

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη και πειραματικός έλεγχος επίδρασης της
αλατότητας στην κατανάλωση μονάδας αντίστροφης
ώσμωσης**



ΠΟΣΠΟΤΙΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ 2018

Ευχαριστίες

Αρχικά, με το πέρας της πτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. καθηγητή Καλδέλλη Ιωάννη, ο οποίος υπήρξε ο επιβλέπων καθηγητής της εργασίας αυτής, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο, όχι μόνο από την θεωρητική πλευρά, αλλά και από την πειραματική. Επίσης, είμαι ευγνώμων για τις συμβουλές και υποδείξεις αυτού, ώστε το αποτέλεσμα να κριθεί επιτυχές.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. καθηγητή Μέντζο Μιχαήλ, για την καθοριστική καθοδήγησή του κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, καθιστώντας με ικανό να φέρω σε πέρας το πειραματικό μέρος της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. καθηγητή Ζαφειράκη Δημήτριο για τη συμβολή του στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας, με την συνεχή παροχή βοήθειας όποτε υπήρξαν δυσκολίες.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ. Λιάρο Στέλιο και κ. Χριστόπουλο Κώστα για την σημαντική βοήθεια του κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	2
Περιεχόμενα	3
Περίληψη	5
Abstract	6
1. Το νερό στη Γη	7
1.1. Γενικά στοιχεία για το νερό	7
1.2. Η διαχείριση του γλυκού νερού	10
1.2.1. Η κατανάλωση νερού ανά τον κόσμο	11
1.2.2. Η κατανάλωση νερού στην Ελλάδα	14
2. Το πρόβλημα της λειψυδρίας	15
2.1. Το πρόβλημα της λειψυδρίας παγκοσμίως	15
2.2. Το πρόβλημα της λειψυδρίας στην Ελλάδα	16
2.2.1. Γενικά	16
2.2.2. Η λειψυδρία στο Αιγαίο	17
2.2.2.1. Γενικά	17
2.2.2.2. Η λειψυδρία στις Κυκλάδες	20
2.2.2.3. Η λειψυδρία στα Δωδεκάνησα	22
2.2.2.4. Η οικονομική εικόνα του προβλήματος	24
3. Αφαλάτωση	27
3.1. Εισαγωγή	27
3.2. Τεχνολογίες αφαλάτωσης	29
3.3. Τα μεγαλύτερα εργοστάσια αφαλάτωσης στην Ελλάδα και τον κόσμο	40
3.3.1. Μονάδες αφαλάτωσης στον Ελλαδικό χώρο	40
3.3.2. Σημαντικότερες μονάδες αφαλάτωσης στον κόσμο	43
4. Περιγραφή συμβατικών συστημάτων αντίστροφης ώσμωσης	46
4.1. Εισαγωγή	46
4.2. Περιγραφή συμβατικών συστημάτων αντίστροφης ώσμωσης	46
4.2.1. Σύστημα προεπεξεργασίας νερού	47
4.2.2. Κυρίως σύστημα αντίστροφης ώσμωσης	48
4.2.3. Σύστημα μετεπεξεργασίας προϊόντος	49
4.3. Παράγοντες που έχουν αντίκτυπο στη λειτουργία των μεμβρανών	50
5. Πειραματική μονάδα αντίστροφης ώσμωσης ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.	51
5.1. Παρουσίαση μονάδας	51
5.1.1. Κεντρική μονάδα	52
5.1.2. Δεξαμενή ακάθαρτου ύδατος	60
5.1.3. Δεξαμενή παραγωγής	60
5.1.4. Δεξαμενές αποχλωρίωσης, αντικαθαλάτωσης και προχλωρίωσης	61
5.1.5. Δευτερεύουσα αντλία ή αντλία τροφοδοσίας	63
5.1.6. Φίλτρα άμμου, ενεργού άνθρακα και φίλτρα 5 και 20 μm	64
5.2. Λειτουργία μονάδας	65
5.2.1. Εκκίνηση λειτουργίας μονάδας	65
5.2.2. Τερματισμός λειτουργίας μονάδας	66
5.3. Πειραματική διαδικασία	66

5.3.1.	Προετοιμασία της πειραματικής διαδικασίας	66
5.3.2.	Διαδικασία λήψης μετρήσεων	67
5.3.3.	Επεξεργασία μετρήσεων	68
5.3.4.	Παρουσίαση αποτελεσμάτων	77
5.4.	Παράθεση μετρήσεων βιβλιογραφίας για σύγκριση αποτελεσμάτων	78
5.4.1.	Σύγκριση μετρήσεων της εργασίας του Δημητρίου, Ε.	78
5.4.1.1.	Συνοπτική περιγραφή της πειραματικής μονάδας	78
5.4.1.2.	Παράθεση αποτελεσμάτων	79
5.4.1.3.	Σύγκριση αποτελεσμάτων	80
5.4.2.	Σύγκριση μετρήσεων του άρθρου των Mazlan, Peshev και Livingston	81
5.4.2.1.	Παράθεση αποτελεσμάτων	81
5.4.2.2.	Σύγκριση αποτελεσμάτων	82
6.	Συμπεράσματα	83
6.1.	Λειτουργία μονάδος	83
6.1.1.	Αλατότητα ακάθαρτου ύδατος	83
6.1.2.	Πίεση λειτουργίας	84
6.2.	Βελτίωση της αποδοτικότητας της μονάδας ως προς την ενεργειακή κατανάλωση	85
7.	Βιβλιογραφία – Πηγές	86

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία προσεγγίζεται το θέμα της αφαλάτωσης από τη θεωρητική και πειραματική πλευρά. Στο θεωρητικό μέρος παρουσιάζονται εκτεταμένα στοιχεία για την κατανάλωση νερού στην Ελλάδα και παγκοσμίως, το πρόβλημα της λειψυδρίας που είναι υπαρκτό παγκοσμίως και την ύπαρξη της αφαλάτωσης έτσι ώστε ο αναγνώστης να κατανοήσει την σημασία της. Στο πειραματικό μέρος περιγράφεται και αναλύεται η πειραματική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε στον χώρο του Εργαστηρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ πάνω στην μονάδα αντίστροφης ώσμωσης.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο κύκλος του νερού και η σπουδαιότητα του για τον άνθρωπο και αναλύεται η κατανάλωση υδάτων παγκοσμίως καθώς και στην Ελλάδα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο πρόβλημα της λειψυδρίας, το οποίο διογκώνεται διαρκώς και αποτελεί παγκόσμιο φαινόμενο. Εγχώρια, το πρόβλημα της λειψυδρίας συναντάται έντονα στα νησιά του Αιγαίου, για τα οποία οι παρούσες συνθήκες εξετάζονται λεπτομερώς.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η τεχνολογία της αφαλάτωσης στη ροή της ιστορίας και αναλύονται οι μέθοδοι αφαλάτωσης που βρίσκουν εφαρμογή στην σύγχρονη εποχή. Επιπροσθέτως αναφέρονται τα μεγαλύτερα εργοστάσια αφαλάτωσης στην Ελλάδα και παγκοσμίως.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται, λεπτομερώς, το συμβατικό σύστημα μονάδας αντίστροφης ώσμωσης και οι παράμετροι που μπορεί να επηρεάσουν την λειτουργία των μεμβρανών μιας τέτοιας μονάδας.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί το πειραματικό μέρος της εργασίας. Περιγράφεται η μονάδα αντίστροφης ώσμωσης του Εργαστηρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας, η πειραματική διαδικασία και η εξαγωγή αποτελεσμάτων. Σκοπός του πειράματος είναι παρακολούθηση της συμπεριφοράς της μονάδας ως προς την κατανάλωση ισχύος και παραγωγής καθαρού νερού σε συνάρτηση με την πίεση λειτουργίας και την αλατότητα του ακάθαρτου ύδατος. Επίσης παρατίθενται μετρήσεις μέσα από την βιβλιογραφία, ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας.

Το έκτο κεφάλαιο αποτελεί την κατακλείδα της εργασίας, και αφορά τα συμπεράσματα που καταλήξαμε.

Στο έβδομο κεφάλαιο βρίσκεται η βιβλιογραφία.

Abstract

On the present degree paper the topic of desalination is approached from theoretical and experimental view. On the theoretical part, data are presented about water consumption in Greece and worldwide, the problem of water shortage that is felt throughout the Earth and the existence of desalination in order to the reader understanding its significance. On the experimental part, the experiment on the Reverse Osmosis unit, that took place at the Laboratory of Soft Energy Applications and Environmental Protection of Piraeus University of Applied Sciences, is described and analyzed.

On the first chapter, the water circulation is presented and its significance to human and the water consumption in Greece and worldwide is analyzed.

The second chapter refers to the water shortage problem that is increasing continuously and is a worldwide phenomenon. In Greece, water shortage problem is more obvious in the islands of the Aegean Sea, for which the existing conditions are examined thoroughly.

On the third chapter, technology of desalination as seen throughout history is presented and the modern time methods of desalination are analyzed. In addition, the largest desalination plants existing in Greece and worldwide are referred.

On the fourth chapter, the conventional system of a reverse osmosis unit is described in detail and the parameters that may affect the functionality of the membranes of such a unit are also mentioned.

The fifth chapter constitutes the experimental part of the present paper. The reverse osmosis unit of Laboratory of Soft Energy Applications and Environmental Protection of Piraeus University of Applied Sciences, the experimental procedure and the result extraction are presented. The objective of the experiment is to examine on how the operation of the unit towards the power consumption and clean water production is affected by the water high pressure and conductivity. In addition, the results of the present paper are compared to results of existing papers in bibliography.

The sixth chapter is the closure of the paper, and consists of the conclusions been resulted.

In the seventh chapter the bibliography used is mentioned.

1. Το νερό στην Γη

1.1. Γενικά στοιχεία για το νερό

Το νερό είναι ένα ιδιαίτερο στοιχείο, το οποίο αποτελεί πηγή ζωής για τον πλανήτη και τους κατοίκους του. Είναι απαραίτητο σε όλους τους οργανισμούς καθώς αποτελούνται κυρίως από νερό. Οι άνθρωποι και τα ζώα έχουν στο σώμα τους 55% έως 80 % νερό, ενώ τα κύτταρα τους περιέχουν έως και 90%. Δίχως νερό είναι αδύνατον να υπάρξει ζωή.

Το νερό συναντάται στις τρεις κοινές καταστάσεις της ύλης στη Γη. Την στερεή ως πάγος ή χιόνι, την υγρή, και την αέρια ως υδρατμοί.

Ο λεγόμενος υδρολογικός κύκλος, ο οποίος «ευθύνεται» για την ανακυκλοφορία των υδάτων στον πλανήτη (Εικόνα 1), αποτελείται από την εξάτμιση του νερού η οποία δημιουργεί υδρατμούς που μεταφέρονται ανάλογα από τα ρεύματα αέρα, συμπυκνώνονται και κατακρημνίζονται με την μορφή βροχής, χιονιού, χαλαζιού και στην συνέχεια επιστρέφουν στους υδροφόρους ορίζοντες μέσω της αποστράγγισης.



Εικόνα 1: Ο υδρολογικός κύκλος [27]

Η ποσότητα νερού που υπολογίζεται ότι υπάρχει στην Γη είναι περί τα $1,4 \cdot 10^9$ km³ και καταλαμβάνει τα επτά δέκατα της επιφάνειας της. Ποσότητα εκ της οποίας μόλις το 2,5 % είναι γλυκό νερό (πάγοι, υγρασία εδάφους, λίμνες, ποτάμια), ενώ το υπόλοιπο 97,5 % είναι θαλασσινό (ωκεανοί, θάλασσες, λιμνοθάλασσες).

Είναι προφανές ότι και οι δύο μορφές δεν είναι εύκολα αξιοποιήσιμες για τον άνθρωπο. Ένα ποσοστό της υπολειπόμενης αυτής ποσότητας, περίπου 0,5%, θεωρείται επαρκές για να στηρίξει την ζωή στην Γη. Δυστυχώς όμως το καθαρό νερό δεν είναι ισοδύναμα κατανεμημένο σε όλο τον πλανήτη, με αποτέλεσμα να μην είναι διαθέσιμο σε επαρκείς ποσότητες όποτε ή όπου το χρειαζόμαστε.

Ακόμα και η μέση τιμή βροχοπτώσεων, η οποία ανέρχεται στα $2 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$ όπως παρατηρήθηκε σε παγκόσμια κλίμακα, είναι φτωχά και άνισα κατανεμημένη σε όλη την επιφάνεια της Γης.

Από την Εικόνα 1 στην οποία απεικονίζεται ο υδρολογικός κύκλος σχηματίζουμε μια επαρκή ιδέα για τον κύκλο, ή αλλιώς για την φυσική διαδικασία που ακολουθεί το νερό.

Μέσω της ηλιακής ενέργειας, η επιφάνεια της γης απορροφά αρκετή θερμική ενέργεια έτσι ώστε να δημιουργεί διαβαθμίσεις στην θερμοκρασία που έχουν ως αποτέλεσμα την εξάτμιση νερού από τις θάλασσες και τους ωκεανούς. Οι υδρατμοί που παράγονται, συγκεντρώνονται στην ατμόσφαιρα όπου σχηματίζουν σύννεφα τα οποία αποτελούνται από μικροσκοπικά σταγονίδια νερού.

Έπειτα οι εναποθέσεις αυτές του νερού μέσω των ανέμων μετακινούνται και όταν συναντήσουν τις κατάλληλες συνθήκες δημιουργείται βροχόπτωση. Όπως μας περιγράφει η Λιάτσου Χ. [16], η δημιουργία βροχοπτώσεων εξαρτάται κυρίως από την κατεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου. Έτσι, για τον λόγο αυτό, έχουν κατασκευαστεί μοντέλα πρόβλεψης του ανάλογα με την περιοχή και της περιοδικές μεταβολές της θερμοκρασίας. Επιπλέον, οι γεωγραφικές συνθήκες, όπως η πιθανή ύπαρξη βουνού ή πεδιάδας, αλλά και οι τοπικές συνθήκες, όπως η υγρασία και η θερμοκρασία επηρεάζουν έντονα τον σχηματισμό των βροχοπτώσεων σε μια περιοχή. Γνωρίζοντας, λοιπόν, τον ανεμολογικό χάρτη, τον γεωγραφικό σχηματισμό αλλά και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες μπορούμε να προβλέψουμε τις ζώνες παραγωγής υψηλών βροχοπτώσεων, τις εποχές των μουσώνων και τέλος τις περιοχές πολύ χαμηλών βροχοπτώσεων.

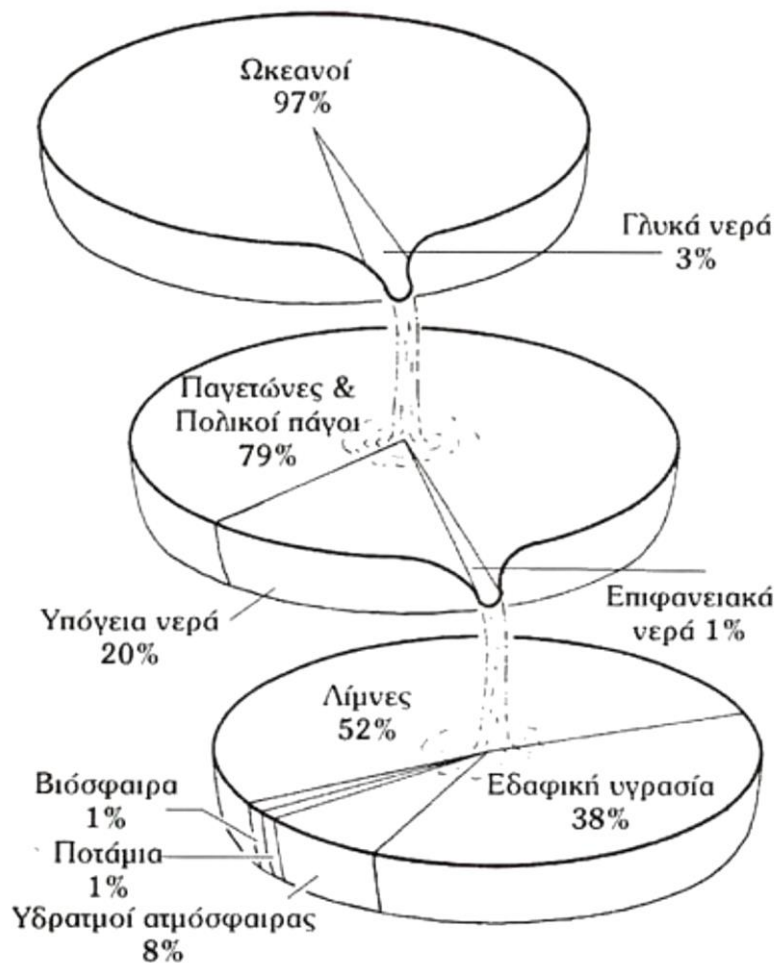
Το νερό της βροχής δημιουργεί λίμνες, ποτάμια, υπόγεια αποθέματα νερού καθώς και βαθιά υδροφόρα στρώματα, τα οποία μπορεί να είναι είτε μόνιμα είτε παροδικά. Για παράδειγμα, η απότομη αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας κατά την εαρινή περίοδο μπορεί να προκαλέσει το λιώσιμο μεγάλου ποσοστού των πάγων σε αρκετά μικρό χρονικό διάστημα, όπως έχει ήδη καταγραφεί σε πολλές περιοχές της Ευρώπης, της Ρωσίας και της Αμερικής. Επιπροσθέτως, μια ακόμα αιτία συγκέντρωσης μεγάλης ποσότητας νερού σε μικρό χρονικό διάστημα είναι οι μουσώνες, όπως παρατηρούνται έντονα στην Ινδία. Τέτοιου είδους έντονες βροχοπτώσεις είναι υπεύθυνες για πολλές καταστροφές περιοχών ή ακόμα και θανάτους πολλών ανθρώπων. Για πολλές περιοχές ανά τον πλανήτη, τα μόνιμα ποτάμια που δημιουργούνται αποτελούν αρτηρίες ζωής καθώς μεταφέρουν το νερό από τις περιοχές των έντονων βροχοπτώσεων σε περιοχές πιο ξηρού κλίματος. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα για την περίπτωση αυτή αποτελεί ο ποταμός Νείλος, ο οποίος πηγάζει από τα ψηλά βουνά της Αιθιοπίας και της Κένυας και διασχίζει πάνω από 2000 km γης. Μέσα από τους αιώνες, έδωσε ζωή στην κοιλάδα του Νείλου, ενώ αποτέλεσε σημείο αναφοράς για την ανάπτυξη του Αιγυπτιακού πολιτισμού.

Ένα πολύ μεγάλο τμήμα του νερού της βροχής καταλήγει ως υγρασία του εδάφους υπό την μορφή υπογείων στρωμάτων. Συγκεκριμένα τα βαθιά

υδροφόρα στρώματα είναι κατάλληλες πηγές για την παραγωγή πόσιμου νερού, καθώς λόγω της περιορισμένης εκμετάλλευσής τους εξασφαλίζεται φυσικά ο εμπλουτισμός τους από συστατικά. Επιπλέον, μέσω φυσικών διεργασιών, διάφοροι ορυκτοί σχηματισμοί προσδίδουν στο νερό τα απαραίτητα μεταλλικά συστατικά και διατηρούν το pH του σε αποδεκτά επίπεδα. [16]

Πηγές	Όγκος (km ³)	Ποσοστό Συνολικού Νερού (%)	Ποσοστό Φρέσκου Νερού (%)
Ατμοσφαιρικό Νερό	12900	0,001	0,01
Πολικοί Πάγοι	24064000	1,72	68,7
Παγετώνες	300000	0,021	0,86
Ποτάμια	2120	0,0002	0,006
Λίμνες	176400	0,013	0,26
Έλη	11470	0,0008	0,03
Υγρασία Εδάφους	16500	0,0012	0,05
Υδροφόροι Ορίζοντες	10530000	0,75	30,1
Λιθόσφαιρα	23400000	1,68	
Ωκεανοί	1338000000	95,81	
Σύνολο	1396513390		

Πίνακας 1.1: Κατανομή Υδάτινων Πόρων στον Πλανήτη [16]



Εικόνα 2: Ποιοτικό σχήμα κατανομής υδατινών πόρων στον πλανήτη [28]

1.2. Η διαχείριση του γλυκού νερού

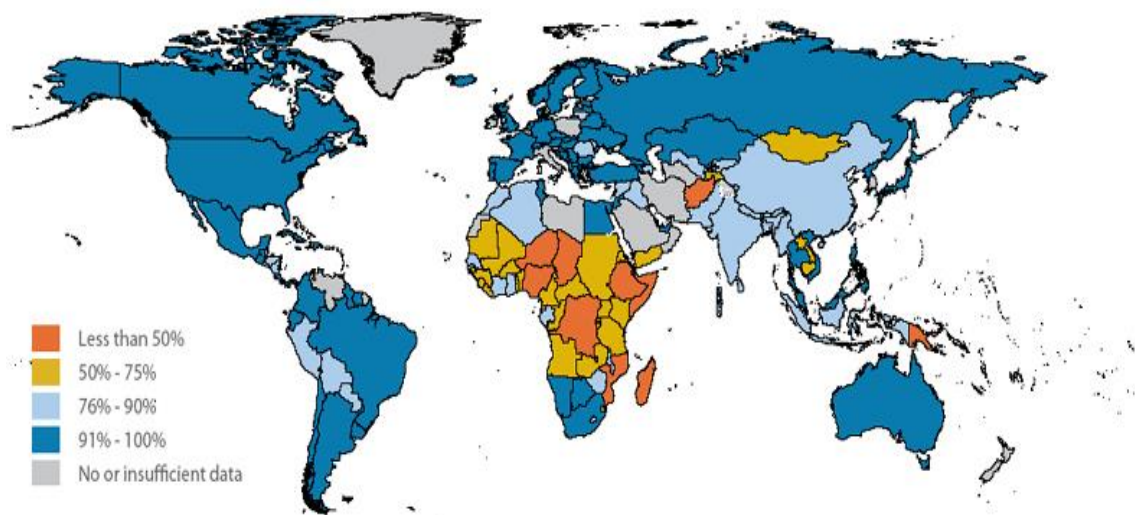
Στη σύγχρονη εποχή, οι ρυθμοί ανάπτυξης σε όλα τα επίπεδα έχουν οδηγήσει τον δεσμό της με τη βιόσφαιρα σε ένα κρίσιμο σημείο. Οι συνθήκες που επικρατούν σήμερα, με την υπερκατανάλωση του νερού, προκαλούν την εξάντληση των υδατικών πόρων, γεγονός που δεν ίσχυε τον προηγούμενο αιώνα.

Η προαναφερθείσα λοιπόν ανάπτυξη, η τεράστια αύξηση του πληθυσμού και η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας αύξησαν δραματικά την κατανάλωση του νερού. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός πως με την πάροδο του προηγούμενου αιώνα παρατηρήθηκε τριπλασιασμός του πληθυσμού του πλανήτη και η κατανάλωση νερού παρουσίασε εξαπλάσια αύξηση. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) και την UNICEF, 1,1 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε πόσιμο νερό, η διάρροια που προκαλείται από μολυσμένα ύδατα οδηγεί στον θάνατο 1,8 εκατομμύρια ανθρώπους

ετησίως και επιπλέον, 3900 παιδιά χάνουν τη ζωή τους σε καθημερινή βάση λόγω ασθενειών οφειλόμενων σε μολυσμένα ύδατα.

Τα παραπάνω προβλήματα οφείλονται στην άνιση κατανομή των φυσικών υδατικών πόρων και βροχοπτώσεων του πλανήτη. Θύμα της άνισης αυτής κατανομής είναι κυρίως η υποσαχάρια Αφρική, της οποίας ο μέσος κάτοικος έχει πρόσβαση σε 10 – 20 λίτρα καθαρού νερού καθημερινά, σε αντίθεση με του κατοίκους της Βόρειας Αμερικής και Ιαπωνίας όπου η καθημερινή κατανάλωση αγγίζει τα 350 λίτρα, ενώ η ημερήσια ανάγκη του ανθρώπου για καθαρό νερό υπολογίζεται στα 20 – 50 λίτρα ανά ημέρα.

Η Εικόνα 3 αποτελεί ένα παγκόσμιο χάρτη της Γης και παρουσιάζει με χρωματικές διαφορές το ποσοστό κάλυψης των αναγκών σε πόσιμο νερό σε κάθε χώρα. Όπως παρατηρήθηκε νωρίτερα, η υποσαχάρια Αφρική εμφανίζει τις μεγαλύτερες ελλείψεις σε πόσιμο νερό μαζί με μερικές χώρες της Ασίας. Είναι αξιοπρόσεκτο το γεγονός πως σε κάποιες χώρες της η κάλυψη των αναγκών σε πόσιμο νερό είναι κάτω του 50%.



Εικόνα 3: Το επίπεδο κάλυψης των αναγκών σε πόσιμο νερό των χωρών του πλανήτη – 2006 [29]

1.2.1. Η κατανάλωση νερού ανά τον κόσμο

Οι χρήσεις που προορίζεται το νερό, σε όλο τον κόσμο, είναι ουσιαστικά τρεις.

- Νερό για άρδευση (γεωργία)
- Νερό για βιομηχανική χρήση (εργοστάσια κτλ)
- Νερό για οικιακή χρήση

Την παρούσα περίοδο, υπολογίζεται πως το 70% της κατανάλωσης του νερού προορίζεται για την γεωργία, το 22% για βιομηχανική χρήση και το υπόλοιπο 8% καταναλώνεται για οικιακή χρήση. Τα προαναφερθέντα ποσοστά, βέβαια, αποτελούν μέσους υπολογισμούς καθώς οι καταναλώσεις διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτές τις καταναλώσεις

αφορούν τον προσανατολισμό και το μέγεθος της ανάπτυξης – οικονομίας της κάθε χώρας καθώς και το κλίμα το οποίο επικρατεί σε αυτές.

Συγκεκριμένα, στις χώρες που η οικονομία τους βασίζεται στην γεωργία, το μεγαλύτερο ποσοστό καταναλώνεται για άρδευση των καλλιεργειών. Από την άλλη πλευρά στις χώρες με ανεπτυγμένη βιομηχανία, το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού καταναλώνεται σε βιομηχανική χρήση.

Όσον αφορά την οικιακή χρήση του νερού, παρατηρείται πως εξαρτάται άμεσα από την ανάπτυξη της εκάστοτε χώρας. Όσο πιο ανεπτυγμένη μια χώρα, τόσο ανώτερο το βιοτικό της επίπεδο και το ανώτερο βιοτικό επίπεδο οδηγεί σε περισσότερη κατανάλωση νερού για οικιακή χρήση. Παρ' όλα αυτά, όμως υπάρχουν και εξαιρέσεις. Για παράδειγμα, όπως παρατηρούμε από τους υπολογισμούς του οργανισμού Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), οι οποίοι παρουσιάζονται στον πίνακα 1.2, οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής καταναλώνουν περίπου 210 m³ ανά πολίτη ετησίως για οικιακή χρήση, η Γερμανία καταναλώνει περίπου 70 m³ ετησίως ανά πολίτη, η Ελλάδα καταναλώνει περίπου 115 m³ ανά πολίτη, όμως το Ηνωμένο Βασίλειο καταναλώνει μόνο 35 m³ κατά μέσο όρο ανά πολίτη για οικιακή χρήση.

Στον παρακάτω Πίνακα 1.2 παρουσιάζεται ο πληθυσμός διαφόρων χωρών, η συνολική κατανάλωση νερού σε αυτές κατά το έτος 2000, η κατανάλωση νερού κατά άτομο και τα ποσοστά κατανάλωσης νερού σε κάθε τομέα χρήσης.

Χώρα	Πληθυσμός*	Συνολική κατανάλωση νερού (10 ⁶ m ³)	Κατανάλωση ανά άτομο (m ³ / άτομο)	Ποσοστό οικιακής χρήσης (%)	Ποσοστό γεωργικής χρήσης (%)	Ποσοστό βιομηχανικής χρήσης (%)***
Ελλάδα	11.048.000	7760	702	16,4	80,5**	3,22
Γερμανία	82.507.000	47000	570	12,3	19,8	67,9
Ηνωμένο Βασίλειο	59.305.000	9540	161	21,7	2,94	75,4
Ιταλία	57.880.000	44400	767	18,2	45,1	36,7
Πολωνία	38.612.000	16200	420	13	8,33	78,7
Κένυα	32.040.000	1580	49	29,7	63,9	6,33
Καμερούν	15.455.000	990	64	18,2	73,7	8,08
Ινδία	1.054.373.000	646000	613	8,09	86,5	5,45
Ιράν	67.587.000	88500	1.309	5,08	93,8	1,13
Ιαπωνία	127.525.000	88400	693	19,7	62,5	17,9
Παραγουάη	5.740.000	490	85	20,4	71,4	8,16
ΗΠΑ	289.821.000	479000	1.654	12,7	41,3	46
Μεξικό	102.946.000	78200	760	17,4	77,1	5,48

* Αναφέρεται στο έτος 2002. Οι τιμές των υπολοίπων στηλών αναφέρονται στο έτος 2000.

** Θα πρέπει να σημειωθεί ότι διάφορες πηγές στην Ελλάδα (Υπουργεία, Οργανώσεις, ερευνητές) ανεβάζουν το συγκεκριμένο ποσοστό σήμερα στο 84-86%.

*** Οι μικρές αποκλίσεις του αθροίσματος των ποσοστών των τριών τομέων από το 100% οφείλονται σε στρογγυλοποιήσεις της πρωτογενούς πηγής δεδομένων.

Πίνακας 1.2: Η κατανάλωση νερού σε διάφορες χώρες του πλανήτη το 2000 – Κατανομή ανά τομέα χρήσης (Πηγή: <http://www.env-edu.gr/Chapters.aspx?id=106> [29])

Όπως παρουσιάζεται από τον Πίνακα 1.2, οι διαφορές μεταξύ των χωρών ως προς την κατανάλωση νερού στους τομείς χρήσης είναι μεγάλες.

Μπορούμε να παρατηρήσουμε εύκολα ποιες χώρες βασίζονται στην γεωργία τους και ποιες στην βιομηχανία τους, εξετάζοντας τα ποσοστά χρήσης νερού στους δύο αντίστοιχους τομείς.

