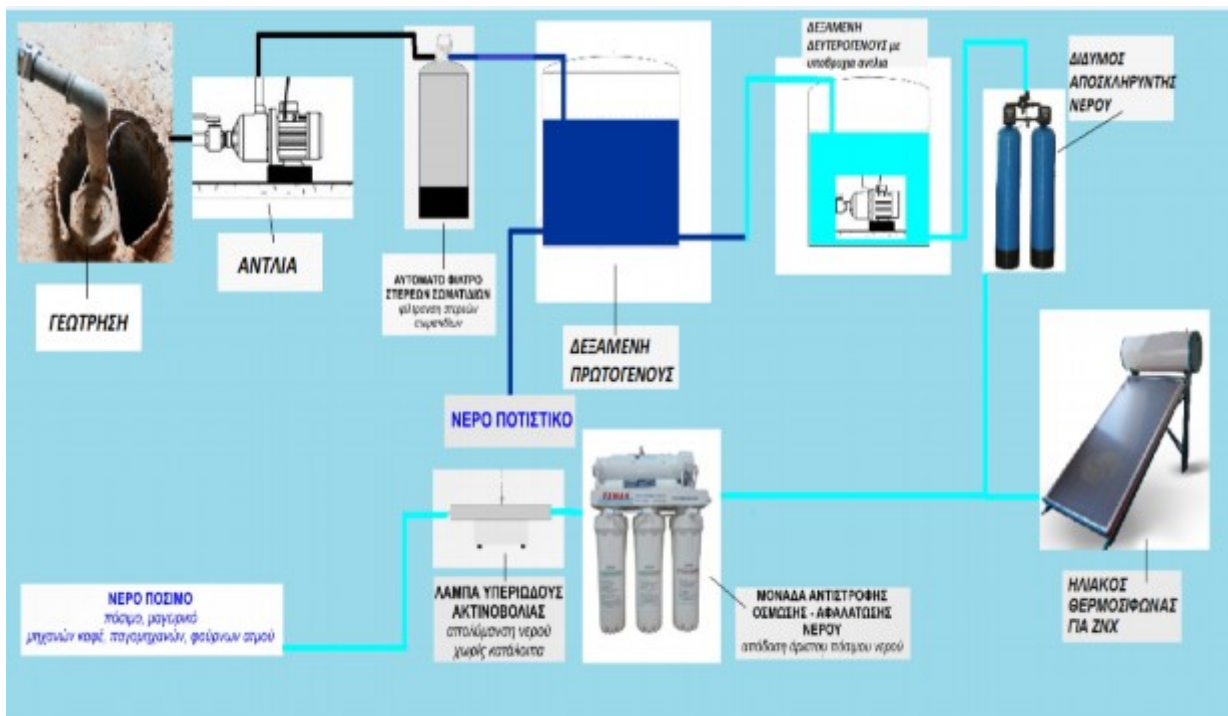


ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη Σχεδιασμού και Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών και Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης νερού, εμπορικού μεγέθους.



ΓΙΑΝΝΑΚΟΥΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ Α.Μ. 4223
ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΚΟΥΡΑΣ Ε.

ΠΑΤΡΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2015

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
1 Ωσμωση και Ωσμωτική Πίεση	9
1.1 Εισαγωγή	9
1.2 Ιστορική Αναδρομή.....	10
1.3 Περιγραφή του φαινομένου της όσμωσης.....	10
1.3.1 Περίπτωση 1 ^η Ωσμωση μεταξύ διαλύματος και διαλύτη	10
1.3.2 Περίπτωση 2 ^η : Ωσμωση μεταξύ διαλυμάτων διαφορετικών συγκεντρώσεων.....	11
1.4 Θερμοδυναμική ερμηνεία της όσμωσης.....	12
1.4.1 Εξήγηση με βάση το ρυθμό κρούσης των μορίων του νερού στη μεμβράνη.	12
1.5 Ωσμωτική πίεση.....	13
1.5.1 Νόμος του van't Hoff για την ωσμωτική πίεση σε μη ηλεκτρολυτικά (μοριακά) διαλύματα.....	14
1.5.2 Νόμος του van't Hoff για την ωσμωτική πίεση σε διαλύματα ηλεκτρολυτών.....	15
1.5.3 Η ωσμωτική πίεση στα πολυμερή.	16
1.5.4 Μέτρηση της ωσμωτικής πίεσης.....	17
1.5.5 Εφαρμογές της ωσμωτικής πίεσης	17
1.6 Ημιπερατές μεμβράνες.....	18
2 Αντίστροφη Ωσμωση (Reverse Osmosis – RO).	21
2.1 Αντίστροφη όσμωση - Reverse osmosis (RO)	21
2.1.1 Αναλυτική Περιγραφή του Μηχανισμού της Αντίστροφης Ωσμωσης.	22
2.2 Συσκευή Αντίστροφης Ωσμωσης.....	25
2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση συστημάτων RO.....	26
2.4 Διαδικασία Αντίστροφης Ωσμωσης 5 σταδίων.....	26
3 Αποσκλήρυνση του νερού	29
3.1 Είδη Αποσκληρυντών.	30
3.1.1 Αποσκληρυντές τύπου ανταλλαγής ιόντων.....	30
3.2 Η διαδικασία της Αποσκλήρυνσης.	31
3.2.1 Τύποι Αποσκληρυντών.....	32
4 Ποιοτική Ανάλυση Πόσιμου Νερού	35
4.1 Η θρεπτική αξία της κατανάλωσης νερού.	35
4.2 Η έννοια του πόσιμου νερού.	36
4.3 Υγειονομική Σημασία των Χημικών και άλλων Παραμέτρων του νερού.	36
4.4 Φυσικοχημικές Παράμετροι του νερού.....	37
4.5 Παράμετροι που αφορούν Ανεπιθύμητες Ουσίες.	39
4.5.1 Ενώσεις Αζώτου (Αμμωνία, Νιτρώδη, Νιτρικά).	39
4.5.2 Χαλκός (Copper – Cu).....	40
4.5.3 Ψευδάργυρος (Zinc – Zn).....	40
4.5.4 Φώσφορος (Phosphorous – P).	40
4.5.5 Φθόριο (Fluoride – F).....	40
4.5.6 Χλώριο υπολειμματικό (Residual Chlorine).	41
4.6 Παράμετροι που αφορούν Τοξικές Ουσίες.....	41
4.6.1 Σίδηρος (Fe).....	41
4.6.2 Μαγγάνιο (Manganese Mn).....	41
4.6.3 Αρσενικό (Arsenic – As).	41
4.6.4 Κάδμιο (Cadmium – Cd).	42
4.6.5 Χρόμιο (Chromium – Cr).....	42
4.6.6 Μόλυβδος (Lead – Pb).	42
4.6.7 Νιτρικά Άλατα.	43
4.6.8 Χλώριο.....	43
4.7 Διαδικασίες Καθαρισμού του νερού.	43

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

4.7.1	Αποσιδήρωση – Απομαγνησίωση του νερού.....	44
4.7.2	Χλωρίωση του νερού.	45
4.7.3	Συστήματα Οζόνωσης.	46
4.7.4	Συσκευές Ηλεκτρόλυσης.	46
4.7.5	Λυχνίες Υπεριώδους φωτός (UV – lighting).....	46
4.7.6	Συσκευές αποτροπής εναπόθεσης αλάτων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.	46
4.7.7	Συσκευές Φίλτρασης του νερού.	47
4.7.8	Μέθοδος Αντίστροφης Ωσμωσης.....	48
5	Κύκλωμα του Νερού Εγκατάστασης Εμπορικής Χρήσης.....	49
5.1	Προέλευση του Νερού – Διαδικασία Γεώτρησης.....	50
5.2	Αντλητική Εγκατάσταση Γεώτρησης.....	51
5.2.1	Φίλτρα Στερεών Σωματιδίων.....	54
5.2.2	Δεξαμενή Πρωτογενούς.....	55
5.2.3	Δεξαμενή Δευτερογενούς – Υποβρύχια αντλία.....	56
5.2.4	Στάδιο Αποσκλήρυνσης Νερού.....	58
5.2.5	Ηλιακός Θερμοσίφωνας.....	59
5.2.6	Μονάδα Αντίστροφης Ωσμωσης 5 σταδίων.....	60
6	Εξίσωση Σωληνογραμμής.....	63
6.1	Υπολογισμός Απωλειών στη διαδρομή γεώτρηση – δεξαμενή πρωτογενούς. (ΑΒ).....	66
6.1.1	Σύνδεση απωλειών πίεσης με την Αντλία Wilo -MultiPress HMP 305.....	68
6.2	Υπολογισμός Απωλειών στη διαδρομή Δεξαμενή Δευτερογενούς – Μονάδα Αποσκλήρυντη. (ΒΓ).	70
6.3	Υπολογισμός Απωλειών στη διαδρομή ΓΔ. (Διακλάδωση Γ – Έξοδος Ζεστού Νερού Χρήσης ΖΝΧ).	73
6.4	Υπολογισμός Απωλειών στη διαδρομή ΓΕ. (Διακλάδωση Αποσκλήρυντη – Έξοδος νερού εμπορικής χρήσης).....	76
6.5	Συνολικές Απώλειες του κυκλώματος.....	78
7	Προτάσεις βελτίωσης της αντλητικής εγκατάστασης.....	81
7.1	Άντληση από γεώτρηση με έλεγχο στάθμης δεξαμενής.....	81
7.1.1	Άντληση από βαθιά πηγάδια με μεγάλη διακύμανση στάθμης.....	81
7.2	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Πομόνας.....	82
7.3	Τροφοδότηση πιεστικού δοχείου από πηγάδι ή γεώτρηση.....	82
7.4	Βελτίωση με ολική αφαίρεση άμμου – Υδροκυκλώνας.....	83
7.5	Αυτοκαθαριζόμενα Φίλτρα.....	84
7.5.1	Αυτοκαθαριζόμενο Φίλτρο χειροκίνητης λειτουργίας.....	84
7.5.2	Αυτοκαθαριζόμενο Φίλτρο Αυτόματης χρονικής λειτουργίας.....	84
7.5.3	Αυτοκαθαριζόμενο Φίλτρο αυτόματης λειτουργίας με διαφορική πίεση.....	85
8	Συμπεράσματα.....	87
9	Αναφορές.....	88
10	Παράρτημα – Διάγραμμα Moody για τον υπολογισμό Απωλειών.....	89

Εικόνα 1: Διάταξη παρατήρησης φαινομένου ωσμωτικής πίεσης [4].....	11
Εικόνα 2: Ωσμωση μεταξύ διαλυμάτων διαφορετικών συγκεντρώσεων [4]	12
Εικόνα 3: Για να μη συμβεί ώσμωση αρκεί να ασκηθεί εξωτερική πίεση ($P_{εξ}$) ίση με την ωσμωτική δηλ. $P_{εξ} = \Pi$. [4].....	13
Εικόνα 4: Ωσμόμετρο του Pffefer για διαλύματα ηλεκτρολυτών. [4].....	17
Εικόνα 5: Το φαινόμενο της Ωσμωσης με την παρουσία ημιπερατής μεμβράνης [7,8]	19
Εικόνα 6: Δομή Ημιπερατής Μεμβράνης με τα επιμέρους τμήματα [7,8].	19
Εικόνα 7: Αντίστροφη Ωσμωση που οδηγεί σε αφαλατωμένο νερό [7,8].....	22
Εικόνα 8: Διαδικασία αφαλάτωσης νερού [8].....	23
Εικόνα 9: Διαδικασία Αντίστροφης Ωσμωσης για αφαλάτωση νερού [8].	23
Εικόνα 10: Ο ρόλος της μεμβράνης κατά την αντίστροφη ώσμωση [4].	24
Εικόνα 11: Διάγραμμα ροής του νερού σε σύστημα αντίστροφης όσμωσης [5].....	25
Εικόνα 12: Πραγματική εγκατάσταση Αντίστροφης Ωσμωσης 5 σταδίων.....	27
Εικόνα 13: Επικαθίσεις αλάτων σε σωληνώσεις [8,9].....	29
Εικόνα 14: Διαδικασία ιοντοανταλλαγής κατά την αποσκλήρυνση.	31
Εικόνα 15: Διατάξεις αποσκλήρυντων εμπορικού μεγέθους.	33
Εικόνα 16: Διάγραμμα Ροής του νερού στην υπό μελέτη εμπορική επιχείρηση.	49
Εικόνα 17: Αντλία WILO, μοντέλο Wilo-MultiPress HMP 305.	52
Εικόνα 18: Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας Wilo HMP305.	53
Εικόνα 19: Σχέδιο διαστάσεων αντλίας Wilo HMP 305.....	54
Εικόνα 20: Φίλτρο στερεών σωματιδίων.	55
Εικόνα 21: Η υποβρύχια αντλία Wilo – Sub TWO 5-SE-304 EM P&P.....	56
Εικόνα 22: Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλιών της οικογένειας Wilo – Sub.	57
Εικόνα 23: Σχέδιο διαστάσεων της υποβρύχιας αντλίας.....	57
Εικόνα 24: Οι δύο δεξαμενές της εγκατάστασης.....	58
Εικόνα 25: Αποσκλήρυντής μιας στήλης (μονός), της εγκατάστασης.....	59
Εικόνα 26: Διακλάδωση του κυκλώματος μετά τον αποσκλήρυντή - Όδευση προς τον ηλιακό.....	59
Εικόνα 27: Διάταξη Αντίστροφης Ωσμωσης των 5 σταδίων.....	60
Εικόνα 28: Συσκευή UV-lighting ως τμήμα της διάταξης αντίστροφης ώσμωσης.	61
Εικόνα 29: Διάγραμμα Ροής του νερού της εγκατάστασης.....	64
Εικόνα 30: Διάγραμμα Σωληνογραμμής του κυλώματος του νερού.	64
Εικόνα 31: Διάγραμμα Ροής του νερού στο τμήμα ΑΒ.....	66
Εικόνα 32: Διάγραμμα χαρακτηριστικής αντλίας σε 2900 rpm και εξίσωσης σωληνογραμμής..	70
Εικόνα 33: Διάγραμμα Ροής του νερού στο τμήμα Β'Γ.....	70
Εικόνα 34: Διάγραμμα Ροής του νερού στο τμήμα ΓΔ.	73
Εικόνα 35: Διάγραμμα Ροής του νερού στο τμήμα ΓΕ.....	76
Εικόνα 36: Διάταξη Κυκλώνα για την αποτελεσματική απομάκρυνση στερεών σωματιδίων.	83
Εικόνα 37: Αυτοκαθαριζόμενο Φίλτρο χειροκίνητης λειτουργίας.	84
Εικόνα 38: Φίλτρο Αυτοκαθαριζόμενο αυτόματης χρονικής λειτουργίας.....	85
Εικόνα 39: Αυτοκαθαριζόμενο Φίλτρο με διαφορεική πίεση.....	85

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού,
Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους

Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στην μεθοδολογία υπολογισμού ενεργειακών απωλειών σε μια εγκατάσταση κυκλώματος καθαρισμού του νερού για εμπορική χρήση.

Αφορμή για την παρούσα πτυχιακή εργασία αποτέλεσε η πρόθεσή μου για εφαρμογή βασικών αρχών της Ρευστομηχανικής και των Ρευστοδυναμικών μηχανών, που συνιστούν σημαντικό τμήμα των σπουδών μου, σε μια εγκατάσταση εμπορικής χρήσης σε λειτουργία που διαθέτω στην ιδιαίτερη πατρίδα μου.

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον Επιβλέποντα Επιστημονικό Συνεργάτη κ.Σκούρα Ε., υπεύθυνο καθηγητή μου, στο Εργαστήριο Υδραυλικής του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, για τις πολύτιμες συμβουλές του και την αμέριστη συμπαράστασή του κατά την διεξαγωγή της παρούσας εργασίας. Τον ευχαριστώ από καρδιάς για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υπομονή και στήριξη που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας αλλά και συνολικά κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής
(Ονοματεπώνυμο)

.....

Υπογραφή

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη του σχεδιασμού ενός συστήματος αντίστροφης ώσμωσης για την αποσκλήρυνση και αφαλάτωση νερού χρήσης. Το νερό χρήσης αναφέρεται σε εγκατάσταση εμπορικού μεγέθους (καφέ – εστιατόριο) που λειτουργεί στο Άργος. Το σύστημα αντίστροφης ώσμωσης συνεπικουρείται από συμπληρωματικό εξοπλισμό όπως μονάδα μεμβρανών και συνδεσμολογία σειράς αντλιών.

Η ανάλυση του σχεδιασμού πραγματοποιείται με βάση τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση (με γνωστά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των επιμέρους διατάξεις) και με βάση γνώσεις που αποκτήθηκαν κατά τις σπουδές στο Τμήμα Μηχανολόγων Τ.Ε του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.

Μετά τον έλεγχο καλής λειτουργίας της εγκατάστασης και αφού έχει αναγνωρισθεί ο τρόπος επίδρασης κάθε ενδιάμεσης συσκευής στο όλο κύκλωμα λειτουργίας του νερού, στο τέλος της εργασίας γίνονται προτάσεις για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας της εγκατάστασης.

Πιο αναλυτικά η δομή της εργασίας υποδιαιρείται σε κεφάλαια ως ακολούθως:

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται γενικές φυσικές έννοιες όπως η ώσμωση και το φυσικό μέγεθος που την χαρακτηρίζει δηλ. η ωσμωτική πίεση. Γίνεται μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση της αναγνώρισης του φαινομένου της ώσμωσης από τους ερευνητές και δίνεται η θερμοδυναμική ερμηνεία του φαινομένου, η μέτρηση της ωσμωτικής πίεσης και εφαρμογές.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται το φαινόμενο της αντίστροφης ώσμωσης περιγράφεται η συσκευή με την οποία επιτυγχάνεται και οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός συστήματος αντίστροφης ώσμωσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία αποσκλήρυνσης του νερού που αποτελεί βασικό στάδιο για τον καθαρισμό του νερού ώστε αυτό να καταστεί πόσιμο. Επίσης δίνονται τα είδη των αποσκληρυντών εμπορικού μεγέθους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η ποιοτική ανάλυση του νερού, περιγράφονται η υγειονομική σημασία του πόσιμου νερού όπως επίσης οι φυσικοχημικές παράμετροι του νερού, παράμετροι που αφορούν ανεπιθύμητες ουσίες και τοξικές ουσίες ενώ στο τέλος του κεφαλαίου δίνονται τρόποι καθαρισμού του νερού.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφονται τα επιμέρους τμήματα της εγκατάστασης καθαρισμού του νερού που βρίσκεται σε επιχείρηση εν λειτουργία, ξεκινώντας από τη

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

γεώτρηση και στη συνέχεια ακολουθώντας τη διαδρομή του νερού φθάνοντας μέχρι την τελική χρήση όπου το νερό έχει πλήρως καθαριστεί και έχει καταστεί πόσιμο.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται ο αναλυτικός υπολογισμός και η μελέτη απωλειών στην εξίσωση σωληνογραμμής κατά την κυκλοφορία του νερού υποδιαιρώντας όλη τη διαδρομή σε επιμέρους τμήματα για την καλύτερη εποπτεία και παρακολούθηση του θέματος.

Τέλος στο έβδομο κεφάλαιο γίνονται προτάσεις για τη βελτιστοποίηση του συστήματος που θα το καταστήσει πιο αποδοτικό κυρίως με τη χρήση φίλτρων αυτοκαθαριζόμενων αυτόματα ρυθμιζόμενων, που δίνουν τη δυνατότητα περικοπής κάποιων άλλων διατάξεων χαμηλότερων δυνατοτήτων.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

1 Ωσμωση και Ωσμωτική Πίεση

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στη μελέτη εγκατάστασης αποσκλήρυνσης νερού 5 σταδίων με τη βοήθεια αντλιών και μεμβρανών. Η μελέτη αναφέρεται ειδικότερα σε εγκατάσταση εν λειτουργία στην περιοχή του Άργους Κορινθίας.

Το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση δεν πρέπει να περιέχει χημικές ουρίες και μικροοργανισμούς σε ποσότητες που μπρούν να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία. Πρέπει να είναι ασφαλές και ακίνδυνο για την υγεία να είναι διαυγές άχρωμο χωρίς δυσάρεστη οσμή και γεύση. Η τοποθεσία, η κατασκευή και η επίβλεψη μιας πηγής υδροληψίας (πηγές, δεξαμενές, καθώς και η επεξεργασία και η διανομή του νερού), πρέπει να είναι τέτοιες που να αποκλείουν οποιαδήποτε ρύπανση του νερού.

Οι περισσότερες χώρες έχουν καθιερώσει πρότυπα ποιότητας του πόσιμου νερού που εφαρμόζουν στην επικράτειά τους και χρησιμοποιούν παρόμοιες μεθόδους ανάλυσης και έκφρασης των αποτελεσμάτων για να είναι εύκολη η σύγκριση μεταξύ τους. Επίσης επιδημίες από ασθένειες προέλευσης εντός του νερού μπορούν να αποφευχθούν εάν γίνονται αυστηροί έλεγχοι από τους υπεύθυνους των συστημάτων υδροληψίας και τις αρμόδιες αρχές υγείας, σε ότι αφορά την ποιότητα του πόσιμου νερού. Σύμφωνα με τις Υγειονομικές διατάξεις, με την έκφραση “πόσιμο νερό” νοείται νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανθρώπινη κατανάλωση, είτε με προηγούμενη επεξεργασία, είτε όχι, οποιαδήποτε και αν είναι η προέλευσή του.

Οι πιο σύγχρονες μέθοδοι καθαρισμού του νερού χρησιμοποιούν την αντίστροφη ώσμωση ως τον πιο ολοκληρωμένο ασφαλή και καταλληλότερο τρόπο για τον έλεγχο του νερού. Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η περιγραφή της μεθόδου, ο σχεδιασμός και η λειτουργία συστήματος αντίστροφης ώσμωσης σε εγκατάσταση εμπορικού μεγέθους που ήδη βρίσκεται σε λειτουργία. Επίσης συζητούνται τρόποι βελτίωσης της εγκατάστασης ώστε να εξασφαλίζει ακόμα καλύτερα αποτελέσματα με πιο εύκολη διαχείριση.

1.1 Εισαγωγή

Με την έννοια ώσμωση νοείται το φαινόμενο της διέλευσης περισσότερων μορίων διαλύτη, μέσω ημιπερατής μεμβράνης, από τον διαλύτη στο διάλυμα ή από το διάλυμα μικρότερης συγκέντρωσης (αραιότερο) προς το διάλυμα μεγαλύτερης συγκέντρωσης σε διαλυμένη ουσία (πυκνότερο). Ημιπερατή είναι η μεμβράνη που επιτρέπει να περνούν μέσα από τους πόρους της τα μόρια του διαλύτη, αλλά δεν επιτρέπει να περνούν τα μόρια της διαλυμένης ουσίας. Ημιπερατές μεμβράνες υπάρχουν και φυσικές (π.χ. η κυτταρική μεμβράνη) και συνθετικές (π.χ. το σελοφάν).

Η ώσμωση είναι μια φυσική διαδικασία κατά την οποία ο διαλύτης κινείται, αυθόρμητα, μέσω μεμβράνης που είναι διαπερατή για τα μόριά του όχι όμως και για τα μόρια της διαλυμένης ουσίας και διαχωρίζει δύο διαλύματα διαφορετικών συγκεντρώσεων ή χωρίζει ένα διαλύτη από ένα διάλυμα. Χωρίς την ύπαρξη της μεμβράνης θα συνέβαινε απλή ανάμιξη των δύο διαλυμάτων ή του διαλύτη και του διαλύματος. Αν από την ημιπερατή μεμβράνη περνά και διαλυμένη ουσία, τότε η διαδικασία παύει να είναι ώσμωση και γίνεται διάχυση μεταξύ των δύο διαλυμάτων.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

Η ώσμωση πραγματοποιείται με σκοπό να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις των διαλυμάτων από τις δύο πλευρές της ημιπερατής μεμβράνης. Το φαινόμενο της ώσμωσης είναι πολύ σημαντικό στα διάφορα βιολογικά συστήματα, καθώς πολλές βιολογικές μεμβράνες είναι ημιπερατές.

1.2 Ιστορική Αναδρομή

Σε έγγραφο του 1682 ο Ρόμπερτ Μπούλ (Robert Boyle) ανέφερε για πρώτη φορά φαινόμενα ώσμωσης αλλά οι πρώτες παρατηρήσεις έγιναν το 1748 από τον Αβά Νολλέ (Abbe Nollet), ο οποίος σκέπασε το στόμιό ενός κυλίνδρου με κρασί με κύστη ζώου. Στη συνέχεια βύθισε τον κύλινδρο μέσα σε νερό και παρατήρησε ότι περνούσε νερό μέσα από την κύστη και έμπαινε στο κρασί. Το ερώτημα που ανέκυψε ήταν ποια ήταν η δύναμη που προκαλούσε τη μετακίνηση του νερού. Ως αιτία για την παραπάνω μετακίνηση θεωρήθηκε η ωσμωτική πίεση (πίεση δηλ. που ασκείται και οδηγεί σε ώθηση του κινουμένου ρευστού (από το ρήμα *ωθώ*).

Οι πρώτες συστηματικές μελέτες του φαινομένου της ώσμωσης (οι πρώτες μετρήσεις) αποδίδονται στους βοτανολόγους Πφέφερ (Wilhelm Pfeffer) και ντε Βρις (Hugo de Vries) οι οποίοι μέτρησαν την ωσμωτική πίεση με την εύρεση της υδροστατικής πίεσης που προκαλείται από μια στήλη νερού ύψους h το 1877. Σε άλλα πιο σημαντικά πειράματα ο Pfeffer χρησιμοποίησε ειδική διάταξη γνωστή ως ωσμόμετρο του Pfeffer με ειδική ημιπερατή μεμβράνη που επινοήθηκε από τον Τράουμπε (M. Traube).

Τα πειράματα του Pfeffer, ιδίως στα υδατικά διαλύματα ζάχαρης, έδωσαν αφορμή στον Ολλανδό χημικό Van't Hoff να ασχοληθεί με την ωσμωτική πίεση που είναι ιδιαίτερα θεαματική στα φυτά, αφού οι χυμοί τους ανυψώνονται σε ύψος δεκάδων μέτρων. Ήδη ήταν γνωστός ο νόμος των τέλειων αερίων ($PV=RT$) αλλά ο van't Hoff εισάγοντας στο δεύτερο μέλος της εξίσωσης έναν συντελεστή i , μπόρεσε να εξηγήσει καλύτερα τα φαινόμενα. Την ορθή ερμηνεία του παράγοντα i , δηλαδή ότι αποτελεί μέτρο της ιοντικής διάστασης, υπέδειξε ο Αρρένιους με γράμμα του προς τον van't Hoff. Ο τελευταίος ασπάσθηκε με ενθουσιασμό την άποψη αυτή και δε δίστασε στην επόμενη εργασία του να εξάρει το ρόλο του Αρρένιους. Οι θεωρίες του van't Hoff για την ώσμωση μαζί με τις εργασίες του στη Θερμοδυναμική και Χημική Κινητική που προηγήθηκαν, έφεραν σ' αυτόν το πρώτο βραβείο Νόμπελ Χημείας το 1901.

1.3 Περιγραφή του φαινομένου της όσμωσης.

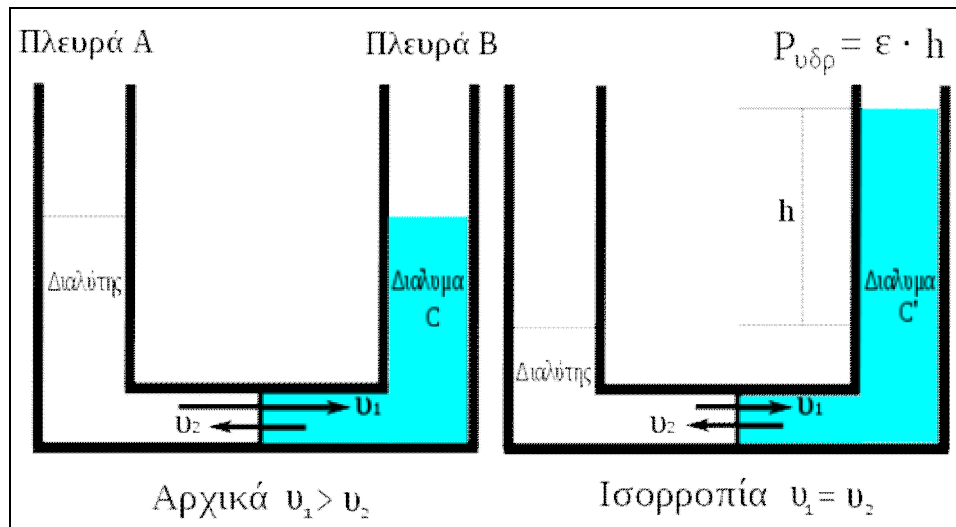
Για την καλύτερη μελέτη και εξήγηση της ώσμωσης, διακρίνουμε δύο περιπτώσεις διαλυμάτων που χωρίζονται με ημιπερατή μεμβράνη:

1.3.1 Περίπτωση 1^η Ώσμωση μεταξύ διαλύματος και διαλύτη

Φέρονται σε επαφή (Εικ.1), μέσω ημιπερατής μεμβράνης, ένα υδατικό διάλυμα κάποιας χημικής ένωσης (π.χ. ζάχαρης) συγκέντρωσης C^I και καθαρός διαλύτης (που θεωρούμε ότι έχει συγκέντρωση σε διαλυμένη ουσία $C=0$) (νερό). Αρχικά η ταχύτητα μετακίνησης (v_I) των μορίων του νερού από τον καθαρό διαλύτη προς το διάλυμα είναι μεγαλύτερη από την

ταχύτητα μετακίνησης (v_2) των μορίων του νερού από το διάλυμα προς τον καθαρό διαλύτη. Δηλαδή αρχικά είναι $v_1 > v_2$.

Έτσι, ο όγκος του διαλύματος αυξάνεται, οπότε παρατηρείται ανύψωση της στάθμης του διαλύματος μέσα στο δεξιό τμήμα του δοχείου. Το φαινόμενο της ώσμωσης θα συνεχιστεί με σκοπό να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις από τις δύο πλευρές της ημιπερατής μεμβράνης. Αυτό όμως δε μπορεί να συμβεί, διότι ο καθαρός διαλύτης δεν περιέχει διαλυμένη ουσία.



Εικόνα 1: Διάταξη παρατήρησης φαινομένου ωσμωτικής πίεσης [4]

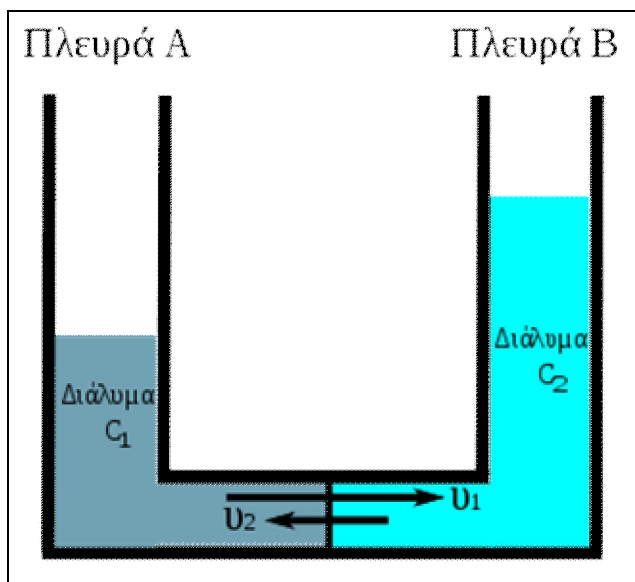
Με το πέρασμα του χρόνου, η ανύψωση της στάθμης του διαλύματος επιβραδύνεται και τελικά σταθεροποιείται σε ορισμένο ύψος h οπότε και σταματά το φαινόμενο της ώσμωσης. Αυτό συμβαίνει διότι η υδροστατική πίεση ($P_{υδρ} = \varepsilon \cdot h$) που δημιουργείται, λόγω της ανύψωσης της στάθμης και οφείλεται στη στήλη του διαλύματος ύψους h , εξαναγκάζει τα μόρια του διαλύτη να εξέρχονται με την ίδια ταχύτητα με την οποία εισέρχονται. Δηλαδή τελικά αποκαθίσταται κατάσταση δυναμικής ισορροπίας όπου $v_1 = v_2$.

1.3.2 Περίπτωση 2^η: Ώσμωση μεταξύ διαλυμάτων διαφορετικών συγκεντρώσεων

Τα δύο τμήματα του δοχείου περιέχουν διαλύματα της ίδια ουσίας αλλά διαφορετικών συγκεντρώσεων C_1 (αραιότερο) και C_2 (πυκνότερο) και ισχύει $C_1 < C_2$. Αρχικά η ταχύτητα διάχυσης των μορίων του διαλύτη από το αραιότερο προς το πυκνότερο διάλυμα είναι μεγάλη. Έτσι θα συμβεί ώσμωση από το διάλυμα με συγκέντρωση C_1 προς το διάλυμα συγκέντρωσης C_2 . Το φαινόμενο της ώσμωσης θα συνεχιστεί μέχρι να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις των διαλυμάτων από τις δύο πλευρές της μεμβράνης, δηλαδή μέχρι να γίνει $C_1' = C_2'$ όπου C_1' και C_2' είναι οι νέες συγκεντρώσεις όταν σταματήσει η ώσμωση. Στο σημείο αυτό αποκαθίσταται δυναμική ισορροπία, δηλαδή ίδιος αριθμός μορίων διαλύτη περνά μέσα από την ημιπερατή μεμβράνη στη μονάδα του χρόνου και προς τις δύο κατευθύνσεις (δηλαδή $v_1 = v_2$). Το φαινόμενο μπορεί να σταματήσει επίσης αν τα δύο διαλύματα έχουν μεγάλη διαφορά συγκεντρώσεων και η υδροστατική στήλη (βλέπε προηγούμενη παράγραφο) είναι τόσο ψηλή που σταματά την ώσμωση εμποδίζοντας τη διέλευση των μορίων του διαλύτη πριν εξισωθούν οι συγκεντρώσεις. Φυσικά δεν παρατηρείται ώσμωση αν από την αρχή τα δύο διαλύματα έχουν ίδιες συγκεντρώσεις δηλ. είναι αρχικά $C_1 = C_2$.

1.4 Θερμοδυναμική ερμηνεία της ώσμωσης.

Παλαιότερα επικρατούσε η άποψη ότι το νερό και όχι η διαλυμένη ουσία περνούσε από τη μια πλευρά της μεμβράνης στην άλλη επειδή οι πόροι της ημιπερατής μεμβράνης ήταν μεγαλύτεροι από τα μόρια του νερού αλλά μικρότεροι από τα μόρια της διαλυμένης ουσίας. Σήμερα γίνεται δεκτό ότι η διέλευση μορίων νερού οφείλεται καθαρά σε ηλεκτροστατικούς λόγους. Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι η διαλυμένη ουσία δεν παίζει κανένα ρόλο στα φαινόμενα ώσμωσης. Για την καλύτερη εξήγηση διέλευσης του νερού από την πλευρά που αυτό είναι καθαρό ή βρίσκεται σε διάλυμα μικρότερης συγκέντρωσης προς την πλευρά του διαλύματος μεγαλύτερης συγκέντρωσης, θα θεωρήσουμε ότι η ποσότητα του καθαρού νερού αλλά και του νερού ως διαλύτη στο διάλυμα είναι 1mol και θα ονομάσουμε:



Εικόνα 2: Ώσμωση μεταξύ διαλυμάτων διαφορετικών συγκεντρώσεων [4].

