον 60°C.

- Σε γεωθερμικά πεδία θερμοκρασίας κάτω των 100°C η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται σε θερμικές μεθόδους αφαλάτωσης για την απευθείας θέρμανση θαλασσινού νερού και την παραγωγή καθαρού νερού με εκτιμώμενο κόστος <2,2 €/m³. Η ίδια πρακτική ακολουθείται όταν το γεωθερμικό μίγμα ατμού- θερμού νερού, περιέχει κυρίως θερμό νερό, οπότε αυτό χρησιμοποιείται απευθείας στους εξατμιστήρες αφαλάτωσης θερμικών μεθόδων.
- Σε γεωθερμικά πεδία θερμοκρασίας άνω των 100°C, ή αν το γεωθερμικό μείγμα συνίσταται κυρίως από ατμούς υψηλής πίεσης, η διαθέσιμη ενέργεια αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ατμοστρόβιλων και στη συνέχεια καταναλώνεται στην αφαλάτωση.
- Όταν το γεωθερμικό μείγμα περιέχει ισοδύναμες ποσότητες θερμού νερού και ατμών τότε αυτό εκτονώνεται για την παραγωγή ατμού, που διοχετεύεται σε ατμοστρόβιλο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το θερμό ρευστό που απομένει χρησιμοποιείται ως πηγή θέρμανσης στους εξατμιστήρες θερμικής αφαλάτωσης (Ντάνου κ.ά. 2010).

Στην Ελλάδα μονάδες αφαλάτωσης με γεωθερμία υπάρχουν στην Κίμωλο και στο Σουσάκι Κορινθίας. Γενικότερα η γεωθερμία υπερτερεί της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας στην αφαλάτωση γιατί είναι οικονομικότερη.



Σχήμα 14. Διάταξη αφαλάτωσης με εκμετάλλευση θερμικού δυναμικού

6.4. Ωκεάνια Ενέργεια

Η εκμετάλλευση της ωκεάνιας ενέργειας στη διαδικασία της αφαλάτωσης (Σχήμα 15) βασίζεται στη μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας που παρατηρείται μεταξύ των θερμών επιφανειακών νερών και των ψυχρών βαθύτερων νερών (500- 1000m βάθος) που παρατηρείται στους ωκεανούς. Η διαφορά αυτή μπορεί να φτάσει και τους 27 °C κυρίως στους ωκεανούς των τροπικών περιοχών. Το φαινόμενο αυτό της έντασης θερμοκρασιακής μεταβολής μπορεί να προκαλέσει την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και αφαλατωμένου νερού. Ωστόσο η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και η εφαρμογή της είναι σπάνια.



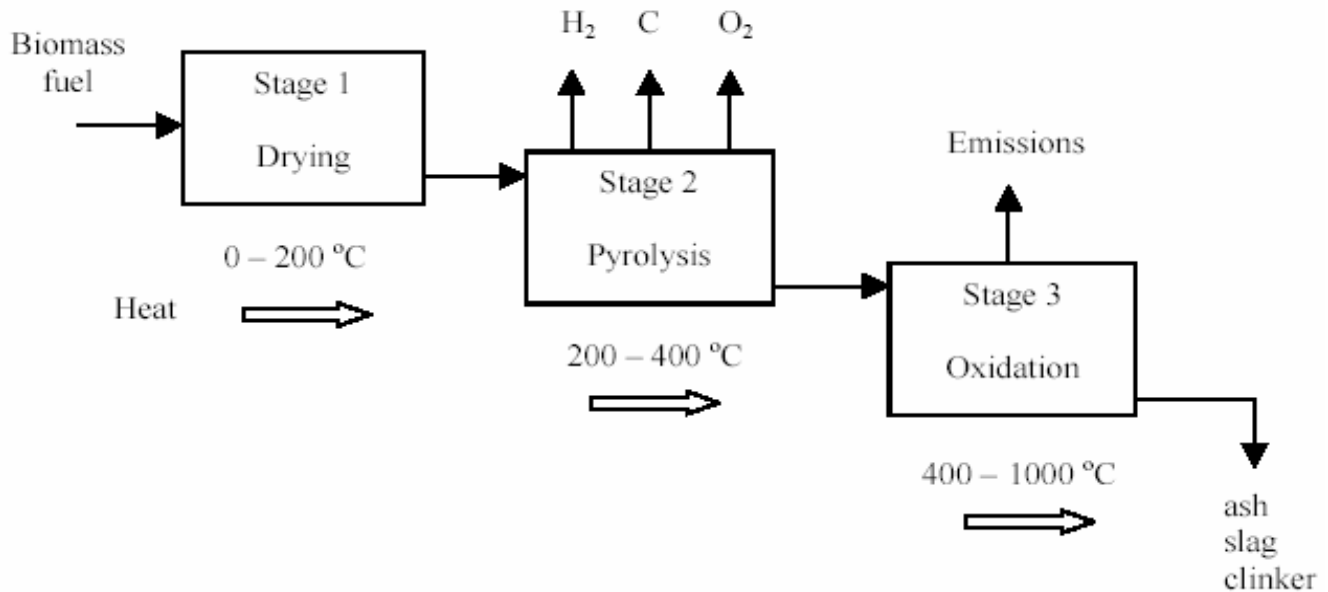
Σχήμα 15. Διάταξη αφαλάτωσης με κυματική ενέργεια

Στην ωκεάνια ενέργεια συγκαταλέγεται και η εκμετάλλευση της ενέργειας των κυμάτων, η οποία βασίζεται στην ικανότητα μιας ακολουθίας διαδοχικών κυμάτων είτε να ασκεί πίεση σε ένα ρευστό είτε να προκαλέσει μετατόπιση μάζας νερού. Οι χώρες που χρησιμοποιούν αυτού του είδους την ενέργεια είναι κατά κόρον η Ινδία και ακολουθεί η Αυστραλία. Στις Η.Π.Α. ακόμη βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο.

Τέλος, η αφαλάτωση μπορεί να γίνει και με τη βοήθεια της παλίρροιας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση παράγεται ενέργεια μέσω υδατόπτωσης από φράγματα που συγκρατούν την πλημμυρίδα. Ωστόσο ο συγκεκριμένος τρόπος δεν χρησιμοποιείται.

6.5. Βιομάζα και αφαλάτωση

Με την καύση των απορριμμάτων παράγεται ενέργεια θερμότητας υπό μορφή καυσαερίων η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση της διαδικασίας της αφαλάτωσης. Τα καυσαέρια τα οποία δημιουργούνται από την καύση των σκουπιδιών χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ατμού (Σχήμα 16).



Σχήμα 16. Διαδικασία με τη χρήση της βιομάζας (ADIRA 2005)

Η εκμετάλλευση της βιομάζας δεν αποτελεί λύση μόνο για το ενεργειακό πρόβλημα αλλά και για την προστασία του περιβάλλοντος. Ωστόσο για να μπορέσει να έχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα απαιτείται η καύση μεγάλων ποσοτήτων απορριμμάτων, γεγονός πρακτικά αδύνατο καθώς οι ανάγκες της αφαλάτωσης εμφανίζονται κυρίως σε απομακρυσμένες περιοχές με σχετικά μικρό πληθυσμό επομένως και παραγωγή απορριμμάτων.

7. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

Η έλλειψη νερού αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα παγκοσμίως δημιουργώντας επιτακτικά την ανάγκη επίλυσής του. Η βιομηχανοποίηση και η βελτίωση της ποιότητας ζωής, η αστική ανάπτυξη και οι κοινωνικο-οικονομικές μεταβολές έχουν οδηγήσει στην κατακόρυφη αύξηση της ζήτησης του νερού, το οποίο αποτελεί το σημαντικότερο αγαθό του ανθρώπου και συμβάλλει καθοριστικά στην ποιότητα ζωής του.

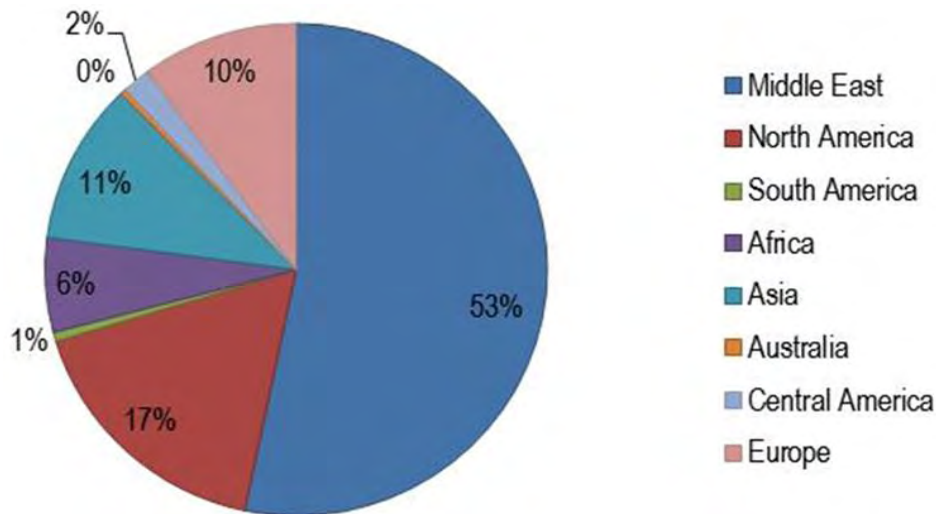
Ωστόσο, πολλοί είναι οι παράγοντες που καταστρατηγούν την επίκτητη αυτή ανάγκη του ανθρώπου. Οι μεγάλες κλιματικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα τα τελευταία χρόνια, η έντονη λειψυδρία και το ξηρό κλίμα σε συνδυασμό με την υπεράντληση που παρατηρείται έχοντας ως αποτέλεσμα την εξάντληση των υπόγειων αποθεμάτων αποτελούν τροχοπέδη στην σωστή κάλυψη της ζήτησης. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι την υφιστάμενη κατάσταση επιβαρύνει και η μόλυνση των υδάτων από απόβλητα, φυτοφάρμακα και χημικά λιπάσματα καθώς επίσης και η διάβρωση του εδάφους που δεν επιτρέπει την αποθήκευση του νερού στον υπόγειο υδροφόρα.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας 36% του παγκόσμιου πληθυσμού στερείται της κατάλληλης ποιότητας νερού ενώ 780 εκατομμύρια άνθρωποι ζουν χωρίς καθόλου πρόσβαση σε καθαρό νερό. Υπολογίζεται ότι 3,6 εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν κάθε χρόνο από αρρώστιες εξαιτίας του μολυσμένου νερού. Είναι προφανές ότι η ποιοτική και ποσοτική λειψυδρία απαιτεί την άμεση λήψη αποφάσεων για την αντιμετώπισή της. Σύμφωνα με την IDA (International Desalination Association) η μέθοδος της αφαλάτωσης αποτελεί ένα βασικό εργαλείο σταδιακής αντιμετώπισης της εν λόγω κατάστασης (Zotalis et al. 2013).

Τις τελευταίες δεκαετίες η παγκόσμια δυναμικότητα αφαλάτωσης παρουσιάζει σημαντική ανάπτυξη δείχνοντας ότι στο μέλλον θα παίζει σημαντικό ρόλο στην υδατική προμήθεια. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης βρίσκονται σε περιοχές με μειωμένη ικανότητα απόκτησης νερού όπως οι περιοχές της Μέσης Ανατολής. Η συνεχώς αυξανόμενη παραγωγή αφαλατωμένου νερού μαρτυρά και την παγκόσμια προτίμηση της εν λόγω τεχνικής. Ξεκινώντας από 326 m³/ημέρα το 1945, υπερβαίνει τα 5.000.000 m³/ημέρα το 1980 ενώ το 2004 η ημερήσια παραγωγή αφαλατωμένου νερού ξεπερνά τα 35.000.000 m³/ημέρα. Από το 2004 και μέχρι το 2010 η ικανότητα παραγωγής σχεδόν διπλασιάζεται φθάνοντας τα 68.000.000 m³/ημέρα και μέχρι το τέλος του 2012 τα 79.000.000 m³/ημέρα. Χώρες της Μέσης Ανατολής όπως η Σαουδική Αραβία καλύπτουν περισσότερο από το 70% της ζήτησής τους από το αφαλατωμένο νερό ενώ το Ισραήλ και η Σιγκαπούρη το 30%.

Το 2012 λειτουργούσαν παγκόσμια περίπου 16.000 εγκαταστάσεις αφαλάτωσης ενώ το 2008 περίπου 14.000. Βέβαια εκτός από τις ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις υπάρχει και πληθώρα έργων τα οποία βρίσκονται υπό κατασκευή. Τα περισσότερα εργοστάσια παραγωγής αφαλατωμένου νερού βρίσκονται στη Μέση Ανατολή ενώ ακολουθούν οι χώρες της Μεσογείου, των Η.Π.Α. και της Ασίας (Zotalis et al. 2013).

Παρακάτω, στο Σχήμα 17, φαίνονται τα ποσοστά των μονάδων αφαλάτωσης για κάθε γεωγραφική περιοχή. Παρατηρούμε ότι η Μέση Ανατολή κατέχει το ποσοστό του 53% παγκοσμίως του συνόλου των μονάδων αφαλάτωσης ενώ έπονται η Βόρεια Αμερική και η Ασία. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η Αυστραλία δεν έχει εκδηλώσει σημαντικό ενδιαφέρον για τον συγκεκριμένο τρόπο ανάκτησης καθαρού νερού.



Σχήμα 17. Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης ανά γεωγραφική περιοχή (%) (Clayton 2011)

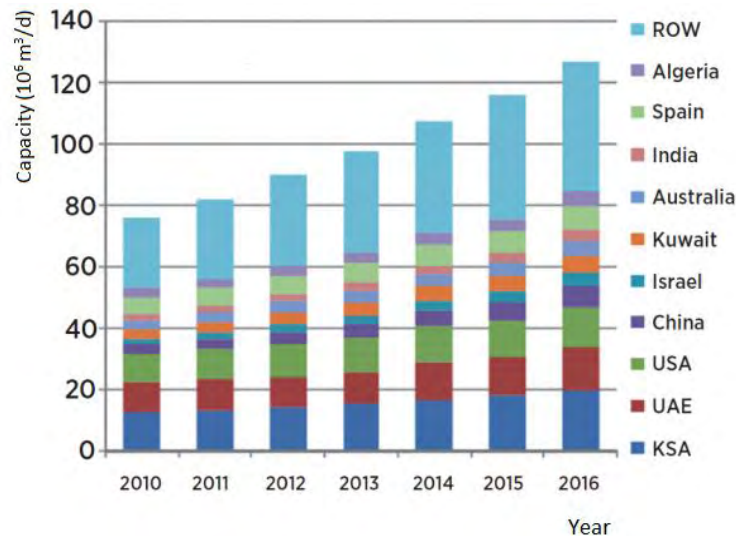
Αύξηση μεγαλύτερη του 9% αναμένεται να υπάρξει μέχρι το τέλος του 2016 στον αριθμό των μονάδων αφαλάτωσης. Σήμερα περίπου 150 χώρες παγκοσμίως κάνουν χρήση της μεθόδου. 1% του παγκόσμιου πληθυσμού ικανοποιεί τις καθημερινές του ανάγκες με αφαλατωμένο νερό, ποσοστό που αναμένεται να ανέλθει στο 14% μέχρι το 2025. Οι Η.Π.Α., η Ασία, η Κίνα, η Σαουδική Αραβία και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα δείχνουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην χρήση της μεθόδου αυξάνοντας συνεχώς τον αριθμό των εγκαταστάσεών τους. Παράλληλα, απομονωμένες περιοχές και περιοχές μακριά από μεγάλα αστικά κέντρα στρέφονται κυρίως σε αυτόν τον τρόπο παραγωγής νερού εξαιτίας αδυναμίας για κάλυψη της ανάγκης από άλλες μεθόδους. Μάλιστα συχνά οι επενδύσεις γίνονται από ιδιωτικές εταιρείες, γεγονός που βοηθάει τα αναπτυσσόμενα κράτη τα οποία δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα να προχωρήσουν σε τέτοιες επενδύσεις.

Εκτιμάται ότι το 54% της παγκόσμιας ανάπτυξης στη χρήση μονάδων αφαλάτωσης θα κατέχουν η Μέση Ανατολή και η Βόρεια Αφρική (Σχήμα 17) όπου αναμένεται αύξηση στην ημερήσια παραγωγή από 21.000.000 m³/ημέρα το 2007 σε 110.000.000 m³/ημέρα μέχρι το 2030. Το 70% της παραγωγής αυτής θα προέρχεται από την Σαουδική Αραβία, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, το Κουβέιτ, την Αλγερία και τη Λιβύη. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι 10 πρώτες χώρες ελέγχουν το 87,5% της παγκόσμιας δυναμικότητας (Zotalis et al. 2013).

Παρακάτω, στο Σχήμα 18, απεικονίζεται η ημερήσια συχνότητα παραγωγής αφαλατωμένου νερού στις προαναφερθείσες χώρες για τα έτη 2010 μέχρι 2016. Η αγορά πρόκειται να ακμάσει τόσο στις αναπτυσσόμενες όσο και στις αναπτυγμένες χώρες, όπως η Ηνωμένες Πολιτείες, η Κίνα, η Σαουδική Αραβία (SA) και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (UAE). Όπως παρατηρούμε σημαντική αύξηση έχουμε και στις απομονωμένες και αγροτικές περιοχές (ROW) όπου ο ηλεκτρισμός ή άλλα είδη καυσίμων δεν είναι εύκολο να χρησιμοποιηθούν αλλά και υπερβολικά δαπανηρές.

Περισσότερο απ’ το μισό της παγκόσμιας δυναμικότητας είναι εγκατεστημένο στην Μέση Ανατολή. Το μεγαλύτερο εργοστάσιο παραγωγής αφαλατωμένου νερού είναι το Ras Al-Khair (Ras Azzour) στη Σαουδική Αραβία, το οποίο χρησιμοποιεί τόσο θερμικές μεθόδους όσο και μεθόδους μεμβρανών. Η ικανότητα παραγωγής ανέρχεται στα 1.000.000 m³/ημέρα και η ολοκλήρωση της κατασκευής του είναι προγραμματισμένη για τον Ιανουάριο του 2014. Οι μεγαλύτερες μονάδες αφαλάτωσης παγκοσμίως φαίνονται παρακάτω στον Πίνακα 5.

Όσον αφορά τις τεχνολογίες μεμβρανών και ειδικότερα την τεχνική της αντίστροφης όσμωσης υπάρχουν πολλές μεγάλες μονάδες παγκοσμίως που τη χρησιμοποιούν, η μεγαλύτερη εκ των οποίων είναι η Victoria Desalination Plant στην Μελβούρνη της Αυστραλίας με ικανότητα παραγωγής 444.000 m³/ημέρα, η οποία όμως σύντομα θα ξεπεραστεί από το Magtaa Plant στην Αλγερία και το Soreq Plant στο Ισραήλ με ικανότητες 500.000 m³/ημέρα και 510.000 m³/ημέρα αντίστοιχα, όπως φαίνεται στον πίνακα 6 (Zotalis et al. 2013).



Σχήμα 18. Παγκόσμια δυναμικότητα αφαλάτωσης 2010-2016 (IEA-ETSAP and IRENA, Water Desalination Using Renewable Energy, Technology Brief I12, 2012)

Πίνακας 5. Οι μεγαλύτερες εγκαταστάσεις μονάδων αφαλάτωσης στον κόσμο (Gleick, Katz & Lee, The World's Water 2006-2007, The International Desalination & Water Reuse Quarterly industry website. Installed desalination growth slowed in 2011-2012, Construction Week Online, 2013)

Χώρα, Τοποθεσία	Χωρητικότητα (m ³ /ημέρα)	Τροφοδοσία	Χρόνος εκκίνησης
Σαουδική Αραβία, RasAl-Khair	1,025,000	N/A	2013
Σαουδική Αραβία, Shuaiba III	880,000	Θαλασσινό	2007
Σαουδική Αραβία, Ras Al-Zour	800,000	Θαλασσινό	2007
Σαουδική Αραβία, Al Jobail II Ex	730,000	Θαλασσινό	2007
Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, Jebel Ali M	600,000	Θαλασσινό	2011
Κουβέιτ, Al-Zour North	567,000	Θαλασσινό	2007

Πίνακας 6. Μεγαλύτερες εγκαταστάσεις μονάδων αφαλάτωσης με τη χρήση της αντίστροφης όσμωσης παγκοσμίως (Poseidon Resources Corporation, 2010, The International Desalination & Water Reuse Quarterly industry website, 2011-2012)

Χώρα, Τοποθεσία	Χωρητικότητα (m ³ /ημέρα)
Soreq plant, Ισραήλ	510,000
Magtaa plant, Αλγερία	500,000
Victoria Desalination plant, Μελβούρνη Αυστραλία	444,000
Point Lisas, Τρινιδάδ	109,019
Tampa Bay Desalination Plant, ΗΠΑ	94,635

7.1. Μονάδα αφαλάτωσης Ras al-Khair στη Σαουδική Αραβία

Η Σαουδική Αραβία αντιμετωπίζει κρίση στον τομέα του νερού. Παρά τις μαζικές επενδύσεις σε εργοστάσια αφαλάτωσης η ζήτηση συνεχώς αυξάνεται. Όντας μια από τις φτωχότερες χώρες σε φυσικά υδατικά αποθέματα καθώς το μεγαλύτερο μέρος του ανάγλυφού της αποτελείται από ερήμους ενώ τα ποτάμια και οι λίμνες είναι ελάχιστα, η τεχνική της αφαλάτωσης δεσπόζει σαν η μοναδική λύση για την απόκτηση καθαρού νερού. Για το λόγο αυτό μεγάλες επενδύσεις έχουν γίνει στο εσωτερικό της χώρας και σήμερα λειτουργούν περίπου 36 μονάδες αφαλάτωσης στις ανατολικές και δυτικές ακτές της. Σύμφωνα με τους Άραβες οικονομικούς αναλυτές η ετήσια απαίτηση σε νερό ξεπερνά το 8,8% και αναμένεται να διπλασιαστεί μέσα στις επόμενες δύο δεκαετίες. 7 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού καταναλώνονται ημερησίως στη χώρα, εκ των οποίων το 60% καλύπτεται από την παραγωγή αφαλατωμένου νερού που προέρχεται τόσο από κρατικές εταιρίες (40%) όσο και από ιδιωτικές (20%). Παράλληλα, στατιστικά αποτελέσματα για το νερό άρδευσης έχουν δείξει ότι οι αριθμοί έχουν διπλασιαστεί τρεις φορές κατά την περίοδο 1980-2006 ενώ στις μέρες μας περίπου το 84% της συνολικής απαίτησης σε νερό καταλαμβάνεται από τον τομέα της γεωργίας (www.aawsat.net, 20/11/2013).

Αναλογιζόμενος κανείς όλα τα παραπάνω αντιλαμβάνεται την αναγκαιότητα της ύπαρξης μεγάλων μονάδων αφαλάτωσης στην εν λόγω χώρα. Για το λόγο αυτό οι Άραβες αποφάσισαν την κατασκευή της μεγαλύτερης εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης στον κόσμο που την ονόμασαν Ras al-Khair.

Η εγκατάσταση Ras al-Khair (πιο επίσημα Ras Az Zawr), η οποία απεικονίζεται στις Εικόνες 6 και 7, είναι μια υβριδική μονάδα αφαλάτωσης η οποία λειτουργεί χρησιμοποιώντας τη θερμική μέθοδο της πολυβάθμιας εκτόνωσης καθώς και τις τεχνολογίες της αντίστροφης όσμωσης. Η μονάδα είναι εγκατεστημένη στην βιομηχανική πόλη Ras Al Khair περίπου 75 km βορειοδυτικά της πόλης Jubail. Η κατασκευή ξεκίνησε στις αρχές του 2011 και αναμένεται να περατωθεί στις αρχές του 2014. Θα αποτελέσει τη μεγαλύτερη εγκατάσταση παραγωγής αφαλατωμένου νερού παγκοσμίως με δυναμικότητα 728.000.000 λίτρων τη μέρα ικανών να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες 3,5 δισεκατομμυρίων ατόμων. Το κόστος της κατασκευής ανέρχεται στα 1,46 δισεκατομμύρια δολάρια (www.water-technology.net, 20/11/2013).



Εικόνα 6. Απεικόνιση της εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας που θα παρέχει ενέργεια για τη θέρμανση των σωλήνων στη μονάδα της πολυβάθμιας εκτόνωσης (www.water-technology.net, 20/11/2013)



Εικόνα 7. Εναέρια απεικόνιση της μεγαλύτερης εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης στον κόσμο, Ras Al-Khair, Σαουδική Αραβία (www.aeconline.ae, 20/11/2013)

Το εργοστάσιο θα παράγει τόσο αφαλατωμένο νερό (πάνω από 1.000.000 m³/ημέρα) όσο και ηλεκτρικό ρεύμα (περίπου 2.400 MW). Μέχρι στιγμής έχει ολοκληρωθεί το 75% της κατασκευής του και αναμένεται στο τέλος του 2013 να τεθεί σε λειτουργία με την παραγωγή αρχικά ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσότητα 416 MW η οποία θα ανέλθει στα 830 MW λίγους μήνες αργότερα. Η παραγωγή αφαλατωμένου νερού θα ξεκινήσει κι αυτή στο τέλος του 2013 χρησιμοποιώντας αρχικά την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης με δυναμικότητα 150.000 m³/ημέρα. Το Ras al-Khair θα προμηθεύει τα εργοστάσια του Maaden με 25.000m³ αφαλατωμένου νερού και 1.350 MW ηλεκτρικό ρεύμα, την πόλη Riyadh και τις περιβάλλουσες περιοχές με 900.000 m³ αφαλατωμένου νερού ενώ μέσα στο 2014 θα καλύπτει και τις υδατικές ανάγκες των πόλεων I-Nuairiya, Hafr Al-Baten, Al-Qarya, Al-Olaya, Al-Saeera and Al-Qasuma με 100.000 m³ πόσιμου νερού και επιπλέον 1.050 MW ηλεκτρικού ρεύματος (www.technicalreviewmiddleeast.com, 20/11/2013).

Ο σταθμός αφαλάτωσης απαρτίζεται από 8 μονάδες πολυβάθμιας εκτόνωσης με ικανότητα παραγωγής 160 MIGD και 17 μονάδες αντίστροφης όσμωσης με 68 MIGD. Το εργοστάσιο θα περιλαμβάνει ένα κτήριο αντίστροφης όσμωσης, ένα κτήριο αντιμετώπισης σπατάλης νερού, ένα εργοστάσιο επεξεργασίας λυμάτων, ένα κτήριο για τις χημικές δραστηριότητες που απαιτούνται και εγκατάσταση αέριας επίπλευσης και δύο dual media φίλτρα. Η μονάδα αφαλάτωσης θα χρησιμοποιήσει 90.000 m³ από οπλισμένο σκυρόδεμα, 6.000 τόνους δομικού χάλυβα, και θα καλύπτει 19.000 m² για την οροφή και την επένδυση τοίχων και 30.000 m² τοιχοποιίας.

Όσον αφορά τη διαδικασία της παραγωγής πόσιμου νερού μέσα στην εγκατάσταση, στη μονάδα της πολυβάθμιας εκτόνωσης περιλαμβάνεται η θέρμανση του θαλασσινού νερού και η παραγωγή ατμού και στη συνέχεια η υγροποίηση του ατμού για την παραγωγή αφαλατωμένου νερού. Η μονάδα εξάτμισης που θα χρησιμοποιηθεί είναι σε μέγεθος η μεγαλύτερη στον κόσμο έχοντας μήκος 123 m, φάρδος 33.7m και ζυγίζει 4.150 τόνους (Εικόνα 8). Η διαδικασία που ακολουθείται για την αφαλάτωση του τροφοδοτούμενου νερού έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο (www.water-technology.net, 20/11/2013).

Αντίστοιχα ακολουθείται και η διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 8. Ο μεγαλύτερος εξατμιστήρας που χρησιμοποιείται για την μέθοδο της πολυβάθμιας εκτόνωσης, ένας από τους οχτώ που χρησιμοποιούνται στο εργοστάσιο αφαλάτωσης Ras Al Khair (www.waterworld.com, 21/10/2013)

7.2. Μονάδα αφαλάτωσης στη Llobregat της Ισπανίας

Τις τελευταίες δεκαετίες η πόλη της Βαρκελώνης και τα περίχωρά της έχουν έρθει αντιμέτωπες με μεγάλες περιόδους ξηρασίας οι οποίες δημιούργησαν σημαντική μείωση των υδατικών αποθεμάτων. Ειδικότερα, το 2008 κατά τη διάρκεια μιας τέτοιας μεγάλης ξηρασίας η κυβέρνηση αναγκάστηκε να λάβει μια σειρά μέτρων για την προμήθεια των κατοίκων με πόσιμο νερό. Απαγορεύτηκε η χρήση του νερού για άρδευση εξωτερικών χώρων αλλά και η άσκοπη σπατάλη σε είδη αναψυχής. Παράλληλα, μεγάλες ποσότητες νερού μεταφέρθηκαν μέσω πλοίων στη Βαρκελώνη από τη Tarragona και τη Μασσαλία με σκοπό να ικανοποιηθούν οι ανάγκες των 4,5 εκατομμυρίων κατοίκων της πόλης.

