



ΕΜΠ



ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ

Η εργασία υποβάλλεται για την μερική κάλυψη των
απαιτήσεων με στόχο την απόκτηση του διπλώματος:

ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Με εξειδίκευση στα:

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

από

ΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΚΑΙ ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΦΡΕΙΔΕΡΙΚΟΣ ΦΡΕΡΗΣ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	
ΑΡ. ΕΙΣ.	40637
COMP.	18577η 22526
ΤΑΞΙΝ.	628.167 ΦΦ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	



00140637

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΑΘΗΝΑ 2002

Ευχαριστώ την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα Ε. Γρηγοροπούλου Επίκ. Καθηγήτρια ΕΜΠ για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα το οποίο με ενδιέφερε ιδιαίτερα και για τις πολύτιμες υποδείξεις της καθώς επίσης τον κο Γ. Βακόνδιο Διευθυντή Δ.Ε.Υ.Α Ερμούπολης και την Τεχνική Υπηρεσία Δήμων και Κοινοτήτων του νομού Κυκλάδων της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου για την πολύτιμη συνεργασία τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έλλειψη νερού γίνεται αισθητή σε ολοένα και περισσότερα σημεία στον πλανήτη, όπως επίσης και στην Ελλάδα.

Μια από τις μεθόδους αντιμετώπισής της, είναι η αξιοποίηση του θαλασσινού νερού, που επιτυγχάνεται μέσω της αφαλάτωσης. Η πλέον επικρατέστερη μέθοδος αφαλάτωσης είναι αυτή της αντίστροφης όσμωσης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της ποιότητας νερού, το νομοθετικό πλαίσιο που αφορά το πόσιμο νερό στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η αρχή λειτουργίας και οι μέθοδοι αφαλάτωσης.

Λαμβάνοντας υπόψη την διεθνή εμπειρία και στοιχεία από εγκατεστημένες μονάδες στον Ελληνικό χώρο γίνεται μελέτη εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης μικρού μεγέθους, με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης, για την παραγωγή πόσιμου νερού από θαλασσινό για την κάλυψη της κατανάλωσης μικρών νησιών. Επίσης γίνεται παραμετροποίηση των στοιχείων που έχουν σημαντικό ρόλο σε αυτήν.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης εγκατάστασης αφαλάτωσης. Εξετάζεται η βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης παραμετροποιώντας τα οικονομικά της δεδομένα και γίνεται σύγκρισή της με την μεταφορά νερού.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ	3
2.1 Γενικά.....	3
2.2 Υδάτινο περιβάλλον – Παγκόσμια ισορροπία νερού.....	4
2.3 Υδρολογικός κύκλος.....	5
2.4 Διαθεσιμότητα υδατικών πόρων.....	6
3. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ	10
3.1 Χαρακτηριστικά ποιότητας του νερού.....	10
3.2 Ανόργανα συστατικά.....	10
3.2.1 Προέλευση ανόργανων συστατικών νερού.....	13
3.2.2 Βιολογικός μεταβολισμός.....	14
3.2.3 Δείκτες ποιότητας νερού.....	14
3.3 Αιωρούμενα στερεά.....	17
3.4 Οργανικά.....	18
3.4.1 Φυσικές οργανικές ενώσεις νερού.....	19
3.4.2 Συνθετικά οργανικά.....	20
3.4.3 Μέτρηση οργανικών ενώσεων.....	22
3.5 Ραδιοϊσότοπα.....	23
3.6 Αισθητικά χαρακτηριστικά.....	25
4. ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ - ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	29
4.1 Απαιτούμενη ποιότητα πόσιμου νερού.....	29
4.2 Απαιτούμενα πρότυπα ποιότητας πόσιμου νερού στην Ελλάδα.....	29

4.3 Η νομοθεσία για την ποιότητα νερού στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	36
5. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ – ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	42
5.1 Αντίστροφη όσμωση.....	42
5.1.1 Ιστορική εξέλιξη.....	43
5.1.2 Δομή μεμβρανών.....	44
5.1.3 Μηχανισμοί μεταφοράς.....	44
5.1.4 Μαθηματική περιγραφή.....	45
5.1.5 Απόδοση συστημάτων.....	48
5.1.6 Είδη μεμβρανών.....	53
5.1.7 Υλικά κατασκευής των μεμβρανών.....	55
5.1.8 Απαιτούμενη προκατεργασία του νερού τροφοδοσίας.....	56
5.1.9 Υπολογισμός του Slit Density Index (SDI).....	59
5.2 Απόσταξη.....	60
5.2.1 Αρχή λειτουργίας.....	60
5.2.2 Μέθοδοι αποστάξεως.....	64
5.3 Ηλεκτροδιάλυση.....	65
5.3.1 Μεμβράνες ηλεκτροδιάλυσης.....	66
5.3.2 Απόδοση συστημάτων.....	67
5.3.3 Πόλωση.....	68
5.3.4 Μαθηματική περιγραφή.....	69
5.3.5 Ρύπανση των μεμβρανών.....	70
5.3.6 Απαιτούμενη προκατεργασία του νερού τροφοδοσίας.....	71
5.3.7 Χαρακτηριστικά εγκαταστάσεων ηλεκτροδιάλυσης.....	72
5.4 Κρυστάλλωση.....	72
5.4.1 Είδη ψυκτικών μέσων και μηχανισμών ψύξης.....	73
5.4.2 Συσκευές ψύξης.....	75
5.4.3 Παγοποίηση υπό κενό.....	76
5.4.4 Παγοποίηση με ψυκτικό πρόσθετο.....	77

5.5 Χημική μέθοδος.....	77
5.6 Σύγκριση των κυρίων συστημάτων αφαλάτωσης.....	81
6. ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	83
6.1 Η αφαλάτωση παγκοσμίως.....	83
6.2 Η αφαλάτωση στην Ελλάδα.....	87
7. ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΟΣΜΩΣΗΣ	93
7.1 Παράμετροι σχεδιασμού.....	93
7.2 Περιγραφή της διεργασίας.....	93
7.2.1 Υδροληψία θαλασσινού νερού.....	94
7.2.2 Απολύμανση.....	94
7.2.3 Άντληση και φίλτρανση μέσω χαλκόφιλτρων.....	95
7.2.4 Αποχλωρίωση.....	95
7.2.5 Διόρθωση του pH.....	96
7.2.6 Φίλτρανση μέσω φυστιγγίων.....	96
7.2.7 Άντληση σε υψηλή πίεση.....	96
7.2.8 Μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης.....	97
7.2.9 Αύξηση της σκληρότητας, αλκαλικότητας και διόρθωση του pH.....	100
7.2.10 Μεταχλωρίωση.....	101
7.2.11 Έκπλυση και χημικός καθαρισμός.....	101
7.3 Τεχνικοί υπολογισμοί.....	105
7.3.1 Παράμετροι σχεδιασμού.....	105
7.3.2 Υπολογισμοί προκατεργασίας.....	107
7.3.3 Υπολογισμοί χρήσεως των μεμβρανών όσμωσης.....	110
7.3.4 Παραμετροποίηση.....	120
7.4 Οικονομική μελέτη.....	123

7.4.1 Δεδομένα σχεδιασμού.....	123
7.4.2 Ενεργειακή κατανάλωση.....	125
7.4.3 Κόστος χημικών.....	126
7.4.4 Αρχικό και λειτουργικό κόστος.....	128
7.4.5 Οικονομικός απολογισμός.....	132
7.4.6 Παραμετροποίηση.....	135
7.4.7 Σύγκριση με τη μεταφορά νερού.....	145
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	147
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	149

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΩΝ

Σχήμα 1	Κατανομή του γήινου νερού	4
Σχήμα 2	Κατανομή του γλυκού νερού	4
Σχήμα 3	Κατανομή του εκμεταλλεύσιμου γλυκού νερού	5
Σχήμα 4	Ο ανθρώπινος πληθυσμός, η κατανάλωση νερού και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις τον προηγούμενο αιώνα	8
Σχήμα 5	Σχηματική παράσταση φαινομένου (α) όσμωσης, (β) οσμωτικής ισορροπίας, (γ) αντίστροφης όσμωσης	42
Σχήμα 6	Απλοποιημένο διάγραμμα ροής της αντίστροφης όσμωσης	49
Σχήμα 7	Επίδραση της θερμοκρασίας στην παροχή επεξεργασμένου νερού μιας μεμβράνης, για σταθερή πίεση, λόγω ανάκτησης και σύνολο διαλυμένων στερεών	52
Σχήμα 8	Πειραματική διάταξη προσδιορισμού του δείκτη SDI	59
Σχήμα 9	Σύγκριση των κυρίων συστημάτων αφαλάτωσης	82
Σχήμα 10	Συνολική παροχή νερού από αφαλατώσεις παγκοσμίως από το 1950 έως το 1996	84
Σχήμα 11	Παροχή νερού από μονάδες αφαλάτωσης για τις δέκα χώρες με τις μεγαλύτερες δυναμικότητες το 1996	85
Σχήμα 12	% ποσοστά των μεθόδων αφαλάτωσης που εφαρμόζονται	86
Σχήμα 13	Ποσοστό (%) της ζήτησης που είναι δυνατόν να καλυφθεί από τις μονάδες αφαλάτωσης στα νησιά των Κυκλάδων	92
Σχήμα 14	Λειτουργικό διάγραμμα της εγκατάστασης	102
Σχήμα 15	Σύστημα μιας μεμβράνης	103
Σχήμα 16	Σύστημα ενός σταδίου	103
Σχήμα 17	Σύστημα πολλαπλών σταδίων με τροφοδοσία άλμης	104
Σχήμα 18	Σύστημα δύο περασμάτων με τροφοδοσία προϊόντος	104
Σχήμα 19	Σύστημα μεμβρανών 9 συστοιχιών με 6 στάδια με τροφοδοσία άλμης	113

Σχήμα 20	Μεταβολή της απαιτούμενης πίεσης του νερού τροφοδοσίας στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης ανάλογα με το χρόνο λειτουργίας τους	115
Σχήμα 21	Μεταβολή του pH του νερού τροφοδοσίας σε συνάρτηση με την ποσότητα του οξέως που χρησιμοποιείται και καθορισμός των δεικτών LSI και SDI	117
Σχήμα 22	Πίεση τροφοδοσίας μεμβρανών σε συνάρτηση με το λόγο ανάκτησης	121
Σχήμα 22	Αλατότητα παραγόμενου νερού σε συνάρτηση με το λόγο ανάκτησης	122
Σχήμα 23	Πίεση τροφοδοσίας μεμβρανών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία	122
Σχήμα 24	Λειτουργικό κόστος μονάδας 500 m ³ /h (χωρίς δανειοδότηση)	131
Σχήμα 25	Ετήσιες χρηματοροές της επένδυσης ιδιώτη χωρίς δάνειο και επιδότηση	135
Σχήμα 26	Ετήσιες χρηματοροές της επένδυσης δήμου χωρίς δάνειο και επιδότηση	137
Σχήμα 27	Ετήσιες χρηματοροές της επένδυσης ιδιώτη με δάνειο 25%	139
Σχήμα 28	Λειτουργικό κόστος της επένδυσης ιδιώτη με δάνειο 25%	141
Σχήμα 29	Μεταβολή του IRR σε συνάρτηση με το ποσοστό δανείου και το επιτόκιο δανεισμού	142
Σχήμα 30	Ποσοστό του κόστους απόσβεσης του δανείου στο λειτουργικό κόστος	142
Σχήμα 31	Ετήσιες χρηματοροές της επένδυσης δήμου με δάνειο 20%, επιδότηση 30%	143
Σχήμα 32	Σύγκριση αφαλάτωσης – μεταφοράς νερού	146

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1	Κατανομή της επιφανειακής απορροής ανά ήπειρο	9
Πίνακας 2	Κατανομή ποσότητας εκβολής των ποταμών της γης	9
Πίνακας 3	Χημική ανάλυση του εμφιαλωμένου επιτραπέζιου νερού 'ΝΙΓΡΙΤΑ'	11
Πίνακας 4	Χημικά συστατικά διαφόρων νερών	12
Πίνακας 5	Συγκentrώσεις ορισμένων χημικών συστατικών που δημιουργούν προβλήματα γεύσης στο πόσιμο νερό (Cohen, 1960)	26
Πίνακας 6	Συγκentrώσεις ορισμένων χημικών συστατικών που δημιουργούν προβλήματα οσμής στο πόσιμο νερό	27
Πίνακας 7	Οργανοληπτικές παράμετροι (ΦΕΚ 53/20-2-86)	29
Πίνακας 8	Φυσικο – χημικές παράμετροι (ΦΕΚ 53/20-2-86)	30
Πίνακας 9	Παράμετροι που αφορούν τις ανεπιθύμητες ουσίες (ΦΕΚ 53/20-2-86)	32
Πίνακας 10	Παράμετροι που αφορούν τοξικές ουσίες (ΦΕΚ 53/20-2-86)	33
Πίνακας 11	Μικροβιολογικές παράμετροι (ΦΕΚ 53/20-2-86)	34
Πίνακας 12	Ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση για το πόσιμο νερό που έχει υποστεί κατεργασία αποσκλήρυνσεως	34
Πίνακας 13	Πίνακας αντιστοιχίας των διαφόρων μονάδων μετρήσεως της σκληρότητας του νερού (ΦΕΚ 53/20-2-86)	35
Πίνακας 14	Πίνακας υποδειγμάτων των προτύπων αναλύσεων (ΦΕΚ 53/20-2-86)	35
Πίνακας 15	Πίνακας ελάχιστης συχνότητας των προτύπων αναλύσεων (ΦΕΚ 53/20-2-86)	36
Πίνακας 16	Μικροβιολογικές παράμετροι (ΦΕΚ892/11-07-01)	37
Πίνακας 17	Χημικές παράμετροι (ΦΕΚ892/11-07-01)	38
Πίνακας 18	Ενδεικτικές παράμετροι (ΦΕΚ892/11-07-01)	39
Πίνακας 19	Παράμετροι συμπληρωματικής παρακολούθησης (ΦΕΚ892/11-07-01)	39
Πίνακας 20	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας (ΦΕΚ892/11-07-01)	40

Πίνακας 21	Παράμετροι για τις οποίες καθορίζονται χαρακτηριστικά επιδόσεων (ΦΕΚ892/11-07-01)	41
Πίνακας 22	Οσμωτική πίεση διαλύματος διαφόρων αλάτων (Weber, 1972)	47
Πίνακας 23	Ενδεικτικό ποσοστό απόρριψης ιόντων στην αντίστροφη όσμωση	51
Πίνακας 24	Σύγκριση των κυρίων συστημάτων αφαλάτωσης	82
Πίνακας 25	Καταμερισμός των υφιστάμενων μονάδων σε μεθόδους αφαλάτωσης	88
Πίνακας 26	Μονάδες αφαλάτωσης στον νομό Κυκλάδων	90
Πίνακας 27	Τρόποι κάλυψης της ζήτησης νερού στις Κυκλάδες	91
Πίνακας 28	Χημική ανάλυση θαλασσινού νερού	107
Πίνακας 29	Χαρακτηριστικά μεμβράνης αντίστροφης όσμωσης	112
Πίνακας 30	Σύνθεση του νερού στα διάφορα σημεία της επεξεργασίας	114
Πίνακας 31	Συγκεντρώσεις δυσδιάλυτων αλάτων της άλμης	116
Πίνακας 32	Σύνθεση του νερού στα διάφορα σημεία της επεξεργασίας, με προσθήκη H_2SO_4 στο νερό τροφοδοσίας	118
Πίνακας 33	Χαρακτηριστικά του παραγόμενου νερού	120
Πίνακας 34	Δεδομένα σχεδιασμού	124
Πίνακας 35	Ενεργειακή κατανάλωση εγκατάστασης	127
Πίνακας 36	Κόστος χημικών	128
Πίνακας 37	Αρχικό και λειτουργικό κόστος μονάδας $500 \text{ m}^3/\text{h}$	130
Πίνακας 38	Οικονομικός απολογισμός ιδιώτη χωρίς δάνειο και επιδότηση	136
Πίνακας 39	Οικονομικός απολογισμός δήμου χωρίς δάνειο και επιδότηση	138
Πίνακας 40	Οικονομικός απολογισμός ιδιώτη με δάνειο 25%	140
Πίνακας 41	Οικονομικός απολογισμός της επένδυσης δήμου με δάνειο 20%, επιδότηση 30%	144

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό είναι απαραίτητο για τη ζωή των ανθρώπων, τόσο γιατί αποτελεί το βασικότερο είδος διατροφής, όσο και γιατί αποτελεί μια από τις απαραίτητες πρώτες απαραίτητες πρώτες ύλες.

Αποδεικνύεται ότι το νερό ως φυσικός πόρος που συμμετέχει σε κάθε παραγωγική – αναπτυξιακή διαδικασία, έχει υπεισέλθει δυναμικά και προσδιορίζει πλέον τη δυνατότητα ή την αδυναμία επέκτασης των παραγωγικών δραστηριοτήτων, καθορίζοντας και την αποδοτικότητά τους. Συγχρόνως, καθώς ο πληθυσμός της γης αυξάνεται και η παραγωγή αγαθών αναπτύσσεται και εντατικοποιείται, το νερό γίνεται συνεχώς πολυτιμότερο.

Η έλλειψη νερού γίνεται αισθητή σε ολόένα και περισσότερα σημεία στον πλανήτη, όπως επίσης και στην Ελλάδα.

Μια από τις μεθόδους αντιμετώπισής της, είναι η αξιοποίηση του θαλασσινού νερού, που θεωρητικά αποτελεί αστείρευτη πρώτη ύλη, και επιτυγχάνεται μέσω της αφαλάτωσης. Η πλέον επικρατέστερη μέθοδος αφαλάτωσης είναι αυτή της αντίστροφης όσμωσης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφεται η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης με σκοπό την παραγωγή πόσιμου νερού από θαλασσινό.

Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της ποιότητας νερού, το νομοθετικό πλαίσιο που αφορά το πόσιμο νερό στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η αρχή λειτουργίας και οι μέθοδοι αφαλάτωσης, ενώ λαμβάνοντας υπόψιν την διεθνή εμπειρία και στοιχεία από εγκατεστημένες μονάδες στον Ελληνικό χώρο γίνεται μελέτη εγκατάστασης

μονάδας αφαλάτωσης με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης για την παραγωγή πόσιμου νερού από θαλασσινό, μικρού μεγέθους για την κάλυψη της κατανάλωσης μικρών νησιών, όπως επίσης και οικονομική αξιολόγησή της.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ

2.1 Γενικά

Το νερό αποτελεί το βασικότερο είδος διατροφής για τον άνθρωπο και συγχρόνως συμμετέχει σε κάθε σχεδόν παραγωγική διαδικασία. Ως φυσική πρώτη ύλη το νερό δεν αποτελεί τον καρπό μιας συγκομιδής και η ανανέωσή του σε ένα περιορισμένο χώρο αποτελεί συνάρτηση των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν, των ανθρωπίνων παρεμβάσεων στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του και της φυσικής προσφοράς και ζήτησης από τους χρήστες.

Κατά τη διάρκεια της χρήσης του αναπόφευκτα παρεμβαίνουμε στα δύο κύρια χαρακτηριστικά του νερού, την ποιότητα και την ποσότητα, ενώ η παρέμβαση αυτή έχει προκαλέσει πολυάριθμα περιβαλλοντικά προβλήματα. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να διακριθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

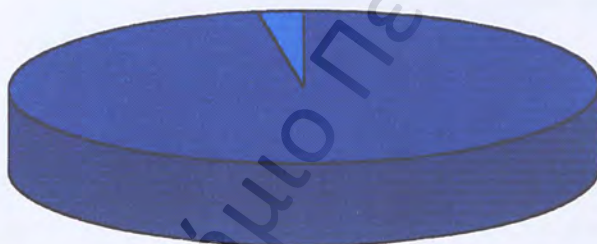
- i. Προβλήματα που οφείλονται στην άνιση κατανομή στο χώρο και στο χρόνο της φυσικής προσφοράς και ζήτησης του νερού
- ii. Προβλήματα που δημιούργησε το είδος της ανάπτυξης και η διοικητική οργάνωση που ακολούθηθηκε, η οποία δεν παρείχε τη δυνατότητα συντονισμού και ενιαίας πολιτικής
- iii. Προβλήματα που δημιουργούνται από την έλλειψη ευαισθησίας και παιδείας του απλού πολίτη χρήστη σχετικά με την ποιοτική και ποσοτική διαχείριση του νερού.

Τα παραπάνω προβλήματα εμποδίζουν την αειφόρο ανάπτυξη και έχουν κυρίως ανθρωπογενή αίτια.

2.2 Υδάτινο περιβάλλον – Παγκόσμια ισορροπία νερού

Το 71% της επιφάνειας του πλανήτη καλύπτεται από νερό. Η ζωή στον πλανήτη βασίζεται στο νερό: αφενός τα περισσότερα είδη οργανισμών είναι υδρόβια, και αφετέρου ακόμη και οι μη υδρόβιοι οργανισμοί αποτελούνται περίπου από 50-65% νερό. Όμως παρά τη φαινόμενη αφθονία του, το νερό που είναι διαθέσιμο για ανθρώπινη χρήση είναι περιορισμένο. Όπως φαίνεται και στα Σχήματα 1,2,3, η συντριπτική πλειοψηφία των υδάτινων μαζών αποτελείται από αλμυρό νερό, από δε τη

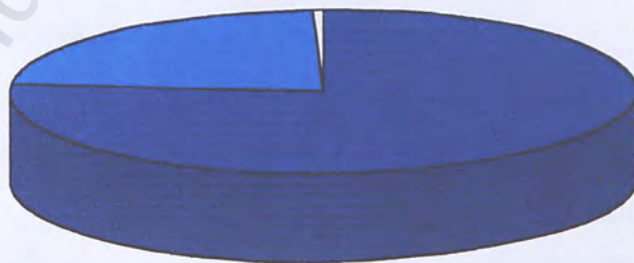
■ Αλμυρό νερό, 97.41% ■ Γλυκό νερό, 2.59%



Σχήμα 1: Κατανομή του γήινου νερού

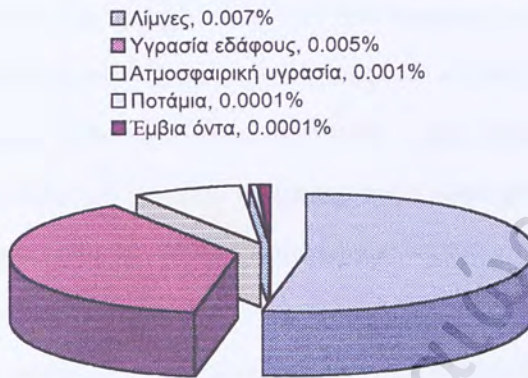
Πηγή: Δ.Ασημακόπουλος, 'Σημειώσεις Ανάλυσης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων'

■ Παγετώνες και παγόβουνα, 1.984%
■ Υπόγειο νερό, 0.592%
□ Εκμεταλλεύσιμο γλυκό νερό, 0.014%



Σχήμα 2: Κατανομή του γλυκού νερού

Πηγή: Δ.Ασημακόπουλος, 'Σημειώσεις Ανάλυσης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων'



Σχήμα 3: Κατανομή του εκμεταλλεύσιμου γλυκού νερού

Πηγή: Δ. Ασημακόπουλος, 'Σημειώσεις Ανάλυσης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων'

μικρή ποσότητα του γλυκού νερού, πάλι η συντριπτική πλειοψηφία είναι εγκλωβισμένη σε παγετώνες και παγόβουνα και ένα σημαντικό ποσοστό σε απροσπέλαστα βάθη, αφήνοντας ένα μικρό μόνο ποσοστό για εκμετάλλευση από τον άνθρωπο. Ένα επιπλέον στοιχείο που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι η συνολική ποσότητα του νερού είναι σταθερή και δεδομένη. Το νερό σχηματίστηκε σε μια δεδομένη γεωλογική εποχή και απλώς αλλάζει μορφές λιγότερο ή περισσότερο εκμεταλλεύσιμες.

2.3 Υδρολογικός κύκλος

Με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας το νερό της θάλασσας και των ηπείρων (λίμνες, ποτάμια, έδαφος) εξατμίζεται. Στη συνέχεια οι υδρατμοί συμπυκνώνονται, σχηματίζουν σύννεφα τα οποία δίνουν βροχή, χιόνι, χαλάζι (κατακρημνίσματα) τα οποία η γη συλλέγει. Το νερό επιφανειακό ή υπόγειο, καταλήγει πάλι στη θάλασσα, όπου μια νέα εξάτμιση θα συνεχίσει αυτό που ονομάζουμε υδρολογικό κύκλο.

Υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο 453.000-500.000 km³ νερού εξατμίζονται από τις θάλασσες-ωκεανούς του πλανήτη. Από αυτή την ποσότητα το 90% επιστρέφει με κατακρημνίσματα στη θάλασσα, ενώ το 10% περίπου 41.000 m³ μεταφέρεται στο ηπειρωτικό τμήμα, όπου προστίθενται 72.000 m³ εξατμιζόμενου νερού από την ηπειρωτική επιφάνεια της γης. Οι ποσότητες αυτές δημιουργούν τις ηπειρωτικές βροχές. Είναι φανερό ότι τα 3/4 των βροχοπτώσεων πέφτουν στους ωκεανούς ή στις θάλασσες και μόνο το 1/4 πέφτει στη γη.

Ένα μέρος του νερού που φτάνει στη γη ρέει επιφανειακά πάνω στο έδαφος και αφού διανύσει μια μικρή ή μεγάλη διαδρομή, συγκεντρώνεται στους ποταμούς οι οποίοι με τη σειρά τους το οδηγούν στις λίμνες ή στις θάλασσες. Το τμήμα αυτό αποτελεί το επιφανειακό νερό. Ένα άλλο τμήμα από το μετεωρικό νερό (βροχή) δε φτάνει ποτέ στο έδαφος, επειδή κατά τη διαδρομή της πτώσης του εξατμίζεται, ή αν φτάσει στο έδαφος πάνω στη βλάστηση, εξατμίζεται από τις ελεύθερες επιφάνειες των φύλλων. Μια τρίτη κατηγορία νερού είναι αυτή που φτάνει στο έδαφος, παραλαμβάνεται από τις ρίζες των φυτών και διαπνέεται από τα φύλλα και απελευθερώνεται και πάλι στην ατμόσφαιρα. Το υπόλοιπο που δεν ανήκει στις παραπάνω κατηγορίες, είναι αυτό που τείνει να κινηθεί και να συγκεντρωθεί σε βαθιά στρώματα.

2.4 Διαθεσιμότητα υδατικών πόρων

Παρόλο που η διαθέσιμη ποσότητα νερού που είναι δυνατόν να εκμεταλλευτούμε σε σχέση με την συνολική ποσότητα νερού στον πλανήτη είναι πολύ μικρή, μπορεί να καλύψει τις ανάγκες μας. Όμως αυτό δε συμβαίνει γιατί οι ποσότητες του νερού που θεωρούνται υδατικοί πόροι δεν είναι κατανεμημένοι στην επιφάνεια της γης σύμφωνα με την κατανομή του παγκόσμιου πληθυσμού. Η συνεχής αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού δυσχεραίνει την κατάσταση καθώς αυξάνεται έντονα η κατανάλωση νερού

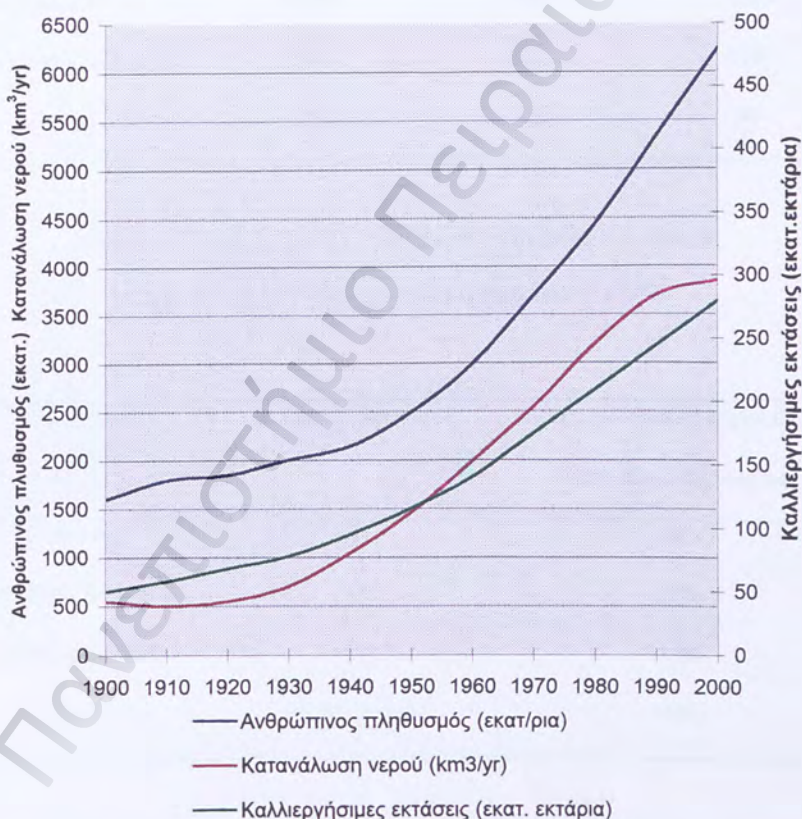
λόγω και της καλλιέργειας όλο και περισσότερων εκτάσεων, γιατί η γεωργία είναι ο κυριότερος καταναλωτής νερού. Στο Σχήμα 4 φαίνεται ο συσχετισμός της αύξησης του πληθυσμού με την αύξηση της κατανάλωσης νερού και την αύξηση του αριθμού των καλλιεργημένων εκτάσεων. Επίσης οι υδατικοί πόροι δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι στο χρόνο. Στις περισσότερες χώρες όπως και στην Ελλάδα η χρονική κατανομή της διαθέσιμης ποσότητας νερού είναι αντίθετη με από τη χρονική κατανομή της απαίτησης.

Επίσης υπάρχει μια γεωγραφική και χρονική κατανομή των υδατικών πόρων στον πλανήτη που δε βρίσκεται σε αντιστοιχία με τη γεωγραφική και χρονική κατανομή της ζήτησης του νερού.

Οι σημαντικότερες ανθρώπινες προσπάθειες επέμβασης στον υδρολογικό κύκλο γίνονται κατά κύριο λόγο για την εξομάλυνση της χρονικής κατανομής της διάθεσης του νερού. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των ταμιευτήρων για την αποθήκευση του νερού και με επεμβάσεις στην γεωγραφική κατανομή όπως εκτροπές ποταμών και μεταφορά νερού σε μεγάλες αποστάσεις.

Οι ποσότητες που αναφέρονται για την παγκόσμια ισορροπία του νερού είναι εκτιμήσεις που αφορούν μέσους όρους μεγάλων χρονικών διαστημάτων. Επομένως δε μας δίνουν πληροφορίες για τις ετήσιες διακυμάνσεις του υδρολογικού κύκλου. Όμως από την πλευρά της οικονομίας ύδατος μιας περιοχής, μας ενδιαφέρει η μεταβολή των μεγεθών της περιοχής αυτής. Στον Πίνακα 1 φαίνεται η κατανομή της επιφανειακής απορροής κατά ήπειρο καθώς και το διαθέσιμο νερό ανά κάτοικο. Από αυτόν τον πίνακα διαπιστώνουμε τις σημαντικές διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των ηπείρων ως προς τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους. Η Αφρική είναι η ήπειρος με τους λιγότερους διαθέσιμους υδατικούς πόρους που ισοδυναμούν με το 1/4 των υδατικών πόρων της Νότιας Αμερικής. Ένα άλλο στοιχείο που είναι χρήσιμο για την εκτίμηση της

διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων είναι το μήκος της απορροής, που με τη σειρά του εξαρτάται από την κατανομή της ποσότητας που εκβάλλουν οι ποταμοί. Στον Πίνακα 2 παριστάνεται η κατανομή των ποταμών ως προς την ποσότητα εκβολής. Ο μόνος ποταμός στην πρώτη κατηγορία είναι ο Αμαζόνιος με μέση εκβολή $175.000 \text{ m}^3/\text{s}$, μια ποσότητα που αντιστοιχεί περίπου στο 1/5 του συνόλου των εκβολών όλων των ποταμών της γης.



Σχήμα 4: Ο ανθρώπινος πληθυσμός, η κατανάλωση νερού και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις τον προηγούμενο αιώνα

Πηγή: U.N. Population Reference Bureau 1992, Shiklomanov 1996,

U.N. Food and Agriculture Organization

	Φυσική Απορροή (km ³ /yr)	Ισοδ/μο ύψους νερού (mm/yr)	Απορροή ανά κάτοικο (m ³ /d)
Ευρώπη	3.100	316	13
Ασία	13.190	293	18
Αφρική	4.225	142	34
Βόρεια Αμερική	5.950	292	52
Νότια Αμερική	10.380	576	153
Αυστραλία & Ωκεανία	1.965	231	298
Όλες οι ήπειροι	38.830	305	30

Πίνακας 1: Κατανομή της επιφανειακής απορροής ανά ήπειρο

Πηγή: Θ.Λέκκας 'Περιβαλλοντική Μηχανική' 1 1996

Εκβολή m ³ /s	Αριθμός ποταμών	% της συνολικής εκβολής των ποταμών όλης της γης
Q>100.000	1	18%
100.000>Q>10.000	15	27%
10.000>Q>5.000	50	15%
5.000>Q	Οι υπόλοιποι	40%

Πίνακας 2: Κατανομή ποσότητας εκβολής των ποταμών της γης

Πηγή: Θ.Λέκκας 'Περιβαλλοντική Μηχανική' 1 1996

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ

3.1 Χαρακτηριστικά ποιότητας του νερού

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού ταξινομούνται συνήθως σε φυσικά, χημικά (ανόργανα ή οργανικά) και βιολογικά.

3.2 Ανόργανα συστατικά

Τα επικρατέστερα ανόργανα συστατικά ενός φυσικού νερού είναι το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το νάτριο, το κάλιο, τα όξινα ανθρακικά, τα θειικά, τα χλωριούχα, τα νιτρικά και τα πυριτικά. Οι συγκεντρώσεις των συστατικών αυτών σε ένα φυσικό νερό μπορεί να κυμαίνονται από 1 έως 1.000 mg/L, με συνηθέστερη περιοχή για τα πόσιμα νερά της Ελλάδας 200-400 mg/L για τα όξινα ανθρακικά και 1 έως 100 mg/L για όλα τα υπόλοιπα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.

Άλλα ιόντα, τα οποία απαντούν σε μικρότερες συγκεντρώσεις (0,01 έως 1 mg/L), είναι αρκετά σημαντικά είτε βιολογικά, είτε γιατί επηρεάζουν συγκεκριμένες βιομηχανικές εφαρμογές. Σε αυτά περιλαμβάνονται η αμμωνία, τα νιτρώδη, τα φωσφορικά, ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το μαγγάνιο και το φθόριο. Επίσης, είναι δυνατόν να υπάρχει κάθε στοιχείο του περιοδικού πίνακα στο νερό σε συγκεντρώσεις μερικών mg/L (ιχνοστοιχεία), οφειλόμενο είτε στο γήινο υπόβαθρο της περιοχής, είτε σε γεωργική ή βιομηχανική ρύπανση. Το γήινο υπόβαθρο, καθώς επίσης και η θερμοκρασία, είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση και το είδος των

ΔΕΙΓΜΑ: ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΟ ΝΕΡΟ «ΝΙΓΡΙΤΑ»							
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 3/9/1991							
ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ							
Χρώμα (μον. Pt/Co):	0			Οσμή:	Άοσμο		
Θολρότητα : NTU	1			Γεύση:	Καλή		
ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ							
PH:	7,10			Ολική Σκληρότητα:	28,10 °F		
Αγωγιμότητα μS/cm:	750			Ανθρακική Σκληρότητα:	28,10 °F		
Στερεό Υπόλειμμα g/L:	0,44			Μη Ανθρακ. Σκληρότητα:	0,00 °F		
Αλκαλικότητα P:	0,00			Αλκαλικότητα M:	6,53		
ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ							
ΚΑΤΙΟΝΤΑ	mg/L	meq/L	ΑΝΙΟΝΤΑ	mg/L	meq/L		mg/L
Na ⁺	44,90	1,955	Cl ⁻	23,10	0,650	CO ₂	40,0
K ⁺	1,95	0,050	HCO ₃ ⁻	398,50	6,533	O ₂	6,5
Ca ²⁺	80,00	3,992	HS ⁻	0,00	0,000	B	0,1
Mg ²⁺	19,63	1,615	F ⁻	0,38	0,020	SiO ₂	32,3
Fe ²⁺	0,00	0,000	SO ₄ ²⁻	18,10	0,377	ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ	
Zn ²⁺	0,21	0,006	PO ₄ ³⁻	0,10	0,003		μg/L
Li ⁺	0,00	0,000	Br ⁻	0,05	0,000	As	5,1
Mn ²⁺	0,00	0,000	NO ₃ ⁻	4,30	0,069	Sb	2,0
Al ³⁺	0,00	0,000	NO ₂ ⁻	0,00	0,000	Cr	2,5
Sr ²⁺	0,56	0,013	CO ₃ ²⁻	0,00	0,000	Cs	0,1
NH ₄ ⁺	0,00	0,000				La	0,9
						Mo	12,5
Σύνολο		7,361	Σύνολο		7,652	Ag	8,8
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΝΕΡΟΥ: ΚΑΤΑΛΛΗΛΟ ΓΙΑ ΕΜΦΙΑΛΩΣΗ						Au	0,8
						Ba	98,5
						Co	0,1
						Sc	0,1
						Sc,Cd, W	<0,0

Πίνακας 3: Χημική ανάλυση του εμφιαλωμένου επιτραπέζιου νερού 'ΝΙΓΡΙΤΑ'

Πηγή: Μ.Μήτρακας 'Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού' 2001

περιχομένων στο νερό αλάτων, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4, αφού το νερό της βροχής, από την οποία κυρίως προέρχονται τα υπόγεια νερά, περιέχει πάρα πολύ χαμηλή συγκέντρωση αλάτων.

Συστατικό	Χιόνι (Νεβάδα 2500m)	Βροχή (Βέλγιο)	Θάλασσα (Αιγαίο)	Πόσιμο Θες/νίκης	Γ/θ Νιγρίτας (60°C)	Σουρωτή
	mg/L					
Ca ²⁺	0	3,3	400	81	160	176
Mg ²⁺	0,2	0,4	1480	21	105	58
Na ⁺	0,6	1,0	12000	34	529	80
K ⁺	0,6	0,2	580	2	89	13
NH ₄ ⁺	0	0,4	0,01	0	0,3	0,5
HCO ₃ ⁻	3,0	0	165	342	2220	890
SO ₄ ²⁻	1,6	6,1	3030	20	130	56
Cl ⁻	0,2	2,0	21900	48	162	66
NO ₃ ⁻	0,1	2,2	0,5	4,5	1,6	1,8
Ολ. Διαλ. Στ.	4,8	19,6	38000	390	2400	1,01
As	0	0	0,01	0	1,1	0,01
B	0	0	4,60	0	4,6	3,1
pH	5,6	4,4	7	7,4	7	6,1

Πίνακας 4: Χημικά συστατικά διαφόρων νερών

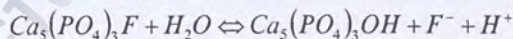
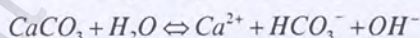
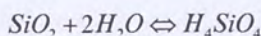
Πηγή: Μ.Μήτρακας 'Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού' 2001

Τα νερά με κύριο συστατικό το χλωριούχο νάτριο συναντώνται συχνότερα σε παραθαλάσσιες περιοχές και οφείλονται, είτε σε διείσδυση του θαλασσινού νερού, είτε στη μεταφορά του με θαλάσσια σταγονίδια, ενώ το όξινο ανθρακικό ασβέστιο υπερισχύει συνήθως στα φυσικά νερά ηπειρωτικής προέλευσης.

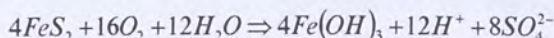
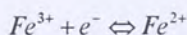
3.2.1 Προέλευση ανόργανων συστατικών νερού

Η χημική σύσταση των φυσικών νερών οφείλεται στις αντιδράσεις του νερού με τα πετρώματα της γης, με τα οποία έρχεται σε επαφή, καθώς επίσης στην αποσάθρωση των πετρωμάτων και την έκπλυση εδαφών και ιζημάτων. Τροποποιείται με τη βοήθεια βιολογικών μεταβολισμών και ενδεχόμενα η συγκέντρωση των στοιχείων μεγαλώνει ή μικραίνει εξαιτίας της επίδρασης του υδρολογικού κύκλου. Οι δράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι, διάλυση, οξείδωση – αναγωγή, ιοντοεναλλαγή και συμπλοκοποίηση.

Τυπικές αντιδράσεις διάλυσης είναι η μετατροπή του χαλαζία σε πυριτικό οξύ, η διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου, καθώς και η μετατροπή του φθοροαπατίτη σε υδροξυαπατίτη με τη σύγχρονη ελευθέρωση φθορίου.



Χαρακτηριστικές οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις είναι η αναγωγή ιόντων τρισθενούς σιδήρου σε νερά με χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου, καθώς επίσης η οξείδωση του σιδηροπυρίτη σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Οι αντιδράσεις ιοντοεναλλαγής σχετίζονται με αργίλους και τα αργιλιοπυριτικά ορυκτά. Έμμεσα αυξάνουν – διευκολύνουν την ταχύτητα ή το είδος της αντίδρασης του νερού με τα ορυκτά. Η ιοντοεναλλαγή είναι η κυριότερη αντίδραση έκπλυσης των εδαφών,

εμπλουτίζει δε το νερό με ανεπιθύμητα πολλές φορές συστατικά ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως είναι τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα.

3.2.2 Βιολογικός μεταβολισμός

Υδρόβιοι οργανισμοί μπορούν να επηρεάσουν τη συγκέντρωση των συστατικών των νερών, κυρίως των επιφανειακών, είτε απευθείας με τη δέσμευση ή αποδέσμευση συστατικών που σχετίζονται με το μεταβολισμό τους, είτε έμμεσα επηρεάζοντας κάποιες παραμέτρους, οι οποίες με τη σειρά τους μεταβάλλουν τη συγκέντρωση των διαλυτών συστατικών.

Η άμεση βιολογική δράση επηρεάζει συνήθως τα στοιχεία που είναι απαραίτητα στην κυτταρική σύνθεση, όπως είναι το άζωτο, ο φώσφορος και ο άνθρακας. Επίσης, επηρεάζει τα στοιχεία που συμμετέχουν στο σχηματισμό σκληρών μερών ορισμένων μικροοργανισμών, όπως είναι το ασβέστιο στα μαλάκια και το πυρίτιο στα διάτομα.

Έμμεση επίδραση των υδρόβιων μικροοργανισμών στη χημική σύσταση των φυσικών νερών είναι κατά κανόνα αποτέλεσμα αφομοίωσης ή έκκρισης ενός συστατικού, το οποίο αντιδρά χημικά με τα συστατικά του νερού. Κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης για παράδειγμα, υδρόβιοι φυτικοί οργανισμοί είναι δυνατόν να απομακρύνουν αρκετό CO₂, με αποτέλεσμα να αυξηθεί το pH, σε σημείο ώστε να σχηματιστεί αδιάλυτο ανθρακικό ασβέστιο.

3.2.3 Δείκτες ποιότητας νερού

Υπάρχουν μερικές μετρήσεις, οι οποίες σχετίζονται με την ποιότητα του νερού σε σχέση με τα ανόργανα συστατικά που περιέχει, όπως είναι η περιεκτικότητα σε πολυσθενή κατιόντα (σκληρότητα), τα διαλυμένα στερεά (TDS), η ηλεκτρική

αγωγιμότητα, η ενεργότητα ιόντων υδρογόνου (pH) και η καταλληλότητα για άρδευση (Sodium Adsorption Ratio – SAR).

