



ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σιγουράς Μαρκοζάννες



ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σιγουράς Μαρκοζάννες

Επιβλέπων :

Δρ Γ Σταυρουλάκης
Καθηγητής

Επιτροπή Αξιολόγησης :

Δρ. Κώττη Μελίνα
Καθηγήτρια Εφαρμογών

Παπαφιλιππάκη Ανδρονίκη (MSc)
Εργαστηριακός Συνεργάτης

Ημερομηνία παρουσίασης

23/03/2013

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας : 51

ΧΑΝΙΑ 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	4
Abstract	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	3
Εισαγωγή-Το Νερό	3
1.1 Γενικά για το Νερό	3
1.1.1 Το Πρόβλημα της λειψυδρίας.....	5
1.2 Δομή του μορίου του νερού	6
1.3 Φυσικά νερά	8
1.3.1 Υποβάθμιση της ποιότητας των φυσικών νερών	10
1.4 Ρύπανση – μόλυνση των νερών.....	11
1.6 Νομοθετικό πλαίσιο	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	15
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ	15
2.1 Οργανοληπτικές Παράμετροι	15
2.2 Φυσικοχημικές Παράμετροι.....	15
2.3 Ανεπιθύμητες ουσίες στο νερό.....	17
2.4 Τοξικές ουσίες	19
2.5 Υγειονομικός έλεγχος	20
2.6 Στάδια επεξεργασίας νερού για ύδρευση	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	22
ΥΦΑΛΜΥΡΥΝΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ	22
3.1 Γενικά	22
3.3 Είδη υφαλμύρυνσης	23
3.4 Περιγραφή του φαινομένου.....	24
3.4.1 Επαφή γλυκού-αλμυρού νερού	24
3.4.2 Πολυπλοκότητα Υφαλμύρυνσης.....	24
3.4.3 Τρόποι προσέγγισης του φαινομένου.....	24
3.4.4 Στατική ισορροπία διεπιφάνειας: Νόμος των Ghyben και Herzberg.....	25
3.4.5 Συνθήκες ροής κατά Hubbert	27
3.4.6 Μαθηματικά μοντέλα	30
3.4.7 Δομή και σύσταση της διεπιφάνειας	30
3.4.8 Ανύψωση της διεπιφάνειας	31
3.4.9 Το «πόδι» της διεπιφάνειας.....	33
3.4.10 Δείκτης ανισορροπίας	34
3.5 Αίτια υφαλμύρυνσης	34
3.5.1 Φυσικά αίτια	34
3.5.1.1 Μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που προκύπτει από την αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος	34
3.5.1.2 Άνοδος της στάθμης της θάλασσας.....	35
3.5.1.3 Γεωλογικά αίτια	35

3.5.2 Ανθρωπογενή αίτια	36
3.5.2.1 Υπεράντληση	36
3.5.2.2 Παράνομες γεωτρήσεις	36
3.5.2.3 Οικιστική ανάπτυξη.....	37
3.5.2.4 Εγγειοβελτιωτικά έργα και αποστράγγιση.....	37
3.6 Υπολογισμός απαιτούμενου χρόνου απόπλυσης υφάλμυρων φακών	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	39
ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ	39
4.1. Εισαγωγή	39
4.1. Φραγμοί άντλησης.....	39
4.3 Φραγμοί εμπλουτισμού (έγχυσης) γλυκού νερού	40
4.4. Τεχνητοί υπόγειοι φραγμοί.....	41
4.5. Βιολογικοί φραγμοί	42
4.6. Έλεγχος αντλήσεων	43
4.7. Ανακατανομή αντλήσεων.....	43
4.8. Τροποποιημένα σχέδια αντλήσεων	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	45
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΦΑΛΜΥΡΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	45
5.1 Εισαγωγή	45
5.1.2 Παράμετροι επιλογής τεχνολογίας.....	47
5.2 Η χρήση της αφαλάτωσης σε παγκόσμιο επίπεδο	47
5.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης.....	48
5.3.1 Θερμικές διεργασίες ή διεργασίες αλλαγής φάσης (Phase Change or Thermal Processes)	48
5.3.2 Διεργασίες μονής φάσης ή διεργασίες με μεμβράνες (Single Phase or Membrane Processes)	56
5.3.3 Οι απαιτήσεις σε ενέργεια μίας μονάδας αφαλάτωσης	64
5.3.4. Σύγκριση Μεθόδων αφαλάτωσης.....	65
5.4 Πηγές ενέργειας για αφαλάτωση.....	66
5.5 Το κόστος του αφαλατωμένου νερού.....	66
5.6 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αφαλάτωση	68
5.7 Αφαλάτωση με ΑΠΕ–"Πράσινη Αφαλάτωση".....	70
5.7.1 Συνδυασμός Ανεμογεννητριών–Αφαλάτωσης	73
5.7.2 Συνδυασμός Φωτοβολταϊκών–Αφαλάτωσης	74
5.8 Η Νομοθεσία για τις μονάδες αφαλάτωσης.....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	79
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ	79
6.1. Εισαγωγή	79
6.2. Υπολογισμός μεγέθους αγοράς αφαλάτωσης.....	80
6.3 Πλωτή μονάδα αφαλάτωσης (ΥΔΡΙΑΔΑ)	91
6.4 Βιωσιμότητα μονάδας αφαλάτωσης.....	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	99

ΜΟΝΑΔΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ	99
7.1.1 Το πρόβλημα της ύδρευσης.....	99
7.1.2 Περιγραφή του έργου.....	99
7.1.3 Γενική περιγραφή της μονάδας.....	100
7.1.4 Ποιότητα θαλασσινού νερού:.....	100
7.1.5 Ποιότητα παραγόμενου νερού:.....	100
7.1.6 Ποσότητα παραγόμενου πόσιμου νερού:.....	101
7.1.7 Στάδια επεξεργασίας.....	101
7.1.8 Λειτουργικά χαρακτηριστικά.....	102
7.1.9 Σύστημα τροφοδοσίας θαλασσινού νερού.....	102
7.1.10 Σύστημα χλωρίωσης.....	103
7.1.11 Φίλτρα θολότητας–Πολυστρωματικά φίλτρα.....	103
7.1.12 Σύστημα αποχλωρίωσης.....	104
7.1.13 Σύστημα προσθήκης αντικαθαλωτικού.....	104
7.1.14 Σύστημα ρύθμισης του pH θαλάσσης.....	104
7.1.15 Φίλτρα φυσιγγίων.....	105
7.1.16 Μέτρηση SDI.....	105
7.1.17 Αντλία ή αντλίες υψηλής πίεσης–Σύστημα ανάκτησης ενέργειας.....	105
7.1.18 Διάταξη ομαλής εκκίνησης – στάσης αντλίας υψηλής πίεσης.....	106
7.1.19 Συστοιχία μεμβρανών.....	106
7.1.20 Μονάδα έκπλυσης.....	107
7.1.21 Μονάδα χημικού καθαρισμού.....	107
7.1.22 Σύστημα μείωσης pH προϊόντος.....	108
7.1.23 Σύστημα αύξησης της σκληρότητας.....	108
7.1.24 Σύστημα ρύθμισης pH προϊόντος.....	108
7.1.25 Σύστημα χλωρίωσης προϊόντος.....	109
Κεφάλαιο 8.....	110
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	101

Περίληψη

Το πρόβλημα της έλλειψης πόσιμου νερού, αλλά και της συντήρησης και καλύτερης διαχείρισης των αποθεμάτων του φρέσκου νερού που πρέπει να κάνει η χώρα μας υπό το πρίσμα της αυξανόμενης ζήτησης αλλά και της περιβαλλοντικής μόλυνσης, παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον. Οι ειδικοί σε θέματα περιβάλλοντος και νερού κρούουν τον κώδωνα του κινδύνου για την ανάγκη έναρξης μιας παγκόσμιας "Μπλε Επανάστασης" για να δοθούν λύσεις στην αντιμετώπιση της λειψυδρίας σε τοπικό, εθνικό, ή ακόμα και υπερεθνικό επίπεδο.

Για την ενίσχυση των αποθεμάτων φρέσκου νερού μια τεχνολογικά εφικτή και συμφέρουσα λύση είναι η αφαλάτωση, που ουσιαστικά είναι η διαδικασία μετατροπής του θαλασσινού νερού σε πόσιμο και κατάλληλο για χρήση. Με δεδομένο ότι, το 97% του νερού στον πλανήτη είναι θαλάσσιο, η αφαλάτωση φαντάζει ως η μοναδική λύση για την ουσιαστική αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας.

Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση των τεχνολογιών αφαλάτωσης για την επεξεργασία του υφάλμυρου ή θαλασσινού νερού και τη μετατροπή του σε πόσιμο. Κύριος στόχος είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη δυνατότητα χρήσης της αφαλάτωσης ως λύση στο πρόβλημα έλλειψης νερού σε περιοχές της Ελλάδας.

Το θέμα αφορά στη διερεύνηση και καταγραφή των εφαρμοζόμενων τεχνολογιών αφαλάτωσης τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο, όσο και στον ελληνικό χώρο, δεδομένου του έντονου προβλήματος από την έλλειψη πόσιμου νερού σε όλο τον κόσμο, λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, της πληθυσμιακής αύξησης και της αλόγιστης χρήσης πόσιμου νερού.

Στην εισαγωγή παρουσιάζεται ο υδρολογικός κύκλος του νερού, η αναγκαιότητά του, οι πηγές ρύπανσης καθώς και το Νομοθετικό πλαίσιο για το πόσιμο νερό.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι παράμετροι ποιότητας νερού και τα στάδια επεξεργασίας του, ενώ στο τρίτο, αναλύεται το φαινόμενο της υφαλμύρωσης και οι επιπτώσεις του στην ανθρώπινη υγεία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου της υφαλμύρωσης. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέθοδοι αφαλάτωσης, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον λόγω της αφαλάτωσης καθώς επίσης και ο συνδυασμός των μονάδων αφαλάτωσης με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο περιγράφονται συνοπτικά μερικές μονάδες αφαλάτωσης νερού που λειτουργούν στον Ελληνικό χώρο.

Elaboration of Brackish Water for Water Supply

Abstract

The problem of drinking water shortage and conservation of freshwater resources are issues of great interest for our country due to the increasing demand and the environmental pollution. Environmental and water experts worldwide beat the drum for the need of beginning of a "blue revolution" in order to find solutions in local, national and global level.

Desalination is the process of converting seawater to drinking water safe and suitable for human consuming. It is considered to be a technological and cost-effective solution for the enhancement of freshwater resources. The 97% of the water in our planet is sweeter, this is why desalination seems to be the only solution to the lack of water.

The aim of the study is the review of desalination methods and technologies for brackish water and seawater treatment and conversion to drinking water. The main target is to investigate and to draw conclusions for the potential use of desalination as a solution to the lack of water in Greek areas.

The subject concerns the review of the applied desalination technologies worldwide and in the Greek region, taking into account the drinking water shortage all over the world because of the greenhouse effect, the increasing population and the water spending.

In the introduction, water cycle is presented together with its necessity, the sources of pollution and the legislation framework about drinking water.

In the second chapter the quality parameters and the stages of drinking water treatment are described.

The third chapter concerns seawater intrusion and its effects on human health, while the solutions to this problem are presented in the fourth chapter.

The fifth chapter deals with desalination methods, their environmental impact and the combination of desalination plants with the renewable energy sources.

At the last chapter there is a brief description of some desalination plants that are operating in Greece.

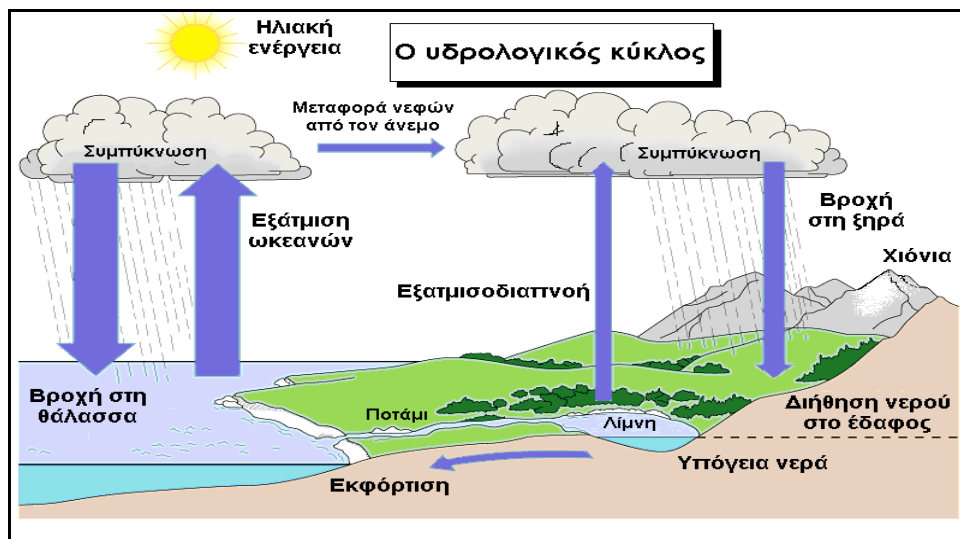
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή - Το Νερό

1.1 Γενικά για το νερό

Το νερό (ή στη καθαρεύουσα ύδωρ, λέξη από την οποία και πολλοί οι παράγωγοι όροι) είναι η περισσότερο διαδεδομένη στη φύση χημική ουσία. Αποτελεί έναν από τους πολυτιμότερους φυσικούς πόρους της γης. Χωρίς νερό η ζωή είναι αδιανόητη.

Η ανακύκλωση του νερού του πλανήτη μέσω συνεχών μετατροπών στη φυσική του κατάσταση είναι γνωστή και ως υδρολογικός κύκλος ή κύκλος του νερού. Οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στη γη επηρεάζονται άμεσα από τον υδρολογικό κύκλο στη φύση ο οποίος παρίσταται διαγραμματικά στο Σχήμα 1.1. Το αποθηκευμένο σε πάγους και χιόνια νερό λιώνει με την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, απορρέει και αποθηκεύεται στους επιφανειακούς και τους υπόγειους ταμιευτήρες. Ένα άλλο ποσοστό νερού διηθείται μέσω των διαφόρων πετρωμάτων και καταλήγει πάλι στους ωκεανούς ή στους υπόγειους ταμιευτήρες. Με την εκφόρτιση του υπόγειου νερού πληρούνται οι επιφανειακοί ταμιευτήρες (λίμνες, ποτάμια και θάλασσες) ενώ ένα άλλο ποσοστό οδηγείται μέσω των ποταμών στους ωκεανούς. Με την εξάτμιση του περιεχομένου των επιφανειακών ταμιευτήρων το νερό οδηγείται και πάλι στην ατμόσφαιρα όπου συμπυκνώνεται και αποθηκεύεται στα σύννεφα. Από τα σύννεφα με τη μορφή της βροχής κατακρημνίζεται και πάλι στη γη.



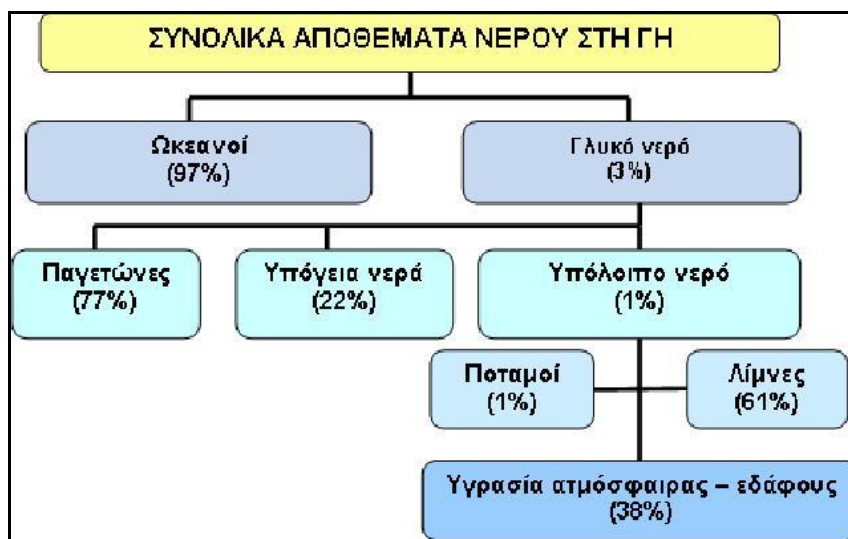
Σχήμα 1.1: Ο υδρολογικός κύκλος

Το νερό αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη, την υγιεινή διαβίωση, την ίδια τη ζωή. Όμως, αυτή η πηγή ζωής αποτελεί πλέον είδος σε ανεπάρκεια. Τα συνολικά αποθέματα του νερού στη γη απεικονίζονται στο Σχήμα 1.2. Είναι προφανές, ότι τα διαθέσιμα αποθέματα του «καθαρού νερού» είναι ελάχιστα και είναι απαραίτητη η διαφύλαξή τους.

Σήμερα, σύμφωνα με στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας και της UNICEF, περισσότερο από 1 δισεκατομμύριο άνθρωποι δεν έχουν καμιά πρόσβαση σε καθαρό πόσιμο νερό, ένας αριθμός που μπορεί να ξεπεράσει τα 3 δισεκατομμύρια σε 20 έτη. Επιπλέον, το 80% του πληθυσμού των αναπτυσσόμενων χωρών υποφέρει από ασθένειες που συνδέονται με το νερό, ενώ 3 εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν κάθε χρόνο εξαιτίας της κακής ποιότητας νερού που καταναλώνουν. Οι άνθρωποι που στερούνται πρόσβασης σε βελτιωμένες εγκαταστάσεις υγιεινής υπολογίζονται σε 2,6 δισεκατομμύρια, δηλαδή δύο στους πέντε. Τα δύο δισεκατομμύρια απ' αυτούς ζουν σε αγροτικές περιοχές. Το ετήσιο κόστος για την εκπλήρωση των

αναπτυξιακών στόχων της χιλιετίας για το νερό και την υγιεινή μέχρι το 2015 υπολογίζεται σε 6 δισεκατομμύρια ευρώ [1] .

Η χώρα μας, όπως και ολόκληρος ο πλανήτης, βρίσκεται τα τελευταία χρόνια αντιμέτωπη με το μεγάλο αυτό περιβαλλοντικό πρόβλημα της απειλούμενης λειψυδρίας. Σύμφωνα με την *Greenpeace* το πρόβλημα αυτό οφείλεται σε μια σειρά από αίτια όπως η έλλειψη σχεδιασμού, η κακή διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων, η καταστροφή των δασών, η περιφρόνηση των φυσικών νόμων που διέπουν τον υδρολογικό κύκλο και η μείωση των βροχοπτώσεων λόγω των κλιματικών αλλαγών.



Σχήμα 1.2: Κατανομή του νερού στη γη [1]

Κάθε άνθρωπος καταναλώνει κατά μέσο όρο 150–200 λίτρα νερού ημερησίως για την ικανοποίηση των βασικών του αναγκών. Οι τιμές αυτές κατ' άλλους θεωρούνται χαμηλές και κατ' άλλους υψηλές, αυτό όμως που έχει μεγάλη σημασία είναι οι τεράστιες οικονομικές και οικολογικές επιπτώσεις από την μετατροπή ενός πολύτιμου κοινωνικού αγαθού σε απόβλητα. Οι καταναλώσεις αυτές θα μπορούσαν να περιοριστούν με διάφορους τρόπους όπως η αλλαγή κάποιων συνηθειών μας στην καθημερινότητα και η χρήση απλών τεχνολογιών εξοικονόμησης νερού. Φυσικά η ορθή διαχείριση του νερού απαιτεί παρεμβάσεις σε πολλά επίπεδα, με πρώτη την εξοικονόμηση νερού στη γεωργία και τη βιομηχανία [1].

Το νερό απαντάται και στις τρεις μορφές: στερεή (πάγος, χιόνι), υγρή (νερό πηγών, ποταμών, θαλασσών) και αέρια (υδρατμοί στην ατμόσφαιρα). Επίσης το νερό υπάρχει σ' όλους τους ζωντανούς (ζωικούς και φυτικούς) οργανισμούς. Στις τροφές υπάρχει σε μεγάλο ποσοστό. Το γάλα π.χ. περιέχει 87%, οι πατάτες 78%, τα αβγά 74%, ενώ τα λαχανικά και τα φρούτα μέχρι 93% νερό. Στο ανθρώπινο σώμα το νερό περιέχεται σε ποσότητα 70% και στο αίμα 90%.

Για τη σωστή λειτουργία του οργανισμού μας χρειαζόμαστε καθημερινά 2 λίτρα νερό (δηλαδή 8-10 ποτήρια) για να αποφύγουμε την αφυδάτωση. Το νερό αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την απομάκρυνση των τοξινών και των υποπροϊόντων του μεταβολισμού μας. Χωρίς νερό για 3 ημέρες το ανθρώπινο σώμα εξασθενεί επικίνδυνα, ενώ μπορεί να εξασθενήσει σταδιακά από τη συνεχή κατανάλωση νερού μολυσμένου από επικίνδυνες χημικές ενώσεις, βαρέα μέταλλα και βακτήρια. Δεδομένης της ανάγκης για υγεία και ζωτικότητα, ο ανθρώπινος οργανισμός απαιτεί τη λήψη ποιοτικού νερού απαλλαγμένο από επιβλαβείς ουσίες. Η σπουδαιότητα επομένως του νερού για τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη είναι μεγάλη.

Η σημαντικότητα του βιολογικού ρόλου του νερού καθίσταται εμφανής αν υπολογίσει κανείς ότι στο εσωτερικό περιβάλλον των κυττάρων το νερό καταλαμβάνει ένα πολύ μεγάλο ποσοστό της κατά βάρος σύστασής των, που μπορεί να μην είναι το ίδιο σε όλα τα κύτταρα, και που κυμαίνεται μεταξύ 70 και 90%. Ακόμα, το μεσοκυττάριο υγρό αποτελεί το υδατικό περιβάλλον που αναπτύσσονται τα κύτταρα των πολυκυττάρων οργανισμών.

Οι περισσότερες χημικές ουσίες που παρατηρούνται στο εσωτερικό των κυττάρων είναι "ευδιάλυτες" στο νερό. Το γεγονός αυτό επιτρέπει στις διαλυμένες ουσίες την εύκολη μετακίνησή τους από το ένα σημείο του κυττάρου σε άλλο και κατά συνέπεια την επαφή τους και την εξ' αυτής πραγματοποίηση των χημικών αντιδράσεων μέσα στο κύτταρο. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η υδρόλυση των μακρομορίων κατά την οποία μάλιστα το νερό συμμετέχει ως αντιδρόν σώμα.

Σημαντικότεροι λόγοι που καθιστούν το νερό τόσο απαραίτητο στοιχείο της ζωής είναι ακριβώς οι φυσικοχημικές του ιδιότητες που αποτελούν απόρροια της πολικότητας και της ικανότητας των μορίων του να συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου.

Αναλυτικότερα οι φυσικοχημικές του αυτές ιδιότητες είναι:

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

Η ποιότητα του νερού καθορίζεται από φυσικές και χημικές παραμέτρους. Οι αρχικές βάσεις για τέτοιο χαρακτηρισμό είναι παράμετροι που αφορούν την ασφάλεια της ανθρώπινης επαφής και της υγείας των οικοσυστημάτων. Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι διαυγές, άχρωμο, άοσμο και δροσερό (θερμοκρασίας 7 -11 βαθμών Κελσίου). Πρέπει να περιέχει μικρή ποσότητα ανόργανων αλάτων (0,5 γραμ. στο λίτρο) γιατί το καθαρό νερό χωρίς διαλυμένα άλατα είναι βλαβερό για τον οργανισμό. Περιέχει επίσης διαλυμένο οξυγόνο, άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα, ελάχιστα ίχνη οργανικών ουσιών, καθώς και ίχνη φυτικών μικροοργανισμών. Το νερό που πίνουμε περιέχει και μικροοργανισμούς. Ως καλός διαλύτης, το νερό διαλύει και διαβρώνει ό,τι έρχεται σε επαφή με αυτό. Επιπλέον, ουσίες όπως η σκουριά και οργανισμοί όπως τα βακτηρίδια και οι κύστες πρωτόζωων (*giardia*, *cryptosporidium*, άλγη) συνήθως βρίσκονται στο νερό.

Το πόσιμο νερό πρέπει επομένως να εξετάζεται φυσικώς (θερμοκρασία, διαύγεια, γεύση, οσμή), χημικώς (ποιοτικός και ποσοτικός έλεγχος ουσιών, σκληρομετρία), μικροσκοπικώς (έρευνα μικροοργανισμών), βακτηριολογικώς (καλλιέργεια των μικροβίων του νερού) και τοπογραφικώς (θέση πηγής, διαδρομής του νερού). Η προέλευση και η ποιότητα του πόσιμου νερού, προβληματίζουν συνεχώς ολοένα και περισσότερες οικογένειες.

Το νερό, που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση δεν πρέπει να περιέχει χημικές ουσίες και μικροοργανισμούς σε αυξημένες ποσότητες που μπορεί να έχουν επιπτώσεις στην υγεία. Πρέπει να είναι ασφαλές και ακίνδυνο για την υγεία, να μην είναι θολό και να μην έχει χρώμα, δυσάρεστη οσμή και γεύση.

Η τοποθεσία, η κατασκευή, η λειτουργία και η επίβλεψη μιας πηγής υδροληψίας (πηγές, δεξαμενές, επεξεργασία και διανομή νερού) πρέπει να είναι τέτοιες που να αποκλείουν οποιαδήποτε ρύπανση του νερού. Οι περισσότερες χώρες στον κόσμο έχουν καθιερώσει πρότυπα ποιότητας του πόσιμου νερού που εφαρμόζουν στην επικράτειά τους και χρησιμοποιούν μεθόδους ανάλυσης και έκφρασης των αποτελεσμάτων παρόμοιες για να είναι εύκολη η σύγκριση μεταξύ τους. Επίσης, επιδημίες από ασθένειες υδρικής προέλευσης μπορεί να αποφευχθούν εάν γίνονται αυστηροί έλεγχοι από τους υπευθύνους των συστημάτων υδροληψίας και τις αρμόδιες αρχές υγείας, όσον αφορά την ποιότητα του πόσιμου νερού.

1.1.1 Το πρόβλημα της λειψυδρίας

Το πλέον επιτακτικό πρόβλημα την επόμενη δεκαετία, το οποίο θα διογκώνεται από την αύξηση του πληθυσμού στον πλανήτη, θα είναι η λειψυδρία, δηλαδή η μείωση της διαθεσιμότητας του γλυκού νερού. Λειψυδρία σημειώνεται όταν οι ποσότητες του νερού που αφαιρούνται από τις λίμνες, τα ποτάμια ή το υπέδαφος, είναι τόσο μεγάλες, ώστε οι προμήθειες νερού δεν επαρκούν πλέον στην ικανοποίηση όλων των ανθρωπίνων αναγκών ή των αναγκών του οικοσυστήματος, επιφέροντας αυξημένο ανταγωνισμό ανάμεσα στις πιθανές απαιτήσεις [2].

Η γεωργική δραστηριότητα συνδέεται στενά με αυτό, αλλά το νερό θα είναι, πιθανά, μεγαλύτερη πηγή ανησυχίας τα επόμενα δέκα χρόνια. Η αύξηση του πληθυσμού, η αύξηση του πλούτου, η αστικοποίηση και η κλιματική αλλαγή θα δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα στην ανθρωπότητα. Ο πληθυσμός του πλανήτη, που ανέρχεται σήμερα σε 6,6 δισ., αναμένεται να αυξηθεί κατά 2,5 δισ. μέχρι το 2050, ενώ η αύξηση του πλούτου και η αστικοποίηση ενισχύουν τη ζήτηση για νερό [3].

Εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού της γης, της μαζικής κατανάλωσης, της κατάχρησης των φυσικών πόρων και της μόλυνσης του νερού η διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της σύγχρονης εποχής και διαρκώς μειώνεται. Για αυτό το λόγο, το νερό αποτελεί στρατηγικής σημασίας αγαθό σε όλη την υφήλιο και αιτία για πολλές πολιτικές διενέξεις. Πολλοί έχουν

προβλέψει ότι το καθαρό νερό θα γίνει το πετρέλαιο του μέλλοντος καθιστώντας τον Καναδά με τα πλεονάζοντα αποθέματα νερού την πιο πλούσια χώρα του πλανήτη. Σύμφωνα με την έρευνα της UNESCO που πραγματοποιήθηκε το 2003 για τα παγκόσμια αποθέματα νερού, στα επόμενα 20 χρόνια η ποσότητα του νερού που αναλογεί στον καθένα προβλέπεται να μειωθεί κατά 30%. Το 40% των ανθρώπων που ζουν στη γη δεν έχουν επαρκές νερό ακόμα και για υποτυπώδη υγιεινή. Περισσότεροι από 2,2 εκατομμύρια άνθρωποι πέθαναν το 2000 από ασθένειες που σχετίζονται με την κατανάλωση μολυσμένου νερού ή με ξηρασία.

Το 2004, σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τη φιλανθρωπική οργάνωση WaterAid αναφέρεται ότι στη Βρετανία ένα παιδί πεθαίνει κάθε 15 δευτερόλεπτα από ασθένειες που σχετίζονται με το νερό. Το πόσιμο νερό - τώρα πολυτιμότερο από κάθε άλλη φορά στην ιστορία λόγω της εντατικής χρησιμοποίησης του στη γεωργία, στη σύγχρονη βιομηχανία και στην παραγωγή ενέργειας - χρειάζεται καλύτερη διαχείριση και λογική χρήση εάν δεν επιθυμούμε να ζήσουμε τραγικές καταστάσεις στο μέλλον.

1.2 Δομή του μορίου του νερού

Το νερό μέχρι τον 18^ο αιώνα θεωρούνταν στοιχείο. Πρώτος ο πατέρας της νεότερης χημείας, Λαβουαζιέ, απέδειξε ότι πρόκειται για ένωση του υδρογόνου και του οξυγόνου. Ο χημικός τύπος λοιπόν του νερού, όπως προέκυψε από τον Λαβουαζιέ, είναι H_2O και η σχετική αναλογία των βαρών του υδρογόνου και του οξυγόνου είναι 2,016:16,000.

Το μόριο του νερού δεν είναι γραμμικό, δηλαδή οι δεσμοί O-H δεν βρίσκονται πάνω στην ίδια ευθεία αλλά σχηματίζουν γωνία 104,5 μοιρών. Το μήκος του δεσμού O-H είναι 0,96 Å (Åγκστρεμ, 1 Å = 10^{-8} cm). Λόγω της γωνιακής διάταξης του δεσμού O-H, το μόριο του νερού είναι ασύμμετρο και έχει ύψηλη διπολική ροπή. Το κέντρο του θετικού φορτίου βρίσκεται προς την πλευρά του υδρογόνου ενώ του αρνητικού προς την πλευρά του οξυγόνου. Ο υψηλός πολικός χαρακτήρας του μορίου εξηγεί τη μεγάλη του διηλεκτρική σταθερά (78 στους 25°C) και άλλες ιδιότητές του, όπως είναι η διάλυση ετεροπολικών ενώσεων, ιδιότητα που το καθιστά ένα από τα καλύτερα διαλυτικά μέσα.

Το νερό παρουσιάζει έντονα το φαινόμενο της σύζευξης, με τη δημιουργία δεσμών διά γέφυρας υδρογόνου. Τα μόρια του νερού δηλαδή σχηματίζουν δεσμούς μεταξύ του ηλεκτροθετικού υδρογόνου του ενός μορίου και του ηλεκτροαρνητικού οξυγόνου του άλλου μορίου.

Δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των μορίων του νερού εξακολουθούν να υπάρχουν και σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία. Έτσι, ο αριθμός των δεσμών υδρογόνου μεταξύ των μορίων του νερού έχει τέτοια τιμή, ώστε ο στοιχειομετρικός τύπος του, στους 25°C, δεν είναι ο γνωστός H_2O , αλλά $H_{180}O_{90}$.

Εκτός από το συνηθισμένο νερό (H_2O), που είναι το οξείδιο του πρωτίου (H), έχουμε και το βαρύ ύδωρ, που είναι το οξείδιο του δευτερίου (D_2O), καθώς και το υπερβαρύ ύδωρ, που είναι το οξείδιο του τρίτιου (T_2O). Βρέθηκε ότι στο φυσικό νερό περιέχεται το D_2O (βαρύ ύδωρ) σε ποσότητα 1:6.000 περίπου. Καθαρό D_2O παρασκευάζεται με εξαντλητική ηλεκτρόλυση υδατικών διαλυμάτων αλκαλίων, γιατί ηλεκτρολύεται κατά προτίμηση το κοινό νερό και συνεπώς, τα υπολείμματα της ηλεκτρόλυσης του νερού εμπλουτίζονται σε βαρύ νερό [4].

Πίνακας 1.1: Φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού [4]

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	
Γενικές	
Όνομασία	
Μοριακή Γεωμετρία (non-SI)	
Χημικός τύπος	H ₂ O
Εμφάνιση	διαυγές, σχεδόν άχρωμο υγρό με έναν ελαφρά μπλέ τόνο [1].
Φυσικές	
Ατομικό βάρος	18,01528 amu
Σημείο τήξεως	273.15 K (0°C)
Σημείο ζέσεως	373.15 K (100°C)
Κρίσιμη Θερμοκρασία	647 K
Κρίσιμη πίεση	22.1 Mpa
Πυκνότητα (μεγ.)	999.972 kg/m ³ στους 4°C
Δείκτης διάθλασης	1.333 (υγρό νερό, 20°C)
Θερμοχημεία	
Δ_fH⁰_{αέριο}	241.83 kJ/mol
Δ_fH⁰_{υγρό}	285.83 kJ/mol
Δ_fH⁰_{στερεό}	291.83 kJ/mol
S⁰_{αέριο, 1 bar}	188.84 J/(mol·K)
S⁰_{υγρό, 1 bar}	69.95 J/(mol·K)
S⁰_{στερεό}	41 J/(mol·K)
Ασφάλεια	
Κατάποση	Απαραίτητο για τη συντήρηση της ζωής. Υπερβολική κατανάλωση μπορεί να προκαλέσει κράμπες, και μπορεί να οδηγήσει τελικά σε ανισορροπία ηλεκτρολυτών εξαιτίας της ώσμωσης, προκαλώντας πονοκέφαλο, σύγχυση και πιθανόν κώμα ή θάνατο (μετά από ώρες).
Εισπνοή	Μπορεί να οδηγήσει σε ασφυκτικά συμπτώματα παρ' όλιγον πνιγμό ή ημιπνιγμό και πνιγμό
Επιδερμίδα	Παρατεταμένη εμβάπτιση (παραμονή στο νερό) μπορεί να προκαλέσει ξεφλούδισμα (απολέπιση).
Μάτια	Δεν ενέχει κίνδυνο.
Μονάδες SI χρησιμοποιήθηκαν όπου ήταν δυνατό. Εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά, τα μεγέθη αναφέρονται σε κανονικές συνθήκες.	

Το νερό είναι υγρό, διαυγές, άχρωμο σε λεπτά στρώματα, κυανίζουν σε μεγάλους όγκους. Η καθαρή ουσία είναι άγευστη, ενώ το καθαρό πόσιμο νερό έχει ευχάριστη γεύση που οφείλεται στα διαλυμένα άλατα και αέρια. Η πυκνότητα του νερού είναι διαφορετική σε διάφορες θερμοκρασίες, με μέγιστη στους 4°C. Στον Πίνακα 1.1. παρουσιάζουν οι φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού και στον Πίνακα 1.2. οι τιμές της πυκνότητάς του σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

Πίνακας 1.2: Πυκνότητες νερού και πάγου [4]

Θερμοκρασία (°C)	Πυκνότητα (gr/cm ³)
100	0,9586
80	0,9719
60	0,9833
40	0,9923
20	0,9982
10	0,9997
5	0,9999
3.98	1,0000
0 (νερό)	0,9998
0 (πάγος)	0,9170

Από τον Πίνακα 1.2, φαίνεται πως το νερό σε στερεή κατάσταση έχει μικρότερη πυκνότητα απ' ό τι στην υγρή. Αυτό έχει μεγάλη σημασία για την αρμονία της φύσης: οι πάγοι επιπλέουν στο νερό και λειτουργούν μονωτικά, εμποδίζοντας το νερό που βρίσκεται από κάτω να παγώσει, με όλες τις ευεργετικές εκβάσεις στη ζωή του υδροβίου κόσμου. Χωρίς την «ανωμαλία» αυτή της πυκνότητας του νερού, η ζωή στον πλανήτη μας δεν θα υπήρχε, τουλάχιστον με την σημερινή της μορφή, εξαιτίας της ψύξης του νερού στην επιφάνεια της Γης. Η ιδιορρυθμία της πυκνότητας του νερού είναι η αιτία της αποσάθρωσης των βράχων. Το νερό που εισέρχεται στις ρωγμές των βράχων στερεοποιείται κατά τη διάρκεια του χειμώνα και προκαλεί την αποσάθρωσή τους. Ακόμα, το σπάσιμο των σωλήνων διανομής του νερού κατά τον χειμώνα οφείλεται στην αύξηση του όγκου του νερού κατά την μετάβαση από την υγρή στην στερεή κατάσταση. Το νερό έχει πολύ μεγάλη ειδική θερμότητα (θερμοχωρητικότητα=1 $\frac{\text{cal}}{\text{gr}} \times \text{deg}$). Χρησιμοποιείται ευρύτατα ως ψυκτικό μέσο και ως φορέας θερμότητας στα καλοριφέρ [4].

Σύμφωνα με την Υγειονομική Διάταξη, “πόσιμο νερό” νοείται το νερό που χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση, είτε με προηγούμενη επεξεργασία, είτε όχι, οποιαδήποτε και αν είναι η προέλευσή του.

Το νερό έχει ποικίλη χημική δράση. Σχηματίζει "ενώσεις διά προσθήκης" με πολλά άλατα, καθώς και με πολλά μόρια άλλων ουσιών. Οι ενώσεις αυτές ονομάζονται υδρίτες ή ένυδρες ενώσεις. Οι δυνάμεις που ενώνουν τα μόρια των ουσιών και του νερού είναι:

- Ελκτικές δυνάμεις μεταξύ του θετικού ιόντος του μετάλλου και του αρνητικού οξυγόνου του πεπολωμένου μορίου του νερού.
- Σχηματισμός ημιπολικού δεσμού μεταξύ του ατόμου του οξυγόνου και του ιόντος του μετάλλου με ένα ζεύγος ηλεκτρονίων.
- Σχηματισμός γέφυρας υδρογόνου μεταξύ του μορίου του νερού και της ουσίας.

Άλλος σημαντικός τύπος αντίδρασης του νερού είναι η υδρόλυση. Το νερό επιτελεί αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, όπου δρα άλλοτε ως οξειδωτικό και άλλοτε ως αναγωγικό μέσο.

1.3 Φυσικά νερά

Στα φυσικά νερά περιλαμβάνονται τα *επιφανειακά* (ποταμοί, λίμνες, λιμνοθάλασσες, κλειστοί θαλάσσιοι κόλποι και ανοιχτές θάλασσες) καθώς και τα *υπόγεια* νερά [1].

Τα φυσικά νερά (πηγών, ποταμών κ.λ.π.) δεν είναι καθαρή χημική ένωση. Περιέχουν σχεδόν πάντοτε διαλυμένα ανόργανα άλατα, αέρια και άλλες ουσίες, πολλές φορές και οργανικές. Σχηματίζονται από τη συμπύκνωση των υδρατμών που παράγονται από την εξάτμιση του νερού των ποταμών, των λιμνών και των θαλασσών που πέφτει ως βροχή, χιόνι ή χαλάζι.

Ο ποταμός είναι μία μεγάλη φυσική υδάτινη οδός. Το σημείο στο οποίο γεννιέται ένας ποταμός ονομάζεται πηγή. Ένας ποταμός μπορεί επίσης να προέρχεται από κάποια λίμνη, από ένα υπόγειο πηγάδι, ή από την ένωση κάποιων χειμάρρων. Τα νερά του ποταμού συνεχίζουν μέχρι να καταλήξουν κάπου. Αν τα νερά του χύνονται σε μία λίμνη ή στη θάλασσα, το μέρος εκείνο στο οποίο τα νερά του ενώνονται με αυτά της λίμνης ή της θάλασσας ονομάζονται εκβολή (καμιά φορά χρησιμοποιείται πληθυντικός εκβολές). Αν τα νερά του ενώνονται με αυτά ενός άλλου ποταμού, το σημείο στο οποίο ενώνονται ονομάζεται συμβολή των δύο ποταμών και ο μικρότερος από τους δύο ποταμούς ονομάζεται παραπόταμος. Αρκετές φορές συμβαίνει τα νερά ενός ποταμού, ιδιαίτερα αν είναι αρκετά μεγάλος, να διακλαδίζονται πριν την εκβολή και να καταλήγουν στην θάλασσα σε σχήμα δέλτα (Δ). Τότε το σημείο εκβολής του ποταμού ονομάζεται δέλτα. Πολλά από τα δέλτα ποταμών αποτελούν σημαντικά οικοσυστήματα. Σε αυτά συναντώνται πλήθος φυτών και ζώων, ενώ πολλά είδη προτιμούν τα δέλτα, όπου η τροφή είναι άφθονη για την αναπαραγωγή τους. Αλλά και πολλοί άνθρωποι ζουν σε μερικά από τα μεγαλύτερα δέλτα του κόσμου. Ο κυριότερος λόγος που τα δέλτα είναι τόσο πλούσια και εύφορα είναι το γεγονός ότι τα νερά των ποταμών στην πορεία τους προς τα δέλτα παρασύρουν χώμα που το εναποθέτουν στην εκβολή των ποταμών με την μορφή λάσπης, αλλά και πολλές θρεπτικές ουσίες μαζί με αυτό. Όσο περνούν τα χρόνια τόσο μεγαλώνουν και τα δέλτα με αυτόν τον τρόπο. Αυτή, όμως, είναι μία διαδικασία της οποίας τα αποτελέσματα είναι ορατά με την πάροδο αιώνων. Πολλές φορές παραλιακές πόλεις κοντά σε εκβολές ποταμών έχουν μεταβληθεί σε μεσόγειες μετά από κάποιους αιώνες.

Ως *Λίμνη* νοείται ο υδροβιότοπος που αποτελείται από μάζες νερού, γλυκού ή αλμυρού, συγκεντρωμένες σε κοιλότητες της επιφάνειας της γης, φαινομενικά στάσιμες και χωρίς άμεση επικοινωνία με τη θάλασσα. Τα βάθη των λιμνών είναι σχετικά μικρά σε σχέση με των ωκεανών και των θαλασσών.

Γεωγραφικά, περιοχές χωρίς λίμνες είναι οι έρημοι, ενώ αντίθετα παρατηρούνται και συστάδες λιμνών σε ορισμένες περιοχές π.χ. Φινλανδία ή Χώρα των 1000 λιμνών. Μεγαλύτερη σε έκταση λίμνη του κόσμου είναι η Κασπία θάλασσα (438.000 τ.χλμ), και σε βάθος η Βαϊκάλη (1.637 μ.) ενώ η μοναδική στην οποία υφίσταται αρχιπέλαγος είναι η λίμνη Νικαράγουα. Στην Ελλάδα, η μεγαλύτερη λίμνη είναι η Τριχωνίδα.[5]

Στην Ελλάδα υπάρχουν δεκάδες φυσικές και τεχνητές λίμνες καθώς και πολλές λιμνοθάλασσες. Οι περισσότερες λίμνες περιέχουν γλυκό νερό και έχουν σχηματιστεί, κυρίως, μακριά από τις ακτές της θάλασσας ως αποτέλεσμα τεκτονικών ή ηφαιστειακών δυνάμεων ή από την τήξη των παγετώνων. Οι λιμνοθάλασσες, είναι αβαθείς παράκτιες υδατοσυλλογές οι οποίες επικοινωνούν με τη θάλασσα μέσω ενός μικρότερου ή μεγαλύτερου ανοίγματος. Είναι πιθανό να μετατραπούν σε λίμνες γλυκού νερού, όταν για κάποιο λόγο διακοπεί η εισροή αλμυρού νερού από τη θάλασσα και παρουσιαστεί ικανοποιητική εισροή γλυκού νερού από ρέουσες υδατοσυλλογές. Υπάρχουν και λίμνες με αλμυρό ή υφάλμυρο νερό, όταν το υπόστρωμά τους περιέχει πολλά διαλυτά άλατα ή όταν δέχονται εισροές αλμυρού νερού. Οι τεχνητές λίμνες, που δημιουργήθηκαν από την κατασκευή φραγμάτων σε ρυάκια, χείμαρρους ή ποτάμια ώστε να αποταμιεύουν το νερό τους για ποικίλους σκοπούς (άρδευση, γεωργία, ύδρευση κ.λπ.), είναι η σπουδαιότερη κατηγορία τεχνητών υγρότοπων στην Ελλάδα. Καλύπτουν σημαντική έκταση και έχουν συμβάλει στη δημιουργία σημαντικών οικοσυστημάτων στο ελληνικό υγροτοπικό κεφάλαιο.

Με τον όρο *Θάλασσα* εννοείται μια μεγάλη έκταση αλμυρού ύδατος και η έννοια συνδέεται με κάποιον ωκεανό ή μια μεγάλη λίμνη, συνήθως με αλμυρό νερό που δεν έχει φυσική έξοδο. Ο όρος συχνά χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο του Ωκεανός, αν και η χρήση του στη Γεωγραφία είναι αυστηρά καθορισμένη. Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαφορετικές προσεγγίσεις του όρου [6]:

- *Από την άποψη της Ναυτικής γεωγραφίας.* Θάλασσα καλείται η υγρή μάζα που καλύπτει τα 3/4 της επιφάνειας της Γης. Η τεράστια αυτή υγρή έκταση διακρίνεται σε επί μέρους εκτάσεις ανάλογα με τους χώρους που καταλαμβάνουν αυτές. Οι πολύ μεγάλες θαλάσσιες εκτάσεις ονομάζονται Ωκεανοί οι οποίοι και καταλαμβάνουν συνολική επιφάνεια 354 εκατομ. τετρ. χιλιόμετρα. Θαλάσσιες εκτάσεις μικρότερες των Ωκεανών που σχηματίζονται ανάμεσα σε νησιά ή σε μεγάλες εκτάσεις ξηράς ονομάζονται Θάλασσες (Μεσόγειος, Βόρειος, Αντιλλών). Όταν η έκτασή τους είναι ακόμη μικρότερη ονομάζονται πελάγη, όπως το Αιγαίο, το Ιόνιο κλπ. Όταν δε μια θαλάσσια έκταση περιορίζεται έντονα από τη ξηρά τότε ονομάζεται κόλπος.
- *Από την άποψη του Διεθνούς δικαίου* η θάλασσα διακρίνεται σε Χωρικά ύδατα, Οικονομική ζώνη και Αιγιαλίτιδα ζώνη που υπάγονται στη κυριαρχία της παράκτιας χώρας, τις κλειστές θάλασσες που περιβάλλονται από στεριά π.χ. Νεκρά θάλασσα) που ανήκουν στη κυριαρχία του παράκτιου ή παράκτιων χωρών, στις εσωτερικές θάλασσες που περιβάλλονται από ξηρά αλλά συγκοινωνούν με την ανοιχτή θάλασσα όπως η Αζοφική που ταυτίζεται με αυτή και τέλος τις «ανοικτές θάλασσες» ή Διεθνή ύδατα που δεν υπάγονται σε κανέναν κράτους τη δικαιοδοσία.

- Από πλευράς Μετεωρολογίας η θάλασσα διακρίνεται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη κατάσταση της (κατάσταση θαλάσσης) π.χ. γαλήνια, ταραγμένη, κυματώδη κλπ.

Το νερό της βροχής μερικές φορές διεισδύει μέσα στο έδαφος και γίνεται θερμότερο, γι' αυτόν το λόγο διαλύει περισσότερες στερεές ουσίες με τις οποίες έρχεται σε επαφή. Το νερό αυτό βγαίνει στην επιφάνεια και σχηματίζει πηγές που λέγονται "θερμές πηγές" ή "μεταλλικές" ή "ιαματικές". Ανάλογα με τις ουσίες που είναι διαλυμένες στο νερό, οι θερμές πηγές διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, όπως σε "οξυανθρακικές" (Νιγρίτα, Σουρωτή), που περιέχουν διοξείδιο του άνθρακα, "θειούχες" (Λαγκαδάς, Σέδες, Σιδηρόκαστρο), που περιέχουν υδρόθειο και άλλα θειούχα άλατα, "αλκαλικές" (Λουτράκι, Αιδηψός), που περιέχουν όξινο ανθρακικό νάτριο ή λίθιο, "πικρές", που περιέχουν θειικό μαγνήσιο, θειικό νάτριο, "σιδηρούχες" και τέλος "ραδιενεργές", λόγω των ραδιενεργών αερίων που περιέχουν. Οι Ιαματικές πηγές εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στην πόλη Σπα του Βελγίου.

Τα επικρατέστερα ανόργανα συστατικά των φυσικών νερών είναι το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg), το νάτριο (Na), το κάλιο (K), τα όξινα ανθρακικά (HCO_3^-), τα θειικά (SO_4^{2-}), τα χλωριούχα (Cl^-), τα νιτρικά (NO_3^-) και τα πυριτικά (SiO_4^{4-}). Άλλα ιόντα, όπως αμμωνιακά (NH_4^+), νιτρώδη (NO_2^-), φωσφορικά (PO_4^{3-}), σίδηρος (Fe^{2+}), μαγγάνιο (Mn^{2+}) και φθόριο (F^-), τα οποία υπάρχουν σε μικρότερες συγκεντρώσεις, είναι σημαντικά είτε για τη βιολογία του νερού είτε γιατί επηρεάζουν συγκεκριμένες βιομηχανικές εφαρμογές του.

Το επικρατέστερο στοιχείο του θαλασσινού νερού είναι το χλώριο, το οποίο βρίσκεται διαλυμένο με τη μορφή ανιόντων (Cl^-). Η συκέντρωσή του είναι της τάξης των 19 g/Kg. Στο θαλασσινό νερό υπάρχουν επίσης ιόντα νατρίου (Na^+) 11 g/Kg, μαγνησίου (Mg^{2+}) 1,3 g/Kg και θείου με τη μορφή των θειικών (SO_4^{2-}) 0,9 g/Kg. Οι συγκεντρώσεις των ιόντων του ασβεστίου (Ca^{2+}), του καλίου (K^+), των βρωμιούχων (Br^-) και των όξινων ανθρακικών (HCO_3^-) είναι της τάξης του 0,001%. Τα υπόλοιπα στοιχεία βρίσκονται στο θαλασσινό νερό σε ακόμα χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Όπως σε όλα τα φυσικά νερά, έτσι και στο θαλασσινό νερό βρίσκονται διαλυμένα αέρια όπως το οξυγόνο (O_2) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Εκείνο όμως που είναι πολύ σημαντικό για το θαλάσσιο περιβάλλον είναι η σταθερότητα της τιμής του pH του θαλασσινού νερού, το οποίο κυμαίνεται σταθερά από 7,5 – 8,5 και αυτό οφείλεται στην παρουσία των ανθρακικών ιόντων (CO_3^{2-}) τα οποία δρουν ως ρυθμιστικά διαλύματα. Τιμές του pH μικρότερες από 5 ή μεγαλύτερες από 9 είναι τοξικές για την υδρόβια ζωή.

Πέρα από τον άνθρακα (C), το οξυγόνο (O) και το υδρογόνο (H), τα βασικά θρεπτικά συστατικά των φυτικών οργανισμών ενός υδάτινου οικοσυστήματος είναι τα αμμωνιακά (NH_4^+), τα νιτρώδη (NO_2^-), τα νιτρικά (NO_3^-) ιόντα, τα φωσφορικά ιόντα (PO_4^{3-}), το πυρίτιο (Si), τα κατιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}), μαγνησίου (Mg^{2+}), καλίου (K^+), τα ανιόντα θείου (SO_4^{2-}) κ.ά. Τα θρεπτικά αυτά συστατικά (nutrients) θεωρούνται υπεύθυνα για τον «ευτροφισμό» των φυσικών αποδεκτών, ο οποίος περιγράφεται παρακάτω.

Τα κατιόντα των μετάλλων σιδήρου (Fe^{2+}), μαγγανίου (Mn^{2+}), χαλκού (Cu^{2+}), ψευδαργύρου (Zn^{2+}) και κοβαλτίου (Co^{2+}) αποτελούν τα μικροθρεπτικά στοιχεία των φυσικών νερών καθώς είναι απαραίτητα σε μικρές σχετικά συγκεντρώσεις, με εξαίρεση το σίδηρο που απαιτείται σε μεγάλες ποσότητες από τους οργανισμούς. Το μαγγάνιο (Mn^{2+}) βρίσκεται σε ανιχνεύσιμες ποσότητες σε όλα σχεδόν τα επιφανειακά νερά και χρησιμοποιείται από φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς σε ποσότητα που ποικίλει ανάλογα με το είδος του οργανισμού. Οι συγκεντρώσεις του χαλκού (Cu^{2+}) στο νερό των φυσικών νερών κυμαίνονται από πρακτικά μη ανιχνεύσιμα επίπεδα μέχρι μερικές εκατοντάδες mg/m^3 . Το ίδιο ισχύει για τον ψευδάργυρο (Zn^{2+}) και το κοβάλτιο (Co^{2+}).

Τέλος στο νερό είναι δυνατόν να υπάρχει κάθε στοιχείο του περιοδικού πίνακα σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (της τάξης των $\mu\text{g/l}$). Οι ουσίες αυτές ονομάζονται ιχνοστοιχεία και είναι απαραίτητα για τη ζωή και συμμετέχουν στις μεταβολικές διεργασίες των οργανισμών [1].

1.3.1 Υποβάθμιση της ποιότητας των φυσικών νερών

Τα επιφανειακά νερά είναι περισσότερο ή λιγότερο ευαίσθητα στη ρύπανση από διάφορους ρύπους, ανάλογα με τη δυνατότητα ανανέωσής τους. Οι λίμνες για παράδειγμα έχουν πολύ μικρή δυνατότητα ανανέωσης των νερών τους και είναι πολύ πιο ευαίσθητοι αποδέκτες απ' ό,τι τα ποτάμια και οι θάλασσες. Γενικά το υδάτινο περιβάλλον αντιδρά στη ρύπανση με μια σειρά μηχανισμών που σκοπό έχουν να το επαναφέρουν στην προηγούμενη κατάσταση του.

Τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στον αυτοκαθαρισμό του νερού είναι στην πραγματικότητα μηχανισμοί ανακύκλωσης της ύλης. Οι μηχανισμοί αυτοκαθαρισμού του νερού μπορεί να είναι:

- φυσικοί (διάλυση, καθίζηση, προσρόφηση, απορρόφηση, ιοντοανταλλαγή, διάβρωση)
- χημικοί (οξειδοαναγωγή, υδρόλυση, συμπλοκοποίηση, καταβύθιση, συσσωμάτωση)
- βιολογικοί (βακτηριακή αποσύνθεση των διαλυτών ουσιών, κατανάλωση από ανώτερους οργανισμούς, κατανάλωση από φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς)

Τα *υπόγεια νερά* είναι πολύ πιο ευαίσθητα στη ρύπανση, διότι έχουν περιορισμένη ικανότητα αυτοκαθαρισμού. Η κατάληξη γεωργικών απορροών ή αστικών λυμάτων στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα έχει ως κύριο αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών αλάτων (NO_3^-), με αποτέλεσμα τα υπόγεια νερά να καθίστανται τοξικά για τον άνθρωπο και τους ζωικούς οργανισμούς.

Ένα αρκετά σοβαρό πρόβλημα υποβάθμισης της ποιότητας των νερών για τη χώρα μας αποτελεί η *υφαλμύρωση* των παράκτιων υπόγειων νερών, λόγω υπεράντλησης νερού, κυρίως για γεωργική χρήση.

Με βασικό στόχο την αποφυγή της ρύπανσης, την διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας και τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας θεσπίστηκαν νόμοι και προδιαγραφές για την προστασία της ποιότητας των φυσικών νερών [1].

1.4 Ρύπανση – μόλυνση των νερών

Η ρύπανση, η επιβάρυνση δηλαδή του νερού με ύλη ή ενέργεια και η μόλυνση, η επιβάρυνση του νερού με παθογόνους για τον άνθρωπο και τα ζώα μικροοργανισμούς, των επιφανειακών και υπόγειων νερών αποτελεί σοβαρό πρόβλημα και απασχολεί τους επιστήμονες και τους πολίτες σε όλο τον κόσμο, γιατί οι ανάγκες σε γλυκό νερό αυξάνονται συνέχεια ενώ οι διαθέσιμοι υδάτινοι πόροι είναι λίγοι και η δυνατότητα αυτοκαθαρισμού του νερού περιορισμένη.

Οι ρύποι του νερού διακρίνονται σε :

- συμβατικούς,
- μη συμβατικούς,
- θερμικούς και
- ρύπους (μολυντές) από μικρόβια.

Στους συμβατικούς ρύπους ανήκουν ουσίες που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως:

- οργανική ύλη (οργανικές ουσίες),
- ενώσεις του αζώτου (αμμωνιακά NH_4^+ , νιτρώδη NO_2^- , νιτρικά άλατα NO_3^-),
- ενώσεις του φωσφόρου (φωσφορικά άλατα PO_4^{3-}).

Οι ουσίες αυτές προέρχονται τόσο από:

- *σημειακές πηγές* ρύπανσης (όπως αστικά λύματα, κτηνοτροφικά απόβλητα, βιομηχανικά απόβλητα) όσο και από
- *μη σημειακές πηγές* ρύπανσης (όπως επιφανειακές απορροές από υπερλιπασμένες γεωργικές εκτάσεις).

Όταν αυξάνεται η συγκέντρωσή των παραπάνω ουσιών στα φυσικά νερά προκαλείται ρύπανση του υδατικού οικοσυστήματος.

Στους μη συμβατικούς ρύπους περιλαμβάνονται:

- τα βαρέα μέταλλα (Cd, Cr, Hg, Pb, Ni, Cu, Zn, κ.λ.π.)
- οι τοξικές οργανικές ενώσεις, δηλαδή διάφορες συνθετικές οργανικές ενώσεις όπως τα παρασιτοκτόνα, τα εντομοκτόνα και τα ζιζανιοκτόνα, οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH), τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB), οι διοξίνες, οι οργανοφωσφορικές ενώσεις και τα τριαλογονομένα μεθάνια
- το αρσενικό (As)

- τα θειούχα (S²⁻)
- τα κυανιούχα (CN⁻)
- τα ραδιενεργά υλικά

Η *θερμική ρύπανση* προέρχεται κυρίως από θερμά απόβλητα νερά βιομηχανιών και μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας του νερού ενός φυσικού αποδέκτη δημιουργώντας δυσάρεστες και μη ανεκτές καταστάσεις στα υδατικό οικοσύστημα.

Κύρια πηγή επιβάρυνσης των υδάτινων σωμάτων με παθογόνους μικροοργανισμούς, δηλαδή *μικροβιακή μόλυνση* του νερού, είναι τα αστικά και κτηνοτροφικά απόβλητα με τα περιττώματα ανθρώπων και ζώων που περιέχουν. Οι πιο σημαντικοί παθογόνοι μικροοργανισμοί του νερού είναι τα βακτήρια του τύπου, του παρατύπου, της δυσεντερίας, της χολέρας καθώς και διάφοροι ιοί, κυρίως οι ιοί της λοιμώδους ηπατίτιδας και της πολυομυελίτιδας.[1]

Με τον όρο *γλυκό ύδωρ* χαρακτηρίζεται σε αντίθεση προς τη θάλασσα κάθε υδάτινη έκταση με γλυκό νερό π.χ. λίμνες, ποταμοί. Για την περίπτωση αυτή έχει ορισθεί ειδική γραμμή φόρτωσης πλοίου (μέγιστου δυνατού φορτίου) που ονομάζεται *γραμμή φόρτωσης γλυκών υδάτων* (fresh water line). Επίσης στα πλοία, χαρακτηρίζεται γλυκό νερό το νερό που τοποθετείται στις δεξαμενές γλυκού ύδατος (fresh water tanks) για διάφορες χρήσεις.

1.5 Νομοθετικό πλαίσιο

Η πιο πρόσφατη κοινή υπουργική απόφαση, ΚΥΑ Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892 /11.07.2001 τεύχος Β') αναφέρεται στην «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3/11/98. Η συγκεκριμένη Κοινή Υπουργική Απόφαση έχει στόχο την προστασία της ανθρώπινης υγείας από τις δυσμενείς επιπτώσεις που οφείλονται στη ρύπανση ή στη μόλυνση του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης διασφαλίζοντας ότι αυτό είναι υγιεινό και καθαρό.

Ως νερό ανθρώπινης κατανάλωσης νοείται:

- το νερό, είτε στη φυσική του κατάσταση είτε μετά από επεξεργασία, που προορίζεται για πόση, μαγείρεμα, παρασκευή τροφής ή άλλες οικιακές χρήσεις, ανεξάρτητα από την προέλευσή του και από το εάν παρέχεται από δίκτυο διανομής, από βυτίο, ή σε φιάλες ή δοχεία.
- το νερό που χρησιμοποιείται στις επιχειρήσεις παραγωγής τροφίμων για την παρασκευή, επεξεργασία, συντήρηση ή εμπορία προϊόντων ή ουσιών, που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Οι παράμετροι ελέγχου της ποιότητας του νερού (χημικές, ενδεικτικές και μικροβιολογικές) που ορίζονται στην ΚΥΑ Υ2/2600/2001 παρατίθενται στο Παράρτημα.