Ωστόσο η ενέργεια αυτή αποδείχθηκε ιδιαίτερα δαπανηρή και μη βιώσιμη. Εξετάζοντας μια σειρά πιθανών λύσεων για το εν λόγω πρόβλημα η ισπανική κυβέρνηση κατέληξε στην κατασκευή μιας μονάδας αφαλάτωσης με σκοπό τη συνεχή και ικανοποιητική παροχή νερού τόσο στην πόλη της Βαρκελώνης όσο και στις γύρω περιοχές. Βέβαια, λόγω των έντονων αντιδράσεων κυρίως των μελών περιβαλλοντικών οργανώσεων πραγματοποιήθηκε ενδελεχής έρευνα για την κατασκευή και λειτουργία της εγκατάστασης έτσι ώστε να μην υπάρξει καμία αρνητική συνέπεια στο περιβάλλον. Έτσι το 2008 ξεκίνησε η κατασκευή του έργου.

Ο σταθμός αφαλάτωσης Llobregat αποτελεί τη μεγαλύτερη μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση σε ολόκληρη την Ευρώπη εκμεταλλευόμενος το θαλασσινό νερό της Μεσογείου. Βρίσκεται στην αριστερή όχθη του ποταμού Llobregat στην περιφέρεια El Prat del Llobregat, της Βαρκελώνης και τροφοδοτεί με πόσιμο νερό την πόλη της Βαρκελώνης και τις περιοχές El Penedès, El Baix Llobregat, L’Anoia, El Garraf, El Barcelonès, El Vallès και El Maresme.

Την κατασκευή του έργου ανέλαβε η εταιρία Aguas Ter Llobregat (ATLL), δημόσιος οργανισμός κοινής ωφέλειας που είναι υπεύθυνος για την παροχή νερού στην πόλη της Βαρκελώνης και άλλων οχτώ περιβαλλουσών περιοχών, σε συνεργασία με τις Degremont, Aigues de Barcelona and Dragados-Drace. Η κατασκευή του διήρκεσε δύο χρόνια και τον Ιούλιο του 2009 έγιναν τα εγκαίνια

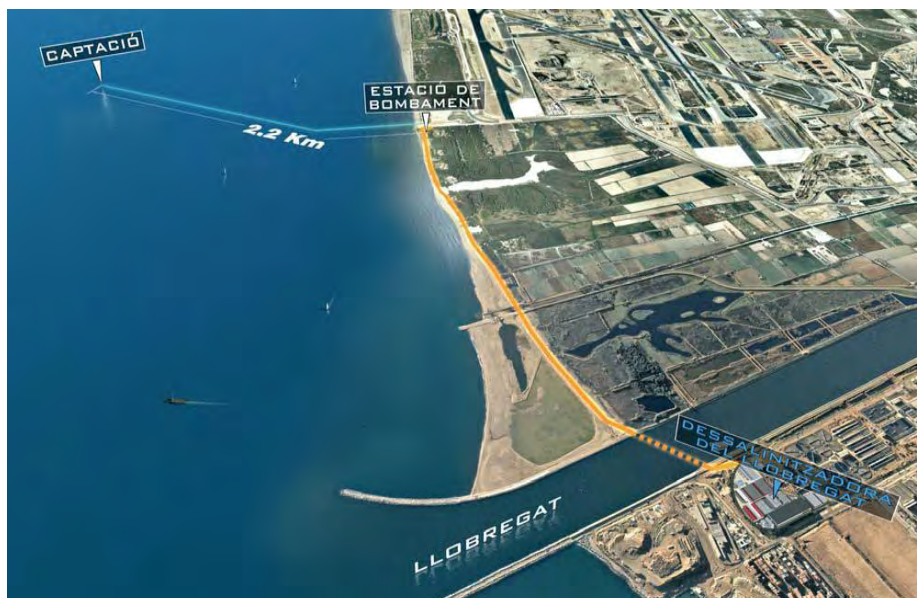
της βιομηχανίας η οποία έκτοτε ικανοποιεί τις ανάγκες 1,4 εκατομμυρίων κατοίκων της περιοχής με δυναμικότητα 180.000 m³/ημέρα και 60 εκατομμύρια m³/χρόνο. Το κόστος της ανέρχεται στα 230 εκατομμύρια ευρώ.

7.2.1. Πρόσληψη νερού και διαδικασία προ-επεξεργασίας

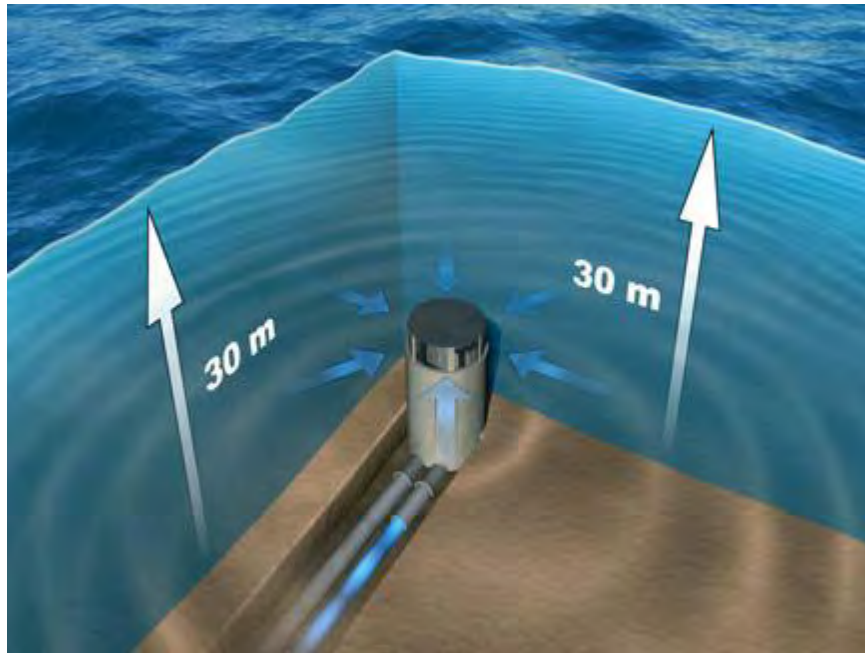
Η συνολική εγκατάσταση αποτελείται από το σύστημα άντλησης του θαλασσινού νερού, το υπόγειο δίκτυο σωλήνων για τη μεταφορά του νερού αυτού στο σταθμό αντλιών, το δίκτυο σωλήνων μεταξύ του σταθμού αντλιών και της μονάδας αφαλάτωσης, την καθ' εαυτού μονάδα αφαλάτωσης, το δίκτυο μεταφοράς του αφαλατωμένου νερού στις διάφορες περιοχές και το δίκτυο μεταφοράς της άλμης και του εναπομείναντος νερού στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού Baix Llobregat Wastewater Treatment Plant (energy recovery INC, case study Barcelona 2009).

Το σύστημα πρόσληψης νερού απαρτίζεται από δύο πύργους πρόσληψης νερού με ύψος 30m, οι οποίοι βρίσκονται σε απόσταση 2.200m από την ακτή σε βάθος 30m μέσα στη θάλασσα (Εικόνες 9 και 10).

Το σύστημα άντλησης του θαλασσινού νερού, το οποίο βρίσκεται περίπου 2.500m από την ακτή, απαρτίζεται από δύο πύργους 30m ο καθένας, οι οποίοι βρίσκονται σε βάθος 30m από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι πύργοι αυτοί επιτρέπουν την ανάκτηση νερού από βάθος 25m αποτρέποντας έτσι την είσοδο στους σωλήνες, νερού και μικροσωματιδίων που αυτό περιέχει, από τον ποταμό Llobregant. Στη συνέχεια το διάλυμα μεταφέρεται μέσω δύο σωλήνων πολυαιθυλενίου, διαμέτρου 1,800mm στο σταθμό αντλιών ο οποίος βρίσκεται 2,5km μακριά από τη μονάδα αφαλάτωσης. Αξιοσημείωτη είναι η διαδικασία μεταφοράς των προαναφερθέντων σωλήνων από τη Νορβηγία, όπου και κατασκευάστηκαν, ως τη Βαρκελώνη. Ξεκινώντας από το Όσλο μεταφέρθηκαν επιπλέοντας μέχρι το λιμάνι της Βαρκελώνης έχοντας ολικό μήκος 500m.



Εικόνα 9. Τοποθεσία εγκατάστασης αφαλάτωσης και απεικόνιση περιοχής πρόσληψης νερού (fulleto dessalinitzadora angles 2009)



Εικόνα 10. Πύργος πρόσληψης νερού (fulleto dessalinitizatora angles 2009)

Ο σταθμός αντλιών, που βρίσκεται κοντά στην παραλία Prat of Llobregat, δέχεται το θαλασσινό νερό και με τη χρήση έξι αντλιών με εναλλάκτες συχνότητας μειώνει την ηλεκτρική παραγωγή στέλνοντας το νερό στη μονάδα αφαλάτωσης μέσω αντλιών σχεδιασμένων από υαλόνημα, οι οποίοι διασχίζουν υπογείως το ποτάμι.

Πριν τη διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης το διάλυμα που φθάνει στη μονάδα αφαλάτωσης υφίσταται εκτενή επεξεργασία με σκοπό να διαπεράσει τις μεμβράνες στη βέλτιστη ποιότητα αποτρέποντας την γρήγορη καταστροφή τους. Στο σταθμό της Βαρκελώνης η μέθοδος αυτή της επεξεργασίας διαχωρίζεται σε τρεις διαδικασίες διήθησης για την απομάκρυνση ακαθαρσιών, παθογόνων μικροοργανισμών και άλμης (energy recovery INC 2010).

Φτάνοντας το προεπεξεργασμένο νερό στη μονάδα αφαλάτωσης μεταφέρεται στους θαλάμους σύμπτυξης και από εκεί σε ειδικούς θαλάμους για κροκίδωση, οι οποίοι αποτελούνται από 10 συσκευές επίπλευσης SeaDAFR. Οι συσκευές αυτές καταστρέφουν τα αιωρούμενα στερεά που περιέχονται στο νερό που εισέρχεται καθώς επίσης και τα φύκια, χωρίς τη χρήση πολυμερών, χρησιμοποιώντας κυρίως άλατα σιδήρου.

Ένας άλλος θάλαμος σύμπτυξης που προηγείται του πρώτου σταδίου του φιλτραρίσματος ακολουθεί και αποτελείται από δύο γραμμές των 5 παράλληλων φίλτρων MediazurR η καθεμία, των 155m² το καθένα. Αυτά τα φίλτρα χρησιμοποιούνται παγκοσμίως και η αποτελεσματικότητά τους έχει αποδειχθεί από τη χρήση τους στις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης όπως Fujairah (EAU) or Wadi Ma'In (Jordan).

Το διηθημένο νερό αποθηκεύεται σε μια ενδιάμεση δεξαμενή, 3.500m³, απ' όπου αντλείται για το δεύτερο στάδιο της διήθησης. Η δεξαμενή αποτελείται από δύο ομάδες άντλησης, μία ανά γραμμή, και κάθε γραμμή από 6 αντλίες, καθώς επίσης και μία αντλία εκτός λειτουργίας που χρησιμοποιείται σε περίπτωση ανάγκης. Αυτή η δεύτερη φάση έχει 20 SeaClean[®] dual media φίλτρα πίεσης, χωριζόμενα σε δύο επιφάνειες. Η κάτω επιφάνεια καλύπτει 66 m², καθιστώντας την από τις μεγαλύτερες στον κόσμο για τα φίλτρα υπό πίεση. Τα φίλτρα SeaClean[®] έχουν πολλές χρήσεις σε

μονάδες αφαλάτωσης όπως στις Minera Escondida, San Pedro del Pinatar, Περθ ή Barkha II. Έχουν σχεδιαστεί για να έχουν μεγάλους κύκλους φιλτραρίσματος, εξασφαλίζοντας άριστη ποιότητα του φιλτραρισμένου νερού, ακόμη και όταν χρησιμοποιούνται από μια μόνο φάση διήθησης.

Η τελευταία φάση της προκατεργασίας είναι τα 18 φίλτρα φυσιγγίων από 5 microns, τα οποία επίσης χωρίζονται σε δύο γραμμές.

7.2.2. Στάδιο επεξεργασίας νερού

Η διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης είναι χωρισμένη σε δύο γραμμές παραγωγής, των 100.000 m³/ημέρα η κάθε μία. Το πρώτο πέρασμα έχει 10 σχάρες από 230 δεξαμενές πίεσης, με 7 μεμβράνες στο εσωτερικό, με δυναμικότητα 20.000 m³/ημέρα. Οι σχάρες έχουν ένα υβριδικό σχεδιασμό που συνδυάζει δύο τύπους μεμβρανών, τον SWC4 + και τον SWC5 της Hydranautics. Οι C4 τοποθετούνται στις πρώτες θέσεις των PV λόγω της υψηλότερης απόρριψης άλατος και οι C5 στις τελευταίες θέσεις, λόγω της υψηλής διαπερατότητας. Το σύστημα αυτό που δοκιμάστηκε με επιτυχία σε άλλες εγκαταστάσεις (Minera Escondida, Wadi Ma'In ή San Pedro del Pinatar), επιτρέπει τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, μειώνει τον κίνδυνο ρύπανσης και ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας.

Παράλληλα, υπάρχει μια HP αντλία διάσπασης, μια βαλβίδα ελέγχου και μία ενισχυτική αντλία για κάθε σχάρα, καθώς και 23 εναλλάκτες πίεσης PX-220® για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας.

Ένα δεύτερο πέρασμα εξασφαλίζει την εγγύηση βορίου (1 mg/l) κατά τη διάρκεια των περιόδων με ιδιαίτερα υψηλή θερμοκρασία του θαλασσινού νερού. Έχει δύο ακολουθίες με δυναμικότητα 16.500 m³/ημέρα. Υπάρχουν 78 PV με 7 μεμβράνες στο εσωτερικό. Κάθε ακολουθία τροφοδοτείται από μια αντλία MP, και μια επιπλέον σε κατάσταση αναμονής που ενεργοποιείται σε περίπτωση ανάγκης. Το παραγόμενο νερό από τα δύο αυτά περάσματα αποθηκεύεται σε κατάλληλη δεξαμενή.

7.2.3. Διαδικασία μετεπεξεργασίας

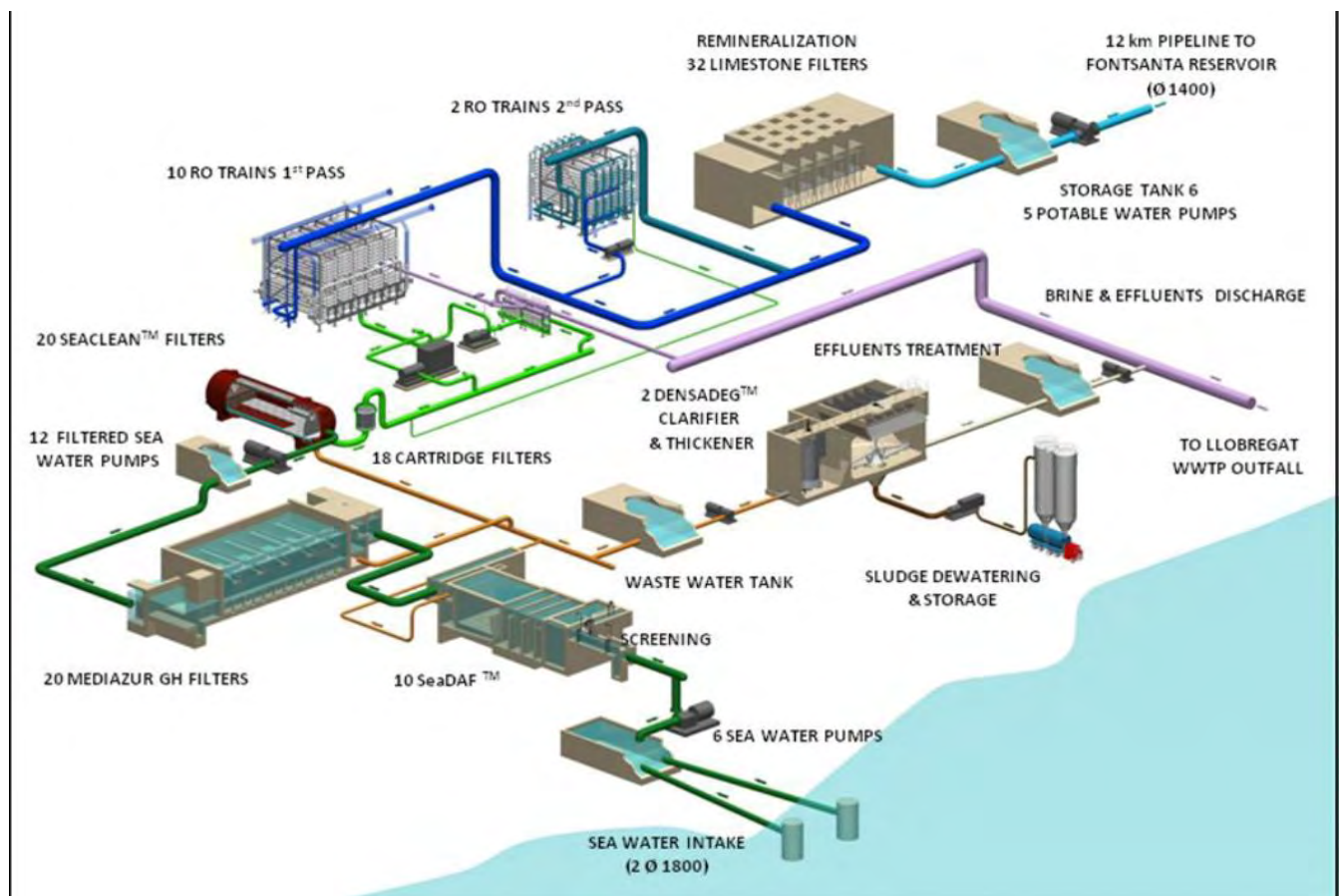
Η περεταίρω επεξεργασία του νερού περιλαμβάνει την επαναμεταλλοποίηση, την απολύμανση και την ρύθμιση του pH του.

Για την επαναμεταλλοποίηση του αφαλατωμένου ύδατος χρησιμοποιούνται φίλτρα ασβεστόλιθου και διοξείδιο του άνθρακα, λόγω του βέλτιστου λειτουργικού τους κόστους. Διοξείδιο του άνθρακα εγχέεται μέσω ενός στατικού αναμίκτη. Αντιδρά με τον ασβεστίτη δύο συστοιχιών από 16 και περισσότερα φίλτρα σταθερού πάχους και ενιαίας επιφάνειας 21m². Από την πλευρά τους τα φίλτρα ασβεστόλιθου επιτρέπουν τη διέλευση του φορτίου. Έχουν και ένα σύστημα έκπλυσης για την απομάκρυνση των εναπομεινάντων ακαθαρσιών. Το επαναμεταλλοποιημένο νερό αποθηκεύεται σε δεξαμενή νερού 4.500m³, η οποία χωρίζεται σε δύο θαλάμους με σκοπό να είναι εφικτή η συντήρηση του ενός ή του άλλου αντίστοιχα χωρίς να απαιτείται η διακοπή της διαδικασίας.

Η αναγκαία προσαρμογή του pH του αφαλατωμένου νερού γίνεται με τη βοήθεια καυστικής σόδας ενώ η απολύμανσή του γίνεται με τη χρήση υποχλωριώδους νατρίου.

Μετά το τέλος της προαναφερθείσας επεξεργασίας το πόσιμο πλέον νερό μεταφέρεται μέσω δικτύου αγωγών στην δεξαμενή διανομή στην περιοχή FontSanta, που αποτελεί σημείο διανομής του αφαλατωμένου νερού σε ολόκληρη τη Βαρκελώνη.

Η πιο πάνω διαδικασία απεικονίζεται στο παρακάτω Σχήμα 19:



Σχήμα 19. Διάγραμμα ροής νερού κατά την διαδικασία αφαλάτωσης (Miguel Angel SANZ, Carlos MIGUEL, Ramon ARBOS, Maria MUNOZ, Josep MESA, IDA manuscript, 2011)

7.2.4. Απόβλητα διαδικασίας

Ένα από τα προβλήματα προς επίλυση σε κάθε μονάδα αφαλάτωσης είναι η επεξεργασία του συμπυκνωμένου νερού που δεν διέρχεται από τις μεμβράνες απόρριψης, το οποίο πρέπει να αραιωθεί σημαντικά πριν την απόρριψή του στο περιβάλλον έτσι ώστε να έχει το μικρότερο αντίκτυπο προς αυτό. Στην περίπτωση μας αυτό έχει λυθεί με έναν πρωτότυπο τρόπο, την ανάμιξη της άλμης με τα επεξεργασμένα λύματα από το Baix Llobregat WWT σταθμό, που βρίσκεται πλησίον του εργοστασίου αφαλάτωσης.

Το σύστημα αυτό επιτρέπει στη χειρότερη περίπτωση (μέγιστη ροή) την ανάμειξη 1:1 της άλμης και των επεξεργασμένων αποβλήτων νερού. Αυτό συνεπάγεται ότι η αλατότητα του μίγματος είναι μικρότερη ή το ίδιο με το νερό της θάλασσας, ελαχιστοποιώντας τις επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον. Το σημείο απόρριψης ανέρχεται στα 60m σε βάθος και περίπου 3 χλμ από το σημείο πρόσληψης, αποτρέποντας παρεμβολή μεταξύ των δύο σημείων που οφείλονται στα κυρίαρχα ρεύματα της θάλασσας.

Άλλο σημαντικό σημείο που λαμβάνεται υπόψη όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος είναι η διαχείριση όλων των λυμάτων. Ιλύς από τα φίλτρα SeaDAF[®], τις μεμβράνες καθαρισμού και όλα τα απόνερα από τις δύο φάσεις διήθησης συλλέγονται και ομογενοποιούνται σε μια μεγάλη δεξαμενή των 3.500m³. Δύο αντλίες στέλνουν τα απόβλητα σε κατάλληλη εγκατάσταση επεξεργασίας.

Ο πυρήνας αυτής της επεξεργασίας είναι δύο πεταλοειδείς συσκευές πηκτικών, οι Densadeg[®]. Αυτή η συσκευή επιτρέπει τη διύλιση των λυμάτων (<5mg/l από SS) και, ταυτόχρονα, πυκνώνει την παραγόμενη ιλύ. Όταν τα λύματα αναμιγνύονται με την άλμη, η συγκέντρωσή τους θα μειωθεί ακόμη περισσότερο, σε λιγότερο από 1mg/l. Αυτό είναι άλλο ένα πρόσθετο θετικό σημείο στην ανάμιξη της με το εκρέον του εργοστασίου επεξεργασίας αστικών λυμάτων που προαναφέρθηκε. Οι λάσπες που παράγονται στην Densadeg[®] αποθηκεύονται σε μια δεξαμενή ανάσχεσης. Δύο σιλό των 60m³, επιτρέπουν το αποθηκευμένο φορτίο να τοποθετηθεί σε φορτηγά και να απομακρυνθεί από την εγκατάσταση (Miguel Angel SANZ et al. 2011). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στο σταθμό αφαλάτωσης υπάρχουν πάνω από 5.200 εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών στις οροφές οχτώ κτηρίων της μονάδας, οι οποίες παράγουν 1MW ηλεκτρισμού ετήσια, γεγονός που συμβάλλει στη μείωση κατά 660t των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αν η εν λόγω παραγωγή γινόταν με οποιαδήποτε άλλης μορφής καύσιμα. Παράλληλα στην παραγωγή ηλεκτρισμού συμβάλλει και ένας ανεμογεννήτρια που είναι εγκατεστημένη στην μονάδα με ύψος 20m και είναι εξοπλισμένη με τουρμπίνα που αποτελείται από έλικες διαμέτρου 16m (Εικόνα 11) (www.water-technology.net, 25/11/2013).



Εικόνα 11. Χρήση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννήτριας στη μονάδα αφαλάτωσης Llobregat (Miguel Angel SANZ, Carlos MIGUEL, Ramon ARBOS, Maria MUNOZ, Josep MESA, IDA manuscript, 2011)

Πίνακας 7. Γενικά χαρακτηριστικά της μονάδας αφαλάτωσης Llobregat (fulleto dessalinitzatora angles 2009)

Συστατικά Μόλυνσης	Ανώτατη Περιεκτικότητα	Διαδικασία αφαλάτωσης μέσω αντίστροφης όσμωσης	
Νιτρικά ως N	10.0 mg/l	Συντελεστής μετατροπής	45,0%
Φθοριούχα	1.4-2.4 mg.l	Αλατότητα θαλασσινού νερού	39.700 ppm
Βάριο	1.0 mg.l	Αλατότητα παραγώμενου νερού	110ppm
Άργυρος	0.05 mg/l	Ρυθμός αποβολής αλατιού	99,7%

7.2.5. Δραστηριότητες που έχουν προγραμματιστεί στη δήλωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Σύμφωνα με την απόφαση στις 6/6/2005 από το γενικό γραμματέα για την προστασία της μόλυνσης και της κλιματικής αλλαγής του Υπουργείου Περιβάλλοντος η δήλωση επιπτώσεων θέτει μια σειρά αντισταθμιστικών μέτρων σχετικά με την κατασκευή της εγκατάστασης αφαλάτωσης. Τα μέτρα αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. Κατασκευή λεκάνης κράτησης για τα λύματα από την La Bunyola Canal κατά τη διάρκεια καταρρακτώδους βροχόπτωσης που θα καταστήσει δυνατή τη βελτίωση της ποιότητας της παραλίας Prat de Llobregat.
2. Απόκτηση γης στην περιοχή ειδικής προστασίας για τα πτηνά (ΖΕΡΑ) με σκοπό την ανάκτηση του οικοσυστήματος. Αυτή είναι η γη που διατίθενται για την προστασία του περιβάλλοντος.
3. Ανακαίνιση των εγκαταστάσεων του παλαιού σταθμού Carabineros και του κτιρίου El Semaforo για τις χρήσεις περιβαλλοντικής εκπαίδευσης. Εξετάζεται επίσης η δημιουργία ενός κέντρου για πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον της περιοχής ιδιαίτερα για την προώθηση της ΖΕΡΑ (fulleto dessalinitzadora angles 2009).

8. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα και κυρίως σε πολλές νοτιοανατολικές περιοχές υπάρχει πολύ χαμηλή διαθεσιμότητα νερού, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω της αυξημένης ζήτησης εξαιτίας του τουρισμού αλλά και της άρδευσης. Το πρόβλημα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 20, τείνει να είναι μεγαλύτερο στα νησιά του Αιγαίου, κυρίως στα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες, στην κεντρική Θεσσαλία και την ανατολική Στερεά Ελλάδα, στην ανατολική Κρήτη και την νότια Πελοπόννησο. Ειδικότερα στην κεντρική Θεσσαλία και τη Στερεά Ελλάδα υπάρχει τεράστια ζήτηση ύδατος λόγω των γεωργικών καλλιεργειών ενώ στα νησιά ο τουρισμός κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες αυξάνει κατακόρυφα τη ζήτηση για πόσιμο νερό. Η υπεράντληση το υπόγειο υδροφόρα και η λειψυδρία όσον αφορά την ηπειρωτική Ελλάδα, αλλά και το μικρό μέγεθος των νησιών και το γεωγραφικό τους ανάγλυφο καθιστά τη μέθοδο της αφαλάτωσης ως μία από τις επικρατέστερες και οικονομικότερες μεθόδους αύξησης της διαθεσιμότητας του νερού.

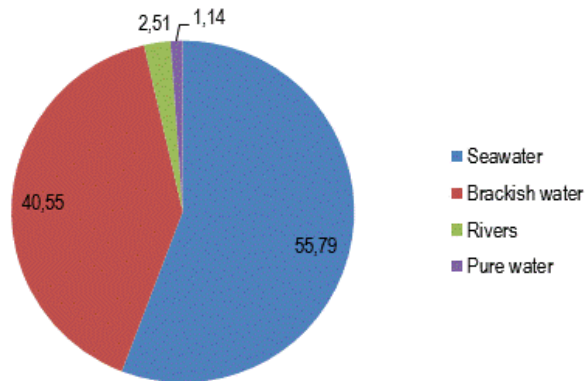


Σχήμα 20. Έλλειμμα ή / και πλεόνασμα του πόσιμου νερού ανά υδατικό διαμέρισμα στην Ελλάδα (Stefopoulou et al. 2008)

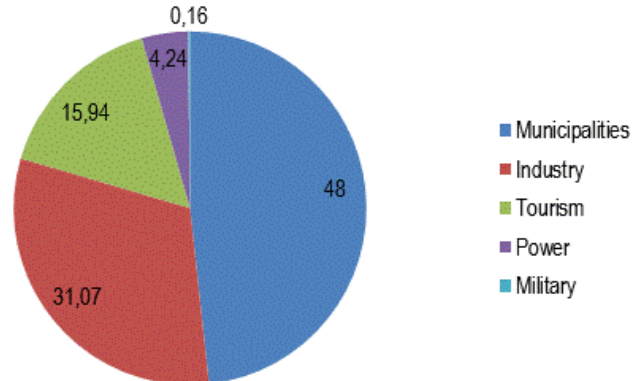
Στην Ελλάδα υπάρχει πλήθος εγκαταστάσεων μονάδων αφαλάτωσης κυρίως στα νοτιοανατολικά της χώρας και στα νησιά. Βέβαια το μέγεθος των εγκαταστάσεων αυτών είναι πολύ μικρότερο σε σχέση με αυτές του εξωτερικού. Από τις εγχώριες αυτές μονάδες μεγάλος αριθμός βρίσκεται υπό τη δικαιοδοσία του κράτους, εξίσου όμως μεγάλος αριθμός ανήκει σε μεμονωμένα ξενοδοχεία τα οποία παράγουν με την εν λόγω μέθοδο πόσιμο νερό για ιδιωτική τους χρήση.