1. Σκληρότητα

Η σκληρότητα είναι μια μέτρηση, που εκφράζει την περιεκτικότητα του νερού σε πολυσθενή κατιόντα (κυρίως Ca^{2+} και Mg^{2+}).

Για τον υπολογισμό της σκληρότητας, το άθροισμα των χιλιοστοϊσοδυνάμων ασβεστίου και μαγνησίου θεωρείται ισοδύναμο χιλιοστοϊσοδυνάμων ανθρακικού ασβεστίου.

$$\begin{aligned} \text{meq/L Ca}^{2+} + \text{meq/L Mg}^{2+} &\approx \text{meq/L CaCO}_3 \\ \text{meq/L CaCO}_3 \times 50 &= \text{mg/L CaCO}_3 \end{aligned}$$

Νερά με σκληρότητα 0-100 mg/L (ισοδύναμο) CaCO_3 χαρακτηρίζονται ως “μαλακά”, από 100-200 ως “μέσης σκληρότητας”, από 200-300 ως “σκληρά” και από 300 και πάνω ως “πολύ σκληρά”. Άλλες μονάδες έκφρασης της σκληρότητας είναι ο γαλλικός ($^{\circ}\text{F}$) και ο γερμανικός ($^{\circ}\text{G}$) βαθμός σκληρότητας. Οι ισοδυναμίες μεταξύ των μονάδων είναι οι εξής:

$$1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg/L CaCO}_3$$

$$1^{\circ}\text{G} = 17,86 \text{ mg/L CaCO}_3$$

$$1^{\circ}\text{G} = 1,786^{\circ}\text{F}$$

2. Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)

Τα ολικά διαλυμένα στερεά είναι μια μέτρηση όλων των ιόντων που υπάρχουν σε διάλυση. Η μέτρησή τους γίνεται με διήθηση του νερού για απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, εξάτμιση μέχρι ξηρού του διηθήματος και ζύγιση του στερεού υπολείμματος. Αν και τα ολικά διαλυμένα στερεά δεν φαίνεται να είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία, συνήθως συνιστάται να είναι λιγότερα από 500 mg/L στο πόσιμο νερό. Πάνω από αυτή τη συγκέντρωση το νερό σταδιακά αρχίζει να έχει ιδιάζουσα γεύση.

3. Αγωγιμότητα

Μια παράμετρος που σχετίζεται με τα ολικά διαλυμένα στερεά είναι η Ειδική Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (HA). Η HA (μmhos/cm ή μS/cm) αποτελεί έκφραση της ενεργότητας των ιόντων του διαλύματος. Στα νερά με χαμηλή περιεκτικότητα αλάτων ισχύει με ικανοποιητική προσέγγιση: $TDS=0,5 (HA)$. Καθώς η συγκέντρωση των αλάτων αυξάνεται ($TDS>1000 \text{ mg/L}$, $HA>2000 \text{ μmhos/cm}$), ελαττώνεται η ενεργότητα των ιόντων και κατά συνέπεια ελαττώνεται η ικανότητά τους να μεταφέρουν ρεύμα, οπότε η σχέση τείνει προς $TDS=0,9 HA$ (θαλασσινό νερό).

4. Λόγος ρόφησης νατρίου (SAR)

Ο λόγος ρόφησης νατρίου είναι ένα κριτήριο της τοξικότητας του νατρίου στο νερό άρδευσης. Υπολογίζεται από τις συγκεντρώσεις νατρίου, ασβεστίου και μαγνησίου στο νερό ως εξής:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{[Ca^{2+} + Mg^{2+}]}/2}$$

Με βάση την τιμή SAR τα νερά άρδευσης κατατάσσονται σε 4 κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές για ηλεκτρική αγωγιμότητα 750 μS/cm είναι:

Κατηγορία 1: SAR μικρότερος από 6, κίνδυνος νατρίου μικρός.

Κατηγορία 2: SAR από 6 έως 12, κίνδυνος νατρίου μέσος.

Κατηγορία 3: SAR από 12 έως 18, κίνδυνος νατρίου μεγάλος.

Κατηγορία 4: SAR μεγαλύτερος από 18, κίνδυνος νατρίου πολύ μεγάλος.

Οι τιμές αυτές έχουν αντίστροφη σχέση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Ελάττωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχει σαν αποτέλεσμα αύξηση της τιμής SAR. Οι τιμές για τις παραπάνω τέσσερις κατηγορίες για ηλεκτρική αγωγιμότητα 100 μS/cm είναι <10, 10 έως 18, 18 έως 26, >26 αντίστοιχα.

3.3 Αιωρούμενα στερεά

Ως αιωρούμενα στερεά στο νερό ορίζονται τα στερεά που περιέχονται σε αυτό με μέγεθος μεγαλύτερο των μορίων, κατά κανόνα (όχι απαραίτητα) μη ορατά δια γυμνού οφθαλμού.

Η κύρια πηγή προέλευσής τους είναι η αποσάθρωση των πετρωμάτων και οι βιολογικές διεργασίες. Τα ορυκτά της αργίλου είναι το κύριο συστατικό των σωματιδίων που προέρχονται από αποσάθρωση. Τα άλγη και τα βακτήρια, καθώς και άλλοι ανώτεροι μικροοργανισμοί είναι τα κύρια είδη των αιωρούμενων στερεών βιολογικής προέλευσης. Τα αιωρούμενα στερεά μπορεί να έχουν τόσο φυσική, όσο και ανθρωπογενή προέλευση. Οι βιομηχανικές και αγροτικές δραστηριότητες ενισχύουν τις διεργασίες δημιουργίας αιωρούμενων στερεών αυξάνοντας την έκλυση επιφανειών, ευνοώντας παράλληλα τη δημιουργία συνθηκών ευτροφισμού. Επίσης, τα αιωρούμενα στερεά προέρχονται και από την άμεση ρύπανση του νερού με βιομηχανικά απόβλητα.

Τα αιωρούμενα στερεά έχουν ευρεία επίδραση στην ποιότητα του νερού, η οποία εξαρτάται από τα φυσικά, χημικά και βιολογικά τους χαρακτηριστικά. Εξαιτίας του μικρού τους μεγέθους έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια, η οποία συχνά λειτουργεί ως μέσο προσρόφησης – συγκράτησης τοξικών συστατικών, όπως είναι τα βαρέα μέταλλα και οι αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες. Η πρόσληψη τέτοιων αιωρούμενων στερεών ενδέχεται να δημιουργήσει οξεία ή χρόνια τοξική επίδραση. Η μεγάλη επιφάνεια των αιωρούμενων στερεών προκαλεί ισχυρή διάχυση του φωτός, αλλοιώνοντας έτσι τη διαύγεια του νερού. Επίσης τα αιωρούμενα στερεά, ως πηγή προσρόφησης διαφόρων ιόντων, παίζουν πολύ σπουδαίο ρόλο στο βιολογικό – γεωχημικό κύκλο.

Για την ποσοτικοποίηση των αιωρούμενων στερεών χρησιμοποιούνται μετρήσεις θολερότητας, κατανομής μεγέθους σωματιδίων ή σταθμικές.

1. Θολερότητα

Η θολερότητα ορίζεται, ως η οπτική ιδιότητα του δείγματος να προκαλεί διάχυση του φωτός και απορρόφηση, χωρίς να επιτρέπει τη διέλευσή του. Η μέτρηση στηρίζεται στη δέσμευση ορατού φωτός και ανίχνευση της διαχεόμενης ακτινοβολίας.

Ενώ τα αιωρούμενα και τα κolloειδή συστατικά, που συνεισφέρουν στη θολερότητα, είναι σημαντικές παράμετροι για αισθητικούς, κυρίως, λόγους, αυτή καθ' αυτή η θολερότητα είναι σπουδαία και για λόγους υγείας. Ειδικά χαρακτηριστικά της θολερότητας, που σχετίζονται με την υγεία, συμπεριλαμβάνουν την ανάπτυξη και τη μεταφορά μικροοργανισμών με τα αιωρούμενα στερεά και τη δυσκολία καταστροφής τους με απολύμανση, καθώς η απαίτηση χλωρίου σχετίζεται με τη σύσταση των αιωρούμενων στερεών που δημιουργούν τη θολερότητα. Είναι η περισσότερο μεταβαλλόμενη παράμετρος ποιότητας του νερού, η οποία καθορίζει συχνά την επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας του.

2. Μέτρηση σωματιδίων

Οι μετρητές σωματιδίων έχουν ανιχνευτές κατάλληλους για τη μέτρηση της κατανομής των σωματιδίων κατά μέγεθος, είτε από 1,0-60 μm, είτε από 2,5-150 μm, κατατάσσοντας τα αιωρούμενα σωματίδια σε 12 περιοχές μεγέθους. Η ανάλυση του μεγέθους των σωματιδίων δείχνει την κατανομή μεγεθών των αιωρούμενων στερεών σε ένα δείγμα νερού.

3.4 Οργανικά

Τα οργανικά συστατικά στο πόσιμο νερό προέρχονται είτε από φυσική αποικοδόμηση υλικών φυτικής ή ζωικής προέλευσης, είτε από βιοχημική, αστική ή αγροτική ρύπανση.

Η συγκέντρωση των οργανικών μπορεί να κυμαίνεται από το μηδέν, σε ορισμένα καθαρά υπόγεια νερά, έως μερικές δεκάδες mg/L σε νερά επιφανειακά, που έχουν ρυπανθεί. Ενώ η παρουσία οργανικών ενώσεων στο νερό ήταν γνωστή εδώ και πάρα πολλά χρόνια, μόνο στο δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα η ανάπτυξη εξειδικευμένων τεχνικών και εξελιγμένων οργάνων επέτρεψε την ταυτοποίηση και τη μέτρησή τους στο νερό σε συγκεντρώσεις έως και ng/L.

3.4.1 Φυσικές οργανικές ενώσεις νερού

Τα φυσικά οργανικά αποτελούν συνήθως το μεγαλύτερο ποσοστό των οργανικών ενώσεων, που απαντούν στο νερό. Η σύστασή τους αντικατοπτρίζει τη διαδικασία χουμοποίησης διαφόρων συστατικών του εδάφους, τα οποία εκπλένονται από το νερό.

Τα οργανικά συστατικά του εδάφους που υφίστανται χουμοποίηση, προέρχονται από την αποικοδόμηση οργανικών προϊόντων φυτικής και ζωικής προέλευσης.

Η χημική σύσταση των χουμικών ενώσεων του νερού δεν είναι πλήρως διευκρινισμένη. Για το λόγο αυτό ταξινομούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες με βάση τη διαλυτότητά τους στο νερό:

- τη χουμίνη
- το χουμικό οξύ
- το φουλβικό οξύ

Η χουμίνη είναι το ποσοστό που δεν διαλύεται στο νερό σε καμία τιμή pH.

Το χουμικό οξύ δεν είναι διαλυτό σε ισχυρά όξινο περιβάλλον ($\text{pH} < 2$), αλλά διαλύεται στο νερό σε υψηλότερες τιμές pH, ενώ το φουλβικό οξύ είναι διαλυτό στο νερό σε κάθε τιμή pH.

3.4.2 Συνθετικά οργανικά

Η χημική επανάσταση των έξι τελευταίων δεκαετιών είχε ως αποτέλεσμα τη σύνθεση νέων μορίων και κατά συνέπεια τη δημιουργία ενός τεράστιου αριθμού οργανικών ενώσεων, οι οποίες δεν υπάρχουν στη φύση. Στις ΗΠΑ υπολογίζεται ότι οι βιομηχανίες παρήγαγαν πάνω από δύο εκατομμύρια νέες συνθέσεις την περίοδο 1965-1972. Το 1941 η παραγωγή συνθετικών οργανικών ενώσεων στις ΗΠΑ ήταν πεντακόσιες χιλιάδες τόνοι, για να αυξηθεί σε ενενήντα εκατομμύρια τόνους το 1978 μόνο για τις 50 περισσότερο κοινές συνθετικές οργανικές ενώσεις. Οι περισσότερο κοινοί ρυπαντές του πόσιμου νερού είναι οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCS), οι οποίοι είναι διαλύτες, αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες, καύσιμα και ψυκτικά υγρά. Αυτό οφείλεται στις μεγάλες ποσότητες παραγωγής τους, τη χημική τους σταθερότητα, καθώς και στην αμελητέα προσρόφησή τους από το έδαφος.

Σε βιβλιογραφική ανασκόπηση του 1977 (Shackelford and Keith) καταμετρήθηκε η ανίχνευση 1259 διαφορετικών οργανικών ενώσεων σε δείγματα νερού. Εκτιμάται ότι ανιχνεύεται με επιτυχία (Rohlich, 1978) μόνο το 10% των οργανικών ενώσεων του νερού. Στη συνέχεια δίνεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, που δείχνει τη διάσταση του προβλήματος. Στο πόσιμο νερό της Νέας Ορλεάνης ανιχνεύθηκαν 89 τοξικές οργανικές ενώσεις, οι οποίες εκτιμήθηκε ότι αντιπροσωπεύουν το 2% κατά βάρος του συνολικού αριθμού οργανικών ενώσεων που υπήρχαν σε αυτό (Guinan et al., 1978). Η συνεχής βελτίωση όμως των τεχνικών προσδιορισμού και των οργάνων βοηθά προς την κατεύθυνση πλήρους ταυτοποίησης των οργανικών ενώσεων που απαντούν στο πόσιμο νερό.

Οι τρόποι ρύπανσης του πόσιμου νερού με οργανικές ενώσεις ποικίλουν. Οργανικές ενώσεις, οι οποίες ρυπαίνουν το νερό, μπορεί να δημιουργηθούν κατά την επεξεργασία του νερού. Κατά τη χλωρίωση του νερού παράγονται διάφορες τοξικές αλογονούχες

οργανικές ενώσεις ως αποτέλεσμα αντίδρασης του χλωρίου με τα φυσικά οργανικά του νερού. Οι περισσότερο κοινές οργανικές ενώσεις του είδους αυτού είναι τα τριαλομεθάνια (THMS), τα οποία αντιπροσωπεύουν διάφορες μεταβολές στη δομή του μεθανίου, στο οποίο κάποια υδρογόνα αντικαταστάθηκαν με ένα από τα τέσσερα άτομα αλογόνων (F, Cl, Br, και I). Τα περισσότερα κοινά τριαλομεθάνια που απαντούν στο πόσιμο νερό είναι τα CHCl_3 , CHBrCl_2 , CHBr_2 , CHHBr_2Cl , CHCl_2I CHIBrCl . Η χρήση του όζοντος ως απολυμαντικού έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό διαφόρων οργανικών ενώσεων, αλλά όχι τριαλομεθανίων. Ο οζονισμός μετατρέπει τις φυσικές οργανικές ενώσεις σε αλδεύδες, κετόνες, οξέα, φθαλικές ενώσεις και φυσικά καίει ένα ποσοστό τους προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό.

Μερικές οργανικές ενώσεις, όπως είναι τα παρασιτοκτόνα, τα ζιζανιοκτόνα και πολλοί διαλύτες, χρησιμοποιούνται και διασπείρονται στο περιβάλλον σκόπιμα. Επίσης, πολλές φορές διαχέονται στο περιβάλλον από διαρροές ή ατυχήματα διάφορες οργανικές ενώσεις (π.χ. καύσιμα), ενώ πολλά προϊόντα οικιακής χρήσης περιέχουν τοξικές οργανικές ενώσεις εκπλένονται από το νερό κατά τον υδρολογικό κύκλο ρυπαίνοντας τις πηγές υδροληψίας πόσιμου νερού.

Η ρύπανση των υπόγειων νερών από τοξικές χημικές ενώσεις είναι ένα ιδιαίτερα σοβαρό πρόβλημα. Οι ρυπαντές μπορεί να μετακινούνται στα υπόγεια νερά αργά ή γρήγορα και προς κάθε κατεύθυνση για χρόνια πριν από την άντλησή τους. Η παράδοση θεωρεί ότι τα υπόγεια νερά είναι ιδιαίτερα καθαρά, οπότε και στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες τα υπόγεια νερά συνήθως διατίθενται στο δίκτυο ύδρευσης χωρίς καμία επεξεργασία. Σε αντίθεση με τη θεώρηση αυτή μια μελέτη στις ΗΠΑ (Page, 1981) αναφέρει ότι τα υπόγεια νερά ρυπαίνονται όπως και τα επιφανειακά, καθώς επίσης ότι σε περιοχές, όπου υπήρχε ρύπανση στα υπόγεια νερά, βρέθηκαν σ' αυτά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ρυπαντών από ότι στα επιφανειακά. Η εξήγηση, η

ποία μπορεί να δοθεί στα αποτελέσματα αυτά, είναι ότι στα υπόγεια νερά οι ρυπαντές δεν έρχονται σε επαφή με την ατμόσφαιρα, οπότε οι πτητικές οργανικές ενώσεις δεν μπορούν να διαφύγουν από το νερό, καθώς επίσης η διαδικασία της αερόβιας αποσύνθεσης είναι πολύ περιορισμένη.

Διάφορες έρευνες έδειξαν την παραλαβή επίσης τοξικών οργανικών ρυπαντών από το δίκτυο μεταφοράς του νερού πιθανόν εξαιτίας της μικροβιακής δράσης στα τοιχώματα των σωλήνων ή από τη λιθανθρακόπισσα που υπάρχει σε ορισμένους σωλήνες, η οποία ελευθερώνει στο νερό καρκινογόνα πολυαρωματικά συστατικά. Επίσης, η αυξημένη χρήση πλαστικών σωλήνων στα δίκτυα μεταφοράς νερού πρόσθεσε δυο άλλες πηγές οργανικής ρύπανσης του νερού. Τη διάλυση μονομερούς από τη μάζα του πολυμερούς πλαστικού και την έκπλυση διαλυτών από τις συγκολλήσεις μεταξύ των σωλήνων.

3.4.3 Μέτρηση οργανικών ενώσεων

Δεδομένου του αριθμού των οργανικών ενώσεων που απαντούν στο νερό δεν αποτελεί έκπληξη η μεγάλη και συνεχώς αυξανόμενη ποικιλία μεθόδων προσδιορισμού οργανικών ρυπαντών στο νερό. (Standard Methods for the Examination of Water at Wastewater, 1993).

Με τις γενικές μεθόδους προσδιορίζεται το σύνολο των οργανικών ενώσεων που υπάρχουν στο νερό. Στις γενικές μεθόδους ανήκουν η μέτρηση του χρώματος, ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC), το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) και τα ολικά οργανικά αλογόνα (TOX).

Αντίθετα, οι εξειδικευμένες τεχνικές επιτρέπουν τον ποσοτικό προσδιορισμό του κάθε ενός οργανικού ρυπαντού ξεχωριστά από το συνολικά υπάρχοντα αριθμό. Οι τεχνικές που κυρίως χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν παραλαβή σε οργανικούς διαλύτες των οργανικών ενώσεων του νερού με εκχύλιση – συμπύκνωση και την ταυτοποίησή τους

με αέρια χρωματογραφία (GC), φασματοσκοπία μάζας (MS), υγρή χρωματογραφία υψηλής πίεσης (HPLC), καθώς επίσης και με συνδυασμό των τεχνικών αυτών μεταξύ τους. (π.χ. GC – MS).

3.5 Ραδιοϊσότοπα

Ραδιοϊσότοπα είναι ραδιενεργά άτομα, τα οποία διασπώνται ελευθερώνοντας ενέργεια (ραδιενέργεια). Η ενέργεια που ελευθερώνεται απαντά σε μία από τις τρεις ακόλουθες μορφές:

- (1) ακτινοβολία άλφα, η οποία αποτελείται από μεγάλα θετικά φορτισμένα ιόντα (πυρήνες ηλίου),
- (2) ακτινοβολία βήτα, η οποία αποτελείται από ηλεκτρόνια ή ποζιτρόνια,
- (3) ακτινοβολία γάμα, η οποία αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα παρόμοιου ενεργειακού περιεχομένου με αυτό των ακτίνων X.

Κάθε μια από τις παραπάνω ακτινοβολίες επιδρά διαφορετικά στο ανθρώπινο σώμα. Τα σωματίδια της ακτινοβολίας άλφα κινούνται με ταχύτητα μεγαλύτερη από 10^6 m/sec, εισερχόμενα δε με οποιονδήποτε τρόπο στον ανθρώπινο οργανισμό είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα. Η ακτινοβολία βήτα κινείται περίπου με την ταχύτητα του φωτός. Η μικρότερη μάζα τους επιτρέπει τη διέλευσή τους αλλά γενικά είναι λιγότερο επικίνδυνα. Η ακτινοβολία γάμα έχει τρομακτική διεισδυτική ικανότητα, αλλά έχει και τη μικρότερη επίδραση σε χαμηλά επίπεδα.

Η ραδιενέργεια γενικά αναφέρεται σε μονάδες Κιουρί (Ci) ή rem. 1Ci ισούται με $3,7 \times 10^{10}$ πυρηνικών μετατροπών ανά δευτερόλεπτο, ενώ το συνήθως χρησιμοποιούμενο πικοκιουρί (pCi) ισούται με 10^{-12} Ci. Το rem μετατρέπει την ακτινοβολία σε μονάδες δόσης, έτσι ώστε ίσες δόσεις ραδιενέργειας εκφρασμένες σε rem δημιουργούν όμοιες

βιολογικές επιδράσεις ανεξάρτητα από τον τύπο της ακτινοβολίας που δημιουργεί τη δόση αυτή.

Η ραδιενέργεια του νερού μπορεί να είναι φυσική, αλλά μπορεί να είναι και ανθρώπινης προέλευσης. Η φυσική ραδιενέργεια οφείλεται στα ραδιενεργά στοιχεία που υπάρχουν στη γη ή δημιουργούνται από το βομβαρδισμό της ατμόσφαιρας με κοσμική ακτινοβολία. Τα δύο κυριότερα ραδιενεργά ισότοπα που υπάρχουν στο νερό είναι το Τρίτιο (^3H) και το Κάλιο-40 (^{40}K).

Τα ανθρώπινης προέλευσης ραδιενεργά ισότοπα προέρχονται συνήθως από τρεις πηγές:

- πυρηνικά όπλα
- ραδιενεργά φάρμακα
- παραγωγή και χρήση ραδιενεργών καυσίμων

Τα ραδιενεργά ισότοπα στρόντιο-90, καίσιιο-137, ιώδιο-131, τρίτιο και άνθρακας-14 είναι αυτά που επικεντρώνουν την προσοχή.

Τα ραδιενεργά ισότοπα στο νερό παρουσιάζουν περισσότερο ενδιαφέρον από την άποψη της επίδρασής τους στην ανθρώπινη υγεία και λιγότερο ως μέσον ραδιοχρονολόγησης των νερών. Αν και η δόση ραδιενέργειας που δέχεται ο ανθρώπινος οργανισμός από το πόσιμο νερό είναι πάρα πολύ μικρή σε σχέση με το σύνολο της φυσικής ραδιενέργειας, παρ' όλα αυτά από τις υπηρεσίες υγείας θεωρείται ως αρνητική η επίδρασή της στην υγεία του ανθρώπου. Η ραδιενέργεια μπορεί να προκαλέσει υπεραναπτύξεις και τερατογενέσεις, γενετικές μεταλλάξεις καθώς και σωματικές επιδράσεις συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου. Η καρκινογόνος επίδραση της πυρηνικής ακτινοβολίας (α , β , γ) στα κύτταρα επιτυγχάνεται δια μέσω του ιονισμού των συστατικών τους, που δημιουργεί μεταβολές της δομής του DNA και κατά συνέπεια ανωμαλίες που οφείλονται στην αλλοίωση της δομής του DNA. Όλα τα ραδιενεργά ισότοπα θεωρούνται καρκινογόνα, διαφέρει όμως στο σημείο του σώματος που

προσβάλλουν. Το ράδιο-228 για παράδειγμα προσβάλλει τα οστά προκαλώντας σάρκωμα των οστών, το ράδιο-226 προκαλεί καρκίνο στο κεφάλι, ενώ το αέριο ραδόνιο-222 θεωρείται υπεύθυνο για καρκίνο του πνεύμονα.

3.6 Αισθητικά χαρακτηριστικά

Τα αισθητικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού περιλαμβάνουν την οσμή και τη γεύση του. Τα προβλήματα αυτά ενδεχόμενα να σχετίζονται με την προέλευση του νερού, τη μέθοδο επεξεργασίας του, καθώς επίσης και με το δίκτυο διανομής. Για τα αισθητικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού υπάρχει θεσμοθετημένη επιτρεπτή περιοχή μέσα στην οποία πρέπει να κυμαίνονται.

Τα ανθρώπινα αισθητήρια γεύσης και οσμής διεγείρονται από χιλιάδες χημικά συστατικά, είτε οργανικά, είτε ανόργανα. Συχνά μερικά από τα χημικά αυτά συστατικά απαντούν στο νερό προσδίδοντάς το γεύση και οσμή.

Τα προβλήματα γεύσης στο νερό οφείλονται στα διαλυμένα άλατα (TDS), καθώς επίσης στην παρουσία κάποιων συγκεκριμένων μετάλλων όπως είναι ο σίδηρος, ο χαλκός, το μαγγάνιο και ο ψευδάργυρος. Γενικά, τα νερά με σύνολο διαλυμένων αλάτων (TDS) μικρότερο από 1200 mg/L δεν παρουσιάζουν προβλήματα γεύσης και είναι αποδεκτά από τον καταναλωτή, αν και πρέπει να προτιμάται συγκέντρωση TDS μικρότερη από 500 mg/L. Μερικά άλατα, όπως είναι για παράδειγμα το χλωριούχο μαγνήσιο, παρουσιάζουν μεγαλύτερα προβλήματα γεύσης. Αντίθετα, η γεύση των θεικών αλάτων του μαγνησίου και ασβεστίου είναι λιγότερο δυσάρεστη. Η συγκέντρωση των κοινών συστατικών, τα οποία δημιουργούν συνήθως γεύση στο πόσιμο νερό, δίνεται στον Πίνακα 5.

Το πιο κοινό παράπονο των καταναλωτών για το νερό των δικτύων ύδρευσης, σε σχέση με την οσμή και τη γεύση, αφορά τη χλωρίωση. Το όριο γεύσης του χλωρίου σε

ουδέτερο pH είναι 0,2 mg/L, το οποίο αυξάνει σε 0,5 mg/L για τιμή pH=9. Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα με τη χλωρίωση του νερού είναι η δημιουργία οσμής και γεύσης από τις ενώσεις που προκύπτουν κατά την αντίδραση του χλωρίου με τα οργανικά συστατικά του νερού.

Συστατικό	Συγκέντρωση γεύσης, mg/L
Zn ²⁺	4-9
Cu ²⁺	2-5
Fe ²⁺	0,04 – 0,1
Mn ²⁺	4-30
2-Χλωροφαινόλη*	0,004
2,4-Χλωροφαινόλη*	0,008
2,6-Χλωροφαινόλη*	0,002
Φαινόλη	> 1,0
* Δημιουργούνται από τη φαινόλη κατά τη χλωρίωση του νερού	

Πίνακας 5: Συγκεντρώσεις ορισμένων χημικών συστατικών που δημιουργούν προβλήματα γεύσης στο πόσιμο νερό (Cohen, 1960)

Πηγή: Μ.Μήτρακας 'Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού' 2001

Όπως φαίνεται στον πιο πάνω πίνακα, ορισμένα παράγωγα της φαινόλης που δημιουργούνται κατά την χλωρίωση του νερού έχουν συγκέντρωση γεύσης έως και 500 φορές χαμηλότερη σε σχέση με τη φαινόλη. Επίσης ορισμένα τριαλομεθάνια, τα οποία δημιουργούνται από τα φυσικά οργανικά συστατικά του νερού κατά τη χλωρίωσή του, έχουν πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις ανίχνευσης οσμής όπως φαίνεται και στον Πίνακα 6. Η αποικοδόμηση φυτικών υλικών και τα προϊόντα μεταβολισμού των

μικροοργανισμών είναι οι περισσότερο πιθανές αιτίες δημιουργίας γεύσης και οσμής στα επιφανειακά νερά. Οι μικροοργανισμοί που δημιουργούν συνήθως τέτοια προβλήματα είναι τα νηματοειδή βακτήρια, οι ακτινομύκητες και τα πρασινο-μπλέ άλγη, αν και είναι δυνατή η δημιουργία τέτοιων προβλημάτων και από άλλους μικροοργανισμούς. Δύο προϊόντα μεταβολισμού των ακτινομυκήτων και των πράσινο-μπλε αλγών που ταυτοποιήθηκαν είναι η γεωσμίνη και η μεθυλοϊσοβορνεόλη (MIB). Τα συστατικά αυτά είναι ιδιαίτερα δύσσομα και υπεύθυνα για την πολύ γνωστή οσμή γαιώδη-μούχλας που προσδίδουν στο νερό.

Συστατικό	Συγκέντρωση εμφάνισης οσμής, mg/L
Διχλωρομεθάνιο	24,0
Χλωροφόρμιο	20,0
Τριχλωροαιθυλένιο	0,5
Τετραχλωροαιθυλένιο	0,3
Τετραχλωράνθρακας	0,2
Τουλουόλιο	0,14
2-οκτανόλη	0,13
Στυρένιο	0,05
Ναφθαλένιο	0,007
Μεθυλοσουλφίδιο	0,003
1,4-διχλωροβενζόλιο	0,0003
Γεωσμίνη	0,000005
Μεθυλοϊσοβορνεόλη (MIB)	0,000005

Πίνακας 6: Συγκεντρώσεις ορισμένων χημικών συστατικών που δημιουργούν προβλήματα οσμής στο πόσιμο νερό

Πηγή: Μ.Μήτρακας 'Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού' 2001

Αρκετά υπόγεια νερά έχουν δυσάρεστη οσμή αλλά και γεύση που οφείλεται στο περιεχόμενο υδρόθειο. Το υδρόθειο στα υπόγεια νερά προέρχεται συνήθως από την

αναγωγή των θεικών εξαιτίας αναερόβιων βιολογικών διεργασιών. Η οσμή αλλοιωμένου αυγού μπορεί να ανιχνευτεί σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0,1 mg/L. Το βακτήριο που είναι συνήθως υπεύθυνο για την παραγωγή του υδρόθειου είναι το *Desulfovibrio desulfuricans*. Άλλες θειούχες ενώσεις, που οφείλονται σε μικροβιολογικές δράσεις και δημιουργούν οσμές και γεύσεις έλους-ιχθύος, είναι τα μεθυλοπολυσουλφίδια και η μεθυλομερκαπτάνη.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

4.1 Απαιτούμενη ποιότητα πόσιμου νερού

Ως 'πόσιμα νερά' νοούνται όλα τα επιφανειακά νερά που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση και διοχετεύονται από δίκτυο παροχής σε δημόσια χρήση.

Η νομοθεσία σύμφωνα με την οποία το νερό ονομάζεται πόσιμο στην Ελλάδα, στηρίζεται στην Κυβερνητική Απόφαση (ΦΕΚ 53/20-2-86) η οποία και αποσκοπεί στην συμμόρφωση με τις διατάξεις των οδηγιών του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 80/778.

4.2 Απαιτούμενα πρότυπα ποιότητας πόσιμου νερού στην Ελλάδα

Τα απαιτούμενα πρότυπα ποιότητας των νερών για να θεωρηθεί μια ποσότητα νερού ως πόσιμο νερό αναφέρονται στους Πίνακες 7 - 14.

	Παράμετροι	Εκφραση των αποτ/μάτων	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση	Παρατηρήσεις
1	Χρώμα	mg/l	1	20	
2	Θολρότητα	mg/l SiO ₂ μονάδες Jackson	1 0,4	10 4	-Μέτρηση που έχει αντικατασταθεί σε μερικές περιπτώσεις από αυτή της διαύγειας υπολογιζόμενης σε μέτρα με το δίσκο του Secchi: Ενδεικτικό επίπεδο: 6m Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση: 2 m
3	Οσμή	Ποσοστό διαλύσεως	0	2 μέχρι 12 °C 3 μέχρι 25 °C	-Να γίνει συσχέτιση με τις δοκιμασίες γεύσεως
4	Γεύση	Ποσοστό διαλύσεως	0	2 μέχρι 12 °C 3 μέχρι 25 °C	-Να γίνει συσχέτιση με τις δοκιμασίες οσμής

Πίνακας 7: Οργανοληπτικές παράμετροι (ΦΕΚ 53/20-2-86)

	Παράμετροι	Έκφραση των αποτ/μάτων	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση	Παρατηρήσεις
5	Θερμοκρασία	°C	12	25	
6	Συγκέντρωση σε ιόντα υδρογόνου	Μονάδα pH	6,5<pH<8,5		-Το νερό δεν πρέπει να είναι δραστικό -Οι τιμές του pH δεν έχουν εφαρμογή στα συσκευασμένα νερά -Ανώτατη παραδεκτή τιμή
7	Αγωγιμότητα	μS cm ⁻¹ έως 20 °C	400		-Σε αντιστοιχία με τη μεταλλικότητα των νερών -Τιμές που αντιστοιχούν στην ειδική αντίσταση σε ohm/cm 2500
8	Χλώριο	mg/l Cl ⁻	25		
9	Θειικά	mg/l SO ₄ ⁻	25	250	
10	Πυρίτιο	mg/l SiO ₂ ⁻			
11	Ασβέστιο	mg/l Ca ⁻	100		
12	Μαγνήσιο	mg/l Mg ⁻	30	50	
13	Νάτριο	mg/l Na ⁻	20	175 (από το 1984 και με ελάχιστο ποσοστό ανταποκρινόμενων δειγμάτων 90%) 150 (από το 1987 και με ελάχιστο ποσοστό ανταποκρινόμενων δειγμάτων 80%) (αυτά τα ποσοστά θα υπολογίζονται για μια χρονική περίοδο αναγωγής 3 ετών)	-Οι τιμές αυτής της παραμέτρου βασίζονται στις εισηγήσεις μιας Ομάδας Εργασίας του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Χάγη, Μάιος 1978) που αφορούν μια προοδευτική μείωση της συνολικής παρούσας ημερησίας προσλήψεως σε χλωριούχο νάτριο στα 6 γραμ.
14	Κάλιο	mg/l K ⁻	10	12	
15	Αργίλιο	mg/l Al ⁻	0,05	0,2	
16	Ολική σκληρότητα				Πίνακας 12
17	Ξηρό υπόλειμμα	mg/l ύστερα από ξήρανση στους 180°C		1500	
18	Διαλελυμένο	%O ₂ κορεσμού			-Τιμή κορεσμού >75% εκτός των υπογειών νερών
19	Ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακος	mg/l CO ₂			-Το νερό δεν πρέπει να είναι δραστικό

Πίνακας 8: Φυσικο – χημικές παράμετροι (ΦΕΚ 53/20-2-86)

	Παράμετροι	Έκφραση των αποτ/μάτων (1)	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση	Παρατηρήσεις
20	Νιτρικά	mg/l NO ₃ ⁻	25	50	
21	Νιτρώδη	mg/l NO ₂ ⁻		0,1	
22	Αμμώνιο	mg/l NH ₄ ⁺	0,05	0,5	
23	Άζωτο Kjeldahl (N από NO ₂ ⁻ και NO ₃ ⁻ εξαιρούνται)	μg/l N		6	
24	Οξειδωσιμότης (K Mn O ₄)	mg/l O ₂ ⁻	2	5	-Μέτρηση που γίνεται εν θερμό και σε όξινο περιβάλλον
25	Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	mg/l C			-Κάθε αιτία αυξήσεως των συνήθων συγκεντρώσεων πρέπει να ερευνάται
26	Υδροθείο	μg/l S		Μη ανιχνεύσιμο οργανοληπτικά	
27	Υγες που εκχειλίζονται με χλωροφόρμιο	Ξηρό υπόλειμμα mg/l	0,1		
28	Υδρογονάνθρακες διαλυμένοι ή με μορφή γαλακτώματος (μετά από εκχύλιση με αιθέρα). Ορυκτέλαια	μg/l		10	
29	Φαινόλες (αριθμός φαινόλης)	μg/l C ₆ H ₅ OH		0,5	-Με εξαίρεση τις φυσικές φαινόλες που δεν αντιδρούν με το χλώριο
30	Βόριο	μg/l B	1000		
31	Επιφανειοδραστικοί παράγοντες	μg/l (lauryl sulfate)		200	
(1) Μερικές από αυτές τις ουσίες μπορούν και να είναι τοξικές όταν είναι παρούσες σε πολύ μεγάλες ποσότητες					
32	Άλλες οργανοχλωριούχες ενώσεις που δεν υπάγονται στην παράμετρο Νο 55	μg/l	1		-Η συγκέντρωση σε αλογόνα πρέπει να ελαττωθεί όσο γίνεται περισσότερο
33	Σίδηρος	μg/l Fe	50	200	
34	Μαγγάνιο	μg/l Mn	20	50	

	Παράμετροι	Έκφραση των υποτ/μάτων	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση	Παρατηρήσεις
35	Χαλκός	μg/l Cu	100 στην έξοδο των εγκαταστάσεων αντλήσεων και/ή παρασκευής και των βοηθητικών αυτών 3000 ύστερα από 12 ωρών ηρεμία στις σωληνώσεις και στο σημείο της θέσεως του στη διάθεση του καταναλωτή		-Πάνω από 3000 μg/l μπορεί να εμφανιστούν στυπικές γεύσεις, χρώσεις και διαβρώσεις
36	Ψευδάργυρος	μg/l Zn	100 στην έξοδο των εγκαταστάσεων αντλήσεων και/ή παρασκευής και των βοηθητικών αυτών 5000 ύστερα από 12 ωρών ηρεμία στις σωληνώσεις και στο σημείο της θέσεως του στη διάθεση του καταναλωτή		-Πάνω από 5000 μg/l μπορεί να εμφανιστούν στυπικές γεύσεις, σπαλλισμός και κοκκώδες απόθεμα
37	Φώσφορος	μg/l P ₂ O ₅	400	5000	
38	Φθόριο	mg/l F ⁻ 8-12 °C 25-30 °C		1500 700	-Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση που ποικίλλει ανάλογα με τη μέση θερμοκρασία της υπό εξέταση γεωγραφικής περιοχής
39	Κοβάλτιο	μg/l Co			
40	Υλεις σε αιώρηση		Απουσία		
41	Χλώριο υπολειμματικό	μg/l Cl ⁻			
42	Βάριο	μg/l Ba	100		
43	Άργυρος	μg/l Ag		10	Αν σε κάποια εξαιρετική περίπτωση γίνει όχι συστηματική χρήση του αργύρου για την κατεργασία των νερών, μια τιμή ανώτατης παραδεκτής συγκεντρώσεως ίση με 80 μg/l μπορεί να γίνει δεκτή

Πίνακας 9: Παράμετροι που αφορούν τις ανεπιθύμητες ουσίες (Φ/ΕΚ 53/20-2-86)

	Παράμετροι	Έκφραση των Αποτελ/ων	Ενδεικτικό Επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση	Παρατηρήσεις
44	Αρσενικό	μg/l As		50	
45	Βηρύλλιο	μg/l Be			
46	Κάδμιο	μg/l Ca		5	
47	Κυανιούχα άλατα	μg/l CN		50	
48	Χρώμιο	μg/l Cr		50	
49	Υδράργυρος	μg/l Hg		1	
50	Νικέλιο	μg/l Ni		50	
51	Μόλυβδος	μg/l Pb		50 (στο τρεχούμενο νερό)	Σε περίπτωση διοχετεύσεως του νερού μέσα από μολύβδο, η περιεκτικότητα σε μολύβδο δεν θα πρέπει να είναι ανώτερη των 50 μg/l σε ένα δείγμα που θα ληφθεί ύστερα από ροή. Αν το δείγμα που θα ληφθεί αμέσως ή μετά από ροή και αν η περιεκτικότητα σε μολύβδο υπερβαίνει συχνά ή αισθητά τα 100 μg/l, θα πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για να ελαττωθούν οι κίνδυνοι εκθέσεως των καταναλωτών στον μολύβδο.
52	Αντιμόνιο	μg/l Sb		10	
53	Σελήνιο	μg/l Se			
54	Βανάδια	μg/l V			
55	Παρασιτοκτόνα & εξομοιούμενα προϊόντα: ανά μεμονωμένη ουσία Συνολικά	μg/l		0,1 0,5	Ως παρασιτοκτόνα & εξομοιούμενα προϊόντα νοούνται: -τα εντομοκτόνα: -οργανοχλωριούχες ενώσεις μεγάλου χρόνου ζωής -οργανοφωσφορικά -car bamates -τα ζιζανιοκτόνα -τα μυκητοκτόνα -τα PCB & PCT
56	Αρωματικοί πολυκυκλικοί υδρογ/θρακες	μg/l		0,2	-Ουσίες αναγωγής: -φθοριοανθένιο -βενζο-3,4 φθοριοανθένιο -βενζο-1,12 φθοριοανθένιο -βενζο-3,4 πυρένιο -βενζο-1,12 πυρηλένιο -ινδενιο (1,2,3 -cd) πυρένιο

Πίνακας 10: Παράμετροι που αφορούν τοξικές ουσίες (ΦΕΚ 53/20-2-86)

Παράμετροι	Αποτελ/τα: όγκος του ανοίγματος (σε ml)	Ενδεικτ. επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση		
			Μέθοδος των Διηθητικών μεμβρανών	Μέθοδος των πολλαπλών σωλήνων (NPP)	
57	Ολικ κολοβακτηριοειδή ⁽¹⁾	100	-	0	NPP < 1
58	Κολοβακτηριοειδή κοπράνων	100	-	0	NPP < 1
59	Στρεπτόκοκοι κοπράνων	100	-	0	NPP < 1
60	Κλωστρίδια αναγωγικά θειωδών αλάτων	20	-	-	NPP < 1
⁽¹⁾ Υπό τον όρο ότι θα εξεταστεί ένας ικανός αριθμός δειγμάτων (95% σύμφωνων αποτελεσμάτων)					
Τα νερά που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση δεν πρέπει να περιέχουν παθογόνους οργανισμούς					
61	Καταμέτρηση των συνολικών βακτηριδίων για το πόσιμο νερό	37 ⁰ C	1	10 ⁽¹⁾⁽²⁾	-
		22 ⁰ C	1	100 ⁽¹⁾⁽²⁾	-
62	Καταμέτρηση των συνολικών βακτηριδίων για τα συσκευασμένα νερά	37 ⁰ C	1	5	20
		22 ⁰ C	1	20	100
***Η Αρμόδια Αρχή μπορεί με δική της ευθύνη, όταν τηρούνται οι παράμετροι 57,58,59 & 60 και εφόσον δεν υπάρχουν παθογόνα μικρόβια, να συσκευάζει για εσωτερική της κατανάλωση τα νερά των οποίων η καταμέτρηση των ολικών βακτηριδίων υπερβαίνει τις τιμές της ανώτατης παραδεκτής συγκέντρωσης που προδιαγράφεται για την παράμετρο 62. Οι τιμές της ανώτατης παραδεκτής συγκέντρωσης πρέπει να μετρούνται μέσα στις 12 ώρες που ακολουθούν τη συσκευασία, ενώ το νερό των δειγμάτων θα διατηρείται σε μια θερμοκρασία σταθερή κατά τη διάρκεια αυτή των 12 ωρών.					
⁽¹⁾ Για τα νερά που έχουν υποστεί απολύμανση οι αντίστοιχες τιμές πρέπει να είναι σαφώς κατώτερες στην έξοδο του σταθμού κατεργασίας					
⁽²⁾ Κάθε υπέρβαση αυτών των τιμών εφόσον επιμένει κατά τη διάρκεια διαδοχικών δειγματοληψιών πρέπει να γίνει αφορμή για τον έλεγχο					

Πίνακας 11: Μικροβιολογικές παράμετροι (ΦΕΚ 53/20-2-86)

Παράμετροι	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση (νερά που έχουν υποστεί αποσκλήρυνση)	Παρατηρήσεις	
1	Ολική σκληρότητα	mg/l Ca	60	Ασβέστιο ή ισοδύναμα κατίοντα
2	Συγκέντρωση σε ιόντα υδρογόνου	PH		Το νερό δεν πρέπει να είναι δραστικό
3	Αλκαλικότης	mg/l HCO ₃	30	
4	Διαλυμένο οξυγόνο			
-Οι διατάξεις που αφορούν την σκληρότητα, τη συγκέντρωση και τα ιόντα υδρογόνου, το διαλυμένο οξυγόνο και το ασβέστιο έχουν εφαρμογή επίσης στα νερά που προέρχονται από αφάλατωση -Αν λόγω της υπερβολικής φυσικής του σκληρότητας το νερό έχει αποσκληρυνθεί σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, πριν δοθεί στην κατανάλωση, η περιεκτικότητά του σε Νάτριο μπορεί σε εξαιρετικές περιπτώσεις, να είναι ανώτερη από τις τιμές που περιλαμβάνονται στη στήλη των ανωτάτων παραδεκτών συγκεντρώσεων.				