Ελλάδα, Καμερούν, Παραγουάη και Μεξικό, είναι φανερό ότι στηρίζονται στην γεωργία τους με ποσοστά κατανάλωσης νερού, που προορίζεται για γεωργική χρήση, που ξεπερνούν το 70% της συνολικής κατανάλωσης νερού.

Αντίθετα, Γερμανία, Ηνωμένο Βασίλειο και Πολωνία είναι βιομηχανικές χώρες καθώς το ποσοστό κατανάλωσης νερού για βιομηχανική χρήση ξεπερνά το 65% της συνολικής κατανάλωσης νερού.

Για παράδειγμα, ο μέσος άνθρωπος μιας γεωργικής κοινωνίας, όπως είναι του Ιράν, καταναλώνει περίπου 1.230 m^3 το χρόνο για τις καλλιέργειες και μόλις 66 m^3 για οικιακή χρήση και 15 m^3 για τη βιομηχανία. Αντίστροφα σε μια ανεπτυγμένη βιομηχανική χώρα, όπως οι ΗΠΑ, ο μέσος άνθρωπος καταναλώνει ετησίως 760 m^3 για βιομηχανικές χρήσεις, 683 m^3 για τη γεωργία και 210 m^3 για διάφορες οικιακές χρήσεις.

Αν υποθέσουμε ότι οι ανάγκες σε νερό για το μέσο άνθρωπο, ομοιόμορφα κατανομημένο πάνω στη Γη, είναι περίπου 630 m^3 το χρόνο, η συνολική ανάγκη σε νερό, παγκοσμίως, θα είναι $3,8$ τρισεκατομμύρια m^3 το χρόνο. Έχοντας υπόψη μας το ρυθμό που αυξάνει ο πληθυσμός της Γης, οι ανάγκες μας σε νερό θα αυξάνονται περίπου κατά τουλάχιστον 50 δις. m^3 το χρόνο.

Καθώς η ποσότητα του νερού που διακινείται στον υδρολογικό κύκλο κάθε χρόνο είναι περιορισμένη, έχει υπολογιστεί ότι το διαθέσιμο γλυκό νερό από το οποίο θα πρέπει να καλυφθούν όλες οι ανάγκες μας, και αυτό θα ισχύει για αρκετά χρόνια ακόμα, είναι 9 εκατ. m^3 το χρόνο. Συνεπώς, πολύ γρήγορα πρέπει να βρεθεί μια λύση στο πρόβλημα της έλλειψης του νερού.

Για την παραγωγή τροφής και άλλων αγαθών οι ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται για τον συνολικό κύκλο - από την παραγωγή μέχρι και την κατανάλωση - είναι δυσανάλογα μεγάλες σε σχέση με την ποσότητα προϊόντος που παράγεται. Για να γίνει αυτό κατανοητό διαμορφώθηκε ένας δείκτης που λέγεται 'υδάτινο αποτύπωμα' (water footprint) και ο οποίος αντιπροσωπεύει τόσο την άμεση όσο και την έμμεση χρήση νερού, συμπεριλαμβανομένης, παραδείγματος χάριν, της ρύπανσης που προκαλείται. Πιο συγκεκριμένα, το υδάτινο αποτύπωμα ενός ατόμου είναι ο συνολικός όγκος νερού που χρησιμοποιείται για να παραχθούν τα αγαθά και οι υπηρεσίες που καταναλώνονται από το άτομο αυτό. Με βάση αυτήν τη λογική υπολογίζεται ότι σε παγκόσμιο επίπεδο (μέση τιμή) για την παραγωγή 1 κιλού καλαμποκιού απαιτείται συνολική χρήση 900 λίτρων νερού. Για την ίδια ποσότητα σιταριού απαιτούνται 1.350 λίτρα, για ρύζι 3.000 λίτρα, ενώ για βοδινό κρέας απαιτούνται 16.000 λίτρα νερού. Αντίστοιχα, για μια κούπα καφέ χρησιμοποιούνται συνολικά 140 λίτρα νερού ενώ για 1 λίτρο γάλα χρησιμοποιούνται 1.000 λίτρα νερού.

Η βιομηχανία καταναλώνει μεγάλες ποσότητες νερού. Αυτές οι ανάγκες αυξάνονται διαρκώς με τη δημογραφική έκρηξη. Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες μείωσης του χρησιμοποιούμενου νερού σε αρκετούς βιομηχανικούς κλάδους, μέσω της εγκατάστασης κλειστού κυκλώματος

κυκλοφορίας του. Όμως, το σοβαρότερο πρόβλημα τίθεται από τη ρύπανση των νερών από τους βιομηχανικούς ρύπους. Επιπλέον, η βιομηχανική ανάπτυξη τείνει σε συγκέντρωση των δραστηριοτήτων γύρω από βιομηχανικούς πόλους, που συνηθέστατα είναι εγκατεστημένοι πλάι σε πλωτές οδούς επικοινωνιών (ποτάμια, λίμνες, λιμάνια), γεγονός που αποτελεί άμεση απειλή για τα νερά. [29]

1.2.2. Η κατανάλωση νερού στην Ελλάδα

Ο ελλαδικός χώρος έχει αφθονία ανανεώσιμων υδάτινων πόρων, που αντιστοιχεί σε 782 m³ ανά κάτοικο της χώρας. Παρ' όλα αυτά, στην Ελλάδα εμφανίζονται σημαντικά προβλήματα λόγω της γεωγραφικής κατανομής του υδάτινου δυναμικού, της ανορθολογικής χρήσης και των άνυδρων νησιών της.

Το 83,8% των συνολικών υδατικών πόρων χρησιμοποιείται στη χώρα μας για άρδευση, ενώ τα ποσοστά αυτά είναι πολύ υψηλότερα στην Θεσσαλία, την Ανατολική Πελοπόννησο και την Ανατολική Στερεά Ελλάδα, όπου αντιμετωπίζουν προβλήματα εξάντλησης – υποβάθμισης των υπογείων υδάτων.

Κ.Α.	Υδατικά Διαμερίσματα	Πληθυσμός	Άρδευση	Κτηνοτροφία	Ύδρευση	Βιομηχανία	Λοιπές	Σύνολο
1	Δυτικής Πελοποννήσου	331180	201	5	23	3	20	252
2	Βόρειας Πελοποννήσου	615288	401,5	6,6	41,7	3		452,8
3	Ανατολικής Πελοποννήσου	288285	324,9	4,7	22,1			351,7
4	Δυτικής Στερεάς Ελλάδας	312516	366,5	9	22,4			397,9
5	Ηπείρου	464093	153,5	10,3	33,9	4,3		202
6	Αττικής	3737959	99	2,5	420	17,5		539
7	Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας	577955	773,7	9,9	41,6	12,6		837,8
8	Θεσσαλίας	750445	1550	13	69			1632
9	Δυτικής Μακεδονίας	596891	609,4	7,9	43,7	30	80	771
10	Κεντρικής Μακεδονίας	1362190	527,6	8	99,8	80		715,4
11	Ανατολικής Μακεδονίας	1412732	627	5,8	32			664,8
12	Θράκης	404182	825,2	7,1	27,9	11		871,2
13	Κρήτης	601131	320	10,2	42,3			372,5
14	Νήσων Αιγαίου	508807	80,2	6,8	37,2			124,2
	Σύνολο χώρας	11963654	6859,5	106,8	956,6	161,4	100	8184,3

Πίνακας 1.3: Ετήσια ζήτηση νερού σε m³ στην Ελλάδα ανά χρήση και υδατικό διαμέρισμα [8]

2. Το πρόβλημα της λειψυδρίας

2.1. Το πρόβλημα της λειψυδρίας παγκοσμίως

Η μείωση των υδατικών αποθεμάτων γλυκού νερό του πλανήτη είναι γεγονός και ιδιαίτερα σημαντική, όπως επισημαίνουν οι επιστήμονες, καθώς μέσα από τις έρευνες τους έχουν ανακαλύψει πως η στάθμη των υδάτων στις περισσότερες υδάτινες αρτηρίες της Ασίας έχει μειωθεί κατά 10 -12 %. Η πραγματικότητα αυτή αποκτά τρομακτική σημασία αν αναλογιστεί κανείς πως τα ποτάμια αυτά πηγάζουν από την οροσειρά των Ιμαλαΐων και δείχνει πως τα αποθέματα πάγου μειώνονται ακόμα και εκεί. Η κύρια αιτία που οδηγεί σε αυτά τα αποτελέσματα είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μέσω της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας και των κλιματικών αλλαγών που την ακολουθούν έχει επηρεαστεί η αναλογία βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων. Πλέον, οι βροχοπτώσεις έχουν αυξηθεί σε αντίθεση με τις χιονοπτώσεις που μειώνονται, γεγονός που οδηγεί τα αποθεματικά του πλανήτη σε πάγο και χιόνι σε μείωση. Ακολουθως, σε περιόδους ξηρασίας οι στάθμες των ποταμών του πλανήτη μειώνονται δραματικά καθώς τροφοδοτούνται από αυτά τα αποθέματα.

Παρότι τα αποθέματα γλυκού νερού του πλανήτη παρέμεναν σταθερά από την δημιουργία ζωής και έπειτα, πλέον απειλούνται σοβαρά. Από το 1800 και έπειτα η Γη έχει παρουσιάσει μια θεαματική αύξηση του πληθυσμού της κατά έξι φορές που αγγίζει πλέον τα έξι δισεκατομμύρια, γεγονός που έχει οδηγήσει την αύξηση των αναγκών νερού σε όλους τους τομείς.

Η γεωργία είναι ο πρώτος τομέας, καθώς γίνεται απόλυτα κατανοητό πως η ζήτηση σε τροφή αυξάνεται ανάλογα με τον πληθυσμό, με αποτέλεσμα την αύξηση των καλλιεργειών και αντίστοιχα της ανάγκης νερού. Ακόμα, σε πολλές περιπτώσεις, το πρόβλημα εντείνεται καθώς γίνεται αλόγιστη χρήση νερού που φτάνει τα όρια της σπατάλης.

Επίσης, η αύξηση του πληθυσμού έχει επιφέρει μεγαλύτερη ανάγκη παραγωγής των βιομηχανιών με περαιτέρω αύξηση της κατανάλωσης νερού και σε αυτόν τον τομέα.

Όπως είναι λογικό, η πληθυσμιακή αύξηση αναλογεί αμέσως και σε αύξηση της κατανάλωσης νερού για προσωπική χρήση.

Το πρόβλημα της έλλειψης νερού έχει πάψει να αποτελεί μια μακροπρόθεσμη ανησυχία και είναι ένα απόλυτα υπαρκτό πρόβλημα στις μέρες μας. Παρακάτω αναφέρονται κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα χωρών που υποφέρουν από το εν λόγω πρόβλημα, όπως μας πληροφορεί ο Παλιεράκης Γ.[17]

- Στο Μέξικο Σίτι, ο τοπικός πληθυσμός των 20 εκατομμυρίων κατοίκων αντιμετωπίζει οξύτατο πρόβλημα έλλειψης πόσιμου νερού, αφού αυτό καταναλώνεται με ρυθμούς κατά πολύ μεγαλύτερους από την αποκατάσταση του υδροφόρου στρώματος.
- Στην περιοχή της Μεσοποταμίας, η οποία υδροδοτείται κυρίως από τους ποταμούς Τίγρη και Ευφράτη, η απόφαση της Τουρκίας να κατασκευάσει φράγματα λόγω της λειψυδρίας, προκάλεσε την έντονη αντίδραση της Συρίας και του Ιράκ που έχουν σαν μοναδική πηγή φρέσκου νερού τους δύο αυτούς ποταμούς.
- Στην ξηρή και άνυδρη βόρεια Κίνα περίπου 300 πόλεις αντιμετωπίζουν πρόβλημα με τα αποθέματα φρέσκου νερού. Το πρόβλημα δημιουργήθηκε λόγω της μείωσης των βροχοπτώσεων αλλά και της υπερκατανάλωσης στις αγροτικές καλλιέργειες. Τώρα οι τοπικές αρχές περιορίζουν την χρήση νερού στα χωράφια με αποτέλεσμα πολλοί αγρότες να οδηγούνται στην οικονομική καταστροφή.
- Στην Ινδία του ενός και πλέον δισεκατομμυρίου κατοίκων τα σημαντικότερα υδροφόρα στρώματα υπόκεινται σε υπερεκμετάλλευση, ενώ λόγω μόλυνσης του φρέσκου νερού με το νερό άρδευσης το χώμα πλέον εμφανίζει πολύ υψηλά ποσοστά αλατότητας και καθίσταται ακατάλληλο προς καλλιέργεια.
- Στο Ισραήλ, αν και χρησιμοποιούνται πολλές επαναστατικές τεχνολογίες εξοικονόμησης νερού, η υπερεκμετάλλευση των υδροφόρων στρωμάτων στην ακτογραμμή έχει ως αποτέλεσμα να μολύνεται το πόσιμο νερό με θαλάσσιο. Αντίστοιχα προβλήματα αντιμετωπίζει και η γειτονική Ιορδανία της οποίας κύρια πηγή φρέσκου νερού είναι ο Ιορδάνης ποταμός.
- Στην Αίγυπτο, της οποίας ο πληθυσμός αναμένεται να αγγίξει τα 100 εκατομμύρια μέχρι το 2025, οι βροχοπτώσεις είναι περιορισμένες. Η άρδευση στηρίζεται στις πλημμύρες του Νείλου και στο φράγμα του Ασουάν στα νότια. Οποιαδήποτε εμπλοκή στη ροή του νερού από το Σουδάν και την Αιθιοπία, όπου και βρίσκονται οι πηγές του νερού, θα οδηγήσουν την Αίγυπτο στη λιμοκτονία. [17]

2.2. Το πρόβλημα της λειψυδρίας στην Ελλάδα

2.2.1. Γενικά

Όπως αναφέρει η Συσκάκη Κ. στην εργασία της [15], οι εκτιμήσεις για το ετήσιο υδατικό δυναμικό της Ελλάδας ποικίλουν. Σύμφωνα, όμως με τα δεδομένα της AQUASTAT του FAO υδατικό δυναμικό υπολογίζεται στα $74,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

Τα επιφανειακά ύδατα αποτελούν περίπου το 85% των συνολικών υδάτων και το 10%, περίπου, αποτελείται από υπόγεια ύδατα.

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, παρά το πλούσιο υδατικό δυναμικό της χώρας, παρουσιάζονται προβλήματα λειψυδρίας που οφείλονται

κυρίως στην γεωγραφική κατανομή των υδατικών διαμερισμάτων, στην μη ορθολογική χρήση αλλά και στα άνυδρα νησιά.

Στον Πίνακα 1.3 (σελ. 14, Κεφάλαιο 1), παρουσιάζονται οι ετήσιες ζητήσεις νερού ανά υδατικό διαμέρισμα και μπορούμε να παρατηρήσουμε τις μεγάλες διαφορές στις καταναλώσεις νερού σε αυτά. Όπως προαναφέρθηκε, η Ελλάδα, ως κατ' εξοχήν γεωργική χώρα, καταναλώνει το μεγαλύτερο ποσοστό νερού σε γεωργική χρήση (ποσοστό κατανάλωσης νερού για γεωργική χρήση άνω του 80%), επομένως είναι λογικό ότι οι αγροτικές περιοχές της όπως η Θεσσαλία, η Ανατολική Στερεά Ελλάδα και η Κεντρική Μακεδονία θα κατέχουν τα μεγαλύτερα ποσοστά κατανάλωσης νερού.

Το συμπέρασμα που βγαίνει από τα παραπάνω είναι πως υπάρχει πολύ σημαντική ανισοκατανομή στους υδάτινους πόρους των περιοχών, ούτως ώστε να παρουσιάζονται προβλήματα λειψυδρίας σε κάποιες από τις περιοχές αυτές.

Είτε λόγω αυξημένων γεωργικών αναγκών, είτε λόγω αυξημένου τουρισμού αρκετές περιοχές παρουσιάζουν ελλείψεις σε νερό. Το πρόβλημα εντοπίζεται κυρίως στα νησιά του Αιγαίου, όπου παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω.

2.2.2. Η λειψυδρία στο Αιγαίο

Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζεται το πρόβλημα της λειψυδρίας στο Αιγαίο Πέλαγος, θέμα το οποίο ο Καλδέλλης Ι. και η Κονδύλη Α.[1] αναλύουν πολύ διεξοδικά στο άρθρο τους . Στο άρθρο αυτό βασίζεται το παρόν υποκεφάλαιο.

2.2.2.1. Γενικά

Για να ανταπεξέλθουν τα νησιά του Αιγαίου Πελάγους στην αυξημένη ζήτηση νερού καταφεύγουν στην πλέον δαπανηρή λύση της μεταφοράς πόσιμου νερού μέσω πλοίων είτε από κοντινά νησιά είτε από την ηπειρωτική χώρα. Η αυξημένη αυτή ζήτηση οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως η οικονομική ανάπτυξη (αυξημένος τουρισμός), η εξάντληση των υπόγειων νερών και η φυσική λειψυδρία των νησιών αυτών καθώς πρόκειται για άνυδρα νησιά.

Ακολούθως, αναλύεται το πρόβλημα όπως παρουσιάζεται στα νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων και παρατίθενται πληροφορίες που αφορούν το κόστος μεταφοράς νερού στις περιοχές αυτές. Παράλληλα, η υποσχόμενη λύση των εργοστασίων αφαλάτωσης τροφοδοτούμενα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προτείνεται ως μία εφικτή, υποστηρικτή και αποδοτική μέθοδος για το πρόβλημα της λειψυδρίας στα νησιά του Αιγαίου.[1]

➤ **Λίγα λόγια για τα νησιά του Αιγαίου**

Τα συμπλέγματα νήσων των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων βρίσκονται στα νότια και ανατολικά της επικράτειας της Ελλάδας. Αποτελούνται από κυρίως μικρά νησιά, με κάποιες εξαιρέσεις, και λιγότερα από τα μισά είναι κατοικημένα. Τα δυο αυτά νησιωτικά συμπλέγματα αποτελούν την Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, που έχει πρωτεύουσα την Ερμούπολη που βρίσκεται στη Σύρο (Κυκλάδες).

Ο υπέροχος καιρός με τον χαρακτηριστικό ήλιο που απολαμβάνει κάποιος κατά την θερινή περίοδο στην Ελλάδα, η ιδιαίτερη και μοναδική αρχιτεκτονική αλλά και η διάσημη ελληνική φιλοξενία έχουν οδηγήσει σε εκρηκτική άνοδο του τουρισμού στις Κυκλάδες και στα Δωδεκάνησα.

Η βασική οικονομική δυναμική των νησιών αυτών οφείλεται στον τουρισμό, εκτός αυτού όμως οι κάτοικοι δραστηριοποιούνται και σε τομείς όπως η γεωργία, η αλιεία και η κτηνοτροφία.

Όπως μας παρουσιάζουν στο άρθρο τους οι Καλδέλλης Ι. και Κονδύλη Α. «η ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής έχει οδηγήσει σε αξιοσημείωτη αύξηση του πληθυσμού τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Ο πίνακας 2.1 παρέχει βασικές πληροφορίες που αφορούν την έκταση και τον πληθυσμό της περιοχής. Όπως φαίνεται στον πίνακα, ο πληθυσμός ήταν σχεδόν 270.000 το 1991 και 301.000 το 2001, εμφανίζοντας μία αύξηση της τάξης του 14% την τελευταία δεκαετία. Αυτή η εντυπωσιακή αύξηση παρατηρείται κυρίως σε τουριστικές περιοχές όπως τα μεγαλύτερα νησιά της περιφέρειας. Ο πληθυσμός συγκεντρώνεται κυρίως στις τρεις μεγάλες πόλεις (Ρόδος, Κως, Ερμούπολη) και στις έξι πρωτεύουσες μικρότερων νησιών (Κάλυμνος, Νάξος, Πάρος, Τήνος, Μύκονος, Θήρα)».[1]

	Έκταση (1000 km ²)	Πληθυσμός 1991 (1000)	Πληθυσμός 2001 (1000)	%αύξηση 1991 – 2001
Δωδεκάνησα	2,7	162	190	17
Κυκλάδες	2,6	100	111	11
Περ.Νοτ.Αιγαίου	5,3	263	301	14
Ελλάδα	132	10.264	10.939	7

Πίνακας 2.1: Έκταση και πληθυσμός των Κυκλάδων και Δωδεκανήσων [1]

➤ Η διαχείριση των υδάτινων πόρων σε Κυκλάδες - Δωδεκάνησα

Όπως μπορεί να γίνει κατανοητό, εξαιτίας της χαμηλής κατακρήμνισης υδάτων (βροχή κτλ.) και της γεωμορφολογίας των νησιών αυτών το νερό αποτελεί ένα εξαιρετικά πολύτιμο αγαθό ιδίως την θερινή περίοδο όπου λόγω του τουρισμού ο πληθυσμός αυξάνεται θεαματικά και η ζήτηση σε νερό είναι πολύ μεγαλύτερη.

Πέραν της αύξησης κατανάλωσης νερού που οφείλεται στον τουρισμό η οποία μπορεί να θεωρηθεί οικιακή χρήση, σημαντική είναι και η κατανάλωση νερού για γεωργική χρήση, η οποία, επίσης αυξάνεται κατά την θερινή περίοδο. Αντίθετα η ζήτηση για νερό προς βιομηχανική χρήση δεν μπορεί να θεωρηθεί σημαντική καθώς δεν υπάρχει βιομηχανία στην περιοχή αυτή.

Όπως μας αναφέρουν οι Καλδέλλης και Κονδύλη [1] «οι πιο κοινές υδάτινες πηγές σε απομακρυσμένες περιοχές με περιορισμένους πόρους νερού είναι δεξαμενές εδάφους και φράγματα που σχετίζονται με εργοστάσια επεξεργασίας νερού, εργοστάσια αφαλάτωσης, πηγάδια και γεωτρήσεις, ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης νερού (δεν χρησιμοποιούνται ευρέως ακόμα) και η μεταφορά νερού με πλοία. Η βέλτιστη λύση για παροχή νερού σε κάθε περίπτωση καθορίζεται από τις τοπικές ανάγκες και τα χαρακτηριστικά, από την ποσοτική και πρόσκαιρη κατανομή αυτών των αναγκών και την υποδομή του νησιών. Οι παράμετροι που καθορίζουν τις εναλλακτικές λύσεις στο πρόβλημα της λειψυδρίας είναι το μέγεθος και ο πληθυσμός του νησιού, η γεωγραφική τοποθεσία του, οι οικονομικές του δραστηριότητες, η κατανομή του πληθυσμού κατά την διάρκεια του έτους και η έκταση του προβλήματος της λειψυδρίας.

Σε περίπτωση που οι υπάρχουσες τοπικές πηγές αδυνατούν να καλύψουν τις ανάγκες σε νερό επαρκώς, η αυξανόμενη ζήτηση σε νερό καλύπτεται με μεταφορά νερού στα ελληνικά νησιά, είτε από την ηπειρωτική χώρα είτε από γειτονικά νησιά. Σημειώνεται ότι οι εισαγωγές νερού καλύπτουν αστικές ανάγκες μόνο. Τα κόστη που σχετίζονται με αυτή τη μέθοδο είναι πολύ υψηλά, επιπρόσθετα, η μέθοδος αυτή δεν δημιουργεί καμία υποδομή για την μακροπρόθεσμη λύση του προβλήματος. Επομένως, θα έπρεπε να χρησιμοποιείται μόνο σε επείγουσες περιστάσεις όταν καμία άλλη πηγή νερού δεν είναι διαθέσιμη.»[1]

2.2.2.2. Η λειψυδρία στις Κυκλάδες

Τα νησιά των Κυκλάδων, στην πλειοψηφία τους πρόκειται για άνυδρα νησιά χωρίς ίδιους υδάτινους πόρους, που όμως έχουν γνωρίσει ραγδαία ανάπτυξη λόγω του συνεχώς αυξανόμενου τουρισμού.

Η λειψυδρία είναι πολύ σοβαρή σε αυτά τα νησιά και όπως μας αναφέρουν Καλδέλλης και Κονδύλη [1] μόνο η Άνδρος και η Νάξος παρουσιάζουν επάρκεια σε υδάτινους πόρους. Κάποια νησιά από αυτά καταφεύγουν σε λύσεις όπως οι δεξαμενές εδάφους (Νάξος, Μύκονος, Ίος), σε εργοστάσια αφαλάτωσης και φράγματα νερού.

Τα μικρότερα νησιά, όπως η Μήλος, Ηρακλεία, Κίμωλος, Σχοινούσα, τα Κουφονήσια, η Σίκινος, η Θηρασία, Φολέγανδρος, Τήνος και Αμοργός καταφεύγουν στην μεταφορά νερού μέσω πλοίων από την ηπειρωτική χώρα ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες σε νερό.

Στα γραφήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι εισαγόμενες ποσότητες νερού κατά την περίοδο 1997 – 2005 στο σύμπλεγμα των Κυκλάδων (Γράφημα 2), οι εισαγόμενες ποσότητες νερού στα νησιά αυτά κατά την διάρκεια του έτους (Γράφημα 3) και οι εισαγόμενες ποσότητες σε συγκεκριμένα νησιά των Κυκλάδων (Γράφημα 4).

Από τα γραφήματα αυτά παρατηρούμε πως οι εισαγόμενες ποσότητες αυξάνονται χρόνο με το χρόνο και πως οι ανάγκες για νερό εμφανίζονται ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες, κατά την τουριστική περίοδο δηλαδή, όπου το πρόβλημα της λειψυδρίας είναι πολύ έντονο και επομένως οι εισαγόμενες ποσότητες νερού αυξάνονται δραματικά.

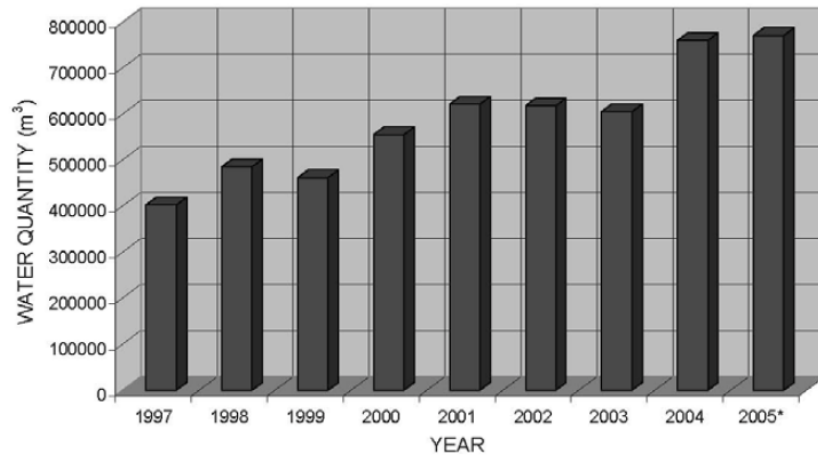


Fig. 2. Imported water quantities in the Cyclades islands.

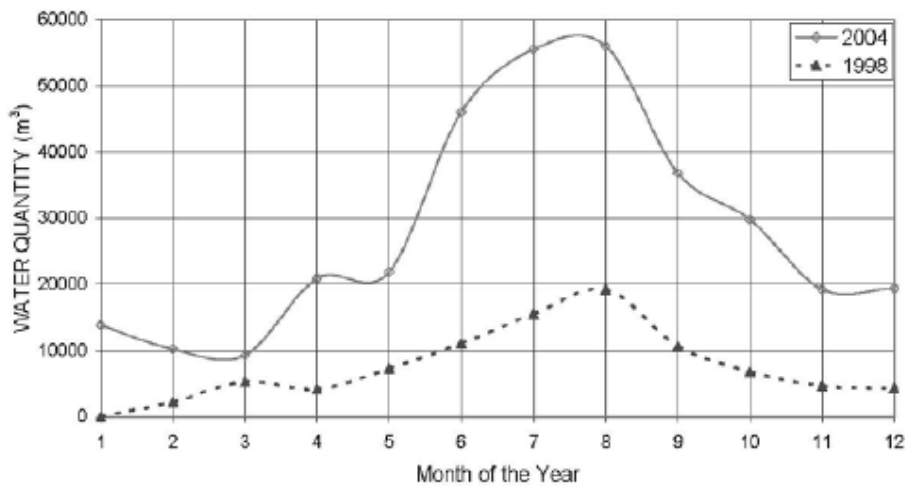


Fig. 3. Amount of Cyclades complex annual imports of water throughout the year.

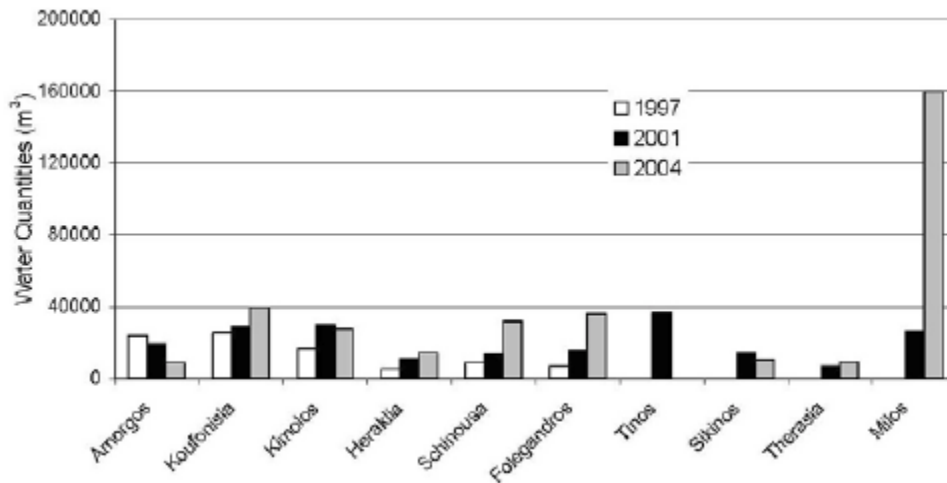


Fig. 4. Imported water quantities in specific Cyclades islands.

Εικόνα 4: Γράφημα 2-Εισαγόμενες ποσότητες νερού στις Κυκλάδες, Γράφημα 3-Εισαγόμενες ποσότητες νερού κατά την διάρκεια του έτους στις Κυκλάδες, Γράφημα 4-Εισαγόμενες ποσότητες νερού σε συγκεκριμένα νησιά των Κυκλάδων [1]

2.2.2.3. Η λειψυδρία στα Δωδεκάνησα

Η περίπτωση των Δωδεκανήσων είναι πολύ παρόμοια των Κυκλάδων, με τη διαφορά πως η απόσταση που τα χωρίζει από την ηπειρωτική χώρα είναι πολύ μεγαλύτερη.