Οι τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών του «νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» ορίζονται με μια «Παραμετρική τιμή» χωρίς να γίνεται αναφορά σε «Ενδεικτικό επίπεδο» και «Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση» όπως στην υγειονομική διάταξη για το «πόσιμο νερό» του 1986 (Α5/288/23.1.1986 ΦΕΚ 53 / Τεύχος Β' / 20.2.86). Παρεκκλίσεις από τις τιμές αυτές επιτρέπονται, προκειμένου να αντιμετωπιστούν συνθήκες που έχουν σχέση με τη φύση και τη σύσταση του εδάφους στην περιοχή η οποία τροφοδοτεί την υπό εξέταση πηγή και συνθήκες που έχουν σχέση με εξαιρετικά μετεωρολογικά φαινόμενα ή πρόσκαιρες τεχνικές δυσχέρειες. Οι παρεκκλίσεις δεν αφορούν, σε καμία περίπτωση, τους τοξικούς ή μικροβιολογικούς παράγοντες και σε κάθε περίπτωση πρέπει να αποκλείουν τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία.

Το άρθρο 11 της Διάταξης καθορίζει, ότι «Αρμόδια Αρχή» για την εφαρμογή της είναι οι Υγειονομικές Υπηρεσίες του Υπουργείου Υγείας, Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων, οι οποίες ελέγχουν τους «Υπευθύνους» για την τήρηση των όρων της Υγειονομικής Διάταξης. Υπεύθυνοι για τη μελέτη, κατασκευή, λειτουργία, καθαρισμό των συστημάτων ύδρευσης, παρακολούθηση της ποιότητας του πόσιμου νερού και γενικά για λήψη μέτρων, που θα διασφαλίζουν κανονική παροχή υγιεινού νερού σε μόνιμη βάση, ορίζονται:

- Για τις υδρεύσεις Δήμων και Κοινοτήτων, ο αντίστοιχος Οργανισμός ή Επιχείρηση ή Σύνδεσμος.
- Για τις βιομηχανίες, ιδρύματα κ.λ.π., που έχουν δική τους ύδρευση, οι νόμιμοι εκπρόσωποί τους.

Τέλος καθορίζονται οι αναλυτικές μέθοδοι αναφοράς για τον προσδιορισμό των 62 παραμέτρων, που αναγράφονται στην Υγειονομική Διάταξη.

Οι παραμετρικές τιμές για τον έλεγχο του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία και σύμφωνα με στοιχεία της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (WHO) και της Ευρωπαϊκής Ένωσης παρατίθενται στο Παράρτημα Ι [1].

Οι υπάρχουσες γεωτρήσεις είναι 31% περισσότερες από αυτές που το δυναμικό του υπεδάφικου νερού επιτρέπει και το ποσοστό των παράνομων γεωτρήσεων στη χώρα μας φτάνει το 40% (81.000 από τις 210.000 που υπάρχουν συνολικά καταγεγραμμένες). Η παρανομία συνδέεται με τους συνεχώς αυξανόμενους περιορισμούς αλλά και με τις προϋποθέσεις έκδοσης αδειών (μελέτες και κόστος).

Η αδειοδότηση κάθε μορφής παροχής νερού έχει δεσμεύσεις σε ό,τι αφορά την ποσότητα του νερού που πρέπει να αντλείται, καθώς και το υψόμετρο ασφαλείας κάτω από το οποίο δεν πρέπει να κατέβει η στάθμη του επιφανειακού ή του υπεδάφικου ταμειυτήρα νερού. Είναι σημαντικό επίσης ότι η αναλογία του όγκου επιφανειακού ως προς το υπεδάφικό νερό, σε μέσες ετήσιες τιμές, προσδιορίζει και τον τρόπο εκμετάλλευσής του και ιδιαίτερα τη ζήτησή του για άρδευση, που αποτελεί και τον μεγαλύτερο καταναλωτή.

Στο σύνολο της χώρας τα διαθέσιμα επιφανειακά νερά είναι 57.729.280.000 m³, ενώ τα υπόγεια διαθέσιμα νερά είναι 13.007.798 m³. Η αναλογία τους είναι 4:1, τιμή η οποία μπορεί να θεωρηθεί επαρκής σε νερό, εφόσον υπάρξει ορθολογική διαχείρισή του, που να βασίζεται σε αναπτυξιακό σχεδιασμό εφαρμογών και καλή ανάπτυξη έργων, κυρίως υδρομάστευσης των επιφανειακών υδάτων.

Υπολειμματικές σε νερό περιφέρειες, στο σύνολο των περιφερειών της χώρας, είναι αυτές που ουσιαστικά εκμεταλλεύτηκαν ληστικά τους υπεδάφικούς υδροφορείς, εξαιτίας της συνεχούς αύξησης των αρδευόμενων εκτάσεων. Οι αρδευόμενες εκτάσεις στο σύνολο της χώρας το 1998 ήταν 13.007.798 στρέμματα, το 2004 ανήλθαν σε 16.116.000 στρέμματα. Σήμερα η έκταση των αρδευόμενων εκτάσεων έχει σταθεροποιηθεί στα 17.000.000. Να σημειώσουμε ότι υπάρχει τάση μείωσης.

Αναφέρθηκε πιο πάνω ότι οι υπάρχουσες γεωτρήσεις είναι 31% περισσότερες από όσο αντέχει το υπεδάφικό νερό. Αυτό σημαίνει ότι για τρία χρόνια περίπου αφαιρείται και ένας χρόνος, δηλαδή μετά από 10 χρόνια άντλησης ο υπεδάφικός υδροφορέας για να επανέλθει θα χρειαστεί 3 τουλάχιστον συνεχή χρόνια χωρίς καμία άντληση.

Στο σύνολο των γεωτρήσεων θα πρέπει να προστεθεί και ένας μεγάλος αριθμός από περίπου 50.000 γεωτρήσεις, οι οποίες έχουν πολύ μικρή παροχή και ενίοτε και περιοδική άντληση. Οι περισσότερες από αυτές είναι παράνομες.

Μεγάλες υπερβάσεις σε αριθμό γεωτρήσεων, σε σχέση με αυτές που μπορεί να αντέξει η περιοχή, έχουν γίνει στη Θεσσαλία με 320% περισσότερες γεωτρήσεις, στην Αττική με 260%, στην Πελοπόννησο και στα νησιά του Αιγαίου με 200%.

Επισημαίνεται ότι στη Θεσσαλία και την Πελοπόννησο οι υπερβάσεις έχουν γίνει για να καλύψουν ανάγκες άρδευσης, ενώ στην Αττική και στα νησιά του Αιγαίου για να καλύψουν ανάγκες ύδρευσης και άλλες χρήσεις. Ιδιαίτερα στη Θεσσαλία, παρότι δεν αυξήθηκε η αρδευόμενη έκταση μεταξύ 1998-2004, η υπεδάφική υδροφορία έχει πέσει σημαντικά εξαιτίας της μακροχρόνιας υπερεκμετάλλευσης. Μικρότερες υπερβάσεις έχουν γίνει στην Κεντρική και τη Δυτική Μακεδονία με ποσοστά 20% και 30%, αντίστοιχα. Στα πεδινά τμήματα της Θεσσαλίας οι γεωτρήσεις κατεβαίνουν έως και 150 μέτρα κάτω από τη θάλασσα ενώ στους πρόποδες των ορεινών μαζών φτάνουν συχνά και τα 50 μέτρα κάτω.

Στη διάρκεια βροχοπτώσεων, η επιφανειακή απορροή μεταφέρει μεγάλες ποσότητες ενώσεων του αζώτου, ιδιαίτερωσ όταν η εποχή των βροχοπτώσεων συμπίπτει με την εποχή της χρήσης των αζωτούχων λιπασμάτων. Η σχέση ανάμεσα στην αέρια διάθεση ή στην εδαφική διάθεση και στις επιπτώσεις σε απομακρυσμένες περιοχές δεν είναι ακόμα εντελώς ξεκάθαρη. Πέραν των λιπασμάτων, πρόσθετες σημειακές πηγές νιτροϋπάνσεως είναι βιομηχανικές εγκαταστάσεις, κτηνοτροφικές δραστηριότητες, νεκροταφεία, ικιακά απόβλητα και χρησιμοποιημένα νερά. [1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

Η ποιότητα του νερού αναφέρεται στη χημική του σύνθεση με τα διαλυμένα και αιωρούμενα υλικά, στην ενεργειακή του κατάσταση με τη μορφή της θερμότητας και της ραδιενεργού ακτινοβολίας και στα βιολογικά υλικά που περιέχει στον όγκο του. Η ποιότητα του νερού προσδιορίζεται σε σχέση με ορισμένες παραμέτρους που είναι είτε ουσίες, είτε ομάδες ουσιών, είτε χαρακτηριστικά του νερού (φυσικά, χημικά, βιολογικά και μικροβιολογικά) [7].

Εάν τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων στο νερό υπερβαίνουν τις ανώτερες παραδεκτές συγκεντρώσεις που ορίζει η Υγειονομική Διάταξη, τότε ή το νερό κρίνεται ακατάλληλο ή λαμβάνονται μέτρα για τον καθαρισμό του (π.χ. χλωρίωση, καθίζηση, προστασία πηγής).

2.1 Οργανοληπτικές Παράμετροι

Χρώμα(Color)

Εάν υπάρχει, είναι ανεπιθύμητο για το πόσιμο νερό και συνήθως οφείλεται στην παρουσία χρωστικών ουσιών εν διαλύσει, είτε φυτικών από ρίζες φυτών, φύλλα δέντρων, είτε οργανικών ή ανόργανων (άλατα, σίδηρος από διάβρωση των σωλήνων). Η παρουσία χρώματος στο νερό δεν σημαίνει ότι είναι πάντοτε επικίνδυνο. Πρέπει να εξεταστεί χημικά για να αναζητηθεί η προέλευση του χρώματος. Δεν προτείνεται επιτρεπτό όριο για το χρώμα στο πόσιμο νερό.

Θολερότητα (Turbidity)

Οφείλεται σε κolloειδείς ανόργανες ή οργανικές ύλες που αιωρούνται. Νερό που είναι θολό θα πρέπει να ελέγχεται σε περίπτωση ρύπανσης. Επίσης τα αιωρούμενα στερεά καθιζάνουν και δημιουργούν προβλήματα στις σωληνώσεις και στις δεξαμενές. Η κατανάλωση θολού νερού μπορεί να είναι επικίνδυνη για την υγεία. Η απολύμανση του πόσιμου νερού δεν είναι αποτελεσματική αν υπάρχει θολότητα, γιατί πολλοί παθογόνοι οργανισμοί εγκλωβίζονται στα σωματίδια που αιωρούνται και προστατεύονται από το απολυμαντικό. Επίσης τα σωματίδια μπορεί να απορροφήσουν επιβλαβείς οργανικές ή ανόργανες ουσίες. Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι διαυγές όταν φτάσει στον καταναλωτή.

Οσμή και Γεύση (Odor – Taste)

Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι άοσμο και άγευστο. Όλα τα νερά έχουν την ιδιαίτερη γεύση τους που οφείλεται στα διαλυμένα άλατα και διαλυμένα αέρια που περιέχουν. Η ύπαρξη γεύσης και οσμής στο νερό συνήθως δεν θεωρείται σημαντική από την άποψη της υγείας. Όμως δεν είναι επιθυμητή στο πόσιμο νερό, γιατί συνήθως οφείλεται είτε σε χημικές ουσίες είτε σε μικροοργανισμούς. Νερό με έντονη οσμή πιθανόν να είναι ρυπασμένο, οπότε πρέπει να εξετασθεί για να βρεθεί η αιτία, κυρίως αν υπάρξει απότομη αλλαγή. [1]

2.2.Φυσικοχημικές Παράμετροι

Ενεργός οξύτητα (pH)

Ο βαθμός οξύτητας (pH) ή αλκαλικότητας (pOH) είναι από τα πλέον σημαντικά χημικά χαρακτηριστικά του νερού. Σαν δείκτης των χαρακτηριστικών αυτών χρησιμοποιείται η συγκέντρωση των κατιόντων υδρογόνου (H^+) του διαλύματος. Είναι γνωστό ότι το καθαρό νερό είναι ιονισμένο σε κατιόντα υδρογόνου (H^+) και ανιόντα υδροξυλίου (OH^-) σύμφωνα με την εξίσωση: $H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$

Ως pH ορίζεται «ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των κατιόντων υδρογόνου» ($pH = -\log[H^+]$)

Η κλίμακα μέτρησης του pH εκτείνεται από 0 ως 14. Η τιμή 7 αντιστοιχεί σε ουδέτερα δείγματα. Τιμές μικρότερες του 7 υποδεικνύουν υπεροχή υδρογονίωντων (οξύτητα) στο δείγμα, ενώ τιμές μεγαλύτερες από 7 αντιστοιχούν σε αλκαλικά δείγματα (υπεροχή υδροξυλίωντων). Δηλαδή:

pH = 7 σημαίνει ουδέτερο διάλυμα, η συγκέντρωση κατιόντων H⁺ είναι [H⁺]=10⁻⁷ mole/lit.

pH < 7 σημαίνει όξινο διάλυμα, η συγκέντρωση κατιόντων H⁺ είναι [H⁺]< 10⁻⁷ mole/lit.

pH > 7 σημαίνει αλκαλικό διάλυμα, η συγκέντρωση κατιόντων H⁺ είναι [H⁺]>10⁻⁷ mole/lit.

Η ενεργός οξύτητα (pH) του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα (παρουσία ανιόντων θείου, χλωρίου κ.ά., κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου κ.ά.), τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου, καθώς και από τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών (φωτοσύνθεση, αναπνοή) και την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών.

Η ενεργός οξύτητα επηρεάζει πολλές βιολογικές και χημικές αντιδράσεις και πολλές φορές χρησιμεύει σαν δείκτης ρύπανσης. Το σύνολο των βιοχημικών αντιδράσεων στο εσωτερικό των κυττάρων πραγματοποιείται σε ουδέτερο pH. Όξινα ή αλκαλικά περιβάλλοντα δυσχεραίνουν την πορεία των αντιδράσεων ή αναστέλλουν την πραγματοποίησή τους.

Τα φυσικά νερά έχουν τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ 4 και 9, ενώ τιμές 6,5-8,5 είναι στις περισσότερες περιπτώσεις οι καταλληλότερες για τους υδρόβιους οργανισμούς.

Θερμοκρασία (Temperature)

Η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει τη γεύση του. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία το νερό είναι λιγότερο εύγευστο γιατί εκδιώκονται τα διαλυμένα σ' αυτό αέρια. Η πλέον ευχάριστη γεύση είναι μεταξύ 5-15 °C (κυρίως 9-10 °C). Όταν η θερμοκρασία του νερού υπερβαίνει τους 15 °C πολλαπλασιάζονται τα τυχόν υπάρχοντα σε αυτό μικρόβια. Επίσης ελαττώνεται η ικανότητα του να διαλύει αέρια, ενώ αυξάνει η διαλυτότητα του σε στερεά. Επιπλέον αυξάνει το ποσό του απαιτούμενου χλωρίου και ευνοεί την ανάπτυξη των αλγών με συνέπεια την εμφάνιση δυσάρεστων οσμών και γεύσεων.

Αγωγιμότητα (Conductivity)

Η αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η ικανότητα εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, την ολική τους συγκέντρωση, το σθένος και τις επιμέρους συγκεντρώσεις τους, καθώς και την θερμοκρασία μέτρησης. Η αγωγιμότητα στο νερό αυξάνει με την θερμοκρασία.

Χλωριούχα ιόντα (Chlorides – Cl⁻)

Είναι ευρέως διαδεδομένα στη φύση σαν άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου. Προέρχονται από τη διάβρωση των βράχων. Επειδή είναι πολύ ευκίνητα και ευδιάλυτα, εισέρχονται στο έδαφος ή μεταφέρονται σε κλειστές δεξαμενές και τους ωκεανούς. Μπορεί όμως να προκύψουν από τη χρήση λιπασμάτων, από λύματα και βιομηχανικά απόβλητα ή διείσδυση θαλασσινού νερού σε παράκτιες περιοχές. Δεν έχουν επιβλαβή αποτελέσματα στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνουν στο πόσιμο νερό γλυφή γεύση. Η απότομη αύξηση των χλωριόντων στο νερό, αν δεν οφείλεται στην είσοδο θαλασσινού νερού, δείχνει πιθανή ρύπανση από λύματα και απαιτείται άμεση επιτόπια υγειονομική επιθεώρηση. Η ρύπανση πρέπει να επιβεβαιωθεί και με άλλες μετρήσεις (μικροβιολογικές, αμμωνία, νιτρώδη). Εφόσον δεν έχει παρατηρηθεί τοξικότητα των χλωριόντων στον άνθρωπο δεν έχει καθορισθεί ανώτατο επίπεδο στο πόσιμο νερό.

Ασβέστιο (Calcium – Ca)

Υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά και προέρχεται από τα πετρώματα (ασβεστόλιθος, δολομίτης, γύψος) δια μέσου των οποίων διέρχεται το νερό. Η συγκέντρωση ασβεστίου κυμαίνεται από μηδέν μέχρι μερικές εκατοντάδες mg/l ανάλογα με την προέλευση του νερού και συμβάλλει στην ολική σκληρότητά του. Δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

Μαγνήσιο (Magnesium – Mg)

Είναι σε αφθονία στη φύση (όγδοο σε σειρά) και είναι από τα συνηθέστερα συστατικά των φυσικών νερών. Τα άλατά του μαζί με του ασβεστίου αποτελούν την ολική σκληρότητα του νερού και όταν θερμανθούν σχηματίζουν επικαθίσματα στις σωληνώσεις και τους λέβητες. Νερά με συγκεντρώσεις μαγνησίου μεγαλύτερες από 125 mg/l μπορεί να έχουν καθαρτικές και διουρητικές ιδιότητες.

Σκληρότητα (Hardness)

Η σκληρότητα εκφράζει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου και εξαρτάται από τα πετρώματα που έχει περάσει το νερό. Διακρίνεται σε ανθρακική (ή παροδική) σκληρότητα που οφείλεται στα όξινα ανθρακικά (διπτανθρακικά) άλατα και στην μη ανθρακική (μόνιμη) σκληρότητα που οφείλεται στα υπόλοιπα άλατα (χλωριούχα, θειικά, νιτρικά, ανθρακικά). Μεγάλες τιμές σκληρότητας δεν αποτελούν κίνδυνο

για την υγεία αντιθέτως έχει βρεθεί σημαντική συσχέτιση μεταξύ αυξημένης σκληρότητας και μείωσης των καρδιαγγειακών παθήσεων. Ακόμα, η σκληρότητα είναι επιθυμητή στην ζυθοποιία και αρτοποιία γιατί βοηθάει την ενζυματική δράση. Το σκληρό νερό δεν έχει καλή γεύση εμποδίζει το καλό βράσιμο των τροφίμων, δεν κάνει αφρό με το σαπούνι και δημιουργεί επικαθήματα στις σωληνώσεις και στις οικιακές συσκευές. Επίσης, σε ορισμένες βιομηχανίες (βυρσοδεψεία, βαφεία, χημικών και φαρμακευτικών προϊόντων) το σκληρό νερό είναι επιζήμιο στην κατεργασία και στο τελικό προϊόν. Νερό με σκληρότητα μέχρι και 500 mg/l CaCO₃ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο, αλλά οι καταλληλότερες τιμές είναι μεταξύ 80 και 150.

Νάτριο (Sodium – Na⁺)

Είναι βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο. Τα άλατα νατρίου βρίσκονται σε όλες τις τροφές και το πόσιμο νερό. Λόγω της αφθονίας του στη φύση (έκτο κατά σειρά) περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1-500 mg/l. Στα πόσιμα νερά δεν υπερβαίνει τα 20 mg/l, εκτός των περιπτώσεων που έχει γίνει αποσκλήρυνση με τη μέθοδο της ιοντοανταλλαγής σε νερά με μεγάλη σκληρότητα. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 200 mg/l επηρεάζει τη γεύση του νερού. Το νάτριο (κυρίως η αναλογία του προς τα άλλα κατιόντα στο νερό) έχει μεγάλη σημασία για τη γεωργία και την ανθρώπινη παθολογία. Η διαπερατότητα του εδάφους επηρεάζεται αρνητικά από μεγάλη αναλογία νατρίου στο νερό. Άτομα που πάσχουν από χρόνιες καρδιακές παθήσεις χρειάζονται νερό με χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο. Υπάρχουν επιδημιολογικές μελέτες που αναφέρουν συνέπειες στην υγεία από ψηλές συγκεντρώσεις νατρίου στο πόσιμο νερό, αλλά με τα υπάρχοντα δεδομένα δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν σίγουρα συμπεράσματα για τη σχέση νατρίου στο νερό και δημιουργία υπέρτασης.

Κάλιο (Potassium – K)

Είναι το έβδομο στοιχείο σε αφθονία στη φύση. Επομένως βρίσκεται σε όλα τα φυσικά νερά. Σπάνια όμως η περιεκτικότητα των πόσιμων νερών φθάνει τα 20 mg/l σε κάλιο. Δεν έχουν αναφερθεί επιπτώσεις στην υγεία.

Διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen)

Η περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένο οξυγόνο πρέπει να είναι στο σημείο κορεσμού, δηλ. 100%, οπότε το νερό έχει ευχάριστη γεύση. Δεν έχουν αναφερθεί επιπτώσεις στην υγεία, που να συνδέονται άμεσα με την ελάττωση ή την έλλειψη διαλυμένου οξυγόνου στο πόσιμο νερό. Υπάρχουν όμως κάποιες έμμεσες επιδράσεις. Διαβρώνονται οι σωληνώσεις με αποτέλεσμα να αυξάνεται η περιεκτικότητα του νερού σε μέταλλα (π.χ. σίδηρο, ψευδάργυρο, μόλυβδο, κάδμιο). Επίσης δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες που βοηθούν την αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη, των θειικών σε θειούχα, με συνέπεια τη δημιουργία δυσάρεστων οσμών. Το διαλυμένο οξυγόνο ελαττώνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία και η αλατότητα του νερού. [1]

2.3 Ανεπιθύμητες ουσίες στο νερό

Ενώσεις αζώτου (Αμμωνία –Νιτρώδη –Νιτρικά) (Nitrogen compounds: Ammonia – Nitrites – Nitrates)

Ο προσδιορισμός των διαφόρων ενώσεων του αζώτου στο πόσιμο νερό αποτελεί δείκτη για την υγειονομική ποιότητα του νερού. Πριν από την ανάπτυξη των βακτηριολογικών αναλύσεων η μέτρηση των ενώσεων του αζώτου στο νερό ήταν ο μόνος δείκτης για πιθανή μόλυνση. Σε πρόσφατα ρυπασμένα νερά το άζωτο βρίσκεται υπό την μορφή οργανικού αζώτου και αμμωνίας. Καθώς περνάει ο χρόνος το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σταδιακά σε αμμωνία και αργότερα εάν υπάρχουν αερόβιες συνθήκες γίνεται οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρώδη και νιτρικά. Με βάση τα παραπάνω, νερά που περιέχουν μεγάλη ποσότητα οργανικού αζώτου και αμμωνίας θεωρούνται ότι έχουν ρυπανθεί πρόσφατα και επομένως παρουσιάζουν μεγάλο κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Νερά όπου το άζωτο βρίσκεται υπό μορφή νιτρικών σημαίνει ότι έχουν ρυπανθεί πριν από αρκετό καιρό και επομένως δεν αποτελούν άμεση απειλή για την δημόσια υγεία.

Αμμωνία (NH₃).

Τα υπόγεια νερά περιέχουν συνήθως αμμωνία λιγότερο από 0,2 mg/l. Σε δασικά εδάφη παρατηρούνται υψηλότερες συγκεντρώσεις. Η αμμωνία δεν επηρεάζει άμεσα την υγεία στις συγκεντρώσεις που ενδέχεται να υπάρχει στα πόσιμα νερά, αποτελεί όμως σημαντικό δείκτη ρύπανσης από κοπρανώδεις ουσίες. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0.2 mg/l δημιουργεί προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό και ελαττώνει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Επίσης συμβάλλει στο σχηματισμό νιτρωδών στα συστήματα ύδρευσης.

Νιτρώδη (NO₂) – Νιτρικά (NO₃)

Αποτελούν τμήμα του κύκλου του αζώτου στη φύση, επομένως υπάρχουν στα φυσικά νερά, αλλά η συγκέντρωση νιτρικών είναι συνήθως χαμηλή. Υψηλές συγκεντρώσεις οφείλονται σε λιπάσματα, απορρίμματα και ζωικά ή ανθρώπινα απόβλητα. Υπάρχουν ακόμη και στον αέρα, λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με αποτέλεσμα να παρασύρονται από τη βροχή ή να αποτίθενται στο έδαφος. Σε αερόβιες συνθήκες τα νιτρικά δεισδύουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Τα πόσιμα νερά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες νιτρικών υπάρχει κίνδυνος να προκαλέσουν στα παιδιά την ασθένεια μεθαιμογλοβιναιμία, λόγω της αναγωγής τους σε νιτρώδη. Τα νιτρώδη και νιτρικά, στο περιβάλλον του στομάχου, σχηματίζουν N- νιτροζοενώσεις, που είναι καρκινογόνες.

Σίδηρος (Iron – Fe)

Υπάρχει κυρίως σε υπόγεια νερά, που διέρχονται από πετρώματα πλούσια σε άλατα σιδήρου. Συνεχής κατανάλωση νερού με υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου, μπορεί να προκαλέσει στον άνθρωπο, και ιδιαίτερα στα παιδιά, βλάβες στους ιστούς (αιμοχρωμάτωση). Ο σίδηρος δίνει στο νερό γεύση που είναι ανιχνεύσιμη σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Ο σίδηρος στο νερό προκαλεί προβλήματα στα πλυντήρια και υφαντήρια (δημιουργούνται λεκέδες στα υφάσματα) και στους αγωγούς διανομής νερού (ευνοείται η ανάπτυξη βακτηριδίων και δημιουργούνται αποθέσεις).

Μαγγάνιο (Manganese – Mn)

Δεν έχουν διαπιστωθεί βλαβερές συνέπειες στην υγεία από πόσιμο νερό που περιέχει μαγγάνιο. Θεωρείται από τα στοιχεία τα λιγότερο τοξικά για τον άνθρωπο. Η απορρόφησή του στον οργανισμό συνδέεται άμεσα με την απορρόφηση του σιδήρου. Υψηλές συγκεντρώσεις στο νερό προκαλούν δυσάρεστη γεύση. Το μαγγάνιο προκαλεί λεκέδες στα υφάσματα σε πλυντήρια και υφαντήρια. Διευκολύνει την ανάπτυξη μικροοργανισμών στα δίκτυα με αποτέλεσμα αύξηση της θολότητας, δημιουργία οσμών και αποθέσεων.

Χαλκός (Copper – Cu)

Είναι βασικό στοιχείο στον ανθρώπινο μεταβολισμό. Τα άλατα του χαλκού είναι τοξικά στα υδρόβια φυτά και χρησιμοποιούνται (κυρίως ο θειϊκός χαλκός) για να ανασταλεί η ανάπτυξη των φυκών. Λόγω της διάβρωσης των χάλκινων σωληνώσεων, σημαντικές ποσότητες χαλκού διαλύονται στο πόσιμο νερό. Αν το νερό μείνει στάσιμο 12 ώρες στις σωληνώσεις, η συγκέντρωση χαλκού μπορεί να υπερβεί τα 20 mg/g. Γιαυτό το λόγο η Υγειονομική Διάταξη αναφέρει δύο ενδεικτικά επίπεδα, ένα στην έξοδο των εγκαταστάσεων και ένα μετά από ηρεμία 12 ωρών στις σωληνώσεις.

Ο χαλκός προσδίδει χρώμα και στυπτική γεύση στο πόσιμο νερό. Δημιουργεί λεκέδες στα υφάσματα και στα είδη υγιεινής. Δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι προκαλεί βλάβες στην υγεία.

Ψευδάργυρος (Zinc – Zn)

Είναι σημαντικό στοιχείο για τον άνθρωπο και τα ζώα. Πηγές ψευδαργύρου στο νερό είναι η διάβρωση των γαλβανισμένων σωλήνων και τα απόβλητα μεταλλείων και επιμεταλλωτηρίων. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 5 mg/g προσδίδουν χρώμα και στυπτική γεύση στο πόσιμο νερό. Δεν έχουν παρατηρηθεί αρνητικά αποτελέσματα στην υγεία.

Φώσφορος (Phosphorus – P)

Όλες οι ενώσεις του φωσφόρου συναντώνται στα νερά είτε διαλυμένες, είτε σαν σωματίδια, είτε στο σώμα των υδρόβιων οργανισμών. Ο φώσφορος, όπως και το άζωτο, είναι βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των αλγών και η περιεκτικότητά του στα νερά αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στον ευτροφισμό των επιφανειακών νερών. Η μεγαλύτερη ποσότητα ανόργανου φωσφόρου οφείλεται στα ανθρώπινα λύματα και προέρχεται από τη διάσπαση των πρωτεϊνών κατά τον μεταβολισμό. Επίσης υπάρχει σε πολλά απορρυπαντικά και στα φωσφορικά λιπάσματα. Μικρά ποσά φωσφορικών εισέρχονται στα δίκτυα από την επεξεργασία του νερού, όπου χρησιμοποιούνται για να εμποδιστεί η διάβρωση στις σωληνώσεις και τα επικαθήματα στους λέβητες. Δεν έχουν αναφερθεί επιπτώσεις στην υγεία.

Φθόριο (Fluoride – F)

Το φθόριο συναντάται στο νερό με τη μορφή φθοριούχων αλάτων, που προέρχονται από ηφαιστειογενή πετρώματα. Συνήθως βρίσκεται στα υπόγεια νερά παρά στα επιφανειακά. Δεν βρίσκεται σε στοιχειακή μορφή στη φύση, επειδή είναι πολύ δραστικό. Είναι βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο. Από έρευνες και επιδημιολογικές μελέτες διαπιστώθηκε, ότι το φθόριο σε μικρά ποσά στο νερό (μέχρι 1 mg/l) είναι

ωφέλιμο, γιατί εμποδίζει τη δημιουργία τερηδόνας στα δόντια, ενώ σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προκαλεί τη φθορίαση (μαύρες κηλίδες στην αδαμαντίνη των δοντιών) ή και βλάβες στα οστά. Χρησιμοποιείται στην παραγωγή αλουμινίου, σε βιομηχανίες χάλυβα και γυαλιού, στα λιπάσματα και στα κεραμικά.

Σε νερά που δεν περιέχουν φθόριο γίνεται φθορίωση με προσθήκη φθοριούχων και φθοριοπυριτικών ενώσεων. Σ' αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να ελέγχεται συχνά η περιεκτικότητα του νερού σε φθόριο, ώστε να μην υπερβεί το επιτρεπτό όριο.

Υπολειμματικό χλώριο (Residual Chlorine)

Σε νερά που χλωριώνονται πρέπει να προσδιορίζεται ποσοτικά το υπολειμματικό χλώριο. Η τιμή του μας δείχνει αν η χλωρίωση που γίνεται είναι επαρκής. Κατά την χλωρίωση προστίθεται στο νερό ποσότητα χλωρίου αρκετή ώστε να καταστραφούν τα παθογόνα μικρόβια και να παραμείνει ελεύθερο χλώριο για να μη μολυνθεί το νερό μέσα στις σωληνώσεις. Το χλώριο δίνει στο νερό ελαφρά οσμή και αλλοιώνει τη γεύση του. Οι μικρές ποσότητες χλωρίου που υπάρχουν στα πόσιμα νερά εξαφανίζονται με το γαστρικό υγρό και επομένως είναι ακίνδυνες για τον άνθρωπο. Μεγάλες ποσότητες χλωρίου προκαλούν ερεθισμό του στόματος και του λάρυγγα. Η χλωρίωση του νερού πρέπει να γίνεται σωστά και να παρακολουθείται συστηματικά, ώστε να φθάνουν στους καταναλωτές μικρά μόνο ποσά χλωρίου [1].

2.4.Τοξικές ουσίες

Αρσενικό (Arsenic-As)

Τα περισσότερα φυσικά νερά περιέχουν αρσενικό σε συγκεντρώσεις πάνω από 5 µg/l. Φθάνει στους αποδέκτες από τα μεταλλεία, αφού υπάρχει σχεδόν σε όλα τα θειούχα ορυκτά, από τα εντομοκτόνα και την καύση ορυκτών καυσίμων. Οι φυσικές πηγές αρσενικού στο περιβάλλον είναι οι ηφαιστειογενείς δράσεις και η αποσύνθεση της φυτικής οργανικής ύλης. Είναι τοξικό και πιθανόν καρκινογόνο. Η τοξικότητα του αρσενικού εξαρτάται από τη χημική και φυσική του μορφή, τη δόση, το χρόνο έκθεσης και τον τρόπο που εισάγεται στον ανθρώπινο οργανισμό. Προκαλεί βλάβες στο γαστρικό, νευρικό και αναπνευστικό σύστημα και διάφορες αλλοιώσεις στο δέρμα. Δόσεις μεταξύ 70 και 180 mg As είναι θανατηφόρες.

Κάδμιο (Cadmium – Cd)

Είναι ένα από τα τοξικότερα μέταλλα. Συναντάται στη φύση σε θειούχα ορυκτά με το μόλυβδο και τον ψευδάργυρο. Στα φυσικά νερά βρίσκεται κυρίως στα ιζήματα των βυθών και σε αιωρούμενα σωματίδια. Σε μη ρυπασμένα νερά η συγκέντρωση του καδμίου είναι κάτω από 1 µg/l. Δείγματα καδμίου στο νερό είναι τα βιομηχανικά απόβλητα και η διάβρωση των γαλβανισμένων σωλήνων. Σε συστήματα ύδρευσης, που τροφοδοτούνται με νερό μαλακό χαμηλού pH, μπορεί να βρεθούν ψηλές συγκεντρώσεις καδμίου, επειδή αυτά τα νερά είναι πιο διαβρωτικά και η διαλυτότητά του καδμίου στο νερό εξαρτάται από το pH και τη σκληρότητα. Το κάδμιο προσβάλλει το συκώτι, τα νεφρά, το σπλήνα και το θυρεοειδή αδέν, εναποτίθεται στα οστά, όπου αντικαθιστά το ασβέστιο προκαλώντας τη νόσο ΙΤΑΙ-ΙΤΑΙ. Έχει βρεθεί ότι προκαλεί καρκίνο σε πειραματόζωα και ορισμένες επιδημιολογικές μελέτες το συνδέουν με καρκίνο στον άνθρωπο.

Χρώμιο (Chromium – Cr)

Υπάρχει στο φλοιό της γης και εμφανίζεται σαν τρισθενές και εξασθενές χρώμιο. Στα νερά βρίσκονται κυρίως άλατα του εξασθενούς χρωμίου, επειδή είναι ευδιάλυτα, ενώ σπάνια υπάρχει σαν τρισθενές, γιατί οι ενώσεις του είναι αδιάλυτες και καθιζάνουν. Στην ατμόσφαιρα βρίσκεται στα αεροζόλ και παρασύρεται από τη βροχή ή εναποτίθεται στο έδαφος ρυπαίνοντας τα επιφανειακά νερά. Η μέση συγκέντρωση στο νερό της βροχής είναι 0,2 – 1 µg/l, στο θαλασσινό 0,05 µg/l και στα φυσικά νερά 0,5 – 2 µg/l, ενώ στα υπόγεια είναι πολύ χαμηλή.

Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις οφείλονται σε ρύπανση από βιομηχανικά απόβλητα. Χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες χρωμάτων και δέρματος, στα επιμεταλλωτήρια, στην παρασκευή κραμάτων και καταλυτών. Συχνά προστίθενται σε νερά ψύξης χρωμικές ενώσεις για έλεγχο της διάβρωσης. Οι επιδράσεις του χρωμίου στην υγεία εξαρτώνται από τη μορφή του. Το εξασθενές χρώμιο είναι πολύ τοξικό, προκαλεί βλάβες στο δέρμα και το συκώτι και θεωρείται καρκινογόνο. Το τρισθενές χρώμιο δεν έχει παρατηρηθεί να προκαλεί βλάβες στην υγεία.

Μόλυβδος (Lead – Pb)

Είναι πολύ τοξικό μέταλλο. Τα φυσικά νερά συνήθως περιέχουν μέχρι 5 µg/l μόλυβδο. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις οφείλονται σε απόβλητα ορυχείων, βιομηχανιών, στη διάβρωση μολύβδινων υδραυλικών εγκαταστάσεων. Μεγάλες ποσότητες μολύβδου υπάρχουν στην ατμόσφαιρα από τον τετρααιθυλιούχο μόλυβδο που προστίθεται στη βενζίνη σαν αντικροτικό. Στις περισσότερες χώρες έχει εγκαταλειφθεί και χρησιμοποιείται αμόλυβδη βενζίνη. Επίσης χρησιμοποιείται για την παραγωγή μπαταριών, κραμάτων, χρωστικών, αντισκωριακών.

Οι επιπτώσεις του μολύβδου στην υγεία μελετήθηκαν πριν πολλά χρόνια, γιατί υπήρξαν δηλητηριάσεις από μόλυβδο στο πόσιμο νερό, που προήλθε από διάβρωση των μολύβδινων υδραυλικών εγκαταστάσεων. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να εγκαταλειφθούν οι μολύβδινοι σωλήνες για το νερό και να απαγορευθεί η χρήση χρωμάτων με βάση το μόλυβδο για εσωτερική διακόσμηση. Είναι δηλητήριο με συσσωρευτική δράση. Προκαλεί βλάβες στο συκώτι, τον εγκέφαλο και το νευρικό σύστημα [1].

2.5 Υγειονομικός έλεγχος

Τα περισσότερα προβλήματα στην ποιότητα του πόσιμου νερού, κυρίως στις μικρές κοινότητες, απορρέουν από μολύνσεις κοπρανώδους προέλευσης. Αρκετές φορές όμως, παρουσιάζονται σοβαρά προβλήματα από χημική ρύπανση, που οφείλεται σε φυσικές ή ανθρώπινες πηγές. Για τη διερεύνηση αυτών των περιπτώσεων πρέπει να γίνουν χημικές αναλύσεις. Ωστόσο θα ήταν πολύ δαπανηρό και χρονοβόρο να προσδιορισθούν πολλές παράμετροι και σε συνεχή βάση, ιδίως σε υδρεύσεις μικρών πληθυσμών. Γι' αυτό το λόγο οι παράμετροι που συνιστώνται για την παρακολούθηση της ποιότητας του πόσιμου νερού, είναι εκείνες που θα καθορίσουν την υγιεινή και ασφάλεια του συστήματος ύδρευσης. Η Υγειονομική Διάταξη αναφέρει τις παρακάτω παραμέτρους, που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τους ελέγχους:

- Ο *Ελάχιστος έλεγχος, E1* περιλαμβάνει: Οσμή, Γεύση, Αγωγιμότητα, Υπολειμματικό χλώριο, Μικροβιολογικός έλεγχος.
- Ο *Έλεγχος ρουτίνας, E2* περιλαμβάνει: Οσμή, Γεύση, Θολερότητα, Αγωγιμότητα, pH, Υπολειμματικό χλώριο, Νιτρικά, Νιτρώδη, Αμμωνία, Μικροβιολογικά.
- Ο *Περιοδικός έλεγχος, E3* περιλαμβάνει: τον E2 και άλλες παραμέτρους.
- Ο *Έκτακτος έλεγχος, E4* γίνεται σε ειδικές περιπτώσεις ή ατυχήματα. Η αρμόδια αρχή καθορίζει τις παραμέτρους ανάλογα με τις συνθήκες.

Πριν από την έναρξη εκμεταλλεύσεως μιας πηγής τροφοδοσίας, είναι σκόπιμο να γίνει μία γενική ανάλυση (πρώτη εξέταση). Οι παράμετροι, που πρέπει να μετρηθούν θα είναι αυτές του ελέγχου ρουτίνας, στις οποίες θα μπορούσαν να προστεθούν διάφορες τοξικές ή ανεπιθύμητες ουσίες, ανάλογα με τη θέση της πηγής, το είδος του εδάφους και τη ρύπανση από βιομηχανικά απόβλητα.

2.6 Στάδια επεξεργασίας νερού για ύδρευση

Τα στάδια επεξεργασίας νερού για ύδρευση είναι τα παρακάτω:

1° στάδιο: Προσθήκη χλωρίου (απολύμανση)

Με την προχλωρίωση θανατώνονται τα μικρόβια που υπάρχουν στο νερό και διευκολύνεται η μετέπειτα επεξεργασία του.

2° στάδιο: Προσθήκη θειικού αργιλίου (κροκίδωση)

Το διάλυμα του θειικού αργιλίου βοηθάει τα στερεά σωματίδια που υπάρχουν μέσα στο νερό να συσσωματωθούν μεταξύ τους και, αφού αποκτήσουν μεγαλύτερο βάρος, να κατακαθίσουν. Η όλη διαδικασία ονομάζεται κροκίδωση. Η κροκίδωση συντελείται σε δύο στάδια που διαφέρουν μεταξύ τους στη σφοδρότητα της ανάμειξης του νερού που προκαλείται είτε με μηχανικά μέσα (αναδευτήρες) είτε με υδραυλικά μέσα (με το στροβιλισμό του νερού από την πρόσκρουσή του στα τοιχώματα των ειδικών δεξαμενών).

3° στάδιο: Καθίζηση

Μετά την κροκίδωση τα συσσωματωμένα στερεά (κροκίδες) καθιζάνουν στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης. Με αυτόν τον τρόπο το νερό καθαρίζεται σε ποσοστό 80%.

4° στάδιο: Φίλτραυση

Τα πολύ ελαφρά σωματίδια που δεν καθιζάνουν (20%), κατακρατούνται σε ειδικά αμμόφιλτρα από τα οποία το νερό βγαίνει πια καθαρό για να δοθεί στην κατανάλωση.

5° στάδιο: Μεταχλωρίωση

Εφόσον η προχλωρίωση δεν είναι ικανοποιητική, προσθέτουμε συμπληρωματικά χλώριο κατά την είσοδο του νερού στις κλειστές δεξαμενές αποθήκευσης [8].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΥΦΑΛΜΥΡΥΝΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

3.1 Γενικά

Τεράστιο πρόβλημα εξοικονόμησης νερού για ύδρευση, άρδευση αντιμετωπίζουν οι επιβαρυνμένες περιοχές λόγω υπαλμύρωσης των υπόγειων υδάτων καθώς οι συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου και νατρίου ξεπερνούν τα ανώτατα επιτρεπτά όρια (250 mg/lit και 175 mg/lit αντιστοίχως) που θέτουν οι οδηγίες και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας. Η υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων από δεκάδες χιλιάδες γεωτρήσεις που λειτουργούν ανεξέλεγκτα έχει αποτέλεσμα την υπαλμύρυνσή τους λόγω της μίξης φρέσκου γλυκού και θαλασσινού νερού.

Σχεδόν δύο εκατομμύρια στρέμματα καλλιεργήσιμης γης υφίστανται τις επιπτώσεις από τη χρήση υπάλμυρων υπόγειων νερών, οι οποίες αντανακλώνται όχι μόνο στη μείωση της παραγωγής αλλά και στην υποβάθμιση της αγροτικής γης. Στην Πελοπόννησο, αλλά και στην Αττική, η εντατική άντληση έχει προκαλέσει σημαντική υπαλμύρωση όλων των παράκτιων ζωνών.

Το φαινόμενο της υπαλμύρωσης είναι δύσκολα αναστρέψιμο, γι' αυτό η αντιμετώπισή του συνδέεται πρακτικά με πρόβλεψη και ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων της κάθε εκμεταλλεόμενης περιοχής. Η εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων που έχουν εφαρμοστεί, για παράδειγμα, στο Αργολικό πεδίο, δίνει μια περίοδο πάνω από 20 χρόνια για τη φυσική απορρύπανση των υπόγειων νερών, με τη συμβολή του φυσικού εμπλουτισμού τους, φυσικά υπό την προϋπόθεση ότι σήμερα θα σταματούσε η εκμετάλλευση των γεωτρήσεων στην επιβαρυνόμενη περιοχή.

Το υπόγειο νερό είναι ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος με την προϋπόθεση της διατήρησης της ισορροπίας μεταξύ εμπλουτισμού και εκφόρτισης σε ένα υδροφόρο σύστημα. Όταν οι απολήψιμες ποσότητες υπόγειου νερού υπερβούν την ικανότητα της ασφαλούς απόδοσης ενός παράκτιου υδροφόρου συστήματος, τότε παρατηρούνται φαινόμενα θαλάσσιας διείσδυσης, η οποία οδηγεί σταδιακά στην υπαλμύρωση του υπόγειου νερού, καθιστώντας αυτό σε πολλές περιπτώσεις ακατάλληλο, όχι μόνο για την ανθρώπινη αλλά και για οποιαδήποτε άλλη χρήση. Ελάχιστη ποσότητα θαλασσινού νερού, της τάξης 1-2% μέσα στο γλυκό νερό, καθιστά το γλυκό νερό μη πόσιμο.

Η σημαντική αύξηση των αντλούμενων ποσοτήτων υπόγειου νερού τα τελευταία χρόνια, από μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων με συνεχώς αυξανόμενο βάθος, οδήγησε στην ταπείνωση της στάθμης του υπόγειου νερού στις παράκτιες περιοχές σε επίπεδα κάτω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας. Το γεγονός αυτό είχε ως συνέπεια την προέλαση της διεπιφάνειας μεταξύ γλυκού και θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα, μέχρι να φτάσει σε μια νέα ισορροπία.

Στην Εικόνα 3.1. παριστάνονται με πορτοκαλί χρώμα οι περιοχές της Ελλάδας που παρουσιάζουν πρόβλημα υπαλμύρωσης (υπαλμύρωσης) των υπόγειων υδροφορέων τους.

Η χρήση υπάλμυρων νερών για ανθρώπινη κατανάλωση έχει και άμεσες επιπτώσεις στην υγεία. Τα χλωριόντα δεν έχουν επιβλαβή επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνουν στο πόσιμο νερό γλυφή γεύση. Επειδή δεν έχει παρατηρηθεί τοξικότητα των χλωριόντων στον άνθρωπο δεν έχει καθοριστεί ανώτατο επίπεδο στο πόσιμο νερό. Πλην όμως, η παρουσία των ιόντων νατρίου δημιουργεί σοβαρά προβλήματα υγείας σε ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού που υποφέρουν από υπέρταση.

Το 36% των γεωργικών προϊόντων παγκόσμια προέρχεται από το 16% της συνολικής γεωργικής γης, που είναι οι αρδευόμενες εκτάσεις. Η υπερβολική άντληση νερού υποβαθμίζει την ποιότητά του (το μετατρέπει συχνά σε υπάλμυρο) και κατά συνέπεια τα εδάφη οδηγούνται σε μείωση των αποδόσεών τους λόγω της συσσώρευσης αλάτων [9].



Εικόνα 3.1: Ζώνες υπαλιμύρωσης στην ελληνική επικράτεια [10]

3.2 Είδη υπαλιμύρωσης

Η φυσική ισορροπία των παράκτιων υδροφορέων μπορεί να ανατραπεί, όταν η ροή του γλυκού νερού μειώνεται εξαιτίας των υπεραντλήσεων ή της μείωσης στην τροφοδοσία (φυσικό εμπλουτισμό) των υδροφόρων. Έτσι, η διείσδυση του αλμυρού νερού μπορεί να χαρακτηριστεί παθητική αν με οποιοδήποτε τρόπο αλλάζουν οι ποσότητες νερού που φυσικά τροφοδοτούν τα υπόγεια στρώματα. Οι αλλαγές αυτές επηρεάζουν άμεσα τη θέση της διεπιφάνειας γλυκού-αλμυρού νερού η οποία μετατοπίζεται προς την ενδοχώρα. Πρέπει να σημειωθεί ότι μικρές αλλαγές θέσης της διεπιφάνειας σημειώνονται με τις εποχιακές ή ετήσιες διακυμάνσεις των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, όπως επίσης και μετά από μακροχρόνιες αλλαγές στον κλιματικό τύπο ή στη σχετική θέση του επιπέδου της θάλασσας.

Χαρακτηρίζεται όμως και ενεργή όταν προκύπτει μετά από τεχνητή παρέμβαση στις διακινούμενες ποσότητες (περίπτωση υπεραντλήσεων). Αυτό οφείλεται κυρίως στη σημειακή εξαγωγή (άντληση) υπόγειου νερού που δημιουργεί ένα βαθύ κώνο κατάπτωσης. Η ζώνη τότε του ορίου, σε αντίθεση με την περίπτωση της παθητικής διείσδυσης, μετακινείται πολύ γρηγορότερα προς την ενδοχώρα και με αλλαγή της υδραυλικής κλίσης. Επιπλέον η μετακίνηση αυτή δεν θα σταματήσει παρά μόνο όταν φτάσει στο χαμηλότερο σημείο της υδραυλικής κλίσης στο κέντρο της άντλησης.

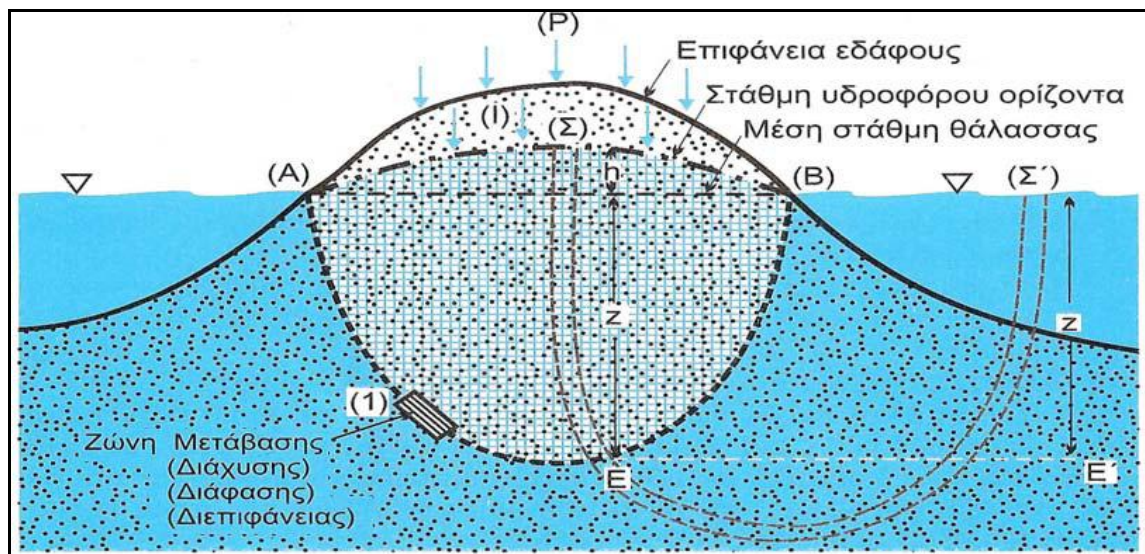
Δηλαδή, οι υπερβολικές αντλήσεις υπόγειων νερών σε παράκτιους υδροφορείς, σε πολλές περιοχές, προκαλούν μια ανάστροφη ροή των υπόγειων νερών με αποτέλεσμα μια αξιοσημείωτη θαλάσσια διείσδυση στην αντλούμενη περιοχή, όταν η στάθμη υποβιβάζεται κάτω από το επίπεδο της υποθαλάσσιας εμφάνισης της αντλούμενης ενότητας ή εάν η μεταβατική ζώνη ανάμεσα στο γλυκό και στο αλμυρό νερό αποτελεί μέρος του κώνου κατάπτωσης [11].

3.3 Περιγραφή του φαινομένου

3.3.1 Επαφή γλυκού-αλμυρού νερού

Για να απλοποιηθεί η κατάσταση θεωρείται ένα στρογγυλό νησί δομημένο γεωλογικά με ομοιόμορφο περατό υλικό. Τότε το νερό της κατείδυσης θα σχηματίζει ένα υδροφόρο στρώμα από γλυκό νερό. Επειδή το γλυκό νερό της κατείδυσης (που προέρχεται από τη βροχή) είναι ελαφρύτερο, αφού έχει ειδικό βάρος περίπου $1,004 \text{ gr/cm}^3$, ενώ το θαλασσινό νερό περίπου $1,040 \text{ gr/cm}^3$, θα επιπλέει πάνω από το θαλασσινό νερό σαν ένα παγόβουνο όπως στο Σχήμα 3.1.

Δηλαδή το γλυκό νερό του υδροφόρου θα επιπλέει πάνω από το θαλασσινό που θα υπόκειται και θα βρίσκεται σε βαθύτερα τμήματα του υπεδάφους, όπως συμβαίνει με δύο μη αναμειγνυόμενα υγρά. Όμως η επαφή αυτή του γλυκού νερού δεν γίνεται με μια απλή γραμμή, με μια επιφάνεια, αλλά με μια ζώνη όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1, που στη βιβλιογραφία αναφέρεται σαν ζώνη διεπιφάνειας, ή ζώνη διάφασης, ή ζώνη διάχυσης, ή ζώνη μετάβασης.



Σχήμα 3.1. : Επαφή γλυκού – αλμυρού νερού [12]

3.3.2 Πολυπλοκότητα Υφαλμύρωσης

Η πολυπλοκότητα του προβλήματος υφαλμύρωσης παράκτιων υδροφορέων οφείλεται σε παράγοντες όπως :

- Ύπαρξη δύο φάσεων ρευστών και μιας ευρείας ζώνης ανάμειξης μεταξύ των δύο υγρών φάσεων.
- Η κίνηση καθώς και η διασπορά του ενός ρευστού στο άλλο εξαρτάται από την πυκνότητα των ρευστών στη ζώνη υφαλμύρωσης η οποία μεταβάλλεται σε συνάρτηση του χώρου και του χρόνου και εξαρτάται από τις συνθήκες ροής. Αυτή η αλληλεξάρτηση κάνει τις αντίστοιχες εξισώσεις μη γραμμικές και είναι πολύ δύσκολο να επιλυθούν με αριθμητικές μεθόδους αφού απαιτούνται διαδοχικές προσεγγίσεις και επαναλήψεις.
- Η περιγραφή του φυσικού φαινομένου περιπλέκεται ακόμη περισσότερο λόγω της ανομοιογένειας των υδραυλικών παραμέτρων του υδροφορέα. Ιδιαίτερα σε καρστικούς υδροφορείς, η ανάμειξη γλυκού και αλμυρού νερού είναι εντελώς διαφορετικής φύσης από αυτήν σε ομοιογενείς και ισοτροπικούς πορώδεις υδροφόρους. Η ροή σε καρστικούς υδροφορείς συχνά δεν ακολουθεί το νόμο του Darcy αφού γίνεται σε κοιλότητες και σε ανοίγματα που είναι συχνά μεγάλων διαστάσεων με αποτέλεσμα να είναι πολύπλοκη και να μην μπορεί να περιγραφεί με γενικές διαφορικές εξισώσεις ροής αφού κάθε ιδιαίτερο σύστημα έχει τη δική του ιδιότυπη συμπεριφορά [13].

3.3.3 Τρόποι προσέγγισης του φαινομένου

Στη βιβλιογραφία, οι γενικοί τρόποι προσέγγισης του φαινομένου της διείδυσης του θαλασσινού νερού μέσα στους παράκτιους υδροφορείς είναι δύο : ο τρόπος της διεσπαρμένης διεπιφάνειας (η γνωστή στην ξένη βιβλιογραφία σαν *disperse interface*) και ο τρόπος της οξείας διεπιφάνειας (ή *sharp interface*). Σύμφωνα με

την πρώτη, η διεπιφάνεια αναπαριστά την παρουσία μιας μεταβατικής ζώνης σημαντικής έκτασης όπου λαμβάνει χώρα ανάμειξη γλυκού και αλμυρού νερού εξαιτίας της υδροδυναμικής διασποράς. Η δεύτερη προσέγγιση αποδέχεται την παρουσία αυτής της ζώνης, την οποία όμως θεωρεί αμελητέας έκτασης συγκρινόμενη με τις διαστάσεις του υδροφορέα οπότε την αναπαριστά σαν γραμμικό όριο μεταξύ των δύο υγρών [14,15].

Η προσομοίωση της μεταβατικής ζώνης που διαχωρίζει τα δύο υγρά απαιτεί ταυτόχρονη λύση των εξισώσεων ροής καθώς και αυτών της μεταφοράς διαλυμένων ουσιών για τα συντηρητικά χημικά στοιχεία. Ο μεγάλος υπολογιστικός φόρτος όμως που απαιτείται για τη λύση προβλημάτων μεταφοράς που εξαρτώνται από την πυκνότητα, έχει περιορίσει τις περισσότερες λύσεις σε δυσδιάστατες κάθετες τομές. Η προσέγγιση της οξείας διεπιφάνειας, σε αντίθεση με την προηγούμενη προσέγγιση, διευκολύνει τη μελέτη των παράκτιων συστημάτων. Όταν λοιπόν η μεταβατική ζώνη είναι μικρή σε σχέση με το πάχος του υδροφορέα, τότε χωρίς μεγάλο σφάλμα μπορούμε να δεχτούμε ότι το γλυκό και το θαλασσινό νερό διαχωρίζονται από μια σαφή διεπιφάνεια, δηλαδή ότι τα δύο υγρά είναι μη αναμειγνυόμενα. Τα μοντέλα αυτού του τύπου συνενώνουν τις δύο περιοχές ροής (θαλασσινού και γλυκού νερού) μέσω της οριακής συνθήκης διεπιφάνειας που στηρίζεται στη συνέχεια της ροής και της πίεσης. Σε τρεις διαστάσεις, αυτή η οριακή συνθήκη παρουσιάζει υψηλή μη γραμμικότητα, αλλά θεωρώντας οριζόντια ροή και ολοκληρώνοντας τις εξισώσεις ως προς την κατακόρυφο, το πρόβλημα απλοποιείται.

Κάθε μία από τις δύο προσεγγίσεις (οξείας και διεσπαρμένης επιφάνειας), έχει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς της και μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες. Η προσέγγιση της διεσπαρμένης επιφάνειας είναι κατάλληλη για περιοχές όπου η μεταβατική ζώνη είναι πλατιά. Αριθμητικές αστάθειες και λάθη εμφανίζονται όταν επιχειρείται προσομοίωση σε περιοχές όπου η μεταβατική ζώνη είναι στενή, ειδικά δε όταν η ζώνη αυτή προσεγγίζει την οξεία διεπιφάνεια.

Η προσέγγιση της οξείας διεπιφάνειας, σε συνδυασμό με την ολοκλήρωση των εξισώσεων ροής ως προς την κάθετο εφαρμόζεται συνήθως σε εκτεταμένες περιοχές. Αυτή η προσέγγιση δε δίνει πληροφορίες για τη φύση της μεταβατικής ζώνης. Πάντως αναπαράγει την υδροδυναμική κατάσταση του συστήματος και τις αντιδράσεις του σε εξωτερικές επιδράσεις. Οι Volker και Rushton το 1982 συνέκριναν τις λύσεις για μόνιμες ροές και για τις δύο προσεγγίσεις και έδειξαν ότι όσο ο συντελεστής διασποράς μικραίνει τόσο οι δύο λύσεις προσεγγίζουν η μία την άλλη [14].

3.3.4 Στατική ισορροπία διεπιφάνειας: Νόμος των Ghyben και Herzberg

Ο πρώτος που ασχολήθηκε ιδιαίτερα με το θέμα της επαφής γλυκού αλμυρού νερού ήταν ο Ολλανδός Ghyben το 1889 και αυτό είναι λογικό γιατί η Ολλανδία ως «Κάτω Χώρα» αντιμετώπιζε έντονο σχετικό πρόβλημα. Επίσης, ο Γερμανός Herzberg λίγο αργότερα το 1905 ασχολήθηκε επίσης με το ίδιο πρόβλημα. Έτσι οι δυο αυτοί ερευνητές κατέληξαν στον ομώνυμο νόμο: το νόμο των Ghyben-Herzberg.

Οι δύο αυτοί επιστήμονες θεώρησαν τη διεπιφάνεια σε στατική κατάσταση και όχι σε δυναμική, χωρίς δηλαδή να παίρνουν υπόψη τους τις ροές που αναγκαστικά γίνονται. Αυτή θα πρέπει να αρχίζει ακριβώς από την ακτή [Σχήμα 3.1 σημεία (A) και (B)]. Θα υπάρχει τότε μία στατική ισορροπία. Θεωρείται ένας συνεχής εικονικός σωλήνας που αρχίζει από τη στάθμη του υδροφόρου (σημείο Σ) και καταλήγει στη στάθμη της θάλασσας (σημείο Σ'), περνώντας κάτω από τη διεπιφάνεια (επίπεδο EE'). Σύμφωνα με την αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων, σε ένα οποιοδήποτε οριζόντιο επίπεδο, π.χ. το EE' που περνάει ακριβώς από τη διεπιφάνεια, η υδροστατική πίεση P θα είναι ακριβώς ίδια και στο ένα και στο άλλο σκέλος του σωλήνα στο επίπεδο EE'. συνεπώς:

$$P = (z + h)\rho\phi \text{ (σημείο E) και } P = z\rho\theta \text{ (σημείο E')} \quad (3.1)$$

Όπου $\rho\phi$ και $\rho\theta$: το ειδικό βάρος του γλυκού και του θαλασσινού νερού αντίστοιχα.

z : το βάθος του γλυκού νερού από τη μέση στάθμη της θάλασσας και

h : το ύψος της στάθμης του υδροφόρου στρώματος από τη μέση στάθμη της θάλασσας (επίπεδο 0).