Σύμφωνα με τα επίσημα στατιστικά στοιχεία της Παγκόσμια Οργάνωσης Αφαλάτωσης (IDA), μέχρι το 2011 λειτουργούσαν συνολικά 157 εγκατάστασης αφαλάτωσης στον ελλαδικό χώρο με συνολική δυναμικότητα 109.155 m³/ημέρα ενώ εκτιμάται ότι υπό κατασκευή βρίσκονται άλλες 35 μονάδες με συνολική δυναμικότητα 40.135 m³/ημέρα. Παράλληλα, το 2011 κατασκευάστηκαν 5 επιπλέον μονάδες συνολικής δυναμικότητας 32.800 m³/ημέρα (Zotalis et al. 2013).

Η ποιότητα του τροφοδοτούμενου νερού, οι αρμόδιοι φορείς αλλά και οι τεχνικές αφαλάτωσης ποικίλουν στις προαναφερθείσες μονάδες. Παρακάτω απεικονίζονται οι εν λόγω πληροφορίες.

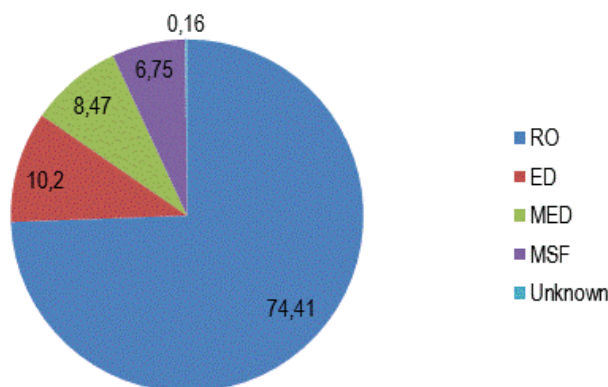


Σχήμα 21. Παραγωγή αφαλατωμένου νερού σύμφωνα με την προέλευση του νερού που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία της μονάδας (Zotalis et al. 2013)



Σχήμα 22. Παραγωγή αφαλατωμένου νερού ανάλογα με τις χρήσεις του, στην Ελλάδα (Zotalis et al. 2013)

Παρατηρούμε ότι η τεχνική της αντίστροφης όσμωσης προτιμάται με ποσοστό 74,41%. Οι ελληνικές μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν με την τεχνική της αντίστροφης όσμωσης ανέρχονται στις 35 με συνολική δυναμικότητα 22.860 m³/ημέρα. Η πιο πρόσφατη μονάδα βρίσκεται στην περιοχή Αλμυρός στο Ηράκλειο Κρήτης με δυναμικότητα 2.400 m³/ημέρα και έχει ήδη ξεκινήσει η λειτουργία της απ’ τον Οκτώβριο του 2013.



Σχήμα 23. Παραγωγή αφαλατωμένου νερού σύμφωνα με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, στην Ελλάδα (Zotalis et al. 2013)

Πίνακας 8. Μονάδες αφαλάτωσης με τη χρήση της αντίστροφης όσμωσης στα ελληνικά νησιά (Zotalis et al. 2013)

Project	Χρόνος	Τύπος	Χωρητικότητα (m ³ /ημέρα)	Αρχικό Κόστος (εκατ)	Κόστος Κατασκ. (€)	Υπεύθυνος	Αποδοχή
Αλμυρός, Ηράκλειο	2013	RO & UF	2.400	0,850	N/A	Sychem S.A., GR	Υπο κατασκευή
Σύρος 1 st Ερμούπολη	1992	RO	800	0,589	2,70	Christ, CH	Καλή
Σύρος 2 nd Ερμούπολη	1997	RO	800	1,482	2,70	Christ, CH	Καλή
Σύρος 3 rd Ερμούπολη	2001	RO (SW)	40	0,346	2,00	Culligan Hellas	Καλή
Σύρος 4 th Άνω Σύρος	2000	RO	250	0,215	0,50	Temak, GR	Καλή
Σύρος 5 th Άνω Σύρος	2002	RO	500	0,400	0,50	Temak, GR	Καλή
Σύρος 6 th Ερμούπολη	2002	RO (SW)	2.000	0,313	0,40	Temak, GR	Καλή
Σύρος 7 th Άνω Σύρος	2005	RO	1.000	1,000	0,40	Temak, GR	Υπο κατασκευή
Σχινούσα	2004	RO	100	0,120	0,70	Temak, GR	Υπο κατασκευή
Μύκονος (Κέρκυρα) παλιό	1981	RO	500	N/A	2,00	Metek, IT	Καλή
Μύκονος (Κέρκυρα) νέο	2001	RO	2.000	1,276	0,50	Culligan Hellas	Καλή
Πάρος (Νάουσα)	2001	RO	1.200	0,415	0,50	Ionics Itaba	Καλή
Τήνος (παλιό)	2001	RO	500	0,434	0,62	Culligan Hellas	Καλή
Τήνος (νέο)	2005	RO	500	0,376	0,62	Culligan Hellas	Καλή
Οία, Σαντορίνι 1 st	1994	RO	220	N/A	2,00	Matrix, USA	Καλή
Οία, Σαντορίνι 2 nd	2000	RO	320	0,210	2,00	Culligan Hellas	Καλή
Οία, Σαντορίνι 3 rd	2002	RO	160	N/A	2,00	Matrix, USA	Καλή
Σίφνος	2002	RO (BW)	500	0,224	3,50	Hoh, DM	Καλή
Ομηρούπολη, Χίος, Δήμος, 1 st	2000	RO (BW)	600	0,205	0,30	Culligan Hellas	Καλή
Ομηρούπολη, Χίος, Δήμος, 2 nd	2005	RO	3.000	0,710	0,26	Culligan Hellas	Υπο κατασκευή
Ομηρούπολη, Χίος, Δήμος, 3 rd	2005	RO	500	0,200	0,26	Culligan Hellas	Υπο κατασκευή
Νίσυρος (παλιό)	1991	RO	300	0,572	N/A	Metek, IT	Εκτός λειτουργίας
Νίσυρος (νέο)	2002	RO	350	0,295	0,66	Temak, GR	Καλή
Ιθάκη, Κεφαλονιά 1 st	1981	RO	620	0,264	2,88	Christ, CH	Καλή
Ιθάκη, Κεφαλονιά 2 nd	2003	RO	520	0,587	0,58	Judo, DE	Καλή
Λέρος	2001	RO	200	0,074	0,13	Culligan Hellas	Καλή
Κασσόπεον (Δήμος)	2001	RO	500	0,170	0,13	Culligan Hellas	Καλή
Ποσειδωνίας (Δήμος), 1 st	2002	RO	500	0,464	0,56	Culligan Hellas	Καλή
Ποσειδωνίας (Δήμος), 2 nd	2005	RO	1.000	0,574	0,45	Culligan Hellas	Υπο κατασκευή
Άγιος Γεώργιος (Δήμος)	2002	RO	500	0,102	0,30	Culligan Hellas	Καλή
Παξοί (Δήμος) 1 st	2005	RO	330	0,260	0,51	Culligan Hellas	Καλή
Παξοί (Δήμος) 2 nd	2005	RO	150	0,162	0,59	Culligan Hellas	Καλή
Σύνολο: 32	-	-	22.860	-	-	-	-

8.1. Η μονάδα αφαλάτωσης στην Μήλο

Το νησί της Μήλου βρίσκεται στο νοτιοδυτικό χώρο των Κυκλάδων, ενός από τα τέσσερα νησιωτικά συμπλέγματα του Αιγαίου Πελάγους. Απέχοντας από την Αθήνα 86 ναυτικά μίλια περίπου δηλαδή 160 χιλιόμετρα αποτελεί έναν από τους πιο συχνούς καλοκαιρινούς προορισμούς λόγω της ομορφιάς και των καθαρών νερών των ακτών του.

Η Μήλος θεωρείται το πέμπτο μεγαλύτερο νησί των Κυκλάδων, και ένα από τα μεγαλύτερα της Μεσογείου, με έκταση 151 τετραγωνικά χιλιόμετρα και μήκος ακτών 125 χιλιόμετρα περίπου με πλούσιο διαμελισμό. Γενικά, θεωρείται χαμηλό νησί. Το μέγεθος, η θέση αλλά και ο ορυκτός της πλούτος είναι μερικοί παράγοντες που συνέβαλαν στο σημαντικό ρόλο που έπαιζε και παίζει το νησί στην ιστορία, τον πολιτισμό και την οικονομία τα τελευταία 7.000-8.000 χρόνια.

Ο πληθυσμός του νησιού ανέρχεται στους 4.950 κατοίκους (απογραφή 2011), αριθμός ο οποίος πενταπλασιάζεται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, και βρίσκεται συγκεντρωμένος στο βόρειο τμήμα της Μήλου, το οποίο είναι και το πιο πεδινό (www.wikipedia.gr, 5/12/2013).

Έντονο ήταν τα τελευταία χρόνια το φαινόμενο της λειψυδρίας στο νησί, όπως και σε πολλά νησιά του Αιγαίου, με αποτέλεσμα το ελληνικό κράτος να δαπανά μεγάλα κονδύλια για τη μεταφορά πόσιμου νερού (περίπου 300.000m³ ετησίως) μέσω υδροφόρων πλοίων από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ στο Λαύριο Αττικής σε δεξαμενή στο λιμάνι του Αδάμαντα στη Μήλο για την κάλυψη των αναγκών του νησιού. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η μεταφορά του νερού κόστιζε 12 €/m³ (Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας).

Εκτός από την μεταφερόμενη αυτή ποσότητα νερού, 170.000m³/χρόνο νερού προέρχονται από τις δημοτικές γεωτρήσεις. Εξαιτίας όμως της υπαλμύρωσης του υπόγειου υδροφορέα η ποιότητα του νερού των γεωτρήσεων είναι κάκιστη και δεν ενδείκνυται για οικιακή χρήση. Παράλληλα, σημαντικά προβλήματα δημιουργεί και το απαρχαιωμένο δίκτυο ύδρευσης του Αδάμαντα το οποίο παρουσιάζει πολλές απώλειες (της τάξης του 20-25%) και ταυτόχρονα μολύνει περεταίρω το διερχόμενο από τους σωλήνες του νερό. Η υφιστάμενη κατάσταση οδήγησε στη δημιουργία σταθμού αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στο νησί με σκοπό τη βέλτιστη περιβαλλοντική και τεχνο-οικονομική βελτίωση του προβλήματος (Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας).

Το πρωτοποριακό αυτό έργο, το πρώτο στην Ελλάδα, καλύπτει τις συνολικές ανάγκες του νησιού σε νερό υποκαθιστώντας τις προαναφερθείσες λύσεις, καθιστώντας το νησί αυτόνομο και βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των κατοίκων του. Η λειτουργία της εγκατάστασης ξεκίνησε τον Ιούλιο του 2007. Την κατασκευή και τη λειτουργία του ανέλαβε ο όμιλος ΙΤΑ, μέσω της θυγατρικής του εταιρίας «Αιολική Μήλου». Με δυναμικότητα 2.600 m³/ημέρα, η μονάδα καλύπτει και τις καλοκαιρινές αιχμές του συστήματος, ενώ προβλέπεται επέκτασή της το 2015 κατά 1.120 m³/ημέρα, με το σκεπτικό των πανομοιότυπων δομικών μονάδων (modular units) που επεκτείνουν τη δυναμικότητα, συνδεόμενες μεταξύ τους.

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της μονάδας προέρχεται από μια ανεμογεννήτρια ισχύς 600 kW η οποία τοποθετήθηκε για να καλύψει τις ανάγκες του σταθμού με σκοπό τη μηδενική επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την εγκατάσταση. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός ότι δεν υπάρχει κανένα όριο στη δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης καθώς είναι σχεδιασμένη και κατασκευάζεται στη βάση των modules, καθιστώντας ικανή τη γρήγορη και εύκολη επεκτασιμότητά τους, ανάλογα με τις ανάγκες παραγωγής νερού (Κωστάκη 2010).

Το αφαλατωμένο νερό που εξέρχεται από τη μονάδα αγοράζεται από το δήμο προς 2,10 €/m³ και μεταπωλείται από το δήμο στους κατοίκους προς 1,50 €/m³. Τη διαφορά των 0,60€/m³ ο Δήμος Μήλου την καλύπτει με δικά του χρήματα (www.localit.gr, 5/12/2013).

Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου μοντέλου της Μήλου ποικίλουν και αναγράφονται παρακάτω:

- Άμεση αντιμετώπιση της λειψυδρίας χωρίς γραφειοκρατικές και χρονοβόρες διαδικασίες διαγωνισμών.
- Ανάθεση του έργου σε ιδιωτική εταιρία χωρίς οικονομική ή οποιασδήποτε άλλης μορφής επιβάρυνση του δήμου για μελέτη- αδειοδότηση-κατασκευή και λειτουργία.
- Ύπαρξη συνεχούς ανταγωνισμού με αποτέλεσμα συνεχών προσπαθειών βελτιστοποίησης των αποτελεσμάτων (μικρότερο τίμημα προμήθειας νερού).
- Διαμόρφωση ξεκάθਾਰου ρόλου για όλες τις εμπλεκόμενες πλευρές (Δήμος, Υπουργείο, Ιδιώτες).
- Ενίσχυση συνδυασμού μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ για βέλτιστα περιβαλλοντικά αποτελέσματα.
- Ανάπτυξη στον κλάδο των αφαλατώσεων ενισχύοντας την εγχώρια επιχειρηματικότητα, την τοπική οικονομία και δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας (Ρελάκης, Περάκης 2009).
- Άριστη ποιότητα παραγόμενου νερού.
- Εφαρμογή ιδιαίτερα προηγμένης και αξιόπιστης τεχνολογίας.
- Ιδιαίτερα χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (2,5kWh/m³).
- Υψηλή διαθεσιμότητα και αξιοπιστία.
- Πολλαπλά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη:
 - ✓ Μείωση κόστους προμήθειας νερού για το ελληνικό δημόσιο κατά 80% (3 εκατ. €/ έτος).
 - ✓ Μείωση δαπανών για άντληση και για χρήση εμφιαλωμένου νερού.
 - ✓ Ορθολογικότερη χρήση υδάτινων αποθεμάτων.
 - ✓ Απαλλαγή από προβλήματα συντήρησης οικιακών συσκευών (λόγω της κακής ποιότητας νερού των γεωτρήσεων).
 - ✓ Αποδέσμευση κονδυλίων για τη βελτίωση και επέκταση του δικτύου ύδρευσης του νησιού και επέκταση του δικτύου κατά 15km.

Το σύνθετο αυτό έργο αποτελείται από:

1. Μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης.
2. Συστοιχία τεσσάρων κεντρικών δεξαμενών λειτουργίας – τροφοδοσίας του δικτύου ύδρευσης του νησιού χωρητικότητας 3.000m³.
3. Καταθλιπτικό αγωγό μήκους 2.800m για τη σύνδεση της μονάδας αφαλάτωσης με τις δεξαμενές λειτουργίας.
4. Ανεμογεννήτρια Vestas V-52/850 (ρυθμισμένη στα 600 kW).
5. Ηλεκτρικό Σύστημα Διαχείρισης Λειτουργίας του σύνθετου Έργου Μονάδα Αφαλάτωσης- Ανεμογεννήτρια με το υπάρχον ηλεκτρικό σύστημα του νησιού (Ρελάκης, Περάκης 2009).

8.1.1. Παρουσίαση της μονάδας αφαλάτωσης

Το τροφοδοτούμενο θαλασσινό νερό υφίσταται προεπεξεργασία, αφαλάτωση και στη συνέχεια εμπλουτισμό με στοιχεία που είναι απαραίτητα για να θεωρηθεί πόσιμο. Στο σταθμό χρησιμοποιείται η τεχνική της αντίστροφης όσμωσης (Reverse Osmosis, RO) που βασίζεται στη λειτουργία ειδικών μεμβρανών. Πρέπει να επισημανθεί ότι στη μονάδα αφαλάτωσης στη Μήλο σε αντίθεση με άλλες μονάδες αφαλάτωσης παγκοσμίως, εξαιτίας του σχεδιασμού της και της τεχνολογίας αιχμής που χρησιμοποιήθηκε δεν πραγματοποιείται προχλωρίωση-αποχλωρίωση, δοσομέτρηση θειικού οξέος στην είσοδο των μεμβρανών και στο παραγόμενο νερό και γενικότερα χρησιμοποιούνται ελάχιστες ποσότητες χημικών επιτυγχάνοντας βέβαια την παραγωγή νερού βέλτιστης ποιότητας. Παράλληλα, παρατηρείται ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας (Κωστάκη 2010, Yfantis et al. 2008).

Αναλυτικότερα η μονάδα αφαλάτωσης χωρίζεται στα ακόλουθα υποσυστήματα (Εικόνα 12):

- Το αντλιοστάσιο παροχής θαλασσινού νερού και τους σωλήνες προσαγωγής- απόρριψης
- Την προεπεξεργασία θαλασσινού νερού
- Τη διάταξη των μεμβρανών (αντίστροφη όσμωση)
- Τη μετεπεξεργασία αφαλατωμένου νερού και τη δεξαμενή γλυκού νερού (Ρελάκης & Περάκης 2009)



Εικόνα 12. Εγκαταστάσεις μονάδας αφαλάτωσης Μήλου (Συσκάκη 2013)

8.1.1.1. Αντλιοστάσιο παροχής θαλασσινού νερού

Τέσσερις υποβρύχιες αντλίες Grundfos SP60-9BR ικανότητας $70\text{m}^3/\text{ώρα}$ η καθεμιά από ανοξείδωτο χάλυβα 904L, είναι εμβαπτισμένες σε δύο πηγάδια δακτυλίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, διαμέτρου 2m που έχουν κατασκευαστεί επί της ακτής. Μέσω των αντλιών αυτών αγωγοί PVC με τα παρελκόμενα συστήματά τους (βάνες, ανεπίστροφα κλπ) μεταφέρουν το θαλασσινό νερό σε κολεκτέρ δίπλα στα πηγάδια και από εκεί προς τις μονάδες αντίστροφης όσμωσης μέσω του κεντρικού αγωγού προσαγωγής (www.dafni.net.gr, 24/10/2013).

8.1.1.2. Προεπεξεργασία θαλασσινού νερού

Πριν φτάσει στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης το νερό υφίσταται μια προεπεξεργασία. Διερχόμενο μέσα από πολυστρωματικά φίλτρα χαλαζιακής άμμου/ανθρακίτη καθαρίζεται από μικροσωματίδια, όπως παράσιτα, αιωρούμενα στερεά κλπ. Μετά οδηγείται στη δεύτερη φάση φίλτρανσης σε μικρότερες δεξαμενές, οι οποίες περιέχουν σακόφιλτρα από πολυπροπυλένιο, που συγκρατούν ακόμη και σωματίδια μεγέθους 0,001 mm, όπως ιούς, καπνό, ζάχαρη κ.λπ., ενώ με τη χρήση του αντικαθαλωτικού, κατάλληλου για τη χρήση σε μονάδες αφαλάτωσης για παραγωγή πόσιμου νερού, πραγματοποιείται μια πρώτη χημική διεργασία. Ενώ σε άλλες μονάδες αφαλάτωσης στο στάδιο αυτό θα λάμβαναν χώρα μια σειρά από επιπλέον χημικές αντιδράσεις, όπως αποχλωρίωση, εδώ δεν είναι απαραίτητο όπως προαναφέρθηκε.

8.1.1.3. Αντίστροφη όσμωση

Μετά την προεπεξεργασία το νερό μεταφέρεται στις μεμβράνες υψηλής απόρριψης, χαμηλής ενέργειας, τροφοδοτούμενες από αντλίες, από υπερκράματα ανοξειδωτου χάλυβα, θετικής εκτόπισης και υψηλής απόδοσης. Ουσιαστικά στη φάση αυτή το νερό καθαρίζεται από την άλμη (Ρελάκης, Περάκης 2009, www.kathimerini.gr, 6/12/2013).

Η μονάδα αντίστροφης όσμωσης αποτελείται από δυο πανομοιότυπες υπομονάδες SW 50.000 των 1.120 m³ / ημέρα, κάθε μία εκ των οποίων έχει σχεδιαστεί με δυο συστοιχίες (trains) των 560 m³ / ημέρα (σύνολο 4 συστοιχίες). Κάθε μια συστοιχία αποτελείται από 42 μεμβράνες υψηλής απόρριψης, χαμηλής ενέργειας του οίκου POW Filmtec SW30-HRLE 400i έχοντας ως αποτέλεσμα την παροχή λειτουργικής ευελιξίας, αυξημένης αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας. Φέτος ολοκληρώθηκε και η κατασκευή μιας τρίτης πανομοιότυπης υπομονάδας (Συσκάκη 2013, www.dafni.net.gr , 24/10/2013).

Το θαλασσινό νερό πέφτει με μεγάλη πίεση (60 Bar) πάνω στις μεμβράνες όπου κατακρατείται το αλάτι ενώ το παραγόμενο νερό τις διαπερνά πηγαίνοντας στο επόμενο στάδιο. Το αλμόλοιπο (το θαλασσινό νερό που απομένει σε υγρή μορφή μετά την κρυστάλλωση του αλατιού), που μένει πάνω στις μεμβράνες, αξιοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε η συγκεκριμένη τεχνολογία καθαρισμού του νερού να είναι ελάχιστα ενεργοβόρος. Γι' αυτό, καθώς και για ορισμένες ακόμη ιδιαιτερότητες, η αφαλάτωση της Μήλου καταναλώνει 2,5 kWh/m³ ενέργεια, όταν οι άλλες ελληνικές μονάδες αφαλάτωσης καταναλώνουν περίπου 4 kWh/m³.

Αρκετό ενδιαφέρον λοιπόν παρουσιάζει το σύστημα ανάκτησης ενέργειας της μονάδας μέσω της τεχνικής της εναλλαγής πίεσης. Μέσω του συστήματος αυτού ανακτάται το 97% της πίεσης του συμπυκνώματος και μεταφέρεται στο θαλασσινό νερό, γεγονός που μειώνει αισθητά την κατανάλωση ενέργειας χωρίς όμως οποιαδήποτε μεταβολή στην ποιότητα του παραγόμενου νερού.

Όσον αφορά τον καθαρισμό των φίλτρων χρησιμοποιείται μόνο το αντικαθαλωτικό, μια βιοδιασπώμενη ουσία, σε αντίθεση με άλλες μονάδες όπου συνήθως χρησιμοποιούνται χημικά με θειικό οξύ ή ακόμη και χλωρίωση. Η χρήση τέτοιων χημικών θα είχε ως αποτέλεσμα το αλμόλοιπο καταλήγοντας στη θάλασσα να περιέχει μεγάλη ποσότητα χημικών και να μολύνει το θαλάσσιο οικοσύστημα. Για το λόγο αυτό η μονάδα κρατάει και επεξεργάζεται μόνο το 35% του τροφοδοτούμενου νερού, ενώ άλλες κρατούν το 45-50%, έτσι ώστε να μην επιβαρύνονται τα φίλτρα και να μη απαιτείται δυνατό καθάρισμα.

8.1.1.4. Μετεπεξεργασία αφαλατωμένου νερού

Στο στάδιο αυτό ρυθμίζεται η σκληρότητα και ελέγχεται το pH μέσω φίλτρων δολομιτικού πετρώματος και χωρίς τη δοσομέτρηση θεικού οξέος. Παράλληλα, λαμβάνει χώρα η χλωρίωση του παραγόμενου νερού με τη χρήση διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου και ειδικό σύστημα δοσομέτρησης (Ρελάκης & Περάκης 2009, www.dafni.net.gr, 24/10/2013).

Στη συνέχεια το νερό αποθηκεύεται προσωρινά σε δεξαμενή εξισορρόπησης της παροχής, χωρητικότητας 100m³. Από την άλλη η άλμη που έχει απομείνει απορρίπτεται στη θάλασσα σε σημείο που έχει επιλεγεί μετά από ειδική μελέτη διάχυσης και βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από το σημείο άντλησης (Ρελάκης & Περάκης 2009, www.dafni.net.gr, 24/10/2013).

Το σύνολο του εξοπλισμού των πιο πάνω διεργασιών της μονάδας αντίστροφης όσμωσης είναι εγκατεστημένο σε containers και ομαδοποιημένο σε δύο πλήρως αυτόνομες υπομονάδες των 1.120m³/μέρα (Εικόνα 13).



Εικόνα 13. Μονάδα αφαλάτωσης Μήλου (Συσκάκη 2013)

8.1.1.5. Δεξαμενή Λειτουργίας- Τροφοδότησης με τον καταθλιπτικό αγωγό

Το αφαλατωμένο νερό μεταφέρεται από τη μονάδα αφαλάτωσης μέσω καταθλιπτικού αγωγού σε τέσσερις δεξαμενές λειτουργίας- τροφοδότησης συνολικής χωρητικότητας 3.000m³. Ο καταθλιπτικός αγωγός είναι κατασκευασμένος από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (3^{ης} γενιάς, σ 0,8-MRS10-PE100) 16 bar με εξωτερική διάμετρο 220mm. Για τη μεταφορά του νερού από την δεξαμενή των 100m³ στις τέσσερις δεξαμενές λειτουργίας- τροφοδότησης χρησιμοποιείται αντλιοστάσιο με τρεις όμοιες αντλίες υψηλής πίεσης (η μία εκ των οποίων είναι εφεδρική) με παροχή η καθεμιά 55m³/ώρα και μανομετρικό 150m με τις απαραίτητες δικλίδες και βαλβίδες αντεπιστροφής που λειτουργούν σε συνδυασμό με τις μονάδες αφαλάτωσης. Όσον αφορά τις τέσσερις δεξαμενές είναι κατασκευασμένες εξωτερικά από γαλβανισμένη λαμαρίνα και εσωτερικά από θερμοπλαστική μεμβράνη EPDM, αποτελούμενη από φύλλα ενισχυμένου EPDM, τα οποία ενώνονται με θερμοκόλληση για τη δημιουργία σάκου. Ο σάκος αυτός είναι τοποθετημένος σε επίπεδο επιφάνειας άμμου ή γεωφάσματος, μπορεί να πάρει οποιοδήποτε σχήμα, και χρησιμοποιείται για την αποθήκευση νερού αποτρέποντας την επαφή του νερού με τη λαμαρίνα.

8.1.1.6. *Ανεμογεννήτρια*

Η μονάδα αφαλάτωσης καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας μέσω μιας ανεμογεννήτριας Vestas τύπου V-52 και με ισχύ 850kW, η οποία τοποθετήθηκε στο ήδη υπάρχων αιολικό πάρκο της Αιολικής Μήλου Α.Ε. στη θέση «Κουτσούνόρραχη» (Εικόνα 14). Σύμφωνα με τους υπεύθυνους της εταιρίας αφαλάτωσης η εν λόγω ανεμογεννήτρια πέτυχε πάνω από 100% κάλυψη των αναγκών της εγκατάστασης. Πρέπει να υπογραμμιστεί στο σημείο αυτό ότι η ενέργεια που παράγεται από την ανεμογεννήτρια δεν χρησιμοποιείται απευθείας από την μονάδα καθώς η παραγωγή ενέργειας δεν είναι συνεχής αλλά εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες. Εδώ η ανεμογεννήτρια δίνει το ρεύμα στη ΔΕΗ, και η ΔΕΗ προμηθεύει με ρεύμα την αφαλάτωση. Στην πραγματικότητα, πρόκειται για ένα μηδενικό ισοζύγιο ενέργειας. Δηλαδή, η ενέργεια που χρειάζεται για να λειτουργήσει η αφαλάτωση αντισταθμίζεται με αυτή που παράγει η ανεμογεννήτρια (www.dafni.net.gr , 24/10/2013, Συσκάκη 2013, Ρελάκης & Περάκης 2009).



Εικόνα 14. Ανεμογεννήτρια τροφοδοσίας της μονάδας αφαλάτωσης στο αιολικό πάρκο της Μήλου (Συσκάκη 2013)

Η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια είναι οριζόντιου άξονα, τριπτέρυγη, με βελτιστοποιημένο σύστημα ελέγχου της κλίσης των πτερύγων (opti-tip) και της ολίσθησης της γεννήτριας (opti-speed) και με ενεργό σύστημα προσανατολισμού που στρέφει το δρομέα (rotor) με μέτωπο (ανάντι) στην κατεύθυνση του ανέμου (yaw system) (Jenkins & Walker 1997).

Είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες και σε μεγάλο εύρος θερμοκρασίας, γενικότερα στις καιρικές συνθήκες των νησιών.

8.1.1.7. *Ηλεκτρικό Σύστημα Διαχείρισης Λειτουργίας του σύνθετου Έργου Μονάδα Αφαλάτωσης- Ανεμογεννήτρια με το υπάρχον ηλεκτρικό σύστημα του νησιού*

Ο έλεγχος και η λειτουργία του σύνθετου αυτού έργου γίνεται μέσω αυτόνομων συστημάτων scada. Μάλιστα, για τον συντονισμό των υποσυστημάτων και την κάλυψη των αναγκών του συστήματος πρόβλεψης και διαχείρισης της μονάδας αφαλάτωσης και της ανεμογεννήτριας, έχει εγκατασταθεί ένα πρωτοποριακό κεντρικό σύστημα τηλεέλεγχου-τηλεχειρισμού (Master Scada) που έχει αναπτυχθεί από τον Όμιλο ΙΤΑ, το οποίο έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει όλες τις ανάγκες πρόβλεψης, λειτουργίας και διαχείρισης της μονάδας αφαλάτωσης, των κεντρικών δεξαμενών λειτουργίας και της ανεμογεννήτριας και να επιτυγχάνει το βέλτιστο συνδυασμό τους.