Η λειψυδρία στα νησιά αυτά είναι εξίσου δριμεία με τις Κυκλάδες. Τα μικρότερα και πιο ξερά νησιά καταφεύγουν στην μεταφορά νερού για να καλύψουν τις ανάγκες τους από τα μεγαλύτερα νησιά της περιοχής, τα οποία είναι η Κως και η Ρόδος. Τα μικρότερα αυτά νησιά, πιο συγκεκριμένα είναι οι Λειψοί, η Νίσυρος, η Λέρος, η Μεγίστη, το Αγαθονήσι, η Πάτμος, η Χάλκη, η Ψέριμος και η Σύμη.

Στα γραφήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι εισαγόμενες ποσότητες νερού στο σύμπλεγμα των Δωδεκανήσων κατά την περίοδο 1997 – 2005 (Γράφημα 6, Εικόνα 5), οι εισαγόμενες ποσότητες κατά την διάρκεια του έτους (Γράφημα 7, Εικόνα 6) και οι εισαγόμενες ποσότητες νερού σε συγκεκριμένα νησιά (Γράφημα 8, Εικόνα 8).

Όπως και στις Κυκλάδες παρατηρούμε την αύξηση των εισαγομένων ποσοτήτων με την πάροδο του χρόνου καθώς και την ραγδαία αύξησή τους κατά την διάρκεια της θερινής – τουριστικής περιόδου.

Με την βοήθεια του Πίνακα 3 (Εικόνα 7) παρατηρούμε τον συσχετισμό μόνιμου πληθυσμού και τουριστών. Η τεράστια διαφορά μεταξύ τους μας δίνει ξεκάθαρη εικόνα για την δραματική αύξηση ζήτησης νερού κατά την θερινή περίοδο.

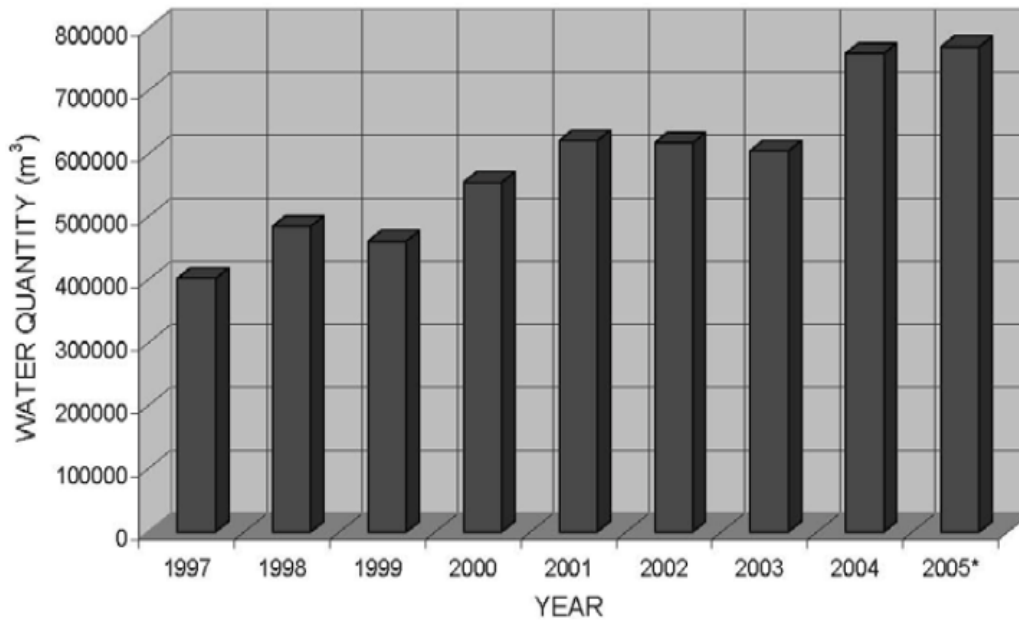


Fig. 6. Water imports through the year in the Dodecanese islands.

Εικόνα 5: Γράφημα 6-Εισαγωγές νερού στα Δωδεκάνησα με την πάροδο των ετών

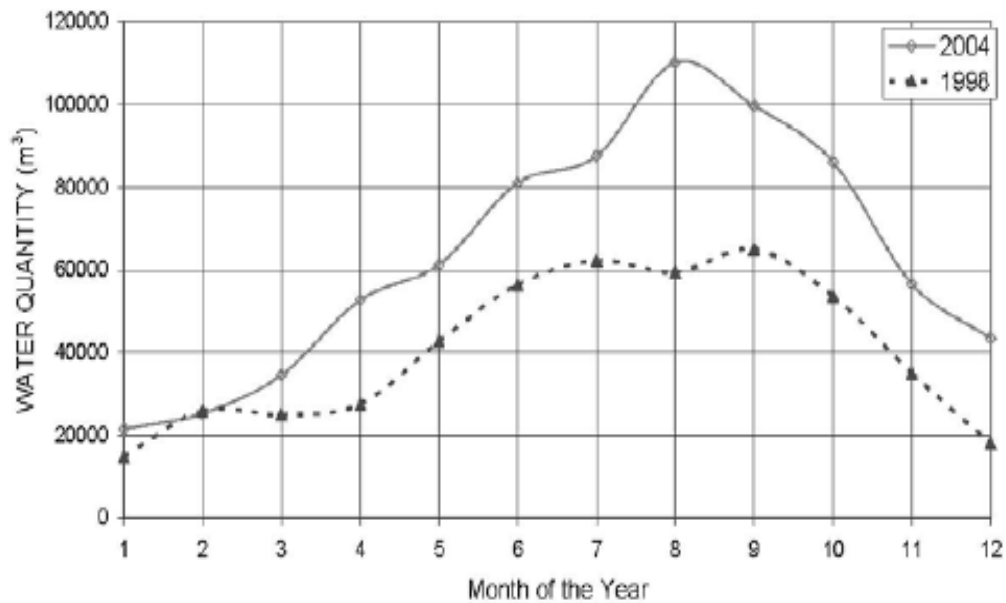


Fig. 7. Total annual water import over time in the Dodecanese islands.

Εικόνα 6: Γράφημα 7-Συνολική ετήσια εισαγωγή νερού στα Δωδεκάνησα [1]

Table 3
Statistical data concerning tourist arrivals in Dodecanese
(2003–2004) [1]

	Arrivals in hotels	Arrivals in campings	Total arrivals	Permanent Population
2003	1,674,407	1,470	1,675,877	191,026
2004	1,555,405	845	1,556,250	191,827

Εικόνα 7: Πίνακας 3-Στατιστικά δεδομένα που αφορούν αφίξεις τουριστών στα Δωδεκάνησα [1]

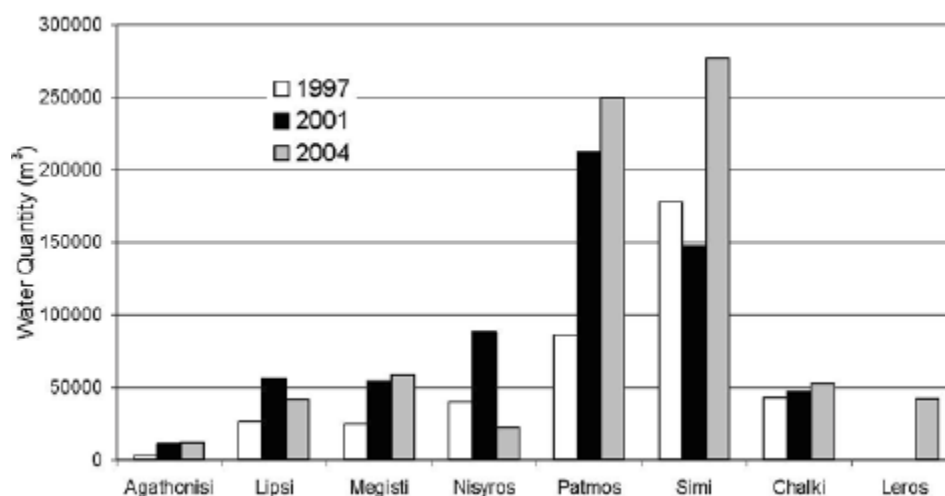


Fig. 8. Imported water quantities in specific Dodecanese islands.

Εικόνα 8: Εισαγόμενες ποσότητες νερού σε συγκεκριμένα νησιά των Δωδεκανήσων [1]

2.2.2.4. Η οικονομική εικόνα του προβλήματος

Όπως μας αναφέρουν Καλδέλλης και Κονδύλη [1] «ανάλογα με την μέθοδο παροχής νερού, το κόστος νερού ποικίλει σημαντικά. Στην πράξη, το κόστος του νερού περιέχει ένα σταθερό όρο, σχετιζόμενο με την απόσβεση του κεφαλαίου επένδυσης της υποδομής και το μεταβλητό όρο κόστους. Για παράδειγμα, το αφαλατωμένο νερό έχει σημαντικό λειτουργικό κόστος, την στιγμή που το νερό από υδραγωγεία και φράγματα έχει μεγάλο σταθερό όρο κόστους, λόγω του υψηλού κόστους επένδυσης που απαιτείται.

Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τα αντίστοιχα κόστη νερού (σε €/m³) από το 1997 μέχρι σήμερα για τις μεταφορές νερού στις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα. Το νερό μεταφέρεται στις Κυκλάδες, κυρίως από την περιοχή της Αθήνας, ενώ στα Δωδεκάνησα το νερό μεταφέρεται από την Ρόδο και την Κω. Αυτός είναι ο κύριος λόγος για τα, σημαντικώς, χαμηλότερα κόστη του νερού που μεταφέρεται στην περιοχή των Δωδεκανήσων.

Το γράφημα 10 παρουσιάζει τα συνολικά ποσά που πληρώνονται κάθε χρόνο για μεταφορά νερού στις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα. Είναι ξεκάθαρο από τα παραπάνω δεδομένα ότι ένα πολύ σημαντικό ποσό χρημάτων (περίπου

7.000.000 €) ξοδεύονται κάθε χρόνο για να καλυφθούν οι ανάγκες για νερό στα νησιά του Αιγαίου Αρχιπελάγους. Στην πραγματικότητα, η μεταφορά νερού δεν είναι μία υποστηρικτική και μακροπρόθεσμη λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας, από την στιγμή που είναι πολύ δαπανηρή και δεν δημιουργεί καμία υποδομή για το μέλλον. Είναι μία επείγουσα λύση στο πρόβλημα αλλά σίγουρα όχι η καλύτερη.

Στην κορυφή αυτών, το παραπάνω ποσό χρημάτων πληρώνεται από τις τοπικές αρχές (περιφέρεια, δήμους), και, στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν περνά στους καταναλωτές. Στην πραγματικότητα, τα χρήματα που πληρώνουν οι ντόπιοι κάτοικοι ποικίλουν μεταξύ των 0,5 €/m³ (για μικρούς καταναλωτές) και 1,3 €/m³. Έτσι, το κόστος της μεταφοράς νερού είναι, πραγματικά, ένα σημαντικό κοινωνικό κόστος και, επιπρόσθετα, αυτή η μέθοδος είναι αναξιόπιστη και δεν βελτιώνει την διαχείριση του προβλήματος λειψυδρίας των περιοχών αυτών.»[1]

Table 4
Indicative cost of water transported in Cyclades and Dodecanese (1996–2005) [13]

Year	Water cost (€/m ³) in Cyclades	Water cost (€/m ³) in Dodecanese
1997	5.43	2.7
2001	6.16–7.04	4.26
2005	6.3–7.15	5.33

Εικόνα 9: Πίνακας 4-Ενδεικτικό κόστος του νερού στις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα (1996-2005) [1]

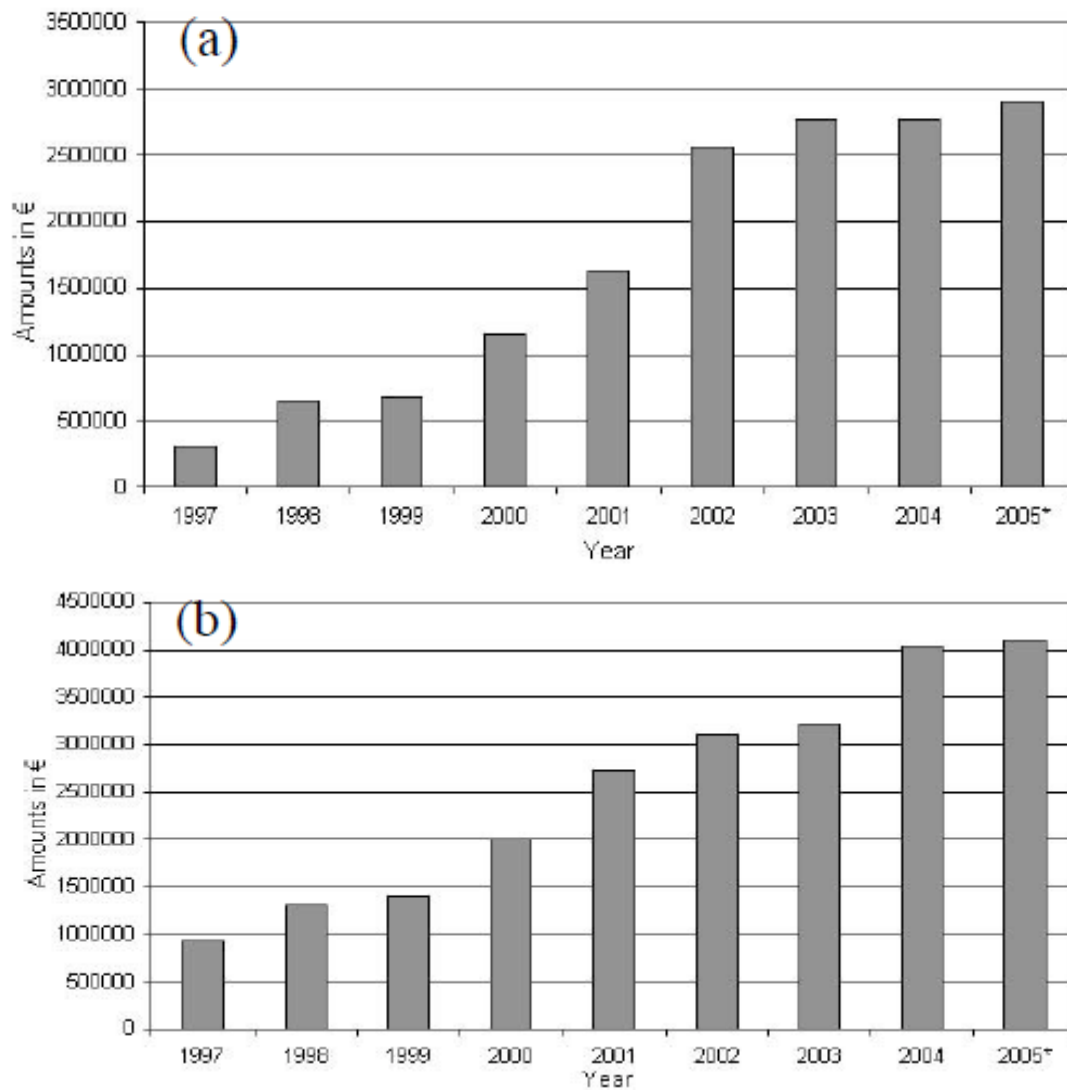


Fig. 10. Total cost for water transported in (a) Cyclades and (b) Dodecanese islands.

Εικόνα 10: Γράφημα 10-Συνολικό κόστος του νερού που μεταφέρθηκε σε (α) Κυκλάδες, (β) Δωδεκάνησα [1]

3. Αφαλάτωση

3.1. Εισαγωγή

Η ετυμολογία της λέξης αφαλάτωση μας κατευθύνει απευθείας στην σημασία της. Από + άλας, που σημαίνει αφαιρώ το αλάτι. Πράγματι η αφαλάτωση είναι η διεργασία αφαίρεσης των αλάτων από υδατικά μίγματα, όπως είναι το θαλασσινό νερό.

Στις μέρες μας όπου η οικονομική, τεχνολογική και βιομηχανική ανάπτυξη έχει αυξηθεί, πολλές χώρες του κόσμου αντιμετωπίζουν πρόβλημα λειψυδρίας καθώς η κατανάλωση νερού έχει φτάσει στα ύψη και συνεχώς αυξάνεται. Η αφαλάτωση μπορεί να δώσει την λύση σε αυτό το δυσεπίλυτο πρόβλημα. Πολλά κράτη, πλέον, καταφεύγουν στην αφαλάτωση προσπαθώντας να αντιμετωπίσουν τη λειψυδρία.

Το νερό που προκύπτει από τις διεργασίες της αφαλάτωσης βρίσκει χρήση σε πολλούς τομείς, όπως η βιομηχανική χρήση, η άρδευση καλλιεργειών, ακόμα και η οικιακή χρήση. Αφαλάτωση θα συναντήσουμε σε ξενοδοχεία άνυδρων νησιών, σε εργοστάσια, σε πλοία, σε υποβρύχια κ.ά.

Όπως είναι φυσικό, η αφαλάτωση βρίσκει εφαρμογή σε ξερές περιοχές, με μικρούς φυσικούς υδάτινους πόρους (γλυκό νερό), ελάχιστες βροχοπτώσεις όπου όμως υπάρχει πρόσβαση σε θαλασσινά ή υφάλμυρα ύδατα. Τέτοιες περιοχές είναι η Μέση Ανατολή (Σαουδική Αραβία, Κατάρ, Ιράν κ.ά.) και η Βόρεια Αφρική (Αίγυπτος, Αλγερία κ.ά.), οι οποίες βασίζονται πολύ στην αφαλάτωση για να καλύψουν τις ανάγκες τους σε νερό.

Στις μέρες μας λειτουργούν περίπου 18.400 μονάδες αφαλάτωσης σε 150 χώρες σε όλο τον κόσμο, κυρίως στη Μέση Ανατολή, αλλά και στις Η.Π.Α., τη Δυτική Ευρώπη και την Ιαπωνία.

Ο αριθμός αυτός αυξάνεται συνεχώς καθώς οι ερευνητές εργάζονται για την βελτίωση της διαδικασίας.

Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Από την εργασία της Συσκάκη Κ. [15] μαθαίνουμε πως η ιδέα της αφαλάτωσης είχε ξεκινήσει από τα αρχαία χρόνια, τότε που το αλάτι και όχι το νερό θεωρούνταν πολύτιμο αγαθό. Λόγω της αύξησης του πληθυσμού η ανάγκη για πόσιμο νερό μεγάλωσε και οδήγησε στην έναρξη αναζήτησης μεθόδων παραγωγής πόσιμου νερού.

Η πρώτη τεχνική έκθεση που παρουσίαζε την πιο απλή μέθοδο αφαλάτωσης, την απόσταξη, την εξέδωσε ο Jefferson T. το 1770, ο οποίος εκτελούσε τότε

χρέη Υπουργού Εξωτερικών στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Μάλιστα διέταξε η τεχνική αυτή έκθεση να υπάρχει στα αρχεία των πλοίων ούτως ώστε να υπάρχει δυνατότητα παραγωγής πόσιμου νερού σε έκτακτη ανάγκη.

Περαιτέρω η Συσκάκη Κ.[15] αναφέρει πως «το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας χορηγήθηκε για μια συσκευή αφαλάτωσης νερού το 1852. Ο πρώτος μεγάλος εργοστασιακός σταθμός αφαλάτωσης θαλασσινού νερού εγκαταστάθηκε στο νησί Κουρακάο, στις Ολλανδικές Αντίλλες το 1928 και ακόμη και η τοπική μπίρα γίνεται με αφαλατωμένο νερό. Μια μεγάλη μονάδα αφαλάτωσης κτίστηκε το 1938 στη σημερινή Σαουδική Αραβία. Έρευνα για αφαλάτωση διεξήχθη και κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου για να βρεθούν τρόποι να καλυφθούν οι ανάγκες των στρατιωτών για καθαρό νερό σε άνυδρες περιοχές. Ένα έργο που συνεχίστηκε και μετά τον πόλεμο από τις Η.Π.Α. και άλλες χώρες.»

Αργότερα, κατά το 1970, οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, το Μεξικό και άλλα κράτη ξεκίνησαν την λειτουργία μεγάλων μονάδων αφαλάτωσης.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ (Συσκάκη Κ. [15])

350 π.Χ. Ο Αριστοτέλης πειραματίζεται με τον διαχωρισμό νερού και αλατιού.

200 μ.Χ. Ναυτικοί μεταφέρουν μικρές πρωτόγονες μονάδες αφαλάτωσης στα πλοία τους.

16^{ος} αιώνας Τα πλοία που εξερευνούν τους ωκεανούς μεταφέρουν μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν μόνο σε περίπτωση ανάγκης.

1850 Ο Αμερικανός μηχανικός Norbert Rillieux κατοχυρώνει πατέντες για μεθόδους απόσταξης της ζάχαρης που ελαττώνουν τις απαιτήσεις ενέργειας κατά 80%.

1890 Στην Δυτική Αυστραλία λόγω του ξηρού κλίματος κατασκευάζονται μονάδες αφαλάτωσης (πάντα με την θερμαντική μέθοδο). Το νερό ήταν ακριβό αφού τα 4,5 λίτρα νερού κόστιζαν όσο το ένα τρίτο του μισθού του ανειδίκευτου εργάτη.

Τέλη 19^{ου} αιώνα Η μέθοδος απόσταξης του Rillieux αρχίζει να εφαρμόζεται και στην αφαλάτωση.

1950 Η Αμερικάνικη κυβέρνηση ιδρύει το Τμήμα Αλμυρού Νερού με σκοπό να υποστηρίξει την έρευνα για την αφαλάτωση.

1950 Ξεκινά μια νέα μέθοδος θερμαντικής αφαλάτωσης και εφαρμόζεται σε χώρες της Μέσης Ανατολής.

1960 Ξεκινούν στο πανεπιστήμιο UCLA της Καλιφόρνια τα πειράματα πάνω στην αντίστροφη ώσμωση με την κατασκευή των πρώτων μεμβρανών από δύο ερευνητές, τους Sydney Loeb και Shrinivasa Sourirajan.

1965 Η πρώτη πειραματική μονάδα αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης.

Τέλος δεκαετίας '70 Ο John Cadotte του America's Midwest Research Institute και του Film Tec Corporation εφεύρει μια πολύ βελτιωμένη μεμβράνη που θα χρησιμοποιηθεί καθολικά στα επόμενα χρόνια.

1980 Η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης που εξυπηρετεί πόλη, ξεκινά την λειτουργία της στην Jeda της Σαουδικής Αραβίας.

1990 – 2003 Το κόστος της αφαλάτωσης πέφτει στο ένα τρίτο.

2006 Μελέτη που δημοσιεύεται στο επιστημονικό περιοδικό Science αναφέρει ότι η χρήση νανοσωλήνων άνθρακα μπορεί να βελτιώσει πολύ την παραγωγή καθαρού νερού.

2006 Μελέτη στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αφαλάτωσης από το Pacific Institute (όχι απαγορευτικές αλλά ούτε και αμελητέες)

3.2. Τεχνολογίες αφαλάτωσης

Οι διεργασίες αφαλάτωσης γενικά διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

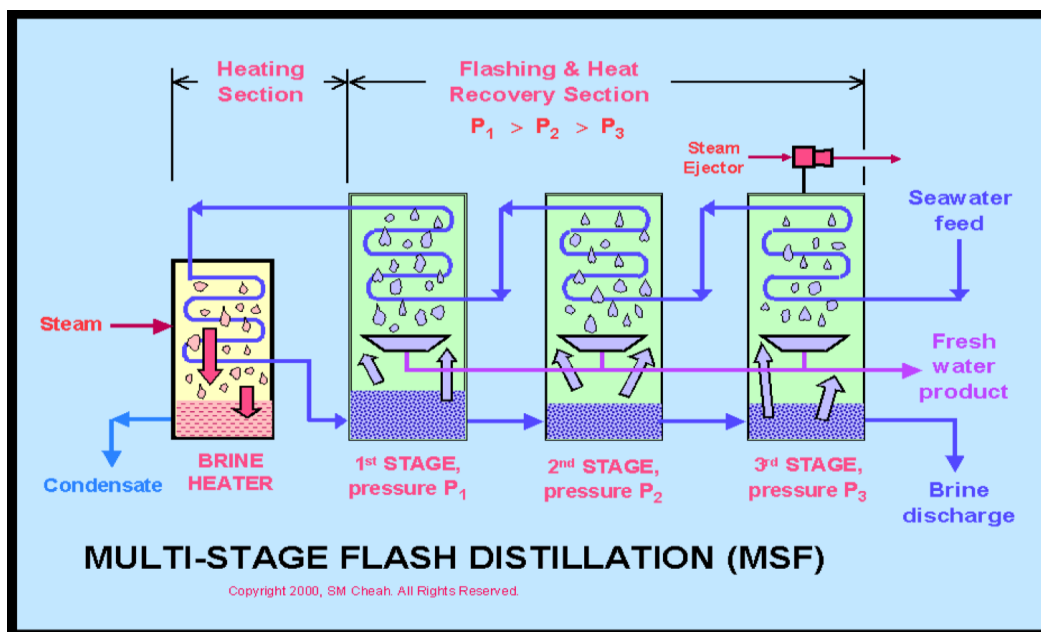
- Διεργασίες αλλαγής φάσεως, η οποίες είναι η απόσταξη και η κρυστάλλωση. Μέθοδοι απόσταξης είναι οι εξής:
 - Πολυβάθμια εκτόνωση (MSF)
 - Πολυβάθμια εξάτμιση (MED)
 - Εξάτμιση με συμπίεση ατμών (VC)
 - Ηλιακή απόσταξη (SD)Όσον αφορά την κρυστάλλωση, δεν είναι διαδομένη η χρήση της
- Σε διεργασίες μιας φάσης (υγρή φάση). Οι μέθοδοι διεργασίας μιας φάσης είναι οι εξής:
 - Αντίστροφη ώσμωση (RO)
 - Ηλεκτροδιάλυση (ED)

Οι παραπάνω μέθοδοι αφαλάτωσης αναλύονται ακολούθως.

α) Πολυβάθμια εκτόνωση (Multiple Stage Flashing, MSF)



Εικόνα 11: Εγκατάσταση πολυβάθμιας εκτόνωσης στη Μέση Ανατολή [18]



Εικόνα 12: Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εκτόνωσης [32]

Η μέθοδος της πολυβάθμιας εκτόνωσης πρόκειται ουσιαστικά για θερμική διεργασία. Πιο αναλυτικά, το νερό θαλάσσης αφού θερμανθεί σε θερμοκρασία λίγο μικρότερη του σημείου βρασμού, εισέρχεται στον πρώτο θάλαμο όπου η πίεση είναι μικρότερη της πίεσης κορεσμού και ατμοποιείται. Στη συνέχεια ο ατμός που δημιουργήθηκε έρχεται σε επαφή με τους κρύους αγωγούς που μεταφέρουν το κρύο νερό θαλάσσης, οπότε και υγροποιείται. Το υγρό που προκύπτει συλλέγεται και είναι καθαρό γλυκό νερό.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται με την εναπομείνασα άλμη, που προωθείται διαδοχικά στους επόμενους θαλάμους όπου η πίεση ελαττώνεται καθώς πέφτει η θερμοκρασία της άλμης, έως ότου στο τέλος να απορριφθεί.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρέως στην περιοχή της Μέσης Ανατολής.

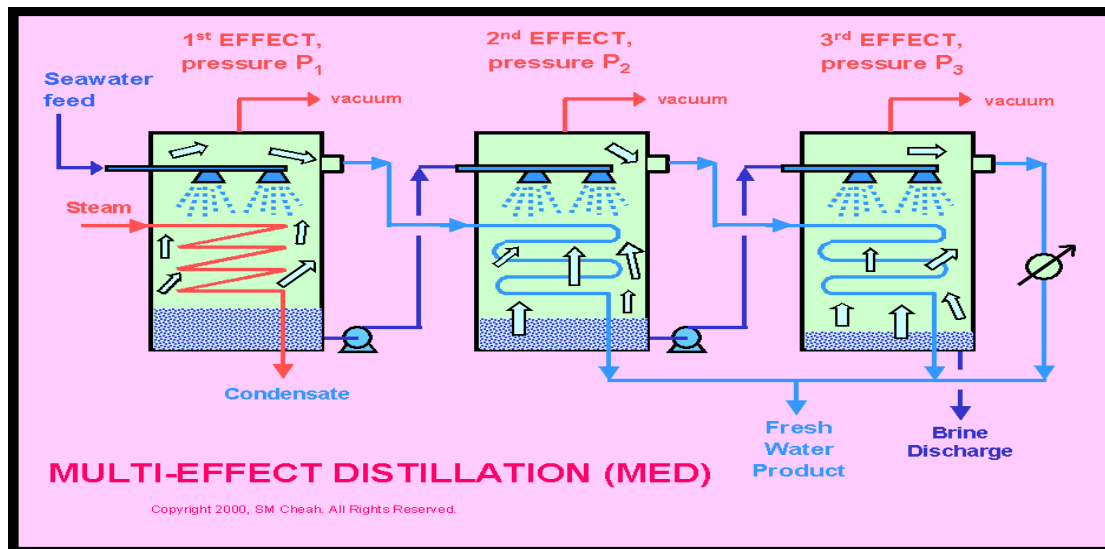
Είναι σύνηθες φαινόμενο μονάδες που χρησιμοποιούν την πολυβάθμια εκτόνωση να συνεργάζονται με θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας έτσι ώστε να εκμεταλλευτούν τον ατμό υψηλής πίεσης που εκτονώνεται στον ατμοστρόβιλο παραγωγής ισχύος.