Από τις δύο πιο πάνω σχέσεις συνεπάγεται :

$$(z + h)\rho\phi = z\rho\theta \quad (3.2)$$

και τελικά h

$$z = \frac{\rho\varphi}{\rho\theta - \rho\varphi} * h = \frac{\rho\varphi}{\Delta\rho} * h = ch \quad (3.3)$$

$$\left(\frac{\rho\varphi}{\Delta\rho} = \frac{\rho\varphi}{\rho\theta - \rho\varphi} = c \right)$$

Η εξίσωση αυτή 3.3 είναι γνωστή ως εξίσωση των Ghyben-Herzberg και εκφράζει τον ομώνυμο νόμο. Παίρνοντας υπ' όψη τις συνήθεις διακυμάνσεις των τιμών $\rho\varphi$ και $\rho\theta$, το κλάσμα $\frac{\rho\varphi}{\Delta\rho} = c$ παίρνει τιμές από 25 έως 40. Άρα η εξίσωση 3.3 γίνεται :

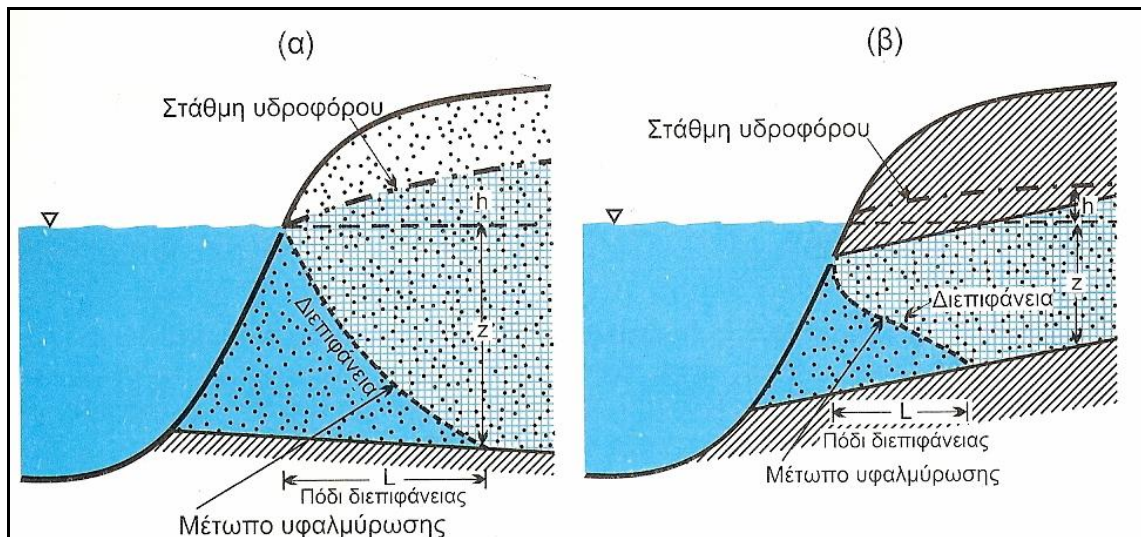
$$z = 25h \text{ έως } z = 40h \quad (3.4)$$

Η εξίσωση λοιπόν 3.3 και η αντίστοιχη αριθμητική 3.4 σημαίνει ότι το γλυκό νερό του υδροφόρου στρώματος «επιπλέει» πάνω στο θαλασσινό νερό ως «παγόβουνο». Αν είναι γνωστό το ύψος της στάθμης του υδροφόρου στρώματος από τη μέση στάθμη της θάλασσας (h) σε ένα σημείο του υδροφόρου, τότε υπολογίζεται το βάθος z του γλυκού νερού στο σημείο αυτό. Στην πραγματικότητα, συνήθως βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος.

Σύμφωνα με την εξίσωση 3.3 και 3.4, αν σε ένα σημείο η στάθμη του παράκτιου υδροφόρου κατεβεί και βρεθεί για αρκετό ή πάντως εύλογο χρονικό διάστημα (ώστε να υπάρξει αντίδραση με ροές στο όλο σύστημα), στο επίπεδο της θάλασσας, δηλ. αν $h=0$, τότε εκεί δε θα υπάρχει καθόλου γλυκό νερό. Συναντάμε κατευθείαν θαλασσινό ή πάντως αλμυρό νερό.

Είναι γνωστό ότι σε ένα οποιοδήποτε σημείο ενός υδροφόρου στρώματος, άρα και ενός παράκτιου, η στάθμη μεταβάλλεται μέσα στο χρόνο, δηλαδή μεταβάλλεται το h .

Άρα θα μεταβάλλεται και το z , δηλαδή η θέση της διεπιφάνειας. Αν αυτή η διεπιφάνεια ανέβει για ορισμένο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια κατέβει, τότε αφήνει κάποια ίχνη αλμυρότητας από εμπροσισμό και ιοντοανταλλαγές της στερεάς φάσης με το θαλασσινό νερό και από εγκλωβισμό υπολειμμάτων αλμυρού νερού ως νερό κατακράτησης. Έτσι, με την υποχώρηση της διεπιφάνειας παραμένουν κάποια άλατα για αρκετό χρονικό διάστημα. Γι αυτό το λόγο η επαφή γλυκού – αλμυρού νερού δεν είναι μια γραμμή σε τομή αλλά μια ζώνη (δηλ. μια λωρίδα σε τομή). Αλλά ακόμη και αν δεν υπήρχε μετακίνηση της διεπιφάνειας θα δημιουργούνταν αυτή η ζώνη λόγω μοριακής διάχυσης, δηλαδή για φυσικοχημικούς λόγους, όμως τότε το πάχος της θα ήταν μικρότερο. Στο παρακάτω Σχήμα 3.2 έχουμε τη διάφαση σε έναν ελεύθερο παράκτιο υδροφορέα (α) και σε έναν υπό πίεση (β), σύμφωνα με το νόμο των Ghyben-Herzberg [12].



Σχήμα 3.2: Ζώνη διεπιφάνειας (α) σε ελεύθερο και (β) σε υπό πίεση υδροφόρο στρώμα [12]

Παρά την ευχρηστία του τύπου Ghyben και Herzberg πρέπει να αναγνωριστεί ότι αποτελεί μια υπεραπλοστέυση του φαινομένου που οδηγεί πολλές φορές σε εσφαλμένα αποτελέσματα. Η υπεραπλοστέυση συνίσταται στο γεγονός ότι ο παραπάνω τύπος εμπεριέχει την παραδοχή ότι το πιεζομετρικό φορτίο στον υδροφόρο ορίζοντα είναι το ίδιο με το πιεζομετρικό φορτίο του γλυκού νερού στη διεπιφάνεια, κάτι που υπονοεί ότι δεν υπάρχει κατακόρυφη υδραυλική κλίση (γνωστή και σαν παραδοχή Dupuit). Το πιο προφανές παραπλανητικό αποτέλεσμα από την παραπάνω παραδοχή είναι ότι το πάχος της ζώνης του γλυκού νερού εμφανίζεται μηδενικό στην ακτή, όπου ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται στο μηδέν.

Πάντως, το γεγονός ότι γλυκό νερό εκβάλλει στη θάλασσα φανερώνει ότι η ζώνη γλυκού νερού πρέπει να έχει κάποιο πεπερασμένο πάχος στην ακτή [14].

3.3.5 Συνθήκες ροής κατά Hubbert

Ο Hubbert το 1940, αναφερόμενος στη δυναμική ισορροπία γλυκού – θαλασσινού νερού, έδειξε ότι η εξίσωση Ghyben – Herzberg για συνθήκες ροής κοντά στην ακτή, δίνει διαφορετικά αποτελέσματα, από τα πραγματικά βάθη της διεπιφάνειας και ότι η διεπιφάνεια δεν καταλήγει στην ακτή, αλλά προς το μέρος της θάλασσας μέχρι μια απόσταση χ_0 , όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3.α. Η απόσταση χ_0 είναι το εύρος της ζώνης εκφόρτισης του γλυκού νερού προς τη θάλασσα. Έδειξε ότι η συνέχεια της πίεσης στο πεδίο ροής πρέπει να διατηρείται στις δύο πλευρές της υποτιθέμενης διεπιφάνειας. Έτσι η διεπιφάνεια μπορεί να αντιμετωπιστεί σαν μια οριακή επιφάνεια που συνενώνει δύο ξεχωριστά πεδία ροής. Στη συνέχεια έδειξε ότι αν οριστεί μια συνάρτηση δυναμικού (πιεζομετρικό φορτίο) για κάθε υγρό, η εξίσωση που διέπει τη διεπιφάνεια μπορεί να βρεθεί, ορίζοντας το πιεζομετρικό φορτίο του γλυκού νερού σαν hf [12,16]:

$$hf = \frac{P}{\rho_f \cdot g} + Z \quad (3.5)$$

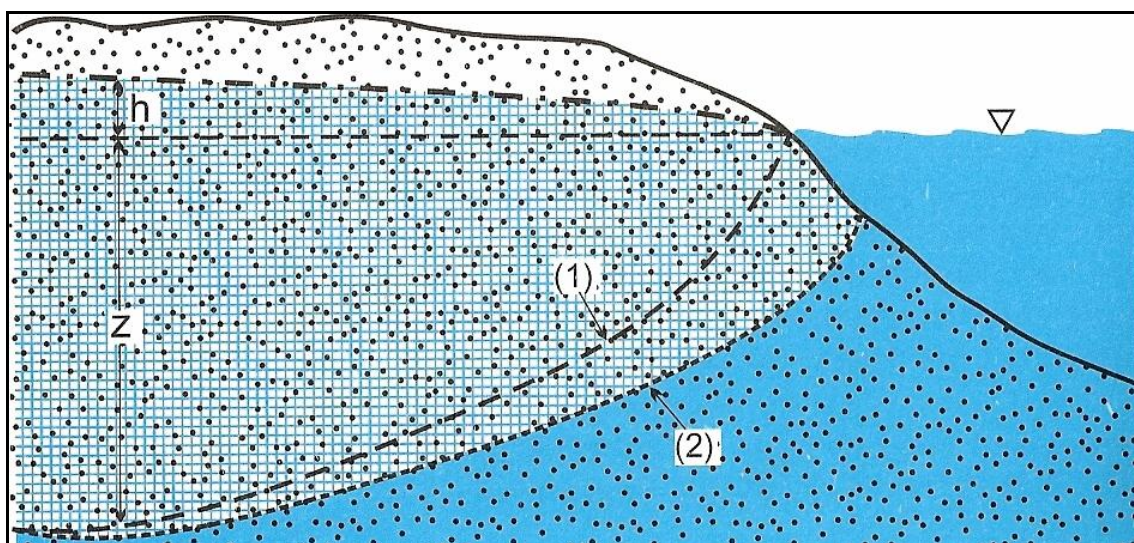
ενώ ορίζοντας το πιεζομετρικό φορτίο του θαλασσινού νερού σαν hs , έχουμε :

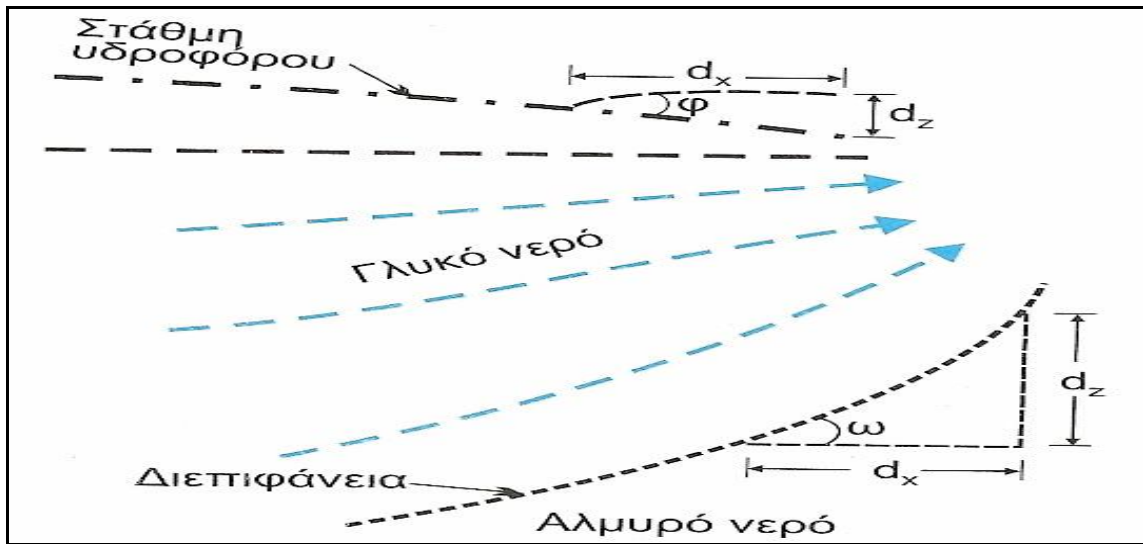
$$hs = \frac{P}{\rho_s \cdot g} + Z \quad (3.6)$$

όπου Z είναι το υψόμετρο (πάνω από κάποιο σημείο αναφοράς) του σημείου στο οποίο το πιεζομετρικό φορτίο μετρείται. Το P είναι η πίεση υγρού στο σημείο μέτρησης και g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η πίεση των δύο υγρών είναι ίδια σε οποιοδήποτε σημείο της διεπιφάνειας μπορούμε να πάρουμε την εξίσωση της διεπιφάνειας :

$$Z = \left(\frac{\rho_s \cdot hs}{\rho_s - \rho_f} \right) - \left(\frac{\rho_f \cdot hf}{\rho_s - \rho_f} \right) \quad (3.7)$$

Αν και η παραπάνω εξίσωση φαίνεται αρκετά απλή έχει ένα τεράστιο πλεονέκτημα συγκριτικά με τη σχέση Ghyben – Herzberg. Η σχέση Ghyben – Herzberg συνδέει το φορτίο στην ελεύθερη επιφάνεια με τη θέση της διεπιφάνειας, ενώ ο Hubbert συνδέει το φορτίο του γλυκού νερού και το φορτίο του θαλασσινού νερού στη διεπιφάνεια με τη θέση της διεπιφάνειας [14].





Σχήμα 3.3: (α): Θέση της επιφάνειας διάφρασης κατά Ghyben – Herzberg (1) και κατά Hubbert (2), (β) : υπολογισμός της γωνιάς κλίσης της διεπιφάνειας κατά Hubbert [12]

Ο Hubbert υπολόγισε την κλίση ω της διεπιφάνειας προς την ακτή (Σχήμα 3.3.β) :

$$\sin \omega = \frac{dz}{dx} = \left(\frac{1}{K\phi} CVf, s - \frac{1}{K\theta} C'Vs, s \right) \quad (3.7)$$

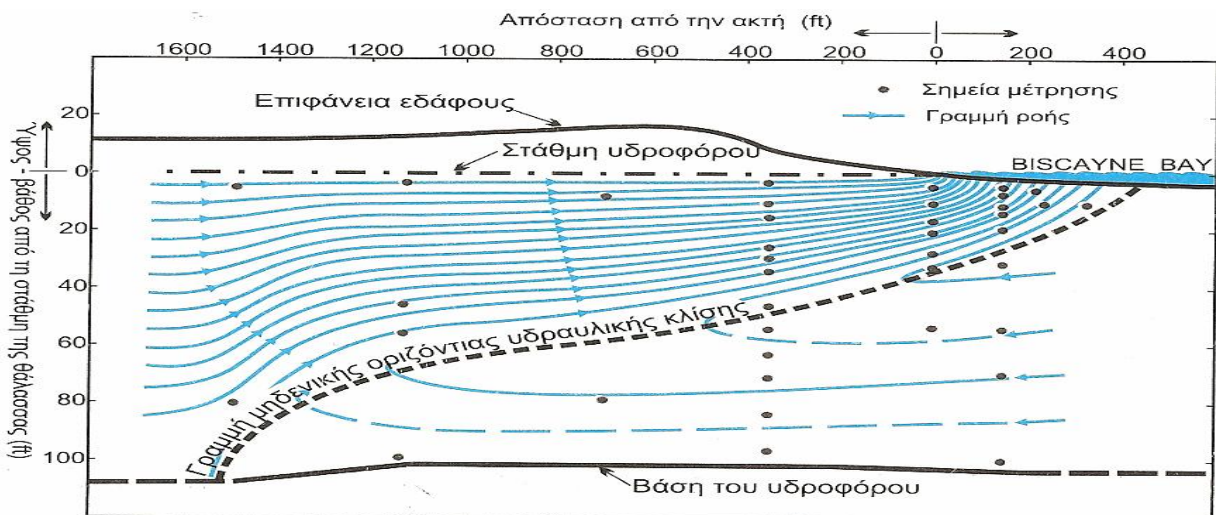
όπου $K\phi$, $K\theta$ είναι οι ταχύτητες του γλυκού και αλμυρού νερού αντίστοιχα. Τα Vf, s και Vs, s είναι οι συνιστώσες της ειδικής παροχής του γλυκού και αλμυρού νερού αντίστοιχα κατά μήκος της διεπιφάνειας (ουσιαστικά πρόκειται για ταχύτητες) [12].

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει όπως έδειξε ο Hubbert, για κάθε σημείο που βρίσκεται ανάμεσα στα σημεία τομής οποιασδήποτε ισοδυναμικής γραμμής του ρέοντος γλυκού νερού με την ελεύθερη επιφάνεια του υδροφόρου και τη διεπιφάνεια [16].

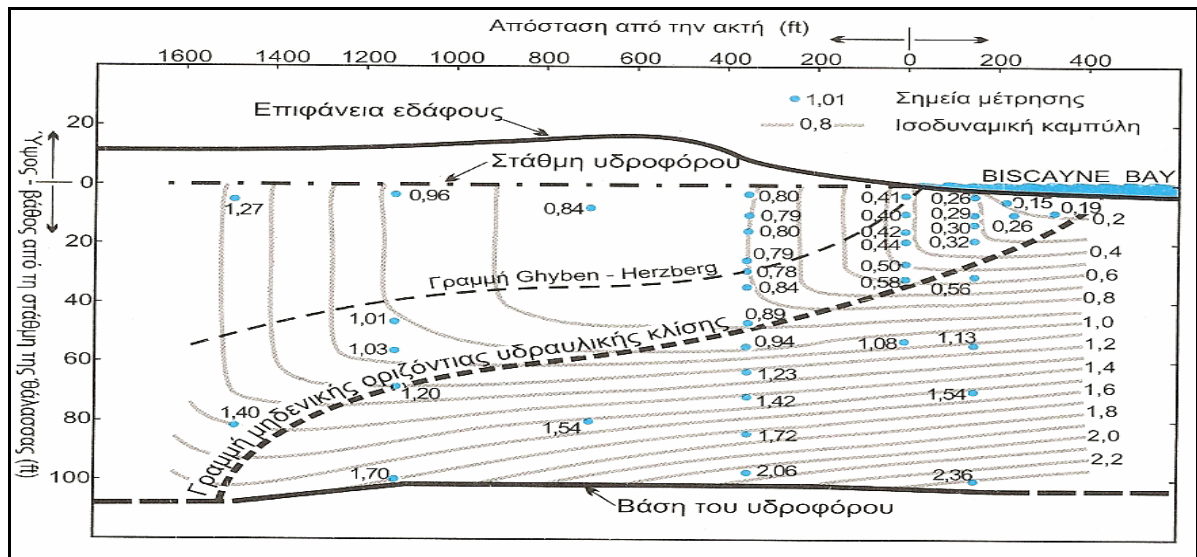
Ο παραπάνω τύπος είναι σύνθετος και δύσχρηστος και γι αυτό δεν είχε ευρεία απήχηση και εφαρμογή [12].

Ο Kohout το 1964, με βάση στοιχεία από μία παράκτια περιοχή κοντά στο Miami, μελέτησε λεπτομερώς την υδραυλική κατάσταση και συγκεκριμένα το υδραυλικό φορτίο και χάραξε τις ισοδυναμικές καμπύλες όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.4.α. Σε ένα υδροφόρο στρώμα αν υποθεθεί ότι το νερό είναι ακίνητο, ή αν η ροή είναι οριζόντια, οι ισοδυναμικές καμπύλες θα είναι κατακόρυφες. Αν όμως η ροή δεν είναι οριζόντια και πολύ περισσότερο αν μεταβάλλεται το ειδικό βάρος του νερού με το βάθος (δηλαδή μετάβαση από το γλυκό στο αλμυρό νερό), τότε οι ισοδυναμικές καμπύλες δεν είναι κατακόρυφες αλλά με μεταβαλλόμενη κυρτότητα – κοιλότητα. Έτσι βρήκε, ότι υπάρχει μία γραμμή πάνω στην οποία η οριζόντια συνιστώσα της υδραυλικής βαθμίδας (κλίσης) είναι μηδέν. Επομένως πάνω στη γραμμή αυτή, η ροή του νερού είναι κατακόρυφη και επομένως γίνεται αντιστροφή της διεύθυνσης ροής (Σχήμα 3.4.β)

α)



β)



Σχήμα 3.4: (α) Ισοδυναμικές καμπύλες σε παράκτιο υδροφόρο στρώμα, (β) γραμμές ροής στο ίδιο παράκτιο στρώμα [12]

Ο Glover το 1964,, ύστερα από μαθηματική ανάλυση έδωσε το θεωρητικό αλλά ουσιαστικά το πραγματικό) δίκτυο ισοδυναμικών καμπυλών και γραμμών ροής, σε ένα παράκτιο υδροφόρο στρώμα. Αυτό προέκυψε από ανάλυση των πραγματικών ισοδυναμικών καμπυλών και γραμμών ροής σε πραγματικό πεδίο. Έτσι ο Glover έδωσε την εξίσωση που περιγράφει τη θέση της διεπιφάνειας σε μία κατακόρυφη τομή κάθετη προς την ακτή σε σύστημα συντεταγμένων x, z (x οριζόντια, z κατακόρυφα) με σημείο μηδέν την ακτή.

$$z^2 - \frac{2q}{\Delta\rho k} x - \frac{q^2}{\Delta\rho k^2} = 0 \quad (3.8)$$

Όπου

k : η περατότητα

q : η ανά μονάδα μήκους ακτής (1m κατά τον άξονα y) παροχή του υδροφορέα προς τη θάλασσα.

$$\Delta\rho = \rho\theta - \rho\phi$$

Στην εξίσωση 3.8 αν τεθεί $z = 0$ θα υπολογιστεί η απόσταση x_0 από την ακτή μέχρι το σημείο που παρουσιάζεται ροή του υδροφόρου προς τη θάλασσα :

$$x_0 = \frac{q}{2\Delta\rho k} \quad (3.9)$$

Επίσης στην ίδια εξίσωση αν τεθεί $x = 0$ υπολογίζεται το βάθος z_0 της διεπιφάνειας ακριβώς στην ακτή :

$$z_0 = \sqrt{\frac{2\Delta\rho q}{k}} \quad (3.10)$$

Τέλος, η παροχή q ανά μονάδα μήκους ακτής (1m) από τον υδροφόρο προς τη θάλασσα προκύπτει από την εξίσωση 3.8, αν $x = 0$ και $z = z_0$. Οι τρεις παραπάνω εξισώσεις είναι βασικές και σημαντικές γιατί καθορίζουν το όρια των παράκτιων υδροφόρων προς τη θάλασσα [12].

3.3.6 Μαθηματικά μοντέλα

Η ποσοτικοποίηση του προβλήματος της υπαλμύρωσης δεν είναι εύκολη υπόθεση. Κατά την εισροή της θάλασσας σε έναν υδροφόρο συνθήκες μόνιμης ροής στην πραγματικότητα δεν αποκαθίσταται εύκολα. Επιπλέον, τις περισσότερες φορές, το πρόβλημα φτάνει σε ανεπίτρεπτα όρια και τα κατάλληλα μέτρα δεν λαμβάνονται εγκαίρως. Η εφαρμογή των μέτρων αυτών είναι συνήθως συνδεδεμένη με οικονομικούς, κοινωνικούς, νομικούς και πολιτικούς παράγοντες και αυτό δυσχεραίνει ιδιαίτερα το πρόβλημα.

Μια τεχνική η οποία ακολουθείται είναι η εφαρμογή κατά τη διαχείριση υπόγειων υδροφόρων μεθόδων μαθηματικής προσομοίωσης. Επομένως για την αντιμετώπισή τους απαιτούνται αφενός εξειδικευμένες γνώσεις ενός ιδιαίτερα δυσχερούς φαινομένου, όπως είναι η υπαλμύρωση και αφετέρου δυνατότητα χρήσης μεθόδων εφαρμοσμένων μαθηματικών προσομοιώσεων και προσαρμογής των τεχνικών αυτών στις απαιτήσεις του υπό εξέταση προβλήματος.

Η μαθηματική προσομοίωση αποτελεί για τον μελετητή ένα δυναμικό εργαλείο που διευκολύνει την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ορθή διαχείριση υπόγειων υδροφόρων και επιτρέπει την πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους για διάφορες υποθετικές καταστάσεις (σενάρια). Οι εφαρμοσμένες αυτές μαθηματικές προσομοιώσεις είναι χρήσιμες και στις αναγνωριστικές έρευνες, σε φάσεις προκαταρκτικής μελέτης ή προμελέτης ενός έργου, για την ερμηνεία της συμπεριφοράς του υδροφόρου μετά από μετρήσεις πεδίου. [4]

Η μαθηματική προσομοίωση απαιτείται επίσης στις περιπτώσεις εκείνες που ένα επιτυχές πρόγραμμα παρεμπόδισης της θαλάσσιας διείσδυσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη τεχνικές απαραίτητες στην έκδοση αδειών ανόρυξης νέων γεωτρήσεων. Η μοντελοποίηση με υπολογιστές μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της θέσης και των χαρακτηριστικών των προτεινόμενων γεωτρήσεων παρεμπόδισης θαλάσσιας διείσδυσης και για την αξιολόγηση των επιπτώσεων από την εφαρμογή των προτεινόμενων προγραμμάτων εμπλουτισμού και παρακολούθησης [17].

Βασική προϋπόθεση για τα ανωτέρω είναι τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μαθηματική προσομοίωση και της εφαρμογή ενός συγκεκριμένου υπολογιστικού προγράμματος πρέπει να είναι σωστά, δηλαδή να αντιπροσωπεύουν πράγματι τον υπό μελέτη υδροφόρο. Η εκπόνηση συνεπώς αξιόπιστων εφαρμοσμένων μαθηματικών προσομοιώσεων είναι αναγκαία.

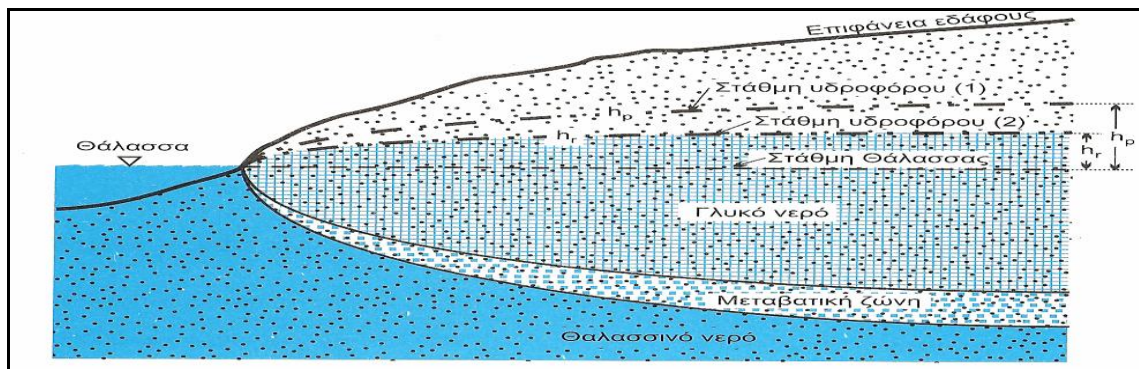
Ιδιαίτερη σημασία στις εφαρμοσμένες μαθηματικές προσομοιώσεις έχουν οι μετρήσεις πεδίου, οι οποίες έχουν διπλό ρόλο, επιτρέπουν την βαθμονόμηση του μοντέλου και χρησιμεύουν για την επαλήθευσή του και συνεπώς την αύξηση της αξιοπιστίας του. Σε συνδυασμό με την οικονομική δαπάνη που συνεπάγεται η πραγματοποίηση μετρήσεων πεδίου, είναι αντιληπτή η σημασία που έχει ο σωστός σχεδιασμός τους [4].

Η ορθή εφαρμογή μοντέλων ροής, όπως ο κώδικας MODFLOW αλλά και μοντέλων μεταφοράς, όπως το SHARP και το SUTRA μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην αντιμετώπιση της θαλάσσιας διείσδυσης και στην καλύτερη εφαρμογή των μεθόδων παρεμπόδισης παρέχοντας πληροφορίες οι οποίες θα ήταν αδύνατο να ληφθούν με τις κλασσικές έρευνες. Τα προηγούμενα μοντέλα μπορούν να συνδυαστούν με μοντέλα βελτιστοποίησης για να βοηθήσουν στην ανάπτυξη στρατηγικών άντλησης που θα εμποδίσουν ή θα αναστρέψουν τη διείσδυση της θάλασσας, ενώ παράλληλα θα συνεχίσει να ικανοποιείται η ζήτηση σε γλυκό νερό [17].

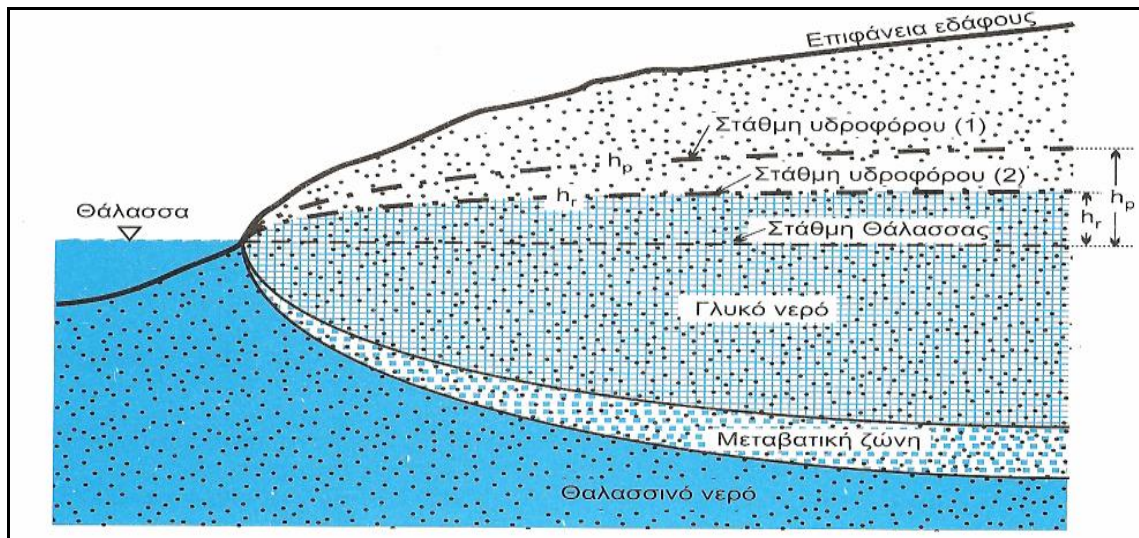
3.3.7 Δομή και σύσταση της διεπιφάνειας

Σε ότι αφορά στο πάχος της ζώνης μετάβασης, υπάρχουν αντικρουόμενες απόψεις στη βιβλιογραφία. Ο Todd το 1980, θεώρησε ότι η ζώνη μετάβασης έχει μεγαλύτερο πάχος κοντά στη θάλασσα, λόγω κυματισμού και άμεσης διάδοσής του στο γειτονικό υδροφόρο και ότι το πάχος αυτό μειώνεται με την απομάκρυνση από την ακτή, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.5.

Αντίθετα, οι Tulipano – Fidelibus το 1998, έδωσαν τιμές στις οποίες το πάχος της ζώνης μετάβασης αυξάνεται με την απομάκρυνση από τη θάλασσα όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6. Φαίνεται ότι υπό φυσικές συνθήκες ισχύει μάλλον η πρώτη άποψη, ενώ υπό συνθήκες επέμβασης του ανθρώπου αυξάνεται το πάχος της ζώνης σε απομακρυσμένα σημεία από τη θάλασσα. Όμως όπως είναι φυσικό παίζει κάποιο ρόλο και η γεωλογική δομή και σύσταση μιας περιοχής (οριζόντιες ή πλάγιες στρώσεις, αλληλουχία διαπερατών και αδιαπερατών στρωμάτων κ.λ.π). Πάντως, οι παρατηρήσεις πεδίου δείχνουν ότι υπό φυσικές συνθήκες το πάχος μειώνεται στην αρχή με την απομάκρυνση από τη θάλασσα σε μικρές πάντως αποστάσεις, ενώ αυξάνεται σε μεγάλες και οπωσδήποτε σε περιοχές όπου γίνονται αντλήσεις [12].



Σχήμα 3.5: Γεωμετρικό σχήμα της ζώνης μετάβασης κατά Todd [11]



Σχήμα 3.6: Γεωμετρικό σχήμα της ζώνης μετάβασης κατά Tulipano – Fidelibus [11]

Η δράση της παλίρροιας και η επίδρασή της στην κίνηση του αλμυρού νερού καθώς και οι αλλαγές της δυναμικής επιφάνειας του γλυκού νερού που οφείλονται σε εμπλουτισμό με γλυκό νερό ή σε εκροή του γλυκού νερού, είναι οι κυριότεροι μηχανισμοί που ελέγχουν τη θέση και το σχήμα της διεπιφάνειας. Στην περίπτωση των βαθέων υπό πίεση υδροφόρων οι συνθήκες είναι συνήθως διαφορετικές και η περιοχή ροής των υπόγειων νερών αντιδρά περισσότερο αργά στην ανύψωση του θαλασσίου επιπέδου [11].

Μέσα στη διεπιφάνεια η αλατότητα αυξάνει προοδευτικά με το βάθος, από το γλυκό στο αλμυρό νερό. Έτσι είναι προτιμότερο να υπολογίζεται η σχετική αλατότητα S_R , σαν ποσοστό από τη σχέση :

$$S_R = 100 \left(\frac{C - C_F}{C_S - C_F} \right) \quad (3.11)$$

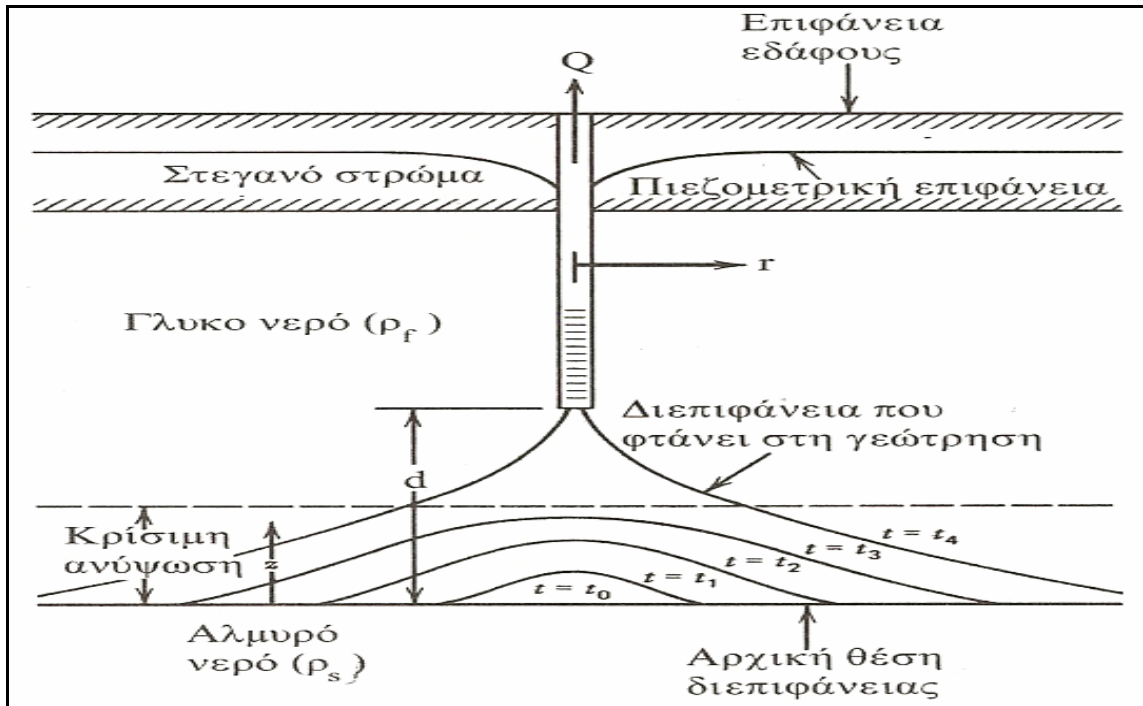
όπου C είναι η αλατότητα (μετρούμενη σαν $T.D.S$ ή περιεκτικότητα σε χλωρίοντα ή σαν ηλεκτρική αγωγιμότητα) σε ένα ορισμένο βάθος μέσα στη διεπιφάνεια και C_F και C_S οι αλατότητες του γλυκού και του αλμυρού νερού αντίστοιχα [16].

Δημιουργείται όμως το ερώτημα : από ποια αλατότητα αρχίζει η ζώνη μετάβασης (ποιο δηλαδή θεωρείται το όριο του γλυκού νερού) και σε ποια τελειώνει (ποιο δηλαδή είναι το όριο του θαλασσινού νερού). Η απάντηση σύμφωνα με τη βιβλιογραφία είναι κάτι που ορίζεται αυθαίρετα και μπορεί να γίνει :

- με ορισμένη περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου π.χ πάνω από 300 ppm μέχρι και 20.000 ppm
- με το ποσοστό ανάμιξης θαλασσινού και γλυκού νερού π.χ 1% θαλασσινό νερό μέχρι 95 % θαλασσινό νερό (ή για άλλους από 3 % μέχρι 90 %).
- με ορισμένες τιμές του συντελεστή S_R που μπορούν να καθορίζονται αυθαίρετα [12].

3.3.8 Ανύψωση της διεπιφάνειας

Όταν ένας υδροφόρος περιέχει ένα υποκείμενο στρώμα αλμυρού νερού και αντλείται από μία υδρογεώτρηση που εισχωρεί μόνο στο ανώτερο μέρος του, το οποίο περιέχει γλυκό νερό, τότε παρατηρείται μία τοπική ανύψωση της διεπιφάνειας κάτω από την υδρογεώτρηση, με τη μορφή ενός ανεστραμμένου «κώνου κατάπτωσης», δηλαδή ενός κώνου ανόδου της διεπιφάνειας. Με τη συνεχιζόμενη άντληση, η διεπιφάνεια ανεβαίνει σε διαδοχικά υψηλότερα επίπεδα μέχρι ενδεχόμενα να φθάσει την υδρογεώτρηση. Αυτό γενικά σημαίνει ότι θα πρέπει να διακοπεί η άντληση. Μετά τη διακοπή το βαρύτερο αλμυρό νερό τείνει να επιστρέψει στην αρχική του θέση, όμως αφήνει υπολείμματα αλμυρότητας και διευρύνεται η ζώνη διεπιφάνειας.



Σχήμα 3.7: Διάγραμμα της ανύψωσης αλμυρού νερού σε αντλούμενη υδρογεώτρηση κατά Schmorak – Mercado [16]

Οι Schmorak – Mercado το 1969, προτείνουν μια προσεγγιστική αναλυτική επίλυση της ανύψωσης, βασισμένη στις παραδοχές του Dupuit και τη σχέση των Ghyben και Herzberg, που έχει τη μορφή :

$$z = \frac{Q}{2\pi dk \frac{\Delta\rho}{\rho_\phi}} \quad (3.12)$$

Η σχέση αυτή φανερώνει μια τελική ανύψωση της διεπιφάνειας, σε μια νέα θέση ισορροπίας, που είναι ευθέως ανάλογη προς την παροχή άντλησης Q . Ο Kawabata το 1965, έδειξε με τη χρήση μαθηματικού ομοιώματος ότι η σχέση (3.11) ισχύει μόνο για μικρές ανυψώσεις. Η ανύψωση στην αρχή είναι βραδεία, όταν όμως περάσει την κρίσιμη ανύψωση αυτή γίνεται ραγδαία. Η κρίσιμη αυτή ανύψωση z/d έχει εκτιμηθεί σε 0,3 έως 0,5. Έτσι, θέτοντας ένα ανώτατο όριο $z/d = 0,3$, προκύπτει ότι το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο παροχής άντλησης Q , χωρίς αλμύριση του νερού της υδρογεώτρησης είναι [16]:

$$Q_{\max} \leq 0.6\pi d^2 k \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_\phi} \right) \quad (3.13)$$

Η εξίσωση (3.11) είναι στατική, δηλαδή δεν περιέχει τον χρόνο t και αναφέρεται σε κατάσταση ισορροπίας. Όμως στην πραγματικότητα, η κατάσταση μεταβάλλεται με το χρόνο. Υπάρχει δυναμικά μεταβαλλόμενη κατάσταση. Έτσι οι Bear – Dagan το 1964 πρότειναν τον πιο κάτω τύπο για τον υπολογισμό της ανύψωσης z με εισαγωγή του χρόνου άντλησης t :

$$Z_t = \frac{\rho_\phi Q}{2\pi\Delta\rho k_x d} \left(1 - \frac{2\rho_\phi \theta d}{2\rho_\phi \theta \Delta\rho k_z t} \right) \quad (3.14)$$

όπου k_x και k_z είναι η οριζόντια και η κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα, θ είναι το πορώδες του υδροφόρου και t είναι ο χρόνος από την έναρξη της άντλησης. όταν η άντληση γίνεται για πάρα πολύ μεγάλο χρόνο t , που πρακτικά μπορούμε να πούμε $t = \infty$ τότε η σχέση (3.14) γίνεται :

$$Z_\infty = \frac{\rho_\phi Q}{2\pi\Delta\rho k_x d} \quad (3.15)$$

όπου z_∞ είναι η τελική ανύψωση. Τιμές του z που υπολογίστηκαν από την εξίσωση (3.14), συμφωνούν γενικά με μετρήσεις στο ύπαιθρο, μέχρι την κρίσιμη τιμή του z η οποία είναι της τάξεως του 0,3-0,5d [12].

3.3.9 Το «πόδι» της διεπιφάνειας

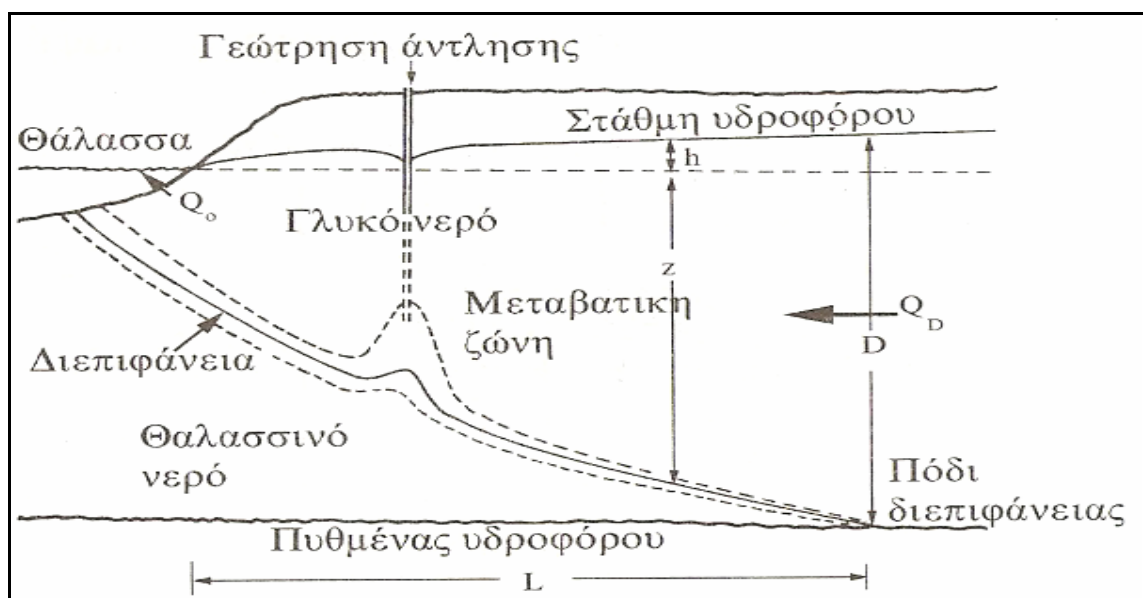
Η απόσταση μέχρι την οποία η διεπιφάνεια συναντά το αδιαπέρατο υπόβαθρο λέγεται «πόδι» της διεπιφάνειας (Σχήμα 3.8). Δηλαδή το πόδι αρχίζει από το σημείο στο οποίο η κατακόρυφος που περνάει από το σημείο της ακτής συναντάει τη βάση του υδροφόρου μέχρι το σημείο που η ίδια η διεπιφάνεια συναντάει τη βάση του υδροφόρου (Σχήμα 3.8), και έχει μήκος L . Ανάντι του ποδιού ο υδροφόρος περιέχει μόνο γλυκό νερό. Για τον υπολογισμό του μήκους L ο Bear το1979 έδωσε τον εξής τύπο :

$$L = D \sqrt{\frac{k}{cR}} \quad (3.16)$$

Όπου $c = \frac{\rho_\phi}{\Delta\rho}$ και R είναι ο εμπλουτισμός σε mm/έτος της παράκτιας λωρίδας με μοναδιαίο πλάτος (y) και μήκος (x) προς τη στεριά. Επίσης ο ίδιος υπολόγισε την παροχή q_0 της εκροής νερού προς τη θάλασσα ανά μονάδα μήκους ακτής :

$$q_0 = \frac{kD^2}{2cL} + \frac{RL}{2} \quad (3.17)$$

Οι δύο πιο πάνω τύποι έχουν ένα λεπτό σημείο στην εφαρμογή τους : τον υπολογισμό του R . [12]



Σχήμα 3.8: Η απόσταση L του ποδιού της διεπιφάνειας από την ακτή [16]

Η μεταβολή της στάθμης του υδροφόρου έχει δύο συνέπειες :

- η διεπιφάνεια αλλάζει θέση

- η ζώνη ανάμειξης (μεταβατική) διευρύνεται, λόγω υδροδυναμικής διασποράς

Δεδομένου ότι όταν το υπόγειο νερό περιέχει έστω και 4% θαλασσίνο νερό, είναι ακατάλληλο για τις πιο πολλές χρήσεις, η εκμετάλλευση των παράκτιων υδροφορέων θα πρέπει να γίνεται με τρόπο που να εξασφαλίζεται η βέλτιστη απόσταση του ποδιού της διεπιφάνειας από την ακτή. Οι Schmorak – Mercado το 1969, όπως αναφέρθηκε, δέχονται ότι η κρίσιμη ανύψωση της διεπιφάνειας είναι περίπου ίση με το μισό της αρχικής απόστασης διεπιφάνειας – πυθμένα υδρογεώτρησης. Αυτό σημαίνει ότι στις παράκτιες υδρογεωτρήσεις θα πρέπει να τοποθετείται φιλτροσωλήνας αρκετά πιο ψηλά από τη διεπιφάνεια ενώ παράλληλα οι πτώσεις στάθμης θα πρέπει να διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα [16].

3.3.10 Δείκτης ανισοροπίας

Ο Ελληνοϊταλός Tulirano με τους συνεργάτες του το 2002 μελετώντας τα παράκτια υδροφόρα στρώματα της Απουλίας (N.Ιταλία) και ειδικά την υδροδυναμική τους, κατέληξε στον ορισμό του «δείκτη ανισοροπίας» Δh . Σύμφωνα λοιπόν με τις απόψεις τους, (Σχήμα 3.6), αν η ζώνη διεπιφάνειας βρίσκεται σε ορισμένο βάθος z , τότε η στάθμη του υδροφόρου θα έπρεπε να βρίσκεται σε ύψος h_p πάνω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας, ενώ για κάποια στιγμή αυτό βρίσκεται μόνο σε ύψος h_r . Ο δείκτης ανισοροπίας Δh δίνεται από η σχέση :

$$\Delta h = h_p - h_r \quad (3.18)$$

Αν $\Delta h = 0$, η κατάσταση είναι σταθερή, δηλαδή κανονική

Αν $\Delta h > 0$, τότε θα υπάρξει τάση υποχώρησης της διεπιφάνειας και εκροές γλυκού νερού προς τη θάλασσα.

Αν $\Delta h < 0$, τότε θα υπάρξει διείσδυση θαλασσινού νερού προς τη στεριά, άνοδος της διεπιφάνειας και επιμήκυνση του ποδιού L της διεπιφάνειας.

Το h_p υπολογίζεται με βάση τη θέση της διεπιφάνειας, παίρνοντας υπόψη το μέσο ειδικό βάρος ρ_f από τη βάση της ζώνης διεπιφάνειας και άνω.

Επειδή η μετατόπιση της διεπιφάνειας δεν είναι ακαριαία με την υποχώρηση της στάθμης του υδροφόρου, αλλά συντελείται σε μεγάλο χρονικό διάστημα, ιδίως όσο απομακρυνόμαστε από την ακτή, ο δείκτης ανισοροπίας μας επιτρέπει να προβλέψουμε την εξέλιξη της δυναμικής υδραυλικής ισοροπίας σε μια παράκτια περιοχή [12].

3.5 Αίτια υφαλμύρυνσης

Κύρια αιτία για την υφαλμύρωση των υπόγειων νερών που στις περισσότερες περιπτώσεις των παράκτιων υπόγειων υδροφορέων είναι δεδομένη από τη φύση, αποτελεί η ύπαρξη χαμηλής πιεζομετρίας δηλαδή η ανάπτυξη μικρού υδραυλικού φορτίου που αποτελεί την κινητήρια δύναμη των υπόγειων νερών προς τη θάλασσα. Με αυτό το δεδομένο η όποια φυσική ή ανθρωπογενής δράση που συνεπάγεται περαιτέρω μείωση του υδραυλικού φορτίου αποτελεί αφορμή για ανύψωση της διεπιφάνειας γλυκού-αλμυρού νερού [18].

3.5.1 Φυσικά αίτια

Κύρια φυσικά αίτια που αποτελούν αφορμές ελάττωσης των υδραυλικών φορτίων των υπόγειων νερών είναι :

3.5.1.1 Μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που προκύπτει από την αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος.

Είναι σαφές ότι σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής, οτιδήποτε σχετίζεται με το νερό θα γνωρίσει στο μέλλον μεγάλες αλλαγές. Σε κάποιες χώρες το μέσο ύψος της βροχής θα αυξηθεί σημαντικά, όπως αναμένεται να συμβεί στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη, σε άλλες όπως οι χώρες του τρίτου κόσμου η ανομβρία θα ενταθεί ενώ στη περιοχή της Μεσογείου, θα αλλάξει η κατανομή των βροχοπτώσεων στο χρόνο, καθώς θα έχουμε συχνότερη εμφάνιση ακραίων φαινομένων. Γεγονός που για τη χώρα μας σημαίνει ότι στο εξής, ακόμη κι αν δεχόμαστε συνολικά, σε ετήσια βάση, τα ίδια ύψη βροχής σε σχέση με το παρελθόν, η κατανομή του νερού θα είναι τέτοια, ώστε να μην ευνοεί όπως παλιά τον εμπλουτισμό των φυσικών δεξαμενών του νερού.

Το έδαφος, ως γνωστό, δεν προλαβαίνει να διηθήσει το νερό όταν αυτό έρχεται σε μεγάλες ποσότητες και για σύντομα χρονικά διαστήματα, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος του νερού των βροχοπτώσεων μεγάλης έντασης, να απορρέει αναξιοποίητο [19].

Πιο συγκεκριμένα στην Ελλάδα τα συνολικά αποθέματα έχουν μειωθεί κατά 700 εκατομμύρια κυβικά μέτρα, γεγονός που σημαίνει αποθέματα ενάμισι χρόνου. Η ετήσια κατανάλωση έχει ανέβει στα 450 εκατομμύρια κυβικά μέτρα, και ήδη αντλούνται 350.000 κυβικά μέτρα από την Υλίκη, και ενδεχομένως θα χρειαστεί να αντληθούν και οι γεωτρήσεις που έχουν γίνει κατά την περίοδο της λειψυδρίας, του 1990-'91. Το πρόβλημα θα οξυνθεί, δεδομένου ότι και οι στάθμες των γεωτρήσεων εμφανίζουν μείωση έως και 20 μέτρα. Η φετινή χρονιά έχει κλιματολογικά χαρακτηριστικά παρόμοια με τα περσινά, που είχαν χαρακτηριστεί από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα ως τα πιο ακραία ξηροθερμικά φαινόμενα από το 1880. Τα στοιχεία του Νοεμβρίου 2007, πάντως, μας δείχνουν ότι στη δυτική Ελλάδα και στη δυτική Πελοπόννησο, περιοχές που είχαν γενικά υψηλούς βροχομετρικούς δείκτες, εμφανίζονται ύψη βροχής της υγρής περιόδου, αντίστοιχες με τις βροχές της ξηρής περιόδου.

Στις γεωτρήσεις της Ηπείρου, η πτώση της στάθμης κυμαίνεται από 1-20 μέτρα και η μείωση των παροχών των μεγάλων καρστικών πηγών, κυμαίνεται στο 30%. Στην Πελοπόννησο παρατηρείται αντίστοιχη μείωση των βροχοπτώσεων και μεγάλες καρστικές πηγές έχουν στερέψει. Από τη Δυτική Μακεδονία έως τη Θράκη παρατηρείται αντίστοιχη μείωση των βροχοπτώσεων και η στάθμη των γεωτρήσεων που εκμεταλλεύονται υδροφόρους εμφανίζει πτώση από 20-50 μέτρα. Στη Στερεά Ελλάδα, η πτώση της στάθμης των καρστικών υδροφόρων κυμαίνεται από 5-8 μέτρα [20].

3.5.1.2 Άνοδος της στάθμης της θάλασσας

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας μπορεί να προκαλέσει αλλαγή της ροής του αλμυρού νερού εισβάλλοντας στους υπόγειους υδροφορείς. Όπως παρατηρείται και από το νόμο Ghyben-Herzberg το βάθος του γλυκού νερού (z) εξαρτάται από το h δηλαδή το ύψος του γλυκού νερού από το μέσο επίπεδο της θάλασσας. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε αύξηση του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας έχει σαν συνέπεια την μείωση της χωρητικότητας του γλυκού νερού στον υδροφόρο και τη μετατόπιση της διεπιφάνειας γλυκού και αλμυρού νερού προς τα πάνω.

3.5.1.3 Γεωλογικά αίτια

Στους παράκτιους καρστικοποιημένους υδροφορείς οι συνθήκες για την εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρισης είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους. Η δημιουργία καρστικών φαινομένων συνδέεται με την παρουσία πετρωμάτων τα οποία είναι ευδιάλυτα και αφήνουν ελάχιστο υπόλειμμα με αποτέλεσμα να διευρύνονται τα διάκενα με τη διάλυσή τους οπότε είναι δυνατή η κίνηση του νερού μέσω αυτών στο υπέδαφος. Τέτοια πετρώματα είναι οι εβαπορίτες, τα ανθρακικά, οι ηφαιστίτες, οι χαλαζίτες και οι υπερβασίτες.

Τα καρστικά πετρώματα που έχουν μεγάλη υδρογεωλογική σημασία για το Μεσογειακό χώρο είναι κυρίως τα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι και δολομίτες). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, καρστικοποιημένος υδροφόρος ονομάζεται ένας όγκος διαλυτού πετρώματος στο οποίο η ροή γίνεται κυρίως μέσα στα κανάλια διάλυσης, των οποίων το μέγεθος και η κατεύθυνση είναι ακανόνιστη. Η ροή μπορεί να είναι γραμμική, τυρβώδης ή/και να έχει τα χαρακτηριστικά ροής σε ανοικτό αγωγό. Η κίνηση του υπόγειου νερού μπορεί να προκαλέσει διάλυση του ασβεστόλιθου γύρω από τα υπάρχοντα κενά, με αποτέλεσμα την αύξηση του ανοίγματός τους και της υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφόρου. Όσον αφορά στα ρήγματα, λόγω της καρστικοποίησης αρκετά από αυτά μεγεθύνονται και μετατρέπονται σε κανάλια. Μέσω της διαδικασίας της διάλυσης, η δομή του καρστικοποιημένου υδροφόρου και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του μεταβάλλονται τόσο χωρικά όσο και χρονικά, με συνέπεια οι υδροφόροι αυτοί να χαρακτηρίζονται από μεγάλη ετερογένεια και ανισοτροπία.

Το κύριο χαρακτηριστικό των παράκτιων καρστικοποιημένων υδροφορέων είναι η στενή υδραυλική τους σχέση με το αλμυρό νερό και η άμεση επαφή του γλυκού με το αλμυρό νερό. Η εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρισης είναι δυνατόν να προκληθεί από κανάλια που καταλήγουν στον πυθμένα της θάλασσας ακόμα και σε μεγάλη απόσταση από την ακτή. Η άμεση σύνδεση του καρστικού συστήματος και της θάλασσας, οδηγεί σε μεγάλη διακύμανση της περιεκτικότητας των χλωριόντων στην υφάλμυρη ζώνη [6].

3.5.2 Ανθρωπογενή αίτια

Τα κύρια ανθρωπογενή αίτια που αποτελούν αφορμές ελάττωσης των υδραυλικών φορτίων των υπόγειων νερών αναλύονται παρακάτω

3.5.2.1 Υπεράντληση

Σε πολλές περιοχές, η υπεράντληση των υπόγειων υδάτων για την κάλυψη των τοπικών αναγκών σε ύδρευση και άρδευση, έχει ως αποτέλεσμα την πτώση του υδροφόρου ορίζοντα, την αύξηση του κινδύνου υποβάθμισης της ποιότητας του υπόγειου νερού και την παραγωγικότητα του εδάφους με υφαλμύρωση [21].

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Θεσσαλία όπου η αρδευόμενη έκταση αυξήθηκε κατά 46% σε σχέση με το 1980. Σύμφωνα με έρευνα του γεωπονικού Πανεπιστημίου, όσον αφορά το βαμβάκι στη Θεσσαλία, το νερό που χρησιμοποιείται υπερβαίνει κατά 21-35% τις πραγματικές ανάγκες για άρδευση. Όσον αφορά την καλλιέργεια καλαμποκιού, οι ποσότητες του νερού που χρησιμοποιούνται υπερβαίνουν το 38-48% των αναγκών, ενώ η πατάτα αρδεύεται με 57-67% περισσότερο νερό απ'ότι χρειάζεται [2].

Στον Αργολικό κάμπο η εντατική καλλιέργεια η οποία αυξήθηκε 300-400% σε σχέση με το 1950 καθώς και η αντικατάσταση των πολυκαλλιεργειών με μονοκαλλιέργειες που απαιτούσαν αυξημένη ποσότητα νερού, έχει οδηγήσει σε πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα κατά επτά μέτρα το χρόνο [22].

Επιπλέον η έντονη τουριστική ανάπτυξη, η κατασκευή μεγάλων ξενοδοχειακών συγκροτημάτων, μαρινών και λοιπών υδροφόρων δραστηριοτήτων έχει οδηγήσει σε εξάντληση και υφαλμύρωση πολλούς από τους υδροφορείς των παράκτιων περιοχών και ιδιαίτερος των νησιών.

Στα περισσότερα νησιά του Αιγαίου τα δεδομένα είναι γνωστά: μικρές υδρολογικές λεκάνες, μικρό ύψος βροχοπτώσεων, απουσία φυτοκάλυψης και το έντονο ανάγλυφο που δεν συγκρατούν το νερό έχει σαν αποτέλεσμα ο εμπλουτισμός των υδροφόρων να είναι περιορισμένος. Η παντελής έλλειψη ορθολογικής διαχείρισης των υπόγειων νερών έχει προκαλέσει σε σύντομο χρονικό διάστημα εκτεταμένη θαλάσσια διείσδυση με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του υπόγειου νερού. Το γεγονός αυτό έχει δημιουργήσει πολλά προβλήματα στα δίκτυα ύδρευσης, σε οικιακές συσκευές αλλά το κυριότερο είναι ότι η χρήση αυτού του νερού, γίνεται σχεδόν απαγορευτική για τους περισσότερους τομείς για τους οποίους προορίζεται. Οι γεωτρήσεις που έχουν γίνει σε ολόκληρη τη χώρα, υπερβαίνουν τις 170.000 κατ'εκτίμηση. Οι περιοχές με τις περισσότερες γεωτρήσεις για αγροτική χρήση είναι η Αργολίδα με 24.000 γεωτρήσεις, η Κορινθία, η Βοιωτία, η Άρτα, η Καρδίτσα, η Λάρισα και η Μαγνησία. Αντίστοιχα οι νομοί με τις περισσότερες γεωτρήσεις για αστική χρήση είναι η Αττική, η Θεσσαλονίκη, η Σύρος, η Πάρος, το Λασιθί και η Νάξος [23,2].