Πίνακας 12: Ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση για το πόσιμο νερό που έχει υποστεί

κατεργασία αποσκλήρυνσης (ΦΕΚ 53/20-2-86)

	Γαλλικός βαθμός	Αγγλικός βαθμός	Γερμανικός βαθμός	mg Ca	Mill moles Ca
Γαλλικός βαθμός	1	0,70	0,56	4,008	0,1
Αγγλικός βαθμός	1,43	1	0,80	5,73	0,143
Γερμανικός βαθμός	1,79	1,25	1	7,17	0,179
mg Ca	0,25	0,175	0,140	1	0,025
Mill moles Ca	10	7	5,6	40,08	1

Πίνακας 13: Πίνακας αντιστοιχίας των διαφόρων μονάδων μετρήσεως της σκληρότητας του νερού

	Ελάχιστος έλεγχος (E1)	Έλεγχος ρουτίνας (E2)	Περιοδικός έλεγχος (E3)	Έκτακτος έλεγχος σε ειδικές περιπτώσεις ή σε ατυχήματα (E4)
A ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	-οσμή -γεύση	-οσμή -γεύση -θολρότητα (όψη)		Η αρμόδια αρχή θα καθορίσει τις παραμέτρους ανάλογα με τις συνθήκες λαμβάνοντας υπόψη όλες τις περιπτώσεις που θα μπορούσαν να έχουν μια ολέθρια επίπτωση στην ποιότητα του πόσιμου νερού που διατίθεται στην κατανάλωση
B ΦΥΣΙΚΟ-ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	-αγωγιμότητα ή μια άλλη παράμετρος φυσικοχημική -χλώριο υπολειμματικό	-θερμοκρασία -αγωγιμότητα ή μια άλλη φυσικοχημική παράμετρος -pH -χλώριο υπολειμματικό	Ανάλυση ελέγχου ρουτίνας + Άλλες παράμετροι	
Γ ΑΝΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ		-νιτρικά -νιτρώδη -αμμωνία		
Δ ΤΟΞΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ				
E ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	-ολικά κολοβακτηριοειδή ή συνολικές μετρήσεις σε 22 ⁰ & 37 ⁰ - κολοβακτηριοειδή κοπράνων	Ολικά κολοβακτηριοειδή - κολοβακτηριοειδή κοπράνων -συνολικές μετρήσεις σε 22 ⁰ & 37 ⁰		

Πίνακας 14: Πίνακας υποδειγμάτων των προτύπων αναλύσεων (ΦΕΚ 53/20-2-86)

Όγκος νερού που παράγεται ή διανέμεται m ³ /ημέρα	Πληθυσμός που τροφοδοτείται (βάσει υπολογισμού 200/ημέρα ανά κάτοικο)	Ανάλυση Ε1	Ανάλυση Ε2	Ανάλυση Ε3	Ανάλυση Ε4
		Αριθμός δειγματοληψιών ανά έτος	Αριθμός δειγματοληψιών ανά έτος	Αριθμός δειγματοληψιών ανά έτος	
100	500	(1)	(1)		Συχνότητα που θα καθοριστεί από την αρμόδια αρχή ανάλογα με την ειδική περίπτωση
1.000	5.000	(1)	(1)		
2.000	10.000	12	3		
10.000	50.000	60	6	1	
20.000	100.000	120	12	2	
30.000	150.000	180	18	3	
60.000	300.000	360 ⁽²⁾	36	6	
100.000	500.000	360 ⁽²⁾	60	10	
200.000	1.000.000	360 ⁽²⁾	120 ⁽²⁾	20 ⁽²⁾	
1.000.000	5.000.000	360 ⁽²⁾	120 ⁽²⁾	20 ⁽²⁾	

⁽¹⁾ Συχνότητα που αφήνεται στην πρωτοβουλία της δημόσιας αρχής της αρμόδιας αρχής. Εν τούτοις ο έλεγχος πρέπει να γίνεται τουλάχιστον μια φορά το χρόνο για τα νερά που προορίζονται για βιομηχανίες τροφίμων
⁽²⁾ Η αρμόδια αρχή θα πρέπει να προσπαθήσει να αυξήσει τη συχνότητα στο μέτρο των μέσων που διαθέτει

Πίνακας 15: Πίνακας ελάχιστης συχνότητας των προτύπων αναλύσεων

(ΦΕΚ 53/20-2-86)

4.3 Η νομοθεσία για την ποιότητα νερού στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Οι οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρέπει να υιοθετούνται και να εκτελούνται από όλα τα κράτη-μέλη της. Για αυτό και κάθε κράτος πρέπει να επιβάλλει πρότυπα τα οποία δεν γίνεται να είναι λιγότερο αυστηρά από αυτά που έχουν καθοριστεί από την κοινοτική οδηγία. Όμως τα κράτη μέλη μπορούν, εάν το επιθυμούν, να θέσουν αυστηρότερα πρότυπα από αυτά της οδηγίας. Τον Ιούλιο του 1980, η Ευρωπαϊκή επιτροπή υιοθέτησε την οδηγία 80/778/EEC που αφορά την ποιότητα του νερού το οποίο προορίζεται για πόσιμο (EEC,1980). Στις 4 Ιανουαρίου του 1995, η Ευρωπαϊκή επιτροπή υιοθέτησε μια πρόταση για απλοποίηση και αναβάθμιση της υπάρχουσας

οδηγίας. Η πρόταση μείωσε τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνταν για τον καθορισμό της ποιότητας του νερού από 66 σε 48 (περιλαμβάνοντας 13 νέα συστατικά), και υποχρέωσε τα κράτη μέλη να καθορίσουν τις τιμές για τις μικροβιολογικές παραμέτρους στα επιθυμητά επίπεδα, πρόσθεσε μεγαλύτερη ευελιξία για επανόρθωση σε τυχόν αποκλίσεις, έδωσε την δυνατότητα για αποτελεσματική παρακολούθηση περιλαμβάνοντας έναν αριθμό δεικτών και πρόσθεσε μια απαίτηση για ετήσιες αναφορές στους καταναλωτές (EC,1996). Αυτή η πρόταση υιοθετήθηκε από το συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις 19 Δεκεμβρίου 1997 (EU,1997).

Στις 3 Νοεμβρίου 1998 το συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης διαμόρφωσε μια νέα οδηγία που αφορούσε την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, 98/83/ΕΚ.

Το Ελληνικό κράτος σε συμμόρφωση με την παραπάνω οδηγία εξέδωσε την κοινή υπουργική απόφαση Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ892/11-07-01) που ρυθμίζει τις παραμέτρους ποιότητας του νερού, όπως φαίνονται στους Πίνακες 16-21 και θα έχει ισχύ από 25 Δεκεμβρίου 2003.

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή (αριθμός/100ml)
Escherichia coli (E.coli)	0
Εντερόκοκκοι	0

Πίνακας 16: Μικροβιολογικές παράμετροι (ΦΕΚ892/11-07-01)

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Ακρυλαμίδιο	0,10	μg/l
Αντιμόνιο	5,0	μg/l
Αρσενικό	10	μg/l
Βενζόλιο	1,0	μg/l
Βενζο-α-πυρένιο	0,010	μg/l
Βόριο	1,0	mg/l
Βρωμικά	10	μg/l

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Κάδμιο	5,0	μg/l
Χρόμιο	50	μg/l
Χαλκός	2,0	mg/l
Κυανιούχα	50	μg/l
1,2-διγλωαιθάνιο	3,0	μg/l
Επιγλωρυδρίνη	0,10	μg/l
Φθοριούχα	1,5	mg/l
Μόλυβδος	10	μg/l
Υδράργυρος	1,0	μg/l
Νικέλιο	20	μg/l
Νιτρικά	50	mg/l
Νιτρώδη	0,50	mg/l
Παρασιτοκτόνα	0,10	μg/l
Σύνολο παρασιτοκτόνων	0,50	μg/l
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	0,10	μg/l
Σελήνιο	10	μg/l
Τετραγλωροαιθέριο και Τριχλωροαιθέριο	10	μg/l
Ολικά τριαλογονομεθάνια	100	μg/l
Βινυλοχλωρίδιο	0,50	μg/l

Πίνακας 17: Χημικές παράμετροι (ΦΕΚ892/11-07-01)

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Αργίλιο	200	μg/l
Αμμώνιο	0,50	mg/l
Χλωριούχα	250	mg/l
Clostridium perfringens (συμπεριλαμβανομένων των σπόρων)	0	Αριθμός / 100 ml
Χρώμα	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Αγωγιμότητα	2500	μS cm ⁻¹ στους 200C
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου		Μονάδες pH
Σίδηρος	200	μg/l
Μαγγάνιο	50	μg/l
Οσμή	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Οξειδωσιμότητα	5,0	mg/l O ₂
Θειικά	250	mg/l
Νάτριο	200	mg/l

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Γεύση	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Αριθμός αποικιών σε 220C και 370C	Άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Κολοβακτηριοειδή	0	Αριθμός / 100 ml
Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	Άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Υπολειμματικό χλώριο		mg/l
θολότητα	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	
ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ		
Τρίτιο	100	becquerel / l
Ολική ενδεικτική δόση	0,10	mSv / έτος

Πίνακας 18: Ενδεικτικές παράμετροι (ΦΕΚ892/11-07-01)

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	μονάδα	Σημειώσεις
PCB's - PCT's	0,50 0,10	μg/l μg/l	Άθροισμα συγκεντρώσεων Μεμονωμένη ουσία
Άργυρος	10	μg/l	
Φαινολικές ενώσεις (πλην πενταχλωροφαινόλης)	0,50	μg/l	
Υδρογονάνθρακες εν διαλύσει ή εν γαλακτώματι- Ορυκτέλαια	10	μg/l	
Επιφανειοδραστικοί παράγοντες	200	μg/l	
Φωσφόρος (P ₂ O ₅)	5	mg/l	
Ξηρό υπόλειμμα	1500	mg/l	
Κάλιο	12	mg/l	
Υδρόθειο	Μη ανιχνεύσιμο οργανοληπτικά		

Πίνακας 19: Παράμετροι συμπληρωματικής παρακολούθησης (ΦΕΚ892/11-07-01)

Όγκος διανεμόμενου ή παραγόμενου νερού ημερησίως σε μια ζώνη παροχής (πίεσεως) m ³	Δοκιμαστική παρακολούθηση Αριθμός δειγμάτων ετησίως	Ελεγκτική παρακολούθηση Αριθμός δειγμάτων ετησίως
100	1	1
101 - 500	4	1
501 - 1000	6	1
1001 - 2000	9	1

+3 ανά 1000 m³/ημ

Όγκος διανεμόμενου ή παραγόμενου νερού ημερησίως σε μια ζώνη παροχής (πίεσεως) m ³	Δοκιμαστική παρακολούθηση Αριθμός δειγμάτων ετησίως	Ελεγκτική παρακολούθηση Αριθμός δειγμάτων ετησίως
2001 - 3000	12	1
3001 - 4000	15	1
4001 - 5000	18	2
5001 - 6000	21	2
6001 - 7000	24	2
7001 - 8000	27	3
8001 - 9000	30	3
9001 - 10000	33	3
.....
19001 - 20000	63	4
.....
29001 - 30000	93	5
.....
99001 - 100000	303	12
100001 - 200000	603	16
.....
900001 - 1000000	3000	52

+3 ανά 1000 m³/ημ

+1 ανά 33000 m³/ημ

+1 ανά 10000 m³/ημ

+1 ανά 25000 m³/ημ

Πίνακας 20: Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας (ΦΕΚ892/11-07-01)

Παράμετροι	Θρβότητα % της παραμετρικής τιμής	Πιστότητα % της παραμετρικής τιμής	Όριο αντίληψης % της παραμετρικής τιμής	Συνθήκες
Ακρυλαμίδιο				Ελέγχεται με βάση τις προδιαγραφές του προϊόντος
Αργίλιο	10	10	10	
Αμμώνιο	10	10	10	
Αντιμόνιο	25	25	25	
Αρσενικό	10	10	10	
Βενζο-α-πυρένιο	25	25	25	
Βενζόλιο	25	25	25	
Βόριο	10	10	10	
Βρωμικά	25	25	25	
Κάδμιο	10	10	10	
Χλωριούχα	10	10	10	
Χρόμιο	10	10	10	
Αγωγιμότητα	10	10	10	
Χαλκός	10	10	10	

Παράμετροι	Ορθότητα % της παραμετρικής τιμής	Πιστότητα % της παραμετρικής τιμής	Όριο αντίξενυσης % της παραμετρικής τιμής	Συνθήκες
Κυανιούχα	10	10	10	
1,2-διγλωραιθάνιο	25	25	10	
Επιγλωρυδρίνη				Ελέγχεται με βάση τις προδιαγραφές του προϊόντος
Φθοριούχα	10	10	10	
Σίδηρος	10	10	10	
Μόλυβδος	10	10	10	
Μαγγάνιο	10	10	10	
Υδάργυρος	20	10	20	
Νικέλιο	10	10	10	
Νιτρικά	10	10	10	
Νιτρώδη	10	10	10	
Οξειδωσιμότητα	25	25	10	
Παρασιτοκτόνα	25	25	25	
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	25	25	25	
Σελήνιο	10	10	10	
Νάτριο	10	10	10	
Θειικά	10	10	10	
Τετραγλωραιθένιο	25	25	10	
Τριγλωραιθένιο	25	25	10	
Ολικά Τριαλογονομεθάνια	25	25	10	
Βινυλοχλωρίδιο				Ελέγχεται με βάση τις προδιαγραφές του προϊόντος
PCB's - PCT's	25	25	25	
Αργυρος	10	10	10	
Φαινολικές ενώσεις (πλην Πενταγλωροφαινόλης)	25	25	25	
Υδρογονάνθρακες εν διαλύσει ή εν γαλακτώματι-Ορυκτέλαια	25	25	25	
Επιφανειοδραστικοί Παράγοντες	20	20	20	
Φωσφόρος (P ₂ O ₅)	10	10	10	
Κάλιο	10	10	10	
Υδρόθειο	10	10	10	
Ξηρό υπόλειμμα	10	10	10	
Υπολειμματικό χλώριο	10	10	10	

Πίνακας 21: Παράμετροι για τις οποίες καθορίζονται χαρακτηριστικά επιδόσεων

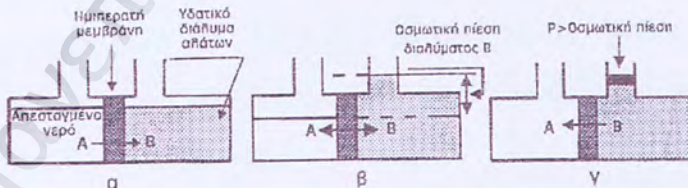
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ - ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1 Αντίστροφη όσμωση

Η αντίστροφη όσμωση είναι μια διεργασία με κινητήρια δύναμη την πίεση, η οποία επιτρέπει το διαχωρισμό των διαλυτών συστατικών από το νερό. Η εφαρμοζόμενη πίεση υπερβαίνει την οσμωτική πίεση του υδατικού διαλύματος έναντι μιας ημιπερατής μεμβράνης, με αποτέλεσμα να εξαναγκάζει τη διέλευση διαμέσου της μεμβράνης καθαρού νερού, το οποίο εγκαταλείπει πίσω του τα διαλυτά συστατικά του.

Όταν τα διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης διαχωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη (Σχήμα 5), τότε το καθαρό νερό από το διάλυμα μικρότερης συγκέντρωσης (Α) διέρχεται διαμέσου της μεμβράνης προς το διάλυμα μεγαλύτερης συγκέντρωσης (Β).



Σχήμα 5: Σχηματική παράσταση φαινομένου (α) όσμωσης,

(β) οσμωτικής ισορροπίας, (γ) αντίστροφης όσμωσης

Η οσμωτική ροή συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί μια κατάσταση ισορροπίας, η οποία χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη στάθμη του διαλύματος μεγαλύτερης συγκέντρωσης (B). Η κατάσταση αυτή ισορροπίας είναι γνωστή ως οσμωτική πίεση του συστήματος των δυο διαλυμάτων. Εάν στο διάλυμα (B) εφαρμοστεί εξωτερική

πίεση μεγαλύτερη από την οσμωτική, τότε διέρχεται διαμέσου της μεμβράνης καθαρό νερό προς το διάλυμα (Α). Η διεργασία αυτή ονομάζεται αντίστροφη όσμωση.

Η αντίστροφη όσμωση είναι μια μέθοδος αντιστροφής της φυσικοχημικής διεργασίας που καλείται όσμωση. Είναι μια διεργασία μεμβράνης, κατά την οποία η μεμβράνη δρα σαν μοριακό φίλτρο που συγκρατεί τα διαλυμένα συστατικά ενός υδατικού διαλύματος.

5.1.1 Ιστορική εξέλιξη

Το φαινόμενο της όσμωσης ανακαλύφθηκε το 1748 από ένα Γάλλο φυσικό, τον Nollet, ο οποίος παρατήρησε ότι το νερό διαχέεται αυθόρμητα διαμέσου μιας κύστης χοίρου στο οινόπνευμα. Σχεδόν 100 χρόνια αργότερα, το 1867, ένας Γερμανός χημικός, ο Traube, πραγματοποίησε πειράματα με τεχνητά κατασκευασμένες μεμβράνες. Χρειάστηκε να περάσουν 200 χρόνια, ώσπου στα τέλη της δεκαετίας του 1950 οι Reid και Breton να κατασκευάσουν τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης από οξική κυτταρίνη. Οι μεμβράνες αυτές παρουσιάζουν χαμηλές παροχές επεξεργασίας, εξαιτίας του υπερβολικού πάχους τους. Οι Loeb και Sourirajan βελτίωσαν τις μεμβράνες οξικής κυτταρίνης πετυχαίνοντας 10 φορές μεγαλύτερη παροχή και ικανότητα διαχωρισμού αλάτων μεγαλύτερη από 95%. Στις αρχές της δεκαετίας του 1960 οι Bray και Westmoreland ανέπτυξαν τις μεμβράνες σπειροειδούς περιέλιξης και το 1973 ο Caddote ανέπτυξε τις μεμβράνες λεπτής στοιβάδας.

Η Du Pont για να μεγιστοποιήσει την επιφάνεια των μεμβρανών ανέπτυξε την τεχνική των πολύ κοίλων ινών, χρησιμοποιώντας παράλληλα νέα υλικά κατασκευής, όπως είναι το Aramid. Η τεχνική αυτή προώθησε τόσο πολύ την τεχνολογία της αντίστροφης όσμωσης, ώστε η Du Pont κέρδισε το 1971 το βραβείο Kirkpatrick για την ανάπτυξη και εμπορική εφαρμογή των συστημάτων όσμωσης κοίλων ινών.

Οι μεμβράνες βελτιώνονται συνεχώς και ανακαλύπτονται νέα υλικά για την κατασκευή τους με στόχο ειδικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα οι μεμβράνες που είναι ανθεκτικές στο χλώριο ή αυτές που χρησιμοποιούνται για συμπύκνωση χυμών. Η βελτίωση των τεχνικών κατασκευής μεμβρανών βελτίωσε τη λειτουργία και την ανθεκτικότητά τους. Ο έλεγχος των παραμέτρων λειτουργίας με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή βελτίωσε τον ποιοτικό έλεγχο της διεργασίας, ενώ η ανάπτυξη μεμβρανών χαμηλής πίεσης λειτουργίας, για παραγωγή καθαρού νερού, από υφάλμυρο ή χαμηλής αλατότητας νερό, βελτίωσε τα οικονομικά δεδομένα της μεθόδου.

5.1.2 Δομή μεμβρανών

Οι μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης κατασκευάζονται από διάφορα πολυμερή, όπως είναι η κυτταρίνη, το πολυαμίδιο, το νάυλον-66, το πολυακρυλονιτρίλιο κ.ά. δομημένα σε δυο κυρίως στρώματα. Το πρώτο στρώμα, το οποίο βρίσκεται πάντα προς το μέρος της υπό πίεση τροφοδοσίας, είναι μια πολύ λεπτή και πυκνή επιδερμίδα, η οποία είναι εκείνη που διαχωρίζει το νερό από τα διαλυτά συστατικά του. Το δεύτερο στρώμα είναι σπογγώδους δομής με αυξημένο πορώδες και χρησιμεύει για τη στήριξη του πρώτου στρώματος, αυξάνοντας τη μηχανική αντοχή του. Δεν υπάρχει σαφής διαχωριστική γραμμή μεταξύ του πορώδους μέρους της μεμβράνης και της επιδερμίδας, καθώς οι πόροι της μεμβράνης γίνονται προοδευτικά μικρότεροι προς την επιφάνεια, μέχρι που η μεμβράνη γίνεται ομοιόμορφη συμπαγής μάζα.

5.1.3 Μηχανισμοί μεταφοράς

Έχουν προταθεί αρκετοί μηχανισμοί για την περιγραφή της μεταφοράς των διαφόρων συστατικών και του νερού διαμέσου των ημιπερατών μεμβρανών υψηλής εκλεκτικότητας. Σήμερα ο μηχανισμός αυτός μεταφοράς εξηγείται με τη θεωρία

διάχυσης των διαλυμάτων. Η θεωρία αυτή δέχεται ότι το νερό και τα συστατικά του απορροφώνται εκλεκτικά στην επιδερμίδα της μεμβράνης, διαχέονται ανεξάρτητα ως νερό και συστατικά σ' αυτή και εκροφώνται στην ενδοεπιφάνεια μεταξύ της επιδερμίδας και του πορώδους υποστρώματος. Από τα προηγούμενα εξάγεται το συμπέρασμα ότι, εξαιτίας του μηχανισμού μεταφοράς, δεν μπορεί να υπάρξει ιδανική ημιπερατή μεμβράνη, η οποία να επιτρέπει τη διέλευση μόνο του νερού και θα είναι αδιαπέραστη από τα διαλυτά συστατικά του. Η εκλεκτικότητα της μεμβράνης ως προς το νερό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόριά του έχουν μεγαλύτερες ταχύτητες απορρόφησης, διάχυσης και εκρόφησης από τις αντίστοιχες των διαλυτών σ' αυτό συστατικών. Συνεπώς η ροή καθαρού νερού διαμέσου της μεμβράνης είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των διαλυτών συστατικών του.

5.1.4 Μαθηματική περιγραφή

Από την άποψη της Χημικής Μηχανικής η αντίστροφη όσμωση είναι δυνατόν να θεωρηθεί ως μια φυσική διεργασία ροής ρευστού διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης, όπου η δρώσα δύναμη είναι η διαφορά πίεσης μεταξύ της εξωτερικής πίεσης και της οσμωτικής πίεσης του νερού, του οποίου τα διαλυτά συστατικά πρόκειται να διαχωριστούν.

Η θεμελιώδης αρχή της κινητικής των διεργασιών περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\frac{dG}{dt} = \frac{\Delta F}{R} \quad (5.1)$$

Όπου, G : διακινούμενη μάζα

F : ωθούσα δύναμη

t : χρόνος

R : αντίσταση

Πειραματικές μελέτες έδειξαν ότι η αντίστροφη όσμωση περιγράφεται από την εξίσωση:

$$Q_w = \frac{K_w(\Delta P - \Delta \Pi)}{d} \quad (5.2)$$

όπου, Q_w : παροχή νερού

K_w : ειδικός συντελεστής διαπερατότητας

$\Delta \Pi$: διαφορά οσμωτικής πίεσης μεταξύ του νερού τροφοδοσίας και του επεξεργασμένου νερού

ΔP : διαφορά πίεσης μεταξύ της τροφοδοσίας και του επεξεργασμένου νερού

A : επιφάνεια μεμβράνης

d : πάχος μεμβράνης

Από τη σύγκριση των (5.1) και (5.2) προκύπτει ότι η αντίσταση στην αντίστροφη όσμωση δίνεται από την σχέση:

$$R_w = \frac{d}{K_w A} \quad (5.3)$$

Η σχέση (5.3) δείχνει ότι η αντίσταση στο φαινόμενο της αντίστροφης όσμωσης είναι ανάλογη του πάχους της μεμβράνης και αντιστρόφως ανάλογη προς την επιφάνειά της. Το γεγονός αυτό εξηγεί την προσπάθεια που καταβάλλεται για την ανάπτυξη μεμβρανών με τη μεγαλύτερη δυνατή επιφάνεια και ταυτόχρονα με το μικρότερο δυνατό πάχος.

Ο ειδικός συντελεστής διαπερατότητας του νερού εξαρτάται από το είδος του πολυμερούς, που είναι κατασκευασμένη η μεμβράνη, από τα πρόσθετα που περιέχει, τη θερμική κατεργασία που υπέστη κ.ά. Για την ίδια μεμβράνη ο συντελεστής K_w εξαρτάται από την θερμοκρασία, την πίεση του νερού τροφοδοσίας, καθώς επίσης και από το χρόνο λειτουργίας της.

Από την εξίσωση (5.2) προκύπτει ότι η ροή του νερού διαμέσου της μεμβράνης είναι ανάλογη της δρώσας πίεσης. Επομένως για να επιτύχουμε μια ικανοποιητική παροχή επεξεργασμένου νερού είναι αναγκαίο να εφαρμόσουμε μια πίεση στο νερό τροφοδοσίας, η οποία να υπερβαίνει σημαντικά την οσμωτική πίεση των ιόντων και των μορίων, Πίνακας 22, που πρόκειται να διαχωριστούν από την μεμβράνη.

Άλας	Συγκέντρωση, mg/L	Οσμωτική πίεση, bar
NaCl	35.000	27,86
NaCl	1.000	0,79
Na ₂ SO ₄	1.000	0,42
MgSO ₄	1.000	0,25
CaCl ₂	1.000	0,58
NaHCO ₃	1.000	0,89
MgCl ₂	1.000	0,67

Πίνακας 22: Οσμωτική πίεση διαλύματος διαφόρων αλάτων (Weber, 1972)

Πηγή: Μ.Μήτρακας 'Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού' 2001

Η ροή των διαλυμένων αλάτων διαμέσου της μεμβράνης είναι ένα φαινόμενο μεταφοράς μάζας διαμέσου ενός υλικού και συνεπώς είναι δυνατόν να περιγραφεί από την εξίσωση (5.1), με την προϋπόθεση ότι η ωθούσα πλέον δύναμη είναι η διαφορά των συγκεντρώσεων πριν και μετά τη μεμβράνη. Επομένως η εξίσωση (5.2) στην περίπτωση αυτή ισχύει ως εξής:

$$Q_s = \frac{K_s [C_F - C_P] A}{d} \quad (5.4)$$

Όπου, Q_s : ροή αλάτων

K_s : ειδικός συντελεστής διαπερατότητας άλατος

C_F : συγκέντρωση άλατος στο νερό τροφοδοσίας

C_p : συγκέντρωση άλατος στο επεξεργασμένο νερό

A : επιφάνεια της μεμβράνης

d : πάχος μεμβράνης

Ο ειδικός συντελεστής διαπερατότητας άλατος εξαρτάται από τη φύση της μεμβράνης, την πίεση λειτουργίας, καθώς επίσης από το είδος και τη συγκέντρωση του άλατος.

Κατ' αντιστοιχία με την εξίσωση (5.3) η αντίσταση στην περίπτωση αυτή δίνεται από την εξίσωση:

$$R_s = \frac{d}{K_s A} \quad (5.5)$$

Διαιρώντας τις εξισώσεις (5.3) και (5.5) κατά μέλη προκύπτει ότι:

$$\frac{R_w}{R_s} = \frac{K_s}{K_w} \quad (5.6)$$

Η σχέση (5.6) υποδεικνύει ότι η επιλογή της μεμβράνης πρέπει να γίνεται κατά τρόπο ώστε ο K_s να είναι κατά το δυνατόν μικρός, ενώ ο K_w κατά το δυνατόν μεγάλος. Έτσι επιτυγχάνεται η μικρότερη αντίσταση στη διέλευση του νερού διαμέσου της μεμβράνης και αντίστοιχα η μεγαλύτερη αντίσταση στη διέλευση των διαλυμένων συστατικών του.

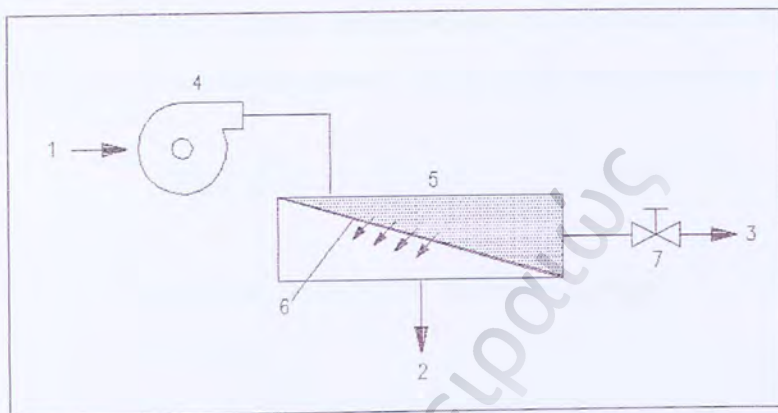
5.1.5 Απόδοση συστημάτων

Στο Σχήμα 6 δίνεται απλοποιημένα το διάγραμμα ροής ενός συστήματος αντίστροφης όσμωσης, το οποίο μπορεί να αποτελείται από ένα στοιχείο ή πολλά στοιχεία συνδεδεμένα παράλληλα ή και σε σειρά. Το νερό τροφοδοσίας κατά τη διέλευσή του διαμέσου του συστήματος διαχωρίζεται σε δυο παροχές νερού. Την παροχή επεξεργασμένου νερού και τη συμπυκνωμένη σε άλατα παροχή που απορρίπτεται. Ως λόγος ανάκτησης ορίζεται:

$$\text{Ανάκτηση, \%} = \frac{Q_E}{Q_T} \times 100 \quad (5.7)$$

Όπου, Q_T : παροχή νερού τροφοδοσίας, m^3/h

Q_E : παροχή επεξεργασμένου νερού, m^3/h



Σχήμα 6: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής της αντίστροφης όσμωσης. 1.Νερό τροφοδοσίας 2.Επεξεργασμένο νερό 3.Συμπυκνωμένη απόρριψη 4.Αντλία υψηλής πίεσης 5.Στοιχείο αντίστροφης όσμωσης 6.Ημιπερατή μεμβράνη 7.Δικλείδα ρυθμιστής ροής απόρριψης

Πηγή: Μ.Μήτρακας 'Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού' 2001

Από την εξίσωση (5.7) προκύπτει ότι ανάκτηση 75% σημαίνει ότι από κάθε $100 m^3$ νερού τροφοδοσίας θα λαμβάνουμε $75 m^3$ αφαλατωμένου νερού και $35 m^3$ συμπυκνωμένου νερού προς απόρριψη. Είναι προφανές ότι ο υψηλός λόγος ανάκτησης συνεπάγεται μικρές απώλειες νερού και συνεπώς είναι επιθυμητός. Μερικές φορές όμως επιβάλλεται χαμηλή τιμή λόγου ανάκτησης εξαιτίας του αυξημένου κινδύνου ιζηματοποίησης ορισμένων αλάτων. Οι μονάδες αντίστροφης όσμωσης σχεδιάζονται συνήθως για λόγο ανάκτησης από 70% έως 80% στην περίπτωση επεξεργασίας υφάλμυρων νερών και από 20% έως 35% στην περίπτωση του θαλασσινού νερού. Η ικανότητα παροχής επεξεργασμένου νερού μιας μεμβράνης, σε σταθερή πίεση,

μειώνεται καθώς αυξάνονται τα διαλυμένα στερεά στο νερό τροφοδοσίας και ο λόγος ανάκτησης, αφού και οι δυο αυτοί παράγοντες αυξάνουν την οσμωτική πίεση.

Ένας όρος που θεωρείται επίσης απαραίτητος για την πληρέστερη κατανόηση της διεργασίας είναι ο λόγος διέλευσης άλατος, ο οποίος ορίζεται από την εξίσωση:

$$\text{Διέλευση άλατος, \%} = \frac{C_E}{C_T} \times 100 \quad (5.8)$$

Όπου, C_T : συνολική συγκέντρωση διαλυμένων συστατικών στο νερό
 τροφοδοσίας, mg/L

C_E : συνολική συγκέντρωση διαλυμένων συστατικών στο
 επεξεργασμένο νερό, mg/L.

Η διέλευση άλατος αυξάνεται, καθώς η διαφορά της πίεσης του νερού τροφοδοσίας από την οσμωτική πίεση ελαττώνεται, επειδή μειώνεται η ροή νερού διαμέσου της μεμβράνης. Η αύξηση των διαλυμένων στερεών του νερού τροφοδοσίας, καθώς επίσης και του λόγου ανάκτησης συνεπάγεται αύξηση του όρου C_F (εξίσωση 5.4) με αποτέλεσμα την αύξηση του λόγου διέλευσης των αλάτων.

Το συμπληρωματικό της διέλευσης άλατος είναι η απόρριψη, η οποία ορίζεται ως εξής:

$$\text{Απόρριψη άλατος, \%} = 1 - (\text{Διέλευση άλατος}) \quad (5.9)$$

Η απόρριψη αλάτων είναι κύριο χαρακτηριστικό των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 23, οι μεμβράνες δεν απομακρύνουν κατά το ίδιο ποσοστό όλα τα ιόντα, αν και συνήθως το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο από 90% κατά την επεξεργασία υφάλμυρων νερών.

Η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά τη ροή του νερού διαμέσου της μεμβράνης. Αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση του ιξώδους του νερού και επομένως την αύξηση της παροχής του νερού που διέρχεται από τη μεμβράνη

(Σχήμα 7). Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C συνεπάγεται αύξηση της παροχής νερού που διέρχεται από τη μεμβράνη κατά 3%.

Ιόν	Απόρριψη, %
Αμμόνιο	92
Νάτριο	95
Κάλιο	95
Μαγνήσιο	97
Στρόντιο	97
Ασβέστιο	98
Νιτρικά	85
Χλωριούχα	95
Φθοριούχα	95
Θειικά	97
Φωσφορικά	99
Όξινα ανθρακικά	95
Πυριτικά	90

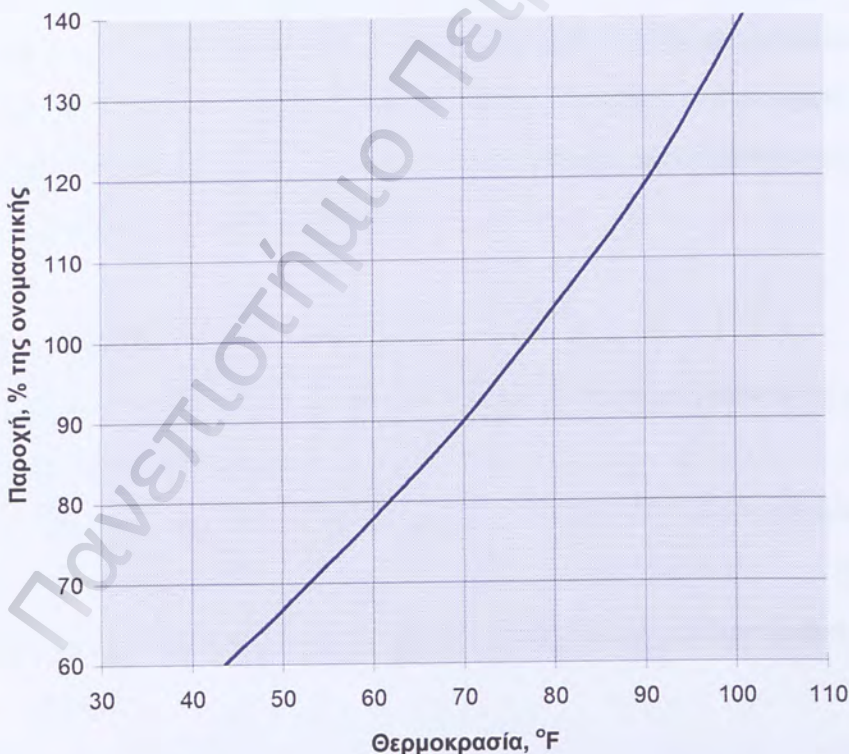
Παρατηρήσεις:
 - Τα βαριά μέταλλα υπάρχουν στο νερό σε μορφή κolloειδούς περισσότερο και όχι ιόντος, με αποτέλεσμα να δημιουργούν προβλήματα έμφραξης της μεμβράνης.
 - Τα αέρια CO₂, O₂ και N₂ διέρχονται από τη μεμβράνη με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις στο επεξεργασμένο νερό. Το ίδιο συμβαίνει και με ορισμένα οργανικά μόρια, όπως είναι για παράδειγμα η φαινόλη, των οποίων το μέγεθος είναι μικρότερο από τη διάμετρο των πόρων.

Πίνακας 23: Ενδεικτικό ποσοστό απόρριψης ιόντων στην αντίστροφη όσμωση

Πηγή: Μ.Μήτρακας 'Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού' 2001

Για την αποδοτική λειτουργία των συστημάτων αντίστροφης όσμωσης απαιτείται η συμπίεση του νερού τροφοδοσίας σε πίεση 2 έως 3 φορές μεγαλύτερη από την

οσμωτική. Στην πράξη, για το γρήγορο υπολογισμό της οσμωτικής πίεσης ενός διαλύματος, χρησιμοποιείται ο πρακτικός κανόνας ότι 100 mg/L ολικά διαλυμένα στερεά δημιουργούν 1 psi οσμωτική πίεση. Έτσι, το θαλασσινό νερό με 35.000 mg/L ολικά διαλυμένα στερεά έχει περίπου 350 psi οσμωτική πίεση, ενώ ένα υφάλμυρο νερό με 15.000 mg/L 150 psi. Το γεγονός αυτό εξηγεί γιατί η χρησιμοποιούμενη πίεση για επεξεργασία με αντίστροφη όσμωση υφάλμυρων νερών είναι 400 – 500 psi και για το θαλασσινό νερό 800 – 1000 psi.



Σχήμα 7: Επίδραση της θερμοκρασίας στην παροχή επεξεργασμένου νερού μιας μεμβράνης, για σταθερή πίεση, λόγω ανάκτησης και σύνολο διαλυμένων στερεών

Πηγή: Μ.Μήτρακας 'Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού' 2001

Η επιπλέον πίεση, πάνω από την οσμωτική, είναι επίσης απαραίτητη για τη διασφάλιση τυρβώδους ροής μέσα στο στοιχείο. Η τυρβώδης ροή τείνει να μειώσει το στάσιμο στρώμα νερού που δημιουργείται στην επιφάνεια της μεμβράνης. Χαμηλές ταχύτητες ροής επιτρέπουν την ανάπτυξη υψηλών τοπικών συγκεντρώσεων στην επιφάνεια της μεμβράνης, οι οποίες παρεμποδίζουν τη διέλευση του νερού διαμέσου της μεμβράνης και αυξάνουν τον κίνδυνο δημιουργίας επικαθήσεων στη μεμβράνη.

Η διάρκεια ζωής των μεμβρανών για τεχνοοικονομικούς λόγους θα πρέπει να υπερβαίνει τα 5 έτη, αν και οι τεχνοοικονομικές συνθήκες διαφέρουν από εφαρμογή σε εφαρμογή. Συνήθως οι κατασκευαστές δίνουν εγγύηση λειτουργίας των μεμβρανών οξικής κυτταρίνης και αρωματικού πολυαμιδίου τουλάχιστον 3 χρόνια για επεξεργασία υφάλμυρων νερών. Μια μεμβράνη θεωρείται ότι έληξε η ζωή της όταν διπλασιαστεί ο αρχικός συντελεστής διέλευσης αλάτων και όταν η παροχή επεξεργασμένου νερού μειωθεί κάτω από ένα ελάχιστο αποδεκτό όριο.

5.1.6 Είδη μεμβρανών

Από την ανάλυση που προηγήθηκε καθίσταται σαφές ότι τα κριτήρια κατασκευής και επιλογής της μεμβράνης είναι:

- Να έχει υψηλό συντελεστή διέλευσης του νερού και υψηλό συντελεστή απόρριψης αλάτων.
- Να έχει τη μεγαλύτερη δυνατή επιφάνεια σε συνδυασμό με το μικρότερο δυνατό πάχος.

Με βάση τα κριτήρια αυτά κατασκευάστηκαν διάφοροι τύποι μεμβρανών, από τους οποίους οι σπουδαιότεροι σε χρήση σήμερα, καθώς και η επιφάνειά τους ανά μονάδα όγκου της μεμβράνης, είναι τα εξής:

- Επίπεδη $165 \text{ m}^2/\text{m}^3$

- Κυλινδρική 335 m²/m³
- Σπειροειδούς διαμόρφωσης 1000 m²/m³
- Λεπτών κοίλων ινών 16500 m²/m³

Από τις μεμβράνες αυτές οι επίπεδες χρησιμοποιούνται συνήθως για εργαστηριακές δοκιμές. Οι κυλινδρικές έτυχαν κάποιας εμπορικής επιτυχίας σε διαχωρισμούς κυρίως χημικών ενώσεων και στην επεξεργασία τροφίμων, επειδή το κόστος τους ήταν απαγορευτικό για την εφαρμογή τους στην επεξεργασία νερού, όπου χρησιμοποιούνται κυρίως τα στοιχεία (μεμβράνες) σπειροειδούς διαμόρφωσης και λεπτών κοίλων ινών.

1. Στοιχεία σπειροειδούς διαμόρφωσης

Τα στοιχεία σπειροειδούς διαμόρφωσης (Παράρτημα Α, Σχήμα 1) αποτελούνται από δυο παράλληλα φύλλα ημιπερατής μεμβράνης, τα οποία ενδιάμεσα περικλείουν ως υποστήριγμα ένα πορώδες υλικό και τα οποία είναι υδατοστεγώς κλειστά κατά τις τρεις διαστάσεις με συγκολλητική ουσία. Το σύνολο αυτό, μαζί με μια εσωτερική διαχωριστική μεμβράνη, τυλίγεται γύρω από ένα διάτρητο σωλήνα συλλογής του επεξεργασμένου νερού. Η εσωτερική μεμβράνη διαχωρίζει κάθε περιέλιξη της ημιπερατής μεμβράνης εξασφαλίζοντας τη ροή του νερού στο εσωτερικό του «φακέλου». Το καθαρό νερό διαπερνά τη μεμβράνη προς το πορώδες υπόστρωμα και διαμέσου αυτού μεταφέρεται ελικοειδώς προς το σωλήνα συλλογής του επεξεργασμένου νερού. Το συμπυκνωμένο με συστατικά νερό, που δε διέρχεται από τη μεμβράνη, οδηγείται στην έξοδο αποχέτευσης του στοιχείου.