Ένας βαθμός απόδοσης των θερμικών μονάδων αφαλάτωσης μπορεί να οριστεί ως το πηλίκο της μάζας του παραγόμενου αποσταγμένου νερού προς τη μάζα του ατμού που χρησιμοποιήθηκε. Μια τυπική τιμή του βαθμού αυτού για τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι περίπου 8, ενώ μια μονάδα των 20 βαθμίδων απαιτεί περίπου 290 kJ/kg προϊόντος.[15]

β) Πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED)



Εικόνα 13: Εγκατάσταση πολυβάθμιας εξάτμισης στο Ομάν (3x2400 m³/ημέρα) [18]



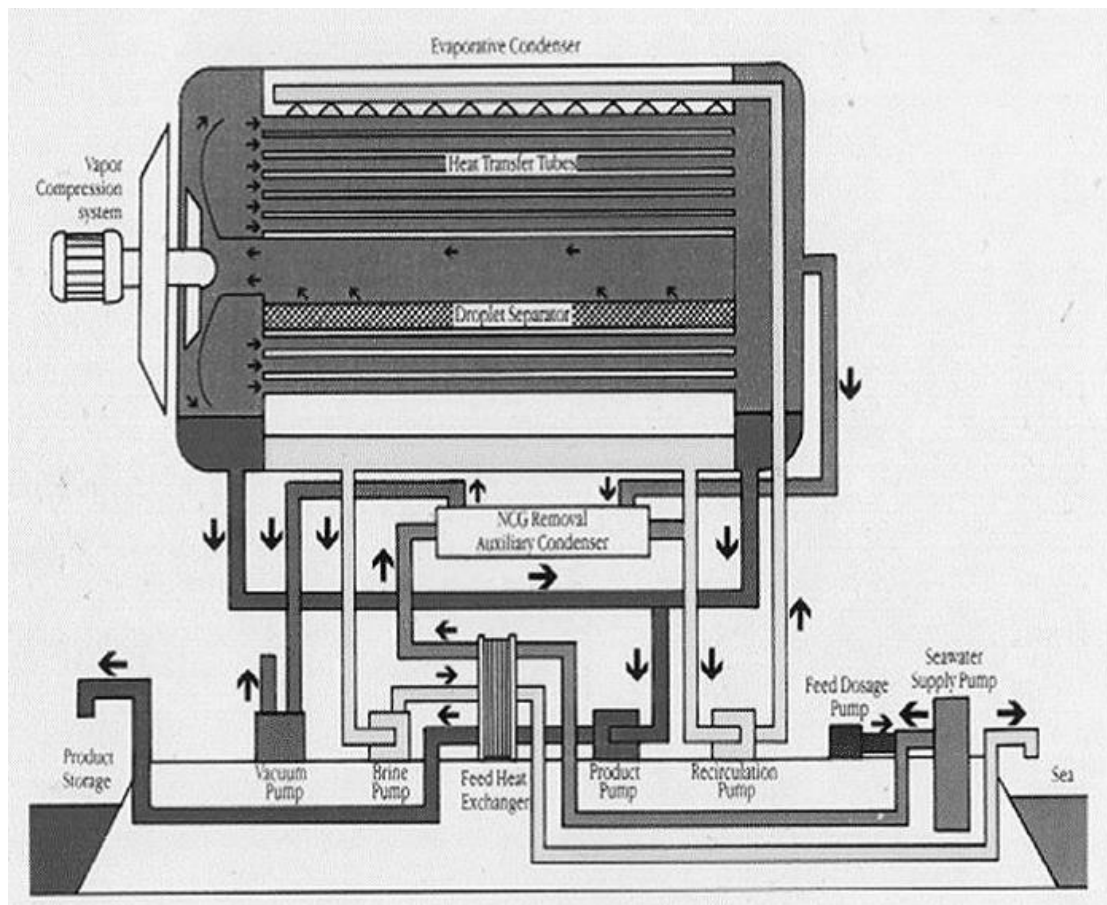
Εικόνα 14: Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εξάτμισης [32]

Η πολυβάθμια εξάτμιση είναι παρόμοια με την πολυβάθμια εκτόνωση, αναπτύχθηκε νωρίς και υπήρχαν εγκαταστάσεις από τη δεκαετία του '50. Παρ' όλα αυτά σταδιακά αντικαταστάθηκε από την πολυβάθμια εκτόνωση, λόγω τεχνικών προβλημάτων και σήμερα δεν είναι τόσο διαδεδομένη. Τελευταία αρχίζει όμως να ξανακερδίζει έδαφος λόγω καλύτερης θερμικής απόδοσης. Εδώ, ο ατμός περνάει μέσα από σωλήνες, ενώ το ψυχρό θαλασσινό νερό ψεκάζεται πάνω τους, για να δημιουργηθεί φιλμ και να εξατμιστεί αποτελεσματικότερα. Έτσι, μέρος του ατμού συμπυκνώνεται και συλλέγεται σαν καθαρό νερό, ενώ ο υπόλοιπος ατμός, μαζί με μέρος του θαλασσινού νερού που ατμοποιήθηκε, συνεχίζουν στον επόμενο θάλαμο. Και εδώ σε κάθε θάλαμο υπάρχει αντλία κενού για να βοηθά την εξάτμιση, με βαθμιαία μειούμενη πίεση σε κάθε θάλαμο, ίση με την πίεση κορεσμού στην αντίστοιχη θερμοκρασία. Αυτό επιτρέπει τη λειτουργία σε υψηλή ($> 90\text{ }^{\circ}\text{C}$) ή χαμηλή ($< 90\text{ }^{\circ}\text{C}$) θερμοκρασία και μάλιστα η μέγιστη θερμοκρασία βρασμού μπορεί να είναι έως και $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, πράγμα που λειτουργεί ανασταλτικά στη διάβρωση και επιτρέπει τη χρήση χαμηλού επιπέδου απορριπτόμενης θερμότητας από άλλες θερμικές διεργασίες. Στη μέθοδο αυτή συχνά χρησιμοποιούνται και συμπιεστές (μηχανικοί ή θερμικοί), ενώ οι παραλλαγές της προκύπτουν από την οριζόντια ή κάθετη διάταξη των σωλήνων ατμού και τη φορά το ατμού σε σχέση με την άλμη (ομορροή, αντιρροή ή παράλληλη). {Μπακογιάννη 2016 [38]}

γ) Εξάτμιση με συμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC)



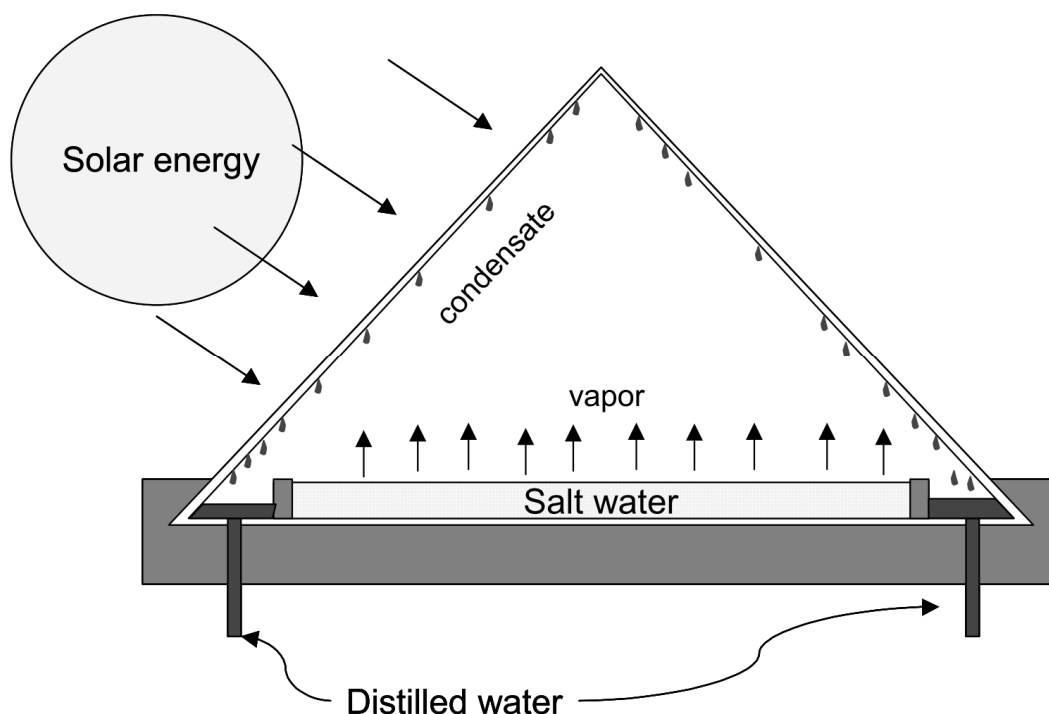
Εικόνα 15: Εγκατάσταση εξάτμισης με συμπίεση ατμών [18]



Εικόνα 16: Σχηματική απεικόνιση της εξάτμισης με συμπίεση ατμών [18]

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο αποδοτική και απλή στην κατασκευή, χωρίς πολλαπλά στάδια. Το θαλασσινό νερό ψεκάζεται πάνω σε μια σειρά σωλήνων που τους διαπερνά ατμός, θερμαίνεται και εξατμίζεται με τη βοήθεια αεροσυμπιεστή που δημιουργεί υποπίεση. Ο συμπιεστής αυτός μαζεύει τους ατμούς του καθαρού νερού και τους εκτοξεύει με πίεση μέσα στους σωλήνες και με την επαφή του ψυχρού θαλασσινού νερού συμπυκνώνονται και λαμβάνονται ως προϊόν. Η κύρια διαφορά με τις προηγούμενες δύο μεθόδους είναι προφανώς η απουσία πηγής θερμότητας, αφού εδώ η εξάτμιση προκαλείται αποκλειστικά και μόνο από την χαμηλή πίεση, δηλαδή λειτουργεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Και εδώ η δημιουργία λεπτού φιλμ πάνω στους σωλήνες είναι το κλειδί για την αποτελεσματικότερη εξάτμιση και άρα απόδοση της εγκατάστασης. Η εξάτμιση με συμπίεση ατμών χρησιμοποιείται γενικά σε μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις και παράγει μέχρι και 3000 m³/ημέρα. {Μπακογιάννη 2016 [38]}

δ) Ηλιακή απόσταξη (solar distillation)



Εικόνα 17: Σχηματική απεικόνιση της ηλιακής απόσταξης [18]

Η ηλιακή απόσταξη πρόκειται ίσως για την πιο απλή μέθοδο αφαλάτωσης και χρησιμοποιεί για την λειτουργία της την ηλιακή ακτινοβολία. Πρόκειται για

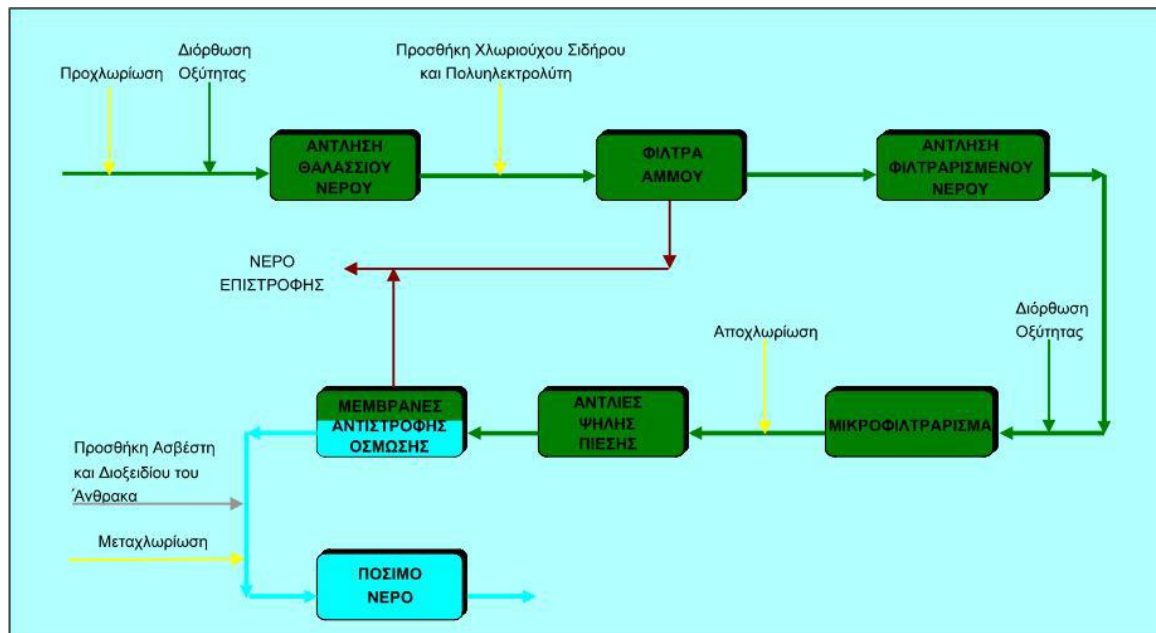
συσκευή στις οποίας την βάση τοποθετείται θαλασσινό νερό το οποίο θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω του αφού διέρχεται από την διάφανη κεκλιμένη οροφή της συσκευής. Το νερό εξατμίζεται και οι υδρατμοί που δημιουργούνται υγραποποιούνται κατά την επαφή τους με την επιφάνεια της κεκλιμένης οροφής. Έπειτα το υγρό κυλάει από την οροφή προς τα δοχεία συλλογής.

Πρόκειται για χαμηλής απόδοσης διεργασία καθώς οι συσκευές αυτές εκμεταλλεύονται λιγότερο από το 50% της ηλιακής ακτινοβολίας. Παράγουν 4 λίτρα περίπου γλυκό νερό ανά τετραγωνικό μέτρο και το νερό αυτό χρήζει περαιτέρω κατεργασίας καθώς δεν είναι απαλλαγμένο από μικροοργανισμούς αφού οι θερμοκρασίες της διεργασίας είναι χαμηλές.

ε) Αντίστροφη ώσμωση (reverse osmosis)



Εικόνα 18: Εγκατάσταση αντίστροφης ώσμωσης (Δεκέλεια Κύπρου, δυναμικότητα 40000 m³/ημέρα) [18]

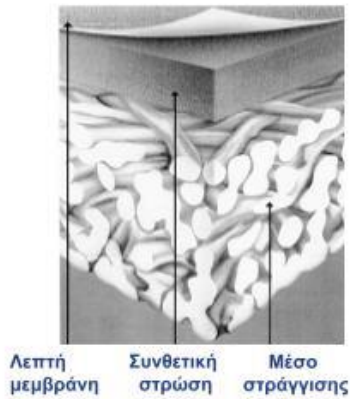


Εικόνα 19: Διάγραμμα ροής της αντίστροφης ώσμωσης [18]

Η μέθοδος αυτή, βασίζεται στο φαινόμενο της ώσμωσης, κατά το οποίο όταν δύο διαλύματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις χωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη τότε το διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση θα περάσει μέσα από τη μεμβράνη προς το πυκνότερο διάλυμα, μέχρι να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις τους. Η ημιπερατή αυτή μεμβράνη εμποδίζει κατά την ροή του αραιότερου διαλύματος προς το πυκνότερο διάλυμα, όμως, κάποιες ουσίες να περάσουν όπως τα άλατα.

Κατά την διάρκεια αυτού του φαινομένου, εξαιτίας των διαφορετικών συγκεντρώσεων, εμφανίζεται η ωσμωτική πίεση. Εάν αντιστρέψουμε αυτό το φαινόμενο, εκμεταλλευόμενοι την ιδιότητα της ημιπερατής μεμβράνης στο να εμποδίζει τα άλατα να περάσουν τότε επιτυγχάνουμε την αφαλάτωση του πυκνότερου διαλύματος (θαλασσινό νερό). Αυτό το επιτυγχάνουμε ασκώντας στο πυκνότερο διάλυμα πίεση μεγαλύτερη της ωσμωτικής. Την αντιστροφή αυτή του φαινομένου της ώσμωσης την ονομάζουμε αντίστροφη ώσμωση.

Μεμβράνη λεπτού συνθετικού φιλμ



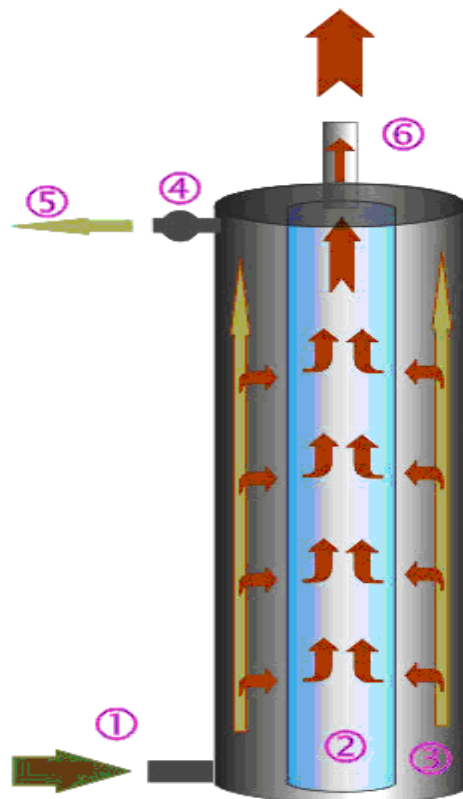
Μεμβράνη σπιράλ



Εικόνα 20: Τύποι μεμβρανών [18]

Στην εικόνα 21 παρουσιάζεται μια συσκευή αντίστροφης ώσμωσης κυλινδρικού τύπου, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη.

Από την είσοδο 1 εισέρχεται το θαλασσινό νερό στο χώρο 3 όπου και δέχεται πίεση ώστε να περάσει από την ημιπερατή μεμβράνη στο χώρο 2 όπου βρίσκεται το καθαρό νερό που βγαίνει από την έξοδο 6. Η άλμη που παραμένει απορρίπτεται από τη έξοδο 5.



Εικόνα 21: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας συσκευής αντίστροφης ώσμωσης [18]

Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης χωρίζεται σε τρία στάδια, το στάδιο της προεπεξεργασίας, το στάδιο της αντίστροφης ώσμωσης και το τελικό στάδιο επεξεργασίας.

Το πρώτο στάδιο πρόκειται ουσιαστικά για μία αρχική επεξεργασία του θαλασσινού ακάθαρτου νερού με σκοπό την προστασία των μεμβρανών από πρόωρη φθορά.

Το δεύτερο στάδιο πρόκειται για την διαδικασία κατά την οποία λαμβάνει χώρα η αντίστροφη ώσμωση και κατ' επέκταση η παραγωγή του προϊόντος.

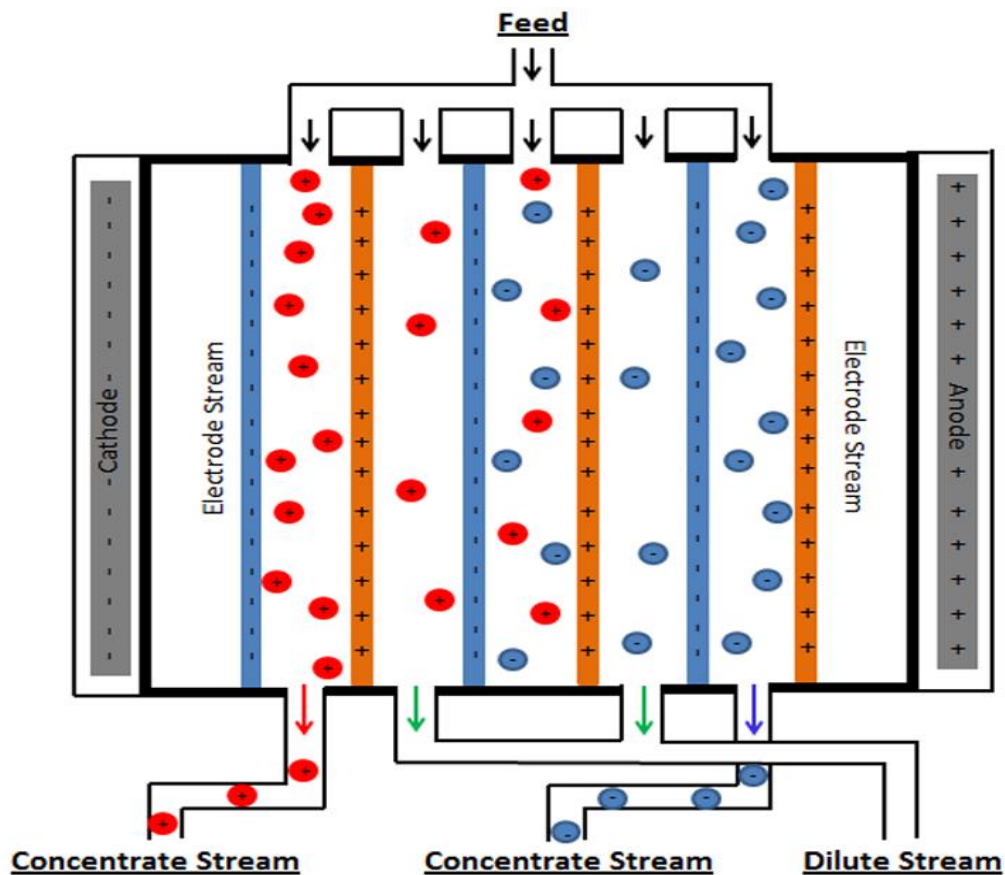
Το τρίτο στάδιο πρόκειται για την τελική επεξεργασία του νερού έτσι ώστε να μπορεί να διανεμηθεί ως πόσιμο.

Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης μελετάται πιο διεξοδικά και στο τέταρτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.

στ) Ηλεκτροδιάλυση (elektrodialysis)



Εικόνα 22: Εγκατάσταση ηλεκτροδιάλυσης [18]



Εικόνα 23: Σχηματική απεικόνιση της ηλεκτροδιάλυσης [34]

Η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης χρησιμοποιεί τον ηλεκτρισμό για να καθαρίσει το νερό. Το νερό τροφοδοσίας περνάει ανάμεσα από φορτισμένες μεμβράνες, θετικά και αρνητικά εναλλάξ. Έτσι, τα ιόντα που είναι διαλυμένα προσκολλώνται στις μεμβράνες, οι οποίες επιτρέπουν τη διέλευσή τους και μόνο, δημιουργώντας διαμερίσματα μικρότερης και μεγαλύτερης συγκέντρωσης, που μας δίνουν το προϊόν και την άλμη αντίστοιχα. Είναι προφανές ότι η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να απομακρύνει τα μη ιοντικά στερεά, αλλά και όσον αφορά τα ιοντικά, η απαιτούμενη ενέργεια αυξάνει ανάλογα με την συγκέντρωση. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται σε νερά χαμηλής συγκέντρωσης αλάτων, όπως τα υφάλμυρα. Για τον καθαρισμό και την καλύτερη λειτουργία των μεμβρανών, εφαρμόζεται αντιστροφή των πεδίων, αλλάζοντας θέση στα κανάλια του προϊόντος με αυτά της άλμης. Έτσι τα τμήματα των μεμβρανών που είχαν μαζέψει πολλά άλατα καθαρίζονται από τη ροή καθαρού νερού. Στο τέλος της διεργασίας γίνεται επεξεργασία του νερού για τη ρύθμιση της σκληρότητας και του pH, όπως στην αντίστροφη ώσμωση. (Μουτάφης 2008, [18])

3.3. Τα μεγαλύτερα εργοστάσια αφαλάτωσης στην Ελλάδα και στον κόσμο

3.3.1. Μονάδες αφαλάτωσης στον Ελλαδικό χώρο

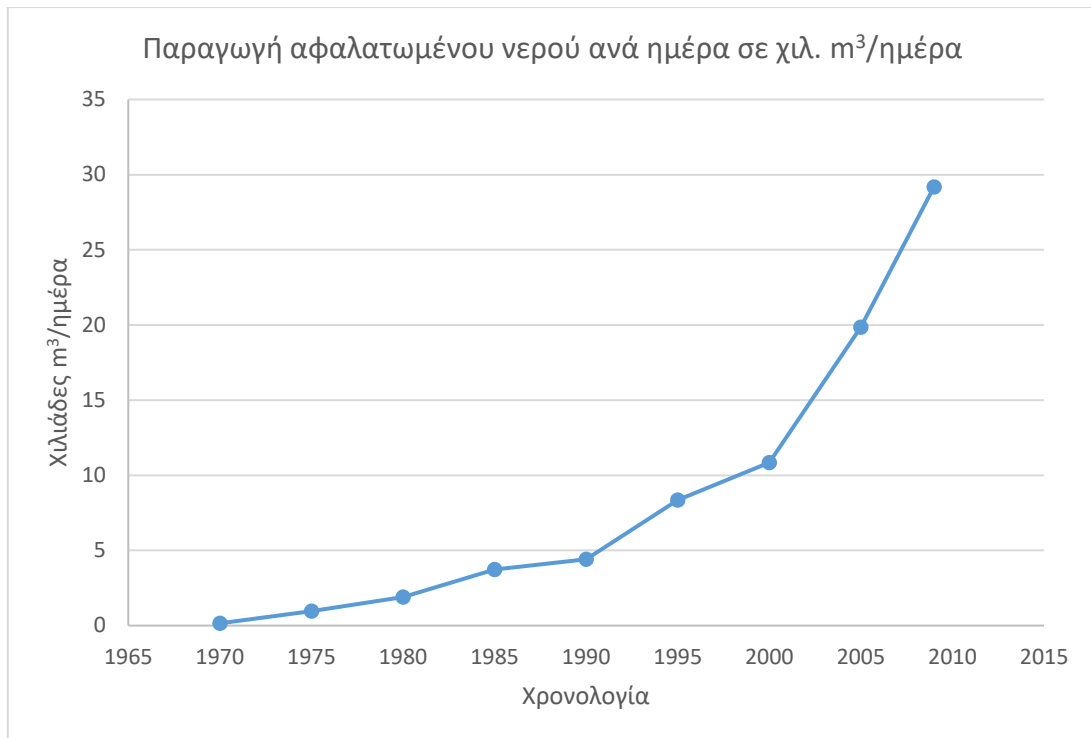
Όπως είδαμε στο δεύτερο κεφάλαιο το πρόβλημα της λειψυδρίας είναι έντονο στη χώρα μας κυρίως στις Κυκλάδες και στα Δωδεκάνησα όπου οι φυσικές πηγές νερού είναι περιορισμένες. Λόγω των περιορισμένων πόρων και λόγω της μεγάλης εισροής τουριστών κατά τη θερινή περίοδο που εκτοξεύει την ζήτηση για νερό, τα νησιά καταφεύγουν στην μεταφορά ποσοτήτων νερού με πλοία για να καλύψουν τις ανάγκες τους.

Η λύση αυτή πέρα από υπερβολικά ακριβή (περίπου 8 €/m³) δεν αντιμετωπίζει ουσιαστικά το πρόβλημα της λειψυδρίας. Λόγω αυτού, η εναλλακτική λύση της αφαλάτωσης φαντάζει η καλύτερη δυνατή στην αντιμετώπιση του προβλήματος. Στην Ελλάδα η μέθοδος αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται είναι η αντίστροφη ώσμωση και στον παρακάτω πίνακα 3.1 αναφέρονται οι πιο σημαντικές μονάδες της χώρας.

Μονάδα	Έτος κατασκευής (αρχικό)	Τύπος	Δυναμικότητα (m ³ /ημέρα)
Σύρος 1 ^η (Ερμούπολη)	1992	RO (SW)	800
Σύρος 2 ^η (Ερμούπολη)	1997	RO (SW)	800
Σύρος 3 ^η (Ερμούπολη)	2001	RO (SW)	2*250
Σύρος 4 ^η (Ανω Σύρος)	2000	RO (SW)	250
Σύρος 5 ^η (Ανω Σύρος)	2002	RO (SW)	500
Σύρος 6 ^η (Ερμούπολη)	2002	RO (SW)	4*500
Σύρος 7 ^η (Ανω Σύρος)	2005	RO (SW)	2*500
Σχοινούσα	2004	RO (SW)	100
Μύκονος (Κόρφου) παλαιά	1989	RO (SW)	2*550
Μύκονος (Κόρφου) νέα	2001	RO (SW)	3*650
Πάρος (Νάουσα)	2001	RO (SW)	1200
Τήνος (Παλαιά)	2001	RO (SW)	500
Τήνος (Νέα)	2005	RO (SW)	500
Οίας, Σαντορίνης 1 ^η	1994	RO	220
Οίας, Σαντορίνης 2 ^η	2000	RO	320
Οίας, Σαντορίνης 3 ^η	2002	RO	160
Θήρας, Σαντορίνης	2009	RO	1000
Θηρασιά	1997	RO	48
Σίφνος	2002	RO (BW)	500
Ομηρούπολης (Δήμος), Χίου	2000	RO (BW)	600
Ομηρούπολης (Δήμος), Χίου	2005	RO	3*1000
Ομηρούπολης (Δήμος), Χίου	2005	RO	500
Νίσυρος (Παλαιά)	1991	RO	300
Νίσυρος (Νέα)	2002	RO	350
Ιθάκη, Κεφαλονιάς 1 ^η	1981	RO	620
Ιθάκη, Κεφαλονιάς 2 ^η	2003	RO	520
Λέρου (ΔΕΥΑ)	2001	RO	200
Μήλου (Δήμος)	2008	RO (με Α/Γ)	2000
Κασσωπαίων (Δήμος)	2001	RO	500
Ποσειδωνιάς (Δήμος) 1	2002	RO (SW)	2*250
Ποσειδωνιάς (Δήμος) 2	2005	RO (SW)	2*500
Αγίου Γεωργίου (Δήμος)	2002	RO	500
Παξών (Δήμος) 1 ^η	2005	RO	330
Παξών (Δήμος) 2 ^η	2005	RO	150
Παξών (Δήμος) 3 ^η	2007	RO (SW)	250
Δυστίων (Δήμος)	2006	RO (BW)	400
Σίφνος (Δήμος)	2007	RO (SW)	250
Ίος (Δήμος)	2003	RO (SW)	1000
Ιθάκη (Δήμος)	2005	RO (SW)	200
Οινουσών (Δήμος)	2005	RO (SW)	500
Πάρου (Δήμος)	2006	RO (BW)	1000
Γαξίου (Δήμος), Αλμυρός ποταμός, Ηρακλείου	2008	RO (BW)	1000
Ηρακλειά (Πλωτή μονάδα Υδριάδα)	2008	RO (με Α/Γ)	70

Πίνακας 3.1: Σημαντικότερες μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα [8]

Το επόμενο διάγραμμα 3.1 δείχνει την εξέλιξη της αφαλάτωσης στην Ελλάδα κατά τη διάρκεια των χρόνων από το 1970 έως το 2009.