Να σημειωθεί ότι τα περισσότερα νησιά έχουν γίνει «σουρωτήρια», αλλά ειδικά στις Κυκλάδες είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι ιδιωτικές γεωτρήσεις είναι πολλαπλάσιες των δημοτικών. Συγκεκριμένα στην Πάρο, έχουν καταμετρηθεί 50 δημοτικές και 250 ιδιωτικές. Στην Τήνο, 30 δημοτικές και 150 ιδιωτικές και στη Σύρο οι 40 ιδιωτικές και οι τρεις μονάδες αφαλάτωσης ανταγωνίζονται τις 300 και πλέον ιδιωτικές γεωτρήσεις [24].

3.5.2.2 Παράνομες γεωτρήσεις

Η αδειοδότηση κάθε μορφής παροχής νερού έχει δεσμεύσει σε ότι αφορά την ποσότητα του νερού που πρέπει να αντλείται, καθώς και το υπόμετρο ασφαλείας κάτω από το οποίο δεν πρέπει να κατέβει η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου. Η περίοδος 1980-2000 ήταν και η πλέον επώδυνη, αφού τα έργα υδρομάστευσης υπολείπονται της αύξησης των αναγκών σε νερό άρδευσης.

Έχει ειδη αναφερθεί πιο πάνω ότι οι υπάρχουσες γεωτρήσεις είναι 31% περισσότερες από όσο αντέχει το υπόγειο νερό. Αυτό σημαίνει ότι κάθε τρία χρόνια περίπου αφαιρείται και ένας χρόνος, δηλαδή μετά από 10 χρόνια άντλησης ο υπόγειος υδροφόρος για να επανέλθει θα χρειαστεί 3 τουλάχιστον συνεχής χρόνια χωρίς καμία άντληση.

Στο σύνολο αυτών των γεωτρήσεων, θα πρέπει να προστεθεί και ένας μεγάλος αριθμός από 50.000 γεωτρήσεις, οι οποίες έχουν πολύ μικρή παροχή και ενίοτε περιοδική άντληση.

Μεγάλες υπερβάσεις σε αριθμό γεωτρήσεων σε σχέση με αυτές που μπορεί να αντέξει η περιοχή, έχουν γίνει στη Θεσσαλία με 320% περισσότερες γεωτρήσεις, στην Αττική με 260, στην Πελοπόννησο και τα νησιά του Αιγαίου με 200%. Μικρότερες υπερβάσεις έχουν γίνει στην Κεντρική και Δυτική Μακεδονία με ποσοστό 20 και 30% αντίστοιχα [25].

3.5.2.3 Οικιστική ανάπτυξη

Ο υδροφόρος ορίζοντας σε πολλές περιοχές (κυρίως αστικές) δεν εμπλουτίζεται πλέον. Η τσιμεντοποίηση και η ασφαλτοποίηση των μεγάλων πολεοδομικών συγκροτημάτων, η στεγανοποίηση των ρεμάτων και των κοιτών των χειμάρρων είναι μόνο ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα. Υπολογίζεται ότι στα μεγάλα πολεοδομικά συγκροτήματα η τροφοδοσία του υδροφόρου ορίζοντα από επιφανειακά νερά έχει μειωθεί ακόμη και κατά 80% [26].

3.5.2.4 Εγγειοβελτιωτικά έργα και αποστράγγιση

Η ταπείνωση της υδροστατικής στάθμης εφαρμόζεται σε περιοχές με λίμνες, λιμνοθάλασσες ή έλη κατά μήκος της ακτής με στόχο τη δημιουργία νέα γης για διάφορους σκοπούς όπως γεωργία, βιομηχανία ή κατασκευή κατοικιών. Τα εγγειοβελτιωτικά έργα και η αποστράγγιση συχνά περιλαμβάνουν την ταπείνωση και τον έλεγχο της υδροστατικής στάθμης του υπόγειου νερού σε μεγάλες περιοχές. Οι δραστηριότητες αυτές προκαλούν μεγάλες αλλαγές στο υπόγειο υδατικό καθεστώς, καθώς το υπόγειο νερό (γλυκό, αλμυρό αλλά και υφάλμυρο) ρέει προς τις δημιουργούμενες ταπεινώσεις της υδροστατικής στάθμης με τους μηχανισμούς διήθησης και με πολύ αργούς ρυθμούς, έτσι ώστε απαιτείται περίοδος πολλών ετών, μέχρι να αρχίσει το πρόβλημα να παίρνει σοβαρές διαστάσεις.

Η διήθηση αυτή μπορεί αργά ή γρήγορα να γίνει αλμυρή διαδικασία που εξαρτάται από το επίπεδο της ελεγχόμενης υδροστατικής στάθμης του υπόγειου νερού, τις υδρολογικές σταθερές, τις οριζόντιες διαστάσεις της περιοχής με την ελεγχόμενη υδροστατική στάθμη και την απόστασή της από την ακτογραμμή. Οι επιπτώσεις από τις αλλαγές αυτές, όσον αφορά στην κατανομή του γλυκού και αλμυρού υπόγειου νερού, μπορεί να είναι λιγότερο ή περισσότερο ισοδύναμες με εκείνες από τις απολήψεις από μεγάλα πεδία γεωτρήσεων [17].

3.6 Υπολογισμός απαιτούμενου χρόνου απόπλυσης υφάλμυρων φακών

Για την εκτίμηση του απαιτούμενου χρόνου για την αποκατάσταση υφάλμυρου υδροφορέα είναι απαραίτητη η γνώση της Ικανότητας Κατιοντικής Ανταλλαγής (CEC) του πορώδους μέσου εκφρασμένου σε $meq/100gr$, το φαινόμενο ειδικό βάρος ρ , το πορώδες του υδροφόρου ϵ , το πάχος του υδροφόρου b , η κατείσδυση από τις βροχοπτώσεις σε mm/yr και οι συγκεντρώσεις των ιόντων Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} . Καταρχήν υπολογίζεται το περιεχόμενο νερό σε m , στη μοναδιαία στήλη του πορώδους μέσου που έχει ύψος το πάχος του υδροφόρου. Αυτή η μονάδα θα αποκαλείται εφεξής "πορώδης όγκος" του μέσου, όπου $V=b*\epsilon$ (3.21). Στη συνέχεια εκτιμάται ο ρυθμός κατείσδυσης I σε mm/yr . Ο χρόνος αντικατάστασης του υφάλμυρου νερού δίνεται από τη σχέση V/I σε χρόνια. Ο χρόνος αυτός είναι ο χρόνος αντικατάστασης του νερού των πόρων που περιέχεται σε έναν "πορώδη όγκο" V από το γλυκό νερό, δοθέντος ότι το Cl^- είναι αδρανές και συνεπώς απομακρύνεται πλήρως. Έτσι το νερό από $Na-Cl$ μεταπίπτει μετά από χρόνο $b\epsilon/I$ σε $Na-HCO_3$.

Μετά την απομάκρυνση μαζί με το υφάλμυρο νερό και των ανιόντων, δηλαδή των Cl^- αρχίζει η απομάκρυνση των ανταλλάξιμων κατιόντων. Αρχικά αντικαθίσταται το Na^+ και όταν εξαντληθεί αυτό απομακρύνεται και το Mg^{2+} αντικαθιστάμενο και αυτό από Ca^{2+} , δηλαδή ο τύπος του νερού περνά διαδοχικά από $Mg-HCO_3$ σε $Ca-HCO_3$, οπότε πλέον έχει αποκατασταθεί ο υδροφόρος πλήρως. Η χρονική διάρκεια για την ανταλλαγή των Na^+ , Mg^{2+} με Ca^{2+} δεν είναι παρά ο λόγος της ποσότητας των ανταλλάξιμων κατιόντων που περιέχει το υφάλμυρο νερό δηλαδή Na^+ και Mg^{2+} προς την ποσότητα του Ca^{2+} που περιέχεται στο βρόχινο νερό ή στο νερό του τεχνητού εμπλουτισμού, πολλαπλασιαζόμενος επί τον χρόνο που απαιτείται για την αντικατάσταση του υφάλμυρου νερού του πορώδους όγκου του μέσου.

Για τον υπολογισμό των ανταλλάξιμων κατιόντων στο πορώδες μέσο γίνεται και πάλι χρήση του V . Με δοσμένο το φαινόμενο ειδικό βάρος ρ υπολογίζεται το βάρος του ιζήματος της στήλης ($V\rho$ σε gr/cm^3). Δυστυχώς η κατιοντική ανταλλακτική ικανότητα των πορώδων μέσων ποικίλει ευρέως ανάλογα με τη σύσταση του πορώδους μέσου και ιδιαίτερα με την εκατοστιαία συμμετοχή σε αυτό αργίλου και οργανικού άνθρακα κατά κύριο λόγο και δευτερευόντως των οξειδίων και υδροξειδίων. Υπολογίζεται ακολούθως το κλάσμα του ανταλλάξιμου Na^+ που βρίσκεται σε ισορροπία με το υφάλμυρο νερό από την εξίσωση :

$$\beta_{Na}^2 \left\{ \frac{[Ca^{2+}]}{(K_{Na/Ca}*[Na^+])^2} + \frac{[Mg^{2+}]}{(K_{Na/Mg}*[Na^+])^2} \right\} + \beta_{Na} = 1 \quad (3.21)$$

με την παραδοχή ότι οι ενεργότητες είναι ίσες με τη συγκέντρωση αντίστοιχα των Na^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} . Για τον υπολογισμό αυτό, απαιτείται η χρησιμοποίηση των τιμών των συντελεστών ανταλλαξιμότητας των κατιόντων σε σχέση με το Na, οι οποίες είναι $K_{\text{Na}/\text{Ca}} = 0,4$ και $K_{\text{Na}/\text{Mg}} = 0,5$. Έτσι υπολογίζεται η περιεκτικότητα της στήλης του ιζήματος σε Na-I. Υπολογίζονται με αυτόν τον τρόπο αρχικά τα meq του Ca^{2+} που φέρνει κάθε χρόνο το νερό εμπλουτισμού του υδροφόρου. Διαιρώντας ακολούθως ολόκληρη την ποσότητα του ανταλλάξιμου Na^+ (σε meq) με την πιο πάνω ποσότητα του ανταλλάξιμου Ca^{2+} προκύπτει ο χρόνος T_{Na} που απαιτείται για την απόπλυση όλου του ανταλλάξιμου Na. Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται ο χρόνος T_{Mg} απόπλυσης όλου του ανταλλάξιμου Mg. Ο συνολικός χρόνος $T_{\text{ολ}}$ που απαιτείται για την πλήρη απορρύπανση του υδροφόρου είναι το άθροισμα

$$T_{\text{ολ}} = T_{\text{Cl}} + T_{\text{Na}} + T_{\text{Mg}} \quad (3.22)$$

Αυτονόητο είναι ότι για να επιτευχθεί η απορρύπανση, θα πρέπει να διακοπεί η άντληση των υδροφόρων, ώστε να διακοπεί η προσφορά Cl^- και Na^+ στον υδροφόρο. Σημειώνεται ότι η αυξημένη προσφορά ανταλλάξιμου Ca^{2+} μέσω του τεχνητού εμπλουτισμού μπορεί να επιταχύνει την απορρύπανση δεδομένου ότι ο ρυθμός της τελευταίας είναι συνάρτηση του ρυθμού εισόδου στον υδροφόρο ανταλλάξιμου Ca^{2+} [16].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ

4.1. Εισαγωγή

Ο έλεγχος της θαλάσσιας διείσδυσης απαιτεί ικανοποιητική γνώση των υδραυλικών συνθηκών του υδροφόρου και της πηγής του αλμυρού νερού. Η γνώση της έκτασης ενός προβλήματος υφαλμύρωσης και η εκτίμηση της συμπεριφοράς του αλμυρού νερού κάτω από διαφορετικές συνθήκες εμπλουτισμού και εκφόρτισης είναι αναγκαία έτσι ώστε να είναι αποτελεσματική η διαχείριση του προβλήματος. Η βέλτιστη λύση στο πρόβλημα της θαλάσσιας διείσδυσης είναι η παρεμπόδιση της με τη ρύθμιση του υδροφόρου, ώστε η σφήνα του θαλάσσιου νερού (πόδι της διεπιφάνειας) να ελέγχεται σε έναν αποδεκτό βαθμό. Όμως, σε πολλές περιπτώσεις το πρόβλημα αποτελεί "κληρονόμημα" του παρελθόντος και η προσπάθεια δεν μπορεί παρά να επικεντρωθεί στην ελαχιστοποίηση της περαιτέρω θαλάσσιας διείσδυσης ή/και στη μείωση της έκτασης του υφιστάμενου αλμυρού νερού. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο υδροφόρος μπορεί να είναι ρυπασμένος σε τέτοιο βαθμό, ώστε η ανάκτησή του να μην μπορεί να είναι εφικτή κάτω από συνθήκες τεχνητού εμπλουτισμού. Στις περιπτώσεις αυτές η εγκατάλειψη της χρήσης του υδατικού πόρου για ύδρευση είναι η μόνη λύση, παρά το γεγονός ότι το νερό μπορεί να χρησιμοποιείται ακόμη σε ορισμένες βιομηχανικές και γεωργικές εφαρμογές. Στην περίπτωση που πολλά βαθιά υδροφόρα συστήματα αποτελούνται από επάλληλους υδροφόρους σε εναλλαγές με βραδυυδροφόρα, τότε οι βαθύτεροι αυτοί υπό πίεση υδροφόροι αξιοποιούνται συχνά όταν οι ανώτεροι υδροφόροι έχουν ρυπανθεί από θαλάσσια διείσδυση. Όμως εδώ εγκυμονεί ο κίνδυνος διαρροής από τον υπερκείμενο υδροφόρο, καθώς αυξάνουν οι διαφορές στο υδραυλικό φορτίο. Μια δυναμική απειλή για την ποιότητα του νερού στον υποκείμενο υδροφόρο εμφανίζεται στις περιπτώσεις εκείνες που οι γεωτρήσεις χαρακτηρίζονται από κακοτεχνίες. Οι γεωτρήσεις αυτές μπορεί να παρέχουν μια διαδρομή μεταβίβασης αλμυρού νερού από τον υπερκείμενο προς τον υποκείμενο υδροφόρο.

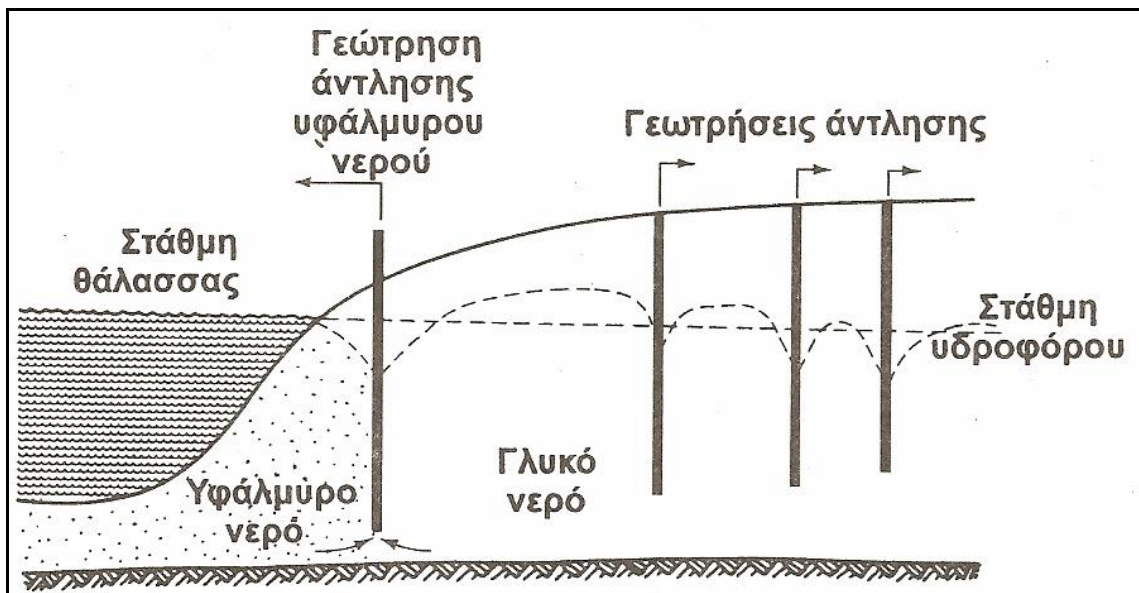
Οι μέθοδοι ελέγχου της θαλάσσιας διείσδυσης συνήθως έχουν εφαρμοστεί ή μελετηθεί σοβαρά μόνο σε περιοχές όπου οι υπεραντλήσεις του νερού προκάλεσαν την πτώση της στάθμης των υδροφόρων κάτω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας. Σε πολλές περιοχές με σοβαρές υπεραντλήσεις, οι υδροφόροι δεν έχουν ακόμα απολέσει την ιδιότητά τους ως πηγές νερού και αυτό οφείλεται στην πολύ μικρή ταχύτητα κίνησης του αλμυρού νερού. Οι υπεύθυνοι φορείς των περιοχών αυτών βέβαια πρέπει να λύσουν το πρόβλημα, γιατί αν το αλμυρό νερό εισβάλλει στον υδροφόρο τότε απαιτούνται εκατοντάδες χρόνια για την επαναφορά του υδροφόρου στα επίπεδα εκείνα πριν την εκμετάλλευσή του.

Διάφοροι φραγμοί ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρεμπόδιση ή την επιβράδυνση της θαλάσσιας διείσδυσης μέσα στον υδροφόρο, και περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

4.2. Φραγμοί άντλησης

Οι φραγμοί ή κοιλώματα άντλησης δημιουργούνται από συνεχείς αντλήσεις κατά μήκος μιας γραμμής γεωτρήσεων πολύ κοντά στη ακτογραμμή, με αποτέλεσμα το γλυκό νερό να ρέει προς τη θάλασσα. Το αντλούμενο νερό είναι υφάλμυρο και ρίχνεται στη θάλασσα (Σχήμα 4.1).

Φραγμοί άντλησης έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες περιοχές για να παρεμπόδισουν ή να μειώσουν τη θαλάσσια διείσδυση. Το 1965 κατασκευάστηκε ένας φραγμός άντλησης μήκους 0,8 Km στον υδροφόρο Oxnard, στην Oxnard Plain, Ventura Country των ΗΠΑ, από το California Department of Water Resources. Ο πειραματικός αυτός φραγμός αποτελούμενος από 5 γεωτρήσεις σταμάτησε να λειτουργεί το 1968 εξαιτίας της διάβρωσης και επειδή αποδείχθηκε αναποτελεσματικός στην παρεμπόδιση της θαλάσσιας διείσδυσης. Οι φραγμοί αυτού του τύπου μπορεί να αντλήσουν και γλυκό νερό γι' αυτό θα πρέπει να αποφεύγεται σε περιοχές που το γλυκό νερό σπανίζει [11].



Σχήμα 4.1: Δημιουργία υδραυλικής τάφρου με άντληση υφάλμυρου νερού η οποία εμποδίζει τη θάλασσα διείσδυση [23]

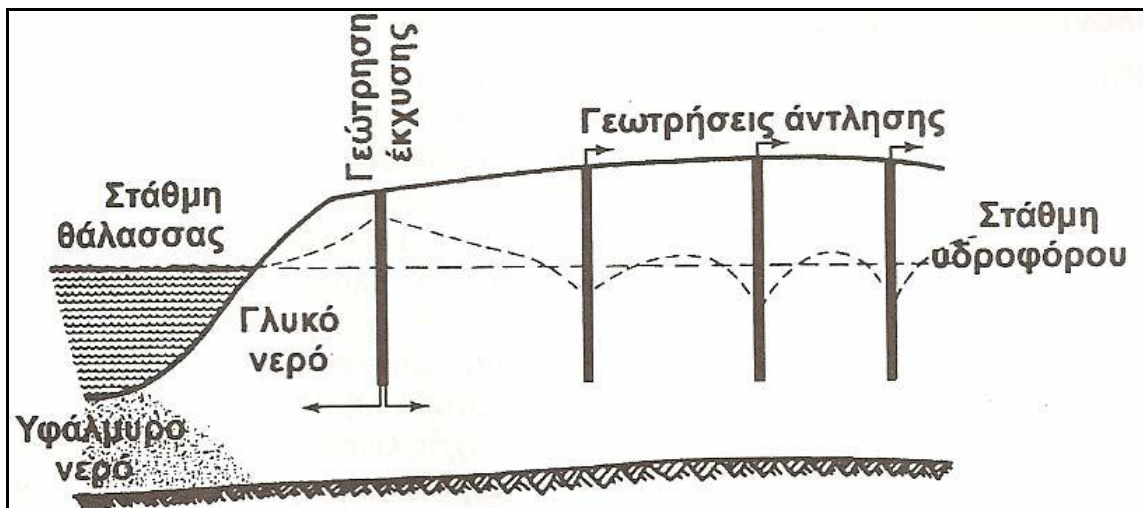
Οι Kashef το 1977 και ο Stone το 1978 θεώρησαν ότι η διείσδυση της θάλασσας μπορεί τεχνικά να ελεγχθεί με τη μέθοδο αυτή, αλλά γενικά είναι πιο δαπανηρή από τους φραγμούς εμπλουτισμού (έγχυσης). Στις περισσότερες περιοχές όπου μελετήθηκε η δυνατότητα εφαρμογής των μεθόδων αυτών, φάνηκε ότι οι φραγμοί άντλησης δεν είναι εφαρμόσιμοι από οικονομικής πλευράς. Παρόλα αυτά σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί η εφαρμογή τους να είναι οικονομικά συμφέρουσα, όπως σε χώρους απόθεσης επικίνδυνων αποβλήτων ή σε παράκτιο υδροφόρο με σχετικά περιορισμένη επικοινωνία με τη θάλασσα. Το κύριο πρόβλημα είναι ότι οι αντλήσεις προκαλούν σημαντική πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού σε όλη την υδρογεωλογική λεκάνη, με αποτέλεσμα το κόστος άντλησης να αυξάνεται συνεχώς ή κάποιες γεωτρήσεις να στερεύουν ή την ενεργοποίηση της κατακόρυφης κίνησης αλμυρού νερού προς το γλυκό νερό.

4.2 Φραγμοί εμπλουτισμού (έγχυσης) γλυκού νερού

Οι Φραγμοί εμπλουτισμού σχηματίζονται από γεωτρήσεις εμπλουτισμού ή έγχυσης (*injection well*) με σκοπό τη διατήρηση ενός υβώματος πίεσης κατά μήκος της ακτογραμμής. Εδώ γλυκό νερό εγχέεται μέσα στον υδροφόρο με τη βοήθεια μιας γραμμής γεωτρήσεων παράλληλα προς την ακτή, αφού το νερό εμπλουτισμού ρέει τόσο προς την ενδοχώρα όσο και προς τη θάλασσα (Σχήμα 4.2). Το δημιουργούμενο ύβωμα προστατεύει τον υδροφόρο από τη θάλασσα διείσδυση. Ο κατάλληλος σχεδιασμός των αποστάσεων μεταξύ των γεωτρήσεων και η επιλογή των θέσεων θα διασφαλίσει ότι το νερό της θάλασσας δεν θα βρει διέξοδο μεταξύ των φραγμών για να διεισδύσει ή να κινηθεί κατακόρυφα. Γενικά απαιτείται μεγάλος αριθμός γεωτρήσεων, που έχουν υψηλό κόστος συντήρησης και το πιο σημαντικό μια πηγή γλυκού νερού υψηλής ποιότητας.

Ο σχεδιασμός και ο τρόπος κατασκευής των γεωτρήσεων εμπλουτισμού εξαρτώνται από τις ιδιαίτερες συνθήκες της θέσης της γεώτρησης, το χαλικόφιλτρο, την πάκτωση με υδαρές τσιμέντο γύρω από τον περιφραγματικό και την αντλία. Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι υψηλής ποιότητας για να μειώνει τη συχνότητα απόφραξης, να αυξάνει την περίοδο λειτουργίας της γεώτρησης και να μειώνει το κόστος καθαρισμού. Επιπροσθέτως η χλωρίωση του νερού εμπλουτισμού προστατεύει τους σωλήνες εμποδίζοντας τις δυναμικές διαρροές και μειώνει τη βιορύπανση (βιοαπόφραξη) των σχηματισμών.

Η γεώτρηση εμπλουτισμού, όταν υπάρχει απόφραξη και η στάθμη του νερού εμπλουτισμού υπερβαίνει τα αποδεκτά επίπεδα, πρέπει να υποβάλλεται στη διαδικασία της επανανάπτυξης ανά τριετία. Έτσι αποκαθίσταται η αποτελεσματικότητα της γεώτρησης και αυξάνεται η ειδική της ικανότητα. Επίσης η πίεση έγχυσης του νερού εμπλουτισμού στο σωλήνα πρέπει να παρακολουθείται και να ελέγχεται προσεκτικά για να εμποδίζονται οι διακυμάνσεις της στάθμης που θα μπορούσαν να διακόψουν τη συνέχεια του χαλικόφιλτρου ή ακόμη και προκαλέσουν βλάβες στην ίδια τη γεώτρηση [23].

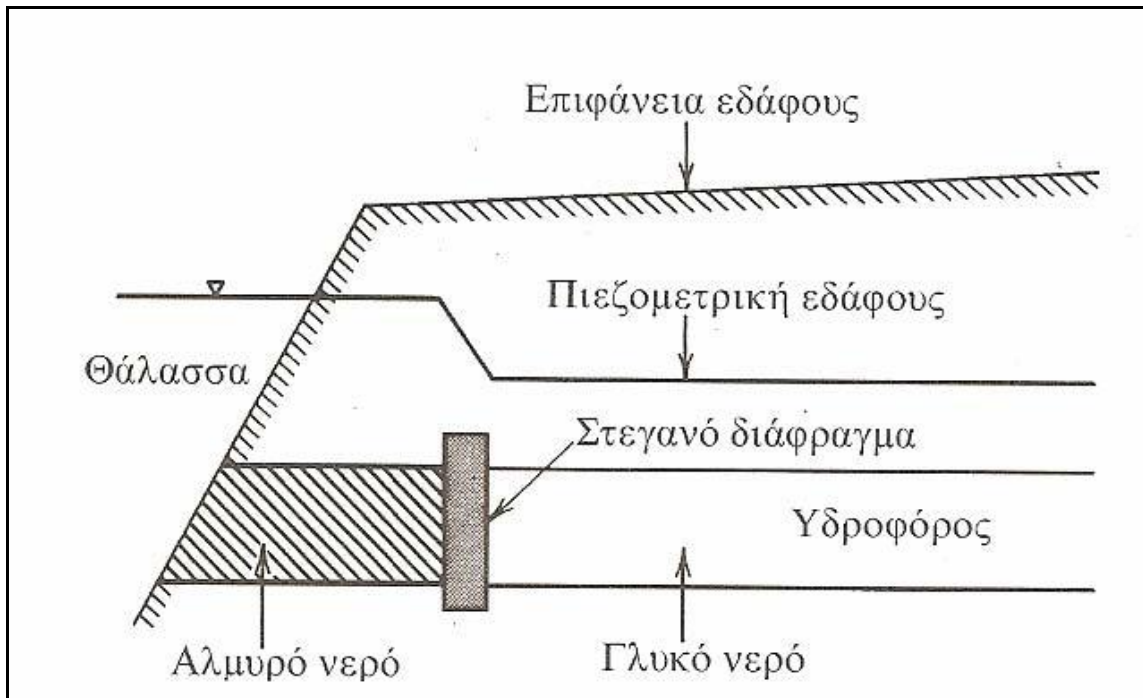


Σχήμα 4.2 : Δημιουργία υδραυλικού φραγμού με τεχνητό εμπλουτισμό για την πρόληψη αλμύρινης παράκτιου υδροφόρου [23]

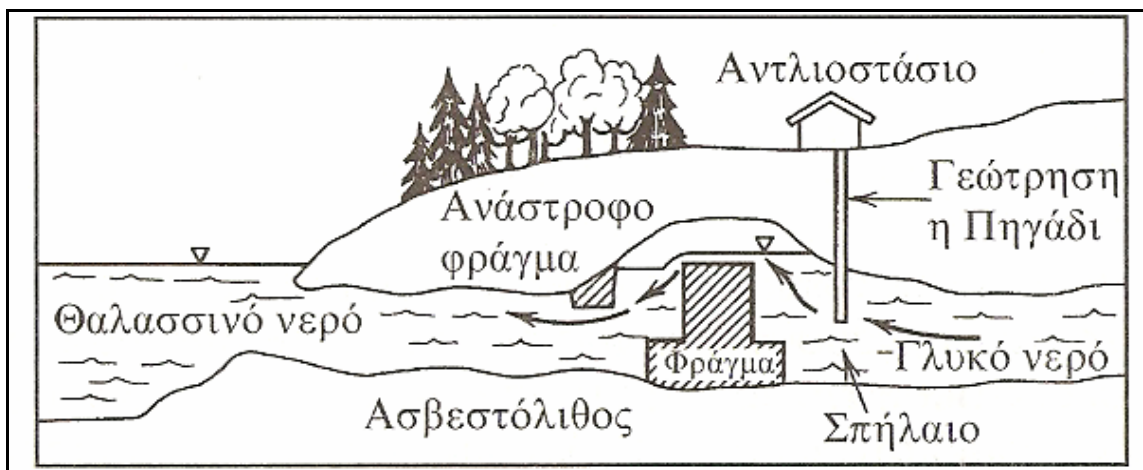
Το νερό εμπλουτισμού εγχέεται στις γεωτρήσεις με πίεση μεμονωμένα ή και σε μικρές ομάδες γεωτρήσεων ταυτόχρονα, έτσι ώστε να εμποδίζεται η πλήρης υποχώρηση του φορτίου του υβώματος παρεμπόδισης σε περιπτώσεις αιφνίδιας διακοπής της λειτουργίας μιας γεώτρησης, που μπορεί να οφείλεται σε ατύχημα, κακή λειτουργία ή σε απεργίες. Θα πρέπει να κατασκευάζονται γεωτρήσεις ελέγχου πλησίον της γραμμής του φραγμού εμπλουτισμού για να παρακολουθούνται τα επίπεδα της στάθμης του υπόγειου νερού. Αυτό θα επέτρεπε τον ακριβή προσδιορισμό των ποσοτήτων του νερού εμπλουτισμού για να παρεμποδιστεί η θαλάσσια διείσδυση. Όταν χρησιμοποιούνται γεωτρήσεις εμπλουτισμού για τον έλεγχο της θαλάσσιας διείσδυσης, η θέση σχηματισμού του υδραυλικού φραγμού θα πρέπει να προσδιορίζεται κοντά στο άκρο της αλμυρής σφήνας. Τα κριτήρια ποιότητας του νερού εμπλουτισμού θα πρέπει να τίθενται με βάση τα κύρια και δευτερεύοντα σταθερότυπα του πόσιμου νερού, όπως γίνεται στις ΗΠΑ. Οι παράμετροι που εξετάζονται στο νερό εμπλουτισμού στις ΗΠΑ είναι οι ακόλουθες: οι πτητικές οργανικές ενώσεις, όπως βρωμοφόρμιο, χλωροφόρμιο, διβρωμοχλωρομεθάνιο, οι χημικές παράμετροι Cl, Ph, Ca, Mg, TDS, Na, K, θειικά κ.α. Η κατασκευή του φραγμού εμπλουτισμού της Los Angeles Flood District κόστισε από το 1953 έως το 1973, 20 εκατομμύρια \$, μη συμπεριλαμβανομένου του κόστους αγοράς του νερού εμπλουτισμού και της τιμαριθμικής αναπροσαρμογής. Το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας του φραγμού, μήκους 32 Km ήταν κατά προσέγγιση 1,5 εκατομμύριο \$ την περίοδο 1978-1980, ενώ το ετήσιο κόστος του φιλτραρισμένου νερού ήταν 0,086 \$/ m³ νερού. Το μέσο λειτουργικό κόστος για την περίοδο 1978-1980 ήταν 44.000 \$ ανά Km (6 γεωτρήσεις ανά Km), δηλαδή 7.000 \$ ανά γεώτρηση για μια υπολογισμένη έγχυση ανά ημέρα της τάξης των 3,8 x 10⁵ m³ νερού. Το λειτουργικό κόστος εξαρτάται από το μήκος του φραγμού, τη γεωμετρία και τις φυσικές ιδιότητες του υδροφόρου, τις διαφορές στα επίπεδα της στάθμης του υδροφόρου σχετικά με το μέσο επίπεδο της θάλασσας και τους όγκους του εγχέομένου νερού [23].

4.4. Τεχνητοί υπόγειοι φραγμοί

Η δημιουργία τεχνητών υπόγειων φραγμών, σε όλη την έκταση του υδροφόρου και παράλληλα προς την ακτογραμμή, περιλαμβάνει την κατασκευή κουρτίνας από πασσαλοσανίδες ή την κατασκευή τάφρων από άργιλο ή την έγχυση αδιαπέρατων υλικών μέσω γεωτρήσεων όπως μπετονίτη, υδατοστεγανή άργιλο και ρευστοκονίαμα από τσιμέντο (Σχήματα 4.3 και 4.4).



Σχήμα 4.3 : Αντιμετώπιση θαλάσσιας διείσδυσης με την κατασκευή στεγανού υπόγειου διαφράγματος, παράλληλο στη ακτή [23]



Σχήμα 4.4 : Σχηματικό διάγραμμα ενός υπόγειου διαφράγματος για την παρεμπόδιση ανάμιξης γλυκού και αλμυρού νερού [23]

Ο Kashef δηλώνει ότι, παρά τη τεχνική αρτιότητα των μεθόδων κατασκευής τους το κόστος είναι συνήθως πάρα πολύ υψηλό, επειδή το απαιτούμενο βάθος είναι μεγάλο. Ακόμα και στις περιπτώσεις των ανώτερων στρωμάτων όπου το κόστος μπορεί να μην είναι απαγορευτικό, μπορεί να έχουμε πλημμύρισμα παράκτιων χαμηλών περιοχών πίσω από το φραγμό. Το μοναδιαίο κόστος του για τοίχια από υδαρό κονίαμα κυμαίνεται μεταξύ 20 και 40 \$ / m³. Το κόστος σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από το βάθος της εκσκαφής, το μήκος του τοιχίου και το κόστος των διαθέσιμων υλικών. Φραγμοί τέτοιου είδους απαιτούν εκσκαφή μέχρι το στεγανό υπόβαθρο για να είναι αποτελεσματικοί. Τα αδιαπέρατα τοίχια μπορεί να είναι 100 % αποτελεσματικά αλλά στην πράξη πάντα υπάρχουν κενά στην κατασκευή τους επίσης είναι ευπαθή στους σεισμούς και τη χημική διάβρωση [11].

4.5. Βιολογικοί φραγμοί

Η χρήση καινοτόμων τεχνολογιών για την παρεμπόδιση του μετώπου της θαλάσσιας διείσδυσης η οποία απειλεί τις παροχές πόσιμου νερού των παράκτιων κοινοτήτων, είναι απαραίτητη. Εργαστηριακές μέθοδοι έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου στα πορώδη μέσα από τον James το 2000. Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια διαδικασία επιλεκτικής απόφραξης των πόρων μιας διαπερατής στρώσης με

μικροβιακά μικροφίλμ. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την ανάπτυξη βακτηριακών μικροφίλμ, που μέσω της παραγωγής υπερκυτταρικών πολυμεροειδών ουσιών, φράζουν τις οπές της πορώδους μάζας. Αυτοί οι μικροβιακοί φραγμοί μπορούν να οδηγήσουν στην παρεμπόδιση της θαλάσσιας διείσδυσης μέσω της μείωσης της υποεπιφανειακής υδραυλικής αγωγιμότητας και να αναβαθμίσουν για το λόγο αυτό τις στρατηγικές ελέγχου με εμπλουτισμό. Για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε ένα δοκιμαστικό στρώμα εύρους 39,62 m, μήκους 54,86 m και βάθους 6,1 m, το οποίο αποτέλεσε έναν τεχνητό υδροφόρο. Ο σχηματισμός του φραγμού από μικροφίλμ άρχισε με την εισαγωγή βακτηρίων και διαλυμάτων με θρεπτικές ουσίες με γεωτρήσεις έγχυσης και ακολουθήθηκε ένα πρωτόκολλο που αυξάνει τη μεταφορά και την επιβίωση των βακτηρίων στο υπέδαφος. Η μέση υδραυλική αγωγιμότητα μειώθηκε πλησίον του βιοφίλμ από $2,1 \times 10^{-2}$ στο $1,3 \times 10^{-4}$ cm/sec, μια μείωση της τάξης του 99,4 %.

Μία λεπτομερής οικονομική ανάλυση πραγματοποιήθηκε για την εγκατάσταση ενός φραγμού από βιοφίλμ σε έναν παράκτιο υδροφόρο των δυτικών ΗΠΑ. Σήμερα η διείσδυση της θάλασσας ελέγχεται με γεωτρήσεις εμπλουτισμού, όπου αφού εξετάστηκαν όλα τα δεδομένα, προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι τρέχουσες απαιτήσεις άντλησης γλυκού νερού θα μπορούσαν να μειωθούν κατά τουλάχιστον 50% χωρίς να διακοπεί η συνεχής παροχή νερού. Η εγκατάσταση και η συντήρηση του φραγμού θα κόστιζε 5,3 εκατομμύρια \$ και θα επέφερε μειωμένο κόστος απόληψης νερού περισσότερο από 1,3 εκατομμύρια \$ ετησίως. Αντίθετα, η απόδοση της επένδυσης με τη χρήση γεωτρήσεων εμπλουτισμού είναι της τάξης του 24 % για μια περίοδο 30 ετών, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το πρόσθετο κόστος νερού και άντλησης. Όλα αυτά δείχνουν ότι η εφαρμογή των φραγμών με την τεχνολογία των βιοφίλμ μπορεί να είναι οικονομικά πολύ ελκυστική. Ένας αποτελεσματικός φραγμός από βιοφίλμ μπορεί να εγκατασταθεί σε πραγματικές συνθήκες, με σοβαρά πλεονεκτήματα, αφού δεν χρειάζεται εκσκαφές και επομένως έχουν χαμηλό κόστος εγκατάστασης, δεν υπάρχουν περιορισμοί στο βάθος, ενώ οι παραδοσιακοί υπόγειοι φραγμοί δεν είναι οικονομικά εφαρμόσιμοι σε βάθος μεγαλύτερο των 6 m.

4.6. Έλεγχος αντλήσεων

Στην περίπτωση που ο υδροφόρος υπέρκειται ενός αλμυρού ρευστού, η άνοδος του αλμυρού ρευστού μπορεί να περιοριστεί με τον κατάλληλο σχεδιασμό και λειτουργία των γεωτρήσεων. Οι γεωτρήσεις θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν αβαθείς και να αντλούνται με μικρές ομοιόμορφες παροχές. Ένα σύστημα πολλαπλών γεωτρήσεων με μικρές επί μέρους παροχές θα ήταν προτιμότερο από μια γεώτρηση υψηλής παροχής. Μία εναλλακτική μέθοδο αποτελεί η κατασκευή μιας στοάς διήθησης, δηλαδή μιας οριζόντιας γεώτρησης, η οποία βοηθά στη μείωση της ανοδικής κίνησης του αλμυρού νερού που είναι αποτέλεσμα υπεράντλησης από μια κατακόρυφη γεώτρηση. Οι ρυθμοί των απολήψεων μπορούν να μειωθούν όταν η ζήτηση σε νερό μειώνεται. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη λήψη μέτρων όπως :

- Πληροφόρηση του ευρύτερου κοινού και του τομέα της βιομηχανίας για την ανάγκη οικονομίας στο νερό και αν είναι αναγκαίο απαγόρευση ορισμένων χρήσεων.
- Μείωση των απωλειών από συστήματα μεταφοράς και διάθεσης του νερού οι οποίες μπορεί να είναι σημαντικές
- Ανακύκλωση του νερού βιομηχανικών διαδικασιών μετά από κατάλληλη επεξεργασία πριν από τις διαδοχικές χρήσεις.
- Επαναχρησιμοποίηση υποβαθμισμένων σε ποιότητα νερών, μετά από κάποια επεξεργασία, για άλλες χρήσεις όπως ψύξη, άρδευση και έγχυση στο υπέδαφος για τη διατήρηση ενός φραγμού παρεμπόδισης της θαλάσσιας διείσδυσης.
- Μείωση των απαιτήσεων σε νερό άρδευσης μέσω της επιλογής μη υδροβόρων καλλιεργειών και εφαρμογή τεχνικών άρδευσης, με μικρή κατανάλωση σε νερό, όπως η στάγδην άρδευση και η επένδυση των καναλιών [23].

4.7. Ανακατανομή αντλήσεων

Η επανατοποθέτηση των γεωτρήσεων άντλησης στην ενδοχώρα μπορεί να βοηθήσει στην αποκατάσταση της εκροής του γλυκού υπόγειου νερού. Σύμφωνα με τους Headworth και Fox το 1986, μερικά σχέδια μείωσης των επιπτώσεων της θαλάσσιας διείσδυσης χρησιμοποιούν δύο ομάδες γεωτρήσεων, η μία στην ενδοχώρα και η άλλη πλησίον της ακτής. Οι παράκτιες γεωτρήσεις αντλούνται σε περιόδους με υψηλές

στάθμες υπόγειου νερού ενώ οι γεωτρήσεις της ενδοχώρας χρησιμοποιούνται σε περιόδους με χαμηλές στάθμες υπόγειου νερού.

4.8. Τροποποιημένα σχέδια αντλήσεων

Είναι φανερό ότι ιδιαίτερα στους υπό πίεση υδροφόρους, η θέση μιας γεώτρησης πιο κοντά στην ενδοχώρα είναι πιο επιθυμητή από μια θέση κοντά στην ακτή και αυτό επειδή το πάχος του γλυκού φακού είναι σημαντικά μεγαλύτερο και ο κίνδυνος της ανοδικής κίνησης αλμυρού νερού είναι μικρότερος. Η τοποθέτηση των υδρομαστευτικών έργων στην ενδοχώρα επιτρέπει περαιτέρω προώθηση της αλμυρής σφήνας μέχρι την τελική σταθερή θέση της. Έτσι που να επιτρέπει μικρότερο μεν ρυθμό συνεχόμενων αντλήσεων, αλλά και ελαχιστοποίηση του κινδύνου περαιτέρω διείσδυσης της αλμυρής σφήνας. Σε φρεάτιους υδροφόρους νησιών, τα υδρομαστευτικά έργα πρέπει να τοποθετούνται σε τόσο μικρή απόσταση από την ακτογραμμή, ώστε να γίνεται απόληψη της μέγιστης δυνατής ποσότητας από τον εμπλουτισμό του υδροφόρου πριν την εκροή της ποσότητας αυτής στην ακτογραμμή. Επίσης δεν θα πρέπει η απόσταση αυτή να είναι τόσο μικρή ώστε το πάχος του υδροφόρου να είναι πολύ μικρό δημιουργώντας έτσι κινδύνους για ανοδική κίνηση του αλμυρού νερού. Η τοποθέτηση των υδρομαστευτικών έργων πιο μακριά από την ακτή, προς την ενδοχώρα, θα οδηγούσε μικρότερο διαθέσιμο όγκο γλυκού νερού, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν απόθεμα για περιόδους ξηρασίας. Για ελεύθερους ή υπό πίεση υδροφόρους με καθεστώς μέτριων αντλήσεων, μπορεί να σχεδιαστεί συντονισμένη παύση των αντλήσεων σε ορισμένες γεωτρήσεις.

Συγκεκριμένα θα μπορούσε να εφαρμοστεί λογική έκδοση αδειών ανόρυξης νέων γεωτρήσεων ή νέα σχήματα επιφανειακής κατανομής των αντλήσεων. Το κόστος μιας τέτοιας ενέργειας θα μπορούσε να είναι μεγάλο επειδή εγκαταλείπονται παλιές γεωτρήσεις, που όμως ακόμη λειτουργούν. Σύμφωνα με τον Stone το κόστος εξαρτάται από την ιδιαίτερη περίπτωση και στην Oxnard Plain για ένα δεδομένο σχέδιο το κόστος κεφαλαίου ανέρχεται στα 10 εκατομμύρια \$, με ετήσιο λειτουργικό κόστος το 1980 τις 180.000 \$. Ένα τροποποιημένο σχέδιο άντλησης θα επέτρεπε την επαναφορά της στάθμης του υπόγειου νερού σε φυσικά επίπεδα σε επικίνδυνες περιοχές, κάτι που θα επιβράδυνε την προώθηση του αλμυρού μετώπου. Η προώθηση θα συνεχιζόταν μέχρι την επίτευξη νέας ισορροπίας.

Η αποτελεσματικότητα του τροποποιημένου σχεδίου άντλησης ποικίλλει, ανάλογα με το ρυθμό εμπλουτισμού, τον ρυθμό των αντλήσεων, την καθαρή υπεράντληση, τη στάθμη του υπόγειου νερού, τη γεωμετρία του υδροφόρου και του υφιστάμενο βαθμό της θαλάσσιας διείσδυσης. Το μέτρο αυτό οδηγεί και στη μείωση των απωλειών του γλυκού νερού μέσω μη ελεγχόμενων εκροών [23].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Αφαλάτωση υφάλμυρου ή θαλασσινού νερού

5.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η ανάγκη για την αναζήτηση πηγών ύδρευσης στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες της Μεσογείου αυξάνεται ραγδαία. Στην Ελλάδα το πρόβλημα της λειψυδρίας παρουσιάζεται έντονα στα νησιά χωρίς όμως να εξαιρούνται και άλλες περιοχές όπως η Θεσσαλία, ο Βόλος, η Αττική.

Η μείωση των βροχοπτώσεων, η υπερεκμετάλλευση του υπόγειου και του επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα, οι ακραίες μετεωρολογικές μεταβολές (αύξηση των ανέμων, αύξηση της θερμοκρασίας), και η κακή διαχείριση των υδατικών πόρων είναι μερικοί παράγοντες που οδήγησαν πολλές περιοχές της Ελλάδας στην λειψυδρία. Η κακή διαχείριση των υδατικών πόρων οφείλεται στην έλλειψη σχεδίου διαχείρισης, στη κακή υποδομή όσον αφορά στα δίκτυα ύδρευσης και αποθήκευσης νερού και στην τάση για προσωρινές και μη αποτελεσματικές λύσεις. Επίσης αποδίδεται στην υπεράντληση μέσω των γεωτρήσεων με κύρια συνέπεια την υφαλμύρωση των νερών και την ανεπανόρθωτη καταστροφή του υδροφόρου ορίζοντα.

Οι εναλλακτικές λύσεις, που εφαρμόζονται σε πολλές περιπτώσεις, όπως η κατασκευή φραγμάτων και λιμνοδεξαμενών, βέραν του υψηλού κόστους τους, σε πολλές περιπτώσεις θεωρήθηκαν μη ικανές να λύσουν το πρόβλημα της λειψυδρίας εφόσον προϋποθέτουν την ύπαρξη ποταμών ή χειμάρρων και γενικότερα την ύπαρξη ομβρίων υδάτων τα οποία όλο και λιγοστεύουν.

Η μεταφορά νερού με δεξαμενόπλοια αποτελεί εδώ και πολλά χρόνια το πιο διαδεδομένο τρόπο παροχής νερού στα Ελληνικά νησιά επιβαρύνοντας κατά πολύ το ταμείο του κράτους. Το νερό που παρέχεται δεν χαρακτηρίζεται ως πόσιμο ενώ η προσέγγιση των δεξαμενόπλοιων στα λιμάνια των μικρών νησιών δεν είναι πάντα εφικτή. Παρόλα αυτά ακόμα και σήμερα θεωρείται από πολλούς η μοναδική λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας των νησιών.

Για την παραγωγή πόσιμου αλλά και βιομηχανικού νερού διαφόρων ποιοτικών απαιτήσεων, από θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αφαλάτωσης. Μερικές από αυτές τις μεθόδους έχουν σημαντικό αριθμό εμπορικών εφαρμογών. Χώρες όπως η Ισπανία, η Μάλτα και η Σαουδική Αραβία, καλύπτουν μεγάλο μέρος των αναγκών τους σε πόσιμο νερό με την χρήση συστημάτων αφαλάτωσης.

Ο όρος *αφαλάτωση* αναφέρεται σε κάθε επιμέρους διαδικασία απομάκρυνσης του πλεονάζοντος αλατιού και άλλων μετάλλων από το νερό, με σκοπό την παραγωγή φρέσκου νερού κατάλληλου για κατανάλωση από ζώα και άρδευση. Στην περίπτωση που απομακρυνθεί το σύνολο του αλατιού, το παραγόμενο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για κατανάλωση από τους ανθρώπους. Το νερό το οποίο υφίσταται αφαλάτωση μπορεί να είναι θαλάσσιο, υφάλμυρο ή ακόμα και επεξεργασμένα λύματα. Σε ορισμένες περιπτώσεις η διαδικασία παράγει επιτραπέζιο αλάτι ως υποπροϊόν.

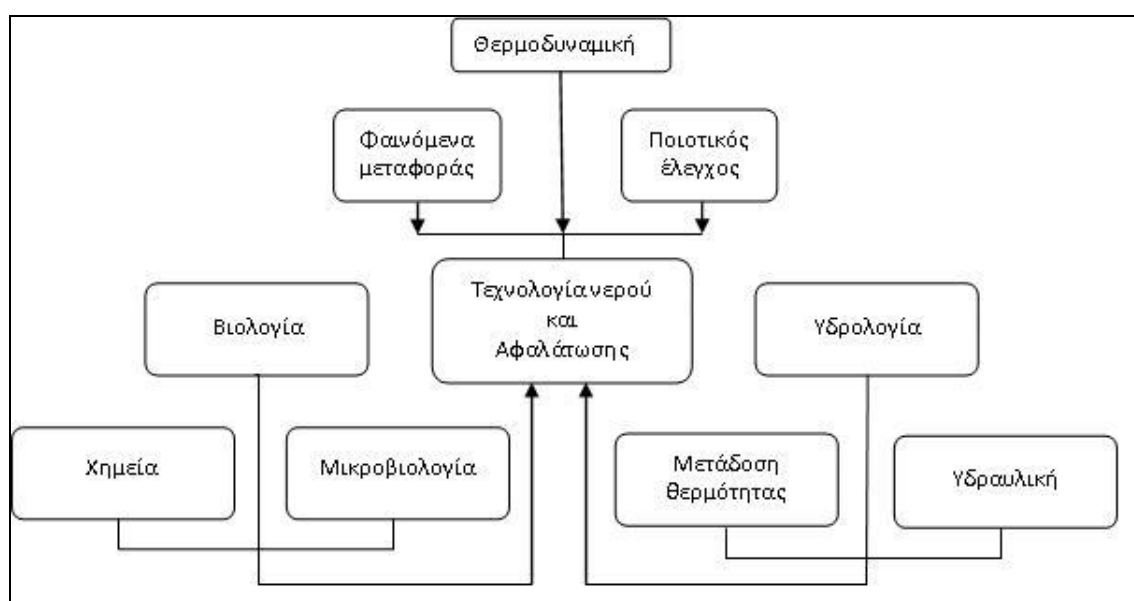
Η *τεχνολογία αφαλάτωσης νερού* (*Water Desalination Technology*) είναι ο τομέας της επιστήμης που στόχο έχει την κατεργασία νερού και παραγωγή γλυκού νερού από νερό αποβλήτων, θαλασσινό και υφάλμυρο νερό. Όλες οι μέθοδοι κατεργασίας νερού στόχο έχουν την αφαίρεση εκείνων των συστατικών από το νερό που κρίνονται ανεπιθύμητα για τη συγκεκριμένη χρήση με τη βοήθεια φυσικών και χημικών κατεργασιών. Οι διεργασίες αυτές μπορούν να εφαρμοσθούν στους υπάρχοντες υδατικούς πόρους αλλά και σε εκείνους που παράγονται και απορρίπτονται στο περιβάλλον, όπως είναι τα αστικά ή βιομηχανικά απόβλητα. Οι μέθοδοι αφαλάτωσης ειδικότερα στόχο έχουν την μείωση του ποσοστού αλάτων που περιέχονται στο νερό σε τέτοιο επίπεδο ώστε το νερό να είναι χημικά και μικροβιολογικά αποδεκτό προς χρήση και πόση, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία.

Η τεχνολογία νερού και αφαλάτωσης είναι μία πολυσύνθετη επιστήμη που χρησιμοποιεί γνώσεις και εφαρμογές από διάφορους επιμέρους τομείς των εφαρμοσμένων επιστημών. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα τυπικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών αφαλάτωσης.

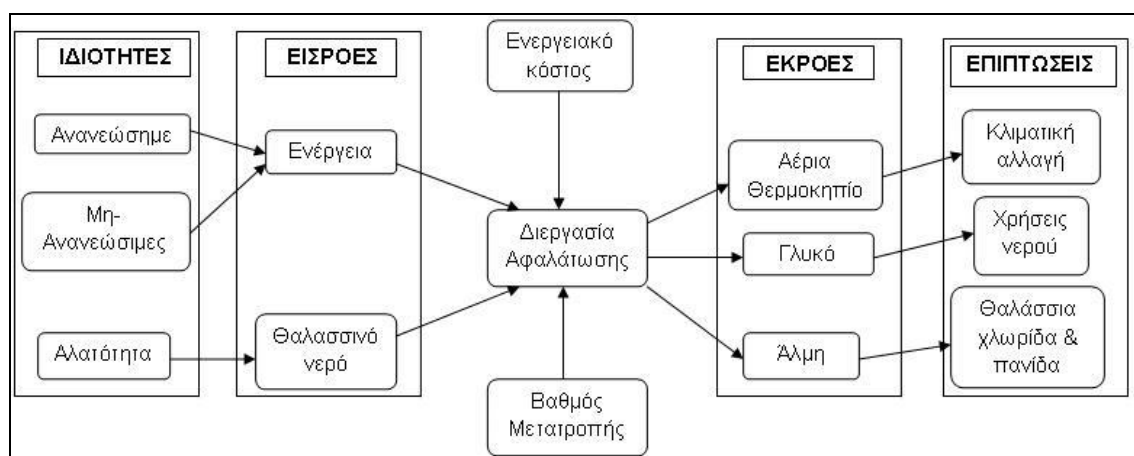
Πίνακας 5.1: Τυπικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών αφαλάτωσης [27]

Μέθοδος	Νερό Τροφοδοσίας	Μορφή Ενέργειας	Ποιότητα Παραγόμενου (ppm) Total Dissolved Solids (TDS)	Τυπικό Εύρος Μεγεθών κ.μ/ημ.
MSF	Θαλασσινό	Θερμική	~10	1000.00 - 60.000
MED	Θαλασσινό	Θερμική	~10	500 - 20.000
VC	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	~10	25 - 2.500
SWRO	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	>500	0,4 - > 70.000
BWRO	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	~250 - 500	2,5 - > 50.000
ED	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	~300 - 500	15 - 50.000

Στο Σχήμα 5.1 δίνονται ενδεικτικά οι τομείς των επιστημών που εμπλέκονται στην τεχνολογία νερού και αφαλάτωσης. Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζονται οι εισοδοί και οι έξοδοι ενός συστήματος αφαλάτωσης, ενώ στον Πίνακα 5.2 μερικά χαρακτηριστικά εγκαταστημένων μονάδων αφαλάτωσης στο Αιγαίο [27].



Σχήμα 5.1: Επιστήμες σχετιζόμενες με τεχνολογία νερού και αφαλάτωσης [27]



Σχήμα 5.2: Σχηματικό διάγραμμα των εισροών και των παραμέτρων ενός συστήματος αφαλάτωσης. Εισροές αποτελούν η ενέργεια (ανανεώσιμη ή μη) και το αλμυρό νερό και εκροές το φρέσκο νερό, η άλμη (brine) και τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG)

Πίνακας 5.2: Εγκαταστημένες μονάδες αφαλάτωσης στο Αιγαίο, η παραγωγή πόσιμου νερού από συμβατικές μονάδες και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αυτές [27].

Εγκαταστημένες μονάδες αφαλάτωσης στο Αιγαίο				Παραγωγή από μονάδες συμβατικής αφαλάτωσης	
Μονάδα	Έτος κατασκευής (αρχικό)	Δυναμικότητα (m ³ /lit)	Λειτουργικό κόστος (Q)	Μονάδα	m ³
Σύρος 1η (Ερμούπολη)	1992	800	1,25	Νίσυρος	67.366
Σύρος 2η (Ερμούπολη)	1997	800	1,25	Σαντορίνη	72.040
Σύρος 3η (Ερμούπολη)	2001	2x250	1	Ίος	107.354
Σύρος 4η (Ανω Σύρος)	2000	250	0,5	Σίφνος	45.427
Σύρος 5η (Ανω Σύρος)	2002	500	0,5	Πάρος	206.778
Σύρος 6η (Ερμούπολη)	2002	4x500	1	Σύρος	648.805
Σύρος 7η (Ανω Σύρος)	2005	2x500	0,4	Μύκονος	386.346
Σχοινούσα	2004	100	0,7	Κίμωλος	27.754
Μύκονος (Κόρφος) νέα	2001	3x650	0,5	Χίος	366.836
Πάρος (Νάουσα)	2001	1.200	0,5		
Τήνος (Παλαιά)	2001	500	0,62		
Τήνος (Νέα)	2005	500	0,62		
Σαντορίνη 1η (Οία)	1994	220	2		
Σαντορίνη 2η (Οία)	2000	320	2		
Σαντορίνη 3η (Οία)	2002	160	2		
Σίφνος	2002	500	3,5		
Ομπρούπολη (Δήμος), Χίος	2000	600	0,3		
Ομπρούπολη (Δήμος), Χίος	2005	3x1.000	0,26		
Ομπρούπολη (Δήμος), Χίος	2005	500	0,26		
Νίσυρος (Παλαιά)	1991	300			
Νίσυρος (Νέα)	2002	350	0,66		
Λέρος (ΔΕΥΑ)	2001	200	0,13		
Ποσειδωνία (Δήμος) 2	2002	2x250	0,56		
Ποσειδωνία (Δήμος) 2	2005	2x500	0,45		
Σίφνος (Δήμος)	2007	250			
Ίος (Δήμος)	2003	1.000			
Οινούσες (Δήμος)	2005	500			

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για αφαλάτωση	
■ Αιολικά	20%
■ Υβριδικά	10%
■ Ηλιακή θερμική ενέργεια	43%
■ Ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια	27%

5.1.2 Παράμετροι επιλογής τεχνολογίας

Οι παράμετροι επιλογής τεχνολογίας αφαλάτωσης συνοψίζονται ως εξής [27]:

- Ποιότητα νερού τροφοδοσίας (θαλασσινό, υφάλμυρο)
- Ποσότητα και ποιότητα παραγόμενου νερού
- Κόστος επένδυσης
- Διαθεσιμότητα χώρου
- Ενεργειακές απαιτήσεις και διαθεσιμότητα
- Διαθεσιμότητα και εμπειρία προσωπικού

5.2 Η χρήση της αφαλάτωσης σε παγκόσμιο επίπεδο

Η αφαλάτωση θαλασσινού νερού είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στη Μέση Ανατολή (εξαιτίας της εκτεταμένης ερημοποίησης) και στην Καραϊβική. Επιπλέον τα τελευταία χρόνια βρίσκει εφαρμογή και σε περιοχές όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Βόρεια Αφρική, η Σιγκαπούρη, η Ισπανία, Η Αυστραλία και η Κίνα. Η αφαλάτωση υφάλμυρου νερού πραγματοποιείται κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες λόγω συμφωνιών που έχουν υπογραφεί με την κυβέρνηση του Μεξικού σχετικά με την ποιότητα του νερού των ποταμών που εισέρχονται σε αυτό. Τέλος, ορισμένες χώρες της Μέσης Ανατολής, με τεράστια ενεργειακά αποθέματα, παράγουν αφαλατωμένο νερό και για άρδευση. Ενδεικτικό είναι ότι οι μονάδες αφαλάτωσης της Σαουδικής Αραβίας καλύπτουν το 24% της παγκόσμιας παραγωγής. Η μεγαλύτερη μονάδα βρίσκεται στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, χρησιμοποιεί τη μέθοδο πολυβάθμιας εκτόνωσης (multi stage flash distillation) και παράγει 300 εκατομμύρια κυβικά μέτρα αφαλατωμένου νερού ετησίως.

Από το 2008 λειτουργεί η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης με ανεμογεννήτριες στη Μήλο, με δυναμικότητα 2.300 κ.μ. ημερησίως. Το πόσιμο νερό διατίθεται στους καταναλωτές με 1,8 ευρώ το κυβικό μέτρο. Μονάδες αφαλάτωσης μπορούν να λειτουργήσουν και με ομαδοποιημένη διαδικασία, για παράδειγμα 10 με 15 νησιά του Αιγαίου.

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης, οι οποίες βρήκαν ευρεία εφαρμογή, έχουν πλήρως δοκιμαστεί και κυκλοφορούν στο εμπόριο τα τελευταία 30 έως 40 χρόνια, είναι η εξάτμιση ή αλλιώς απόσταξη (Distillation), οι

ιοντικές μέθοδοι και η αντίστροφη ώσμωση. Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι αφαλάτωσης αλλά δεν βρήκαν ευρεία εμπορική εφαρμογή, όπως η ψύξη (freezing), γεωθερμική αφαλάτωση (Geothermal desalination), αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών και η απόσταξη με μεμβράνες (Solar humidification HDH, MEH) [27].