2. Στοιχεία λεπτών κοίλων ινών

Οι λεπτές κοίλες ίνες μπορούν να θεωρηθούν ως μικροί αγωγοί, η διάμετρος των οποίων είναι συγκρίσιμη με αυτή της ανθρώπινης τρίχας. Έτσι, σε ένα σωλήνα Φ100 mm για παράδειγμα είναι δυνατόν να χωρέσουν ένα εκατομμύριο τέτοιες ίνες. Το υλικό κατασκευής τους είναι πολυαμίδιο, ενώ η κατασκευή τους είναι ασύμμετρη. Στην

εξωτερική επιφάνεια έχουν μια λεπτή (πάχους $<1\mu\text{m}$) και ανθεκτική «επιδερμίδα», η οποία επιτρέπει τη διέλευση του νερού απορρίπτοντας τα συστατικά που περιέχει. Κάτω από την επιδερμίδα το υλικό της ίνας είναι πορώδες, για να διευκολύνει τη ροή του νερού προς το εσωτερικό της. Πολλές ίνες μαζί αποτελούν το στοιχείο της αντίστροφης όσμωσης (Παράρτημα Α, Σχήμα 2), από το ένα άκρο του οποίου εισέρχεται το νερό και από το άλλο λαμβάνονται το επεξεργασμένο νερό και το συμπύκνωμα απόρριψης. Τα στοιχεία λεπτών κοίλων ινών ομοιάζουν με τους σωληνωτούς εναλλάκτες θερμότητας όπου το νερό τροφοδοσίας ρέει στο εξωτερικό μέρος των σωληνώσεων (κέλυφος) και το επεξεργασμένο καθαρό νερό, αφού διέλθει από το τοίχωμα των σωλήνων, ρέει μέσα σ' αυτούς. Με ειδική διαμόρφωση της εξόδου του στοιχείου τα δυο ρεύματα λαμβάνονται ξεχωριστά.

5.1.7 Υλικά κατασκευής των μεμβρανών

Έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα υλικά για την κατασκευή μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης. Από αυτά η οξική κυτταρίνη και τα παράγωγά της, καθώς επίσης το αρωματικό πολυαμιδίο χρησιμοποιήθηκαν σε εμπορική κλίμακα, επειδή παρουσίασαν καλύτερη συμπεριφορά.

Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες μεμβράνες κυτταρίνης είναι κατασκευασμένες από διοξική κυτταρίνη, τριοξική κυτταρίνη και μίγμα διοξικής-τριοξικής κυτταρίνης. Έχουν ασύμμετρη κατασκευή αποτελούμενη από μια επιδερμίδα πάχους $0,2\ \mu\text{m}$ και μια πορώδη μάζα, η οποία μπορεί να συγκρατήσει νερό ίσο με τα $2/3$ του βάρους της. Είναι ευαίσθητες στην παρουσία μικροοργανισμών, επειδή τις αποσυνθέτουν, ενώ υπολειμματικό χλώριο της τάξης του $1\ \text{mg/L}$ συνεισφέρει αποτελεσματικά στην προστασία τους. Οι μεμβράνες οξικής κυτταρίνης υδρολύονται, γεγονός που επηρεάζει

την διάρκεια ζωής τους. Η ταχύτητα υδρόλυσης αυξάνεται με τη θερμοκρασία και επηρεάζεται από το pH, είναι δε περιορισμένη στην περιοχή pH 3 έως 7.

Οι μεμβράνες από αρωματικό πολυαμίδιο παρουσιάζουν ευρύ φάσμα εφαρμογών, επειδή έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, μεγάλη αντοχή στην επίδραση των μικροοργανισμών, ευκαμψία και αποδεκτό κόστος. Δεν υδρολύονται και λειτουργούν αποδοτικά σε τιμές pH από 3 έως 11, είναι όμως ευαίσθητες στα οξειδωτικά, όπως είναι το υποχλωριώδες νάτριο, τα οποία για το λόγο αυτό πρέπει να καταστρέφονται με αναγωγικά πριν από την επαφή νερού τροφοδοσίας με τη μεμβράνη. Ο προσεκτικός έλεγχος των μετα- και παρα – ομάδων, καθώς επίσης το είδος και ο αριθμός των ομάδων R, επιτρέπουν την ανάπτυξη μεμβρανών για συγκεκριμένες εφαρμογές.

5.1.8 Απαιτούμενη προκατεργασία του νερού τροφοδοσίας

Ανάλογα με το βαθμό ευαισθησίας κάθε μεμβράνης σε ενδεχόμενη έκφραξη από διάφορες ουσίες του νερού τροφοδοσίας, εγείρεται η απαίτηση προκατεργασίας του. Από την πλήρη χημική ανάλυση του νερού τροφοδοσίας εντοπίζονται οι δυσμενείς παράγοντες, όπως είναι η μεγάλη σκληρότητα, οι οποίοι επηρεάζουν τη λειτουργία της μεμβράνης. Η βασική απαίτηση της προκατεργασίας είναι αποφυγή γενικά της ρύπανσης της μεμβράνης, ένα φαινόμενο πολύπλοκο που επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους. Οι παράγοντες που προκαλούν ρύπανση της μεμβράνης, επηρεάζοντας την απόδοσή της, είναι οι εξής:

- Επικαθήσεις αλάτων
- Επικαθήσεις υδροξειδίων των μετάλλων
- Βιολογικές επικαθήσεις
- Επικαθήσεις κολλοειδών
- Έκφραξη

1. Επικαθήσεις αλάτων

Η υπέρβαση του γινόμενου διαλυτότητας ορισμένων αλάτων στο συμπύκνωμα απόρριψης έχει ως αποτέλεσμα την ιζηματοποίηση τους πάνω στη μεμβράνη. Τα συνηθέστερα σχηματιζόμενα άλατα είναι το CaCO_3 , το CaSO_4 , το CaF_2 , το $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$, το BaSO_4 , το SrSO_4 , καθώς επίσης και διάφορα πυριτικά. Στο τμήμα 14.9 αναφέρονται σε έκταση οι τεχνικές πρόληψης των ανθρακικών επικαθήσεων, οι οποίες ουσιαστικά ισχύουν και για τα υπόλοιπα άλατα του ασβεστίου.

Συγκεντρώσεις στροντίου 10-15 mg/L ή 0,05-0,1 mg/L βαρίου στο νερό τροφοδοσίας είναι αρκετές για να δημιουργήσουν επικαθήσεις θεικών αλάτων. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προκατεργασία η αποσκλήρυνση, καθώς επίσης και η προσθήκη εξαμεταφωσφορικού νατρίου.

Το διοξείδιο του πυριτίου απαντά στα νερά σε συγκεντρώσεις από 5 έως 50 mg/L. Όταν επέλθει υπερκορεσμός τότε πολυμερίζεται σε αδιάλυτο κολλοειδές πυρίτιο, το οποίο αποτίθεται στη μεμβράνη.

2. Επικαθήσεις υδροξειδίων των μετάλλων

Συχνά ορισμένα ιόντα μετάλλων, που περιέχει το νερό τροφοδοσίας, οξειδώνονται στην επιφάνεια ή μέσα στη μεμβράνη σχηματίζοντας με τον τρόπο αυτό επικαθήσεις αδιάλυτων υδροξειδίων ή οξειδίων τους. Η συνηθέστερη περίπτωση στην κατηγορία αυτή είναι ο σχηματισμός υδροξειδίου του σιδήρου και των οξειδίων του μαγγανίου. Για την αποφυγή επικαθήσεων των μετάλλων αυτών είτε πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα αποφυγής της οξείδωσής του είτε πρέπει να απομακρύνονται από το νερό τροφοδοσίας.

3. Βιολογικές επικαθήσεις

Οι βιολογικές επικαθήσεις προκαλούνται από την ανάπτυξη μικροοργανισμών στο στοιχείο της αντίστροφης όσμωσης. Συνήθως για την καταπολέμηση των μικροοργανισμών χρησιμοποιείται η χλωρίωση του νερού τροφοδοσίας. Το

απολυμαντικό μέσο πρέπει να επιλέγεται με βάση το είδος και την ποσότητα των μικροοργανισμών, που πρόκειται να καταστραφούν, καθώς επίσης με βάση το κόστος και την ανθεκτικότητα της μεμβράνης σ' αυτό.

4. Επικαθήσεις κολλοειδών

Το νερό τροφοδοσίας περιέχει συχνά κολλοειδή του αργίλιου και του σιδήρου. Τα κολλοειδή της μορφής αυτής είναι υδρόφοβα, το μέγεθός τους κυμαίνεται από 0,3 έως 1μm και είναι σταθερά, επειδή είναι ομοιόμορφα ηλεκτρικά φορτισμένα. Κατά τη διεργασία της αντίστροφης όσμωσης αποσταθεροποιούνται με αποτέλεσμα τη συσσωμάτωσή τους και συνεπώς την αύξηση του μεγέθους τους έως και 10 μm. Τα συσσωματώματα αυτά έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από τις διόδους της μεμβράνης και επομένως παγιδεύονται και συσσωρεύονται μέσα στο στοιχείο. Θεωρητικά το πρόβλημα είναι σοβαρότερο στα στοιχεία λεπτών κοίλων ινών από ότι στα στοιχεία σπειροειδούς διαμόρφωσης, γεγονός που οφείλεται στο διαφορετικό μέγεθος των καναλιών ροής του συμπυκνώματος απόρριψης.

Η συγκέντρωση των κολλοειδών στο νερό προσδιορίζεται από το δείκτη Silt Density Index (SDI), τον οποίο χρησιμοποιούν οι κατασκευαστές στοιχείων αντίστροφης όσμωσης για να θέσουν τα όρια αποδοχής της περιεκτικότητας σε κολλοειδή του νερού τροφοδοσίας. Το όριο αυτό είναι συνήθως $SDI < 3$. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κολλοειδούς αποσταθεροποιούνται (κροκίδωση/συσσωμάτωση) και διαχωρίζονται. Για το διαχωρισμό τους χρησιμοποιείται μια από τις διεργασίες καθίζησης ή διήθησης ή συνδυασμός και των δύο.

5. Έμφραξη - Καθαρισμός

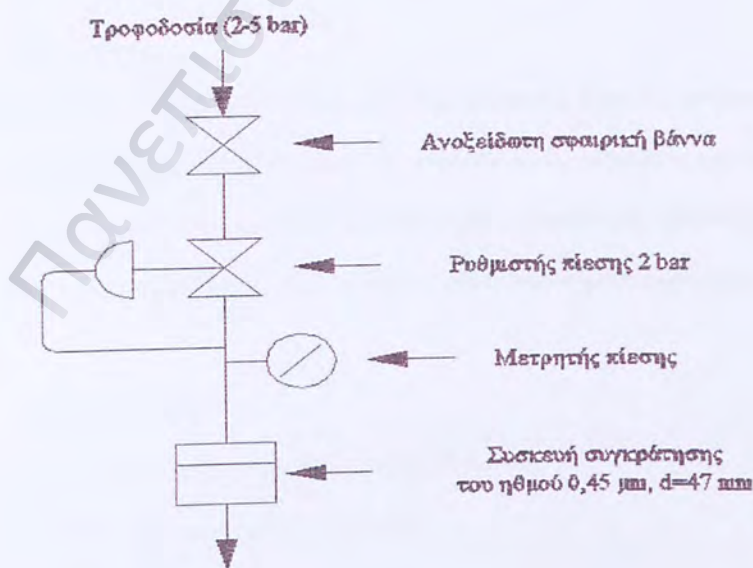
Τα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο από τους πόρους της μεμβράνης παγιδεύονται μέσα στη μεμβράνη προκαλώντας έμφραξη του στοιχείου. Στην πράξη δεν έχουν παρατηρηθεί σοβαρά προβλήματα έμφραξης, ακόμα και στοιχεία λεπτών κοίλων ινών,

γεγονός που πιστοποιεί την αποτελεσματικότητα των χρησιμοποιούμενων συστημάτων διήθησης 5 έως 10 μm . Για την αποφυγή εμφράξεων κατά κανόνα θα πρέπει να απομακρύνονται τα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο από το 1/5 του ελάχιστου μεγέθους των διαύλων ροής του συμπυκνώματος απόρριψης.

Για τον καθαρισμό των στοιχείων που έχουν ρυπανθεί χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση HCl (pH = 2,5), NaOH (pH = 11), καθώς επίσης και κιτρικό οξύ (pH = 4).

5.1.9 Υπολογισμός του Slit Density Index (SDI)

Ο δείκτης SDI υπολογίζεται με βάση το ρυθμό ενός ηθμού, με διάκενα 0,45 μm ($d = 47$ mm), από το οποίο διέρχεται το δείγμα υπό πίεση 2 bar. Αν και ο δείκτης SDI δεν είναι ακριβές μέγεθος, παρόλα αυτά είναι η καλύτερη μέθοδος μέτρησης της συγκέντρωσης των κολλοειδών και διαπιστώθηκε πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ του δείκτη SDI και του ρυθμού έμφραξης των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης. Για τον προσδιορισμό του χρησιμοποιείται η διάταξη του Σχήματος 8.



Σχήμα 8: Πειραματική διάταξη προσδιορισμού του δείκτη SDI

Η τιμή του SDI υπολογίζεται από τη σχέση:

$$SDI = \frac{P_{30}}{T} = \frac{\left(1 - \frac{t_i}{t_f}\right) \cdot 100}{T} \quad (5.10)$$

Όπου, P_{30} : έμφραξη με πίεση νερού τροφοδοσίας 2 bar, %

T : ολικός χρόνος πειράματος*, min

t_i : αρχικός χρόνος λήψης του δείγματος (500 mL), s

t_f : χρόνος λήψης του δείγματος ίδιου όγκου μετά την παρέλευση του χρόνου T , s

* Συνήθως ο συνολικός χρόνος του πειράματος είναι 15 min.

Για ακριβή μέτρηση του SDI η τιμή P_{30} δεν πρέπει να υπερβαίνει το 75%.

Εάν $P_{30} > 75\%$, τότε επαναλαμβάνεται η πειραματική διαδικασία και ο χρόνος t_f υπολογίζεται σε συνολικό χρόνο πειράματος λιγότερο από 15 min.

5.2 Απόσταξη

Η μέθοδος αυτή της αφάλατωσης έχει γνωρίσει διάφορες τεχνικές, ανάλογα με τον τρόπο που προσφέρεται η θερμική ενέργεια, ανάλογα με τις επινοήσεις για την όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη διαδικασία παραλαβής περισσότερης ποσότητας γλυκού νερού, καθώς και της καλύτερης εξοικονόμησης χρησιμοποιούμενου καυσίμου.

5.2.1 Αρχή λειτουργίας

Όλες αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν τα εξής στάδια:

- 1 Τη θέρμανση του θαλασσινού νερού.
- 2 Την απομάκρυνση του ατμού από το υγρό που προήλθε και συγχρόνως τη μεταφορά του σε άλλο χώρο.

- 3 Τη συμπίκνωση του ατμού, χαμηλώνοντας τη θερμοκρασία του, φέρνοντάς τον σε επαφή με ψυχρές επιφάνειες. Εκεί, πλέον, μετατρέπεται πάλι σε υγρό.
- 4 Τη μεταφορά και φύλαξη σε δεξαμενές του παραγόμενου αποσταγμένου νερού.

Το νερό που παράγεται με απόσταξη δεν περιέχει άλατα ή άλλες ουσίες, επειδή αυτά δεν αποσταάζουν.

Εξέλιξη στον τομέα της απόσταξης αποτελούν οι πλωτές κατασκευές οι οποίες είτε αγκυροβολούνται σε κάποια απόσταση από την ακτή, είτε μεταφέρονται μονίμως από τόπο σε τόπο, κατά περίπτωση των τοπικών αναγκών. Σ' αυτές, όλο το συγκρότημα των αποστακτήρων και των συστημάτων θερμικής ενέργειας βρίσκεται σε ειδικά κατασκευασμένο πλωτό σκάφος. Οι ποσότητες πόσιμοι πόσιμοι νερού μεταφέρονται μέσω εύκαμπτων σωληνώσεων στην ακτή, για αποθήκευση και κατανάλωση.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα που παρουσιάζεται στις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με απόσταξη, είναι η διάβρωση των μεταλλικών τμημάτων των συσκευών και ο σχηματισμός αποθέσεων αλάτων στις σωληνώσεις και στους θαλάμους απόσταξης.

Οι ανεπιθύμητες αυτές καταστάσεις δημιουργούνται πρώτον από τη χημική σύσταση του θαλασσινού νερού και, δεύτερον, από το είδος των χρησιμοποιούμενων μετάλλων στις διάφορες κατασκευές. Από τη φύση του το θαλασσινό νερό περιέχοντας πλήθος διαλυμένων αλάτων και μετάλλων, καθίσταται ένα υλικό που προκαλεί από μόνο του φαινόμενα ηλεκτρόλυσης και διάβρωσης κατά την επαφή του με τα μέταλλα. Όσο καλύτερα και αν είναι οι κατασκευές από πλευράς αντοχής απέναντι στη σκουριά ή και σε οποιαδήποτε μορφή διάβρωσης, παρουσιάζουν πρόβλημα μετά από παρέλευση ορισμένων μηνών λειτουργίας. Τα πλέον ανοξειδωτά υλικά έχουν δοκιμαστεί γι' αυτό

το σκοπό, αλλά και πάλι παρουσίασαν δείγματα εμφανούς φθοράς μετά από παρέλευση ενός έτους λειτουργίας.

Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την κατασκευή όσο το δυνατόν καλύτερων υλικών, με εσωτερική επένδυση των επιφανειών που έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό, όπως μικτά ανθεκτικά υλικά από κεραμικό, μέταλλο και πλαστικό. Η άλλη αντιμετώπιση αφορά την κατεργασία του νερού πριν μπει στη μονάδα αφαλάτωσης, με σκοπό να το καταστήσει όσο το δυνατόν πιο αδρανές και λιγότερο οξειδωτικά βλαπτικό για τις εγκαταστάσεις.

Πρωτίστως το θαλασσινό νερό απαλλάσσεται από τις οργανικές ενώσεις που φέρει μέσα του. Αυτό επιτυγχάνεται με αρχική διήθηση του νερού. Το νερό διέρχεται μέσα από σειρά φίλτρων και καθαρίζεται από πάσης φύσεως στερεά αιωρήματα και μικροοργανισμούς. Στη συνέχεια, χλωριώνεται. Προστίθεται μια μικρή ποσότητα χλωρίου, αλλά αρκετή για να αδρανοποιήσει τους μικροοργανισμούς: περίπου 0,5 χιλιοστά του γραμμαρίου για κάθε λίτρο νερό.

Οι αποθέσεις στερεών καταλοίπων οφείλονται κυρίως στα άλατα ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3), υδροξειδίου του μαγνησίου (Mg(OH)_2) και σε ενυδατώσεις του θεικού ασβεστίου (CaSO_4).

Απ' αυτά τα άλατα γίνεται προσπάθεια το ανθρακικό ασβέστιο και το υδροξείδιο του μαγνησίου να παραμείνουν με χημικό τρόπο στο νερό διαλυμένα και να συγκρατηθούν σ' αυτό, για να μην κατακαθίσουν στις επιφάνειες της συσκευής. Ελέγχεται η διαλυτότητά τους με προσθήκη χημικών ουσιών. Αυτές οι προστιθέμενες ουσίες ρυθμίζουν το pH του νερού και το κρατούν σε τέτοια επίπεδα ώστε να μην αποβάλλονται αυτά τα άλατα και επικάθονται ως στερεά. Οι χημικές αυτές ουσίες που δρουν σαν προσθετικά συστατικά είναι διάφορες πολυφωσφορικές ενώσεις και τα οξέα υπό ελαφρά μορφή – θειικό και κιτρικό οξύ -.

Μια άλλη μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις, όχι μόνο στην αφαλάτωση αλλά και εκεί όπου έχουμε συσκευές που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί βραστό νερό (πλυντήριο κ.α.) για κάποια επεξεργασία είναι η ακόλουθη:

Πριν το θαλασσινό νερό εισέλθει στην μονάδα απόσταξης, υφίσταται κατεργασία σε δυο στάδια. Στο πρώτο προστίθεται ανθρακικό μαγνήσιο ($MgCO_3$). Με την ένωση αυτή, το ασβέστιο καταβυθίζεται σαν ανθρακικό ασβέστιο. Συνδέεται το ασβέστιο στη θέση του μαγνησίου (γίνεται μια ανταλλαγή) και έτσι το νέο συστατικό που προκύπτει, το ανθρακικό ασβέστιο, παρουσιάζεται ως στερεό συστατικό αδιάλυτο στο νερό, με αποτέλεσμα να διαχωριστεί απ' αυτό και να πέσει σαν στερεό κατάλοιπο.

Στο δεύτερο στάδιο προστίθεται υδροξείδιο του ασβεστίου ($Ca(OH)_2$) πάλι για τον ίδιο λόγο. Για άλλη μια φορά, ενώνεται το υπόλοιπο ασβέστιο στη νέα αυτή ένωση. Όσο δηλαδή ασβέστιο παρέμεινε διαλυμένο μέσα στο νερό, γίνεται πάλι στερεό ανθρακικό ασβέστιο και διαχωρίζεται από το νερό.

Αυτές οι διαδικασίες γίνονται στο νερό πριν αυτό περάσει στη συσκευή αφαλάτωσης. Έτσι, το θαλασσινό νερό έχει απαλλαγεί από το ασβέστιο που είναι το βασικό συστατικό για τη δημιουργία στερεών αποθέσεων.

Μια άλλη διαδικασία που υφίσταται το θαλασσινό νερό πριν περάσει στη συσκευή απόσταξης, είναι η απαέρωση. Το θαλασσινό νερό όπως και όλα τα νερά στη φύση, περιέχουν μια ποσότητα διαλυμένου αερίου οξυγόνου. Η ποσότητα αυτή του οξυγόνου στο νερό, είναι είτε φυσικά διαλυμένη ως μίγμα που έχει υποστεί ανάμιξη μηχανική (οξυγόνο συν νερό), είτε είναι χημική ανάμιξη που έχει προέλθει από οξυγονούχες ουσίες, οι οποίες έχουν διαλυθεί στο νερό. Ωστόσο, η κυρίως πηγή του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας. Εξάλλου, η ανάπτυξη μορφών ζωής που υπάρχουν σε κάθε είδους νερό, τόσο στη θάλασσα όσο και στις λίμνες και τα

ποτάμια, οφείλεται εκτός των άλλων παραγόντων και στην ύπαρξη του οξυγόνου σ' αυτό.

Το οξυγόνο όμως, στην περίπτωση της επεξεργασίας για αφαλάτωση με απόσταξη, είναι ανεπιθύμητο στο θαλασσινό νερό λόγω του υψηλού βαθμού οξείδωσης που προκαλεί στα μέταλλα, και μάλιστα κατά τη διαδικασία θέρμανσης, όπου τα φαινόμενα αντίδρασης με οξυγόνο είναι πολύ έντονα.

Η απομάκρυνση του οξυγόνου από το νερό λέγεται αποξυγόνωση και περιλαμβάνει ένα στάδιο επεξεργασίας του θαλασσινού νερού άκρως απαραίτητο και σημαντικό, πριν το νερό οδηγηθεί για αφαλάτωση. Η απαέρωση γίνεται με την είσοδο στο νερό ενός άλλου αδρανούς αερίου. Συνήθως γίνεται με τον ατμό, που παράγεται στην εγκατάσταση. Έτσι δίνεται και η ευκαιρία στο θαλασσινό νερό να θερμανθεί (ώστε να απαλλαχθεί από το O_2) πριν ακολουθήσει η κυρίως διαδικασία. Στις διατάξεις που αναφέρθηκαν υπάρχουν ορισμένες οι οποίες χρησιμοποιούν διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) για απαέρωση. Το αέριο ή ο ατμός διοχετεύεται στο θαλασσινό νερό (εντός κατακόρυφης κυλινδρικής δεξαμενής).

Αφήνεται να διασχίσει το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του νερού σε ελεύθερη ροή (από κάτω προς τα πάνω) και οι φυσαλίδες του αερίου διώχνουν προς τα έξω ή παρασύρουν το διαλυμένο οξυγόνο έξω από το νερό.

5.2.2 Μέθοδοι αποστάξεως

Οι πιο συνήθεις μέθοδοι αποστάξεως είναι:

1. MSF Απόσταξη πολλαπλών σταδίων χωρίς συμπαραγωγή ηλεκτρισμού (μικρές μονάδες). Η 'MSF' χρησιμοποιεί την ενέργεια του ατμού και εφαρμόζεται από το 1950, με μεγάλες αυτοτελείς μονάδες παραγωγής 4000 – 3000 m^3 /ημέρα

2. MSF D/p Απόσταξη πολλαπλών σταδίων με συμπαραγωγή ηλεκτρισμού (μεγάλες μονάδες)
3. MED Απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων. Η 'MED' χρησιμοποιεί την ενέργεια ατμού και ηλεκτρισμού και αναπτύχθηκε αργότερα, με μεσαίες μονάδες παραγωγής 2000 – 10000 m³/ημέρα.
4. MVC Απόσταξη και συμπίεση. Η 'MVC' χρησιμοποιεί την ενέργεια μόνο του ηλεκτρισμού και εφαρμόζεται την τελευταία εικοσαετία με μικρές μονάδες παραγωγής 20 – 2000 m³/ημέρα κυρίως σε θαλάσσιες πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου, βιομηχανικές εγκαταστάσεις και σε ξενοδοχεία.
5. MSF + RO Μεικτό σύστημα. Αυτό το μεικτό σύστημα, εξασφαλίζει χαμηλότερο αρχικό κόστος του έργου, αλλά και χαμηλότερο κόστος λειτουργίας για μεγάλες κυρίως μονάδες και όπου προβλέπεται συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αφαλατωμένου νερού. Εφαρμόζονται ταυτόχρονα και τα δύο συστήματα 'Απόσταξης MSF' (που παράγει αποσταγμένο νερό) και 'Αντίστροφης όσμωσης RO' (που παράγει νερό με περίσσεια αλάτων), τα οποία και αναμιγνύονται, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα του πόσιμου νερού.

5.3 Ηλεκτροδιάλυση

Η ηλεκτροδιάλυση είναι μια ηλεκτροχημική μέθοδος διαχωρισμού με τη βοήθεια μεμβρανών ηλεκτροδιάλυσης των διαλυτών συστατικών του νερού υπό την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου. Όταν ένα νερό με υψηλή συγκέντρωση ιόντων εκτεθεί σε ένα ηλεκτρικό πεδίο, τότε παρατηρείται κίνηση κατιόντων προς την κάθοδο και των ανιόντων προς την άνοδο. Εάν ανάμεσα στα ηλεκτρόδια τοποθετηθεί με παράλληλη

εναλλαγή μια σειρά ειδικών μεμβρανών ηλεκτροδιάλυσης, από τις οποίες οι μισές είναι διαπερατές σε ανιόντα και οι υπόλοιπες σε κατιόντα, τότε δημιουργούνται διαμερίσματα με μεγαλύτερη και μικρότερη της αρχικής συγκέντρωση των αλάτων.

5.3.1 Μεμβράνες ηλεκτροδιάλυσης

Αντίθετα με τις ημιπερατές μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην αντίστροφη όσμωση, οι μεμβράνες ηλεκτροδιάλυσης είναι αδιαπεράστες από το νερό, αλλά επιτρέπουν τη διέλευση όλων των ιονιζόμενων ομάδων ή ορισμένου μόνο μεγέθους, υπό την επίδραση της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των διαλυμάτων που βρίσκονται σε επαφή με τις δυο πλευρές της. Για την κατασκευή των μεμβρανών χρησιμοποιούνται συνήθως κατιοντικές ή ανιοντικές ρητίνες.

Μια μεμβράνη διέλευσης κατιόντων είναι μια επίπεδη επιφάνεια κατασκευασμένη από ρητίνη ιοντοεναλλαγής κατιόντων, η οποία περιέχει ένα πλέγμα πόρων μικρού μεγέθους, έτσι ώστε να μην ευνοείται η ροή του νερού διαμέσου αυτών. Οι πόροι αυτοί περιλαμβάνονται μαζί με τα ηλεκτροαρνητικά φορτία στη δομή της μεμβράνης. Σχεδόν όλες οι μεμβράνες που διατίθενται στο εμπόριο χρησιμοποιούν ως αρνητικά φορτισμένες ομάδες τις σουλφονικές. Με τον τρόπο που είναι κατασκευασμένες οι μεμβράνες διέλευσης κατιόντων επιτρέπουν τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος υπό τη μορφή μετακίνησης μιας μάζας κατιόντων, τα οποία κινούνται προς τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ οι εγκατεστημένες αρνητικά φορτισμένες ομάδες απωθούν τα ομώνυμα φορτισμένα σωματίδια και τα ανιόντα.

Οι μεμβράνες διέλευσης ανιόντων είναι όμοιες με αυτές της διέλευσης κατιόντων με τη διαφορά ότι οι πόροι στην περίπτωση αυτή συνυπάρχουν με ηλεκτροθετικά φορτία και επομένως η ροή ηλεκτρικού ρεύματος συμβαίνει υπό τη μορφή κίνησης ανιόντων, ενώ

τα ηλεκτροθετικά φορτία δεν επιτρέπουν τη διέλευση ομόνυμα φορτισμένων σωματιδίων και κατιόντων.

Οι μεμβράνες ηλεκτροδιάλυσης δεν είναι ιδανικές. Συνεπώς, επιτρέπουν τη διέλευση προς τη μη επιθυμητή κατεύθυνση ενός μικρού ποσοστού ιόντων. Παρουσιάζουν όμως υψηλή εκλεκτικότητα, η οποία ανέρχεται έως και το 98%.

5.3.2 Απόδοση συστημάτων

Η δομική μονάδα ηλεκτροδιάλυσης περιλαμβάνει μια μεμβράνη διέλευσης ανιόντων, ένα χώρο ροής νερού με υψηλή συγκέντρωση ιόντων, μια μεμβράνη διέλευσης κατιόντων και ένα χώρο ροής νερού με χαμηλή συγκέντρωση ιόντων, καλείται δε ζεύγος στοιχείων. Ένα τυπικό σύστημα ηλεκτροδιάλυσης περιέχει 300 έως 500 ζεύγη στοιχείων.

Ο χώρος χαμηλής συγκέντρωσης ιόντων περιέχει νερό με ολικά διαλυμένα στερεά σε συγκέντρωση χαμηλότερη από αυτή του νερού τροφοδοσίας. Με την είσοδο του νερού τροφοδοσίας στον χώρο αυτό σταδιακά τα ιόντα που περιέχει διοχετεύονται προς το χώρο υψηλής συγκέντρωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως ο καθοριστικός παράγοντας για την καθαρότητα του λαμβανόμενου προϊόντος είναι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία επίσης εξαρτάται και από τη συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών του νερού τροφοδοσίας. Η διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να συνεχιστεί μέχρι την πλήρη απομάκρυνση των ιόντων, το μέγεθος όμως της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τη συνέχιση της διεργασίας κάτω από ένα ορισμένο επίπεδο συγκέντρωσης των ηλεκτροδιαλυτών είναι υπερβολικό και κατ'επέκταση θεωρητικό. Στην πράξη η διεργασία της ηλεκτροδιάλυσης χρησιμοποιείται για παραγωγή νερού με συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων έως 500 mg/L σαν NaCl ή ηλεκτρική αγωγιμότητα έως 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

5.3.3 Πόλωση

Όλες οι μελέτες μεταφοράς μάζας ή θερμότητας δέχονται την ύπαρξη λεπτού φιλμ στάσιμου υγρού στην επιφάνεια εναλλαγής, αν και στην κύρια μάζα του υγρού δέχονται την ύπαρξη συνθηκών πλήρους ανάμειξης. Το πάχος του φιλμ αυτού εξαρτάται κυρίως από τις υδροδυναμικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα από τον αριθμό Reynolds, ενώ τα χαρακτηριστικά του δεν επηρεάζονται άμεσα από μικρές μεταβολές της συγκέντρωσης και της θερμοκρασίας της κύριας μάζας του υγρού.

Η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος μιας μεμβράνης διέλευσης ανιόντων θα έχει ως αποτέλεσμα τη διέλευση των αρνητικών ιόντων διαμέσου του φιλμ στην πορεία του προς το θετικό ηλεκτρόδιο. Στην αρχή, εξαιτίας της χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης του φιλμ, τα ανιόντα κινούνται ελεύθερα διαμέσου του με αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσής τους και τη δημιουργία μιας βαθμίδας συγκέντρωσης κατά το πάχος του φιλμ μεταξύ της κύριας μάζας του νερού και της επιφάνειας της μεμβράνης. Όσο η κινητήρια δύναμη που ασκείται από το ηλεκτρικό πεδίο είναι σχετικά μικρή, η διαφορά συγκέντρωσης είναι αυτή που με διάχυση ωθεί τα αρνητικά ιόντα κοντά στη μεμβράνη. Καθώς τα αρνητικά ιόντα κινούνται κατά τη μία πλευρά, τα θετικά ιόντα κινούνται κατά την αντίθετη κατεύθυνση για να διατηρήσουν την ισορροπία φορτίων, με αποτέλεσμα να μεταφέρεται συνεχώς και περισσότερο ηλεκτρικό ρεύμα από τα ανιόντα στην επιφάνεια της μεμβράνης. Με τον τρόπο αυτό η πυκνότητα ρεύματος, η οποία ορίζεται ως η ποσότητα ρεύματος που μεταφέρεται ανά μονάδα επιφάνειας της μεμβράνης, μπορεί να αυξηθεί ώσπου να απομακρυνθούν όλα τα ανιόντα που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της μεμβράνης. Όταν συμβεί αυτό προσεγγίζεται μια οριακή πυκνότητα ρεύματος (πόλωση), η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού, την ταχύτητά του στο χώρο των μεμβρανών, το είδος των ιόντων στο χώρο χαμηλής και υψηλής συγκέντρωσης ιόντων, καθώς επίσης και από το

είδος των μεμβρανών. Στη συνέχεια, καθώς η ροή των ανιόντων θα είναι ανεπαρκής, ένα μέρος του ηλεκτρικού ρεύματος θα μεταφερθεί διαμέσου της μεμβράνης διέλευσης ανιόντων από ανιόντα υδροξυλίου, τα οποία προέρχονται από τη διάσταση του νερού, προς το χώρο υψηλής συγκέντρωσης ιόντων, με αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής του pH, γεγονός που ευνοεί την ιζηματοποίηση ανθρακικού ασβεστίου. Επομένως οποιαδήποτε αλλαγή της τιμής του pH κατά τη διάρκεια της ηλεκτροδιάλυσης δηλώνει την έναρξη του φαινομένου της πόλωσης, γεγονός που δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στην εξέλιξη της διεργασίας. Έτσι για την ασφαλή λειτουργία μιας μονάδας ηλεκτροδιάλυσης, η πραγματική πυκνότητα ρεύματος πρέπει να είναι το 80% της οριακής.

5.3.4 Μαθηματική περιγραφή

Σε μια ιδανική διάταξη ηλεκτροδιάλυσης κάθε αμπέρ ηλεκτρικού ρεύματος μετακινεί μια ηλεκτροχημικά ισοδύναμη ποσότητα αλάτων από κάθε ζεύγος στοιχείων. Εάν σε μια διάταξη, που αποτελείται από N ζεύγη στοιχείων με διαθέσιμη επιφάνεια για τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος A , εφαρμοστεί τάση V , θα τη διαρρέυσει ρεύμα έντασης I , το οποίο και θα μετακινεί S ποσότητα αλάτων την ώρα. Επομένως:

$$I = \frac{S}{N} \quad (5.10)$$

Η ισχύς λειτουργίας της διάταξης θα είναι:

$$P = V \cdot I \quad (5.11)$$

Από τον συνδυασμό των σχέσεων (5.10) και (5.11) προκύπτει:

$$P = \frac{S \cdot V}{N} \quad (5.12)$$

Όπου V/N είναι η εφαρμοζόμενη τάση ανά ζεύγος στοιχείων. Στην πράξη η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά kg απομακρυνόμενου άλατος είναι περίπου

σταθερή και κυμαίνεται από 0,6 έως 0,8 kWh/kg, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια που πρέπει να διατεθεί σ' ένα σύστημα είναι ανάλογη της συνολικά εγκατεστημένης επιφάνειας μεμβρανών.

5.3.5 Ρύπανση των μεμβρανών

Μερικά ιόντα φθάνοντας στην επιφάνεια της μεμβράνης δεσμεύουν τις φορτισμένες θέσεις ιοντοεναλλαγής προκαλώντας ρύπανση της μεμβράνης. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια την καταστροφή της αγωγιμότητας της μεμβράνης και τη δημιουργία ενός σταθερού στρώματος φορτίου, που εμποδίζει τη διέλευση των ιόντων διαμέσου της μεμβράνης.

Η ρύπανση είναι δυνατόν να οφείλεται σε κολλοειδή, τα οποία εξαιτίας των φορτίων που έχουν κινούνται προς τη μεμβράνη. Όταν φθάσουν στην επιφάνεια της μεμβράνης χάνουν το φορτίο τους και αποτίθενται υπό μορφή ιλύος. Η συνηθέστερη επικάλυψη του είδους αυτού οφείλεται σε κολλοειδή του σιδήρου, τα οποία προσβάλλουν κυρίως τις μεμβράνες διέλευσης κατιόντων.

Ένας πολυηλεκτρολύτης, ο οποίος διαθέτει για παράδειγμα μεγάλο αριθμό αρνητικά φορτισμένων ομάδων, επικάθεται στην επιφάνεια της μεμβράνης δεσμεύοντας της ηλεκτροθετικές της ομάδες, ενώ παραμένουν αδέσμευτες κάποιες από τις αρνητικά φορτισμένες ομάδες του. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται ένα στρώμα αρνητικών φορτίων επάνω σε μια μεμβράνη ανιόντων, εμποδίζοντας σε σημαντικό βαθμό τη διέλευσή τους. Τελικά, οποιαδήποτε και αν είναι η ρύπανση της μεμβράνης ελαττώνει το ανώτατο όριο ηλεκτρικού ρεύματος που μπορεί να μεταφέρει.

5.3.6 Απαιτούμενη προκατεργασία του νερού τροφοδοσίας

Για την προστασία των μεμβρανών απαιτείται συχνά η προκατεργασία του νερού για την απομάκρυνση των ουσιών που προκαλούν ρύπανση και των αλάτων που παρουσιάζουν τάση επικάθησης. Το νερό τροφοδοσίας απαιτεί συνήθως προκατεργασία όταν εκτός των άλλων περιέχει υπολειμματικό χλώριο περισσότερο από 0,5 mg/L, σίδηρο περισσότερο από 0,3 mg/L, υδρόθειο περισσότερο από 0,3 mg/L, και θολότητα περισσότερο από 2 NTU.

Ένας εντελώς διαφορετικός τρόπος αντιμετώπισης της ρύπανσης, καθώς επίσης και των επικαθήσεων, χωρίς την απαίτηση προκατεργασίας, είναι η χρήση αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης. Η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση λειτουργεί με την ίδια βασική αρχή της ηλεκτροδιάλυσης, με τη διαφορά όμως ότι τα στοιχεία εμπλουτισμού και προϊόντος είναι όμοια κατασκευασμένα. Η πολικότητα των ηλεκτροδίων αντιστρέφεται με συχνότητα 3 έως 4 φορές την ώρα, ενώ ταυτόχρονα αυτόματες βάνες διακόπτουν-εναλλάσσουν τις ροές με αποτέλεσμα το στοιχείο εμπλουτισμού να μετατρέπεται σε στοιχείο προϊόντος και αντίθετα. Με τον τρόπο αυτό τα ιόντα αλλάζουν κατεύθυνση κατά το πάχος των μεμβρανών. Ακολουθώντας την αντιστροφή της πολικότητας και των ροών το παραγόμενο επεξεργασμένο νερό απομακρύνεται ως απόρριμμα, ως τη στιγμή της ικανοποιητικής έκπλυσης των στοιχείων και αποκατάστασης της επιθυμητής ποιότητάς του. Η διαδικασία αυτή διαρκεί από 1 ως 2 min. Η αντιστροφή της πολικότητας απομακρύνει αυτόματα τα συστατικά που έχουν επικαθήσει στην επιφάνεια των μεμβρανών, ελαχιστοποιώντας κατά συνέπεια την ανάγκη προκατεργασίας του νερού τροφοδοσίας.

5.3.7 Χαρακτηριστικά εγκαταστάσεων ηλεκτροδιάλυσης

Τα κύρια μέρη μιας εγκατάστασης ηλεκτροδιάλυσης είναι το συγκρότημα τροφοδοσίας νερού με χαμηλή πίεση, η διάταξη των μεμβρανών και ο ανορθωτής παροχής συνεχούς ρεύματος.

Η πτώση πίεσης σε μια εγκατάσταση ηλεκτροδιάλυσης ποικίλλει ανάλογα με την πτώση πίεσης κατά μήκος της διάταξης των μεμβρανών. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις σχεδιάζονται για ένα μέγιστο όριο πίεσης περίπου 4 bar. Η μέγιστη αυτή πίεση καθορίζει επίσης και το μέγιστο αριθμό σταδίων (8 έως 10), τα οποία μπορούν να συνδεθούν σε σειρά χωρίς την απαίτηση επιπρόσθετης κατάθλιψης του νερού τροφοδοσίας. Η βέλτιστη τιμή απομάκρυνσης άλατος, που μπορεί να επιτευχθεί στην πράξη κυμαίνεται από 40 έως 60% ανά στάδιο επεξεργασίας και εξαρτάται κυρίως από τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης ηλεκτροδιάλυσης. Αυτός είναι ο λόγος που οι περισσότερες εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν πολλά στάδια που λειτουργούν σε σειρά. Το βασικό στοιχείο παροχής ενέργειας είναι ο ανορθωτής μετατροπής του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές, το οποίο εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια της διάταξης των μεμβρανών.

Εκτός των παραπάνω κυρίων τμημάτων, μια εγκατάσταση ηλεκτροδιάλυσης είναι δυνατόν να συμπεριλαμβάνει και συσκευές οι οποίες αφορούν στην προκατεργασία του νερού τροφοδοσίας, όπως είναι τα αμμόφιλτρα, δοσομετρικά συστήματα τροφοδοσίας οξέως και ρύθμισης του pH κ.α.

5.4 Κρυστάλλωση

Η τρίτη κατηγορία μεθόδων αφαλάτωσης βασίζεται στο φαινόμενο της κρυστάλλωσης. Η αρχή αυτή στηρίζεται στην ακόλουθη φυσικοχημική ιδιότητα των διαλυμάτων:

Όταν ένα υδατικό διάλυμα άλατος ψυχθεί μέχρι του σημείου πήξεώς του, αποβάλλονται σε ορισμένες περιπτώσεις καθαροί κρύσταλλοι νερού, καθώς και της ουσίας που έχει προστεθεί σ' αυτό.

Αυτές οι μέθοδοι προσφέρουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις μεθόδους που χρησιμοποιούν την αρχή της απόσταξης. Τα πλεονεκτήματα αυτά αναφέρονται αφενός στους μειωμένους κινδύνους διάβρωσης από το αλμυρό νερό, αφού οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές, αφετέρου στις μικρότερες ενεργειακές δαπάνες, αφού δεν απαιτείται εξαέρωση του νερού.

Υπάρχουν δύο τεχνικές αφαλάτωσης με κρυστάλλωση. Η πρώτη ονομάζεται «*μέθοδος παγοποίησης*» και η άλλη «*μέθοδος παγοποίησης με χημικό πρόσθετο*».