Γράφημα 3.1: Παραγωγή αφαλατωμένου νερού ανά ημέρα σε χιλ. m³/ημέρα [39]

Το 2009 το υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας Αιγαίου και νησιωτικής Πολιτικής ανακοίνωσε πρόγραμμα για τη δημιουργία μονάδων αφαλάτωσης σε 13 νησιά των Κυκλάδων και της Δωδεκανήσου (Αμοργός, Δονούσα, Κουφονήσια, Ηράκλεια, Θηρασία, Σίκινος, Φολέγανδρος, Μεγίστη, Χάλκη, Λειψοί, Αγαθονήσι, Αρκίοι και Ψέριμος). Το πρόγραμμα αυτό είναι αυτοχρηματοδοτούμενο (το συνολικό κόστος το ανέλαβαν οι ανάδοχοι επενδυτές), τα οικόπεδα παραχωρήθηκαν από τους Δήμους ενώ το υπουργείο ανέλαβε να αγοράζει για μια δεκαετία εγγυημένη ποσότητα πόσιμου νερού σε τιμή η οποία αντιστοιχεί στο 1/3 της τιμής του νερού που μεταφέρεται με υδροφόρα πλοία. Μετά τη παρέλευση της δεκαετίας οι μονάδες θα παραχωρηθούν στους δήμους. (Ράπτης 2012, [39])

3.3.2. Σημαντικότερες μονάδες αφαλάτωσης στον κόσμο

Η αφαλάτωση έχει εξελιχθεί σε μία βιώσιμη εναλλακτική παροχή νερού, επιτρέποντας την άντληση της μεγαλύτερης δεξαμενής νερού στον κόσμο, τον ωκεανό. Η τεχνολογία αφαλάτωσης νερού, διαθέσιμη από δεκαετιών, έκανε μεγάλα άλματα σε πολλές άγονες περιοχές του κόσμου, όπως στην Μέση Ανατολή, την Μεσόγειο και την Καραϊβική.

Τα εργοστάσια αφαλάτωσης λειτουργούν σε πάνω από 120 χώρες, συμπεριλαμβανομένων των Σαουδική Αραβία, Ομάν, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, Ισπανία, Κύπρο, Μάλτα, Γιβραλτάρ, Πράσινο Ακρωτήριο, Πορτογαλία, Ελλάδα, Ιταλία, Ινδία, Κίνα, Ιαπωνία και Αυστραλία. Παγκοσμίως, τα εργοστάσια αφαλάτωσης παράγουν πάνω από 13,3 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ανά ημέρα. Η εγκατεστημένη χωρητικότητα αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis)(RO) αυξάνεται με εκθετικούς ρυθμούς τα τελευταία τριάντα χρόνια.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα εκατό μεγαλύτερα εργοστάσια αφαλάτωσης παγκοσμίως βάση της χωρητικότητας τους, την τοποθεσία τους, την πηγή νερού, και τις ημερομηνίες κατασκευής και λειτουργίας τους, όπως υπήρχαν ως την 1 Ιανουαρίου 2005. Αυτά τα εργοστάσια αντιστοιχούν σε ποσοστό, περισσότερο από το 40% της χωρητικότητας αφαλάτωσης παγκοσμίως. Επίσης, ο πίνακας περιλαμβάνει εργοστάσια τα οποία χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό, υφάλμυρο νερό, νερό ποταμού, γλυκό νερό και άλλες πηγές νερού, όχι αποκλειστικά εργοστάσια αφαλάτωσης θαλασσινού νερού. Εξαιρετική προσοχή πρέπει να δοθεί στην χρησιμοποίηση των δεδομένων του πίνακα, διότι πολλά από τα μεγαλύτερα εργοστάσια αυτής της βάσης δεδομένων δεν είναι σε λειτουργία, ή ακόμα και υπό κατασκευή – έχουν απλά προταθεί. Στην πραγματικότητα, είναι πιθανό ότι πολλά από αυτά τα εργοστάσια δεν θα κατασκευαστούν, ή θα κατασκευαστούν σε αργότερη ημερομηνία από την καταδεικνυόμενη στον πίνακα. (Μετάφραση από [35])

Χώρα	Τοποθεσία	Συνολική Χωρητικότητα (m ³ /d)	Πηγή Νερού	Έναρξη Κατασκευής	Έτος Λειτουργίας
Saudi Arabia SA	Shuaiba III	880,000	SEA	2004	2007
Saudi Arabia SA	Ras Al-Zour	800,000	SEA	2004	2007
Saudi Arabia SA	Al Jobail II Ex	730,000	SEA	2004	2007
UAE AE	Jebel Ali M	600,000	SEA	2008	2011
Kuwait KW	Al-Zour North	567,000	SEA	2004	2007
UAE AE	Shuweihat	455,000	SEA	2001	2004
UAE AE	Shuweihat 2	454,600	SEA	2004	2006
USA US	CA San Francisco	454,200	SEA	2006	2008
UAE AE	Fujairah II	454,000	SEA	2004	2007
UAE AE	Qidfa	454,000	SEA	2004	2006
Saudi Arabia SA	Al Jobail	408,600	SEA	2004	2007
Israel IL	Ashkelon	395,000	SEA	2001	2004
Saudi Arabia SA	Shuaiba III	390,908	SEA	2000	2003
UAE AE	Jebel Ali L-2	363,200	SEA	2004	2007
USA US	TX Pt. Comfort	340,650	SEA	2004	2006
UAE AE	Jebel Ali L-1	317,800	SEA	2003	2005
UAE AE	Jebel Ali N	300,000	SEA	2010	2013
Kuwait KW	Sulaibya	300,000	WASTE	2001	2003
India IN	Minjur Chennai	300,000	SEA	2005	2006
UAE AE	Taweelah B III	295,490	SEA	2005	2008
UAE AE	Fujairah	295,100	SEA	2001	2003
UAE AE	Umm Al Nar	284,125	SEA	2000	2002
USA US	PR Puerto Rico	284,000	SEA	2004	2006
UAE AE	Mirfa	277,000	SEA	2004	2007
Bahrain BH	Hidd III	272,400	SEA	2004	2006
Saudi Arabia SA	Al Jobail I Ext	272,000	SEA	2004	2007
Saudi Arabia SA	Al Jobail III	272,000	SEA	2004	2006
Saudi Arabia SA	Al Khobar IV	272,000	SEA	2004	2006
Saudi Arabia SA	Shuaiba IV	272,000	SEA	2004	2007
USA US	CA Orange Count	265,000	RIVER	2004	2007
USA US	CA Fountain Val	264,950	WASTE	2004	2006
Libya LY	Tripoli	250,000	SEA	2004	2006
UAE AE	Taweelah A1 Ext	239,680	SEA	2000	2003
UAE AE	Taweelah C RO	227,300	SEA	2003	2006
Saudi Arabia SA	Ras Az Zawr	227,000	SEA	2004	2006
Qatar QA	Ras Laffan	227,000	SEA	2006	2009
Kuwait KW	Subiya 2	227,000	SEA	2004	2006
Kuwait KW	Subiya	227,000	SEA	2003	2007
USA US	CA Carlsbad	189,250	SEA	2005	2008
USA US	CA Huntington B	189,250	SEA	2004	2006
USA US	CA San Diego	189,250	SEA	2004	2006
UAE AE	Jebel Ali K II	182,000	SEA	2000	2002
Saudi Arabia SA	Al Bahah I	182,000	SEA	2004	2006
Qatar QA	Ras Laffan	182,000	SEA	2001	2004
Qatar QA	Ras Laffan 2	181,840	SEA	2004	2007
UAE AE	Fujairah	170,000	SEA	2001	2004
Spain ES	Malaga	165,000	BRACK	2001	2003
Kuwait KW	Shuwaikh	163,000	SEA	2004	2006
Saudi Arabia SA	Al Wasia	153,000	BRACK	2002	2004
Israel IL	Negev Arava	152,000	BRACK	2004	2006
USA US	FL Boca Raton	151,400	RIVER	2001	2003
Libya LY	Benghazi South	150,000	SEA	2004	2006
Spain ES	Murcia	147,000	SEA	2003	2004
Jordan JO	Zara Maain	145,344	BRACK	2003	2005
Jordan JO	Zara Maain	145,000	BRACK	2003	2005

China CN	Yantai	143,000	SEA	2004	2006
Israel IL	Ashdod	137,000	SEA	2004	2007
Israel IL	Hadera-Caesarea	136,260	SEA	2004	2007
Singapore SG	Singapore I	136,000	SEA	2003	2005
Iraq IQ		130,000	BRACK	2004	2005
Mexico MX	Hermosillo	128,690	SEA	2001	2004
Australia AU	WA Perth	123,300	SEA	2004	2006
Spain ES	Carboneras	120,000	SEA	2000	2001
Singapore SG	Ulu Pandan	116,000	WASTE	2004	2006
UAE AE	Umm Al Nar IWPP	115,244	SEA	2003	2007
Egypt EG	Sinai	113,650	SEA	2004	2006
Trinidad To. TT	Point Lisas	113,636	SEA	2000	2002
Saudi Arabia SA	Tabuk I	113,636	SEA	2004	2007
USA US	FL Palm Beach 3	113,550	RIVER	2002	2004
UAE AE	Jebel Ali G RO	113,500	SEA	2005	2007
Kuwait KW	Al-Zour North	113,500	SEA	2004	2006
Saudi Arabia SA	Shuqaiq II	109,000	SEA	2004	2006
USA US	TX El Paso	104,088	BRACK	2004	2006
USA US	CA Dana Point	102,195	SEA	2004	2006
UAE AE	Mirfa	102,000	SEA	2000	2001
Algeria DZ	Algiers Djinet	100,000	SEA	2004	2006
Algeria DZ	Algiers Zeralda	100,000	SEA	2004	2006
Algeria DZ	Mostaganem	100,000	SEA	2004	2007
USA US	TX Brownsville	94,625	SEA	2005	2007
USA US	TX Freeport	94,625	SEA	2005	2007
USA US	FL Tampa Bay II	94,625	SEA	2004	2007
USA US	TX Corpus Chris	94,625	SEA	2004	2006
USA US	FL Tampa Bay	94,625	SEA	2001	2003
USA US	FL S. Miami Hei	94,625	RIVER	2004	2006
Pakistan PK	Karachi	94,625	SEA	2004	2006
Pakistan PK	Gwadar	94,625	BRACK	2004	2006
Iran IR	Bandar Imam	93,600	BRACK	2000	2002
Singapore SG	Bedok	92,000	SEA	2004	2006
Saudi Arabia SA	Buraydah	91,000	SEA	2003	2004
Qatar QA	Ras Abu Font B1	91,000	SEA	2004	2007
Oman OM	Barka	90,920	SEA	2000	2003
Algeria DZ	Arzew	88,888	SEA	2003	2005
Algeria DZ	Arzew	88,000	SEA	2001	2003
Israel IL	Haifa	83,270	SEA	2004	2006
Israel IL	Palmachin	83,270	SEA	2004	2006
Israel IL	Palmahim	83,270	SEA	2003	2006
Israel IL	Ashdod	82,190	SEA	2003	2006
Israel IL	Shomrad	82,190	SEA	2003	2006
Libya LY	Azzawiya	80,000	SEA	2004	2006
Libya LY	Misurata	80,000	SEA	2004	2006
Συνολική Χωρητικότητα		21,404,184			

Πίνακας 3.2: Σημαντικότερες μονάδες αφαλάτωσης στον κόσμο [35]

m³/d : κυβικά μέτρα ανά ημέρα

SEA : θαλασσίνο νερό

BRACK : υφάλμυρο νερό

RIVER : νερό ποταμού

4. Περιγραφή συμβατικών συστημάτων αντίστροφης ώσμωσης

4.1. Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται τα διάφορα υποσυστήματα που χρησιμοποιούνται στις συμβατικές μονάδες αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης. Με τον όρο «συμβατικές» εννοούνται μικρές μονάδες αφαλάτωσης ΑΩ, χωρίς συσκευή ανάκτησης ενέργειας, οι οποίες υποστηρίζονται ενεργειακά από συμβατική πηγή ενέργειας (δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ή ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος) (Mohamed et al.,2006).

Συζητούνται αρχικά οι παράμετροι που επηρεάζουν τη λειτουργία των μεμβρανών, όπως η θερμοκρασία, η πίεση λειτουργίας, η συγκέντρωση αλάτων του νερού τροφοδοσίας, η ανάκτηση του αφαλατωμένου νερού και ο βαθμός pH.

Στη συνέχεια διερευνάται η λειτουργία της αντλίας Clark, η οποία είναι μια αντλία θετικής μετατόπισης που σκοπό έχει την αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας της άλμης.

4.2. Περιγραφή συμβατικών συστημάτων Α.Ω.

Μια μονάδα αντίστροφης ώσμωσης αποτελείται από τρία κυρίως συστήματα:

- Σύστημα προεπεξεργασίας νερού
- Κυρίως σύστημα αφαλάτωσης
- Σύστημα μετεπεξεργασίας προϊόντος

Η εικόνα 24 αποτελεί το σχεδιάγραμμα μιας συμβατικής μονάδας αντίστροφης ώσμωσης.

Το σύστημα προεπεξεργασίας διακρίνεται από τις παρακάτω διαδικασίες:

1. Η **χλωρίωση** επιτυγχάνεται με την βοήθεια δοσομετρικών αντλιών που τροφοδοτούν το θαλασσινό νερό που προορίζεται για αφαλάτωση με χημικές ουσίες όπως το υποχλωριώδες νάτριο, το αέριο χλώριο και σπανιότερα υποχλωριώδες ασβέστιο. Η χλωρίωση βοηθά στην διατήρηση της καλής κατάστασης των μεμβρανών καθώς προλαμβάνει την μόλυνση τους.
2. Η **θρόμβωση – κροκίδωση** επιτυγχάνεται με την βοήθεια ουσιών που οδηγούν τα μικροσωματίδια που υπάρχουν στο θαλασσινό νερό σε συσσωμάτωση τα οποία απομακρύνονται αργότερα από τα φίλτρα.
3. Τα **πολυστρωματικά φίλτρα** αποτελούνται από διάφορα υλικά όπως άμμος ή ενεργός άνθρακας και κατακρατούν τα μικροσωματίδια του θαλασσινού νερού. Τα μικροσωματίδια κατακρατούνται είτε λόγω του ότι δεν «χωρούν» να περάσουν από τα στρώματα των φίλτρων είτε υπόκεινται καθίζηση εξαιτίας του βάρους τους. Ακόμα τα πολυστρωματικά φίλτρα είναι κατασκευασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να καθαριστούν.
4. Η **αποχλωρίωση** επιτυγχάνεται με την βοήθεια δοσομετρικής αντλίας, η οποία τροφοδοτεί το θαλασσινό νερό με αναγωγικά μέσα έτσι ώστε να αφαιρεθεί το χλώριο που υπάρχει στο νερό, το οποίο είναι εξαιρετικά βλαβερό για τις μεμβράνες.
5. Η **ρύθμιση pH** επιτυγχάνεται με οξέα, υδροχλωρικό οξύ ή θειικό οξύ, ούτως ώστε να αντιμετωπισθεί η επικάθιση αλάτων.
6. Η **προσθήκη αντικαθαλωτικού** επίσης χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση της επικάθισης αλάτων στις μεμβράνες. Το αντικαθαλωτικό εμποδίζει τον σχηματισμό κρυστάλλων και κατ' επέκταση την επικάθιση αλάτων.
7. Τα **φίλτρα φυσιγγίων** κλείνουν την διαδικασία της προεπεξεργασίας. Συνήθως αποτελούνται από πολυμερές υλικό και το δοχείο τους θα πρέπει να είναι κατασκευασμένο από υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση.

4.2.2. Κυρίως σύστημα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης

Το κυρίως σύστημα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης περιλαμβάνει τα εξής τμήματα:

1. Η **αντλία τροφοδοσίας** παρέχει στη μονάδα το νερό προς αφαλάτωση. Κατασκευάζεται από υλικά ανθεκτικά απέναντι στη διάβρωση και πρόκειται συνήθως για περιστροφική ή φυγόκεντρη αντλία. Ονομάζεται και αντλία χαμηλής πίεσης.
2. Η **αντλία υψηλής πίεσης** ευθύνεται για την διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης καθώς προσδίδει στο νερό προς καθαρισμό την πίεση που ξεπερνά την ωσμωτική ώστε να περάσει από τις μεμβράνες. Πρόκειται

συνήθως για εμβολοφόρα αντλία κατασκευασμένη από ανοξείδωτο χάλυβα για καταπολέμηση της διάβρωσης. Εκτός από εμβολοφόρες αντλίες, υπάρχουν μονάδες που διαθέτουν πολυβάθμιες περιστροφικές αντλίες. Για τη ρύθμιση της υψηλής πίεσης χρησιμοποιούμε βάνα στραγγαλισμού.

3. Τα **στοιχεία αντίστροφης ώσμωσης** είναι τα κυλινδρικά δοχεία στα οποία βρίσκονται οι ημιπερατές μεμβράνες. Στα στοιχεία αυτά λαμβάνει χώρα η διεργασία της αντίστροφης ώσμωσης, τα οποία είναι τοποθετημένα σε παράλληλη διάταξη.

Η λειτουργία τους έχει ως εξής:

Από την αντλία υψηλής πίεσης το θαλασσινό νερό διέρχεται στα στοιχεία, όπου διαχωρίζεται από τις μεμβράνες σε καθαρό νερό (προϊόν) και σε άλμη. Έπειτα το προϊόν και η άλμη εξέρχονται από διαφορετικά στόμια στο τέλος του στοιχείου. Εάν θέλουμε να επεξεργαστούμε περαιτέρω την άλμη ώστε να ανακτήσουμε περισσότερο προϊόν, την μεταφέρουμε σε δεύτερο στοιχείο όπου αφαλατώνεται ξανά.

Τα κυλινδρικά δοχεία που περιέχουν τις ημιπερατές μεμβράνες είναι ισχυρές κατασκευές, ανθεκτικές σε πολύ υψηλές πιέσεις και κατασκευασμένες έτσι ώστε να μην υπάρχουν εξωτερικές διαρροές (άλμης στο εξωτερικό περιβάλλον) και εσωτερικές διαρροές (άλμης στο προϊόν).

4.2.3. Σύστημα μετεπεξεργασίας προϊόντος

Το προϊόν της αφαλάτωσης λόγω του ότι όταν εξέρχεται από τις μεμβράνες έχει μικρή σκληρότητα και χαμηλό pH είναι ακατάλληλο για κατανάλωση και εξαιρετικά διαβρωτικό για τους αγωγούς από τους οποίους διέρχεται, χρήζει μετεπεξεργασίας, η οποία αποτελείται από τα παρακάτω:

1. Η **ρύθμιση σκληρότητας** επιτυγχάνεται με δοσομετρική αντλία που τροφοδοτεί το προϊόν με χλωριούχο ασβέστιο και χλωριούχο μαγνήσιο. Άλλη λύση για τη ρύθμιση της σκληρότητας είναι η διαβίβαση νερού μέσα από ειδικές στήλες που περιέχουν άλατα ασβεστίου και μαγνησίου.
2. Η **ρύθμιση pH** επιτυγχάνεται με προσθήκη υδροξειδίου του νατρίου ή όξινου ανθρακικού νατρίου. Η δοσολογία ρυθμίζεται ανάλογα με το pH του παραγόμενου νερού και την επιθυμητή τιμή. Για να μειωθούν οι διαβρωτικές ιδιότητες του αφαλατωμένου νερού, προστίθεται αντιδιαβρωτικό όπως είναι διάφορες πολυφωσφορικές ενώσεις.
3. Η **χλωρίωση** του προϊόντος επιτυγχάνεται με την πρόσθεση διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου, σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις για το πόσιμο νερό. Το υπολειπόμενο χλώριο στο πόσιμο νερό δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,2 ppm. (Δημητρίου 2012, [19])

4.3. Παράγοντες που έχουν αντίκτυπο στη λειτουργία των μεμβρανών

Οι παράγοντες που έχουν αντίκτυπο στη λειτουργία των ημιπερατών μεμβρανών είναι η πίεση στις μεμβράνες, η θερμοκρασία του νερού προς αφαλάτωση, η περιεκτικότητα σε άλατα του νερού προς αφαλάτωση και ο βαθμός ανάκτησης προϊόντος.

Η πίεση στις μεμβράνες προκύπτει από την διαφορά της υψηλής με την ωσμωτική πίεση και επιδρά στην διαδικασία της αφαλάτωσης. Επηρεάζει γραμμικά τη ροή του προϊόντος και εάν αυξηθεί, αυξάνεται και απόρριψη των αλάτων.

Η θερμοκρασία του νερού προς αφαλάτωση επιδρά στην λειτουργία των μεμβρανών καθώς με την αύξησή της μειώνεται η πυκνότητα του νερού και επομένως αυξάνεται η ροή του προϊόντος. Ακόμα λόγω της μείωσης της πυκνότητας μειώνεται και η απόρριψη των αλάτων με αποτέλεσμα να αυξηθεί η περιεκτικότητα του προϊόντος σε άλατα.

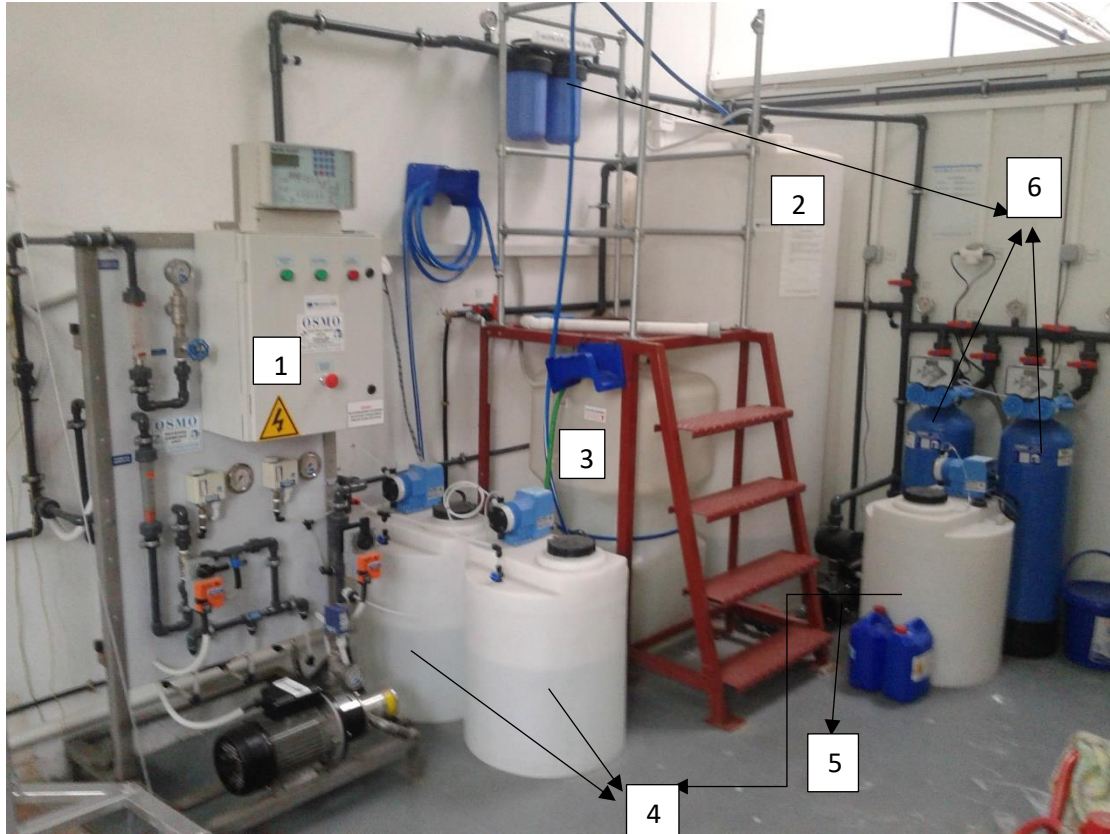
Όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα του νερού προς αφαλάτωση σε άλατα αυξάνεται και η ωσμωτική πίεση με αποτέλεσμα να μειώνεται η πίεση στις μεμβράνες και η μείωση αυτή οδηγεί σε μείωση της ροής του προϊόντος αλλά και τις απόρριψης των αλάτων.

Ο βαθμός ανάκτησης του προϊόντος όταν αυξάνεται οδηγεί σε μεγαλύτερη πιθανότητα δημιουργίας ανθρακικών επικαθίσεων οι οποίες μειώνουν τη ροή του προϊόντος και την απόρριψη των αλάτων.

Η λειτουργία των μεμβρανών δεν επηρεάζεται από το pH του νερού προς αφαλάτωση καθώς οι μεμβράνες, οι οποίες κατασκευάζονται από οξική κυτταρίνη, έχουν μεγάλο εύρος αντοχής (1-12). Παρ' όλα αυτά εάν το pH «ξεφύγει» από το εύρος αντοχής των μεμβρανών μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή τους. (Δημητρίου 2012, [19])

5. Πειραματική μονάδα αντίστροφης ώσμωσης ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.

5.1. Παρουσίαση μονάδας



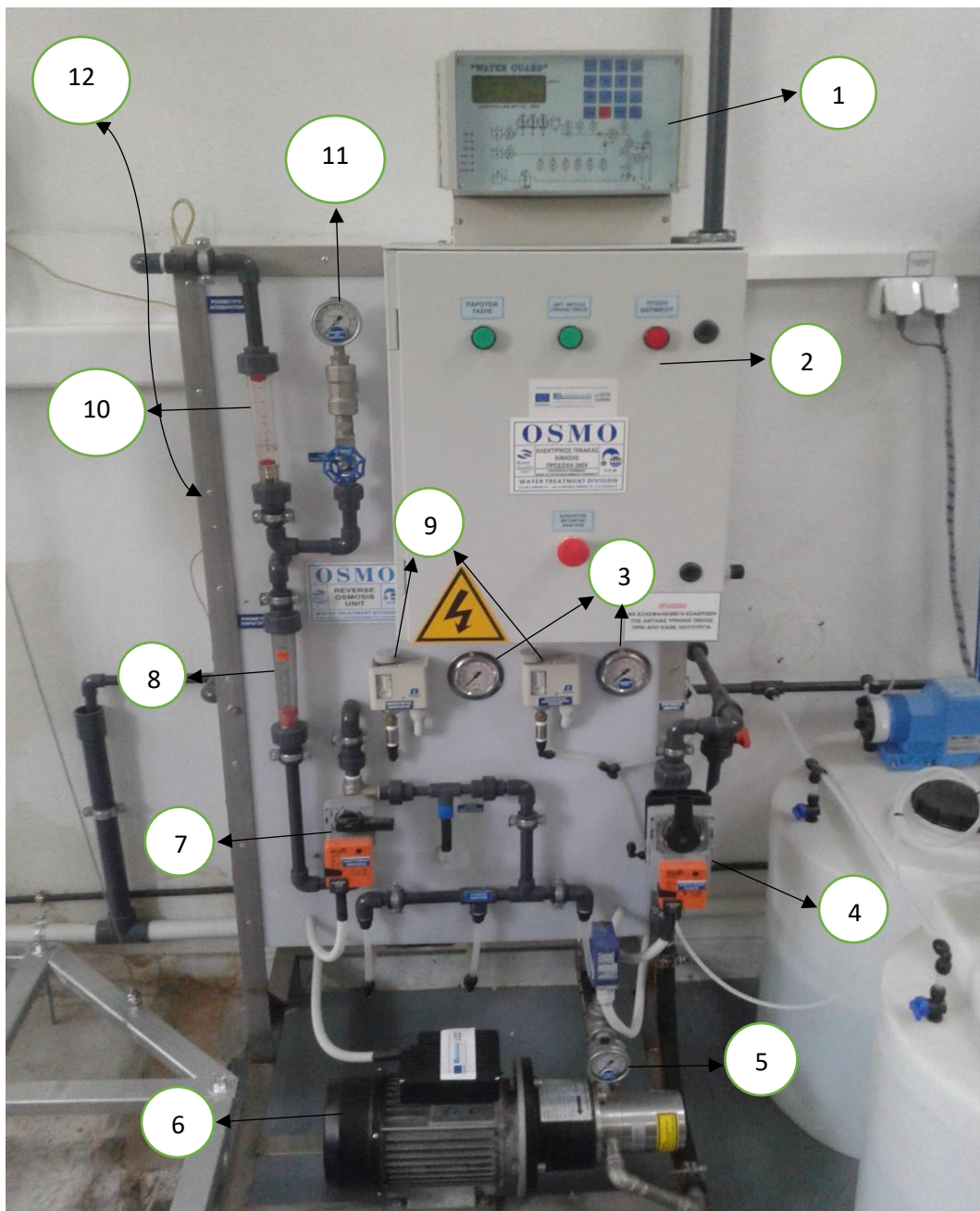
Εικόνα 25: Το κύκλωμα αφαλάτωσης

Η μονάδα αφαλάτωσης του εργαστηρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας του ΑΕΙ Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα πρόκειται για μονάδα αντίστροφης ώσμωσης με τρεις κυλίνδρους ημιπερατών μεμβρανών. Το όλο κύκλωμα αποτελείται από:

1. Την κεντρική μονάδα
2. Την δεξαμενή ακάθαρτου ύδατος
3. Την δεξαμενή παραγωγής
4. Τις δεξαμενές χλωρίωσης και αποχλωρίωσης
5. Την δευτερεύουσα αντλία ή αντλία τροφοδοσίας
6. Τα φίλτρα άμμου και ενεργού άνθρακα καθώς και τα φίλτρα 5 και 20 μm

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά τα μέρη του κυκλώματος αφαλάτωσης του ΑΕΙ Πειραιά ΤΤ.