5.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης

Οι προηγμένες μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού αποτελούν την πλέον δόκιμη λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ποιότητας αλλά και της επάρκειας νερού σε δήμους, στη βιομηχανία και σε ξενοδοχειακές μονάδες.

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Απόσταξη (Distillation)
 - Πολυβάθμια εκτόνωση (Multi-stage flashing, MSF)
 - Πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple effect evaporation, MED/ME)
 - Συμπύκνωση ατμού (Vapor compression evaporation VC)
 - Εξαέρωση/Συμπύκνωση (evaporation\condensation)
- Μέθοδοι με μεμβράνες (Membrane processes)
 - Ηλεκτρόλυση (Electro dialysis reversal, EDR)
 - Αντίστροφη ώσμωση (Reverse osmosis, RO)
 - Νανόφιλτρα (Nanofiltration, NF)
 - Ευθεία ώσμωση (Forward osmosis, FO)
 - Διύλιση με μεμβράνες (Membrane distillation, MD)
- Πάγωμα (freezing)
- Γεωθερμική αφαλάτωση (Geothermal desalination)
- Κρυσταλλοποίηση με υδρικό μεθάνιο (Methane hydrate crystallization)
- Υψηλής ποιότητας ανακύκλωση νερού (High grade water recycling)
- Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών (Solar humidification HDH, MEH)

Οι μέθοδοι περιγράφονται αναλυτικότερα στη συνέχεια [27].

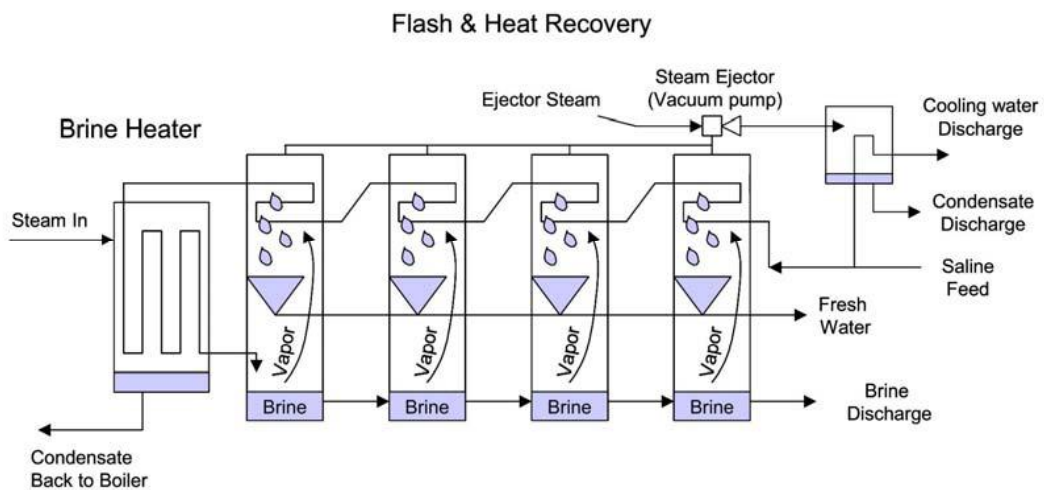
5.3.1 Θερμικές διεργασίες ή διεργασίες αλλαγής φάσης (Phase Change or Thermal Processes)

Πηγές θερμικής ενέργειας, όπως ορυκτά καύσιμα, πυρηνική ενέργεια ή ηλιακή ενέργεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την *ατμοποίηση* (evaporation) του αλμυρού νερού, το οποίο στη συνέχεια υπόκειται σε *υγροποίηση* (condensation) παράγοντας φρέσκο νερό. Οι διεργασίες αλλαγής φάσης που περιγράφονται εδώ είναι οι πολυβάθμια εκτόνωση, (multi-effect boiling), συμπύκνωση ατμού και ψύξη.

Η διαδικασία της *πολυβάθμιας εκτόνωσης*, αποτελείται από διάφορα στάδια. Σε κάθε στάδιο ο ατμός που έχει ήδη παραχθεί στο προηγούμενο, συμπυκνώνεται και προθερμαίνει το τροφοδοτικό νερό. Έτσι η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στη θερμή πηγή και το θαλασσινό νερό διαχωρίζεται σε έναν αριθμό επιμέρους σταδίων. Γι'αυτό το λόγο το όλο σύστημα πλησιάζει έναν ιδεατό βαθμό ανάκτησης της λανθάνουσας θερμότητας. Η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί κλίσεις πίεσης σε διαφορετικά στάδια. Δηλαδή η ελάχιστη πίεση στο επόμενο στάδιο είναι μικρότερη από την ελάχιστη πίεση στο προηγούμενο στάδιο. Στο Σχήμα 5.3 φαίνεται ένα τέτοιο σύστημα.



Εικόνα 5.1: Πολυβάθμια εκτόνωση (multiple stage flashing, MSF) [27]



Σχήμα 5.3: Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εξάτμισης (MSF)[27]

Τέτοιες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη Μέση Ανατολή (Σαουδική Αραβία, Εμιράτα, Κουβέιτ), καλύπτοντας το 40% της παγκόσμιας χρήσης αφαλάτωσης.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.3, η αρχή λειτουργίας τους είναι η εξής:

Το θαλασσινό νερό, αφού θερμανθεί σε θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη από το σημείο βρασμού εισέρχεται στον πρώτο θάλαμο όπου επικρατεί πίεση χαμηλότερη από την πίεση κορεσμού και επομένως το νερό ατμοποιείται. Ο ατμός έρχεται σε επαφή με τους σωλήνες που μεταφέρουν το κρύο θαλασσινό νερό και υγροποιείται. Στη συνέχεια συλλέγεται ως καθαρό νερό.

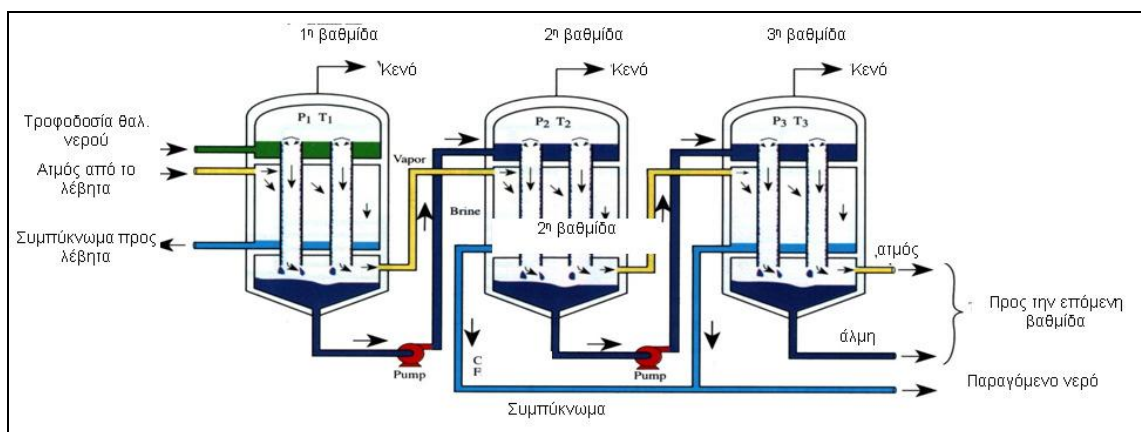
Το φαινόμενο επαναλαμβάνεται στους επόμενους θαλάμους με την υπολειπόμενη άλημη και με πίεση συνεχώς μειούμενη (για να παρακολουθήσει την αντίστοιχη μείωση της θερμοκρασίας της άλημης). Συχνά είναι συμφέρον οι εγκαταστάσεις αυτές της αφαλάτωσης να βρίσκονται κοντά σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς ώστε να γίνεται καλύτερη αξιοποίηση του καυσίμου. Δηλαδή ο ατμός υψηλής πίεσης πρώτα εκτονώνεται στον ατμοστρόβιλο για την παραγωγή ισχύος και κατόπιν χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση.

Ως βαθμός απόδοσης θερμικών μονάδων αφαλάτωσης, μπορεί να θεωρηθεί το πηλίκο της μάζας του παραγόμενου αποσταγμένου νερού προς την μάζα του ατμού που χρησιμοποιήθηκε. Για την συγκεκριμένη αυτή μέθοδο, ένας τυπικός βαθμός απόδοσης είναι περίπου 8, ενώ μια μονάδα 20 βαθμίδων απαιτεί περίπου 290 kJ/kg προϊόντος.

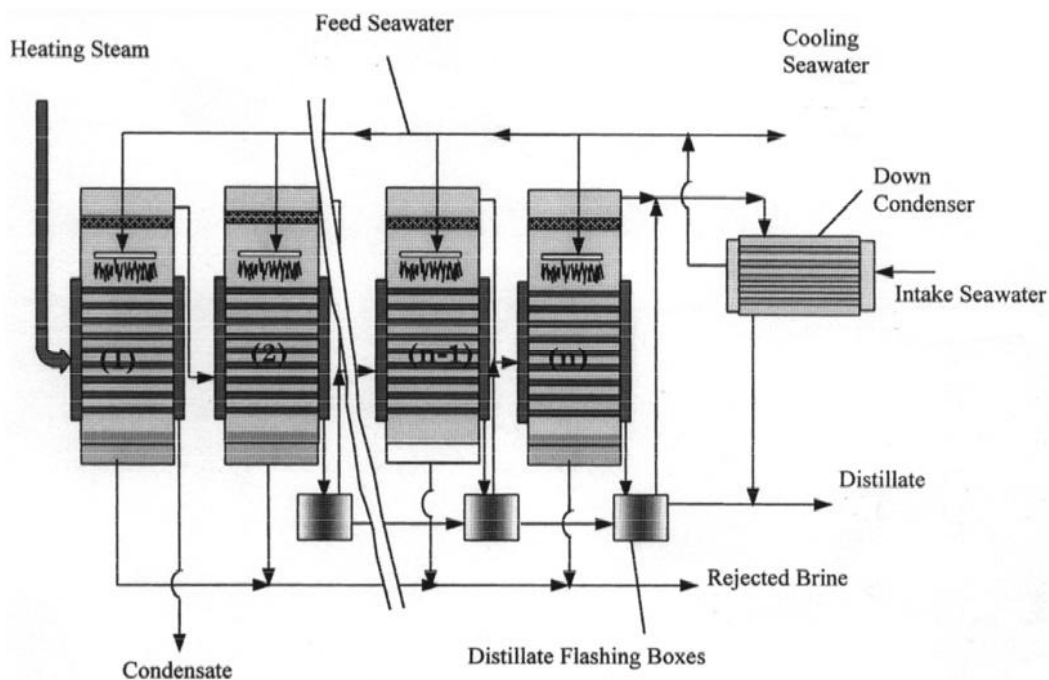
Η μέθοδος πολυβάθμια εξάτμιση (MED/ME) ή *Muti-effect boiling (MEB)* αποτελείται από έναν αριθμό στοιχείων που καλούνται διεθνώς *effects*. Ο ατμός από το ένα *effect* περνάει στο επόμενο, όπου συμπυκνώνεται προκαλώντας ταυτόχρονα εξάτμιση ενός μέρους του θαλασσινού νερού. Και αυτή η διαδικασία απαιτεί ότι το επόμενο *effect* θα πρέπει να διατηρείται σε πίεση χαμηλότερη σε σχέση με το προηγούμενο από το οποίο προήλθε ο ατμός. Στην Εικόνα 5.2 που ακολουθεί φαίνεται ένα σχηματικό διάγραμμα του εν λόγω συστήματος [27].



Εικόνα 5.2: Εγκατάσταση πολυβάθμιας εξάτμισης στο Ομάν (3 x 2400 m³/ημέρα) [27]



Σχήμα 5.4: Σχηματικό διάγραμμα της μεθόδου πολυβάθμιας εξάτμισης (MED/ME) [27]

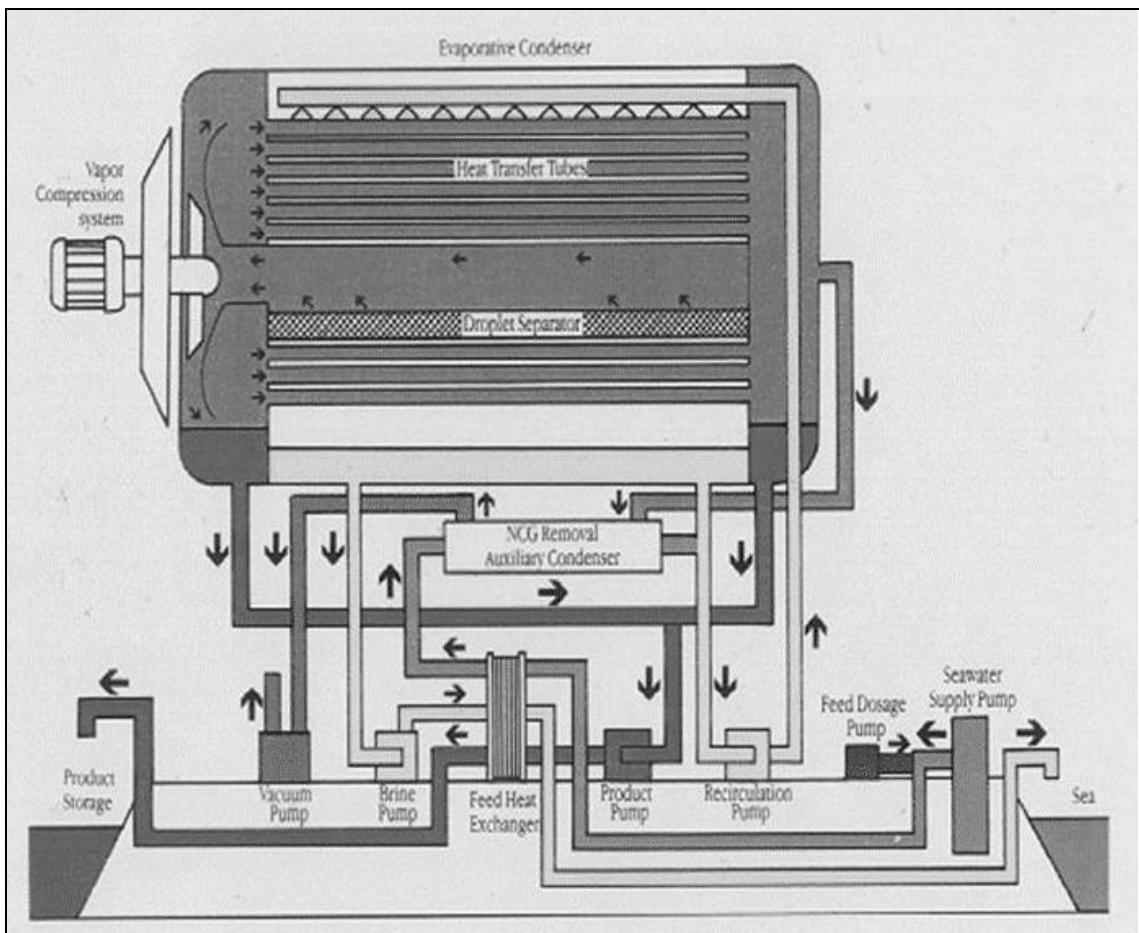


Σχήμα 5.5: Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εξάτμισης [27]

Η μέθοδος της πολυβάθμιας εξάτμισης δεν είναι και τόσο διαδεδομένη, διότι λόγω τεχνικών προβλημάτων αντικαταστάθηκε σταδιακά τα τελευταία χρόνια από την πολυβάθμια εκτόνωση. Σήμερα παρ' όλα αυτά, λόγω του ότι παρουσιάζει καλύτερο συντελεστή θερμικής απόδοσης αρχίζει να ξανακερδίζει έδαφος. Στην πολυβάθμια εξάτμιση (Σχήμα 5.5), ο ατμός περνάει μέσα από σωλήνες, ενώ το κρύο θαλασσινό νερό ψεκάζεται πάνω τους δημιουργώντας ένα πολύ λεπτό στρώμα νερού, το οποίο εξατμίζεται άμεσα. Έτσι, μέρος του ατμού συμπυκνώνεται και συλλέγεται σαν καθαρό νερό, ενόσω συνεχίζουν στην επόμενη βαθμίδα ο υπόλοιπος ατμός μαζί με το υπόλοιπο θαλασσινό νερό που απέμεινε από την ατμοποίηση. Και στη μέθοδο αυτή σε κάθε θάλαμο υπάρχει αντλία κενού που υποβοηθά την εξάτμιση, με βαθμιαία μειούμενη πίεση σε κάθε βαθμίδα, που ισούται με την πίεση κορεσμού στην αντίστοιχη θερμοκρασία του κάθε θαλάμου. Αυτό έχει σαν όφελος να επιτρέπει την λειτουργία τόσο σε υψηλή όσο και σε χαμηλή θερμοκρασία, συχνά δε, η μέγιστη θερμοκρασία βρασμού μπορεί να είναι μέχρι και 55°C, έτσι ώστε να αποφεύγεται η διάβρωση και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί χαμηλού επιπέδου απορριπτόμενη θερμότητα από άλλες θερμικές διεργασίες. Στη μέθοδο αυτή συχνά χρησιμοποιούνται και συμπιεστές (μηχανικοί ή θερμικοί), ενώ οι παραλλαγές της προκύπτουν απ' την οριζόντια ή κάθετη διάταξη των σωλήνων ατμού και τη φορά του ατμού σε σχέση με την άλμη (ομορροή, αντιρροή ή παράλληλη).



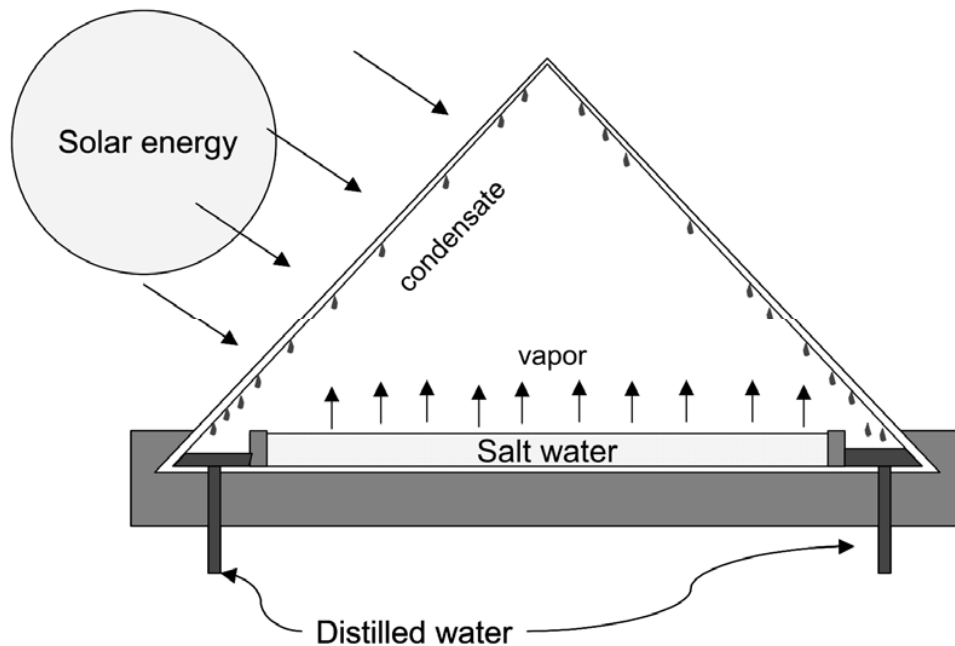
Εικόνα 5.3: Εγκατάσταση εξάτμισης με συμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC) [27]



Σχήμα 5.6: Σχηματικό διάγραμμα της εξάτμισης με συμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC) [27]

Η μέθοδος της *συμπύκνωσης ατμού*, είναι απλούστερη των προηγούμενων, πιο αποτελεσματική και στηρίζεται στο ότι η συμπίεση του ατμού οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης αυτού. Σε αυτή τη διεργασία η τροφοδοσία θερμαίνεται συνήθως με ατμό, και μέρος αυτής ατμοποιείται. Ο παραγόμενος ατμός, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.6, το κρύο νερό της θάλασσας ψεκάζεται πάνω σε σωλήνες που τους διαπερνά καυτός ατμός, θερμαίνεται και εξατμίζεται με τη βοήθεια αεροσυμπιεστή που δημιουργεί υποπίεση. Σκόπιμη είναι η δημιουργία λεπτού στρώματος νερού πάνω στους σωλήνες για την καλύτερη απόδοση της εγκατάστασης. Κατόπιν οι καθαροί υδρατμοί συλλέγονται, συμπυκνώνονται και λαμβάνονται ως προϊόν. Η μέθοδος αυτή διαφέρει από τις προηγούμενες καθόσον λειτουργεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και η εξατμηση προκαλείται αποκλειστικά και μόνο από την χαμηλή πίεση. Έτσι δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη πηγής θερμότητας. Η μέθοδος αυτή μπορεί να παράγει μέχρι και 3000 m³/ημέρα.

Η τεχνική που χρησιμοποιείται για την χρήση της *ηλιακής ενέργειας* στην αφαλάτωση, βασίζεται στην αρχή του θερμοκηπίου και παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.7. Οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν ελάχιστο ή μηδενικό κόστος λειτουργίας εφόσον δεν χρησιμοποιούν κανενός είδους καύσιμο και ως εκ τούτου δεν ρυπαίνουν καθόλου το περιβάλλον: οι ακτίνες του ήλιου διέρχονται μέσα από μια διαφανή οροφή και θερμαίνουν το θαλασσινό νερό που βρίσκεται στον πυθμένα. Αυτό εξατμίζεται και ανεβαίνει στην οροφή που είναι κεκλιμένη, οπότε συμπυκνώνεται πάλι και συλλέγεται ως προϊόν από κατάλληλη διάταξη. Η μέγιστη θερμοκρασία ενός τέτοιου θερμοκηπίου φτάνει περίπου τους 45°C–55°C το καλοκαίρι. Το μοναδικό κόστος είναι αυτό των υλικών κατασκευής και ως εκ τούτου θα πρέπει να αναζητηθούν σχετικώς φτηνά υλικά κατασκευής. Βέβαια, η απόδοση τέτοιων εγκαταστάσεων είναι χαμηλή, περίπου 3,5 λίτρα καθαρό νερό ανά m² εδάφους, και μάλιστα νερό όχι απαλλαγμένο από μικροοργανισμούς, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται και περαιτέρω επεξεργασία.



Σχήμα 5.7: Σχηματική απεικόνιση της ηλιακής απόσταξης (solar distillation, SD) [27]

Η μέθοδος της ηλεκτροδιαπίδωσης (*Electro dialysis reversal, EDR*) όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.8 στηρίζεται στην διαδικασία κατά την οποία η μείωση της αλατότητας του θαλασσινού νερού πραγματοποιείται μεταφέροντας ιόντα από το θαλασσινό νερό, μέσω μιας μεμβράνης, υπό την επίδραση διαφοράς ηλεκτρικού δυναμικού. Χρησιμοποιείται για να καθαρίσει το νερό. Το προς αφαλάτωση νερό περνάει μέσα από ένα σύστημα φορτισμένων μεμβρανών που διαχωρίζουν τα ιόντα των διαλυμένων αλάτων και τα απομακρύνουν από το καθαρό νερό. Τα ιόντα είναι οι – θετικά και αρνητικά – ηλεκτρικά φορτισμένες μονάδες των μετάλλων και των ριζών που βρίσκονται στο νερό.

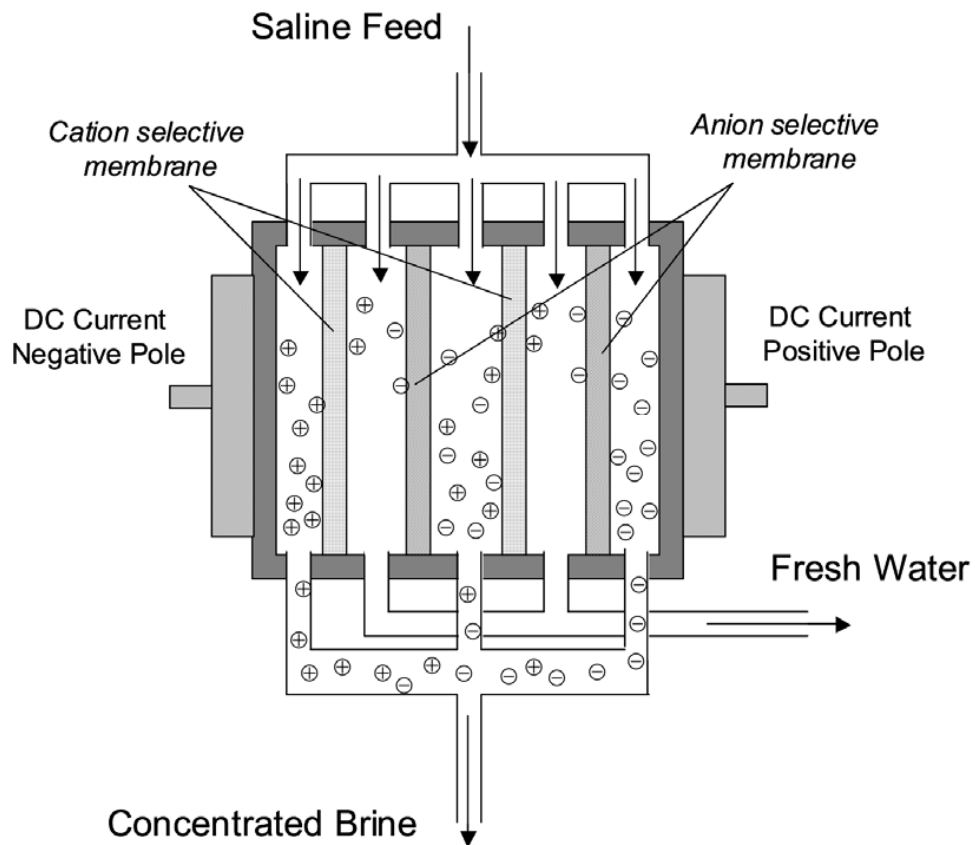
Έστω ότι μέσα σε ένα δοχείο διαλύεται μια ποσότητα χλωριούχου νατρίου. Σε αυτήν την υδάτινη μάζα θα υπάρχουν ιόντα Νατρίου και ιόντα Χλωρίου. Στη συνέχεια εφαρμόζεται στο διάλυμα ηλεκτρική τάση μέσω

δύο ηλεκτροδίων που βυθίζονται μέσα στο διάλυμα και επομένως επιβάλλεται ένα ηλεκτρικό πεδίο μέσα στο διάλυμα. Τα φορτισμένα ιόντα κινούνται προς την κατεύθυνση των ηλεκτροδίων εκείνων που έχουν αντίθετο φορτίο με αυτά. Στην αφαλάτωση με ηλεκτροδιάλυση, το ηλεκτρολυτικό κελί περιλαμβάνει δύο μεμβράνες σαν διαχωριστικά τοιχώματα. Στα πλευρικά τοιχώματα υπάρχουν τα ηλεκτρόδια της συσκευής που συνδέονται με πηγή συνεχούς ρεύματος.



Εικόνα 5.4: Εγκατάσταση ηλεκτροδιάλυσης (Electro dialysis reversal, EDR) [29]

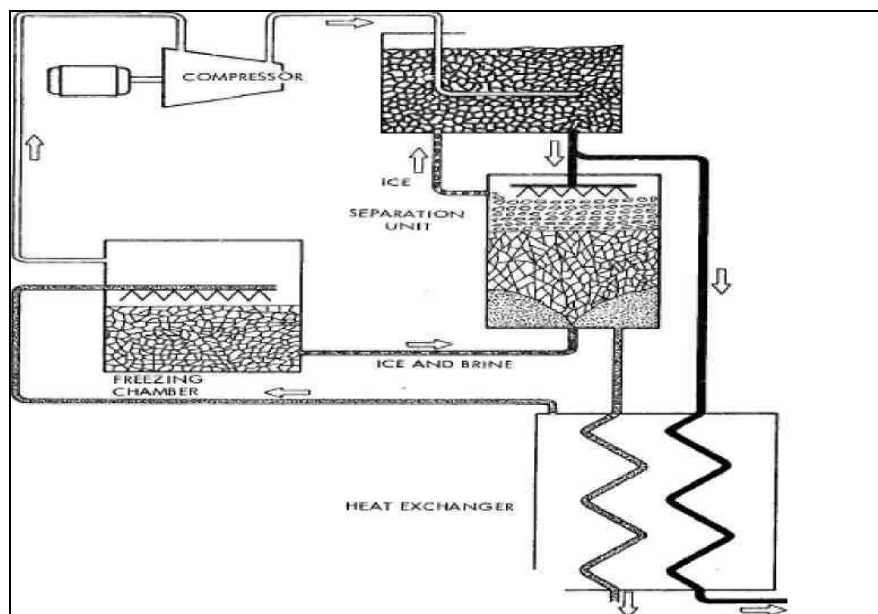
Στην συσκευή διοχετεύεται θαλασσινό νερό. Κατά την κίνησή τους, τα διαλυμένα ιόντα προσκολλώνται στις μεμβράνες με επιλεκτικό τρόπο. Τα ιόντα των αλάτων που συνήθως περιλαμβάνονται στο νερό διαπερνούν τις μεμβράνες εγκαταλείποντας τον ενδιάμεσο θάλαμο. Έτσι ο ενδιάμεσος θάλαμος περιέχει νερό με λιγότερα άλατα και επομένως πιο καθαρό. Είναι προφανές ότι η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να λειτουργήσει με μη ιοντικά στερεά, ενώ επίσης η απαιτούμενη ενέργεια είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των αλάτων. Γι' αυτό η μέθοδος αυτή προτιμάται σε υφάλμυρα νερά, με σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις αλάτων. Συχνά, για την βέλτιστη λειτουργία των μεμβρανών, εφαρμόζεται αντιστροφή των πεδίων, ώστε τα τμήματα των μεμβρανών που είχαν μαζέψει πολλά άλατα καθαρίζονται από την ροή του καθαρού νερού [29].



Σχήμα 5.8: Σχηματική απεικόνιση της ηλεκτροδιαπίδωσης [29]

Η μέθοδος παγώματος ή *Freezing process* στηρίζεται στο φαινόμενο του ότι όταν το αλμυρό νερό ψύχεται δημιουργούνται κρύσταλλοι πάγου που δεν περιέχουν αλάτι. Το προς ψύξη θαλασσινό νερό εισέρχεται στον θάλαμο παγώματος για τον σχηματισμό πάγου και μικρής ποσότητας υδρατμού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.9.

Ο πάγος και η άλμη τότε μεταφέρονται σε έναν θάλαμο διαχωρισμού όπου οι κρύσταλλοι πάγου πλένονται από το αλάτι και οδηγούνται στον θάλαμο για υγροποίηση. Ο υδρατμός που παράγεται στον θάλαμο παγώματος συμπιέζεται και παρέχεται στον θάλαμο υγροποίησης, προκαλώντας το λιώσιμο του πάγου ενώ ο ίδιος ο ατμός συμπυκνώνεται, αποτελώντας τμήμα του προϊόντος. Κύριο πλεονέκτημα αυτής της διεργασίας είναι ότι λειτουργεί σε αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις προηγούμενες.

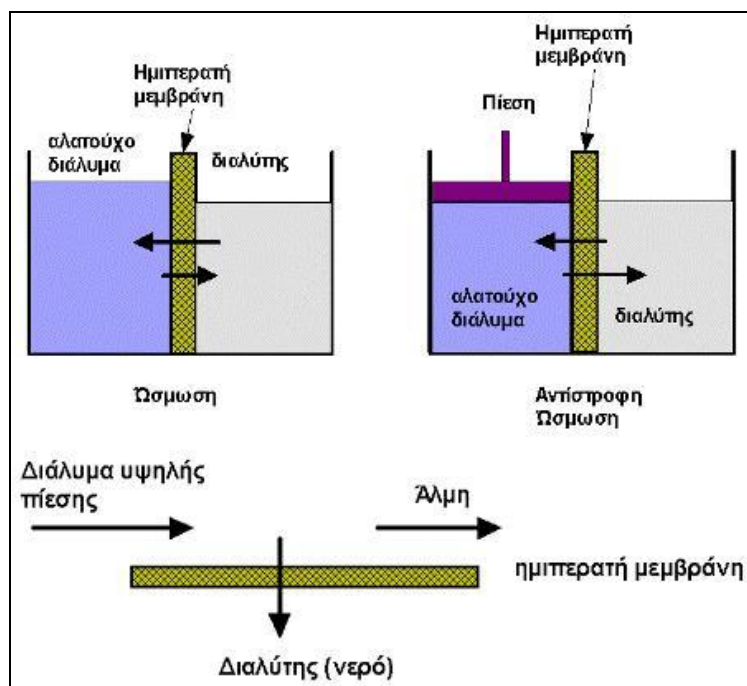


Σχήμα 5.9: Σχηματικό διάγραμμα της μεθόδου παγώματος (Freezing process) [29]

5.3.2 Διεργασίες μονής φάσης ή διεργασίες με μεμβράνες (Single Phase or Membrane Processes)

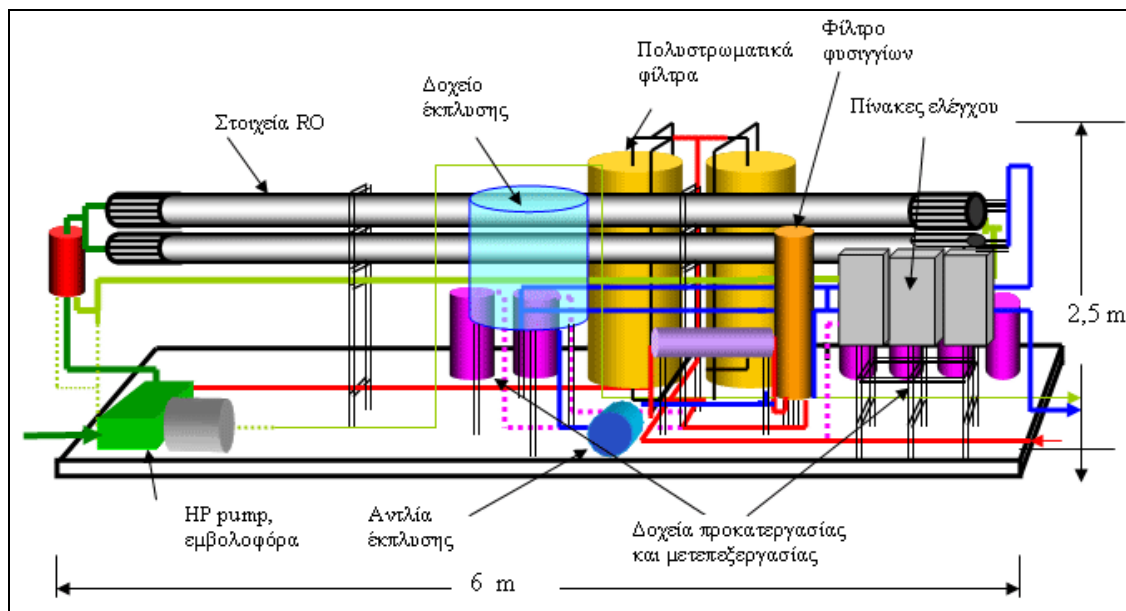
Οι διεργασίες που αποτελούν ηλεκτρισμό ή μηχανική δύναμη για την αφαλάτωση περιλαμβάνουν:

Την *αντίστροφη ώσμωση* ή *reverse osmosis (RO)* κατά την οποία τα δύο τμήματα του δοχείου που φαίνεται στο Σχήμα 5.10 χωρίζονται από μια μεμβράνη πορώδους υλικού του οποίου οι πόροι είναι πολύ μικροί. Το ένα τμήμα περιέχει ποσότητα καθαρού νερού, ενώ το άλλο ίση ποσότητα νερού με διαλυμένα μόρια αλατιού σε αυτό. Οι στάθμες αρχικά βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, ενώ μετά από λίγη ώρα η στάθμη του τμήματος που περιέχει το αλάτι ανεβαίνει διότι τα μόρια του νερού που βρίσκονται στο τμήμα με το καθαρό νερό διέρχονται της μεμβράνης. Το διάλυμα δηλαδή με την μικρότερη συγκέντρωση θα περάσει μέσα από την μεμβράνη προς το πυκνότερο διάλυμα μέχρι να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις.



Σχήμα 5.10: Λειτουργία των μεμβρανών στην αντίστροφη ώσμωση [28]

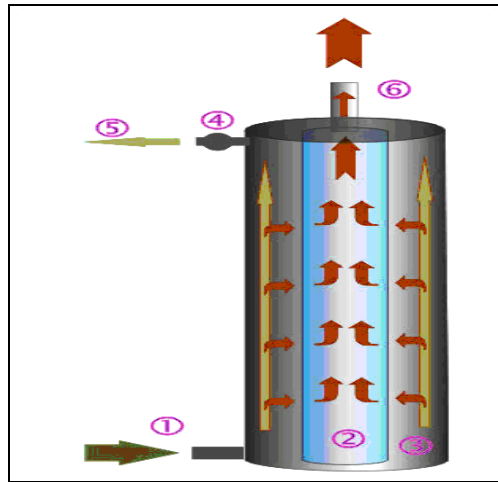
Στα Σχήματα 5.10 και 5.11 που ακολουθούν φαίνεται η όλη διαδικασία. Η ώσμωση αναφέρεται στην κίνηση του νερού από μία περιοχή υψηλής συγκέντρωσης σε μία περιοχή χαμηλής συγκέντρωσης. Άρα, η αντίστροφη ώσμωση είναι η εξαναγκασμένη (με χρήση αντλιών) κίνηση του νερού από μία περιοχή χαμηλής συγκέντρωσης σε μία περιοχή υψηλής συγκέντρωσης. Όταν λοιπόν η πίεση του αλμυρού νερού ξεπερνά τη φυσική πίεση ώσμωσης, το φυσικό νερό θα περάσει διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης στην αντίστοιχη πλευρά, αφήνοντας τα άλατα στην συγκεντρωμένη άλμη. Όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση αλατιού στο τροφοδοτούμενο νερό, τόσο υψηλότερη είναι και η πίεση που απαιτείται. Όσο βέβαια η πίεση αυξάνεται θα χρειάζεται και ανθεκτικότερη μεμβράνη για να μπορεί να κατακρατεί τα άλατα. Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης είναι ιδανική για υφάλμυρο νερό [29].



Σχήμα 5.11: Σχηματικό διάγραμμα της μεθόδου της αντίστροφης ώσμωσης [30]

Αν με κάποιο τρόπο ανακοπεί η πορεία των μορίων του καθαρού νερού προς το αλατούχο, εφαρμόζοντας κάποια πίεση, τότε η ροή σταματά και τα δύο διαλύματα βρίσκονται κάτω από μια ισορροπία πιέσεων. Η πίεση που εφαρμόζεται, ονομάζεται *ωσμωτική πίεση*. Εάν αυξηθεί η τεχνητή πίεση στο αλατούχο διάλυμα, θα συμβεί το εξής φαινόμενο: το νερό που υπάρχει στο αλατούχο διάλυμα θα περνά στο διαμέρισμα με το καθαρό νερό και η στάθμη αυτού του διαμερίσματος θα ανεβαίνει. Μέσα από τους πόρους της μεμβράνης διέρχεται μόνο το καθαρό νερό, ενώ το αλάτι παραμένει στο διαμέρισμα του αλατούχου διαλύματος και η στάθμη του συνεχώς κατεβαίνει. Η τεχνική αυτή, η οποία προκάλεσε το αντίθετο φαινόμενο από την ώσμωση ονομάζεται *αντίστροφη ώσμωση*.

Στην διαδικασία αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση συμβαίνει το εξής: Με αντλία υψηλής πίεσης διοχετεύεται το αλμυρό νερό στο σύστημα μεμβρανών. Η πίεση που ασκείται έχει σχέση με την αλατότητα του προς αφαλάτωση νερού, καθώς η διαφορά αυτή οφείλεται στην διαφορετική συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων μέσα στο νερό. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να φτάσει τα 7KWh ανά 5.000 lt πόσιμο νερό, και μπορεί να προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια μετά από φωτοβολταϊκή μετατροπή, καθιστώντας το σύστημα αυτοδύναμο. Η αντίστροφη ώσμωση πραγματοποιείται μέσα σε χαλύβδινα δοχεία που περιέχουν διατάξεις διαδοχικών ζευγών μεμβρανών που φτάνουν μέχρι τις 200. Η διάρκεια ζωής των μεμβρανών είναι 1 ½-2 χρόνια. Στο Σχήμα 5.12 παριστάνεται η λειτουργία της συσκευής αντίστροφης ώσμωσης.



Σχήμα 5.12: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας συσκευής αντίστροφης ώσμωσης [31]

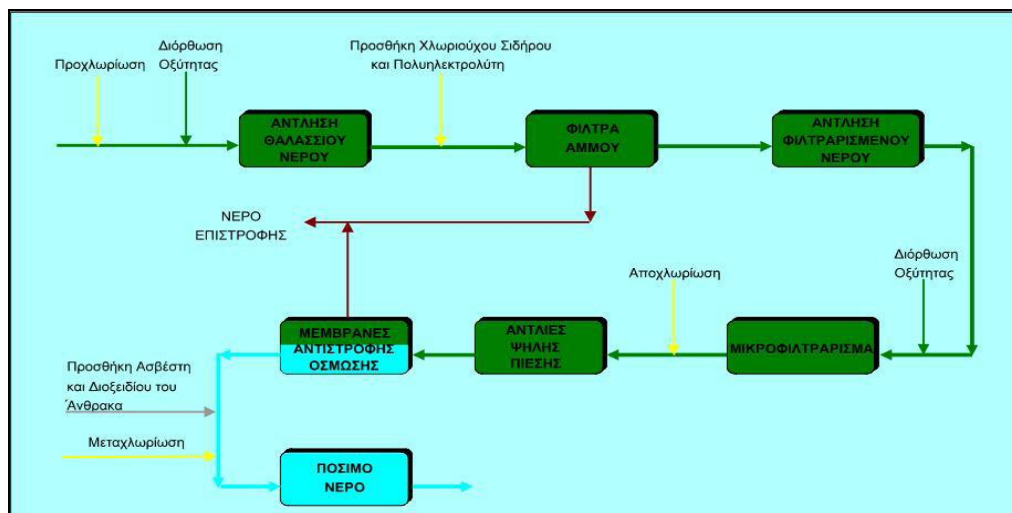
Το προς καθαρισμό νερό εισέρχεται από την είσοδο (1) στη συσκευή και καταλαμβάνει το χώρο (3). Υπάρχουν δυο διέξοδοι: η (5) και η (6). Ο χώρος (3) βρίσκεται υπό πίεση και το νερό εξαναγκάζεται κατά ποσοστό 25% περίπου να διέλθει μέσα από τη μεμβράνη (2), οπότε και καθαρίζεται και εξέρχεται από την (6) ως προϊόν, είτε μόλις η πίεση ξεπεράσει το όριο της βαλβίδας (4) να βγει από την έξοδο (5), σε ποσοστό 75% περίπου, παρασύροντας μαζί του και τις ακαθαρσίες.

Για το θαλάσσιο νερό, απαιτούνται τρία στάδια επεξεργασίας:

- Στάδιο προεπεξεργασίας
- Στάδιο αντίστροφης ώσμωσης
- Τελικό στάδιο επεξεργασίας

Τα στάδια επεξεργασίας περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

Το ακόλουθο Σχήμα 5.13 είναι ένα διάγραμμα ροής της αφαλάτωσης με σύστημα αντίστροφης ώσμωσης.



Σχήμα 5.13: Διάγραμμα ροής αφαλάτωσης με σύστημα αντίστροφης ώσμωσης [31]

Στάδιο προεπεξεργασίας

Το πρώτο αυτό στάδιο επεξεργασίας του θαλασσινού νερού είναι το πιο σημαντικό, διότι ουσιαστικά συμβάλλει στην προστασία των μεμβρανών. Δηλαδή πρέπει να καταστραφούν οι μικροοργανισμοί και να

αποφευχθεί η εναπόθεση αλάτων στις μεμβράνες. Η προεπεξεργασία του θαλάσσιου νερού συνήθως περιλαμβάνει:

- Φίλτρο εισόδου (με τοποθέτηση σχάρας στην αναρρόφηση για να μην εισέλθουν ψάρια, φύκια και πλαστικά).
- Προχλωρίωση του θαλάσσιου νερού (με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου)
- Προσθήκη οξέος (συνήθως θειικό οξύ για τη ρύθμιση της οξύτητας και την αποφυγή απόθεσης αλάτων)
- Συσσωμάτωση των κolloειδών/οργανικών ουσιών (με προσθήκη χλωριούχου σιδήρου και πολυηλεκτρολύτη)
- Φίλτρο άμμου (περιλαμβάνει άμμο, χαλίκια και ανθρακίτη για την κατακράτηση ακόμα μικρότερων στερεών αιωρούμενων σωματιδίων)
- Φίλτρα πολυπροπυλενίου (για κατακράτηση των στερεών ουσιών με μέγεθος μέχρι και 1μm, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν φθορά στις μεμβράνες)
- Αποχλωρίωση (με θειούχο νάτριο ή φίλτρο ενεργού άνθρακα, γιατί οι μεμβράνες καταστρέφονται στην παρουσία ελεύθερου χλωρίου)
- Αποστείρωση με υπεριώδη ακτινοβολία (αφαλάτωση Σίκινος)

Στάδιο αντίστροφης ώσμωσης

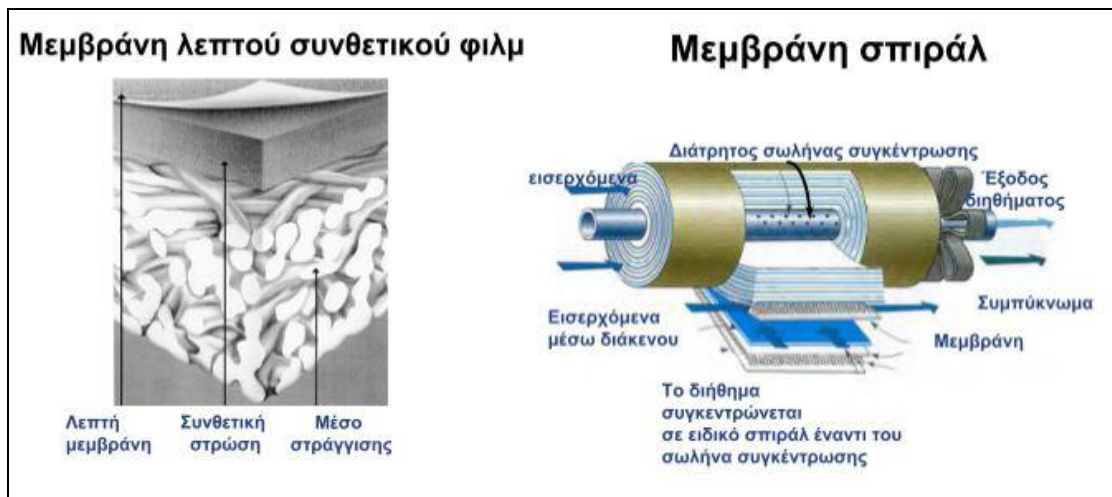
Στο στάδιο του διαχωρισμού στις μεμβράνες, αντλίες υψηλής πίεσης παρέχουν την πίεση που απαιτείται ώστε το νερό να περάσει μέσα από τις μεμβράνες και να απορρίψει τα άλατά του. Αυτή η πίεση είναι μεταξύ 54 και 80 ατμόσφαιρες. Καθώς ένα μέρος του νερού περνάει μέσα από τις μεμβράνες, στο υπόλοιπο νερό αυξάνεται η συγκέντρωση των αλάτων. Την ίδια στιγμή ένα μέρος του νερού που τροφοδοτείται στις μεμβράνες απορρίπτεται χωρίς να περάσει μέσα από αυτές. Χωρίς αυτή την ελεγχόμενη απόρριψη, η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό θα συνέχιζε να αυξάνει, με επακόλουθο την εναπόθεση των υπερκορεσμένων αλάτων και αύξηση της οσμωτικής πίεσης κατά μήκος των μεμβρανών. Η ποσότητα του νερού αυτού είναι μεταξύ 20% και 70% της ροής τροφοδοσίας και εξαρτάται από τη συγκέντρωση των αλάτων στο νερό τροφοδοσίας.

Τελικό στάδιο επεξεργασίας

Στο τελικό στάδιο επεξεργασίας γίνεται σταθεροποίηση του παραγόμενου νερού και προετοιμασία του για τη διανομή του ως πόσιμου νερού. Το στάδιο αυτό μπορεί να αποτελείται από:

- Απομάκρυνση αερίων, όπως το υδροθείο
- Ρύθμιση της οξύτητας (pH) και αύξηση της σκληρότητας (με προσθήκη ειδικά επεξεργασμένου ασβέστη και διοξειδίου του άνθρακα)
- Τελική χλωρίωση

Είναι φανερό ότι στη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης η ενέργεια που απαιτείται καταναλώνεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου στις αντλίες για τη συμπίεση του νερού. Επειδή η ωσμωτική πίεση (που πρέπει να υπερνικηθεί) είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των αλάτων, η αντίστροφη ώσμωση είναι η πρώτη επιλογή για υφάλμυρα νερά, με την πίεση λειτουργίας να είναι 15 – 25 bar, ενώ για θαλάσσιο νερό είναι 54 – 80 bar, αφού η ωσμωτική του πίεση είναι περίπου 25 bar. Η σημαντικότερη απώλεια ενέργειας είναι η εκτόνωση της άλμης, όταν βγαίνει με υψηλή πίεση απ' τη συσκευή και γι' αυτό, σε μεγάλες κυρίως μονάδες, υπάρχουν συστήματα ανάκτησης της ενέργειας αυτής, π.χ. υδροστρόβιλοι, με αποτελεσματικότητα μέχρι και 95%. Το Σχήμα 5.14 μας δείχνει δύο τύπους μεμβρανών. Τη μεμβράνη λεπτού συνθετικού φίλμ και τη μεμβράνη σπιράλ.



Σχήμα 5.14: Τύποι Μεμβρανών [30]

Τύποι μεμβρανών

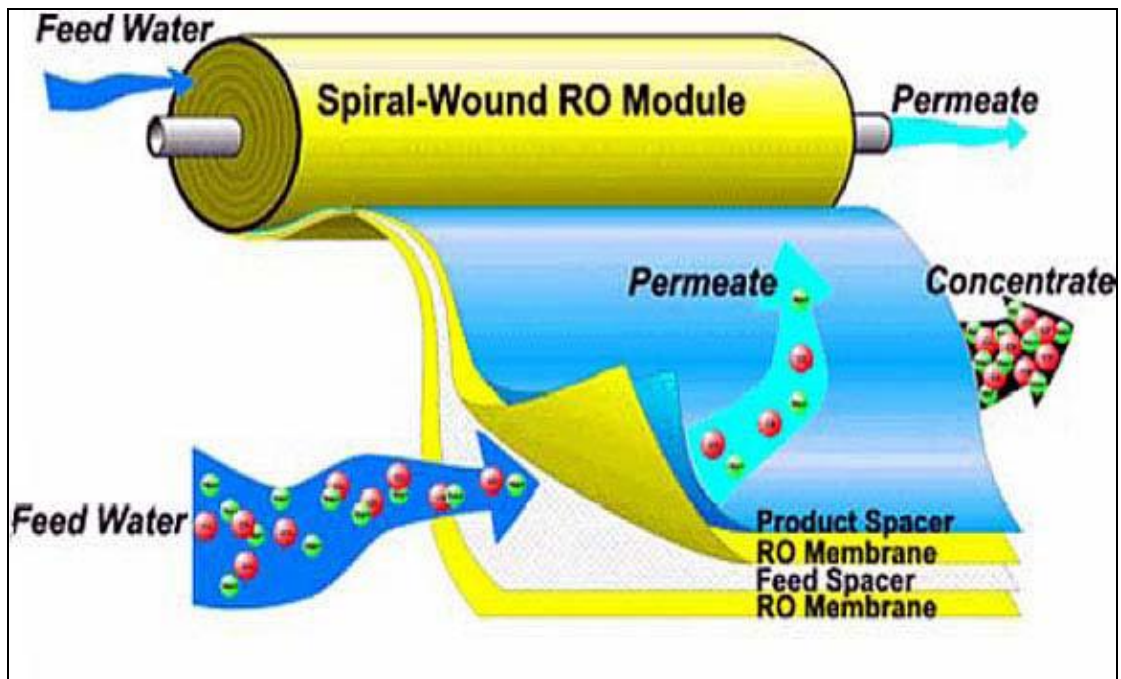
Οι μεμβράνες κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις τύπους:

- Επίπεδος τύπος
- Σπειροειδής μεμβράνη
- Σωληνωτός τύπος
- Τύπος τριχοειδών ινών

Τα συστήματα μεμβρανών έχουν κυλινδρικό σχήμα διότι έτσι, οι δυνάμεις πίεσης που ασκεί το νερό στην μεμβράνη κατανέμονται σε όλη την επιφάνεια εσωτερικά του κυλίνδρου όπου και εξισορροπούνται. Η ικανότητα απόδοσης του συστήματος εξαρτάται από τον αριθμό των μεμβρανών που τοποθετούνται στην εγκατάσταση σε παράλληλη συστοιχία.

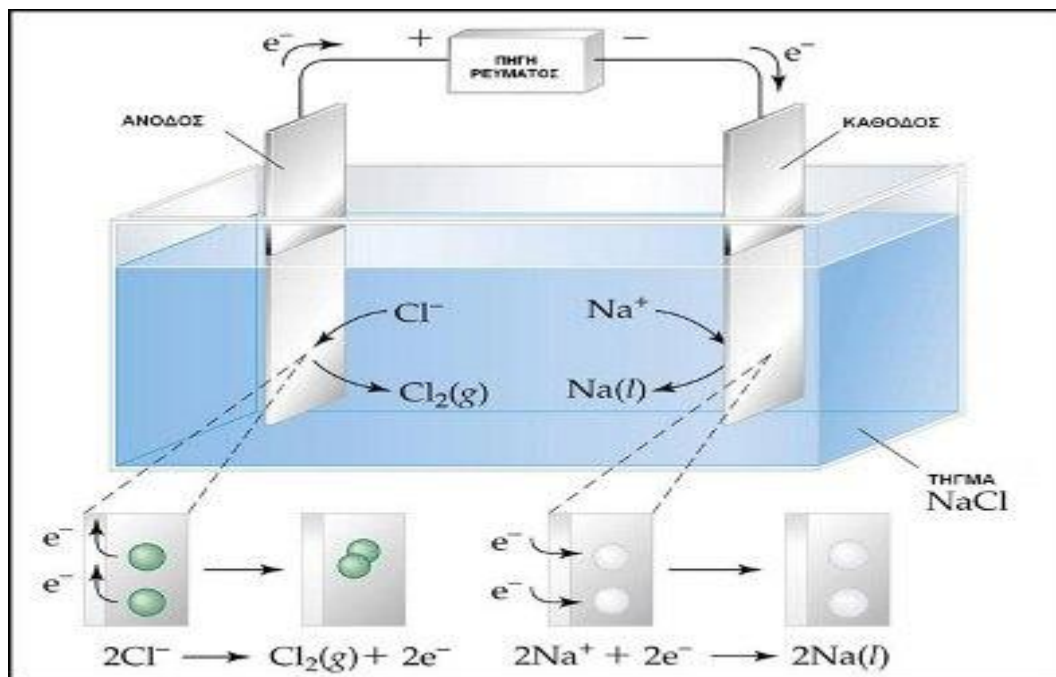
Τα χαρακτηριστικά των μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης είναι τα εξής:

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



Σχήμα 5.15: Σχηματική διαδικασία της RO, η οποία χρησιμοποιεί σπειροειδή μεμβράνη [30]

Τέλος η μέθοδος της *ηλεκτροδιαπίδυσης* περιλαμβάνει ένα πορώδες στρώμα από συνθετικές ρητίνες που έχουν την ικανότητα να ανταλλάσσουν ιόντα με εκείνες στα μεταλλικά νερά που έρχονται σε επαφή με το στρώμα. Τα στρώματα όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.16 είναι τοποθετημένα σε σειρά ώστε το μεταλλικό νερό να έρχεται πρώτα σε επαφή με το ανταλλακτήρα κατιόντων και στη συνέχεια με τον αντίστοιχο των ανιόντων. Στον ανταλλακτήρα ανιόντων αφαιρούνται από το νερό ανιόντα και στην θέση τους τοποθετούνται ιόντα υδροξυλίου. Έτσι οι προσμίξεις αφαιρούνται από το αλμυρό νερό αφήνοντας φρέσκο νερό, ενώ υδρογόνο και υδροξύλιο αντιδρούν μεταξύ τους δίνοντας επιπλέον φρέσκο νερό. Όταν οι ρητίνες φτάνουν σε σημείο κορεσμού λόγω της κατακράτησης ιόντων χάνουν την ικανότητά τους να αφαιρούν ιόντα και πρέπει να καθαριστούν με οξέα και βάσεις για να αποκτήσουν τις ιδιότητές τους.

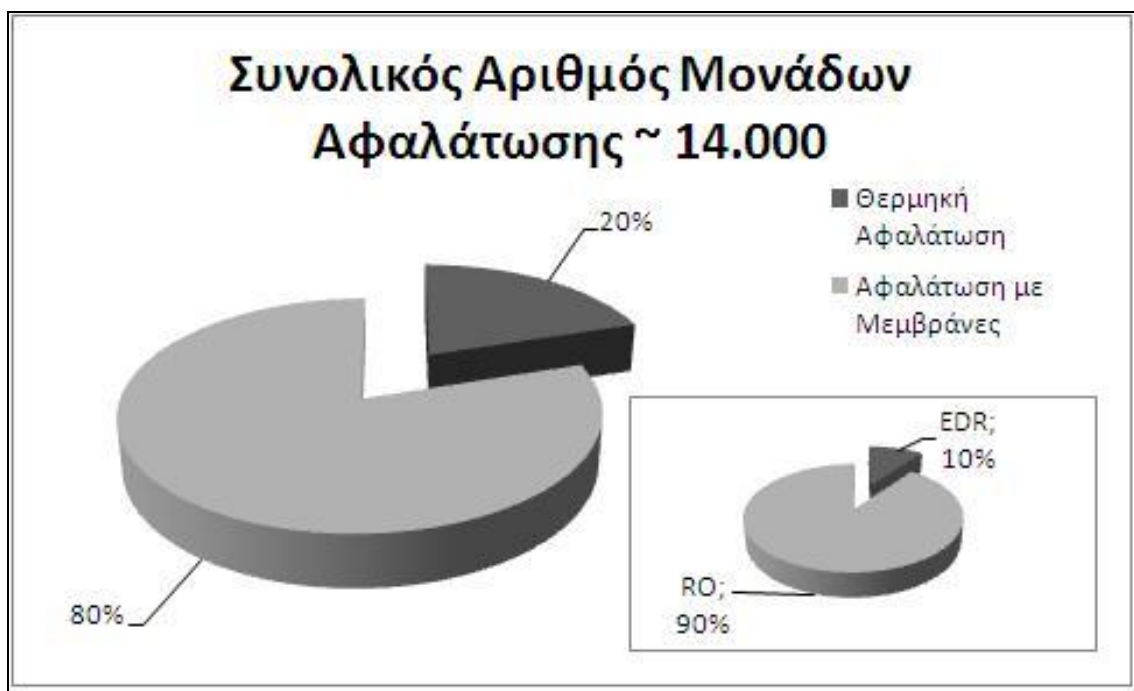


Σχήμα 5.16: Η μέθοδος της ηλεκτροδιαπίδυσης [27]

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

Όσο αφορά στην ποιότητα του νερού που παράγεται, οι μονάδες απόσταξης παράγουν νερό υψηλής ποιότητας με συγκεντρώσεις από 1,0 έως 50 ppm TDS (TDS= total dissolved solids), ενώ οι μονάδες αντίστροφης ώσμωσης παράγουν νερό με συγκεντρώσεις από 10 έως 500 ppm tds. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι τα διεθνή όρια για το πόσιμο νερό είναι 500 mg/L TDS, που αντιστοιχούν περίπου σε 500 ppm. Στις μονάδες αφαλάτωσης που παράγουν νερό για οικιακή χρήση, εφαρμόζονται διαδικασίες περαιτέρω επεξεργασίας με σκοπό να εξασφαλίσουν ότι το προηγούμενο νερό πλήρει τις προδιαγραφές υγιεινής για πόσιμο νερό καθώς και τα προτεινόμενα αντιδιαβρωτικά επίπεδα.

Το αφαλατωμένο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην καθαρή μορφή του (π.χ. ως νερό προετοιμασίας σε boiler παραγωγικών μονάδων), ή να αναμιχθεί με λιγότερο καθαρό νερό και να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, πόση κλπ. Συνήθως είναι πολύ πιο καθαρό από αυτό που προσδιορίζουν οι προδιαγραφές υγιεινής και γι' αυτό όταν προορίζεται για δημόσια χρήση, μπορεί να αναμιχθεί με νερό που παρέχει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε αδιάλυτες στερεές ουσίες. Επίσης, το καθαρό αφαλατωμένο νερό, είναι αρκετά όξινο και άρα διαβρώνει τις σωληνώσεις, γι' αυτό και θα πρέπει να αναμιχθεί με άλλες πηγές νερού ώστε να εξισορροπηθούν οι τιμές pH, σκληρότητας καθώς και η περιεκτικότητα σε αλκάλια προτού παραδοθεί για χρήση. Στο Σχήμα 5.17 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα σχετικά με την ευρύτατη χρήση που παρουσιάζουν οι μέθοδοι με χρήση μεμβρανών, της ηλεκτρόλυσης (EDR) και κυρίως της αντίστροφης ώσμωσης (RO) [27].



Σχήμα 5.17: Παγκόσμια κατανομή των μονάδων και των μεθόδων αφαλάτωσης [27]

Το αφαλατωμένο νερό που παράγεται αντιστοιχεί στο 15-50% του τροφοδοτούμενου νερού που αποτελεί είσοδο της μονάδας αφαλάτωσης. Για κάθε 100 κυβικά μέτρα θαλασσινού νερού, παράγονται 15 με 50 κυβικά μέτρα φρέσκου αφαλατωμένου νερού μαζί με νερό που παρέχει στερεά κατάλοιπα.

Οι διαδικασίες προετοιμασίας είναι απαραίτητες προκειμένου να απομακρυνθούν όσα συστατικά μπορούν να παρεμποδίσουν τη διαδικασία της αφαλάτωσης. Άλγη και βακτήρια μπορούν να αναπτυχθούν σε μονάδες απόσταξης ή αντίστροφης ώσμωσης, οπότε η βιοκτονία (συνήθως με χλώριο) είναι απαραίτητη για καθαρισμό. Ορισμένες μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης είναι ευαίσθητες στο χλώριο, οπότε η απομάκρυνση των θαλάσσιων οργανισμών πρέπει να γίνει με διαφορετική τεχνική, συνήθως με όζον ή υπεριώδη

ακτινοβολία. Το όζον βέβαια θα πρέπει να απομακρυνθεί από την εγκατάσταση προτού έρθει σε επαφή με τις μεμβράνες. Πρόσφατα αναπτύχθηκε μέθοδος αντίστροφης ώσμωσης που δεν απαιτεί την χημική προεργασία.

Οι μονάδες αφαλάτωσης παράγουν *υγρά απόβλητα* που μπορεί να περιέχουν το σύνολο ή κάποιο από τα συστατικά που αναφέρονται παρακάτω: υψηλές συγκεντρώσεις αλατιού, χημικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του καθαρισμού της μονάδας ή κατά τη διάρκεια των διαδικασιών προετοιμασίας και τοξικά μέταλλα (από την επαφή με τα μεταλλικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των εγκαταστάσεων). Τα υγρά απόβλητα μπορούν να αποβληθούν είτε απευθείας στη θάλασσα μαζί με το νερό ψύξης της μονάδας ή η αποβολή να γίνει στον υπόνομο και από εκεί να ακολουθήσει η επεξεργασία σε μία μονάδα επεξεργασίας λυμάτων. Τέλος μπορεί να γίνει αποξήρανση και κατόπιν αποβολή σε κάποιο χώρο υγειονομικής ταφής απορριμμάτων. Οι μονάδες αφαλάτωσης παράγουν και μικρή ποσότητα στερεών αποβλήτων.

5.3.3 Οι απαιτήσεις σε ενέργεια μίας μονάδας αφαλάτωσης

Η ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται κατά την αφαλάτωση είναι κυρίως ηλεκτρισμός και θερμότητα. Οι ενεργειακές ανάγκες μιας μονάδας αφαλάτωσης εξαρτώνται από την αλατότητα και τη θερμοκρασία του τροφοδοτικού νερού, την ποιότητα του παραγόμενου νερού και την τεχνολογία αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται. Οι εκτιμήσεις για τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για τις διάφορες μεθόδους παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3: Ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια ανάλογα με την μέθοδο αφαλάτωσης [27]

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh/AF)
MSF	3,500-7,000
MED	2,500-5,000
VC	10,000-15,000
RO-single pass	5,800-11,000
RO-double pass	6,500-12,000

Εκτός από τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια, οι μονάδες που χρησιμοποιούν τεχνολογίες MSF, MED και VC χρησιμοποιούν και θερμική ενέργεια για θέρμανση του τροφοδοτικού νερού. Εξαιτίας της χαμηλής αποδοτικότητας της μετατροπής θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό, υπάρχει ένα υψηλό ενεργειακό πέναλτι αν η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση του τροφοδοτικού νερού. Για παράδειγμα, σε αντιδιαστολή με τις 3,500 έως 7,000 kWh/AF (AF=acre foot=1233,5 m³) ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούνται για μια μονάδα διύλισης MSF, η θερμική ενέργεια που απαιτείται είναι περίπου 270 εκατομμύρια Btu/AF (~26.000 kWh/AF). Για τις μονάδες τεχνολογίας MED οι απαιτήσεις θερμικής ενέργειας υπολογίζονται σε 230 εκατομμύρια Btu/AF (~22,000 kWh/AF). Συνολικά οι ολικές ενεργειακές ανάγκες για τις μονάδες απόσταξης είναι υψηλότερες από αυτές που χρησιμοποιούν μεμβράνες.

Γενικά οι ανάγκες των μονάδων αφαλάτωσης σε ενέργεια είναι πάρα πολύ υψηλές. Για παράδειγμα στις Η.Π.Α και πιο συγκεκριμένα στην Santa Barbara, υπολογίζεται ότι θα απαιτούνται 50 εκατομμύρια kWh/έτος ούτως ώστε η τοπική μονάδα αφαλάτωσης να παράγει 7,500 AF/έτος φρέσκου νερού. Στον αντίποδα η ενέργεια που θα χρειαζόταν για να αντληθεί αντίστοιχη ποσότητα νερού από τον ποταμό Colorado κυμαίνεται μεταξύ 15–26 εκατομμύρια kWh/έτος. Τόσο οι μονάδες απόσταξης όσο και οι μονάδες Αντίστροφης ώσμωσης, θα μπορούσαν να περιορίσουν τις ανάγκες τους με τη χρήση μονάδων συμπαραγωγής. Παρακάτω στον Πίνακα 5.3 παρατηρούμε τις μεθόδους αφαλάτωσης και τις αντίστοιχες απαιτήσεις τους σε ενέργεια.

5.3.4. Σύγκριση Μεθόδων αφαλάτωσης

Η ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται στην αφαλάτωση είναι ο ηλεκτρισμός και η θερμότητα. Για να επιλέξει κάποιος μια συγκεκριμένη μέθοδο πρέπει να λάβει υπόψη του:

- Την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας (θαλασσινό, υφάλμυρο)
- Την ποσότητα και την ποιότητα του παραγόμενου νερού
- Το κόστος επένδυσης

- Τη διαθεσιμότητα χώρου
- Τις ενεργειακές απαιτήσεις και τις διαθέσιμες μορφές ενέργειας
- Τη διαθεσιμότητα και την εμπειρία του προσωπικού

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης που περιγράφηκαν παρουσιάζονται και συγκρίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης [27]

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

5.4 Πηγές ενέργειας για αφαλάτωση

Οι λεγόμενες συμβατικές μορφές ενέργειας, οι οποίες κυρίως χρησιμοποιούνται σήμερα στις μεγάλες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, παρουσιάζουν συχνές και πολλές φορές σημαντικές αυξομειώσεις κόστους, με αντίστοιχη επίδραση στο κόστος του αφαλατωμένου νερού. Η μεταφορά εξάλλου του αφαλατωμένου νερού σε μεγάλες αποστάσεις από τον τόπο της παραγωγής του αυξάνει κατά πολύ το κόστος του, το ύψος του οποίου εξαρτάται και από τοπικούς παράγοντες. Αυτές οι συνθήκες καθιστούν αναγκαία, εκτός από ακραίες περιπτώσεις, την κατανάλωσή του στην ευρύτερη περιοχή της παραγωγής του, όπου κατά κανόνα πρέπει να διατίθεται και η ενέργεια για την τροφοδότηση της εγκατάστασης.

5.5 Το κόστος του αφαλατωμένου νερού

Το κόστος των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης χωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Κόστος αρχικής επένδυσης
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- Κόστος παραγόμενου νερού [19]

Το κόστος της αρχικής επένδυσης περιλαμβάνει το κόστος μελέτης, κατασκευής, προμηθειών, δανειοδότησης, το κόστος για την έκδοση της άδειας εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης. Βέβαια, από όλα αυτά τα προαναφερόμενα κόστη, μεγαλύτερο είναι εκείνο της κατασκευής της εγκατάστασης αφαλάτωσης. Το κόστος κατασκευής της μονάδας αποτελεί ένα ποσοστό 50-80% του αρχικού κόστους επένδυσης και περιλαμβάνει τα κόστη προμήθειας, κατασκευής και εγκατάστασης των συστημάτων αφαλάτωσης και των συστημάτων επεξεργασίας του νερού, πριν και μετά την αφαλάτωση. Το υπόλοιπο ποσοστό, δηλαδή το 20-50% αναφέρεται στα διαδικαστικά κόστη μελέτης, σχεδιασμού, αδειοδότησης και δανείων της εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης, καθώς και στο κονδύλι των "απροβλέπτων".

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αναφέρεται στις ενεργειακές δαπάνες που απαιτεί η εγκατάσταση, το κόστος του εργατοτεχνικού προσωπικού, αναλώσιμα, ανταλλακτικά κλπ. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αποτελείται από δύο παραμέτρους: το σταθερό και το μεταβλητό κόστος. Το σταθερό κόστος αναφέρεται σε όλα τα κόστη που δεν εξαρτώνται από την ποσότητα του παραγόμενου πόσιμου νερού και είναι: τα εργατικά, η συντήρηση του εξοπλισμού, ο τεχνικός έλεγχος, τα κόστη για την

περιβαλλοντική προστασία από την μονάδα αφαλάτωσης, τα κόστη ασφάλισης και διοίκησης, και συνήθως αποτελεί το 15-50% του συνολικού κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Το μεταβλητό κόστος εξαρτάται από την παραγόμενη ποσότητα νερού και αναφέρεται στην ενέργεια που καταναλώνεται, την απαιτούμενη χημική επεξεργασία, αντικατάσταση ανταλλακτικών που φθείρονται, απομάκρυνση άλμης κλπ. και αποτελεί το υπόλοιπο 50-85% του κόστους συντήρησης και λειτουργίας. Συχνά το ενεργειακό κόστος αγγίζει το 60% του μεταβλητού κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

Είναι προφανές ότι για την οικονομική αξιολόγηση μιας μονάδας αφαλάτωσης υπολογίζεται το άθροισμα των κοστών που αναφέρθηκαν παραπάνω σε €/m³.

Μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το κόστος παραγωγής του αφαλατωμένου νερού είναι το μέγεθος της μονάδας αφαλάτωσης (οικονομία κλίμακας). Συγκριτικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι π.χ. μια μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με δυναμικότητα 5.000 m³/ημέρα έχει κόστος παραγόμενου νερού κατά μέσο όρο 1,5€/m³ ενώ όταν η δυναμικότητα αυξηθεί σε 20.000 m³/ημέρα το κόστος μειώνεται σε 0,75€/m³ κατά μέσο όρο. Αναλυτικότερα, τάξη κόστους του παραγόμενου νερού, ανάλογα με την δυναμικότητα και ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη πηγή ενέργειας, φαίνεται στους παρακάτω Πίνακες 5.5,5.6:

Πίνακας 5.5: Δυναμικότητα μονάδας αφαλάτωσης - είδος νερού – κόστος (€/m³) [20]

Είδος νερού που χρησιμοποιείται	Δυναμικότητα μονάδας αφαλάτωσης (m ³ /ημέρα)	Κόστος (€/m ³)
Υφάλμυρο	<1.000	0,63-1,06
	5.000-60.000	0,21-0,43
Θαλασσινό	<1000	1,78-9,00
	1.000-5.000	0,56-3,15
	12.000-60.000	0,35-1,30
	>60.000	0,40-0,80

Πίνακας 5.6: Πηγή ενέργειας- Είδος Νερού – Κόστος (€/m³) [20]

Είδος νερού που χρησιμοποιείται	Πηγή Ενέργειας	Κόστος (€/m ³)
Υφάλμυρο (αλατότητα < 1000 ppm)	Συμβατική	0,21-1,06
	Φ/Β	4,5-10,32
Θαλασσινό (αλατότητα > 1000 ppm)	Γεωθερμία	2,00
	Συμβατική	0,35-2,70
	Άνεμος	1,00-5,00
	Φ/Β	3,14-9,00

Άλλη παράμετρος που επηρεάζει το τελικό κόστος του παραγόμενου νερού είναι ο συντελεστής διαθεσιμότητας της μονάδας. Αυτός ερμηνεύεται ως ποσοστό του χρόνου που η μονάδα αφαλάτωσης παράγει ποσότητα ίση ή μικρότερη της ονομαστικής ετήσιας δυναμικότητας. Για παράδειγμα, μία μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση, δυναμικότητας 100 m³ /ημέρα, παράγει 100x365x1 = 36500 m³/έτος με συντελεστή διαθεσιμότητας 100%. Ενώ αν η ίδια μονάδα λειτουργεί 10% του χρόνου με δυναμικότητα λιγότερη από 365 m³/d, τότε η ετήσια παραγωγή θα είναι 100 x 365 x 0.9=32850 m³/έτος.

Όταν αυξάνεται ο συντελεστής διαθεσιμότητας, αυξάνεται και το ετήσιο μεταβλητό κόστος λειτουργίας, αλλά συνήθως τα έσοδα από την πώληση του νερού υπερκαλύπτουν αυτό το αυξημένο κόστος. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος του παραγόμενου νερού, κυρίως από μονάδα αντίστροφης ώσμωσης είναι η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας, δηλαδή η αλατότητα, η θερμοκρασία, η θολότητα, η ύπαρξη οργανικής ουσίας, η ύπαρξη χημικών στοιχείων όπως το πυρίτιο, μαγνήσιο και το κάλιο.

Η αύξηση της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας αυξάνει το αρχικό κόστος κατασκευής της μονάδας, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας γενικά μειώνει το κόστος παραγωγής αλλά καταστρέφει τις συστοιχίες των μεμβρανών. Τέλος, οι χημικές ουσίες που βρίσκονται διαλυμένες στο νερό τροφοδοσίας αυξάνουν το κόστος

της επεξεργασίας που πρέπει να προηγηθεί, ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και η ποιότητα του προς χρήση νερού. Η απαιτούμενη υψηλή ποιότητα του πόσιμου νερού αυξάνει σημαντικά το συνολικό κόστος της μονάδας. Ο τρόπος διαχείρισης της άλμης επίσης επηρεάζει το κόστος, με την απόρριψη της άλμης στην θάλασσα να είναι η πιο φθηνή λύση.

Τα τελευταία χρόνια με αφορμή διάφορα υπό κατασκευή φράγματα και άλλα έργα υδατικών πόρων, ιδιαίτερα σε νησιωτικές περιοχές, τα κόστη παραγωγής πόσιμου νερού από αυτά τα έργα συγκρίνονται με αυτά από μονάδες αφαλάτωσης. Οι συγκρίσεις αυτές συνήθως δε λαμβάνουν υπόψη τους τις τελευταίες εξελίξεις και τάσεις κυρίως σε ότι αφορά αυτές των μεμβρανών μακροδιήθησης, υπερδιήθησης, μικροδιήθησης, αντίστροφης ώσμωσης και άλλων.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, πολλά νησιά του Αιγαίου (Μήλος, Σαντορίνη, ακόμα και η Σύρος) αντιμετωπίζουν δυσκολίες εφόσον είναι αναγκασμένα να κάνουν οικονομία στο νερό. Το κόστος της μεταφοράς του πόσιμου νερού είναι της τάξεως των 8-9 €/m³ ενώ καταβάλλονται άλλα 0,70 €/m³ στην ΕΥΔΑΠ. Ενώ τελικά γίνεται μεταφορά περισσότερων από 2.500.000 m³ νερού στα άνυδρα νησιά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, αυτά δεν φτάνουν για να καλύψουν τις αυξημένες ανάγκες λόγω τουρισμού. Η τιμή του αφαλατωμένου νερού φτάνει τα 4 €/m³ ενώ σε κάποιες περιπτώσεις οι δήμοι γίνονται πελάτες ιδιωτικών εταιρειών. Στη Μήλο, δραστηριοποιείται ιδιωτική εταιρία με ανεμογεννήτριες, κατόπιν εγκρίσεως του Υπουργείου Ανάπτυξης, και η οποία με την υπό κατασκευή μονάδα αφαλάτωσης που θα δουλεύει με αιολική ενέργεια, θα παράγει ποσότητα νερού ικανή να καλύψει τις ανάγκες του νησιού. Με τον τρόπο όμως αυτό ο Δήμος θα μετατραπεί σε πελάτη της εταιρίας και όχι σε συνέταιρο.

Ακόμα μία λύση που φαίνεται να υιοθετούν αρκετοί κάτοικοι είναι η αγορά μονάδας αφαλάτωσης από ιδιώτες. Στη Σύρο, για παράδειγμα, υπάρχουν επιχειρηματίες, οι οποίοι υπολογίζοντας το κόστος μιας τέτοιας μονάδας σε σύγκριση με την αγορά πόσιμου νερού από το δήμο, αποφάσισαν να εγκαταστήσουν δικές τους μονάδες αντίστροφης ώσμωσης θαλασσινού νερού.

Το 2006 μεταφέρθηκαν 510.000 m³ νερού στην Αμοργό, Κουφονήσια, Κίμωλο, Ηρακλειά, Σχοινούσα, Φολέγανδρο, Σίκινο, Θηρασιά και Μήλο προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι ανάγκες των κατοίκων και των χιλιάδων τουριστών που επισκέφθηκαν τα νησιά. Συγκεκριμένα, οι μεταφερόμενες ποσότητες νερού στα άνυδρα νησιά των Κυκλάδων από το 1997 μέχρι και το 2006 στοίχησαν στο Υπουργείο Αιγαίου συνολικά 48.000.000 €, ποσό που αντιστοιχούσε συνολικά σε 9.000.000 m³. Τα κρατικά χρήματα, που δαπανήθηκαν σε ναυτιλιακές εταιρίες, που διαθέτουν "βυτιοφόρα" πλοία και τα οποία το 2006 μετέφεραν νερό στις Κυκλάδες, ανέρχονται στο ποσό των 4.057.000 €, με "πρωταθλήτρια" στην κατανάλωση για την ίδια χρονική περίοδο τη Μήλο με 262.000 m³ ενώ ακολουθεί η Φολέγανδρος με 54.500 m³.

Αρκετοί πιστεύουν ότι αν τα χρήματα αυτά είχαν επενδυθεί για την κατασκευή κατάλληλων έργων τότε, θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί η καλοκαιρινή λειψυδρία και η τιμή του εμφιαλωμένου νερού δεν θα έφτανε σε ύψη. Σε πολλές Μεσογειακές χώρες με τους διαθέσιμους σήμερα νέους τύπους μεμβρανών και κυρίως τη συνεχώς μειούμενη ενέργεια ανά μονάδα όγκου παραγόμενου νερού, το λειτουργικό κόστος της αφαλάτωσης αλλά και το κόστος της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μειώνεται χρόνο με το χρόνο δραστικά. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις επιφανειακών ταμιευτήρων, δεν υπολογίζονται τα κόστη της επεξεργασίας και μεταφοράς, προκειμένου το συλλεγόμενο σ' αυτούς νερό να καταστεί πόσιμο και φυσικά διαθέσιμο στους καταναλωτές.

Με δεδομένα τα παραπάνω στο προσεχές μέλλον προβλέπεται ότι το κόστος του αφαλατωμένου νερού, ιδιαίτερα των υφάλμυρων νερών, θα μειωθεί σε επίπεδα μικρότερα από τους συμβατικούς υδατικούς πόρους. Στη Μάλτα, όπου το 70% του συνολικού νερού που καταναλώνεται είναι αφαλατωμένο νερό και το κόστος του είναι με τις μεμβράνες που σήμερα χρησιμοποιούνται 0,46 €/m³. Με νέες μεμβράνες που δοκιμάζονται το κόστος μπορεί να πέσει στα 0,34 €/m³ [20].

5.6 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αφαλάτωση

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της απόρριψης της άλμης στη θάλασσα σχετίζονται με απώλειες οικοσυστημάτων και θαλάσσιων ειδών. Υπάρχουν διάφοροι συμβατικοί τρόποι για τη διαχείριση της άλμης:

- Η απόρριψη της άλμης απευθείας ξανά στη θάλασσα
- Η απόρριψη σε σύστημα αποχέτευσης
- Η απόρριψη της άλμης σε γεωτρήσεις

- Η απόρριψη απευθείας στο έδαφος
- Η χρήση της ηλιακής λίμνης με σκοπό την εξάτμιση του νερού, συλλογή του αλατιού αλλά και την αποθήκευση της θερμότητας.

Υπάρχουν επίσης και οι μη συμβατικοί τρόποι διαχείρισης της άλμης, όπως η χρήση της σε υδροβιότοπους ή στην ιχθυοκαλλιέργεια. Υπάρχει επίσης και η τεχνική της μείωσης του όγκου της απορριπτόμενης άλμης μέσω μιας δεύτερης βαθμίδας αφαλάτωσης που θα έχει την παραγόμενη άλμη από την πρώτη βαθμίδα ως νερό τροφοδοσίας. Οι μη συμβατικές μέθοδοι διαχείρισης της άλμης δεν έχουν βρει ευρεία εφαρμογή λόγω του μεγάλου κόστους.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις μονάδες αφαλάτωσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

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



Εικόνα 5.5: Αυτόνομη Μονάδα Αφαλάτωσης Αντίστροφης Ώσμωσης στα Κανάρια Νησιά με φωτοβολταϊκά κελιά [27]

Επίσης, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις διακρίνονται:

- Κατά το στάδιο της κατασκευής
 - Ηχορύπανση
 - Αισθητική ρύπανση
 - Δημιουργία σκόνης
- Κατά το στάδιο λειτουργίας

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

Στο πλαίσιο λοιπόν της προστασίας του περιβάλλοντος, εντάσσεται ο συνδυασμός των ενεργειακών καταναλώσεων των μονάδων αφαλάτωσης με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Πλέον ο συνδυασμός των τεχνολογιών είναι εφαρμόσιμος και τεχνοοικονομικά εφικτός. Η αποτελεσματικότητα και η απόδοση του συνδυασμού των τεχνολογιών αυτών εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως το δυναμικό των ΑΠΕ (αιολικό, ηλιακό) και την ποιότητα του τροφοδοτούμενου νερού (υφάλμυρο ή θαλασσίνο). Επίσης, εξαρτάται από την ικανότητα του συστήματος να παρέχει σταθερή ισχύ και συνεχή λειτουργία, άρα πρέπει να υπάρχει

σχεδιασμός για αποθήκευση ενέργειας. Η χρήση όμως συσσωρευτών που εξασφαλίζουν σταθερή παροχή ισχύος στην μονάδα αφαλάτωσης αυξάνει κατά πολύ το κόστος της εγκατάστασης. Είναι χαρακτηριστικό ότι η αφαλάτωση ξεκίνησε να χρησιμοποιείται κυρίως στη Μέση Ανατολή όπου υπάρχει έλλειψη νερού, αλλά άφθονη ενέργεια με την μορφή του πετρελαίου [27].

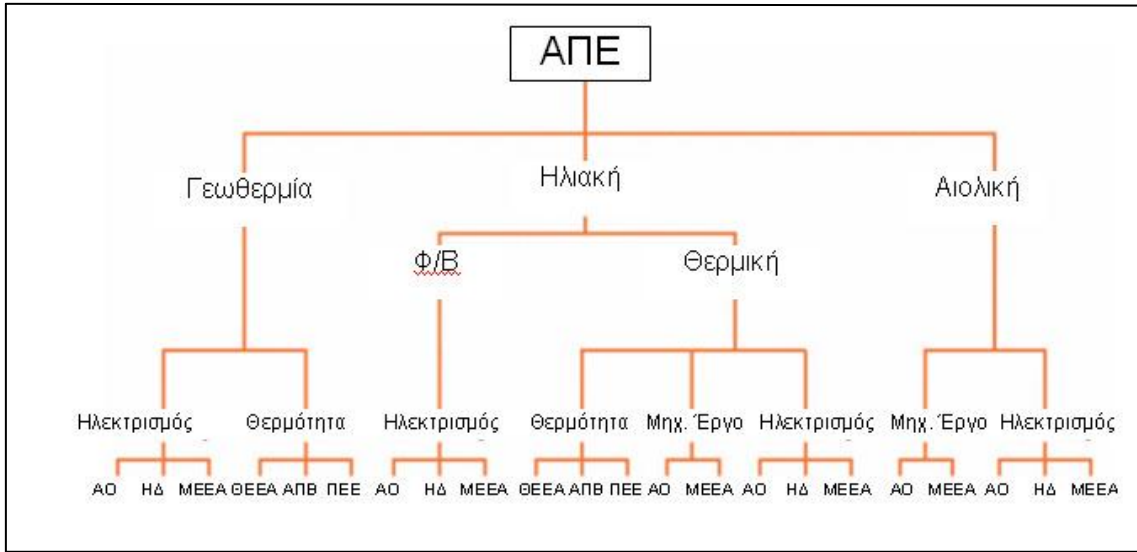
Η παραγόμενη άλμη από τις μονάδες αφαλάτωσης θεωρείται ρυπαντική προς το περιβάλλον διότι έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων από το θαλασσινό νερό και μεγαλύτερη θερμοκρασία. Στην αντίστροφη ώσμωση υπάρχει συμπύκνωση της εξερχόμενης άλμης κατά 1,3 – 1,7 φορές. Επίσης, περιέχει χημικές ουσίες από την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

5.7 Αφαλάτωση με ΑΠΕ—"Πράσινη Αφαλάτωση"

Στον πλανήτη Γη δεν υπάρχει έλλειψη νερού, υπάρχει έλλειψη γλυκού νερού. Σήμερα μπορούν να μας το εξασφαλίσουν πιο αποτελεσματικά οι νέες μέθοδοι αφαλάτωσης. Σήμερα 300 εκατ. άνθρωποι προμηθεύονται το νερό τους από τη θάλασσα ή από υφάλμυρα υπόγεια ύδατα, ακατάλληλα για πόση. Η αφαλάτωση ξεκίνησε στη Μέση Ανατολή τη δεκαετία του 1970 και από τότε εξαπλώθηκε σε 150 χώρες. Τα επόμενα έξι χρόνια νέες μονάδες αφαλάτωσης ενδέχεται να αυξάνουν τα παγκόσμια υδάτινα αποθέματα ως και κατά 49 δισ. λίτρα τη μέρα. Ο λόγος είναι απλός: Καθώς ο πληθυσμός αυξάνεται και η γεωργία και η βιομηχανία επεκτείνονται, το γλυκό, καθαρό νερό γίνεται όλο και πιο δυσεύρετο.

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και οι μονάδες αφαλάτωσης είναι δύο διαφορετικές τεχνολογίες, που όμως μπορούν να συνδυαστούν με ποικίλους τρόπους. Η διασύνδεση μεταξύ του συστήματος ανανεώσιμης ενέργειας (ΑΕ) και του συστήματος αφαλάτωσης συναντάται στο υποσύστημα εκείνο όπου η ενέργεια που παράγεται από το σύστημα ΑΕ προωθείται στην μονάδα αφαλάτωσης. Αυτή η ενέργεια μπορεί να είναι σε διάφορες μορφές όπως θερμική ενέργεια και ηλεκτρική ενέργεια. Οι πιθανοί συνδυασμοί παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.15. Τα συστήματα αφαλάτωσης που κάνουν χρήση ανανεώσιμης ενέργειας, διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: σε *θερμικών διεργασιών* και *ηλεκτρομηχανικών διεργασιών*. Όσο αφορά στην πηγή ενέργειας, μία μονάδα αφαλάτωσης που τροφοδοτείται από ανανεώσιμη ενέργεια κατά πάσα πιθανότητα είναι μια αυτόνομη μονάδα, σε μια περιοχή που δεν υπάρχει δίκτυο ηλεκτρισμού. Τα αυτόνομα συστήματα είναι συνήθως υβριδικά συστήματα, που συνδυάζουν περισσότερες από μία μορφές ανανεώσιμης ενέργειας, για παράδειγμα αιολική και ηλιακή ή κάνουν χρήση και γεννήτριας diesel. Για να εξασφαλιστεί μάλιστα η απρόσκοπη λειτουργία ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες, τα αυτόνομα συστήματα είναι εξοπλισμένα με συσκευές αποθήκευσης ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια λόγω κυρίως της εμπειρίας που προέκυψε από την εντατική εφαρμογή, οι *συμβατικές μονάδες αφαλάτωσης* είναι διαφορετικές. Από την άλλη η κατάσταση με την χρήση ανανεώσιμης ενέργειας είναι διαφορετική. Στις μέρες μας τα συγκεκριμένα συστήματα τεχνολογίας, έχουν παραγωγική ικανότητα που κυμαίνεται από μερικά έως 100 m³ την ημέρα. Μόλις πρόσφατα εμφανίστηκαν μονάδες μεσαίου μεγέθους που κάνουν χρήση ηλιακής ενέργειας, σύμφωνα με τις οποίες λίγα σχέδια εμφάνισαν αξιοπιστία. Στο Σχήμα 5.18 φαίνεται ένα διάγραμμα σύμπααραγωγής των ΑΠΕ με τις μονάδες αφαλάτωσης.



Σχήμα 5.18: Συμπαράγωγή των ΑΠΕ με τις μονάδες αφαλάτωσης [27]

Όπως είναι εύκολα κατανοητό, δεν είναι όλοι οι συνδυασμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποδεκτοί για χρήση σε μονάδα αφαλάτωσης, καθώς μπορεί να μην είναι βιώσιμοι υπό ορισμένες συνθήκες. Η βέλτιστη επιλογή συνήθως προκύπτει έπειτα από μελέτη των τοπικών παραμέτρων της τοποθεσίας που θα κατασκευαστεί η μονάδα, όπως τις γεωγραφικές συνθήκες, την τοπογραφία της περιοχής, το είδος και τη διαθεσιμότητα της ενέργειας με χαμηλό πάντα κόστος, τις τοπικές υποδομές (π.χ. δίκτυο ηλεκτρισμού, συγκοινωνίες), το μέγεθος της μονάδας, την αλατότητα του νερού καθώς και πολλές άλλες παραμέτρους. Στο Σχήμα 5.19 παρατηρείται ότι η χρήση των φωτοβολταϊκών και τις αντίστροφης ώσμωσης είναι ο πιο δημοφιλής και επιτυχημένος συνδυασμός.



Η αφαλάτωση με τη συμβολή ΑΠΕ, που μπορεί να παράσχει επαρκείς ποσότητες νερού καλής ποιότητας και με χαμηλό κόστος 1 έως 2 ευρώ ανά κυβικό μέτρο, είναι μια καλή προοπτική για τα νησιά του Αιγαίου, η οποία όμως σκοντάφτει στην έλλειψη στρατηγικού σχεδιασμού. Κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, χωροταξία, δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κ.λπ., η αφαλάτωση μπορεί να αποτελέσει μια «εξαιρετική λύση» στο πρόβλημα της υδροδότησης των άνω νησιών του Αιγαίου.

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), θεωρούνται γενικά όσες έχουν χαμηλό κόστος (δωρεάν πρώτη ύλη) και ως εκ τούτου θεωρούνται οικονομικές, δεν ρυπαίνουν ή μολύνουν το περιβάλλον. Εν τούτοις, δεν είναι πάντοτε εφαρμόσιμες στην αφαλάτωση, ακόμα και αν χρησιμοποιούνται μόνο σε μικρές μονάδες, χαμηλής παροχής, όπου άλλες πηγές ενέργειας δεν είναι προσιτές. Οι κύριοι λόγοι που οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν έχουν βρει ευρύτερη εφαρμογή είναι ότι δεν έχουν συνεχή ροή ώστε να ανταποκρίνονται στη ζήτηση της παραγωγής, δεν είναι δυνατόν να αποθηκευτούν, όπως π.χ. η ηλιακή, σε ποσότητα ή ένταση για την απρόσκοπτη λειτουργία της εγκατάστασης αφαλάτωσης και η τεχνολογία συλλογής ή και σύζευξης δεν έχει αναπτυχθεί σε σημείο ώστε να παρέχει φθηνή ενέργεια σε χαμηλό κόστος.

Το υδρολογικό διαμέρισμα των νησιών του Αιγαίου σε αντίθεση με την ενδοχώρα εμφανίζει έλλειψη φυσικών πηγών και ασύμμετρα μεγάλη ζήτηση νερού λόγω της έντονης τουριστικής ανάπτυξης. Το πιο οξύ πρόβλημα έλλειψης νερού παρουσιάζεται στη Σύρο, τη Θήρα (και τη Θηρασιά), την Κίμωλο, την Αντίπαρο, την Αμοργό, τη Φολέγανδρο, τη Λέρο, την Κάρπαθο, την Πάτμο, τη Σύμη, τη Νίσυρο, τους Λειψούς και τη Χάλκη.

Λύση του προβλήματος αυτού είναι η εγκατάσταση συστημάτων αφαλάτωσης με ΑΠΕ, σε μεγάλο αριθμό νησιών του Βόρειου και Νότιου Αιγαίου, τροφοδοτούμενα κυρίως από ανεμογεννήτριες (Α/Γ) και φωτοβολταϊκά (Φ/Β). Βασική προϋπόθεση γι' αυτό είναι η εξαίρεση της ισχύος ΑΠΕ από τους περιορισμούς που ισχύουν σήμερα για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά, λόγω του γεγονότος ότι σε πολλά από αυτά έχουν κλείσει οι δυνατότητες νέων αδειοδοτήσεων. Θα πρέπει ακόμα να εξεταστούν οι αυτόνομες (μη συνδεδεμένες με το δίκτυο) μονάδες αφαλάτωσης με ΑΠΕ, στο βαθμό που τα χωροταξικά δεδομένα (αποκαταστάσεις από το ηλεκτρικό δίκτυο, διαθεσιμότητα νερού, κόστος δικτύου μεταφοράς του κ.λπ.) κάνουν απαγορευτική τη διασύνδεση. Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι εγκαταστημένες μονάδες αφαλάτωσης στο Αιγαίο, η παραγωγή πόσιμου νερού σε m^3 από συμβατικές μονάδες και τα ποσοστά χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αυτές, που περιλαμβάνουν: αιολικά, υβριδικά, ηλιοθερμικά, ηλιοηλεκτρικά.

Οι μεγάλες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης συνήθως χρησιμοποιούν συμβατικές μορφές ενέργειας, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές αυξομειώσεις κόστους οι οποίες επηρεάζουν σαφώς και το κόστος του παραγόμενου νερού. Είναι αναγκαίο το αφαλατωμένο νερό να καταναλώνεται κοντά στην περιοχή παραγωγής του, καθόσον η μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις από τον τόπο που παράγεται αυξάνει το κόστος απαγορευτικά. Συνεπώς η ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία της εγκατάστασης θα πρέπει να διατίθεται στην ευρύτερη περιοχή της μονάδας αφαλάτωσης. Κατά κανόνα η ηλεκτρική ενέργεια διατίθεται σε όποια ποσότητα και απόσταση είναι απαραίτητο, αλλά δεν συμβαίνει το ίδιο με την θερμική ενέργεια. Η μεταφορά της θερμότητας ακόμα και σε μικρές αποστάσεις είναι πολύ ακριβή [27].

Διάφορες βιομηχανίες απορρίπτουν τεράστιες ποσότητες θερμικής ενέργειας είτε ως αέρας ψύξης στην ατμόσφαιρα, είτε ως νερό ψύξης στο περιβάλλον. Η περιεκτικότητα σε θερμική ενέργεια είναι χαμηλή, όμως επειδή οι ποσότητες είναι πολύ μεγάλες, θα μπορούσε υπό προϋποθέσεις, η ενέργεια αυτή να χρησιμοποιηθεί στην αφαλάτωση.

Σε πολλές βιομηχανίες (τσιμεντοβιομηχανίες, βιομηχανίες παραγωγής γυαλιού, σιδηροβιομηχανίες κλπ.) τα προϊόντα ψύχονται στο τελικό ή σε ενδιάμεσο στάδιο κατεργασίας με πολύ υψηλές θερμοκρασίες, όπως αυτές που αναπτύσσονται σε αεριοστρόβιλους ή στο σώμα και στα καυσαέρια των μηχανών diesel.

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν σχετικά χαμηλό κόστος, καθόσον προέρχονται από δωρεάν πρώτη ύλη αλλά δεν προσφέρονται πάντα για την χρήση τους στις μονάδες αφαλάτωσης. Φυσικά δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον και είναι προσιτές, όμως δεν έχουν βρει ευρύτερη εφαρμογή ακόμα και σε μικρές μονάδες αφαλάτωσης για τους εξής λόγους:

- Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν έχουν συνεχή ροή ώστε να ανταποκρίνονται στην ζήτηση της παραγωγής
- Δεν μπορούν να αποθηκευτούν σε ποσότητα ή ένταση που απαιτείται για την σωστή λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης

- Η τεχνολογία του συνδυασμού αφαλάτωσης και ΑΠΕ δεν είναι επαρκώς εξελιγμένη ώστε να παρέχεται φθηνή ενέργεια σε χαμηλό κόστος. Συνήθως η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται προέρχεται από φωτοβολταϊκά [27].

5.7.1 Συνδυασμός Ανεμογεννητριών–Αφαλάτωσης

Οι ανεμογεννήτριες (Εικόνα 5.6) ήρθαν στο προσκήνιο της ενεργειακής τεχνολογίας λόγω των ενεργειακών κρίσεων στα μέσα της δεκαετίας του εβδομήντα και λόγω της ολοένα και επιδεινούμενης υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Η κύρια εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου, δηλαδή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο και η τροφοδοσία της στα τοπικά ηλεκτρικά δίκτυα.



Εικόνα 5.6: Ανεμογεννήτριες [27]

Η σύζευξη των ανεμογεννητριών με συστήματα αφαλάτωσης είναι τεχνικά εφικτή και οικονομικά ελκυστική με την προϋπόθεση η μονάδα αφαλάτωσης να είναι είτε αντίστροφης ώσμωσης είτε ηλεκτροδιάλυσης και βέβαια, να υπάρχει δυνατότητα μεγάλης αποθήκευσης της ενέργειας και συστήματα ηλεκτρονικά που να διαχειρίζονται την μεγάλη μεταβλητότητα της αιολικής ενέργειας.

Στην Ελλάδα έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για χρήση ανεμογεννητριών σε απ' ευθείας σύνδεση με μονάδες αφαλάτωσης και σε συνδυασμό μάλιστα και με χρήση φωτοβολταϊκών, με μεγάλη επιτυχία, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Μάλιστα η πλωτή ανεμογεννήτρια τοποθετείται σε μεγάλη απόσταση από την στεριά, όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ μεγαλύτερη και σταθερή [27].

5.7.2 Συνδυασμός Φωτοβολταϊκών–Αφαλάτωσης

Η κύρια πηγή ενέργειας που εισέρχεται στην γήινη ατμόσφαιρα προέρχεται από τον ήλιο, ο οποίος συνεχώς αποβάλλει μέρος της μάζας του εκπέμποντας κύματα και σωματίδια υψηλής ενέργειας, στο διάστημα. Η ένταση της ηλιακής ενέργειας που διασχίζει τα όρια της γήινης ατμόσφαιρας είναι 1367 W/m^2 και είναι η πλέον αξιοποιούμενη από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η τεχνολογία στο θέμα της κάλυψης θερμικών αναγκών συνεχώς εξελίσσεται και προσπαθεί να γίνει ανταγωνιστική σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο η τεχνολογία της ηλιακής απόσταξης, η οποία απαιτεί απλές κατασκευές και εύκολη τοποθέτηση.

Σήμερα μπορεί κανείς να ισχυριστεί ότι η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων συνδυάζεται με πολύ καλά αποτελέσματα με τα συστήματα αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση για αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Αντίθετα, η συνδυασμένη λειτουργία φωτοβολταϊκών με συστήματα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης δεν είναι ακόμα αρκετά ώριμη, δεδομένης της μεγάλης ποσότητας ενέργειας που απαιτείται και άρα υψηλού κόστους των φωτοβολταϊκών γεννητριών.

Η ηλιο-κινούμενη αφαλάτωση (solar assisted) περιλαμβάνει συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε θερμική, όμως δεν έχουν βρει ευρεία εμπορική εφαρμογή [29].

Συχνά η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από την συνεργασία ηλεκτρικών πηγών διαφόρων ειδών, όπου η μια πηγή υποβοηθά και δρα συμπληρωματικά ως προς την άλλη ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη απόδοση με το μικρότερο δυνατόν κόστος. Τα συστήματα αυτού του τύπου ονομάζονται «υβριδικά» εφόσον αποτελούνται από τμήματα διαφορετικών τεχνολογιών.

Πιο συγκεκριμένα, στα αυτόνομα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα, τα φωτοβολταϊκά πάνελ συνεργάζονται συνήθως με ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πετρελαίου ή/και με ανεμογεννήτριες. Πολλές φορές από την οικονομοτεχνική μελέτη ενός τέτοιου συστήματος προκύπτει ότι το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας ενός υβριδικού συστήματος συγκριτικά με το κόστος του αμιγώς φωτοβολταϊκού συστήματος είναι πολύ μικρότερο [27].

5.8 Η Νομοθεσία για τις μονάδες αφαλάτωσης

Οι μονάδες αφαλάτωσης εντάσσονται στην κατηγορία "Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων". Η ίδρυση και η λειτουργία τους βασίζεται στο *Νόμο 3325/11-3-2005 (ΦΕΚ68Α)* "Περί Ίδρυσης και Λειτουργίας των Βιομηχανικών–Βιοτεχνικών εγκαταστάσεων στο πλαίσιο της αιεφόρου ανάπτυξης και άλλες διατάξεις". Με την έκδοση της εγκυκλίου αυτής και μόλις πρόσφατα του προεδρικού διατάγματος *78/10-4-2006 (ΦΕΚ80Α)*, με θέμα «Διάρθρωση, στελέχωση και αρμοδιότητες των Διευθύνσεων Ανάπτυξης των Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων», το Υπουργείο Ανάπτυξης παραδίδεται στις ανωτέρω νομαρχιακές Υπηρεσίες, ένα πλήρες νομοθετικό πλαίσιο για την αδειοδότηση των μεταποιητικών επιχειρήσεων, που είναι σύγχρονο, λειτουργικό και αποτελεσματικό και περιλαμβάνει:

- Ένα νόμο
- Δύο προεδρικά διατάγματα
- Επτά υπουργικές αποφάσεις
- Δύο κοινές υπουργικές αποφάσεις
- Μία ερμηνευτική εγκύκλιο

Κατ' αυτόν τον τρόπο ολοκληρώνεται το πρώτο μέρος της μεταρρύθμισης στον τομέα της αδειοδότησης των μεταποιητικών επιχειρήσεων και είναι σε εξέλιξη, στη Γενική Γραμματεία Βιομηχανίας, η επεξεργασία μέτρων για την περαιτέρω απλοποίηση του συστήματος αδειοδότησης.

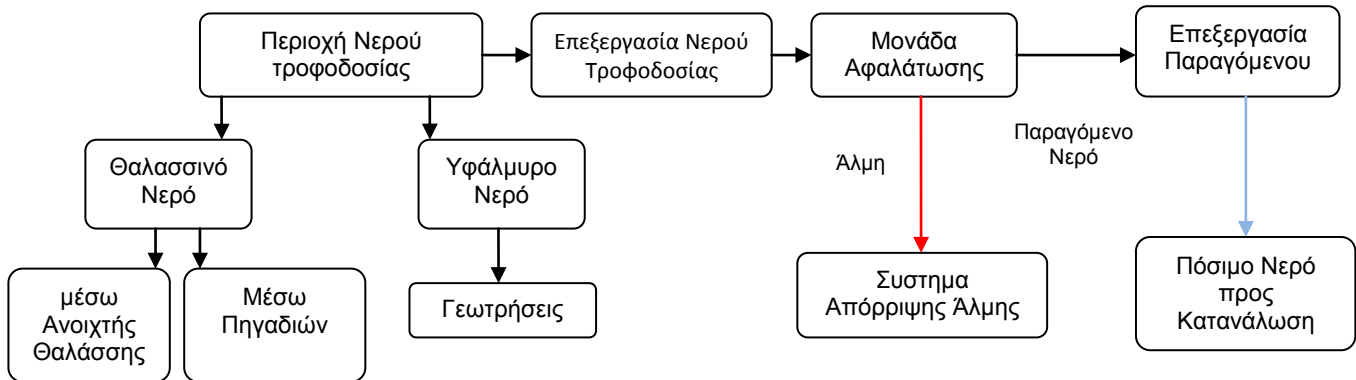
Στο χρόνο που μεσολάβησε από την έκδοση του νόμου 3325/2005, η Γενική Γραμματεία Βιομηχανίας παρακολούθησε την εφαρμογή του, τόσο από τις Διευθύνσεις Ανάπτυξης των Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων όσο και από τις εμπλεκόμενες, στην αδειοδότηση, Υπηρεσίες των Περιφερειών και των Υπουργείων και κατέγραψε τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν σε όλη τη χώρα. Πολύτιμη εμπειρία αποκτήθηκε από τις περιοδείες στελεχών της Γενικής Γραμματείας Βιομηχανίας, τα οποία επισκέφθηκαν υπό το γενικό γραμματέα, όλες τις Περιφέρειες και είχαν την ευκαιρία να παρακολουθήσουν από κοντά τον τρόπο εφαρμογής του ανωτέρω νόμου και να ανταλλάξουν απόψεις και εμπειρίες με τα στελέχη των νομαρχιακών Διευθύνσεων Ανάπτυξης. Σημαντική ήταν η συμβολή των ιδιωτών μηχανικών, των επιχειρηματιών και των παραγωγικών φορέων, οι οποίοι έθεσαν ερωτήματα και προβληματισμούς που βοήθησαν στην κατανόηση των προβλημάτων που ανέκυψαν. Με την εγκύκλιο αυτή παρέχονται ερμηνευτικές οδηγίες και διευκρινήσεις σε ευρύ φάσμα θεμάτων με σκοπό την ενιαία, ομοιόμορφη και ορθή εφαρμογή των διατάξεων του αδειοδοτικού νόμου 3325/2005 και του λοιπού νομοθετικού πλαισίου που το υποστηρίζει.

Από τα θέματα στα οποία αναφέρεται η εγκύκλιος, ιδιαίτερη σημασία έχουν εκείνα στα οποία η Αδειοδοτούσα Αρχή των μεταποιητικών επιχειρήσεων καλείται να προχωρήσει σε κρίση με αυξημένο αίσθημα ευθύνης, όπως στις περιπτώσεις:

- Σημειακής χωροθέτησης των μονάδων, στις περιοχές στις οποίες δεν έχουν προσδιορισθεί χρήσεις γης
- Μηχανολογικής επέκτασης ή εκσυγχρονισμού των μονάδων
- Εγκατάστασης εργαστηρίων σε κτίρια με κατοικίες
- Καταγγελιών από τη λειτουργία των μονάδων
- Νομιμοποίησης των βιομηχανικών-βιοτεχνικών εγκαταστάσεων
- Αδειοδότησης των μονάδων υγειονομικού ενδιαφέροντος

- Ελέγχου και επιβολής κυρώσεων στις ανωτέρω μονάδες

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στον τρόπο λειτουργίας της Διεύθυνσης Ανάπτυξης ως "Υπηρεσίας μιας στάσης", προκειμένου να παρέχει στους επενδυτές ολοκληρωμένες υπηρεσίες σχετικά με την αδειοδότηση των μεταποιητικών επιχειρήσεων, συνεπικουρούμενη από το νεοσύστατο σε αυτές Τμήμα Προστασίας Περιβάλλοντος, και έκδοσης οικοδομικών αδειών των μονάδων αυτών. Επίσης, στη Διεύθυνση Ανάπτυξης λειτουργεί το Κέντρο Υποδοχής Επενδυτών (ΚΥΕ), του οποίου αποστολή είναι η υποστήριξη του έργου της.



Διάγραμμα 5.1: τυπικό διάγραμμα μονάδας αφαλάτωσης

Με την έκδοση της εγκυκλίου και του προαναφερθέντος προεδρικού διατάγματος, το υπουργείο Ανάπτυξης (Γενική Γραμματεία Βιομηχανίας) συμβάλλει στην ενίσχυση του έργου των νομαρχιακών Διευθύνσεων Ανάπτυξης και παρέχει σ'αυτές τα απαραίτητα εφόδια προκειμένου να λειτουργήσουν στο εξής υπό τη νέα τους μορφή και ρόλο και μάλιστα σε μία κρίσιμη μεταβατική περίοδο εφαρμογής και προσαρμογής του νέου συστήματος αδειοδότησης των μεταποιητικών επιχειρήσεων.

(I) Για την ανάπτυξη μιας μονάδας αφαλάτωσης απαιτείται άδεια εγκατάστασης από τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση. Για την έκδοση άδειας εγκατάστασης (ΥΑ Αριθ.Φ15/οικ.7815/615), απαιτείται η υποβολή Αίτησης Μηχανολογικής Εγκατάστασης που συνοδεύεται από:

Γενικά δικαιολογητικά

- Ερωτηματολόγιο (Ν. 3325/2005)*, το οποίο χορηγείται από την αδειοδοτούσα αρχή και υποβάλλεται πλήρως συμπληρωμένο.
- Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ), με συνημμένη την εγκεκριμένη μελέτη
- Βεβαίωση χρήσης γης από τις αρμόδιες πολεοδομικές υπηρεσίες.

Ειδικά δικαιολογητικά (εφόσον απαιτούνται κατά περίπτωση)

- Μελέτη εγκατάστασης, σύμφωνα με το Β.Δ. της 15/21.10.1992 (ΦΕΚ 208 Α'), στην περίπτωση κατά την οποία η εγκατεστημένη παραγωγική ισχύος είναι μεγαλύτερη των 22 KW(κινητήρια) ή των 50 KW(θερμική)
- Τεχνικό υπόμνημα, στην περίπτωση χορήγησης άδειας εγκατάστασης επαγγελματικού εργαστήριου
- Αρχιτεκτονικά σχεδιαγράμματα(τοπογραφικό, διάγραμμα κάλυψης, κάτοψη, τομές) στην περίπτωση έκδοσης οικοδομικής άδειας
- Μελέτη Επικινδυνότητας, στην περίπτωση που η δραστηριότητα υπάγεται στην κατηγορία SEVEZO, σύμφωνα με την υπ' αριθμ. 5697/2000 (ΦΕΚ405 Β') κοινή υπουργική απόφαση
- Γνώμη Υπηρεσιών ή φορέων για την περίπτωση 20ζ'του ερωτηματολογίου ,εφόσον απαιτείται. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις δημοσίου συμφέροντος, όπως η δημιουργία ή η διαφύλαξη συνθηκών υγιούς ανταγωνισμού στη σχετική αγορά της δραστηριότητας που θα ασκηθεί, είναι δυνατόν με αιτιολογημένη κρίση της αδειοδοτούσας Αρχής οι εν λόγω γνώμες να παρέχονται σε μεταγενέστερα στάδια προκειμένου να χορηγηθεί η κατά το επόμενο άρθρο άδεια λειτουργίας.
- Υπεύθυνη Δήλωση αρμοδίου κατά το νόμο μηχανικού, στην περίπτωση υφισταμένων κτιρίων.

*το ερωτηματολόγιο υπογράφεται από το νόμιμο εκπρόσωπο της επιχείρησης και θεωρείται το γνήσιο της υπογραφής.

Η άδεια εγκατάστασης ισχύει για τρία χρόνια και μπορεί να παραταθεί μέχρι τη συμπλήρωση μιας εξαετίας.

Δεν απαιτείται άδεια εγκατάστασης για δραστηριότητες που εγκαθίστανται στις Βιομηχανικές Επιχειρηματικές Περιοχές. (άρθρο 6 παρ. 4 ν.3325/2005 και άρθρο 6 παρ. 2 ν. 2545/1997)

Για την κατάταξη των μονάδων αφαλάτωσης σε σχέση με τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον.θα πρέπει να τηρείται ο νόμος ΥΑ Η.Π.15393/2332/5-8-2002 "Κατάταξη Δημόσιων και Ιδιωτικών Έργων και Δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, σύμφωνα με το Άρθρο 3 Ν1650/1986 όπως αντικαταστάθηκε με το Άρθρο 1 του Ν3010/2002".

Σκοπός του παρόντος νόμου είναι η θέσπιση θεμελιωδών κανόνων και η καθιέρωση κριτηρίων και μηχανισμών για την προστασία του περιβάλλοντος, έτσι ώστε ο άνθρωπος, ως άτομο και ως μέλος του κοινωνικού συνόλου, να ζει σε ένα υψηλής ποιότητας περιβάλλον, μέσα στο οποίο να προστατεύεται η υγεία του και να ευνοείται η ανάπτυξη της προσωπικότητάς του. Η προστασία του περιβάλλοντος, θεμελιώδες και αναπόσπαστο μέρος της πολιτιστικής και αναπτυξιακής διαδικασίας και πολιτικής, υλοποιείται κύρια μέσα από το δημοκρατικό προγραμματισμό.

Ειδικότερα, βασικοί στόχοι του νόμου αυτού είναι οι ακόλουθοι:

- Η αποτροπή της ρύπανσης και γενικότερα της υποβάθμισης του περιβάλλοντος και η λήψη όλων των αναγκαίων, για το σκοπό αυτόν, προληπτικών μέτρων.
- Η διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας και από τις διάφορες μορφές υποβάθμισης του περιβάλλοντος και ειδικότερα από τη ρύπανση και τις οχλήσεις.
- Η προώθηση της ισόρροπης ανάπτυξης του εθνικού χώρου συνολικά και των επί μέρους γεωγραφικών και οικιστικών ενοτήτων του και μέσα από την ορθολογική διαχείριση του περιβάλλοντος.
- Η διασφάλιση της δυνατότητας ανανέωσης φυσικών πόρων και η ορθολογική αξιοποίηση των μη ανανεώσιμων ή σπάνιων σε σχέση με τις τωρινές και τις μελλοντικές ανάγκες και με κριτήρια την προστασία του περιβάλλοντος.
- Η διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας των φυσικών οικοσυστημάτων και η διασφάλιση της αναπαραγωγικής τους ικανότητας.
- Η αποκατάσταση του περιβάλλοντος.

Αναλυτικότερα, με τις διατάξεις του παρόντος νόμου επιδιώκονται.

- Η προστασία του εδάφους και η λήψη των αναγκαίων μέτρων ώστε οι χρήσεις του να γίνονται σύμφωνα με τις φυσικές ιδιότητές του και την παραγωγική του ικανότητα.
- Η προστασία των επιφανειακών και υπόγειων νερών θεωρούμενων ως φυσικών πόρων και ως οικοσυστημάτων.
- Η προστασία της ατμόσφαιρας.
- Η προστασία και διατήρηση της φύσης και του τοπίου και ιδιαίτερα περιοχών με μεγάλη βιολογική, οικολογική, αισθητική ή γεωμορφολογική αξία.
- Η προστασία των ακτών των θαλασσών, των όχθων των ποταμών, των λιμνών, του βυθού αυτών και των νησίδων ως φυσικών πόρων, ως στοιχείων οικοσυστημάτων και ως στοιχείων του τοπίου.
- Ο καθορισμός της επιθυμητής και της επιτρεπόμενης ποιότητας των φυσικών αποδεκτών καθώς και των κάθε είδους επιτρεπόμενων εκπομπών αποβλήτων, με την καθιέρωση και χρησιμοποίηση κατάλληλων παραμέτρων και οριακών τιμών, ώστε να μην προκαλείται υποβάθμιση του περιβάλλοντος, με κριτήρια: - την επιστημονική γνώση και εμπειρία – την καλύτερη διαθέσιμη και οικονομικά εφικτή τεχνολογία. - τις τοπικές συνθήκες και ιδιομορφίες του περιβάλλοντος και του πληθυσμού καθώς επίσης και τις ανάγκες ανάπτυξης. – την προϋπάρχουσα διαμόρφωση συλλογικής χρήσης μιας περιοχής. - τα υφιστάμενα χωροταξικά και αναπτυξιακά σχέδια.

- Η ευαισθητοποίηση και ενεργοποίηση των πολιτών στα θέματα προστασίας του περιβάλλοντος μέσα από τη σωστή πληροφόρηση και εκπαίδευση.

(II) Για την ανάπτυξη μιας μονάδας αφαλάτωσης απαιτείται η άδεια λειτουργίας που για την έκδοσή της απαιτούνται τα γενικά δικαιολογητικά, οι υπεύθυνες δηλώσεις για την τήρηση της μελέτης κατασκευής, τον αριθμό και την ειδικότητα των τεχνικών που θα εργασθούν και του υπεύθυνου της λειτουργίας και συντήρησης του εξοπλισμού, τα *ειδικά δικαιολογητικά* τα οποία αποτελούνται από τα κάτωθι:

- Πιστοποιητικό πυροπροστασίας
- Άδεια οικοδόμησης (Εφόσον προβλέπεται)
- Άδεια χρήσης νερού σύμφωνα με το νόμο Ν 3199/2003.
- Άδεια κατασκευής λιμενικού έργου και χρήσης αιγιαλού και παραλίας σύμφωνα με το νόμο Ν 2971/2001.
- Άδεια διάθεσης υγρών βιομηχανικών αποβλήτων σύμφωνα με τον ΥΑ Αριθ.Ειβ 221/65.
- Βεβαίωση καταλληλότητας από την αρμόδια υπηρεσία Υγείας – πιστοποιητικό ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σύμφωνα με την ΥΑ ΔΥΓ/Γ.Π οικ.38295/26-4-2007, τροποποίηση της Υγειονομικής Διάταξης ΚΥΑ Υ2/2600/2001 «Ποιότητα του νερού Ανθρώπινης Κατανάλωσης» σε συμμόρφωση προς την Οδηγία 98/83 ΕΚ της ΕΕ.

Για την Άδεια χρήσης νερού θα πρέπει να τηρείται ο Ν 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση των υδάτων – Εναρμόνιση με την οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000», σύμφωνα με το ΦΕΚ Α΄ 280/9.12.2003.

Για την παροχή νερού, τη χρήση νερού και την εκτέλεση του έργου για την αξιοποίηση υδατικών πόρων καθώς και για κάθε έργο ή δραστηριότητα που αποσκοπεί στη προστασία από την ρύπανση λόγω απόρριψης υγρών αποβλήτων στο περιβάλλον, από φυσικό ή νομικό πρόσωπο του ιδιωτικού και του δημόσιου τομέα, απαιτείται άδεια η οποία εκδίδεται από την οικεία Περιφέρεια. Η άδεια χρήσης νερού εκδίδεται κατόπιν της Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ).

Για τις κατηγορίες των αδειών χρήσης νερού θα πρέπει να τηρείται η ΚΥΑ 43504/20-12-2005 «Κατηγορίες Αδειών Χρήσης Υδάτων εκτέλεσης έργων αξιοποίησης τους, διαδικασία έκδοσης, περιεχόμενο και διάρκεια ισχύος αυτών».

Τα έργα για τα οποία απαιτείται η έκδοση άδειας χρήσης νερού είναι:

- Τα έργα υδροληψίας
- Μεταφοράς νερού
- Έργα δικτύων
- Ρύθμισης – αποθήκευσης
- Επεξεργασίας νερού
- Τροφοδότησης και έργα προστασίας – συντήρησης.

Για την άδεια κατασκευής λιμενικού έργου και χρήσης αιγιαλού θα πρέπει να τηρείται ο Ν 2971/19-12-2001 «Αιγιαλός, παραλία και άλλες διατάξεις»

Λιμενικά έργα είναι εκείνα που εκτίνονται ολικώς ή μερικώς στον αιγιαλό, την παραλία, την παράκτια ζώνη, μέσα στη θάλασσα, στον πυθμένα της θάλασσας και στο υπέδαφος του βυθού, καθώς και εκείνα που επιφέρουν διαμόρφωση ή αλλοίωση των χώρων αυτών ή που προβλέπεται από τις διατάξεις περί Λιμενικών Ταμείων.

Ο καθορισμός ορίων αιγιαλού και παραλίας γίνεται σε επίπεδο Νόμου από Επιτροπή που συγκροτείται από την Κτιματική Υπηρεσία, τον αρμόδιο λιμενάρχη, Δ/νση Πολεοδομίας, τον Δ/ντη χωροταξίας και Περιβάλλοντος της ΓΓ. της Περιφέρειας.

Η διαδικασία απαιτείται και για τα έργα του δημοσίου και έχει ως εξής:

- Υποβολή αίτησης προς την ατμόδια *Κτιματική Υπηρεσία* συνοδευόμενη από τεχνικό φάκελο.

Απαιτείται γνωμοδότηση του φακέλου από:

- ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
- ΓΕΝ
- ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ
- ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ
- ΝΟΜΑΡΧΙΑΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
- ΕΟΤ
- ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ
- ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ οικείου ΟΤΑ
- ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
- ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Η Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) εγκρίνεται κατόπιν της γνωμοδότησης των παραπάνω φορέων.

Μετά την έγκριση της ΜΠΕ εκδίδεται η απόφαση παραχώρησης από την Κτιματική Υπηρεσία .

Για την άδεια διάθεσης υγρών βιομηχανικών αποβλήτων θα πρέπει να τηρείται ο ΥΠ Αριθ. Ειβ 221/65 «Περί διαθέσεως λυμάτων και Βιομηχανικών Αποβλήτων».
«Άρθρο 4 Απαιτούμενα χαρακτηριστικά επιφανειακών υδάτων αναλόγως της χρήσεως αυτών»

Άρθρο 4.2 Θαλάσσια Ύδατα

2.1 Ύδατα δι'αλιείαν εδωδίσμων οστρακόδερμων και πάσαν ετέραν χρήση.

Με απόφαση του Νομάρχη και με δημοσίευση της απόφασης στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως καθορίζεται: το σημείο εκβολής των λυμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων, τα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και οι τυχόν απαιτούμενοι όροι [27].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης στον Ελληνικό χώρο

6.1. Εισαγωγή

Στην Ελλάδα οι πρώτες προσπάθειες στον τομέα της αφαλάτωσης έγιναν στα τέλη της 10ετίας του 60 και αφορούσαν μικρές πειραματικές μονάδες ηλιακής απόσταξης. Τα επόμενα χρόνια δημιουργήθηκαν εγκαταστάσεις ηλιακής απόσταξης για ύδρευση στα νησιά Νίσυρο, Κίμωλο, Κεφαλονιά, Ιθάκη, Πάτμο, Καστελόριζο Σύμη και Αίγινα αλλά οι περισσότερες εγκαταλείφθηκαν κυρίως λόγω προβλημάτων συντήρησης ή λειτουργίας. Η πιο αξιόλογη και καινοτόμος εφαρμογή ήταν αυτή της Πάτμου (έργο του καθηγητή Α. Δεληγιάννη και της συζύγου του) με επιφάνεια εξάτμισης $8,665 \text{ m}^2$ και μέση παραγωγική ικανότητα $25 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$.

Μετά το 1980 η ανάπτυξη εφαρμογών αφαλάτωσης για παραγωγή νερού ύδρευσης στηρίχθηκε σχεδόν αποκλειστικά στην τεχνολογία αντίστροφης όσμωσης η οποία κατέστη αποδοτικότερη και πλέον συμφέρουσα για τις Ελληνικές συνθήκες. Αξιόλογη πρόοδος όμως σημειώνεται μετά το 1990 λόγω κυρίως της αύξησης των αναγκών ύδρευσης στα άνυδρα νησιά που προκλήθηκε από την αυξημένη τουριστική δραστηριότητα.

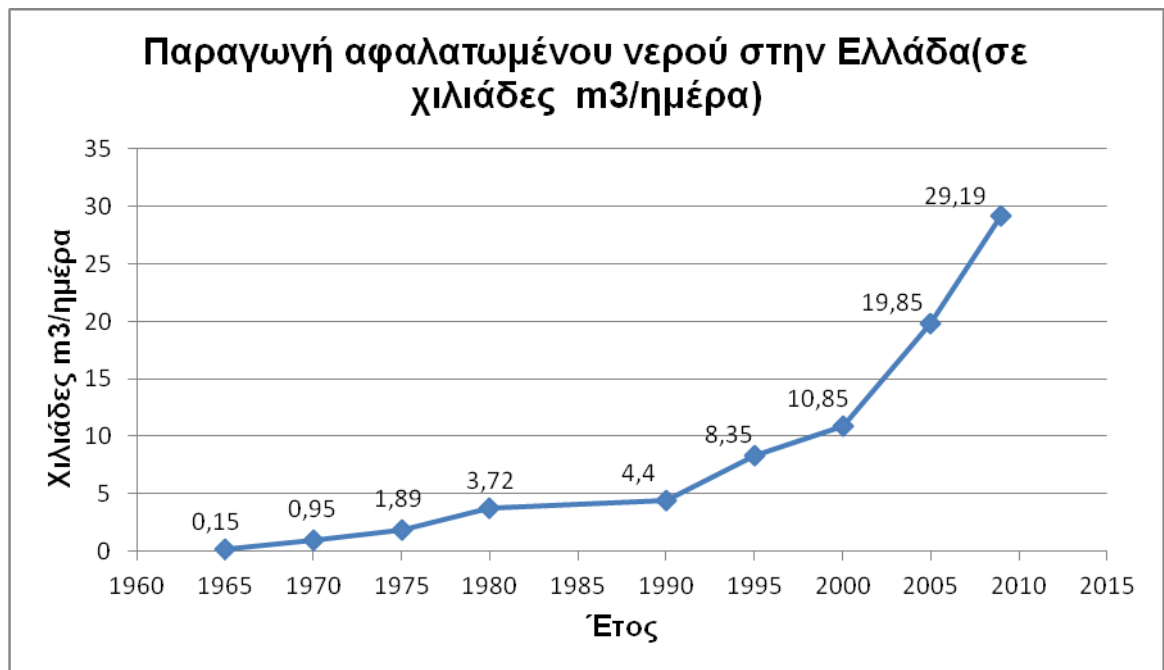
Η αφαλάτωση, αν και θα μπορούσε να αποτελέσει μια βιώσιμη λύση για το πρόβλημα της λειψυδρίας στα νησιά του Αιγαίου και κυρίως στα πολύ ξηρά νησιά των Κυκλάδων, όπου το κόστος του μεταφερόμενου νερού είναι πολύ υψηλό, δεν χρησιμοποιείται ευρέως. Την διετία 2004-2006 δαπανήθηκαν από το ελληνικό κράτος 25,5 εκατομμύρια € για την μεταφορά νερού στα άνυδρα νησιά του Αιγαίου, ενώ μόνο μέσα στο 2006 δαπανήθηκαν περίπου 9,5 εκατομμύρια €, κόστος το οποίο υπολογίζεται ότι ανταποκρίνεται στην κατασκευή 15 μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, συνολικής παραγωγής 30.000 m^3 την ημέρα, με μέσο κόστος παραγωγής $0,4 \text{ €} / \text{m}^3$.

Το 2008 η συνολική κατανάλωση των νησιών του Αιγαίου ήταν περίπου 166 εκατομμύρια m^3 ετησίως που καλύπτονταν κατά 82,6% με υπόγεια ύδατα, κατά 4,4% με ταμειυτήρες, κατά 4,1% με αφαλάτωση και κατά 1,4% με μεταφορά νερού από άλλες περιοχές. Το συνολικό ετήσιο έλλειμμα που δεν καλύπτονταν ήταν περίπου 20 εκατομμύρια m^3 .

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, Σαντορίνη, Σίκινος, Φολέγανδρος, Μεγίστη, Χάλκη, Λειψοί, Αγαθονήσι, Αρκιοί και Ψέριμος), ενώ άλλα πέντε μικρά νησάκια θα παίρνουν νερό από διπλανά τους μεγαλύτερα νησιά. Το πρόγραμμα θα είναι αυτοχρηματοδοτούμενο (το συνολικό κόστος το αναλαμβάνουν οι ανάδοχοι επενδυτές), τα οικόπεδα θα παραχωρούνται από τους δήμους, ενώ το υπουργείο αναλαμβάνει να αγοράζει για μια 10ετία εγγυημένη ποσότητα πόσιμου νερού, σε τιμή η οποία αντιστοιχεί στο 1/3 της τιμής του νερού, το οποίο μεταφέρεται σήμερα με υδροφόρα πλοία. Οι ανάδοχοι οφείλουν να λειτουργήσουν τις μονάδες σε διάστημα 18 μηνών, μετά την έγκριση της σχετικής περιβαλλοντικής μελέτης, ενώ μετά την παρέλευση της 10ετίας οι εγκαταστάσεις παραχωρούνται στους δήμους.

Σήμερα λειτουργούν στη χώρα μας 50 μονάδες αφαλάτωσης που εξυπηρετούν την ύδρευση δήμων και κοινοτήτων με συνολική εγκατεστημένη δυναμικότητα αφαλάτωσης περίπου $35.000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$, ενώ υπάρχουν και αρκετές εκατοντάδες μικρότερες μονάδες ιδιωτικής χρήσης (ξενοδοχεία, βιομηχανίες, κατοικίες, κ.τ.λ.). Σύμφωνα με εκτιμήσεις εταιρίας που δραστηριοποιείται στο χώρο, η συνολική εγκατεστημένη δυναμικότητα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού υπερβαίνει τα $50.000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ και υφάλμυρου τα $100.000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$. Οι σημαντικότερες μονάδες αφαλάτωσης βρίσκονται στη Σύρο, τη Μύκονο και στη Χίο.

Στο Σχήμα 6.1 απεικονίζεται η μεταβολή της ποσότητας του νερού που προέρχεται από αφαλάτωση από το 1965 έως σήμερα. Σύμφωνα με το Σχήμα αυτό παρατηρείται ότι όσο περνούν τα χρόνια κατασκευάζονται περισσότερες μονάδες αφαλάτωσης με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερη παραγωγή αφαλατομένου νερού σε κυβικά μέτρα ανά ημέρα.



Σχήμα 6.1: Παραγωγή αφαλατωμένου νερού στην Ελλάδα σε συνάρτηση με το χρόνο [32]

6.2. Υπολογισμός μεγέθους αγοράς αφαλάτωσης

Για τον υπολογισμό του δυνητικού μεγέθους της Ελληνικής αγοράς αφαλάτωσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράγοντες:

- Οι γεωμορφολογικές και κλιματικές συνθήκες κάθε περιοχής
- Ο σημερινός και ο προβλεπόμενος πληθυσμός
- Η δομή και οι ιδιαιτερότητες της τοπικής οικονομίας
- Η ένταση και η εποχικότητα της τουριστικής δραστηριότητας
- Η κατάσταση και η ποσότητα των υπόγειων αποθεμάτων
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη, η αρνητική επίδραση σε τοπία εξαιρετικού φυσικού κάλλους από την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού για αφαλατώσεις και οι εναλλακτικές ή συμπληρωματικές δυνατότητες (εξοικονόμηση, ανακύκλωση, κ.τ.λ.).

Λόγω των γεωμορφολογικών και κλιματικών συνθηκών (ποιότητα υδροφορέων, μικρή έκταση, ανάγλυφο εδάφους, υψηλή εξάτμηση, χαμηλό ύψος βροχόπτωσης, κ.τ.λ.) πολλά νησιά του Αιγαίου αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα υδροδότησης ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες που υπάρχει έντονη τουριστική δραστηριότητα.

Σύμφωνα με τα στοιχεία μελέτης που εκπόνησε η Κοινοπραξία Υδατοσυστημάτων Αιγαίου (TEM ΑΕ, Λ_Κ ΕΠΕ, Υδροεξυγιαντική ΕΕ, Terramenotor ΕΟΟΣ) για λογαριασμό του Υπουργείου Ανάπτυξης, οι σημερινές ανάγκες των νησιών του Αιγαίου είναι 170.942.219 m³ ετησίως και το συνολικό έλλειμμα 19.049.212 m³ (περίπου 11%). Το 2020 οι συνολικές ανάγκες προβλέπεται να ανέλθουν σε 224.157.511 m³ και το συνολικό έλλειμμα σε 24.462.470 m³ (περίπου 13% των συνολικών αναγκών. Οι προβλέψεις στηρίχθηκαν σε σειρά παραμέτρων, όπως την αναμενόμενη αύξηση του πληθυσμού και της τουριστικής δραστηριότητας, τη μείωση της κατανάλωσης σε γεωργία-κτηνοτροφία και τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά κάθε νησιού.

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται οι μονάδες αφαλάτωσης στον Ελληνικό χώρο και στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι συνολικές ανάγκες και το συνολικό έλλειμμα νερού στα νησιά του Αιγαίου [32]

Πίνακας 6.1: Εγκαταστημένες μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα [32]

Μονάδα	Έτος κατασκευής (αρχικά)	Τύπος	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Αρχικό κόστος (10 ⁶ €)	Λειτουργικό κόστος (€)
Ερμούπολη 1	1992	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	800	0,589	1,25
Ερμούπολη 2	1997	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	801	1,482	1,25
Ερμούπολη 3	2001	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	2 X 250	0,346	1
Άνω Σύρος 4	2000	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	250	0,215	0,5
Άνω Σύρος 5	2002	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	500	0,4	0,5
Ερμούπολη 6	2002	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	4 X 500	0,313	1
Άνω Σύρος 7	2005	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	2 X 500	1	0,4
Σχοινούσα	2004	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	100	0,12	0,7

Μύκονος (Κόρφου) νέα	2001	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	3 x 650	1,276	0,5
Πάρος (Νάουσα)	2001	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	1200	0,415	0,5
Τήνος (παλαιά)	2001	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	500	0,434	0,62
Τήνος (νέα)	2005	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	500	0,376	0,62
Οία Σαντορίνης, 1η	1994	Αντίστροφη ώσμωση	220		2
Οία Σαντορίνης, 2η	2000	Αντίστροφη ώσμωση	320	0,211	2
Οία Σαντορίνης, 3η	2002	Αντίστροφη ώσμωση	160		2
Σίφνος	2002	Αντίστροφη ώσμωση (BW)	500	0,224	3,5
Δήμος Ομηρούπολης,	2000	Αντίστροφη ώσμωση (BW)	600	0,205	0,3

Χίος					
Δήμος Ομηρούπολης, Χίος	2005	Αντίστροφη ώσμωση	3 x 1000	0,71	0,26
Δήμος Ομηρούπολης, Χίος	2005	Αντίστροφη ώσμωση	500	0,2	0,26
Νίσυρος (παλαιά)	1991	Αντίστροφη ώσμωση	300	0,572	
Νίσυρος (νέα)	2002	Αντίστροφη ώσμωση	350	0,295	0,66
Ιθάκη, 1η	1981	Αντίστροφη ώσμωση	620	0,264	2,88
Ιθάκη, 2η	2003	Αντίστροφη ώσμωση	520	0,587	0,58
Λέρος (ΔΕΥΑ)	2001	Αντίστροφη ώσμωση	200	0,074	0,13
Δήμος Κασσωπαίων	2001	Αντίστροφη ώσμωση	500	0,117	0,13
Δήμος Ποσειδωνίας	2002	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	2 X 250	0,464	0,56

Δήμος Ποσειδωνίας	2005	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	2 X 250	0,574	0,45
Δήμος Αγ. Γεωργίου	2002	Αντίστροφη ώσμωση	500	0,102	0,3
Δήμος Παξών, 1η	2005	Αντίστροφη ώσμωση	330	0,26	0,51
Δήμος Παξών, 2η	2006	Αντίστροφη ώσμωση	150	0,162	0,59
Δήμος Παξών, 3η	2007	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	250	0,211	0,51
Δύμος Δυστίων	2006	Αντίστροφη ώσμωση (BW)	400	0,2	0,3
Δήμος Σίφνου	2007	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	250		
Δήμος Ίου	2003	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	1000		
Δήμος Ιθάκης	2005	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	200	0,22	

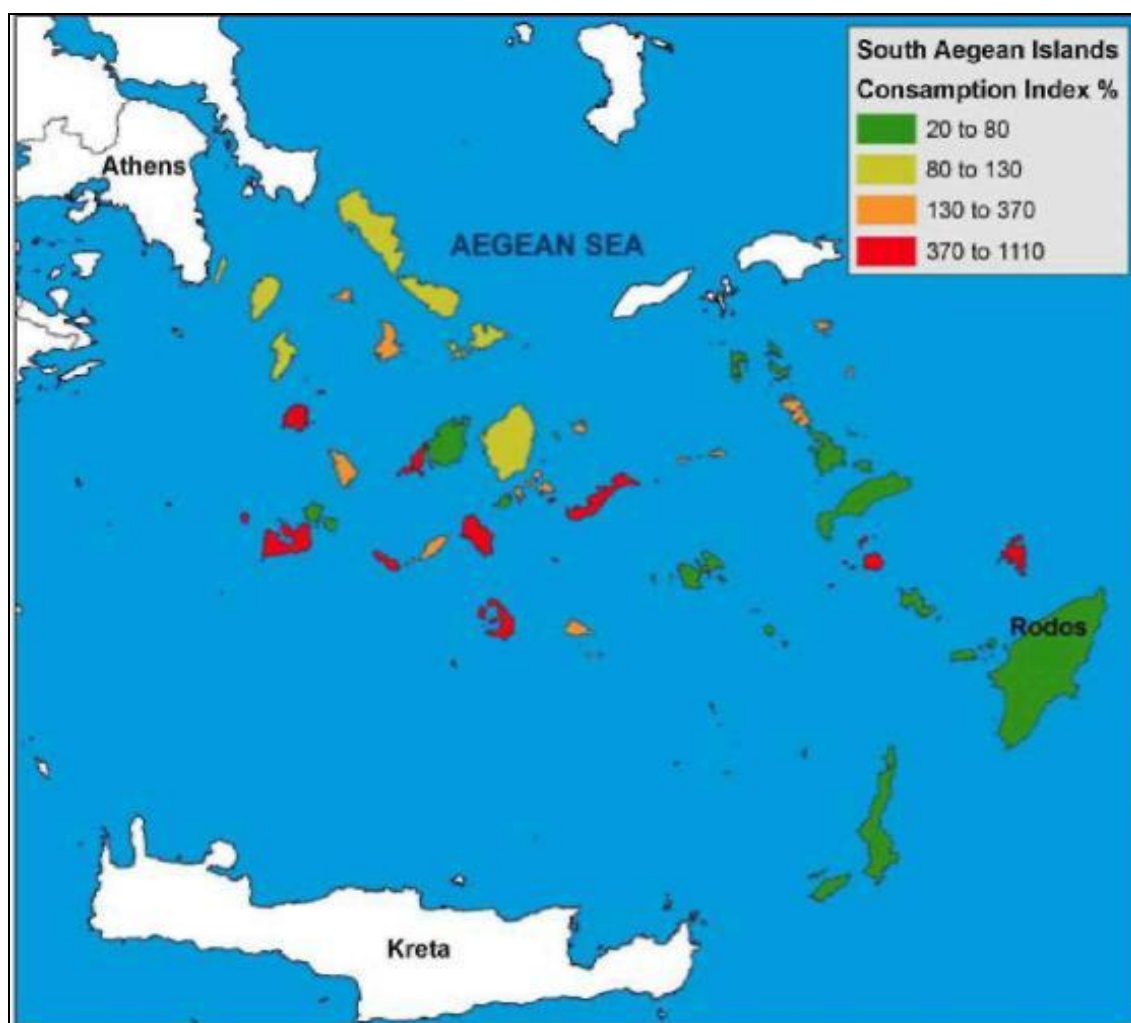
Δήμος Οινουσών	2005	Αντίστροφη ώσμωση (SW)	500		
Δήμος Πόρου	2006	Αντίστροφη ώσμωση (BW)	1000	0,2	0,3

Πίνακας 6.2: Συνολικές ανάγκες και συνολικό έλλειμμα νερού στα νησιά του Αιγαίου (Πηγή:Μελέτη ανάπτυξης εργαλείων διαχείρισης υδατικών πόρων των νήσων Αιγαίου. Κοινοπραξία Υδατοσυστημάτων Αιγαίου) [32]

Νήσος	Υφιστάμενη κατάσταση		Προβλεπόμενη κατάσταση 2020	
	Συνολικές απαιτήσεις σε χιλιάδες m ³	Συνολικό έλλειμμα (%)	Συνολικές απαιτήσεις σε χιλιάδες m ³	Συνολικό έλλειμμα (%)
Αστυπάλαια	388	14,1	425	21,5
Κάλυμνος-Ψέριμος-Τένεδος-Καλόλιμνος	2.003	1,2	2.292	6,2
Λειψοί	164	53,2	184	50,3
Λέρος-Φαρμακονήσι	1.030	4,5	1.220	9,5
Πάτμος-Αρκοί	498	13,4	561	13
Κάσος	207	0	230	14,7
Κάρπαθος-Σαρία	1.327	0	1.586	0,6
Κως	13.162	4,2	15.061	12,5
Νίσυρος-Γυαλί	151	20,3	190	18
Μεγίστη-Ρω	63	11	84	11
Ρόδος	32.057	3,4	38.697	2,7
Σύμη	306	8,9	391	9,6
Χάλκη	73	30,1	94	17,7
Τήλος	144	7,6	162	13,9
Αγαθονήσι	17	2,4	23	41,8
Άνδρος	5.571	1,2	5.817	2,2
Αμοργός	330	12,1	409	7,9
Θήρα	2.338	16,5	3.699	41,2
Ίος	409	0,3	556	0
Κύθνος	400	1	428	1,6
Κέα	1.502	5,9	1.652	15,2
Σέριφος	344	4,9	556	15,3
Μήλος	1.255	10,5	1.435	1,7
Σίφνος	614	16,8	753	7,1
Νάξος	12.457	45,4	13.759	45,1
Πάρος	3.461	1,6	3.820	13,7
Σύρος	3.751	37,6	4.199	41,4
Μύκονος-Δήλος	3.037	24,3	3.454	43,4
Τήνος	3.321	9,7	3.617	8,5
Ανάφη	156	64,4	162	38,9
Δονούσα	23	1,3	34	9,4
Ηρακλειά	55	5,9	67	64,3
Κουφονήσια	48	17,7	68	9,2
Σχοινούσα	74	44,1	87	42,7
Κίμωλος	83	1,1	91	0,7

Σίκινος	38	8,7	46	16,7
Φολέγανδρος	95	51,1	148	33,4
Αντίπαρος	207	0,9	269	0,8
Αγ.Ευστράτιος	58	0	70	19,7
Λέσβος	44.398	6,9	46.617	10,1
Λήμνος	6.290	5,5	6.602	12,4
Ικαρία	2.928	0	3.055	2,1
Σάμος	14.176	22,2	14.362	11,7
Φούρνοι-Θύμαινα	189	0,3	241	19,1
Οινούσες	117	0	165	0
Χίος	11.390	11	13.596	6,8
Ψαρά	67	0	80	7,8
Σύνολο	165.842	11,5	184.965	13,20%

Το Αιγαίο έχει πλούσιο ηλιακό και αιολικό δυναμικό και τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ενεργειακή τροφοδοσία των μονάδων αφαλάτωσης. Η Εικόνα 6.1 παρουσιάζει το δείκτη κατανάλωσης νερού στις Κυκλάδες



Εικόνα 6.1: Δείκτης κατανάλωσης νερού στις Κυκλάδες ΔΚΝ =ζήτηση/διαθεσιμότητα [33]

Τα προτεινόμενα μέτρα για την αντιμετώπιση των ελλείψεων νερού επικεντρώνονται κυρίως στην κατασκευή υδρομαστεύσεων, σε αντικατάσταση δικτύων για μείωση των απωλειών, σε μείωση των αρδεύσεων, σε χρήση ανακυκλωμένου νερού και σε αφαλατώσεις (για τα άνυδρα νησιά). Στη συνέχεια αναφέρονται συνοπτικά οι προτάσεις για τα νησιά που εμφανίζουν σημαντικό πρόβλημα [33]:

- *Δονούσα:* Κατασκευή μονάδας αφαλάτωσης, αντικατάσταση δικτύων ύδρευσης, μονάδα επεξεργασίας λυμάτων.
- *Ηρακλεία, Σχοινούσα:* Κατασκευή μικρών μονάδων αφαλάτωσης.
- *Θήρα:* Κατασκευή μονάδων επεξεργασίας λυμάτων στις περιοχές Οίας, Καμαρίου και Εμπορείου. Αντικατάσταση ολόκληρου του δικτύου ύδρευσης, με την πρόσθετη μονάδα αφαλάτωσης 500 κ.μ/ημέρα ενισχύεται η δυναμικότητα της Οίας στα 1.500 κ.μ./ημέρα, δημιουργία δύο αφαλατώσεων στους δήμους Θήρας και Θηρασιάς το 2010 και το 2012 αντίστοιχα, κατασκευή λιμνοδεξαμενών Αεροδρομίου Α΄ και Β΄ από το 2013.
- *Ιος:* Αναβάθμιση του υπάρχοντος βιολογικού καθαρισμού, λειτουργία λιμνοδεξαμενής Επάνω Κάμπου.
- *Κάλυμνος:* Κατασκευή λιμνοδεξαμενής Βαθέος, βελτίωση δικτύου.
- *Κέα:* Κατασκευή μονάδας επεξεργασίας λυμάτων και φράγματος στο Κεραμίδι.
- *Κύθνος:* Κατασκευή δύο μονάδων αφαλάτωσης και μονάδας επεξεργασίας λυμάτων. Στο τελικό σενάριο διερευνήθηκε διαχειριστικά και οικονομικά η λειτουργία του φράγματος της Επισκοπής (εγκεκριμένη οριστική μελέτη ΥΠΑΑΤ), η οποία όμως κρίνεται ασύμφορη.
- *Κως:* Έργα αξιοποίησης των υφιστάμενων ταμιευτήρων Μεσσαριάς και Πλατέως, κατασκευή του φράγματος της Μίας, ανακύκλωση, αντικατάσταση δικτύου.
- *Λέρος:* Λειτουργία φράγματος Παρθενίου, κατασκευή πρόσθετης μονάδας αφαλάτωσης, δυναμικότητας τουλάχιστον 500 κυβικών μέτρων την ημέρα.
- *Λέσβος:* Κατασκευή φραγμάτων Τσικνιά και Πολιχνίτου, αντικατάσταση δικτύου, υδραγωγεία.
- *Λήμνος:* Αντικατάσταση δικτύων ύδρευσης, αξιοποίηση του υπόγειου υδάτινου δυναμικού στον υδροφορέα του Σκιδίου, κατασκευή φράγματος Κάσπακα και της λιμνοδεξαμενής της Ατσικής, περιορισμός των μη οργανωμένα αρδευόμενων εκτάσεων κατά 10%.
- *Μήλος:* με τη μείωση κατά 10% των αρδευτικών εκτάσεων και τη δημιουργία μεγάλης μονάδας αφαλάτωσης που θα λειτουργεί με αιολική ενέργεια προβλέπεται να καλυφθούν το 98,2% των αναγκών.
- *Μύκονος – Δήλος:* Κατασκευή της Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων της Ανω Μεράς το 2013, μείωση της κατανάλωσης νερού και της άρδευσης (κατά 15%), η αύξηση της δυναμικότητας των αφαλατώσεων, αντικατάσταση δικτύου ύδρευσης. Προβλέπεται κάλυψη των αναγκών κατά 92,9%.
- *Νάξος:* Με την κατασκευή της λιμνοδεξαμενής Κινίδαρου και του φράγματος Τσικαλαριού αναμένεται να περιορισθεί το έλλειμμα νερού από 45% σε 32% το 2020.
- *Πάρος:* Προτείνεται μεγάλη μονάδα αφαλάτωσης αντί των τριών λιμνοδεξαμενών (που έχουν ήδη εγκριθεί) ώστε το 2020 να καλύπτεται το 96,4% των αναγκών.
- *Ρόδος:* Με την κατασκευή του φράγματος Γαδουρά και την ανακατασκευή όλων των παλαιωμένων δικτύων ύδρευσης που παρουσιάζουν απώλειες από 20% - 45% θα καλύπτει το 97,3% των αναγκών της.

- **Σύρος:** Μείωση της κατανάλωσης ανά μόνιμο κάτοικο και ανά τουρίστα, κατά 10% μείωση των αρδεύσεων, αντικατάσταση των δικτύων ύδρευσης, επεξεργασία υγρών αποβλήτων, έναρξη λειτουργίας του φράγματος Αετού από το 2013, ενίσχυση των μονάδων αφαλάτωσης και ενεργοποίηση των μονάδων στην Ανω Σύρο και στην Ποσειδωνία. Με τα προτεινόμενα μέτρα το 2020 θα καλύπτεται το 80,5% των αναγκών.
- **Τήνος:** Ολοκλήρωση φράγματος Λιβάδα, με την κατασκευή δύο φραγμάτων (Βόλακα και Βακέτας), επεξεργασία λυμάτων και αντικατάσταση υδρευτικών δικτύων Δήμων Εξωμβούργου και Τήνου, προμήθεια νέας φορητής μονάδας αφαλάτωσης δυναμικότητας 1.000 κυβικών μέτρων την ημέρα.
- **Φολέγανδρος:** κατασκευή μονάδας αφαλάτωσης 300 κ.μ./ημ. για αντικατάσταση των μεταφερομένων ποσοτήτων νερού, και πρόσθετης μονάδας 150 κ.μ./ημ. για πλήρη κάλυψη ελλειμμάτων.
- **Χάλκη:** Κατασκευή μονάδας αφαλάτωσης, μονάδα επεξεργασίας λυμάτων, αντικατάσταση δικτύων ύδρευσης.

Η μελέτη αν και λαμβάνει υπόψη την προβλεπόμενη σημαντική αύξηση του πληθυσμού (από 505.976 κατοίκους σήμερα σε 1.419.853 το 2020), στηρίζεται σε ορισμένες υποθέσεις (μείωση των αρδεύσεων, αποδοτικότητα ταμιευτήρων, χαμηλή ένταση του φαινομένου της υφαλμύρωσης) που κατά τη γνώμη μας καθιστούν τα συμπεράσματα της υπεραϊσιόδοξα.

Με τη συνεχιζόμενη υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων, τις αρνητικές επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών (μείωση βροχοπτώσεων, μεγαλύτερη ένταση-μικρότερη διάρκεια, κ.τ.λ.) οι μελλοντικές ανάγκες σε πόσιμο νερό ίσως να είναι πολύ μεγαλύτερες. Το πρόβλημα αναμένεται να οξυνθεί τα επόμενα χρόνια, διότι με την υπεράντληση των τελευταίων δεκαετιών η συντήρηση των υδροφορέων σε ανεκτά επίπεδα θα απαιτούσε την παύση λειτουργίας των γεωτρήσεων για 3-5 συνεχόμενα χρόνια κάθε δεκαετία, ενώ η αποκατάσταση ήδη υφάλμυρων υδροφορέων πολύ περισσότερα χρόνια (αφού μία ελάχιστη ποσότητα θαλασσινού νερού, της τάξης 1-2% μέσα στο γλυκό νερό, το καθιστά μη πόσιμο).

Σε πρώτη φάση, η αφαλάτωση θα έπρεπε να εξετασθεί ως η μόνη βιώσιμη λύση που θα υποκαθιστούσε τη μεταφορά νερού στα άνυδρα νησιά. Το 2008 εκτιμάται ότι μεταφέρθηκαν περίπου 1.600.000 m³ με μέσο κόστος μεταφοράς 8,28 ευρώ το m³. Σε 14 νησιά των Κυκλάδων μεταφέρθηκαν 570.000 m³ και σε 20 των Δωδεκανήσων 1.000.000 m³ με συνολικό κόστος 13 εκ. ευρώ. Το ποσό αυτό επαρκεί για την κατασκευή μικρών μονάδων αφαλάτωσης δυναμικότητας τουλάχιστον 3.000 m³/ημέρα (>1.000.000 m³ ετησίως) με κόστος παραγωγής ανά m³ νερού 2 με 3 φορές χαμηλότερο από το κόστος μεταφοράς. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι μεγαλύτερες ανάγκες παρουσιάζονται κατά τους θερινούς μήνες και ως εκ τούτου απαιτείται μεγαλύτερη ικανότητα αφαλάτωσης (τουλάχιστον 20% σε ετήσια βάση) και εγκαταστάσεις αποθήκευσης (δεξαμενές ή λιμνοδεξαμενές) τα προβλήματα των άνυδρων νησιών μπορούν να επιλυθούν οριστικά χωρίς πρόσθετο κόστος σε μία περίοδο 3-4 έτων.

Για το σύνολο των νησιών του Αιγαίου οι ανάγκες που θεωρητικά θα μπορούσαν να καλυφθούν από αφαλάτωση θα απαιτούσαν συνολική ημερήσια δυναμικότητα > 55.000 m³, κατανεμημένη σε αρκετές μικρές μονάδες.

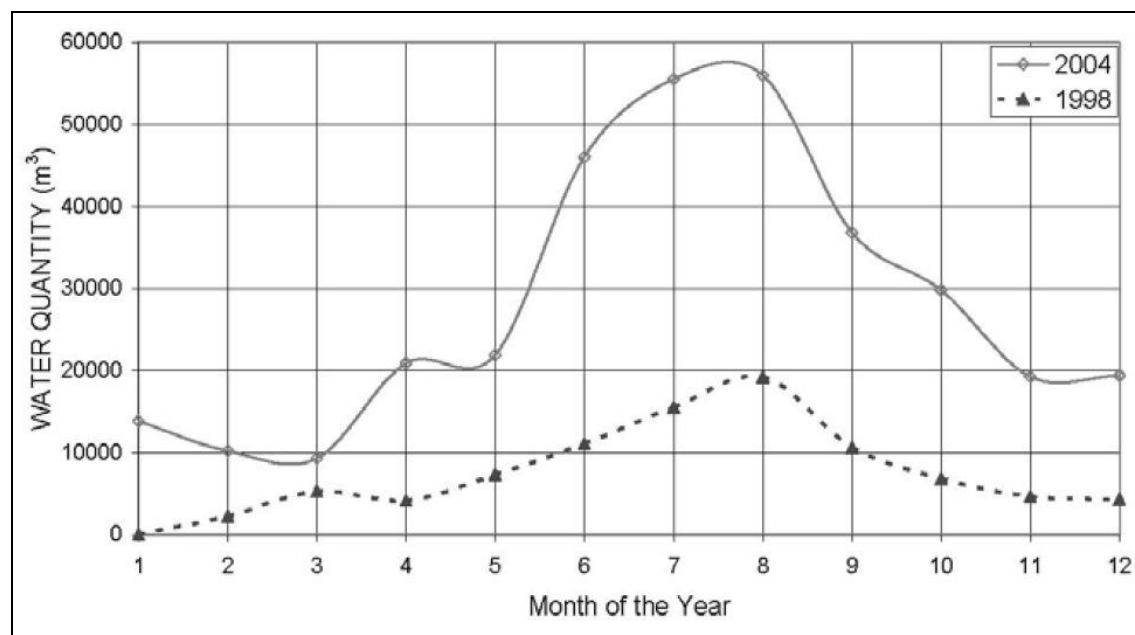
Οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σήμερα στον τουρισμό, στην γεωργία και στην κτηνοτροφία, καλούνται να καλύψουν με ίδιους πόρους το κόστος για την εξασφάλιση καθαρού νερού. Η εξασφάλιση υψηλής ποιότητας φρέσκου νερού μέσω αφαλάτωσης αναμένεται να μειώσει αρκετά το κόστος αυτό, βελτιώνοντας τις συνθήκες επιχειρηματικής δραστηριότητας. Επίσης, η εξασφάλιση πόσιμου νερού θα αναβαθμίσει το επίπεδο των παρεχόμενων υπηρεσιών στην τουριστική βιομηχανία,

ωφελώντας αντίστοιχα την τοπική οικονομία. Τα νησιά προσελκύουν ήδη αρκετές χιλιάδες επισκεπτών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες

Η κάλυψη των αναγκών σε φρέσκο νερό δεν είναι παντού η ίδια, αλλά ποικίλλει από νησί σε νησί, καθώς στα μεγαλύτερα ή τα πιο τουριστικά (Σύρος Τήνος, Μύκονος, Σίφνος, Σέριφος, Κως, Ρόδος) έχουν εγκατασταθεί μονάδες αφαλάτωσης, ενώ σε άλλα μικρότερα, οι ανάγκες καλύπτονται από μικρής έκτασης έργα και δεξαμενές, των οποίων η απόδοση εξαρτάται άμεσα από τις βροχοπτώσεις.

Στα νησιά του Αιγαίου (Λέρος, Νίσυρος, Θήρα, Ίος, Μήλος, Σίφνος, Πάρος, Σύρος, Μύκονος, Τήνος, Κίμωλος, Οινούσες και Χίος) έχουν εγκατασταθεί μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης και καλύπτουν το 2% της ζήτησης αρδευτικού νερού και περίπου το 4,1% της ζήτησης σε νερό ύδρευσης.

Συγκεκριμένα στη Νίσυρο, η μονάδα αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού λειτουργεί από το 1991 και έχει δυναμικότητα ίση με 800 m³ ανά ημέρα. Στο Σχήμα 6.2 απεικονίζεται ένα τυπικό διάγραμμα της εισαγόμενης ποσότητας νερού σε m³, στις Κυκλάδες, ως προς το πέρασμα του χρόνου. Από το διάγραμμα φαίνεται η ανοδική πορεία της εισαγόμενης ποσότητας του νερού από τον μήνα Μάιο έως τα μέσα του Ιουλίου και στη συνέχεια η πτώση της ποσότητας αυτής [33].



Σχήμα 6.2: Εποχιακή διακύμανση στις εισαγόμενες ποσότητες νερού το 1998 και το 2004 στις Κυκλάδες [33]

Το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών έχει εκπονήσει ένα μεγάλο ευρωπαϊκό πρόγραμμα για τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση 10 μονάδων αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται με ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές στις χώρες Ιορδανία, Μαρόκο, Τουρκία και Κύπρο.

Στη Μήλο έχει εγκατασταθεί μονάδα αφαλάτωσης κοντά στα Μανδράκια από τον Ιούλιο του 2007, έργο προϋπολογισμού 3,5 εκατ. €, ενταγμένο στο Γ' Κ.Π.Σ., Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητας. Το έργο αυτό πρόκειται να καλύψει τις ανάγκες του νησιού, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες, όπου λόγω της αύξησης του τουρισμού, τόσο η ποσότητα όσο και η ποιότητα του νερού δεν είναι επαρκής και ικανοποιητική.

Η Μονάδα Αφαλάτωσης, που καλύπτεται ενεργειακά από το Αιολικό Πάρκο, που βρίσκεται στη θέση «Κουτσουνόραχη», αποτελείται από [34]:

- 2 μονάδες των 1.000 m³ / ημέρα (σύνολο 2.000 m³ με προοπτική να επεκταθεί μέχρι το 2011 στα 3.000 m³) που «φιλοξενούνται» σε containers
- αντλίες και αγωγούς που μεταφέρουν το θαλασσινό νερό στις μονάδες από όπου αφαλατώνεται
- 4 δεξαμενές λειτουργίας και τροφοδότησης πόσιμου νερού, με χωρητικότητα 3.000 m³, στις οποίες διοχετεύεται το νερό και στη συνέχεια μεταφέρεται στο νησί
- ένα καταθλιπτικό αγωγό, που έχει μήκος 2.500 m και μεταφέρει νερό κατάλληλο προς κατανάλωση στις δεξαμενές λειτουργίας και τροφοδότησης, και τέλος
- μια ανεμογεννήτρια με 850 KW που στηρίζει ενεργειακά τη Μονάδα Αφαλάτωσης.

6.3 Πλωτή μονάδα αφαλάτωσης (ΥΔΡΙΑΔΑ)

Με δεδομένη την σημαντική ηλιοφάνεια και την έντονη παρουσία των ανέμων στα ελληνικά νησιά, Έλληνες και ξένοι επιστήμονες οδηγήθηκαν στη σχεδίαση και την δημιουργία της πρώτης στον κόσμο πλωτής μονάδας αφαλάτωσης, η οποία χρησιμοποιεί για τη λειτουργία της μονάχα ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: τον άνεμο για την κυρίως λειτουργία του «πλωτού εργοστασίου» και επικουρικά τον ήλιο για την ηλεκτροδότηση των συστημάτων ελέγχου και τηλεχειρισμού της.

Η πρώτη αυτή μονάδα που ονομάστηκε ΥΔΡΙΑΔΑ, όνομα παρμένο από την ελληνική μυθολογία (οι Υδριάδες ήταν Νύμφες των γλυκών νερών), κόστισε 2,8 εκατ. €, όμως το κόστος για τις επόμενες αντίστοιχες υπολογίζεται ότι δεν πρόκειται να ξεπεράσει τα 700.000 €. Οι μελέτες των επιστημόνων τόσο του ιδιωτικού όσο και του δημόσιου τομέα, ξεκίνησαν το 2003 και διήρκεσαν περίπου 2,5 χρόνια ενώ η κατασκευή του συστήματος διήρκεσε περίπου 6 μήνες. Στην κατασκευή συμμετείχαν το Πανεπιστήμιο Αιγαίου (ανάδοχος), η ΤΕΧΝΑΒΑ ΑΕ, η Reflection ΕΠΕ, η Algosystems ΑΕ, η Lamda Shipgrads ΑΕ, η ΠΙΣΕΥ, το ΚΑΠΕ, η Ι. Κουιμάνης & Συνεργάτες, η Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, και η Ελληνικός Νηογνώμονας ΑΕ

Η πλωτή κατασκευή με την ενσωματωμένη ανεμογεννήτρια έπρεπε να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε τα δυνατά μποφόρ του Αιγαίου να μην επηρεάζουν τη λειτουργία της. Θα πρέπει να παραμένει «ακίνητη» κάτω από τις πιο δύσκολες καιρικές συνθήκες (έχει αντέξει άνεμους 10 και 11 μποφόρ), ώστε να μπορεί να λειτουργεί η ανεμογεννήτρια, η οποία χρησιμοποιεί τις πιο προηγμένες τεχνολογικά συνιστώσες της παγκόσμιας αγοράς.

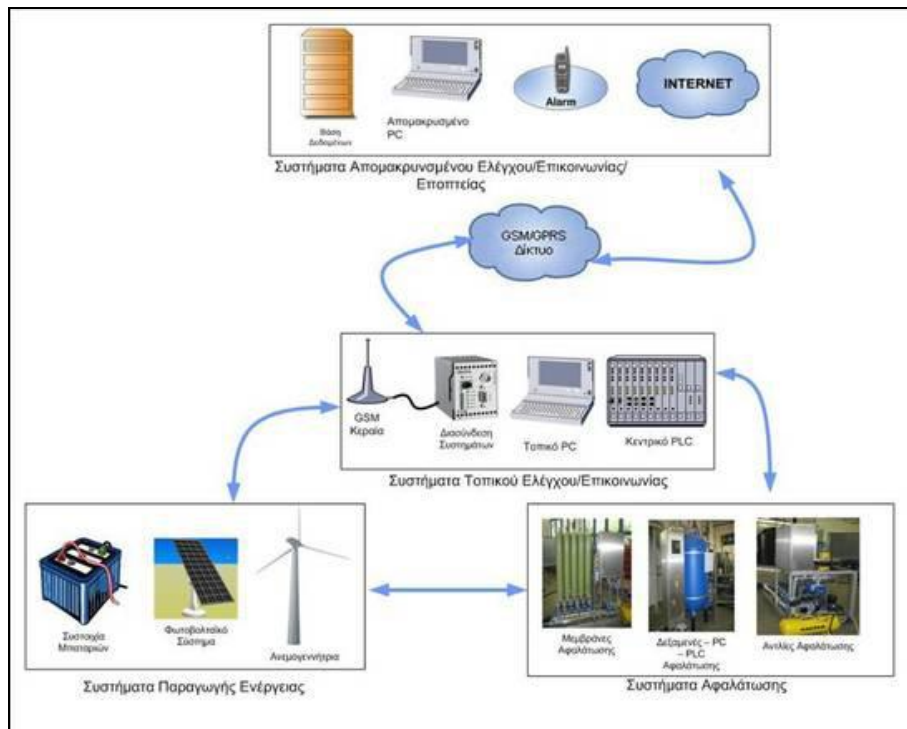
Αρχικά, λειτούργησε δοκιμαστικά για 6 μήνες στον κόλπο της Ελευσίνας, όπου σε ένα ιδιαίτερα μολυσμένο θαλασσινό περιβάλλον, αποδείχθηκε ότι μπορεί να λειτουργήσει άψογα, χωρίς τη χρήση χημικών. Στη συνέχεια, το σύστημα εγκαταστάθηκε στην Ηρακλεία, στις μικρές Κυκλάδες, όπου και λειτουργεί χωρίς κανένα πρόβλημα, παρά το γεγονός ότι επανειλημμένα έχει βρεθεί σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Η κατασκευή, η οποία ζυγίζει 150 τόνους και καλύπτει έκταση μισού στρέμματος, έχει ύψος όσο μια δεκαώροφη πολυκατοικία και παράγει 70.000 λίτρα πόσιμου νερού το 24ωρο [29].



Εικόνα 6.2: Κατασκευή Υδριάδας [29]

Η πλωτή κατασκευή (Εικόνα 6.2) αποτελείται από τέσσερις περιφερειακούς κυλινδρικούς πλωτήρες και έναν κεντρικό, που συνδέονται μεταξύ τους με μεταλλικό δικτύωμα, ώστε σε συνδυασμό με τη γεωμετρία της κατασκευής να ελαχιστοποιείται η επίδραση των κυμάτων. Στους τρεις ορόφους του πλωτήρα, είναι εγκατεστημένα το «εργοστάσιο» αφαλάτωσης – που βασίζεται στη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης και έχει την ικανότητα (στο πιλοτικό σύστημα) να παράγει νερό αρκετό για 300 άτομα -, το κέντρο ελέγχου του συστήματος και η δεξαμενή αποθήκευσης του πόσιμου νερού. Δηλαδή, ένα «εργοστάσιο» αφαλάτωσης το κέντρο έλεγχου του συστήματος, τα ηλεκτρολογικά/ηλεκτρονικά συστήματα, οι αυτοματισμοί (για τοπική και απομακρυσμένη λειτουργία) και τα υπόλοιπα βοηθητικά συστήματα, καθώς και τα συστήματα ασφάλειας.

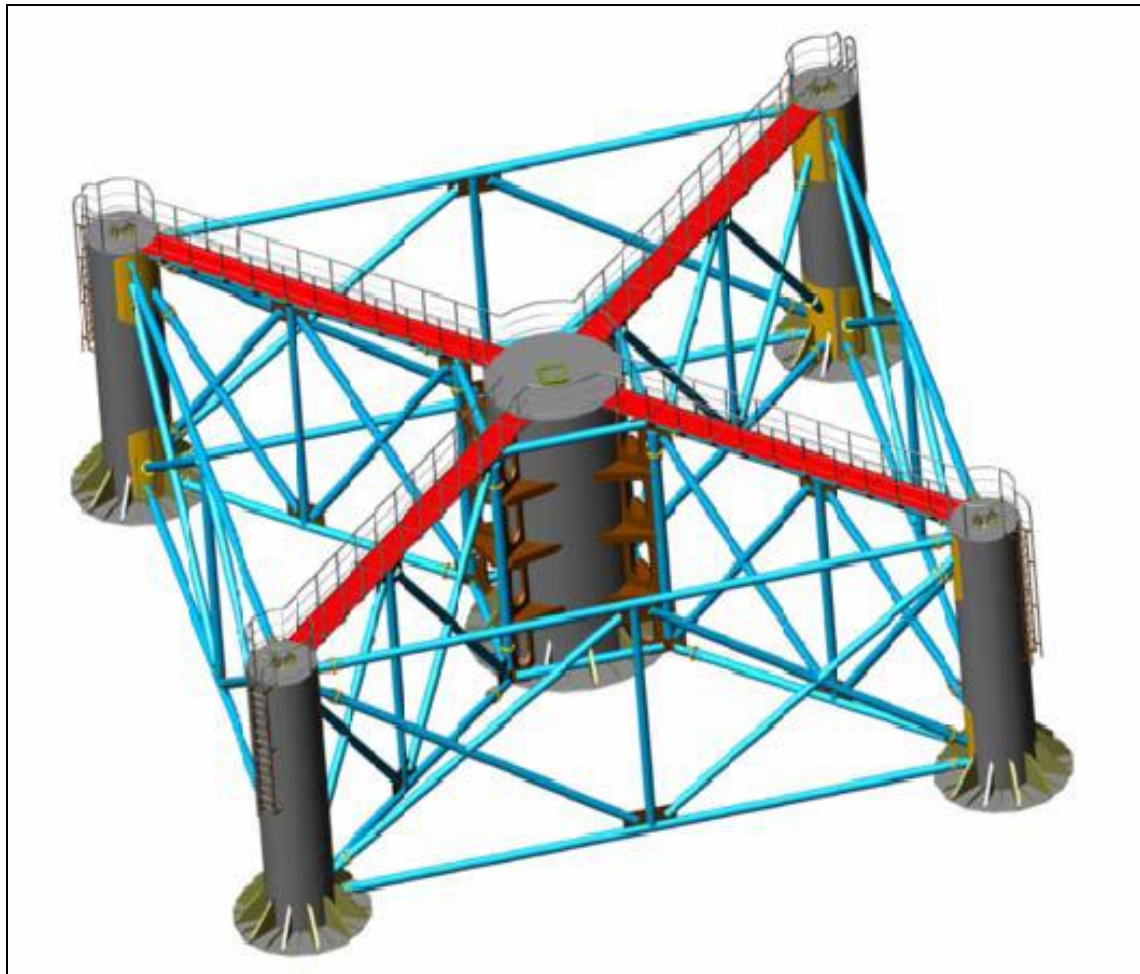
Κατά την κατασκευή οι επιστήμονες είχαν να αντιμετωπίσουν προκλήσεις σε τεχνικό επίπεδο: έπρεπε να γίνει ειδικός σχεδιασμός που να επιτρέπει την σύζευξη πλωτού και ανεμογεννήτριας, να υπάρχει αυτόματο σύστημα GPRS για την παρακολούθηση και τον τηλεχειρισμό της μονάδας, έτσι ώστε να μην απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό και να γίνονται όλα αυτοματοποιημένα. Αυτό είναι φανερό ότι μειώνει αισθητά το κόστος λειτουργίας. Στο Σχήμα 6.3 παρατηρείται η διασύνδεση των συστημάτων της αυτόνομης αφαλάτωσης με το όνομα ΥΔΡΙΑΔΑ, που αρχίζει από το σύστημα απομακρυσμένου ελέγχου επικοινωνίας/εποπτείας και καταλήγει στο σύστημα αφαλάτωσης.



Σχήμα 6.3: Ενεργειακή διασύνδεση συστημάτων Υδριάδας [29]



Εικόνα 6.3 Ναυπήγηση Υδριάδας [29]



Σχήμα 6.4: Σχηματική αναπαράσταση πλωτής κατασκευής Υδριάδας [29]

Έχει επιτευχθεί απόλυτα οικολογική λειτουργία, εφόσον το σύστημα δεν χρησιμοποιεί καύσιμα παρά μόνο αιολική και ηλιακή ενέργεια μέσω ανεμογεννήτριας και φωτοβολταϊκών κυψελών (δεν χρειάζεται η σύνδεσή της με δίκτυο της ΔΕΗ) και βέλτιστος βαθμός απόδοσης της αφαλάτωσης, εφόσον λειτουργεί με μεταβλητή παροχή ισχύος. Στα συστήματα που τροφοδοτούνται αποκλειστικά και μόνο από ΑΠΕ, η διαθέσιμη ισχύς είναι συνεχώς μεταβαλλόμενη και αυξομειώνεται ανάλογα με την ένταση του ανέμου. Σε συνθήκες, λοιπόν, μεταβαλλόμενης ενέργειας με την πιλοτική λειτουργία του συστήματος έχουν επιβεβαιωθεί τα ερευνητικά αποτελέσματα. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι και στα πλοία υπάρχουν μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες όμως λειτουργούν με την ενέργεια γεννητριών Diesel, που σημαίνει ότι το κόστος λειτουργίας είναι αρκετά υψηλό και προφανώς δεν είναι καθόλου φιλικές προς το περιβάλλον.

Η μονάδα κατασκευάστηκε σε ναυπηγείο, ρυμουλκήθηκε στον τόπο εγκατάστασης (Εικόνα 6.4), αλλά μπορεί να μεταφερθεί εύκολα και παντού αλλού. Η τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης χρησιμοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε δεν έγινε χρήση καθόλου χημικής επεξεργασίας του θαλασσινού νερού, με ελαχιστοποίηση των φαινομένων επικαθίσεων οργανικών και ανοργάνων ενώσεων στις μεμβράνες ώσμωσης και με απόδοση που φτάνει τα 70 m³ νερό την ημέρα.

Κατά την δοκιμαστική λειτουργία της μονάδας ελέγχθηκαν όλα τα συστήματα σε πραγματικές συνθήκες και έγιναν όλες οι διορθώσεις. Μια τέτοια μονάδα έχει την δυνατότητα να κατασκευαστεί στο ίδιο ή σε ακόμα μεγαλύτερο μέγεθος στο

ναυπηγείο και να ταξιδέψει στον τελικό ή πρόσκαιρο προορισμό της, δίνοντας γρήγορα λύση σ' όποιο πρόβλημα παρουσιαστεί. Η όλη εγκατάσταση συνιστά ένα σύνθετο πλωτό ναυπήγημα.



Εικόνα 6.4: Ρυμούλκηση Υδριάδας [29]

Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του όλου εγχειρήματος, έτσι ώστε να μην υπάρξει επέμβαση στο νησιωτικό τοπίο με δρόμους, εγκαταστάσεις, καλώδια ρεύματος κλπ. Οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι από τη λειτουργία της μονάδας περιορίζονται ουσιαστικά στην απόθεση του αλμυρού νερού (ύστερα από την αφαλάτωση), η οποία γίνεται στο ανοικτό πέλαγος, μακριά από τις ακτές, και σε μικρές ποσότητες. Για την αντιμετώπιση, όμως, και αυτού του ζητήματος, σχεδιάζεται για τον επόμενο σταθμό να συνδυάζεται το αλμυρό νερό από την έξοδο της μονάδας με τα καυσαέρια της τοπικής μονάδας ΔΕΗ του νησιού. Ο στόχος είναι να δεσμεύεται το CO₂ από τα καυσαέρια στο αλάτι του αλμυρού νερού, και από την ένωση αυτή να παράγεται νερό για άρδευση, καθώς και βιομηχανικό προϊόν σόδας, που θα πωλείται για την παραγωγή απορρυπαντικών και άλλων βιομηχανικών προϊόντων, χωρίς να απορρίπτεται τίποτα στη θάλασσα.

Όσον αφορά στη μονάδα αφαλάτωσης έχουν επιτευχθεί η βέλτιστη ενεργειακή απόδοση, η μείωση του φαινομένου των οργανικών και ανόργανων επικαθίσεων στις μεμβράνες, η αύξηση του βαθμού απόδοσης του κύκλου λειτουργίας, η λειτουργία χωρίς χημική επεξεργασία.

Όσον αφορά στην πλωτή κατασκευή έχει πραγματοποιηθεί η καλή συμπεριφορά σε διάφορες καιρικές συνθήκες ανέμου και κυματισμού, η συμμόρφωση με όλους τους κανονισμούς και συμβατότητα με τις σχετικές προδιαγραφές που αφορούν πλωτές κατασκευές και η παρακολούθηση από Νηογνώμονα και νηολόγηση. Ο *Νηογνώμονας* είναι ναυτιλιακός τεχνικός οργανισμός που καταρτίζει κανονισμούς ασφαλείας, τόσο επί της ναυπήγησης των πλοίων όσο και επί του εξοπλισμού τους. Νηολόγηση (registration), καλείται η (υποχρεωτική) εγγραφή του πλοίου σε ειδικό βιβλίο Νηολόγιο (registry) που τηρείται από τις Λιμενικές Αρχές, ειδικό αξιωματικό (registrar) σε κάθε λιμένα.

Όσον αφορά στην ενεργειακή διασύνδεση έχει επιτευχθεί η ευέλικτη και αξιόπιστη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της διαδικασίας αποκλειστικά και μόνο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Όσον αφορά στη συνολική λειτουργία του συστήματος έχει επιτευχθεί η πλήρως αυτοματοποιημένο και τηλε - παρακολουθούμενο, χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη ανθρώπων πάνω στην πλωτή μονάδα (ούτε εξειδικευμένου προσωπικού στα μικρά νησιά).

Τόσο η σχεδίαση όσο και τα αποτελέσματα από τη λειτουργία της πλατφόρμας αφαλάτωσης έχουν κερδίσει τις εντυπώσεις σε εθνικό αλλά και σε διεθνές επίπεδο. Το έργο έχει κερδίσει το βραβείο Lloyd's για καινοτόμο ναυτική κατασκευή, καθώς και Ειδική Μνεία στο έργο «Πλωτή, αυτόνομη και φιλική για το περιβάλλον μονάδα αφαλάτωσης, Νότιο Αιγαίο, Ελλάδα» από την Επιτροπή του διαγωνισμού των Βραβείων RegioStars 2008 που αφορούν την επιβράβευση των πιο καινοτόμων περιφερειακών σχεδίων της Ευρώπης Ενδιαφέρον έχει εκδηλωθεί από πολλές χώρες, είτε μέσω των πρεσβειών τους είτε απευθείας, από επαφές που έχουν κάνει αρμόδιοι παράγοντες, ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει εκφραστεί από την Κύπρο και τις ΗΠΑ [32].

Εκτός από την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης ορισμένων μικρών νησιών και την ευελιξία που παρέχουν οι πλωτές αιολικές μονάδες αφαλάτωσης, υπάρχει ένα πολύ μεγαλύτερο όφελος που σχετίζεται με τη ανάπτυξη της χώρας μας και τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητάς της. Η αξιοποίηση των συγκριτικών πλεονεκτημάτων που διαθέτει η χώρα μας για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας (σημαντικές εγχώριες ανάγκες, ύπαρξη κατάλληλου επιστημονικού δυναμικού και ναυπηγικής βιομηχανίας, ειδικές συνθήκες που επικρατούν στο Αιγαίο, επιδοτήσεις ΑΠΕ, κ.τ.λ.) θα επιτρέψει τη δημιουργία ενός βιομηχανικού υποκλάδου με εξαιρετικά ελπιδοφόρες προοπτικές (offshore πλωτά αιολικά πάρκα, εξαγωγές πλωτών μονάδων αφαλάτωσης σε άλλες νησιωτικές χώρες ή σε αναπτυσσόμενες περιοχές που αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα ποιότητας του πόσιμου νερού). Η πρόσφατη εμπειρία από την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη Δανία, των ΑΠΕ σε Γερμανία, Ισπανία και της αφαλάτωσης σε χώρες όπως το Ισραήλ και η Ισπανία, αποδεικνύει ότι τα οφέλη για τη βιομηχανική δραστηριότητα ήταν πολλαπλάσια αυτών που προέκυψαν από την απλή κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρισμό ή πόσιμο νερό. Τα συγκριτικά πλεονεκτήματα (ή και μειονεκτήματα σε κάποιες περιπτώσεις) αξιοποιήθηκαν για τη δημιουργία ισχυρών βιομηχανικών κλάδων παγκόσμιας εμβέλειας, με ιδιαίτερα θετικές επιπτώσεις στην απασχόληση, τις εξαγωγές και την έρευνα –ανάπτυξη.

Λόγω των προβλημάτων υφαλμύρωσης και κακής ποιότητας νερού που αντιμετωπίζουν οι παράκτιες περιοχές δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης της αφαλάτωσης και σε ορισμένες πόλεις ή οικισμούς που η μεταφορά νερού από την ενδοχώρα είναι ασύμφορη ή δύσκολη λόγω των γεωμορφολογικών συνθηκών της περιοχής. Το μέγεθος των αναγκών αυτών είναι δύσκολο να εκτιμηθεί αλλά πιθανότατα την επόμενη 5ετία θα είναι της τάξης των 200 - 400.000 m³ ημερησίως. Σημαντική ζήτηση νερού αφαλάτωσης προβλέπεται επίσης και από μεγάλα ξενοδοχειακά συγκροτήματα ή εγκαταστάσεις γκολφ που θα δημιουργηθούν σε σχετικά άnuδρες περιοχές (π.χ. Κρήτη, νησιά).

6.4 Βιωσιμότητα μονάδας αφαλάτωσης

Για την ανάλυση της βιωσιμότητας μίας μονάδας αφαλάτωσης, υπολογίζονται τα μελλοντικά αποτελέσματα και οι δείκτες Εσωτερικής Απόδοσης (IRR). Λήφθησαν υπόψη τεχνικοοικονομικά στοιχεία από μελέτη σκοπιμότητας μονάδας, τα οποία συσχετίστηκαν με πληροφορίες που δώθηκαν από το Δήμο Μυκόνου (ΔΕΥΑ) και την

εταιρία CULLIGAN HELLAS ώστε να είναι αρκετά ρεαλιστικά. Οι υποθέσεις-παραδοχές είναι οι ακόλουθες:

- *Μέγεθος μονάδας:* 650 m³/ημέρα.
- *Ανάκτηση:* 40%
- *Πίεση:* 65bar
- *Κατανάλωση ηλεκτρισμού:* 3,0 kWh/m³
- *Τιμή ηλεκτρισμού:* 0,07719 €/kWh (Τιμολόγιο B2B της ΔΕΗ για βιομηχανικό ρεύμα μέσης τάσης)
- *Αντικατάσταση μεμβρανών, χημικά, κτλ:* 0,20 ευρώ/m³
- *Συντήρηση, κτλ:* 0,04 ευρώ/m³
- *Κόστος Εργασίας:* 20.000 ετησίως για έναν τεχνικό μερικής απασχόλησης και αμοιβές μόνιμων συνεργατών(ηλεκτρολόγου, υδραυλικού).
- *Μεταβολές τιμών πώλησης και στοιχείων κόστους:* Γίνονται οι παρακάτω υποθέσεις (μέση ετήσια αύξηση τιμής πώλησης 4%, κόστους ηλεκτρισμού 2%, Δαπανών προσωπικού 5%, Μεμβρανών – χημικών 4%, Συντήρησης 5%, Διαχειριστικών εξόδων 3%, Λοιπών εξόδων 4%).
- *Διαθεσιμότητα μονάδας:* 92 % (λόγω συντήρησης, καθαρισμού μεμβρανών και φίλτρων, κ.τ.λ.).
- *Εποχικότητα λειτουργίας:* Τους μήνες αιχμής (Μάιος – Σεπτέμβριος) η μονάδα λειτουργεί στο 95% της δυναμικότητάς της και τους υπόλοιπους μήνες στο 75%. Με βάση τις υποθέσεις αυτές η συνολική ετήσια παραγωγή (πωλήσεις) της μονάδας θα είναι 197.700 m³.
- *Συνολικό κόστος επένδυσης:* Το συνολικό κόστος επένδυσης (χωρίς δεξαμενές αποθήκευσης πόσιμου νερού) προϋπολογίζεται σε 475.000 ευρώ και κατανέμεται ως εξής: Μελέτες αδειοδότηση, κ.τ.λ. 30.000, Διαμόρφωση γηπέδου, προσπέλαση, περιφράξη, βάσεις εξοπλισμού, κτλ 25.000, Φρεάτιο άντλησης, σωληνώσεις μεταφοράς, φίλτρο, κ.τ.λ. 60.000, Εξοπλισμός 250.000, Κόστος μεταφοράς-εγκατάστασης εξοπλισμού 35.000, Γραμμή ΜΤ & Υ/Σ, σύνδεση 40.000, Περονοφόρο ανυψωτικό(fork-lift) 12.000, Δοκιμές, θέση σε λειτουργία 15.000, Εκπαίδευση 8.000. Συνολ. Κόστος επένδυσης 792 ευρώ/m³ ανά ημέρα.
- *Επενδυτικό σχήμα-Συνθήκες λειτουργίας:* Το συνολικό κόστος επένδυσης αναλαμβάνεται από ιδιώτες επενδυτές με διάρκεια εκμετάλλευσης τα 10 χρόνια (στη συνέχεια οι εγκαταστάσεις παραχωρούνται στους δήμους). Κατά την μεταβίβαση οι μονάδες θα πρέπει να είναι σε καλή κατάσταση και σε πλήρη λειτουργία. Οι Δήμοι παραχωρούν τα οικόπεδα και αναλαμβάνουν το κόστος σύνδεσης με το δίκτυο, καθώς και το κόστος αποθήκευσης (δεξαμενές, κ.τ.λ.). Οι Δήμοι (ή το Δημόσιο) δεσμεύονται να αγοράζουν για μια 10ετία εγγυημένη ποσότητα πόσιμου νερού, σε τιμή που υπερκαλύπτει το κόστος παραγωγής ώστε να εξασφαλίζεται η βιωσιμότητα των μονάδων. Κατά τους χειμερινούς μήνες θα πρέπει να είναι εξασφαλισμένη η διάθεση τουλάχιστον του 60% της παραγωγικής δυναμικότητας, διότι η παύση λειτουργίας των μονάδων είναι οικονομικά ασύμφορη και δημιουργεί τεχνικά προβλήματα.
- *Χρηματοδότηση:* Εξετάζονται δύο σενάρια: α) Ιδία συμμετοχή 60%, Επιδότηση 40% και β) Ιδία συμμετοχή 30%, Τραπεζικός δανεισμός 30% και Επιδότηση 40%. Το επιτόκιο 10ετούς δανείου είναι 8%.
- *Αποσβέσεις:* Μέσος συντελεστής απόσβεσης 10%.
- *Επενδύσεις αντικατάστασης:* Η μέση διάρκεια ζωής του εξοπλισμού (εκτός των μεμβρανών που το κόστος αντικατάστασης τους υπολογίζεται στα λειτουργικά έξοδα) είναι 8 χρόνια. Με δεδομένο ότι η μονάδα πρέπει να παραδοθεί εν λειτουργία και σε καλή κατάσταση, προβλέπονται επενδύσεις αντικατάστασης από το 3^ο μέχρι το 10^ο έτος, συνολικού κόστους 120 χιλ. ευρώ [35].

Τα αποτελέσματα του μοντέλου για την οικονομική αποδοτικότητα της συγκεκριμένης μονάδας αφαλάτωσης για διάφορα επίπεδα τιμών πώλησης (που προκύπτουν από διάφορους συντελεστές προσαύξησης επί του συνολικού κόστους παραγωγής προ χρηματοοικονομικών εξόδων και φόρων) φανερώνουν ότι η επένδυση γίνεται ελκυστική για τους ιδιώτες επενδυτές σε τιμές προσαυξημένες τουλάχιστον κατά 25% στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά ίδια κεφάλαια (IRR προ φόρων 18,6%) και κατά 20% με τραπεζική χρηματοδότηση του 30% του σχεδίου. Όλα αυτά σε επίπεδα τιμών είναι πολύ λογικά για τις συνθήκες των νησιών. Στον Πίνακα 6.3, παρουσιάζονται οι δείκτες εσωτερικής απόδοσης με διάφορα σενάρια τιμών πώλησης.

Πίνακας 6.3: Δείκτες Εσωτερικής Απόδοσης (IRR) Π.Φ. με διάφορα σενάρια τιμών πώλησης [35]

Επενδυτικό σχέδιο χωρίς Τραπεζικό δανεισμό, επιδότηση 40%							
Προσαύξηση επί του κόστους	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%
Περιθώριο Καθαρού Κέρδους	2%	6%	11%	14%	18%	21%	24%
Κόστος Παραγωγής	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841
Τιμή Πώλησης	0,859	0,900	0,940	0,981	1,022	1,063	1,104
Δείκτης Εσωτερικής Απόδοσης	1,90%	6,70%	11,00%	14,90%	18,60%	22,10%	25,50%
Επενδυτικό σχέδιο με Ι.Σ. 30%, Τραπεζικό δανεισμό 30%, επιδότηση 40%.							
Προσαύξηση επί του κόστους (προ χρηματοοικονομικών)	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%
Περιθώριο Καθαρού Κέρδους	-2%	3%	7%	11%	15%	18%	21%
Κόστος παραγωγής	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841
Τιμή Πώλησης	0,859	0,900	0,940	0,981	1,022	1,063	1,104
Δείκτης Εσωτερικής Απόδοσης	4,6%	12,6%	19,5%	25,9%	31,9%	37,7%	43,2%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Μονάδα Αφαλάτωσης Σαντορίνης

7.1 Εισαγωγή



Εικόνα 7.1: Το κτίριο της μονάδας αφαλάτωσης της Οίας [36]

Η μονάδα Αφαλάτωσης Αντίστροφης Ώσμωσης του χωριού της Οίας της Νήσου Θήρας, έχει σαν σκοπό τη μετατροπή του θαλασσινού νερού σε πόσιμο.

7.2 Το πρόβλημα της ύδρευσης

Είναι γνωστό ότι στην περιοχή της Σαντορίνης υπάρχει σε μεγάλη έκταση πρόβλημα με την έλλειψη των απαιτούμενων υδατικών πόρων αλλά και της ποιότητας του υπόγειου νερού. Με δεδομένη την τουριστική ανάπτυξη του νησιού και συγκεκριμένα στο χωριό της Οίας αλλά και την απαιτούμενη ποιοτική αναβάθμιση του τουρισμού, οι ανάγκες σε νερό, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες είναι πολύ μεγάλες. Στο χωριό της Οίας δεν λειτουργούν γεωτρήσεις και η υδροδότηση γίνεται από τις υπάρχουσες πέντε μονάδες αφαλάτωσης συνολικής δυναμικότητας 1520 m³/ημέρα. Μέχρι το τέλος του 2011 υπήρχαν τέσσερις μονάδες δυναμικότητας 1020 m³/ημέρα σύμφωνα με τις οποίες τους καλοκαιρινούς μήνες οι δεξαμενές και η παραγωγή δεν μπορούσε να καλύψει την κατανάλωση. Έτσι μετά το πέρας του 2011 και στις αρχές του 2012 έγινε η τοποθέτηση νέας μονάδας αφαλάτωσης δυναμικότητας 500 m³/ημέρα.

Η μορφολογία αλλά και το είδος του εδάφους δεν επιτρέπει τη συλλογή του νερού των βροχοπτώσεων ως επιφανειακού νερού.

7.2.1 Περιγραφή του έργου

Η δεξαμενή έχει κατασκευαστεί σε κοινοτικό και πλέον δημοτικό χώρο συνολικού εμβαδού 1254,76 τ.μ ο οποίος βρίσκεται στη θέση Φοινικιά (περιοχή της Οίας). Η δεξαμενή τροφοδοτείται από το υπάρχον εργοστάσιο αφαλάτωσης. Οι αγωγοί εισόδου και εξόδου του ύδατος στη δεξαμενή σήμερα διέρχονται επί του επαρχιακού δρόμου που ευρίσκεται το οικόπεδο. Ο χώρος αυτός επιλέχθηκε διότι είναι πλησίον του εργοστασίου αφαλάτωσης, έχει εύκολη πρόσβαση από τον επαρχιακό δρόμο και μορφολογία ανάλογη ώστε η δεξαμενή να μην είναι ορατή από τους οικισμούς της Οίας. Η μονάδα είναι αυτόνομη, φορητή, προκατασκευασμένη, εύκολα μεταφερόμενη σε διαφορετικές θέσεις, εάν αυτό απαιτηθεί. Είναι τοποθετημένη σε εμπορευματοκιβώτια (containers), με κατάλληλη εργονομική διάταξη του συνόλου του εξοπλισμού ώστε να είναι δυνατή η ευχερής λειτουργία και συντήρησή της. Λαμβάνοντας υπόψη τη δυναμικότητά της που έχει τοποθετηθεί σε πέντε (5) εμπορευματοκιβώτια.

Η μονάδα περιλαμβάνει τα κύρια στάδια επεξεργασίας θαλασσινού νερού με αντίστροφη ώσμωση, δηλαδή, προκατεργασία, κύρια επεξεργασία και μετεπεξεργασία, όπως αναλυτικά περιγράφονται παρακάτω. Επιτυγχάνεται η απαιτούμενη ποιότητα νερού αλλά και το απαιτούμενο ποσοστό ανάκτησης με την ελάχιστη δυνατή πίεση λειτουργίας. Η μονάδα περιλαμβάνει και τις αντλίες τροφοδοσίας θαλασσινού νερού (αντλίες χαμηλής πίεσης). Η τροφοδοσία της μονάδας με θαλασσινό νερό γίνεται από τη δεξαμενή θαλάσσης που υπάρχει στις εγκαταστάσεις των λειτουργούντων μονάδων αφαλάτωσης.

7.2.2 Γενική περιγραφή της μονάδας

Η μονάδα φέρει απαραίτητη διάταξη, με αποτέλεσμα να πραγματοποιεί αυτόματα όλα τα στάδια επεξεργασίας, δηλαδή αναρόφηση-τροφοδοσία θαλασσινού νερού, προκατεργασία, αφαλάτωση (αντίστροφη ώσμωση), μετεπεξεργασία, ρύθμιση χαρακτηριστικών πόσιμου νερού προς αποθήκευση και διάθεση στην κατανάλωση καθώς επίσης, έκπλυση μεμβρανών και φίλτρα θολότητας. Η μονάδα φέρει τον κατάλληλο αυτοματισμό για την αυτόματη λειτουργία όλων των διεργασιών όπως, εκκίνηση, σταμάτημα, έκπλυση και χημικό καθαρισμό. Οι αυτοματοποιημένες διεργασίες γίνονται μέσω PLC. Η παραπάνω εγκατάσταση είναι εγκατεστημένη σε εμπορευματοκιβώτια κατά εργονομικό τρόπο. Όλα τα εξαρτήματα της μονάδας είναι εγκατεστημένα σε ισχυρές βάσεις κατασκευασμένες από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 316. Οι σωλήνες υψηλής πίεσης είναι κατασκευασμένες από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 904 L.

7.2.3 Ποιότητα θαλασσινού νερού:

Ο κάθε ενδιαφερόμενος θα επιβεβαιώσει την παρακάτω ποιότητα θαλασσινού νερού και γι'αυτό θα πρέπει να προβεί ο ίδιος και με δικές του δαπάνες σε αναλύσεις του θαλασσινού νερού της περιοχής από όπου θα γίνεται η άντληση, ώστε να προσδιοριστεί επακριβώς η παρουσία συγκεκριμένων στοιχείων, η περιεκτικότητα των οποίων επηρεάζει τη λειτουργία της μονάδας, ώστε να προχωρήσει στον ακριβή σχεδιασμό της. Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζεται η χημική ανάλυση του θαλασσινού νερού.

Πίνακας 7.2: Χημική ανάλυση του θαλασσινού νερού [36]

Ασβέστιο, Ca ⁺⁺	σε ppm 560 ως Ca ⁺⁺
Σίδηρος, Fe ⁺²	σε ppm 0,001 ως Fe ⁺²
Μγνήσιο, Mg ⁺⁺	σε ppm 1.480 ως Mg ⁺⁺
Όξινα ανθρακικά, HCO ₃ ⁻	σε ppm 156 ως HCO ₃ ⁻
Νάτριο, Na ⁺	σε ppm 13.200 ως Na ⁺
Κάλιο, K ⁺	σε ppm 415 ως K ⁺

Στρόντιο, Sr^{+2}	σε ppm 8 ως Sr^{+2}
Βάριο, Ba^{+2}	σε ppm 0,01 ως Ba^{+2}
Βόριο, B^{+3}	σε ppm 4,5 ως B^{+3}
Θειικά, SO_4^{-2}	σε ppm 2.700 ως SO_4^{-2}
Χλωριούχα, Cl^-	σε ppm 23.915 ως Cl^-
Νιτρικά, NO_3^-	σε ppm 2,1 ως NO_3^-
Φθοριούχα, F^-	σε ppm 0,5 ως F^-
Ανθρακικά, CO_3^{-2}	σε ppm 31,5 ως CO_3^{-2}
Διοξείδιο του πυριτίου, SiO_2	σε ppm 3 ως SiO_2
TDS	σε ppm 42.500 ως TDS
pH	σε μονάδες pH 8,25
Θολότητα	σε NTU
SDI	σε μονάδες SDI 5,5



Εικόνα 7.2: Περιοχή άντλισης – καλδέρα [36]

Σε κάθε περίπτωση, ακόμα και εάν δε διενεργηθεί χημική ανάλυση του θαλασσινού νερού, επειδή η σύστασή του υφίσταται εποχιακές διακυμάνσεις, δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί συγκέντρωση μικρότερη των 42.500 ppm ως TDS.

Το θαλασσινό νερό θεωρείται ότι προέρχεται από νερό ανοιχτής θαλάσσης με $\text{SDI} > 5$, και μετά την προκατεργασία θα είναι $\text{SDI} < 5$

7.2.4 Ποιότητα παραγόμενου νερού:

Το παραγόμενο από τη διεργασία αφαλάτωσης νερό είναι απολύτως κατάλληλο για πόση, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία του Ελληνικού κράτους και τις σχετικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συγκεκριμένα, η ποιότητα του παραγόμενου νερού υγειονομικά και χημικά καλύπτει τις ελάχιστες προδιαγραφές του πόσιμου νερού, σύμφωνα με την οδηγία 98/83/EC/3-11-98 όπως αυτή ενσωματώθηκε στο εθνικό δίκαιο με την Υπ. Απ. Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892/τ.β./11-07-01) και γενικότερα των διατάξεων που ισχύουν τη χρονική περίοδο εγκατάστασης της μονάδας για το πόσιμο νερό. Ειδικότερα, η αγωγιμότητα του παραγόμενου νερού είναι οπωσδήποτε μικρότερη των 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ενώ παρουσιάζει σκληρότητα μεγαλύτερη των 80 ppm ως CaCO_3 .

7.2.5 Ποσότητα παραγόμενου πόσιμου νερού:

Ο ανάδοχος έχει εξασφαλίσει παραγόμενη ποσότητα 1520 m³ πόσιμου νερού ημερισίως με ελάχιστο ποσοστό ανάκτησης 35%. Η μονάδα έχει τη δυνατότητα να εργάζεται όλο το 24ωρο και η ποσότητα των 1520 m³ επιτυγχάνεται ακόμη και αν απαιτείται χρόνος σταματήματος για έκπλυση των φίλτρων θολότητας.

7.2.6 Στάδια επεξεργασίας

Τα τεχνικά μεγέθη (ισχύς αντλιών, παροχές, πιέσεις λειτουργίας, διατομές, δοσολογίες κλπ.) των επιμέρους διατάξεων, συσκευών και εξαρτημάτων της μονάδας (αντλίες τροφοδοσίας και λειτουργίας, φίλτρα, δοσομετρικές αντλίες, χημικά υλικά κλπ.) περιγράφονται λεπτομερώς στα τεχνικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού. Τα υλικά κατασκευής τους, τα οποία περιγράφονται παρακάτω είναι οπωσδήποτε από υλικά υψηλής αντοχής στη διάβρωση και χημικά υλικά (όπως ανοξειδωτος χάλυβας, πολυεστερικά ή γενικά συνθετικά υλικά).

Η λειτουργία της μονάδας περιλαμβάνει αναλυτικότερα τα εξής στάδια:

1. Τροφοδοσία θαλασσινού νερού

Η τροφοδοσία του θαλασσινού νερού γίνεται με αντλίες, η αναρρόφηση των οποίων είναι στη δεξαμενή του θαλασσινού νερού.

2. Προκατεργασία

Η προκατεργασία περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Χλωρίωση, η οποία γίνεται στον αγωγό θαλασσινού νερού
- Αποχλωρίωση με προσθήκη διαλύματος μεταδιθειώδους νατρίου (sodium metabisulfite Na₂S₂O₅)
- Φίλτραση με φίλτρο παρακράτησης θολότητας (πολυστρωματικό φίλτρο)
- Προσθήκη Οξέος
- Προσθήκη αντικαθαλωτικού (NALCO)
- Φίλτραση μέσω φίλτρων φυσιγγίων

3. Σύστημα αντίστροφης ώσμωσης

Το σύστημα αντίστροφης ώσμωσης περιλαμβάνει τα εξής τμήματα:

- Περιτροφική ή περιστροφικές αντλίες υψηλής πίεσης, με σύστημα ανάκτησης ενέργειας, ώστε να διατηρείται η κατανάλωση ενέργειας στα χαμηλά επίπεδα.
- Δοχείο μεμβρανών
- Μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης

4. Βοηθητικά συστήματα

Η λειτουργία της μονάδας περιλαμβάνει τα εξής επιπλέον βοηθητικά συστήματα:

- Σύστημα αυτόματης έκπλυσης μεμβρανών ακόμη και σε περίπτωση διακοπής ηλεκτρικού ρεύματος
- Μονάδα χημικού καθαρισμού μεμβρανών
- Σύστημα αυτόματης έκπλυσης πολυστρωματικών φίλτρων
- Σύστημα αυτοματισμού και οργάνων

5. Μετεπεξεργασία

Η μετεπεξεργασία περιλαμβάνει τα εξής στάδια

- Ρύθμιση σκληρότητας
- Ρύθμιση του pH
- Χλωρίωση

7.2.7 Λειτουργικά χαρακτηριστικά

Η προσφερόμενη μονάδα σύμφωνα με το σχεδιασμό της και τη λειτουργία της, έχει τα εξής λειτουργικά χαρακτηριστικά [36]:

- Δυναμικότητα: 1520 m³/day
- Ποσοστό ανάκτησης νερού: μεγαλύτερο του 35%
- Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας: μεγαλύτερο του 45%
- Ποσότητα παραγόμενου νερού: μικρότερη των 800 μS/cm (αγωγιμότητα στους 27° C)
- Σκληρότητα: μεγαλύτερη των 80 ppm (ως CaCO₃)
- Εκπλήρωση όλων των όρων της ισχύουσας νομοθεσίας περί νερού
- Ταχύτητα ροής στα φίλτρα θολότητας: μικρότερη των 17 m/h

7.2.8 Σύστημα τροφοδοσίας θαλασσινού νερού

Η τροφοδοσία της μονάδας με τις απαραίτητες ποσότητες θαλασσινού νερού, εξασφαλίζεται από δύο ανοξειδωτες αντλίες, ικανής παροχής και πίεσης η κάθε μία, οι οποίες αναρροφούν το νερό από τη δεξαμενή θαλασσινού νερού. Από τη δεξαμενή, το θαλασσινό νερό μέσω της αντλίας καταθλίβεται προς επεξεργασία στα επόμενα στάδια της εγκατάστασης. Οι αντλίες, είναι φυγοκεντρικού τύπου, εξ ολοκλήρου κατασκευασμένες από ανοξειδωτο χάλυβα ΑΙΣΙ 316, με επεξεργασία παθητικοποίησης για υψηλή αντοχή στη θαλάσσια διάβρωση. Οι αντλίες λειτουργούν εναλλακτικά αυτόματα ή χειροκίνητα.

Οι ηλεκτροκινητήρες λειτουργούν με ρεύμα 380 V/50 Hz, είναι ασύγχρονοι βραχυκυκλωμένου δρομέα, κατάλληλης προστασίας και κλάσης μόνωσης. Στην κατάθληψη, οι σωληνώσεις από PVC κατάλληλης διαμέτρου κάθε αντλίας έχουν βαλβίδα αντεπιστροφής και βάνια απομόνωσης όπου συναντώνται σε συλλέκτη, από τον οποίο αναχωρεί ένας μόνο αγωγός της ίδιας επίσης διαμέτρου. Η λειτουργία των αντλιών αυτών αλλά και όλης της μονάδας ελέγχεται από φλοτέρ κατώτατης στάθμης στη δεξαμενή θαλάσσης και ανώτατης στάθμης στη δεξαμενή καθαρού νερού. Τα φλοτέρ διακόπτουν τη λειτουργία της μονάδας σε περίπτωση που η στάθμη της θάλασσας μειωθεί κάτω από το προκαθορισμένο όριο ή η στάθμη του πόσιμου νερού ανέλθει πέραν του προκαθοριζόμενου ορίου.



Εικόνα 7.3: Αντλιοστάσιο [36]

7.2.9 Σύστημα χλωρίωσης

Το θαλασσινό νερό πριν την είσοδό του στα φίλτρα θολότητας χλωριώνεται με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου. Στόχος είναι η οξειδωση ανεπιθύμητων και βλαπτικών ουσιών και συστατικών του θαλασσινού νερού για τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης. Η χλωρίωση επιτυγχάνεται με δοσομετρική αντλία, η οποία λειτουργεί ταυτόχρονα με τις αντλίες χαμηλής πίεσης. Το σύστημα χλωρίωσης αποτελείται από τα εξής:

- Δύο αντλίες διαφραγματικού τύπου (η μία εφεδρική) ρυθμιζόμενης παροχής με ρύθμιση τόσο της συχνότητας εμβολισμών όσο και μήκους εμβολισμών, ηλεκτρονικού τύπου. Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός της αντλίας είναι τοποθετημένος μέσα σε πλαστικό κέλυφος, που τον προστατεύει από τις διαβρωτικές ιδιότητες των χημικών. Όλα τα τμήματα που έρχονται σε επαφή με το διάλυμα είναι κατασκευασμένα από κατάλληλο υλικό ανθεκτικό στην επίδραση του χλωρίου. Η δοσομετρική αντλία έχει ρύθμιση της παροχής η οποία είναι τουλάχιστον κατά 20% μεγαλύτερη από την απαιτούμενη σύμφωνα με το σχέδιο της μονάδας.
- Βαθμονομημένο κάδο διαλύματος 200 lt, απ'όπου αναρροφάται το διάλυμα, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από ανθεκτικό στις ουσίες αυτές πλαστικό υλικό. Έχει επίσης και σύστημα υπερχειλίσης και εκκένωσης.

7.2.10 Φίλτρα θολότητας–Πολυστρωματικά φίλτρα

Για τη μείωση των αιωρούμενων στερεών και κολλοειδών, το θαλασσινό νερό υφίσταται κατεργασία με φίλτρα μείωσης της θολότητας (πολυστρωματικό φίλτρο) έτσι ώστε ο δείκτης SDI και η θολότητα του θαλασσινού νερού τροφοδοσίας να λαμβάνει τις επιθυμητές τιμές πριν έρθει σε επαφή με τις μεμβράνες.

Το νερό εισέρχεται από το πάνω μέρος του φίλτρου και αφού διαπεράσει διαδοχικά όλα τα στρώματα του υλικού φίλτρανσης, εξέρχεται από κάτω. Ως υλικό φίλτρανσης, χρησιμοποιείται διαφορετικής κοκκομετρίας χαλαζιακό χαλίκι, χαλαζιακή άμμος, γκάρνερ και ανθρακίτης. Τα υλικά πλήρωσης των φίλτρων συνοδεύονται από πιστοποιητικά καταλληλότητας για πόσιμο νερό. Τα φίλτρα και ο αριθμός τους είναι τέτοιοι ώστε η μέγιστη ταχύτητα ροής του θαλασσινού νερού να είναι 17 m/h. Σε

κάθε περίπτωση διασφαλίζεται η ποιότητα του θαλασσινού νερού που απαιτείται από τον κατασκευαστή των μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης [36].



Εικόνα 7.4: Πολυστρωματικά φίλτρα από ενισχυμένο πολυεστέρα [36]

Τα φίλτρα είναι βιομηχανικού τύπου κατασκευασμένα από ενισχυμένο πολυεστέρα (Fiber glass) και αντέχουν σε πιέσεις λειτουργίας μεγαλύτερες τουλάχιστον κατά 50% από την πίεση στην οποία λειτουργούν στην πραγματικότητα και κατ' ελάχιστο 6 Atm και θερμοκρασία 40 °C. Οι σωληνώσεις και τα εξαρτήματα είναι κατασκευασμένα από PVC 16 Atm.

Τα φίλτρα καθαρίζονται ανάλογα με τις προσδιαγραφές του κατασκευαστή. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια αυτοματισμών που αντιστρέφουν τη ροή εντός των φίλτρων, παρασύροντας τις επικαθίσεις. Κάθε κύκλος απόπλυσης ρυθμίζεται με αυτοματισμούς που καθορίζονται από την αυτόματα ελεγχόμενη διαφορική πίεση στο φίλτρο και από αυτόματα ελεγχόμενες πνευματικές βάνες ή ηλεκτοβάνες. Η αυτόματη αυτή διαδικασία γίνεται από ηλεκτρονικό πίνακα με χρονικά προσδιορισμένους και ρυθμιζόμενους κύκλους έκπλυσης. Η διαδικασία έκπλυσης, μπορεί να γίνεται και με

χειροκίνητη εντολή. Η έκπλυση των φίλτρων γίνεται με αυτόματο σταμάτημα της μονάδας, όμως στην περίπτωση αυτή η έκπλυση μπορεί να γίνεται με ξεχωριστή αντλία έκπλυσης ή με τις αντλίες τροφοδοσίας κατάλληλα διαστασιοποιημένες.

7.2.11 Σύστημα αποχλωρίωσης

Το υπολοιπόμενο ελεύθερο χλώριο από τη διεργασία χλωρίωσης που προηγήθηκε πρέπει να εξουδετερωθεί πριν φτάσει στις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης στις οποίες θα προκαλέσει μη αναστρέψιμη καταστροφή. Συνεπώς μετά τα φίλτρα θολότητας έχει τοποθετείται σύστημα αποχλωρίωσης που γίνεται από διάλυμα κατάλληλης συγκέντρωσης μεταδιθειώδους νατρίου (sodium metabisulfite). Η αποχλωρίωση επιτυγχάνεται με δοσομετρική αντλία. Το σύστημα αποχλωρίωσης αποτελείται από τα εξής:

- Δύο αντλίες διαφραγματικού τύπου (η μία εφεδρική) ρυθμιζόμενης παροχής με ρύθμιση τόσο της συχνότητας εμβολισμών όσο και μήκους εμβολισμών, ηλεκτρονικού τύπου. Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός της αντλίας είναι τοποθετημένος μέσα σε πλαστικό κέλυφος, που τον προστατεύει από τις διαβρωτικές ιδιότητες των χημικών. Όλα τα τμήματα που έρχονται σε επαφή με το διάλυμα είναι κατασκευασμένα από κατάλληλο υλικό ανθεκτικό στην επίδραση του διαλύματος. Η δοσομετρική αντλία έχει ρύθμιση της παροχής η οποία είναι τουλάχιστον κατά 20% μεγαλύτερη από την απαιτούμενη σύμφωνα με το σχεδιασμό της μονάδας.
- Βαθμονομημένο κάδο διαλύματος 200 lt, απ'όπου αναρροφάται το διάλυμα, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από ανθεκτικό στις ουσίες αυτές πλαστικό υλικό. Καθώς επίσης έχει και σύστημα υπερχείλισης και εκκένωσης. Ο κάδος φέρει φλοτέρ κατώτατης στάθμης που σταματά τη μονάδα σε περίπτωση μείωσης του όγκου του διαλύματος κάτω του κατώτατου σημείου.
- Στον κάδο έχει τοποθετηθεί αναδευτήρας διαλύματος που αποτελείται από κατάλληλο ηλεκτροκινητήρα με ανοξείδωτο άξονα και έλικα.
- Μετά την αποχλωρίωση έχει τοποθετηθεί αισθητήρας και όργανο μέτρησης χλωρίου (REDOX) που ελέγχει την αποτελεσματικότητα της δοσομετρικής αντλίας και κλείνει αυτόματα τη μονάδα σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η εξουδετέρωση του χλωρίου.

7.2.12 Σύστημα προσθήκης αντικαθαλωτικού (NALCO)

Έχει τοποθετηθεί σύστημα προσθήκης αντικαθαλωτικού (NALCO) ώστε να παρεμποδίζονται οι επικαθίσεις αλάτων. Το σύστημα προσθήκης αντικαθαλωτικού αποτελείται από τα εξής:

- Δύο αντλίες διαφραγματικού τύπου (η μία εφεδρική) ρυθμιζόμενης παροχής με ρύθμιση τόσο της συχνότητας εμβολισμών όσο και μήκους εμβολισμών, ηλεκτρονικού τύπου. Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός της αντλίας είναι τοποθετημένος μέσα σε πλαστικό κέλυφος, που τον προστατεύει από τις διαβρωτικές ιδιότητες των χημικών. Όλα τα τμήματα που έρχονται σε επαφή με το διάλυμα είναι κατασκευασμένα από κατάλληλο υλικό ανθεκτικό στην επίδραση του διαλύματος. Η δοσομετρική αντλία φέρει ρύθμιση της παροχής η οποία είναι τουλάχιστον κατά 20% μεγαλύτερη από την απαιτούμενη σύμφωνα με το σχέδιο της μονάδας.
- Βαθμονομημένο κάδο διαλύματος 200 lt, απ'όπου αναρροφάται το διάλυμα, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από ανθεκτικό στις ουσίες αυτές πλαστικό υλικό. Φέρει σύστημα υπερχείλισης και εκκένωσης.

7.2.13 Σύστημα ρύθμισης του pH θαλάσσης

Στη συνέχεια γίνεται προσθήκη οξέος για τη μέτρηση του pH ώστε να αποφεύγονται οι επικαθίσεις αλάτων. Πρέπει να αναφερθεί ότι ο συνδιασμός οξέος και αντικαθαλωτικού επιτρέπει τη χρήση μικρών ποσοτήτων αντικαθαλωτικού. Με τη χρήση pHμετρου ελέγχεται το τελικό pH του θαλασσινού νερού ώστε να ελέγχεται ανάλογα η προσθήκη του οξέος. Το σύστημα προσθήκης του οξέος αποτελείται από τα εξής:

- pHμετρο που ελέγχει το pH μέσω ηλεκτροδίου μέτρησης. Η ένδειξη εμφανίζεται στο κέντρικό πίνακα της μονάδας ενώ δίνεται η κατάλληλη εντολή στη δοσομετρική αντλία.
- Δύο αντλίες διαφραγματικού τύπου (η μία εφεδρική) ρυθμιζόμενης παροχής με ρύθμιση τόσο της συχνότητας εμβολισμών όσο και μήκους εμβολισμών, ηλεκτρονικού τύπου. Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός της αντλίας είναι τοποθετημένος μέσα σε πλαστικό κέλυφος, που τον προστατεύει από τις διαβρωτικές ιδιότητες των οξέων. Όλα τα τμήματα που έρχονται σε επαφή με το διάλυμα είναι κατασκευασμένα από κατάλληλο υλικό ανθεκτικό στην επίδραση του οξέος. Η δοσομετρική αντλία φέρει ρύθμιση της παροχής η οποία είναι τουλάχιστον κατά 20% μεγαλύτερη από την απαιτούμενη σύμφωνα με το σχεδιασμό της μονάδας.
- Βαθμονομημένο κάδο διαλύματος 200 lt, απ'όπου αναρροφάται το διάλυμα, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από ανθεκτικό στα οξέα (κυρίως θεικό οξύ) πλαστικό υλικό.

7.2.14 Φίλτρα φυσιγγίων

Το ή τα φίλτρα είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα Duplex SS ή άλλο συνθετικό υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση θαλασσινού νερού και στην απαιτούμενη πίεση. Περιλαμβάνουν φυσιγγία που έχουν δυνατότητα κατακράτησης όλων των σωματιδίων πάνω από 1 μm, που τυχόν διέφυγαν από τα προηγούμενα φίλτρα ή προστέθηκαν κατά την έγχυση των χημικών διαλυμάτων. Τα φίλτρα είναι εργονομικά κατασκευασμένα ώστε να επιτυγχάνεται η γρήγορη αντικατάσταση των φυσιγγίων που περιέχουν.

7.2.15 Μέτρηση SDI

Μετά το φίλτρο φυσιγγίων έχει τοποθετηθεί μετρητής SDI. Ο μετρητής δύναται να μεταφέρεται και να τοποθετείται και σε άλλα σημεία της εγκατάστασης όπου έχει σχετικές αναμονές. Οι αναμονές θα βρίσκονται πλην της ως άνω θέσης:

- Πρίν τα φίλτρα θολότητας
- Μετά τα φίλτρα θολότητας

Ο μετρητής περιλαμβάνει:

- Μειωτή πίεσης με μανόμετρο
- Θήκη τοποθέτησης φίλτρου διήθησης
- Βάνες για απομόνωση λήψης
- Στήριξη εξοπλισμού
- Ογκομετρικό δοχείο
- Χρονόμετρο
- Φίλτρα διήθησης

7.2.16 Αντλία ή αντλίες υψηλής πίεσης – Σύστημα ανάκτησης ενέργειας

Για την επίτευξη της υψηλής πίεσης, η οποία είναι απαραίτητη για την πραγματοποίηση της αντίστροφης ώσμωσης, χρησιμοποιείται περιστροφική αντλία, κατασκευασμένη από ανοξείδωτο χάλυβα πάρα πολύ καλής ποιότητας τουλάχιστον AISI 904 L ή Duplex SS. Η κίνηση της αντλίας εξασφαλίζεται από τριφασικό ηλεκτρικό κινητήρα κλειστού τύπου, κατάλληλης ισχύος, κλάσης μόνωσης «F» και είναι εξοπλισμένος με σύστημα θέρμανσης, για να προστατεύεται από την υγρασία κατά τις περιόδους που δεν λειτουργεί και διάταξη προστασίας από υπερθέρμανση. Επίσης παρέχεται και η ενισχυτική αντλία (booster pump). [36]



Εικόνα 7.5: Αντλία υψηλής πίεσης [36]

Περιλαμβάνεται σύστημα ανάκτησης ενέργειας που χρησιμοποιεί την υψηλή πίεση της απορριπτόμενης άλμης. Το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας είναι μεγαλύτερο του 45% και είναι η παράμετρος που επηρεάζει το κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης.

Όλο το συγκρότημα αντίστροφης ώσμωσης (αντλίες, συστήματα ανάκτησης ενέργειας, μεμβρανοθήκες) είναι εγκαταστημένο σε στοιβαρές και γερές βάσεις από AISI 316. Οι βάσεις επί του εμπορευματοκιβωτίου είναι ενισχυμένες και έχουν τοποθετηθεί ελαστικά παρεμβύσματα μεταξύ της βάσης του συστήματος και του εμπορευματοκιβωτίου για την αποφυγή των κραδασμών και του θορύβου κατά τη λειτουργία της μονάδας.

7.2.17 Διάταξη ομαλής εκκίνησης – στάσης αντλίας υψηλής πίεσης

Για να αποφεύγεται η καταπόνηση των μεμβρανών και γενικά του συστήματος από απότομες εκκινήσεις και παύσεις της αντλίας υψηλής πίεσης, έχει εγκατασταθεί σύστημα ομαλής εκκίνησης και στάσης (soft starter – soft stopper)

Ηχομόνωση-Πίνακας ελέγχου

Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη διατήρηση χαμηλών επιπέδων θορύβου εκτός των εμπορευματοκιβωτίων. Τα θορυβώδη συνεπώς σημεία της εγκατάστασης εντός των εμπορευματοκιβωτίων φέρουν την κατάλληλη ηχομόνωση. Ως μέγιστο αποδεκτό όριο εκπομπής θορύβου ορίζονται τα 45 dB σύμφωνα με τον Πίνακα 1 τού άρθρου Π.Δ. 1180/81.



Εικόνα 7.6: Εμπορευματοκυβώτια μονάδας αφαλάτωσης [36]

Έχει ληφθεί μέριμνα ότι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος εντός των εμπορευματοκιβωτίων είναι ανεκτή ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, λαμβάνοντας υπόψη ότι η λειτουργία της μονάδας γίνεται με κλειστές πόρτες για μείωση του θορύβου. Έτσι τα εμπορευματοκιβώτια φέρουν διαιρούμενες κλιματιστικές μονάδες (split units) κατάλληλης ισχύος.

Ο πίνακας ελέγχου είναι εργονομικά κατασκευασμένος και έχει όλα τα ενδεικτικά ηλεκτρονικά όργανα των μετρούμενων παραμέτρων της συνολικής διεργασίας σε κατάλληλες θέσεις επί του πίνακα, έτσι ώστε ο εργαζόμενος να μπορεί εύκολα και άμεσα να έχει ολοκληρωμένη εικόνα για τη λειτουργία της μονάδας.



Εικόνα 7.7: Πίνακας ελέγχου [36]

7.2.18 Συστοιχία μεμβρανών

Το θαλασσινό νερό μετά την αντλία υψηλής πίεσης, εισέρχεται στις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης, στις οποίες κατακρατείται το 99,6% των αλάτων

(ελάχιστη απόρριψη αλάτων ανά μεμβράνη), σύμφωνα με σχετικό πιστοποιητικό ή εγχειρίδιο του κατασκευαστή. Οι μεμβράνες είναι γνωστού οίκου για θαλασσινό νερό, *μικρής κατανάλωσης ενέργειας (Low energy)*. Οι μεμβράνες είναι τοποθετημένες σε δοχεία κατάλληλου μεγέθους. Τα δοχεία αντέχουν πίεση 1200 psi και είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα με αντιδιαβρωτική προστασία και κατάλληλο υψηλής ποιότητας φινίρισμα και ανθεκτικό στην πίεση που αναφέρθηκε προηγούμενα. Τα δοχεία των μεμβρανών έχουν κατάλληλη εργονομική κατασκευή και τοποθέτηση έτσι ώστε να είναι γρήγορη η αποσυναρμολόγησή τους και η αλλαγή των μεμβρανών. Στα δοχεία μεμβρανών, η θάλασσα και η άλμη εισέρχεται και εξέρχεται αντίστοιχα, πλευρικά των δοχείων. Το θαλασσινό νερό οδηγείται με την απαιτούμενη πίεση στις μεμβράνες όπου διαχωρίζεται στο αφαλατωμένο νερό (προϊόν) που οδηγείται για επί πλέον επεξεργασία και στην άλμη (συμπύκνωμα), που αποβάλλεται. Η λειτουργία της μονάδας περιλαμβάνει ποσοστό ανάκτησης μεγαλύτερο του 35%. Η πίεση λειτουργίας του συστήματος πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή που καλύπτει τις απαιτούμενες προδιαγραφές.

Ο συνολικός αριθμός των μεμβρανών που απαιτήθηκε, είναι τέτοιος ώστε να επιτυγχάνεται ποσοστό ανάκτησης διατιθέμενου νερού στην κατανάλωση μεγαλύτερο του 35%, ελάχιστη δυνατή πίεση λειτουργίας και άριστη ποιότητα του παραγόμενου νερού.



Εικόνα 7.8: Συστοιχία μεμβρανοδοχείων [36]

Οι σωληνώσεις και τα υδραυλικά εξαρτήματα υψηλής πίεσης του θαλασσινού νερού (εισαγωγή των μεμβρανών), είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 904 L εξαιρετικά υψηλής αντοχής σε διαβρώσεις και καταπονήσεις, ενώ το αφαλατωμένο νερό (προϊόν) εξέρχεται με σωληνώσεις PVC 16 PN. Οι ταχυσυνδέσμοι Victaulic που χρησιμοποιούνται είναι από ανοξείδωτο χάλυβα που το μέταλλο έρχεται σε επαφή με το θαλασσινό νερό. Στο σύστημα των μεμβρανών, υπάρχει δυνατότητα ελέγχου με δειγματοληψίες του νερού στην έξοδο κάθε δοχείου μεμβρανών αλλά και στη γραμμή του συνολικού προϊόντος. Ο συντελεστής απόφραξης των μεμβρανών (Fouling factor) είναι 5% ετησίως για τριετή συνεχή λειτουργία.[36]



Εικόνα 7.9:Σύστημα απόρριψης της άλμης [36]

7.2.19 Μονάδα έκπλυσης

Το σύστημα έκπλυσης λειτουργεί αυτόματα κάθε φορά που η μονάδα τίθεται εκτός λειτουργίας έτσι ώστε να πλένονται οι μεμβράνες και το αντλητικό συγκρότημα υψηλής πίεσης, για να αποφεύγονται οι επικαθίσεις αλάτων. Το σύστημα περιλαμβάνει:

- Κλειστή δεξαμενή αποθήκευσης παραγόμενου από τις μεμβράνες νερού, πριν την χλωρίωσή του, ικανοποιητικού όγκου που εξαρτάται από τον αριθμό των μεμβρανών. Το δοχείο είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα.
- Φυγοκεντρική αντλία από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 316.
- Σύστημα αυτόματης λειτουργίας που εκκινεί με το σταμάτημα της μονάδας. Επιτρέπεται η χειροκίνητη λειτουργία της έκπλυσης.

Το σύστημα έκπλυσης είναι κατασκευασμένο και τοποθετημένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε η έκπλυση των μεμβρανών να γίνεται με φυσική ροή για όλες τις μεμβράνες, ακόμη και σε περιπτώσεις διακοπής ηλεκτρικού ρεύματος.

7.2.20 Μονάδα χημικού καθαρισμού

Το σύστημα των μεμβρανών υφίσταται περιοδικά ή όποτε απαιτείται χημικό καθαρισμού, ανάλογα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή των μεμβρανών και τις οδηγίες του ανάδοχου για την απομάκρυνση επικαθίσεων αλάτων ή προϊόντων επιμόλυνσης ή λάσπης, που μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση της απόδοσης των μεμβρανών. Το σύστημα χημικού καθαρισμού αποτελείται από:

- Δοχείο αποθήκευσης χημικών ουσιών, κατάλληλου όγκου, από πολυαιθυλένιο υψηλής αντοχής στη διάβρωση, η χωρητικότητα του οποίου επαρκεί πλήρως για καθαρισμό των μεμβρανών.
- Φυγοκεντρική αντλία τροφοδοσίας από ανοξείδωτο χάλυβα άριστης ποιότητας AISI 316 (αντλία χημικού καθαρισμού).

- Φίλτρο για την κατακράτηση των υπαρχόντων σωματιδίων που περιέχονται από τη διάλυση των χημικών. Το φίλτρο είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 316 L.
- Αναδευτήρα με άξονα και έλικα από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 316 L.
- Βάνα ρύθμισης της παροχής.
- Ενδεικτικό μέτρησης θερμοκρασίας

Το εξερχόμενο από τις μεμβράνες χημικό διάλυμα καθώς και τυχόν μικρές ποσότητες προϊόντος, επιστρέφουν στο δοχείο αποθήκευσης για επανακυκλοφορία ή διατίθενται για απόρριψη. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η διαδικασία χημικού καθαρισμού είναι απλή και γίνεται με χρήση κατάλληλα τοποθετημένων δικλείδων ασφαλείας (βάνες). Υπάρχουν οι κατάλληλες σωληνώσεις τόσο για τη δημιουργία των απαιτούμενων διαλυμάτων όσο και για την εκκένωση του δοχείου αποθήκευσης χημικών στην αποχέτευση.

Η μονάδα χημικού καθαρισμού μπορεί να έχει κοινή δεξαμενή και κοινή αντλία με τη μονάδα εκπλυσης.

7.2.21 Σύστημα μείωσης pH προϊόντος

Για τη λειτουργία του φίλτρου αύξησης της σκληρότητας απαιτείται η μείωση του pH, έτσι ώστε το παραγόμενο CO₂ να μπορεί να διαλύει το CaCO₃ του φίλτρου αύξησης της σκληρότητας. Το σύστημα περιλαμβάνει:

- Δύο αντλίες διαφραγματικού τύπου (η μία εφεδρική) ρυθμιζόμενης παροχής με ρύθμιση τόσο της συχνότητας εμβολισμών όσο και μήκους εμβολισμών, ηλεκτρονικού τύπου. Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός της αντλίας είναι τοποθετημένος μέσα σε πλαστικό κέλυφος, που τον προστατεύει από τις διαβρωτικές ιδιότητες των οξέων. Όλα τα τμήματα που έρχονται σε επαφή με το διάλυμα είναι κατασκευασμένα από κατάλληλο υλικό ανθεκτικό στην επίδραση του οξέος. Η δοσομετρική αντλία ελέγχεται σύμφωνα με τις ενδείξεις του pHμετρου και έχει δυνατότητα ρύθμισης της παροχής της, η οποία είναι τουλάχιστον κατά 20% μεγαλύτερη από την απαιτούμενη σύμφωνα με το σχεδιασμό της μονάδας.
- Βαθμονομημένο κάδο διαλύματος 200 lt, απ'όπου αναρροφάται το διάλυμα, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από ανθεκτικό στα οξέα (κυρίως θειικό οξύ) πλαστικό υλικό. Ο οποίος είναι κοινός με τον αντίστοιχο της προκατεργασίας.

7.2.22 Σύστημα αύξησης της σκληρότητας

Στο παραγόμενο νερό, πρέπει να γίνει αύξηση της σκληρότητας σε επίπεδα που αναφέρθηκε προηγούμενα (τουλάχιστον 80 ppm CaCO₃). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται φίλτρο αύξησης της σκληρότητας.

Το σύστημα αυτό αποτελείται από:

- Φίλτρο που αποτελείται από κάδο κατασκευασμένο από υλικό υψηλής αντοχής σε χημικές ουσίες και πίεση (ενισχυμένο πολυεστέρα) και το οποίο περιέχει CaCO₃ σε κατάλληλη κρυσταλλική δομή, το οποίο διαλύεται προοδευτικά κατά τη διέλευση του παραγόμενου νερού, προσδίδοντάς του τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Το φίλτρο φέρει τις κατάλληλες σωληνώσεις και βάνες για την κατά αντίρροή έκπλυσή του.
- Το πληρωτικό υλικό.
- pH μετρο που ελέγχει το pH μέσω κατάλληλου ηλεκτροδίου μέτρησης. Κατόπιν η ένδειξη αναγράφεται σε ψηφιακό όργανο ενώ ελέγχεται η κατάλληλη δοσομέτρηση της αντλίας οξέος για τη μείωση του pH.

Το φίλτρο σκληρότητας φέρει παράκαμψη (by-pass) ώστε να είναι δυνατή η πλήρωσή του χωρίς τη διακοπή της λειτουργίας της μονάδας. [36]

7.2.23 Σύστημα ρύθμισης pH προϊόντος

Μετά το φίλτρο σκληρότητας και εφόσον το pH είναι εκτός των ορίων που προβλέπει ο νόμος, γίνεται προσαρμογή του με κατάλληλη δοσολογία χημικού. Η προσθήκη χημικών επιτυγχάνεται με δοσομετρική αντλία. Το σύστημα αποτελείται από τα εξής:

- Δύο αντλίες διαφραγματικού τύπου (η μία εφεδρική) ρυθμιζόμενης παροχής με ρύθμιση τόσο της συχνότητας εμβολισμών όσο και μήκους εμβολισμών, ηλεκτρονικού τύπου. Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός της αντλίας είναι τοποθετημένος μέσα σε πλαστικό κέλυφος, που τον προστατεύει από τις διαβρωτικές ιδιότητες των χημικών. Όλα τα τμήματα που έρχονται σε επαφή με το διάλυμα είναι κατασκευασμένα από κατάλληλο υλικό ανθεκτικό στην επίδραση του διαλύματος. Η δοσομετρική αντλία φέρει ρύθμιση της παροχής.
- Βαθμονομημένο κάδο διαλύματος 200 lt, απ'όπου αναρροφάται το διάλυμα, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από ανθεκτικό στις ουσίες αυτές πλαστικό υλικό. Φέρει σύστημα υπερχειλίσης και εκκένωσης.
- Στον κάδο έχει τοποθετηθεί αναδευτήρας διαλύματος, που αποτελείται από κατάλληλο ηλεκτροκινητήρα, με ανοξείδωτο άξονα και έλικα.

7.2.24 Σύστημα χλωρίωσης προϊόντος

Το παραγόμενο νερό κατά την έξοδο του χλωριώνεται με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου. Η χλωρίωση επιτυγχάνεται με δοσομετρική αντλία. Το σύστημα χλωρίωσης αποτελείται από τα εξής:

- Δύο αντλίες διαφραγματικού τύπου (η μία εφεδρική) ρυθμιζόμενης παροχής με ρύθμιση τόσο της συχνότητας εμβολισμών όσο και μήκους εμβολισμών, ηλεκτρονικού τύπου. Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός της αντλίας είναι τοποθετημένος μέσα σε πλαστικό κέλυφος, που τον προστατεύει από τις διαβρωτικές ιδιότητες των χημικών. Όλα τα τμήματα που έρχονται σε επαφή με το διάλυμα είναι κατασκευασμένα από κατάλληλο υλικό ανθεκτικό στην επίδραση του χλωρίου. Η δοσομετρική αντλία ελέγχεται σύμφωνα με τις ενδείξεις του pHμετρου και έχει δυνατότητα ρύθμισης της παροχής της, η οποία είναι τουλάχιστον κατά 20% μεγαλύτερη από την απαιτούμενη σύμφωνα με το σχεδιασμό της μονάδας.
- Βαθμονομημένο κάδο διαλύματος 200 lt, απ'όπου αναρροφάται το διάλυμα, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από ανθεκτικό πλαστικό υλικό. Φέρει σύστημα υπερχειλίσης και εκκένωσης. Ο κάδος μπορεί να είναι κοινός με αυτόν της προκατεργασίας.[36]

Κεφάλαιο 8

Συμπεράσματα

Οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών, η εξάντληση-υποβάθμιση των υπόγειων αποθεμάτων καθώς και οι δημογραφικές και λοιπές αλλαγές (αύξηση πληθυσμού, τουρισμός, κ.τ.λ.) δημιουργούν σοβαρά προβλήματα λειψυδρίας στα νησιά και ορισμένες παράκτιες περιοχές, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες. Η κακή διαχείριση των υδατικών πόρων που θεωρείται από τα σημαντικότερα αίτια της λειψυδρίας, οφείλεται στην υπερεκμετάλλευση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και των επιφανειακών υδάτων, στην έλλειψη σχεδίου διαχείρισης, στις κακές υποδομές (δίκτυα ύδρευσης, δεξαμενές, εξοικονόμηση ή ανακύκλωση νερού), αλλά και στις προσωρινές ή μη αποτελεσματικές προσπάθειες που έγιναν στο παρελθόν. Σε πολλές περιπτώσεις, οι εναλλακτικές λύσεις που εφαρμόστηκαν δεν ήταν αποτελεσματικές ή οικονομικά βιώσιμες και παρά το υψηλό κόστος τους δεν συνέβαλαν στην επίλυση των προβλημάτων (λιμνοδεξαμενές, νέες γεωτρήσεις, έργα εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων, μεταφορά νερού).

Η οξύτητα των σημερινών προβλημάτων, η έλλειψη εναλλακτικών επιλογών και κυρίως οι προβλεπόμενες αυξημένες ανάγκες για την επόμενη 10ετία, επιβάλλουν την αφαλάτωση σαν την πλέον αξιόπιστη και ενδεδειγμένη λύση τόσο από οικονομική όσο και από περιβαλλοντική άποψη. Ήδη αρκετές χώρες της Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής, όπως το Ισραήλ, η Κύπρος, η Μάλτα, η Ισπανία (Κανάρια νησιά, κ.τ.λ.) και οι χώρες του Κόλπου, καλύπτουν μεγάλο ή και το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών τους σε νερό με τη χρήση συστημάτων αφαλάτωσης.

Σε πρώτη φάση η αφαλάτωση θα έπρεπε να εξετασθεί ως η μόνη βιώσιμη λύση που θα υποκαθιστούσε τη μεταφορά νερού στα άνυδρα νησιά, θα εξασφάλιζε υψηλής ποιότητας πόσιμο νερό και θα μείωνε το κόστος κατά 2-3 φορές (συγκριτικά με τη μεταφορά). Σε δεύτερη φάση θα μπορούσε να επεκταθεί σε παράκτιες περιοχές με σοβαρά προβλήματα υποβάθμισης του υδροφόρου ορίζοντα, για τις οποίες η μεταφορά νερού από την ενδοχώρα είναι ασύμφορη ή δύσκολη.

Με τα σημερινά επίπεδα τεχνολογίας και κόστους παραγωγής η βιωσιμότητα των μονάδων αφαλάτωσης που θα δημιουργηθούν από τους δήμους ή ιδιώτες επενδυτές μπορεί να εξασφαλισθεί και με σχετικά χαμηλά επίπεδα τιμών συγκριτικά με τις επικρατούσες στα νησιά.

Το συνολικό μέγεθος των αναγκών για αφαλατωμένο νερό είναι δύσκολο να εκτιμηθεί αλλά πιθανότατα την επόμενη 5ετία θα είναι της τάξης των 250-500.000 m³ ημερησίως (με συντηρητικές υποθέσεις και χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι ανάγκες μεγάλων ξενοδοχειακών συγκροτημάτων ή εγκαταστάσεων γκολφ).

Εκτός από την ριζική επίλυση των προβλημάτων λειψυδρίας, η αξιοποίηση των συγκριτικών πλεονεκτημάτων που διαθέτει η χώρα μας για την ανάπτυξη τεχνολογίας πλωτών μονάδων αφαλάτωσης, θα μπορούσε να συμβάλει στην οικονομική πρόοδο, μέσω της δημιουργίας μιας βιομηχανικής δραστηριότητας με εξαιρετικά ελπιδοφόρες προοπτικές (offshore πλωτά αιολικά πάρκα, εξαγωγές πλωτών μονάδων αφαλάτωσης σε άλλες νησιωτικές χώρες ή σε αναπτυσσόμενες περιοχές που αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα ποιότητας του πόσιμου νερού).

Βιβλιογραφία - Πηγές

1. Διπλωματική Εργασία: Βασικές παράμετροι ελέγχου ποιότητας νερού και λυμάτων, Δρ. Ευθυμίου Νικ. Νταρακά
2. www.ecogreens.gr/gr/modules.php?name=Forums&file=viewtopic&=2075
3. Φάμελλος Σ., Κρεστενίτης Ι., Γεωργιάδης Γ., 2006. Θερμαϊκός Κόλπος - Πολυπαραμετρικότητα, αξίες και απόθεμα. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας
4. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B5%CF%81%CF%8C>
5. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BF%CF%84%CE%B1%CE%BC%CF%8C%CF%82>
6. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%98%CE%AC%CE%BB%CE%B1%CF%83%CF%83%CE%B1>
7. Αστεριάδης Γ.Α. 2000, Στοιχεία Φυσικής Γεωγραφίας, Εκδόσεις Αιβάζη, Θεσσαλονίκη.
8. http://www.eydap.gr/index.asp?a_id=69
9. <http://kireas.org/smf/index.php?topic=651.0;wap2>
10. www.geo.auth.gr
11. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ Ι., ΠΕΤΑΛΑΣ Χ., ΠΛΙΑΚΑΣ Φ. (1998) Προβλήματα υφαλμύρισης υπόγειων νερών παράκτιων πεδίων Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης – μέθοδοι αντιμετώπισης. Πρακτικά ημερίδας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος με θέμα "Υφαλμύρωση υπόγειων υδάτων" Αθήνα 10 Δεκεμβρίου 1998.
12. ΣΟΥΛΙΟΣ Γ. (2004) Γενική Υδρογεωλογία Γ τόμος, Εκδόσεις Κυριακίδη Θεσσαλονίκη
13. www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/nanou_k.pdf
14. ΤΟΛΙΚΑΣ Δ., ΓΚΕΜΙΤΖΗ Α. (1998) Προσομοίωση της υφαλμύρωσης σε τρισδιάστατα πεδία ροής-εφαρμογή στον υδροφορέα της Γερμασογείας Κύπρου. Πρακτικά ημερίδας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος με θέμα "Υφαλμύρωση υπόγειων υδάτων" Αθήνα 10 Δεκεμβρίου 1998.
15. ΤΟΛΙΚΑΣ Δ., ΚΑΝΑΚΟΥΛΗΣ Β., ΑΡΓΥΡΙΑΔΟΥ Ι. (1998) Ολοκληρωμένο πλαίσιο αντιμετώπισης του προβλήματος της υφαλμύρωσης παράκτιων υδροφορέων. Πρακτικά ημερίδας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος με θέμα "Υφαλμύρωση υπόγειων υδάτων" Αθήνα 10 Δεκεμβρίου 1998
16. ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ.Α (2000) Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία Β τόμος, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Αθήνα
17. ΠΕΤΑΛΑΣ Χ., ΠΛΙΑΚΑΣ Φ., ΚΑΛΛΙΩΡΑΣ Α., ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ Ι. (2002) Τεχνικά, διαχειριστικά και οικονομοτεχνικά στοιχεία σύγχρονων τάσεων αντιμετώπισης της διεύθυνσης αλμυρού νερού σε παράκτιες περιοχές στο διεθνή χώρο. Πρακτικά 6^{ου} Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Ξάνθη 8-10/11/02 σελ 23-34.
18. ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ Ι. (1998). Υφαλμύρωση υπόγειων υδροφόρων σε παραλιακές ζώνες Αττικής – Κορινθίας – Κεφαλλονιάς – Ιθάκης – Νάξου – Καβάλας -. Προτάσεις για συμβολή στη βελτίωσή των. Πρακτικά ημερίδας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος με θέμα "Υφαλμύρωση υπόγειων υδάτων" Αθήνα 10 Δεκεμβρίου 1998.
19. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%AF%CE%BC%CE%BD%CE%B7>
20. http://www.visitgreece.gr/portal/site/eot/menuitem.7f0d4e449429307c12596610451000a0/?vgnnextoid=98584131a4319110VgnVCM100000460014acRCRD&lang_choos en=el
21. www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/nanou_k.pdf
22. www.etvavipe.gr/smiles/
23. ΧΑΡΜΑΝΙΔΗΣ Φ. (1998) Φαινόμενα υφαλμύρωσης σε παράκτιους καρστικούς υδροφορείς νησιών Ν-ΝΑ Αιγαίου, δυνατότητες ορθολογικής διαχείρισής τους και αναστροφής του φαινομένου. Πρακτικά ημερίδας του Τεχνικού

- Επιμελητηρίου Ελλάδος με θέμα "Υφαλμύρωση υπόγειων υδάτων" Αθήνα 10 Δεκεμβρίου 1998.
24. http://library.tee.gr/digital/m2045_aggelidis.pdf
 25. http://news.kathimerini.gr/4Dcgi/4Dcgi/ w_articles_civ_1100048_29/06/2008_2759_07
 26. <http://www.tovima.gr/default.asp?pid=2&ct=75&artid=118482>
 27. Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου. Ε. ΤΖΕΝ «Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας - 19 χλμ. Λεωφ. Μαραθώνος Πικέρμι», 6-7 Ιουλίου 2001.
 28. <http://www.chemist.gr/2011/03/4923>
 29. Δεληγιάννη, Ε. and Β. Μπελεσιώτης: «Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης», Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης, 475 pp., Αθήνα, 1995.
 30. <http://invenio.lib.auth.gr/record/126570/files/GRI-2011-6719.pdf?version=1>
 31. http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/4090/3/batsosd_cormix.pdf
 32. Πανεπιστήμιο Αιγαίου (ανάδοχος), ΤΕΧΝΑΒΑ ΑΕ, Reflection ΕΠΕ, Algosystems ΑΕ, Lamda Shipyrads ΑΕ, ΠΙΣΕΥ, ΚΑΠΕ, Ι. Κουιμάνης & Συνεργάτες, Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, Ελληνικός Νηογνώμονας ΑΕ
 33. Διαδίκτυο- Ριζόπουλος Γιάννης, Pathfinder τεχνολογείν: «Πλωτή αιολική μονάδα αφαλάτωσης: λύση για τα άνυδρα νησιά», Νοέμβριος 2007.
 34. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Συστήματα αφαλάτωσης στο νησιωτικό χώρο, Δρ. Δ. Μανωλάκος, Μηχ/γος Μηχ/κός ΕΜΠ.
 35. Φάμελλος Σ., Κρεστενίτης Ι., Γεωργιάδης Γ., 2006. Θερμαϊκός Κόλπος - Πολυπαραμετρικότητα, αξίες και απόθεμα. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας.
 36. Περιβαλλοντική Μελέτη και Περιγραφή για το Εργοστάσιο Αφαλάτωσης Θήρας. Απόφαση έγκρισης μελέτης 34/31-8-1996 του ΔΣ. Της Κ.Ε.Υ.Α. Οίας και 110/2-11-1996 του Κ.Σ. της Κοινότητας Οίας.