Επειδή η κρυστάλλωση συνδέεται άμεσα με την εφαρμογή της χαμηλής θερμοκρασίας, είναι σημαντική η τεχνική της ψύξης και στον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται.

5.4.1 Είδη ψυκτικών μέσων και μηχανισμών ψύξης

1. Ξηρός πάγος

Ο ξηρός πάγος είναι το στερεοποιημένο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Παρασκευάζεται πολύ εύκολα ακόμη και σ' ένα εργαστηριακό χώρο, από μια φιάλη διοξειδίου του άνθρακα. Η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται με το μέσον αυτό είναι πολύ χαμηλή, φτάνει τους -75⁰ C και αν αναμιχθεί με γλωροφόρμιο ή ακετόνη (acetone) πλησιάζει τους -85⁰. Το διοξείδιο του άνθρακα βρίσκεται σε φιάλες αερίου υπό πίεση με τις οποίες και διακινείται στο εμπόριο. Κάτω από αυτή την υψηλή πίεση και στη συνήθη θερμοκρασία, είναι σε υγρή κατάσταση. Όταν ανοιχθεί το στόμιο της φιάλης από τη στρόφιγγα εξόδου της, το υγρό εκτονώνεται και απελευθερωμένο πια εξέρχεται από τη φιάλη ως αέριο, με την ανάλογη φυσική πίεση. Έτσι παραλαμβάνεται και διοχετεύεται προς χρήση ως αέριο πλέον διοξείδιο του άνθρακα.

Αν τώρα στραφεί η φιάλη με το στόμιο εξόδου της προς τα κάτω και έρθει το υγρό περιεχόμενό της στην έξοδο της στρόφιγγας στο κατώτερο άκρο χαμηλά, τότε από το άνοιγμα της φιάλης δεν θα εξέλθει αέριο, αλλά στερεό διοξείδιο του άνθρακα. Η απότομη εκτόνωση του χώρου απευθείας στη μάζα του υγρού διοξειδίου του άνθρακα θα προκαλέσει αλλαγή της φάσης του απ' όπου και θα προκύψουν στερεές νιφάδες CO₂. Η θερμοκρασία στο σημείο της μεταβολής, θα πέσει αισθητά.

Η μάζα του εξερχόμενου υγρού με την απότομη αλλαγή της πίεσης (από 85 ατμόσφαιρες πέφτει σε πολύ σύντομο χρόνο στη 1 ατμόσφαιρα), απορροφά αμέσως την θερμότητα από τον περιβάλλοντα χώρο. Η προκαλούμενη ψύξη στερεοποιεί αυτή τη μάζα κι έτσι, αντί για αέριο μετατρέπεται σε στερεό με χαμηλή θερμοκρασία. Παρουσιάζεται λοιπόν στερεός πάγος. Στη βιομηχανία, για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ξηρού πάγου, χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές αερίου διοξειδίου του άνθρακα, οι οποίες μετατρέπουν το αέριο σε υγρό με συμπίεση. Από το υγρό αυτό ακολούθως, και με την ίδια διαδικασία, παραλαμβάνεται το στερεό διοξείδιο του άνθρακα σε κύβους, οι οποίοι διοχετεύονται προς χρήση. Ο ξηρός πάγος συνήθως διατίθεται σε κολόνες των 22 κιλών. Αυτές φυλάσσονται σε καλά μονωμένους θαλάμους. Ο ξηρός πάγος αποτελεί ένα άριστο ψυκτικό μέσον.

2. Υγρό άζωτο

Το υγρό άζωτο είναι από τα πιο χαμηλής θερμοκρασίας υλικά. Παράγεται από την υγροποίηση του αέρα και μόνο από ειδική συσκευή. Η θερμοκρασία του φτάνει τους -170⁰ C.

Η υγροποίηση του αέρα επιτυγχάνεται με αλληπάληλες εκτονώσεις (κενό) του αέρα σε κλειστούς χώρους και με σειρά συμπίεσεων (υψηλές πιέσεις), σε χώρους με χαμηλή θερμοκρασία.

Το υγρό άζωτο μεταφέρεται σε ειδικά δοχεία Dewar και σε δεξαμενές με πολύ καλή μόνωση. Η τεχνική της παρασκευής υγρού αέρα βοήθησε στην παραγωγή υγροποιημένων αερίων, όπως του υγρού οξυγόνου και υδρογόνου, τα οποία χρησιμοποιούνται ως αέρια καύσιμα συστατικά και όχι ως ψυκτικά μέσα.

5.4.2 Συσκευές ψύξης

Οι συσκευές αυτές αποτελούν το μηχανικό μέσο με το οποίο επιτυγχάνεται χαμηλή θερμοκρασία σ' ένα χώρο. Αυτού του είδους οι μηχανές βασίζονται στην ίδια σχεδόν αρχή λειτουργίας. Χρησιμοποιούν ένα μέσον (χημική ένωση σε υγρή μορφή) που εξατμίζεται σε χαμηλή θερμοκρασία. Η μετάβαση από την υγρή κατάσταση στην αέρια, γίνεται με δέσμευση θερμότητας από τον περιβάλλοντα χώρο του υλικού αυτού. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ένα υγρό που είναι πτητικό στη συνήθη θερμοκρασία, εξατμιζόμενο ψύχει τον χώρο που εξατμίζεται. Με κατάλληλο τρόπο, το εξατμιζόμενο αέριο παραλαμβάνεται εκ νέου και συμπιέζεται για να γίνει υγρό και να χρησιμοποιηθεί πάλι σ' ένα κύκλο αλλαγής φάσεων, υγρό-αέριο-υγρό, με τη διαδικασία να επαναλαμβάνεται συνεχώς ώστε να αποδίδει το έργο της πάντα στο χώρο που προορίζεται να ψύξει.

Οι ουσίες που χρησιμοποιούνται στους ψυκτικούς μηχανισμούς πάσης φύσης, από το οικιακό ψυγείο μέχρι τους θαλάμους κατάψυξης μιας βιομηχανίας κατεψυγμένων προϊόντων και τις κλιματιστικές συσκευές είναι:

Αμμωνία	(NH ₃)
Διφθοροδιχλωρομεθάνιο	(Freon 12 ή F-12 CF ₂ Cl ₂)
Μεθυλοχλωρίδιο	(CH ₃ Cl)
Διμεθυλαιθέρας	(CH ₃ OCH ₃)
Αιθυλοχλωρίδιο	(C ₂ H ₅ Cl)

Τετραφθοροδιχλωροαιθάνιο	(F-114, C ₂ F ₄ Cl ₂)
Διφθορομονοχλωρομεθάνιο	(F-22, CHF ₂ Cl)

Τα φθοροχλωριωμένα παράγωγα του μεθανίου, όπως αλλιώς λέγονται, χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις συσκευές ψύξης και είναι κατάλληλα για το σκοπό αυτό, λόγω των ιδιοτήτων τους. Οι χημικές αυτές ενώσεις όμως, παρουσιάζουν ένα μεγάλο μειονέκτημα. Μολύνουν το περιβάλλον και καταστρέφουν το όζον της ατμόσφαιρας.

5.4.3 Παγοποίηση υπό κενό

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ψύξη που προκαλείται σ' ένα υγρό, όταν εξατμίζεται ένα μέρος από την μάζα του. Η τεχνική του όλου συστήματος αποβλέπει στο να διαχωρίσει το καθαρό νερό από το διάλυμα άλατος, πήζοντας το νερό.

Είναι γνωστό ότι ο πάγος του νερού είναι καθαρό νερό και μόνο, χωρίς να περιέχονται τα άλατα του νερού σ' αυτόν. Ο πάγος δεν περιλαμβάνει άλατα, γιατί πήζει μόνο το καθαρό υγρό διαλύτης, και όχι τα στερεά που είναι διαλυμένα σ' αυτό και έτσι γίνεται διαχωρισμός μιγμάτων. Η πάχνη των παγοκρυστάλλων για παράδειγμα, που παρουσιάζεται στα εσωτερικά τοιχώματα της κατάψυξης των ψυγείων, είναι καθαρό αποσταγμένο νερό.

Έτσι, αν με ένα σύστημα κατορθώσουμε να ψύξουμε σε χαμηλή θερμοκρασία το θαλασσινό νερό, ένα μέρος απ' αυτό θα μετατραπεί σε πάγο, ενώ το υπόλοιπο θα παραμείνει υγρό. Στο υγρό αυτό παραμένουν τα άλατα του θαλασσινού νερού. Είναι το συμπύκνωμα άλμης που υπάρχει σε όλες τις προηγούμενες διεργασίες αφαλάτωσης. Ο πάγος αυτός εύκολα διαχωρίζεται από το συμπύκνωμα (στερεό-υγρό), και αφού τακεί (λιώσει) μας δίνει καθαρό πόσιμο νερό.

5.4.4 Παγοποίηση με ψυκτικό πρόσθετο

Η τεχνική αυτή διαφέρει από την προηγούμενη στο ότι η παγοποίηση επιτυγχάνεται με την απευθείας εξάτμιση ενός πρόσθετου του θαλασσινού νερού, όπως είναι το βουτάνιο.

Το θαλασσινό νερό, αφού περάσει από τον εναλλάκτη θερμότητας που βρίσκεται στην είσοδο της εγκατάστασης και προψυχθεί όπως και πριν, οδηγείται σ' έναν ψύκτη, όπου αναμιγνύεται με υγρό βουτάνιο. Αμέσως μετά προκαλείται εξάτμιση του βουτανίου, με αποτέλεσμα την αφαίρεση μεγάλων ποσών θερμότητας και τελικά την παγοποίηση του νερού.

Εκτός από τις παραπάνω μεθόδους, κατά τις οποίες κρυσταλλώνεται μόνο το νερό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η μέθοδος της συγκρυστάλλωσης του νερού με κάποια άλλη ουσία, που προστίθεται στη μάζα του, όπως για παράδειγμα είναι το προπάνιο. Δημιουργούνται έτσι μικροί κρύσταλλοι νερού, που δεν περιέχουν άλατα. Με την τήξη των κρυστάλλων λαμβάνουμε δυο διαφορετικά υγρά, τα οποία μπορούν να διαχωριστούν.

Στο Wrightsville Beach της Βόρειας Καρολίνας των Η.Π.Α., είχε εγκατασταθεί μια μονάδα κρυστάλλωσης που λειτουργούσε από το 1965 με μεγάλη επιτυχία. Η ημερήσια παραγωγή της ήταν το 1971 400.000 λίτρα καθαρό πόσιμο νερό.

5.5 Χημική μέθοδος

Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε μια χημική διαδικασία που είναι γνωστή σαν ιοντοεναλλαγή. Πρόκειται για μια τεχνική εφαρμογής ρητινών, οι οποίες έχουν την ιδιότητα να ανταλλάσσουν τα ιόντα των μετάλλων του νερού με υδρογόνο ή υδροξύλιο (H^+ ή OH^-), που βρίσκονται στη ρητίνη.

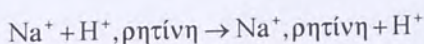
Οι ρητίνες αποσκλήρυνσης έχουν γνωρίσει μεγάλη επιτυχία και χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε πάρα πολλές εφαρμογές για την αποσκλήρυνση των νερών. Οι βιομηχανίες και τα ερευνητικά εργαστήρια είναι κατ'εξοχήν καταναλωτές τους. Το νερό όμως που προορίζεται για αποσκλήρυνση μέσω των ρητινών, είναι σχετικά μαλακό. Οι ρητίνες δρουν αποτελεσματικά, μόνο όταν το νερό έχει μικρή περιεκτικότητα σε άλατα, όπως συμβαίνει στο δίκτυο ύδρευσης ή στα βιομηχανικά απόβλητα ή στα υφάλμυρα νερά.

Για το θαλασσίνο νερό, προς το παρόν, η χημική μέθοδος συναντά αδυναμία εφαρμογής, λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας αλάτων. Χρειάζονται μεγάλες ποσότητες ρητινών για τη δέσμευση ιόντων μικρής (λίγα λίτρα) ποσότητας θαλασσινού νερού.

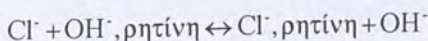
Οι ιονεναλλακτικές ρητίνες είναι οργανικές ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους. Χωρίζονται σε κατιονικές και ανιονικές, ανάλογα με την ιδιότητά τους να δεσμεύουν τα ανιόντα ή τα κατιόντα.

Με τις ιονεναλλακτικές ρητίνες επιτυγχάνεται η ανταλλαγή των ιόντων μεταξύ ενός στερεού (ρητίνη) και ενός υγρού (νερό), κατά την οποία δεν επέρχεται ουσιώδης μεταβολή στη δομή του στερεού. Τούτο σημαίνει ότι πάντοτε, ένα ιόν παραμένει προσκολλημένο στο στερεό και δεν απομακρύνεται με το διάλυμα. Έτσι, αν ένα υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου διέλθει από μια στήλη με ιονεναλλάκτη κατιόντων και ανιόντων, θα έχουμε το εξής αποτέλεσμα:

A) ανταλλαγή κατιόντων:



B) ανταλλαγή ανιόντων:



Συνεπώς, τα ιόντα του νατρίου και του χλωρίου, αντικαθίστανται από υδρογονοϊόντα (H^+) και υδροξυλιόντα (OH^-). Το διάλυμα αυτό υφίσταται αφαλάτωση.

Βασική ιδιότητα της ρητίνης πρέπει να είναι η τέλεια αδιαλυτότητα στο νερό, το οινόπνευμα και τα άλλα διαλυτικά μέσα. Η αδιαλυτότητά της επιτυγχάνεται με διακλαδώσεις μορίων εντός του πλέγματος δομής της ρητίνης. Οι περισσότερες ρητίνες που βρίσκονται στο εμπόριο, προέρχονται από πολυμερισμό στυρενίου και διβινυλοβενζολίου, ή από πολυμερισμό φαινόλης-φορμαλδεΐδης. Ο μεγαλύτερος αριθμός διακλαδώσεων επιτυγχάνει μικρότερη διόγκωση των ρητινών. Η δυναμικότητά της αυξάνει με την αύξηση του αριθμού των ενεργών ομάδων που έχουν συνδεθεί με το μοριακό πλέγμα.

Η εξέλιξη της οργανικής χημικής τεχνολογίας έχει να προσφέρει πολλές δυνατότητες παρασκευής ουσιών με τέτοια δομή, ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της ιονεναλλαγής. Ο τρόπος πολυμερισμού, η έκταση του πλέγματος καθώς και οι ενδιάμεσες συνδέσεις των μορίων, ελέγχονται έτσι ώστε το παραγόμενο προϊόν να μην έχει πολύ στενό πλέγμα, για να μην παρεμποδίζεται η διείσδυση των ιόντων μέσα από τη ρητίνη.

Η δυναμικότητα της ρητίνης είναι ο ολικός αριθμός που είναι δυνατόν να απαλλαγούν και εκφράζεται σε χιλιοστοδύναμα, ανά μονάδα όγκου μετρημένη σε χιλιοστόλιτρα (ml) ή ανά γραμμάριο (g) βάρους ξηρής. Η ωφέλιμη δυναμικότητα μετράται με το ποσό των ιόντων σε χιλιοστοδύναμα, το οποίο είναι δυνατόν να ανταλλαγεί υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

Η διαδικασία της αφαλάτωσης του νερού αφορά της εξής τεχνική: το νερό διέρχεται μέσα από μια στήλη στην οποία υπάρχει η ρητίνη. Εισέρχεται και καθώς διασχίζει όλο το μήκος της στήλης έως ότου φτάσει στο κάτω άκρο της, έρχεται σε επαφή με όλη τη μάζα της ιονεναλλακτικής ουσίας. Όσο χρόνο το νερό βρίσκεται στη συσκευή, τα ιόντα νατρίου (Na^+) που περιέχει έρχονται σε επαφή με τη ρητίνη και δεσμεύονται απ' αυτήν, με ταυτόχρονη απελευθέρωση ιόντων υδρογόνου (H^+). Έτσι, το αρχικό υδατικό

διάλυμα άλατος μετατρέπεται σε διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (HCl). Το οξύ διέρχεται κατόπιν από την ανιοντική ρητίνη, οπότε τα ιόντα του χλωρίου (Cl⁻) δεσμεύονται κατά τον ίδιο τρόπο απ' αυτήν, με ταυτόχρονη απελευθέρωση ιόντων υδροξυλίου (OH⁻). Στη συνέχεια, ενώνονται τα ιόντα υδρογόνου με το υδροξύλιο για την παραγωγή καθαρού νερού (H₂O). Καθώς προχωρεί η διαδικασία, οι ρητίνες φτάνουν κάποτε σε κατάσταση κορεσμού, οπότε χάνουν την ικανότητά τους να κατακρατούν τα ιόντα νατρίου ή χλωρίου. Τότε πρέπει να υποστούν την κατεργασία της «αναγέννησης» με οξέα ή βάσεις, για την αποκατάσταση των αρχικών ιδιοτήτων τους ιονεναλλαγής.

Με τον τρόπο αυτόν, η ίδια ρητίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολλές φορές, πράγμα που καθιστά τη μέθοδο αυτή οικονομική μόνο στον τομέα της παραλαβής απιονισμένου νερού από το νερό της βρύσης, το ήδη πόσιμο νερό, για χρήση – όπως αναφέρθηκε- σε χημικά φαρμακευτικά εργαστήρια και στις βιομηχανίες.

Το νερό όμως που παράγεται από ένα τέτοιο σύστημα, είναι ακατάλληλο για πόση καθώς και για οποιαδήποτε άλλη χρήση που προορίζεται έμμεσα για τον ανθρώπινο οργανισμό, όπως είναι για παράδειγμα οι βιομηχανίες τροφίμων, ποτών ή για ιατρική χρήση (αιμοκάθαρση κλπ).

Το νερό, περνώντας μέσα από μια τέτοια ρητίνη, αποσπά τμήματα των άκρων του μορίου της με μηχανικό ή χημικό τρόπο. Αυτές οι οργανικές ενώσεις είναι βλαβερές για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Για τον λόγο αυτόν, όταν υπάρχει ανάγκη χρησιμοποίησης απιονισμένου νερού για τις χρήσεις που αναφέραμε, παρεμβάλλεται απαραίτητως μια διάταξη η οποία φέρει ειδικά φίλτρα ηθμών με συνδυασμό ενεργού άνθρακα και μεμβράνες για τη συγκράτηση των οργανικών καταλοίπων. Για την αποσκλήρυνση πόσιμου νερού, όταν πρόκειται για νερό με υψηλή σκληρότητα υπάρχουν ειδικές ρητίνες για οικιακή χρήση.

Οι συσκευές που επιτυγχάνουν την αποσκλήρυνση τέτοιων νερών συνδέονται στην αρχή της παροχής του δικτύου μιας οικίας, όπου και ρυθμίζουν αυτομάτως τη σωστή περιεκτικότητα των αλάτων στο νερό, κάνοντας και την «αναγέννηση» της ρητίνης μόνες τους.

5.6 Σύγκριση των κυρίων συστημάτων αφαλάτωσης

Τα πλέον διαδεδομένα από τα παραπάνω συστήματα αφαλάτωσης για την παραγωγή ποσίμου νερού είναι η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης, της αποστάξεως και της ηλεκτροδιάλυσης. Στον Πίνακα 18 παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των τριών μεθόδων.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Αντίστροφη Όσμωση ΠΑΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	Ηλεκτροδιάλυση	Απόσταξη
<ol style="list-style-type: none"> Διεθνής εμπειρία κατασκευής και λειτουργίας Μεγαλύτερη εφαρμογή στην Ελλάδα από ότι τα άλλα συστήματα. Απαιτηση για μικρότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με το σύστημα αποστάξεως. Υψηλή απόδοση στο υφάλμυρο νερό (75-80%) και για θαλασσινό (20-35%). Ευρέα εφαρμογή παγκοσμίως σε θαλασσινό και υφάλμυρο νερό. Απομάκρυνση βακτηριδίων και διαλυμένων ουσιών. Αυτόνομα συστήματα που μπορούν εύκολα να μεταγκατασταθούν. Μεγάλη ευελιξία στην λειτουργία. Απλό σχετικά λειτουργικό σύστημα. 	<ol style="list-style-type: none"> Μεγάλη παγκόσμια εφαρμογή σε υφάλμυρο νερό. Απαιτηση για μικρότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με το σύστημα αποστάξεως και παρόμοια με την αντίστροφη όσμωση. Υψηλή απόδοση σε υφάλμυρο νερό (όμοια με Α.Ο.) Μικρότερη ανάγκη προπεξεργασίας, άρα λιγότερη προσθήκη χημικών. Αυτόνομα συστήματα, εύκολα στην μεταγκατάσταση. Χαμηλή πίεση λειτουργία για υφάλμυρο νερό (αντλίες χαμηλής πίεσεως). 	<ol style="list-style-type: none"> Ευρέα εφαρμογή σε περιοχές με παραγωγή ενέργειας (π.χ. περιοχές με παραγωγή γεωθερμίας) Διεθνής εφαρμογή και εμπειρία ως παλαιότερη μέθοδος (κυρίως για θαλασσινό νερό). Δεν απαιτείται προπεξεργασία. Υψηλή απόδοση (αποσταγμένο νερό) λόγω υψηλών θερμοκρασιών 90 – 120⁰C.
<p>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</p> <ol style="list-style-type: none"> Μεγάλο κόστος συντήρησης (αλλαγή μεμβρανών) Υψηλή πίεση λειτουργίας, που απαιτούν ειδικό η/μ εξοπλισμό, π.χ. αντλίες. Ανάγκη για φιλτραρίωση και χλωρίωση/αποχλωρίωση πριν την είσοδο στις μεμβράνες. 	<ol style="list-style-type: none"> Υψηλό αρχικό κόστος. Μικρή εφαρμογή στην Ελλάδα Πολυπλοκότητα λειτουργίας. Δεν απομακρύνει βακτηρίδια και διαλυμένες μη ιονικές ουσίες. 	<ol style="list-style-type: none"> Υψηλό κόστος (κατανάλωση ενέργειας). Πολύ μικρή εφαρμογή για υφάλμυρο νερό. Μικρή εφαρμογή στον Ελλαδικό χώρο.. Προσθήκη χημικών (αλάτων) για να γίνει πόσιμο νερό. Μικρή ευελιξία-Εφαρμογή για μεγάλες κυρίως μονάδες 4.000 – 30.000 m³/ημ. Αυξημένη καβαλάτωση και διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών (έως 120⁰C).

Σχήμα 9: Σύγκριση των κυρίων συστημάτων αφαλάτωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

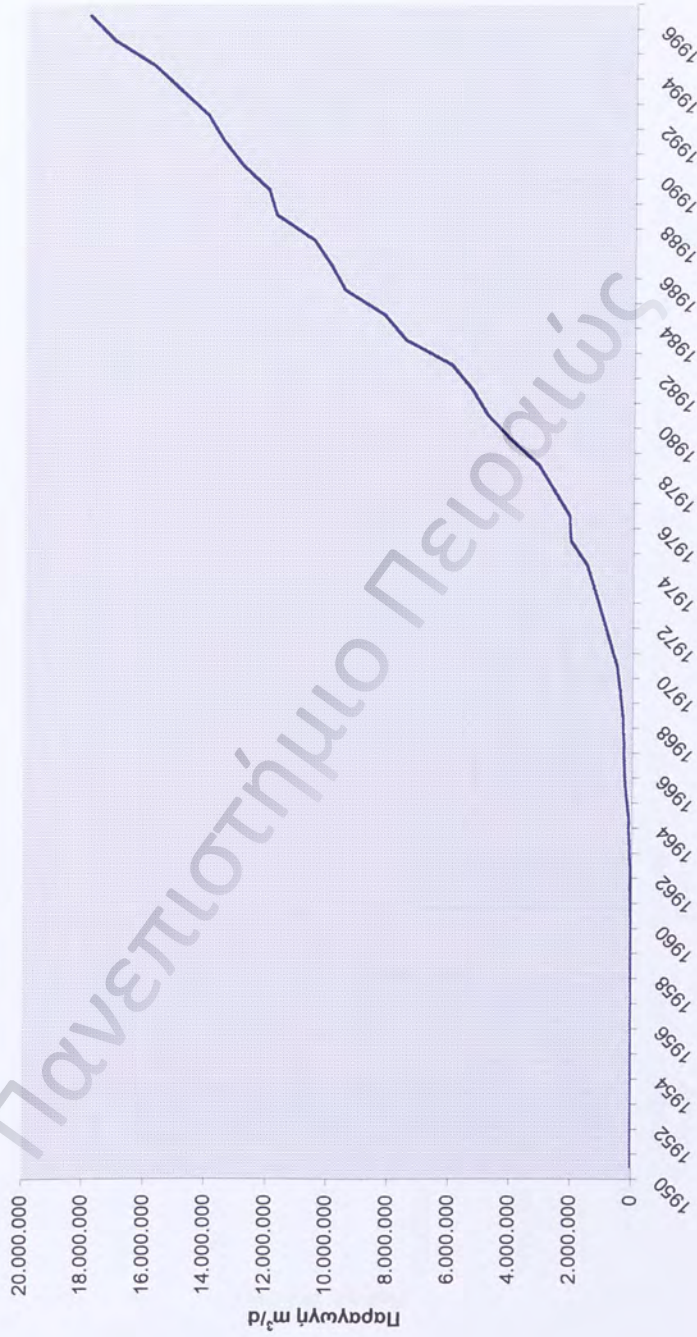
ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

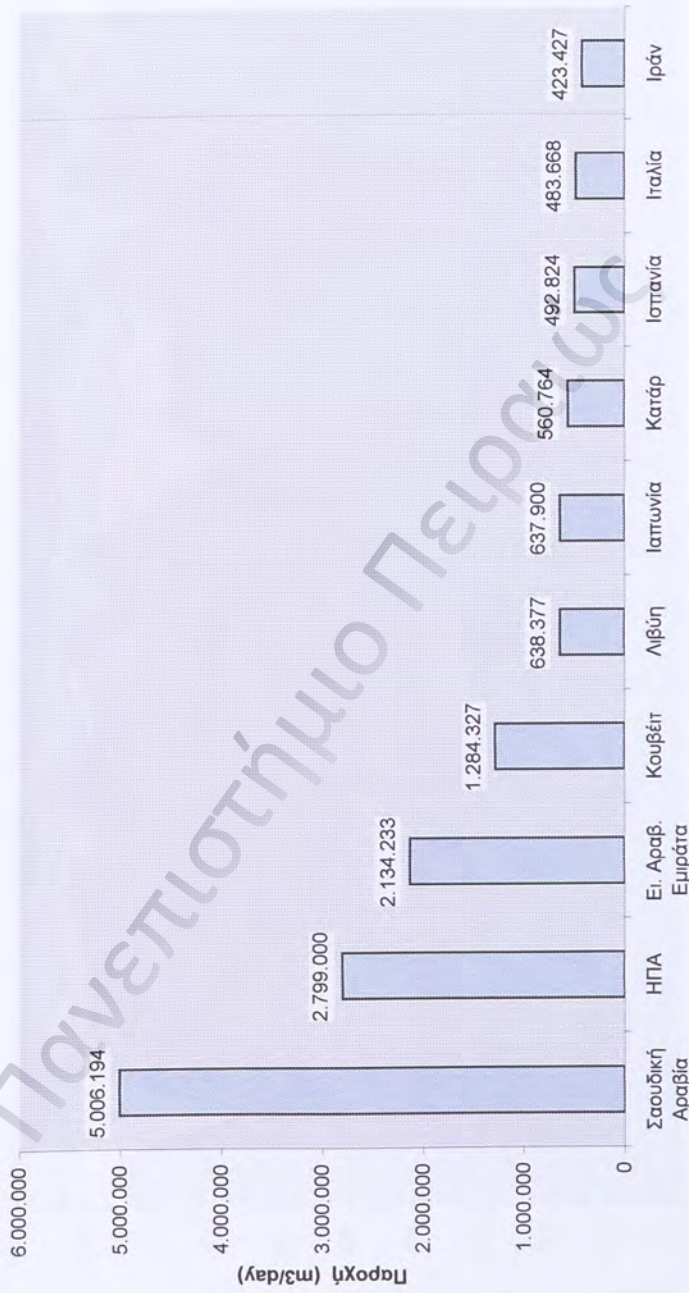
6.1 Η αφαλάτωση παγκοσμίως

Η αφαλάτωση στις μέρες μας συμβάλλει κατά μικρό ποσοστό στη συνολική ποσότητα του πόσιμου νερού παγκοσμίως. Η τεχνολογία της αφαλάτωσης θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού είναι αρκετά αναπτυγμένη, όμως παραμένει το εμπόδιο του υψηλού κόστους εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας ενέργειας που απαιτείται. Το κόστος αναμένεται να μειωθεί με την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Με τα σημερινά δεδομένα, σημαντική εκμετάλλευση της τεχνολογίας της αφαλάτωσης κάνουν μόνο οι χώρες που έχουν σημαντικότατο πρόβλημα ύδρευσης, ενώ διαθέτουν ουσιαστικά αποθέματα ενέργειας ή οικονομικών πόρων, όπως στον Περσικό Κόλπο όπου βρίσκονται επτά από τις δέκα χώρες που εκμεταλλεύονται περισσότερο την τεχνολογία της αφαλάτωσης. Επίσης το υψηλό κόστος της μεταφοράς νερού σε μεγάλες αποστάσεις περιορίζει τις περιοχές που χρησιμοποιούν την αφαλάτωση σε παράκτιες ή σε εκείνες που δεν απέχουν πολύ από τη θάλασσα.

Στις αρχές του 1997 η συνολική παροχή νερού από αφαλατώσεις ανά τον κόσμο έφτασε τα 18.000.000 m³/d (Σχήμα 9). Στο Σχήμα 10 φαίνονται τα δέκα κράτη με τις υψηλότερες επενδύσεις στην αφαλάτωση, ενώ στο Σχήμα 11 απεικονίζονται οι ποσοστιαίες παροχές που αντιστοιχούν στις διάφορες μεθόδους αφαλάτωσης.

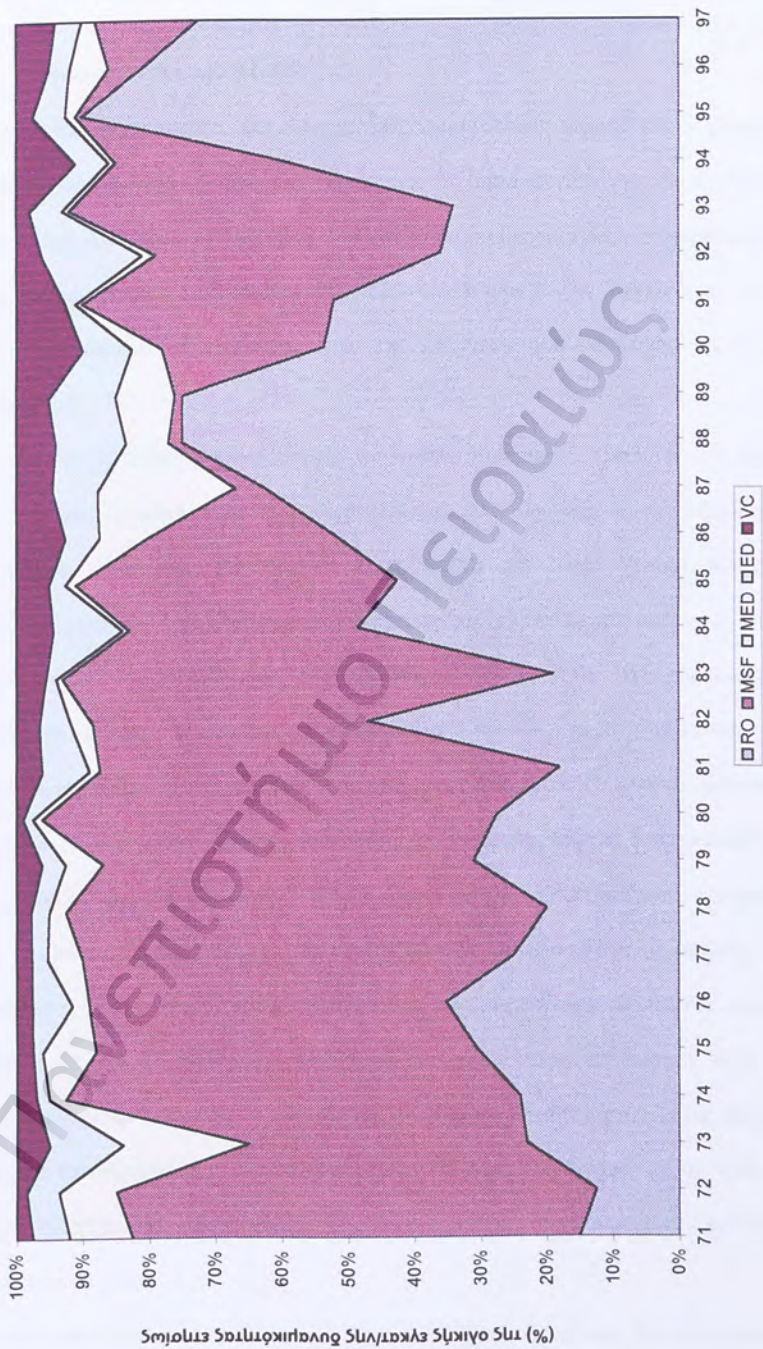


Σχήμα 10: Συνολική παροχή νερού από αφαλατώσεις παγκοσμίως από το 1950 έως το 1996
(Λαμβάνονται υπόψη εγκαταστάσεις αφαλατώσεις μεγαλύτερες από 500 m³/d) Πηγή: Wangnick 1996



Σχήμα 11: Παροχή νερού από μονάδες αφαλάτωσης για τις δέκα χώρες με τις μεγαλύτερες δυναμικότητες το 1996

Πηγή : Wangnick 1996



Σχήμα 12: % ποσοστά των μεθόδων αφαλάτωσης που εφαρμόζονται. Πηγή: IDA Desalting plants report No15 June 1996

6.2 Η αφαλάτωση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα δεν αντιμετωπίζει τόσο έντονο πρόβλημα έλλειψης νερού όπως οι χώρες του Περσικού Κόλπου, όμως είναι μια χώρα όπου το πόσιμο νερό δεν είναι είδος 'εν αφθονία' και βλέποντας το ολοένα και μικρότερο ποσό βροχοπτώσεων προβλέπεται να αντιμετωπίσει έντονα προβλήματα στο μέλλον. Το πρόβλημα διογκώνεται με την έντονη καλλιέργεια των εδαφών και τη χρησιμοποίηση ιδιαίτερα υδροβόρων καλλιεργειών.

Η Ελλάδα όμως διαθέτει και μια πολύ σημαντική ιδιομορφία. Διαθέτει ένα μεγάλο αριθμό νησιών τα περισσότερα από τα οποία είναι κατοικημένα, και την περίοδο του καλοκαιριού ο αριθμός των κατοίκων σε πολλά από αυτά γίνεται πολλαπλά μεγαλύτερος λόγω του μεγάλου αριθμού τουριστών που τα επισκέπτονται.

Η υδροδότηση των νησιών είναι ένα πρόβλημα πολύ δύσκολο να αντιμετωπιστεί. Παλαιότερα τα νησιά υδρευόνταν αποκλειστικά από πηγάδια, μερικές γεωτρήσεις και από φυσικούς ταμιευτήρες που υπάρχουν σε μερικά από αυτά. Οι ολοένα μικρότερες βροχοπτώσεις, οι πυρκαγιές που κατέκαψαν τις περισσότερες δασικές τους εκτάσεις και η τουριστική ανάπτυξη των περισσότερων, οδήγησαν σε μεγάλη αύξηση της ζήτησης νερού. Αυτό το γεγονός έγινε αιτία να αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό ο αριθμός των γεωτρήσεων. Η άκρατη εκμετάλλευση αυτών των γεωτρήσεων προκάλεσε μεγάλο πρόβλημα σε πολλά νησιά, ιδίως σε αυτά που είναι μικρά σε έκταση αλλά και πυκνοκατοικημένα. Λόγω της υπεράντλησης υποχώρησε ο υπόγειος ορίζοντας που είχε ως αρχικό αποτέλεσμα την απενεργοποίηση των υφιστάμενων γεωτρήσεων, ενώ στη συνέχεια οδήγησε στην είσοδο του θαλασσινού νερού και υποβάθμιση της ποιότητας του διαθέσιμου νερού.

Η κάλυψη των αναγκών έκτοτε γινόταν με την μεταφορά νερού από βυτιοβόρα πλοία, λύση που ήταν και είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Η σύνδεση των νησιών με δίκτυο στην

ηπειρωτική Ελλάδα είναι έργο πολύ δαπανηρό λόγω αποστάσεως, καιρικών συνθηκών και μεγάλης διασποράς των νησιών, αλλά και εάν ακόμα ήταν εφικτό, πρόβλημα λειψυδρίας αντιμετωπίζει και η ηπειρωτική Ελλάδα οπότε δεν θα αντιμετωπιζόταν δραστικά το πρόβλημα. Έτσι η καταλληλότερη λύση ήταν η αφαλάτωση. Έγιναν προσπάθειες για διαφόρων τύπων αφαλάτωσης αλλά όπως φαίνεται καθαρά από τον Πίνακα 25 που παρουσιάζονται οι εγκατεστημένες μονάδες, η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης είναι αυτή που έχει επικρατήσει για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Θέση	Παραγωγή m ³ /d	Προϊόν	Παρατηρήσεις
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ			
Μύκονος *	3000	Πόσιμο	
Τήνος	500	Πόσιμο	
Ίος	1000	Πόσιμο	
Σύρος *	2780	Πόσιμο	
Οία (Σαντορίνη) *	520	Πόσιμο	
Σπετσοπούλα	250	Πόσιμο	
Ιθάκη	500	Πόσιμο	
Νέα Μάκρη	250	Πόσιμο	Λειτουργία ανεστάλη
Νίσυρος	300	Πόσιμο	
ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ			
Κέρκυρα	15000	Πόσιμο	Εγκαταλείφθηκε
ΑΠΟΣΤΑΞΗ			
Σύρος	800	Πόσιμο	Εγκαταλείφθηκε
Ατμοηλεκτρικός σταθμός ΔΕΗ Λαυρίου	2200	Βιομηχανικό	
Διυλιστήρια πετρελαίου Κορίνθου	4800	Βιομηχανικό	
Πλατφόρμα πετρελαίου Πρίνος	2000	Βιομηχανικό	Λειτουργία ανεστάλη
Ασπρόπυργος	3600	Βιομηχανικό	

* Συνολική παροχή από περισσότερες από μια μονάδες

Πίνακας 25: Καταμερισμός των υφιστάμενων μονάδων σε μεθόδους αφαλάτωσης

Πηγή: Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, Διεύθυνση Δημοσίων Έργων

Η επικράτηση της αντίστροφης όσμωσης στην Ελλάδα οφείλεται στην μικρή κατανάλωση ενέργειας (σε σχέση με τις άλλες μεθόδους), στην επικράτηση της παγκοσμίως (Σχήμα 12), στην ευκολία κατασκευής αυτόνομων συστημάτων που να μπορούν εύκολα να μετεγκατασταθούν και να έχουν εύκολη συντήρηση.

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 26 ο νομός που έχει τις περισσότερες μονάδες αφαλάτωσης είναι ο νομός Κυκλάδων. Στον ίδιο πίνακα επίσης φαίνεται ότι έχουν γίνει σημαντικές επενδύσεις στον τομέα της αφαλάτωσης και αρκετές μονάδες είναι υπό κατασκευή.

Στον Πίνακα 27 φαίνονται οι τρόποι με τους οποίους τα νησιά των Κυκλάδων αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της ύδρευσης, λαμβάνοντας υπόψιν και τις υπό κατασκευή μονάδες. Διαπιστώνουμε ότι στα νησιά με τον περισσότερο πληθυσμό (π.χ. Σύρος, Μύκονος) την περίοδο αιχμής, η αφαλάτωση δεν είναι απλώς μια λύση που συνεισφέρει στο να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα έλλειψης νερού αλλά κύριος παράγοντας αντιμετώπισής τους.

Στο Σχήμα 13 φαίνεται το ποσοστό που θα συνεισφέρουν οι μονάδες αφαλάτωσης στη συνολική ζήτηση νερού (λαμβάνοντας υπόψιν και τα υπό κατασκευή έργα).

Θέση	Παραγωγή μονάδων αφαλάτωσης m ³ /d	Προϊόν	Παρατηρήσεις
<u>Μύκονος</u>	1000	Πόσιμο	
	2000	Πόσιμο	
<u>Τήνος</u>	500	Πόσιμο	
<u>Ιος</u>	1000	Πόσιμο	
<u>Σύρος</u>			
Ερμούπολη	2400	Πόσιμο	
	2000	Πόσιμο	Υπό κατασκευή
	800**	Πόσιμο	Λειτουργία με ανεμογεννήτρια Εγκαταλείφθηκε
	800**	Πόσιμο	Με απόσταξη Εγκαταλείφθηκε
Νεώριον	160**	Βιομηχ.	Ιδιωτική
Ανω Σύρος	130	Πόσιμο	
	250	Πόσιμο	
	500	Πόσιμο	Υπό κατασκευή
Ποσειδωνία	250	Πόσιμο	Υπό κατασκευή
	250	Πόσιμο	Υπό κατασκευή
	250	Πόσιμο	Υπό κατασκευή
	250	Πόσιμο	Υπό κατασκευή
<u>Σίφνος</u>	500	Πόσιμο	Υπό κατασκευή (υφάλμυρο νερό)
	250	Πόσιμο	Υπό κατασκευή
<u>Οία (Σαντορίνη)</u>	360	Πόσιμο	
	160	Πόσιμο	
	250	Πόσιμο	Υπό κατασκευή
<u>Θηρασιά</u>	4	Πόσιμο	Πιλοτική με ανεμογεννήτρια και φωτοβολταϊκά
Σύνολο	12054		

** δεν υπολογίζονται στο συνολικό που παρουσιάζεται στον επόμενο Πίνακα 27

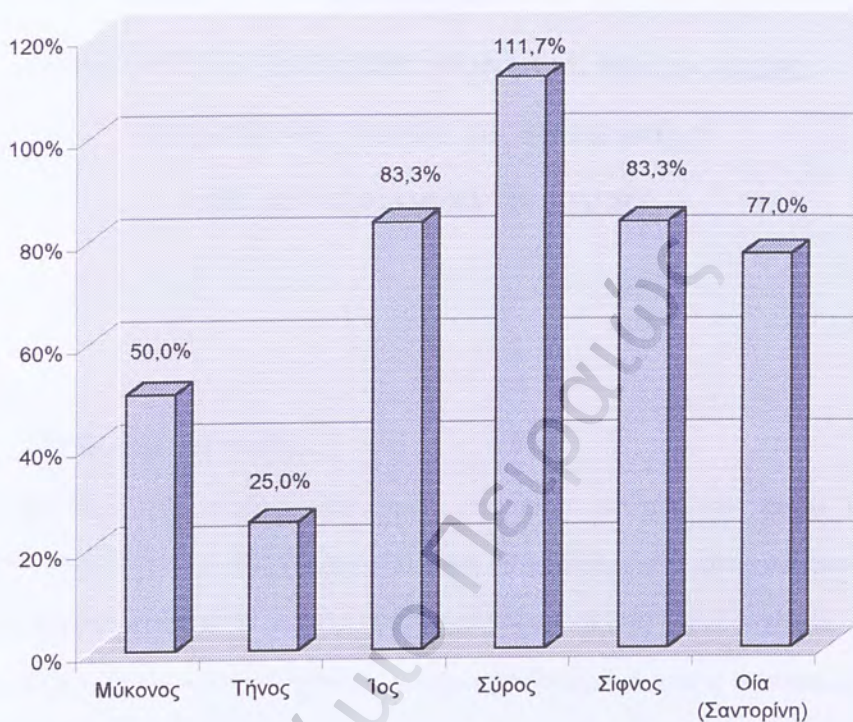
Πίνακας 26: Μονάδες αφαλάτωσης στον νομό Κυκλάδων

Πηγή: Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, Διεύθυνση Δημοσίων Έργων

Θέση	Παραγωγή νερού από αφαλατώσεις m ³ /d	Παραγωγή νερού από διυλιστήρια m ³ /d	Συνολική απαιτούμενη παροχή (Αιχμή) m ³ /d	Τρόποι αντιμετώπισης ελλείμματος
Μύκονος	3000	6750	6000	
Τήνος	500		2000	Γεωτρήσεις/ μεταφορά
Ίος	1000	2300	1200	
Σύρος	6030		5400	
Σίφνος	750		900	Γεωτρήσεις/ μεταφορά
Οία (Σαντορίνη)	770		1000	Γεωτρήσεις/ μεταφορά
Σαντορίνη				Γεωτρήσεις/ μεταφορά
Νάξος				Γεωτρήσεις
Θηρασιά	4			Γεωτρήσεις/ μεταφορά
Άνδρος				Γεωτρήσεις/ πηγάδια
Κέα				Γεωτρήσεις
Πάρος				Γεωτρήσεις
Κύθνος				Γεωτρήσεις
Δονούσα				Γεωτρήσεις/ μεταφορά
Σχινούσα				Γεωτρήσεις/ μεταφορά
Κουφονήσια				Γεωτρήσεις/ μεταφορά
Ηρακλεία				Γεωτρήσεις/ μεταφορά
Αμοργός				Γεωτρήσεις/ μεταφορά
Κίμωλος				Γεωτρήσεις/ μεταφορά
Σίκινος				Γεωτρήσεις/ μεταφορά
Φολέγανδρος				Γεωτρήσεις/ μεταφορά
Ανάφη				Γεωτρήσεις/ μεταφορά
Σέριφος				Γεωτρήσεις/ μεταφορά

Πίνακας 27: Τρόποι κάλυψης της ζήτησης νερού στις Κυκλάδες

Πηγή: Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, Διεύθυνση Δημοσίων Έργων



Σχήμα 13: Ποσοστό (%) της ζήτησης που είναι δυνατόν να καλυφθεί από τις μονάδες
αφαλάτωσης στα νησιά των Κυκλάδων

Πηγή: Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, Διεύθυνση Δημοσίων Έργων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ

ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΟΣΜΩΣΗΣ

7.1 Παράμετροι σχεδιασμού

Για σχεδιασμό μιας μονάδας αφαλάτωσης το πρώτο πράγμα που πρέπει να πραγματοποιηθεί είναι η ανάλυση του νερού που θα χρησιμοποιηθεί κάτι που γίνεται μέσω δειγμάτων που λαμβάνονται από την περιοχή και την αποστολή τους σε χημείο.