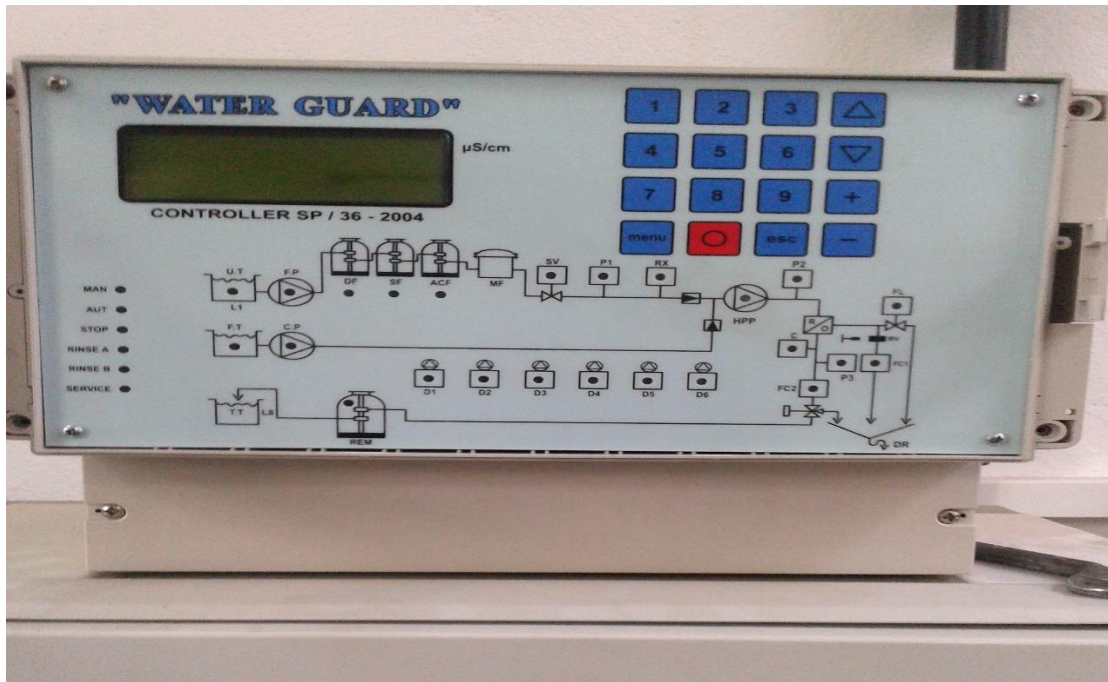
5.1.1. Κεντρική μονάδα



Εικόνα 26: Κεντρική μονάδα

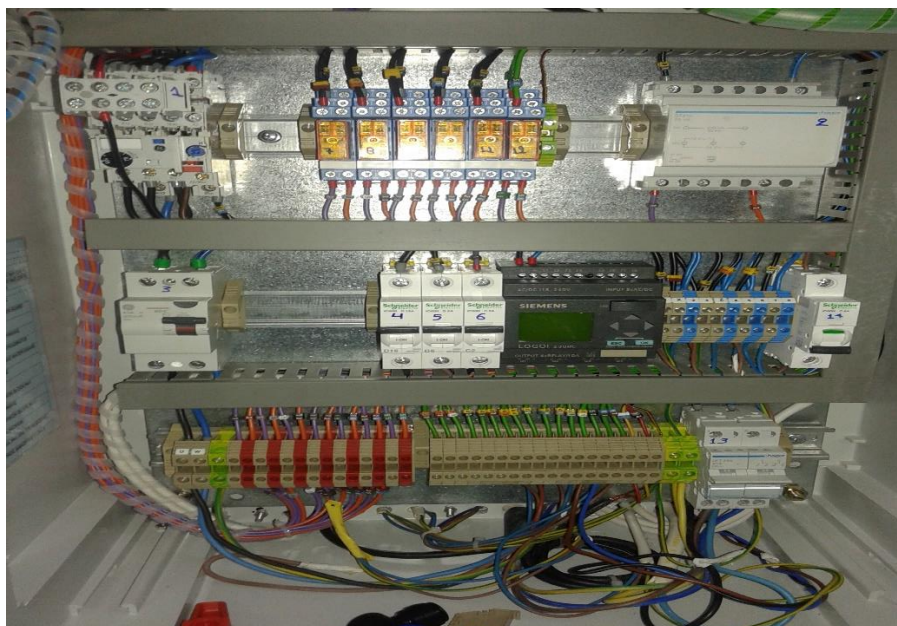
Στην Εικόνα 26 παρουσιάζονται τα κύρια εξαρτήματα της κεντρικής μονάδας αφαλάτωσης του ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ. Στο πίσω μέρος της μονάδας, το οποίο δεν φαίνεται στην εικόνα βρίσκονται οι τρεις κύλινδροι ημιπερατής μεμβράνης όπου λαμβάνει χώρα η αφαλάτωση.

1. **Ηλεκτρονικός πίνακας ελέγχου**, όπου επιλέγονται οι ρυθμίσεις της μονάδας. Επίσης, στην οθόνη του πίνακα ελέγχου εμφανίζονται οι ενδείξεις: Αγωγιμότητα (αλατότητα) παραγόμενου καθαρού νερού ($\mu\text{S}/\text{cm}^3$), θερμοκρασία νερού ($^{\circ}\text{C}$ ή $^{\circ}\text{F}$), ώρες λειτουργίας.



Εικόνα 27: Ηλεκτρονικός πίνακας ελέγχου

2. **Ηλεκτρικός πίνακας**, όπου βρίσκονται οι ασφάλειες του ηλεκτρικής εγκατάστασης της μονάδας.



Εικόνα 28: Ηλεκτρικός πίνακας μονάδας

3. **Μανόμετρα εισόδου και παραγωγής.** Όπως φαίνονται στην εικόνα της κεντρικής μονάδας, δεξιά είναι το μανόμετρο εισόδου και αριστερά το μανόμετρο παραγωγής.
4. **Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα εισόδου,** προ της κύριας παλινδρομικής αντλίας, η οποία ανοίγει αυτόματα όταν η μονάδα τίθεται σε λειτουργία.



Εικόνα 29: Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα εισόδου

5. **Αναλογικό μανόμετρο,** μετά της κύριας παλινδρομικής αντλίας και προ των μεμβρανών.
6. **Κύρια αντλία ή αντλία αντίστροφης ώσμωσης.** Πρόκειται για παλινδρομική αντλία, η οποία δέχεται την ροή του νερού του κυκλώματος και δημιουργεί την κατάλληλη πίεση σε αυτό ώστε να περάσει από τους κυλίνδρους ημιπερατών μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης.



Εικόνα 30: Κύρια αντλία ή αντλία αντίστροφης ώσμωσης



Εικόνα 31: Τεχνικά χαρακτηριστικά κύριας αντλίας

7. **Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα παραγωγής**, η οποία βρίσκεται μετά των κυλίνδρων ημιπερατής μεμβρανών.



Εικόνα 32: Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα παραγωγής

8. **Ροόμετρο παραγωγής**, το οποίο βρίσκεται μετά των κυλίνδρων ημιπερατών μεμβρανών και ενδεικνύει την ροή καθαρού παραγόμενου νερού σε λίτρα ανά ώρα (l/h).



Εικόνα 33: Ροόμετρο παραγωγής

9. **Πιεσοστάτες χαμηλής πίεσης εισόδου και παραγωγής**. Ο πιεσοστάτης χαμηλής πίεσης εισόδου βρίσκεται προ των κυλίνδρων ημιπερατών μεμβρανών, ενώ ο πιεσοστάτης παραγωγής μετά των κυλίνδρων. Οι δύο πιεσοστάτες ελέγχουν την πίεση του κυκλώματος ώστε εάν αυτή υπερβεί το όριο που θέτει ο κατασκευαστής, το σύστημα απενεργοποιείται.



Εικόνα 34: Πιεσοστάτης χαμηλής πίεσης εισόδου



Εικόνα 35: Πιεσοστάτης παραγωγής

- 10. Ροόμετρο αποβλήτων**, το οποίο βρίσκεται μετά των κυλίνδρων ημιπερατών μεμβρανών και ενδεικνύει την ροή απόβλητου νερού σε λίτρα ανά ώρα (l/h).



Εικόνα 36: Ροόμετρο αποβλήτων

- 11. Μανόμετρο μετά μεμβρανών**, το οποίο ενδεικνύει την πίεση του νερού όπως εξέρχεται από τους κυλίνδρους ημιπερατών μεμβρανών.



Εικόνα 37: Μανόμετρο μετά μεμβρανών

12. Κύλινδροι ημιπερατής μεμβράνης. Πρόκειται για τρεις κυλίνδρους όπου εμπεριέχεται η ημιπερατή μεμβράνη, με την βοήθεια της οποίας γίνεται ο διαχωρισμός του άλατος από το νερό. Το ακάθαρτο νερό περνά διαδοχικά από τον πρώτο στον δεύτερο και από τον δεύτερο στον τρίτο κύλινδρο, από όπου εξέρχεται καθαρό και καταλήγει στην δεξαμενή παραγωγής.



Εικόνα 38: Κύλινδροι ημιπερατής μεμβράνης

5.1.2. Δεξαμενή ακάθαρτου ύδατος

Πρόκειται για δεξαμενή κάθετου κυλινδρικού τύπου 1000 λίτρων, όπου τοποθετείται το ακάθαρτο νερό, υψηλής περιεκτικότητας σε αλάτι (υψηλής αγωγιμότητας).



Εικόνα 39: Δεξαμενή ακάθαρτου ύδατος

5.1.3. Δεξαμενή παραγωγής

Πρόκειται για δεξαμενή κάθετου ορθογώνιου τύπου 400 λίτρων, όπου μεταφέρεται το καθαρό παραγόμενο νερό από την μονάδα.



Εικόνα 40: Δεξαμενή παραγωγής

5.1.4. Δεξαμενές αποχλωρίωσης, αντικαθαλάτωσης και προχλωρίωσης.

Πρόκειται για τρεις δεξαμενές κάθετου κυλινδρικού τύπου 200 λίτρων, στις οποίες τοποθετείται νερό με το αντίστοιχο χημικό για την χρήση της κάθε δεξαμενής. Η κάθε δεξαμενή φέρει δοσομετρική αντλία που προσδίδει στο κύκλωμα την ποσότητα μίγματος που έχει προκαθορίσει ο χειριστής της μονάδας.

- Η δεξαμενή αποχλωρίωσης περιέχει χημικό DECLORO.
- Η δεξαμενή αντικαθαλάτωσης περιέχει χημικό PERMATREAT.
- Η δεξαμενή προχλωρίωσης περιέχει υποχλωριώδες νάτριο.



Εικόνα 41: Αριστερά η δεξαμενή αποχλωρίωσης, δεξιά η δεξαμενή αντικαθαλάτωσης



Εικόνα 42: Δεξαμενή προχλωρίωσης

5.1.5. Δευτερεύουσα αντλία ή αντλία τροφοδοσίας

Πρόκειται για παλινδρομική αντλία, με την βοήθεια της οποίας γίνεται ανάδευση του ακάθαρτου νερού στην δεξαμενή ακάθαρτου ύδατος, έτσι ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία ιζήματος αλατιού στον πυθμένα της δεξαμενής από την κατακρήνηση του αλατιού που δεν έχει διαλυθεί στο νερό. Επίσης λειτουργεί ως τροφοδότης του συστήματος, αφού αντλεί το νερό από την δεξαμενή ακάθαρτου ύδατος και το τροφοδοτεί στο κύκλωμα, απ' όπου καταφτάνει στην κύρια αντλία, η οποία έπειτα το ωθεί στις ημιπερατές μεμβράνες.



Εικόνα 43: Δευτερεύουσα αντλία



Εικόνα 44: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας τροφοδοσίας

5.1.6. Φίλτρα άμμου, ενεργού άνθρακα και φίλτρα 5 και 20 μm

Τα φίλτρα άμμου και ενεργού άνθρακα αποτελούνται από φιάλες κυλινδρικού τύπου όπου περιέχεται άμμος και ενεργός άνθρακας, από τα οποία περνά η ροή του ακάθαρτου νερού ώστε να καθαριστεί από σωματίδια και μικροοργανισμούς που μπορεί να υπάρχουν στο νερό. Η θέση τους στο κύκλωμα είναι αμέσως μετά την δεξαμενή ακάθαρτου ύδατος.



Εικόνα 45: Αριστερά το φίλτρο άμμου και δεξιά το φίλτρο ενεργού άνθρακα

Τα φίλτρα 5 και 20 μm είναι φίλτρα ενεργού άνθρακα τα οποία καθαρίζουν το νερό από σωματίδια με τις διαστάσεις των 5 και 20 μm αντίστοιχα. Η θέση τους στο κύκλωμα είναι μετά τα φίλτρα άμμου και ενεργού άνθρακα.



Εικόνα 46: Φίλτρα 5 και 20 μm

5.2. Λειτουργία μονάδας

5.2.1. Εκκίνηση λειτουργίας μονάδας

Για να τεθεί η μονάδα σε λειτουργία, αρχικά σηκώνουμε τον κεντρικό διακόπτη ρεύματος από τον ηλεκτρικό πίνακα και έπειτα επιλέγουμε την αυτόματη λειτουργία από τον ηλεκτρονικό πίνακα της μονάδας.

Όταν γίνεται εκκίνηση της μονάδας (αυτόματη λειτουργία), το σύστημα τίθεται σε λειτουργία πρωτεύοντος πλυσίματος. Το πρωτεύον πλύσιμο είναι μία αρχική έκπλυση του συστήματος με καθαρό νερό για την επικείμενη χρήση της μονάδας. Ο χρόνος διάρκειας του πρωτεύοντος πλυσίματος εμφανίζεται στην οθόνη του ηλεκτρονικού πίνακα.

Με το πέρας του πρωτεύοντος πλυσίματος, γίνεται εκκίνηση της κεντρικής αντλίας και η μονάδα μεταβαίνει σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας. Στην κατάσταση κανονικής λειτουργίας, το σύστημα ξεκινά να μετρά τις ώρες λειτουργίας, οι οποίες εμφανίζονται στην οθόνη του ηλεκτρονικού πίνακα.

Κατά την διάρκεια λειτουργίας της μονάδας, για να υπάρχει η ομαλή διεξαγωγή της καθώς και η ασφάλεια του συστήματος, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω:

- Η πίεση μετά της αντλίας τροφοδοσίας θα πρέπει να είναι μικρότερη των 5 bar. Σε διαφορετική περίπτωση το σύστημα διακόπτει την λειτουργία του.
- Η πτώση πίεσης μεταξύ των φίλτρων θα πρέπει να είναι μεταξύ 0,5 – 1 bar. Σε περίπτωση που η πτώση πίεσης είναι μεγαλύτερη του 1 bar, τότε το φίλτρο χρειάζεται καθαρισμό.
- Η πίεση του μανομέτρου κατάθλιψης, το οποίο βρίσκεται προ των ημιπερατών μεμβρανών, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 20 bar ώστε να τεθεί η μονάδα σε λειτουργία.
- Η πίεση μετά των ημιπερατών μεμβρανών θα πρέπει να είναι μικρότερη των 65 bar. Σε διαφορετική περίπτωση το σύστημα διακόπτει την λειτουργία του.
- Η διαφορά πίεσης προ και μετά των ημιπερατών μεμβρανών θα πρέπει να είναι μεταξύ 5 – 7 bar.

5.2.2. Τερματισμός λειτουργίας μονάδας

Για να τερματιστεί η λειτουργία της μονάδας, ο χειριστής θα πρέπει να θέσει το σύστημα σε κατάσταση αναμονής μέσω του ηλεκτρονικού πίνακα. Επίσης η λειτουργία της μονάδας διακόπτεται όταν η δεξαμενή παραγωγής γεμίσει και ενεργοποιηθεί ο αισθητήρας που βρίσκεται στην δεξαμενή παραγωγής, ο οποίος πληροφορεί το σύστημα πως η στάθμη του καθαρού νερού έχει φτάσει στο υψηλότερο σημείο.

Κατά τον τερματισμό της λειτουργίας, το σύστημα ενεργοποιεί το δευτερεύον πλύσιμο του οποίου ο χρόνος διάρκειας εμφανίζεται στην οθόνη του ηλεκτρονικού πίνακα.

Έπειτα, γίνεται μετάβαση στην κατάσταση έκπλυσης και ταυτόχρονα σταματά η λειτουργία της αντλίας τροφοδοσίας. Κατά την κατάσταση έκπλυσης, περνά από το κύκλωμα καθαρό νερό δικτύου ώστε να καθαριστεί το σύστημα.

Με το πέρας της έκπλυσης τερματίζεται και η λειτουργία της μονάδας.

5.3. Πειραματική διαδικασία

5.3.1. Προετοιμασία της πειραματικής διαδικασίας

Αρχικά, για να πετύχουμε την επιθυμητή αλατότητα του νερού που θα υποστεί αφαλάτωση, διαλύουμε αλάτι μέσα σε ένα δοχείο με νερό. Το νερό αυτό, το ρίχνουμε στην δεξαμενή ακάθαρτου ύδατος, η οποία περιέχει ήδη κάποια ποσότητα καθαρού νερού, και, ταυτοχρόνως, ενεργοποιούμε την διαδικασία ανακυκλοφορίας του νερού της δεξαμενής μέσω της αντλίας τροφοδοσίας και

την κατάλληλη διαμόρφωση του κυκλώματος των αγωγών νερού με την βοήθεια βανών. Εκτελούμε αυτή τη διαδικασία έτσι ώστε το αλάτι, που πιθανόν να μην έχει διαλυθεί στο δοχείο, να διαλυθεί στη δεξαμενή με την βοήθεια της ανάδευσης που δημιουργείται από την ανακυκλοφορία του νερού και να μην κατακαθίσει ως ίζημα στην δεξαμενή.

Κατά την διάρκεια της ανακυκλοφορίας, παίρνουμε δείγματα του νερού και μέσω ηλεκτρονικού αγωγιμόμετρου, μετράμε την αλατότητα του νερού, έως ότου επιτύχουμε την επιθυμητή.



Εικόνα 47: Το ηλεκτρονικό αγωγιμόμετρο

Έχοντας επιτύχει την επιθυμητή αλατότητα, θέτουμε σε λειτουργία και την μεγάλη αντλία, έχοντας διαμορφώσει το κύκλωμα των αγωγών κατάλληλα με την βοήθεια βανών.

5.3.2. Διαδικασία λήψης μετρήσεων

Η πειραματική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε, έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορέσουμε να μελετήσουμε την ενεργειακή κατανάλωση της μονάδας αντίστροφης ώσμωσης σε διαφορετικές πιέσεις κατάθλιψης, για ποικίλες τιμές αγωγιμότητας ακάθαρτου ύδατος καθώς και την παραγωγή καθαρού νερού με συνδυασμό των παραπάνω.

Για την λήψη των μετρήσεων της καταναλισκόμενης ισχύος, χρησιμοποιήθηκε μετρητής ισχύος, τον οποίο έχουμε συνδέσει στην παροχή ρεύματος της μονάδας. Ο μετρητής ισχύος, αφού τον θέσουμε σε λειτουργία καταγραφής, αποθηκεύει τις εναλλαγές της ισχύος κατά την διάρκεια του πειράματος. Τις μετρήσεις αυτές, έπειτα, τις αποσπούμε μέσω υπολογιστή.

Για να επιτύχουμε την επιθυμητή πίεση κατάθλιψης χρησιμοποιούμε την βάνα ρύθμισης πίεσης, η οποία βρίσκεται κάτω από το μανόμετρο μετά μεμβρανών.

Για την λήψη των μετρήσεων της παραγωγής στις διάφορες πιέσεις, χρησιμοποιήθηκε το ροόμετρο παραγωγής.

Παρακάτω παραθέτονται τα σφάλματα των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν:

Ισχύς → Μετρητής ισχύος: $\pm 0,05$ kW

Παροχή παραγωγής → Ροόμετρο παραγωγής: ± 10 l/h

Πίεση → Μανόμετρο προ μεμβρανών: $\pm 2,5$ bar

Αλατότητα → Αγωγιμόμετρο: ± 50 μ S

5.3.3. Επεξεργασία μετρήσεων

Η αγωγιμότητα του ακάθαρτου ύδατος είναι προκαθορισμένη εξ' αρχής από τον χειριστή και αποτελείται από τέσσερις τιμές, 35000 μ S, 45000 μ S, 55000 μ S και 60000 μ S.

Η πίεση του νερού, επίσης, προκαθορίζεται από τον χειριστή και αποτελείται από τις τιμές των 45 bar, 50 bar, 55 bar και 60 bar.

Οι τιμές, οι οποίες μεταβάλλονται κατά την διάρκεια του πειράματος είναι η καταναλισκόμενη ισχύς και η παροχή καθαρού νερού και προκύπτουν από τον συνδυασμό αγωγιμότητας και πίεσης.

Οι μετρήσεις ισχύος που παρουσιάζονται, προκύπτουν από τον μέσο όρο των μετρήσεων που κατέγραψε ο μετρητής ισχύος. Ο μέσος χρόνος καταγραφής μετρήσεων ισχύος είναι 5 λεπτά.

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ 35000 μ S

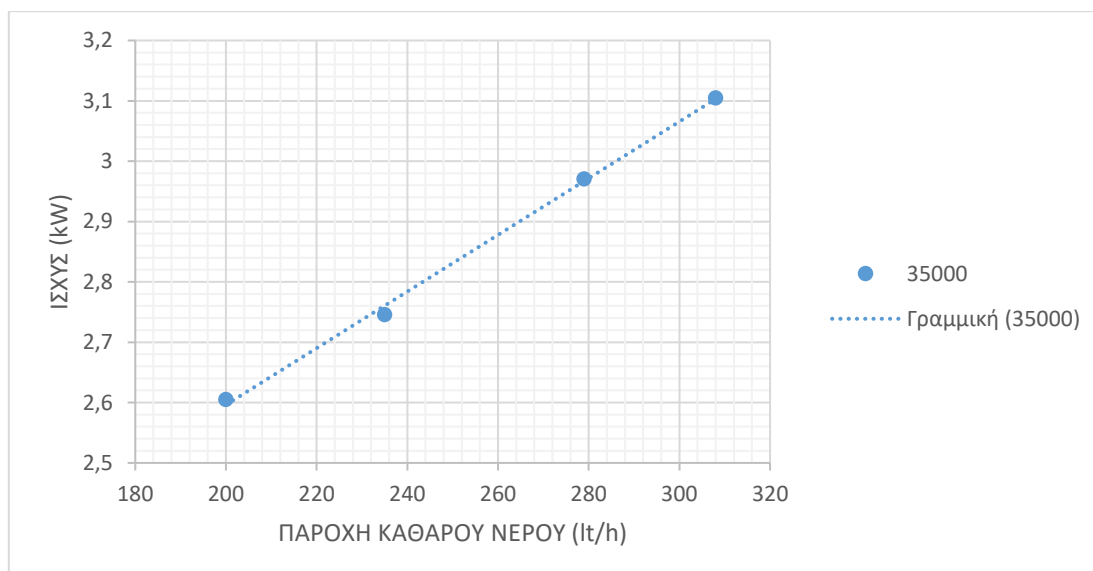
Με την ακριβή αγωγιμότητα στα 35700 μ S, καταθλίβοντας σε διαφορετικές πιέσεις κατάθλιψης προέκυψαν οι παρακάτω μετρήσεις.

Ισχύς ($\pm 0,05$ kW)	Παροχή καθαρού νερού (± 10 lt/h)	Πίεση προ μεμβρανών ($\pm 2,5$ bar)
2,61	200	45
2,75	235	50
2,97	279	55
3,11	308	60

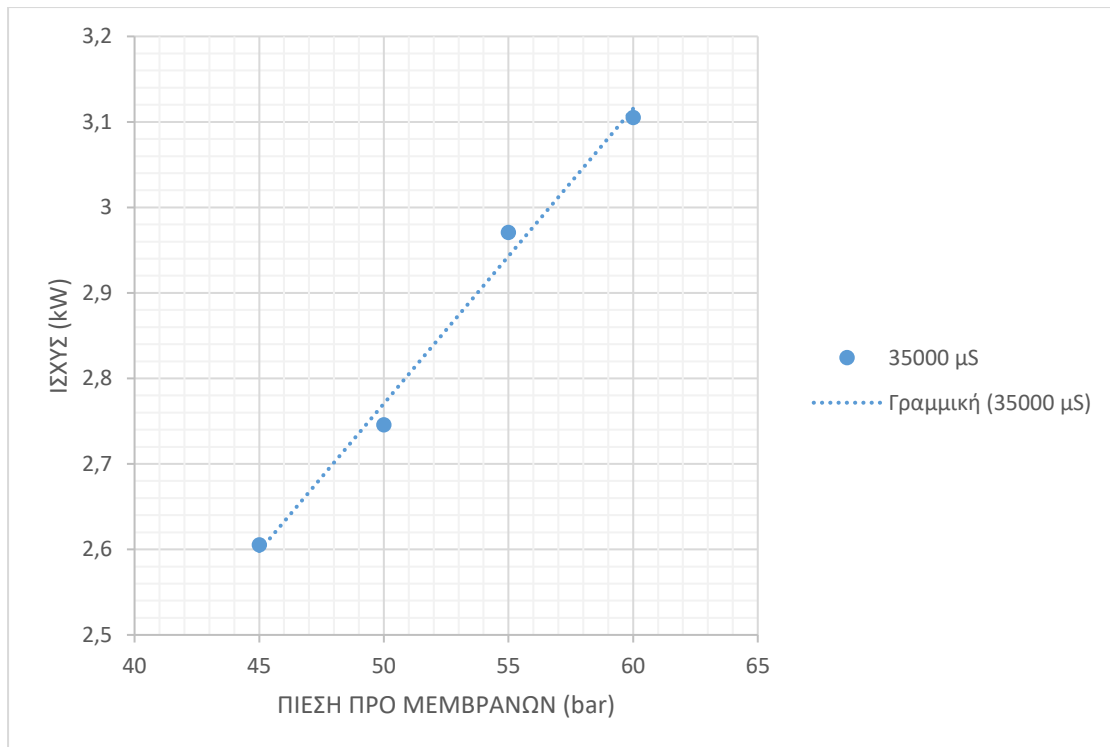
Έπειτα από επεξεργασία των μετρήσεων, ώστε να υπολογίσουμε την ειδική κατανάλωση παραγωγής καθαρού νερού έχουμε τα εξής αποτελέσματα.

Παροχή καθαρού νερού (m ³ /h)	Ειδική κατανάλωση παραγωγής (kWh/m ³)
0,2	13,05
0,235	11,70
0,279	10,65
0,308	10,10

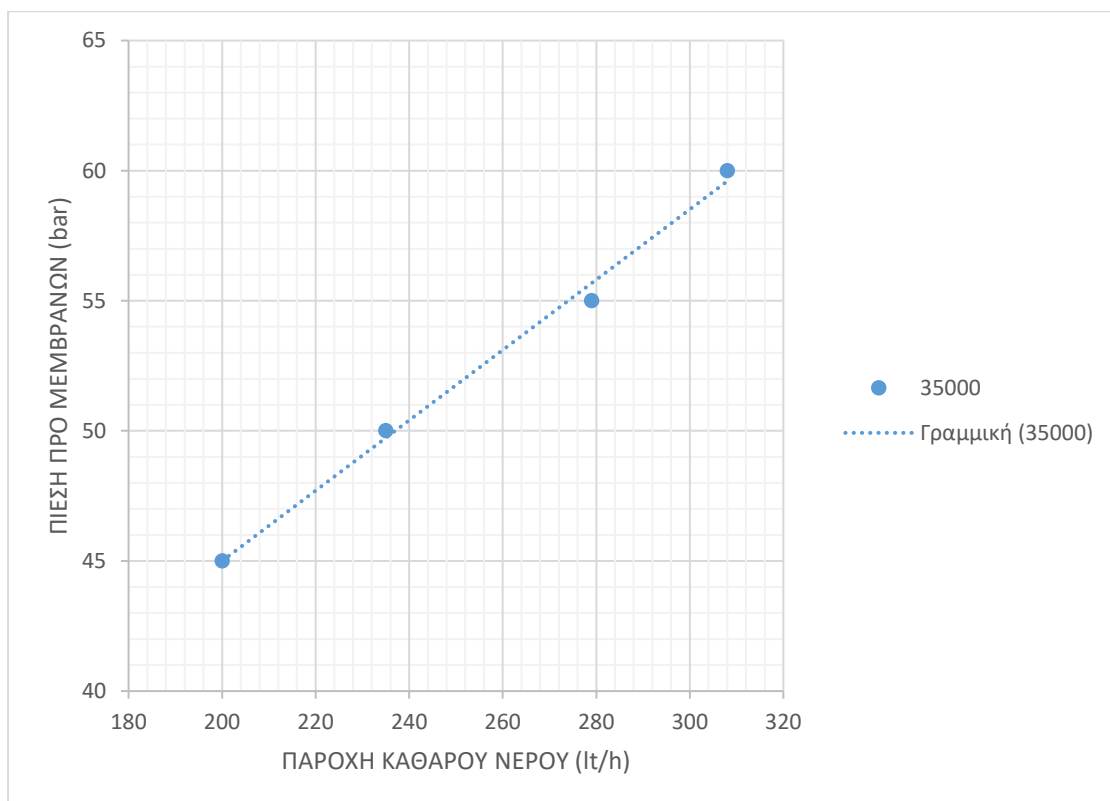
Γραφήματα για 35000 μS



Γράφημα 5.1: Γράφημα ισχύος – παροχής για αλατότητα 35000 μS



Γράφημα 5.2: Γράφημα ισχύος – πίεσης για αλατότητα 35000 µS



Γράφημα 5.3: Γράφημα πίεσης – παροχής για αλατότητα 35000 µS

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ 45000 μS

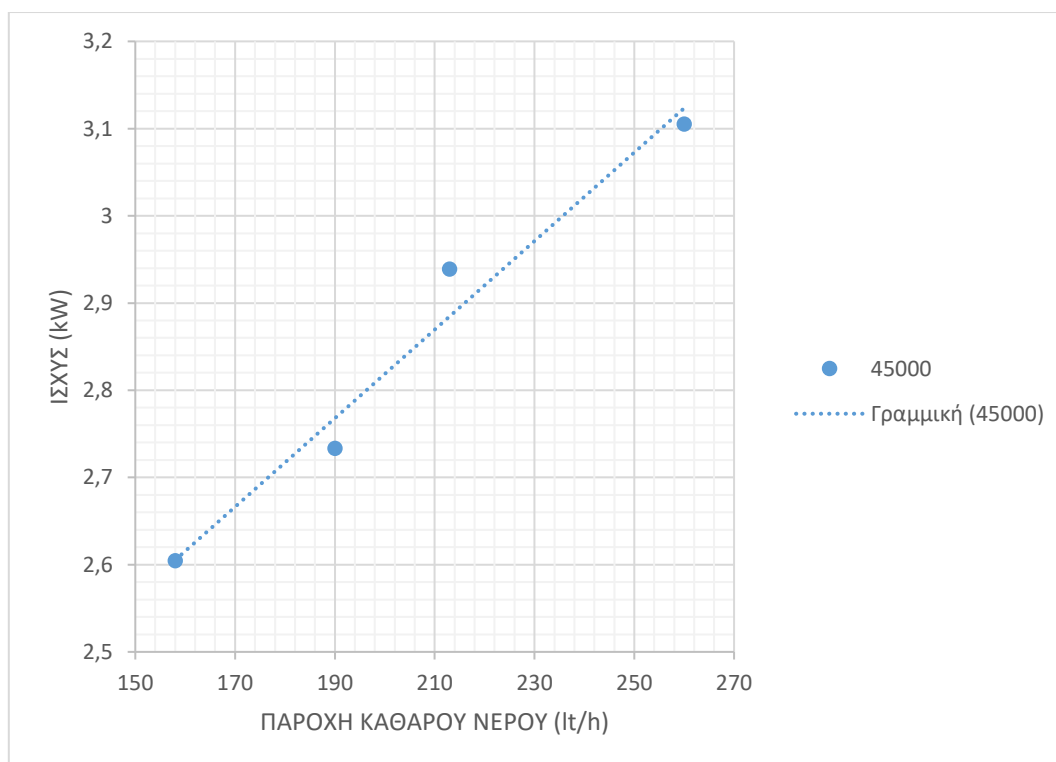
Με την ακριβή αγωγιμότητα στα 44300 μS , καταθλίβοντας σε διαφορετικές πιέσεις κατάθλιψης προέκυψαν οι παρακάτω μετρήσεις.