Η πρόσβαση στο σύστημα είναι αρκετά εύκολη και εφικτή ακόμη και για απομακρυσμένους χρήστες μέσω χρήσης δορυφορικών επικοινωνιών και τη δημιουργία ιδεατών ιδιωτικών καναλιών

επικοινωνίας μέσω του διαδικτύου. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στη Μήλο έχουν εγκατασταθεί οθόνες σε επίκαιρα σημεία του νησιού, όπως στο δημαρχείο και στο λιμάνι άφιξης των πλοίων, απ’ όπου μπορεί κανείς να ενημερωθεί για τις βασικές πληροφορίες όλων των συστημάτων του έργου όπως η συνολική και η τρέχουσα παραγωγή της μονάδας αφαλάτωσης και της ανεμογεννήτριας, η στάθμη των δεξαμενών, η κατάσταση των μονάδων κλπ (Ρελάκης & Περάκης 2009).

8.1.2. Αποτελέσματα λειτουργίας

Η ποιότητα του παραγόμενου νερού πληρεί όλες τις προδιαγραφές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, τις σχετικές οδηγίες της Ε.Ε. και τις προδιαγραφές του ελληνικού κράτους. Παρακάτω καταγράφονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου αφαλατωμένου ύδατος.

- TDS: max 500mg/L
- pH: 7,5- 9,5 (ρυθμιζόμενο)
- Εντός των προδιαγραφών πόσιμου νερού σύμφωνα με τις παραμετρικές τιμές που θέτει η νέα οδηγία 99/83/ΕΚ, ΚΥΑ Υ2/2600/2001, ΦΕΚ 892/11.7.2001, «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης».

Τακτικές μετρήσεις για χημικές και μικροβιολογικές αναλύσεις πραγματοποιούνται σε δείγματα του παραγόμενου αφαλατωμένου νερού για την εξασφάλιση τόσο του pH όσο και της αγωγιμότητάς του.

Η λειτουργία της μονάδας ξεκίνησε τον Ιούλιο του 2007 και από τότε μέχρι το Δεκέμβριο του 2008 είχε διοχετεύσει στο δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Μήλου 314.000m³ πόσιμου νερού (Ρελάκης & Περάκης 2009).

Ο συνολικός προϋπολογισμός του έργου ήταν 4.800.000 € και η κατασκευή του έγινε εξ ολοκλήρου από την ιδιωτικό όμιλο ΙΤΑ μέσω της θυγατρικής του Αιολική Μήλου Α.Ε. χωρίς καμία συμμετοχή του δήμου, ο οποίος και αγοράζει το αφαλατωμένο νερό. Η ετήσια παραγωγή νερού ξεπερνά τα 450.000m³, ενώ η ειδική κατανάλωση ενέργειας μόνο της μονάδας αφαλάτωσης ανέρχεται στις 2,5kWh/m³. Η συνολική ειδική κατανάλωση ενέργειας από τις αντλίες θαλασσινού νερού, τις αντλίες μεταπρώδησης και τη μονάδα αφαλάτωσης είναι 4,0kWh/m² και η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από την ανεμογεννήτρια είναι περίπου 1.900.000kWh/έτος. Μέχρι και το Σεπτέμβριο του 2010 το συνολικό πόσιμο νερό που είχε διοχετευθεί στο δίκτυο ήταν 1.160.000m³ (Ρελάκης 2010).

9. ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Οι πιο διαδεδομένες μονάδες αφαλάτωσης μέχρι σήμερα είναι οι παράκτιες, αυτές δηλαδή που βρίσκονται σε παραθαλάσσιες περιοχές, κοντά στους οικισμούς ή τις πόλεις που θέλουν να προμηθεύσουν με νερό. Με τον τρόπο αυτό μειώνουν τα κόστη τόσο για την άντληση του τροφοδοτούμενου νερού, όσο και για τη μεταφορά του στις περιοχές ζήτησης πόσιμου νερού. Ωστόσο, και οι υπεράκτιες μονάδες αφαλάτωσης, αν και δεν είναι μεγάλος ο αριθμός τους, έχουν κάνει την εμφάνισή τους παγκοσμίως με χαρακτηριστικό παράδειγμα μια ελληνική καινοτομία, την Υδριάδα.

Οι υπεράκτιες μονάδες αφαλάτωσης βρίσκονται στα ανοιχτά των ακτών, σε απόσταση που επιτρέπει την εύκολη πρόσβασή τους στην ξηρά. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στις πλωτές μονάδες, οι οποίες μπορεί να είναι εγκατεστημένες πάνω σε εξέδρα ή πάνω σε σκάφη και στις μονάδες που βρίσκονται στη θάλασσα αλλά είναι πακτωμένες στο βυθό της.

Πηγή ενέργειά τους είναι κυρίως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και πιο συγκεκριμένα η αιολική, με τη χρήση ανεμογεννητριών, και η ηλιακή, με τη χρήση φωτοβολταϊκών. Η βέλτιστη τεχνική αφαλάτωσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η αντίστροφη όσμωση λόγω του χαμηλού κόστους λειτουργίας της, της μικρής ενεργειακής κατανάλωσης και του μικρού χρόνου εκκίνησης και διακοπής (π.χ. όταν απαιτείται συντήρηση) (Ντάνου κ.ά. 2010).

Περιορισμοί χωροθέτησης υπάρχουν και στην υπεράκτιες εγκαταστάσεις. Πρέπει να αποφεύγεται η τοποθέτηση πάνω σε γραμμές διέλευσης πλοίων καθώς επίσης και σε περιοχές εναπόθεσης σκουπιδιών ή εξόδου εγκαταστάσεων βιολογικών καθαρισμών. Επιπλέον, λόγω του έντονου θορύβου των μονάδων αυτών θα πρέπει να γίνονται μελέτες για τη σωστή ηχομόνωση των συστημάτων προς αποφυγή επιρροής του θαλάσσιου οικοσυστήματος.

9.1. Πλωτές πλατφόρμες αφαλάτωσης

Υπερέχουν έναντι των πακτωμένων υπεράκτιων μονάδων αφαλάτωσης για του εξής λόγους:

- Η πλωτή εξέδρα μπορεί να τοποθετηθεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τη στεριά, σε νερά βαθύτερα από 100m κάτι που είναι αρκετά δαπανηρό έως και αδύνατο για μια θεμελιωμένη υπεράκτια ανεμογεννήτρια. Σε αυτές τις αποστάσεις η αιολική ενέργεια είναι ποιοτικά καλύτερη και η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 20% έχοντας ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της παρεχόμενης ενέργειας.
- Έχουν μικρότερο κόστος εγκατάστασης και δεν απαιτούν έργα με περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως διαδικασίες θεμελίωσης.
- Λόγω της δυναμικότητας πλεύσης τους μπορούν να κατασκευαστούν σε οποιοδήποτε ναυπηγείο και να ρυμουλκηθούν στη ζητούμενη περιοχή. Επίσης είναι εύκολη η μετακίνησή τους σε άλλες περιοχές κυρίως σε εποχική βάση για την κάλυψη αναγκών σε πόσιμο νερό. Τέλος μπορούν να προσαρμοστούν στις μεταβολές στη διεύθυνση του ανέμου αφού αλλάζοντας θέση μπορούν να ευθυγραμμιστούν με τη διεύθυνσή του (Σαμακίδης 2009).

Οι πλωτές πλατφόρμες συνδέονται με ισχυρό και ανθεκτικό τρόπο με μια βάση που βρίσκεται στο βυθό, δημιουργώντας μια ιδιότυπη άγκυρα. Παράλληλα, η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει στην κατασκευή τέτοιων διατάξεων που ακόμα και σε περιπτώσεις σφοδρής θαλασσοταραχής μένουν πρακτικά ακίνητες (Ντάνου κ.ά. 2010).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα παγκοσμίως αποτελεί η πρώτη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης που κατασκευάστηκε και λειτουργεί στην Ελλάδα και ονομάζεται Υδριάδα (Εικόνα 15).

9.1.1. Υδριάδα

9.1.1.1. Γενικά χαρακτηριστικά

Το πρόβλημα της λειψυδρίας μαστίζει τα περισσότερα ελληνικά νησιά. Ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες όπου αυξάνεται η ζήτηση λόγω του τουρισμού το φαινόμενο της έλλειψης νερού γίνεται εντονότερο ιδιαίτερα για τα μικρά νησιά της άγονης γραμμής. Όπως υποστηρίζουν οι κάτοικοί τους τα υδροφόρα πλοία τα οποία είναι λίγα αριθμητικά δίνουν προτεραιότητα στα πιο τουριστικά και μεγάλα νησιά με αποτέλεσμα το καλοκαίρι να εξαντλούνται τα αποθέματα πόσιμου νερού στα υπόλοιπα δυσκολεύοντας τους ντόπιους και διώχνοντας τους τουρίστες.



Εικόνα 15. Πλωτή μονάδα αφαλάτωσης Υδριάδα (www.hellaskps.gr, 25/11/2013)

Η διαθεσιμότητα και το αυξημένο δυναμικό των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε αυτές τις περιοχές μαζί με την ανάπτυξη των εφαρμογών στην εκμετάλλευση αυτών των πηγών οδήγησε στη δημιουργία της Πλωτής Οικολογικής Μονάδας Αφαλάτωσης. Η μονάδα αυτή προσφέρει τη λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος λειψυδρίας με οικολογικό τρόπο ξεπερνώντας τους περιορισμούς οι οποίοι προκύπτουν από την εγκατάσταση των μονάδων αφαλάτωσης στην ξηρά αντιμετωπίζοντας ταυτόχρονα τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν με την χρήση των ορυκτών καυσίμων (Λίλας & Νικητάκος 2011).

Πρόκειται για την πρώτη παγκοσμίως πλωτή μονάδα αφαλάτωσης η οποία τοποθετήθηκε στο νησί Ηρακλειά, που βρίσκεται κοντά στη Νάξο. Ονομάστηκε Υδριάδα, όνομα εμπνευσμένο από τη μυθολογία όπου οι Υδριάδες ήταν Νύμφες των γλυκών νερών. Εκμεταλλευόμενη την μεγάλη ηλιοφάνεια και την έντονη παρουσία των ανέμων που επικρατούν στη νησιωτική Ελλάδα η πλωτή μονάδα είναι 100% φιλική προς το περιβάλλον και παρέχει τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση της μονάδας της αφαλάτωσης. Παρακάτω απεικονίζεται η εν λόγω μονάδα αφαλάτωσης.

Η μονάδα παραμένει ακίνητη ακόμη και σε πολύ δύσκολες καιρικές συνθήκες, κάτι που είναι αναγκαίο για τη σωστή λειτουργία της ανεμογεννήτριας και των φωτοβολταϊκών. Αξιοσημείωτο είναι

το γεγονός ότι μπορεί να ρυμουλκηθεί και να αγκυροβολήσει σε οποιοδήποτε νησί παρέχοντάς το με πόσιμο νερό.

Μία ανεμογεννήτρια η οποία είναι τοποθετημένη πάνω στην πλωτή κατασκευή παρέχει το μεγαλύτερο μέρος της απαιτούμενης ενέργειας στην εγκατάσταση, ενώ επικουρικά η ηλιακή ενέργεια βοηθά στην παραγωγή μέσω φωτοβολταϊκών που είναι κι αυτά εγκατεστημένα στην πλωτή εξέδρα. Η τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας πάνω στην κατασκευή και η σύζευξή της με τη μονάδα αφαλάτωσης προσφέρει μια σειρά πλεονεκτημάτων τα οποία είναι τα εξής:

- Μειωμένο κόστος σύνδεσης των μονάδων.
- Δυνατότητα τοποθέτησης της μονάδας μακριά από κατοικημένες περιοχές.
- Δυνατότητα μετακίνησης της μονάδας ανάλογα με την εποχιακή ζήτηση.
- Μειωμένο κόστος υλοποίησης αφού ακόμα και μεγάλες μονάδες μπορούν να κατασκευαστούν σε μέρη με υποδομές (ναυπηγεία) και να μεταφερθούν σε μέρη λειτουργίας που δεν διαθέτουν απαραίτητα υποδομές για την κατασκευή τους (www.hellaskps.gr).

Όσον αφορά τη μονάδα αφαλάτωσης, αντιμετωπίστηκαν επιτυχώς 3 βασικά προβλήματα:

- Μείωση κατά το δυνατόν του φαινομένου των οργανικών και ανόργανων επικαθίσεων στις μεμβράνες
- Αύξηση του βαθμού απόδοσης του κύκλου λειτουργίας
- Λειτουργία χωρίς περαιτέρω χημική επεξεργασία
- Βέλτιστη ενεργειακή απόδοση

Όσον αφορά την πλωτή κατασκευή απαιτούσε την αντιμετώπιση προβλημάτων όπως:

- Η συμμόρφωση με τους κανονισμούς ασφαλείας
- Ο τρόπος αγκύρωσής της
- Ο τρόπος αποθήκευσης ή μεταφοράς του πόσιμου νερού
- Καλή συμπεριφορά σε διάφορες καιρικές συνθήκες ανέμου και κυματισμού
- Παρακολούθηση από Νηογνώμονα και νηολόγηση

Όσον αφορά την ενεργειακή διασύνδεση:

- ευέλικτη και αξιόπιστη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της διαδικασίας αποκλειστικά και μόνο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

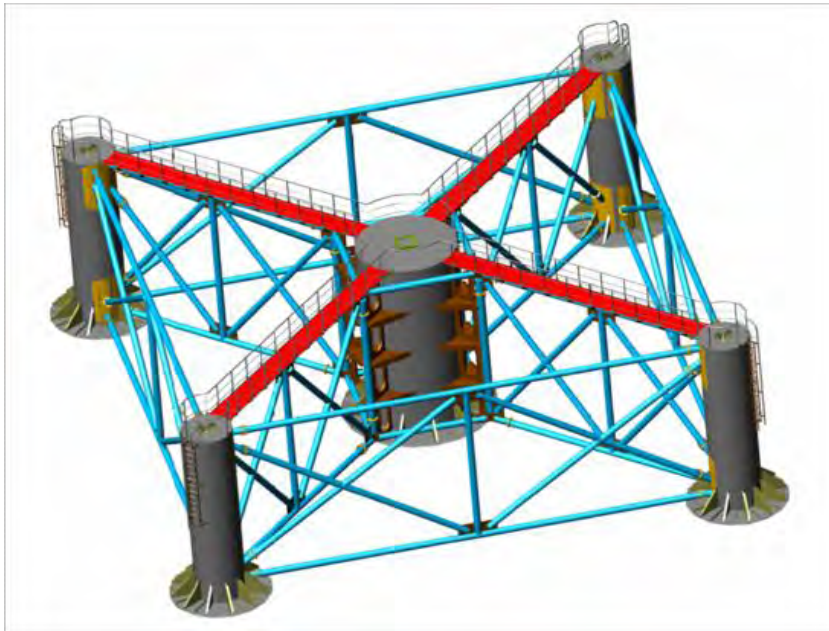
Όσον αφορά τη συνολική λειτουργία του συστήματος:

- πλήρως αυτοματοποιημένο και τηλε-παρακολουθούμενο, χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη ανθρώπων πάνω στην πλωτή μονάδα (ούτε εξειδικευμένου προσωπικού στα μικρά νησιά) (Νικητάκος 2008)

9.1.1.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά

Με ύψος άνω των 35 μέτρων και βάρος 150 τόνους, η πλωτή εξέδρα αποτελείται από 4 περιφερειακούς κυλινδρικούς πλωτήρες και έναν κεντρικό που συνδέονται μεταξύ τους με δικτύωμα (Σχήμα 24). Η όλη κατασκευή μαζί με τη γεωμετρία της ελαχιστοποιεί την επίδραση των

κυμάτων πάνω σ αυτήν. Ο κεντρικός πλωτήρας αποτελείται από 3 ορόφους, στον έναν υπάρχει η μονάδα αφαλάτωσης, στον άλλο το κέντρο ελέγχου του συστήματος με τα ηλεκτρολογικά/ηλεκτρονικά συστήματα και τους αυτοματισμούς (για τοπική και απομακρυσμένη λειτουργία) και στον κάτω όροφο βρίσκεται η δεξαμενή αποθήκευσης του πόσιμου νερού (Συσκάκη 2013).



Σχήμα 24. Πλωτή εξέδρα Υδριάδας (www.news.pathfinder.gr, 25/11/2013)

9.1.1.3. Παραγόμενη ενέργεια και διαχείρισή της

Όπως προαναφέρθηκε η ενέργεια της μονάδας προέρχεται από μια ανεμογεννήτρια, η οποία είναι μεταβλητής γωνίας πτερυγίων, μεταβλητού αριθμού στροφών και άμεσης μετάδοσης (χωρίς κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών). Η γεννήτρια είναι πολυπολική με μόνιμους μαγνήτες, ισχύος 30kW η οποία παρέχεται σταθερά για ταχύτητες ανέμου πάνω από 13m/s (Σαμακίδης 2009).

Τα φωτοβολταϊκά υποβοηθούν την παραγωγή ενέργειας. Παράλληλα η εγκατάσταση είναι εξοπλισμένη με μπαταρίες οι οποίες με τη λειτουργία τους:

- Επιτυγχάνουν την αυτονομία του συστήματος καθώς και το κανονικό κλείσιμο της μονάδας σε περίπτωση που δεν υπάρχει καθόλου ισχύς.
- Βοηθούν στην σταθερή παροχή ενέργειας που απαιτεί η μονάδα της αφαλάτωσης καθώς η ανεμογεννήτρια και τα φωτοβολταϊκά δεν παρέχουν συνεχόμενη και ίδιας ποσότητας ροή ενέργειας (Ντάνου κ.ά. 2010).

Όσον αφορά τη διαχείριση της ενέργειας, η μονάδα έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας σε περιόδους μεταβλητών ταχυτήτων ανέμου, στην μεγιστοποίηση της παραγωγής νερού και στην σωστή λειτουργία της ακόμη και όταν δεν επικρατούν οι κατάλληλες καιρικές συνθήκες για μεγάλες χρονικές περιόδους. Επίσης, το κόστος συντήρησης των εγκαταστάσεων έχει ελαχιστοποιηθεί.

Η πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται από την ανεμογεννήτρια χρησιμοποιείται από το σύστημα απόρριψης φορτίου. Επίσης στην εγκατάσταση υπάρχει σύστημα ανάκτησης ενέργειας. Η πίεση της αποβαλλόμενης άλμης χρησιμοποιείται για την προώθηση του τροφοδοτούμενου νερού στις μεμβράνες έχοντας ως αποτέλεσμα να αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης της διάταξης.

9.1.1.4. Λειτουργία αντίστροφης όσμωσης

Για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού χρησιμοποιείται η τεχνική της αντίστροφης όσμωσης. Σε αντίθεση με άλλες μονάδες αντίστροφης όσμωσης εδώ δεν γίνεται χρήση χημικών κατά τη φάση της προεπεξεργασίας του τροφοδοτούμενου νερού καθώς επίσης και σε κανένα άλλο στάδιο. Παράλληλα, η κατασκευή είναι προσαρμοσμένη στην λειτουργία της κάτω από μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια. Όσον αφορά τις μεμβράνες του συστήματος και εδώ έχουμε μια καινοτομία καθώς αποτρέπουν τη δημιουργία ιζημάτων, κάτι που θα δημιουργούσε σημαντικά προβλήματα στην ομαλή λειτουργία της εγκατάστασης λόγω της μη χρήσης χημικών και της μεταβαλλόμενης εισερχόμενης ισχύς.

Η μονάδα της αντίστροφης όσμωσης λειτουργεί με ισχύς που κυμαίνονται από 8 μέχρι 25 kW με δυναμικότητα παραγωγής 1-3,5 m³/ώρα. Η ενεργειακή απόδοση της μονάδας είναι 4KWh/m³, η οποία θεωρείται ιδιαίτερα υψηλή.

Όπως προαναφέρθηκε στο σύστημα δεν απαιτείται φορτίο απόρριψης. Όταν η παραγωγή της ανεμογεννήτριας είναι μεγαλύτερη από την κατανάλωση της αφαλάτωσης, το σύστημα ελέγχου μειώνει την έξοδο της ανεμογεννήτριας. Όταν συμβαίνει το αντίθετο η διαφορά της ενέργειας καλύπτεται από την πρώτη μπαταρία. Εφεδρικά υπάρχει και μια δεύτερη μπαταρία που χρησιμοποιείται κυρίως για τον έλεγχο και για τον εξοπλισμό ασφαλείας (Σαμακίδης 2009).

9.1.1.5. Έλεγχος διαδικασιών αφαλάτωσης

Κάθε υποσύστημα έχει τοπική μονάδα ελέγχου και όλες αυτές οι μονάδες δέχονται εντολές από ένα υψηλότερο επίπεδο, όπου ένας κύριος ελεγκτικός μηχανισμός συντονίζει όλες τις ενέργειες. Αυτό καθιστά το σύστημα αυτόνομο. Τα κύρια τμήματα είναι η ανεμογεννήτρια, ο ενεργός ανορθωτής, ο ελεγκτής της αιολικής τουρμπίνας, ο ελεγκτής της αντίστροφης όσμωσης και ο έλεγχος από την ξηρά με σύστημα SCADA.

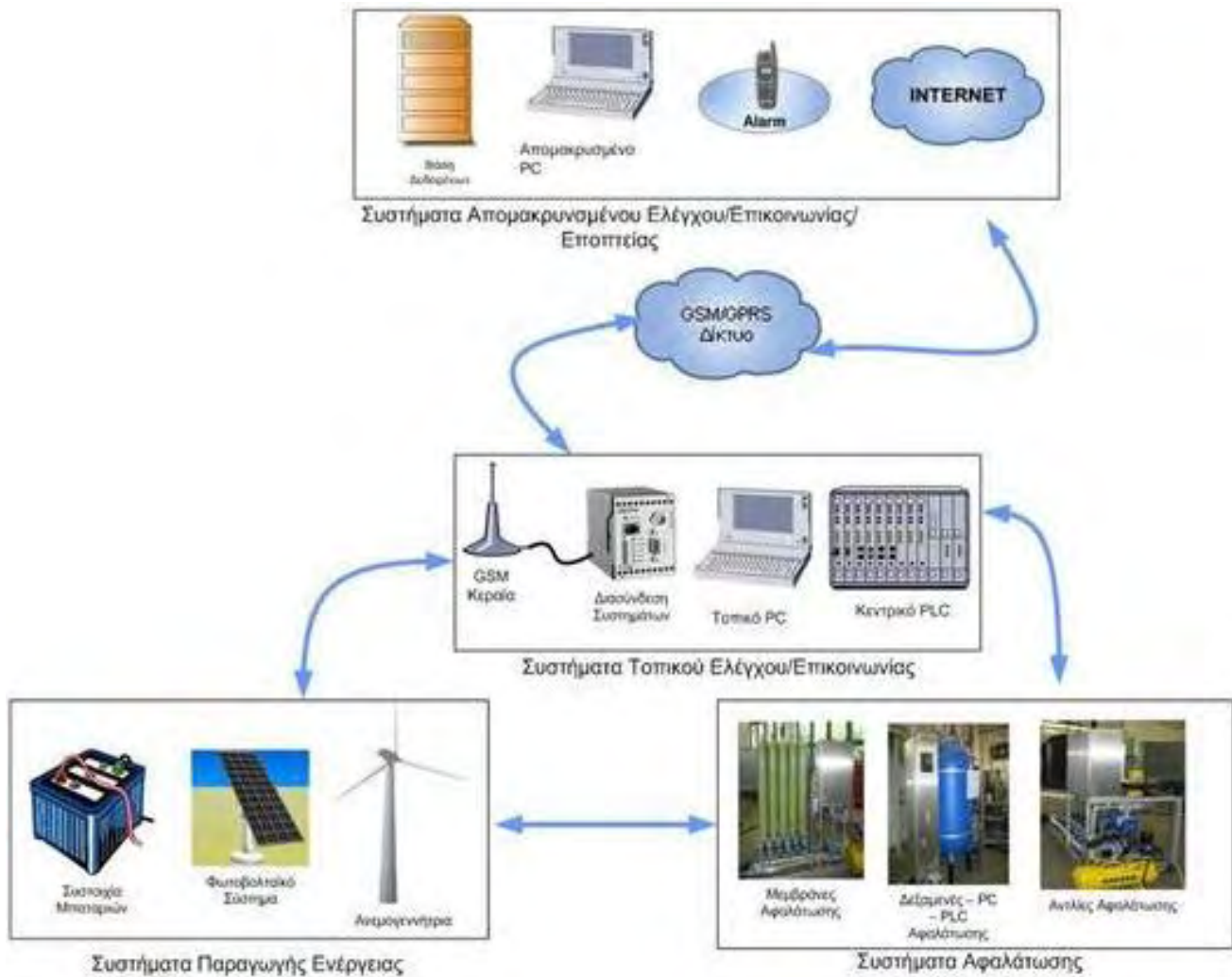
Η διασύνδεση των διαφόρων συστημάτων περιλαμβάνει: σύνδεση χαμηλού επιπέδου ηλεκτρικών ψηφιακών και αναλογικών σημάτων, δίκτυο Modbus, Lonworks, TCR / IP, GPRS και σύνδεση VPN. Μέσω του κεντρικού ελέγχου επιτυγχάνεται η αυτόνομη λειτουργία, ενώ την ίδια στιγμή το σύστημα μπορεί να είναι πλήρως τηλε-χειριζόμενο και να παρακολουθείται από απόσταση, εφόσον αυτό απαιτείται (Σχήμα 22). Κατά τη διάρκεια της αυτόνομης λειτουργίας των κύριων σημείων ελέγχου πραγματοποιείται η διαχείριση ενέργειας, η αποθήκευση αντιγράφων ασφαλείας και η διαχείριση των εφεδρικών συστημάτων. Επιπρόσθετα έχουν αναπτυχθεί συστήματα ασφαλείας για την παρακολούθηση των κρίσιμων παραμέτρων και μηχανισμοί για την ενεργοποίηση συναγερμών (Σχήμα 22) (www.elint.org.gr, 27/11/2013).

9.1.1.6. Πλεονεκτήματα μονάδας αφαλάτωσης

Η Υδριάδα πλεονεκτεί ως μονάδα αφαλάτωσης καθώς:

- ολοκληρώθηκε μέσω αποτελεσματικής συνεργασίας και συντονισμού φορέων με διαφορετικό γνωστικό αντικείμενο, προερχόμενων από το δημόσιο και ιδιωτικό τομέα,
- παράγει πόσιμο νερό με έναν καινοτόμο τρόπο: με κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της διαδικασίας αποκλειστικά και μόνο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (αιολική),
- επιλύει με φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο το κρίσιμο πρόβλημα λειψυδρίας που αντιμετωπίζουν τα Ελληνικά νησιά,

- είναι ενεργειακά αυτόνομο, χάρη στην ανεμογεννήτρια που την υποστηρίζει,
- είναι πλήρως αυτοματοποιημένο και τηλε-παρακολουθούμενο (Σχήμα 25), χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη ανθρώπων πάνω στην πλωτή μονάδα (ούτε εξειδικευμένου προσωπικού στα μικρά νησιά, που ούτως ή άλλως δεν υπάρχει),
- έχει ελαχιστοποιημένα κόστη λειτουργίας και συντήρησης,
- δεν αλλοιώνει το φυσικό περιβάλλον,
- μπορεί να δώσει λύση στην έλλειψη νερού όπου και όταν χρειασθεί, χάρη στη δυνατότητά της μονάδας να μετακινείται,
- το αποτέλεσμα του έργου είναι άμεσα αξιοποιήσιμο και οικονομικά βιώσιμο,
- δεν απαιτεί έργα με περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η διάνοιξη δρόμων, η θεμελίωση ανεμογεννητριών και η μεταφορά ενέργειας ή νερού στον τόπο αφαλάτωσης,
- μεταφέρεται εύκολα στον τόπο λειτουργίας της (www.greenagenda.gr, 27/11/2013, www.hellaskps.gr, 30/11/2013)



Σχήμα 25. Σχηματική παράσταση των συστημάτων της πλωτής μονάδας αφαλάτωσης και της μεταξύ τους διασύνδεσης (www.periplanomeno.wordpress.com , 27/11/2013)

9.1.1.7. Κοινωνικο-οικονομικά στοιχεία

Με δυναμικότητα παραγωγής 70m³/ημέρα η Υδριάδα μπορεί να καλύψει τις ανάγκες περίπου 300 ατόμων. Ο συνολικός προϋπολογισμός του έργου ανερχόταν στα 2.872.312 € εκ των οποίων τα 1.741.417€ είναι δημόσια δαπάνη και το 1.130.895€ ιδιωτική συμμετοχής. Η περίοδος υλοποίησης του έργου ήταν από το 2003 μέχρι το 2008 και προβλεπόταν ότι η μονάδα θα κάνει απόσβεση μέσα σε 10 χρόνια. Ωστόσο, ο χρόνος αυτός συμπεριλαμβανομένου και του χρόνου συντήρησης δεν ξεπέρασε τα 3 χρόνια. Αναμενόμενος χρόνος ζωής της μονάδας 20 χρόνια. Οι φορείς που πήραν μέρος στην κατασκευή της εγκατάστασης είναι: Πανεπιστήμιο Αιγαίου (ανάδοχος), ΤΕΧΝΑΒΑ ΑΕ, Reflection ΕΠΕ, Algosystems ΑΕ, Lamda Shipyrads ΑΕ, ΠΙΣΕΥ, ΚΑΠΕ, Ι. Κουιμάνης & Συνεργάτες, περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, Ελληνικός Νηογνώμονας ΑΕ (Νικητάκος 2008).

9.2. Θεμελιωμένες Πλατφόρμες Αφαλάτωσης

Οι θεμελιωμένες πλατφόρμες αφαλάτωσης χρησιμοποιούν τις ίδιες τεχνολογίες αφαλάτωσης και ανάκτησης ενέργειας με τις πλωτές περιλαμβάνοντας επίσης διατάξεις απόρριψης φορτίου και αποθήκευσης ενέργειας. Οι πιο συνήθεις μονάδες είναι αυτές όπου τα συστήματα αφαλάτωσης είναι συζευγμένα με πακτωμένες ανεμογεννήτριες, η εγκατάσταση των οποίων μπορεί να γίνει σε βάθη που δεν ξεπερνούν τα 50m, και με πλατφόρμες πετρελαίου σε βάθη έως και 500m. Οι τεχνικές απαιτήσεις και τα προβλήματα ενός τέτοιου συστήματος αφαλάτωσης είναι:

- Δυσκολία συναρμολόγησης και τοποθέτησης. Η συναρμολόγηση μπορεί να γίνει είτε επί τόπου είτε στο πλοίο μεταφοράς των εξαρτημάτων. Επιπλέον, όσο αυξάνεται το βάθος του νερού τόσο αυξάνεται και το κόστος θεμελίωσης.
- Κίνδυνος από τη διάβρωση των θεμελιώσεων. Αυτό αυξάνει το κόστος συντήρησης και επισκευής. Παράλληλα, απαιτείται η χρήση ειδικών καλυμμάτων για προστασία.
- Σε περίπτωση σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο απαιτείται η ανάπτυξη δικτύου καλωδιώσεων τα οποία θάβονται για την αποφυγή παράσυρσής τους από πλοία ή ψαράδες και για την προστασία τους από τα κύματα. Η διαδικασία αυτή αυξάνει το κόστος και όσων αφορά το κόστος της σύνδεσης των ανεμογεννητριών με το ηλεκτρικό δίκτυο αποτελεί το 17%-34% του συνολικού κόστους εγκατάστασής τους.
- Απαιτούνται ειδικές διατάξεις απόσβεσης της δύναμης πρόσκρουσης των κυμάτων (Ντάνου κ.ά. 2010, www.seetha.gr, 26/11/2013).

Παρά τα παραπάνω μειονεκτήματα οι θεμελιωμένες πλατφόρμες αφαλάτωσης επιτρέπουν τη σύζευξη της μονάδας αφαλάτωσης με μεγαλύτερης δυναμικότητας διατάξεις αξιοποίησης ΑΠΕ γεγονός που συνεπάγεται την αύξηση της παραγόμενης ενέργειας, της δυνατότητας αφαλάτωσης και της οικονομικής βιωσιμότητας της κατασκευής.

10. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η οικονομική απόδοση αποτελεί από τα κρισιμότερα κριτήρια για την επιλογή της λύσης σε οποιοδήποτε πρόβλημα. Το ίδιο ισχύει και για την αφαλάτωση. Η εν λόγω διαδικασία απόκτησης πόσιμου νερού από θαλασσίνο ή υφάλμυρο νερό απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας, επομένως απαιτεί και πολλά κόστη. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τα κόστη αυτά ποικίλουν και αναλύονται παρακάτω. Το κόστος των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες:

- Άμεσο/Έμμεσο κόστος
- Λειτουργικό κόστος
- Κόστος παραγόμενου νερού

10.1. Άμεσο κόστος

Το άμεσο κόστος κεφαλαίου καλύπτει το κόστος αγοράς των διαφόρων τύπων εξοπλισμού, βοηθητικού εξοπλισμού, το κόστος γης, την κατασκευή, και τα κτήρια. Πιο συγκεκριμένα:

10.1.1. Κόστος γης

Το κόστος της γης μπορεί να ποικίλει από μηδενικά έξοδα μέχρι μεγάλα ποσά. Εξαρτάται από την περιοχή εγκατάστασης, την απόσταση από μεγάλα αστικά κέντρα, το έδαφος αλλά και την κυριότητα της γης. Μονάδες που ανήκουν στο κράτος έχουν συνήθως μηδενικά έξοδα. Παράλληλα, μονάδες στο πλαίσιο συμβάσεων BOOT με τις κυβερνήσεις ή δήμους μπορούν να μηδενίσουν ή να μειώσουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τα έξοδα. Το κόστος αυτό εξαρτάται και από τη μέθοδο αφαλάτωσης που θα πραγματοποιείται στη μονάδα καθώς οι εγκαταστάσεις για θερμικές διεργασίες έχουν πιο μεγάλες εδαφικές απαιτήσεις σε σχέση με τις διαδικασίες μεμβράνης γεγονός που αυξάνει το κόστος.

Εξοπλισμός διεργασιών

Βασικοί παράγοντες εδώ είναι ο τύπος της διαδικασίας και η χωρητικότητα. Σε μονάδες αντίστροφης όσμωσης εργαστηριακής κλίμακας το κόστος είναι αρκετά μικρό. Αντιθέτως σε μονάδες αντίστροφης όσμωσης με δυναμικότητα αρκετές χιλιάδες κυβικά μέτρα την ημέρα τα ποσά είναι τεράστια. Το κόστος αυτό αυξάνεται ακόμη περισσότερο για συστήματα MSF και MED. Αποτελεί το 50-80% του αρχικού κόστους επένδυσης. Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα παρακάτω στοιχεία:

- Όργανα και συστήματα ελέγχου
- Αγωγοί και βαλβίδες
- Ηλεκτρική καλωδίωση
- Αντλίες
- Συστήματα καθαρισμού
- Εξοπλισμός προεπεξεργασίας και μετά-επεξεργασίας
- Γραμμή πρόσληψης θαλασσίνο νερού και αποβολής της άλμης
- Μονάδα χλωρίωσης (Νικολάου 2012)

Παροχή νερού

Πρόσφατες εκτιμήσεις δείχνουν 650\$/m βάθους για την κατασκευή

Βοηθητικός εξοπλισμός:

Στο βοηθητικό εξοπλισμό περιλαμβάνονται:

- Συστήματα πρόσληψης νερού ή πηγάδια
- Σωληνώσεις μεταφοράς
- Δεξαμενές αποθήκευσης
- Γεννήτριες και μετασχηματιστές
- Αντλίες
- Αγωγοί και βαλβίδες

Κόστος κτηρίων

Το κόστος αυτό ποικίλει και εξαρτάται κυρίως από την περιοχή και τον τύπο του κτηρίου. Τα κτήρια συνήθως περιλαμβάνουν αίθουσα ελέγχου, εργαστήριο και γραφεία.

Κόστος μεμβράνης

Το κόστος της μεμβράνης συνήθως είναι πολύ υψηλό και εξαρτάται από τα ποσοστά παραγωγής

Έμμεσο κόστος

Στην κατηγορία αυτή έχουμε τα στοιχεία κόστους που εκφράζονται ως ποσοστό του συνολικού άμεσου κόστους κεφαλαίου. Πιο συγκεκριμένα:

Μεταφορά και ασφάλιση

Το κόστος αυτό είναι ίσο με το 5% του συνολικού άμεσου κόστους.

Λειτουργικό κόστος κατασκευής

Το κόστος αυτό είναι ίσο με το 15% του άμεσου κόστους υλικών και εργασίας και στη συνέχεια προσαρμόζεται στο μέγεθος (συνολικό κόστος κεφαλαίου) της μονάδας.

Γενικά έξοδα κατασκευής περιλαμβάνουν τα εξής:

- Πρόσθετες παροχές
- Επιβαρύνσεις Εργασίας
- Επίβλεψη της εργασίας
- Προσωρινές εγκαταστάσεις
- Εξοπλισμός κατασκευαστικών έργων
- Μικρά εργαλεία
- Κέρδος του εργολάβου

Έξοδα ιδιοκτήτη

Εδώ συμπεριλαμβάνονται τα μηχανολογικά και νομικά έξοδα, όπως τα διαδικαστικά κόστη μελέτης, σχεδιασμού, αδειοδότησης και δανείων της εγκατάστασης. Οι δαπάνες εδώ αποτελούν ένα ποσοστό του 20-50% του αρχικού κόστους επένδυσης.

Έκτακτη ανάγκη

Το σχέδιο έκτακτης ανάγκης λαμβάνεται στο 10% των συνολικών άμεσων δαπανών (Νικολάου 2012, Καραχάλιου 2010).

10.2. Λειτουργικό κόστος

Το λειτουργικό κόστος αναφέρεται στις δαπάνες που πραγματοποιούνται κατά τη λειτουργία της μονάδας καθώς επίσης και στις δαπάνες συντήρησής της. Αποτελείται από δύο παραμέτρους: το σταθερό και το μεταβλητό. Το πρώτο αναφέρεται στα κόστη εκείνα που είναι ανεξάρτητα από την ποσότητα του παραγόμενου πόσιμου νερού, όπως τα εργατικά, η ασφάλιση και τα θέματα πάγιων τελών, και συνήθως αποτελεί το 15-50% του συνολικού κόστους λειτουργίας. Όσον αφορά το μεταβλητό κόστος αναφέρεται στην ενέργεια που καταναλώνεται, την απαιτούμενη χημική επεξεργασία, στην αντικατάσταση των μεμβρανών και στη συντήρηση του εξοπλισμού, δαπάνες δηλαδή που εξαρτώνται από την παραγόμενη ποσότητα νερού και αποτελεί το υπόλοιπο 50-85% του κόστους λειτουργίας. Παρακάτω αναλύονται λεπτομερώς οι προαναφερθέντες παράγοντες.

Ηλεκτρική ενέργεια

Ανεξάρτητα από τη διαδικασία αφαλάτωσης η ελάχιστη ενέργεια που μπορεί να επιτευχθεί είναι $0,8\text{KWh/m}^3$ παραγόμενου νερού.

Με βάση το είδος της ενέργειας που χρησιμοποιούν μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: Σε αυτά που συνδέονται με συμβατικά συστήματα παραγωγής ενέργειας (ΔΕΗ, πετρέλαιο κλπ.) και σε αυτά που παίρνουν ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες κλπ.).

Ειδικότερα, οι μονάδες που παράγουν ενέργεια με συμβατικά συστήματα παραγωγής ενέργειας έχουν κόστος ενέργειας χαμηλότερο σε σχέση με τα αντίστοιχα που λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Όσον αφορά την πρώτη προαναφερθείσα κατηγορία, το κόστος για επεξεργασία υφάλμυρου νερού ανέρχεται στο $0,21 \text{ €/m}^3$ μέχρι και $1,06$ μέχρι και $1,06 \text{ €/m}^3$ για μικρότερα συστήματα. Για θαλασσινό νερό το κόστος όπως είναι φυσικό αυξάνεται σε $0,35 \text{ ευρώ/m}^3$ και φθάνει τα $2,70 \text{ €/m}^3$ για μικρότερες μονάδες (Avlonitis 2002, Rico & Arias 2001, Afonso et al. 2004).

Από την άλλη η παραγωγή ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να είναι ακριβότερη για την παραγωγή νερού, είναι όμως φιλική προς το περιβάλλον καθώς έχουμε μειωμένες εκπομπές αερίων λόγω μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας κατά τη χρήση τους. Τα συστήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ μπορεί να είναι αυτόνομα χρησιμοποιώντας βοηθητικά μπαταρίες για να συσσωρεύουν το περίσσειμα ενέργειας αλλά και συνδεδεμένα με το υπάρχον δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Αναλυτικότερα από έρευνες που έχουν γίνει για το κόστος παραγωγής του αφαλατωμένου νερού σε απομονωμένα νησιά προκύπτει ότι για μεσαίου μεγέθους εγκαταστάσεις έχουμε $2,5 \text{ €/m}^3$ ενώ για μικρότερα συστήματα $3,5 \text{ €/m}^3$ (Kaldellis et al. 2008).

Όπως έχει προαναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια οι ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η αιολική ενέργεια, η ηλιακή και η γεωθερμική. Ανάλογα με τη μορφή της ενέργειας έχουμε και το αντίστοιχο κόστος παραγωγής πόσιμου νερού.

Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκά για την ηλεκτροδότηση των μονάδων αφαλάτωσης το κόστος του πόσιμου νερού κυμαίνεται από $3,14 \text{ €/m}^3$ και $10,32 \text{ €/m}^3$. Όσον αφορά τη χρήση γεωθερμίας και πιο συγκεκριμένα ενός συστήματος αφαλάτωσης στην Κίμωλο με δυναμικότητα $80\text{m}^3/\text{ημέρα}$, το οποίο χρησιμοποιεί υφάλμυρο νερό για την τροφοδοσία του, το

κόστος του επεξεργασμένου νερού ανέρχεται στα 2 €/m³. Στα ίδια πλαίσια κυμαίνονται και οι τιμές σε μονάδες που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια μέσω συλλεκτών, μεταξύ 3,5€ /m³ και 8 €/m³ (Tzen 2006, Tzen & Morris 2003, Mohammed & Papadakis 2004, Voivontas et al. 2001).

Ωστόσο, γενικά οι απαιτήσεις σε ενέργεια ποικίλουν μεταξύ των διαφορετικών τεχνικών αφαλάτωσης. Οι διαδικασίες που περιλαμβάνουν αλλαγή φάσης του νερού απαιτούν περισσότερη ενέργεια, γι αυτό και οι διαδικασίες απόσταξης εφαρμόζονται κυρίως σε περιοχές της Μέσης Ανατολής, εκεί όπου υπάρχει άφθονο φθινό πετρέλαιο. Οι διεργασίες μεμβράνης από την άλλη απαιτούν ενέργεια η οποία εξαρτάται από την αλατότητα του νερού τροφοδοσίας. Για εξοικονόμηση ενέργειας έως και 40% η χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας δεσπόζει σαν την κυρίαρχη λύση. Το ανώτατο όριο ενέργειας συναντάται στις ευρωπαϊκές χώρες ενώ το κατώτερο στις ΗΠΑ. Παρακάτω (Πίνακας 9) παρουσιάζονται τα κόστη του παραγόμενου νερού ανάλογα με το είδος της ενέργειας που χρησιμοποιείται από τη μονάδα, για υφάλμυρα και για θαλασσινά νερά αντίστοιχα καθώς οι ενεργειακές απαιτήσεις των συμβατικών μονάδων αφαλάτωσης (Πίνακας 10).

Πίνακας 9. Κόστος αφαλατωμένου νερού ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη ενέργεια και το είδος του τροφοδοτούμενου νερού (Zotalis et al. 2013).

Πηγή Τροφοδοσίας	Πηγή Ενέργειας	Κόστος (€/m ³)
Υφάλμυρο Νερό	Συμβατική Ενέργεια	0,21-1,06
	Φωτοβολταϊκά Πάνελ	4,50-10,32
	Γαιοθερμική Ενέργεια	2,00
Θαλασσινό Νερό	Συμβατική Ενέργεια	0,35-2,70
	Αιολική Ενέργεια	1,00-5,00
	Φωτοβολταϊκά Πάνελ	3,14-9,00

Πίνακας 10. Απαιτήσεις σε ενέργεια συμβατικών μονάδων αφαλάτωσης (Σαμακίδης 2009).

Διαδικασία	Ενέργεια Ατμού kWh/m ³	Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας kWh/m ³	Ισοδύναμη Ηλεκτρική Ενέργεια Κατανάλωσης 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 με με ενεργειακή ανάκτηση 7-13 χωρίς ενεργειακή ανάκτηση	4-6 με ενεργειακή ανάκτηση 7-13 χωρίς ενεργειακή ανάκτηση
BDRO	-	0,5-2,5	0,5-2,5
ED	-	0,7-2,5	0,7-2,5

Αντικατάσταση μεμβρανών

Όσον αφορά τις μονάδες αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν μεθόδους μεμβρανών καθίσταται αναγκαία η αντικατάστασή τους. Αυτό εξαρτάται από την αλατότητα του τροφοδοτούμενου νερού και από την πίεση που ασκείται σε αυτές. Υψηλή αλατότητα και πίεση οδηγούν στη γρήγορη καταστροφή των μεμβρανών. Όπως έχει προαναφερθεί το κόστος τους είναι ιδιαίτερα υψηλό. Το ποσοστό του κόστους αντικατάστασης ποικίλει μεταξύ 5-20% ετησίως, με το κατώτερο όριο να υποστηρίζεται από συστήματα με υφάλμυρο νερό τροφοδοσίας και το ανώτερο από θαλασσινό υψηλής αλατότητας.

Συντήρηση και Ανταλλακτικά

Αυτό το στοιχείο του κόστους μπορεί να συμβάλλει σε ένα ποσοστό χαμηλότερο από το 2% του συνολικού κόστους κεφαλαίου που χρησιμοποιείται ως ετήσιο ποσοστό.

Χημικά

Για τον καθαρισμό και την επεξεργασία του τροφοδοτούμενου νερού απαιτείται η χρήση χημικών ουσιών. Αυτές είναι θειικό οξύ, καυστική σόδα, αφαιρετικά χλωρίου και χλώριο. Ανάλογα με τη διαθεσιμότητα και τις τιμές στην παγκόσμια αγορά ποικίλει και το κόστος τους. Διαφορές παρατηρούνται και μεταξύ των διαφόρων διαδικασιών αφαλάτωσης. Στις διαδικασίες μεμβράνης το ειδικό κόστος της χημικής επεξεργασίας είναι υψηλότερο απ’ ότι στις θερμικές. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει η μέγιστη θερμοκρασία άλμης και η περιεκτικότητα της τροφοδοσίας σε αλάτι (Νικολάου 2012).

Ασφάλιση

Η ασφάλιση υπολογίζεται από 0,5% του συνολικού κεφαλαίου.

Απόσβεση ή Πάγια Τέλη

Αυτό το στοιχείο καθορίζει τις ετήσιες πληρωμές που καλύπτουν το σύνολο του άμεσου και έμμεσου κόστους (Νικολάου 2012).

Εργασία

Το κόστος του προσωπικού είναι μικρότερο σε μια μεγάλη μονάδα σε σχέση με μια μικρότερη. Επίσης διαφέρει ανάλογα και με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση. Γενικότερα η απαιτήσις σε προσωπικό εξαρτώνται από την τοποθεσία αλλά και από το αν η μονάδα είναι κρατική η ανήκει σε ιδιώτη. Συνήθως τα τελευταία χρόνια οι εγκαταστάσεις μισθώνουν εξωτερικούς συνεργάτες γεγονός που μειώνει το ανθρώπινο δυναμικό πλήρους ωραρίου και το περιορίζει στο διευθυντή της μονάδας και μια μικρή ομάδα από έμπειρους μηχανικούς και τεχνικούς (Καλλίτση 2012, Σαμακίδης 2009).

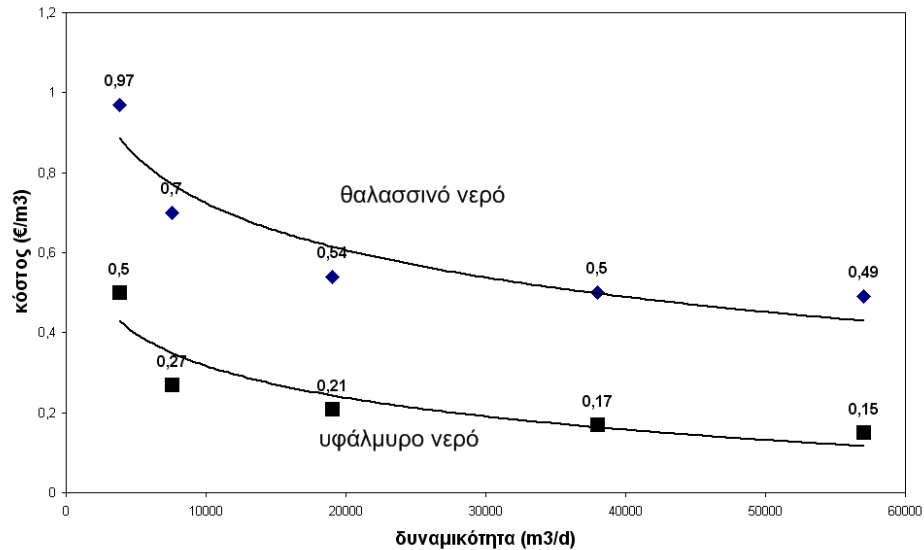
10.3. Κόστος παραγόμενου νερού

Χωρητικότητα/δυναμικότητα της μονάδας

Το μέγεθος μιας μονάδας αφαλάτωσης παίζει σημαντικό ρόλο στο κόστος του παραγόμενου νερού. Κατά κανόνα μια μονάδα με μικρή δυναμικότητα παρουσιάζει μεγαλύτερο κόστος παραγωγής πόσιμου νερού σε σχέση με μια μεγαλύτερη. Βέβαια, μπορεί το κόστος σε μια μεγάλη εγκατάσταση να είναι μικρότερο, το αρχικό κεφάλαιο όμως είναι πολύ μεγαλύτερο.

Αλατότητα και ποιότητα του νερού τροφοδοσίας

Τα διαφορετικά επίπεδα αλατότητας και η ποιότητα του τροφοδοτούμενου νερού επηρεάζουν σημαντικά το κόστος του παραγόμενου νερού. Γενικά, το νερό χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, στο υφάλμυρο το οποίο περιέχει διαλυτά στερεά μέχρι 10.000ppm και στο θαλασσινό που περιέχει από 10.000 μέχρι 42.000ppm. Όσο πιο υφάλμυρο είναι το αντλούμενο διάλυμα τόσο μειώνεται και το κόστος παραγωγής. Λόγω της μικρής περιεκτικότητας σε ολικά διαλυτά στερεά η κατανάλωση ρεύματος είναι μικρότερη όπως και το κόστος συντήρησης αφού η αντικατάσταση και ο καθαρισμός των μεμβρανών σε μονάδες αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση γίνονται αραιότερα.



Σχήμα 26. Σχέση δυναμικότητας μονάδας με κόστος (Μουτάφης 2008)

Με την πάροδο των χρόνων παρατηρείται σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής του νερού τόσο για τα υφάλμυρα όσο και για τα θαλασσινά ύδατα (Σχήμα 26). Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Αμερικανικού Κογκρέσου το 1988 σε μια μονάδα αντίστροφης όσμωσης για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού το κόστος κυμαινόταν μεταξύ 0,26-0,35 €/m³ ενώ για το θαλασσινό νερό το οποίο μπορεί να περιέχει και δέκα φορές περισσότερα ολικά διαλυτά στερεά η αντίστροφη όσμωση είχε κόστος 1,2-2,84 €/m³ (Καραγιάννης 2010). Με το πέρασμα των χρόνων οι τιμές μειώθηκαν και σύμφωνα με την Αμερικανική Ένωση για την Τεχνολογία Μεμβρανών το κόστος αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού κυμαίνεται μεταξύ 0,30-0,60 €/m³ ενώ για το θαλασσινό νερό μεταξύ 0,60-1,60 €/m³. Ανάλογα με τις οικονομίες κλίμακας που προκύπτουν από τη διαφορετική δυναμικότητα στις μονάδες αφαλάτωσης διαμορφώνεται η διαφορά μεταξύ ανώτατης και κατώτατης τιμής (Καραγιάννης 2010).

Όπως προαναφέρθηκε η περιεκτικότητα των διαλυτών στερεών επηρεάζει το κόστος παραγωγής. Στην Ιορδανία η αφαλάτωση νερού με 2.300ppm έχει κόστος 0,21 €/m³ ενώ στη Φλόριντα των ΗΠΑ νερό με 5.000ppm έχει κόστος αφαλάτωσης 0,22 €. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σημαντικές διαφορές κόστους υπάρχουν και μεταξύ δύο όμοιων συστημάτων τα οποία δέχονται διαλύματα διαφορετικής περιεκτικότητας σε άλατα και μικροοργανισμούς. Το κόστος παραγωγής βέβαια είναι ακόμη πιο υψηλό σε περιπτώσεις εγκαταστάσεων που παράγουν ενέργεια μέσω ανανεώσιμων πηγών όπου έχει αναφερθεί ότι μπορεί να φθάσει και τα 8,36 €/m³ (Tzen 2006, Δεληγιάννης & Βελεσιώτης 1995, Avlonitis 2002, Καραγιάννης 2010).

Πίνακας 11. Κόστος αφαλατωμένου θαλασσινού και υφάλμυρου νερού σε σχέση με τη δυναμικότητα παραγωγής (Πληροφορίες από την εταιρία Veolia)

Χωρητικότητα (m ³ /d)	Κόστος (€/ m ³)	
	Θαλασσινό Νερό	Υφάλμυρο Νερό
3,800	0.97	0.50
7,600	0.70	0.27
19,000	0.54	0.21
38,000	0.50	0.17
57,000	0.49	0.15

Συνθήκες τοποθεσίας

Το κόστος που αναφέρεται σε εξοπλισμούς για μεταφορά τροφοδοτικού νερού, απόρριψη της άλμης και προεπεξεργασία του τροφοδοτικού νερού εξαλείφεται με την εγκατάσταση νέων μονάδων σε ήδη υφιστάμενες εγκαταστάσεις (Νικολάου 2012).

Συντελεστής διαθεσιμότητας μονάδας

Είναι το ποσοστό του χρόνου που η μονάδα αφαλάτωσης παράγει ποσότητα ίση ή μικρότερη της ονομαστικής ετήσιας δυναμικότητας. Παραδείγματος χάριν μια μονάδα αφαλάτωσης η οποία δουλεύει όλο το χρόνο, δηλαδή ο συντελεστής διαθεσιμότητάς της είναι 100% και με δυναμικότητα $100\text{m}^3/\text{ημέρα}$ παράγει $100 \times 365 \times 1 = 36500 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Αν τώρα η ίδια μονάδα λειτουργεί 90% του χρόνου με δυναμικότητα πάλι $100\text{m}^3/\text{ημέρα}$ τότε η ετήσια παραγωγή θα είναι $100 \times 365 \times 0.9 = 32850 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Παρατηρούμε επομένως ότι όσο αυξάνεται ο συντελεστής διαθεσιμότητας τόσο αυξάνεται και το ετήσιο μεταβλητό κόστος λειτουργίας αλλά συνήθως τα έσοδα από την πώληση του νερού υπερκαλύπτουν αυτό το αυξημένο κόστος (Σολδάτος 2011).

Ειδικευμένο προσωπικό

Όσο περισσότερο είναι το ειδικευμένο προσωπικό τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθεσιμότητα της μονάδας ενώ παράλληλα παρατηρείται αύξηση στη δυναμικότητα παραγωγής και μείωση του χρόνου διακοπής λόγω μεταφοράς των συσκευών.

Χρόνος ζωής της μονάδας και αποσβέσεις

Αυξάνοντας το χρόνο ζωής της μονάδας μειώνεται το κόστος κεφαλαίου του προϊόντος (Νικολάου 2012).

Άλλοι παράγοντες

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος του παραγόμενου νερού είναι η θερμοκρασία και η θολότητα του τροφοδοτούμενου νερού καθώς και η ύπαρξη οργανικής ουσίας και χημικών στοιχείων όπως το πυρίτιο, μαγνήσιο και το κάλιο. Επίσης, η επιθυμητή ποιότητα του παραγόμενου νερού αλλά και η διαχείριση της άλμης παίζουν ρόλο στο κόστος. Αναλυτικότερα αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί στη μείωση του κόστους παραγωγής αλλά καταστρέφει γρήγορα τις συστοιχίες των μεμβρανών. Η αυξημένη ύπαρξη χημικών στο αντλούμενο νερό, η βέλτιστη ποιότητα πόσιμου νερού και η επεξεργασία της παραγόμενης άλμης με σκοπό την αποτροπή της απόρριψής της στη θάλασσα που θα δημιουργούσε περιβαλλοντικά προβλήματα αποτελούν στοιχεία που συμβάλλουν στην αύξηση του κόστους παραγωγής (Σολδάτος 2011).

10.4. Οικονομικά δεδομένα διαδικασιών αφαλάτωσης

Το συνολικό κόστος της μονάδας αφαλάτωσης και το κόστος του παραγόμενου νερού εξαρτώνται από τις εκάστοτε διαδικασίες που χρησιμοποιούνται. Σημαντικό ρόλο επίσης στο συνολικό κόστος διαδραματίζουν και οι εκάστοτε μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τη μέθοδο. Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά οικονομικά στοιχεία για τι πιο διαδεδομένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους (Πίνακες 13,14).

Αντίστροφη όσμωση

Αποτελεί μία από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους αφαλάτωσης καθώς η ενεργειακή της απαίτηση είναι αρκετά χαμηλή, σχεδόν η μισή από αυτήν που απαιτείται από τις θερμικές μεθόδους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαμηλό κόστος κάτι που επιδιώκουν οι περισσότεροι ιδιώτες των εγκαταστάσεων. Με

την πρόοδο της τεχνολογίας και την εξέλιξη των σύνθετων μεμβρανών επιτυγχάνονται πολύ υψηλοί ρυθμοί μετατροπής του νερού, μικρότερος χρόνος παραγωγής και λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Στον Πίνακα 12 φαίνεται το κόστος του παραγόμενου νερού ανάλογα με τη δυναμικότητα παραγωγής της μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση. Στον Πίνακα 13 απεικονίζονται τα ίδια μεγέθη για μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν με θερμικές μεθόδους. Όπως προαναφέρθηκε αισθητή είναι η διαφορά του κόστους, με αυτό των θερμικών μεθόδων να υπερέχει.

Πίνακας 12. Κόστος ανάλογα με τη δυναμικότητα παραγωγής σε μονάδες αντίστροφης όσμωσης (Καραγιάννης & Σολδάτος 2011)

Νερό Τροφοδοσίας	Χωρητικότητα εγκατάστασης(m ³ /d)	Κόστος (€/m ³)
Υφάλμυρο Νερό	<20	4.50-10.32
	20-1,200	0.62-1.06
	40,000-46,000	0.21-0.43
	<100	1.20-15.00
Θαλασσινό Νερό	250-1,000	1.00-3.14
	1,000-4,800	0.56-1.38
	15,000-60,000	0.38-1.30
	100,000-320,000	0.36-0.53

Πίνακας 13. Κόστος ανάλογα με τη δυναμικότητα παραγωγής σε μονάδες αφαλάτωσης που κάνουν χρήση θερμικών διεργασιών (Καραγιάννης & Σολδάτος 2011)

Θερμικές Αφαλάτωσης	Τεχνολογίες	Χωρητικότητα εγκατάστασης(m ³ /d)	Κόστος (€/m ³)
MSF		<100	2.00-8.00
		12,000-55,000	0.76-1.20
		>91,000	0.42-0.81
MED		23,000-528,000	0.42-1.40
VC		1,000-1,200	1.61-2.13

Επίσης, μείωση του κόστους μπορεί να επιτευχθεί με τη σωστή αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας της άλμης και την επιστροφή της στο σύστημα με τη χρήση ενός εναλλάκτη πίεσης. Ο εναλλάκτης μικραίνει το μέγεθος της αντλίας υψηλής πίεσης αυξάνοντας το βαθμό απόδοσης και μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας.

Μειονέκτημα της εν λόγω μεθόδου είναι το υψηλό κόστος των μεμβρανών, οι οποίες είναι και τα πιο ακριβά στοιχεία της διάταξης. Έρευνες πραγματοποιούνται για την μείωση του κόστους αυτού, ωστόσο δεν έχει υπάρξει σημαντική μεταβολή του κόστους τα τελευταία χρόνια με αποτέλεσμα οι θερμικές διεργασίες να κερδίζουν έδαφος. Θετικά αποτελέσματα σ' αυτό το πρόβλημα θα υπάρξουν είτε με τη μείωση του λειτουργικού κόστους της μονάδας, το οποίο είναι πάνω από το μισό του συνολικού ετήσιου κόστους της μονάδας, αλλά και η αποτελεσματικότερη σχεδίαση της όλης εγκατάστασης με σκοπό τη μείωση του κόστους.

Ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα της διεργασίας της αντίστροφης όσμωσης το οποίο επιδρά στο κόστος της μονάδας είναι η απαίτηση παρουσίας εξειδικευμένου προσωπικού, λόγω της ιδιαίτερης

τεχνολογίας των μεμβρανών αλλά και της μεγάλης ευαισθησίας, το οποίο αμείβεται με υψηλούς μισθούς. Επομένως το κόστος αυξάνεται.

Παράλληλα, στη συγκεκριμένη διεργασία δεν ενδείκνυται η μεταβαλλόμενη εισερχόμενη ισχύς καθώς δεν επιτυγχάνεται ο βέλτιστος τρόπος λειτουργίας της μονάδας. Γι’ αυτό απαιτείται μια ενδιάμεση διάταξη αποθήκευσης ενέργειας, όπως μπαταρίες, η οποία όμως μειώνει την άμεση διαθέσιμη ενέργεια και αυξάνει το αρχικό κόστος επένδυσης. Η μπαταρία απορροφά το πλεόνασμα της παραγόμενης ενέργειας το οποίο και επιστρέφει όταν η ζήτηση υπερκαλύπτει την παραγόμενη και το ισοζύγιο ισχύος τείνει να γίνει αρνητικό.

Στη μέθοδο αυτή απαιτούνται επίσης μεγάλες ποσότητες χημικών, πολύ περισσότερες από άλλες διεργασίες, για την απαιτούμενη προεπεξεργασία του νερού έτσι ώστε να αποτρέπεται η καταστροφή των μεμβρανών γεγονός που αυξάνει το κόστος. Το κόστος όμως αυξάνεται κι άλλο από την απαίτηση πλήθους εφεδρικών μεμβρανών σε περίπτωση βλάβης της κύριας. Αν αναλογιστεί κανείς το μεγάλο κόστος, λοιπόν, των μεμβρανών αλλά και γενικότερα όσα προαναφέρθηκαν καταλήγει ότι το κόστος της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι αρκετά υψηλό (Σαμακίδης 2009).

Εξάτμιση πολλαπλής επίδρασης

Η μέθοδος αυτή είναι πιο φθηνή σε σχέση με την απόσταξη πολλαπλής φάσης για τη λειτουργία μονάδων μικρής ικανότητας παραγωγής νερού. Επίσης επιτρέπει τη λειτουργία της μονάδας υπό χαμηλό φορτίο και έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Συμπίεση ατμού

Η MVC έχει μικρότερο κόστος λειτουργίας σε σχέση με τη μέθοδο αντίστροφης όσμωσης καθώς δεν απαιτεί την ύπαρξη εξειδικευμένου προσωπικού και τη χρήση πολλών χημικών για τη προεπεξεργασία του νερού. Επίσης δεν απαιτεί μεμβράνες, το κόστος των οποίων είναι αρκετά υψηλό. Η συγκεκριμένη διεργασία λειτουργεί αποδοτικά και με μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια παρουσιάζοντας έτσι λιγότερα προβλήματα και χωρίς να απαιτεί επιπλέον δαπάνες για αγορά μπαταριών.

Μειονέκτημα είναι η χαμηλή απόδοση των μονάδων που χρησιμοποιούν μηχανική συμπίεση (VC) σε σύγκριση με αυτές που χρησιμοποιούν εξάτμιση πολλαπλής επίδρασης (MED) και απόσταξη πολλαπλής φάσης (MSF). Η θερμική μέθοδος CV, η οποία είναι και η λιγότερο χρησιμοποιούμενη συναντάται σε συστήματα δυναμικότητας περίπου 1.000m³/ ημέρα και το κόστος της κυμαίνεται μεταξύ 1,61 €/m³ και 2,13 €/m³. Όσον αφορά τις μονάδες MED χρησιμοποιούνται κυρίως στα μεγαλύτερα εργοστάσια αφαλάτωσης με ημερήσια δυναμικότητα που ξεπερνά το μισό εκατομμύριο m³ και κόστος που ανέρχεται στο 0,42 €/m³ έως 1,40 €/m³. Τέλος, στις τεχνολογίες MSF για εγκαταστάσεις δυναμικότητας παραγωγής 12.000 m³/ ημέρα μέχρι 55.000 m³/ ημέρα το κόστος ανέρχεται μεταξύ 0,76 €/m³ και 1,2 €/m³. Το κόστος αυτό μεγαλώνει όσο μειώνεται η ημερήσια παραγωγή (Σαμακίδης 2009, Βοιβόντας κ.ά. 2001-2003, Αυλωνίτης 2002, Tian et al. 1999, Wade 2001, Andriane, Alardin 2002, Ettouney 2004).

10.5. Χαρακτηριστικές τιμές κόστους παραγόμενου νερού στον κόσμο

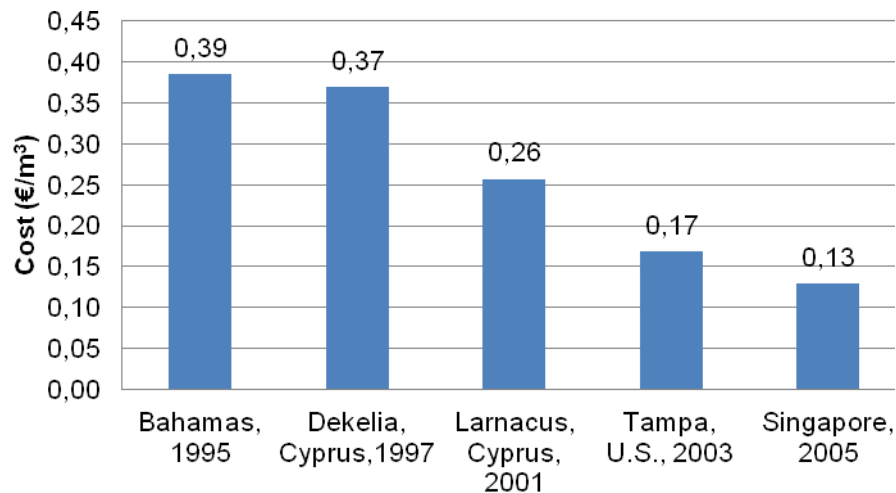
Το κόστος του παραγόμενου πόσιμου νερού από τη μέθοδο της αφαλάτωσης συνεχώς πέφτει με την πάροδο των χρόνων σε σχέση με άλλες τεχνολογίες παραγωγής νερού. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω για δύο λόγους. Πρώτον, εξαιτίας της σημαντικής εξέλιξης στην κατασκευή των μεμβρανών (νανοφιλτράρισμα, μικροδιήθηση και αντίστροφη όσμωση) και δεύτερον διότι στο συνολικό κόστος της παραγωγής πόσιμου νερού με συμβατικές μεθόδους αφαλάτωσης δεν λαμβάνονται υπόψη τα

έξοδα επεξεργασίας και μεταφοράς. Συνεπώς στο μέλλον αναμένεται ακόμη μεγαλύτερη μείωση του κόστους (Zotalis et al. 2013).

Στην Ελλάδα και σε άλλες περιοχές της Μεσογείου αρκετές συγκρίσεις έχουν πραγματοποιηθεί στην παραγωγή αφαλατωμένου νερού με αυτό που παράγεται από συμβατικές τεχνολογίες (π.χ. φράγματα και φρεάτια υπόγειων υδάτων). Ωστόσο, σε τέτοιες συγκρίσεις θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην ταχεία βελτίωση της τεχνολογίας των μεμβρανών RO. Στο εγγύς μέλλον αναμένεται ότι το κόστος αφαλατωμένου νερού (το οποίο κυρίως προέρχονται από υφάλμυρο νερό) θα είναι λιγότερο από αυτό οποιασδήποτε άλλης συμβατικής τεχνολογίας. Ειδικότερα εκτιμάται ότι το κόστος αφαλάτωσης μειώνεται 4 έως 5% ετησίως λόγω της συνεχούς βελτίωσης της τεχνολογίας των μεμβρανών. Μερικά παραδείγματα του κόστους παραγωγής του νερού σε διάφορες περιοχές σε όλο τον κόσμο παρουσιάζονται:

- Στη Μάλτα, όπου το 70% της συνολικής κατανάλωσης νερού προέρχεται από την αφαλάτωση, το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 0,30 και 0,45 €/m³.
- Στην Κύπρο, μια χώρα με υψηλή πυκνότητα φραγμάτων σε όλο τον κόσμο, την τελευταία δεκαετία η παραγωγή πόσιμου νερού ενισχύθηκε με τρεις μονάδες αφαλάτωσης. Το συνολικό κόστος στα δύο εργοστάσια στη Λάρνακα κυμαίνεται σήμερα 0,45 - 0,54 €/m³.
- Στο Ισραήλ το κόστος παραγωγής νερού στο εργοστάσιο Ασκελόν είναι περίπου 0,50 €/m³. Η ποσότητα αυτή αποτελείται από αφαλατωμένο θαλασσινό νερό (48%), αφαλατωμένο υφάλμυρο (45%) και από ανακύκλωση λυμάτων (7%). Το συνολικό κόστος για την αφαλάτωση στις πέντε συνολικά μονάδες αφαλάτωσης κυμαίνεται από 0,61 - 0,94 €/m³. Το αυξημένο κόστος οφείλεται στην κυρίως στην τεχνολογία που επιλέγεται (εξάτμιση πολλαπλών σταδίων) για την ενέργεια που καταναλώνεται και στις πολύ υψηλές συγκεντρώσεις TDS (47,000-50,000 mg/L) του θαλασσινού νερού στον αραβικό κόλπο.
- Στην Ανατολική Αυστραλία, σε περιοχές με πολύ χαμηλή διαθεσιμότητα νερού (Περθ), η υδροδότηση βασιζόταν στην αφαλάτωση τα τελευταία 10 χρόνια. Για το λόγο αυτό το συνολικό κόστος είναι ιδιαίτερα χαμηλό και κυμαίνεται μεταξύ 0,33 και 0,42 €/m³.
- Στην Ελλάδα και ιδιαίτερα σε τουριστικές περιοχές υπάρχουν πολλές μικρές εγκαταστάσεις αντίστροφης όσμωσης. Σήμερα, το μέσο κόστος παραγωγής νερού από θαλασσινό νερό για την εν λόγω τεχνολογία είναι 0,6-0,7 €/m³. Το κόστος παραγωγής στην περίπτωση που χρησιμοποιείται υφάλμυρο νερό, κυμαίνεται μεταξύ 0,3-0,4 €/m³ ανάλογα με τη συγκέντρωση TDS του τροφοδοτικού ύδατος και την κατάσταση λειτουργίας και διαχείρισης (δεδομένα από SYCHEM A.E. , 2011). Από την άλλη πλευρά, για το εργοστάσιο αφαλάτωσης RO στο νησί της Μήλου (με χωρητικότητα 3.360 m³/ημέρα και ενέργεια που παράγεται από ανεμογεννήτριες) το κόστος είναι 1,80 €/m³ ενώ στο γεωθερμικό MED εργοστάσιο , στο ίδιο νησί , το κόστος είναι μικρότερο από 1 €/m³ (Tzen 2010, Gerasimou 2010).
- Στην Καλιφόρνια, ΗΠΑ, υπάρχουν πάνω από 20 μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν ή βρίσκονται υπό κατασκευή και αναμένεται ότι η δυναμικότητα παραγωγής το 2015 θα φθάσει το 2.600.000 m³/ημέρα, μια ποσότητα που καλύπτει το 15% των συνολικών αναγκών σε νερό. Μία από τις εγκαταστάσεις (η Carlsbad), με χωρητικότητα 190.000 m³/ημέρα, ονομάζεται «Πράσινη μονάδα αφαλάτωσης», διότι αποτελείται από φιλικές προς το περιβάλλον εγκαταστάσεις, συνολική ενεργειακή ανάγκη, καθώς και ελαχιστοποίηση των αερίων του θερμοκηπίου. Το εργοστάσιο κατασκευάστηκε ως έργο BOT και είναι το μεγαλύτερο στις ΗΠΑ, παράγοντας το 8% των αναγκών σε νερό στην περιοχή του Σαν Ντιέγκο. Το κόστος παραγωγής του νερού εκτιμάται σε 0,50 €/m³ (Voytchkov 2009).

- Σε γενικές γραμμές, το κόστος των μονάδων αντίστροφης όσμωσης που κατασκευάστηκαν τα τελευταία χρόνια (π.χ. στο Tampa Bay των ΗΠΑ το 2003 και στη Σιγκαπούρη το 2005) έχει μειωθεί έως και ένα τρίτο σε σύγκριση με το κόστος των μονάδων που κατασκευάστηκαν 13-18 χρόνια παλιότερα (π.χ. σε Μπαχάμες το 1995, στη Δεκέλεια της Κύπρου το 1997, και στη Λεμεσό της Κύπρου το 2001), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 27. Μια τέτοια μείωση δεν αποδίδεται μόνο στην ταχεία εξέλιξη της τεχνολογίας αφαλάτωσης κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών , αλλά και στη μείωση του κόστους που οφείλεται στην αύξηση του μεγέθους των μονάδων αυτών. Είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση που έχουν οι παράμετροι αυτές, δεδομένου ότι φαίνεται να δρουν ταυτόχρονα (Ulrich Ebensperger & Phyllis Isley 2005, Zotalis et al. 2013).



Σχήμα 27. Κόστος μονάδων αφαλάτωσης που κατασκευάστηκαν μεταξύ 1995 και 2005 (Ulrich Ebensperger & Phyllis Isley, 2005)

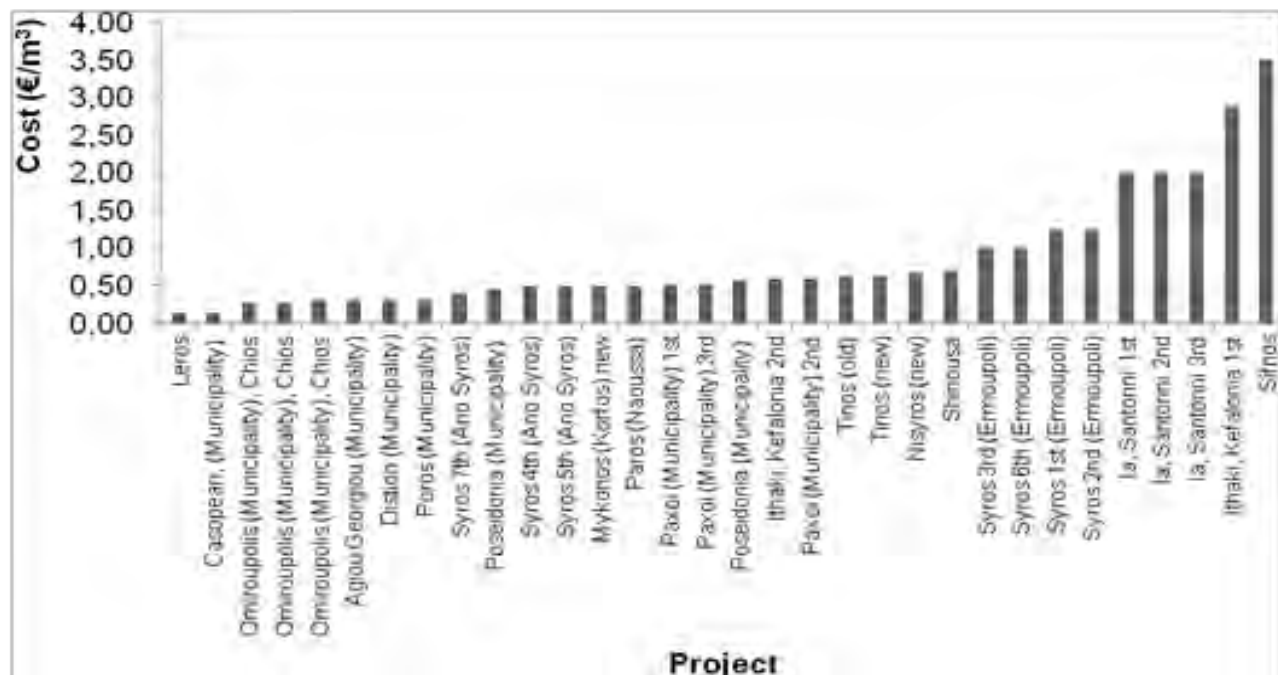
10.6. Οικονομικά στοιχεία στην Ελλάδα

Το μέσο κόστος λειτουργίας των 30 μονάδων αφαλάτωσης αντίστροφης σε ελληνικά νησιά (Σχήμα 28) έχει υπολογιστεί σε 0,85 €/m³. Πιο συγκεκριμένα το εργοστάσιο δυναμικότητας 4.800 m³/ημέρα στη Λέρο έχει ελάχιστο λειτουργικό κόστος, περίπου 0,13 €/m³, ενώ η μονάδα 500 m³/ημέρα στη Σίφνο φθάνει η μέγιστη καταγραφείσα τιμή των 3,5 €/m³/ημέρα (Ζωτάλης 2012).

Όπως προαναφέρθηκε, το κόστος του αφαλατωμένου νερού εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Επιπλέον, όπως και στις περισσότερες βιομηχανικές διεργασίες, το κόστος παραγωγής ανά μονάδα είναι αντιστρόφως ανάλογο του μεγέθους της διαδικασίας. Έτσι, αν και το καταγεγραμμένο κόστος των αφαλατωμένου νερού στην Ελλάδα είναι μεταξύ 0,5-3,5 €/m³ στις περισσότερες περιπτώσεις το κόστος είναι πάνω από 1,2 €/m³. Λόγω του μεγέθους των ελληνικών εγκαταστάσεων και της ηλικίας τους, το κόστος αυτό στην Ελλάδα είναι σχετικά υψηλότερο σε σύγκριση με το αντίστοιχο στις μεγάλες εγκαταστάσεις του εξωτερικού, όπως αυτών που λειτουργούν στο Ισραήλ, τη Μάλτα και την Κύπρο, όπου το κόστος είναι συνήθως κάτω από 0,7 €/m³. Ωστόσο, λόγω της καθοριστικής σημασίας του αφαλατωμένου νερού, αναμένεται ότι η Ελληνική κυβέρνηση θα επιδοτήσει την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται για το σκοπό αυτό . Στη νοτιοανατολική Ελλάδα, η παροχή νερού στο μέλλον αναμένεται να βασιστεί κυρίως στην αφαλάτωση. Σύγχρονες μέθοδοι αφαλάτωσης με αξιοποίησης της ηλιακής, της αιολικής, και της ωκεάνιας ενέργειας, αντί των ορυκτών καυσίμων είναι υπό ανάπτυξη (Angelakis 2008, Gikas, Angelakis 2008, Qiblawey & Banat 2008, Khaydarov 2007, McBride et al. 1987).

Οι μονάδες αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και λειτουργούν στην Ελλάδα είναι οι εξής:

- Μία μονάδα συμπίεσης ατμών με ανεμογεννήτρια ισχύος 750 kW βρίσκεται στο νησί της Σύμης με δυναμικότητα παραγωγής 450 m³/ημέρα και λειτουργεί από το 2009.
- Μία εγκατάσταση MED εκμεταλλεύομενη τη γεωθερμική ενέργεια χτίστηκε στο νησί της Κιμώλου το 2000. Αυτή η μονάδα έχει ένα φρέαρ 188 m που θεωρείται ότι είναι χαμηλής ενθαλπίας (61°C) ικανό να παράγει 80 m³/ημέρα.
- Μια υβριδική μονάδα αντίστροφης όσμωσης κατασκευάστηκε στην Κερατέα το 2002 συνδυάζοντας ανεμογεννήτριες με φωτοβολταϊκά πάνελ. Η ικανότητα αυτού του υβριδικού εργοστασίου φθάνει τα 3 m³/ημέρα, ενώ οι ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι 900 W και 4 kWp , ονομαστικής ισχύς αντίστοιχα (Tzen 2010).
- Μία άλλη εγκατάσταση χωρητικότητας 3.360 m³/ημέρα βρίσκεται στο νησί της Μήλου . Είναι ένας σταθμός αντίστροφης όσμωσης που χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται από μία ανεμογεννήτρια ισχύος 850 kW που λειτουργεί όμως στα 600 kW (ITA 2008).
- Τέλος, στο νησί της Ηρακλειάς υπάρχει ένα αποσπώμενη μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης, η οποία χρησιμοποιεί τόσο αιολική όσο και ηλιακή ενέργεια, μέσω μιας ανεμογεννήτριας ισχύος 30 kW και ενός εφεδρικού συστήματος φωτοβολταϊκών πάνελ (Zotalis et al. 2013).



Σχήμα 28. Κόστος λειτουργίας (€/m³) μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με αντίστροφη όσμωση στα ελληνικά νησιά (Zotalis 2012)

10.7. Κόστος παραγόμενου νερού υβριδικών συστημάτων

Υβριδικά συστήματα αφαλάτωσης , τα οποία χρησιμοποιούνται για να συνδυάσουν τις τεχνολογίες αφαλάτωσης, είναι κατάλληλα για μεγάλες εγκαταστάσεις, προκειμένου να επιτευχθούν οικονομίες κλίμακας που ουσιαστικά είναι η μείωση του κόστους παραγωγής. Σε τέτοιες εγκαταστάσεις τεχνολογίες μεμβρανών μπορούν να συνδυάζονται με θερμικές τεχνολογίες και αντιστρόφως, ώστε

να μειωθεί το κόστος. Παραδείγματος χάριν, σε ένα εργοστάσιο όπου η ροή άλμης μιας μονάδας αντίστροφης όσμωσης με κατάλληλη επεξεργασία είναι η ροή τροφοδοσίας της μεμβράνης το κόστος είναι 0,94 €/m³. Σε περίπτωση που το σύστημα χρησιμοποιεί μόνο μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης, το αντίστοιχο κόστος θα είναι 0,94 €/m³, ενώ το ίδιο σύστημα που λειτουργεί με άλλου είδους τεχνολογίες μεμβρανών έχει κόστος παραγωγής 0,99 €/m³. Με άλλα λόγια, όταν οι τεχνολογίες συνδυάζονται, διπλάσια ποσότητα νερού παράγεται με το ίδιο ή μικρότερο κόστος από ό, τι στις εναλλακτικές λύσεις. Ένα άλλο παράδειγμα είναι μία MSF μονάδα που χρησιμοποιείται σε ένα εργοστάσιο αφαλάτωσης 528.000 m³/ημέρα, η οποία παράγει νερό από 0,32 €/m³, ενώ όταν συνδυάζεται με μονάδα αντίστροφης όσμωσης το κόστος της μειώνεται κατά 15%. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το κόστος παραγωγής του νερού της μονάδας αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πηγές ενέργειας υπολογίζεται να είναι υψηλότερο από ό, τι ενός που χρησιμοποιεί συμβατική ενέργεια (Gude et al. 2010, Mathioudakis et al.2007).

11. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Η διαδικασία της αφαλάτωσης έχει συμβάλλει ενεργά σε πολλούς τομείς της ζωής μας. Η βελτίωση του επιπέδου ζωής, η βελτίωση της ποιότητας του πόσιμου νερού και η αυτονόμηση των άγονων και απομακρυσμένων περιοχών είναι μερικά απ’ τα οφέλη της εν λόγω μεθόδου ανάκτησης νερού. Ωστόσο, όπως κάθε κλίμακας μεγάλη βιομηχανική διαδικασία, έτσι και η αφαλάτωση αριθμεί μια σειρά περιβαλλοντικών επιπτώσεων, οι οποίες αναφέρονται τόσο στο ανθρωπογενές όσο και στο φυσικό περιβάλλον. Οι περιβαλλοντικές αυτές επιπτώσεις ποικίλουν και εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως:

- Η τοποθεσία της μονάδας αφαλάτωσης
- Η τοποθεσία της εισόδου και εξόδου του τροφοδοτούμενου και παραγόμενου νερού αντίστοιχα
- Η μέθοδος αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται καθώς επίσης και το δίκτυο μεταφοράς του νερού (Rashad Danoun 2007)

Οι επιδράσεις μιας μονάδας αφαλάτωσης μπορούν να διαχωριστούν σε δύο ομάδες, τις επιδράσεις κατά τη φάση της κατασκευής και κατά τη φάση της λειτουργίας. Παρακάτω αναλύονται ενδελεχώς οι δύο αυτές κατηγορίες.

11.1. Επιδράσεις κατά τη φάση κατασκευής

Πρόκειται για τις επιπτώσεις που επιφέρει στο περιβάλλον η εγκατάσταση κατά τη διάρκεια της κατασκευής της. Η εκπομπή αερίων, η καταστροφή της χλωρίδας και της πανίδας της περιοχής, ενοχλήσεις στους κατοίκους λόγω θορύβου, η καταστροφή του φυσικού κάλλους της περιοχής από τα μηχανήματα και γενικότερα η ακαλαίσθητη εγκατάσταση είναι μερικά απ’ τα προβλήματα που αρχικά εμφανίζονται στην περιοχή που έχει επιλεγεί για την εγκατάσταση. Βέβαια, οι επιπτώσεις αυτές δεν αναφέρονται μόνο στο κοντινό περιβάλλον της μονάδας, αλλά και σε αρκετή απόσταση μακριά απ’ αυτήν καθώς μεγάλοι σε μήκος σωλήνες τοποθετούνται υπογείως και συνδέουν τη μονάδα με εγκαταστάσεις που βρίσκονται χιλιόμετρα μακριά. Παρά τη σειρά των επιπτώσεων που προαναφέρθηκαν, ποικίλουν τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν με σκοπό τον περιορισμό της καταστροφής του οικοσυστήματος. Τα περισσότερα από αυτά είναι αρκετά απλά, όπως η επιλογή της καταλληλότερης περιοχής για την εγκατάσταση, η προσπάθεια μείωσης του θορύβου και ο περιορισμένος αριθμός τόσο των ανθρώπων όσο και των μηχανημάτων που θα έχουν πρόσβαση στο εργοτάξιο (Pantell 1993).

11.2. Επιδράσεις κατά τη φάση της λειτουργίας

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη φάση της λειτουργίας είναι οι πιο σημαντικές και υπερτερούν αριθμητικά αυτών της κατασκευής. Γενικά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, σε αυτές που αναφέρονται στο φυσικό περιβάλλον και σε αυτές που αναφέρονται στο ανθρωπογενές.

11.2.1. Φυσικό περιβάλλον

11.2.1.1. Επιπτώσεις κατά την άντληση θαλασσινού νερού

Το σημαντικότερο πρόβλημα από την άντληση του θαλασσινού νερού είναι η αυξημένη θνησιμότητα των θαλάσσιων οργανισμών όπως το πλαγκτόν, αυγά ψαριών και προνύμφες των ψαριών. Αυτό

συμβαίνει λόγω της αυξημένης πίεσης που ασκείται κατά τη διάρκεια της άντλησης. Παράλληλα, οι μεγάλοι υδρόβιοι οργανισμοί, εξαιτίας των παραπετασμάτων που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή του νερού, μπαίνουν στο προστάδιο της αφαλάτωσης με αποτέλεσμα να χάνουν τη ζωή τους (Τουμάσης 2005).

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στις ΗΠΑ έχει ψηφιστεί απόφαση σύμφωνα με την οποία απαιτείται η μείωση κατά 90% της θνησιμότητας της θαλάσσιας ζωής για να θεωρούνται «βιώσιμα» τα έργα λήψης του θαλασσινού νερού (Enveco A.E., I.A.CO Ltd 2010).

11.2.1.2. Επιπτώσεις από την απόρριψη άλμης στο θαλάσσιο οικοσύστημα

Όπως έχει προαναφερθεί η αφαλάτωση είναι η διαδικασία παραγωγής πόσιμου νερού από θαλασσινό ή υφάλμυρο με την αφαίρεση απ’ αυτό της ανόργανης ύλης. Ως προϊόντα της όλης διαδικασίας έχουμε το καθαρό νερό και ένα συμπυκνωμένο διάλυμα. Το διάλυμα αυτό έχει χημική σύσταση παρόμοια με το νερό τροφοδοσίας αλλά με συγκεντρώσεις 1,2-3,0 φορές μεγαλύτερη, αποτελούμενη τόσο από την αφαιρούμενη άλμη όσο και από μια ποικιλία χημικών και πρόσθετων που χρησιμοποιούνται στη προ- και μετά- επεξεργασία του νερού και κατά τη διάρκεια καθαρισμού του εξοπλισμού της μονάδας καθώς επίσης και από τοξικά μέταλλα λόγω της διάβρωσης των εσωτερικών επιφανειών των αγωγών (Vanheems 1998, Συσκάκη 2013).

Ο όγκος του υλικού που αποβάλλεται είναι ίδιος με τον όγκο του τροφοδοτούμενου θαλασσινού νερού αλλά σε πολύ μικρότερο όγκο νερού. Ο παράγοντας μετατροπής είναι 30 ως 70% οπότε η άλμη είναι 1,3-1,7 φορές μεγαλύτερη της αλατότητας του θαλάσσιου νερού. Ο τύπος αλλά και η ποσότητα των χρησιμοποιούμενων χημικών ουσιών εξαρτώνται από την τεχνολογία που επιλέγεται και την απαιτούμενη ποιότητα νερού που θα παραχθεί (Enveco A.E., I.A.CO Ltd, 2010, Συσκάκη 2013).

Τα χημικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε μια εγκατάσταση αφαλάτωσης προκειμένου να απαλλάξουν το θαλασσινό νερό από διάφορους μικροοργανισμούς οι οποίοι είναι επιβλαβείς καταλήγουν στο συμπύκνωμα άλμης. Τα υλικά αυτά είναι τα ακόλουθα (Younos 2005):

- Υποχλωριώδες νάτριο, NaOCl ή ελεύθερο χλώριο που χρησιμοποιείται για την χλωρίωση για την αποφυγή βιορύπανσης (biofouling) κυρίως στις μεμβράνες.
- Τρισθενές σίδηρος, FeCl₃ ή χλωριούχος άργιλος AlCl₃ που χρησιμοποιούνται ως απολυμαντικά για κροκίδωση και για απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων από το νερό.
- Θειικό οξύ, H₂SO₄ ή υδροχλωρικό οξύ HCl προς ρύθμιση του pH του θαλασσινού νερού.
- SHMP (φωσφορικό νάτριο εξαμεταφωσφορικό – (NaPO₃)₆) και παρόμοια υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί για την αποφυγή σχηματισμού πουρί στους σωλήνες και επί της μεμβράνης.
- Όξινο θειικό νάτριο NaHSO₃ που χρησιμοποιείται για την εξουδετέρωση τυχόν υπολειμμάτων χλωρίου στο τροφοδοτούμενο νερό.
- Κρυσταλλικό οξύ, EDTA (αιθυλενοδιαμινοτετραοξικό οξύ) C₁₀H₁₆N₂O₈ που χρησιμοποιείται προκειμένου να αφαιρούνται οι εναποθέσεις ανθρακικού άλατος από τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης.
- Κιτρικό οξύ C₆H₈O₇ , EDTA και πολυφωσφορικά νατρίου NaPO₃ , τα οποία είναι ασθενή οξέα που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό της μεμβράνης (ενέργεια που πραγματοποιείται 3-4 φορές το χρόνο) (Rashad Danoun, 2007).

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα χημικά χαρακτηριστικά της άλμης.

Πίνακας 14. Χημικά χαρακτηριστικά της άλμης (Πιτσαρή 2011)

Χαρακτηριστικά της άλμης			
Παράμετροι			
Κατιόντα (mg/l)	Ανιόντα (mg/l)	Βαρέα Μέταλλα (mg/l)	Χημικά Στοιχεία
Μαγνήσιο	Χλωριούχα	Χαλκός	Βόριο
Νάτριο	Θειικά	Σίδηρος	Στρόντιο
Κάλλιο	Ανθρακικά	Ψευδάργυρος	
Ασβέστιο	Φωσφορικά	Μαγγάνιο, Κάδμιο	
Θερμοκρασία	Αλατότητα	Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)	
pH	Ολικό Ανθρακικό Φώσφορο	Αγωγιμότητα (mS/cm)	

Η άλμη απορρίπτεται απευθείας στη θάλασσα ή σε συνδυασμό με άλλα απόβλητα μεταφέρεται σε μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων. Οι επιπτώσεις από την επιστροφή της και τη διάχυσή της στη θάλασσα εξαρτώνται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Κατεύθυνση και ταχύτητα ανέμου. Η πτυχή αυτή έχει μεγάλο αντίκτυπο στη διάχυση της άλμης στον ωκεανό, καθώς μπορεί να αραιώσει αυτό το εξαιρετικά πυκνό συμπύκνωμα με το θαλασσινό νερό σε κοντινή απόσταση.
- Ύψος κύματος, διεύθυνση και ταχύτητα. Αυτός ο παράγοντας θα μπορούσε να διαδραματίσει ένα σημαντικό ρόλο στη διασπορά των ιδιοτήτων του θαλασσινού νερού.
- Βαθυμετρία και παλιρροϊκά μέσα. Σύμφωνα με κάποια επιστημονική έρευνα, η εκκένωση του συμπυκνώματος της άλμης έχει ελάχιστες επιπτώσεις στην αλλαγή των φυσικών ιδιοτήτων. Επίσης, αλλαγές στην αλατότητα και στην αλκαλικότητα θα συμβούν κατά τη διάρκεια μιας υψηλής παλίρροιας σε μια ρηχή κατάπτωση (Swanson et al. 2006).

Εκτός όμως από τους προαναφερθέντες παράγοντες κρίσιμα στοιχεία για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που πρόκειται να προκύψουν είναι:

- το μήκος του αγωγού απόρριψης
- η απόστασή του από την ακτή
- η παρουσία ή μη υδροστόμιων διάχυσης
- ο ρυθμός και η πίεση εκροής, ο βαθμός αραιώσης- ανάμειξης και η ταχύτητα ανάμειξης
- ο βαθμός ευαισθησίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος (Enveco A.E., I.A.CO Ltd 2010, Πιτσαρή 2011)

Από μετρήσεις που έχουν γίνει όσον αφορά την απορριπτόμενη άλμη που προέρχεται από μονάδες αντίστροφης όσμωσης και MSF παρατηρήθηκε ότι όσον αφορά την αντίστροφη όσμωση η συγκέντρωση απόρριψης είναι 30-70% ή 1,3 με 1,7 φορές εκείνη του αρχικού τροφοδοτούμενου νερού. Για την MSF η αναλογία επιστροφής είναι μικρότερη και ίση με 1,1-1,5 (Συσκάκη 2013).

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της απόρριψης της άλμης στη θάλασσα είναι οι ακόλουθες:

- Αύξηση θερμοκρασίας (3-4°C αντίστροφη όσμωση, 10-15°C πολυβάθμια Εξάτμιση)
- Διακύμανση αλατότητας του νερού

- Ευτροφισμός (υψηλή συγκέντρωση σε νιτρικά, φωσφορικά)
- Αλλαγή θαλάσσιων οικοσυστημάτων
- Αύξηση σε αιωρούμενα σωματίδια
- Θνησιμότητα θαλάσσιων οργανισμών (χλωρίδα – πανίδα)
- Μεταβολή-μείωση παραγωγικότητας του φυτοπλαγκτόν
- Χημική ρύπανση, ανακατανομή συγκεντρώσεων σε ιχνοστοιχεία
- Μείωση παραγωγικότητας των φυτών και του εδάφους, υφαλμύρωση (Πιτσαρή 2011)

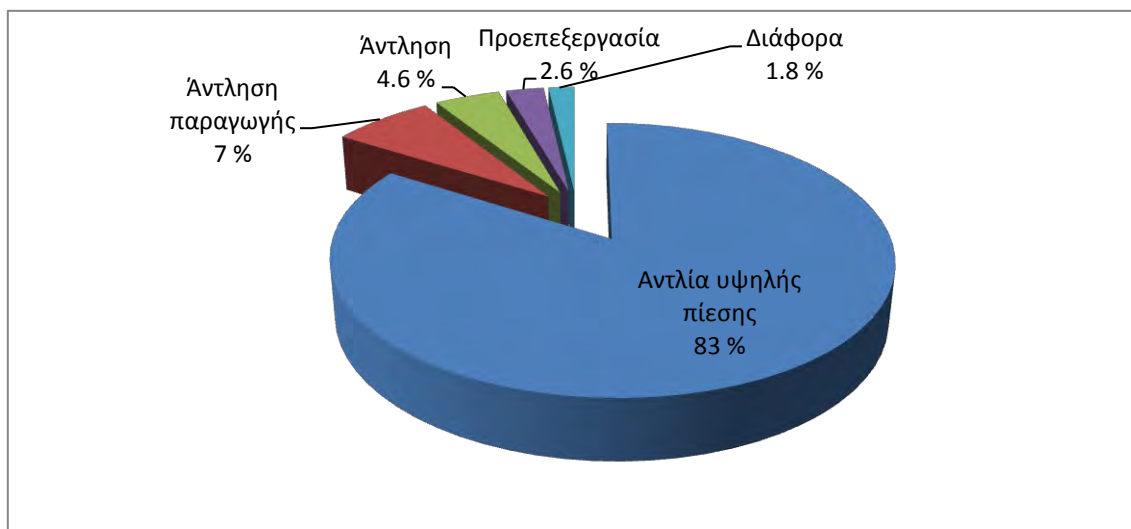
Οι συμβατικοί τρόποι για τη διαχείριση της άλμης είναι η απόρριψή της στη θάλασσα, η απόρριψη σε συστήματα αποχέτευσης και η απόρριψή της σε γεωτρήσεις ή απ’ ευθείας στο έδαφος. Οι μη συμβατικοί τρόποι είναι η χρήση της σε υγροβιότοπους και σε ιχθυοκαλλιέργειες αλλά και η τεχνική μείωσης του όγκου της απορριπτόμενης άλμης μέσω μιας δεύτερης βαθμίδας αφαλάτωσης στην οποία θα εισέρχεται ως νερό τροφοδοσίας (Σολδάτος 2011).

11.2.1.3. Επιπτώσεις από τις ενεργειακές ανάγκες της αφαλάτωσης

Η μέθοδος της αφαλάτωσης είναι μια αρκετά ενεργοβόρα διαδικασία με τα απαιτούμενα ποσοστά ενέργειας να ποικίλουν ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται. Παραδοσιακά οι κύριες πηγές ενέργειας είναι τα ορυκτά καύσιμα, τα τελευταία όμως χρόνια λόγω της υπερβολικής αύξησης των τιμών τους αλλά και της μείωσης των αποθεμάτων τους έχει γίνει στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως πρώτη ύλη για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας σε μια μονάδα αφαλάτωσης.

Αποτέλεσμα της χρήσης των μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας είναι η εκπομπές αερίων που περιέχουν οξείδια αζώτου, διοξείδιο του άνθρακα και ποσότητες οξυγόνου, δηλαδή αερίων του θερμοκηπίου που αποτελούν και την κύρια αιτία των κλιματικών αλλαγών.

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει τα ποσοστά ενέργειας που απαιτούνται κατά τη διαδικασία της αφαλάτωσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ενέργεια αντιπροσωπεύει το 60% των άμεσων δαπανών λειτουργίας και συντήρησης μιας μονάδας (Envecο A.E., I.A.CO Ltd 2010).



Σχήμα 29. Κατανάλωση ενέργειας των διαφόρων σταδίων της διαδικασίας αφαλάτωσης (Wilf 2004)

Παρακάτω (Πίνακες 15 και 16) λαμβάνονται δύο χαρακτηριστικές διαδικασίες αφαλάτωσης, η RO και η MSF και γίνεται σύγκρισή τους όσον αφορά την απαιτούμενη ενέργεια. Παρ’ όλο που η κατανάλωση ενέργειας με τη διαδικασία της RO είναι διπλάσια από τη μέθοδο MSF, η παραγωγή νερού στην MSF είναι διπλάσια από την RO. Κατανάλωση θερμικής ενέργειας γίνεται μόνο κατά τη διαδικασία MSF. Από τις τιμές των παρακάτω πινάκων διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία της RO είναι πιο φιλική στο περιβάλλον αφού όλοι οι δείκτες της είναι πιο χαμηλοί από την MSF (Τουμάσης 2005).

Πίνακας 15. Δείκτες εγκατάστασης MSF (Τουμάσης 2005)

Δείκτης καυσίμων (kg καυσίμων/m ³)	11
Περιβαλλοντικός δείκτης για CO ₂ (kg CO ₂ /m ³)	37
Περιβαλλοντικός δείκτης για SO ₂ (kg SO ₂ /m ³)	0,009
Περιβαλλοντικός δείκτης για NO (kg NO /m ³)	0,06

Πίνακας 16. Δείκτες εγκατάστασης RO(Τουμάσης 2005)

Δείκτης καυσίμων (kg καυσίμων/m ³)	1,8
Περιβαλλοντικός δείκτης για CO ₂ (kg CO ₂ /m ³)	6
Περιβαλλοντικός δείκτης για SO ₂ (kg SO ₂ /m ³)	0,005
Περιβαλλοντικός δείκτης για NO (kg NO /m ³)	0,009

11.2.1.4. Επιπτώσεις στις κλιματικές αλλαγές

Η καύση ορυκτών καυσίμων στις μονάδες αφαλάτωσης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου που οδηγούν στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και γενικότερα στην κλιματική αλλαγή.

Ο επιταχυνόμενος ρυθμός των αλλαγών αυτών κατέστησε επιτακτικά την ανάγκη λήψης μέτρων. Έτσι η Ευρωπαϊκή Ένωση με το Πρωτόκολλο του Κιότο δεσμεύτηκε να μειώσει κατά 8% κάτω από τα επίπεδα του 1990 μέχρι την περίοδο 2008-2012. Αναμφισβήτητα, η βέλτιστη λύση για την μείωση των εκπομπών του CO₂ είναι η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Enveco A.E., I.A.CO Ltd 2010).

11.2.1.5. Επιπτώσεις στα υπόγεια ύδατα

Η σημαντικότερη επίπτωση μιας μονάδας αφαλάτωσης είναι η υφαλμύρωση του υπόγειου υδροφορέα. Οι εγκαταστάσεις της μονάδας περιλαμβάνουν ένα σύνολο σωλήνων και υπόγειων δικτύων για τη μεταφορά του θαλασσινού και του καθαρού παραγόμενου νερού. Τυχόν διαρροή στο δίκτυο που μεταφέρει το θαλασσινό νερό θα επιφέρει σημαντικές καταστροφές στον υπόγειο υδροφορέα όχι μόνο στην κοντινή περιοχή αλλά και σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού οι λύσεις ποικίλουν χωρίς όμως να είναι όλες τους εξίσου παραγωγικές και προσοδοφόρες. Η σημαντικότερη απ’ όλες, η οποία δε θα δημιουργήσει αλλαγές στα σχέδια της εγκατάστασης και είναι και πιο εφικτή είναι η χρήση κατάλληλων τεχνικών στεγανοποίησης κατά την κατασκευή των σωλήνων και η εγκατάσταση ανιχνευτών που θα σταματήσουν την άντληση σε περίπτωση δυσλειτουργίας. Παράλληλα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα πρέπει να δοθεί στην θέση κατασκευής του εργοστασίου, με προτιμότερη εκείνη όπου η πιθανότητα βλάβης του υδροφόρου ορίζοντα είναι χαμηλή.

Μια άλλη πιθανή λύση αποτελεί η παροχή του τροφοδοτούμενου νερού από γεώτρηση, γεγονός που σημαίνει καλύτερης ποιότητας θαλασσινό νερό προς επεξεργασία, συνεπώς εξοικονόμηση ενέργειας και χρήματος στο στάδιο της προκατεργασίας. Ωστόσο, η επιλογή αυτή δεν προτιμάται καθώς ελλοχεύει ο κίνδυνος να διαταραχθεί, όχι σε τόσο μεγάλο βαθμό όπως πριν, ο υδροφόρος ορίζοντας και ο υδροφορέα (Συσκάκη 2013).

11.2.1.6. Επιπτώσεις στο έδαφος

Το έδαφος αποτελεί ένα μη ανανεώσιμο φυσικό διαθέσιμο, επομένως απαιτείται η σωστή διαχείρισή του και χρήση του. Μια μονάδα αφαλάτωσης, όπως και κάθε βιομηχανική εγκατάσταση παράγει απόβλητα. Τα βασικότερα απ’ αυτά είναι η άλμη, όπως έχει προαναφερθεί, και χημικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται. Τα απόβλητα αυτά δεν απορρίπτονται όμως πάντα στη θάλασσα διαταράσσοντας το θαλάσσιο οικοσύστημα αλλά και στο έδαφος μολύνοντάς το. Εκτός βέβαια από το συμπύκνωμα άλμης και άλλου είδους απόβλητα (στερεά, απόβλητα του προσωπικού κλπ.) δημιουργούνται η εκμετάλλευση των οποίων πρέπει να γίνεται με σύνεση. Η πρόληψη, η ανάκτηση, η ανακύκλωση, η επαναχρησιμοποίηση και τέλος η ασφαλής και ελεγχόμενη διάθεσή τους εξασφαλίζουν την προστασία του εδάφους (Envecο A.E., I.A.CO Ltd 2010).

11.2.2. Ανθρωπογενές περιβάλλον

11.2.2.1. Επιπτώσεις στη γεωργία

Το φαινόμενο της ξηρασίας που οδηγεί σε περαιτέρω φαινόμενα λειψυδρίας μαστίζει τα τελευταία χρόνια τον πλανήτη μας επηρεάζοντας όλους του παραγωγικούς τομείς της οικονομίας. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος οι εκάστοτε κυβερνήσεις προέβησαν σε περικοπές σε όλες τις χρήσεις του νερού με σκοπό την εξοικονόμησή του. Αυτό είχε ως αντίκτυπο τη μείωση της ποσότητας του νερού που προοριζόταν για άρδευση καθώς προτεραιότητα είχε η ύδρευση, δημιουργώντας έτσι ανεπάρκεια στον τομέα της γεωργίας και κατ’ επέκταση προβλήματα στην παραγωγή.

Η δημιουργία των μονάδων αφαλάτωσης έχει ως αποτέλεσμα την απεξάρτηση της ύδρευσης από τη βροχόπτωση και την ικανοποίηση της μέγιστης ζήτησης στις περιοχές που βρίσκονται πλησίον των εγκαταστάσεων. Παράλληλα, ποσότητες νερού που προέρχονται από συμβατικές πηγές υδροδότησης, όπως υπόγεια νερά μέσω γεωτρήσεων, οι οποίες χρησιμοποιούνταν για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης, απελευθερώνονται και μπορούν να διατεθούν στην άρδευση και γενικότερα για την κάλυψη άλλων αναγκών.

Απόρροια αυτής της αποδέσμευσης είναι η ανάπτυξη της γεωργίας με αύξηση της παραγωγής και μείωση των κοινωνικών αντιδράσεων που προέρχονται από τους αγρότες για τη μέχρι τώρα ανεπάρκεια των πόρων και των μέσων που είχαν στη διάθεσή τους.

Μια επιπλέον περιβαλλοντική επίπτωση των μονάδων αφαλάτωσης είναι η μείωση της υπεράντλησης του υδροφορέα και η επανάκαμψη της στάθμης του με όλα τα οφέλη που τη συνοδεύουν. Η αυξημένη ζήτηση για νερό είχε ως αποτέλεσμα τη υπερβολική άντληση νερού για την κάλυψη των αναγκών καταστρέφοντας τόσο τον υδροφορέα αλλά και μειώνοντας υπερβολικά τα αποθέματα. Με την παροχή, επομένως, αφαλατωμένου νερού τα εν λόγω προβλήματα ελαχιστοποιούνται και επανέρχεται η κοινωνική τάξη (Envecο A.E., I.A.CO Ltd 2010).

11.2.2.2. Ηχορύπανση

Ο θόρυβος είναι χαρακτηριστικό των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης, ιδιαίτερα αυτών που λειτουργούν με μονάδες αντίστροφης όσμωσης, οι οποίες είναι εξοπλισμένες με αντλίες υψηλής πίεσης και η λειτουργία τους παράγει έντονο θόρυβο και κραδασμούς.

Λαμβάνοντας υπόψη το πρόβλημα της ηχορύπανσης αρχικά θα πρέπει να επιλέγεται η κατάλληλη θέση εγκατάστασης της μονάδας μακριά από οικισμούς ή πόλεις. Αν κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό απαιτείται η σωστή ηχομόνωση των κτηρίων μέσα στα οποία στεγάζονται οι μονάδες αντίστροφης όσμωσης, με ηχομονωτικά πλακάκια ή θήκες, για να απορροφούν το θόρυβο και να ελαχιστοποιούν το πρόβλημα (Συσκάκη 2013).

11.2.2.3. Κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις

Οι κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την έλλειψη νερού αντιμετωπίζονται με επιτυχία από τις εγκαταστάσεις των μονάδων αφαλάτωσης. Παρακάτω αναφέρονται όλα αυτά τα προβλήματα που δημιουργούνται εξαιτίας της ανεπάρκειας κάλυψης των αναγκών μέσω του νερού από συμβατικές μονάδες άντλησης και που μπορούν να εξαλειφθούν από μια μονάδα αφαλάτωσης.

Η λειψυδρία έχει προκαλέσει πολλά προβλήματα στον κοινωνικό και οικονομικό ιστό παγκοσμίως δημιουργώντας πολλές αντιδράσεις.

Τα μέτρα που λαμβάνονται έχουν τόσο παγκόσμιο όσο και τοπικό χαρακτήρα. Οι κυβερνήσεις προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες ύδρευσης περικόπτουν τις ποσότητες νερού που προορίζονταν για άρδευση, ενώ στη χειρίστη περίπτωση που υπάρχει ανισοσταθμία στη ζήτηση και την προσφορά του νερού ύδρευσης μειώνεται η παροχή ή ακόμη και διακόπτεται τελείως σε συγκεκριμένα διαστήματα μέσα στη μέρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Κύπρος όπου σε ορισμένες περιοχές παρατηρούνται περικοπές στην υδατοπρομήθεια μέχρι 12 ώρες παροχής κάθε 48 ώρες προκαλώντας την αγανάκτηση των κατοίκων.

Σε τοπικό χαρακτήρα, οι κάτοικοι λαμβάνουν μέτρα αντιμετώπισης του θέματος και κάλυψης των προσωπικών τους αναγκών. Δημιουργία γεωτρήσεων στο σπίτι, αγορά και εγκατάσταση ντεπόζιτων και αγορά πόσιμου νερού είναι μερικές απ’ τις ενέργειες των πολιτών. Το πρόβλημα μάλιστα είναι ακόμη πιο έντονο σε ιδιοκτησίες που βρίσκονται σε υψηλό υψόμετρο καθώς λόγω της έλλειψης πίεσης το νερό δεν καταφέρνει να φθάσει στα σπίτια.

Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η δημιουργία «κοστών ευκαιρίας» (welfare costs) λόγω της αβεβαιότητας παροχής νερού, ιδιαίτερα σε αυτούς που έχουν μειωμένη παροχή ή μικρό αποθηκευτικό χώρο. Δημιουργούνται λοιπόν κοινωνικές ομάδες, του πληθυσμού με χαμηλά εισοδήματα που αδυνατεί να διαθέσει χρήματα για την απόκτηση καθαρού νερού και της μερίδας των ανθρώπων που έχουν την οικονομική ευρωστία να καλύψουν τις ανάγκες τους (Enveco A.E., I.A.CO Ltd 2010).

Τα σημαντικότερα προβλήματα που απορρέουν από την έλλειψη νερού είναι:

1. Προβλήματα υγείας που σχετίζονται με χαμηλές παροχές νερού (μόλυνση από νερό που διοχετεύεται από διαφορετικά δίκτυα), όπως νερό από γεωτρήσεις ή από αγορά νερού, μειωμένες ροές αστικών λυμάτων, αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων.
2. Ψυχική και φυσική ένταση λόγω της αβεβαιότητας του νερού.
3. Αυξημένες διαμάχες /συγκρούσεις:

- Διαμάχες καταναλωτών στη χρήση του διαθέσιμου νερού
 - Πολιτικές διαμάχες
 - Διαμάχες μεταξύ Διαχειριστών νερού
 - Άλλες κοινωνικές διαμάχες (επιστημονικές ανακοινώσεις, δημοσιεύματα στα μέσα ενημέρωσης)
4. Μείωση επιπέδου ζωής, αλλαγές στους τρόπους διαβίωσης
- Αύξηση φτώχειας
 - Μείωση οικονομικών δραστηριοτήτων (τουρισμός και επιχειρήσεις που εξαρτώνται από το νερό)
 - Απώλεια καλαισθητικών αξιών
 - Μείωση ή αλλαγή ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων
 - Επανεκτίμηση κοινωνικών αξιών (προτεραιότητες, ανάγκες, δικαιώματα)
 - Δημόσια δυσαρέσκεια με Κυβερνητικές πολιτικές αντιμετώπισης του Προβλήματος
 - Αντίληψη για αδικίες στην ανακούφιση, πιθανώς σε σχέση με κοινωνικο-οικονομική κατάσταση, περιοχές νοικοκυριών κλπ.
5. Άλλα σχετικά προβλήματα
- Μείωση της ποιότητας νερού λόγω μειωμένης πίεσης στους αγωγούς μεταφοράς του νερού (αστικά λύματα και άλλες ουσίες διεισδύουν ευκολότερα στο δίκτυο)
 - Παράνομες συνδέσεις στο δίκτυο
 - Αυξημένες διαρροές στο δίκτυο (εντοπίζονται μόνο όταν υπάρχει αρκετή πίεση)
 - Συσσώρευση ακαθαρσιών (ιζημάτων) στα τυφλά σημεία των αγωγών

Όλα τα προαναφερθέντα κοινωνικο οικονομικά προβλήματα βρίσκουν λύση με την εφαρμογή μονάδων αφαλάτωσης στις περιοχές που πλήττονται. Αναλογιζόμενος κανείς όλα τα παραπάνω μπορεί εύκολα να αντιληφθεί τη σημαντική κοινωνικο-οικονομική προσφορά των εν λόγω εγκαταστάσεων (Envecο A.E., I.A.CO Ltd 2010).

11.2.2.4. Απασχόληση- Εισόδημα

Μια άλλη πολύ σημαντική επίδραση της δημιουργίας μονάδας εγκατάστασης είναι η αύξηση των θέσεων εργασίας. Μια τέτοια εγκατάσταση απαιτεί την επάνδρωσή της από κατάλληλο προσωπικό για την κάλυψη των αναγκών της.

Παράλληλα, η λύση που επιφέρει στο πρόβλημα της έλλειψης νερού για άρδευση σε μια περιοχή, οδηγεί στην ανάπτυξη της γεωργίας όπου αυτή είναι δυνατή. Απόρροια αυτού είναι η μεγαλύτερη ανάγκη για απασχόληση στον πρωτογενή τομέα.

Μεγαλύτερη ζήτηση σε εργατικό προσωπικό έχουμε όμως και λόγω της αύξησης του τουρισμού στα άνυδρα κυρίως νησιά. Η επαρκής παροχή πόσιμου νερού οδηγεί στην αναβάθμιση της περιοχής,

στην ενίσχυση της τοπικής οικονομίας είτε με τη δημιουργία θέσεων εργασίας είτε ως αποτέλεσμα της τουριστικής ανάπτυξης (Σολδάτος 2011).

11.3. Αντιμετώπιση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Η αφαλάτωση αποτελεί μια σημαντική εναλλακτική λύση για την προμήθεια νερού καλής ποιότητας. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά με τις παρακάτω ενέργειες.

- Η λειτουργία της μονάδας θα πρέπει να συμμορφώνεται με την εγκεκριμένη από τις αρχές Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.
- Σωστή χωροθέτηση μονάδων.
- Προσεκτική χωροθέτηση και σχεδιασμός λειτουργίας αγωγών πρόσληψης νερού.

11.3.1. Υδροληψία

- Προτίμηση της παράκτιας υδροληψίας με πολύ κοντό αγωγό.
- Να μη συμπίπτει η θέση υδροληψίας με τη θέση απόρριψης της άλμης.
- Σωστή χωροθέτηση και σχεδιασμός αγωγών διάθεσης με επίτευξη κατάλληλης αραιώσης.
- Για την αποφυγή παράσυρσης θαλάσσιων οργανισμών να χρησιμοποιούνται φίλτρα-δίκτυα στην είσοδο των αγωγών πρόσληψης.
- Η ταχύτητα υδροληψίας να μην είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα των ρευμάτων στην εξεταζόμενη θαλάσσια περιοχή έτσι ώστε να μην παρασύρονται και να παγιδεύονται στο ρεύμα υδροληψίας μεγάλες ποσότητες φυτοπλαγκτόν και θαλάσσιας βιομάζας (Ντάνου κ.ά 2010).

11.3.2. Διάθεση άλμης

- Απαιτείται η πραγματοποίηση της πλήρους υψομετρικής αποτύπωσης του βυθού, η μελέτη των ρευμάτων όλο το χρόνο, ο σχεδιασμός κατάλληλου συστήματος γρήγορης ανάμειξης της άλμης με το θαλασσινό νερό και ο καθορισμός σημείων δειγματοληψίας από ανεξάρτητο φορέα ελέγχου και όχι από τον ιδιοκτήτη της μονάδας είτε αυτός είναι ιδιώτης είτε Δημόσιος φορέας.
- Θα πρέπει να επιδιώκεται αγωγός διάθεσης της άλμης να απολήγει σε σημείο όπου ο βυθός να έχει μεγάλη κλίση και ικανό βάθος έτσι ώστε η ροή του ρεύματος άλμης να γίνει τυρβώδης δηλαδή τόσο ορμητική ώστε να αναμειγνύεται με το από πάνω της θαλασσινό νερό.
- Θα πρέπει να αποφεύγεται να απολήγει ο αγωγός διάθεσης της άλμης σε σημείο που να συμπίπτει με περιοχή ανάπτυξης ποσειδώνιας και βραχώδους υποστρώματος.
- Το σημείο απόρριψης της άλμης θα πρέπει να είναι εκεί όπου τα ρεύματα έχουν τη μέγιστη τιμή.
- Η απόρριψη της άλμης να γίνεται στην επιφάνεια της θάλασσας σε αρκετά μεγάλο βάθος με σύστημα διασποράς (το ρεύμα της άλμης ως πιο βαθύ από το θαλασσινό νερό βυθίζεται και συγχρόνως αραιώνει).

- Η μέγιστη αλατότητα της περιοχής που βρίσκεται σε άμεση επαφή με την έξοδο του αγωγού να είναι 4%. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλου συστήματος αγωγού διαχυτήρα που εξασφαλίζει την απαιτούμενη αραίωση.
- Να γίνεται αραίωση του ρεύματος της άλμης πριν την απόρριψή του με θαλασσινό νερό ή με νερό από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού.
- Διάθεση του ρεύματος της άλμης σε γειτονικές παράκτιες εγκαταστάσεις όπου θα ξηραθεί (π.χ. με φυσικό τρόπο όπως στις αλυκές) (Κυπριακή Δημοκρατία 2010, Γκάτσος 2009).

11.3.3. Χημικά

- Τα χημικά που χρησιμοποιούνται σε όλες τις φάσεις της επεξεργασίας του τροφοδοτούμενου νερού θα πρέπει να επεξεργάζονται. Επίσης ενδείκνυται η ανάπτυξη μεθόδων για την ελαχιστοποίηση της χρήσης τους στη διαδικασία.
- Χρήση μηχανολογικών εξαρτημάτων ανθεκτικών στη διάβρωση για να μειωθούν τα βαρέα μέταλλα στο ρεύμα της άλμης (Κυπριακή Δημοκρατία 2010).

11.3.4. Θόρυβος

- Εγκατάσταση της μονάδας σε όσο το δυνατόν απομονωμένη περιοχή.
- Τοποθέτηση των εγκαταστάσεων σε κλειστούς χώρους.
- Χρήση ηχοπετασμάτων ή κουρτινών ηχομόνωσης (Ντάνου κ.ά. 2010).

12. ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

12.1. Γενικά

Γενικά δεν έχουν αναφερθεί ιδιαίτερες αντιδράσεις για την εφαρμογή των συστημάτων αφαλάτωσης. Οι περισσότερες απ’ αυτές που υπήρξαν αφορούσαν κυρίως την ποσότητα της απορριπτόμενης άλμης και τις αρνητικές επιπτώσεις που αυτή είχε και προέρχονταν κυρίως από τοπικούς ψαράδες. Επίσης έχουν εκφραστεί ανησυχίες από κατοίκους των περιοχών που πρόκειται να δημιουργηθούν οι μονάδες αφαλάτωσης, για την υποβάθμιση της περιοχής και την ύπαρξη θορύβου.

Απόρροια όλων αυτών των αντιδράσεων είναι η ελλιπής ενημέρωση των πολιτών για τα εξής θέματα:

- Πλανητικά περιβαλλοντικά ζητήματα (κλιματική αλλαγή)
- Οικονομικά ζητήματα σε σχέση με τις ΑΠΕ και το πραγματικό κόστος λειτουργίας των συμβατικών μονάδων
- Στόχοι δημιουργίας μονάδων και συνεισφορά τους στις εκάστοτε περιοχές εγκατάστασης (Ευθυμιόπουλος κ.ά. 2008)

Οι σημαντικότερες αιτίες αντίδρασης των κατοίκων στη δημιουργία μονάδων αφαλάτωσης (Ευθυμιόπουλος κ.ά. 2008):

- Ο φόβος για αισθητική υποβάθμιση του τοπίου με αποτέλεσμα την μείωση του τουρισμού και την οικονομική ύφεση του τόπου
- Η ανησυχία για τυχόν μείωση της αξίας των ιδιοκτησιών των κατοίκων
- Η αλλοίωση του τοπίου από τη διάνοιξη δρόμων
- Οι επεμβάσεις σε περιοχές προστασίας της φύσης
- Οι προτάσεις για υπερβολικά μεγέθη εγκαταστάσεων που δεν ταιριάζουν με τα ιδιαίτερα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Επιπλέον λόγοι είναι οι (Ντάνου κ.ά. 2010):

- Φόβοι για θνησιμότητα των πτηνών (ανεμογεννήτριες)
- Φόβοι για υψηλά επίπεδα θορύβου
- Φόβοι για επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων
- Φόβοι για εγκατάλειψη των εγκαταστάσεων όταν περάσει ο χρόνος ζωής τους

Όσον αφορά τις μονάδες που λειτουργούν με την εκμετάλλευση των ΑΠΕ εκεί οι αντιδράσεις είναι περισσότερες και πιο συγκεκριμένες.

Από πολλές φιλοζωικές οργανώσεις έχουν γίνει επανειλημμένες συστάσεις σε εγκαταστάσεις αφαλάτωσης που κάνουν χρήση αιολικής ενέργειας καθώς όπως υποστηρίζουν οι ανεμογεννήτριες είναι η αιτία θανάτου πολλών πουλιών τα οποία χωρίς να γνωρίζουν των κίνδυνο πετάνε ανάμεσα στα πτερύγια των συσκευών. Ωστόσο, ο αριθμός των νεκρών πουλιών που έχει καταγραφεί είναι

αμελητέος μπροστά στον αριθμό εκείνων που σκοτώνονται από ανθρώπινες δραστηριότητες (π.χ. κυνήγι) (Σαμακίδης 2009).

Επιπρόσθετα, ο θόρυβος των εγκαταστάσεων έχει προκαλέσει μεγάλη δυσaráεσκεια, ιδιαίτερα ο θόρυβος των ανεμογεννητριών. Η δικαιολογία αυτή χαρακτηρίζεται και πάλι ως ανυπόστατη καθώς μια ανεμογεννήτρια σύγχρονων προδιαγραφών σε απόσταση 200m παράγει θόρυβο μικρότερο από αυτό που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος μιας μικρής επαρχιακής πόλης, μην αποτελώντας πηγή ενόχλησης (Ευθυμιόπουλος κ.ά. 2008, Ντάνου κ.ά. 2010).

Τέλος, έντονη είναι η καχυποψία των κατοίκων των διαφόρων περιοχών εγκατάστασης μονάδων απέναντι στους ιδιώτες επενδυτές. Το προσωπικό όφελος και η αδιαφορία για το καλό της γύρω περιοχής από πλευράς των επενδυτών δεσπόζει σα κύρια αντίληψη στο μυαλό των κατοίκων, ιδιαίτερα, όταν οι επενδυτές είναι ξένες πολυεθνικές.

12.2. Αντιμετώπιση των κοινωνικών αντιδράσεων

Για τη αποφυγή των κοινωνικών αντιδράσεων θα πρέπει να υπάρξουν προσεκτικές χωροταξικές μελέτες και να τηρούνται όλα τα απαιτούμενες ενέργειες για τη σωστή λειτουργία της εγκατάστασης καθώς επίσης να υπάρχει σωστή και ενδεδειγμένη ενημέρωση των τοπικών κοινωνιών για τα οφέλη των εκάστοτε τεχνολογιών αλλά και για τις επιπτώσεις τους. Παράλληλα, ένα μέτρο που λήφθηκε σε κάποιες χώρες του εξωτερικού και είχε θετικά αποτελέσματα είναι η δημιουργία ομάδων από τους κατοίκους των περιοχών οι οποίες σε τακτά χρονικά διαστήματα θα έρχονται σε επαφή με τον αρμόδιο επιβλέποντα τόσο κατά τη φάση της κατασκευής της μονάδας όσο και κατά της λειτουργίας και θα του αναφέρουν τυχόν προβλήματα που παρατηρούνται στην περιοχή. Αυτό θα έχει θετικό αντίκτυπο τόσο στους κατοίκους, οι οποίοι θα νοιώθουν ότι η γνώμη τους μετράει αλλά και στους επενδυτές, οι οποίοι θα έχουν να αντιμετωπίσουν λιγότερες αντιδράσεις (Kaldellis et al. 2008).

Γενικότερα, για την εξάλειψη των τοπικών αντιδράσεων θα πρέπει να υπάρξει:

- Συστηματική ενημέρωση και διάλογος.
- Δημιουργία συμμαχιών με ειδικές κοινωνικές ομάδες (π.χ. εκπαιδευτική κοινότητα, περιβαλλοντικές οργανώσεις) ή επαγγελματικές ομάδες (π.χ. μηχανικοί, εργαζόμενοι στη βιομηχανία κλπ.)
- Προτροπή για ουσιαστική συμμετοχή των κατοίκων στη διαδικασία σχεδιασμού με εφαρμογή του Ειδικού Χωροταξικού (ΕΧ) στις πραγματικές συνθήκες της περιοχής.
- Στις περιοχές με έντονες αντιπαραθέσεις θα χρειαστεί να προηγηθούν πιλοτικές εφαρμογές ή να γίνει σταδιακή ολοκλήρωση των εφαρμογών ώστε οι τοπικές κοινωνίες να πεισθούν για τα θετικά αποτελέσματα/ επιπτώσεις (Ευθυμιόπουλος κ.ά. 2008, Ντάνου κ.ά. 2010, Kaldellis et al. 2008).

13. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

13.1. Ξένη Βιβλιογραφία

1. Afonso M.D., J.O. Jaber, M.S. Mohsen, «Brackish groundwater treatment by reverse osmosis in Jordan. Desalination, 2004. 164 p. 157-171
2. Andrienne L., F. Alardin, «Thermal and membrane process economics: optimized selection for seawater desalination», Desalination, 2002, 153: p. 305-311
3. Angelakis A. N., Desalination Technologies for Water Supply. In: Desalination Technologies for Water Supply. Union of Municipal Enterprises for Water Supply and Sewerage Systems (Karamoutzis, *et al.*, Eds.). Larissa, Greece, 2008. pp. 17-28 (In Hellenic)
4. Avlonitis S.A., et al., «Water resources management for the prefecture Dodekanisa of Greece», Desalination, 2002, 152: p. 147-159
5. Clayton R. A., Review of Current Knowledge, Desalination for Water Supply. Foundation for Water Research, 2011
6. Energy Recovery, Award Winning Barcelona Llobregat Desalination Plant, Casestudy Barcelona, ES
7. Ettouney H., «Visual basic computer package for thermal and membrane desalination processes», Desalination, 2004, 165: p.393-408
8. Fulleto Dessalinitzadora Angles, Desalination plant at the Llobregat basin
9. Gerasimou A., Deasalination using wind power in Milos, An integrated solution for the water availability problem. Ios-Aegean Energy Agency: The Supporting organisation for Greek Islands, 2010. <http://www.aegean-energy.gr/gr/pdf/afalatosi120610.pdf> (In Hellenic)
10. Gikas P. and A. N. Angelakis, Water Resources Management in the Greek River Basin Districts of Crete and Aegean Islands, with Emphasis on the Utilization of Non-conventional Water Sources. Desalination 248(1–3) (2008) 1049–1064
11. Gleick P. H., H. C. A. David Katz and Emily Lee, The World's Water 2006-2007: The Biennial Report on Freshwater Resources (World's Water Quality). Island Press. Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security, 2006
12. Gude V. G., N. Nirmalakhandan and S. Deng, Renewable and sustainable approaches for desalination. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14(9) (2010) 2641-2654
13. IEA-ETSAP and IRENA, Water Desalination Using Renewable Energy, Technology Brief I12, March 2012
14. International Technological Application ITA S.A., Proposal for water deficiency coverage in the arid islands of Cyclades and Dodecanese. Athens, 2008 (In Hellenic)
15. Jenkins, N., Walker J.F., Wind Energy Technology, John Wiley and Sons, 1997 ISBN 0471-96-446
16. Kaldellis J. K., K.A. Kavadias, E. Kondili, wind energy based desalination processes and plants, Xth world renewable energy congress, July 2008 Glasgow Scotland UK
17. Khaydarov R. A. and R. R. Khaydarov, Solar Powered Direct Osmosis Desalination. Desalination 217(1–3) (2007) 225-232

18. Mathioulakis E., V. Belessiotis and E. Delyannis, Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art. *Desalination* 203(1–3) (2007) 346-365
19. McBride R., R. Morris and W. Hanbury, Wind Power: A Reliable Source for Desalination. *Desalination* 67 (1987) 559-564
20. Mohamed E.S. and G. Papadakis, «Design, simulation and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaics», *Desalination*, 2004, 164: p. 87-97
21. Pantell Susan E., 1993. Seawater desalination in California. California Coastal Commission
22. Papapetrou M., M. Wieghaus, C. Biercamp, 2010 “Road Map for the development of desalination powered by renewable energy”, Prodes Project)
23. Poseidon Resources Corporation. Desalination Worldwide. Worldwide Seawater Desalination Capabilities. Huntington Beach Desalination Facility, 2010. <http://hbfreshwater.com/desalination-101/desalination-worldwide>
24. Qiblawey M. and F. Banat, Solar Thermal Desalination Technologies. *Desalination* 220(1–3) (2008) 633-644
25. Rashad Danoun, «Desalination Plants: Potential Impacts of Brine Discharge on Marine Life», The Ocean Technology Group, Australia 2007
26. Raully G., L. Serra, J. Uche, 2005, Life Cycle Assessment of desalination technologies integrated with renewable energies , Department of Mechanical Engineering, University of Zaragoza, Zaragoza, Spain, desalination- Elsevier
27. Tian J., et al., «Economic analyses of a nuclear desalination system using deep pool reactors», *Desalination*, 1999, 123: p. 25-31
28. Tzen E., Water Desalination Using Renewable Energy Sources. In: Promotion of Renewable Energies for Water Production through Desalination (ProDes) Project, Agricultural University of Athens (AUA) Workshop, 29 May 2010, Athens (In Hellenic)
29. Tzen E., «Renewable Energy sources for desalination», in Workshop on Desalination Units Powered by RES.2006, Athens
30. Tzen E., R. Morris, «Renewable energy sources for desalination. Solar Energy», 2003, 75: 375-379
31. Wilf M., Fundamentals of RO–NF technology, International Conference on Desalination Costing, Limassol, 2004.)
32. World Meteorological Organisation (WMO), Geneva, 1996
33. Ulrich Ebersperger and Phyllis Isley, Review of the Current State of Desalination. Water Policy Working Paper 2005-008, 2005
34. Wade K., et al., «Brackish groundwater treatment by Nanofiltration reverse osmosis and elektrodialysis in Tunisia: performance and cost comparison», *Desalination*, 2007, 207: p. 95-106
35. Vanhems C. (1998), Critical Review of Desalination Concentrate Disposal to Surface Water, U.S.A. Swanson, J. C. Mueller, C and Barrett, S. (2006). Analysis of Intake and Discharge Salinity Regimes for a Desalination Plant. Applied Science Associates. September 2006, pp 1-5

36. Voivontas D., et al., «Water supply modeling towards sustainable environmental management in small islands: case of Paros, Greece», *Desalination*, 2003, 156: p. 127-135
37. Voutchkov N., SWRO pre-treatment systems: Choosing between conventional and membrane filtration. *Filtration & Separation* 46(1) (2009) 5-8
38. Yfantis N. D. et al., Design and Operation of a Reverse Osmosis Desalination Plant of high efficiency and friendly to the environment, *Proceedings of 2nd Conference on Small Decentralized water wastewater treatment plants*, Skiathos 2-4 may 2008
39. Younos T., «Invironmental Issues of Desalination», *Universities Council on Water Resources, Journal of Contemporary Water Research and Education*, Issue 132, Pages 11-18, 2005
40. Zotalis K., Energy and Cost Evaluation of desalination systems and their practice in Greece. NTUA, School of Rural and Surveing Engineering, Master Thesis, 2012 (in Hellenic)
41. Zotalis K., Energy and Cost Evaluation of desalination systems and their practice in Greece. NTUA, School of Rur33. V. G. Gude, N. Nirmalakhandan and S. Deng, Renewable and sustainable approaches for desalination. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(9) (2010) 2641-2654
42. Zotalis K., Dialynas E. G., Mamassis N., Angelakis A.N., «Desalination Technologies: Hellenic Experience», Department of Water Resources and Environmental Engineering, NTUA, 2013

13.2. Ελληνική Βιβλιογραφία

43. Αλεξάκης Α., «Αφαλάτωση», Εκδόσεις Μιχ. Σιδέρη 1993
44. Αυλωνίτης Σ., «Εισαγωγή στην Τεχνολογία Νερού και Αφαλάτωσης», Εκδόσεις Ίων 2006
45. Γεωργίου Μ., «Οι Μονάδες Αφαλάτωσης στην Κύπρο, η Σημασία τους στη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων και οι Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις», Διπλωματική Εργασία, Χαρακόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας, Αθήνα 2008
46. Γκατσος Β, Κυπριακή Δημοκρατία 2010, Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Βόλου 2009 (στην μελετη αφαλατωσης στις λύσεις των περιβαλλοντικών επιπτώσεων), 2009
47. Δαγκαλίδης Α., «Αφαλάτωση Νερού», Κλαδική Μελέτη 12, Τράπεζα Πειραιώς, Μονάδα Οικονομικής Ανάλυσης και Αγορών, Αθήνα 2009
48. Δεληγιάννη Ε., Μπελεσιώτης Β., «Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης», Αθήνα 1995
49. Εσαάμ Σ.Μ., «Διερεύνηση Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για Αφαλάτωση Θαλασσινού Νερού με Αντίστροφη Ώσμωση», Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Αθήνα 2009
50. Ευθυμιόπουλος Η., Κάραλης Γ., Εμμανουηλίδης Γ., «Στρατηγική Μελέτη για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, την Προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και τη Μείωση των Εκπομπών στα νησιά του Αιγαίου», Ενεργειακό Γραφείο Ίου- Αιγαίου, 2008
51. Κανάκης Ν., Σαρατσής Α., Ματθαίος Β., «Τεχνικά Εμπορικά και Κοστολογικά Χαρακτηριστικά της Αφαλάτωσης στην Ελλάδα», Κοζάνη 2010

52. Καραχάλιου Π., «Τεχνολογίες Αφαλάτωσης και Προοπτικές Εφαρμογής στον Ελλαδικό Χώρο», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διατμηματικό Τμήμα Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Αθήνα 2010
53. Καραγιάννης Ι., «Οικονομική και Περιβαλλοντική Αξιολόγηση Συστημάτων Αφαλάτωσης Νερού με Χρήση Ανανεώσιμων και μη Πηγών Ενέργειας. Εναλλακτικές Στρατηγικές στον Ελληνικό Νησιωτικό Χώρο», Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας και Ανάπτυξης, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Οργάνωση και Διοίκηση Επιχειρήσεων Τροφίμων και Γεωργίας, Συνεργαζόμενο Τμήμα: Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Αθήνα 2010
54. Κασάπη Κ.Α., «Τεχνικές Αφαλάτωσης με τη Χρήση ΑΠΕ – Εφαρμογή στη Ρόδο», Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Τμημάτων Βιολογίας, Γεωλογίας, Πολιτικών Μηχανικών, Οικολογική Ποιότητα και Διαχείριση Υδάτων σε Επίπεδο Λεκάνης Απορροής, Θεσσαλονίκη 2009
55. Κατεΐνα Μ., «Μέθοδοι Ηλιακής Αφαλάτωσης και Εφαρμογής στην περιοχή της Νάξου», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, Αθήνα 2008
56. Κουκουτσάκης Π., «Επίδραση Φορτίου Αφαλάτωσης σε Νησιωτικό Σύστημα Ενέργειας», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Αθήνα 2007
57. Κωστάκη Α., «Αφαλάτωση με Χρήση Ηλιακής και Αιολικής Ενέργειας», Διπλωματική Εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα 2010
58. Λίλας Θ., Νικητάκος Ν., «Πλωτή Μονάδα Αφαλάτωσης με Χρήση ΑΠΕ», Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2011
59. Μιχαλακόπουλος Α., «Ενεργειακή Προσομοίωση και Τεχνοοικονομική Μελέτη Υβριδικού Υδροηλεκτρικού Συστήματος Αφαλάτωσης και Παραγωγής Υδρογόνου», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Ρευστών, Αθήνα 2010
60. Μουτάφης Π., «Κάλυψη της Ζήτησης Ενέργειας και Νερού με Αιολική Ενέργεια και Αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Ρευστών, Αθήνα 2008
61. Νικολάου Κ., «Αντίστροφη Όσμωση με Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, Αθήνα 2012
62. Ντάνου Π., Πανούση Ε., Νυκτάρη Ε., Λαμπρόπουλος Π., Κατσιγιάννης Α., «Διαχείριση Υδατικών Οικοσυστημάτων και Βιώσιμη Ανάπτυξη», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2010
63. Παλιεράκης Γ., «Αφαλάτωση με Χρήση Ηλιακών Συλλεκτών», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα 2007
64. Παπαδάκης Κ., «Αφαλάτωση: Η Θάλασσα στην Υψηλότητα του Καταναλωτή», ΕΥΔΑΠ, Εταιρία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας, Αθήνα 2012

65. Πιτσαρή Σ., «Βιβλιογραφική ανασκόπηση και αξιολόγηση μεθόδων- τεχνικών επεξεργασίας & ελαχιστοποίησης της άλμης, κοινών πρακτικών διάθεσης σε ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο», Χημικός Μηχανικός, Απρίλιος 2011
66. Ρελάκης Γ., Περάκης Χ. «Αφαλάτωση με Χρήση Αιολικής Ενέργειας στη Μήλο», Όμιλος Εταιριών ΙΤΑ, Ένατο Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής, Κύπρος 2009
67. Σαμακίδης Δ., «Αυτόνομο Σύστημα Αφαλάτωσης με Χρήση ΑΠΕ: Διαστασιολόγηση και Στρατηγικές Ελέγχου», Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ενέργειας, Θεσσαλονίκη 2009
68. Σιγουράς Μαρκοζάννης, «Σύστημα Αφαλάτωσης Νερού στη Σαντορίνη», Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τομέας Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας, Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Υδατικών και Εδαφικών Πόρων, Χανιά 2013
69. Σολδάτος Φ., «Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Μονάδας Αφαλάτωσης στην Ακτή Κολύμβησης Πόρτο Κατσίκι», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού, Αθήνα 2011
70. Κυπριακή Δημοκρατία, Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, «Στρατηγική Περιβαλλοντική Μελέτη από τα Σχέδια Αφαλατώσεων», , Λευκωσία, Encveco ΑΕ, IACO Ltd 2010
71. Συσκάκη Κ., «Τεχνολογίες Αφαλάτωσης Νερού, Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από την Εγκατάσταση και Λειτουργία Μονάδων Αφαλάτωσης με Αντίστροφη Ώσμωση», Διπλωματική Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα Μηχανολογίας, Ηράκλειο 2013
72. Τουμάσης Τ., «Επιλογή Συστήματος Αφαλάτωσης για την Παραγωγή Πόσιμου Νερού στην Κύπρο. Μία Ενεργειακή, Περιβαλλοντική και Οικονομική Ανάλυση», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων, Ευρωπαϊκό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στη Διοίκηση Επιχειρήσεων- Ολική Ποιότητα (MBA-TQM), Πειραιάς 2005
73. Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής, Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής και Νησιωτικής Πολιτικής, Διεύθυνση Γενικών Υποθέσεων Διεθνών και Ευρωπαϊκών Θεμάτων, Τμήμα Γενικών Υποθέσεων

13.3. Διαδίκτυο

74. <http://www.water-technology.net/projects/-ras-al-khair-desalination-plant/>, 20/11/2013
75. <http://www.technicalreviewmiddleeast.com/power-a-water/water-a-environment/saudi-arabian-desalination-plant-nears-completion> , 20/11/2013
76. <http://www.water-technology.net/projects/barcelonadesalination/> 25/11/2013
77. <http://www.localit.gr/archives/8752> , 5/12/2013
78. <http://www.elint.org.gr/annual-meeting/2011/schedule/scientific-subjects/83-2012-07-22-20-20-34.html> , 27/11/2013
79. <http://www.hellaskps.gr/bestpractices/proj.asp?pld=77> , 30/11/2013

80. <http://www.seetha.gr/arthra-tes-seetha/arthra-tou-seetha/anaptuxe-ananeosimon-pegon-energeias-sto-thalassio-periballon.html> , 26/11/2013
81. <http://www.greenagenda.gr/?p=2604> , 27/11/2013
82. http://www.hellaskps.gr/bestpractices/media/EP_Antagonistikotita/PLOTI_dimosieyima_BHMAG_AZINO140708.pdf , 25/11/2013
83. <http://tvxs.gr/news/user-post/elleipsi-neroy-gia-2-dis-anthropoys-sto-ameso-mello> , 16/10/2013
84. <http://7gym-laris.lar.sch.gr/ergasies/ydor%20zoh.htm> , 16/10/2013
85. http://www.hitachi.com/environment/showcase/solution/industrial/desalination_plant.html , 26/10/2013
86. <http://www.sidem-desalination.com/en/Process/MSF/> , 25/10/2013
87. <http://www.sasakura.co.jp/e/products/water/109.html> , 25/10/2013
88. <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/water-sources/hardware/surface-water-sources/desalination> , 26/10/2013
89. <http://www.dialanro.com/what-is-reverse-osmosis/> , 26/10/2013
90. <http://esppwaterproducts.com/about-reverse-osmosis.htm> , 2/11/2013
91. <http://www.nzdl.org/gsdImod?e=d-00000-00---off-0fnl2.2--00-0---0-10-0---0---0direct-10---4-----0-1l--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0--4---0-0-11-10-OutfZz-8-00&cl=CL3.31&d=HASH3d2b712eafacff9c7fe5f7.4.4.2.1>1> , 3/11/2013
92. <http://www.b2green.gr/main.php?plD=17&nID=1566&lang=el> , 18/11/2013
93. http://users.sch.gr/kpara/ape2009_10/index.html , 27/11/2013
94. http://purewaterlab.org/pwl_net/labs/D2_Process_Units/D2L1_RO/Membranes.html , 30/10/2013
95. <http://www.roplant.org/> , 25/10/2013
96. <http://www.dafni.net.gr/gr/projects/milos-desalination.pdf> , 24/10/2013
97. <http://www.waterworld.com/articles/2011/12/doosan-ships-evaporator-for-saudi-desal-plant.html> , 21/10/2013
98. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%AE%CE%BB%CE%BF%CF%82> , 5/12/2013
99. <http://www.env-edu.gr/Chapters.aspx?id=101> , 9/10/2013
100. http://www.solarmarket.gr/start/index.php?option=com_content&view=article&id=208:2010-10-12-18-55-20&catid=3:eoliki-energia&Itemid=56 , 18/11/2013
101. <http://www.aeonline.ae/french-water-companies-keen-on-engaging-with-middle-east-2s-decision-makers-44684/news.html> , 20/11/2013
102. <http://www.kathimerini.gr/461578/article/epikairothta/ellada/me-vhma-shmeiwton-h-afalatwsh> , 6/12/2013
103. <http://news.pathfinder.gr/eco-science/technologein/566974.html> , 25/11/2013
104. <http://periplanomeno.wordpress.com/author/periplanomeno/page/199/> , 27/11/2013