Στην συνέχεια πρέπει να καθοριστούν η θερμοκρασία σχεδιασμού, η απαιτούμενη ποιότητα του νερού και η απαιτούμενη ποσότητά του.

7.2 Περιγραφή της διεργασίας

Η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης απαιτεί το νερό που φθάνει στις μεμβράνες να έχει θολερότητα, pH, οργανικές ουσίες και σίδηρο σε τιμές μικρότερες από τα όρια που θέλει ο κατασκευαστής των μεμβρανών έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ποιότητα και η ποσότητα του παραγόμενου πόσιμου νερού. Είναι απαραίτητο λοιπόν, για τη βέλτιστη λειτουργία της εγκατάστασης, το νερό να υποστεί κάποια κατεργασία προτού φτάσει στις μεμβράνες.

Τα στάδια της πλήρους επεξεργασίας φαίνονται στο σχήμα 14 και αναλυτικότερα θα είναι:

7.2.1 Υδροληψία θαλασσινού νερού (σημείο 1)

Υπάρχουν δύο τρόποι λήψης θαλασσινού νερού. Ο ένας είναι απευθείας άντληση από τη θάλασσα τοποθετώντας αντλητικό συγκρότημα, και ο δεύτερος είναι να κατασκευαστεί παράκτιο πηγάδι. Επιλέγοντας το δεύτερο τρόπο υδροληψίας αυξάνεται το αρχικό κόστος της εγκατάστασης αλλά όπως είναι γνωστό από τη διεθνή εμπειρία τα παράκτια πηγάδια δίνουν συνήθως χαμηλό τιμές του SDI (σελ. 59). Το γεγονός αυτό δε σημαίνει ότι το νερό θα είναι απαλλαγμένο από τα επιβαρυντικά για το σύστημα στοιχεία, απλά θα βρίσκονται σε χαμηλότερες ποσότητες και συνεπώς το λειτουργικό κόστος της προκατεργασίας θα είναι μικρότερο. Στην Ελλάδα η υδροληψία γίνεται από την ανοιχτή θάλασσα, διότι δεν επιτυγχάνεται επαρκής διήθηση στα παράκτια πηγάδια κάτι που είναι εφικτό στις αραβικές χώρες που η κοκκομετρία της άμμου είναι καταλληλότερη και οι παραλίες μεγαλύτερες σε πλάτος (κάτι που εξασφαλίζει μεγαλύτερο πάχος του στρώματος φίλτρανσης).

7.2.2 Απολύμανση (σημείο 2)

Το ακατέργαστο νερό, ακόμη και αν είναι διαυγές και άχρωμο, είναι δυνατόν να περιέχει μικροοργανισμούς οι οποίοι είναι επικίνδυνοι για την υγεία, ενώ παράλληλα είναι επιβαρυντικοί στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης, καθώς προκαλούν την γήρανση και τη φθορά τους. Για να επιτευχθεί η απολύμανση του νερού γίνεται η έκχυση απολυμαντικού στο θαλασσινό νερό μέσω δοσιμετρικών αντλιών. Η επιλογή απολυμαντικού εξαρτάται από πλήθος παραγόντων, οι κυριότεροι από αυτούς είναι:

- Να είναι δραστικό σε όλες τις κατηγορίες μικροοργανισμών που παρουσιάζονται ή αναμένεται να παρουσιαστούν στο σύστημα
- Να συμφέρει οικονομικά η εφαρμογή του

- Να μη δημιουργεί παρενέργειες στο σύστημα και να μη διευκολύνει την ανεξέλεγκτη ανάπτυξη ανεπιθύμητων ειδών
 - Να μη δημιουργεί σοβαρούς κινδύνους για το προσωπικό και το περιβάλλον
- Το σύννηθες απολυμαντικό που χρησιμοποιείται στις μονάδες αφαλάτωσης είναι το υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl με την μορφή διαλύματος). Η έκχυση γίνεται σε δεξαμενή κατάλληλου όγκου ώστε να διατεθεί στο υποχλωριώδες νάτριο ο απαραίτητος χρόνος επαφής με το θαλασσινό νερό.

7.2.3 Αντληση και διήθηση μέσω χαλκικόφιλτρων (σημείο 3)

Από τη δεξαμενή απολύμανσης μέσω αντλιών το θαλασσινό νερό εισέρχεται στη μονάδα διήθησης (χαλκικόφιλτρα) για την αφαίρεση αιωρούμενων σωματιδίων (μεγέθους 1-2 mm) που θα μπορούσαν να προκαλέσουν την έμφραξη των μεμβρανών. Στη φάση αυτή μειώνεται η θολότητα του νερού, τα κολλοειδή και μεγάλο μέρος της οργανικής ύλης. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν φίλτρα άμμου.

Για την υποβοήθηση της διήθησης είναι συνήθης τακτική η έκχυση μέσω τροφοδοτικών αντλιών κροκιδωτικού διαλύματος (π.χ. FeCl_3), που προκαλεί συσσωματώσεις στα περιεχόμενα στο νερό στερεά με αποτέλεσμα να μπορούν να συγκρατηθούν πιο εύκολα από τα φίλτρα.

7.2.4 Αποχλωρίωση (σημείο 4)

Το ελεύθερο χλώριο που υπάρχει στο νερό που εξέρχεται από το χαλκικόφιλτρο πρέπει να εξουδετερωθεί προτού φτάσει στις μεμβράνες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την έκχυση διαλύματος όξινου θειώδους νατρίου.

Εναλλακτική λύση αποτελεί η χρήση φίλτρου ενεργού άνθρακα. Το νερό με την πίεση που έχει εξερχόμενο από το φίλτρο (3) διοχετεύεται σε φίλτρο που διαθέτει

διαστρωμάτωση από ενεργό άνθρακα. Ο ενεργός άνθρακας απορροφά το ελεύθερο χλώριο και τα χλωροπαράγωγα της αντίδρασης αυτού με το θαλασσινό νερό όπως χλωραμίνες κ.α., έχει επίσης τη δυνατότητα να κατακρατεί υψηλό ποσοστό λαδιών και πετρελαιοειδών από το νερό.

7.2.5 Διόρθωση του pH (σημείο 5)

Με σκοπό τη μέγιστη δυνατή απόδοση των μεμβρανών της αντίστροφης όσμωσης και προς αποφυγή κάθε είδους καθυστερήσεως, το pH του θαλασσινού νερού πρέπει να ελαττωθεί διότι το πολύ αλκαλικό pH ευνοεί την απόθεση ανθρακικού ασβεστίου στις μεμβράνες προκαλώντας την έμφραξή τους. Με την προσθήκη pH-μέτρου μπορεί να μετρηθεί και με έγχυση θεικού οξέως μέσω δοσιμετρικής αντλίας να αποκτήσει την επιθυμητή τιμή.

7.2.6 Διήθηση μέσω φίλτρων από ενισχυμένες ίνες (σημείο 6)

Στο συγκεκριμένο στάδιο απαιτείται ένα φίλτρο ασφαλείας γιατί σωματίδια ή κάθε υλικό το οποίο πιθανόν να διέφυγε από το σύστημα διήθησης ή να εισχώρησε με κάποιο τρόπο στο σύστημα πρέπει να συγκρατηθεί πριν μπουν στις αντλίες υψηλής πίεσης. Στο φίλτρο που αποτελείται από ενισχυμένες ίνες συγκρατούνται σωματίδια μέχρι 1 μ.

7.2.7 Αντληση σε υψηλή πίεση (σημείο 7)

Για να υπερνικηθεί τόσο η οσμωτική πίεση, όσο και η πτώση πίεσης στις μεμβράνες είναι απαραίτητο να αντληθεί νερό σε υψηλή πίεση. Όπως αναφέρθηκε και στην 5.1.5 η απαιτούμενη πίεση πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 800 psi.

Οι αντλίες υψηλής πίεσης είναι ο κυριότερος καταναλωτής ενέργειας στην εγκατάσταση. Για να μειωθεί το λειτουργικό κόστος της μονάδας αφαλάτωσης, ένα πολύ σημαντικό βήμα είναι να ανακτηθεί ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στις αντλίες υψηλής πίεσης.

Η συνήθης τακτική είναι η ακόλουθη: Η άλμη που απορρίπτεται από τις μεμβράνες (βλέπε επόμενη παράγραφο) και έχει υψηλή πίεση, οδηγείται σε υδροστρόβιλο τύπου Pelton (με σκαφίδια) όπου γίνεται ανάκτηση ενός μεγάλου μέρους της ενέργειας που καταναλώνεται σε αυτό το στάδιο.

7.2.8 Μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης (σημείο 8)

Τα συστήματα αντίστροφης όσμωσης διατάσσονται συνήθως σε ανεξάρτητες συστοιχίες που περιλαμβάνουν τις απαιτούμενες μεμβράνες. Η κάθε μια συστοιχία μεμβρανών μπορεί να καθαριστεί χημικά ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες, η δε έκπλυση των μεμβρανών με καθαρό νερό γίνεται αυτόματα σε κάθε διακοπή λειτουργίας της μονάδας.

Το νερό εισάγεται στις μεμβράνες από τις αντλίες υψηλής πίεσης και εξάγεται σε δύο ρεύματα.

Το πρώτο τμήμα είναι το πόσιμο νερό το οποίο έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα, το δε δεύτερο, το οποίο περιέχει τα άλατα και την αιωρούμενη ύλη που έχουν συκρατήσει οι μεμβράνες, ονομάζεται άλμη. Όπως αναφέρεται και στην 5.1.5, οι μονάδες αντίστροφης όσμωσης σχεδιάζονται για λόγο ανάκτησης περίπου 35% (για θαλασσινό νερό).

Τα συστήματα αντίστροφης όσμωσης που χρησιμοποιούνται στην πράξη μπορούν να καταταγούν σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Συστήματα μιας μεμβράνης (single permeator systems)(Σχήμα 15)

Το νερό αναρροφάται από τις αντλίες υψηλής πίεσης για να διοχετευτεί σε μια μεμβράνη. Η πίεση εξόδου του καθαρού νερού είναι σχεδόν ατμοσφαιρική, ενώ της άλμης είναι υψηλή όσο σχεδόν η πίεση τροφοδοσίας.

2. Πολλαπλά συστήματα μεμβρανών

Στα περισσότερα συστήματα αντίστροφης όσμωσης απαιτούνται περισσότερες από μια μεμβράνες για να παραχθεί η απαιτούμενη ποσότητα και ποιότητα παραγόμενου νερού. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί τρία βασικά συστήματα με διαφορετική διεύθυνση των μεμβρανών που εφαρμόζονται ανάλογα με τη φύση του προς επεξεργασία νερού και τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά του παραγόμενου νερού.

2α. Συστήματα ενός σταδίου (single stage parallel system)(Σχήμα16)

Σε αυτό υπάρχουν κοινοί συλλέκτες της τροφοδοσίας, της άλμης και του προϊόντος. Τα όργανα αυτοματισμού και ρύθμισης είναι τα ίδια όπως και στο σύστημα μιας μεμβράνης. Για την εξισορρόπηση της ροής της άλμης εξαιτίας της διαφορετικής πτώσης πίεσης στις σωληνώσεις κάθε μεμβράνης χρησιμοποιούνται κατάλληλες σωληνώσεις (flow balancing tubes).

Διαφορετικά μικρές διαφορές στην πτώση πίεσης μεταξύ των μεμβρανών που λειτουργούν παράλληλα θα προκαλούσαν σημαντικές διαφορές στις ροές της άλμης με αποτέλεσμα ο βαθμός μετατροπής σε κάθε μεμβράνη να είναι διαφορετικός.

2β. Συστήματα πολλαπλών σταδίων με επανατροφοδοσία άλμης (multiple stage systems, brine staging systems).(Σχήμα 17)

Ο σχεδιασμός του συστήματος αυτού περιλαμβάνει συστήματα μεμβρανών όπου η άλμη του πρώτου συστήματος αποτελεί την τροφοδοσία του δεύτερου συστήματος για

πρόσθετη αφαλάτωση, η άλμη του δεύτερου συστήματος αποτελεί την τροφοδοσία του τρίτου κ.ο.κ. Το παραγόμενο νερό ολόκληρου του συστήματος προέρχεται από την ανάμιξη του παραγόμενου νερού των πολλαπλών σταδίων.

Αυτό είναι και το σύστημα που χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή πόσιμου νερού και έχει υιοθετηθεί από την πλειοψηφία των κατασκευαστών συστημάτων αφαλάτωσης με την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης.

Το μεγάλο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου συστήματος είναι ότι δεν απαιτείται ενδιάμεση πρόσθετη πίεση μεταξύ των μεμβρανών γιατί η πτώση πίεσης στην άλμη του κάθε σταδίου είναι σχετικά μικρή. Έτσι επαρκεί η εγκατάσταση των αντλιών υψηλής πίεσης που περιγράφηκαν στην παράγραφο 7.2.7.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα του συστήματος αποτελεί το γεγονός ότι εκμεταλλεύεται το βέλτιστο ποσοστό ανάκτησης νερού που προβλέπεται από την τεχνικοοικονομική μελέτη.

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται επίσης σε περιπτώσεις υφάλμυρων νερών με υψηλή περιεκτικότητα αλάτων και όταν απαιτείται η μεγιστοποίηση της ποσότητας του καθαρού νερού που μπορεί να παραχθεί και συγχρόνως η μείωση της ποσότητας της άλμης που αποβάλλεται από τη μονάδα.

2γ. Συστήματα δύο περασμάτων με τροφοδοσία προϊόντος (two pass systems, product staging). (Σχήμα 18)

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται όταν συστήματα ενός περάσματος του προς κατεργασία νερού δεν επαρκούν για να παράγουν νερό των απαιτούμενων προδιαγραφών. Ο σχεδιασμός του συστήματος περιλαμβάνει δυο συστήματα αντίστροφης όσμωσης σε σειρά.

Το παραγόμενο νερό του πρώτου συστήματος αποτελεί την τροφοδοσία του δεύτερου συστήματος.

Επίσης κάθε σύστημα μπορεί να είναι είτε ενός σταδίου είτε δυο σταδίων με τροφοδοσία άλμης.

Επειδή η άλμη του δεύτερου σταδίου έχει πολύ λιγότερα TDS από την τροφοδοσία του θαλασσινού νερού, ανακυκλώνεται και προστίθεται στην τροφοδοσία του πρώτου συστήματος.

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται συνήθως για αφαλάτωση θαλασσινού νερού, όταν υπάρχουν πολύ υψηλές απαιτήσεις ποιότητας του παραγόμενου νερού (που δεν προορίζεται για πόσιμο), όπως είναι νερό που καταναλώνεται από φαρμακοβιομηχανίες και άλλες χημικές βιομηχανίες στις οποίες απαιτείται νερό ιδιαίτερων προδιαγραφών (πάρα πολύ μικρών TDS). Τα συστήματα τέτοιου τύπου χαρακτηρίζονται από σημαντικά υψηλό κόστος, το οποίο οφείλεται στην ανάγκη εγκατάστασης και δεύτερο αντλητικού συγκροτήματος υψηλής πίεσης γιατί το νερό το οποίο παράγεται από τις πρώτες αντλίες δεν έχει την απαιτούμενη πίεση ώστε να επεξεργαστεί από το επόμενο σύστημα μεμβρανών.

7.2.9 Αύξηση της σκληρότητας, αλκαλικότητας και διόρθωση του pH (σημείο9)

Για να καταστεί το αφαλατωμένο νερό πόσιμο σύμφωνα με την ισχύουσα υγειονομική διάταξη του Ελληνικού Κράτους, είναι απαραίτητο πλιν της εξουδετέρωσης του pH (απαιτούμενο pH για το πόσιμο νερό είναι $6,5 < \text{pH} < 8,5$), να γίνει και αύξηση της σκληρότητάς του ώστε να φτάσει αυτή τουλάχιστον τα 150 ppm CaCO_3 (ή ισοδύναμων αλάτων) καθώς επίσης και αύξηση της αλκαλικότητας, ώστε να φτάσει τουλάχιστον τα 30 ppm ως HCO_3 .

Οι δυο αυτές διεργασίες επιτυγχάνονται δια της διελεύσεως του αφαλατωμένου νερού μέσω ενός κλειστού δοχείου, το οποίο περιέχει CaCO_3 το οποίο προοδευτικά διαλύεται καθώς περνά το νερό, με συνέπεια την αύξηση της σκληρότητάς του και του pH.

Επειδή όμως η αύξηση της σκληρότητας μ' αυτόν τον τρόπο δεν φτάνει στα επιθυμητά επίπεδα, γίνεται πριν από την είσοδο του παραπάνω δοχείου έκχυση ποσότητας θειικού οξέος μέσω δοσιμετρικής αντλίας τύπου μεμβράνης. Το θειικό οξύ αντιδρά με το ανθρακικό ασβέστιο και έτσι το νερό εξέρχεται από το φίλτρο με διορθωμένα στα προβλεπόμενα επίπεδα τα ως άνω χαρακτηριστικά. Η γύψος που παράγεται συλλέγεται και απορρίπτεται.

Εναλλακτικά του CaCO_3 , μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε Ca(OH)_2 .

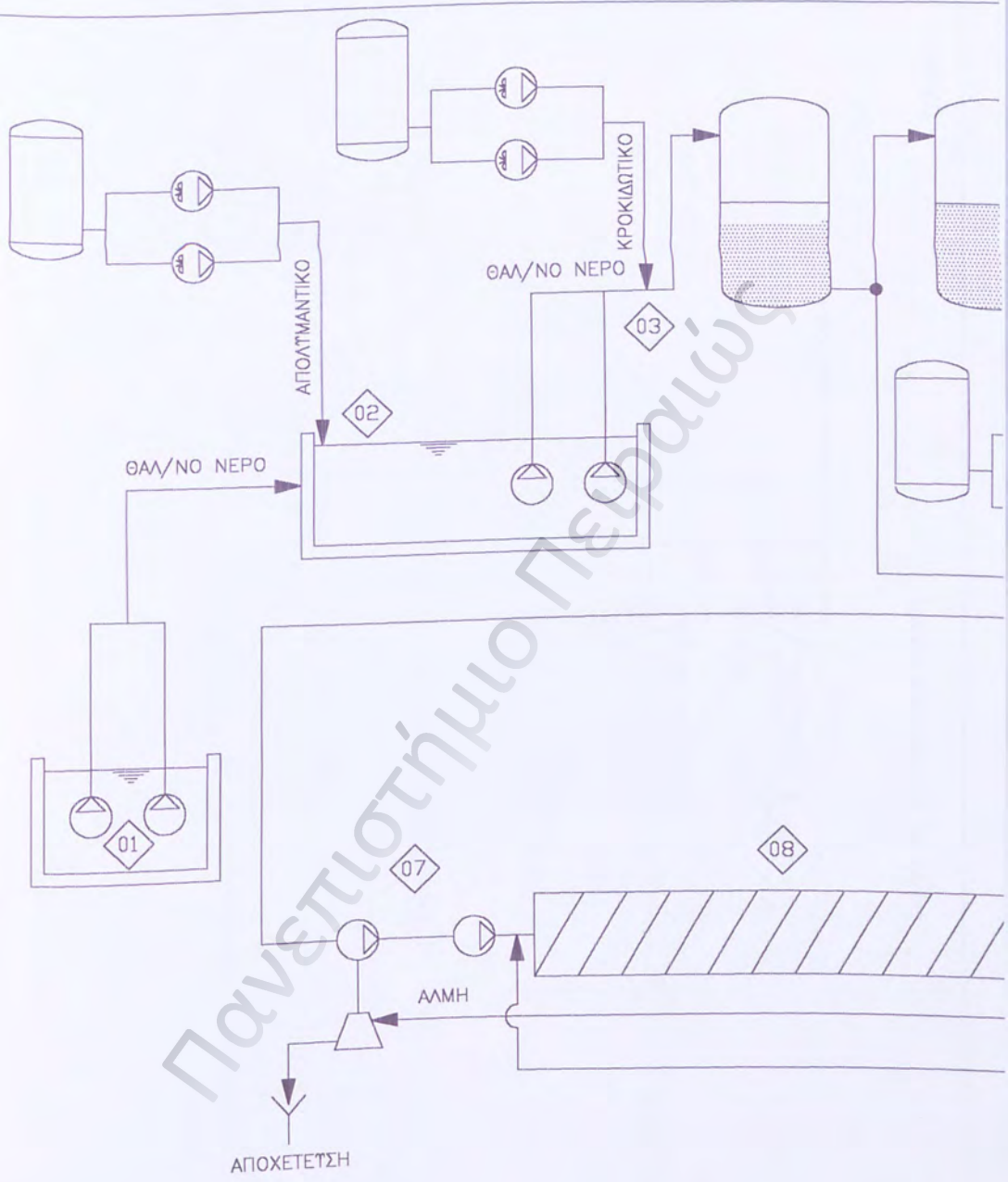
7.2.10 Μεταχλωρίωση (σημείο 10)

Το πόσιμο νερό, πριν οδηγηθεί στη δεξαμενή αποθήκευσης της εγκατάστασης, εφοδιάζεται με την απαραίτητη ποσότητα ελεύθερου χλωρίου με έκχυση διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου μέσω δοσιμετρικών αντλιών.

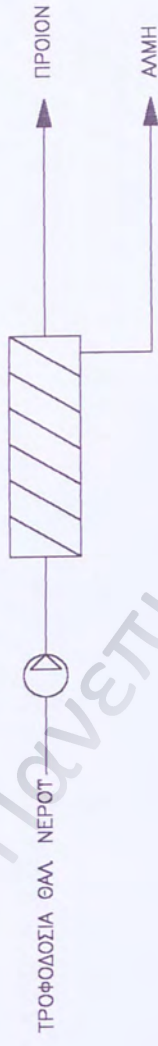
Στη συνέχεια το νερό μπορεί να οδηγηθεί προς διάθεση.

7.2.11 Έκπλυση και χημικός καθαρισμός (σημείο 11)

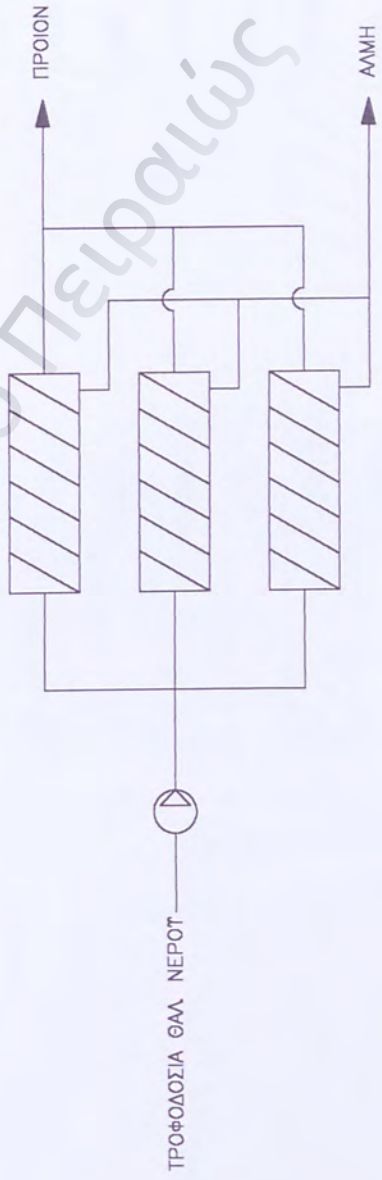
Από την δεξαμενή αποθήκευσης αντλείται νερό για τον καθαρισμό της εγκατάστασης όταν αυτή βρίσκεται σε στάδιο συντήρησης. Επίσης πρέπει να προβλεφθεί σύστημα χημικού καθαρισμού των μεμβρανών από τυχόν επικαθίσεις, με κατάλληλα χημικά που καθορίζονται από τον κατασκευαστή των μεμβρανών.



ΣΧΕΔΙΟ 14: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΔΙΑ



ΣΧΕΔΙΟ 15: ΣΤΥΣΤΗΜΑ ΜΙΑΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ



ΣΧΕΔΙΟ 16: ΣΤΥΣΤΗΜΑ ΕΝΟΣ ΣΤΑΔΙΟΤ

7.3 Τεχνικοί υπολογισμοί

Στη συνέχεια θα γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί για το σχεδιασμό μιας μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση με παροχή σχεδιασμού 500 m³/d στις Κυκλάδες. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η μέση ημερήσια κατανάλωση νερού ανά άτομο στην Ελλάδα είναι 200 lt/d/άτομο, η συγκεκριμένη εγκατάσταση αφαλάτωσης μπορεί να καλύψει τις ανάγκες ενός μικρού νησιού με πληθυσμό $500/0,2 = 2.500$ ατόμων, πληρεί λοιπόν τις προϋποθέσεις για ένα μεγάλο αριθμό νησιών στον Ελληνικό χώρο. Για τον υπολογισμό της ποιότητας του νερού που αποδίδεται από τις μεμβράνες θα χρησιμοποιηθεί πρόγραμμα του κατασκευαστή των μεμβρανών που υπολογίζει με ακρίβεια τη χημική σύσταση και τα χαρακτηριστικά του αποδιδόμενου νερού, όπως και της άλμης. Παγκοσμίως γνωστοί κατασκευαστές μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης έχουν δημιουργήσει τέτοιου είδους προγράμματα όπως :

HYDRANAUTICS το RO design

OSMONICS το WINFLOWS

DOW το FILM TEC κ.α.

Στην παρούσα εργασία γίνεται η χρήση του προγράμματος RO design της HYDRANAUTICS με τις μεμβράνες SWC3 (σπειροειδούς διαμόρφωσης) κατάλληλες για χρήση με θαλασσινό νερό.

7.3.1 Παράμετροι σχεδιασμού

Για τη μελέτη μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης στην περιοχή των Κυκλάδων θα ληφθεί ως θερμοκρασία σχεδιασμού τους 17 °C που είναι και η μέση χειμερινή θερμοκρασία. Η θερμοκρασία του νερού μεταβάλλεται γιατί αντλείται από την θάλασσα και οδηγείται σε δεξαμενή παραμονής (παράγραφος 7.2.2) και στην συνέχεια διέρχεται από μεγάλο μήκος υπέργειων σωληνώσεων οπότε

επηρεάζεται άμεσα από το περιβάλλον. Αυτή η θερμοκρασία επλέγεται διότι η εγκατάσταση θα λειτουργεί 12 μήνες το χρόνο και με την αύξηση της θερμοκρασίας η απόδοση των μεμβρανών βελτιώνεται και με αυτή τη θερμοκρασία εξασφαλίζουμε την ονομαστική παροχή που απαιτείται και την περίοδο του χειμώνα. Η παροχή σχεδιασμού θα είναι $500 \text{ m}^3/\text{d}$.

Η απαιτούμενη ποιότητα του νερού θα είναι αυτή που καθορίζεται από την κυβερνητική απόφαση *ΦΕΚ 53/20-2-86*. Ιδιαίτερη βαρύτητα πρέπει να δοθεί στους όρους που αφορούν τα νερά που προέρχονται από αφαλάτωση, όπως αυτοί περιγράφονται στον Πίνακα 12 (σελ. 34). Τα όρια που παρουσιάζονται στον Πίνακα 12 δεν επιτυγχάνονται με την απλή εξουδετέρωση του νερού με προσθήκη βάσης, γιατί ενώ η σκληρότητα και η αλκαλικότητα υπολείπονται των ελάχιστων ορίων και ο δείκτης LSI (Langelier Saturation Index) παραμένει αρνητικός ενώ ο δείκτης *Stiff & Davis* είναι αρνητικός. Οι παραπάνω δείκτες χρησιμοποιούνται εξαιτίας της συνθετότητας του προβλήματος της δημιουργίας επικαθήσεων και προκύπτουν από θερμοδυναμικούς υπολογισμούς και οι οποίοι μπορούν να δείξουν την τάση του νερού να σχηματίσει επικαθίσεις ή να προκαλέσει διάβρωση. Ο δείκτης LSI ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ του pH του νερού που εξετάζεται και της θεωρητικής τιμής του pH νερού κορεσμένου με CaCO_3 η οποία παρουσιάζεται με pH_s . Δηλαδή:

$$LSI = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (7.1)$$

Όπου το pH κορεσμού, pH_s υπολογίζεται θερμοδυναμικά ως εξής:

$$\text{pH}_s = \text{p}K_{a,2} - \text{p}K_{sp} + \text{p}[\text{Ca}^{2+}] + \text{p}[\text{HCO}_3^-] - \log \gamma_{\text{Ca}^{2+}} - \log \gamma_{\text{HCO}_3^-} \quad (7.2)$$

και είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης του ασβεστίου, των όξινων ανθρακικών, της θερμοκρασίας που επηρεάζει τις σταθερές ισορροπίας και της αλατότητας, η οποία επηρεάζει τους συντελεστές ενεργότητας. Σύμφωνα με τον Langelier εάν ο δείκτης είναι θετικός τότε δημιουργούνται επικαθίσεις ενώ εάν είναι αρνητικός προκαλούνται

διαβρώσεις. Ο δείκτης Stiff & Davis στηρίζεται σε πειραματικές σχέσεις και έχει μεγαλύτερη ακρίβεια από τον LSI όταν πρόκειται για θαλασσινό νερό. Ομοίως εάν ο δείκτης είναι θετικός τότε δημιουργούνται εναποθέσεις ενώ εάν είναι αρνητικός προκαλούνται διαβρώσεις.

Οι κατασκευαστές μεμβρανών προδιαγράφουν για την σωστή λειτουργία των μεμβρανών οι δύο δείκτες να κυμαίνονται κοντά στο 0.

Για το θαλασσινό νερό που θα επεξεργαστεί απαιτείται να γίνει δειγματοληψία και χημική ανάλυση ώστε να μπορούν να υπολογιστούν οι κατάλληλες ποσότητες που θα χρειαστούν. Στην παρούσα διπλωματική εργασία λαμβάνεται υπόψη η χημική ανάλυση του Πίνακα 28.

Ca ⁺²	: 440 ppm ως ιόν	HCO ₃ ⁻¹	: 170 ppm ως ιόν
Mg ⁺²	: 1500 ppm ως ιόν	SO ₄ ⁻²	: 3000 ppm ως ιόν
Na ⁺¹	: 13250 ppm ως ιόν	Cl ⁻¹	: 23664 ppm ως ιόν
K ⁺¹	: 430 ppm ως ιόν	SiO ₂	: 1 ppm ως ιόν
Sr ⁺²	: 13 ppm ως ιόν	CO ₂	: 2,1 ppm ως ιόν
Ba ⁺²	: 0,01 ppm ως ιόν	TDS	: 42469 ppm ως ιόν
CO ₃ ⁻²	: 1 pm ως ιόν	pH	: 8,2

Πίνακας 28: Χημική ανάλυση θαλασσινού νερού (ελήφθη στο θαλάσσιο χώρο της

Σύρου) Πηγή: Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, Διεύθυνση Δημοσίων Έργων

7.3.2 Υπολογισμοί προκατεργασίας

1. Υδροληψία θαλασσινού νερού

Η ονομαστική παροχή νερού της εγκατάστασης είναι $Q_D = 500 \text{ m}^3/\text{d}$, ή

$$500 \cdot 365 \text{ m}^3 / \text{έτος} = 182.500 \text{ m}^3 / \text{έτος}$$

Αν υπολογιστούν οι ώρες συντήρησης της εγκατάστασης αλλά και οι διακοπές της λειτουργίας ημερησίως για το πλύσιμο των φίλτρων της προκατεργασίας, θεωρούμε ότι οι συνολικές μέρες λειτουργίας θα είναι 350. Άρα η διαθεσιμότητα της εγκατάστασης θα είναι:

$$\frac{350}{365} \cdot 100\% = 95,89\% \quad (7.3)$$

και η μονάδα θα πρέπει να έχει ημερήσια δυναμικότητα:

$$Q_E = \frac{Q_D}{0,9589} = 521,43 \text{ m}^3 / \text{d} = 22 \text{ m}^3 / \text{h} \quad (7.4)$$

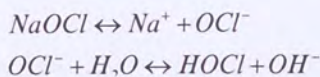
Εάν ο ολικός λόγος ανάκτησης είναι 35% τότε από τη σχέση 5.7 η παροχή τροφοδοσίας θα είναι:

$$Q_T = Q_E / 0,35 = 22 / 0,35 \text{ m}^3 / \text{h} = 62,86 \text{ m}^3 / \text{h} \quad (7.5)$$

Άρα οι αντλίες λήψης θαλασσινού νερού θα επιλεγούν για παροχή 63 m³/h.

2. Απολύμανση

Το νερό οδηγείται σε δεξαμενή όπου του προστίθεται NaOCl το οποίο διίσταται στο νερό και δίνει HOCl και OCl⁻ ανάλογα με την τιμή pH κατά τις αντιδράσεις :



Για να αντιδράσει το NaOCl χρειάζεται τουλάχιστον 20min χρόνο επαφής με το νερό.

Απαιτείται λοιπόν δεξαμενή όγκου τουλάχιστον:

$$V_{\Delta\Xi} = Q_T \cdot t = \frac{62,86}{60} \cdot 20 \text{ m}^3 = 20,95 \text{ m}^3 \quad (7.6)$$

Επίσης εάν i = η δόση του NaOCl = 10 gr/m³ νερού

C = η περιεκτικότητα του διαλύματος NaOCl = 14%

$d = \eta$ πυκνότητα του διαλύματος $\text{NaOCl} = 1,2 \text{ gr/cm}^3$ διαλύματος

(Τα παραπάνω δεδομένα βασίζονται στα πραγματικά δεδομένα λειτουργίας εγκατάστασης αφαλάτωσης στο νησί Σύρος)

Η απαιτούμενη παροχή Q_{NaOCl} της δοσιμετρικής αντλίας θα είναι:

$$Q_{\text{NaOCl}} = \frac{i \cdot Q_T}{C \cdot d} = \frac{10 \cdot 62,86}{0,14 \cdot 1,2} \text{ cm}^3 / \text{h} = 3742 \text{ cm}^3 / \text{h} \quad (7.7)$$

3. Αντληση και φίλτραση μέσω χαλκικόφιλτρων

Οι αντλίες τροφοδοσίας θα έχουν παροχή $Q_T = 62,86 \text{ m}^3/\text{h}$.

Θα γίνεται έκχυση FeCl_3 για υποβοήθηση στη λειτουργία του χαλκικόφιλτρου.

Εάν $i = \eta$ δόση του $\text{FeCl}_3 = 1,5 \text{ gr/m}^3$ νερού

$C = \eta$ περιεκτικότητα του διαλύματος $\text{FeCl}_3 = 10\%$

$d = \eta$ πυκνότητα του διαλύματος $\text{FeCl}_3 = 1,18 \text{ gr/cm}^3$ διαλύματος

(Τα παραπάνω δεδομένα βασίζονται στα πραγματικά δεδομένα λειτουργίας εγκατάστασης αφαλάτωσης στο νησί Σύρος)

Η απαιτούμενη παροχή Q_{FeCl_3} της δοσιμετρικής αντλίας θα είναι:

$$Q_{\text{FeCl}_3} = \frac{i \cdot Q_T}{C \cdot d} = \frac{3 \cdot 62,86}{0,1 \cdot 1,18} \text{ cm}^3 / \text{h} = 799 \text{ cm}^3 / \text{h} \quad (7.8)$$

4. Αποχλωρίωση και διήθηση μέσω φίλτρων από ενισχυμένες ίνες

Το νερό περνάει αρχικά από φίλτρο άνθρακα για την απορρόφηση του χλωρίου και των χλωροπαραγόνων και στη συνέχεια από το φίλτρο ινών. Η πτώση πίεσης η οποία θα προκαλείται σε αυτά τα δύο φίλτρα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν για την επιλογή των αντλιών τροφοδοσίας.

7.3.3 Υπολογισμοί χρήσεως των μεμβρανών όσμωσης

1. Χημική ανάλυση του νερού

Χρησιμοποιώντας την χημική ανάλυση του θαλασσινού νερού του Πίνακα 28 και τους παραπάνω υπολογισμούς στο πρόγραμμα RO design (Παράρτημα Β, Σχήμα 1) θα προσδιοριστεί η ποιότητα του νερού που θα παράγεται από τις μεμβράνες.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται κάθε στοιχείο της ανάλυσης νερού και η σημαντικότητά του στην επεξεργασία.

Ιόντα Ασβεστίου (Ca^{+2}): Ένα δισθενές κατιόν. Το ασβέστιο μαζί με το μαγνήσιο είναι τα κύρια συστατικά της σκληρότητας στα υφάλμυρα νερά. Η διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) τυπικά κυμαίνεται σε τιμές του LSI (Langelier Saturation Index) +1,8 με +2,5

Ιόντα Μαγνησίου (Mg^{+2}): Ένα δισθενές κατιόν. Το μαγνήσιο οφείλεται για το ένα τρίτο την σκληρότητας στα υφάλμυρα νερά, αλλά μπορεί και να έχει πενταπλάσια τιμή από το ασβέστιο στο θαλασσινό νερό. Η διαλυτότητα των αλάτων μαγνησίου είναι μεγάλη και συνήθως δεν προκαλεί προβλήματα επικαθήσεων στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης.

Ιόντα Νατρίου (Na^{+1}): Ένα μονοσθενές κατιόν. Η διαλυτότητα των αλάτων νατρίου είναι υψηλή και δεν προκαλεί προβλήματα επικαθήσεων στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης. Το νάτριο στο θαλασσινό νερό είναι το κύριο σε ποσότητα κατιόν.

Ιόντα Καλίου (K^{+1}): Ένα μονοσθενές κατιόν. Συνήθως βρίσκεται σε πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις από αυτές του νατρίου. Η διαλυτότητα των αλάτων καλίου είναι υψηλή και δεν προκαλεί προβλήματα επικαθήσεων στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης.

Ιόντα Βαρίου (Ba^{+2}): Ένα δισθενές κατιόν. Η διαλυτότητα του θεικού βαρίου ($BaSO_4$) είναι χαμηλή και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα επικαθήσεων στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης.

Ιόντα Στронτίου (Sr^{+2}): Ένα δισθενές κατιόν. Η διαλυτότητα των αλάτων στροντίου είναι χαμηλή και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα επικαθήσεων στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης. Η διαλυτότητά των αλάτων στροντίου μικραίνει όσο αυξάνεται η ποσότητά τους και χαμηλώνει η θερμοκρασία.

Ιόντα Διττανθρακικών(HCO_3^{-1}): Ένα μονοσθενές ανιόν. Η διαλυτότητα του διττανθρακικού ασβεστίου είναι χαμηλή και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα επικαθήσεων στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης. Η διαλυτότητα του διττανθρακικού ασβεστίου μετριέται μέσω του LSI για τα υφάλμυρα νερά και μέσω του δείκτη Stiff-Davis για το θαλασσινό νερό και μικραίνει με την αύξηση της θερμοκρασίας και τη μείωση του pH. Τα διττανθρακικά είναι συστατικό της αλκαλικότητας και αντιδρούν με το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) μεταξύ των τιμών του pH 4,4-8,2 .

Ιόντα Θεικία(SO_4^{-2}): Ένα δισθενές ανιόν. Η διαλυτότητα του θεικού ασβεστίου ($CaSO_4$) του θεικού βαρίου ($BaSO_4$) και του θεικού στροντίου ($SrSO_4$) είναι χαμηλή και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα επικαθήσεων στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης. Η διαλυτότητα των παραπάνω αλάτων μικραίνει όταν χαμηλώνει η θερμοκρασία.

Ιόντα Χλωρίου: Ένα μονοσθενές ανιόν. Η διαλυτότητα των χλωριούχων αλάτων είναι μεγάλη και συνήθως δεν προκαλεί προβλήματα επικαθήσεων στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης.

Ιόντα Διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2): Το διοξείδιο του πυριτίου σε μερικές περιπτώσεις είναι ανιόν. Η χημική του σύνθεση είναι πολύπλοκη και κατά κάποιο τρόπο “απρόβλεπτη”. Μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα εναποθέσεων στις μεμβράνες.

Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2): Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα αέριο που όταν διαλύεται στο νερό αντιδρά για το σχηματισμό H_2CO_3 . Το διοξείδιο του άνθρακα, δεν

αποβάλλεται ούτε συγκεντρώνεται στις μεμβράνες, έτσι η συγκέντρωσή του θα είναι η ίδια στην τροφοδοσία και στο προϊόν. Εάν με την προσθήκη οξέος χαμηλώσει το pH μετατρέπεται το H_2CO_3 σε CO_2 .