Ισχύς ($\pm 0,05$ kW)	Παροχή καθαρού νερού (± 10 lt/h)	Πίεση προ μεμβρανών ($\pm 2,5$ bar)
2,61	158	45
2,73	190	50
2,94	213	55
3,11	260	60

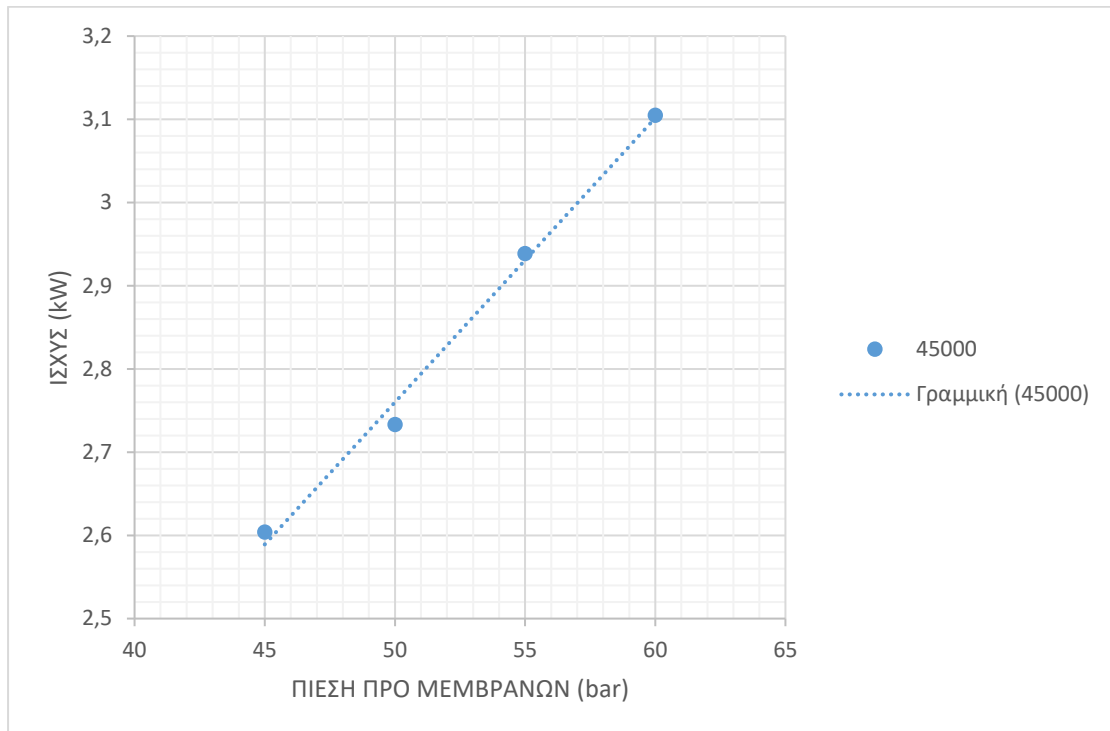
Έπειτα από επεξεργασία των μετρήσεων, ώστε να υπολογίσουμε την ειδική κατανάλωση παραγωγής καθαρού νερού έχουμε τα εξής αποτελέσματα.

Παροχή καθαρού νερού (m^3/h)	Ειδική κατανάλωση παραγωγής (kWh/m^3)
0,158	16,52
0,19	14,37
0,213	13,80
0,26	11,96

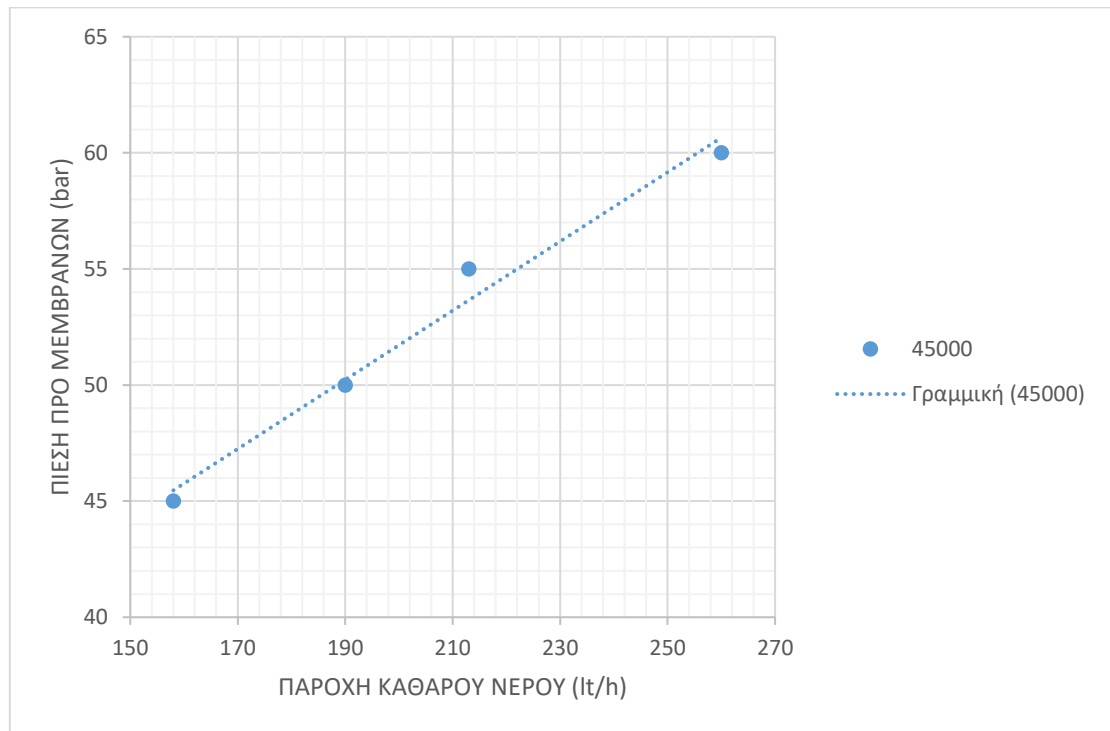
Γραφήματα για 45000 μS



Γράφημα 5.4: Γράφημα ισχύος – παροχής για αλατότητα 45000 μS



Γράφημα 5.5: Γράφημα ισχύος – πίεσης για αλατότητα 45000 µS



Γράφημα 5.6: Γράφημα πίεσης – παροχής για αλατότητα 45000 µS

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ 55000 μS

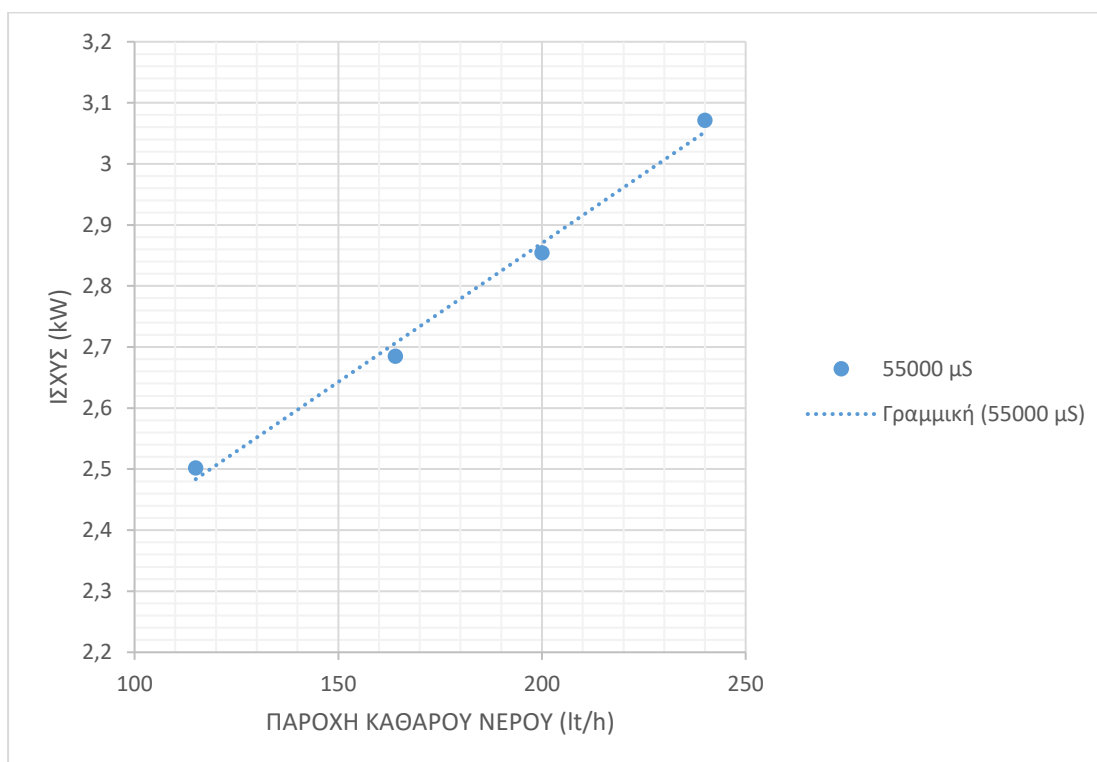
Με την ακριβή αγωγιμότητα 55600 μS , καταθλίβοντας σε διαφορετικές πιέσεις κατάθλιψης προέκυψαν οι παρακάτω μετρήσεις.

Ισχύς ($\pm 0,05$ kW)	Παροχή καθαρού νερού (± 10 lt/h)	Πίεση προ μεμβρανών ($\pm 2,5$ bar)
2,5	115	45
2,68	164	50
2,85	200	55
3,07	240	60

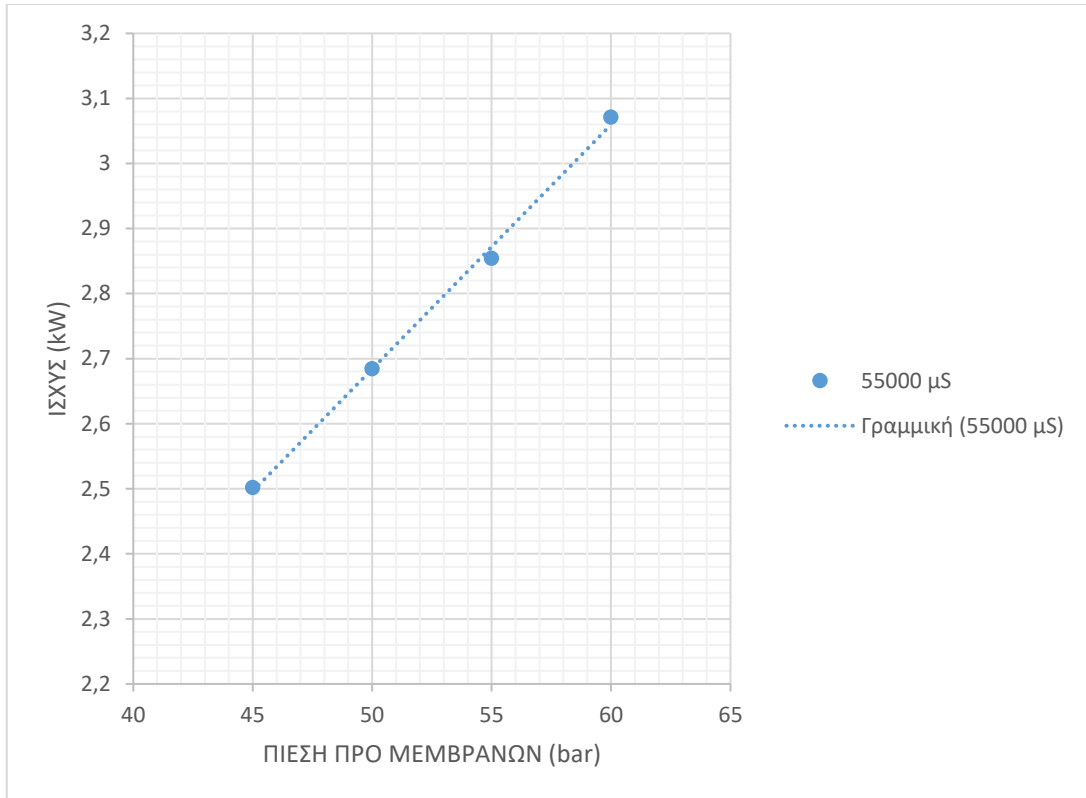
Έπειτα από επεξεργασία των μετρήσεων, ώστε να υπολογίσουμε την ειδική κατανάλωση παραγωγής καθαρού νερού έχουμε τα εξής αποτελέσματα.

Παροχή καθαρού νερού (m^3/h)	Ειδική κατανάλωση παραγωγής (kWh/m^3)
0,115	21,74
0,164	16,34
0,2	14,25
0,24	12,79

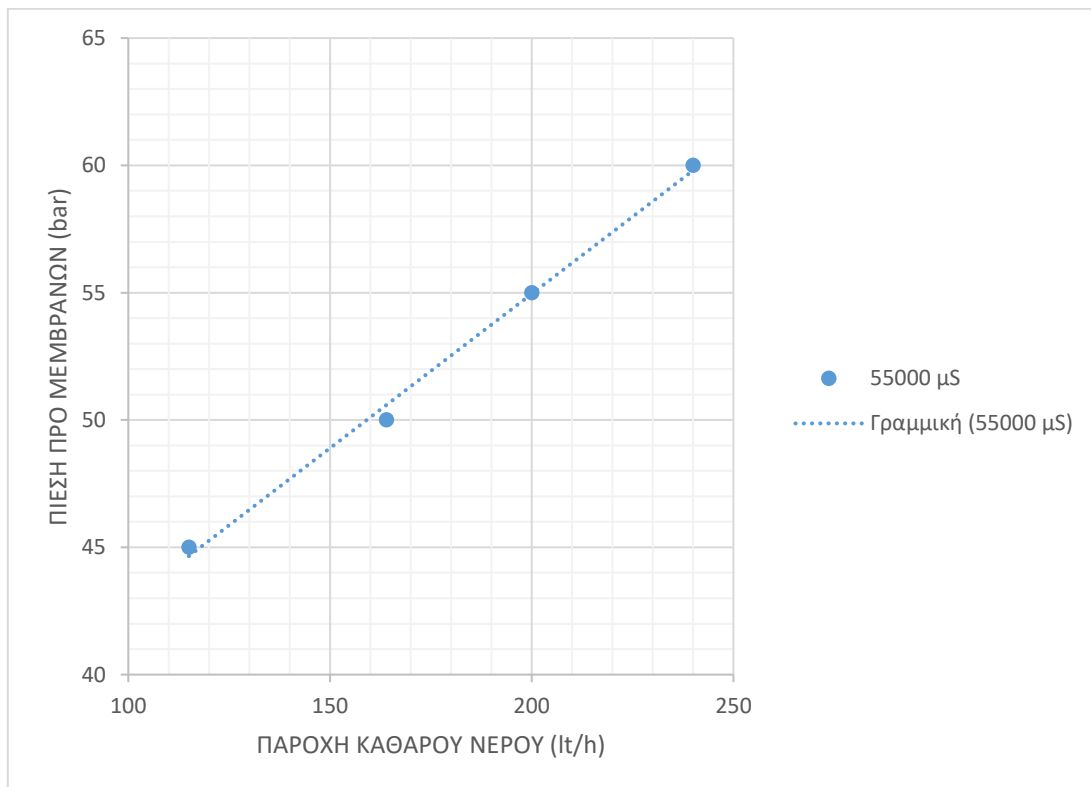
Γραφήματα για 55000 μS



Γράφημα 5.7: Γράφημα ισχύος – παροχής για αλατότητα 55000 μS



Γράφημα 5.8: Γράφημα ισχύος - πίεσης για αλατότητα 55000 µS



Γράφημα 5.9: Γράφημα πίεσης - παροχής για αλατότητα 55000 µS

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ 60000 μS

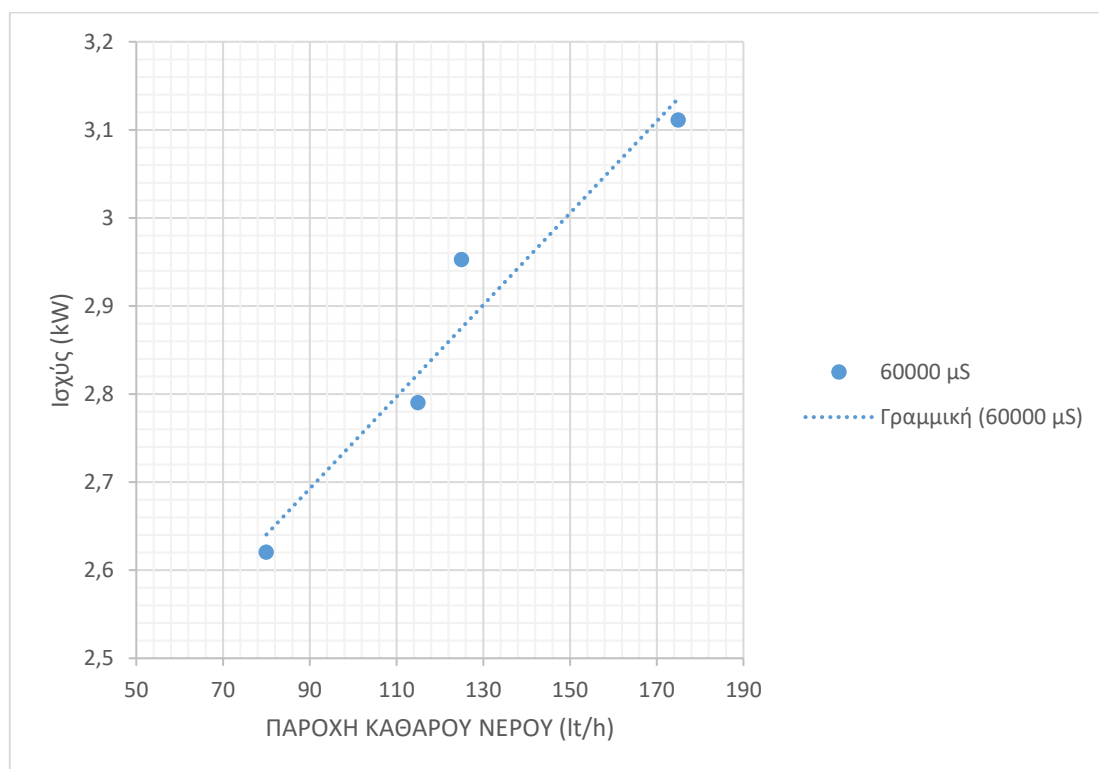
Με την ακριβή αγωγιμότητα 59200 μS , καταθλίβοντας σε διαφορετικές πιέσεις κατάθλιψης προέκυψαν οι παρακάτω μετρήσεις.

Ισχύς ($\pm 0,05$ kW)	Παροχή καθαρού νερού (± 10 lt/h)	Πίεση προ μεμβρανών ($\pm 2,5$ bar)
2,62	80	45
2,79	115	50
2,95	125	55
3,11	175	60

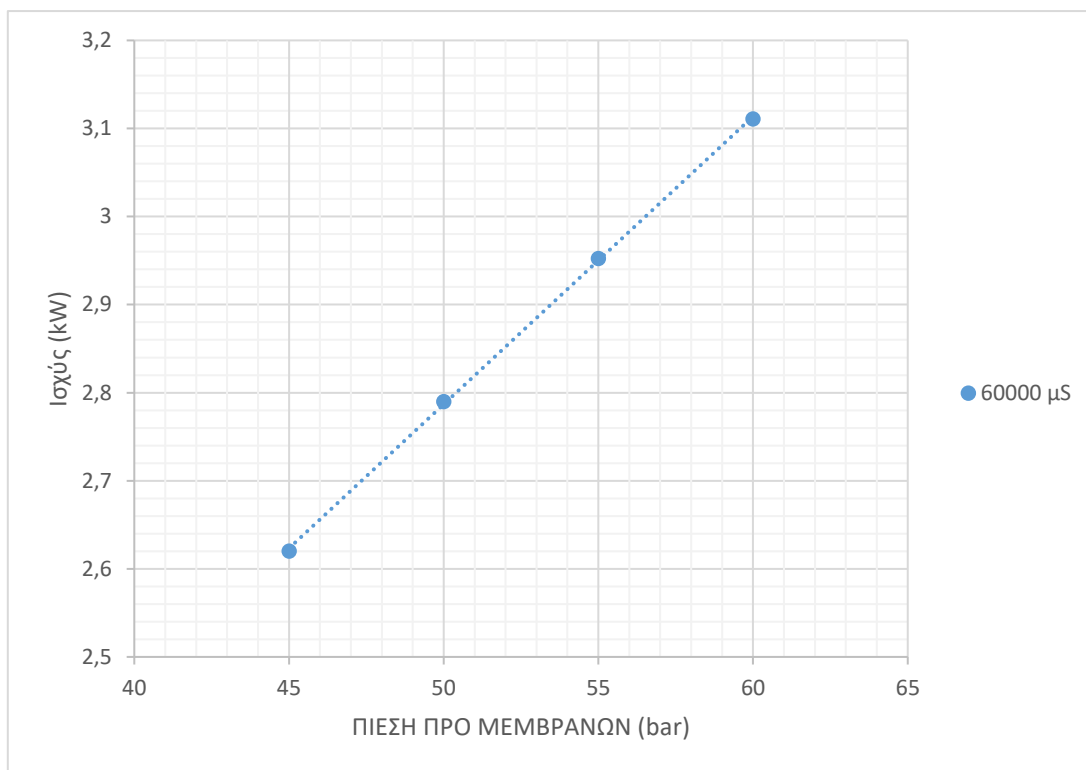
Έπειτα από επεξεργασία των μετρήσεων, ώστε να υπολογίσουμε την ειδική κατανάλωση παραγωγής καθαρού νερού έχουμε τα εξής αποτελέσματα.

Παροχή καθαρού νερού (m^3/h)	Ειδική κατανάλωση παραγωγής (kWh/m^3)
0,08	32,75
0,115	24,26
0,125	23,6
0,175	17,77

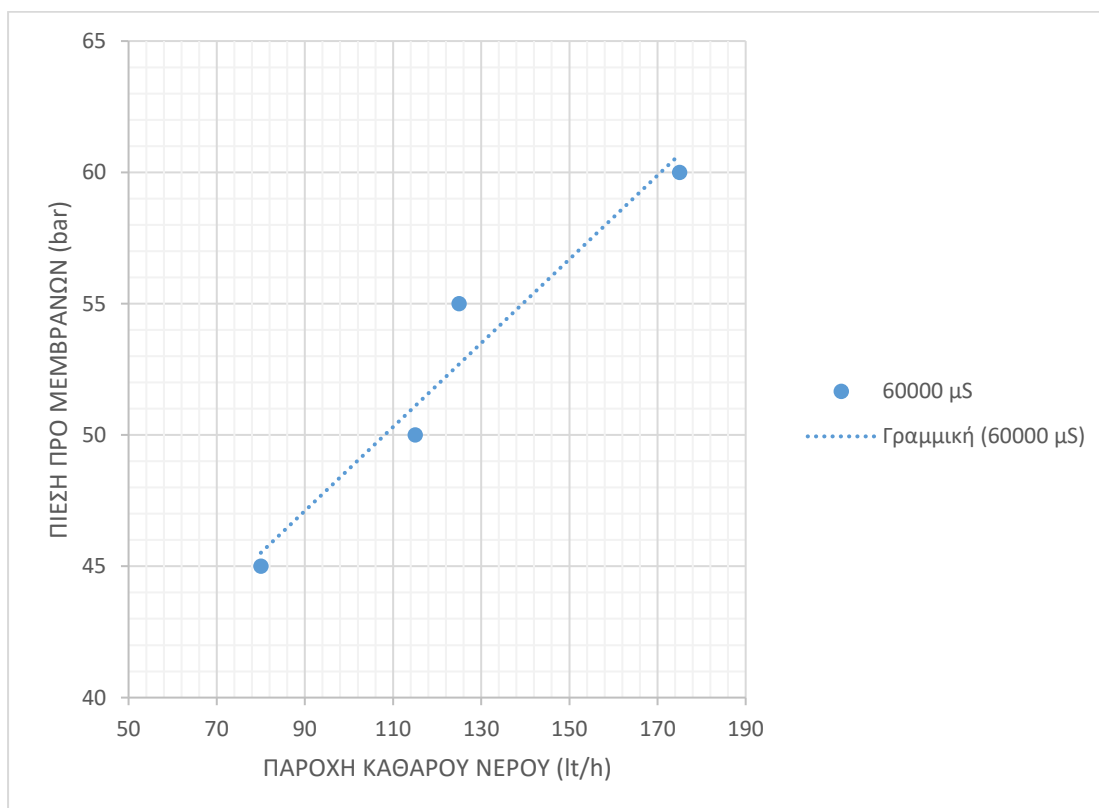
Γραφήματα για 60000 μS



Γράφημα 5.10: Γράφημα ισχύος - παροχής για αλατότητα 60000 μS



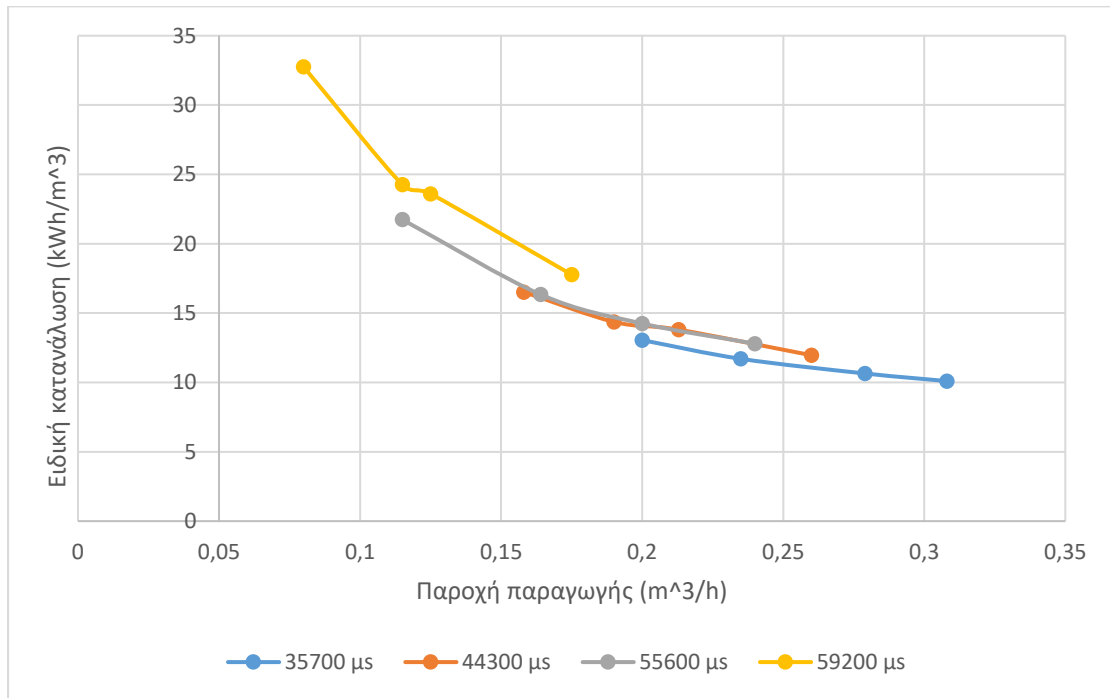
Γράφημα 5.11: Γράφημα ισχύος – πίεσης για αλατότητα 60000 µS



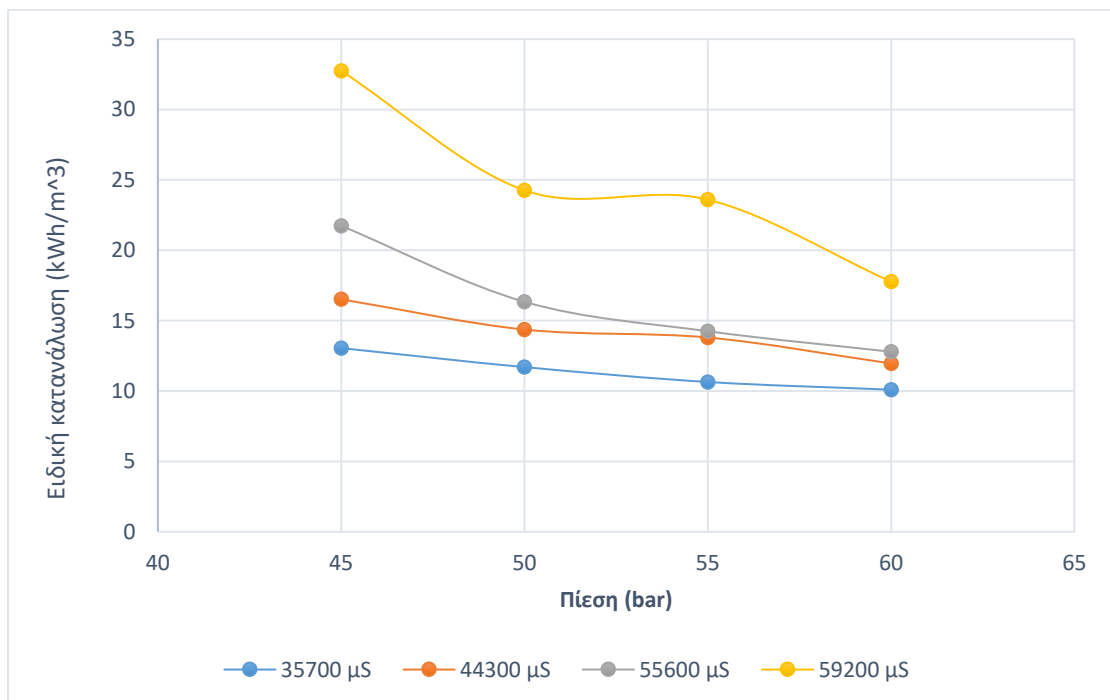
Γράφημα 5.12: Γράφημα πίεσης – παροχής για αλατότητα 60000 µS

5.3.4. Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Παρακάτω παρουσιάζονται τα γραφήματα ειδικής κατανάλωσης παραγωγής σε συνάρτηση με την παροχή καθαρού νερού και την πίεση για όλες τις αλατότητες.