"πλευρά Α" την πλευρά του καθαρού νερού ή του αραιότερου διαλύματος (αριστερά)

"πλευρά Β" την πλευρά του πυκνότερου διαλύματος (δεξιά)

Οι δύο πλευρές χωρίζονται με ημιπερατή μεμβράνη όπως φαίνονται στην εικόνα 2.

1.4.1 Εξήγηση με βάση το ρυθμό κρούσης των μορίων του νερού στη μεμβράνη.

Όταν και από τις δύο πλευρές της μεμβράνης υπάρχει καθαρό νερό, τα μόριά του διέρχονται με τον ίδιο ρυθμό και προς τις δύο κατευθύνσεις, οπότε μακροσκοπικά δεν παρατηρείται ροή νερού και ο όγκος του νερού στα δύο τμήματα του δοχείου δε μεταβάλλεται.

Όταν όμως από τη πλευρά Β της ημιπερατής μεμβράνης υπάρχει κάποιο διάλυμα, τότε τα μόρια της διαλυμένης ουσίας αφενός δε μπορούν να διέλθουν από τη μεμβράνη (για ηλεκτροστατικούς λόγους), αφετέρου παρεμποδίζουν τα μόρια του νερού και αυτά δε χτυπούν στη μεμβράνη με τον ίδιο ρυθμό όπως τα μόρια από την πλευρά Α. Έτσι τα μόρια του νερού

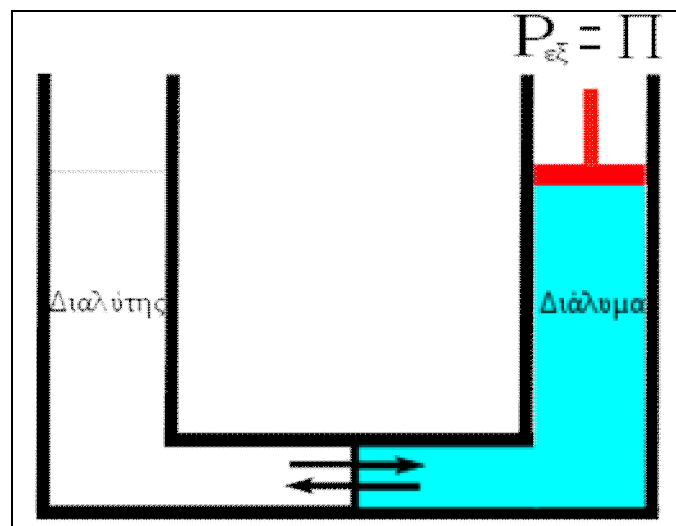
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

διέρχονται από την πλευρά Α προς την πλευρά Β με *μεγαλύτερο ρυθμό* από ότι αντίστροφα με συνέπεια να αυξάνεται ο όγκος προς την πλευρά Β. Αυτή η καθαρή ροή νερού θα επιβραδυνθεί και τελικά θα σταματήσει όταν η πίεση από τη στήλη διαλύματος που δημιουργείται στην πλευρά Β θα γίνει τόση ώστε οι ρυθμοί διέλευσης νερού και προς τις δύο κατευθύνσεις να εξισωθούν. Τότε θα υπάρξει δυναμική (και όχι στατική) ισορροπία αφού στη μονάδα του χρόνου όσα μόρια νερού περνούν από την πλευρά Α στη Β, ακριβώς τόσα θα περνούν και από τη Β στην Α.

1.5 Ωσμωτική πίεση

Ώσμωτική πίεση (Π) διαλύματος, που διαχωρίζεται με ημιπερατή μεμβράνη από τον καθαρό διαλύτη, ονομάζεται η ελάχιστη πίεση που πρέπει να ασκηθεί εξωτερικά στο διάλυμα, ώστε να εμποδιστεί το φαινόμενο της ώσμωσης, χωρίς να μεταβληθεί ο όγκος του διαλύματος. Γενικά η ώσμωτική πίεση είναι μεγάλη, π.χ. για υδατικό διάλυμα καλαμοσάκχαρου 1 % w/v στους 15°C είναι 0,684 atm. Στα φυτικά κύτταρα μπορεί να είναι μεταξύ 5 και 10 atm. Η ώσμωτική πίεση του αίματος στους 0° είναι 6,74 atm και οφείλεται κατά κύριο λόγο στα διάφορα ανόργανα άλατα που βρίσκονται στο πλάσμα σημαντικότερο των οποίων είναι το χλωριούχο νάτριο. Η ώσμωση μπορεί να σταματήσει:

- Όταν η στήλη του διαλύματος στο σωλήνα στην πλευρά Β ανεβεί αρκετά, ώστε η υδροστατική πίεση της στήλης να αναγκάσει τα μόρια του διαλύτη να εξέρχονται προς την πλευρά Α με την ίδια ταχύτητα με την οποία εισέρχονται στην πλευρά Β.
- Αν από την αρχή είχε ασκηθεί στο διάλυμα στην πλευρά Β η κατάλληλη εξωτερική πίεση. Η ώσμωτική πίεση αναφέρεται σ' αυτή την περίπτωση. Η εξωτερική πίεση που απαιτείται είναι ίση με την υδροστατική πίεση ($P_{\text{υδρ}} = \epsilon \cdot h$) που δημιουργείται από την ανύψωση της στάθμης του διαλύματος όταν το φαινόμενο έχει καταλήξει σε ισορροπία.



Εικόνα 3: Για να μη συμβεί ώσμωση αρκεί να ασκηθεί εξωτερική πίεση ($P_{\text{εξ}}$) ίση με την ώσμωτική δηλ. $P_{\text{εξ}} = \Pi$. [4]

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

Ως προς την ονοματολογία των διαλυμάτων αναφορικά με τα επίπεδα ωσμωτικής πίεσης, αυτά χαρακτηρίζονται ως:

- **Ισοτονικά** ονομάζονται τα διαλύματα με την ίδια τιμή ωσμωτικής πίεσης.
- **Υποτονικά** ονομάζονται τα διάλυμα που έχουν τη μικρότερη τιμή ωσμωτικής πίεσης.
- **Υπερτονικά** ονομάζονται τα διαλύματα που έχουν τη μεγαλύτερη τιμή ωσμωτικής πίεσης.

1.5.1 Νόμος του van't Hoff για την ωσμωτική πίεση σε μη ηλεκτρολυτικά (μοριακά) διαλύματα

Αναφορικά με τα μοριακά διαλύματα, αυτά χωρίζονται σε αραιά και πυκνά και κατά αυτό τον τρόπο εξετάζονται στη συνέχεια. Σε σχέση με τα *αραιά* διαλύματα, από τα πειραματικά αποτελέσματα του Pfeffer, ο van't Hoff διαπίστωσε ότι:

- το γινόμενο της ωσμωτικής πίεσης επί τον όγκο ενός διαλύματος για ορισμένη μάζα ζάχαρης και σε ορισμένη θερμοκρασία ήταν σταθερό δηλ.

$$\Pi V = \text{σταθ.} \quad (1.1)$$

- η ωσμωτική πίεση ορισμένου διαλύματος ζάχαρης ήταν ανάλογη με την απόλυτη θερμοκρασία δηλ. $\Pi = kT$ (1.2)
όπου k = συντελεστής αναλογίας.

Ο van't Hoff διαπίστωσε ότι η ωσμωτική πίεση διαλύματος παρουσιάζει μεγάλη αναλογία με την πίεση που ασκεί ιδανικό αέριο και το οποίο υπακούει στην καταστατική εξίσωση:

$$PV = nRT \quad (1.3)$$

Μετά από αυτές τις διαπιστώσεις ο van't Hoff διατύπωσε το "νόμο των αραιών διαλυμάτων" σύμφωνα με τον οποίο:

“Η ωσμωτική πίεση αραιού διαλύματος είναι ίση με την πίεση που θα ασκούσαν τα μόρια της διαλυμένης ουσίας αν αυτά βρίσκονταν με τη μορφή ιδανικού αερίου, σε χώρο ίσου όγκου με το διάλυμα και σε ίση θερμοκρασία. “

Για τα αραιά μοριακά διαλύματα θα ισχύει ο **νόμος του van't Hoff** (σε διάφορες μορφές):

$$\Pi = CRT \quad (1.4)$$

$$\text{(ή αφού } C = n/V) \quad \Pi V = nRT \quad (1.5)$$

$$\text{(ή αφού } n = m/M_r) \quad \Pi V = mRT/M_r \quad (1.6)$$

όπου:

Π = η ωσμωτική πίεση (atm)

C = η συγκέντρωση του διαλύματος (mol/L)

R = η σταθερά των αερίων = 0.082 (L atm/mol.K)

T = η απόλυτη θερμοκρασία (K)

V = ο όγκος του διαλύματος (L)

n = ο αριθμός moles της διαλυμένης ουσίας (mol)

m = η μάζα διαλυμένης ουσίας (g)

M_r = η σχετική μοριακή μάζα (g/mol)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω σχέσεις:

- Η ωσμωτική πίεση (Π) σε ορισμένη θερμοκρασία εξαρτάται από τον αριθμό γραμμομορίων ή μορίων του διαλυμένου σώματος σε ορισμένο όγκο διαλύματος και επομένως είναι μια *προσθετική ιδιότητα* δηλ. η τιμή της σε ορισμένη ποσότητα διαλύτη είναι ανεξάρτητη από τη φύση του διαλυμένου σώματος και εξαρτάται μόνο από το συνολικό αριθμό διαλυμένων σωματιδίων.
- Όταν ένα διάλυμα αραιώνεται, η συγκέντρωσή του ελαττώνεται και επομένως η ωσμωτική του πίεση επίσης ελαττώνεται. Το αντίθετο συμβαίνει σε διάλυμα που συμπυκνώνεται.
- Αν οι διαλυμένες ουσίες είναι πολλές, οι παραπάνω σχέσεις παίρνουν τις μορφές:

$$\Pi = (C_1 + C_2 + C_3 + \dots) RT \quad (1.7)$$

$$\Pi V = (n_1 + n_2 + n_3 + \dots) RT = (m_1/M_{r1} + m_2/M_{r2} + m_3/M_{r3} + \dots) RT \quad (1.8)$$

Σε σχέση με τα πυκνά μοριακά διαλύματα, στα σχετικώς πυκνά διαλύματα παρατηρούνται σοβαρές αποκλίσεις από το νόμο του van't Hoff. Σ' αυτές τις περιπτώσεις πρέπει από το συνολικό όγκο του διαλύματος να αφαιρείται ο όγκος που καταλαμβάνουν αυτά τα ίδια τα μόρια της διαλυμένης ουσίας. Αντί λοιπόν του όγκου V του διαλύματος, λαμβάνεται ο όγκος του διαλύτη (V'). Η εξίσωση που προκύπτει είναι γνωστή ως *εξίσωση Morse*:

$$\Pi V' = nRT \quad (1.9)$$

1.5.2 Νόμος του van't Hoff για την ωσμωτική πίεση σε διαλύματα ηλεκτρολυτών

Στα ηλεκτρολυτικά διαλύματα η ωσμωτική πίεση (και γενικότερα οι προσθετικές ιδιότητες των διαλυμάτων) έχει μεγαλύτερη τιμή από εκείνη που προβλέπεται βάσει των εξισώσεων και της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη. Έτσι, σε άλατα όπως NaCl , KNO_3 κ.ά. η πειραματική τιμή της Π βρέθηκε περίπου διπλάσια, σε άλατα του τύπου BaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ κ.ά., περίπου τριπλάσια, σε άλατα του τύπου $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ κ.ά. περίπου τετραπλάσια κλπ. Ο van't Hoff πρότεινε την εισαγωγή στις απλές εξισώσεις της ωσμωτικής πίεσης, ενός αδιάστατου διορθωτικού συντελεστή i που σήμερα ονομάζεται "**συντελεστής van't Hoff**":

$$i = \Pi_{\eta\lambda} / \Pi \quad (1.10)$$

όπου: i = συντελεστής van't Hoff $\Pi_{\eta\lambda}$ = η ωσμωτική πίεση ηλεκτρολυτικού διαλύματος ορισμένης συγκέντρωσης Π = η ωσμωτική πίεση μοριακού διαλύματος της ίδιας ακριβώς συγκέντρωσης. Συνεπώς οι εξισώσεις γίνονται:

$$\Pi = iCRT \quad (1.11)$$

$$\Pi V = inRT \quad (1.12)$$

$$\Pi V = imRT/M_r \quad (1.13)$$

Βρέθηκε ότι ο συντελεστής i δεν είναι σταθερός για κάθε ηλεκτρολύτη, αλλά αυξάνεται με την αραιώση και τείνει σε ακέραιο αριθμό ίσο με τον αριθμό των ιόντων που υπάρχουν στο μόριο του ηλεκτρολύτη. Έτσι για το KCl που περιέχει δύο ιόντα: $\text{KCl} \rightarrow \text{K}^+ + \text{Cl}^-$, θα είναι $i = 2$ μόνο στην άπειρη αραιώση ενώ σε αραιό διάλυμα είναι περίπου 1,93. Αυτό οφείλεται στις λεγόμενες ιοντικές έλξεις που παρεμποδίζουν την πλήρη διάσταση. Πάντως οι αποκλίσεις αυτές δεν είναι σημαντικές όταν τα διαλύματα είναι αραιά.

Τα διαλύματα ηλεκτρολυτών διαχωρίζονται σε διαλύματα ισχυρών και αραιών ηλεκτρολυτών. Ειδικότερα για τα διαλύματα ισχυρών ηλεκτρολυτών θεωρείται ότι η διάσταση

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

του ηλεκτρολύτη είναι πλήρης και ο συντελεστής van't Hoff έχει ακέραια τιμή ίση με το άθροισμα των ιόντων που ο ηλεκτρολύτης αποδίδει σε πλήρη διάσταση. Έτσι για έναν ισχυρό ηλεκτρολύτη της μορφής K_xA_y (όπου K = κατιόν με αριθμό οξείδωσης $+y$ και A = ανιόν με αριθμό οξείδωσης $-y$) που δίσταται πλήρως κατά το σχήμα :



όπου $i = x + y$. Έτσι π.χ. για το $Ca_3(PO_4)_2 \rightarrow 3Ca^{+2} + 2PO_4^{-3}$ θα είναι $i = 3 + 2 = 5$.

Αναφορικά με τα διαλύματα ασθενών ηλεκτρολυτών, σε αυτά ο ηλεκτρολύτης δίσταται μερικά και η τιμή της ωσμωτικής πίεσης είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μοριακού διαλύματος ίδιας συγκέντρωσης αλλά μικρότερη από την ωσμωτική πίεση ηλεκτρολυτικού διαλύματος ίδιας συγκέντρωσης. Αν α είναι ο βαθμός διάστασης του ασθενούς ηλεκτρολύτη, τότε:

$$i = 1 - \alpha + n\alpha \quad (1.15)$$

όπου n ο αριθμός των ιόντων που δίνει ο ασθενής ηλεκτρολύτης κατά τον ιοντισμό του. Έτσι π.χ. για διάλυμα οξικού οξέος (CH_3COOH) στο οποίο το οξύ ιοντίζεται κατά 2 % ($\alpha = 0.02$) σύμφωνα με το σχήμα:



οπότε $n = 2$, ο i θα είναι:

$$i = 1 - 0.02 + 2 \cdot 0.02 = 1.02. \quad (1.17)$$

Η σχέση (15) συνήθως χρησιμοποιείται για την εύρεση του α όταν πειραματικά υπολογίζεται ο i , οπότε έχει τη μορφή:

$$\alpha = (i - 1)/(n - 1) \quad (1.18)$$

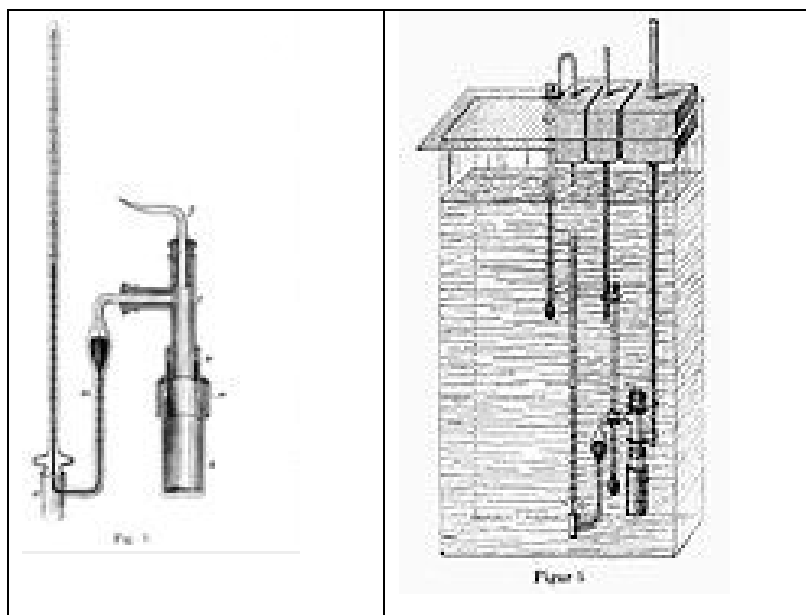
1.5.3 Η ωσμωτική πίεση στα πολυμερή.

Κατά τον πολυμερισμό ενός σώματος (συνήθως οργανικής ένωσης διαλυμένης σε οργανικό διαλύτη) γίνεται συνένωση μορίων του σώματος (μονομερή) και σχηματισμός μεγαλομορίων (πολυμερή). Άρα με τον πολυμερισμό ενός σώματος ελαττώνεται ο αριθμός των διακεκριμένων σωματιδίων του διαλύματος, οπότε ελαττώνεται και η ωσμωτική πίεση.

Για παράδειγμα, έστω ότι πολυμερίζεται αιθυλένιο (μονομερές, $CH_2=CH_2$) αρχικής συγκέντρωσης C μέσα σε οργανικό διαλύτη. Αν v μόρια αιθυλενίου συνενώνονται για να δώσουν πολυμερές (πολυαιθυλένιο) σύμφωνα με την αντίδραση:



η συγκέντρωση του μονομερούς θα είναι v φορές μικρότερη δηλ. C/v και επομένως η ωσμωτική πίεση θα είναι και αυτή v φορές μικρότερη από την ωσμωτική πίεση του μονομερούς.



Εικόνα 4: Ωσμόμετρο του Pfeffer για διαλύματα ηλεκτρολυτών. [4]

1.5.4 Μέτρηση της οσμωτικής πίεσης

Η οσμωτική πίεση υδατικών και μη διαλυμάτων μετριέται με συσκευές που λέγονται οσμόμετρα. Το πρώτο οσμόμετρο κατασκευάστηκε το 1828 από το Γάλλο φυσιολόγο Henri Dutrochet και δεν παρείχε ακριβείς μετρήσεις αλλά απλά μια επίδειξη της ώσμωσης. Ο Pfeffer κατασκεύασε το 1877 και χρησιμοποίησε για μετρήσεις ακριβείας, οσμόμετρο που και σήμερα βρίσκει ακόμη εφαρμογή για μετρήσεις μικρών σχετικά οσμωτικών πιέσεων.

Το οσμόμετρο Pfeffer αποτελείται από το πορώδες διάφραγμα Α και από υδραργυρικό μανόμετρο Β. Το κύτταρο που περιέχει το διάλυμα προς μελέτη τοποθετείται στο δοχείο Γ. Λόγω της ώσμωσης, ο διαλύτης εισέρχεται στο κύτταρο, οπότε η διαφορά στάθμης που δημιουργείται στο μανομετρικό σωλήνα δίνει την οσμωτική πίεση του διαλύματος τη στιγμή αποκατάστασης ισορροπίας (σφού έχει εισέλθει ο διαλύτης) και όχι την οσμωτική πίεση του αρχικού διαλύματος. Αν όμως παρεμποδίσουμε την είσοδο διαλύτη με προσθήκη υδραργύρου στο αριστερό σκέλος του μανόμετρου, τότε η διαφορά στάθμης που δημιουργείται θα δίνει την οσμωτική πίεση του αρχικού διαλύματος. Η οσμωτική πίεση σε kPa θα είναι

$$\Pi = d \cdot g \cdot h \quad (1.20)$$

όπου d = πυκνότητα υδραργύρου = 13,6 g/mL, g = βαρυτική επιτάχυνση = 9,81m/s² και h = το ύψος της στήλης υδραργύρου (m). Με διαίρεση με το 100 προκύπτει η Π σε atm π.χ αν το ύψος $h = 0.1$ m τότε:

$$\Pi = 13,6 \times 9,81 \times 0,1 = 13,3 \text{ kPa ή } 0,133 \text{ atm.} \quad (1.21)$$

1.5.5 Εφαρμογές της οσμωτικής πίεσης

Ορισμένες από τις σημαντικότερες εφαρμογές της οσμωτικής πίεσης είναι:

- Εύρεση της σχετικής μοριακής μάζας (M_r) μεγαλομοριακών ενώσεων (π.χ. πρωτεΐνες, πολυμερή) με τη μέθοδο της **οσμωμετρίας**. Έτσι ονομάζεται η μέθοδος προσδιορισμού της M_r μιας ουσίας μετρώντας πειραματικά την οσμωτική πίεση του υδατικού

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

διαλύματός της. Η ωσμωμετρία εφαρμόζεται με την προϋπόθεση ότι το διάλυμα είναι αραιό και μοριακό. Για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται η σχέση: $M_r = mRT/\Pi V$. Η μέτρηση πρέπει όμως να γίνει σε κατάλληλες συνθήκες οι οποίες να μην ευνοούν τον πολυμερισμό.

- Υπολογισμός συγκέντρωσης διαλύματος ισότονου προς το αίμα. Η διαδικασία χρησιμοποιείται για την παρασκευή ορών διαφόρων ουσιών (π.χ. γλυκόζης, βιταμίνης C, φυσιολογικού ορού δηλ. διαλύματος NaCl 0,9 % κλπ.). Χρησιμοποιείται η σχέση: $m = \Pi V M_r / RT$ όπου $\Pi = 6,74 \text{ atm}$ που είναι η ωσμωτική πίεση του αίματος. Έτσι, αν θέλουμε να παρασκευάσουμε ισότονο ορό γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$, $M_r = 180$, μοριακή ουσία) θα πρέπει να διαλύσουμε $m = 6,74 \cdot 1.180 / 273.0,082 = 54,19 \text{ g}$ γλυκόζης σε 1 L νερού στους $0^\circ C$.

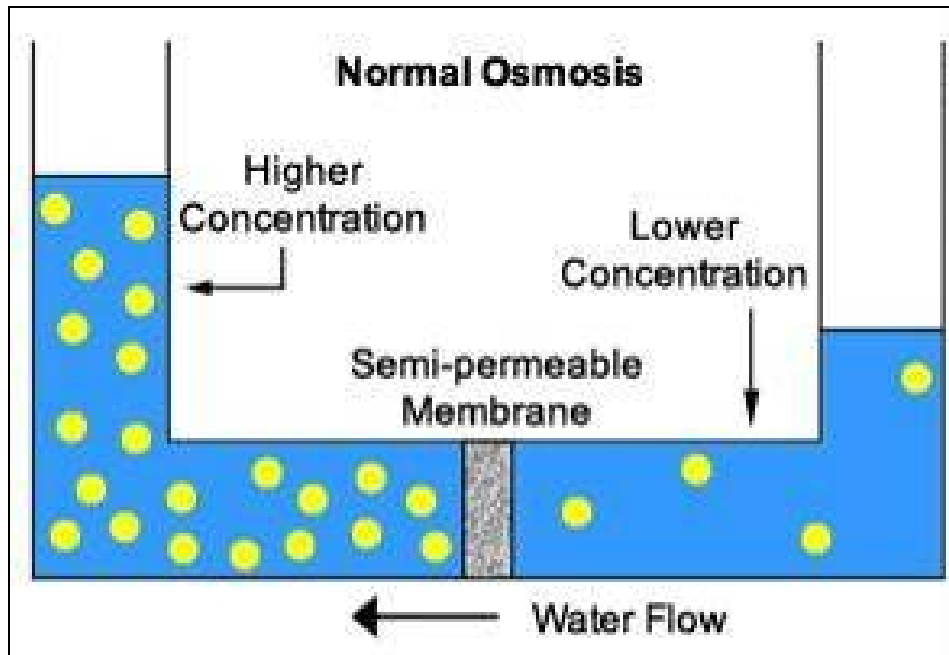
1.6 Ημιπερατές μεμβράνες

Οι ημιπερατές μεμβράνες, που ονομάζονται και *ωσμωτικά διαφράγματα*, επιτρέπουν τη διόδο των μορίων του διαλύτη όχι όμως και των μορίων ή ιόντων της διαλυμένης ουσίας. Οι πόροι των μεμβρανών αυτών είναι γενικά μικρότεροι των 250 nm ($250 \cdot 10^{-9} \text{ m}$). Πολλές φυσικές, ιδίως ζωικές, μεμβράνες (κύστεις) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ημιπερατές μεμβράνες. Πολύ καλές μεμβράνες είναι επίσης πορώδεις πλάκες που περιέχουν στους πόρους τους δυσδιάλυτα άλατα.

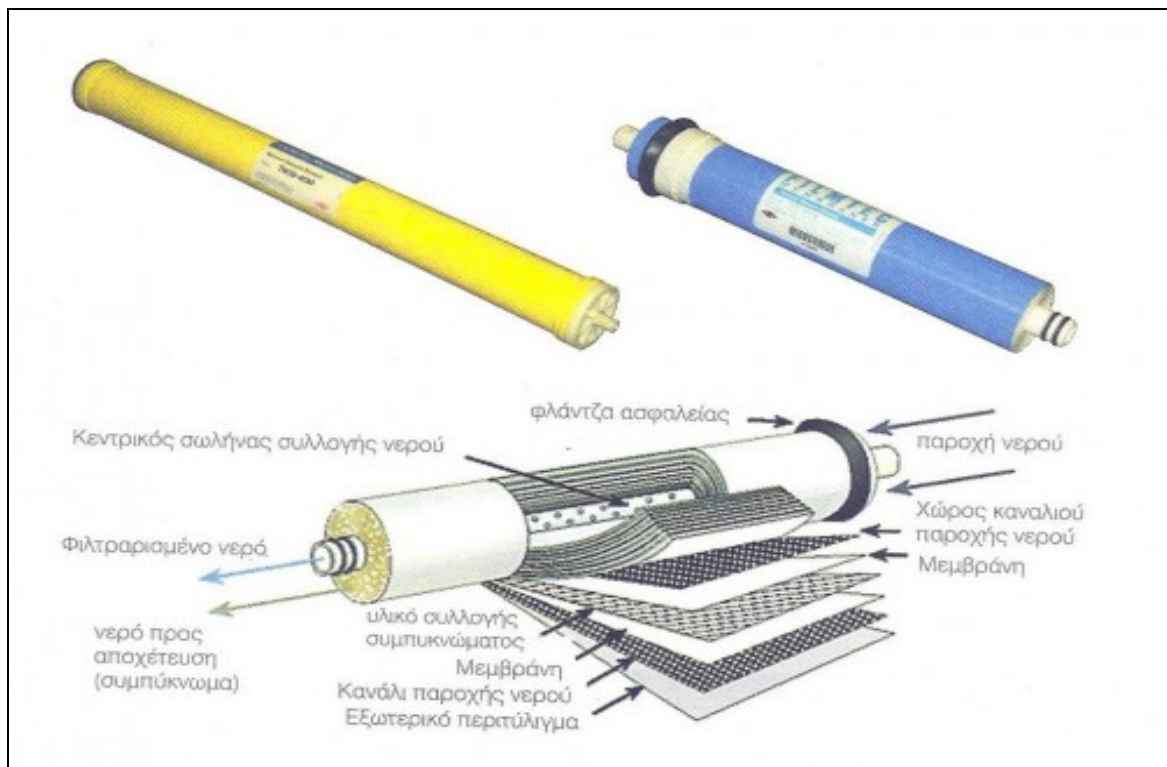
Οι ημιπερατές μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην πράξη χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Διογκωμένα υλικά κολλοειδούς σύστασης όπως π.χ. η ζελατίνη, το ελαστικό κόμμι, η κυτταρίνη και τα παράγωγά της κ.ά.
- Μη διογκωμένα υλικά όπως π.χ. τα περισσότερα δυσδιάλυτα σύμπλοκα άλατα όπως είναι ο σιδηροκυανιούχος χαλκός, $Cu_2[Fe(CN)_6]$, όταν βρίσκονται στους πόρους πορώδων δοχείων, το ωσμωτικό διάφραγμα Traube κ.ά.

Το σπουδαιότερο χαρακτηριστικό γνώρισμα κάθε ημιπερατής μεμβράνης είναι η διαπερατότητά της στα διάφορα μόρια ή σωματίδια. Η διαπερατότητα εξαρτάται από τη σύσταση της μεμβράνης και ιδίως από τις ηλεκτροχημικές ιδιότητές της. Η ιδιότητα που έχει μια ημιπερατή μεμβράνη να μην επιτρέπει τη διόδο των μορίων της διαλυμένης ουσίας δεν οφείλεται στη διάμετρο των πόρων της μεμβράνης ή στο μέγεθος των μορίων της διαλυμένης ουσίας αλλά σε εκλεκτική παρεμπόδιση ηλεκτροχημικής κυρίως φύσης.



Εικόνα 5: Το φαινόμενο της Ωσμωσης με την παρουσία ημιπερατής μεμβράνης [7,8].



Εικόνα 6: Δομή Ημιπερατής Μεμβράνης με τα επιμέρους τμήματα [7,8].

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού,
Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους

Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

2 Αντίστροφη Ώσμωση (Reverse Osmosis – RO).

Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται το φαινόμενο της αντίστροφης ώσμωσης και περιγράφεται η συσκευή με την οποία επιτυγχάνεται η λεγόμενη και αντίστροφη ώσμωση 5 σταδίων. Ειδικότερα αναλύεται κάθε ένα στάδιο της διαδικασίας και αναφέρονται τέλος οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των συστημάτων αντίστροφης ώσμωσης.

2.1 Αντίστροφη ώσμωση - Reverse osmosis (RO)

Η αντίστροφη ώσμωση είναι μέθοδος απομάκρυνσης διαλυμένων στερεών ουσιών. Χρησιμοποιούνται ειδικές ημιπερατές μεμβράνες που απομακρύνουν μέρος των ολικών διαλυτών, στερεών, μετατρέποντας ένα βαρύ (υφάλμυρο) νερό σε βιομηχανικό. Βασικό χαρακτηριστικό της εφαρμογής είναι η πίεση λειτουργίας. Όσο χειρότερη η ποιότητα νερού τόσο μεγαλύτερη πίεση πρέπει να εφαρμοστεί. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις με αύξηση της πίεσης μέχρι και 45atm είναι δυνατό να επιτευχθεί η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού.

Συνήθως η αντίστροφη ώσμωση χρησιμοποιείται σε υφάλμυρα νερά (μέχρι και 1500 μικροζήμενες) και επειδή αυτά είναι κυρίως πολύ σκληρά, είναι απαραίτητο να αποσκληραίνονται και να αφαλατώνονται. Όταν δεν είναι δυνατό να επιτευχθούν οι παραπάνω διαδικασίες πρέπει να χρησιμοποιούνται μικρές ποσότητες ειδικών αντιαποθετικών (πολυμερή) για την προστασία των ίδιων των μεμβρανών από αποθέσεις. Πρέπει επίσης να προστεθεί ότι η κατακράτηση διαλυμένων αλάτων και διαλυμένων αερίων είναι διαφορετική.

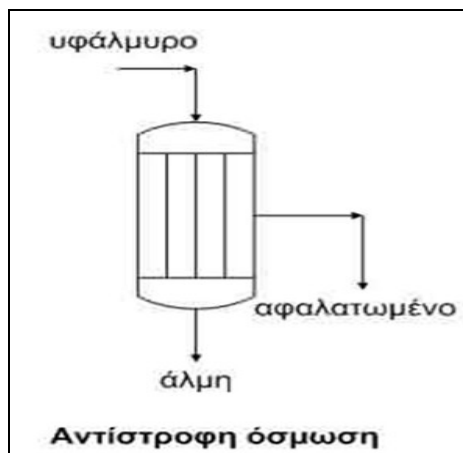
Έτσι για παράδειγμα εάν η αντίστροφη ώσμωση κατακρατά το 90% των αλάτων, θα κατακρατήσει το 50% των διαλυμένων αερίων (οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα κλπ.), με αποτέλεσμα το παραγόμενο νερό να είναι αυξημένα διαβρωτικό, με αποτέλεσμα να χρειάζεται αυξημένη αντιδιαβρωτική προστασία. Το νερό που θα παραχθεί είναι πολύ πιο διαβρωτικό από το νερό της αποσκλήρυνσης, αλλά πολύ λιγότερο αποθετικό.

Όπως όλες οι μέθοδοι προεπεξεργασίας δεν αφαιρεί το 100% των τάσεων δημιουργίας αποθέσεων και αντίθετα από την αποσκλήρυνση, αν δημιουργηθούν αποθέσεις σε νερό από αντίστροφη ώσμωση, συνήθως δεν καθαρίζονται με χημικό καθαρισμό (θειικές αποθέσεις).

Η αντίστροφη ώσμωση είναι ενδιάμεσου κόστους μέθοδος εξωτερικής προστασίας (ακριβότερη από την αποσκλήρυνση, φθηνότερη από την αφαλάτωση) για την λειτουργία και τη συντήρησή της.

Η αφαλάτωση με βραστήρε είναι και αυτή μια μέθοδος απομάκρυνσης των διαλυμένων ουσιών. Χρησιμοποιείται όταν διαθέτουμε υπερβολικά επιβαρυνμένα νερά (θάλασσα) ή χαμηλού κόστους θερμική ενέργεια. Στους βραστήρες ενώ γίνεται ικανοποιητική απομάκρυνση των διαλυμένων υγρών και στερεών ουσιών, γίνεται μηδενική κατακράτηση των διαλυμένων αερίων, τα οποία θα αποστάξουν μαζικά στο αφαλατωμένο νερό. Η λύση των βραστήρων παρουσιάζεται δελεαστική σε μονάδες που :

- βρίσκονται κοντά στη θάλασσα,
- διαθέτουν αμελητέου ή χαμηλού κόστους θερμική ενέργεια,
- βρίσκονται σε περιοχές που υπάρχει έλλειψη φυσικού πόσιμου νερού, το διατιθέμενο νερό είτε τοπικών δικτύων είτε γεωτρήσεων είναι επιβαρυνμένης ποιότητας.



Εικόνα 7: Αντίστροφη Όσμωση που οδηγεί σε αφαλατωμένο νερό [7,8].

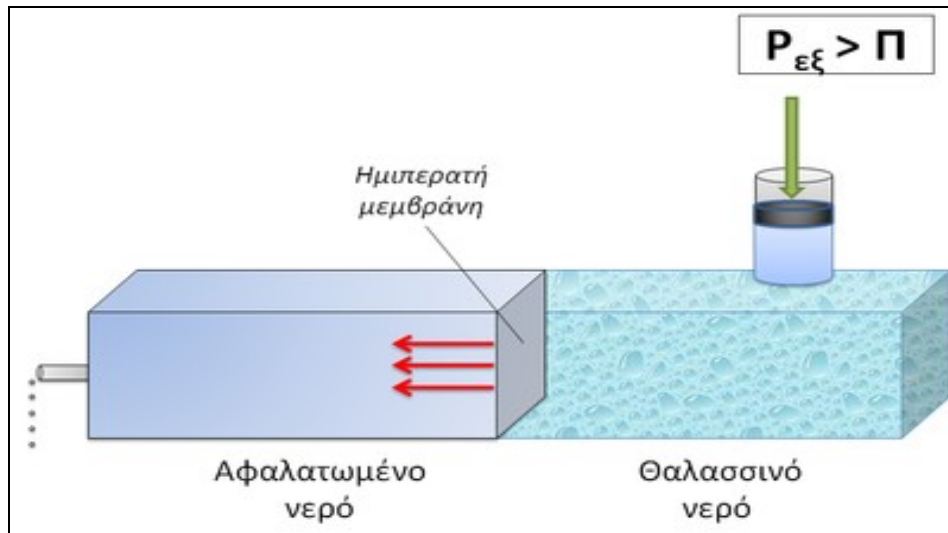
Τα νερό του βραστήρα είναι το λιγότερο αποθετικό από όλες τις μεθόδους προεπεξεργασίας, αλλά είναι πιο διαβρωτικό γιατί περιέχει όλα τα διαλυμένα αέρια που είχε το θαλασσινό νερό από το οποίο προήλθε. Ο βραστήρας στη λειτουργία του απαιτεί τη χρήση μικρών ποσοτήτων ειδικών αντιαποθετικών χημικών βραστήρων, για την προστασία του από αποθέσεις και μικρές ποσότητες αντιαφριστικού για να μην παρασύρεται θαλασσινό νερό στον ατμό και βοηθά στην υποβάθμιση της ποιότητας του αφαλατωμένου νερού. Οι κατασκευαστές των αντιαποθετικών αυτών συνήθως προσφέρουν μείγματα που περιέχουν και την απαραίτητη ποσότητα κατάλληλου αντιαφριστικού, συμβατού με το αντιαποθετικό που προσφέρουν.

2.1.1 Αναλυτική Περιγραφή του Μηχανισμού της Αντίστροφης Όσμωσης.

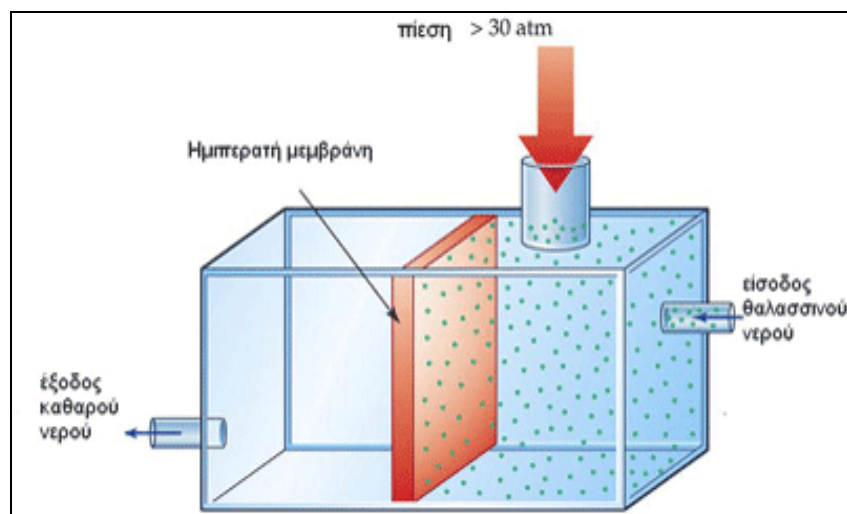
Όταν στο διάλυμα που έρχεται σε επαφή μέσω της ημιπερατής μεμβράνης με τον καθαρό διαλύτη ασκηθεί πίεση μικρότερη από την ωσμωτική πίεση του διαλύματος (δηλ. όταν $P_{εξ} < \Pi$), τότε στο διάλυμα θα συνεχίσει να εισέρχεται διαλύτης, αλλά με μικρότερο ρυθμό.

Όταν στο διάλυμα ασκηθεί *εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την ωσμωτική πίεση του διαλύματος* (δηλ. $P_{εξ} > \Pi$), τότε το φαινόμενο αντιστρέφεται και μόρια διαλύτη θα εξέρχονται από το διάλυμα προς τον καθαρό διαλύτη (ή από το πυκνότερο προς το αραιότερο διάλυμα). Το φαινόμενο αυτό λέγεται αντίστροφη ώσμωση. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η συγκέντρωση του διαλύματος, αφού απομακρύνεται μέρος από την ποσότητα του διαλύτη. Το φαινόμενο της αντίστροφης ώσμωσης βρίσκει εφαρμογή στην αφαλάτωση του θαλασσινού νερού για την αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας: Η ωσμωτική πίεση του νερού των ωκεανών είναι 27 atm. Αν ασκηθεί αρκετά μεγάλη εξωτερική πίεση (περίπου 70 atm), η ώσμωση μπορεί να σταματήσει και να αντιστραφεί, οπότε από τη μεμβράνη θα παρέχεται καθαρό νερό. Οι ημιπερατές μεμβράνες κατασκευάζονται από οξική κυτταρίνη ή από πολυαμίδια με τη μορφή μικροσκοπικών διάτρητων ινών. Το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας εισάγεται υπό πίεση στις ίνες και εξέρχεται αφαλατωμένο. Η μεγαλύτερη εγκατάσταση αφαλάτωσης στον κόσμο βρίσκεται στη Σαουδική Αραβία όπου παράγεται το 50 % του νερού που καταναλώνεται, με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Τα τελευταία χρόνια η μέθοδος αυτή έχει εξαπλωθεί και σε πολλές πόλεις των Η.Π.Α. Για παράδειγμα στην πόλη Σάντα Μπάρμπαρα από το 1992 λειτουργεί εγκατάσταση αντίστροφης ώσμωσης για την παραγωγή 30,400 m³ πόσιμου νερού τη μέρα. Ανάλογες συσκευές, μικρής δυναμικότητας, είναι συχνά

χειροκίνητες και χρησιμοποιούνται στα πλοία ή σε ορισμένες εγκαταστάσεις ξηράς π.χ. σε κάμπινγκ.



Εικόνα 8: Διαδικασία αφαλάτωσης νερού [8].



Εικόνα 9: Διαδικασία Αντίστροφης Ώσμωσης για αφαλάτωση νερού [8].

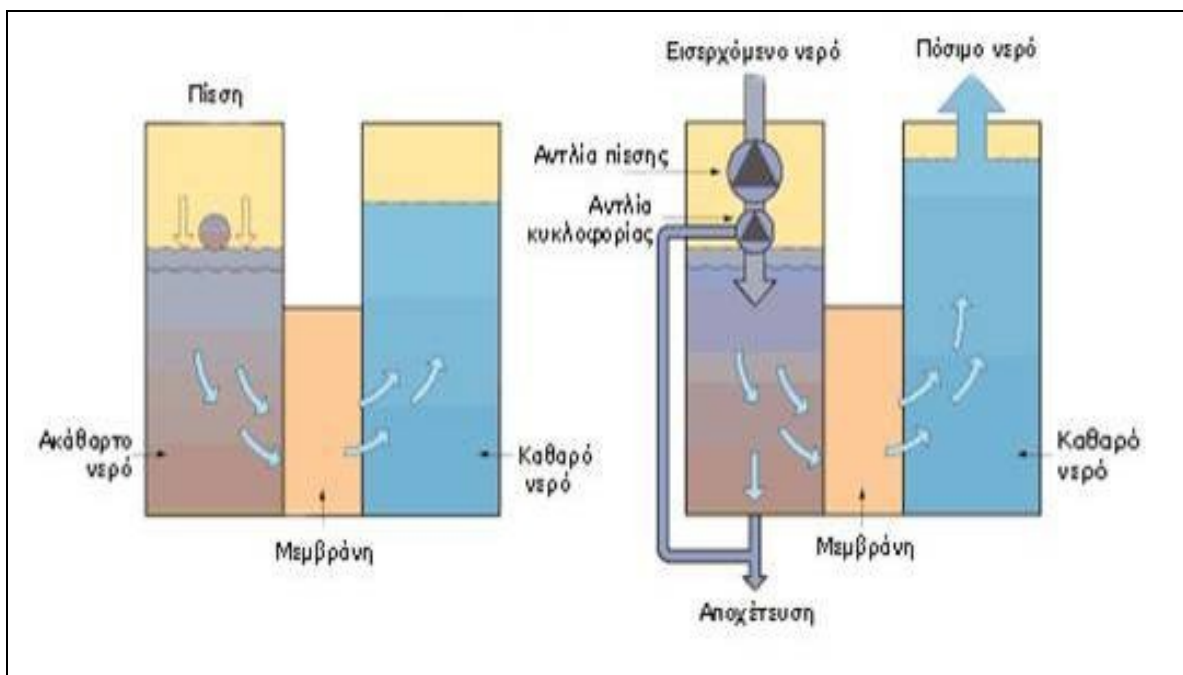
Θεωρείται διάλυμα που διαχωρίζεται με ημιπερατή μεμβράνη από τον καθαρό διαλύτη του. Αν ασκηθεί εξωτερική πίεση στο διάλυμα μεγαλύτερη από την οσμωτική παρατηρείται ότι ο διαλύτης διέρχεται με μεγαλύτερη ταχύτητα από το διάλυμα προς τον διαλύτη. Το φαινόμενο λέγεται αντίστροφη ώσμωση.

Όμοια αν διαχωριστούν δύο διαλύματα με ημιπερατή μεμβράνη και ασκηθεί εξωτερικά πίεση στο υπερτονικό διάλυμα έτσι ώστε ο διαλύτης να διέρχεται με μεγαλύτερη ταχύτητα από το υπερτονικό προς το υποτονικό διάλυμα το φαινόμενο και πάλι λέγεται αντίστροφη ώσμωση. Το φαινόμενο βρίσκει εφαρμογή στην αφαλάτωση νερού όπως φαίνεται στην Εικ.8.

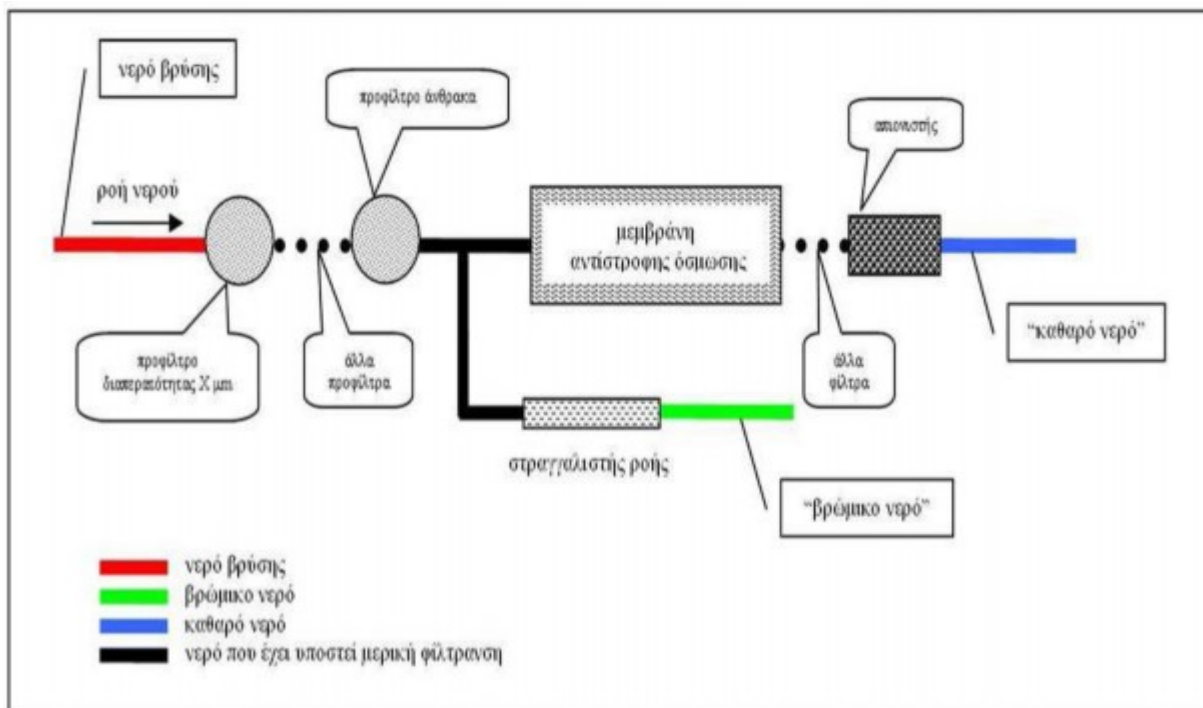
Εφαρμόζοντας πίεση στο ακάθαρτο νερό (πυκνό διάλυμα), η μεμβράνη θα αφήσει να περάσει μόνο το καθαρό νερό από το πυκνό στο καθαρότερο διάλυμα. Οι ακαθαρσίες θα παραμείνουν στο πυκνό (ακάθαρτο) διάλυμα. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται και αντίστροφη όσμωση.

Αντίστροφη όσμωση που επιτυγχάνεται με τη χρήση αντλίας υψηλής πίεσης, υποχρεώνει το «ακάθαρτο» νερό να περάσει από την ημιπερατή μεμβράνη. Το νερό μέσω της ημιπερατής μεμβράνης διαπερνά προς την πλευρά του παχύτερου διαλύματος για να επιφέρει ισορροπία μεταξύ των διαλυμάτων. Η διαφορά ύψους μεταξύ των δύο στηλών δημιουργείται λόγω της “οσμωτικής πίεσης”. Με την εφαρμογή πίεσης στη στήλη νερού με την υψηλή συγκέντρωση αλάτων και επιβλαβών στοιχείων μεγαλύτερη από την τιμή της οσμωτικής πίεσης δημιουργείται ροή νερού στην δεύτερη στήλη. Η διαδικασία είναι η αντίστροφη όσμωση που έχει ως αποτέλεσμα στη δεύτερη στήλη να συσσωρεύεται μόνο καθαρό νερό.

Η μακροβιότητα μιας μεμβράνης αντίστροφης όσμωσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του νερού της κεντρικής παροχής, από το πόσο καλά συντηρείται το σύστημα και από το αν το νερό προέρχεται από δημοτική παροχή ή από γεώτρηση. Στις περισσότερες δημοτικές παροχές νερού, η μέση διάρκεια ζωής μιας μεμβράνης αντίστροφης όσμωσης είναι 2 έως 4 χρόνια. Σε περιπτώσεις γεώτρησης, η ζωή της μεμβράνης αντίστροφης όσμωσης μπορεί να είναι πιο βραχύβια εξαιτίας των ποικίλων ποιοτήτων του νερού. Τα προφίλτρα θα πρέπει να αντικαθίσταται κάθε 6 μήνες.



Εικόνα 10: Ο ρόλος της μεμβράνης κατά την αντίστροφη όσμωση [4].



Εικόνα 11: Διάγραμμα ροής του νερού σε σύστημα αντίστροφης όσμωσης [5].

2.2 Συσκευή Αντίστροφης Όσμωσης.

Η συγκεκριμένη συσκευή (Εικ.11) μπορεί να απομακρύνει από το νερό όλα τα άλατα και τους μικροοργανισμούς. Η απομάκρυνση αυτή επιτυγχάνεται με ειδικά φίλτρα – μεμβράνες με πολύ μικρή διάμετρο πόρων. Στο ευρύ κοινό είναι γνωστή και ως μονάδα αφαλάτωσης.

- Η συσκευή Αντίστροφης Όσμωσης χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις νερών με
- αυξημένη περιεκτικότητα σε θαλασσινό νερό (παράκτιες νησιωτικές περιοχές),
 - υψηλά νιτρικά ιόντα (περιοχές με εκτεταμένη γεωργία),
 - αυξημένη συγκέντρωση τοξικών μετάλλων (εξασθενές χρώμιο).

Πρόκειται για την πλέον εξελιγμένη μορφή επεξεργασίας του νερού που διατίθεται μέχρι σήμερα και με ευχέρεια σε εφαρμογές, έχει όμως και κάποια βασικά μειονεκτήματα:

- Η απόδοση της αντίστροφης όσμωσης εξαρτάται από το αρχικό νερό, δηλ. αν το αρχικό νερό έχει 5% ακάθαρτο (θάλασσα), η αντίστροφη όσμωση παράγει 80% καθαρό νερό και 20% νερό με πολύ αυξημένο ποσοστό ακαθάρτων νερών,
- Αφαιρεί από το νερό όλα τα άλατα, συμπεριλαμβανομένων και των απαραίτητων για τον ανθρώπινο οργανισμό (π.χ ασβέστιο). Το πρόβλημα αυτό συνήθως λύνεται με ελεγχόμενη γραμμική παράλληλης ροής εκτός των μεμβρανών (by pass).
- Το αρχικό κόστος εγκατάστασης και το κόστος λειτουργίας εξαρτώνται από την ποιότητα του αρχικού νερού και την αναμενόμενη κατανάλωση και είναι σαφώς υψηλότερο από όλες τις άλλες μορφές επεξεργασίας του νερού. Λόγω της πολυπλοκότητας της συσκευής απαιτείται έλεγχος της ορθής λειτουργίας και συντήρηση σε τακτική βάση από εξειδικευμένο προσωπικό.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση συστημάτων RO.

Η ποσότητα και η ποιότητα του νερού που παράγεται από ένα σύστημα αντίστροφης όσμωσης επηρεάζονται από τη θερμοκρασία του νερού του δικτύου, την πίεση του νερού και των συνολικών διαλυτών στερεών. Η θερμοκρασία επηρεάζει την απόδοση ενός συστήματος RO λόγω του περίπλοκου σχεδιασμού της μεμβράνης αντίστροφης όσμωσης. Η παραγωγή βελτιώνεται όταν η θερμοκρασία του νερού πλησιάζει τους 32 βαθμούς Κελσίου (32 °C). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ένα σύστημα RO πρέπει να εγκατασταθεί μόνο σε γραμμή κρύου νερού. Τα συστήματα αντίστροφης όσμωσης επηρεάζονται επίσης από την πίεση του νερού τροφοδοσίας. Όσο αυξάνεται η πίεση, τόσο αυξάνεται και η παραγόμενη ποσότητα του νερού. Σε γενικές γραμμές, τα συστήματα αντίστροφης όσμωσης θα πρέπει να λειτουργούν σε πιέσεις τροφοδοσίας άνω των 40 psi για να εξασφαλίζεται αποδεκτή και επαρκής απόδοση. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των συνολικών διαλυτών στερεών (κακής ποιότητας) του νερού τροφοδοσίας μπορεί να μειώσουν τη διάρκεια ζωής της μεμβράνης ή να απαιτήσουν πρόσθετη συντήρηση.

2.4 Διαδικασία Αντίστροφης Όσμωσης 5 σταδίων.

Η αντίστροφη **όσμωση 5 σταδίων**, χρησιμοποιεί τα πατενταρισμένα φίλτρα NewLine που έχουν αυξημένη ικανότητα φιλτραρίσματος, σε σύγκριση με τα συμβατικά φίλτρα. Η καινοτόμος κατασκευή των φίλτρων NewLine επιτρέπει την εύκολη αντικατάσταση τους χωρίς την χρήση κλειδιού. Στα πρώτα τρία στάδια προφιλτραρίσματος η συσκευή αφαιρεί την άμμο, τα ιζήματα, την λάσπη, τα βαρέα μέταλλα, το χλώριο και τα παράγωγα του, την οργανική ύλη και τους μικροοργανισμούς. Στο τέταρτο στάδιο (αντίστροφη όσμωση) το φίλτρο αντίστροφης όσμωσης αφαιρεί τα διαλυμένα άλατα, όπως ανθρακικό ασβέστιο, τα χλωριούχα, τα νιτρικά, τα νιτρώδη, τα φυτοφάρμακα, τους μικροοργανισμούς καθώς και την οργανική ύλη. Στο πέμπτο στάδιο ένα φίλτρο άνθρακα αφαιρεί τις εναπομείνουσες γεύσεις και οσμές με αποτέλεσμα ένα διαυγές, εύγευστο, κρυστάλλινο καθαρό νερό.

Η **αντίστροφη όσμωση 5 σταδίων** αφαιρεί αποτελεσματικά:

- τις ακαθαρσίες, την άμμο, τα ιζήματα, τη λάσπη, τη σκουριά (καταπολεμά τη θολερότητα),
- το χλώριο και τα παράγωγά του,
- τα βαρέα μέταλλα (τοξικά και μη), τα φυτοφάρμακα και τις οργανικές ενώσεις,
- τους μικροοργανισμούς,
- τη σκληρότητα του νερού (διαλυμένα άλατα όπως ανθρακικό ασβέστιο, τα χλωριούχα, τα νιτρικά άλατα κλπ.,
- τα νιτρικά και τα νιτρώδη
- τις γεύσεις και τις οσμές του νερού.

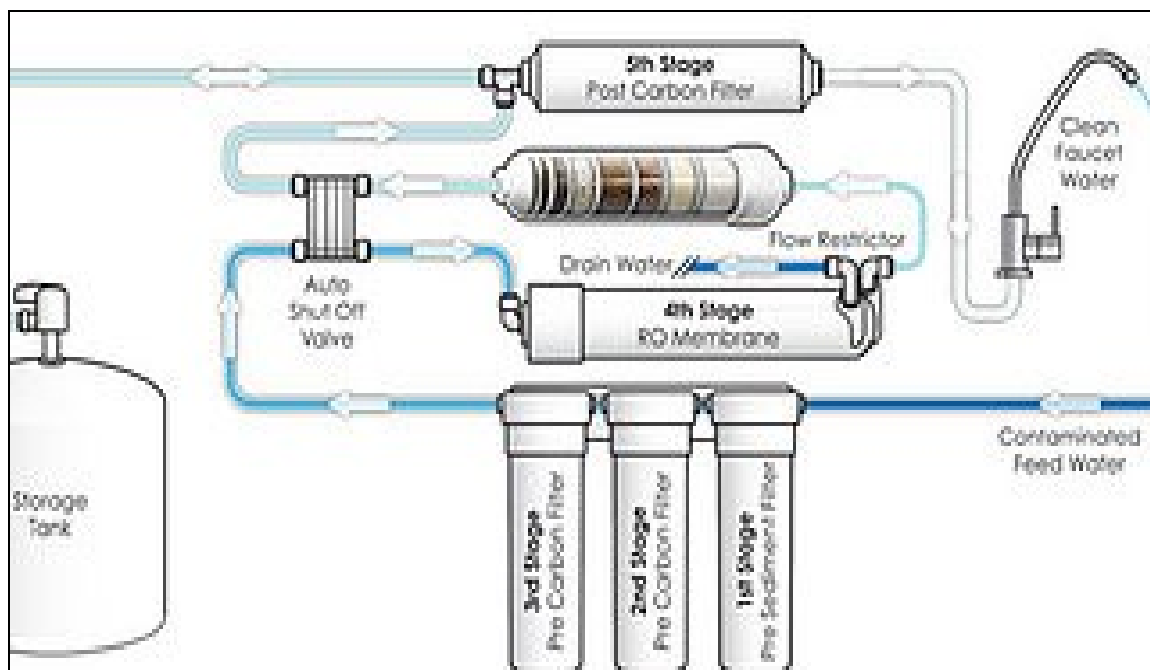
Ενδεικτικές **εφαρμογές** της διαδικασίας αυτής είναι:

- Παραγωγή νερού για οικιακή χρήση, σχολεία, μικρά ξενοδοχεία, κλπ
- Γενική χρήση για παραγωγή πόσιμου από υφάλμυρο νερό.
-

Αναφορικά με τα πλεονεκτήματα της διαδικασίας αντίστροφης όσμωσης των 5 σταδίων παράλληλα με τη μελέτη και σχεδίαση εξασφαλίζουν:

- Συνεχή λειτουργία, χωρίς συχνά σταματήματα για καθαρισμούς

- Πλήρως αυτόματη λειτουργία, με ελάχιστη επιτήρηση
- Μемβράνη αφαλάτωσης υψηλής ανθεκτικότητας και απόδοσης
- Υψηλός βαθμός ασφαλείας
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας
- Εξαιρετική ποιότητα παραγόμενου νερού
- Πλήρως αυτόματη λειτουργία, με ελάχιστη επιτήρηση
- Μемβράνες αφαλάτωσης υψηλής ανθεκτικότητας και απόδοσης
- Υψηλός βαθμός ασφαλείας, έγκαιρη προειδοποίηση πιθανής βλάβης
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας
- Εξαιρετική ποιότητα παραγόμενου νερού.



Εικόνα 12: Πραγματική εγκατάσταση Αντίστροφης Ωσμωσης 5 σταδίων.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού,
Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους

Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ

3 Αποσκλήρυνση του νερού

Ως σκληρότητα του νερού ορίζεται η περιεκτικότητά του σε άλατα ασβεστίου και μαγνησίου και ο χαρακτηρισμός του ως «σκληρού» ή όχι, εξαρτάται από τη συγκέντρωση των αλάτων αυτών. Τα προβλήματα που δημιουργεί η σκληρότητα του νερού, αφορούν τις σωληνώσεις ύδρευσης, τα boilers, τα μηχανήματα με θερμαντικές αντιστάσεις που έχουν έρχονται σ' επαφή με το νερό (πλυντήρια, μηχανές καφέ κ.λ.π.), τις γυάλινες και μεταλλικές επιφάνειες, τα είδη υγιεινής ενός σπιτιού, αλλά και την κατανάλωση απορρυπαντικών, κ.λ.π.

Πίνακας 1: Χαρακτηρισμός νερού ως προς τη σκληρότητα – μονάδες μέτρησης.

Χαρακτηρισμός του νερού Βάσει της σκληρότητάς του	Μονάδες Μέτρησης		
	Γερμανικοί Βαθμοί (°D)	Γαλλικοί Βαθμοί (°F)	mg/l CaCO ₃ (ppm)
Μαλακό νερό	3.00	3,8	Μέχρι 50
Μέτρια μαλακό νερό	3,0 έως 5.56	3,8 έως 10	50-100
Ελαφρώς σκληρό νερό	5,56 έως 8.33	10 έως 15	100-150
Μέτρια σκληρό νερό	8,33 έως 11.1	15 έως 20	150-200
Σκληρό νερό	11,1 έως 16.7	20 έως 30	200-300
Πολύ σκληρό νερό	Από 16.7	Από 30	Πάνω από 30



Εικόνα 13: Επικαθίσεις αλάτων σε σωληνώσεις [8,9]

Σοβαρότερα είναι τα προβλήματα που δημιουργεί η σκληρότητα του νερού στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Οι ατμολέβητες και οι ατμογεννήτριες, καθώς επίσης και τα συστήματα εναλλαγής θερμότητας, καταναλώνουν τεράστια ποσά επιπλέον ενέργειας για να αποδώσουν έργο, είναι δυνατόν δε να καταστραφούν σε μικρό χρονικό διάστημα, λόγω της επικαθίσης σκληρών αλάτων σ' αυτά.

Στα προβλήματα αυτά, δίνουν λύση τα κατάλληλα για κάθε περίπτωση συστήματα αποσκλήρυνσης του νερού, που με ιδιαίτερα χαμηλό λειτουργικό κόστος, συγκρατούν τα σκληρά άλατα που περιέχει το νερό και διασφαλίζουν μεγάλη διάρκεια ζωής στα δίκτυα ύδρευσης, στις οικιακές συσκευές και στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Η μόνη σίγουρη και αποτελεσματική μέθοδος αποσκλήρυνσης του νερού (αφαίρεση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου από το νερό), είναι η μέθοδος της ιοντοεναλλαγής (Εικ.13).

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

3.1 Είδη Αποσκλήρυντών.

Η σκληρότητα του νερού οφείλεται αποκλειστικά στο ασβέστιο και το μαγνήσιο που εμπεριέχει. Τα δύο αυτά στοιχεία είναι απαραίτητα για τον ανθρώπινο οργανισμό. Η Ευρωπαϊκή και η εγχώρια νομοθεσία δεν προβλέπει ανώτατο όριο για τα εν λόγω στοιχεία. Σε υψηλές συγκεντρώσεις πάντως (νερά που χαρακτηρίζονται ως σκληρά) δημιουργούν προβλήματα επικαθίσεων αλάτων στις συσκευές θέρμανσης του νερού (π.χ. πλυντήριο, θερμοσίφοντας) και στα δίκτυα εξωτερικών κυρίως σωληνώσεων. Η βελτίωση της ποιότητας σκληρών νερών μπορεί να γίνει με τους ακόλουθους δύο τρόπους.

3.1.1 Αποσκλήρυντές τύπου ανταλλαγής ιόντων.

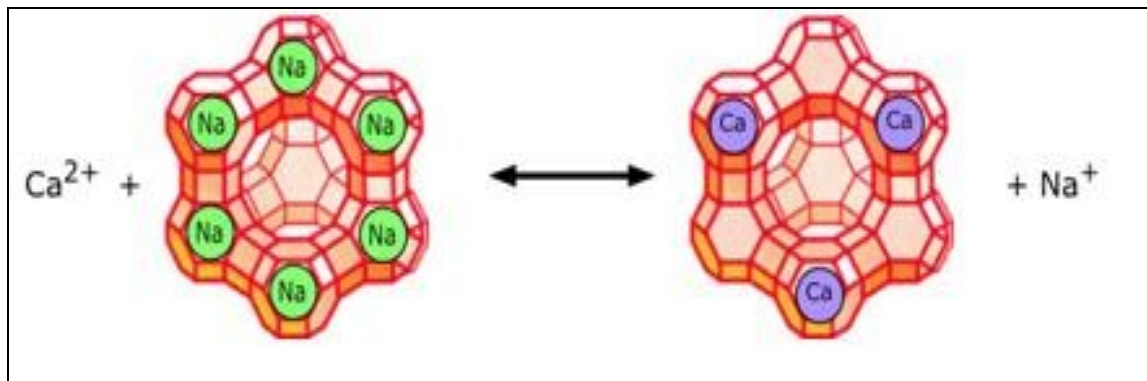
Οι αποσκλήρυντές αυτού του τύπου αφαιρούν από το νερό το ασβέστιο και το μαγνήσιο και το αντικαθιστούν με νάτριο. Το βασικό πλεονέκτημά τους είναι ότι καλύπτουν όλες τις περιπτώσεις αποσκλήρυνσης του νερού ανεξαρτήτως του τρόπου χρήσης του. Με τη μέθοδο αυτή, τα ανεπιθύμητα ιόντα που ευθύνονται για τη σκληρότητα του νερού ανταλλάσσονται με ιόντα Νατρίου, μέσω ειδικής κατιονικής ρητίνης. Όταν η ρητίνη ιοντοεναλλαγής κορεσθεί, τότε αυτόματα το σύστημα την αναγεννά, χρησιμοποιώντας κορεσμένο διάλυμα άλατος (NaCl). Μετά τη διαδικασία της αναγέννησής της, η ρητίνη είναι έτοιμη για παραγωγή μαλακού νερού και πάλι.

Προκειμένου να λειτουργήσει σωστά ένας αποσκλήρυντής και να καλύψει τις πραγματικές ανάγκες κάθε περίπτωσης, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλές παράμετροι, που αφορούν τόσο την ποιότητα και την ποσότητα του νερού κάθε εφαρμογής, όσο και τα χαρακτηριστικά του συστήματος αποσκλήρυνσης (δοχείο ρητίνης, αυτοματισμοί, είδος ρητίνης κ.λ.π.). Στην υπό μελέτη εγκατάσταση υπάρχει διάταξη δίδυμου αποσκλήρυντή για την απομάκρυνση των αλάτων και την υποβάθμιση της σκληρότητας του νερού που αρχικά μετρήθηκε στους 20 γαλλικούς βαθμούς. Στην Εικ.14 δίνονται μερικές διατάξεις αποσκλήρυνσης του νερού που κυκλοφορούν στο εμπόριο

Η αποσκλήρυνση αυτού του τύπου έχει όμως και κάποια μειονεκτήματα όπως:

- Προσθέτοντας στο νερό νάτριο, ένα νερό που είναι πόσιμο μπορεί μετά την αποσκλήρυνση να είναι εκτός ορίων πόσιμου νερού ως προς το νάτριο. Το ανώτατο επιτρεπτό όριο είναι 200mg Na/lit. Ειδικά σε άτομα που για λόγους υγείας (π.χ υψηλή πίεση) πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικοί στη διαίτά τους ως προς το νάτριο, η συγκεκριμένη επιλογή αποσκλήρυνσης του νερού είναι απαγορευτική ακόμα και στην περίπτωση που το παραγόμενο νερό είναι εντός ορίων πόσιμου αλλά με υψηλά επίπεδα νατρίου. Γενικά δεν συνίσταται ως μέθοδος αποσκλήρυνσης του νερού, αν αυτό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο.
- Το σκληρό νερό μπορεί να δημιουργεί σοβαρά προβλήματα σε αυτόματα ποτιστικά συστήματα αλλά η αντικατάσταση του ασβεστίου και του μαγνησίου με νάτριο μπορεί να δημιουργήσει ακόμα σοβαρότερα προβλήματα σε καλλιέργειες και κυρίως στις ευπαθείς στο αλάτι πολυετείς. Γενικώς δεν συνίσταται ως μέθοδος αποσκλήρυνσης όταν το νερό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως ποτιστικό.
- Απαιτείται η συχνή προσθήκη χλωριούχου νατρίου (χοντρού αλατιού) από τον χρήστη.

Συνοψίζοντας, οι αποσκλήρυντές τύπου ανταλλαγής ιόντων συνιστώνται για βιομηχανική-εμπορική χρήση, για πισίνες και μόνο για την παροχή ζεστού νερού σε οικίες.



Εικόνα 14: Διαδικασία ιοντοανταλλαγής κατά την αποσκλήρυνση.

3.2 Η διαδικασία της Αποσκλήρυνσης .

Η αποσκλήρυνση είναι μέθοδος αντικατάστασης ανεπιθύμητων διαλυμένων ουσιών. Με αυτήν αντικαθιστούμε τα άλατα της σκληρότητας (ασβέστιο και μαγνήσιο) τα οποία θα μας δημιουργήσουν αποθέσεις στα συστήματά μας με άλατα που δεν έχουν αυτήν την ιδιότητα (νάτριο). Λειτουργικά η αποσκλήρυνση αποτελείται από ένα δοχείο, το οποίο περιέχει τη ρητίνη αποσκλήρυνσης, μέσα από την οποία περνάει το σκληρό νερό. Η ρητίνη R έχει την ιδιότητα να κρατάει την σκληρότητα, αντιδρώντας με αυτήν, σύμφωνα με την αντίδραση:



Φυσικά καθώς δεσμεύει Ασβέστιο και Μαγνήσιο, κάποια στιγμή η ρητίνη θα είναι εντελώς δεσμευμένη και θα σταματήσει να εργάζεται. Τότε γίνεται η αναγέννηση, χρησιμοποιώντας διάλυμα χλωριούχου νατρίου (αλατιού), σύμφωνα με την αντίδραση (xx) στέλνοντας το κορεσμένο διάλυμα της αναγέννησης στην αποχέτευση. Με αυτό τον τρόπο η ρητίνη αφού έχει ήδη αναγεννηθεί είναι έτοιμη να επανααποσκληρύνει νέες ποσότητες νερού.



Με την αποσκλήρυνση μετατρέπεται ένα προβληματικό αποθετικό νερό σε μερικά προβληματικό (ελαφρά διαβρωτικό νερό). Πρέπει να επισημανθεί ότι η αποσκλήρυνση συνήθως απομακρύνει ένα ποσοστό 90 – 95% της σκληρότητας και αφήνει ένα μικρό ποσοστό, που πρέπει μετά να δεσμευθεί με χημικά πρόσθετα. Στις συνθήκες αυτές, το αποσκληρυμένο νερό είναι αρκετά κατάλληλο για λέβητες χαμηλής πίεσης και ψυκτικά συστήματα.

Η αποσκλήρυνση είναι μια φθηνή πρακτική και εύκολη μέθοδος που και αν ακόμα δεν επιλύει προβλήματα, ελαττώνει σοβαρά τις τελικές επιπτώσεις τους και το συνολικό κόστος λειτουργίας μιας εγκατάστασης νερού. Με άλλα λόγια με την αποσκλήρυνση δεν επιτυγχάνεται απόλυτα η απαλλαγή από τις αποθέσεις αλλά πρακτικά αυτές ελαχιστοποιούνται.

Ένα πλεονέκτημα της αποσκλήρυνσης είναι ότι οι λίγες αποθέσεις που θα απομείνουν αν αποτυχί η δέσμευσή τους με χημικά δεσμευτικά, καθορίζονται σχετικά εύκολα με χημικό

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

καθαρισμό. Γενικά η αποσκλήρυνση είναι χρήσιμη όταν υπάρχουν οι παρακάτω προϋποθέσεις χωρίς βέβαια αυτές να είναι πάντα εφικτές:

- επαρκής ποσότητα νερού πόλης,
- το κόστος της αποσκλήρυνσης είναι λογικό,
- το νερό καταρχήν να έχει μια ικανοποιητική ποιότητα (<500mS).

Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι η αποσκλήρυνση σταματάει να δουλεύει σε υφάλμυρα νερά, ανεξάρτητα της αλατότητας αυτών (δηλ. των μικροζήμενς), όταν η σχέση αλμυρού ως προς το γλυκό νερό ξεπερνάει το 45%.

Συνολικά η αφαλάτωση υφάλμυρου νερού και η παραγωγή υψηλής ποιότητας νερού, με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα ή η παραγωγή πόσιμου νερού έχει τις παρακάτω ενδεικτικές εφαρμογές και πλεονεκτήματα.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

- Παραγωγή νερού υψηλής ποιότητας, για οικίες, βιομηχανία, ξενοδοχειακές μονάδες, κλπ
- Παραγωγής νερού γενικής χρήσης ή παραγωγή πόσιμου νερού από αφαλάτωση υφάλμυρου
- Παραγωγή συμπληρωματικού νερού για λεβητοστάσια ή ψυκτικά βιομηχανικά κυκλώματα

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η εξαιρετική μελέτη και σχεδίαση και η προσεκτική επιλογή των υλικών κατασκευής εξασφαλίζουν:

- Συνεχή λειτουργία, χωρίς συχνά σταματήματα για καθαρισμούς
- Πλήρως αυτόματη λειτουργία, με ελάχιστη επιτήρηση
- Μεμβράνες αφαλάτωσης υψηλής ανθεκτικότητας και απόδοσης
- Υψηλός βαθμός ασφαλείας, έγκαιρη προειδοποίηση πιθανής βλάβης
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας
- Εξαιρετική ποιότητα παραγόμενου νερού

3.2.1 Τύποι Αποσκληρυντών.

Υπάρχουν πολλών ειδών αποσκληρυντών οι κυριότερες κατηγορίες των οποίων παρατίθενται στη συνέχεια.

A. Μιας Στήλης (μονοί).

Οι συγκεκριμένοι τύποι αποσκληρυντών υποδιαιρούνται σε δύο κατηγορίες,

- αποσκληρυντές χρονικού προγραμματισμού, στους οποίους η ρητίνη αναγεννάται μέσω χρονοδιακόπτη σε προκαθορισμένες από το χρήστη ημέρες και ώρες,
- αποσκληρυντές ογκομετρικού προγραμματισμού, στους οποίους η ρητίνη αναγεννάται μέσω παλμικού ροομετρητή νερού όταν το σύστημα επεξεργαστεί όλο τον όγκο του νερού για τον οποίο επαρκεί η ποσότητα ρητίνης του συστήματος.

➤

B. Δύο Στηλών (δίδυμοι).

Όταν η ρητίνη της 1^{ης} από τις δύο στήλες κορεσθεί και τεθεί σε κατάσταση αναγέννησης, τότε η 2^η στήλη αυτόματα αρχίζει να παράγει μαλακό νερό, μέχρι να κορεσθεί και αυτή, οπότε η 1^η στήλη που είναι ήδη αναγεννημένη μπαίνει σε κατάσταση παραγωγής. Η διαδικασία εναλλαγής γίνεται αυτόματα και τα δίδυμα συστήματα αποσκλήρυνσης είναι ογκομετρικού προγραμματισμού.



Δίδυμο σύστημα αποσκλήρυνσης βιομηχανικής εγκατάστασης



Δίδυμο σύστημα αποσκλήρυνσης οικιακής εγκατάστασης



Μονός ογκομετρικός αποσκλήρυντής οικιακής εγκατάστασης



Compact συστήματα αποσκλήρυνσης (δοχείο ρητίνης + κάδος άλατος μαζί) για μικρούς χώρους (κατοικίες, Café, κουζίνες κ.λ.π.)

Εικόνα 15: Διατάξεις αποσκλήρυντών εμπορικού μεγέθους.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού,
Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους

Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

4 Ποιοτική Ανάλυση Πόσιμου Νερού

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εκτενής αναφορά στους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του πόσιμου νερού. Ειδικότερα αρχικά περιγράφεται η έννοια του πόσιμου νερού και η υγειονομική σημασία των παραμέτρων του νερού, ενώ στη συνέχεια περιγράφονται οι φυσικοχημικές παράμετροι του νερού, παράμετροι που αφορούν ανεπιθύμητες ουσίες, παράμετροι που σχετίζονται με την τοξικότητα του νερού και τέλος αναφέρονται τρόποι καθαρισμού του νερού.

4.1 Η θρεπτική αξία της κατανάλωσης νερού.

Η θρεπτική αξία του νερού είναι αναμφισβήτητη αφού αυτό αποτελεί το σημαντικότερο ίσως συστατικό των ζωντανών οργανισμών και αυτό γιατί είναι απαραίτητο σε όλες τις βιοχημικές διεργασίες. Αν και χωρίς τροφή μπορούμε να επιβιώσουμε μέχρι και 50 ημέρες, χωρίς νερό θα επιζήσουμε μόνο μερικές ημέρες, ακόμη και σε δροσερό κλίμα. Το νερό αποτελεί συστατικό όλων των ιστών του σώματος. Το σώμα ενός μέσου ενήλικα εμπεριέχει τουλάχιστο 65% νερό ενώ τα παιδιά μπορεί να φθάσουν και το 75%. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται σχεδόν από 75% νερό επομένως η παρουσία του είναι απαραίτητη και για τις εγκεφαλικές λειτουργίες.

Ως προς την κατανάλωση Οι άνθρωποι που ζουν σε ζεστά κλίμακα φαίνεται πως καταναλώνουν περισσότερο νερό από εκείνους που ζουν σε πιο κρύα κλίματα. Επίσης σε χώρες όπως η Ελλάδα που οι κλιματικές αλλαγές είναι έντονες κατά τη διάρκεια του χρόνου η κατανάλωση του νερού ποικίλλει και συγκεκριμένα είναι χαμηλή κατά τη διάρκεια του χειμώνα και αυξάνεται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Διαφορές στην κατανάλωση νερού παρατηρούνται και ανάμεσα στις διάφορες ηλικιακές ομάδες. Ειδικότερα τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι πίνουν λιγότερο νερό από αυτό που χρειάζεται ο οργανισμός τους. Τρόφιμα που περιέχουν νερό όπως είναι τα περισσότερα φρούτα και λαχανικά συμβάλουν επίσης στην κάλυψη των αναγκών μας σε νερό. Με την τροφή μας απορροφούμε περίπου 1 λίτρο νερό τη μέρα. Η συνολική μας ανάγκη είναι 1.5-2,5 λίτρα ημερησίως. Τα διάφορα υγρά που καταναλώνουμε κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπως οι χυμοί φρούτων, το τσάι, ο καφές και τα αναψυκτικά συμβάλλουν κατά ένα μέρος στην κάλυψη των ημερήσιων αναγκών σε νερό. Χρειάζεται όμως προσοχή ως προς την κατανάλωση τους γιατί αφενός προσθέτουν θερμίδες και αφετέρου, το τσάι, ο καφές και τα αναψυκτικά τύπου cola έχουν διουρητική δράση και μετά από υπερβολική κατανάλωσή τους αυξάνουν τις απώλειες του οργανισμού σε νερό και επομένως αυξάνουν τις απαιτήσεις σε αυτό. Ένας από τους μύθους που κυκλοφορούν για την κατανάλωση του νερού είναι πως σε περιπτώσεις που εμφανίζεται κατακράτηση υγρών στο σώμα, δεν πρέπει να πίνουμε πολύ νερό γιατί έτσι επιτείνεται το πρόβλημα. Στην πραγματικότητα ισχύει το ακριβώς αντίθετο: Όσο λιγότερο νερό πίνουμε σε τέτοιες περιπτώσεις, τόσο μεγαλύτερη άμυνα προβάλλει ο οργανισμός μας με αποτέλεσμα να "κατακρατά" μεγαλύτερο ποσοστό υγρών.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

4.2 Η έννοια του πόσιμου νερού.

Το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση δεν πρέπει να περιέχει χημικές ουσίες και μικροοργανισμούς σε ποσότητες που μπορούν να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία. Πρέπει να είναι ασφαλές και ακίνδυνο για την υγεία να είναι διαυγές άχρωμο χωρίς δυσάρεστη οσμή και γεύση. Η τοποθεσία, η κατασκευή και η επίβλεψη μιας πηγής υδροληψίας (πηγές, δεξαμενές, καθώς και η επεξεργασία και η διανομή του νερού), πρέπει να είναι τέτοιες που να αποκλείουν οποιαδήποτε ρύπανση του νερού.

Οι περισσότερες χώρες έχουν καθιερώσει πρότυπα ποιότητας του πόσιμου νερού που εφαρμόζουν στην επικράτειά τους και χρησιμοποιούν παρόμοιες μεθόδους ανάλυσης και έκφρασης των αποτελεσμάτων για να είναι εύκολη η σύγκριση μεταξύ τους. Επίσης επιδημίες από ασθένειες προέλευσης εντός του νερού μπορούν να αποφευχθούν εάν γίνονται αυστηροί έλεγχοι από τους υπεύθυνους των συστημάτων υδροληψίας και τις αρμόδιες αρχές υγείας, σε ότι αφορά την ποιότητα του πόσιμου νερού. Σύμφωνα με τις Υγειονομικές διατάξεις, με την έκφραση “πόσιμο νερό” νοείται νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανθρώπινη κατανάλωση, είτε με προηγούμενη επεξεργασία, είτε όχι, οποιαδήποτε και αν είναι η προέλευσή του. Εάν τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων σε νερό υπερβαίνουν τις ανώτερες επιτρεπτές συγκεντρώσεις που ορίζουν οι Υγειονομικές διατάξεις, τότε το νερό κρίνεται ακατάλληλο ή λαμβάνονται μέτρα για τον καθαρισμό του (π.χ χλωρίωση, καθίζηση, προστασία πηγής).

4.3 Υγειονομική Σημασία των Χημικών και άλλων Παραμέτρων του νερού.

Το καθαρό πόσιμο νερό είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της υγείας. Η κατανάλωση μολυσμένου νερού μπορεί να αποβεί μοιραία για τον ανθρώπινο οργανισμό. Ασθένειες όπως η διάρροια, ο τύφος, η δυσεντερία και η ηπατίτιδα μπορεί να οφείλονται σε μολυσμένο νερό από βακτηρίδια και παθογόνους μικροοργανισμούς. Η μακροχρόνια κατανάλωση νερού που περιέχει επικίνδυνες ή τοξικές ουσίες οδηγεί σε σοβαρές βλάβες της υγείας ή σε καρκίνο. Συνολικά, πάνω από 3.000.000 άνθρωποι πεθαίνουν το χρόνο σε όλο τον κόσμο από την έλλειψη ή την κακή ποιότητα νερού.

Τα βαριά μέταλλα εισέρχονται στο νερό κυρίως από την διάβρωση στοιχείων της φύσης. Μεταφέρονται επίσης από απορρίμματα γυαλιού, ηλεκτρονικών, μπαταριών και μογογιάς. Αποβάλλονται από μεταλλωρυχεία, από εργοστάσια μετάλλων, πλαστικών και φυτοφαρμάκων καθώς και από τη διάβρωση υδραυλικών συστημάτων εντός και εκτός οικίας. Όλα τα βαριά μέταλλα (αμιάντος, μόλυβδος, αργίλιο, βάριο, κάδμιο, χρώμιο κτλ) είναι επικίνδυνες ουσίες, ανθυγιεινά, τοξικά και δεν αποβάλλονται ολοκληρωτικά από το ανθρώπινο σώμα δηλαδή συσσωρεύονται μερικώς.

Οι ζύμες και οι ιοί μπορούν επίσης να καταστήσουν επικίνδυνο το πόσιμο νερό. Είναι μικροβιακοί μολυσματικοί παράγοντες που βρίσκονται συνήθως στα επιφανειακά ύδατα. Παραδείγματα είναι το κύστες giardia και το κρυπτοσπορίδιο. Το giardia είναι ένας μονοκύτταρος οργανισμός που προκαλεί γαστρεντερικά συμπτώματα. Το κρυπτοσπορίδιο είναι ένα παράσιτο που θεωρείται μια από τις σημαντικότερες αιτίες διαρροϊκής ασθένειας στους ανθρώπους. Η λεγεωνέλα είναι ένα βακτηρίδιο που αυξάνεται γρήγορα όταν το νερό διατηρείται σε θερμοκρασία μεταξύ 30 και 40 βαθμών κελσίου για μια μεγάλη χρονική περίοδο. Αυτό το βακτηρίδιο μπορεί να εισπνευστεί όταν εξατμίζεται το νερό και να εισαχθεί στο ανθρώπινο σώμα από τα αερολύματα. Τα βακτηρίδια μπορούν να προκαλέσουν ένα είδος

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

γρίπης, γνωστό ως "Pontiac fever", αλλά μπορεί επίσης να προκαλέσουν τη θανάσιμη νόσο των λεγεωνάριων.

Αναφορικά με το **χρώμα** του νερού, εάν υπάρχει είναι ανεπιθύμητο για το πόσιμο νερό και υπάρχει περίπτωση να οφείλεται στην παρουσία χρωστικών ουσιών που είναι διαλυμένες στο νερό. Μπορεί το χρώμα επίσης να οφείλεται σε φυτικές χρωστικές ουσίες από ρίζες φυτών, φύλλα δέντρων, καθώς και οργανικών ή ανόργανων (άλατα, σίδηρος από διάβρωση σωληνώσεων). Εντούτοις η παρουσία χρώματος στο νερό δεν σημαίνει πάντα ότι είναι επικίνδυνο. Πρέπει να εξεταστεί χημικά και να ανζητηθεί η προέλευση του χρώματος. Δεν προτείνεται επιτρεπτό όριο για το χρώμα στο πόσιμο νερό.

Η **Θολερότητα (turbidity)** οφείλεται σε κολλοειδείς ανόργανες ή οργανικές ύλες που αιωρούνται. Νερό που είναι θολό πρέπει να ελέγχεται για ρύπανση. Επίσης τα αιωρούμενα σωματίδια καθιζάνουν και δημιουργούν προβλήματα σε σωλήνες και δεξαμενές. Κατανάλωση θολού νερού μπορεί να είναι επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία. Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι διαυγές όταν φτάσει στον καταναλωτή.

Ως προς την **οσμή** και τη **γεύση** (odor – taste) το πόσιμο νερό πρέπει να είναι άοσμο και άγευστο. Όλα τα νερά έχουν την ιδιαίτερη γεύση τους που οφείλεται στα διαλυμένα αέρια που περιέχουν. Γεύση και οσμή στο νερό συνήθως δεν θεωρείται σημαντική από πλευράς υγείας. Όμως δεν είναι επιθυμητή στο πόσιμο νερό, γιατί συνήθως οφείλεται είτε σε χημικές ουσίες είτε σε μικροοργανισμούς. Νερό με έντονη οσμή πιθανότατα είναι ρυπασμένο, οπότε πρέπει να εξετάζεται για να βρεθεί η αιτία, κυρίως αν αναγνωρίζεται απότομη αλλαγή.

4.4 Φυσικοχημικές Παράμετροι του νερού.

Ως φυσικοχημικές παράμετροι του πόσιμου νερού εξετάζονται μεγέθη όπως η σκληρότητα, η θερμοκρασία, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα χλωριόντα, τα επίπεδα ασβεστίου, μαγνησίου, νατρίου, καλίου και διαλυμένου οξυγόνου.

Αναφορικά με τη **θερμοκρασία** αυτή επηρεάζει τη γεύση του νερού. Αυξανόμενη της θερμοκρασίας το νερό είναι λιγότερο εύγευστο γιατί εκδιώκονται τα διαλυμένα σε αυτό αέρια. Η ευχάριστη γεύση για το πόσιμο νερό είναι στο εύρος θερμοκρασίας του 5 – 15°C ενώ πιο αυστηρά αυτό θα πρέπει να καταναλώνεται κυρίως στο εύρος 9 - 10°C. Από την άλλη πλευρά όταν η θερμοκρασία του νερού υπερβαίνει τους 15°C, πολλαπλασιάζονται τα υπάρχοντα μικρόβια που μπορεί να διατηρούνται σε αυτό. Επίσης σε υψηλές θερμοκρασίες ελαττώνεται η ικανότητα του νερού να διαλύσει αέρια, ενώ αυξάνει η διαλυτότητα σε στερεά, ή και επιταχύνονται οι βιολογικές δράσεις. Επίσης αυξάνει το ποσό του απαιτούμενου χλωρίου και ευνοεί την ανάπτυξη της άλγης με συνέπεια την εμφάνιση δυσάρεστων οσμών και γεύσεων.

Ως προς την **ηλεκτρική αγωγιμότητα (conductivity)** αυτή η ικανότητα εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, την ολική τους συγκέντρωση, το σθένος και τις επιμέρους συγκεντρώσεις τους, καθώς και από τη θερμοκρασία μέτρησης. Η αγωγιμότητα στο νερό εξαρτάται δηλ. από τη θερμοκρασία και μάλιστα αυξάνεται αυξανόμενη της θερμοκρασίας.

Σε σχέση με τα **χλωριούχα ιόντα** (Chlorides Cl⁻) αυτά είναι διαδεδομένα στη φύση ως άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου. Προέρχονται από τη διάβρωση του εδάφους. Επειδή είναι πολύ ευκίνητα και ευδιάλυτα περνούν στο έδαφος ή μεταφέρονται σε "κλειστές" θάλασσες και ωκεανούς ή τέλος μεταφέρονται σε παράκτιες περιοχές λόγω ακριβώς της διεύδυσης του θαλασσινού νερού. Ως προς την ανθρώπινη δραστηριότητα επιπρόσθετες ποσότητες χλωριούχων επιβαρύνουν το περιβάλλον λόγω της χρήσης λιπασμάτων, λόγω εναπόθεσης λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων. Γενικά δεν έχουν επιβλαβή επίδραση

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

στον ανθρώπινο οργανισμό αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνουν στο πόσιμο νερό γλυφή γεύση.

Η απότομη αύξηση των **χλωριόντων** στο νερό, δεν οφείλεται στην είσοδο του θαλασσινού νερού στο δίκτυο αλλά περισσότερο δείχνει πιθανή ρύπανση από λύματα και απαιτείται άμεση επιτόπια υγειονομική επιθεώρηση. Η ρύπανση πρέπει να επιβεβαιωθεί σε αυτή την περίπτωση και από άλλες μετρήσεις (μικροβιολογικές, επίπεδα αμμωνίας και νιτρωδών). Επειδή δεν έχει παρατηρηθεί τοξικότητα των χλωριόντων στον ανθρώπινο οργανισμό, δεν έχει καθορισθεί ανώτατο επίπεδο στο πόσιμο νερό.

Ως προς τα **επίπεδα ασβεστίου**, (Calcium – Ca) αυτό υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά και προέρχεται από πετρώματα (κυρίως ασβεστολιθικά, δολομίτη και γύψο), διαμέσου των οποίων διέρχεται το νερό. Η συγκέντρωση ασβεστίου κυμαίνεται από μηδέν μέχρι μερικές εκατοντάδες mg/l ανάλογα με την προέλευση του νερού και συμβάλλει στην ολική σκληρότητά του. Δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία πάντως.

Αναφορικά με τα **επίπεδα μαγνησίου** (Magnesium – Mg) αυτά βρίσκονται σε αφθονία στη φύση αφού το Μαγνήσιο είναι το όγδοο σε σειρά στοιχείο στη φύση. Είναι από τα πιο συνηθισμένα συστατικά των φυσικών νερών. Τα άλατα μαγνησίου μαζί με τα άλατα ασβεστίου συναποτελούν την ολική σκληρότητα του νερού. Όταν αυτά τα άλατα θερμανθούν σχηματίζουν επικαθήματα στις σωληνώσεις και τους λέβητες. Νερά με συγκεντρώσεις μαγνησίου μεγαλύτερες από 125 mg/l μπορεί να έχουν καθαρτικές και διουρητικές ιδιότητες.

Σε σχέση έτσι με την **Σκληρότητα** (Hardness), αυτή εκφράζει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου και εξαρτάται από τα πετρώματα από τα οποία έχει διέλθει το νερό. Η σκληρότητα διακρίνεται σε ανθρακική ή παροδική και οφείλεται στα όξινα ανθρακικά άλατα και στην μη ανθρακική (μόνιμη) που οφείλεται στα υπόλοιπα άλατα (χλωριούχα, θειικά, νιτρικά, ανθρακικά). Μεγάλες τιμές σκληρότητας δεν αποτελούν κίνδυνο για την υγεία, αντίθετα έχει βρεθεί σημαντική συσχέτιση μεταξύ αυξημένης σκληρότητας και μείωσης των καρδιαγγειακών παθήσεων. Επίσης η σκληρότητα είναι επιθυμητή στη ζυθοποιία και αρτοποιία γιατί βοηθάει στην ενζυματική δράση. Το σκληρό νερό δεν έχει καλή γεύση, εμποδίζει το καλό βράσιμο των τροφίμων και δημιουργεί επικαθίσεις στις σωληνώσεις και στις οικιακές συσκευές. Νερό με σκληρότητα μέχρι και 500 mg/l CaCO₃ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο αλλά ασφαλέστερο έχει κριθεί το εύρος τιμών (80 – 150) mg/l.

Ως προς τα **επίπεδα Νατρίου** (Sodium Na), το στοιχείο αυτό είναι βασικό για τον ανθρώπινο οργανισμό. Τα άλατα του νατρίου βρίσκονται σε όλες τις τροφές και το πόσιμο νερό. Λόγω της αφθονίας του στη φύση (έκτο κατά σειρά) περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται στο εύρος (1 – 500)mg/l. Στα πόσιμα νερά δεν υπερβαίνει τα 20 mg/l εκτός των περιπτώσεων που έχει γίνει αποσκλήρυνση με τη μέθοδο της ιοντοαλλαγής σε νερά με μεγάλη σκληρότητα. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 200 mg/l επηρεάζει τη γεύση του νερού. Το νάτριο και κυρίως η αναλογία του προς άλλα κατιόντα στο νερό, έχει μεγάλη σημασία για τη γεωργία και την ανθρώπινη παθολογία. Η διαπερατότητα του εδάφους επηρεάζεται αρνητικά από μεγάλη αναλογία νατρίου στο νερό. Άτομα που πάσχουν από χρόνιες καρδιακές παθήσεις χρειάζονται νερό με χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται επιδημιολογικές μελέτες που αναφέρουν επιπτώσεις στην υγεία από υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου στο πόσιμο νερό, αλλά με τα υπάρχοντα δεδομένα δεν εξάγονται ασφαλή συμπεράσματα για τη σχέση του νατρίου με το νερό και τη δημιουργία υπέρτασης.

Το **κάλιο** (Potassium K) είναι και αυτό ένα πολύ διαδεδομένο στοιχείο στη φύση (το έβδομο κατά σειρά). Επόμενο είναι να βρίσκεται και αυτό σε όλα τα φυσικά νερά. Σπάνια όμως η περιεκτικότητά του στο νερό φθάνει στα 20 mg/l. Δεν έχουν αναφερθεί αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

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

4.5 Παράμετροι που αφορούν Ανεπιθύμητες Ουσίες.

Πέρα από τις φυσικοχημικές παραμέτρους που σχετίζονται με την ποιότητα του πόσιμου νερού υπάρχουν και παράμετροι που σχετίζονται με κάποιες ανεπιθύμητες ουσίες. Αυτές εξετάζονται πιο αναλυτικά στη συνέχεια:

4.5.1 Ενώσεις Αζώτου (Αμμωνία, Νιτρώδη, Νιτρικά).

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

4.5.1.1 Αμμωνία (NH₃)

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

4.5.1.2 Νιτρώδη (NO₂) – Νιτρικά (NO₃)

Αποτελούν τμήμα του κύκλου του αζώτου στη φύση, επομένως υπάρχουν στα φυσικά νερά αλλά η συγκέντρωση νιτρικών είναι συνήθως χαμηλή. Υψηλές συγκεντρώσεις οφείλονται σε λιπάσματα, απορρίμματα και ζωικά ή ανθρώπινα απόβλητα. Υπάρχουν ακόμη και στον αέρα, λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με αποτέλεσμα να παρασύρονται από τη βροχή ή να αποτίθενται στο έδαφος. Σε αερόβιες συνθήκες τα νιτρικά διεισδύουν στον υδροφόρο

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

ορίζοντα. Τα πόσιμα νερά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες νιτρικών είναι επικίνδυνα για την υγεία αφού μπορούν να προκαλέσουν στα παιδιά μεθαιμογλοβιναιμία μια ασθένεια που σχετίζεται με την αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη. Τα νιτρώδη και τα νιτρικά στο περιβάλλον του στομάχου σχηματίζουν νιτροζοενώσεις που είναι καρκινογόνες.

4.5.2 Χαλκός (Copper – Cu).

Ο χαλκός είναι βασικό στοιχείο στον ανθρώπινο οργανισμό και ειδικότερα στον μεταβολισμό. Τα άλατα του χαλκού είναι τοξικά στα υδρόβια φυτά και χρησιμοποιούνται (κυρίως ο θεικός χαλκός) για να ανασταλεί η ανάπτυξη των φυκών. Λόγω της διάβρωσης των χάλκινων σωληνώσεων, σημαντικές ποσότητες χαλκού διαλύονται στο πόσιμο νερό. Αν το νερό μείνει στάσιμο 12 ώρες στις σωληνώσεις, η συγκέντρωση χαλκού μπορεί να υπερβεί τα 20 mg/l. Για το λόγο αυτό οι Υγειονομικές διατάξεις αναφέρουν ενδεδειγμένα επίπεδα στην έξοδο των εγκαταστάσεων και μετά 12 ώρες ηρεμίας στις σωληνώσεις. Ο χαλκός προσδίδει στυπτική γεύση στο πόσιμο νερό. Πάντως δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι προκαλεί βλάβες στην υγεία.

4.5.3 Ψευδάργυρος (Zinc – Zn).

Είναι σημαντικό στοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό. Πηγές Ψευδαργύρου στο νερό είναι η διάβρωση των γαλβανισμένων σωλήνων και τα απόβλητα μεταλλείων και επιμεταλλωτηρίων. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 5 mg/l προσδίδουν χρώμα και στυπτική γεύση στο πόσιμο νερό. Δεν έχουν παρατηρηθεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

4.5.4 Φώσφορος (Phosphorous – P).

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

4.5.5 Φθόριο (Fluoride – F).

Το φθόριο συναντάται στα νερά ως φθοριούχα άλατα, που προέρχονται από ηφαιστειογενή πετρώματα. Συνήθως βρίσκεται σε υπόγεια νερά παρά στα επιφανειακά. Δεν βρίσκεται σε στοιχειακή μορφή στη φύση, επειδή είναι πολύ δραστικό. Είναι βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο. Από έρευνες και επιδημιολογικές μελέτες διαπιστώθηκε ότι το φθόριο σε μικρά ποσά στο νερό (μέχρι 1 mg/l) είναι ωφέλιμο, γιατί εμποδίζει τη δημιουργία τερηδόνας στα δόντια, ενώ σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προκαλεί τη φθορίαση (μαύρες κηλίδες στην αδαμαντίνη των δοντιών) ή και βλάβες στα οστά. Στα νερά που δεν περιέχουν φθόριο γίνεται φθορίωση με προσθήκη φθοριούχων και φθοριοπυριτικών ενώσεων. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να ελέγχεται συχνά η περιεκτικότητα του νερού σε φθόριο ώστε να μην υπερβαίνει το επιτρεπτό όριο.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

4.5.6 Χλώριο υπολειμματικό (Residual Chlorine).

Σε νερά που χλωριώνονται πρέπει να μετρηθεί υπολειμματικό χλώριο. Η τιμή του μας δείχνει αν η χλωρίωση που γίνεται είναι επαρκής. Κατά τη χλωρίωση προστίθεται στο νερό ποσότητα χλωρίου αρκετή ώστε να καταστραφούν τα παθογόνα μικρόβια και να παραμείνει ελεύθερο χλώριο για να μην μολυνθεί το νερό μέσα στις σωληνώσεις. Το χλώριο δίνει στο νερό ελαφρά οσμή και αλλοιώνει τη γεύση του. Μεγάλες ποσότητες χλωρίου προκαλούν ερεθισμό του στόματος και του λάρυγγα. Η χλωρίωση του νερού πρέπει να γίνεται σωστά και να παρακολουθείται συστηματικά.

4.6 Παράμετροι που αφορούν Τοξικές Ουσίες.

Μέχρι εδώ αναλύθηκε το περιεχόμενο του νερού ως προς τις φυσικοχημικές παραμέτρους που μπορούν να εντοπιστούν αλλά και ως προς τις ανεπιθύμητες ουσίες. Στο κομμάτι που ακολουθεί αναλύονται οι παράμετροι που αφορούν τοξικές ουσίες που είναι δυνατό να ανιχνευθούν στο νερό προς κατανάλωση.

4.6.1 Σίδηρος (Fe).

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

4.6.2 Μαγγάνιο (Manganese Mn).

Δεν έχουν ανιχνευθεί βλαβερές συνέπειες στην υγεία από πόσιμο νερό που περιέχει μαγγάνιο. Θεωρείται από τα στοιχεία, λιγότερο τοξικό για τον άνθρωπο. Η απορρόφησή του από τον οργανισμό συνδέεται άμεσα με την απορρόφηση του σιδήρου. Υψηλές συγκεντρώσεις στο νερό προκαλούν δυσάρεστη γεύση. Το μαγγάνιο διευκολύνει την ανάπτυξη μικροοργανισμών στα δίκτυα διανομής νερού με αποτέλεσμα την αύξηση της θολότητας, δημιουργία οσμών και αποθέσεων.

4.6.3 Αρσενικό (Arsenic – As).

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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

4.6.4 Κάδμιο (Cadmium – Cd).

Είναι ένα από τα τοξικότερα μέταλλα. Συναντάται στη φύση σε θειούχα ορυκτά με το μόλυβδο και τον ψευδάργυρο. Στα φυσικά νερά βρίσκεται συνήθως στα ιζήματα των βυθών και σε αιωρούμενα σωματίδια. Σε μη ρυπασμένα νερά η συγκέντρωση του καδμίου είναι κάτω από 1 mg/l. Πηγές του καδμίου στο νερό είναι τα βιομηχανικά απόβλητα και η διάβρωση των γαλβανισμένων σωλήνων. Σε συστήματα ύδρευσης, που τροφοδοτούνται με νερό μαλακό χαμηλού pH, μπορεί να βρεθούν υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου, επειδή αυτά τα νερά είναι πιο διαβρωτικά και η διαλυτότητα του καδμίου στο νερό εξαρτάται από το pH και τη σκληρότητα. Το κάδμιο προσβάλλει το συκώτι, τα νεφρά, το σπλήνα και τον θυροειδή αδένα, εναποτίθεται στα οστά, όπου αντικαθιστά το ασβέστιο προκαλώντας πολλές φορές μέχρι και καρκίνους στον άνθρωπο. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από τους επιστήμονες με ασφάλεια μέσα από επιδημιολογικές μελέτες και έρευνες σε πειραματόζωα.

4.6.5 Χρώμιο (Chromium – Cr).

Το χρώμιο υπάρχει στο φλοιό της γης και εμφανίζεται ως τρισθενές και εξασθενές. Στα νερά βρίσκονται κυρίως άλατα του εξασθενούς χρωμίου, επειδή είναι ευδιάλυτα ενώ σπάνια υπάρχει ως τρισθενές γιατί οι ενώσεις του είναι αδιάλυτες και καθιζάνουν. Στην ατμόσφαιρα βρίσκεται στα διάφορα αεροζόλ και παρασύρεται από τη βροχή ή εναποτίθεται στο έδαφος ρυπαίνοντας τα επιφανειακά νερά. Η μέση συγκέντρωση στο νερό της βροχής είναι 0.2 - 1 mg/l, στο θαλασσίνο 0.05 mg/l και στα φυσικά νερά 0.5 - 2 mg/l, ενώ στα υπόγεια νερά είναι πολύ χαμηλή. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις οφείλονται σε ρύπανση από βιομηχανικά απόβλητα. Χρησιμοποιείται συχνά ως πρόσθετο σε νερά ψύξης για έλεγχο της διάβρωσης. Οι επιδράσεις του χρωμίου στην υγεία εξαρτώνται από τη μορφή του. Το εξασθενές χρώμιο είναι πολύ τοξικό. Προκαλεί βλάβες στο δέρμα και το συκώτι και θεωρείται καρκινογόνο. Το τρισθενές χρώμιο από την άλλη πλευρά δεν έχει βρεθεί ότι προκαλεί βλάβες στην υγεία.

Η εισαγωγή στον οργανισμό μεγάλων ποσοτήτων εξασθενούς χρωμίου μέσω των μολυσμένων τροφών ή του πόσιμου νερού είναι δυνατόν, να προκαλέσουν στομαχικές διαταραχές και έλκη, σπασμούς, καταστροφή των νεφρών και του ήπατος ακόμα και θάνατο, ανάλογα με το επίπεδο μόλυνσης. Μελέτες και στατιστικά αποτελέσματα απέδειξαν τον αυξημένο κίνδυνο εκδήλωσης καρκίνου μετά από έκθεση σε εξασθενές χρώμιο. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, και η Διεύθυνση Υγείας και Ανθρωπίνων Υπερεσιών των Η.Π.Α. κατέταξε τις ενώσεις του εξασθενούς χρωμίου ως καρκινογόνες για τον άνθρωπο.

4.6.6 Μόλυβδος (Lead – Pb).

Ο μόλυβδος είναι πολύ τοξικό μέταλλο. Τα φυσικά νερά συνήθως περιέχουν μέχρι 5 mg/l μόλυβδο. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις οφείλονται σε απόβλητα ορυχείων, βιομηχανιών, στη διάβρωση μολύβδινων υδραυλικών εγκαταστάσεων. Μεγάλες ποσότητες μολύβδου υπάρχουν στην ατμόσφαιρα από τον τετρααιθυλιούχο μόλυβδο που προστίθεται στη βενζίνη σαν αντικροτικό. Στις περισσότερες χώρες έχει εγκαταλειφθεί και χρησιμοποιείται βέβαια αμόλυβδη βενζίνη. Επίσης χρησιμοποιείται για την παραγωγή μπαταριών, κραμάτων, χρωστικών και αντισκωριακών. Οι επιπτώσεις του μολύβδου στην υγεία έχουν μελετηθεί εδώ και πολλά χρόνια γιατί υπήρξαν δηλητηριάσεις από μόλυβδο στο πόσιμο νερό, που προήλθε από διάβρωση των μολύβδινων υδραυλικών εγκαταστάσεων. Αυτό είχε ως συνέπεια να εγκαταλειφθούν οι μολύβδινοι σωλήνες για το νερό και να απαγορευθεί η χρήση χρωμάτων για την εσωτερική διακόσμηση χώρων, με βάση το μόλυβδο. Είναι δηλητήριο με συσσωρευτική δράση. Προκαλεί βλάβες στο συκώτι, τον εγκέφαλο και το νευρικό σύστημα.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

Ο μόλυβδος είναι ένα από τα μέταλλα που έχουν τα πιο καταστρεπτικά αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία. Μπορεί να εισαχθεί στο ανθρώπινο σώμα μέσω της λήψης των τροφίμων (65%), του νερού (20%) και του αέρα (15%). Ο μόλυβδος μπορεί να εισχωρήσει στο (πόσιμο) νερό μέσω της διάβρωσης των σωλήνων. Αυτό είναι πιθανότερο να συμβεί όταν το νερό είναι ελαφρώς όξινο. Ο μόλυβδος μπορεί να προκαλέσει διάφορα ανεπιθύμητα αποτελέσματα, όπως:

1. Διάσπαση της βιοσύνθεσης της αιμογλοβίνης και αναιμία--Αύξηση στην πίεση του αίματος,
2. Βλάβη στα νεφρά,
3. Αποβολές και ανεπαίσθητες αμβλώσεις,
4. Διατάραξη του νευρικού συστήματος,
5. Βλάβες στον εγκέφαλο,
6. Μειωμένη γονιμότητα στους άντρες λόγω βλάβης στο σπέρμα,
7. Μειωμένες δυνατότητες εκμάθησης στα παιδιά,
8. Διαταραχές συμπεριφοράς στα παιδιά, όπως επιθετικότητα, παρορμητική συμπεριφορά και υπερκινητικότητα.

Ο μόλυβδος μπορεί να περάσει σε ένα έμβρυο μέσω του πλακούντα της μητέρας. Λόγω αυτού μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στο νευρικό σύστημα και τον εγκέφαλο των αγέννητων παιδιών. Τα παιδιά απορροφούν 3 φορές περισσότερο μόλυβδο από τους ενήλικες. Έρευνες δείχνουν πως υψηλά επίπεδα μολύβδου μέσα στο αίμα προκαλούν μείωση της εξυπνάδας και νοημοσύνης των παιδιών.

4.6.7 Νιτρικά Άλατα.

Τα νιτρικά άλατα είναι καρκινογόνες ουσίες που μολύνουν το περιβάλλον και το νερό μέσω των εμπορικών λιπασμάτων. Τα νιτρικά άλατα στο πόσιμο νερό μπορεί να προκαλέσουν κυάνωση, δηλαδή μείωση της ικανότητας μεταφοράς οξυγόνου του αίματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο στα νήπια ηλικίας κάτω των έξι μηνών. Επίσης η αυξημένη κατανάλωσή τους μέσω του νερού αυξάνει τα ποσοστά εμφάνισης καρκίνου της ουροδόχου κύστης στις γυναίκες.

4.6.8 Χλώριο.

Το χλώριο που προστίθεται στο νερό για να εξουδετερώσει τους παθογόνους μικροοργανισμούς, ενώνεται με οργανικές ενώσεις, όπως τα λιπάσματα και δημιουργεί νέες ενώσεις που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στους ανθρώπους και ιδιαίτερα σε έγκυες γυναίκες. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να έχουν οι γυναίκες που ζουν σε αγροτικές περιοχές ως προς το νερό που καταναλώνουν. Τα χλωριωμένα παράγωγα που βρίσκονται στο πόσιμο νερό αυξάνουν τον κίνδυνο για την εμφάνιση καρκίνου ουροδόχου κύστης, ήπατος και νεφρών.

4.7 Διαδικασίες Καθαρισμού του νερού.

Πολλές οικιακές συσκευές φιλτραρίσματος νερού έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν τα λεγόμενα «ευεργετικά» μέταλλα στο νερό, γεγονός που ενίοτε παρουσιάζεται ως το βασικότερο πλεονέκτημά τους. Αντιθέτως, άλλα προϊόντα διαφημίζονται ως απολύτως ικανά να κατακρατούν επιτυχώς το σύνολο των μετάλλων, αντίφαση η οποία συχνά φέρνει σε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

σύγκυση το καταναλωτικό κοινό. Το θέμα των ορυκτών μετάλλων στο νερό έχει εγείρει ποικίλες διαμάχες, αφού ακόμα και μεταξύ των υγειονομικών αρχών υπάρχουν διαφορετικές απόψεις. Σε κάθε περίπτωση ισχύουν τα ακόλουθα:

- Τα μέταλλα στο νερό υφίστανται είτε με τη μορφή των μεταλλικών αλάτων ή με τη μορφή των αποκαλούμενων ανόργανων ορυκτών. Τα ορυκτά σε αυτή τη μορφή δεν είναι εφικτό να γίνουν αποδεκτά από τον ανθρώπινο οργανισμό, όπως συμβαίνει με τις οργανικές μορφές των ορυκτών που βρίσκονται σε όλα τα τρόφιμα και τα συμπληρώματα διατροφής.
- Κάποια ανόργανα ορυκτά είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία και χωρίς τη διαδικασία επεξεργασίας του νερού δεν μπορούν να διαφοροποιηθούν και να διαχωριστούν από ανόργανα μεταλλικά άλατα που δεν είναι επιβλαβή. Παραδείγματα ανόργανων αλάτων που είναι βλαβερά είναι τα νιτρικά και τα τοξικά μέταλλα (μόλυβδος, υδράργυρος και αρσενικό).
- Τα περίσσεια ανόργανα μέταλλα στο νερό μπορεί να ευθύνονται για την κακή γεύση του νερού, οπότε πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να αποκατασταθεί η αίσθηση αυτή. Τα ανόργανα άλατα σε περίσσεια αλληλεπιδρούν με όλα σχεδόν τα τρόφιμα και ποτά, μειώνοντας τη γεύση τους. Ενδεικτικό προς αυτή την κατεύθυνση είναι το γεγονός ότι όλα σχεδόν τα συσκευασμένα ποτά, συμπεριλαμβανομένων των αναψυκτικών και της μύρας, δημιουργούνται με ελεγχόμενα επίπεδα ανόργανων μετάλλων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η καλύτερη δυνατή γεύση.
- Η περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα στο νερό είναι πολύ μικρότερη από την περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα στα τρόφιμα. Για παράδειγμα, ένα ποτήρι γάλα περιέχει περισσότερο ασβέστιο και μαγνήσιο από 5 λίτρα νερού.
- Η οξύτητα στο νερό δεν είναι τόσο σημαντική όσο θεωρείται συχνά. Ακόμη και στη φύση, το pH του νερού ποικίλλει σημαντικά από το ένα μέρος στο άλλο και πολλά νερά πηγών που πωλούνται σήμερα περιέχουν αυξημένη οξύτητα. Άλλωστε, και το νερό της βροχής είναι ελαφρώς όξινο ωστόσο ακόμα και αυτό δεν έχει βαρύνουσα σημασία, αφού το pH του νερού βρίσκεται ουσιαστικά σε διαλεκτική σχέση με την περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα στο νερό και την παρουσία ορισμένων μεταλλικών ιόντων (κυρίως νάτριο, ασβέστιο ή μαγνήσιο). Μόλις το νερό φτάνει στο στομάχι, τα οξέα του εξουδετερώνουν το PH του νερού γι 'αυτό πραγματικά δεν έχει σημασία και δεν επηρεάζουν το αίμα σας ή το pH του σώματός σας ούτε στο ελάχιστο. Ακόμη κι αν πείτε όξινο νερό, τη στιγμή που θα φτάσει στο έντερο, όπου απορροφάται, έχει καταστεί αλκαλικό με τις εκκρίσεις του παγκρέατος μαζί με το υπόλοιπο του περιεχομένου του στομάχου. Έτσι, ουσιαστικά η έννοια του «αλκαλικού νερού» δεν υφίσταται.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι καθαρισμού του νερού από τις ανεπιθύμητες και τις τοξικές ουσίες που περιγράφηκαν ωρίτερα, οι σημαντικότεροι εκ των οποίων είναι η αποσιδήρωση – απομαγγανίωση, η γλωρίωση, τα συστήματα οζόνωσης, οι συσκευές ηλεκτρόλυσης, οι λυχνίες υπεριώδους (UV-lighting) καθώς τέλος και το φιλτράρισμα του νερού.

4.7.1 Αποσιδήρωση – Απομαγγανίωση του νερού.

Ο σίδηρος και το μαγγάνιο είναι δύο μέταλλα που θεωρούνται τοξικά για την ανθρώπινη υγεία και για τα οποία υπάρχουν ανώτατα επιτρεπτά όρια για το πόσιμο νερό. Επιπλέον ο

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

σίδηρος σε αυξημένες συγκεντρώσεις χρωματίζει το νερό κίτρινο ή και παρουσιάζει ίζημα σε αυτό όταν παραμείνει για μεγάλο χρονικό διάστημα σε περιέκτες (π.χ ψυγείο). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην αλλαγή της μορφής του σιδήρου (από δισθενής διαλυτός σε αδιάλυτος τρισθενής) και εκτός της επικινδυνότητας ως προς την κατανάλωση παρουσιάζει προβλήματα χρωματισμού κεραμικών επιφανειών.

Αρκετές περιοχές της Δυτικής Ελλάδας (Ηλεία, Αιτωλοακαρνανία) επίσης παρουσιάζουν υψηλό μαγγάνιο, ενώ άλλες της Στερεάς Ελλάδας (Φθιώτιδα, Μαγνησία) παρουσιάζουν υψηλό σίδηρο. Η συνηθέστερη προέλευση των δύο τοξικών μετάλλων είναι φυσική και σχετίζεται με τα πετρώματα από τα οποία διέρχεται το νερό.

Το βασικό πλεονέκτημα των συσκευών **αποσιδήρωσης - απομαγγανίωσης** του νερού είναι η επιλεκτικότητά τους, όταν το νερό εμπεριέχει αυξημένο μικροβιολογικό φορτίο και παθογόνους οργανισμούς. Ένα πρώτο μέτρο που εφαρμόζεται σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η προσθήκη υποχλωριώδους νατρίου ή ασβεστίου, οπότε και δημιουργείται στο νερό ελεύθερη ρίζα χλωρίου Cl_2 , μια ιδιαίτερα δραστική ουσία που καταστρέφει όλους τους μικροοργανισμούς που εμπεριέχονται στο νερό.

4.7.2 Χλωρίωση του νερού.

Η **χλωρίωση** αποτελεί μέθοδο καθαρισμού με πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Το πλεονέκτημα της χλωρίωσης είναι η αποτελεσματικότητα της χρήσης της σε όλες τις περιπτώσεις μολυσμένων νερών. Βασικό μειονέκτημα της χλωρίωσης είναι η απελευθέρωση της ρίζας χλωρίου που είναι τοξικό και καρκινογόνο για τον άνθρωπο. Πρέπει να αποφεύγεται η υπερδοσολογία. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι το ελεύθερο χλώριο που όπως αναφέρθηκε είναι μια ιδιαίτερα δραστική ουσία, αντιδρά με διάφορες οργανικές ουσίες που εμπεριέχονται στο νερό δημιουργώντας τα παράγωγα της χλωρίωσης (τριαλογονομεθάνια κ.α). Τα παράγωγα της χλωρίωσης είναι τοξικότερες ουσίες από το ίδιο το ελεύθερο χλώριο και για αυτά προβλέπονται ανώτατα επιτρεπτά όρια (Σχετική Οδηγία ΚΥΑ Υ2/2600/2001). Η τοξικότητα των παραγώγων της χλωρίωσης ως προς τον άνθρωπο, καθιστά τη χρήση της ελεγχόμενης χλωρίωσης του νερού απαραίτητη σε κάθε περίπτωση. Η χλωρίωση του νερού προσδίδει ιδιαίτερη γεύση σε αυτό που ενοχλεί μέρος των καταναλωτών (π.χ σημαντικός αριθμός καταναλωτών που ζουν εκτός Αθήνας και έχουν συνηθίσει να πίνουν μη χλωριωμένο νερό, παραπονούνται για τη γεύση του νερού της Αθήνας).

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

Συμπερασματικά η υγειονομική Διάταξη αναφέρει τις παρακάτω παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τους ελέγχους:

- Ο Ελάχιστος Έλεγχος Ε1 περιλαμβάνει: οσμή, γεύση, αγωγιμότητα, υπολειμματικό χλώριο, μικροβιολογικά,
- Ο Έλεγχος ρουτίνας Ε2 περιλαμβάνει: οσμή, γεύση, θολερότητα, αγωγιμότητα, pH, υπολειμματικό χλώριο, νιτρικά, νιτρώδη, αμμωνία, μικροβιολογικά,
- Ο Περιοδικός Έλεγχος Ε3, περιλαμβάνει τον Ε2 και άλλες παραμέτρους,

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

- Ο Έκτακτος Έλεγχος Ε4, γίνεται σε ειδικές περιπτώσεις ή ατυχήματα. Η αρμόδια αρχή καθορίζει τις παραμέτρους ανάλογα με τις συνθήκες.

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

4.7.3 Συστήματα Οζόνωσης

Τα συγκεκριμένα συστήματα παράγουν όζον (O_3) το οποίο είναι μια ιδιαίτερα δραστική ουσία που καταστρέφει όλους τους μικροοργανισμούς που εμπεριέχονται στο νερό. Διασπάται εύκολα προς οξυγόνο και δεν επηρεάζει σημαντικά τη γεύση του νερού (όπως η χλωρίωση). Τα βασικά μειονεκτήματα των συστημάτων οζόνωσης είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τους και η μερική μετατροπή των ιόντων βρωμίου (Br^-) αν αυτά υπάρχουν στο νερό, στα ιδιαίτερος τοξικά βρωμιούχα ιόντα (BrO_3^-). Λόγω του αυξημένου κόστους επένδυσης αλλά και της ιδιότητας που διαθέτουν να μην αλλοιώνουν τη γεύση του νερού, τα συστήματα οζόνωσης χρησιμοποιούνται κυρίως σε μονάδες εμφιάλωσης νερών.

4.7.4 Συσκευές Ηλεκτρόλυσης

Οι συσκευές ηλεκτρόλυσης επιτυγχάνουν τη μικροβιολογική εξυγίανση, ηλεκτρολύοντας το νερό και δημιουργώντας τοπικά συνθήκες στις οποίες δεν μπορούν να επιβιώσουν μικροοργανισμοί. Το κόστος εγκατάστασή τους είναι υψηλό αλλά το κόστος λειτουργίας τους είναι χαμηλό. Δεν απαιτείται προσθήκη χημικών και δεν αλλοιώνουν τη γεύση του νερού.

4.7.5 Λυχνίες Υπεριώδους φωτός (UV – lighting).

Η υπεριώδης ακτινοβολία έχει την ικανότητα να σκοτώνει τους μικροοργανισμούς. Οι λυχνίες UV διατίθενται σε μεγάλη κλίμακα, από απλές που εφαρμόζονται σε κοινή βρύση κουζίνας μέχρι ειδικές κατασκευές βιομηχανικής κλίμακας. Οι κοινές λυχνίες UV χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: σε αυτές που έχουν ένδειξη λειτουργίας (ακριβότερες) και σε αυτές που δεν διαθέτουν. Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου τρόπου μικροβιολογικής εξυγίανσης είναι το χαμηλό κόστος, η εύκολη εγκατάσταση, καθώς και το ότι οι διατάξεις αυτές δεν επηρεάζουν τη χημική σύσταση του νερού και δεν δημιουργούν τοξικά παράγωγα.

4.7.6 Συσκευές αποτροπής εναπόθεσης αλάτων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Οι συσκευές αυτές εφαρμόζουν ένα ισχυρό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στο νερό που διέρχεται από το σωλήνα, με αποτέλεσμα να εμποδίζουν στο ασβέστιο και το μαγνήσιο να δημιουργήσουν ιζήματα και επικαθίσεις. Τα βασικά πλεονεκτήματα τους είναι ότι:

- Δεν επηρεάζουν τη χημική σύσταση του νερού (π.χ ένα σκληρό νερό παραμένει σκληρό χωρίς να αφήσει άλατα στο θερμοσίφωνα),
- έχουν χαμηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης,
- έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας (απαιτείται μια παροχή ηλεκτρικού ρεύματος – μικρή κατανάλωση) και συντήρησης.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

4.7.7 Συσκευές Φίλτρησης του νερού.

Το πρώτο πολλαπλό φίλτρο σχεδιάστηκε από τον Ιταλό Antonio Porzio το 1685 και περιλάμβανε ιζηματοποίηση και φίλτρηση από άμμο, ενώ το 1746 ο Γάλλος επιστήμονας Joseph Amy, κατασκεύασε τα πρώτα φίλτρα οικιακής χρήσης, με υλικά το σφουγγάρι, το κάρβουνο και το μαλλί. Η πρώτη κίνηση για την φίλτρηση του νερού μιας ολόκληρης πόλης έγινε με φίλτρα άμμου στα μέσα του 18ου αιώνα στο Λονδίνο. Το 1804, στο Paisley της Σκωτίας ολοκληρώθηκε μία από τις πρώτες εγκαταστάσεις παροχής φιλτραρισμένου νερού από πόλη σε πόλη, μέσω σωληνώσεων. Η κινητήρια δύναμη της μονάδας ήταν τα άλογα, που κινούσαν τις αντλίες, ενώ τα υλικά των φίλτρων ήταν η άμμος και ο άνθρακας, που έπρεπε να αντικαθίστανται κάθε έξι ώρες.

Στις αρχές του 20ου αιώνα η χλωρίωση έγινε η πιο δημοφιλής μέθοδος απολύμανσης στις Η.Π.Α. και χάρη σ' αυτήν, οι περιπτώσεις δυσεντερίας, τύφου και χολέρας μειώθηκαν κατακόρυφα. Το 1942 η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (E.P.A) έθεσε τα πρώτα πρότυπα (standard) για το πόσιμο νερό και το 1957 ενέκρινε τη χρήση φίλτρων μεμβράνης. Το 1970, δύο μηχανικοί από της Η.Π.Α., ο Bill Prior και ο Jim Kewley, καινοτόμησαν στην ανάπτυξη των μη ηλεκτρικών, πλήρως αυτόματων συστημάτων κατεργασίας νερού και συνέβαλαν σημαντικά στην φίλτρησή του. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως, στις μέρες μας, χάρη σε αυτήν την τεχνολογία, κατασκευάζονται αυτόματα εμπορικά και βιομηχανικά συστήματα φίλτρησης και αποσκλήρυνσης του νερού, τα οποία μπορούν και φιλτράρουν δεκάδες τόνους νερού την ώρα.

Όπως φαίνεται, τα φίλτρα νερού είναι αυτά που ο άνθρωπος έχει εμπιστευθεί για τη διαφύλαξη της ποιότητας του νερού που καταναλώνει. Η ιστορία τους είναι μακρά, όπως φαίνεται παραπάνω και σχετίζεται με την ανάγκη του ανθρώπου για καθαρό και μαλακό νερό. Θα πρέπει να επισημανθεί ακόμα ότι το νερό είναι ο μοναδικός παράγοντας που καθαρίζει το νθρώπινο σώμα από άχρηστες ουσίες και επομένως η ποιότητά του παίζει πολύ σημαντικό ρόλο.

4.7.7.1 Κριτήρια επιλογής φίλτρου νερού.

Τα κριτήρια επιλογής οποιουδήποτε φίλτρου νερού, πρέπει να ορίζονται πάντα με βάση τις ανάγκες μας, δηλαδή με βάση τους μολυσματικούς παράγοντες που επιβάλλεται να μειώσουμε. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγουμε τα περαιτέρω έξοδα από τα ανταλλακτικά φίλτρα και επιτυγχάνεται το ζητούμενο αποτέλεσμα. Το να έχει ένδειξη διάρκειας ζωής του φίλτρου, όπως και το να μην εξαρτάται από το ηλεκτρικό ρεύμα, είναι επιπλέον θετικά χαρακτηριστικά. Οποιοδήποτε σύστημα κατεργασίας νερού οικιακής, επαγγελματικής ή βιομηχανικής χρήσης, θα πρέπει να συνοδεύεται από πιστοποιητικά (standards) ώστε να επιβεβαιώνεται η καλή απόδοσή του. Τα πιστοποιητικά αυτά καταγράφουν αναλυτικά τους μολυσματικούς παράγοντες που το κάθε φίλτρο μπορεί να μειώσει. Επίσης η ύπαρξη ISO από την Ε.Ε. είναι ένα πρόσθετο θετικό στοιχείο.

4.7.7.2 Δημοφιλείς μέθοδοι φίλτρησης του νερού.

Όταν σε μία πόλη το νερό χλωριώνεται, οι μέθοδοι απολύμανσης του νερού, όπως η υπερϊώδης ακτινοβολία και το όζον δεν κρίνονται απαραίτητες. Μία δημοφιλής μέθοδος φίλτρησης νερού είναι με τη χρήση φίλτρων ενεργού άνθρακα. Λειτουργούν μέσω της απορρόφησης που πραγματοποιείται λόγω ενδομοριακής έλξης, μεταξύ της επιφάνειας του άνθρακα και της ουσίας που απορροφάται. Υπάρχουν πολλοί τύποι ενεργού άνθρακα, που χρησιμοποιούνται στην φίλτρηση του νερού. Οι πιο γνωστές ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενεργοποιημένου άνθρακα είναι το ξύλο, ο λιγνίτης, ο άνθρακας και η καρύδα.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

Οι κυριότεροι μολυσματικοί παράγοντες που μπορεί και μειώνει ο ενεργοποιημένος άνθρακας είναι: το χλώριο, τα Μ.Τ.Β.Ε. (Μεθυλικός-τριτογενής-Βουτυλικός-Αιθέρας από τα οξυγονωμένα καύσιμα των αυτοκινήτων), οι κύστες, οι πητικές οργανικές ενώσεις (Π.Ο.Ε.), δηλαδή χημικές ουσίες, φυτοφάρμακα και παραπροϊόντα απολύμανσης, τις γεύσεις, τις μυρωδιές και το μόλυβδο.

4.7.8 Μέθοδος Αντίστροφης Ωσμωσης

Μία άλλη τεχνολογία που εδώ και χρόνια έχει εδραιωθεί σε παγκόσμια κλίμακα και αναγνωρίζεται από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος της Αμερικής ως η αποτελεσματικότερη μέθοδος για την προστασία του πόσιμου νερού, είναι η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μια ημιπερατή μεμβράνη για να φιλτράρει τους μολυσματικούς παράγοντες. Το νερό αναγκάζεται να περάσει μέσα από την μεμβράνη. Μόνο τα μόρια του καθαρού νερού περνούν μέσω της μεμβράνης, ενώ ένα ποσοστό του νερού και όλες οι ακαθαρσίες δεν μπορούν να περάσουν και στην συνέχεια αποβάλλονται. Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης στην καλύτερη περίπτωση είναι αποτελεσματική για τους εξής μολυσματικούς παράγοντες: τα ανόργανα διαλυμένα άλατα, τα αιωρούμενα στερεά, τις διαλυμένες χημικές ουσίες, τα νιτρικά, τα νιτρώδη, το αρσενικό, τα βαρέα μέταλλα όπως ο μόλυβδος, το βάριο, το κάδμιο, το εξασθενές χρώμιο κ.τ.λ., ενώ το 99% των βλαβερών ουσιών και των παρασίτων του νερού δεν μπορούν να περάσουν από την μεμβράνη αυτή.

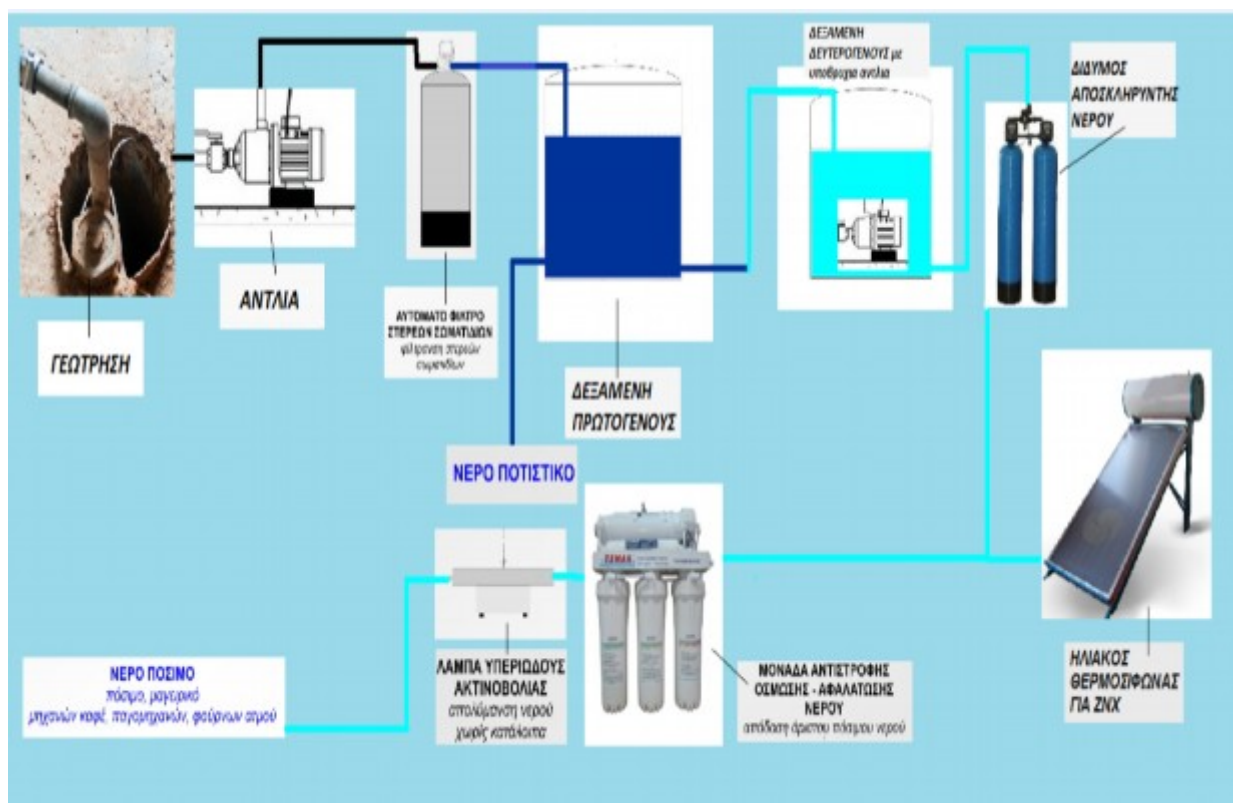
Τα συστήματα αντίστροφης ώσμωσης μπορούν να αφαιρέσουν πάνω από το 90% του φθορίου στο νερό. Το φθόριο εμφανίζεται στη φύση στο έδαφος και το νερό, ενώ συχνά προστίθεται και με τεχνητό τρόπο, αφού υπάρχουν ενδείξεις ότι βοηθά στην πρόληψη της τερηδόνας. Οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της φθορίωσης των δημόσιων παροχών νερού ωστόσο, εξακολουθούν να αποτελούν αντικείμενο μεγάλης διαμάχης. Αυτό συμβαίνει διότι: Το χλώριο για παράδειγμα, έχει χρησιμοποιηθεί σε τακτική βάση από το 1913, αλλά μόνο πρόσφατα ανακαλύφθηκε ότι αυτή η χρήσιμη χημική ουσία έχει την ικανότητα να παράγει και καρκινογόνες χημικές ουσίες (ΤΗΜ) όταν συνδυάζεται με οργανικές ουσίες που εντοπίζονται στο νερό σε κανονικές συνθήκες. Επιπλέον, υπάρχουν περισσότερες εναλλακτικές λύσεις για επιμελημένη αλλά και συνετή ταυτόχρονα φθορίωση στο σύνολο της παροχής νερού, όπως η εφαρμογή δισκίων φθορίου.

Ο συνδυασμός αυτών των δύο τρόπων φίλτρανσης νερού, δηλαδή ένα σύνθετο φίλτρο, που περιλαμβάνει ένα προ-φίλτρο άνθρακα, την κυρία μονάδα καθαρισμού της αντίστροφης ώσμωσης και ένα τελικό φίλτρο άνθρακα, δίνουν την καλύτερη λύση για τους κατοίκους των πόλεων και όχι μόνο. Η ποιότητα του νερού δεν είναι ένα απλό θέμα ενώ και η φίλτρανση του είναι επιστήμη.

5 Κύκλωμα του Νερού Εγκατάστασης Εμπορικής Χρήσης.

Η παρούσα μελέτη, πραγματεύεται το κύκλωμα αποσκλήρυνσης και καθαρισμού αρτεσιανού νερού το οποίο προορίζεται για εμπορική χρήση. Στα επόμενα περιγράφεται αναλυτικά η εγκατάσταση του κυκλώματος του νερού, γίνεται ο υπολογισμός της σωληνογραμμής και των απωλειών των σωληνώσεων. Περιγράφονται οι επιμέρους διατάξεις που απαρτίζουν το κύκλωμα του νερού από τη γεώτρυση μέχρι το τελικό στάδιο στο οποίο το νερό πόσιμο πλέον τίθεται προς κατανάλωση.

Από μια γρήγορη ματιά του κυκλώματος, για την άντληση του νερού από την πηγή της γεώτρυσης απαιτείται κατάλληλη αντλία. Ο ρόλος της αντλίας είναι η μεταφορά του νερού στην επιφάνεια, το οποίο στη συνέχεια αποθηκεύεται μέσα σε δεξαμενή (πρωτογενούς). Αφού γίνει στοιχειώδης καθίζηση, το νερό περνά σε μια δευτερεύουσα δεξαμενή, με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία του. Δηλαδή, την αποσκλήρυνσή του και την εισαγωγή του στο σύστημα αντίστροφης ώσμωσης που είναι και το τελευταίο στάδιο επεξεργασίας της ροής. Το διάγραμμα ροής του νερού από τη γεώτρυση μέχρι και την ασφαλή κατανάλωσή του για την υγεία περιγράφεται στην Εικ.16.



Εικόνα 16: Διάγραμμα Ροής του νερού στην υπό μελέτη εμπορική επιχείρηση.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

5.1 Προέλευση του Νερού – Διαδικασία Γεώτρησης.

Το κύκλωμα που μελετάται έχει σκοπό την άντληση αρτεσιανού νερού, τη μεταφορά του σε δεξαμενές, την επεξεργασία και τον καθαρισμό του, για την εμπορική του εκμετάλλευση ως πόσιμο. Το νερό ως γνωστό κυκλοφορεί ρέει μέσα στην γη εκτός από τις ροές του στην επιφάνειά της. Οι υπόγειοι υδροφορείς είναι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο μέρος των εκμεταλλεύσιμων υδατικών πόρων. Αυτοί μπορεί να είναι χαλαροί υδροφορείς (δηλ. γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι αποτελούνται από ανεξάρτητους κόκκους) είτε ρηγματωμένοι (π.χ. βραχώμαζα η οποία περιέχει μεγάλο αριθμό από ρωγμές).

Το πρώτο στάδιο που πρέπει να αναφερθεί είναι η πηγή, δηλαδή στη συγκεκριμένη περίπτωση, η γεωτρητική εγκατάσταση. Με την ολοκλήρωση της διάτρησης της γεώτρησης και με την εύρεση νερού, το πρώτο στάδιο ολοκληρώνεται. Βέβαια αφού βρεθεί νερό θα πρέπει για να γίνει εκμεταλλεύσιμο, να αντληθεί με τη βοήθεια ενός αντλητικού κυκλώματος στην επιφάνεια με κατάλληλες σωληνώσεις.

Το κύκλωμα της σωλήνωσης είναι μια σημαντική φάση κατά την διάνοιξη μιας γεώτρησης. Με τον όρο σωλήνωση, σε αυτό το στάδιο, περιγράφεται η διαδικασία επένδυσης της γεώτρησης από την επιφάνεια του γεωτρήπανου μέχρι το τελικό βάθος. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται επίσης η καλή κυκλοφορία της λάσπης και παρεμποδίζεται η μόλυνση των γειτονικών υδροφόρων οριζόντων από τα ρευστά διάτρησης. Επίσης με αυτό τον τρόπο υπάρχει έλεγχος των πιέσεων και προστασία των ασθενών σχηματισμών από τα ρευστά διάτρησης, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν τη ρηγμάτωσή τους. Έτσι πετυχαίνει η απομόνωση των ζωνών ανωμάτων πιέσεων. Επιπρόσθετα γίνεται σφράγιση των διαπερατών ζωνών όπου μπορεί να εμφανιστεί διακοπή της ομαλής κυκλοφορίας της λάσπης διάτρησης (lost circulation zones). Η σωλήνωση αυτή βοηθά στην κατάλληλη σύνδεση του εξοπλισμού της γεώτρησης με τον εξοπλισμό της επιφάνειας (wellhead equipment). Έτσι γίνεται και εξασφάλιση της γεώτρησης δεδομένης διαμέτρου και βάθους, στοιχείων απαραίτητων για τη διεξαγωγή των παραγωγικών δοκιμών και την εγκατάσταση του παραγωγικού εξοπλισμού (completion equipment).

Ο σκοπός της σωλήνωσης είναι καταρχήν η συγκράτηση των τοιχωμάτων της γεώτρησης (όταν υπάρχουν γύρω χαλαροί ή έντονα ρηγματωμένοι σχηματισμοί) και δεύτερον, η έμφραξη των ρωγμών που υπάρχουν στα τοιχώματα της γεώτρησης, για την αποφυγή εισροής εντός της γεώτρησης νερού. Προκειμένου να επιτευχθούν οι παραπάνω λειτουργίες, η σωλήνωση θα πρέπει να συνδέεται σταθερά με το σχηματισμό με τη βοήθεια της τσιμεντώσης. Η τσιμεντωμένη σωλήνωση καθίσταται έτσι ένα αναπόσπαστο τμήμα του συστήματος ελέγχου των πιέσεων. Ανάλογα με τον τύπο των σχηματισμών που διατρύονται σε μια γεώτρηση, πρέπει να τοποθετηθούν ορισμένες στήλες σωλήνωσης. Όσο η γεώτρηση προχωρεί σε μεγαλύτερο βάθος, μέσω της σωλήνωσης που έχει ήδη εγκατασταθεί μέσα στη γεώτρηση, διέρχεται και τοποθετείται νέα σωλήνωση μικρότερης διαμέτρου.

Κατόπιν έχει γίνει πλήρωση με ειδικό χαλίκι στο κενό μεταξύ σωλήνα και εδάφους. Επίσης έχει τοποθετηθεί ειδικό φίλτρο το οποίο λόγω του σχήματος του, ονομάζεται ποτήρι. Ακολούθησε τοποθέτηση αντλητικού συγκροτήματος (στο οποίο θα γίνει εκτενής αναφορά παρακάτω) για να ακολουθήσει η δοκιμαστική άντληση.

Στην υπό μελέτη εγκατάσταση η συγκεκριμένη γεώτρηση έχει καθαριστεί με αέρα και έχει γίνει δοκιμαστική άντληση για τον καθαρισμό της. Δηλαδή έχει γίνει άνοιγμα και καθαρισμός των υδροφόρων στρωμάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ποσότητα αλλά και την ποιότητα του νερού καθώς και τη μέτρηση της στάθμης αυτού. Σημαντικός παράμετρος στην ποιότητα του νερού είναι η σκληρότητα αυτού η οποία κατά τον πρώτο έλεγχο μετρήθηκε στους 20 γαλλικούς βαθμούς περίπου.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

5.2 Αντλητική Εγκατάσταση Γεώτρησης.

Για την άντληση του νερού από την πηγή της γεώτρησης απαιτείται κατάλληλη αντλία. Ο ρόλος της αντλίας είναι η μεταφορά του νερού στην επιφάνεια, το οποίο στη συνέχεια αποθηκεύεται μέσα σε δεξαμενή. Η επιλογή της κατάλληλης αντλίας γεώτρησης εξαρτάται από ένα πλήθος παραμέτρων όπως:

- Το είδος του προς άντληση νερού (θαλασσινό, υφάλμυρο, καθαρό, με περιεκτικότητα σε άμμο κ.λπ.),
- Την περιεκτικότητα σε άμμο (g/m^3),
- Τη θερμοκρασία του νερού,
- Την οξύτητα (pH),
- Το βάθος και τη διάμετρο της γεώτρησης,
- Το είδος της χρήσης (αστική, βιομηχανική, ύδρευση, άρδευση κ.λπ.),
- Την απαιτούμενη παροχή και πίεση που απαιτείται για την λειτουργία των εκάστοτε εφαρμογών,
- Τη στατική καθώς και την δυναμική στάθμη του νερού στην γεώτρηση,
- Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης όπως είδος και τύπος σωληνώσεων, τάση ρεύματος (μονοφασικό- τριφασικό),
- Την απόσταση ώστε να επιλεγεί ο κατάλληλος τύπος καλωδίων μεταξύ αντλίας και πίνακα ελέγχου.

Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί ότι η επιλογή και τοποθέτηση της κατάλληλης αντλίας είναι ύψιστης σημασίας για τη καλή – ομαλή λειτουργία της γεώτρησης.

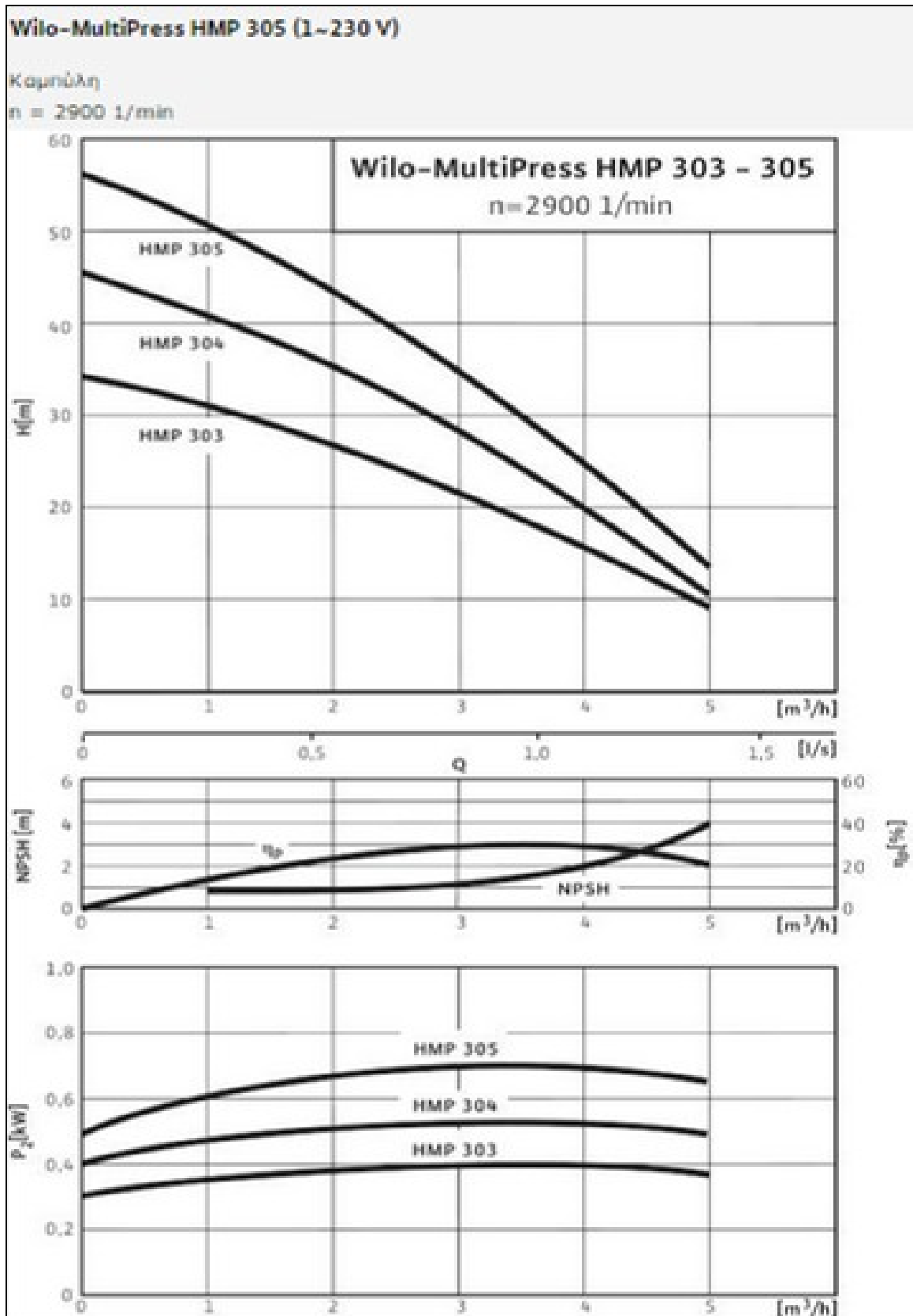
Μετά τον σωλήνα της γεώτρησης ακολουθεί το αντλητικό σύστημα που απαρτίζεται κύρια από μια αντλία και ένα πρώτο δίκτυο σωληνώσεων ώστε το νερό να αναρροφηθεί στην επιφάνεια του εδάφους.

Υπάρχουν πολλές επιλογές ανάλογα με τις απαιτήσεις παροχής, το υπάρχον δυναμικό της γεώτρησης, και την ποιότητα. Για αυτό και κατά την εγκατάσταση επιλέχθηκε η παραπάνω αντλία. Οι αντλίες γεωτρήσεων έχουν διάφορες χρήσεις. Στην ύδρευση, τόσο των κατοικιών όσο και των βιομηχανιών, οι αντλίες ανυψώνουν και διανέμουν το νερό, ενώ στην άρδευση γεμίζουν τα δοχεία και τις δεξαμενές πίεσης. Οι αντλίες γεώτρησης είναι σχετικά σύνθετα μηχανήματα, που είναι κατασκευασμένα από ανθεκτικά υλικά, εφοδιασμένα με μηχανισμούς προηγμένης τεχνολογίας, ώστε να εγγυάται την καλή λειτουργία επί μακρό χρόνο ζωής. Το είδος της αντλίας που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε γεώτρηση εξαρτάται από το είδος της γεώτρησης και από τις ανάγκες του συγκεκριμένου έργου. Η επιλογή της κατάλληλης αντλίας απαιτεί επίσης ιδιαίτερη πείρα από τον τεχνικό ή τον μηχανικό.

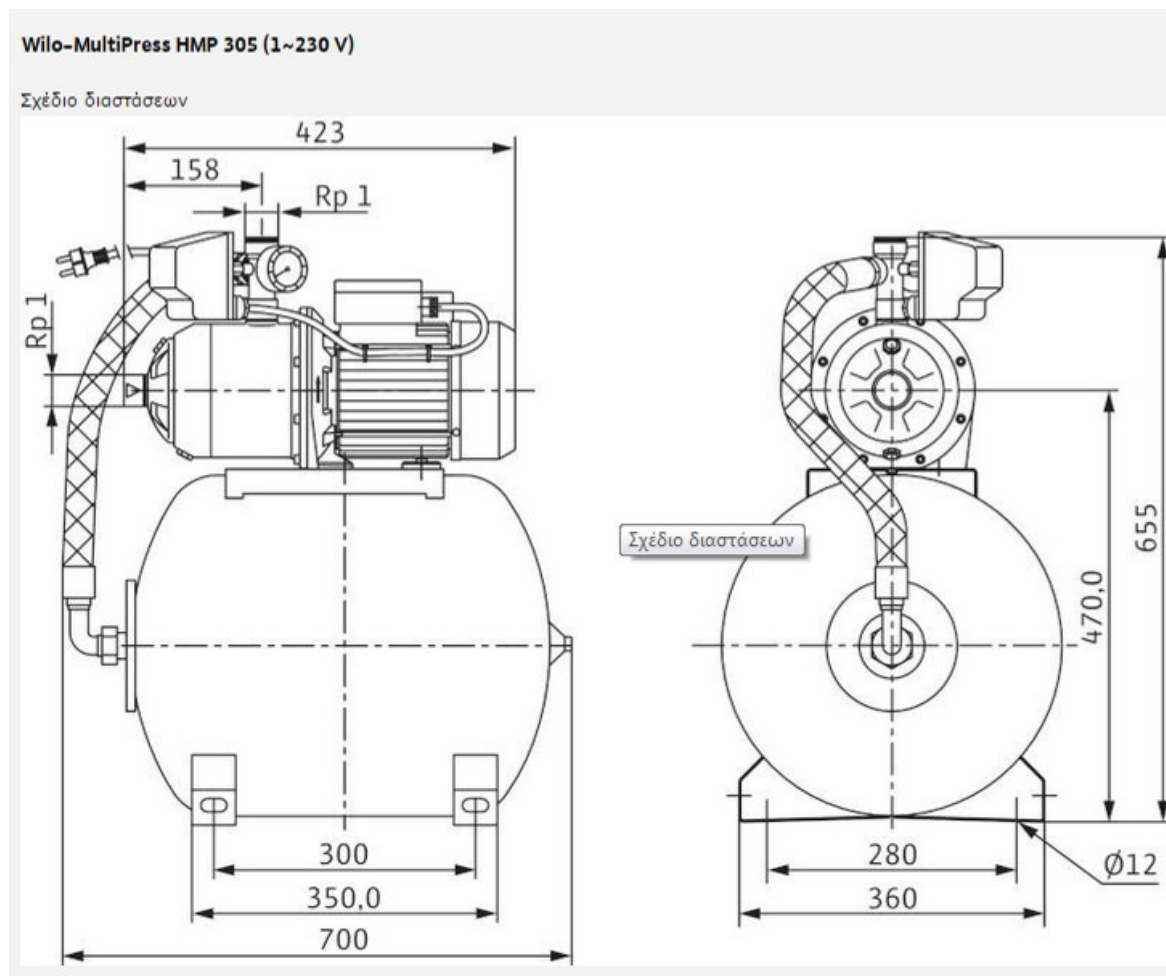
Στην υπό μελέτη εγκατάσταση επιλέχθηκε αντλία WILLO, μοντέλο Wilo-MultiPress HMP 305 με τα τεχνικά χαρακτηριστικά: $H_{\max} = 55\text{m}$ και $Q_{\max} = 7\text{m}^3/\text{h}$ όπου H_{\max} είναι το μανομετρικό ύψος (βάθος άντλησης) και Q_{\max} είναι η μέγιστη επιτρεπτή παροχή. Η χρησιμοποιούμενη αντλία φαίνεται στην Εικ.17, ενώ το διάγραμμα των χαρακτηριστικών καμπυλών της συγκεκριμένης αντλίας παρατίθεται στην Εικ.18.



Εικόνα 17: Αντλία WILO, μοντέλο Wilo-MultiPress HMP 305.



Εικόνα 18: Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας Wilo HMP305.



Εικόνα 19: Σχέδιο διαστάσεων αντλίας Wilo HMP 305.

5.2.1 Φίλτρα Στερεών Σωματιδίων.

Όπως φαίνεται και στις Εικ. 18, 20, μετά την αντλία υπάρχει ένα φίλτρο στερεών σωματιδίων, για να κατακρατεί, σκουπίδια, χονδρή άμμο και σωματίδια που έρχονται στην επιφάνεια μαζί με την άντληση του νερού. Επίσης, πριν το νερό οδηγηθεί στην πρώτη δεξαμενή, πάνω στην σύνδεση, έχει τοποθετηθεί παγίδα που χρησιμεύει για την κατακράτηση άμμου. Γενικά τα φίλτρα στερεών σωματιδίων λέγονται και φίλτρα κατακράτησης και πρόκειται για φίλτρα που κατακρατούν τα αιωρούμενα σωματίδια του νερού (π.χ. χώμα, υλικά από δεξαμενές, σκουριά, κ.α.). Διατίθενται στο εμπόριο σε μεγάλη ποικιλία και ανάλογα με:

- την παροχή του νερού,
- το μέγεθος των σωματιδίων που κατακρατούν (διάμετρος πόρων).

Συνήθως τα φίλτρα αυτά χρησιμοποιούνται σε συστοιχία έτσι ώστε να αποφεύγεται το τακτικό μπλοκάρισμά τους. Συνιστώνται για χρήση σε:

- γεωτρήσεις με θολό νερό (αυξημένα αιωρούμενα σωματίδια) σε μόνιμη ή περιοδική βάση,
- περιοχές με απαρχαιωμένο δίκτυο ύδρευσης, όπου περιοδικά παρατηρούνται σκουριές και γενικά σωματίδια στο νερό,

- περιοχές με αυξημένη οικοδομική δραστηριότητα, όπου οι διακοπές υδροδότησης και οι ζημιές στο δίκτυο είναι τακτικές.



Εικόνα 20: Φίλτρο στερεών σωματιδίων.

Το κόστος των φίλτρων κατακράτησης σωματιδίων είναι χαμηλό, όμως απαιτείται συχνός έλεγχος της κατάστασής τους, καθαρισμός ή και αλλαγή. Όλες οι αλλαγές φίλτρων μπορούν να γίνουν εύκολα χωρίς να χρειάζεται κάποιος εξειδικευμένος επαγγελματίας. Τοποθετούνται στην κεντρική παροχή, μετά την αντλία και έχουν ως κύρια λειτουργία τους την αφαίρεση ιζημάτων και ότι άλλο μπορεί να μεταφέρει το νερό σε αιωρούμενη κατάσταση. Τα φίλτρα αυτά επίσης χρησιμοποιούνται ως προφίλτρα συστημάτων επεξεργασίας νερού με ενεργό άνθρακα, συστημάτων αντίστροφης όσμωσης, αποσκλήρυντών όπως ακριβώς και στην παρούσα μελέτη. Τα φίλτρα αυτά που ονομάζονται και προφίλτρα είναι απαραίτητα σε κάθε εφαρμογή, προστατεύουν την ανθρώπινη υγεία ενώ αυξάνουν την διάρκεια ζωής άλλων φίλτρων στη συνέχεια του κυκλώματος, πιο ακριβών, που βρίσκονται σε επόμενα στάδια της επεξεργασίας του νερού, όταν χρησιμοποιούνται ακριβώς ως προφίλτρα στη γραμμή.

5.2.2 Δεξαμενή Πρωτογενούς.

Μετά το πρώτο φίλτρο, το νερό οδηγείται με σωλήνα στην δεξαμενή πρωτογενούς, η οποία λειτουργεί στο κύκλωμα ως δεξαμενή καθίζησης. Καταρχήν η ποιότητα κατασκευής της δεξαμενής παίζει καθοριστικό ρόλο, καθώς πρέπει να είναι κατάλληλη για χρήση νερού προοριζόμενο για επεξεργασία και να φέρει πάνω της πιστοποιητικά ποιότητας. Το σχήμα της είναι τέτοιο ώστε να εξυπηρετεί για τη θέση στην οποία προορίζεται και με κάποια υποδοχή χαμηλά έχει προσαρμοστεί βάνα και η αντλία του νερού που περιγράφηκε νωρίτερα. Το νερό

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

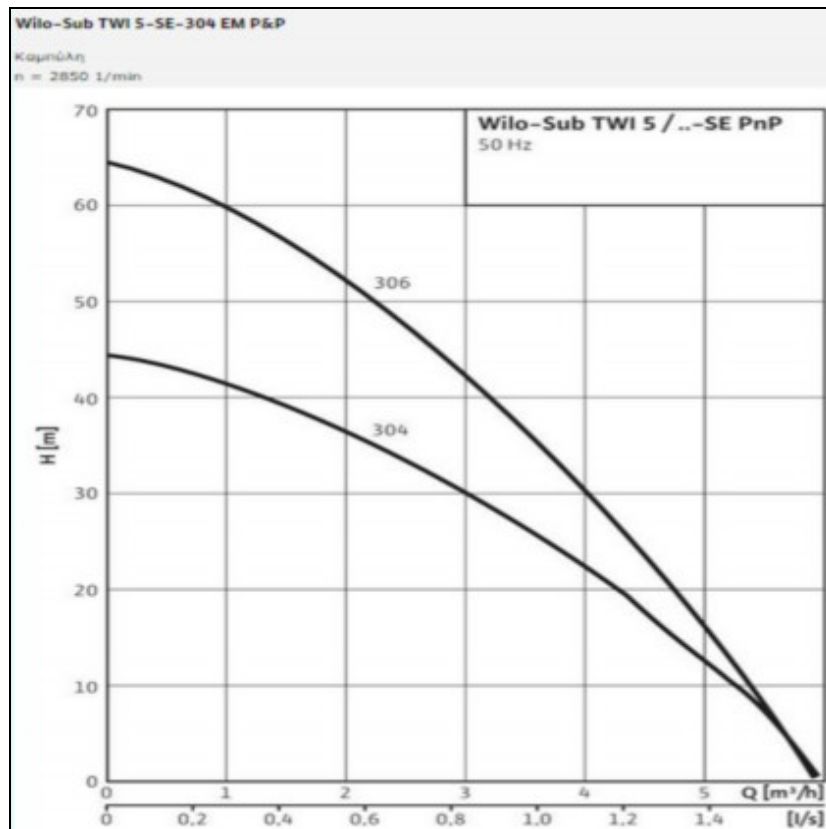
αναρροφόμενο γεμίζει την πρώτη δεξαμενή, με τη στάθμη του νερού να αυξάνει, κατακρατώντας στον πυθμένα διάφορα σωματίδια τα οποία δεν έχουν απομακρυνθεί με το πρώτο φίλτρο. Δημιουργείται δηλ. ίζημα στην πρώτη δεξαμενή ενώ με έναν άλλο σωλήνα, ως υπερχειλιστή, το νερό μπαίνει σε δεύτερη δεξαμενή πιο καθαρό. Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται για τις συνδέσεις αυτές είναι από πολυμερές υλικό μίας ίντσας.

5.2.3 Δεξαμενή Δευτερογενούς – Υποβρύχια αντλία.

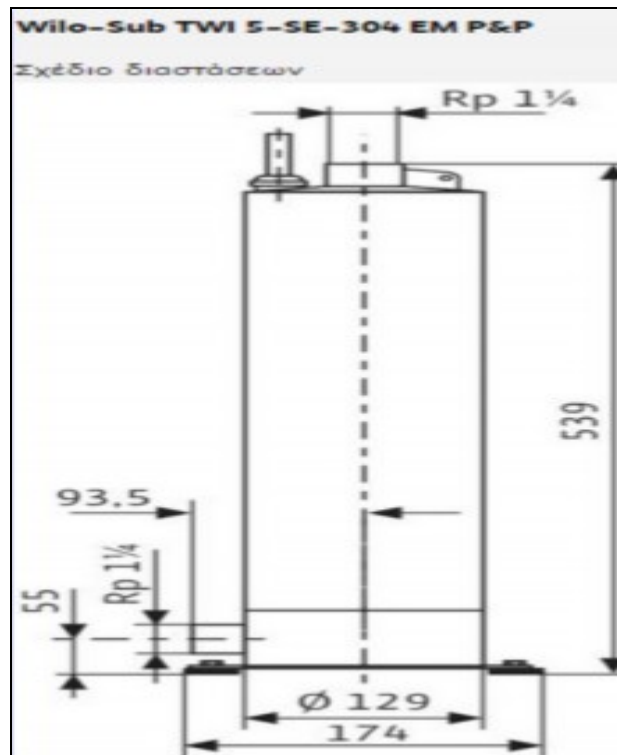
Μέσα στην δεύτερη δεξαμενή, όπου οδηγείται το νερό, υπάρχει αντλία υποβρύχια Wilo – Sub TWO 5-SE-304 EM P&P με τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά: $H_{\max} = 65\text{m}$ και $Q_{\max} = 6\text{m}^3/\text{h}$. Η αντλία φαίνεται στην Εικ. 21, οι χαρακτηριστικές καμπύλες δίνονται στην Εικ. 22, ενώ ένα σχέδιο των διαστάσεων της αντλίας που χρησιμοποιήθηκε δίνεται στην Εικ.23.



Εικόνα 21: Η υποβρύχια αντλία Wilo – Sub TWO 5-SE-304 EM P&P.



Εικόνα 22: Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλιών της οικογένειας Wilo – Sub.



Εικόνα 23: Σχέδιο διαστάσεων της υποβρύχιας αντλίας.

Αυτή η υποβρύχια αντλία (Wilo – Sub TWO 5-SE-304 EM P&P) υποβοηθά τη μεταφορά του νερού από την δεύτερη δεξαμενή στα επόμενα στάδια της εγκατάστασης. Πιο αναλυτικά στη συνέχεια του κυκλώματος ακολουθεί ο αποσκληρυντής και μετά τον αποσκληρυντή, το νερό θα βρεθεί μπροστά σε μία διακλάδωση, η οποία έχει σκοπό να μοιράσει την παροχή στο σύστημα αντίστροφης ώσμωσης και στο κύκλωμα ζεστού νερού χρήσης, μέσω ενός ηλιακού θερμοσίφωνα.



Εικόνα 24: Οι δύο δεξαμενές της εγκατάστασης.

5.2.4 Στάδιο Αποσκλήρυνσης Νερού.

Μετά την δεύτερη δεξαμενή το νερό οδηγείται στον αποσκληρυντή για τη διαδικασία της αποσκλήρυνσής του. Το σκληρό νερό προκαλεί πολλά προβλήματα στις σωληνώσεις όπου το ασβέστιο και το μαγνήσιο επικάθονται στα τοιχώματα των σωλήνων και δημιουργείται ένα στρώμα από άλατα, με αποτέλεσμα οι σωλήνες να φθείρονται και η διάμετρος τους να μειώνεται σταδιακά και με το χρόνο. Αυτό συνεπάγεται ότι μειώνεται και η ροή του νερού προς τις βρύσες και τις συσκευές. Στις συσκευές που χρησιμοποιούν νερό όπως το πλυντήριο, θερμοσίφωνα, βραστήρας και καφετιέρα οι εναποθέσεις αλάτων μειώνουν την απόδοση των συσκευών αυξάνοντας την κατανάλωση ρεύματος, και αυξάνουν και τη συχνότητα συντήρησης και βλαβών. Επίσης, στα πλυντήρια τα άλατα αυτά εμποδίζουν τα σαπούνια και απορρυπαντικά να δημιουργήσουν αφρό γιατί μέρος αυτών ενώνεται με το ασβέστιο και το μαγνήσιο και δημιουργούν ένα μίγμα όπου αφενός δυσκολεύει αισθητά το ξέπλυμα και αφετέρου χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερη ποσότητα. Επιβάλλεται κατά αυτό τον τρόπο η αποσκλήρυνση.

Αποσκλήρυνση του νερού είναι η διαδικασία απομάκρυνσης των αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου. Ο αποσκληρυντής με ρητίνη είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος αποσκλήρυνσης του νερού. Ο αποσκληρυντής "μαλακώνει" το σκληρό νερό χρησιμοποιώντας μια μέθοδο η οποία

λέγεται "ιοντοανταλλαγή". Συνολικά, η τοποθέτηση του αποσκληρυντή αποφέρει πολλαπλά κέρδη σε όποιον τον εγκαθιστά και τον χρησιμοποιεί, με ελάχιστη συντήρηση και απόσβεση του κόστους σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 25: Αποσκληρυντής μιας στήλης (μονός), της εγκατάστασης.



Εικόνα 26: Διακλάδωση του κυκλώματος μετά τον αποσκληρυντή - Όδευση προς τον ηλιακό.

5.2.5 Ηλιακός Θερμοσίφωνας

Σε αυτό το σημείο, μετά την μονάδα δίδυμου αποσκληρυντή, υπάρχει μια διακλάδωση στο κύκλωμα. Το νερό μετά την αποσκλήρυνση μπορεί είτε να εισέρχεται σε έναν ηλιακό θερμοσίφωνα, για θέρμανση και περαιτέρω χρήση ως ζεστό νερό χρήσης στην επιχείρηση, είτε να οδεύει προς τη συσκευή αντίστροφης ώσμωσης των 5 σταδίων όπως θα συζητηθεί.

5.2.6 Μονάδα Αντίστροφης Ωσμωσης 5 σταδίων

Η διαδικασία αντίστροφης ώσμωσης 5 σταδίων που επιτυγχάνεται με υπεριώδη ακτινοβολία επιτυγχάνεται με τη διάταξη που φαίνεται στην εικ.27. Αυτό το σημείο είναι ίσως το πιο βασικό της εγκατάστασης. Η διάταξη αντίστροφης ώσμωσης των 5 σταδίων είναι η μονάδα που θα ολοκληρώσει τη μετατροπή του αρτεσιανού νερού, σε πόσιμο και κατάλληλο για τον άνθρωπο. Σε αυτή βασίζεται όλο το σύστημα καθώς και το αποτέλεσμα.



Εικόνα 27: Διάταξη Αντίστροφης Ωσμωσης των 5 σταδίων.

Το νερό εισέρχεται, αφού έχει περάσει από το στάδιο της αποσκλήρυνσης, στο σύστημα αντίστροφης ώσμωσης των 5 σταδίων. Το νερό οδεύοντας μέσα από τη συγκεκριμένη διάταξη, περνά από το υπεριώδες φως, που είναι ενσωματωμένο στη συσκευή. Το φως UV, όπως αλλιώς ονομάζεται, καθαρίζει το νερό από τους βλαβερούς μικροοργανισμούς που υπάρχουν και έχουν διαφύγει των φίλτρων της υπόλοιπης εγκατάστασης νωρίτερα.

Όταν στο διάλυμα που έρχεται σε επαφή μέσω της ημιπερατής μεμβράνης με τον καθαρό διαλύτη, ασκηθεί πίεση μικρότερη από την ωσμωτική πίεση του διαλύματος, τότε στο διάλυμα θα συνεχίσει να εισέρχεται διαλύτης, αλλά με μικρότερο ρυθμό. Όταν στο διάλυμα ασκηθεί εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την ωσμωτική πίεση του διαλύματος, τότε το φαινόμενο αντιστρέφεται και μόρια διαλύτη θα εξέρχονται από το διάλυμα προς τον καθαρό διαλύτη (ή από το πυκνότερο προς το αραιότερο διάλυμα). Το φαινόμενο της αντίστροφης ώσμωσης, για παράδειγμα, βρίσκει επίσης εφαρμογή στην αφαλάτωση του θαλασσινού νερού για την αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας.

Μια συσκευή αντίστροφης ώσμωσης όμως, πρέπει να έχει και κάποια άλλα στοιχεία που εξασφαλίζουν την σωστή λειτουργία της. Αυτά είναι: προφίλτρα για να κατακρατούνται ρύποι που μπορεί να βλάψουν την μεμβράνη και ενεργός άνθρακας για να κρατά κατά κύριο λόγο το χλώριο που υπάρχει στο νερό του δικτύου και το οποίο καταστρέφει την μεμβράνη.

Οι λάμπες υπεριώδους ακτινοβολίας τοποθετούνται στο σύστημα αντίστροφης ώσμωσης νερού σαν συνοδευτικά ή πρόσθετα των φίλτρων. Αφού το νερό καθαριστεί από όλες τις βλαβερές ουσίες, τότε περνάει από την λάμπα UV όπου αδρανοποιούνται και αποβιώνουν τα βακτήρια και οι ιοί. Αφού αυτοί οι μικροοργανισμοί είναι νεκροί, δεν ενοχλούν την υγεία του

καταναλωτή, καθώς δεν επιδρούν καθόλου στους ιστούς και τα όργανα του ανθρώπινου σώματος.



Εικόνα 28: Συσκευή UV-lighting ως τμήμα της διάταξης αντίστροφης ώσμωσης.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού,
Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους

Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

6 Εξίσωση Σωληνογραμμής.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η μελέτη απωλειών χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της σωληνογραμμής ή εξίσωσης σωληνογραμμής του κυκλώματος, με διαχωρισμό σε δύο στάδια. Αρχικά δίνονται στοιχεία για το κύκλωμα και στην συνέχεια ορίζονται τα σημαντικά μεγέθη για να προχωρήσει η μελέτη σε επίπεδο μαθηματικής θεμελίωσης.

- Ρευστό: νερό,
- Υλικό σωληνώσεων: Χαλκός και Χάλυβας,
- Διάμετροι σωληνώσεων: ¾' και 1',

Το σχέδιο της εγκατάστασης απεικονίζεται στις Εικ. 29, 30 παρακάτω. Στην Εικ.29 δίνεται αναλυτικά το διάγραμμα ροής του νερού με τις επιμέρους διατάξεις ενώ στην Εικ.30 δίνονται αναλυτικά και τα μήκη των σωληνώσεων. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι εφαρμόζεται συνδεσμολογία σειράς στο κύκλωμα χωρίς όμως να γίνεται προσπάθεια όπως είναι γνωστό κατά τον ορισμό ότι επιθυμείται η αύξηση του συνολικού μανομετρικού, της δυνατότητας άντλησης δηλ. σε μεγαλύτερο ύψος με τη χρήση δύο αντλιών σε σειρά. Πρακτικά αυτό δεν συμβαίνει ποτέ αφού η κάθε αντλία μπορεί να δέχεται στην είσοδό της μια χαρακτηριστική πίεση που συνήθως δεν υπερβαίνει τα 2 bar. Με την έννοια αυτή η συνδεσμολογία σειράς έγκειται στο ότι αφού η επιβολή της πρώτης αντλίας αντισταθμίσει τις απώλειες μέχρι κάποιο τμήμα των σωληνώσεων τότε εφαρμόζεται η δεύτερη αντλία που θα μπορέσει να καλύψει τις απώλειες που απομένουν μέχρι το νερό να φθάσει με μια συγκεκριμένη πίεση στο τελικό σημείο κατανάλωσης.

Για τη μελέτη των απωλειών ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία. Αρχικά το ολικό ύψος παροχής $H(m)$ μιας αντλίας ορίζεται με τη βοήθεια της εξίσωσης Bernoulli ως ακολούθως:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + z_1 + H_a = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + z_2 + \Delta h_{12} \Rightarrow$$

$$H_a = \left(\frac{P_K}{\rho g} - \frac{P_A}{\rho g} \right) + \left(\frac{u_K^2}{2g} - \frac{u_A^2}{2g} \right) + (z_K - z_A) + \Delta h_{12} \Rightarrow$$

$$H_a = (z_K - z_A) + \Delta h_{12} \Rightarrow \boxed{H_a = H_{geo} + \Delta h_{12}} \quad (6.1)$$

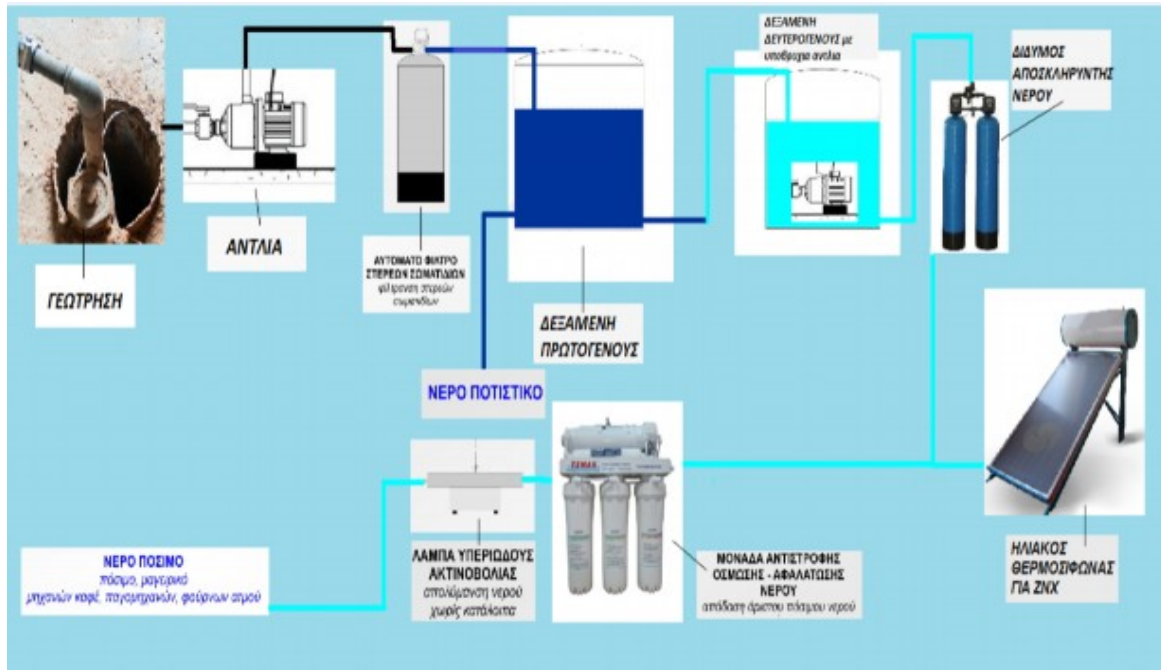
όπου $\frac{P}{\rho g}$ είναι ο όρος της στατικής πίεσης,

$\frac{u^2}{2g}$ είναι ο όρος της πίεσης ταχύτητας (ή δυναμικής πίεσης),

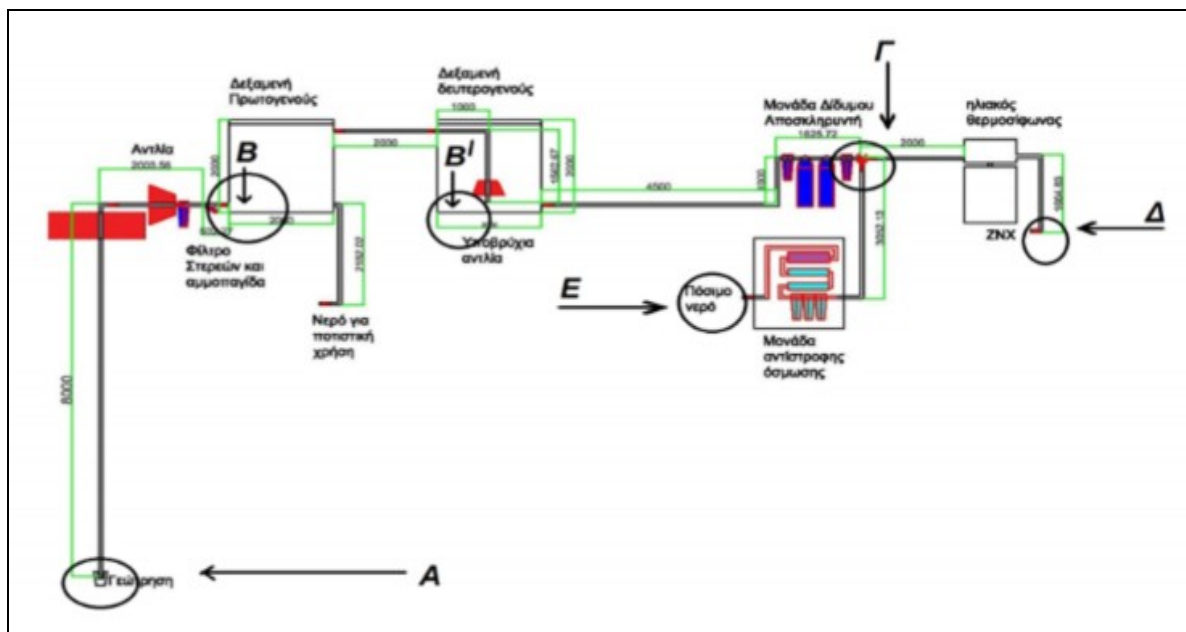
z είναι ο όρος του ύψους,

H_a είναι το μανομετρικό ύψος της αντλίας,

Δh είναι ο όρος των απωλειών μεταξύ των δύο σημείων εφαρμογής του ενεργειακού ισοζυγίου ο οποίος περιλαμβάνει τόσο τις απώλειες λόγω τριβών όσο και τις τοπικές απώλειες.



Εικόνα 29: Διάγραμμα Ροής του νερού της εγκατάστασης.



Εικόνα 30: Διάγραμμα Σωληνογραμμής του κυλώματος του νερού.

Η τελευταία σχέση ισχύει για κάθε μία από τις αντλίες που χρησιμοποιούνται και οι απώλειες που προσυπολογίζονται αναφέρονται ουσιαστικά μέχρι τη θέση εισόδου της

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

δεύτερης αντλίας. Στην κατάστρωση της εξίσωσης ενέργειας που παρατίθεται παραπάνω οι επιμέρους όροι που σημειώνονται δίνουν:

- $(z_K - z_A)$: διαφορά ύψους κατάθλιψης–αναρρόφησης,
- $\left(\frac{P_K}{\rho g} - \frac{P_A}{\rho g}\right)$: διαφορά ύψους πίεσης κατάθλιψης–αναρρόφησης,
- $\left(\frac{u_K^2}{2g} - \frac{u_A^2}{2g}\right)$: διαφορά ύψους ταχύτητας κατάθλιψης–αναρρόφησης.

Το μανομετρικό της αντλίας όπως δίνεται στη σχέση (1), θεωρώντας ότι οι ταχύτητες πριν την είσοδο της αντλίας και μέχρι το σημείο που μπορεί να φθάσει το νερό είναι μηδενικές σχεδόν, ενώ και οι στατικές πιέσεις θεωρούνται περίπου ίσες με την ατμοσφαιρική. Κατά αυτό τον τρόπο η εξίσωση σωληνογραμμής κάθε αντλίας περιγράφεται ως το άθροισμα ενός γεωδαιτικού ύψους και των απωλειών γραμμής. Εδώ πρέπει να αναφερθούμε στις απώλειες.

Οι απώλειες είναι δύο ειδών ως γνωστόν: υπάρχουν οι απώλειες τριβών ή διαφορετικά μείζονες και οι τοπικές απώλειες ή αλλιώς ελάσσονες. Η μαθηματική έκφραση της σχέσης (1) αναλύεται περισσότερο παρακάτω με την κατάστρωση των σχέσεων απωλειών που περικλείει ο όρος Δh_{12} .

$$H_a = H_{geo} + \left[\frac{1}{2g} u^2 \cdot \lambda \cdot \left(\sum \frac{L_i}{D_i} \right) \right] + \left[\frac{1}{2g} u^2 \cdot \left(\sum \zeta_i \right) \right]$$

ή πιο απλοποιημένα

$$H_a = H_{geo} + \left[\frac{u^2}{2g} \cdot \sum \left(\lambda \cdot \frac{L_i}{D_i} + \zeta_i \right) \right] \quad (6.2)$$

$$\text{όπου οι ολικές απώλειες } \boxed{\Delta h = \Delta h_f + \Delta h_m} \quad (6.3)$$

με Δh_f να συμβολίζονται οι απώλειες λόγω τριβών και

με Δh_m συμβολίζονται οι τοπικές απώλειες λόγω αλλαγών γεωμετρίας των αγωγών.

$$\text{Πιο αναλυτικά οι τοπικές απώλειες εκφράζονται ως} \quad \Delta h_m = \frac{u^2}{2g} \sum \left(\lambda_i \cdot \frac{L_i}{D_i} \right) \quad (6.4)$$

$$\text{Ενώ οι απώλειες λόγω τριβών υπολογίζονται ως} \quad \Delta h_m = \frac{u^2}{2g} \sum \zeta_i \quad (6.5)$$

όπου:

- ρ είναι η πυκνότητα του νερού (kg/m^3),
- u η ταχύτητα κίνησης του ρευστού (m/s),
- f ο συντελεστής τριβής, (καθαρός αριθμός),
- L τα μήκη των σωληνώσεων (m),
- D η διάμετρος του σωλήνα (m),
- ζ ο συντελεστής τοπικών απωλειών για κάθε εξάρτημα (καθαρός αριθμός).

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής τριβής υπολογίζεται από το διάγραμμα MOODY γνωρίζοντας κάθε φορά την τιμή του αριθμού Reynolds. Ως γνωστό ο αριθμός Reynolds είναι η παράμετρος που διαχωρίζει μια ροή (στρωτή ή τυρβώδη) και ορίζεται ως:

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \stackrel{v = \frac{\mu}{\rho}}{\Rightarrow} Re = \frac{u D}{\nu} \quad (6.6)$$

όπου

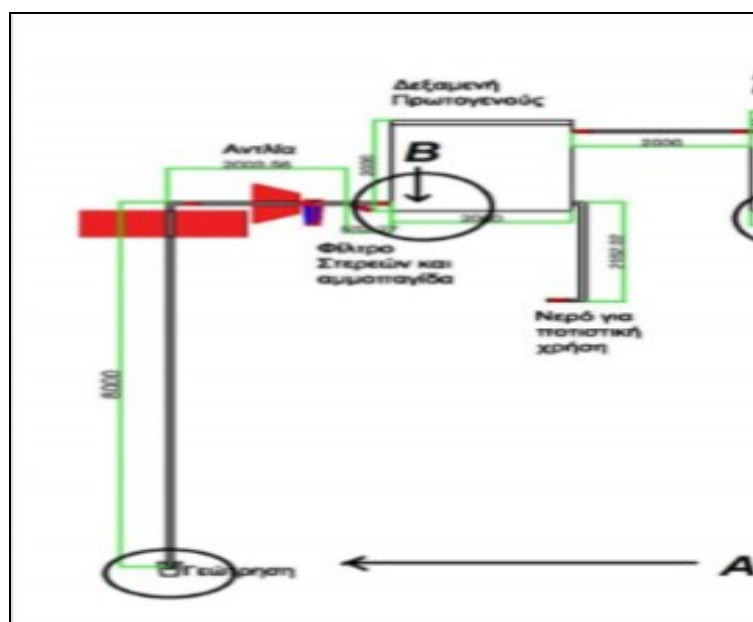
- ρ : η πυκνότητα του ρευστού,
- μ : το μοριακό ιξώδες του ρευστού,
- ν : το κινηματικό ιξώδες
- u : η ταχύτητα του ρευστού,
- D : η διάμετρος του αγωγού.

6.1 Υπολογισμός Απωλειών στη διαδρομή γεώτρηση – δεξαμενή πρωτογενούς. (AB)

Η μελέτη απωλειών ξεκινάει με το πρώτο τμήμα από την γεώτρηση μέχρι και την δεξαμενή πρωτογενούς. Στη διαδρομή αυτή που φαίνεται στην Εικ.31 περιλαμβάνεται το φίλτρο στερεών και η αμμοπαγίδα και η δεξαμενή πρωτογενούς καθώς και τα μήκη των σωληνώσεων φαίνονται. Στο αρχικό τμήμα **AB**, από την γεώτρηση μέχρι και την δεξαμενή πρωτογενούς λαμβάνονται υπόψη τα εξής στοιχεία:

➤ **$Q = 4\text{m}^3/\text{h}$ και $D = 1' = 25.4\text{mm} = 0.0254\text{m}$**

$$u_{AB} = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\pi \cdot (0.0254)^2 \text{m}^2} \Rightarrow u_{AB} = \frac{4 \cdot 4 \frac{\text{m}^3}{3600\text{s}}}{\pi \cdot (0.0254)^2 \text{m}^2} \Rightarrow \boxed{u_{AB} = 2.19\text{m/s}}$$



Εικόνα 31: Διάγραμμα Ροής του νερού στο τμήμα AB.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

- Για τη συγκεκριμένη ταχύτητα προκύπτει $Re \sim 49000$ και στη συνέχεια από το διάγραμμα Moody προκύπτει ο συντελεστής τριβής $f = 0.024$.
- Στο επόμενο βήμα υπολογίζονται οι απώλειες τριβών και γεωμετρίας στο συγκεκριμένο τμήμα.
- Οι απώλειες τριβών υπολογίζονται από τη σχέση $h_{f,AB} = f \left(\frac{L_A + L_B}{D} \right) \frac{u_{AB}^2}{2g}$
- Αντικαθιστώντας τις αριθμητικές τιμές θα είναι

$$h_{f,AB} = 0.024 \left(\frac{(8+2)\cancel{m}}{0.0254\cancel{m}} \right) \frac{(2.19)^2 \frac{m^2}{s^2}}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}} \Rightarrow h_{f,AB} = 2.31m$$

- Το μήκος απωλειών μετατρέπεται σε πίεση απωλειών εφαρμόζοντας τη σχέση:
 $\Delta P_{f,AB} = \rho g h_{f,AB} = 10^3 \cdot 9.81 \cdot 2.31 \text{ Pa} \Rightarrow \boxed{\Delta P_{f,AB} = 0.226 \text{ bar}}$.
- Οι απώλειες γεωμετρίας υπολογίζονται από τη σχέση $h_{m,AB} = \zeta \frac{u_{AB}^2}{2g}$
- Αντικαθιστώντας τις αριθμητικές τιμές θα είναι

$$h_{m,AB} = (1.5 + 1.5 + 2.5 + 7.5 + 1.5) \frac{(2.19)^2}{2 \cdot 9.81} m \Rightarrow h_{m,AB} = 3.54m .$$

Οι επιμέρους συντελεστές ζ_i που χρησιμοποιούνται φαίνονται στον Πίνακα 6.1

- Το μήκος γεωμετρικών απωλειών μετατρέπεται σε πίεση απωλειών:
 $\Delta P_{m,AB} = \rho g h_{m,AB} = 10^3 \cdot 9.81 \cdot 3.54 \cdot (10^{-5}) \text{ bar} \Rightarrow \boxed{\Delta P_{m,AB} = 0.348 \text{ bar}}$.
- Αθροιστικά οι απώλειες για το τμήμα (AB) είναι
 $\Delta P_{AB} = \Delta P_{f,AB} + \Delta P_{m,AB} = (0.227 + 0.348) \text{ bar} \Rightarrow \boxed{\Delta P_{AB} = 0.574 \text{ bar}}$

Δηλαδή προκύπτουν απώλειες πίεσης στο τμήμα AB των σωληνώσεων περίπου 0.6 bar.

Πίνακας 6.1 : Υπολογισμός Απωλειών στο τμήμα ΑΒ.

Απώλειες από γεώτρηση έως και την δεξαμενή πρωτογενούς (Α-Β)					
Ταχύτητα	2.19	m/s	Ταχύτητα ^ 2	4.796	
Διάμετρος	0.0254	m			
f	0.024				H_αντλίας1 (m)
Hgeo (m)	8				13.854
g (m/s ²)	9.81				
Μήκος Α	8	m			
Μήκος Β	2	m			
Συντελεστής		Είδος		Ποσότητα	Μοναδιαία τιμή
ζ1	1.5	βάνα		x3	0.5
ζ2	1.5	γωνία		x1	1.5
ζ3	2.5	αντλία		x1	2.5
ζ4	7.5	φίλτρα		x1	7.5
ζ5	1.5	παγίδα		x1	1.5
Σζ	14.5				
ΣL (m)	10				
Q(m ³ /s)	0.00111		Re	48795	
v	0.00000114		f	0.024	Moody Diagram
A(m ²)	0.00050645		h _f (m)	2.31	
			P _f (bar)	0.227	
			h _m (m)	3.54	
			P _m (bar)	0.348	
			ΔP _{AB} (bar)	0.574	

6.1.1 Σύνδεση απωλειών πίεσης με την Αντλία Wilo -MultiPress HMP 305.

Όπως έχει αναφερθεί και νωρίτερα σε ένα σύστημα κλειστών αγωγών είναι δυνατόν να υπάρχουν διαφόρων διατομών ευθύγραμμοι αγωγοί και πολλές αιτίες τοπικών απωλειών ενέργειας. Σε αυτή τη γενική περίπτωση το ολικό ύψος των ενεργειακών απωλειών θα δίνεται ως άθροισμα των επιμέρους **απωλειών λόγω τριβών** και των επιμέρους **τοπικών απωλειών** και θα εκφράζεται από τη σχέση

$$\Delta h = \sum_i \left(f_i \frac{l_i}{D_i} \frac{u_i^2}{2g} \right) + \sum_j \left(K_j \frac{u_j^2}{2g} \right) \quad (6.7)$$

ή σε μια πιο συνοπτική μορφή $\Delta h = C_\tau Q^2$ (6.8)

όπου C_τ είναι ο **συντελεστής αντίστασης απωλειών** με διαστάσεις T²/L⁵. Ο συντελεστής C_τ θα εξαρτάται δηλαδή κατά βάση από ροϊκά όσο και από τα κατασκευαστικά στοιχεία του συστήματος αγωγών και θα ρίζεται από τον συνδυασμό των σχέσεων (1.11), (1.12) & (1.13).

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

$$C_\tau = \sum_i \left(f_i \frac{l_i}{D_i} \frac{1}{2g} \frac{1}{A_i^2} \right) + \sum_j \left(K_j \frac{1}{2g} \frac{1}{A_j^2} \right) \quad (6.9)$$

Εφαρμόζοντας τις παραπάνω εκφράσεις για την διαδρομή AB θα είναι:

$$\Delta h_{AB} = \frac{1}{2gA^2} \left(f \frac{L_{AB}}{D_{AB}} + \sum \zeta_{AB} \right) \cdot Q^2 \quad (6.10)$$

Αντικαθιστώντας τις αριθμητικές τιμές για τα δεδομένα του συγκεκριμένου τμήματος

$$\Delta h_{AB} = \frac{\left(0.024 \frac{10}{0.0254} + 14.5 \right)}{2 \cdot 9.81 \frac{\pi (0.0254)^2}{4}} \cdot Q^2 \Rightarrow \Delta h_{AB} = 2408.95 \cdot Q^2 \text{ (m) δηλ. της μορφής } \Delta h = C_\tau Q^2$$

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής απωλειών C_τ όταν η παροχή δίνεται στο S.I έχει μονάδες (s^2/m^5) ώστε οι απώλειες να έχουν μονάδες μήκους. Αυτό αποδεικνύεται ως εξής:

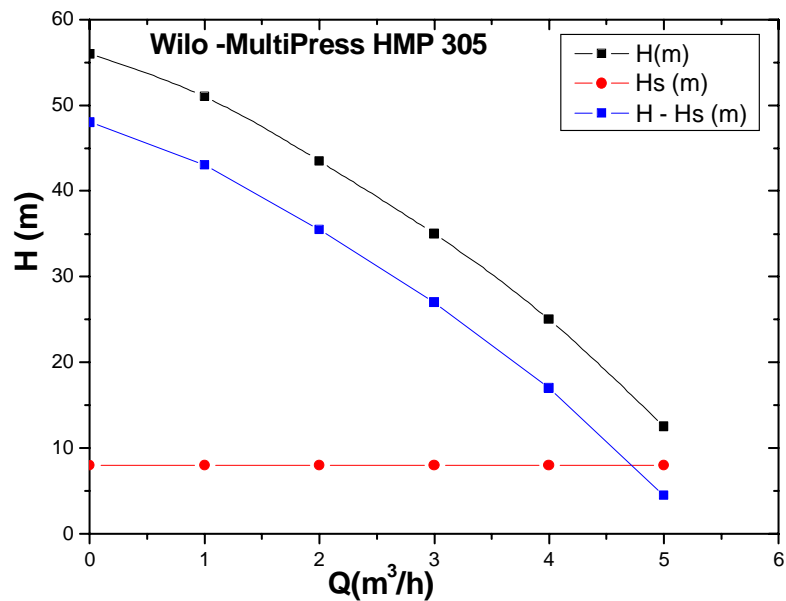
$$\Delta h = C_\tau Q^2 \Rightarrow (m) \sim C_\tau \left(\frac{m^3}{s} \right)^2 \Rightarrow C_\tau \sim \left(\frac{s^2}{m^5} \right)$$

Στην περίπτωση (όπως και συνηθίζεται) που η παροχή δίνεται σε (m^3/h) τότε για να προκύπτουν οι απώλειες σε m, ο συντελεστής απωλειών θα πρέπει να μπαίνει στη σχέση ως

$$\Delta h_{AB} = \left(C_\tau / 3600^2 \right) \cdot Q^2 \quad (6.11)$$

Χρησιμοποιώντας τη σχέση (6.11) κατά τον υπολογισμό των απωλειών της σωληνογραμμής στο τμήμα AB για τη χρησιμοποιούμενη αντλία Wilo-MultiPress HMP 305 προκύπτει το διάγραμμα

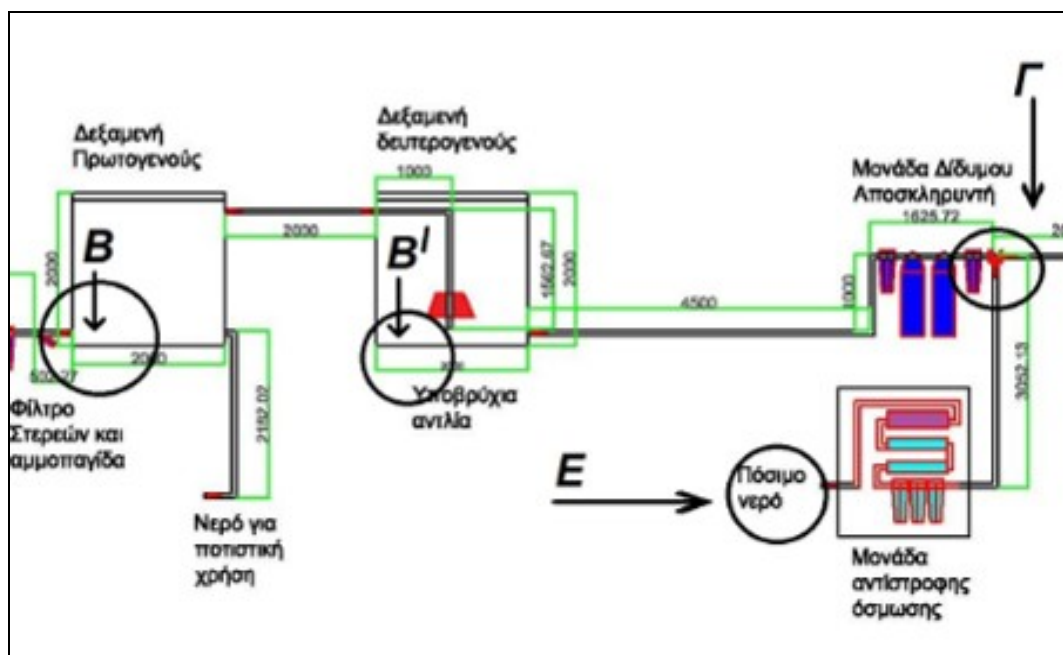
Στο διάγραμμα της εικ.32 δίνεται η χαρακτηριστική της αντλίας (μαύρη γραμμή) όπως δίνεται από τον κατασκευαστή. Οι υπολογισμένες απώλειες στο τμήμα της διαδρομής AB δίνονται με την κόκκινη γραμμή ενώ η διαφορά των παραπάνω δύο καμπυλών δίνεται με μπλε γραμμή. Από το διάγραμμα προκύπτει ότι οι απώλειες είναι πάντα πολύ μικρές τόσες που δεν προκύπτει σημείο τομής με τη χαρακτηριστική της αντλίας ενώ το βέλτιστο σημείο λειτουργίας τείνει προς τις μεγαλύτερες παροχές. Το καθαρό ύψος στην παροχή λειτουργίας της εγκατάστασης ($Q = 4m^3/h$) προκύπτει πάνω από 15μ οπότε η αντλία μπορεί άνετα να αντισταθμίσει τις απώλειες που υπολογίστηκαν περίπου σε 5.85μ.



Εικόνα 32: Διάγραμμα χαρακτηριστικής αντλίας σε 2900 rpm και εξίσωσης σωληνογραμμής.

6.2 Υπολογισμός Απωλειών στη διαδρομή Δεξαμενή Δευτερογενούς – Μονάδα Αποσκλήρυντή. (B'Γ).

Θεωρώντας ότι οι απώλειες μεταξύ πρωτογενούς και δευτερογενούς δεξαμενής είναι μηδαμινές η μελέτη απωλειών συνεχίζεται στο τμήμα (B'Γ).



Εικόνα 33: Διάγραμμα Ροής του νερού στο τμήμα B'Γ.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

Στο τμήμα Β'Γ, από την δεξαμενή δευτερογενούς μέχρι και την διακλάδωση μετά τη μονάδα του Αποσκληρυντή ισχύουν τα εξής στοιχεία:

➤ **$Q = 6 \text{ m}^3/\text{h}$ και $D = 1' = 25.4\text{mm} = 0.0254\text{m}$**

$$u_{B\Gamma} = \frac{4Q_{B\Gamma}}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\pi \cdot (0.0254)^2 \text{ m}^2} \Rightarrow u_{B\Gamma} = \frac{4 \cdot 6 \frac{\text{m}^3}{3600\text{s}}}{\pi \cdot (0.0254)^2 \cancel{\text{m}^2}} \Rightarrow u_{B\Gamma} = 3.29 \text{ m/s}$$

➤ Ο αριθμός Re υπολογίστηκε ως $Re = 73000$ περίπου και από το διάγραμμα Moody προέκυψε ο συντελεστής τριβών $f = 0.022$.

➤ Στο επόμενο βήμα υπολογίζονται οι απώλειες τριβών και γεωμετρίας στο συγκεκριμένο τμήμα.

➤ Οι απώλειες τριβών υπολογίζονται από τη σχέση $h_{f,B\Gamma} = f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{u_{B\Gamma}^2}{2g}$

➤ Αντικαθιστώντας τις αριθμητικές τιμές θα είναι

$$h_{f,B\Gamma} = 0.022 \left(\frac{7 \cancel{\text{m}}}{0.0254 \cancel{\text{m}}} \right) \frac{(3.29)^2 \frac{\text{m}^2}{\cancel{\text{s}^2}}}{2 \cdot 9.81 \frac{\cancel{\text{m}}}{\cancel{\text{s}^2}}} \Rightarrow h_{f,B\Gamma} = 3.34 \text{ m}$$

➤ Το μήκος απωλειών μετατρέπεται σε πίεση απωλειών εφαρμόζοντας τη σχέση:

$$\Delta P_{f,B\Gamma} = \rho g h_{f,B\Gamma} = 10^3 \cdot 9.81 \cdot 3.29 \text{ Pa} \Rightarrow \boxed{\Delta P_{f,B\Gamma} = 0.328 \text{ bar}}$$

➤ Οι απώλειες γεωμετρίας υπολογίζονται από τη σχέση $h_{m,B\Gamma} = \sum \zeta_{B\Gamma} \frac{u_{B\Gamma}^2}{2g}$

➤ Αντικαθιστώντας τις αριθμητικές τιμές θα είναι

$$h_{m,B\Gamma} = (1.5 + 3.0 + 1.5 + 2.5 + 1.5) \frac{(3.29)^2}{2 \cdot 9.81} \text{ m} \Rightarrow h_{m,B\Gamma} = 5.52 \text{ m}$$

Οι επιμέρους συντελεστές ζ_i που χρησιμοποιούνται φαίνονται στον Πίνακα 6.2

➤ Το μήκος γεωμετρικών απωλειών μετατρέπεται σε πίεση απωλειών:

$$\Delta P_{m,B\Gamma} = \rho g h_{m,B\Gamma} = 10^3 \cdot 9.81 \cdot 5.52 \cdot (10^{-5}) \text{ bar} \Rightarrow \boxed{\Delta P_{m,B\Gamma} = 0.541 \text{ bar}}$$

➤ Αθροιστικά οι απώλειες στο δεύτερο τμήμα (B'Γ) είναι:

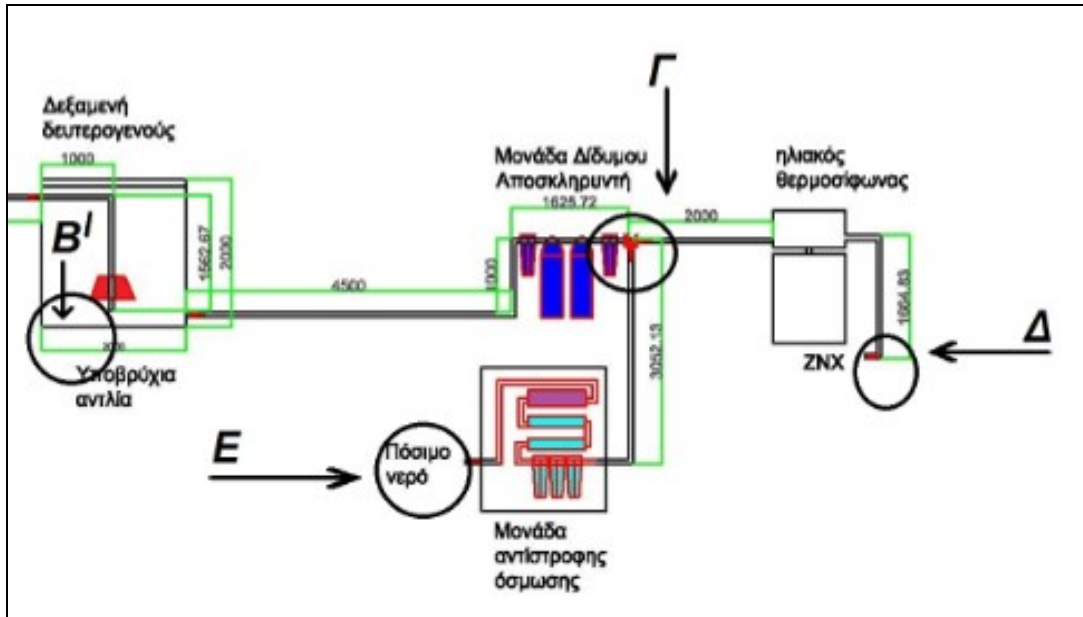
$$\Delta P_{B\Gamma} = \Delta P_{f,B\Gamma} + \Delta P_{m,B\Gamma} = (0.328 + 0.541) \text{ bar} \Rightarrow \boxed{\Delta P_{B\Gamma} = 0.869 \text{ bar}}$$

Δηλαδή προκύπτουν απώλειες πίεσης στο τμήμα Β'Γ των σωληνώσεων περίπου 0.9 bar.

Πίνακας 6.2 : Υπολογισμός Απωλειών στο τμήμα Β'Γ.

Απώλειες από δεξαμενή δευτερογενούς (υποβρύχια αντλία) έως και την διακλάδωση (Β'-Γ).					
Ταχύτητα	3.29	m/s	Ταχύτητα ^ 2	10.824	
Διάμετρος	0.0254	m			
f	0.022				H_αντλίας2 (m)
H _{geo} (m)	0.3	m			9.162
g (m/s ²)	9.81	m/s ²			
Μήκος (Β'Γ)	7	m			
Συντελεστής		Είδος		Ποσότητα	Μοναδιαία τιμή
ζ1	1.5	βάνα		x3	0.5
ζ2	3	φίλτρα		x1	3.0
ζ3	1.5	διακλάδωση		x1	1.5
ζ4	2.5	αντλία		x1	2.5
ζ5	1.5	γωνία		x1	1.5
Σζ	10				
ΣL (m)	7				
Q(m ³ /s)	0.00167		Re	73304	
v	0.00000114		f	0.022	Moody Diagram
A(m ²)	0.00050645		h _f (m)	3.34	
			P _f (bar)	0.328	
			h _m (m)	5.52	
			P _m (bar)	0.541	
			ΔP _{Β'Γ} (bar)	0.869	

6.3 Υπολογισμός Απωλειών στη διαδρομή ΓΔ. (Διακλάδωση Γ - Έξοδος Ζεστού Νερού Χρήσης ΖΝΧ).



Εικόνα 34: Διάγραμμα Ροής του νερού στο τμήμα ΓΔ.

Στο τμήμα ΓΔ, από την διακλάδωση μέχρι και την έξοδο του ΖΝΧ (Ζεστό Νερό Χρήσης) ισχύουν τα εξής στοιχεία:

- $Q = 6 \text{ m}^3/\text{h}$ και $D = \frac{3}{4} \text{ ' } = 19,05\text{mm} = 0.019\text{m}$

$$u_{\Gamma\Delta} = \frac{4Q_{\Gamma\Delta}}{\pi D_{\Gamma\Delta}^2} = \frac{4 \cdot 6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\pi \cdot (0.019)^2 \text{ m}^2} \Rightarrow u_{\Gamma\Delta} = \frac{4 \cdot 6 \frac{\text{m}^3}{3600\text{s}}}{\pi \cdot (0.019)^2 \text{ m}^2} \Rightarrow u_{\Gamma\Delta} = 5.88 \text{ m/s}$$

Θεωρώντας ότι η ροή στη διακλάδωση Γ, διαχωρίζεται στον ηλιακό θερμοσίφωνα και στο υπόλοιπο κύκλωμα προς την επιχείρηση, με σωλίνες ίδιας διαμέτρου και διατομής, το νερό σε κάθε κλάδο θα υποδιαιρείται κινούμενο με τη μισή ταχύτητα από την υπολογισθείσα δηλ.

$$u_{\Gamma\Delta} = u_{\Gamma\text{E}} = 2.94 \text{ m/s}$$

Για τα επιμέρους τμήματα της ροής μετά τη διακλάδωση ο αριθμός Reynolds υπολογίστηκε σε $Re=49000$ περίπου και από το διάγραμμα Moody ο συντελεστής απωλειών υπολογίστηκε σε $f=0.024$.

- Οι απώλειες τριβών υπολογίζονται από τη σχέση $h_{f,\Gamma\Delta} = f_{\Gamma\Delta} \left(\frac{L_{\Gamma\Delta}}{D_{\Gamma\Delta}} \right) \frac{u_{\Gamma\Delta}^2}{2g}$

- Αντικαθιστώντας τις αριθμητικές τιμές θα είναι

$$h_{f,\Gamma\Delta} = 0.024 \left(\frac{4 \text{ m}}{0.019 \text{ m}} \right) \frac{(2.94)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \Rightarrow h_{f,\Gamma\Delta} = 2.22 \text{ m}$$

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

- Το μήκος απωλειών μετατρέπεται σε πίεση απωλειών εφαρμόζοντας τη σχέση:

$$\Delta P_{f,\Gamma\Delta} = \rho g h_{f,\Gamma\Delta} = 10^3 \cdot 9.81 \cdot 2.22 \cdot (10^{-5}) \text{ bar} \Rightarrow \boxed{\Delta P_{f,\Gamma\Delta} = 0.218 \text{ bar}}$$

- Οι απώλειες γεωμετρίας υπολογίζονται από τη σχέση $h_{m,\Gamma\Delta} = \sum \zeta_{\Gamma\Delta} \frac{u_{\Gamma\Delta}^2}{2g}$

- Αντικαθιστώντας τις αριθμητικές τιμές θα είναι

$$h_{m,\Gamma\Delta} = (1.5 + 1.0 + 1.0 + 3.5 + 14) \frac{(2.94)^2}{2 \cdot 9.81} \text{ m} \Rightarrow h_{m,\Gamma\Delta} = 9.25 \text{ m}$$

Οι επιμέρους συντελεστές ζ_i που χρησιμοποιούνται φαίνονται στον Πίνακα 6.3

- Το μήκος γεωμετρικών απωλειών μετατρέπεται σε πίεση απωλειών:

$$\Delta P_{m,\Gamma\Delta} = \rho g h_{m,\Gamma\Delta} = 10^3 \cdot 9.81 \cdot 9.25 \cdot (10^{-5}) \text{ bar} \Rightarrow \boxed{\Delta P_{m,\Gamma\Delta} = 0.91 \text{ bar}}$$

- Αθροιστικά οι απώλειες στο τμήμα (ΓΔ) είναι

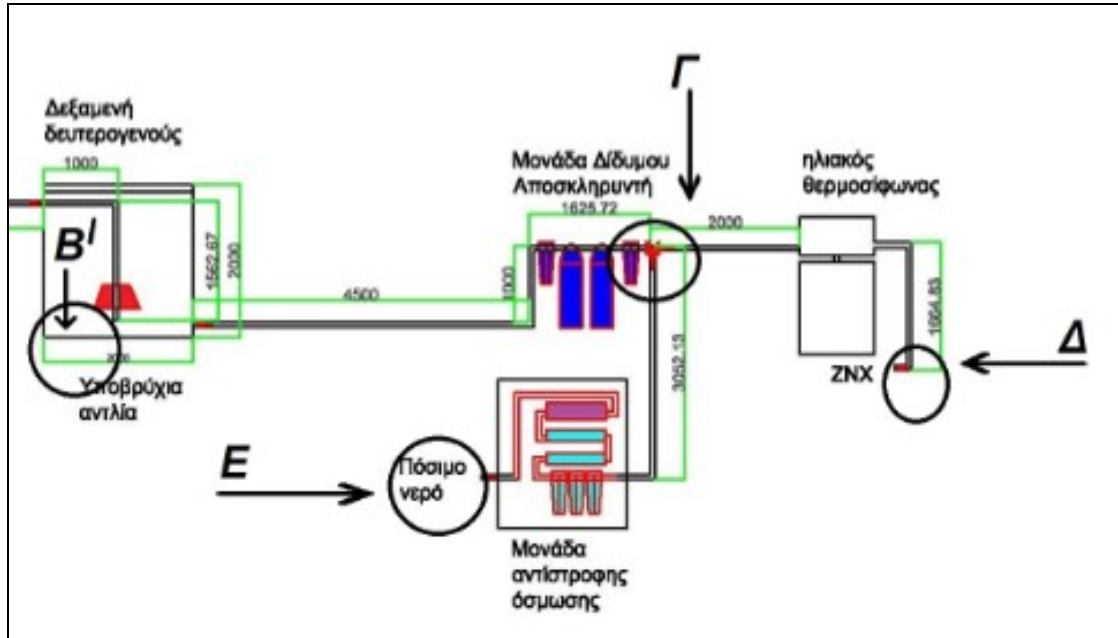
$$\Delta P_{\Gamma\Delta} = \Delta P_{f,\Gamma\Delta} + \Delta P_{m,\Gamma\Delta} = (0.218 + 0.908) \text{ bar} \Rightarrow \boxed{\Delta P_{\Gamma\Delta} = 1.126 \text{ bar}}$$

Δηλαδή προκύπτουν απώλειες πίεσης στο τμήμα ΓΔ των σωληνώσεων περίπου 1.125 bar. Αναλυτικά ο υπολογισμός των απωλειών για το συγκεκριμένο τμήμα του κυκλώματος δίνεται στον Πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3 : Υπολογισμός Απωλειών στο τμήμα ΓΔ.

Απώλειες από διακλάδωση (Γ) έως και την έξοδο του ΖΝΧ (διαδρομή ΓΔ)					
Ταχύτητα	2.94	m/s	Ταχύτητα ^ 2	8.644	
Διάμετρος	0.01905	m			
f	0.024				
Hgeo (m)	0.3	m			
g (m/s ²)	9.81	m/s ²			
Μήκος (ΓΔ)	4	m			
Συντελεστής		Είδος		Ποσότητα	Μοναδιαία τιμή
ζ1	1.5	διακλάδωση		x1	1.5
ζ2	1	γωνία		x2	0.5
ζ3	1	βάνα		x2	0.5
ζ4	3.5	διακόπτης		x1	3.5
ζ5	14	ηλιακός		x1	14
Σζ	21				
ΣL (m)	4				
Q(m ³ /s)	0.00167		Re	49129	
v	0.00000114		f	0.024	Moody Diagram
A(m ²)	0.00028488		h _f (m)	2.22	
			P _f (bar)	0.218	
			h _m (m)	9.25	
			P _m (bar)	0.908	
			ΔP_{ΓΔ} (bar)	1.125	

6.4 Υπολογισμός Απωλειών στη διαδρομή ΓΕ. (Διακλάδωση Αποσκληρυντή – Έξοδος νερού εμπορικής χρήσης).



Εικόνα 35: Διάγραμμα Ροής του νερού στο τμήμα ΓΕ

Στο τμήμα ΓΕ, από την διακλάδωση (Γ) μέχρι και την έξοδο του νερού πόσιμου πλέον για οποιαδήποτε εμπορική χρήση, ισχύουν τα εξής στοιχεία:

➤ **$Q = 6 \text{ m}^3/\text{h}$ και $D = \frac{3}{4} \text{ ' } = 19,05\text{mm} = 0.019\text{m}$**

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, λόγω του ότι η ροή στη διακλάδωση Γ, διαχωρίζεται στον ηλιακό θερμοσίφωνα και στο υπόλοιπο κύκλωμα προς την επιχείρηση, με σωλίνες ίδιας διαμέτρου και διατομής, το νερό σε κάθε κλάδο θα υποδιαιρείται κινούμενο με τη μισή ταχύτητα από την υπολογισθείσα δηλ. $u_{\Gamma\Delta} = u_{\Gamma E} = 2.94 \text{ m/s}$. Με την ταχύτητα αυτή προκύπτει αριθμός $Re \sim 49000$ και από διάγραμμα Moody ο συντελεστής απωλειών υπολογίστηκε ως $f = 0.024$.

➤ Οι απώλειες τριβών υπολογίζονται από τη σχέση $h_{f,\Gamma E} = f_{\Gamma E} \left(\frac{L_{\Gamma E}}{D_{\Gamma E}} \right) \frac{u_{\Gamma E}^2}{2g}$

➤ Αντικαθιστώντας τις αριθμητικές τιμές θα είναι

$$h_{f,\Gamma E} = 0.024 \left(\frac{4 \text{ m}}{0.019 \text{ m}} \right) \frac{(2.94)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \Rightarrow h_{f,\Gamma E} = 2.22 \text{ m}$$

➤ Το μήκος απωλειών μετατρέπεται σε πίεση απωλειών εφαρμόζοντας τη σχέση:

$$\Delta P_{f,\Gamma E} = \rho g h_{f,\Gamma E} = 10^3 \cdot 9.81 \cdot 2.22 \cdot (10^{-5}) \text{ bar} \Rightarrow \boxed{\Delta P_{f,\Gamma E} = 0.218 \text{ bar}}$$

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

- Οι απώλειες γεωμετρίας υπολογίζονται από τη σχέση $h_{m,ΓΕ} = \sum \zeta_{ΓΕ} \frac{u_{ΓΕ}^2}{2g}$

- Αντικαθιστώντας τις αριθμητικές τιμές θα είναι

$$h_{m,ΓΔ} = (1.5 + 1.0 + 1.0 + 3.5 + 7.5) \frac{(2.94)^2}{2 \cdot 9.81} m \Rightarrow h_{m,ΓΔ} = 6.39m$$

Οι επιμέρους συντελεστές ζ_i που χρησιμοποιούνται φαίνονται στον Πίνακα 6.4

- Το μήκος γεωμετρικών απωλειών μετατρέπεται σε πίεση απωλειών:

$$\Delta P_{m,ΓΔ} = \rho g h_{m,ΓΔ} = 10^3 \cdot 9.81 \cdot 6.39 \cdot (10^{-5}) \text{ bar} \Rightarrow \boxed{\Delta P_{m,ΓΔ} = 0.627 \text{ bar}}$$

- Αθροιστικά οι απώλειες στο τμήμα (ΓΔ) είναι

$$\Delta P_{ΓΔ} = \Delta P_{f,ΓΔ} + \Delta P_{m,ΓΔ} = (0.218 + 0.627) \text{ bar} \Rightarrow \boxed{\Delta P_{ΓΔ} = 0.845 \text{ bar}}$$

Δηλαδή προκύπτουν απώλειες πίεσης στο τμήμα ΓΕ των σωληνώσεων περίπου 0.9 bar στρογγυλοποιώντας προς τα άνω.

Πίνακας 6.4 : Υπολογισμός Απωλειών στο τμήμα ΓΕ.

Απώλειες από διακλάδωση (Γ) μέχρι και την έξοδο του πόσιμου νερού (ΓΕ)					
Ταχύτητα	2.94	m/s	Ταχύτητα ^ 2	8.644	
Διάμετρος	0.01905	m			
f	0.024				
H _{geo} (m)	0.3	m			
g (m/s ²)	9.81	m/s ²			
	0	m			
Μήκος (ΓΕ)	4	m			
Συντελεστής		Είδος		Ποσότητα	Μοναδιαία τιμή
ζ ₁	1.5	διακλάδωση		x1	1.5
ζ ₂	1	γωνία		x2	0.5
ζ ₃	1	βάνα		x1	1
ζ ₄	3.5	διακόπτης		x1	3.5
ζ ₅	7.5	μονάδας ώσμωσης		x1	7.5
Σζ	14.5				
ΣL (m)	4				
Q(m ³ /s)	0.00167		Re	49129	
v	0.00000114		f	0.024	Moody Diagram
A(m ²)	0.00028488		h _f (m)	2.22	
			P _f (bar)	0.218	
			h _m (m)	6.39	
			P _m (bar)	0.627	
			ΔP _{AB} (bar)	0.844	

6.5 Συνολικές Απώλειες του κυκλώματος.

Συγκεντρωτικά οι παροχές, οι απώλειες του κυκλώματος (σε μονάδες μήκους και σε μονάδες πίεσης) σε όλες τις επιμέρους διαδρομές συνοψίζονται στον Πίνακα 6.5. Παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες απώλειες εμφανίζονται στη διαδρομή ΓΔ που οδηγεί στην έξοδο ζεστού νερού χρήσης. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι απώλειες εμφανίζονται μεγαλύτερες στο συγκεκριμένο τμήμα της διαδρομής του νερού λόγω του ότι αυτό διέρχεται μέσα από τον ηλιακό συλλέκτη στον οποίο το νερό ακολουθεί διαδρομές με πολλές αλλαγές γεωμετρίας (π.χ σωληνογωνίες).

Παρόλα αυτά αν και οι συνολικές απώλειες σε μονάδες μήκους υπολογίστηκαν σε 34.79μ ή σε 3.414bar δεν προκύπτει κανένα πρόβλημα κατά τη λειτουργία του κυκλώματος υποβοηθούμενο από τις αντλίες που παρεμβάλλονται.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

Υπενθυμίζεται ότι στο τμήμα ΑΒ στο οποίο συνυπολογίζεται η άντληση του νερού από τη γεώτρηση σύμφωνα και με τον πίνακα χαρακτηριστικών της αντλίας στην παροχή λειτουργίας ($4\text{m}^3/\text{h}$) το μανομετρικό της είναι περίπου 25m (§5.2 Εικ.18) οπότε οι απώλειες υπερκαλύπτονται.

Πίνακας 6.5 Συγκεντρωτικές Απώλειες του υπό μελέτη κυκλώματος.

Συνολικά Χαρακτηριστικά του κυκλώματος.			
Διαδρομές	Q(m^3/h)	$\Delta h(\text{m})$	$\Delta P(\text{bar})$
ΑΒ	4	5.85	0.574
Β'Γ	6	8.86	0.869
ΓΔ	3	11.47	1.126
ΓΕ	3	8.61	0.845
Συνολικές Απώλειες		34.79	3.414

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού,
Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους

Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

7 Προτάσεις βελτίωσης της αντλητικής εγκατάστασης.

Στο κεφάλαιο αυτό προτείνονται επεμβάσεις της υπάρχουσας εγκατάστασης με στόχο την βελτιστοποίηση της παραπάνω περιγραφόμενης εγκατάστασης και καλύτερους αυτοματισμούς.

7.1 Αντληση από γεώτρηση με έλεγχο στάθμης δεξαμενής.

Όταν το αντλούμενο νερό οδηγείται σε δεξαμενή, μπορεί να τοποθετηθεί σε αυτή ένας διακόπτης στάθμης (φλοτεροδιακόπτης ή διακόπτης ακίδων), που θα συνδέεται με τον αυτόματο διακόπτη του ηλεκτροκινητήρα. Ο διακόπτης αυτός δίνει την εντολή για το ξεκίνημα του κινητήρα όταν κατεβαίνει η στάθμη του νερού της δεξαμενής κάτω από ένα ορισμένο σημείο και το σταμάτημα όταν το νερό φθάνει στην ανώτατη επιθυμητή στάθμη. Βασικές προϋποθέσεις για τη λειτουργία της αντλίας με διακόπτη στάθμης είναι οι παρακάτω :

- Η αντλία να είναι αυτόματης αναρρόφησης ή πομόνα ή υποβρύχια. Αντλία με ποδοβαλβίδα (ποτήρι) δεν προσφέρεται για αυτόματη λειτουργία,
- Η αντλία να είναι ηλεκτροκίνητη, ώστε να είναι δυνατός ο αυτοματισμός της,
- Το αντλούμενο νερό να έχει σταθερή κατώτατη στάθμη, ώστε να μην αδειάζει τελείως το πηγάδι και λειτουργεί η αντλία χωρίς νερό,
- Αν η στάθμη του νερού του πηγαδιού κατεβαίνει κάτω από ένα επιθυμητό σημείο, πρέπει να τοποθετούμε και στο πηγάδι διακόπτη στάθμης, ώστε να λειτουργεί ο κινητήρας της αντλίας μόνο όταν το πηγάδι έχει νερό,
- Να είναι δυνατή η εγκατάσταση ηλεκτρικής γραμμής από το αντλιοστάσιο μέχρι τη δεξαμενή,
- Αν είναι αδύνατη η εγκατάσταση γραμμής αυτόματης λειτουργίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί διάταξη ασύρματου τηλεχειρισμού. Απαραίτητες προϋποθέσεις για τον ασύρματο τηλεχειρισμό είναι η εκπομπή κωδικοποιημένης συχνότητας, τόσο για το ξεκίνημα όσο και για το σταμάτημα και η ύπαρξη τάσης στον χώρο της δεξαμενής.

7.1.1 Αντληση από βαθιά πηγάδια με μεγάλη διακύμανση στάθμης.

Όπως ισχύει, μια φυγόκεντρη αντλία δεν μπορεί να αναρροφήσει νερό από μεγάλο βάθος. Αν και θεωρητικά το βάθος αναρρόφησης πλησιάζει τα 10 μέτρα, δεν πρέπει ποτέ να ξεπερνάει τα 7 μέτρα. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση της αντλίας από τη στάθμη του νερού, τόσο καλύτερη απόδοση έχει η αντλία.

Όταν το πηγάδι έχει μεγάλο βάθος, συνηθίζεται η τοποθέτηση της αντλίας πάνω σε πατάρι που κατασκευάζεται μέσα στο πηγάδι ή μέσα σε βοηθητικό πηγάδι (παραπήγαδο) κατά τρόπο που το σημείο αναρρόφησης να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην αντλία. Πολλές φορές όμως, επειδή η παροχή του νερού στο πηγάδι είναι μικρή, κατασκευάζονται πηγάδια βαθιά, με σκοπό να εξασφαλιστεί μεγάλη χωρητικότητα ή να αυξηθεί παροχή νερού αν και ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε πολύ μικρό βάθος. Έτσι, η ανώτατη στάθμη του νερού (πριν αρχίσει η άντληση) απέχει πολύ από το κατώτατο σημείο αναρρόφησης. Σε αυτή την

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

περίπτωση αν τοποθετηθεί η αντλία πάνω από την ανώτατη στάθμη του νερού, δεν θα μπορεί να αντλήσει το νερό όταν θα κατέβει η στάθμη κάτω από ένα ορισμένο σημείο.

Για την αντιμετώπιση τέτοιου προβλήματος επιβάλλεται η χρήση υποβρύχιας αντλίας, ώστε να τοποθετηθεί στο κατώτερο σημείο αναρρόφησης και να μπορεί να αντλήσει σχεδόν όλο το νερό. Είναι, επίσης, δυνατή η τοποθέτηση στροβιλοφόρας αντλίας (πομόνας) με την προϋπόθεση ότι ο σκοπός της άντλησης και η ποσότητα του νερού θα δικαιολογούν τη σημαντικά υψηλότερη δαπάνη της. Όταν πρόκειται να αντληθούν μεγάλες ποσότητες νερού σε μεγάλο μανομετρικό ύψος η εγκατάσταση πομόνας αποτελεί την πιο συμφέρουσα λύση.

Επίσης, όταν το νερό είναι λίγο και το πηγάδι αδειάζει γρήγορα ή οι ανάγκες σε νερό είναι μικρές (πότισμα μικρού κτήματος) προτιμάται η υποβρύχια αντλία που και πολύ φθηνότερη είναι και μπορεί να επιλεχτεί για πολύ μικρή παροχή νερού, πράγμα που δεν συμβαίνει στην πομόνα. Πρέπει, ακόμη, να ειπωθεί ότι η εγκατάσταση πομόνας προϋποθέτει τριφασική ηλεκτρική παροχή και αν προορίζεται για πότισμα απαιτεί συγκατάθεση της αρμόδιας διεύθυνσης γεωργίας. Αυτή η συγκατάθεση δεν δίνεται για πολύ μικρά κτήματα.

Αντίθετα, υπάρχουν υποβρύχιας αντλίες για διάφορα μανομετρικά ύψη και για διάφορες παροχές. Οι μικρές υποβρύχιας αντλίες κατασκευάζονται και με μονοφασικούς κινητήρες που μπορούν να τροφοδοτηθούν και από μονοφασική οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση ή από μικρή μονοφασική ηλεκτρογεννήτρια.

7.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Πομόνας.

Η πομόνα πλεονεκτεί απέναντι στην υποβρύχια και την φυγόκεντρη αντλία στα παρακάτω σημεία :

- Μπορεί να αντλήσει μεγαλύτερη ποσότητα νερού.
- Μπορεί να μεταφέρει το νερό σε μεγαλύτερο μανομετρικό ύψος.
- Έχει σχετικά μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.
- Μπορεί να λειτουργήσει με πετρελαιομηχανή στην περίπτωση που δεν υπάρχει δυνατότητα ηλεκτροδότησης.
- Μπορεί να αντλήσει νερό θολό ή νερό με μεγάλη ποσότητα άμμου.

Η ίδια αντλία μειονεκτεί στα εξής σημεία:

- Έχει μεγάλο κόστος προμήθειας και εγκατάστασης.
- Έχει μεγάλο κόστος συντήρησης.
- Δεν μπορεί να λειτουργήσει σε μικρές παροχές νερού (κάτω από 8 κυβικά μέτρα την ώρα). Για αυτό το λόγο, όταν υπάρχει γεώτρηση με μικρή ποσότητα νερού, αναγκαστικά προτιμάται η λύση της υποβρύχιας αντλίας, με την προϋπόθεση ότι πριν από την τοποθέτησή της θα γίνει καλός καθαρισμός της γεώτρησης με αέρα ή πομόνα ή αντλία με τζιφάρι, ώστε η κανονική αντλία να λειτουργήσει σε καθαρό νερό.

7.3 Τροφοδότηση πιεστικού δοχείου από πηγάδι ή γεώτρηση.

Όταν η αντλία που τροφοδοτεί το πιεστικό δοχείο παίρνει το νερό από πηγάδι, δεν πρέπει να είναι κοινή φυγόκεντρη με ποτήρι, διότι υπάρχει κίνδυνος να πάρει αέρα και να διακοπεί η αυτόματη λειτουργία του πιεστικού δοχείου, πράγμα ανεπιθύμητο αφού δεν εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη παροχή νερού στην κατανάλωση με την επιθυμητή πίεση και η αντλία κινδυνεύει

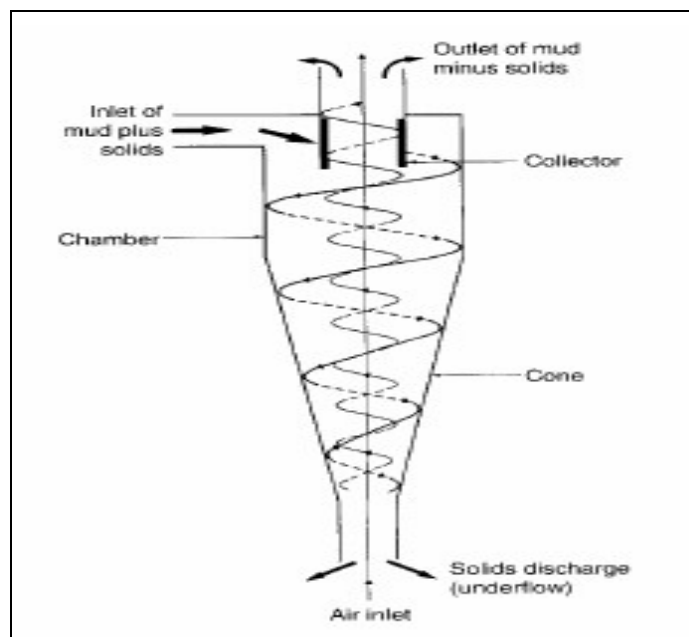
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

να καταστραφεί από τη λειτουργία της χωρίς νερό. Για αυτό το λόγο, επιβάλλεται η χρήση αντλίας αυτόματης αναρρόφησης ή υποβρύχιας, ώστε να αποφεύγεται η ανεπιθύμητη διακοπή της τροφοδότησης με νερό.

Στην περίπτωση άντλησης νερού από γεώτρηση με βάθος μεγαλύτερο από 8μ., ως καταλληλότερη λύση κρίνεται η υποβρύχια αντλία. Σε σπάνιες περιπτώσεις που το πιεστικό δοχείο έχει μεγάλη χωρητικότητα (πάνω από 2.000 λίτρα), θα μπορούσε το νερό της γεώτρησης να αντληθεί με πομόνα. Σε αυτές τις περιπτώσεις (πηγάδια και γεωτρήσεις) η αντλία που τροφοδοτεί το πιεστικό δοχείο, πρέπει να επιλέγεται και ρυθμίζεται για το διαθέσιμο νερό, ώστε να μην προκαλεί το άδειασμα του πηγαδιού ή της γεώτρησης και την ξηρή λειτουργία της. Σε αντίθετη περίπτωση, επιβάλλεται πρόσθετη αυτόματη διάταξη (διακόπτη ροής), ώστε να μη λειτουργεί η αντλία όταν δεν υπάρχει νερό στο πηγάδι ή στη γεώτρηση.

7.4 Βελτίωση με ολική αφαίρεση άμμου – Υδροκυκλώνας.

Το νερό μπορεί να διοχετευτεί μέσω της φυγοκεντρικής αντλίας στον υδροκυκλώνα. Μέσα στον υδροκυκλώνα το νερό φυγοκεντρείται ταχύτατα, τα στερεά κατάλοιπα εκτοξεύονται στα πλευρικά τοιχώματα της διάταξης, ενώ το νερό ανέρχεται καθαρότερο κατά τον άξονα του κυκλώνα. Το μέγεθος των τεμαχιδίων που διαχωρίζονται εξαρτάται από τις διαστάσεις του κώνου του κυκλώνα (κυρίως από την εσωτερική διάμετρο του). Οι κυκλώνεστοποθετούνται σε σειρά (εάν είναι παραπάνω από ένας) έτσι ώστε κάθε ένας να συμβάλλει στο διαχωρισμό συγκεκριμένου εύρους μεγέθους τεμαχιδίων. Θα ήταν δυνατό και στην περίπτωση όπου γίνεται η μελέτη, να ενταχθεί στην σωληνογραμμή, ένας υδροκυκλώνας για να αφαιρεί μεγάλη ποσότητα σωματιδίων και άμμου, ώστε να «ξεκουράζονται» τα υπόλοιπα στοιχεία της διάταξης και να μην γεμίζουν αμέσως τα φίλτρα στερεών σωματιδίων.



Εικόνα 36: Διάταξη Κυκλώνα για την αποτελεσματική απομάκρυνση στερεών σωματιδίων.

7.5 Αυτοκαθαριζόμενα Φίλτρα.

Ο αυτοκαθαρισμός (backwash) είναι μια πρωτοποριακή διαδικασία πλύσης της σήτας του φίλτρου. Λειτουργεί διοχετεύοντας νερό με πίεση, από την εσωτερική επιφάνεια της σήτας προς την εξωτερική. Αυτή η αντιστροφή της ροής του νερού και η υποπίεση που δημιουργείται από την περιστροφική κίνηση της κεφαλής του φίλτρου, αποφράσσει τη σήτα. Τα σωματίδια που έχουν κατακρατηθεί μέσα στη σήτα, οδηγούνται κατευθείαν στο φρεάτιο αποχέτευσης.

Συνήθως, ο αυτοκαθαρισμός εκτελείται σε δύο στάδια. Αρχικά τα σωματίδια αποκολλώνται από την επιφάνεια της σήτας και στη συνέχεια απορρίπτονται στο φρεάτιο αποχέτευσης. Στο δεύτερο στάδιο, η σήτα καθαρίζεται απολύτως. Η μόνη προϋπόθεση για τον αυτοκαθαρισμό είναι μια ελάχιστη τιμή πίεσης του νερού της τάξης των 2.5 bar. Στη συνέχεια δίνονται μερικοί τύποι αυτοκαθαριζόμενων φίλτρων που κυκλοφορούν στο εμπόριο.

7.5.1 Αυτοκαθαριζόμενο Φίλτρο χειροκίνητης λειτουργίας.

Όταν κρίνετε ότι το φίλτρο έχει επιβαρυνθεί από σωματίδια, περιστρέψτε χειροκίνητα την κεφαλή του φίλτρου. Το διαφανές υλικό που περιβάλλει σώμα του φίλτρου, σας επιτρέπει να ελέγχετε εύκολα την κατάστασή του.



Εικόνα 37: Αυτοκαθαριζόμενο Φίλτρο χειροκίνητης λειτουργίας.

7.5.2 Αυτοκαθαριζόμενο Φίλτρο Αυτόματης χρονικής λειτουργίας.

Με το φίλτρο αυτού του τύπου δίνεται η δυνατότητα προγραμματισμού των χρονικών διαστημάτων λειτουργίας του φίλτρου, μέσω ενός ενσωματωμένου χρονοδιακόπτη, που ενεργοποιεί τη διαδικασία του αυτοκαθαρισμού.



Εικόνα 38: Φίλτρο Αυτοκαθαριζόμενο αυτόματης χρονικής λειτουργίας.

7.5.3 Αυτοκαθαριζόμενο Φίλτρο αυτόματης λειτουργίας με διαφορική πίεση.

Το φίλτρο διαθέτει ένα ενσωματωμένο διαφορικό μανόμετρο που μετρά την πτώση πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου. Όταν η πτώση της πίεσης του νερού υπερβεί το όριο που έχετε ορίσει, ενεργοποιείται ο αυτοκαθαρισμός.



Εικόνα 39: Αυτοκαθαριζόμενο Φίλτρο με διαφορική πίεση.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού,
Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους

Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

8 Συμπεράσματα.

Αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη σχεδιασμού ενός συστήματος αντίστροφης ώσμωσης για την αποσκλήρυνση και αφαλάτωση νερού χρήσης. Το νερό χρήσης αναφέρεται σε εγκατάσταση εμπορικού μεγέθους (καφέ – εστιατόριο) που λειτουργεί στο Άργος. Το σύστημα αντίστροφης ώσμωσης συνεπικουρείται από συμπληρωματικό εξοπλισμό όπως μονάδα μεμβρανών και συνδεσμολογία σειράς αντλιών.

Η ανάλυση του σχεδιασμού πραγματοποιήθηκε με βάση τον υπάρχοντα διατεθειμένο εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση και με βάση γνώσεις που αποκτήθηκαν κατά τις σπουδές στο Τμήμα Μηχανολόγων Τ.Ε του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.

Αρχικά στα πρώτα δύο κεφάλαια μελετήθηκε το φαινόμενο της ώσμωσης και της αντίστροφης ώσμωσης ως βασικό υπόβαθρο για την μελέτη που ακολούθησε. Συζητήθηκε αναλυτικά η διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης και περιγράφησαν διατάξεις που την επιτελούν.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετήθηκε η αποσκλήρυνση και οι διάφοροι τύποι αποσκληρυντών εμπορικού μεγέθους που χρησιμοποιούνται και στην υπό μελέτη εγκατάσταση. Στο τέταρτο κεφάλαιο μελετήθηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιοτική ανάλυση του νερού, περιγράφηκε η υγειονομική σημασία του πόσιμου νερού όπως επίσης οι φυσικοχημικές παράμετροι του νερού, παράμετροι που αφορούν ανεπιθύμητες ουσίες και τοξικές ουσίες ενώ στο τέλος του κεφαλαίου δίνονται τρόποι καθαρισμού του νερού.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφηκαν τα επιμέρους τμήματα και διατάξεις της εγκατάστασης καθαρισμού του νερού που βρίσκονται στην εν λειτουργία επιχείρηση, ξεκινώντας από τη γεώτρηση και στη συνέχεια ακολουθώντας τη διαδρομή του νερού φθάνοντας μέχρι την τελική χρήση όπου το νερό έχει πλήρως καθαριστεί και έχει καταστεί πόσιμο.

Στο έκτο κεφάλαιο έγινε αναλυτικός υπολογισμός και μελέτη απωλειών στην εξίσωση σωληνογραμμής κατά την κυκλοφορία του νερού υποδιαιρώντας όλη τη διαδρομή σε επιμέρους τμήματα για την καλύτερη εποπτεία και παρακολούθηση του θέματος. Υπολογίστηκαν συνολικές απώλειες του κυκλώματος και ως συμπέρασμα προκύπτει ότι ο συνδυασμός των αντλιών που χρησιμοποιούνται είναι ικανές να αντισταθμίσουν τις απώλειες υπερκαλύπτοντάς τες.

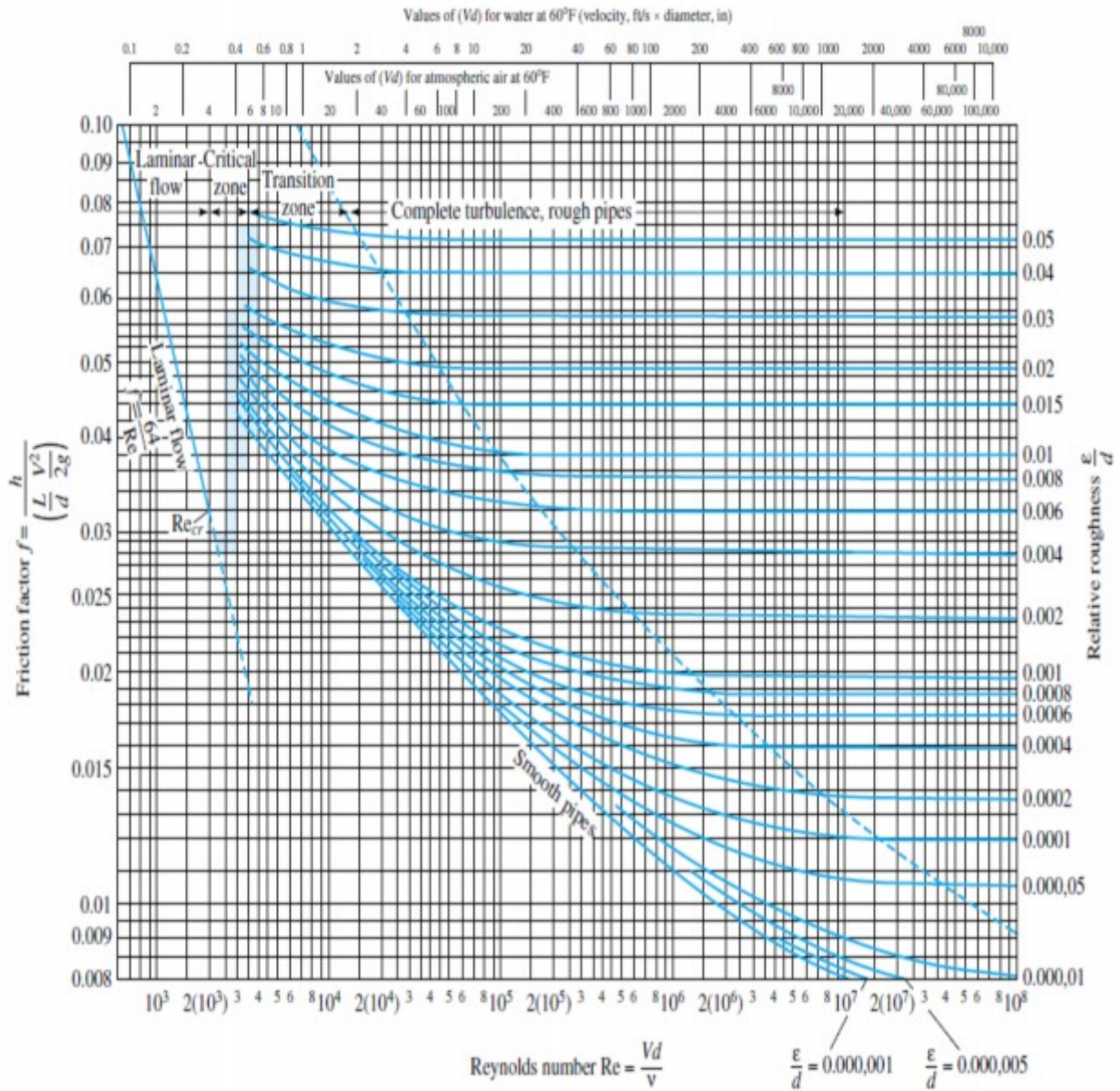
Τέλος στο έβδομο κεφάλαιο γίνονται προτάσεις για τη βελτιστοποίηση του συστήματος που θα το καταστήσει πιο αποδοτικό κυρίως με τη χρήση φίλτρων αυτοκαθαριζόμενων αυτόματα ρυθμιζόμενων, που δίνουν τη δυνατότητα περικοπής κάποιων άλλων διατάξεων χαμηλότερων δυνατοτήτων.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού, Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους	
Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223	
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ	

9 Αναφορές.

1. Νουτσόπουλος Γ.Κ., Μαθήματα Υδραυλικής – Τεύχος Α΄: Μηχανική των ρευστών για υδραυλικούς μηχανικούς, Αθήνα 1982,
2. Παπανίκας Δ.Γ., Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική Πάτρα 2008,
3. Giles R. V., Fluid Mechanics & Hydraulics, 1982
4. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%8F%CF%83%CE%BC%CF%89%CF%83%CE%B7>
5. <http://www.ecofilter.gr/pages.php?pageid=14>
6. http://www.arvanitakis.com/gr/b/boiler_external_treatment_gr.htm
7. http://www.aclabs.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=63%3A2009-04-07-11-41-59&catid=41%3Apublic&Itemid=76&limitstart=1
8. <http://www.airwaterplus.gr/index.php?page=articlesdetails&id=3&s=2>
9. http://www.temak.gr/site/gr/products/water_treatment_systems/reverse_osmosis/
10. http://www.temak.gr/site/docs/reverse_osmosis_gr_2011.pdf
11. <http://www.tsamisaquarium.gr/Selides/Themata/osmose.htm>
12. <http://www.filpro.gr/epexergasia-neroy/aposklhrinsi.html>
13. http://productfinder.wilo.com/gr/GR/product/000000000001f4fa0001003a/fc_product_datasheet

10 Παράρτημα – Διάγραμμα Moody για τον υπολογισμό Απωλειών.



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μελέτη Σχεδιασμού & Βελτιστοποίησης Μονάδας Μεμβρανών & Αντλιών Καθαρισμού,
Αποσκλήρυνσης και Αφαλάτωσης Νερού Εμπορικού Μεγέθους

Γιαννακούλης Γεώργιος Α.Μ 4223

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