2. Χαρακτηριστικά μεμβρανών

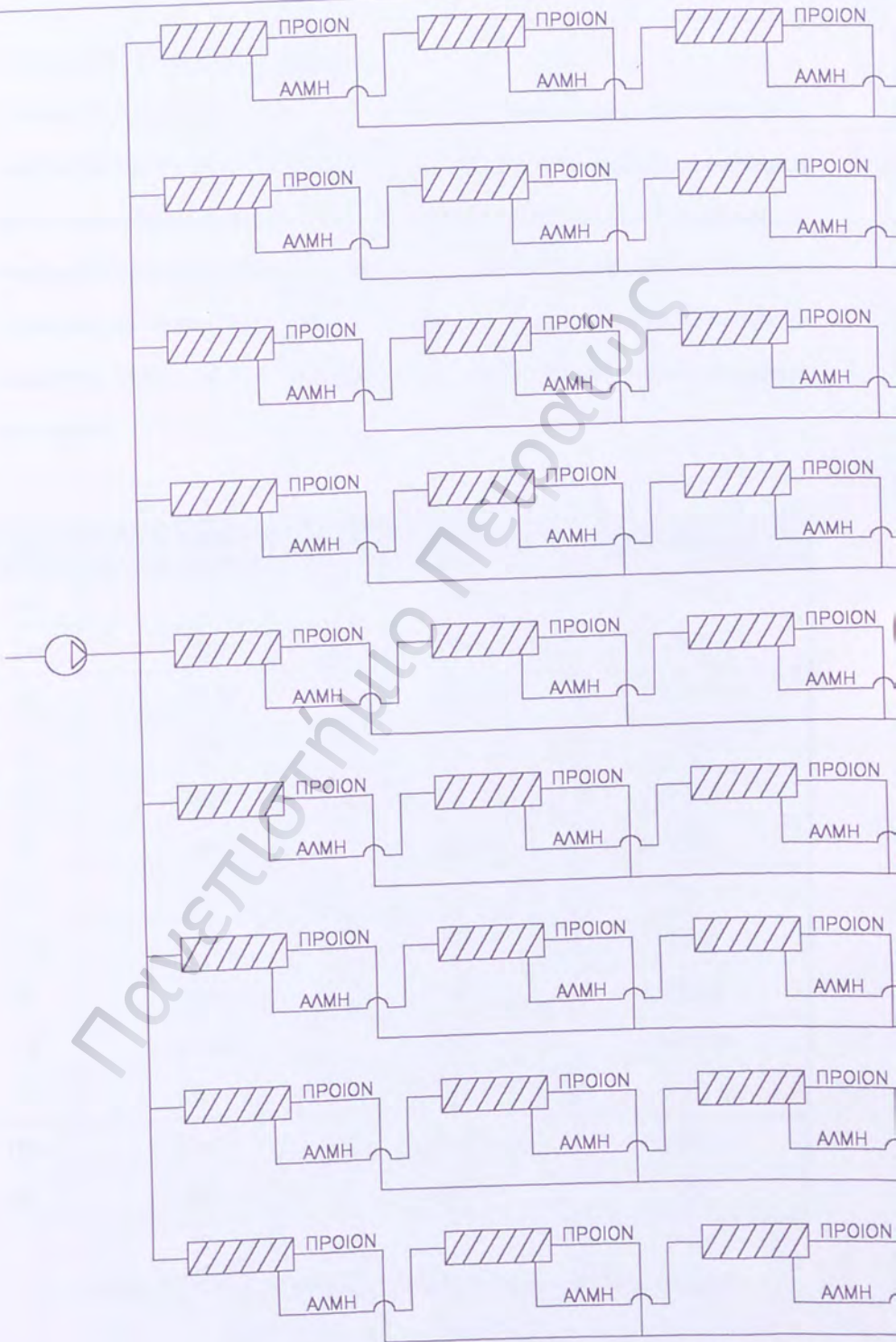
Τα χαρακτηριστικά των μεμβρανών που θα χρησιμοποιηθούν παρουσιάζονται στον Πίνακα 29.

Τύπος μεμβράνης	SWC3
Επιδόσεις	
Παροχή νερού (προϊόντος)	22,3 m ³ /d
Απόρριψη αλάτων	
ονομαστική	99,6%
ελάχιστη	99,5%
Τύπος	
Είδος μεμβράνης	Σπειροειδούς διαμορφώσεως
Πολυμερές μεμβράνης	Σύνθετο πολυαμίδιο
Ονομαστική επιφάνεια	370 ft ²
Στοιχεία λειτουργίας	
Μέγιστη εφαρμοζόμενη πίεση	1200 psig
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας	45 °C
pH νερού τροφοδοσίας	3,0 – 10,0
Μέγιστη θολότητα νερού τροφοδοσίας	1,0 NTU
Μέγιστος βαθμός SDI νερού τροφοδοσίας	5,0
Μέγιστη παροχή νερού τροφοδοσίας	17,0 m ³ /h
Ελάχιστη τιμή του λόγου παροχών (άλμης/προϊόντος) για κάθε μεμβράνη	5:1
Μέγιστη πτώση πίεσης κάθε μεμβράνης	10 psi

Πίνακας 29: Χαρακτηριστικά μεμβράνης αντίστροφης όσμωσης

Πηγή: HYDRANAUTICS RO design

ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΘΑΛ. ΝΕΡΟΥ



ΣΧΕΔΙΟ 19: ΣΥΣΤΗΜΑ 9 ΣΤΥΣΤΟΙΧΙΩΝ Ν

3. Αποτελέσματα χρήσεως μεμβρανών

Για ανάκτηση νερού της τάξης του 35% και για παροχή εισόδου $Q_T = 62,9 \text{ m}^3/\text{h}$, κάνοντας χρήση του προγράμματος RO design (Παράρτημα Β, Σχήμα 2) προτείνεται η χρήση 9 συστοιχιών αποτελούμενες από 6 μεμβράνες η κάθε μία, θα είναι δηλαδή ένα σύστημα 9 συστοιχιών με 6 στάδια η κάθε μία με τροφοδοσία άλμης, Σχήμα 19.

Η σύνθεση του παραγόμενου νερού και της άλμης παρουσιάζονται στον Πίνακα 30. Η επεξεργασία γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι μεμβράνες έχουν ηλικία 3 χρόνων (μέση ηλικία).

Ιόν	Νερό τροφοδοσίας (mg/l)	Παραγόμενο νερό (mg/l)	Άλμη (mg/l)
Ca	440	0,9	676,4
Mg	1500	3,1	2306
Na	13250	132,1	20313,5
K	430	5,4	658,7
Ba	0,010	0	0,015
Sr	13	0,027	19,985
CO ₃	1	0	1,6
HCO ₃	170	2,7	260,1
SO ₄	3000	6,8	4611,8
Cl	23664	212,7	36291,6
SiO ₂	1	0	1,5
TDS	42469	363,8	65141,1
pH	8,2	6,4	8,7

Πίνακας 30: Σύνθεση του νερού στα διάφορα σημεία της επεξεργασίας

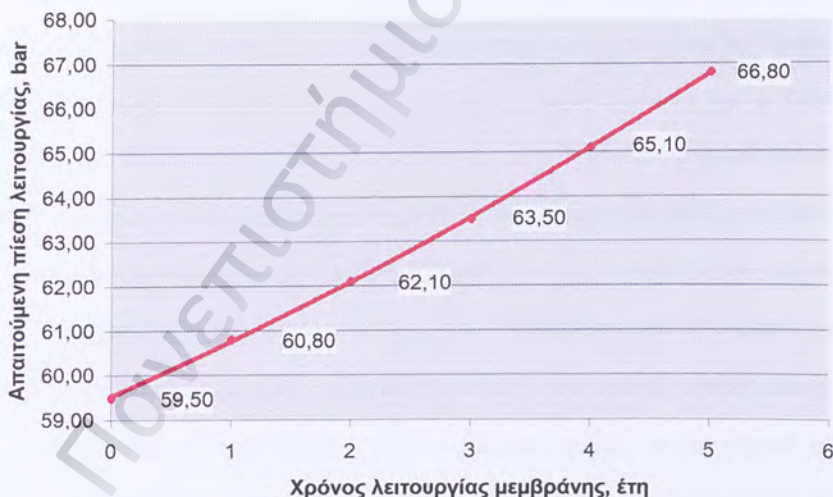
Πηγή: HYDRANAUTICS RO design

Η πίεση τροφοδοσίας του νερού καθορίζεται στα 63,5 bar (Παράρτημα Β, Σχήμα 3).

Παρατηρείται από το Σχήμα 20 ότι η απαιτούμενη πίεση στις μεμβράνες αυξάνει αισθητά και λαμβάνοντας υπόψιν ότι ο χρόνος ζωής των μεμβρανών είναι 4,5-5 χρόνια, τότε προτείνεται αντλία υψηλής πίεσης στα 66,3 bar με παροχή 62,9 m³/h.

Στον Πίνακα 31 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις δυσδιάλυτων αλάτων της άλμης και ο LSI.

Παρατηρείται ότι ο LSI έχει ξεπεράσει τα απαιτούμενα όρια οπότε οι επικαθίσεις στις σωληνώσεις της άλμης θα δημιουργήσουν πρόβλημα στον στρόβιλο ανάκτησης ενέργειας. Μείωση της τιμής του LSI μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη οξέως στο νερό τροφοδοσίας.



Σχήμα 20: Μεταβολή της απαιτούμενης πίεσης του νερού τροφοδοσίας στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης ανάλογα με το χρόνο λειτουργίας τους

Πηγή: HYDRANAUTICS RO design

Συγκεντρώσεις δυσδιάλυτων αλάτων της άλμης (%)			
Άλατα	Νερό τροφοδοσίας	Άλμη	Όριο
CaSO ₄	23	40	230
SrSO ₄	42	72	800
BaSO ₄	48	81	6000
SiO ₂	1	1	100
LSI	1,18	2,03	<1,8

Πίνακας 31: Συγκεντρώσεις δυσδιάλυτων αλάτων της άλμης

Πηγή: HYDRANAUTICS RO design

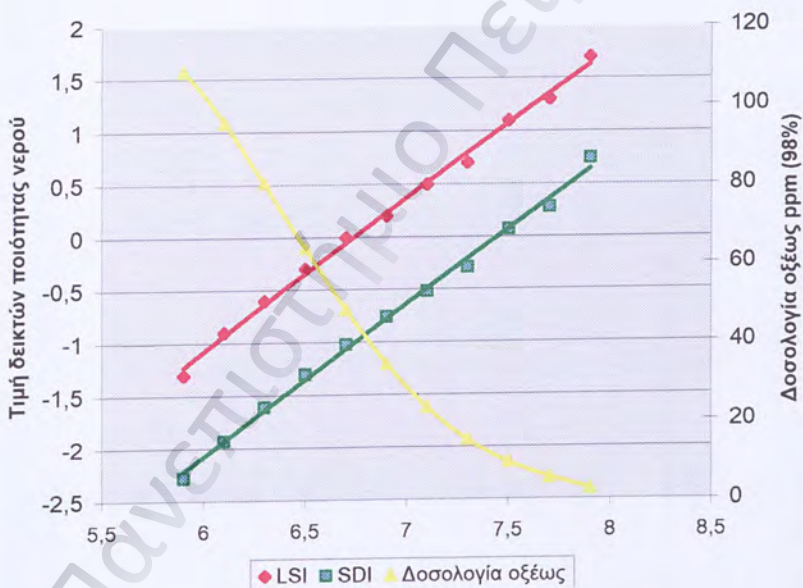
4. Προσθήκη θειικού οξέως στο νερό τροφοδοσίας

Κάνοντας χρήση του προγράμματος RO design με την προσθήκη θειικού οξέως στο νερό τροφοδοσίας (H₂SO₄) (Παράρτημα Β, Σχήμα 4), η σύσταση των νερών της επεξεργασίας φαίνεται στον Πίνακα 32. Η ποσότητα θειικού οξέως που θα εισαχθεί στο σύστημα θα καθοριστεί από την τιμή του pH που θα καθορίσουμε να έχει το νερό της τροφοδοσίας. Δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη λύση για το ποια είναι η απαιτούμενη τιμή του pH που πρέπει να επιτευχθεί. Αυτό καθορίζεται από διάφορους παράγοντες όπως:

- Ποια ποσότητα θειικού οξέως θεωρούμε ότι είναι η ανώτερη που μπορεί να εισαχθεί στο σύστημα. Το θειικό οξύ είναι ισχυρότατο οξύ και παρόλο που οι σωληνώσεις, οι πτερωτές (πολυβάθμια αντλία) της αντλίας υψηλής πίεσης και τα απαραίτητα εξαρτήματα είναι ανοξειδωτα, μεγάλες συγκεντρώσεις οξέων δημιουργούν προβλήματα διάβρωσης με το πέρασμα του χρόνου και την έντονη χρήση.
- Ποιες είναι οι επιθυμητές ποσότητες χημικών που θα χρησιμοποιηθούν στο στάδιο της μετακατεργασίας (όπως φαίνεται στην παράγραφο 4). Με μικρότερη τιμή pH απαιτείται μικρότερη ποσότητα χημικών.

- Ποιο θα είναι το κόστος προμήθειας, μεταφοράς και φύλαξης του θειικού οξέως και των χημικών της μετακατεργασίας, έτσι ώστε να χρησιμοποιείται ο βέλτιστος δυνατός συνδυασμός.

Μετά από δοκιμές στο πρόγραμμα RO design προσπαθώντας να χρησιμοποιηθεί όσο το δυνατόν μικρότερη ποσότητα οξέως (για λόγους οικονομίας) ενώ ταυτόχρονα οι δείκτες LSI και SDI να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο 0 (Σχήμα 21), επιλέγεται τιμή pH = 7,4 που αντιστοιχεί στην προσθήκη 12,1 ppm διαλύματος θειικού οξέως (συγκεντρώσεως 98%).



Σχήμα 21: Μεταβολή του pH του νερού τροφοδοσίας σε συνάρτηση με την ποσότητα του οξέως που χρησιμοποιείται και καθορισμός των δεικτών LSI και SDI

Πηγή: HYDRANAUTICS RO design

Έτσι επιτυγχάνουμε τιμή LSI = 0,94 και SDI = -0,04 που είναι τιμές αποδεκτές. Οι συγκεντρώσεις των δυσδιάλυτων αλάτων (CaSO_4 , SrSO_4 , BaSO_4 , SiO_2) είναι χαμηλές.

Ιόν	Νερό τροφοδοσίας (mg/l)	Νερό τροφοδοσίας με προσθήκη H ₂ SO ₄ (mg/l)	Παραγόμενο νερό (mg/l)	Άλιη (mg/l)
Ca	440	440	0,9	676,4
Mg	1500	1500	3,1	2306
Na	13250	13250	132,1	20313,5
K	430	430	5,4	658,7
Ba	0,010	0,010	0	0,015
Sr	13	13	0,027	19,985
CO ₃	1	0,2	0	0,2
HCO ₃	170	156,9	2,5	240
SO ₄	3000	3011,7	6,8	4629,7
Cl	23664	23664	212,8	36291,6
SiO ₂	1	1	0	1,5
TDS	42469	42466,7	363,6	65137,6
pH	8,2	7,4	5,6	7,7

Πίνακας 32: Σύνθεση του νερού στα διάφορα σημεία της επεξεργασίας, με προσθήκη H₂SO₄ στο νερό τροφοδοσίας

Πηγή: HYDRANAUTICS RO design

5. Μετακατεργασία

Το παραγόμενο από την επεξεργασία νερό πρέπει να επεξεργαστεί περαιτέρω ώστε η σκληρότητά του να αποκτήσει τα όρια που καθορίζονται από την νομοθεσία. Επίσης πρέπει (όπως ορίζεται από το νόμο) το pH πρέπει να γίνει αλκαλικό, ώστε να μην καταστρέφονται οι σωληνώσεις διανομής, κάτι που θα έχει ως αποτέλεσμα να φτάνουν ‘σκουριές’ στη βρύση του καταναλωτή.

Μετά από δοκιμές (Παράρτημα Β, Σχήμα 5) στο πρόγραμμα RO design, προσθέτοντας χημικά μέχρι το νερό να αποκτήσει τις προδιαγραφές που απαιτεί η νομοθεσία και παρουσιάζονται στον Πίνακα 33. Έτσι επιλέγεται να προστεθούν 104 ppm Ca(OH)_2 ώστε να αποκατασταθεί η απαιτούμενη σκληρότητα. Το pH με την προσθήκη του Ca(OH)_2 έχει ξεπεράσει τα απαιτούμενα όρια και είναι έντονα αλκαλικό, οπότε γίνεται προσθήκη 124 ppm H_2SO_4 ώστε να είναι στα επιθυμητά επίπεδα. Για την κάλυψη των απαιτούμενων ορίων πρέπει να προστεθούν και 18 ppm NaHCO_3 .

Η απαιτούμενη ολική σκληρότητα του νερού υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Σκληρότητα (σε mg/l)} = M^{+2} (\text{σε mg/l}) \times \frac{50}{IB} \quad (7.9)$$

όπου M^{+2} τα δισθενή μεταλλικά ιόντα και IB τα ισοδύναμα βάρη. Άρα

$$\text{Ca}^{+2} \rightarrow (57,1)(50)/(20) = 142,75$$

$$\text{Mg}^{+2} \rightarrow (3,1)(50)/(12,2) = 12,7$$

$$\text{Ολική σκληρότητα} = 155,45 \text{ mg/l}$$

Η ποσότητα του NaOCl θα αυξηθεί για να αντιμετωπιστούν μικροοργανισμοί που μπορεί να εισέλθουν στο δίκτυο από σπάσιμο κάποιου σωλήνα μεταφοράς η κάποιου είδους βλάβη.

$$\text{Επίσης εάν } i = \text{η δόση του NaOCl} = 0,2 \text{ gr/m}^3 \text{ παραγόμενου νερού}$$

$$C = \text{η περιεκτικότητα του διαλύματος NaOCl} = 14\%$$

$$d = \text{η πυκνότητα του διαλύματος NaOCl} = 1,2 \text{ gr/cm}^3 \text{ διαλύματος}$$

Η απαιτούμενη παροχή Q_{NaOCl_2} της δοσιμετρικής αντλίας θα είναι:

$$Q_{NaOCl_2} = \frac{i \cdot Q_T}{C \cdot d} = \frac{0,2 \cdot 22}{0,14 \cdot 1,2} \text{ cm}^3 / \text{h} = 26 \text{ cm}^3 / \text{h} \quad (7.10)$$

Πόσιμο νερό	Μονάδες	Προβλεπόμενα όρια
pH	8,13	6,5 < pH < 8,5
TDS	576	Χωρίς άνω όριο
Ca ⁺²	57,1	Χωρίς άνω όριο
Mg ⁺²	3,1	<50
Na ⁺¹	137	<150
K ⁺¹	5,4	<12
HCO ₃ ⁻¹	31,8	>30
SO ₄ ⁻²	128,2	<250
Cl ⁻¹	212,8	Χωρίς άνω όριο
CO ₂	0,2	Χωρίς άνω όριο
Ολική σκληρότητα	155,45	>150

Πίνακας 33: Χαρακτηριστικά του παραγόμενου νερού

Πηγή: HYDRANAUTICS RO design

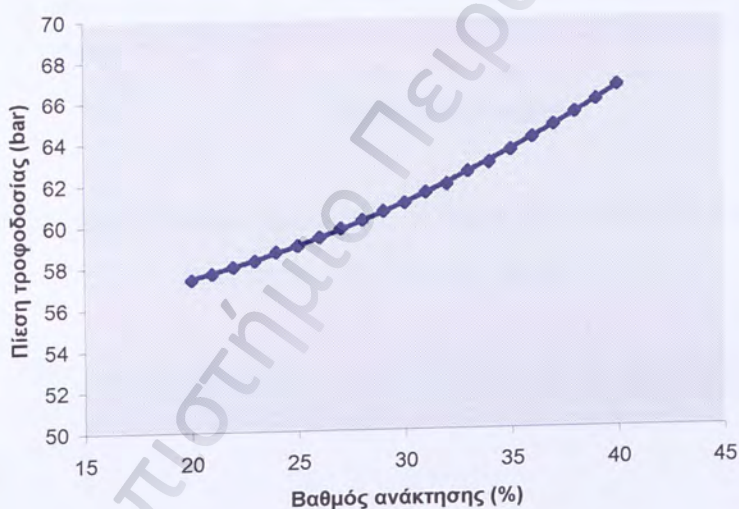
7.3.4 Παραμετροποίηση

Στους παραπάνω τεχνικούς υπολογισμούς λαμβάνεται υπόψιν ο λόγος ανάκτησης 35%. Όπως προαναφέρθηκε στο θαλασσινό νερό ο λόγος ανάκτησης κυμαίνεται από 20% έως 35%. Αυτό καθορίζεται από τα όρια αντοχής των μεμβρανών και τις δυνατότητες επεξεργασίας τους. Για την αύξηση του λόγου ανάκτησης πρέπει η πίεση στις μεμβράνες να μεγαλώσει, όπως φαίνεται στο Σχήμα 22. Με την αύξηση της πίεσης οι μεμβράνες θα λειτουργούν κάτω από δυσμενέστερες συνθήκες με αποτέλεσμα να μειώνεται ο χρόνος ζωής τους. Επιπλέον πρέπει να εγκατασταθούν αντλίες υψηλής

πίεσης με μεγαλύτερη ισχύ, κάτι που αυξάνει το αρχικό κόστος αλλά και το λειτουργικό λόγω της μεγαλύτερης κατανάλωσης του ηλεκτρικού ρεύματος.

Στο Σχήμα 23 παρουσιάζεται η αλατότητα του παραγόμενου νερού σε συνάρτηση με το βαθμό ανάκτησης. Διαπιστώνεται ότι αύξηση του βαθμού ανάκτησης έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή νερού χειρότερης ποιότητας διότι αυξάνεται η διέλευση των αλάτων από την μεμβράνη.

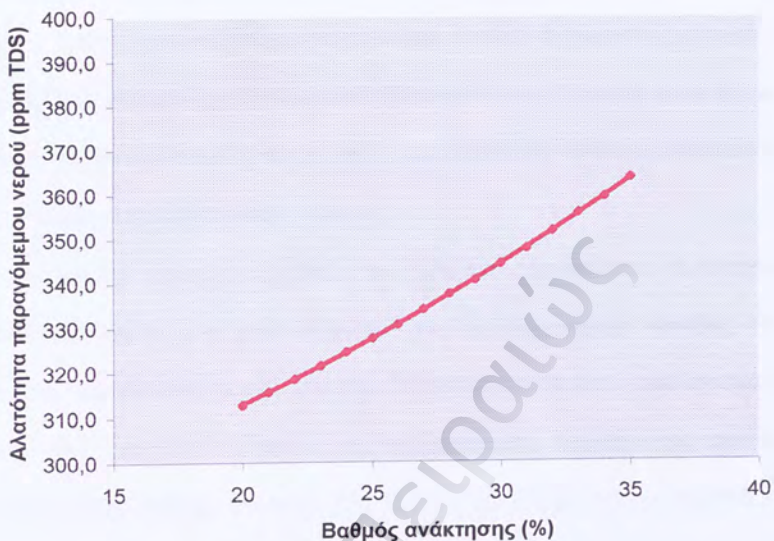
Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο παρουσιάζεται στο Σχήμα 24. Σε αυτό παρουσιάζεται η



Σχήμα 22: Πίεση τροφοδοσίας μεμβρανών σε συνάρτηση με το λόγο ανάκτησης

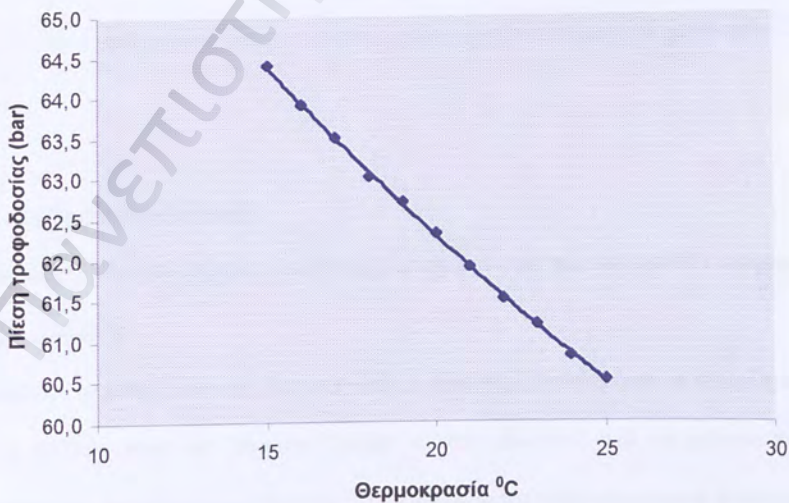
Πηγή: HYDRANAUTICS RO design

πίεση τροφοδοσίας των μεμβρανών σε συνάρτηση με την θερμοκρασία. Διαπιστώνουμε ότι με την άνοδο της θερμοκρασίας, η απαιτούμενη πίεση στην τροφοδοσία της μεμβράνης για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας νερού, μειώνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το καλοκαίρι όπου η θερμοκρασία αυξάνεται λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι αντλίες υψηλής πίεσης λειτουργούν με σταθερή παροχή και συγκεκριμένη πίεση η μεμβράνη θα αποδίδει μεγαλύτερη ποσότητα επεξεργασμένου νερού.



Σχήμα 23: Αλατότητα παραγόμενου νερού σε συνάρτηση με το λόγο ανάκτησης

Πηγή: HYDRANAUTICS RO design



Σχήμα 24: Πίεση τροφοδοσίας μεμβρανών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία

Πηγή: HYDRANAUTICS RO design

7.4 Οικονομική μελέτη

Στη συνέχεια γίνεται η οικονομική μελέτη για μια μονάδα ονομαστικής παροχής 500 m³/h. Δημιουργήθηκαν με την βοήθεια του ‘Microsoft Excel’ φύλλα εργασίας με τα οποία μπορεί να γίνει οικονομική αξιολόγηση μιας επένδυσης στην παραγωγή πόσιμου νερού με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης.

Σε αυτά τα φύλλα εργασίας ορίζονται τα δεδομένα σχεδιασμού, η ενεργειακή κατανάλωση (που αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό του λειτουργικού κόστους) και οι ποσότητες των χρησιμοποιούμενων χημικών. Στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός του αρχικού και του λειτουργικού κόστους της εγκατάστασης. Λαμβάνοντας υπόψιν το ποσό δανείου και επιδότησης που μπορεί να λάβει ο επενδυτής και χρησιμοποιώντας οικονομικές παραμέτρους όπως ο πληθωρισμός, το επιτόκιο δανεισμού, το επιτόκιο προεξόφλησης κ.α., υπολογίζονται οι χρηματορροές της επένδυσης και βάσει κριτηρίων αξιολόγησης επενδύσεων, όπως η καθαρά παρούσα αξία NPV (Net Present Value) και ο εσωτερικός βαθμός αποδοτικότητας IRR (Internal Rate of Return) της επένδυσης.

Τα οικονομικά δεδομένα (τιμές) που χρησιμοποιήθηκαν επιλέχθηκαν μετά από έρευνα αγοράς.

7.4.1 Δεδομένα σχεδιασμού

Στο Πίνακα 34 παρουσιάζονται τα δεδομένα σχεδιασμού για μια μονάδα ονομαστικής παροχής 500 m³/h.

Τα στοιχεία τα οποία είναι σε ‘κίτρινο’ φόντο είναι τιμές που πρέπει να συμπληρωθούν από το χρήστη, αυτά σε ‘πράσινο’ φόντο συμπληρώνονται από το χρήστη για την πληρότητα της παρουσίασης αλλά δεν χρησιμοποιούνται στην οικονομική ανάλυση που ακολουθεί και αυτά σε ‘λευκό’ φόντο είναι αποτελέσματα υπολογισμών και συμπληρώνονται από το φύλλο εργασίας.

Τοποθεσία Μονάδας		ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ Α
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ		
		ΑΝΟΙΧΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ
Τύπος υδροληψίας		
Ονομαστική παροχή	m ³ /μέρα	500
Μέρες λειτουργίας ετησίως	μέρες	350
Δυναμικότητα	m ³ /μέρα	521,43
Θερμοκρασία	°C	17
Πίεση στις μεμβράνες	bar	63,5
Λόγος ανάκτησης	%	35
Μέση απόρριψη αλάτων	%	99,60
Διαθεσιμότητα	%	95,89
Ετήσια παραγωγή	m ³ /έτος	182.500
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας	ΕΥΡΩ/kWh	0,09
Ανάκτηση ενέργειας (αντλίας υψηλής π.)		ΝΑΙ

Πίνακας 34: Δεδομένα σχεδιασμού

Χρησιμοποιώντας την ονομαστική παροχή, τις μέρες λειτουργίας ετησίως και το λόγο ανάκτηση υπολογίζεται η δυναμικότητα, η διαθεσιμότητα και η ετήσια παραγωγή της εγκατάστασης, όπως και στην παράγραφο 7.3.2.

Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας αντιστοιχεί σε 0,09 ΕΥΡΩ/kWh (χαμηλής τάσης δικτύου). Οι περισσότερες αφαλατώσεις λόγω των θέσεων εγκατάστασης που επιλέγονται (ιδίως στις νησιωτικές περιοχές) δεν είναι δυνατόν να συνδεθούν με δίκτυο μέσης τάσης όπου με την κατασκευή υποσταθμού υποβιβασμού της τάσης θα κατανάωναν φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια, κάτι που θα μείωνε το λειτουργικό κόστος, αλλά λόγω της κατασκευής του υποσταθμού θα αυξανόταν το αρχικό κόστος.

7.4.2 Ενεργειακή κατανάλωση

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του λειτουργικού κόστους της εγκατάστασης. Οι σχεδόν αποκλειστικοί καταναλωτές είναι οι αντλίες της εγκατάστασης, ενώ ο κυριότερος καταναλωτής είναι η αντλία υψηλής πίεσης.

Η απαιτούμενη ισχύς ενός κινητήρα αντλίας δίνεται από τον τύπο:

$$N_{KIN} = m \cdot \frac{N}{\eta_M} \quad (7.6)$$

Όπου:

m = συντελεστής ασφαλείας (=1,1-1,4)

η_M = βαθμός απόδοσης μετάδοσης κίνησης (=0,9-1)

N = εισερχόμενη ισχύς αντλίας (σε kW)

Η εισερχόμενη ισχύς της αντλίας δίνεται από τη σχέση:

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{270 \cdot \eta} \text{ σε Hp} \quad (7.7)$$

όπου:

γ = ειδικό βάρος νερού σε kg/dm^3

Q = παροχή της αντλίας σε m^3/h

H = ολικό μανομετρικό ύψος συστήματος σε m

η = ο βαθμός απόδοσης της αντλίας

Λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα της ενότητας 7.4 και το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται φυγοκεντρικές πολυβάθμιες αντλίες που έχουν βαθμό απόδοσης περίπου 60-65% και επιλέγοντας κάποια τυπικά μανομετρικά ύψη για τις χρησιμοποιούμενες αντλίες, $H_{\text{θαλασινού}} = 15 \text{ m}$, $H_{\text{τροφοδοσίας}} = 40 \text{ m}$, $H_{\text{εκκλυσής}} = 35 \text{ m}$, $H_{\text{χημ.καθαρισμού}} = 45 \text{ m}$, $H_{\text{διάθεσης}} = 20 \text{ m}$.

Οι δοσιμετρικές αντλίες έχουν ισχύ περίπου 50 Watt. Σύμφωνα με τις εξισώσεις 7.6 και 7.7 συμπληρώνεται ο Πίνακας 35.

Η ανάκτηση ενέργειας που γίνεται μέσω στροβίλου στην αντλία υψηλής πίεσης είναι της τάξης του 40%. Η ετήσια εκμεταλλεόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 1.281.924 kWh.

7.4.3 Κόστος χημικών

Η δόση του NaOCl με περιεκτικότητα διαλύματος 14% για την προχλωρίωση κατά μέσο όρο είναι 10 gr/m^3 . Σε 1 ώρα χλωριώνονται $62,86 \text{ m}^3$ θαλασσινού νερού, συνεπώς αναλώνονται 628,6 gr. Στη μετακατεργασία κατά μέσο όρο χρησιμοποιούνται $0,2 \text{ gr/m}^3$. Σε 1 ώρα χλωριώνονται 22 m^3 προϊόντος συνεπώς αναλώνονται 4,4 gr. Άρα συνολικά αναλώνονται 633 gr στα 22 m^3 προϊόντος, δηλαδή 29 gr/m^3 .

Η δόση του FeCl_3 κατά μέσο όρο είναι $1,5 \text{ gr/m}^3$. Άρα θα καταναλώνονται $4,3 \text{ gr/m}^3$ προϊόντος.

Η δόση του H_2SO_4 για την ταπεινώση του pH όπως υπολογίζεται από το RO design είναι $12,1 \text{ gr/m}^3$. Σε 1 ώρα αναλώνονται 760,6 gr (στο νερό τροφοδοσίας), δηλαδή $34,6 \text{ gr/m}^3$ προϊόντος. Στην μετακατεργασία αναλώνονται 124 gr/m^3 . Άρα συνολικά $158,6 \text{ gr/m}^3$ προϊόντος.

Η δόση του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ για την διόρθωση της σκληρότητας είναι 104 gr/m^3 προϊόντος.

Η δόση του NaHCO_3 για την διόρθωση της σκληρότητας είναι 18 gr/m^3 προϊόντος.

Λαμβάνοντας υπόψιν τις τιμές των παραπάνω ουσιών συμπληρώνεται ο Πίνακας 36.

ΕΙΔΟΣ	Μονάδες	Ισχύς	Σε Λειτουργία	Σύνολο
Αντλίες θαλασσινού νερού	kW	4,44	1	4,44
Αντλίες τροφοδοσίας	kW	11,83	1	11,83
Αντλίες υψηλής πίεσης	kW	192,25	1	192,25
Ανάκτηση ενέργειας	kW	77,00	1	77,00
Αντλίες έκπλυσης	kW	5,11	1	5,11
Αντλίες χημικού καθαρισμού	kW	10,59	1	10,59
Δοσιμετρικές αντλίες	kW	0,05	5	0,25
Αντλίες διάθεσης	kW	4,14	1	4,14
Άλλες καταναλώσεις	kW	1,50	1	1,50
ΣΥΝΟΛΟ	kW			153,11
Ανάκτηση ενέργειας (στην αντλία υψηλής πίεσης)	%			40,05
Κατανάλωση ενέργειας ανά m ³	kWh/m ³			7,05
Ετήσια καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια	kWh			1.286.124

Πίνακας 35: Ενεργειακή κατανάλωση εγκατάστασης

ΕΙΔΟΣ	Μονάδες	Ποσότητα		Σύνολο	Τιμή ανά kgr
NaOCl	gr/m ³	29,00	kgr	5292,50	€ 0,23
H ₂ SO ₄	gr/m ³	158,60	kgr	28944,50	€ 0,15
FeCl ₃	gr/m ³	4,30	kgr	784,75	€ 0,88
Ca(OH) ₂	gr/m ³	104,00	kgr	18980,00	€ 0,12
NaHCO ₃	gr/m ³	18,00	kgr	3285,00	€ 0,50

Πίνακας 36: Κόστος χημικών

7.4.4 Αρχικό και λειτουργικό κόστος

Το αρχικό κόστος υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη την κοστολόγηση υφιστάμενων εγκαταστάσεων αφαλάτωσης με τη μέθοδο αντίστροφης όσμωσης και βιβλιογραφία που αφορά τις συγκεκριμένες εγκαταστάσεις.

Το αρχικό κόστος χωρίστηκε σε τέσσερις κατηγορίες που περιγράφονται παρακάτω και παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 37:

1. Έκταση της εγκατάστασης

Σε αυτήν περιλαμβάνεται το κόστος της αγοράς οικοπέδου που θα γίνει η εγκατάσταση, της διαμόρφωσης του χώρου, τυχόν εκσκαφές και περίφραξη, τη κατασκευή δρόμου προσπέλασης-σύνδεσης με το οδικό δίκτυο, τα έργα υδροληψίας και τα έργα διάθεσης (όσον αφορά τα έργα πολιτικού μηχανικού).

2. Κτιριακές εγκαταστάσεις

Σε αυτή την κατηγορία το μεγαλύτερο κόστος το έχει η κατασκευή κτιρίου μέσα στο οποίο θα τοποθετηθεί η μονάδα αφαλάτωσης, το οποίο πρέπει να είναι ηχομονωμένο για τη μείωση του θορύβου που προκαλείται από το αντλητικό συγκρότημα, να διαθέτει εργαστήριο για την αξιολόγηση μετρήσεων για την ποιότητα του νερού, χώρο

διοικητικού γραφείου, αποθήκη ανταλλακτικών και χημικών, χώρο ηλεκτρικών πινάκων και σύστημα πυρόσβεσης.

Επίσης περιλαμβάνεται το κόστος εγκατάστασης γερανογέφυρας για εύκολη μεταφορά εξοπλισμού, αλλά και το κόστος εξοπλισμού των γραφείων και αποθήκευσης χημικών.

3. Μονάδα αφαλάτωσης

Αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό του αρχικού κόστους και σε αυτό περιλαμβάνεται το κόστος της προκατεργασίας, των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης, της σχεδίασης, των αδειών, των αμοιβών των μηχανικών (για μελέτη της μονάδας) και του Η/Μ εξοπλισμού, το οποίο είναι ιδιαίτερα υψηλό διότι σε αυτό συμπεριλαμβάνεται το κόστος των αντλιών και σωληνώσεων, οι οποίες πρέπει να είναι κατασκευασμένες από ανοξείδωτο χάλυβα υψηλής ποιότητας, ώστε να είναι δυνατόν να αντεπεξέλθουν σε ένα τόσο διαβρωτικό περιβάλλον όπως αυτό του θαλασσινού νερού.

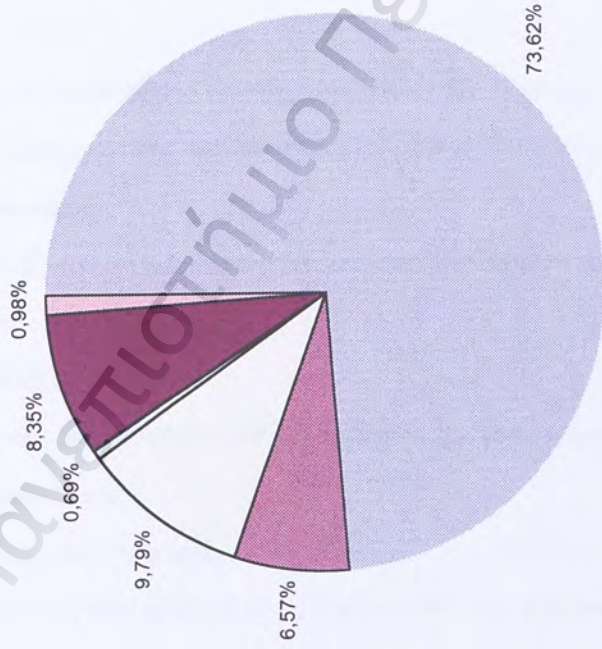
4. Απρόβλεπτα

Αποτελεί ένα μικρό ποσοστό του αρχικού κόστους και αφορά μη προβλέψιμα κόστη στην διάρκεια της κατασκευής.

Το λειτουργικό κόστος αποτελείται από το κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (που αποτελεί και το μεγαλύτερο ποσοστό), το κόστος των χημικών, του προσωπικού της εγκατάστασης, της αντικατάστασης των μεμβρανών (η διάρκεια ζωής των μεμβρανών είναι 5 χρόνια και το κόστος αυτό ανάγεται σε ετήσια βάση), των ανταλλακτικών που θα χρειαστούν και της συντήρησης των μεμβρανών (μέσω χημικού καθαρισμού) και των φίλτρων. Το αντίστοιχο ποσοστό των παραπάνω επί του συνολικού κόστους παρουσιάζεται στο Σχήμα 24. Αναλυτικότερα παρουσιάζονται στον Πίνακα 37.

Αρχικό κόστος	Ποσό	Ποσοστό	Ευρώ/m ³
<u>Έκταση της εγκατάστασης</u>			
Αγορά οικοπέδου	€ 24.000	4,06%	€ 0,13
Διαμόρφωση χώρου	€ 7.500	1,27%	€ 0,04
Κατασκευή δρόμου προσπέλασης	€ 7.000	1,18%	€ 0,04
Έργα υδροληψίας	€ 8.800	1,49%	€ 0,05
Έργα διάθεσης	€ 2.900	0,49%	€ 0,02
ΣΥΝΟΛΟ	€ 50.200	8,49%	€ 0,28
<u>Κτιριακές εγκαταστάσεις</u>			
Κατασκευή κτιρίου με εργαστήριο, αποθήκη	€ 120.000	20,30%	€ 0,66
Γερανογέφυρα	€ 6.000	1,01%	€ 0,03
Εξοπλισμός γραφείων	€ 590	0,10%	€ 0,00
Αποθήκευση χημικών	€ 2.500	0,42%	€ 0,01
ΣΥΝΟΛΟ	€ 129.090	21,84%	€ 0,71
<u>Μονάδα αφαλάτωσης</u>			
Προκατεργασία	€ 80.000	13,53%	€ 0,44
Μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης	€ 64.000	10,83%	€ 0,35
H/M εξοπλισμός	€ 245.000	41,44%	€ 1,34
Κόστος σχεδίασης, άδειες, αμοιβές μηχανικών	€ 15.000	2,54%	€ 0,08
ΣΥΝΟΛΟ	€ 404.000	68,34%	€ 2,21
Απρόβλεπτα, μικροέξοδα	€ 7.900	1,34%	€ 0,04
ΣΥΝΟΛΟ	€ 591.190	100,00%	€ 3,24
<u>Λειτουργικό κόστος</u>			
Ηλεκτρική ενέργεια	€ 112.862	73,62%	€ 0,62
Ολικό κόστος χημικών	€ 10.075	6,57%	€ 0,06
Προσωπικό της εγκατάστασης	€ 15.000	9,79%	€ 0,08
Συντήρηση φίλτρων, μεμβρανών	€ 1.056	0,69%	€ 0,01
Αντικατάσταση μεμβρανών	€ 12.800	8,35%	€ 0,07
Ανταλλακτικά, μικροέξοδα	€ 1.500	0,98%	€ 0,01
ΣΥΝΟΛΟ	€ 153.293	100,00%	€ 0,84

Πίνακας 37: Αρχικό και λειτουργικό κόστος μονάδας 500 m³/h



Σχήμα 24: Λειτουργικό κόστος μονάδας 500 m³/h (χωρίς δανειοδότηση)

7.4.5 Οικονομικός απολογισμός

Το επόμενο στάδιο είναι ο καθορισμός των οικονομικών παραμέτρων της επένδυσης.

1. Οικονομικές παράμετροι

Πληθωρισμός

Ο πληθωρισμός για το πρώτο εξάμηνο του 2002 είναι περίπου 3%.

Επιτόκιο προεξόφλησης

Το επιτόκιο προεξόφλησης χρησιμοποιείται για την προεξόφληση μελλοντικών χρηματοροών με σκοπό τον υπολογισμό της παρούσας αξίας. Το συγκεκριμένο επιτόκιο εκφράζει το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου, δηλαδή την απόδοση που θα είχε το κεφάλαιο αν το επενδύαμε σε άλλες εναλλακτικές προτάσεις.

Δάνειο

Εάν για την κατασκευή της μονάδας αφαλάτωσης δεν επαρκούν τα ίδια κεφάλαια, μέρος του αρχικού κόστους είναι δυνατόν να καλυφθεί με δανεισμό.

Επιτόκιο δανεισμού

Είναι η αμοιβή του δανειζομένου κεφαλαίου. Στην συγκεκριμένη εργασία λαμβάνεται ίσο με 10%.

Διάρκεια δανείου

Είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από την ημέρα της σύναψης του δανείου μέχρι την ημέρα εξόφλησής του.

Διάρκεια ζωής της εγκατάστασης

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η μέση διάρκεια ζωής των εγκαταστάσεων είναι 20 χρόνια.

Επιδότηση

Εάν η εγκατάσταση χρησιμοποιείται από κάποιο Δήμο επιδοτείται από το Υπουργείο Εσωτερικών με ένα ποσό, το οποίο όμως δεν είναι όμως σταθερό ούτε και ανάλογο της δυναμικότητας της εγκατάστασης.

2. Κόστος - Έσοδα

Στον Πίνακα 38 μετά τον καθορισμό των οικονομικών παραμέτρων παρουσιάζονται το αρχικό κόστος, το αρχικό κόστος με την επιδότηση (αφαιρείται από το αρχικό κόστος) και το ολικό λειτουργικό κόστος (άθροισμα το λειτουργικού κόστους με την δόση αποπληρωμής του δανείου).

Στη συνέχεια αφού καθοριστεί η τιμή πώλησης ανά m^3 προϊόντος υπολογίζονται τα ετήσια έσοδα της επένδυσης.

3. Οικονομική βιωσιμότητα

Στην ενότητα της οικονομικής βιωσιμότητας παρουσιάζονται ακόλουθα:

Ίδια κεφάλαια

Είναι το ποσό που υπολογίζεται αν από το αρχικό κόστος αφαιρέσουμε το ποσό του δανείου και την επιδότηση, δηλαδή τα χρήματα που δίνει ο επενδυτής.

Ποσό δανείου – δόση δανείου

Παρουσιάζεται το ποσό του δανείου που υπολογίστηκε και η απαιτούμενη ετήσια δόση (λαμβάνοντας υπόψιν το επιτόκιο δανεισμού και τη διάρκεια του δανείου).

Απόσβεση κεφαλαίου

Αντιπροσωπεί το χρονικό διάστημα το οποίο απαιτείται ώστε μέσω των χρηματοροών να γίνει απόσβεση του αρχικού κόστους της επένδυσης. Δεν αποτελεί κύριο κριτήριο αξιολόγησης επενδύσεων, αλλά δευτερεύον.

Καθαρή παρούσα αξία (NPV)

Αποτελεί κύριο κριτήριο αξιολόγησης επενδύσεων.

Η παρούσα αξία των μελλοντικών αποδόσεων του κεφαλαίου σε μια επένδυση δίνεται από τον τύπο

$$NPV = PV - C_0$$

$$\text{με } PV = \sum_{k=1}^t \frac{R_k}{(1+i)^k}$$

όπου C_0 = κόστος επένδυσης

PV = παρούσα αξία

R_k = ετήσιες χρηματικές ροές

i = επιτόκιο προεξόφλησης

t = χρονική περίοδος

Εάν $NPV > 0$ επένδυση είναι επικερδής

Εάν $NPV < 0$ επένδυση δεν είναι επικερδής

Εάν $NPV = 0$ κατάσταση αδιαφορίας

Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR)

Αποτελεί κύριο κριτήριο αξιολόγησης επενδύσεων.

Ορίζεται ως η τιμή του επιτοκίου για την οποία η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης είναι ίση με μηδέν, δηλαδή:

$$\sum_{k=1}^t \frac{R_k}{(1+i^*)^k} - C_0 = 0$$

Έστω r το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης

Εάν $i^* > r$ επένδυση είναι επικερδής

Εάν $i^* < r$ επένδυση δεν είναι επικερδής

Εάν $i^* = r$ κατάσταση αδιαφορίας

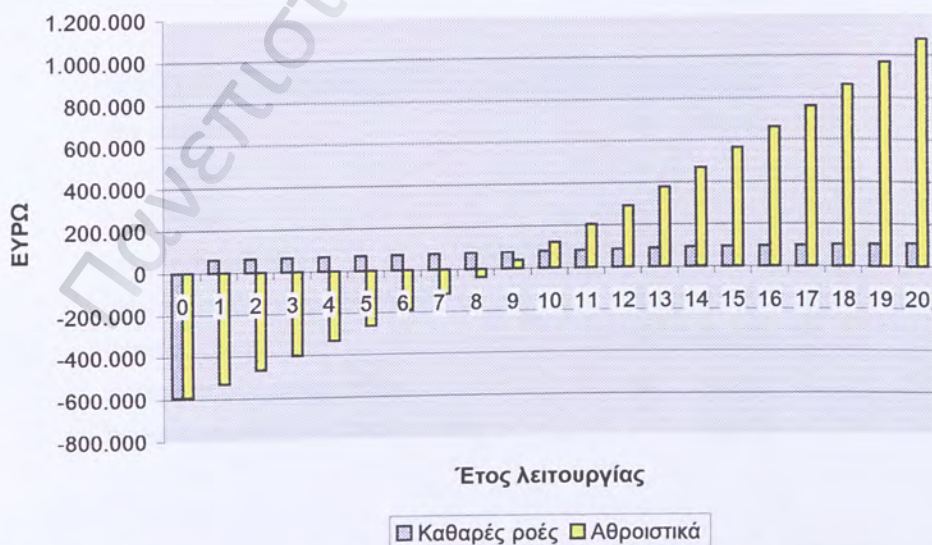
4. Σύγκριση με την μεταφορά νερού

Όπως θα παρουσιαστεί και στη συνέχεια της εργασίας γίνεται σύγκριση με τον παρόντα τρόπο αντιμετώπισης της λειψυδρίας σε πολλά μικρά νησιά όπως αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 27.

7.4.6 Παραμετροποίηση

1. Επένδυση ιδιώτη χωρίς δάνειο και επιδότηση

Αρχικά θεωρούμε ότι την εγκατάσταση πραγματοποιεί επενδυτής, χωρίς δανεισμό ή επιδότηση. Αυξάνοντας σταδιακά την τιμή πώλησης του νερού μέχρι οι οικονομικοί δείκτες να κρίνουν την επένδυση συμφέρουσα, διαπιστώνεται ότι αυτό συμβαίνει για τιμή πώλησης 1,17 ΕΥΡΩ. Στο Σχήμα 24 παρουσιάζονται οι χρηματοροές της επένδυσης, ενώ στον Πίνακα 38 η οικονομική βιωσιμότητα. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η μέση τιμή πώλησης νερού στην Αττική είναι κατά μέσο όρο 0,58 ΕΥΡΩ διαπιστώνεται ότι η τιμή του προϊόντος αυξάνεται κατά 100%.



Σχήμα 25: Ετήσιες χρηματοροές της επένδυσης ιδιώτη χωρίς δάνειο και επιδότηση

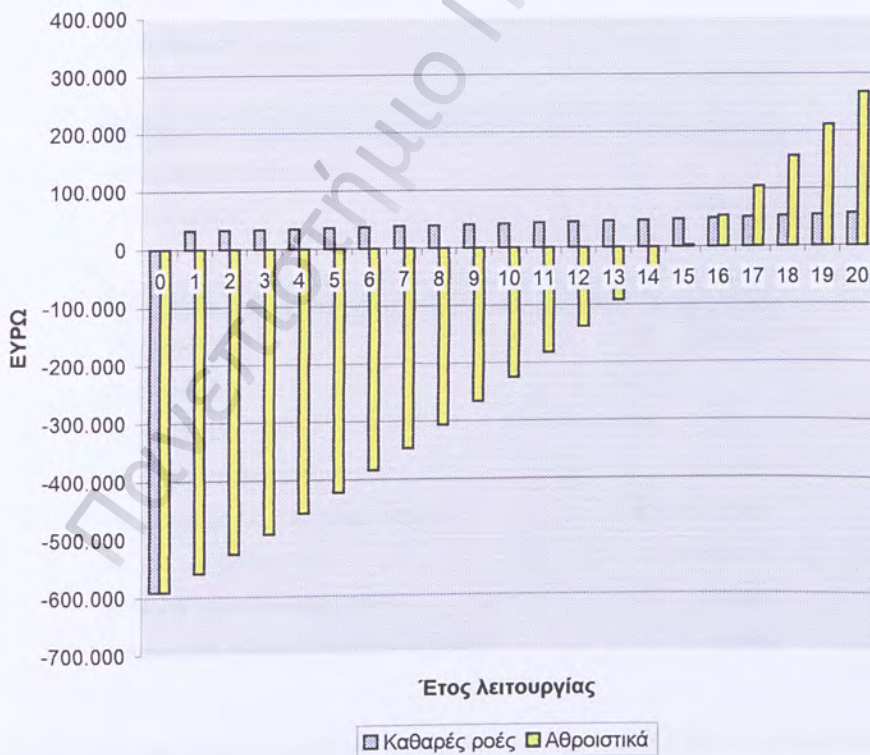
Οικονομικές παράμετροι		
Πληθωρισμός	%	3,0%
Επιτόκιο προεξόφλησης	%	11,0%
Δάνειο	%	0,0%
Επιτόκιο δανεισμού	%	10,0%
Διάρκεια δανείου	έτη	15
Διάρκεια ζωής της εγκατάστασης	έτη	20
Επιδότηση	%	0,0%
Κόστος		
Αρχικό κόστος	€	591.190
Αρχικό κόστος με την επιδότηση	€	591.190
Λειτουργικό κόστος	€	153.293
Δόση δανείου	+ €	-
	€	153.293
Έσοδα		
Μέση τιμή πώλησης m ³	€	1,17
Ετήσια έσοδα	€	213.525
Οικονομική βιωσιμότητα		
Ίδια κεφάλαια	€	591.190
Ποσό δανείου	€	-
Δόση δανείου	€	-
Απόσβεση κεφαλαίου	έτη	9,8
Παρούσα αξία λειτουργικού κόστους	-€	1.531.518
Παρούσα αξία εσόδων	€	2.133.276
Καθαρή παρούσα αξία (NPV)	€	10.568
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR)		11,24%

Πίνακας 38: Οικονομικός απολογισμός επένδυσης ιδώτη χωρίς δάνειο και επιδότηση

Η NPV είναι θετική και ο IRR μεγαλύτερος από το επιτόκιο προεξόφλησης ενώ η απόσβεση κεφαλαίου θα πραγματοποιείται στα 9,8 χρόνια.

2. Επένδυση δήμου χωρίς δάνειο και επιδότηση

Εάν ο επενδυτής είναι κάποιος Δήμος μπορεί να θεωρηθεί ένα χαμηλότερο επιτόκιο προεξόφλησης, γιατί ο σκοπός ενός Δήμου είναι να παράγει νερό για τους πολίτες στο όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος και όχι η μεγιστοποίηση του κέρδους. Έτσι το επιτόκιο προεξόφλησης που μπορεί να θεωρηθεί θα είναι το επιτόκιο καταθέσεων (2%, εάν αυτά τα χρήματα απλώς τα είχε στην τράπεζα). Οπότε οι αντίστοιχες χρηματοροές θα είναι αυτές που παρουσιάζονται στο Σχήμα 26 και η αντίστοιχη οικονομική βιωσιμότητα στον Πίνακα 39.



Σχήμα 26: Ετήσιες χρηματοροές της επένδυσης δήμου χωρίς δάνειο και επιδότηση

Οικονομικές παράμετροι

Πληθωρισμός	%	3,0%
Επιτόκιο προεξόφλησης	%	2,0%
Δάνειο	%	0,0%
Επιτόκιο δανεισμού	%	10,0%
Διάρκεια δανείου	έτη	15
Διάρκεια ζωής της εγκατάστασης	έτη	20
Επιδότηση	%	0,0%

Κόστος

Αρχικό κόστος	€	591.190
Αρχικό κόστος με την επιδότηση	€	591.190
Λειτουργικό κόστος	€	153.293
Δόση δανείου	+	€ -
	€	153.293

Έσοδα

Μέση τιμή πώλησης m ³	€	1,01
Ετήσια έσοδα	€	184.325

Οικονομική βιωσιμότητα

Ίδια κεφάλαια	€	591.190
Ποσό δανείου	€	-
Δόση δανείου	€	-
Απόσβεση κεφαλαίου	έτη	19,1
Παρούσα αξία λειτουργικού κόστους	-€	3.401.965
Παρούσα αξία εσόδων	€	4.090.631
Καθαρή παρούσα αξία (NPV)	€	97.476
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR)		3,48%

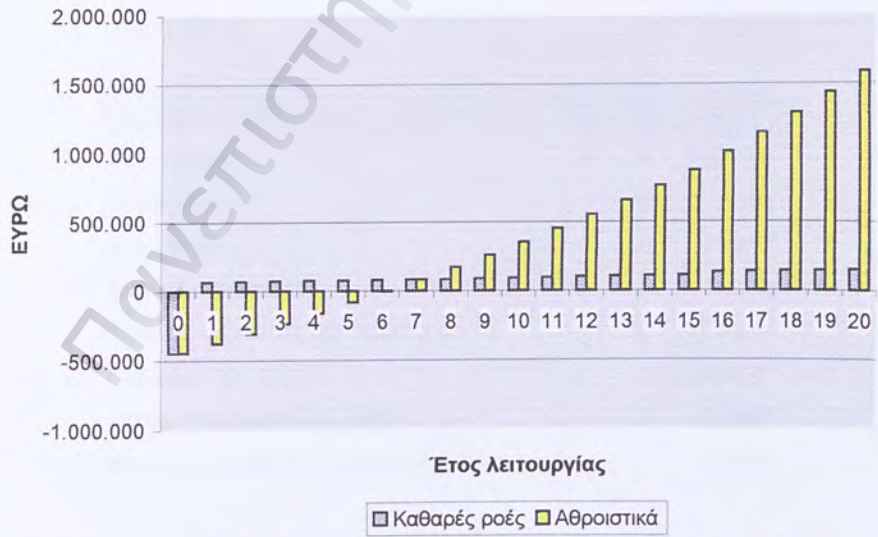
Πίνακας 39: Οικονομικός απολογισμός επένδυσης δήμου χωρίς δάνειο και επιδότηση

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι σε αυτή την περίπτωση το κόστος μπορεί να μειωθεί στο 1,01 ΕΥΡΩ, τιμή που επίσης δεν είναι αρκετά χαμηλή και παρόλο που η επένδυση δεν είναι ζημιογόνα η απόσβεση του επενδυμένου κεφαλαίου γίνεται σε 19,1 χρόνια, σχεδόν ίδια με το χρόνο ζωής της εγκατάστασης, οπότε αστάθμητοι παράγοντες όπως σοβαρές απρόσμενες βλάβες μπορούν να κάνουν την επένδυση ζημιογόνα.

3. Επένδυση ιδιώτη με δάνειο 25%

Κατά κανόνα όμως σε μια επένδυση τέτοιου μεγέθους, ένα μέρος του αρχικού κόστους καλύπτεται μέσω δανείου. Το δάνειο μειώνει το ποσό του ιδίου κεφαλαίου που απαιτείται, αλλά αυξάνει το λειτουργικό κόστος.

Έστω ότι δάνειο αποτελεί το 25% επένδυσης με επιτόκιο δανεισμού 10%, διάρκεια 15 έτη, επιτόκιο προεξόφλησης 11% και τιμή πώλησης νερού 1,30 ΕΥΡΩ. Στο Σχήμα 26 παρουσιάζονται οι χρηματοροές της επένδυσης ενώ στον Πίνακα 40 η οικονομική βιωσιμότητά της. Στο Σχήμα 27 παρουσιάζεται το λειτουργικό κόστος της επένδυσης.



Σχήμα 27: Ετήσιες χρηματοροές της επένδυσης ιδιώτη με δάνειο 25%

Οικονομικές παράμετροι

Πληθωρισμός	%	3,0%
Επιτόκιο προεξόφλησης	%	11,0%
Δάνειο	%	25,0%
Επιτόκιο δανεισμού	%	10,0%
Διάρκεια δανείου	έτη	15
Διάρκεια ζωής της εγκατάστασης	έτη	20
Επιδότηση	%	0,0%

Κόστος

Αρχικό κόστος	€	591.190
Αρχικό κόστος με την επιδότηση	€	591.190
Λειτουργικό κόστος	€	153.293
Δόση δανείου	+	€ 19.431
	€	172.725

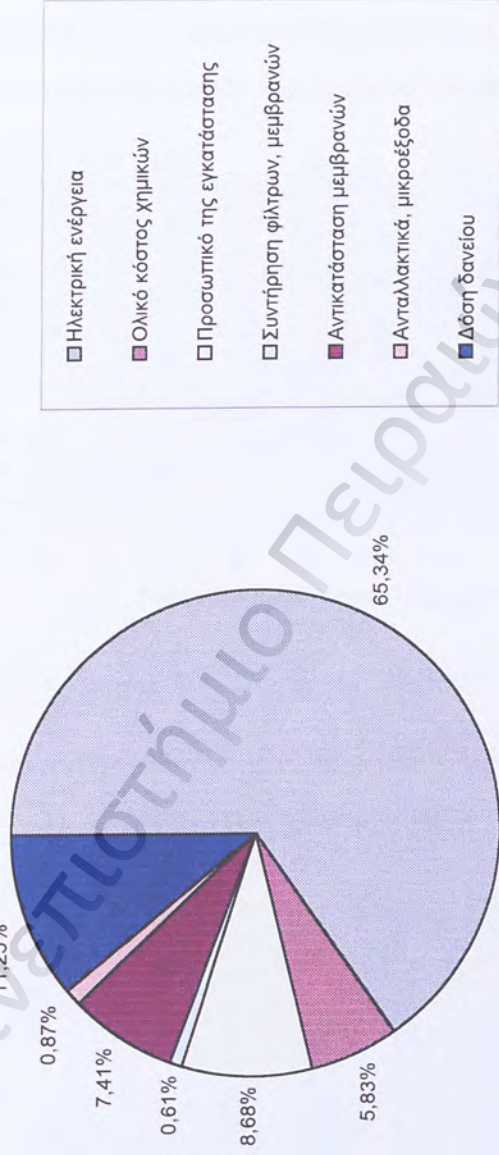
Έσοδα

Μέση τιμή πώλησης m ³	€	1,30
Ετήσια έσοδα	€	237.250

Οικονομική βιωσιμότητα

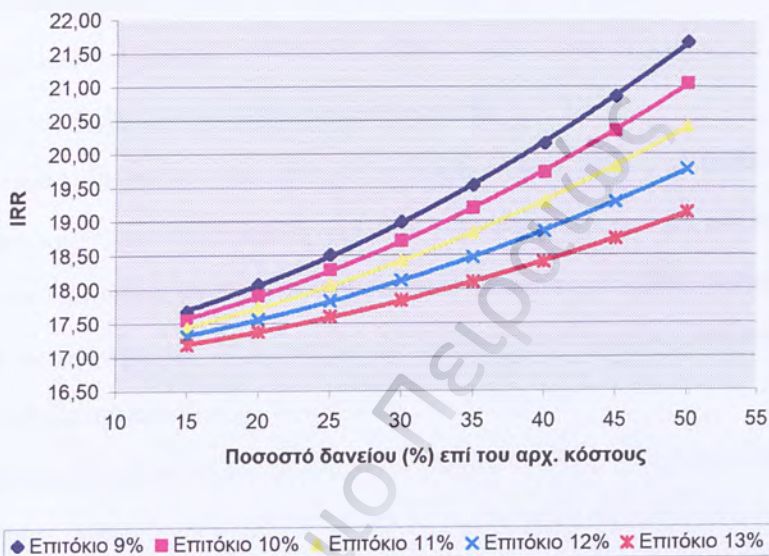
Ίδια κεφάλαια	€	443.393
Ποσό δανείου	€	147.798
Δόση δανείου	€	19.431
Απόσβεση κεφαλαίου	έτη	7,0
Παρούσα αξία λειτουργικού κόστους	-€	1.671.247
Παρούσα αξία εσόδων	€	2.370.307
Καθαρή παρούσα αξία (NPV)	€	255.667
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR)		17,85%

Πίνακας 40: Οικονομικός απολογισμός επένδυσης ιδιώτη με δάνειο 25%

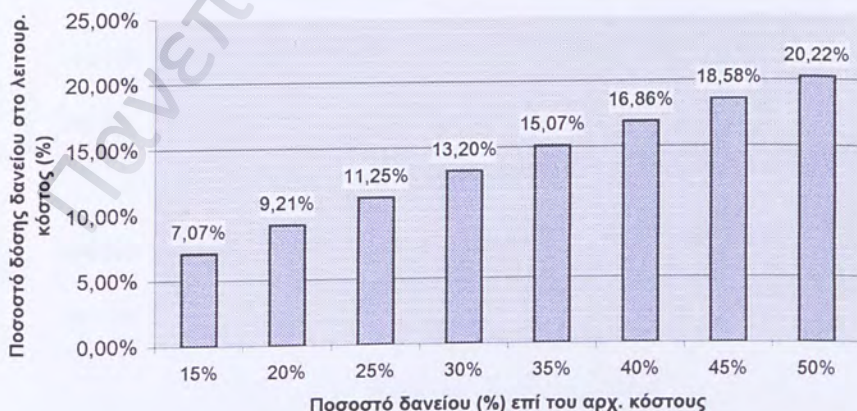


Σχήμα 28: Λειτουργικό κόστος της επένδυσης ιδιώτη με δάνειο 25%

Στο Σχήμα 29 βλέπουμε την μεταβολή του IRR ανάλογα με την μεταβολή του ποσού του δανείου, ενώ στο Σχήμα 30 παρουσιάζεται ποσοστό του κόστους απόσβεσης του δανείου στο λειτουργικό κόστος ανάλογα με το ποσοστό του δανείου



Σχήμα 29: Μεταβολή του IRR σε συνάρτηση με το ποσοστό δανείου και το επιτόκιο δανεισμού



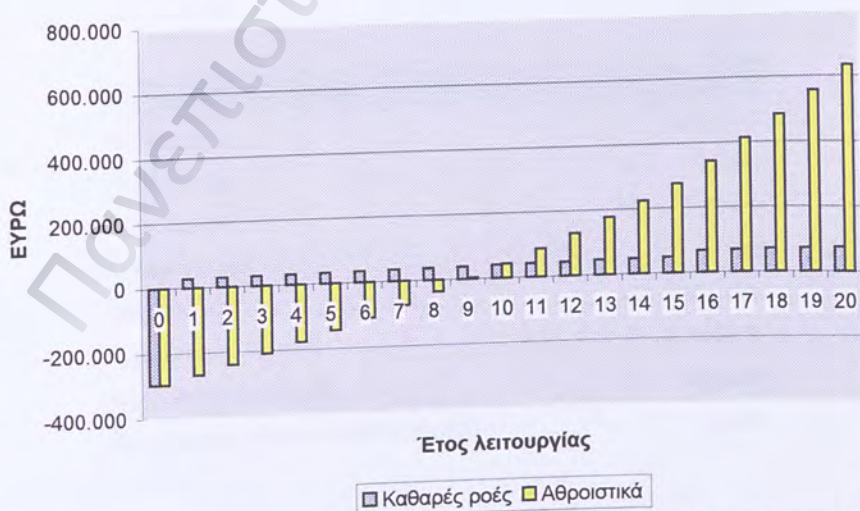
Σχήμα 30: Ποσοστό του κόστους απόσβεσης του δανείου στο λειτουργικό κόστος

Από τα παραπάνω σχήματα φαίνεται ότι με την αύξηση του ποσού του δανείου που θα ληφθεί για την επένδυση, αυτή γίνεται αποδοτικότερη. Επίσης αποδοτικότερη θα είναι η επένδυση όταν το επιτόκιο δανεισμού που θα εξασφαλιστεί από τον επενδυτή είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Ακόμη όσο αυξάνεται το ποσό του δανείου τόσο μεγαλώνει και το λειτουργικό κόστος.

4. Επένδυση δήμου με δάνειο 20% και επιδότηση 30%

Ας θεωρηθεί ότι την επένδυση την πραγματοποιεί κάποιος Δήμος με δανειοδότηση 20% ενώ επιδοτείται από το κράτος κατά 30%. Μεταβάλλουμε την τιμή πώλησης του προϊόντος έτσι ώστε η επένδυση να είναι βιώσιμη, αλλά και η απόσβεση κεφαλαίου να γίνεται σε λιγότερο από 10 χρόνια. Οι χρηματοροές της επένδυσης φαίνονται στο Σχήμα 31 ενώ η οικονομική της βιωσιμότητα στον Πίνακα 41.

Μεταβάλλοντας το ποσό της επένδυσης παρατηρούμε ότι η τιμή πώλησης δεν μπορεί να μειωθεί αρκετά (κάτω από 1 ΕΥΡΩ). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το λειτουργικό κόστος είναι πολύ μεγάλο (σε σχέση με το αρχικό κόστος), έτσι όσο και



Σχήμα 31: Ετήσιες χρηματοροές της επένδυσης δήμου με δάνειο 20%, επιδότηση 30%

Οικονομικές παράμετροι

Πληθωρισμός	%	3,0%
Επιτόκιο προεξόφλησης	%	2,0%
Δάνειο	%	20,0%
Επιτόκιο δανεισμού	%	10,0%
Διάρκεια δανείου	έτη	15
Διάρκεια ζωής της εγκατάστασης	έτη	20
Επιδότηση	%	30,0%

Κόστος

Αρχικό κόστος	€	591.190
Αρχικό κόστος με την επιδότηση	€	413.833
Λειτουργικό κόστος	€	153.293
Δόση δανείου	+	€ 15.545
	€	168.839

Έσοδα

Μέση τιμή πώλησης m ³	€	1,07
Ετήσια έσοδα	€	195.275

Οικονομική βιωσιμότητα

Ίδια κεφάλαια	€	295.595
Ποσό δανείου	€	118.238
Δόση δανείου	€	15.545
Απόσβεση κεφαλαίου	έτη	9,9
Παρούσα αξία λειτουργικού κόστους	-€	3.601.709
Παρούσα αξία εσόδων	€	4.333.639
Καθαρή παρούσα αξία	€	436.335
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR)		11,51%

Πίνακας 41: Οικονομικός απολογισμός της επένδυσης δήμου με δάνειο 20%, επιδότηση 30%

ευνοϊκές να είναι οι συνθήκες που διαμορφώνουν το αρχικό κόστος (μεγάλο ποσό επιδότησης σε συνδυασμό με δανειοδότηση) η τιμή του προϊόντος δεν μπορεί να φθάσει το απαραίτητο όριο (κοντά στα 0,58 ΕΥΡΩ που είναι κατά μέσο όρο η τιμή πώλησης του νερού στην Αττική), με συνέπεια το νερό που παράγεται από εγκαταστάσεις αφαλάτωσης να είναι σε κάθε περίπτωση ακριβότερο.

7.4.7 Σύγκριση με τη μεταφορά νερού

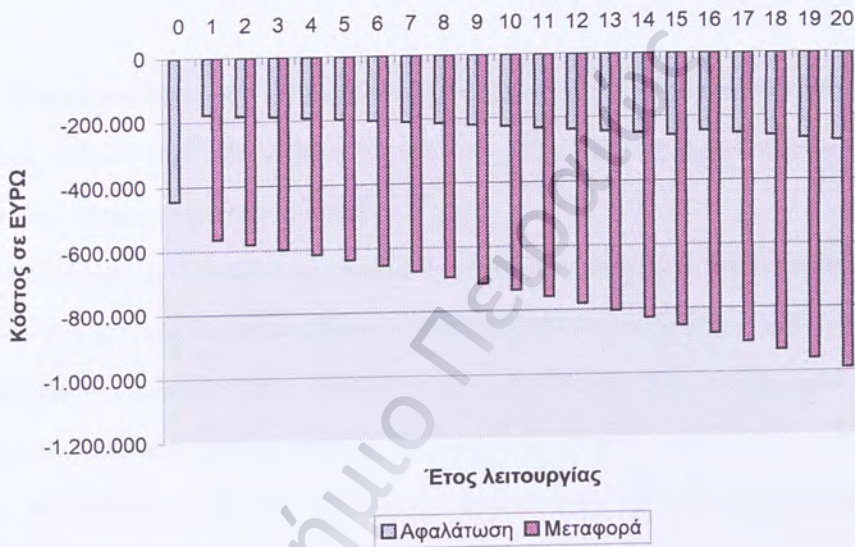
Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η παραγωγή πόσιμου νερού με τη μέθοδο της αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα λύση, όμως οι εγκαταστάσεις τέτοιου τύπου στον Ελλαδικό χώρο αυξάνουν συνεχώς (όπως αποδεικνύεται και από τους Πίνακες 15,16). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχει έλλειψη εναλλακτικών λύσεων. Όπως προαναφέρθηκε πρόβλημα αντιμετωπίζουν κυρίως οι νησιωτικές περιοχές του Αιγαίου πελάγους. Η μόνη εναλλακτική λύση που εφαρμόζεται εκτός της αφαλάτωσης είναι η μεταφορά νερού με βυτιοφόρα πλοία.

Αυτή όμως η λύση παρουσιάζει πάρα πολλά προβλήματα. Δεν είναι δυνατόν να καλυφθεί η πολύ μεγάλη ζήτηση, ιδίως την περίοδο του καλοκαιριού λόγω τουρισμού, ενώ τη χειμερινή περίοδο δημιουργούνται προβλήματα λόγω θυελλωδών ανέμων. Το μεγαλύτερο όμως μειονέκτημά της είναι ότι αποτελεί πολύ ακριβότερη λύση ακόμα και από την αφαλάτωση.

Για να αποδειχθεί αυτό θα γίνει σύγκριση εγκατάστασης αφαλάτωσης ονομαστικής παροχής 500 m³/d (και με τον οικονομικό απολογισμό που παρουσιάζονται στον Πίνακα 40, παράδειγμα 3) με τη μεταφορά νερού ίδιας ποσότητας.

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι και στις δύο περιπτώσεις το νερό θα διατίθεται στον καταναλωτή στην ίδια τιμή, τα έσοδα και στις δύο περιπτώσεις θα είναι τα ίδια. Η διαφορά των δύο περιπτώσεων θα είναι στις αρνητικές χρηματικές ροές. Για να

υπολογιστεί το κόστος της μεταφοράς νερού, η τιμή μεταφοράς 1 m^3 καθορίζεται στα 3 ΕΥΡΩ (ποσό που δεν είναι μεγάλο αν ληφθεί υπόψιν ότι το καλοκαίρι του 2001 η τιμή μεταφοράς του 1 m^3 από τον Πειραιά στο νησί Σύρος ήταν 6 ΕΥΡΩ). Οι αρνητικές χρηματοροές των δύο περιπτώσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 32.



Σχήμα 32: Σύγκριση αφαλάτωσης – μεταφοράς νερού

Από το Σχήμα 32 είναι προφανές ότι η μεταφορά νερού δεν είναι η συμφέρουσα και δεν θα μπορούσε να γίνει ποτέ διότι το 1 m^3 νερού αγοράζεται 3 ΕΥΡΩ και πωλείται 1,30 ΕΥΡΩ, ενώ η επένδυση της αφαλάτωσης είναι βιώσιμη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αφαλάτωση δεν είναι ο κύριος τρόπος αντιμετώπισης της λειψυδρίας στον πλανήτη, όμως βρίσκει ευρύτατο πεδίο εφαρμογής σε χώρες όπου υπάρχουν συμπλέγματα πολλών νησιών, όπως είναι η Ελλάδα.

Η αφαλάτωση με την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης είναι η επικρατέστερη μέθοδος στον πλανήτη, γεγονός που οφείλεται στο απλό λειτουργικό της σύστημα, στην μεγάλη ευελιξία στη λειτουργία της, στη δυνατότητα κατασκευής μικρών συστημάτων που μπορούν εύκολα να μετεγκατασταθούν και στη μικρή κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους αφαλάτωσης. Στην Ελλάδα οι περισσότερες μονάδες αφαλάτωσης υπάρχουν στην περιοχή των Κυκλάδων.

Για την παραγωγή πόσιμου νερού από μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης, πρέπει το θαλασσινό νερό να υποστεί προκατεργασία που περιλαμβάνει στάδια απολύμανσης και διήθησης ώστε να εξασφαλίζονται οι καλύτερες δυνατές συνθήκες λειτουργίας των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης.

Πριν την είσοδο του νερού στις μεμβράνες συνιστάται η μείωση του pH ώστε να αποφευχθούν εναποθέσεις στην επιφάνεια των μεμβρανών που μειώνουν την αποδοτικότητα τους σε σημαντικό βαθμό.

Το παραγόμενο νερό δεν τηρεί τις προδιαγραφές που ορίζονται από την νομοθεσία ώστε να είναι πόσιμο, γι' αυτό υφίσταται μετακατεργασία με προσθήκη χημικών ώστε να αποκτήσει την απαιτούμενη σκληρότητα.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση είναι τα μεγάλα ποσά ενέργειας που απαιτούνται (παρόλο που αυτά είναι μικρότερα από αυτά που απαιτούν οι άλλες μέθοδοι αφαλάτωσης), με αποτέλεσμα το υψηλό λειτουργικό κόστος. Έτσι το παραγόμενο πόσιμο νερό έχει υψηλό αντίτιμο.

Μπορεί η μέθοδος αυτή της αφαλάτωσης να μην είναι οικονομικά συμφέρουσα αλλά είναι η λύση με το μικρότερο δυνατόν κόστος για νησιωτικές περιοχές οι οποίες δεν έχουν μεγάλα ύψη βροχόπτωσης.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας (αποδοτικότερες μεμβράνες, βελτιωμένα συστήματα ανάκτησης ενέργειας, υλικά ανθεκτικότερα στη διάβρωση), είναι δυνατόν η αφαλάτωση να γίνει οικονομικά συμφέρουσα με την πάροδο των ετών, διότι τα αποθέματα γλυκού νερού στον πλανήτη μειώνονται με γρήγορους ρυθμούς, οπότε και η αξία του θα αυξάνει συνεχώς, με αποτέλεσμα ο άνθρωπος να αναγκαστεί να καταφύγει στην πηγή 'αστείρευτης' πρώτης ύλης όσον αφορά το νερό, τη θάλασσα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

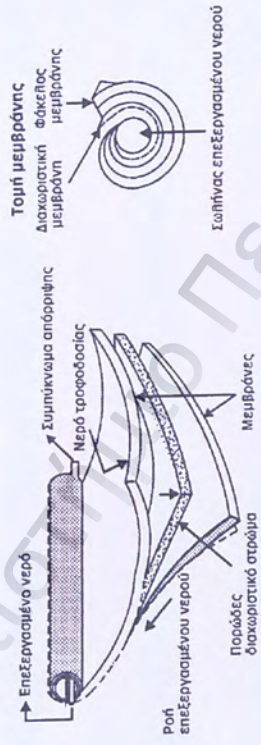
1. Μήτρακας Μ., “Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού”, Θεσσαλονίκη 2001
2. Αλεξιάκης Α., “Αφαλάτωση”, Αθήνα 1993
3. Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας Διεύθυνση Περιβάλλοντος και Χωροταξίας, “Περιβάλλον – Νομοθεσία”, Θεσσαλονίκη 1999
4. Λέκκας Θ., “Περιβαλλοντική Μηχανική 1 – Διαχείριση Υδατικών Πόρων”, Μυτιλήνη 1996
5. Γρηγοροπούλου Ε. και Ασημακόπουλος Δ., “Σημειώσεις του μαθήματος Ανάλυση Περιβαλλοντικών Συστημάτων – Επιπτώσεις”, Αθήνα 2001
6. Ρήγας Κ., “Σημειώσεις του μαθήματος Λογιστική και Χρηματοοικονομική”, Αθήνα 2001
7. Καραβίτης Χ., “Σημειώσεις του μαθήματος Διαχείριση Υδατικών Πόρων και Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός”, Αθήνα 2001
8. Gray N.F., “Water technology, an Introduction for Environmental Scientists and Engineers”, New York, 1999
9. Sawyer C. and McCarty and Parkin G., “Chemistry for Environmental Engineering”, 1994
10. Mallevalle j. and Odendaal P. and Wiesner M., “Water Treatment Membrane Processes”, 1996
11. Stauffer J., “Safe to Drink? – The Quality of your Water”, 1996

12. Shields P., "Evaluation of Global Seawater Reverse Osmosis Capital and Operating Costs", ADA Conference Monterey CA, 1996
13. Wangnick Consulting GMBH, "1998 IDA Worldwide Desalting Plants Inventory Report No15", 1998
14. Kurihara M. and Yamamura H. and Nakanishi T., "High Recovery / High Pressure Membranes for Brine Conversion SWRO Process Development and its Performance Data", European conference on Desalination and the Enviroment, Gran Canaria, 1999
15. Hydranautics, www.membranes.com

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



Σχήμα 1: Μειβράνη σπειροειδούς διαμόρφωσης



Σχήμα 2: Μεμβράνη λεπτών κοίλων ινών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Project	PERIPTOSIA		Code	PERA	Feed	Seawater - open intake	Date	
pH	8.20	Turb	1.0		E cond	65410 uS/cm	CO2	2.1 ppm
Temp	17.0	C	3.0	15min	H2S	0.0 ppm	Fe	0.0 ppm
Ca	440.0	ppm	>	21.95 meq	CO3	1.0 ppm	>	0.03 meq
Mg	1500.0	ppm	>	123.46 meq	HCO3	170.0 ppm	>	2.79 meq
Na	13250.0	ppm	>	576.09 meq	SO4	3000.0 ppm	>	62.50 meq
K	430.0	ppm	>	11.03 meq	Cl	23664.0 ppm	>	667.53 meq
NH4	0.0	ppm	>	0.00 meq	F	0.0 ppm	>	0.00 meq
Ba	0.010	ppm	>	0.00 meq	NO3	0.0 ppm	>	0.00 meq
Sr	13.000	ppm	>	0.30 meq	SiO2	1.0 ppm	>	0.00 meq
Total positive		732.81 meq		Autobalance		Total negative		732.85 meq
Calculated TDS	42469 ppm		Ionic strength		0.837		Print	
CaSO4 saturation	23.1 %		BaSO4 saturation		47.9 %		Clipboard	
Silica saturation	0.8 %		SrSO4 saturation		42.4 %		Save	
Saturation Index	1.2		Langelier		440.6 psi			

Σχήμα 1: Χημική ανάλυση θαλάσσιου νερού

Πηγή: HYDRANAUTICS RO design

Project	PERIPTOSI A		Calculated by		Date	
pH	8.20	Membrane age	3.0 years	Acid type	H2SO4	
Temp	17.0 C	Acid dosing rate	0.0 ppm	Acid concentration, %	100	
Flux decline % per year			7.0	Feed water type	Seawater - open intake	
SP increase % per year			10.0	Permeate blending	<input type="checkbox"/>	Permeate throttling <input type="checkbox"/>
Product recovery, %			35.0	Concentrate recirc.	<input type="checkbox"/>	Booster pump <input type="checkbox"/>
Permeate flow	m3/hr		22.0			
Average flux rate	l/m2-hr		11.9			
Feed flow	m3/hr		62.9			
Concentrate flow	m3/hr		40.9			

System Specs	Stage 1
Element type	SWC3
Elements/vessel	6
Vessels	9

Stages	Pass 1
Recalc Array	

Passes	1
--------	---

Run
Next
Flow diary
Print

Σχήμα 2: Δεδομένα σχεδιασμού και τύπος μεμβράνης

Πηγή: HYDRANAUTICS RO design

Project PERIPTOSI A **Calculated by** **Date**

pH 8,20 **Membrane age** 3,0 years **Acid type** H2SO4

Temp 17,0 C **Acid dosing rate** 0,0 ppm **Acid concentration, %** 100

Flux decline % per year 7,0 **Feed water type** Seawater - open intake

SP increase % per year 10,0 **Permeate blending** **Permeate throttling**

Product recovery, % 35,0 **Concentrate recirc.** **Booster pump**

Permeate flow m3/hr 22,0

Average flux rate lm2-hr 11,9

Feed flow m3/hr 62,9

Concentrate flow m3/hr 40,9

- Calculation Results **Pressure bar** **Flow/vessel m3/hr** **lm2-hr**

Array	Vessels	Feed	Conc.	Feed	Conc	Flux	Beta
1-1	9	63.5	62.5	7.0	4.5	11.9	1.05
1-2	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
1-3	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
1-4	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

Permeate concentration (ppm)

Ca	0,92 K	5,36 Sr	0,03 SO4	6,75 NO3	0,00 CO2	2,08
Mg	3,12 NH4	0,00 CO3	0,00 Cl	212,72 SiO2	0,01 pH	6,4
Na	132,15 Ba	0,00 HCO3	2,75 F	0,00 Total TDS	363,8 ppm	

Concentrate parameters **Warning: saturation limits exceeded-click here for more info**

CaSO4 sat. %	40	SrSO4 sat. %	72	Ionic strength	1,28 pH	8,7
BaSO4 sat. %	81	SiO2 sat. %	1	Osmotic pressure	46,6 bar	

Saturation Index: Langelier 2,0 **Stiff & Davis** 1,05 **Total TDS** 65141,1 ppm

Passes 1

Run **Next** **Flow diagn.** **Print** **Clipboard** **Analysis**

AutoDisplay

Σχήμα 3: Αποτελέσματα προγράμματος

Project PERIPTOSI B **Calculated by** **Date**

pH 7.40 **Membrane age** 3.0 years **Acid type** H2SO4

Temp 17.0 C **Acid dosing rate** 12.1 ppm **Acid concentration, %** 98

Flux decline % per year 7.0 **Feed water type** Seawater - open intake

SP increase % per year 10.0 **Permeate blending** **Permeate throttling**

Product recovery, % 35.0 **Concentrate recirc.** **Booster pump**

Permeate flow m3/hr 22.0

Average flux rate l/m2-hr 11.9

Feed flow m3/hr 62.9

Concentrate flow m3/hr 40.9

Calculation Results **Pressure bar** **Flow/vessel** **m3/hr** **l/m2-hr** **Passes**

Array	Vessels	Feed	Conc.	Feed	Conc	Flux	Beta
1-1	9	63.5	62.5	7.0	4.5	11.9	1.05
1-2	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
1-3	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
1-4	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

Permeate concentration (ppm)

Ca	0.92 K	5.36 Sr	0.03 SO4	6.78 ND3	0.00 CO2	12.12
Mg	3.12 NH4	0.00 CO3	0.00 Cl	212.77 SiO2	0.01 pH	5.6
Na	132.12 Ba	0.00 HCO3	2.54 F	0.00 Total TDS	363.6 ppm	

Concentrate parameters

CaSO4 sat. %	40	SrSO4 sat. %	73	Ionic strength	1.28 pH	7.7
BaSO4 sat. %	81	SiO2 sat. %	1	Osmotic pressure	46.6 bar	

Saturation Index: Langelier 0.9 Stiff & Davis -0.04 Total TDS 65137.6 ppm

Buttons: Run, Next, Flow diagn., Print, Clipboard, Analysis, AutoDisplay

Σχήμα 4: Αποτελέσματα προγράμματος μετά την προσθήκη οξέως

Πηγή: HYDRANAUTICS RO design

Project		PERIPTS1 B		Code		ROPERM		Feed		Seawater - open intake		Date	
pH	8.13	Turb	0.0	E cond	1223	uS/cm	CO2	0.5	ppm				
Temp	17.0	SDI	0.0	H2S			Fe	0.0	ppm				
Ca	57.1		2.85	CO3				0.2	ppm				0.01
Mg	3.1		0.26	HCO3				31.8	ppm				0.52
Na	137.0		5.96	SO4				128.2	ppm				2.67
K	5.4		0.14	Cl				212.8	ppm				6.00
NH4	0.0		0.00	F				0.0	ppm				0.00
Ba	0.000		0.00	NO3				0.0	ppm				0.00
Sr	0.030		0.00	SiO2				0.0	ppm				0.00
Total positive		9.20 meq		Autobalance		Total negative		9.20 meq					
Calculated TDS	576	ppm			Ionic strength		0.012				Print		
CaSO4 saturation	3.1	%			BaSO4 saturation		0.1		%		Clipboard		
Silica saturation	0.0	%			SrSO4 saturation		0.1		%		Save		
Saturation Index	-0.4	Langelier			Osmotic pressure		5.0		psi				
Dosing rate of chemicals, ppm (100% concentration)													
NaOH	0.0	NaHCO3	18.0	Na2CO3	0.0	Ca(OH)2	104.0	H2SO4	124.0	HCl	0.0	CO2	0.5

Σχήμα 5: Αποτελέσματα μετακατεργασίας

Πηγή: HYDRANAUTICS RO design