Γράφημα 5.13: Γράφημα ειδικής κατανάλωσης παραγωγής - Παροχής παραγωγής



Γράφημα 5.14: Γράφημα ειδικής κατανάλωσης παραγωγής - Πίεσης

5.4. Παράθεση μετρήσεων βιβλιογραφίας για σύγκριση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που χρησιμοποιήθηκαν για την σύγκριση των μετρήσεων της παρούσας εργασίας, με παρόμοια της βιβλιογραφίας αποτελούν μέρος της μεταπτυχιακής διατριβής του Δημητρίου Ευάγγελου με τίτλο «Πειραματική διερεύνηση μονάδας αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης υπό μεταβλητές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας νερού τροφοδοσίας» και του άρθρου των Mazlan, Peshev και Livingston με τίτλο «Energy consumption for desalination – A comparison of forward osmosis with reverse osmosis and the potential for perfect membranes».

5.4.1. Σύγκριση μετρήσεων της εργασίας του Δημητρίου, Ε.

5.4.1.1. Συνοπτική περιγραφή της πειραματικής μονάδας

Το σύστημα μονάδας αφαλάτωσης που χρησιμοποιήθηκε από τον Ευάγγελο Δημητρίου για την διατριβή του αποτελούνταν από:

- Δεξαμενή τροφοδοσίας χωρητικότητας 1 m³, όπου αποθηκευόταν το διάλυμα νερού - αλατιού
- Αντλία τροφοδοσίας περιστροφική με μονοφασικό, ασύγχρονο, τετραπολικό κινητήρα ισχύος 0,75 kW η οποία αντλεί το διάλυμα από την δεξαμενή τροφοδοσίας και το οδηγεί στη μονάδα αντίστροφης ώσμωσης
- Σύστημα προ – επεξεργασίας του νερού τροφοδοσίας, το οποίο αποτελείται από φίλτρο κυτταρίνης άνθρακα, φίλτρο αιωρημάτων και φίλτρο κυτταρίνης 5 μm.
- Ανακτητή υδραυλικής ενέργειας (Clark Pump), ο οποίος αντικαθιστά την αντλία υψηλής πίεσης σε μία συμβατική μονάδα αφαλάτωσης. Πρόκειται για εμβολοφόρο αντλία με ονομαστική παροχή 760 l/h και ονομαστική πίεση λειτουργίας 50 bar
- Κύλινδροι μεμβράνης (δύο) συνδεδεμένοι σε σειρά, με μέγιστη πίεση 69 bar, όπου λαμβάνει χώρα η αντίστροφη ώσμωση
- Δοχείο έκπλυσης χωρητικότητας 100 l, όπου καταλήγει το αφαλατωμένο νερό
- Αντλία έκπλυσης φυγόκεντρη με κινητήρα 1000 W, η οποία χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό διαφόρων συστημάτων της μονάδας όπως η αντλία Clark και οι μεμβράνες αντλώντας το αφαλατωμένο νερό από το δοχείο έκπλυσης
- Ηλεκτρονικός πίνακας ελέγχου
- Ηλεκτρικός πίνακας ισχύος,

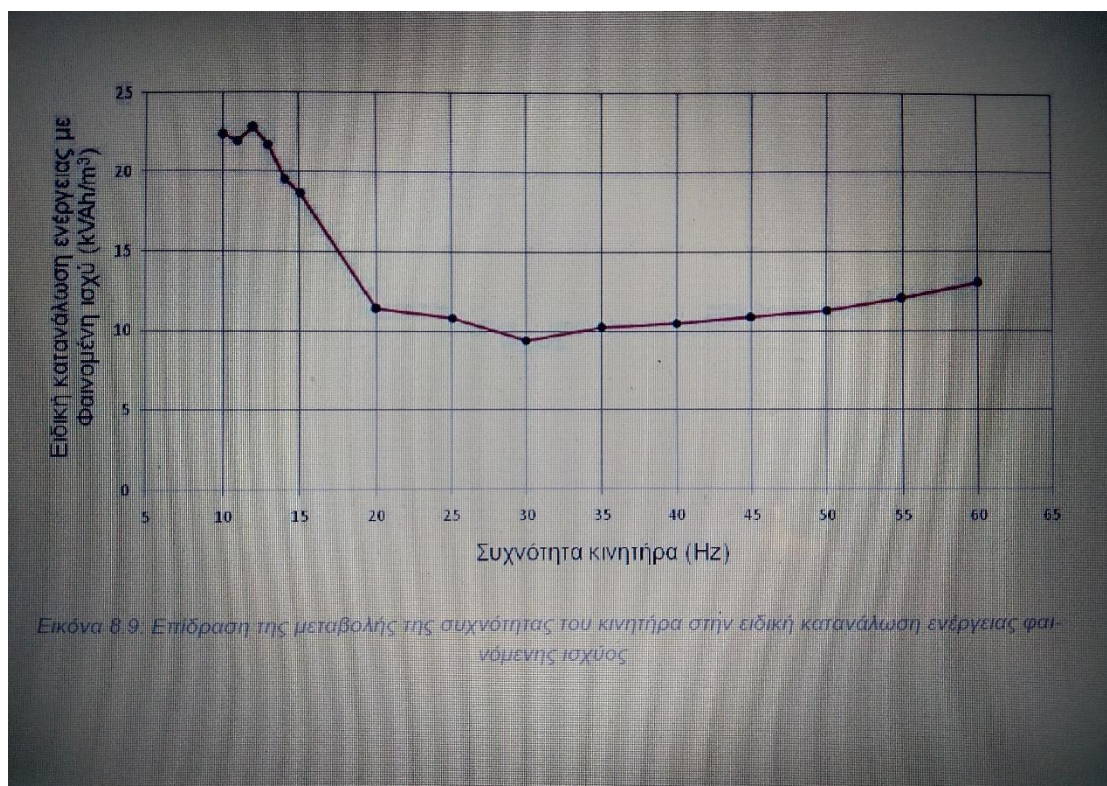
- Ρυθμιστής στροφών ισχύος 1500 W, για την μεταβολή της συχνότητας και κατ' επέκταση τις στροφές λειτουργίας του κινητήρα της αντλίας τροφοδοσίας

Η συγκέντρωση αλάτων στο διάλυμα νερού – αλατιού κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας που διεξήχθη ήταν 25000 ppm και αντιστοιχεί σε αλατότητα περίπου 40000 μS .

5.4.1.2. Παράθεση αποτελεσμάτων

Για να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβής η σύγκριση μεταξύ των πειραματικών διαδικασιών, καθότι διαφορετικές οι κατευθύνσεις για τις οποίες πραγματοποιήθηκαν, θα συγκριθούν οι ειδικές καταναλώσεις που προέκυψαν από τα δύο πειράματα.

Καθώς στο πείραμα μας ο μετρητής ισχύος τοποθετήθηκε στην κεντρική παροχή ρεύματος, μετρήσαμε, ουσιαστικά, την φαινομένη ισχύ του συστήματος. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε το παρακάτω γράφημα από την βιβλιογραφία που απεικονίζει την ειδική κατανάλωση ενέργειας με φαινομένη ισχύ.

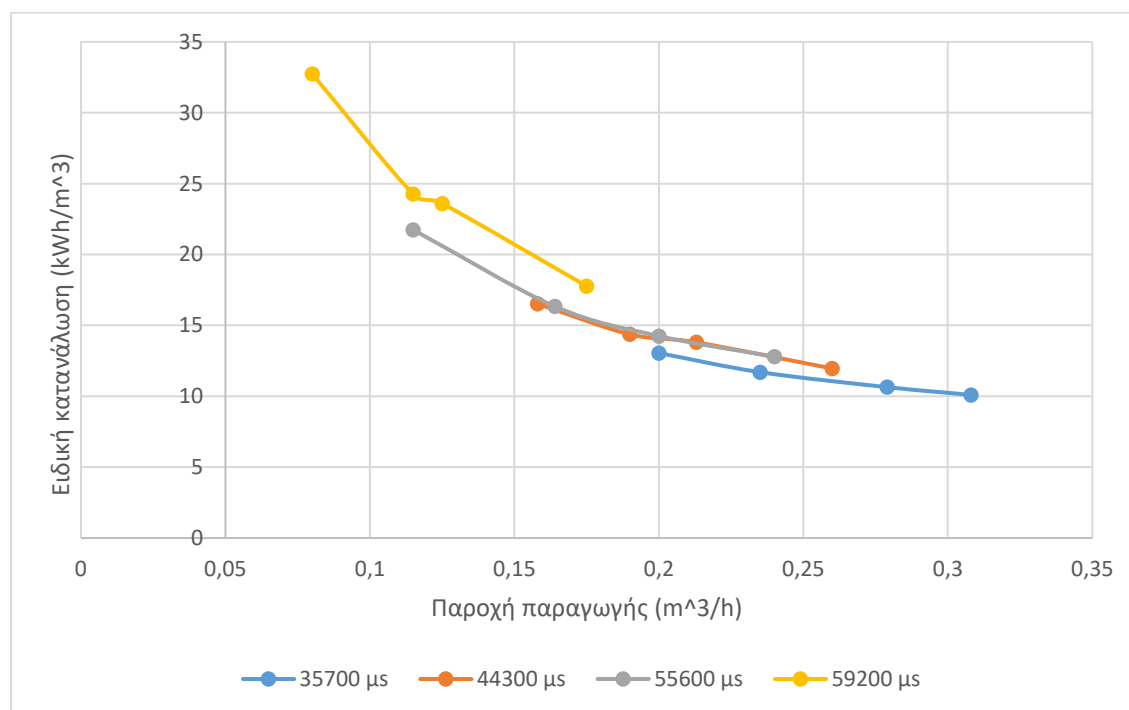


Εικόνα 48: Γράφημα απεικόνισης των ειδικών καταναλώσεων του πειράματος της βιβλιογραφίας [19]

Το παραπάνω γράφημα παρουσιάζει την μεταβολή των ειδικών καταναλώσεων κατά την μεταβολή της συχνότητας του κινητήρα. Το στοιχείο που συγκρατούμε από το εν λόγω γράφημα είναι το εύρος τιμών της ειδικής κατανάλωσης που κυμαίνεται μεταξύ 9 ~ 23 kWh/m³. Επίσης έχουμε υπ' όψιν πως η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε με αλατότητα νερού ~40000 μS.

5.4.1.3. Σύγκριση αποτελεσμάτων

Το παρακάτω γράφημα προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων που λήφθηκαν κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας στο ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ. (βλ. 5.3.4, Γράφημα 5.13)



Γράφημα 5.13: Γράφημα ειδικής κατανάλωσης παραγωγής - Παροχής παραγωγής

Όπως παρατηρούμε στο γράφημα της βιβλιογραφίας (Εικόνα 48) το εύρος τιμών της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας, για αλατότητα νερού περίπου 40000 μS, κυμαίνεται από 9 έως 23 kWh/m³.

Για να είναι έγκυρη η όποια σύγκριση θα χρησιμοποιήσουμε τις μετρήσεις που προκύπτουν στο εύρος αλατοτήτων 35000 και 45000 μS του πειράματός μας. Όπως παρατηρούμε από το δικό μας γράφημα, το εύρος τιμών της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας για αλατότητα 35700 μS κυμαίνεται από 10 έως 13 kWh/m³ και για αλατότητα 44300 μS κυμαίνεται από 12 έως 17 kWh/m³.

Αθροιστικά, λοιπόν, έχουμε ένα εύρος τιμών 10 – 17 kWh/m³. Το εύρος αυτό που προέκυψε συμπίπτει με το εύρος τιμών της διατριβής του Δημητρίου.

5.4.2. Σύγκριση μετρήσεων του άρθρου των Mazlan, Peshev και Livingston

5.4.2.1. Παράθεση αποτελεσμάτων

Το άρθρο των Mazlan, Peshev και Livingston αποτελεί μία μελέτη πάνω στην κατανάλωση ενέργειας της αφαλάτωσης και συγκρίνει την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης με την εμπρόσθια ώσμωση. Οι μετρήσεις που εμφανίζονται στο παρακάτω γράφημα και αφορούν την ειδική κατανάλωση είναι προϊόν μαθηματικών υπολογισμών, που στην περίπτωση μας μπορούν να αποτελέσουν δείγμα σύγκρισης, δεδομένου ότι πρόκειται για μετρήσεις βασισμένες σε αφαλάτωση με αντίστροφη ώσμωση θαλασσινού νερού, του οποίου η αλατότητα κατά μέσο όρο υπολογίζεται στα 54000 μS.

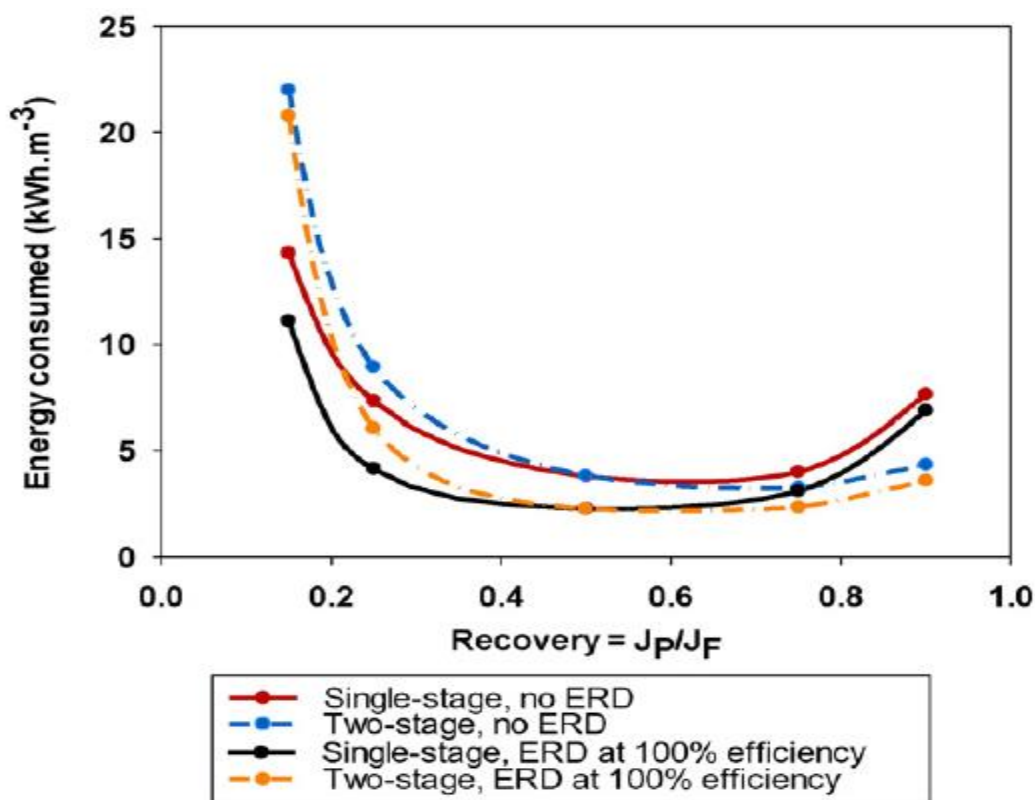


Fig. 4. Specific energy consumed versus product recovery for single-stage and two-stage RO with and without an ERD calculated at HPP efficiency = 100% and $k = +\infty \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Pretreatment energy and effects of pressure drop included.

Εικόνα 49: Γράφημα 4. Ειδική κατανάλωση ενέργειας ως προς την ανάκτηση προϊόντος για αντίστροφη ώσμωση ενός και δύο σταδίων με και χωρίς συσκευή ανάκτησης ενέργειας και 100% απόδοση της αντλίας υψηλής πίεσης [5]

Η καμπύλη που θα χρησιμοποιήσουμε από το παραπάνω γράφημα είναι η κόκκινη καθώς πρόκειται για τις μετρήσεις που αφορούν την διαδικασία αντίστροφης ώσμωσης ενός σταδίου χωρίς ανάκτηση ενέργειας, όπως είναι και η δική μας μονάδα.

Στην κόκκινη καμπύλη παρατηρούμε πως η ειδική κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται σε ένα εύρος 3 – 15 kWh/m³.

5.4.2.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων

Τις αντίστοιχες μετρήσεις στο δικό μας διάγραμμα, τις αντλούμε από την καμπύλη που αφορά αλατότητα 55000 μS. Στην καμπύλη αυτή έχουμε εύρος ειδικής κατανάλωσης 13 – 22 kWh/m³.

Παρατηρούμε πως τα δύο εύρη μετρήσεων διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, πρέπει όμως να λάβουμε υπ' όψιν ότι οι μετρήσεις των Mazlan, Peshev και Livingston έχουν υπολογιστεί για απόδοση αντλίας υψηλής πίεσης 100 %, γεγονός το οποίο επηρεάζει πολύ την εικόνα των μετρήσεων.

6. Συμπεράσματα

Το ζητούμενο της παρούσας εργασίας είναι να καταφύγουμε σε κάποια συμπεράσματα ως προς την λειτουργία της μονάδας σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας και πως αυτές επηρεάζουν την διαδικασία της αφαλάτωσης.

Επίσης, χρησιμοποιώντας παραθέσεις μετρήσεων από την βιβλιογραφία προσπαθούμε να εξάγουμε συμπέρασμα ως προς την αποδοτικότητα της μονάδας μας.

6.1. Λειτουργία μονάδος

6.1.1. Αλατότητα ακάθαρτου ύδατος

Κατά την διεξαγωγή του πειράματος επιχειρήσαμε αφαλάτωση σε διαφορετικές τιμές αλατότητας. Συγκεκριμένα στα 35000, 45000, 55000 και 60000 μS .

Από τις μετρήσεις, την επεξεργασία τους και τα γραφήματα που προέκυψαν, μπορούμε με ασφάλεια να συμπεράνουμε πως η αλατότητα επηρεάζει σημαντικά την παραγωγικότητα της μονάδας. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε πως όσο αυξάνουμε την αλατότητα του ακάθαρτου ύδατος, η ειδική κατανάλωση της μονάδας αυξάνεται.

Ακόμα πιο συγκεκριμένα από το Γράφημα 5.14 βλέπουμε ότι:

- Για 35000 μS το εύρος τιμών της ειδικής κατανάλωσης είναι 10 – 13 kWh/m^3
- Για 45000 μS το εύρος τιμών της ειδικής κατανάλωσης είναι 12 – 17 kWh/m^3
- Για 55000 μS το εύρος τιμών της ειδικής κατανάλωσης είναι 13 – 22 kWh/m^3
- Για 60000 μS το εύρος τιμών της ειδικής κατανάλωσης είναι 18 – 33 kWh/m^3

Είναι προφανές πως η αλατότητα επηρεάζει την παραγωγικότητα της μονάδας.

Το γεγονός αυτό είναι απόλυτα λογικό καθώς η δυνατότητα των μεμβρανών στον διαχωρισμό των αλάτων από το νερό είναι περιορισμένη και όσο πιο πυκνό σε άλατα τόσο μεγαλύτερη η «δυσκολία» για την αντίστροφη ώσμωση με αποτέλεσμα να περιορίζεται η παραγωγή και να αυξάνεται το απόβλητο.

6.1.2. Πίεση λειτουργίας

Κατά την διεξαγωγή του πειράματος, εκτός από τις διαφορετικές αλατότητες, χρησιμοποιήσαμε και διαφορετικές πιέσεις λειτουργίας.

Παρατηρούμε πως και η πίεση λειτουργίας είναι πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την παραγωγικότητα της μονάδας. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται από τους πίνακες μετρήσεων και τα διαγράμματα, όσο περισσότερο αυξάνουμε την πίεση, τόσο αυξάνεται και η καταναλισκόμενη ισχύς. Παρά την αύξηση της καταναλισκόμενης ισχύος όμως, παρατηρείται μείωση της ειδικής κατανάλωσης, που οφείλεται στην αύξηση της παροχής παραγωγής καθαρού νερού.

Ειδικότερα, στον παρακάτω πίνακα έχουμε συγκεντρωμένες τις μετρήσεις της ειδικής κατανάλωσης για τις διάφορες πιέσεις και αλατότητες που χρησιμοποιήσαμε.

Αλατότητα							
35000 μS		45000 μS		55000 μS		60000 μS	
Πίεση (bar)	Ειδ. Κατ (kWh/m^3)	Πίεση (bar)	Ειδ. Κατ (kWh/m^3)	Πίεση (bar)	Ειδ. Κατ (kWh/m^3)	Πίεση (bar)	Ειδ. Κατ (kWh/m^3)
45	13,05	45	16,52	45	21,74	45	32,75
50	11,70	50	14,37	50	16,34	50	24,26
55	10,65	55	13,80	55	14,25	55	23,6
60	10,10	60	11,96	60	12,79	60	17,77

Παρατηρούμε πως με την αύξηση της υψηλής πίεσης έχουμε σημαντική μείωση στην ειδική κατανάλωση σε όλες τις αλατότητες.

Πολύ σημαντική παρατήρηση είναι πως στις αλατότητες των 55000 και 60000 μS έχουμε μείωση στην ειδική κατανάλωση, σε πίεση λειτουργίας 60 bar, που αγγίζει το 50% σε σχέση με την λειτουργία στα 45 bar. Το ποσοτικό διάστημα των αλατοτήτων που αναφέρονται παραπάνω (55000 – 60000 μS) έχει ιδιαίτερη σημασία, διότι πρόκειται για την αλατότητα όπου κυμαίνεται το θαλασσινό νερό.

Το συμπέρασμα αυτό είναι λογικό, καθώς με την άσκηση περισσότερης πίεσης στο ακάθαρτο ύδωρ επιταχύνεται η διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης, λόγω μεγαλύτερης διαφοράς πίεσης με την ωσμωτική πίεση.

6.2. Βελτίωση της αποδοτικότητας της μονάδας ως προς την ενεργειακή κατανάλωση

Από το προηγούμενο συμπέρασμα καταλήγουμε πως η μονάδα λειτουργεί στην μέγιστη αποδοτικότητα της όταν η υψηλή πίεση είναι η μεγαλύτερη δυνατή. Στην περίπτωση της μονάδας μας η πίεση αυτή είναι 60 bar.

Για να αυξήσουμε την αποδοτικότητα μιας παρόμοιας μονάδας με αυτήν του ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ, πέρα από την πίεση λειτουργίας, θα μπορούσαμε να εξετάσουμε το ενδεχόμενο μεταποίησης της. Με την προσθήκη ενός συμβατού υδροστροβίλου, ο οποίος θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί την υδραυλική ενέργεια του αποβλήτου που απορρίπτεται από τις μεμβράνες σε υψηλή πίεση, θα μπορούσαμε να εξοικονομήσουμε έως και 40 % της καταναλισκόμενης ενέργειας, όπως μπορεί να εξεταστεί από την βιβλιογραφία [25].

Επίσης στην περίπτωση της μονάδας του ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ, με την ύπαρξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Αιολική και Ηλιακή) είναι εφικτή η δημιουργία ενός υβριδικού συστήματος αφαλάτωσης που θα τροφοδοτείται αυτόνομα, έστω σε ένα ποσοστό, μειώνοντας αρκετά την χρέια ρεύματος δικτύου.

7. Βιβλιογραφία – Πηγές

1. Kaldellis, J.K., Kondili, E. (2007), The water shortage problem in the Aegean archipelago islands: cost effective desalination prospects, Elsevier, Science direct
2. Wilf, M. (2007), The guidebook to membrane desalination technology. Reverse Osmosis, Nanofiltration and Hybrid Systems, Processes, Design, Applications and Economics, Balaban Desalination Publications
3. El – Dessouky, H. Ettouney, H. (2002), Fundamentals of salt water desalination, Elsevier, Science direct
4. Borsani, R. Rebagliati, S. (2005), Fundamentals and costing of MSF desalination plants and comparison with other technologies, Desalination vol.182, pp 29 – 37, Elsevier, Science direct
5. Mazlan, N.M., Peshev, D., Livingston, A. (2015), Energy consumption for desalination – A comparison of forward osmosis with reverse osmosis and the potential for perfect membranes, Elsevier, Science direct
6. Shaffer, D.L. (2015), Forward osmosis: Where are we now? Desalination 356, 271 – 284
7. Elimelech, M., Phillip, W.A., (2011), The future of seawater desalination: energy, technology and the environment, Science 333 (6043) 712 - 717
8. Δρ. Δαγκαλίδης, Α. (2009), Αφαλάτωση νερού, Κλαδική μελέτη, Τράπεζα Πειραιώς
9. Τζεν, Ε. (2001), Μέθοδοι αφαλάτωσης – Συγκριτική αξιολόγηση και εφαρμογές στα νησιά του Αιγαίου, Συμπόσιο «Αιγαίο – Νερό – Βιώσιμη Ανάπτυξη», Πάρος
10. Τζεν, Ε. (2010), Αφαλάτωση η λύση στη λειψυδρία, Ημερίδα «Αειφόρος Ανάπτυξη των νησιών του Αιγαίου: Βιώσιμη Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Σύρος
11. Τζεν, Ε. (2008) Τεχνολογίες αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου νερού, The Economist Tech Bang, 55, 92 - 93

12. Αυλωνίτης, Σ.Α. (2006), Εισαγωγή στην τεχνολογία νερού και αφαλάτωσης, 1st edition, (330 – 333 pp.) Εκδόσεις «ΙΩΝ» Στέλλα Παρίκου & ΣΙΑ Ο.Ε., ISBN 960 – 411 – 562 – 6, Αθήνα
13. Δεληγιάννης, Ε. Μπελεσιώτης, Β. (1995), Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Αρχές διεργασιών αφαλάτωσης, 477 pp, Αθήνα
14. Υπουργείο χωροταξίας, περιβάλλοντος και δημοσίων έργων. (2008), Εφαρμογή των οικονομικών πτυχών του άρθρου 5 της κοινοτικής οδηγίας περί υδάτων 2000/60/ΕΚ στην Ελλάδα, Εκπόνηση: Επιστημονική ομάδα της επίκουρου καθηγήτριας Φοίβης Κουντούρη – Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα
15. Συσκάκη, Κ. (2013), Τεχνολογίες αφαλάτωσης νερού. Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εγκατάσταση και λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο
16. Λιάτσου, Χ.Σ. (2010), Συστήματα αφαλάτωσης με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, Διπλωματική εργασία, Τομέας Θερμότητας, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
17. Παλιεράκης, Γ. (2007), Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών, Διπλωματική εργασία, Τομέας Θερμότητας, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
18. Μουτάφης, Π. (2008), Κάλυψη της ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο, Διπλωματική εργασία, Τομέας Ρευστών, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
19. Δημητρίου, Ε. (2012), Πειραματική διερεύνηση μονάδας αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης υπό μεταβλητές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας νερού τροφοδοσίας, Μεταπτυχιακή διατριβή, Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών Ενεργειακά Συστήματα – Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας, Τμήμα Αξιοποίησης φυσικών πόρων και γεωργικής μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα
20. Πασίσης, Ι. (2011), Αφαλάτωση νερού με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, Μεταπτυχιακή διατριβή, Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών Ενεργειακά Συστήματα – Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας, Τμήμα Αξιοποίησης φυσικών πόρων και γεωργικής μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα

21. Πέππα, Φ. (2007), Ηλιακή αφαλάτωση και μελέτη ηλιακού αποστακτήρα στην περιοχή της Αθήνας, Διπλωματική εργασία, Τομέας Θερμότητας, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
22. Μεντής, Δ. (2011), Αφαλάτωση με χρήση ΑΠΕ στα άνυδρα νησιά του Νοτίου Αιγαίου, Διπλωματική εργασία, Τομέας ρευστών, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
23. Τζανάκη, Σ.Α. (2010), Μονάδες αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση – τεχνική περιγραφή και κριτήρια χωροθέτησης, Διπλωματική εργασία, Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
24. Μανωλάκος, Δ. (2006), Σχεδιασμός και πειραματική αξιολόγηση αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με ηλιακό οργανικό κύκλο Rankine, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα
25. Μωχάμεντ, Ε.Σ. (2009), Διερεύνηση τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για αφαλάτωση θαλασσινού νερού με αντίστροφη ώσμωση, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα
26. Υφαντίδης, Α. (2014), Αφαλάτωση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Πτυχιακή εργασία, Ενεργειακός Τομέας, Τμήμα Μηχανολογίας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας, Καβάλα
27. https://el.wikipedia.org/wiki/Κύκλος_του_νερού
28. <http://www.env-edu.gr/Chapters.aspx?id=101>
29. <http://www.env-edu.gr/Chapters.aspx?id=106>
30. <http://idadesal.org/desalination-101/desalination-by-the-numbers/>
31. Φιλελεύθερο Ζάντε » Blog Archive Αφαλάτωση: 'Μάννα' εκ θαλάσσης ;
32. <https://saltonseasense.com/2015/10/09/desalting-the-sea/>
33. <https://sites.google.com/site/kjdesalination/vacuum-distillation>
34. <http://www.aventurine.com/five-days-without-water-how-thirsty-are-you/>

35. <http://worldwater.org/wp-content/uploads/2013/07/Table21.pdf>
36. <http://hbfreshwater.com/desalination-101/desalination-worldwide>
37. <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php.pdf>
38. Μπακογιάννη, Ε. (2016), Μέθοδοι αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού, Εργαστήριο Χημείας, Σχολή Μηχανικών, ΑΕΝ Μακεδονίας, Νέα Μηχανιώνα
39. Ράπτης, Δ. (2012), Μελέτη αφαλάτωσης με μικρές μονάδες. Ειδικά με αυτόνομη μονάδα αντίστροφης ώσμωσης και χρήση ΑΠΕ, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα