



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

---

**Διπλωματική Εργασία**

**ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΑΡΑΚΗΝΟΥ ΤΗΣ Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β**  
**ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ**

υπό

**ΗΛΙΑ ΤΑΝΟΥ**

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των  
απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 15105/1  
Ημερ. Εισ.: 29-03-2018  
Δωρεά: Συγγραφέας  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ  
2016  
TAN

© 2016 Ηλίας Τανός

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

## Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω την γυναίκα μου Μαρία για την υπομονή και υποστήριξη της τα χρόνια των σπουδών, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των τελευταίων μηνών της προσπάθειάς μου προσπάθεια από κοινού δύσκολη εάν σκεφτεί κανείς ότι παράλληλα εργαζόμουν ενώ μεγαλώνουμε και δύο παιδάκια τον Γιώργο 5,5 ετών και την Άννα 1,5 χρονών.

Ευχαριστώ τους συμφοιτητές μου Αντωνίου Κώστα και Βασιλειάδη Νίκο για την βοήθεια και συνεργασία τους , και τον κ. Ανδρίτσο για την ηθική υποστήριξή του. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Μαρία και Γιώργο και τους γονείς της γυναίκας μου, Άννα και Χρήστο για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στους συνεργάτες μου στην Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. για την καλή συνεργασία τους και την βοήθεια τους στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που προέκυψαν κατά την λειτουργία των μονάδων καθώς και για την εμπιστοσύνη που δείχνουν στο πρόσωπο μου ως επιβλέπον χειριστή των 3 μονάδων.

Ηλίας Τανός

# ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΑΡΑΚΗΝΟΥ ΤΗΣ Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β

## ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

### ΗΛΙΑΣ ΤΑΝΟΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος, Καθηγητής Πειραματικών Φαινομένων Μεταφοράς

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση της λειτουργίας μονάδας Αντίστροφης Ώσμωσης της Δ.Ε.Υ.Α.Μ. Βόλου που βρίσκεται στην θέση Σαρακηνός, για τα έτη 2014- 2015. Επίσης αναφέρονται τεχνικές για αντιμετώπιση προβλημάτων κατά την λειτουργία της μονάδας. Συγχρόνως, η παρούσα εργασία θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως εγχειρίδιο σε κάποιον τεχνικό που θα ασχολούνταν με τη λειτουργία αυτής της μονάδας ή οποιασδήποτε μονάδας Αντίστροφης Ώσμωσης.

Η μονάδα Αντίστροφης Ώσμωσης στην θέση Σαρακηνός έχει σχεδιαστεί για να παράγει 60 m<sup>3</sup>/hr καθαρού νερού και 20 m<sup>3</sup>/hr απόβλητου νερό. Το αφαλατωμένο νερό διοχετεύεται κατευθείαν στις δεξαμενές τις Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. χωρίς να εμπλουτίζεται με μεταλλικά και ανόργανα στοιχεία, αραιώνοντας με τον τρόπο αυτό το νερό των γεωτρήσεων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου παρατηρείται αφενός μείωση των πηγαίων νερών και αφετέρου αύξηση της ζήτησης και άρα της κατανάλωσης από τους δημότες της ευρύτερης περιοχής.

Κατά την παρακολούθηση της μονάδας τα έτη 2014 και 2015 έχει καταγραφεί μία σταθερή απόδοση των ακόλουθων βασικών χαρακτηριστικών, δηλαδή της αγωγιμότητας του προϊόντος, της περιεκτικότητας του σε χλωριόντα, της σκληρότητας του, της πίεσης εισόδου των μεμβρανών, της πίεσης εξόδου του απορρίμματος και της παραγωγής προϊόντος.

Ο χειριστής μιας τέτοιας μονάδας θα πρέπει να εντείνει την προσοχή του στα εξής χαρακτηριστικά, εάν θέλει να κρατήσει τις μεμβράνες του σε καλή κατάσταση, τα οποία θα πρέπει να είναι στην καθημερινή επίβλεψη του, δηλαδή στην παρακολούθηση όλων των

πίεσεων, των ροομέτρων, των πνευματικών βαλβίδων, σωληνώσεων (πλαστικών και μεταλλικών) για διαρροές, των δοσομετρικών αντλιών, του οργάνου Redox, του υπολειμματικού χλωρίου, των αντλιών (booster, υψηλής πίεσης) και την λειτουργία και συντήρηση του κομπρεσέρ αέρος. Θα πρέπει να τροφοδοτεί κατά τακτά χρονικά διαστήματα τις μονάδες με τα απαραίτητα χημικά αναλώσιμα, τηρώντας με μεγάλη προσοχή τους κανόνες υγιεινής αφού αυτά είναι τοξικά και επικίνδυνα για την υγεία του.

Από την ανάλυση των μετρήσεων για την μονάδα Σαρακηνού όπως αυτά παρουσιάζονται με την μορφή των διαγραμμάτων τις χρονιές 2014 και 2015 προκύπτει πως οι μεμβράνες αν και έχουν παρέλθει τον προτεινόμενο χρόνο «καλής λειτουργίας» που δίνεται στην προδιαγραφή από την προμηθεύτρια εταιρεία, συνεχίζουν να έχουν πολύ καλή απόδοση. Εάν διατηρηθούν οι ομαλές συνθήκες λειτουργίας κάτι που εξαρτάται καθαρά από την ελεγκτή- χειριστή μηχανικό θα μπορέσουν να προσφέρουν στην εταιρεία Ύδρευσης και για επιπλέον χρόνια, χωρίς να χρειαστεί η αντικατάστασή τους.

# REVERSE OSMOSIS SARAkinOS PLANT

## OPERATION FUNCTIONS AND PROBLEMS

ELIAS TANOS

Department of Mechanical Engineering, University of Thessaly

Advisor: Dr. Nikoalos Andritsos, Professor of Experimental Transport Phenomena

### Abstract

The aim of the present dissertation is primarily to discuss the problem from the operation of the reverse osmosis plant located at Sarakinos, Magnesia Prefecture, and the approaches to be taken to mitigate these problems. The plant belongs to DEYAMB (Water Supply and Sewerage Municipal Company of the greater city of Volos) and the study concerns the years 2014-2015, as well as the provision of some advisory guidelines to any new operator of the reverse osmosis plant.

The reverse osmosis plant at Sarakinos has been designed to produce 60 m<sup>3</sup>/hr of permeate water and 20 m<sup>3</sup>/hr of waste water. The desalinated water is transported directly to the DEYAMB water tanks without being enriched with mineral and inorganic elements. In this way, groundwater with medium salinity lowers its salinity by the addition of the desalinated water during the summer period, when a significant reduction of surface water is encountered, coupled by an increase of the demand and of the consumption by the citizens of the area.

During the plant's operation in the last two years a steady performance was noticed for most parameters involved: water conductivity, salinity and hardness, the inlet pressure of the membranes, the outlet pressure of the waste and the production of the permeate water.

The new operator should pay daily attention to the following functions in order to keep the membranes in a good state: supervision of all the pressures, the inflows of the valves, the pipes (plastic and metal) for leaks, the dosing pumps, the ORP, the Cl, pumps (booster, high pressure) and the function and the maintenance of the air compressor. He should supply

regularly the necessary chemicals respecting the hygiene and safety rules as these are toxic and dangerous.

From the analysis of the measurements in the Sarakinos plant, as these are presented in the diagrams for the years 2014-2015, it emerges that the membranes, even though they have exceeded the time of good function given in the specifications by the supplier company, continue to work efficiently. If the normal conditions of use are maintained by the operator they are able to render to the water supply corporation for additional years without the need of their replacement.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	iv
Abstract .....	vi
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ.....	1
1.2. ΣΤΟΧΟΙ.....	2
1.3. Διάρθρωση της Διπλωματικής .....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ .....	5
2.1 Εισαγωγή .....	5
2.2 Μικροδιήθηση.....	5
Εφαρμογές μικροδιήθησης.....	6
2.3 Υπερδιήθηση .....	6
2.4 Νανοδιήθηση .....	7
Εφαρμογές των συστημάτων της Νανοδιήθησης.....	7
2.5 Αντίστροφη Ώσμωση.....	8
Εφαρμογές αντίστροφης ώσμωσης .....	8
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> : ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ .....	9
3.1. Βασικές αρχές της Αντίστροφης Ώσμωσης .....	9
3.1.1 Ιστορική Αναδρομή .....	9
3.1.2 Αρχές της Αντίστροφης Ώσμωσης (Reverse Osmosis) .....	9
Παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία της R.O. ....	12
3.1.3 Περιγραφή μεμβρανών.....	15
3.1.4 Απόδοση των μεμβρανών .....	15
3.1.5 Κατασκευαστική σύνδεση των μεμβρανών.....	16
3.2 Χημεία του νερού και προεπεξεργασία .....	16
3.2.1 Εισαγωγή .....	16
3.2.2 Θαλασσινό νερό .....	19
3.2.3 Υφάλμυρο νερό .....	19
3.2.4 Ανόργανες Επικαθίσεις .....	19
3.2.5 Προσθήκη οξέος.....	21
3.2.6 Προσθήκη Αντικαθαλατωτικών.....	21
3.2.7 Αποσκλήρυνση με την προσθήκη ισχυρού οξέος και με ιοντοανταλλαγή.....	22



3.2.8 Αποσκλήρυνση .....	22
3.2.9 Προληπτικός καθαρισμός .....	22
3.2.10 Εκτίμηση δημιουργίας καθαλατώσεων .....	22
3.3 Πρόληψη του σχηματισμού επικαθίσεων Ανθρακικού Ασβεστίου .....	24
3.3.1 Υφάλμυρο νερό .....	24
3.3.2 Ρυθμίσεις για την ελαχιστοποίηση των επικαθίσεων του $\text{CaSO}_4$ .....	26
3.3.3 Ρυθμίσεις για την ελαχιστοποίηση των επικαθίσεων του $\text{BaSO}_4$ .....	27
3.3.4 Ρυθμίσεις για την ελαχιστοποίηση των επικαθίσεων του $\text{SrSO}_4$ .....	28
3.4 Αποφυγή Σωματιδιακών και Κολλοειδών Επικαθίσεων .....	28
3.5 Πρόβλεψη για βιολογικές επικαθίσεις .....	29
3.6 Πρόβλεψη για αποδόμηση των μεμβρανών .....	29
3.7 Πρόβλεψη για προσρόφηση του Σιδήρου και του Μαγνησίου .....	30
3.8 Χλωρίωση & Αποχλωρίωση του νερού τροφοδοσίας .....	31
3.9 Οδηγίες για το νερό τροφοδοσίας .....	33
3.10 Συγκεντρωτικές μέθοδοι/επιλογές για την προστασία των μεμβρανών .....	34
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> : ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΔΕΥΑΜΒ .....	35
4.1 Μονάδες αντίστροφης όσμωσης της Δ.Ε.Υ.Α.Μ. Βόλου .....	35
4.2 Δομή των εγκαταστάσεων .....	36
4.2.1 Άντληση του νερού της τροφοδοσίας από γεώτρηση .....	36
4.2.2 Αποθήκευση του νερού τροφοδοσίας .....	37
4.2.3 Αρχική δημιουργία πίεσης .....	37
4.2.4 Απολύμανση με υποχλωριώδες νάτριο .....	39
4.2.5 Διήθηση με φίλτρα άμμου .....	40
4.2.6 Έκχυση αντικαθαλατωτικού .....	41
4.2.7 Έκχυση όξινου θειώδους νατρίου .....	42
4.2.6 Διήθηση με φυσίγγια (cartridge filters) .....	43
4.2.7 Αντλία υψηλής πίεσης .....	43
4.2.8 Μεμβρανοδοχεία .....	44
4.2.9 Συλλέκτης (Collector) .....	45
4.2.10 Δεξαμενή καθαρισμού, αντλία ανακυκλοφορίας .....	46
4.2.11 Παροχόμετρο ανακυκλοφορίας .....	47
4.2.12 Ηλεκτρολογικός Πίνακας .....	48
4.2.13 Χώρος αποθήκευσης χημικών .....	49
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ .....	51

Κεφάλαιο 6°: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	58
Κεφάλαιο 7°: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	64

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Το νερό είναι απαραίτητο για την ζωή των ανθρώπων και των ζώων, γιατί αποτελεί το βασικότερο είδος διατροφής, επίσης είναι από τις απαραίτητες πρώτες ύλες της πρωτογενούς παραγωγής, όπως είναι η γεωργία και η κτηνοτροφία και της δευτερογενούς παραγωγής, όπως είναι η βιομηχανία. Με την αύξηση του πληθυσμού της γης αλλά και με την εντατικοποίηση της παραγωγής αγαθών το νερό γίνεται ολοένα και πολυτιμότερο. Το νερό πλέον μπορεί να αποτελέσει τον καρπό μιας παραγωγικής διαδικασίας, χωρίς όμως αυτή να είναι η βασική πηγή τροφοδότησης των πολιτών αλλά μπορεί όμως να λειτουργήσει επικουρικά σε συνδυασμό με τις βασικές πηγές (ποτάμια, λίμνες, φυσικές πηγές). Δεν θα πρέπει να ξεχνάμε πως η ανανέωση των φυσικών πηγών εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν κάθε χρόνο, από την φυσική προσφορά και ζήτηση από τους χρήστες και τις παρεμβάσεις των ανθρώπων ιδιαίτερα στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Όταν οι παρεμβάσεις αυτές έχουν επιβλαβείς αλλοιώσεις στην ποιότητα του νερού πολλές φορές οδηγούμαστε στην απαγόρευση της χρήσης του ή στον περιορισμό των δυνατοτήτων χρησιμοποίησής του.

Η υδροδότηση του πολεοδομικού συγκροτήματος του Βόλου γίνεται κυρίως από πηγαία νερά του Πηλίου τους χειμερινούς μήνες, ενώ κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και το φθινόπωρο χρησιμοποιούνται και νερά γεωτρήσεων. Η ποιότητα των νερών δεν είναι καλή γι' αυτό χρησιμοποιούνται και επιπλέον μονάδες αφαλάτωσης με τεχνολογία Αντίστροφης Ώσμωσης για να μπορέσει να ανταποκριθεί στις ανάγκες των δημοτών για χρήση πόσιμου νερού. Ο Δήμος Βόλου παράγει τους καλοκαιρινούς μήνες ποσότητα 200 m<sup>3</sup>/hr αφαλατωμένου νερού ενώ είναι στα σχέδια του η δημιουργία ενός «εργοστασίου» το οποίο θα παράγει επιπλέον 500 m<sup>3</sup>/hr νερού τα επόμενα χρόνια.

Στους πίνακες 1.1 και 1.2 δίνονται στοιχεία από την Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. που παρουσιάζουν την για τις χρονιές από το 1992 έως το 2015 τις ποσότητες του νερού σε πηγαίο νερό και σε νερό γεωτρήσεων που δείχνει τον εμπλουτισμό του νερό σε πηγαίο νερό, αλλά την μεταβλητότητα που έχει η παροχή του πηγαίου νερού για τα χρόνια από 2006 έως το 2011 αλλά και την μεταβλητότητα του στην διάρκεια ενός έτους

ΕΤΟΣ	Π Η Γ Ε Σ		Γ Ε Ω Τ Ρ Η Σ Ε Ι Σ		Σ Υ Ν Ο Λ Ο
	ποσότητα ( m <sup>3</sup> )	%	ποσότητα ( m <sup>3</sup> )	%	ποσότητα ( m <sup>3</sup> )
1992	4.429.872	38%	7.346.010	62%	11.775.882
1993	5.218.930	43%	6.925.296	57%	12.144.226
1994	7.948.000	64%	4.385.201	36%	12.333.201
1995	8.282.940	66%	4.189.161	34%	12.472.101
1996	7.340.730	59%	5.096.313	41%	12.437.043
1997	8.147.720	63%	4.722.590	37%	12.870.310
1998	7.029.120	53%	6.135.882	47%	13.165.002
1999	6.558.214	49%	6.794.040	51%	13.352.254
2000	5.022.794	37%	8.524.478	63%	13.547.272
2001	5.976.240	44%	7.721.093	56%	13.697.333
2002	7.556.883	52%	6.929.877	48%	14.486.760
2003	9.356.239	62%	5.817.080	38%	15.173.319
2004	7.514.657	51%	7.140.565	49%	14.655.222
2005	5.838.985	39%	9.236.478	61%	15.075.463
2006	9.573.274	62%	5.941.210	38%	15.514.484
2007	6.228.435	41%	9.069.379	59%	15.297.814
2008	5.785.966	40%	8.784.694	60%	14.570.660
2009	6.611.859	51%	6.327.011	49%	12.938.870
2010	7.459.755	55%	6.114.888	45%	13.574.643
2011	6.696.989	48%	7.325.710	52%	14.022.699
2012	7.272.519	48%	7.811.592	52%	15.084.111
2013	7.800.054	52%	7.129.410	48%	14.929.464
2014	6.483.843	43%	8.755.675	57%	15.239.518
2015	7.341.848	48%	7.986.319	52%	15.328.167

Πίνακας 1.1 Ποσοστό νερού σε πηγαίο και σε γεωτρήσεων [1].

## 1.2. ΣΤΟΧΟΙ

Ως στόχοι της παρούσης διπλωματικής εργασίας ορίζονται οι ακόλουθοι:

- Η παρακολούθηση της λειτουργίας της μονάδας αντίστροφης ώσμωσης και τα βασικά χαρακτηριστικά που διέπουν την λειτουργία αυτή, όπως η αγωγιμότητα του διηθήματος, η ογκομετρική παροχή του, η πίεση εισόδου της τροφοδοσίας και εξόδου του απορρίμματος, χαρακτηριστικά που έχουν να κάνουν με την ζωή των μεμβρανών και αποτελούν σημείο αναφοράς για την Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. και την τεχνική διοίκηση, στοιχεία τα οποία μπορούν να αποτελέσουν πηγή για αλλαγές που είναι δυνατόν να γίνουν στα στοιχεία των μονάδων και ειδικά για τις μεμβράνες τους.
- Εάν κάποιος νέος μηχανικός βρεθεί να έχει υπό την εποπτεία του κάποια μονάδα αντίστροφης ώσμωσης που λειτουργεί με υφάλμυρο νερό τροφοδοσίας, τότε θα μπορέσει να δει σε αυτή την εργασία όλα τα δυναμικά μέρη που αποτελούν μία μονάδα αφαλάτωσης, όπως τις αντλίες (υψηλής πίεσης, boosters, δοσομετρικές), τον ηλεκτρονικά πίνακα και τις ρυθμίσεις που περιέχει, τα διάφορα είδη διήθησης (άμμου, φυσίγγια), τα όργανα μέτρησης των χαρακτηριστικών του νερού (redox,

ρΗ,υπολειμματικό χλώριο), να έχει μία οπτική επαφή με τα container στα οποία βρίσκονται οι μονάδες καθώς και σε άλλα στοιχεία. Επίσης, βασικό είναι ο χειριστής επιβλέπων μηχανικός μέσω του ειδικού φυλλαδίου ημερήσιας καταγραφής να κάνει την δουλειά του με συστηματικό τρόπο, να παρακολουθεί καθημερινά την μεταβολή ή όχι των ποιοτικών χαρακτηριστικών αλλά και να τα αρχειοθετεί στον υπολογιστή του.

### 1.3. Διάρθρωση της Διπλωματικής

Στο επόμενο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζεται σχετική βιβλιογραφική επισκόπηση. Δίνονται στοιχεία για τις τεχνολογίες των μεμβρανών, λίγα βασικά στοιχεία για την μικροδιήθηση, την υπερδιήθηση και την νανοδιήθηση.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται αναλυτικά η διεργασία της αφαλάτωσης με την τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης καθώς και οι βασικές αρχές που την διέπουν, γίνεται αναφορά

ΠΗΓΕΣ						
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ
2009	619.392	725.789	846.768	809.856	733.464	474.912
2010	867.337	781.838	901.290	805.315	734.241	533.558
2011	566.783	668.996	889.804	937.691	942.357	706.449
2012	299.212	435.929	818.509	965.697	1.001.504	838.141
2013	840.139	870.896	1.057.346	1.008.474	880.924	612.491
2014	631.850	609.417	990.507	756.364	559.253	399.086
2015	708.820	643.276	940.493	1.078.996	891.283	567.951
	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
2009	397.822	310.883	308.495	278.452	464.538	641.488
2010	441.634	374.824	341.399	622.907	606.247	449.165
2011	448.706	337.819	289.829	314.075	295.251	299.229
2012	601.281	442.097	365.097	329.323	507.211	668.518
2013	513.283	403.479	327.490	338.004	385.340	562.188
2014	322.080	298.275	295.114	340.937	560.744	720.216
2015	449.040	363.435	360.416	464.341	474.172	399.625

Πίνακας 1.2 Μεταβολή της ποσότητας των πηγαίων νερών [1]

στην χημεία του νερού και την τροφοδοσία των μονάδων, μελετώνται τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν από επικαθίσεις και τα είδη αυτών, καθώς και στην διεργασία απολύμανσης του νερού τροφοδοσίας με χλώριο και η αποχλωρίωση αυτού πριν την τελική εισαγωγή του στις μεμβράνες.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι μονάδες αντίστροφης ώσμωσης της Δ.Ε.Υ.Μ.Β. και η δομή των εγκαταστάσεων αυτών με όλα τα μηχανολογικά μέρη που τις απαρτίζουν με σχετικές φωτογραφίες και περιγραφή των στοιχείων αυτών.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της λειτουργίας της μονάδας του Σαρακηνού για τα έτη 2014-2015.

Τέλος η ανάλυση των αποτελεσμάτων γίνεται στο κεφάλαιο 6 καθώς και μερικές προτάσεις για την εύρυθμη λειτουργία των μονάδων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

### 2.1 Εισαγωγή

Ως τεχνολογίες μεμβρανών εννοούμε τις τεχνικές διαχωρισμού ενός διαλύματος, συνήθως υδατικού, με την χρήση ημιπερατών συνθετικών μεμβρανών, μέσω της εφαρμογής πίεσης, έτσι ώστε να διαχωρίσουμε το διάλυμα από ανεπιθύμητες οργανικές ή ανόργανες ουσίες.

Οι διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στις παραπάνω διεργασίες είναι σημαντικές. Η αντίστροφη ώσμωση και η νανοδιήθηση είναι διεργασίες μεταφοράς και διάχυσης υπό μηχανική πίεση. Η υπερδιήθηση και η μικροδιήθηση είναι διεργασίες επίσης υπό μηχανική πίεση, όμως η απομάκρυνση των διαλυμένων ουσιών προσομοιάζει με μηχανισμό διήθησης από μία σίτα ή σχάρα και με τον τρόπο αυτό δεν απομακρύνονται τα διαλυμένα άλατα που βρίσκονται με την μορφή ιόντων. Όλες οι παραπάνω διεργασίες απομακρύνουν επίσης τα αιωρούμενα στερεά και την θολότητα.

Οι μεμβράνες χωρίζονται σε 4 κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος των πόρων τους, όπως παρουσιάζεται τον Πίνακα 1.2. Ακολουθεί σύντομη περιγραφή των διαφόρων κατηγοριών των μεμβρανών.

Πίνακας 1.2 Διαχωρισμός μεμβρανών ανάλογα με το μέγεθος των πόρων [2]

Μέγεθος Πόρων	Μοριακή Μάζα	Διεργασία	Διήθηση	Απομάκρυνση των
➤ 10		Classic filter		
> 0.1 μm	> 5000 kDa	microfiltration	< 2 bar	Μεγάλων βακτηρίων, σωματιδίων
100 - 2 nm	5-5000 kDa	ultrafiltration	1 – 10 bar	Βακτηρίων, μακρομορίων, πρωτεϊνών,
2 - 1 nm	0.1-5 kDa	nanofiltration	3 – 20 bar	
< 1 nm	< 100 Da	Reverse osmosis	10 – 80 bar	Αλάτων, μικρών οργανικών μορίων

### 2.2 Μικροδιήθηση

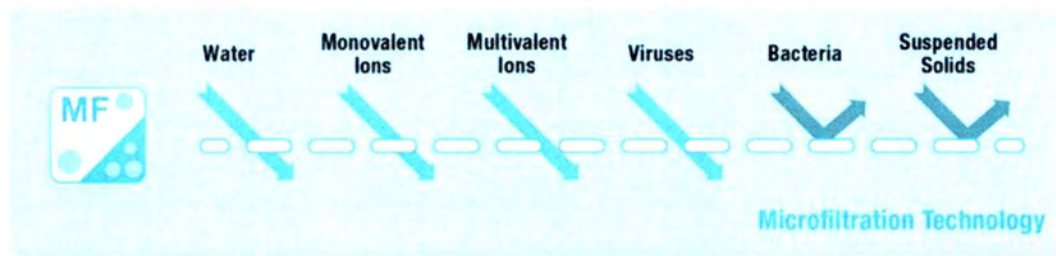
Οι μεμβράνες της μικροδιήθησης (Microfiltration, MF) έχουν το πιο ανοιχτό μέγεθος πόρων από όλες τις πολυμερικές μεμβράνες. Με μέθοδο που διακυμαίνεται μεταξύ 0.1 και 10 μm, οι μεμβράνες μικροφίλτρασης είναι ικανές στον διαχωρισμό μεγάλων αιωρούμενων σωματιδίων όπως κολλοειδή, σωματίδια, λιπαρά και βακτήρια, ενώ επιτρέπουν sugars, πρωτεΐνες, άλατα και μόρια χαμηλού μοριακού βάρους να περάσουν μέσω αυτών. Οι

μεμβράνες MF χαρακτηρίζονται από ασύμμετρη δομή των πόρων, με μία πιο συμπαγή επιφανειακή δομή αυτών στην επιφάνεια για να ελέγχουν την απόρριψη, και πιο ανοιχτή μικρό δομή στην κύρια δομή των μεμβρανών έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί η ροή. Οι μεμβράνες θα πρέπει να έχουν καλή αντίσταση σε διακυμάνσεις του Ph της θερμοκρασίας και σε τάση για fouling.

### Εφαρμογές μικροδιήθησης

Η μικροδιήθηση είναι μία φυσική διαδικασία διαχωρισμού η οποία απομακρύνει συστατικά όπως αιωρούμενα σωματίδια, λιπαρά, και μικρόβια από ρευστά διεργασιών (Σχήμα 2.1). Η MF μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες μεμβρανών όπως η αντίστροφη ώσμωση, η νανοδιήθηση και η υπερδιήθηση. Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές της MF είναι οι ακόλουθες:

- Βιομηχανία γαλακτοκομικών
- Λιπαρά
- Βιομηχανία τροφίμων
- Διαύγαση κρασιού
- Επεξεργασία νερού



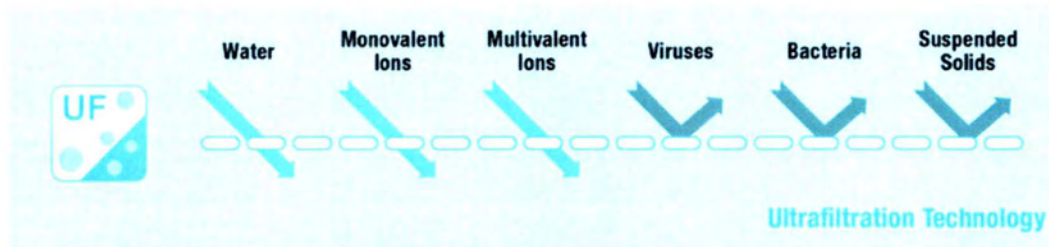
**Σχήμα 2.1.** Σχηματική παράσταση των σωματιδίων που διέρχονται ή δεν διέρχονται από μία μεμβράνη μικροδιήθησης [3].

### 2.3 Υπερδιήθηση

Η υπερδιήθηση (Ultrafiltration, UF) είναι μια διεργασία μέσω της άσκησης πίεσης, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των γαλακτοποιημένων ελαίων, υδροξειδίων των μετάλλων, κολλοειδών, γαλακτωμάτων διεσπαρμένων υλικών, αιωρούμενων σωματιδίων και άλλων, μεγάλου Μοριακού Βάρους ουσιών από το νερό και από διάφορα άλλα υδατικά διαλύματα. Οι μεμβράνες UF χαρακτηρίζονται ως «διαχωριστές Μοριακού Βάρους».



Οι μεμβράνες UF έχουν πολύ καλά αποτελέσματα στην διαύγαση διαλυμάτων που περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια, βακτήρια και μεγάλες συγκεντρώσεις από μακρομόρια, συμπεριλαμβανομένου ελαίων και νερού, χυμών φρούτων, γάλατος και πρωτεϊνών, ειδών φαρμακευτικών, πόσιμου νερού, και της επεξεργασίας τρίτου βαθμού αποβλήτων.



**Σχήμα 2.2.** Σχηματική παράσταση των σωματιδίων που διέρχονται ή δεν διέρχονται από μία μεμβράνη υπερδιήθησης [4].

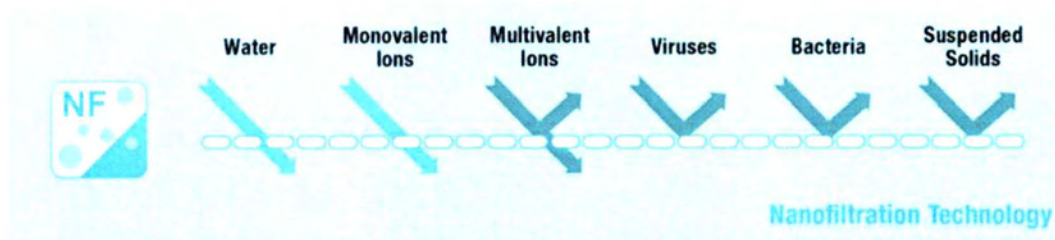
## 2.4 Νανοδιήθηση

Η τεχνική της νανοδιήθησης (nanofiltration, NF) χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των δισθενών ιόντων και των μεγάλων μονοσθενών ιόντων όπως των βαρέων μετάλλων. Η τεχνική αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως μία πιο χονδροειδής αντίστροφη ώσμωση. Εξ' αιτίας του γεγονότος ότι οι μεμβράνες στην νανοδιήθηση είναι λιγότερο πυκνές, η πίεση τροφοδοσίας που απαιτείται είναι γενικά μικρότερη σε σχέση με την αντίστροφη ώσμωση και, επιπλέον, ο κίνδυνος οι μεμβράνες να ρυπανθούν με επικαθίσεις είναι πάλι μικρότερος.

### Εφαρμογές των συστημάτων της Νανοδιήθησης

- Αποσκλήρυνση του νερού
- Ειδική απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων από ρεύματα διεργασιών, ώστε το νερό να μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί.
- Απομάκρυνση αλάτων που εμπεριέχονται σε ελαφρώς υφάλμυρα νερά.
- Εφαρμογές υγιεινής σε γαλακτοκομικά προϊόντα τροφίμων και ποτών όπως
  - Συγκέντρωση λακτόζης
  - Απομάκρυνση αλατιού από το τυρί
  - Μείωση του ποσοστού του αλκοόλ
  - Συγκέντρωση σακχάρων

- Συγκέντρωση ενζύμων.



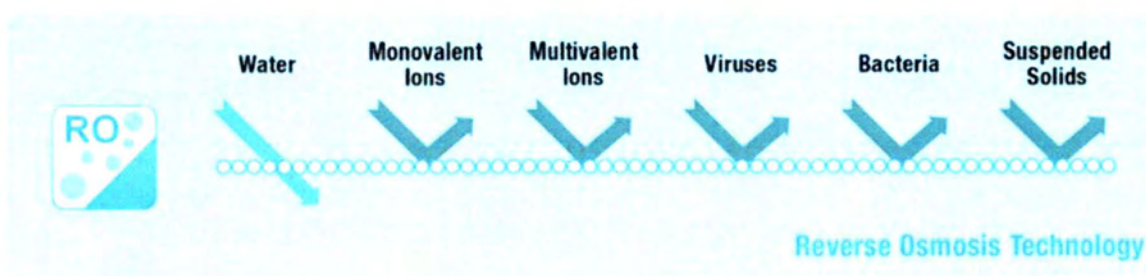
**Σχήμα 2.3.** Σχηματική παράσταση των σωματιδίων που διέρχονται ή δεν διέρχονται από μία μεμβράνη νανοδιήθησης [5].

## 2.5 Αντίστροφη Ώσμωση

Οι μεμβράνες της αντίστροφης ώσμωσης περιλαμβάνουν τους μικρότερους σε μέγεθος πόρους και λειτουργούν με βάση το φαινόμενο της αντίστροφης οσμωτικής πίεσης με σκοπό να ξεχωρίσουν το νερό από ουσίες οργανικές και μη που περιέχονται σε αυτό. Δεν μπορούμε να πούμε πως το μέγεθος των πόρων είναι το καθοριστικό στοιχείο διαχωρισμού αλλά σημαντικό ρόλο έχει η διάχυση των ιόντων και το δυναμικό που την χαρακτηρίζει.

### Εφαρμογές αντίστροφης ώσμωσης

- Αφαλάτωση νερού
- Συμπύκνωση χυμών
- Δημιουργία πάγου
- Καθαρισμός αυτοκινήτων
- Μείωση του όγκου των υγρών αποβλήτων



**Σχήμα 2.4.** Σχηματική παράσταση των σωματιδίων που διέρχονται ή δεν διέρχονται από μία μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης [6].

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ

### 3.1. Βασικές αρχές της Αντίστροφης Ώσμωσης

#### 3.1.1 Ιστορική Αναδρομή

Οι μεμβράνες της R.O. αναπτύχθηκαν ως ξεχωριστές λειτουργικές μονάδες αρχικά από τα τέλη της δεκαετίας του 1950 και στις αρχές του 1960, το πεδίο όμως των εφαρμογών τους έχει διευρυνθεί από την αρχική τους χρήση. Στην αρχή η χρήση τους αφορούσε αποκλειστικά την επεξεργασία υφάλμυρου ή θαλασσινού νερού για την παραγωγή πόσιμου νερού, όμως τα τελευταία χρόνια οι απαιτήσεις στην βιομηχανία για έλεγχο των υδάτινων μαζών, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, ο έλεγχος της μόλυνσης και η ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων από νερά προς αποχέτευση, έχουν θεσπίσει τις μονάδες αυτές οικονομικά δελεαστικές.

Μία από τις κυριότερες εταιρίες που ασχολείται με μεμβράνες είναι η FilmTec Corporation, η οποία πρώτη δημιούργησε την μεμβράνη FILMTEC™ FT30 το 1963.

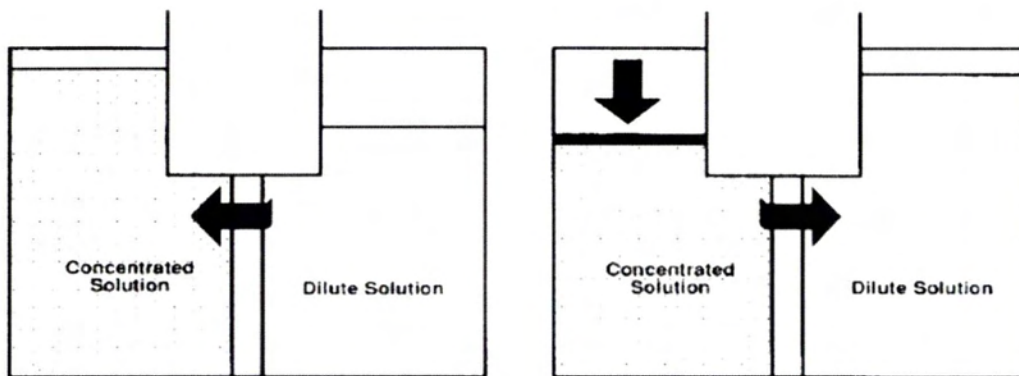
Από τότε η τεχνολογία των μεμβρανών έχει αναπτυχθεί με σκοπό πάντα την βελτίωση της ποιότητας του νερού που παίρνουμε ως προϊόν και τη μείωση του συνολικού κόστους της όλης διαδικασίας παραγωγής του.

#### 3.1.2 Αρχές της Αντίστροφης Ώσμωσης (Reverse Osmosis)

##### *Πως λειτουργεί η αντίστροφη ώσμωση*

Το φαινόμενο της ώσμωσης συμβαίνει όταν καθαρό νερό ρέει από ένα αραιό διάλυμα άλατος μέσω ημιπερατής μεμβράνης σε ένα πυκνότερο διάλυμα άλατος έως ότου επέλθει χημική ισορροπία μεταξύ των δύο διαλυμάτων. Η σχηματική αναπαράσταση του φαινομένου της ώσμωσης φαίνεται στο **Σχήμα 3.1**. Μία ημιπερατή μεμβράνη είναι τοποθετημένη ανάμεσα σε δύο διαμερίσματα. Ημιπερατή είναι η μεμβράνη η οποία επιτρέπει την διέλευση κάποιων σωματιδίων ενώ εμποδίζει κάποια άλλα να περάσουν. Ας υποθέσουμε ότι η μεμβράνη αυτή επιτρέπει την διέλευση του νερού όχι όμως του άλατος. Εάν τοποθετήσουμε σε ένα τμήμα διάλυμα άλατος, π.χ. NaCl, ενώ στο διπλανό καθαρό νερό, τότε μέρος του καθαρού νερού θα περάσει μέσω της μεμβράνης στο πυκνό διάλυμα.

Το άλας όμως δεν μπορεί να περάσει μέσω της μεμβράνης. Από τις αρχές της φυσικής γνωρίζουμε ότι το σύστημα των δύο διαλυμάτων θα προσπαθήσει να φτάσει σε ισορροπία, που σε αυτή την περίπτωση θα επέλθει όταν οι συγκεντρώσεις των διαλυμάτων στα δύο τμήματα γίνουν ίσες. Ο μόνος τρόπος για να έχουμε ισορροπία είναι το νερό να περάσει μέσω της μεμβράνης και ουσιαστικά να αραιώσει το πυκνό διάλυμα. Εάν υποθέσουμε ότι αρχικά η στάθμη των διαλυμάτων είχε το ίδιο ύψος τότε παρατηρούμε την ανύψωση της στάθμης του πυκνού διαλύματος σε σχέση με το αραιό. Η στάθμη θα φτάσει σε τέτοιο σημείο στο οποίο η πίεση του υδροστατικού ύψους του πυκνού διαλύματος εμποδίζει την ροή του νερού από το αραιό διάλυμα. Η πίεση που αντιστοιχεί σε αυτό το σημείο ισορροπίας ονομάζεται *Ωσμωτική Πίεση*.

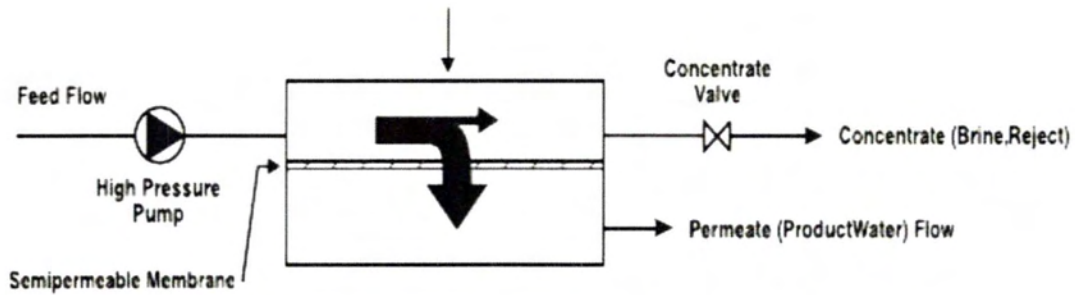


**Σχήμα 3.1** Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου της ώσμωσης [7]

Εάν ασκηθεί κάποιου είδους πίεση στο τμήμα με το πυκνό διάλυμα, η ροή του νερού μπορεί να αντιστραφεί και αυτό αποτελεί την αρχή της λειτουργίας της αντίστροφης ώσμωσης. Ας σημειωθεί πως η αντίστροφη αυτή διαδικασία παράγει καθαρό νερό από το πυκνό διάλυμα άλατος αφού το αλάτι δεν μπορεί να περάσει μέσω της ημιπερατής μεμβράνης.

#### *Πως να χρησιμοποιήσουμε την Αντίστροφη Ώσμωση στη πράξη*

Στην πράξη η αντίστροφη ώσμωση συμβαίνει στο διάμηκες τμήμα μιας μεμβράνης. Σχηματική παράσταση της διεργασίας παρουσιάζεται στο **Σχήμα 3.2**.



Σχήμα 3.2 Διεργασία της Αντίστροφης Ώσμωσης [7]

Μέσω χρήσης αντλιών υψηλής πίεσης, νερό τροφοδοσίας διοχετεύεται συνεχώς με μεγάλη πίεση στο σύστημα των μεμβρανών. Στο σύστημα αυτό το νερό τροφοδοσίας θα διαχωριστεί σε δύο μέρη, ένα χαμηλής αλατότητας ή και μηδενικής, το οποίο στα αγγλικά ονομάζεται «permeate» και στα ελληνικά ως «διήθημα» (όχι τόσο πετυχημένος όρος), και σε ένα μέρος με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα που αναφέρεται ως υπόλειμμα ή απόρριμα (reject). Μία βαλβίδα ελέγχου της ροής που ονομάζεται βαλβίδα συμπυκνώματος είναι αυτή που ρυθμίζει το ποσοστό του νερού του προϊόντος σε σχέση με το νερό του απορρίμματος βάσει των βέλτιστων σχεδιαστικών προδιαγραφών. Οι λέξεις κλειδιά στην λειτουργία της R.O. είναι οι ακόλουθες:

**Ανάκτηση (recovery):** το ποσοστό του νερού τροφοδοσίας στο σύστημα των μεμβρανών το οποίο το λαμβάνουμε ως προϊόν. Το σύστημα της R.O. βασίζεται σε συγκεκριμένη ποιότητα του νερού τροφοδοσίας και η ανάκτηση καθορίζεται από την ρύθμιση της βαλβίδας της αποχέτευσης. Η ανάκτηση ρυθμίζεται σε τέτοιο βαθμό που μεγιστοποιεί την παραγόμενη ποσότητα του προϊόντος, χωρίς αυτό να δημιουργεί περίπτωση επικαθίσεων αλάτων στην επιφάνεια των μεμβρανών.

**Απόρριψη ή συγκράτηση (rejection/retention):** είναι το ποσοστό της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων που απομακρύνονται μέσω των μεμβρανών.

**Πέρασμα ή διόδος αλάτων (salt passage):** είναι το ποσοστό των διαλυμένων αλάτων το οποίο περνάει μέσω των μεμβρανών.

**Διήθημα:** είναι το καθαρισμένο νερό που παράγεται μέσω των μεμβρανών.

**Παροχή (flow rate):** είναι η ποσότητα του νερού τροφοδοσίας που εισέρχεται είτε σε ένα στοιχείο μεμβράνης ή σε ένα σύστημα μεμβρανών, με μονάδες μέτρησης είτε gal/h είτε σε  $m^3/h$ .

**Ανηγγόμενη ή ειδική ροή διηθήματος** (permeate flux): ο ρυθμός ροής του διηθήματος που διέρχεται ανά μονάδα επιφάνειας μεμβράνης και συνήθως εκφράζεται ως γαλόνια ανά τετραγωνικό πόδι και ημέρα (gfd) ή λίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο και ώρα ( $L/m^2h$ ).

Η ανηγμένη ροή επηρεάζεται από διάφορες συνθήκες λειτουργίας όπως :

- Είναι ανάλογη της πίεσης λειτουργίας
- Είναι ανάλογη της θερμοκρασίας του νερού
- Μειώνεται ελαφρώς καθώς η ανάκτηση αυξάνεται
- Μειώνεται με την αύξηση των ολικών διαλυμένων στερεών στο νερό τροφοδοσίας
- Είναι σχετικά σταθερή σε μεταβολές του pH. [25]

**Παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία της R.O.**

Η παροχή του προϊόντος και η απόρριψη του άλατος είναι οι βασικές παράμετροι της λειτουργίας της αντίστροφης ώσμωσης. Η παροχή και η απόρριψη των μεμβρανών επηρεάζονται από διάφορες συνθήκες όπως:

- την πίεση
- την θερμοκρασία
- την ανάκτηση
- την συγκέντρωση των αλάτων στην τροφοδοσία

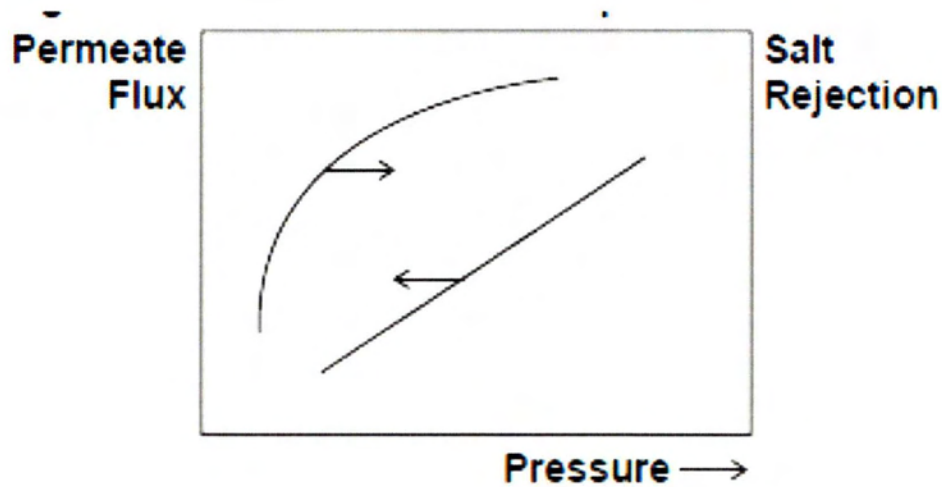
Τα Σχήματα 3.3 μέχρι 3.6 δείχνουν την επίδραση κάθε ενός από τις παραπάνω παραμέτρους όταν τα άλλα τρία κρατούνται σταθερά. Δεν θα πρέπει να αγνοήσουμε το γεγονός ότι αρκετοί παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία των μεμβρανών δεν γίνονται αμέσως ορατοί. Τέτοιοι παράγοντες αφορούν στην συντήρηση και την λειτουργία, καθώς και την προεπεξεργασία του νερού της τροφοδοσίας.

**Πίεση:** αυξάνοντας την πίεση στην είσοδο των μεμβρανών θα μειωθεί η συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών (total dissolved solids, TDS) στο διήθημα, ενώ θα αυξηθεί η ογκομετρική παροχή αυτού.

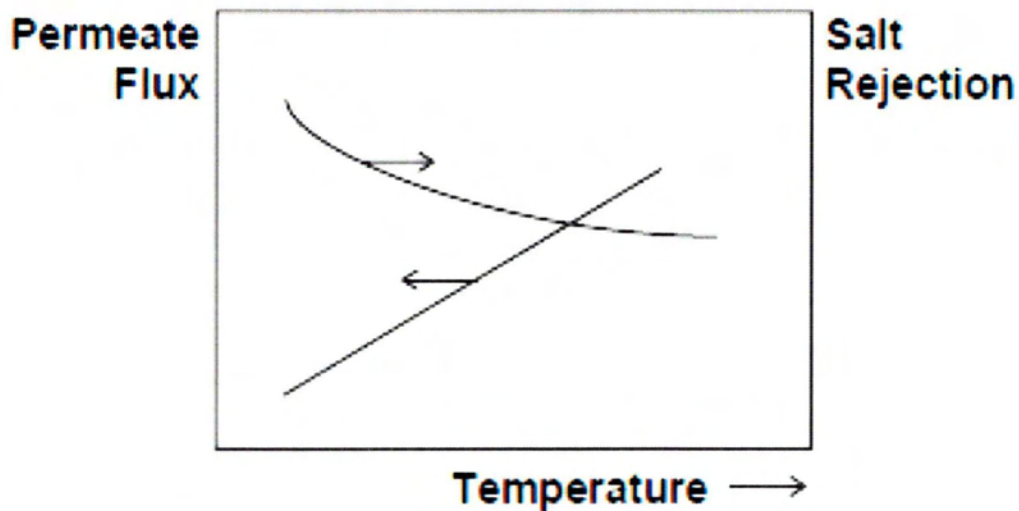
**Θερμοκρασία:** εάν αυξηθεί η θερμοκρασία και οι άλλες τρεις παράμετροι διατηρηθούν σταθερές, τότε θα αυξηθεί , η ογκομετρική παροχή του προϊόντος και το ποσοστό των αλάτων το οποίο περνάει μέσω των μεμβρανών.

**Συγκέντρωση του άλατος στο νερό τροφοδοσίας :** φαίνεται στο σχήμα

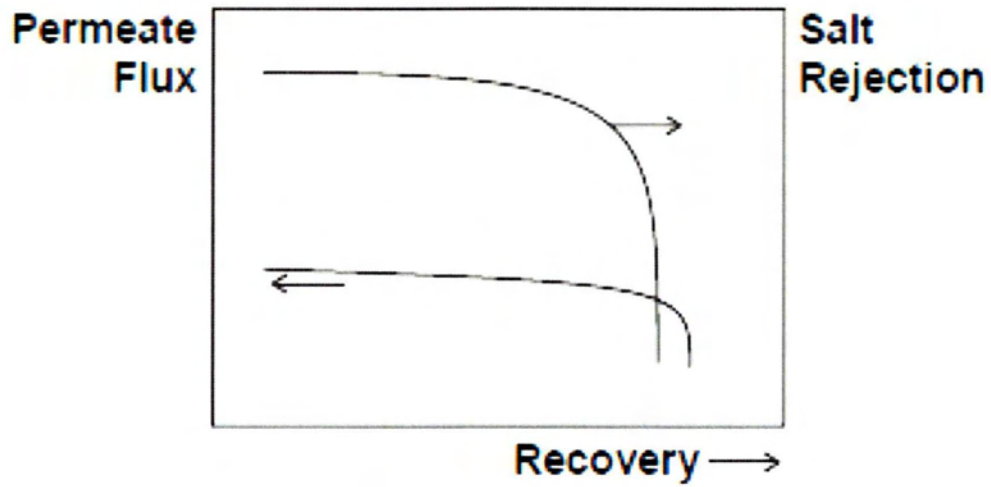
**Ανάκτηση:** Εάν αυξηθεί η ανάκτηση η παροχή του προϊόντος θα μειωθεί και θα σταματήσει όταν η συγκέντρωση του άλατος στο σημείο εκείνο που η ωσμωτική πίεση του συμπυκνώματος είναι ίση με την πίεση που ασκούμε στην είσοδο των μεμβρανοδοχείων.



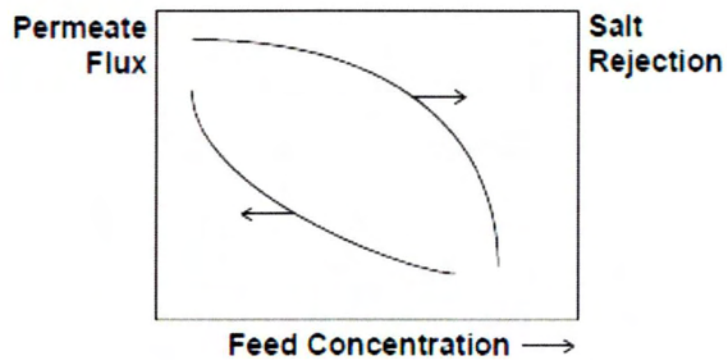
Σχήμα 3.3 Απόδοση vs Πίεση [7].



Σχήμα 3.4 Απόδοση vs Θερμοκρασία [7].



Σχήμα 3.5 Απόδοση vs Ανάκτηση [7]



Σχήμα 3.6 Απόδοση vs Περιεκτικότητα τροφοδοσίας σε άλατα [7]

Ο Πίνακας 3.1 δείχνει την επίδραση των παραγόντων στην λειτουργία της R.O.

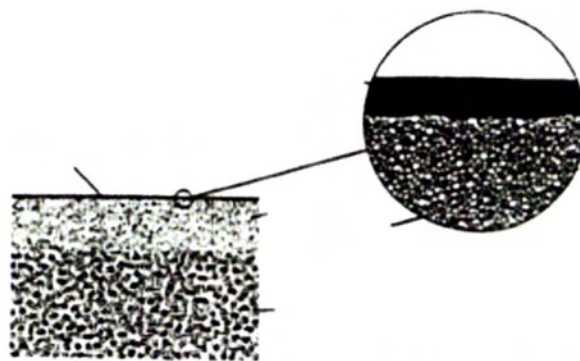
Πίνακας 3.1 Επίδραση βασικών παραγόντων στην λειτουργία των R.O.

Αύξηση	Διήθημα	Αλάτι που περνάει
Πίεση	↑	↓
θερμοκρασία	↑	↑
Ανάκτηση	↓	↑
Αλάτι τροφοδοσίας	↓	↑



### 3.1.3 Περιγραφή μεμβρανών

Οι μεμβράνες της FILMTEC™ είναι ένα συνθετικό λεπτό φιλμ που αποτελείται από 3 στρώσεις: ένα πολυεστερικό υπόστρωμα, ένα ενδιάμεσο στρώμα με μικροπόρους από πολυσουλφίδιο και από ένα επιφανειακό πολύ λεπτό στρώμα από πολυαμίδιο. Κάθε ένα από τα τρία στρώματα έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές. Μία σχηματική απεικόνιση των μεμβρανών φαίνεται στο **Σχήμα 3.7**



Polyamide, Microporous Polysulfone, Polyester Support Web, Ultrathin Barrier Layer 0.2  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$ , 120  $\mu\text{m}$

**Σχήμα 3.7** Σχηματική αναπαράσταση της επιφανειακής δομής της μεμβράνης [7]

### 3.1.4 Απόδοση των μεμβρανών

Οι μεμβράνες της FILMTEC™ χαρακτηρίζονται από καλή απόδοση σε μεγάλο εύρος εφαρμογών, όπως για αφαλάτωση θαλασσινού νερού, για καθαρισμό υφάλμυρου νερού, σε χημικές διεργασίες και διεργασίες επεξεργασίας αποβλήτων. Παρουσιάζουν εξαιρετική λειτουργία σε διαφορετικές ροές τροφοδοσίας, απόρριψη αλάτων και οργανικών ουσιών και σε αντίσταση σε μικροβιολογικές επικαθίσεις. Λειτουργούν για pH από 2 έως 11, αντιστέκονται σε επικαθίσεις και σε θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας έως 45°C. Επίσης οι μεμβράνες μπορούν και αντιστέκονται σε διάβρωση από παρουσία Cl έως και 0.1 ppm, παρόλα αυτά η συνεχής έκθεση των μεμβρανών σε ελεύθερο χλώριο θα πρέπει να αποφεύγεται.

Γενικά η ικανότητα των μεμβρανών για διήθηση του νερού τροφοδοσίας μειώνεται (αυξάνεται η απόρριψη) με την αύξηση των ακόλουθων παραγόντων :

- **Βαθμός διάστασης** : τα ασθενή οξέα απομακρύνονται καλύτερα σε μεγάλο pH όταν ο βαθμός διάστασης είναι μεγάλος.
- **Σθένος των ιόντων** : τα δισθενή ιόντα απορρίπτονται σε μεγαλύτερο βαθμό από τα μονοθενή.
- **Μοριακό βάρος** : οι ενώσεις με μεγάλο μοριακό βάρος εμφανίζουν καλύτερη απόρριψη.
- **Πολικότητα** : μικρή πολικότητα βοηθάει στην απόρριψη.
- **Βαθμός ενυδάτωσης** : είδη που έχουν μεγάλη τάση για ενυδάτωση όπως το χλώριο, παρουσιάζουν καλύτερη απόρριψη από είδη που έχουν μικρή ενυδάτωση.

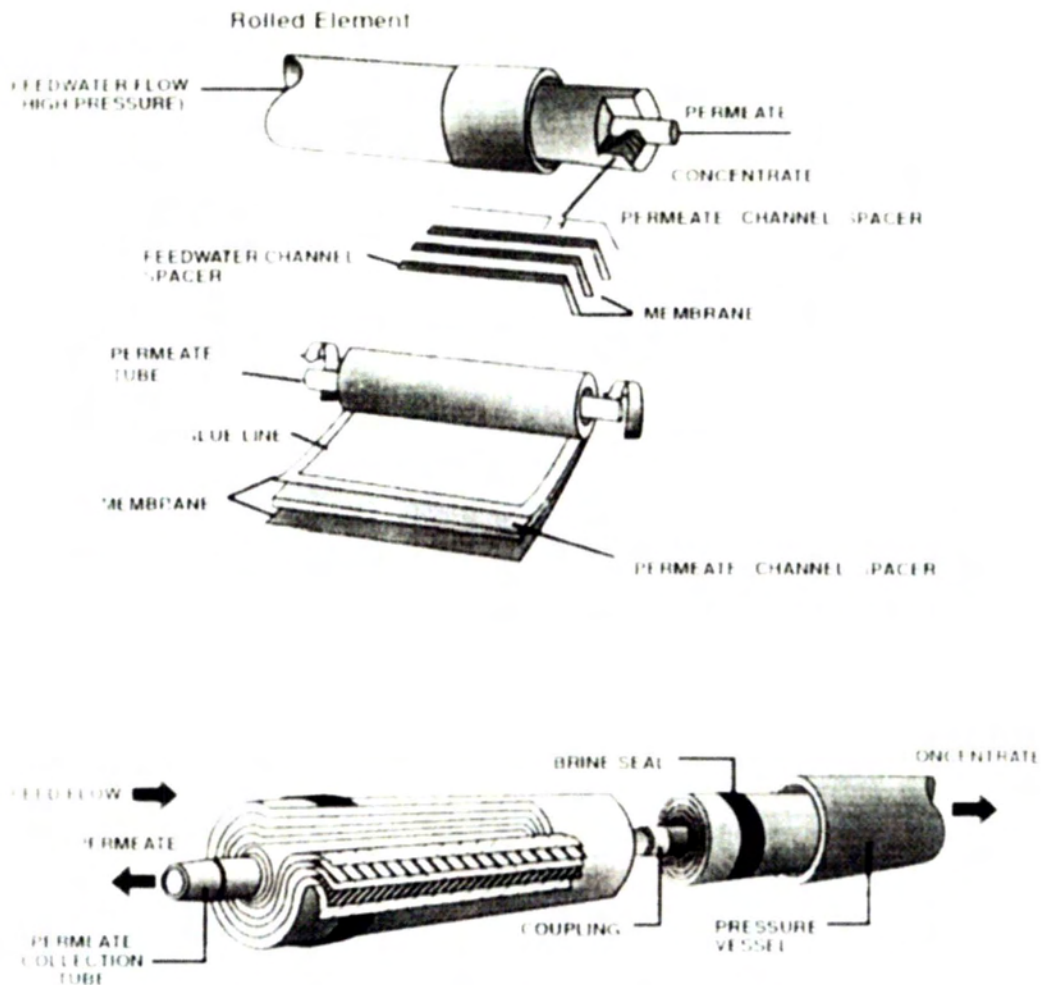
### 3.1.5 Κατασκευαστική σύνδεση των μεμβρανών

Οι μεμβράνες της FILMTEC™ βρίσκονται σε μορφή σπειροειδούς περιέλιξης. Η κατασκευή των μεμβρανών καθώς και η τοποθέτηση τους στα μεμβρανοδοχεία απεικονίζεται στα ακόλουθα σχήματα. Ένα μεμβρανοδοχείο μπορεί να περιέχει από 1 έως και 30 στοιχειακές μεμβράνες, αναλόγως με τον τύπο των μεμβρανών. Το συμπύκνωμα του πρώτου στοιχείου γίνεται ακολούθως η τροφοδοσία του δεύτερου και έτσι γίνεται έως το τελευταίο στοιχείο. Οι σωλήνες που συγκεντρώνουν το διήθημα ενώνονται μεταξύ τους με συνδέσμους (couplers), και το ολικό προϊόν φεύγει προς την μία άκρη του μεμβρανοδοχείου.

## 3.2 Χημεία του νερού και προεπεξεργασία

### 3.2.1 Εισαγωγή

Για τη διατήρηση της καλής λειτουργίας της Αντίστροφης Ώσμωσης για μεγάλο χρονικό διάστημα είναι απαραίτητη η κατάλληλη επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας. Η επιλογή της κατάλληλης προεπεξεργασίας του νερού θα μεγιστοποιήσει την αποτελεσματικότητα και τη ζωή των μεμβρανών ελαχιστοποιώντας τα εξής:



Σχήμα 3.8 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των μεμβρανών [7]

- Οργανική ρύπανση (biofouling, οργανικές επικαθίσεις)
- καθαλατώσεις (scaling, επικαθίσεις ανόργανων αλάτων)
- Την αποδόμηση των μεμβρανών

Βελτιώνοντας τα εξής :

- Την παροχή του προϊόντος
- Την ποιότητα του προϊόντος (απόρριψη άλατος)
- Την ανάκτηση του προϊόντος
- Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης

**Ρύπανση ή δημιουργία επικαθίσεων (Fouling)** είναι η συγκέντρωση ξένων στοιχείων που περιέχονται στο νερό τροφοδοσία πάνω στην ενεργή επιφάνεια των μεμβρανών

δημιουργώντας έτσι λειτουργικά προβλήματα. Ο όρος «fouling» περιλαμβάνει όλων των ειδών των επικαθίσεων και σε όλα τα στρώματα της μεμβράνης συμπεριλαμβανομένων και των καθαλατώσεων. Ειδικότερα οι κολλοειδείς επικαθίσεις αναφέρονται σε παγίδευση σωματιδίων ή κολλοειδών όπως οξείδια του σιδήρου, οι βιολογικές επικαθίσεις είναι η ανάπτυξη βιοφίλμ στις μεμβράνες και οι οργανικές επικαθίσεις είναι η προσρόφηση οργανικών ενώσεων όπως διάφορα έλαια. Οι καθαλατώσεις αναφέρονται στη καταβύθιση και εναπόθεση στις μεμβράνες διαφόρων διαλυμένων αλάτων όπως, ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ), θειϊκού βαρίου, θειϊκού ασβεστίου, φθοριούχου ασβεστίου και θειϊκού στροντίου ( $\text{SrSO}_4$ ).

Η προεπεξεργασία του νερού τροφοδοσίας πρέπει να περιλαμβάνει ένα πλήρες σύστημα συνεχούς και αξιόπιστης λειτουργίας. Για παράδειγμα εάν έχει σχεδιαστεί ένα ακατάλληλο σύστημα απομάκρυνσης της πιθανούς άμμους που περιέχει το νερό, τότε το ποσοστό της άμμου που θα συγκεντρωθεί στις μεμβράνες θα ξεφεύγει από τις κατάλληλες προδιαγραφές για μέγιστη λειτουργία. Μία τέτοια ακατάλληλη λειτουργία θα απαιτούσε συχνό καθαρισμό των μεμβρανών έτσι ώστε το σύστημα να ανακτήσει την παραγωγικότητα και την απόρριψη του άλατος. Το κόστος της συντήρησης, ο χρόνος που απαιτείται για να γίνει αυτός αλλά και η λειτουργία της μονάδας σε μη βέλτιστες συνθήκες μπορεί να είναι μεγάλος.

Η κατάλληλη σχεδιαστική επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας εξαρτάται από:

- Την πηγή του νερού τροφοδοσίας
- Από την σύσταση του νερού
- Από τις εγκαταστάσεις

Το ακριβές είδος της απαιτούμενης προεπεξεργασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ίδια την πηγή η οποία τροφοδοτεί το σύστημα, δηλαδή εάν είναι καλό νερό, επιφανειακό νερό, νερό από απορρίμματα βιολογικών καθαρισμών.

Τα νερά τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία των μεμβρανών, χαρακτηρίζονται συνήθως από τα ολικά αδιάλυτα άλατα που περιέχουν (TDS) και από το οργανικό φορτίο (ολικός άνθρακας και TOC).[8],[9],[10]

### 3.2.2 Θαλασσινό νερό

Το θαλασσινό νερό με περιεκτικότητα σε TDS 35.000 ppm θεωρείται κατά μέσο όρο παγκοσμίως η πιο συνήθης περιεκτικότητα. Ένα παράδειγμα της σύστασης του νερού δίνεται στον Πίνακα 3.2.

**Πίνακας 3.2.** Τυπική σύσταση θαλασσινού νερού.

Ion	Concentration (mg/L)
Calcium	410
Magnesium	1,310
Sodium	10,900
Potassium	390
Barium	0.05
Strontium	13
Iron	<0.02
Manganese	<0.01
Silica	0.04 - 8
Chloride	19,700
Sulfate	2,740
Fluoride	1.4
Bromide	65
Nitrate	<0.7
Bicarbonate	152
Boron	4 - 5
<b>Other</b>	
TDS	35,000 mg/L

### 3.2.3 Υφάλμυρο νερό

Η σύσταση του υφάλμυρου νερού μπορεί να διαφοροποιείται σε μεγάλο βαθμό, γι' αυτό απαιτείται πάντα να γίνεται χημική ανάλυση του νερού της τροφοδοσίας. Στην επεξεργασία του υφάλμυρου νερού, ο όρος της ελάχιστης ανάκτησης οφείλεται κυρίως στην χημική σύσταση αυτού. Συνιστάται να συμπληρώνεται ο **Πίνακας 3.3** [8, 9, 10].

### 3.2.4 Ανόργανες Επικαθίσεις

Ανόργανες επικαθίσεις αλάτων (καθαλατώσεις) μπορεί να συμβούν στις μεμβράνες όταν η συγκέντρωση κάποιων αλάτων ξεπεράσει το όριο διαλυτότητας αυτών. Για παράδειγμα εάν το σχεδιαστικό πλάνο λειτουργεί με ανάκτηση 50% η συγκέντρωση στο συμπύκνωμα θα είναι σχεδόν διπλάσια από αυτή στην τροφοδοσία. Εάν για κάποιο λόγο η ανάκτηση αυξηθεί, αυτό θα οδηγήσει σε κίνδυνο να φράξουν οι μεμβράνες.

**Πίνακας 3.3** Ανάλυση του νερού για συστήματα RO/NF. [7]

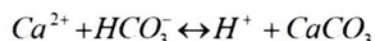
Sample identification .....	
Feed Source .....	
Conductivity .....	pH ..... Temperature.....
Feed water analysis	
Please give units (mg/L as ion	$NH_4^+$ ..... $CO_2$ .....
Or ppm as $CaCO_3$ or meq/L)	$K^+$ ..... $CO_3^{2-}$ .....
	$Na^+$ ..... $HCO_3^-$ .....
	$Mg^{2+}$ ..... $NO_3^-$ .....
	$Ca^{2+}$ ..... $Cl^-$ .....
	$Ba^{2+}$ ..... $F^-$ .....
	$Sr^{2+}$ ..... $SO_4^{2-}$ .....
	$Fe^{2+}$ ..... $PO_4^{2-}$ .....
	$Fe$ (total) ..... $S^{2-}$ .....
	$Mn^{2+}$ ..... $SiO_2$ (Colloidal) .....
	<i>Boron</i> ..... $SiO_2$ Soluble
	$Al^{3+}$ .....
Other ions.....	
TDS (by method) .....	
TOC .....	
BOD .....	
COD .....	
AOC .....	
BDOC .....	
Total alkalinity (m-value) .....	
Carbonate alkalinity (p-value) .....	
Total hardness: .....	
Turbidity (NTU) .....	
Silt density index (SDI) .....	
Bacteria (count/ml) .....	
Free chlorine .....	
Remarks .....	
(odor, smell, color, biological activity, etc).....	
.....	
Analysis by : .....	
Date : .....	

Στις μονάδες R.O. τα πιο πιθανά άλατα τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε scaling είναι τα ανθρακικό ασβέστιο  $\text{CaCO}_3$ , θειικό ασβέστιο  $\text{CaSO}_4$  και η πυριτία ( $\text{SiO}_2$ ). Άλλα άλατα τα οποία έχουν πιθανόν δυναμικό για δημιουργία καθαλατώσεων είναι τα  $\text{CaF}_2$ , θειικό βάριο  $\text{BaSO}_4$ , θειικό στρόντιο  $\text{SrSO}_4$  και φωσφορικό ασβέστιο  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

Οι ακόλουθες τακτικές συνιστώνται ως μέτρα για την αποφυγή των καθαλατώσεων.

### 3.2.5 Προσθήκη οξέος

Η διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου εξαρτάται από το pH όπως φαίνεται από την ακόλουθη αντίδραση :



Προσθέτοντας  $\text{H}^+$  ως οξύ η ισορροπία τείνει να μετατοπιστεί προς το αριστερό μέρος, διατηρώντας τα κατιόντα του  $\text{Ca}^{2+}$  στο διάλυμα.[9],[10]

### 3.2.6 Προσθήκη Αντικαθαλατωτικών

Η προσθήκη των αντικαθαλατωτικών χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των ανθρακικών επικαθίσεων, των θειικών επικαθίσεων και των επικαθίσεων του φθοριούχου ασβεστίου. Γενικά υπάρχουν τριών ειδών αντικαθαλατωτικά, φωσφορικά άλατα, π.χ. το sodium hexametaphosphate, το οποίο είναι μία εξαμερής σύνθεση του  $(\text{NaPO}_3)_6$ , οι οργανοφωσφωνικές ενώσεις (organophosphonates), που είναι εστέρες του φωσφορικού οξέος και τα πολυακρυλικά (polyacrylates), που είναι σύνθεση πολυακρυλικών εστέρων. Γενικά στα συστήματα της αντίστροφης ώσμωσης που επεξεργάζονται θαλασσινό νερό ο κίνδυνος των χημικών επικαθίσεων δεν είναι τόσο μεγάλος όσο στην επεξεργασία του υφάλμυρου νερού, εξαιτίας του γεγονότος ότι η ανάκτηση περιορίζεται στο 35-40 % λόγω της υψηλής ωσμωτική πίεσης του συμπυκνώματος.

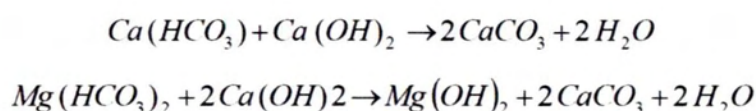
### 3.2.7 Αποσκλήρυνση με την προσθήκη ισχυρού οξέος και με ιοντοανταλλαγή

Κατά την αποσκλήρυνση με ιοντο-ανταλλαγή τα κατιόντα που οδηγούν στο σχηματισμό καθαλατώσεων πάνω στις μεμβράνες, όπως τα  $Ba^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ , αντικαθίστανται με κατιόντα  $Na^{+}$ , τα άλατα του οποίου είναι ευδιάλυτα.

Το pH του νερού δεν επηρεάζεται από αυτή την διαδικασία και έτσι δεν απαιτείται απαερίωση. Μόνο ένα μικρό ποσοστό αερίου  $CO_2$  μπορεί να περάσει στο προϊόν αυξάνοντας έτσι την αγωγιμότητα του τελικού προϊόντος.

### 3.2.8 Αποσκλήρυνση

Η αποσκλήρυνση του νερού μπορεί να επιτευχθεί απομακρύνοντας τα κατιόντα του  $Ca^{2+}$  και του  $Mn^{2+}$  χρησιμοποιώντας υδροξείδιο του ασβεστίου, σύμφωνα με τις αντιδράσεις :



### 3.2.9 Προληπτικός καθαρισμός

Σε μερικές εγκαταστάσεις οι επικαθίσεις των χημικών αλάτων, αντιμετωπίζεται με συχνούς προληπτικούς καθαρισμούς. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να λειτουργεί χωρίς να τροφοδοτείται συνεχώς με χημικά αντικαθαλατωτικά. Τέτοια συστήματα λειτουργούν με χαμηλή ανάκτηση και οι μεμβράνες συνήθως αντικαθίστανται κάθε 1-2 χρόνια. [15, 16].

### 3.2.10 Εκτίμηση δημιουργίας καθαλατώσεων

Στα συστήματα R.O. είναι αναγκαίο να γίνουν υπολογισμοί σε σχέση με τη δυνατότητα που έχουν κάποια δυσδιάλυτα άλατα να δημιουργήσουν φράξιμο στις μεμβράνες. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο υπολογισμός συμβαδίζει με τα πρότυπα ASTM. Για να βρεθεί η πιθανή τάση για δημιουργία καθαλατώσεων θα πρέπει να γίνει σύγκριση του του γινομένου των συγκεντρώσεων των ιόντων (ion product) που απαρτίζουν το υπό εξέταση άλας στο συμπύκνωμα με τη σταθερά διαλυτότητας του άλατος στις συνθήκες του συμπυκνώματος.



Το γινόμενο των συγκεντρώσεων (ή σωστότερα των ενεργοτήτων) των ιόντων ενός άλατος  $A_m B_n$  ορίζεται ως :

$$IP = [A]^m \cdot [B]^n \quad (3.1)$$

όπου  $[A]$  και  $[B]$  είναι οι συγκεντρώσεις των ιόντων. Για την περιοχή των συγκεντρώσεων που εμφανίζονται σε εγκαταστάσεις της αντίστροφης ώσμωσης τα (mol/kg) μπορεί να θεωρηθούν ίσα με (mol/lit). [10],[11]

Η συγκέντρωση των ιόντων στο συμπύκνωμα είναι συνήθως άγνωστη, αλλά μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί εάν πολλαπλασιαστεί με την συγκέντρωση στην τροφοδοσία με ένα διορθωτικό συντελεστή CF. Ο συντελεστής προσδιορίζεται από την ανάκτηση Y και είναι μικρότερος της μονάδας.

$$CF = \frac{1}{1-Y} \quad (3.2)$$

όταν η απόρριψη θεωρείται ότι είναι 100 %.

Ο συντελεστής διαλυτότητας  $K_{sp}$  εκφράζεται και αυτός σε μοριακές συγκεντρώσεις και εξαρτάται από την ιονική ισχύ κα από την θερμοκρασία. Η θερμοκρασία της τροφοδοσίας και του συμπυκνώματος θεωρούνται περίπου ίσες.

Η ιοντική ισχύς του ρεύματος τροφοδοσίας είναι :

$$I_f = \frac{1}{2} \sum m_i z_i \quad (3.3)$$

όπου  $m_i$  η συγκέντρωση του ιόντος  $i$  και όπου  $z_i$  το σθένος του ιόντος  $i$ .

Εάν η ανάλυση του νερού δεν δίνεται σε mol/L η μετατροπή που πρέπει να κάνουμε είναι η εξής :

$$m_i = \frac{c_i}{1,000 MW_i} \quad (3.4)$$

όπου  $c_i$  είναι η συγκέντρωση του ιόντος  $i$  σε mg/lit και  $MW_i$  το ατομικό βάρος του ιόντος  $i$ .

Έχοντας υπολογίσει την ιοντική ισχύ της τροφοδοσίας, η ιοντική ισχύς του συμπυκνώματος θα είναι :

$$I_c = I_f \left( \frac{1}{1-Y} \right) \quad (3.5)$$

### 3.3 Πρόληψη του σχηματισμού επικαθίσεων Ανθρακικού Ασβεστίου

#### 3.3.1 Υφάλμυρο νερό

Για το υφάλμυρο νερό με  $TDS < 10,000$  mg/L το Langelier Saturation Index (LSI), χρησιμοποιείται ως ένδειξη του δυναμικού των επικαθίσεων, για το ανθρακικό ασβέστιο.

Τα ακόλουθα δεδομένα χρειάζονται για να υπολογιστεί το LSI του νερού τροφοδοσίας (LSI<sub>c</sub>):

$Ca$  = η συγκέντρωση του Ca στο ρεύμα τροφοδοσίας

$TDS_f$  = η συγκέντρωση των ολικά διαλυμένων στερεών στην τροφοδοσία

$Alk_f$  = η αλκαλικότητα στην τροφοδοσία ως  $CaCO_3$ , mg/lit

$pH_f$  = στην τροφοδοσία

$T$  = η θερμοκρασία στην τροφοδοσία

$Y$  = η ανάκτηση στο σύστημα της αντίστροφης όσμωσης

#### Υπολογισμοί

1. Υπολογισμός της συγκέντρωσης του Ca στο συμπύκνωμα,  $Ca_c$  ως  $CaCO_3$  (mg/lit)

$$Ca_c = Ca_f \left( \frac{1}{1-Y} \right) \quad (3.6)$$

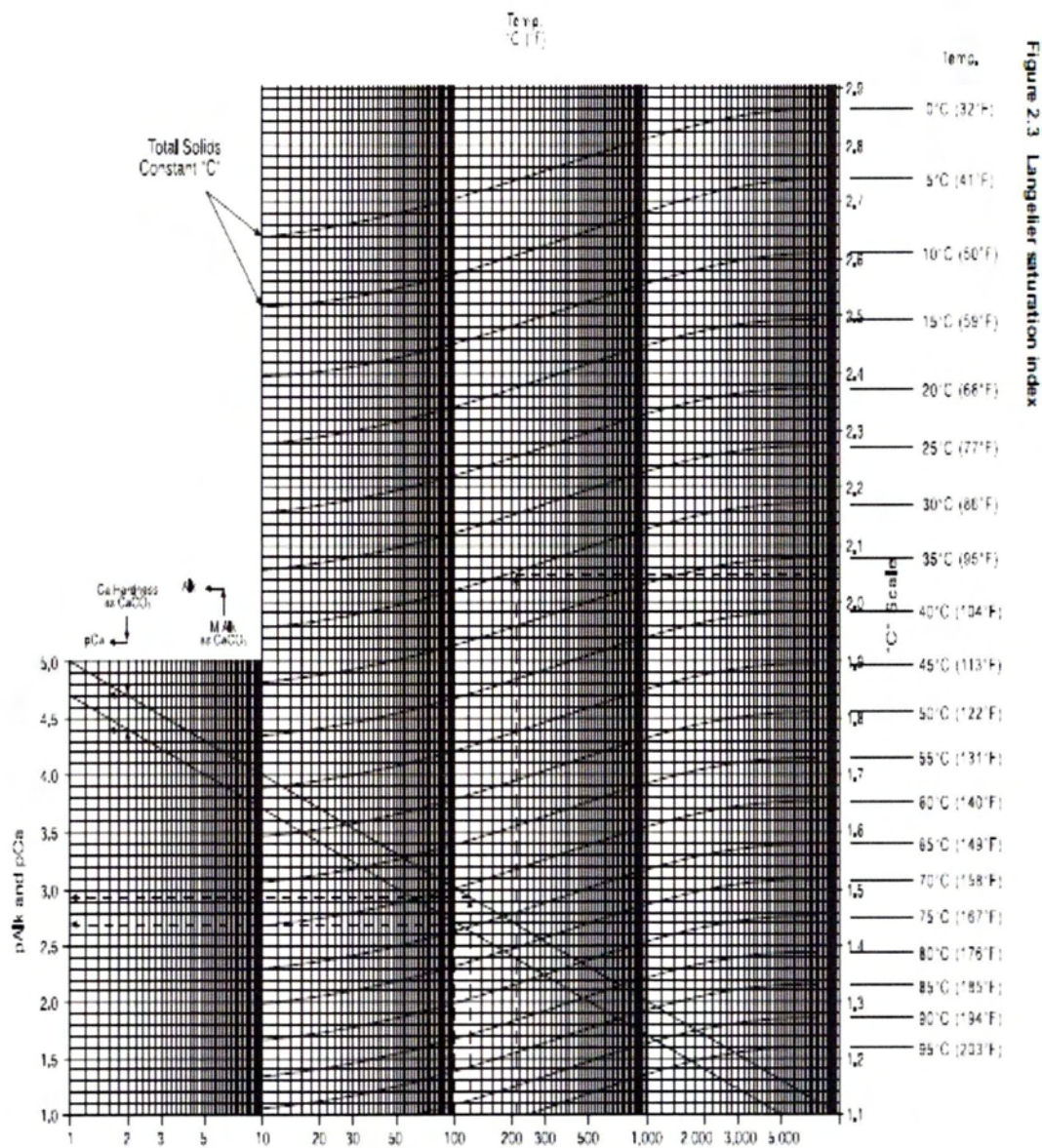
2. Υπολογισμός των ολικών διαλυμένων στερεών στο συμπύκνωμα

$$TDS_c = TDS_f \left( \frac{1}{1-Y} \right) \quad (3.7)$$

3. Υπολογισμός της αλκαλικότητας του συμπυκνώματος ως  $CaCO_3$

$$Alk_c = Alk_f \left( \frac{1}{1-Y} \right) \quad (3.8)$$

4. Υπολογισμός της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στο συμπύκνωμα, υποθέτοντας ότι αυτή θα είναι ίση με την συγκέντρωση στην τροφοδοσία  $C_c=C_f$ . Η συγκέντρωση του ελεύθερου  $CO_2$  προσδιορίζεται από το pH της τροφοδοσίας ως συνάρτηση και της αλκαλικότητας αυτού.[14]



Σχήμα 3.9 Ο δείκτης κορεσμού Langelier [7]

5. Υπολογισμός του pH του συμπυκνώματος χρησιμοποιώντας την αλκαλικότητα αυτού σε σχέση με το ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10 .

6. Στο Σχήμα 3.9 βρίσκουμε τα  $pCa = f(Ca_c)$ ,  $pAlk = f(Alk_c)$ ,  $"C" = f(TDS, T)$

7. Υπολογισμός του pH στο οποίο το συμπύκνωμα γίνεται κορεσμένο σε  $CaCO_3$

ως εξής :

$$pH_s = pCa + pAlk + "C" \quad (3.9)$$

8. Υπολογισμός του *Langelier Saturation Index (LSI)* του συμπυκνώματος ως εξής:

$$LSI_c = pH_c - pH_s \quad (3.10)$$

#### Ρύθμιση του $LSI_c$

Στα περισσότερα φυσικά νερά το  $LSI$  θα έχει θετική τιμή εάν δεν έχουν υποστεί επεξεργασία. Για τον έλεγχο των επικαθίσεων του  $CaCO_3$ , το  $LSI_c$  θα πρέπει να ρυθμίζεται σε αρνητική τιμή, εκτός εάν προστίθενται αντικαθαλατωτικά ή γίνονται προληπτικοί καθαρισμοί.

Οι συνθήκες για έλεγχο των επικαθίσεων είναι :

- $LSI_c < 0$  εάν δεν προστίθενται αντικαθαλατωτικά
- $LSI < 1$  εάν 20 mg/L *sodium hexametaphosphate* προστίθενται στο ρεύμα τροφοδοσίας.
- $LSI > 1$  εάν προστίθεται οργανικά πολυμερικά αντικαθαλατωτικά.[12],[13],[14]

#### 3.3.2 Ρυθμίσεις για την ελαχιστοποίηση των επικαθίσεων του $CaSO_4$

##### Υπολογισμοί

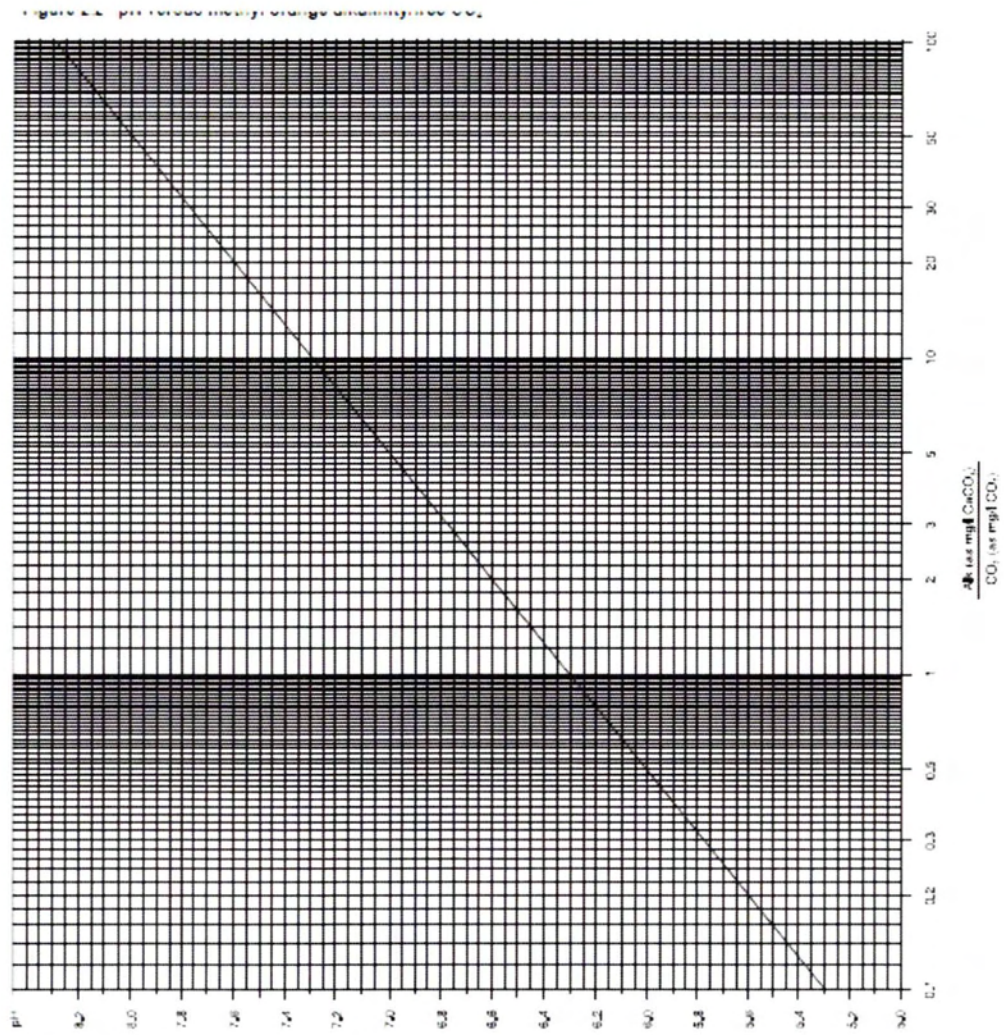
1. Υπολογισμός της ιονικής ισχύος του διαλύματος όπως περιγράφηκε στο 3.3.1

$$I_c = I_f \left( \frac{1}{1-Y} \right) \quad (3.11)$$

2. Υπολογισμός του γινομένου ιόντων για το  $CaSO_4$  στο συμπύκνωμα :

$$IP_c = \left[ ({}^mCa^{2+})_f \left( \frac{1}{1-Y} \right) \right] \left[ ({}^mSO_4^{2-})_f \left( \frac{1}{1-Y} \right) \right] \quad (3.12)$$

όπου:  $({}^mCa^{2+}) = M Ca^{2+}$  στην τροφοδοσία,  $mol/L$  και  $({}^mSO_4^{2-}) = M SO_4^{2-}$  στην τροφοδοσία,  $mol/L$



Σχήμα 3.10 pH versus methyl orange alkalinity/free CO2

3. Σύγκριση του  $IP_C$  για το  $CaSO_4$  με την σταθερά  $K_{sp}$  του  $CaSO_4$  στην ιονική ισχύ του συμπυκνώματος. Εάν το  $K_{sp} > IP_C$ , τότε μπορεί να συμβεί φράξιμο των μεμβρανών από  $CaSO_4$  και απαιτούνται επιπρόσθετες ρυθμίσεις. [12],[13],[14]

3.3.3 Ρυθμίσεις για την ελαχιστοποίηση των επικαθίσεων του  $BaSO_4$

Το θειικό βάριο είναι το πιο δυσδιάλυτο από όλα τα θειικά άλατα. Η παρουσία του στο νερό μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες επικαθίσεις, αφού πιθανόν ενεργεί ως καταλύτης για επικαθίσεις των  $CaSO_4$  και  $BaSO_4$ . Στα περισσότερα φυσικά νερά το Βάριο υπάρχει σε τέτοιες συγκεντρώσεις που μπορεί να οδηγήσει σε επικαθίσεις αλάτων. Κρίσιμες τιμές της συγκέντρωσης του είναι για θαλάσσια νερά <15 mg/lit, για υφάλμυρα νερά <5 mg/lit ή

ακόμα και <2 mg/lit εάν προστίθεται θειικό οξύ στην τροφοδοσία. Η πρόβλεψη της τασης για πιθανό σχηματισμό επικαθίσεων αλάτων  $BaSO_4$  γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως στο  $CaSO_4$ . [14]

### 3.3.4 Ρυθμίσεις για την ελαχιστοποίηση των επικαθίσεων του $SrSO_4$

Οι υπολογισμοί είναι οι ίδιοι όπως για το  $CaSO_4$  και το  $BaSO_4$

## 3.4 Αποφυγή Σωματιδιακών και Κολλοειδών Επικαθίσεων

Το φράξιμο των μεμβρανών από επικαθίσεις κολλοειδών σωματιδίων έχει σοβαρή επίπτωση στη λειτουργία των μονάδων, αφού μειώνει την παραγωγικότητα και μερικές φορές την απόρριψη του άλατος. Ένα σημάδι του προβλήματος αυτού είναι η αύξηση της διαφορά της πίεσης στο σύστημα.

Η πηγή της ιλύος και των κολλοειδών στα νερά τροφοδοσίας των μονάδων ποικίλλουν σε εύρους και είδος κα συνήθως περιλαμβάνουν βακτήρια, άργιλο, κολλοειδή πυρίτιο και προϊόντα διάβρωσης του σιδήρου. Διάφορες χημικές ουσίες χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του νερού όπως θειικό αργίλιο, χλωριούχο σίδηρο ή κατιονικοί πολύ ηλεκτρολύτες, οι οποίοι οδηγούν σε συσσωμάτωση των ενώσεων αυτών σε πιο μεγάλα σωματίδια έτσι ώστε να μπορούν να απομακρυνθούν με μεγαλύτερη ευκολία από τα αμμόφιλτρα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα χημικά αυτά θα πρέπει με κάποιο τρόπο να αφαιρούνται από το νερό πριν να εισέλθει στις μεμβράνες γιατί τα ίδια μπορεί να προκαλέσουν φράξιμο των μεμβρανών. [17],[18]

Αρκετές μέθοδοι ή δείκτες υπάρχουν οι οποίες μας προσδιορίζουν το δυναμικό για κολλοειδή φράξιμο των μεμβρανών με πιο σημαντικό τον δείκτη Silt Density Index (SDI).

Οι μέθοδοι οι οποίοι συνιστώνται για να προστατέψουν από φράξιμο κολλοειδών είναι οι :

- Διήθηση μέσω διαφόρων υλικών (Media filtration)
- Διήθηση με οξείδωση
- Συνεχής διήθηση (In line – filtration)
- Συσσωμάτωση – κροκύδωση (Coagulation – flocculation)

- Μικροδιήθηση/ υπεδιήθηση (Microfiltration/ultrafiltration)
- Διήθηση με φυσιγγίο (Cartridge filtration)

### 3.5 Πρόβλεψη για βιολογικές επικαθίσεις

Η προσρόφηση οργανικών ουσιών πάνω στην επιφάνεια των μεμβρανών, μπορεί να αποφέρει σοβαρή μείωση της ειδικής ροής, επίπτωση που μπορεί να είναι μη αναστρέψιμη σε πολλές περιπτώσεις. Η διεργασία αυτή της προσρόφησης ευνοείται εάν οι οργανικές ουσίες αυτές έχουν μεγάλο Μοριακό Βάρος είτε όταν είναι υδροφοβικές είτε όταν είναι θετικά φορτισμένες. Εάν το pH είναι υψηλό τότε ο κίνδυνος αυτός μειώνεται αισθητά λόγω του ότι και οι μεμβράνες και οι οργανικές ενώσεις φορτίζονται αρνητικά σε  $pH > 9$ . Οι οργανικές ενώσεις σε μορφή γαλακτώματος μπορεί να σχηματίσουν ένα οργανικό film πάνω στις μεμβράνες. Οι οργανικές ουσίες θα πρέπει να αφαιρεθούν στο στάδιο της προ επεξεργασίας.

Τα οργανικά που βρίσκονται σε φυσικά νερά είναι συνήθως χουμικές ουσίες σε συγκεντρώσεις 0.5 και 20 mg/L TOC. Η προ επεξεργασία θα πρέπει να γίνεται όταν η συγκέντρωση είναι  $>3$  TOC, και θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με κροκίδωση, με χρήση της μεθόδου ultrafiltration ή με προσρόφηση σε ενεργοποιημένο άνθρακα. [20],[21]



### 3.6 Πρόβλεψη για αποδόμηση των μεμβρανών

Κατά τις διεργασίες της αντίστροφης όσμωσης η προστασία των μεμβρανών θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν εκτός από τις προσροφήσεις διαφόρων ουσιών που μπορεί να περιέχονται στο νερό τροφοδοσίας, η ικανότητα των μεμβρανών σε αντίσταση σε ορισμένες χημικές ουσίες η παρουσία των οποίων επηρεάζει την απόδοση και την ζωή τους. Γενικά όλοι οι οξειδωτικοί παράγοντες και θα πρέπει να απομακρύνονται με διεργασίες που έχουν περιγραφεί. Γενικά οι μεμβράνες έχουν καλή σχέση με όλες τις άλλες ουσίες, αρκεί αυτές να είναι ευδιάλυτες και να μην σχηματίσουν οργανικές ενώσεις.

### 3.7 Πρόβλεψη για προσρόφηση του Σιδήρου και του Μαγνησίου

Η προσρόφηση του Fe είναι κάτι που συμβαίνει πολύ συχνά. Σαν κάθε ανεπιθύμητη προσρόφηση έτσι και αυτή προκαλεί απώλεια της ειδικής ροής. Επιπλέον η παρουσία του σιδήρου πάνω στις μεμβράνες μπορεί να προκαλέσει οξείδωση των μεμβρανών. Ευτυχώς το είδος της φραγής των μεμβρανών από το σίδηρο είναι διαδικασία εύκολα αντιστρέψιμη.

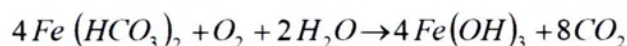
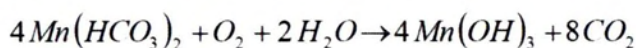
Τυπικές πηγές για την προσρόφηση του σιδήρου είναι :

- Μη οξικά υδατικά διαλύματα που περιέχουν δισθενή ευδιάλυτο σίδηρο ή μαγνήσιο
- Hydroxide floccs of oxidized iron or manganese from row water
- Οργανικές ενώσεις που περιέχουν σύμπλοκα σιδήρου
- Προϊόντα διάβρωσης από τις σωληνώσεις μεταφοράς του νερού
- Πυριτικές ενώσεις που περιέχουν σίδηρο

Η προεπεξεργασία του νερού που περιέχει σίδηρο περιγράφεται ακολούθως:

Τα ανοξικά νερά συνήθως περιέχουν δισθενή σίδηρο, μαγνήσιο ή και τα δύο. Εάν το νερό τροφοδοσίας που περιέχει σίδηρο ή μαγνήσιο, έχει οξυγόνο με  $>5$  mg/L ή έχει χλωριωθεί, αυτό έχει την επίπτωση να μετατρέπει το δισθενή σίδηρο σε τρισθενή, σχηματίζοντας έτσι κολλοειδή υδατικά διαλύματα τα οποία προκαλούν φράξιμο στις μεμβράνες.

Οι αντιδράσεις οξείδωσης των σιδήρου και μαγνησίου είναι οι εξής :



Η προσρόφηση του σιδήρου στις μεμβράνες συμβαίνει συχνότερα σε σχέση με του μαγνησίου λόγω τις οξείδωσης του σιδήρου σε χαμηλότερο pH. Επιπλέον οι επικαθίσεις μπορεί να συμβούν ακόμα και αν το SDI είναι κάτω από 5 ή ακόμα και εάν η συγκέντρωση των μετάλλων αυτών στο νερό τροφοδοσίας είναι κάτω από 0.1 mg/L. Τα νερά με χαμηλή αλκαλικότητα συνήθως έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σιδήρου σε σχέση με νερά με μεγάλη αλκαλικότητα λόγω της διαλυτότητας του  $Fe(CO_3)$ .



Ένας τρόπος μια να αποφύγουμε το φαινόμενο του φραξίματος των μεμβρανών από οξείδωση και καθίζηση του σιδήρου και του μαγνησίου είναι να διατηρούμε το νερό σε αναγωγικές συνθήκες. Η έκθεση του νερού σε αέρα ή σε οξειδωτικούς παράγοντες θα πρέπει να αποφεύγεται. Το χαμηλό pH κάνει την οξείδωση του σιδήρου μια αργή διαδικασία. Σε  $\text{pH} < 6$  και σε οξυγόνο  $< 0.5 \text{ mg/L}$  η μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση του  $\text{Fe}^{2+}$  είναι  $4 \text{ mg/L}$ . [11]

### 3.8 Χλωρίωση & Αποχλωρίωση του νερού τροφοδοσίας

Το χλώριο  $\text{Cl}_2$  έχει χρησιμοποιηθεί εδώ και πολλά χρόνια στην επεξεργασία των κοινοτικών και βιομηχανικών νερών για έλεγχο των μικροοργανισμών, εξ' αιτίας της ικανότητας του να απενεργοποιεί ταχύτατα τους περισσότερους παθογόνους οργανισμούς. Η αποτελεσματικότητα του χλωρίου εξαρτάται από την συγκέντρωσή του, από το χρόνο επαφής και από το pH του νερού. Το χλώριο χρησιμοποιείται στο πόσιμο νερό με συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου να θεωρείται ικανοποιητική όταν έχει την τιμή  $0.5 \text{ mg/L}$ . Σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, όπου επικαθίσεις μπορεί να συμβούν σε εναλλάκτες θερμότητας, φίλτρα άμμου κτλ. συνήθως διατηρείται συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου μεταξύ  $0.5-1 \text{ mg/L}$ , ανάλογα με την συγκέντρωση του οργανικών στο νερό τροφοδοσίας.

Η μέθοδος της προ επεξεργασίας του νερού με χλωρίωση στις μονάδες R.O. χρησιμοποιείται συνήθως όταν επεξεργαζόμαστε επιφανειακά νερά. Το χλώριο προστίθεται συνεχώς στην είσοδο και χρειάζεται χρόνος περίπου ίσος με  $30'$  για να δράσει. Σε όλη την γραμμή προ επεξεργασίας θα πρέπει να έχουμε συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου ίση με  $0.5-1 \text{ mg/L}$ . Ωστόσο η αποχλωρίωση του νερού τροφοδοσίας θα πρέπει να γίνεται πριν έρθει σε επαφή με τις μεμβράνες για να αποφευχθούν προβλήματα οξείδωσης των μεμβρανών.

Η δράση του χλωρίου εξαρτάται γενικώς από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού τροφοδοσίας, έτσι σε αλκαλικό νερό η δράση του είναι πιο γρήγορη σε σχέση με όξινα ή ουδέτερα νερά. Η δράση αυτή ευνοείται με την παρουσία σιδήρου ή άλλων μετάλλων

μετάπτωσης είτε στο νερό είτε στην επιφάνεια των μεμβρανών: αυτά τα μέταλλα δρουν ως καταλύτες στην αποδόμηση των μεμβρανών.

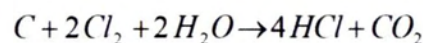
Η μέθοδος της συνεχούς χλωρίωσης κα από χλωρίωσης του νερού χρησιμοποιείται για πολλά χρόνια. Οι βίο επικαθίσεις μειώνονται με την χλωρίωση παρόλα αυτά δεν εξαλείφονται. Πιστεύεται ότι το χλώριο αντιδρά με τις οργανικές ουσίες και τις σπάει σε μικρότερες. Αφού στις μεμβράνες δεν υπάρχει παρουσία χλωρίου μπορεί οι οργανικές ουσίες να αρχίσουν να επανασυντίθενται παρουσία θρεπτικών για αυτές συστατικών, εκτός και αν το σύστημα απολυμαίνεται διαρκώς, μέσω αμμόφιλτρων. Τα τελευταία χρόνια η μέθοδος της συνεχούς χλωρίωσης και από-χλωρίωσης αρχίζει να εγκαταλείπεται.

Αντί για συνεχής χλωρίωση προτιμάται η χλωρίωση του νερού σε off- line με τρόπο περιοδικό και πάντα κατά την προ-κατεργασία του νερού. Προτού το σύστημα τροφοδοτήσει τις μεμβράνες με νερό θα πρέπει να έχει εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχει υπολειμματικό χλώριο και αυτό διασφαλίζεται με ένα όργανο που μετράει συνεχώς το δυναμικό οξειδοαναγωγής (ORP) του νερού.

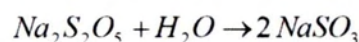
### **Αποχλωρίωση**

Το γιατί θα πρέπει να εξαλείψουμε την παρουσία υπολειμματικού χλωρίου στο νερό τροφοδοσία προτού έρθει σε επαφή με τις μεμβράνες το έχουμε αναφέρει προηγουμένως. Αυτό μπορούμε να το επιτύχουμε με τα εξής :

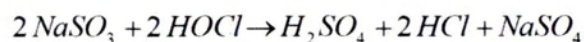
- Με χρήση φίλτρων ενεργού άνθρακα. Η αντίδραση είναι ή ακόλουθη:



- Με χρήση του μεταθειώδους νατρίου (SMBS) όταν διαλύεται στο νερό δίνει το (SBS):



το οποίο ανάγει το υποχλωριώδες οξύ ως ακολούθως:



Στην θεωρία 1 mg του SMBS αρκούν για να εξουδετερώσουν 1.0 mg ελεύθερου χλωρίου, όμως στην πράξη έχει παρατηρηθεί ότι απαιτούνται 3.0 mg SMBS για κάθε 1.0 mg χλωρίου. [22],[23]

### 3.9 Οδηγίες για το νερό τροφοδοσίας

Ο Πίνακας 2.4 συγκεντρώνει τις προδιαγραφές και τα όρια για το νερό τροφοδοσίας. Προτείνεται να διατηρούνται οι προδιαγραφές αυτές έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η εύρυθμη λειτουργία των μεμβρανών. Οι συγκεντρώσεις αντιστοιχούν σε συνεχή τροφοδοσία των μεμβρανών σε σταθερές συνθήκες συμπεριλαμβανομένου και της τροφοδοσίας των απαραίτητων χημικών προσθηκών, της κατάστασης των σωληνώσεων και της προ-επεξεργασίας του νερού.

**Πίνακας 2.4 Οδηγίες για την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας [24].**

Component	Unit	Max level	Comments & Conditions
<b>SDI</b>	1	5	
<i>MFI</i> <sub>0.45</sub>	1	4	Target < 1
<b>Oil &amp; grease</b>	mg/L	0.1	Πρόβλεψη για βιολογικές επικαθίσεις
<b>TOC</b>	mg/L	3	Οι συνθετικές οργανικές ενώσεις έχουν μεγαλύτερη επίδραση από τις φυσικές
<b>COD</b>	mg/L	10	
<b>AOC</b>	μg/L Ac-C	10	Target < 5
<b>BFR</b>	pg/cm <sup>2</sup> ATP	5	Target < 1
<b>Free Chlorine</b>	mg/L	0.1	Η Film Tech προτείνει την εξουδετέρωση του υπολειμματικού χλωρίου
<b>Ferrous Iron</b>	mg/L	5	pH<6 , oxygen < 0.5
<b>Ferric Iron</b>	mg/L	0.05	
<b>Manganese</b>	mg/L	0.05	
<b>Aluminum</b>	mg/L	0.05	

### 3.10 Συγκεντρωτικές μέθοδοι/επιλογές για την προστασία των μεμβρανών

Στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την προστασία των μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης.

Πίνακας 3.5. Μέθοδοι προστασίας των μεμβρανών.

Pretreatment	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SrSO <sub>4</sub>	CaF <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SD	F	A	Bacteria	Oxidizing Agent	Organisms
Acid addition	●							○				
Scale inhibitor antifoulant	○	●	●	●	●	○		○				
Softening with IX	●	●	●	●	●							
Lime Softening	○	○	○	○	○	○	○	○				○
Dealkalization with IX	○	○	○	○	○							
Preventive cleaning	○					○	○	○	○	○		○
Adjustment of operating parameters	○	○	○	○	○	●						
Media filtration						○	○	○	○			
Oxidation filtration							○	●				
In-line coagulation							○	○	○			○
Coagulation flocculation						○	●	○	○			●
MF/UF						●	●	○	○	○		●
Cartridge filt.						○	○	○	○	○		
Chlorination										●		
Dechlorination												
Shock treatment											●	
Preventive biocidal treat										○		
GAC filtration										○	●	●

● Very effective      ○ Possible

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΔΕΥΑΜΒ

### 4.1 Μονάδες Αντίστροφης Ώσμωσης της Δ.Ε.Υ.Α.Μ. Βόλου

Η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης της Μείζονος περιοχής του Δήμου Βόλου, έχει στην ιδιοκτησία της και λειτουργεί τρεις μονάδες αφαλάτωσης, για να καλύψει τις ανάγκες για πόσιμο νερό των δημοτών της κατά τους θερινούς, φθινοπωρινούς και κάποιους χειμερινούς μήνες συνολικής παροχής 210 m<sup>3</sup>/hr. Οι τρεις μονάδες αντίστροφης ώσμωσης λειτουργούν από το 2009 και την στιγμή που γράφεται η παρούσα διπλωματική εργασία έχουν κλείσει 7 χρόνια λειτουργίας.

Οι υπό εξέταση μονάδες είναι εγκατεστημένες στο πολεοδομικό συγκρότημα του Δήμου Βόλου στις εξής θέσεις :

- *Λατομείο*, η πιο μεγάλη από τις τρεις μονάδα παραγωγής 90 m<sup>3</sup>/hr
- *Γηροκομείο*, δίπλα στο δημοτικό Γηροκομείο του Δήμου από το οποίο πήρε και το όνομα, μονάδα παραγωγής 60 m<sup>3</sup>/hr
- *Σαρακηνός*, κοντά στην Γεωπονική Σχολή, μονάδα παραγωγής 60 m<sup>3</sup>/hr

Κα οι τρεις μονάδες βρίσκονται δίπλα στις κεντρικές δεξαμενές που υδροδοτούν τον Δήμο Βόλου, έτσι το νερό που παράγεται κατά την λειτουργία των μονάδων δεν εμπλουτίζεται με ανόργανα συστατικά π.χ. μέταλλα, αλλά διοχετεύεται κατ' ευθείαν στις δεξαμενές όπου αναμιγνύεται με νερό γεωτρήσεων, που εισέρχεται από άλλες πηγές με σκοπό αφενός την ποσοτική αύξηση του αλλά και την ποιοτικά βελτίωση του όσον αφορά την περιεκτικότητα του πόσιμου νερού, που δίνεται προς κατανάλωση στους δημότες.

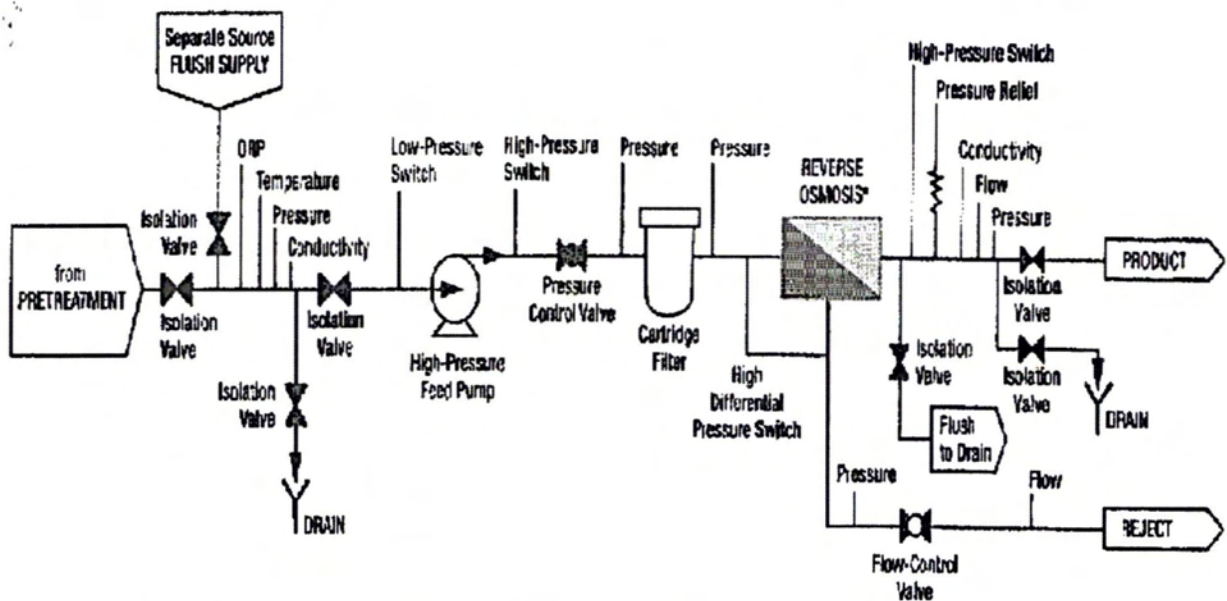
Οι γεωτρήσεις που τροφοδοτούν τις μονάδες αντίστροφης ώσμωσης με το υπό επεξεργασία νερό βρίσκονται δίπλα στις αφαλατώσεις, στον περιβάλλοντα χώρο της ιδιοκτησίας της κοινοτικής εταιρίας, έχουν βάθος γεώτρησης από 100- 150 m, ενώ το νερό που αντλείται χαρακτηρίζεται ως υφάλμυρο.

Την μελέτη, την εγκατάσταση και την επίβλεψη των μονάδων για τρία χρόνια την έχει αναλάβει η εταιρεία Culligan με έδρα την Αθήνα, εταιρεία η οποία ειδικεύεται σε τεχνολογίες επεξεργασίας του νερού τα τελευταία 20 χρόνια. Ο γράφων έχει αναλάβει την επίβλεψη, τη συντήρηση και τροφοδοσία των μονάδων για 4 χρόνια, μετά το πέρας της

εγγύησης που είχε θέσει η Culligan. Οι μεμβράνες έχουν την τεχνολογία της εταιρείας DOW με μεμβράνες τύπου ο FilmTec Corporation.

#### 4.2 Δομή των εγκαταστάσεων

Ένα χαρακτηριστικό γράφημα των μονάδων αντίστροφης ώσμωσης παρουσιάζεται στο **Σχήμα 4.1**. Ακολουθεί των επιμέρους σταδίων.



**Σχήμα 4.1** Σχεδιαστική απεικόνιση μονάδας Αντίστροφης Όσμωσης [7]

##### 4.2.1 Άντληση του νερού της τροφοδοσίας από γεώτρηση

Η άντληση του υφάλμυρου νερού γίνεται δίπλα στις εγκαταστάσεις από γεωτρήσεις το βάθος των οποίων φτάνει τα 100 m και χρησιμοποιούνται αντλίες ειδικές για γεωτρήσεις όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2.



**Σχήμα 4.2** Αντλία γεώτρησης υφάλμυρου νερού.

#### 4.2.2 Αποθήκευση του νερού τροφοδοσίας

Μεταφορά του νερού τροφοδοσίας μέσω σωληνώσεων και αποθήκευσης του σε δοχείο χωρητικότητας  $20\text{ m}^3$ , για χρονικό διάστημα περίπου 20' έτσι ώστε να μπορεί να γίνει καθίζηση των στερεών σωματιδίων που πιθανόν να έχουν συμπαρασυρθεί από την γεώτρηση και να έχουν περάσει το φίλτρο που βρίσκεται στην αντλία. Η δεξαμενή αυτή είναι κατασκευασμένη από πλαστικό υλικό PVC, χρώματος μαύρο που δίνει καλή συμπεριφορά σε διάβρωση τόσο από τα χλωριόντα όσο από την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία.

#### 4.2.3 Αρχική δημιουργία πίεσης

Κατά την εφαρμογή του πλάνου κάθε μονάδας, προβλέπεται η δημιουργία πίεσης στο νερό τροφοδοσίας ικανής να υπερνικήσει την πτώση πίεσης που δημιουργείται φυσιολογικά λόγω του περάσματος του νερού μέσω των φίλτρων άμμου και των φίλτρων, αλλά και να δημιουργήσει πίεση αναρρόφησης στην αντλία υψηλής.

Συνήθως οι αντλίες δημιουργούν πίεση 2.5-3.0 bar για την δεδομένη ογκομετρική παροχή, είναι φυγοκεντρικές αντλίες οι οποίες δεν πρέπει να δουλεύουν εν κενό. Σε κάθε εγκατάσταση είναι τοποθετημένες δύο αντλίες σε περίπτωση που η μία χαλάσει να λειτουργεί η εφεδρική.



**Σχήμα 4.2** Δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης του νερού γεώτρησης



**Σχήμα 4.3** Booster

Τα Boosters είναι της εταιρείας Capragi τύπου MEC-Az/80A και πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους βρίσκουμε στον ακόλουθο σύνδεσμο :[25]



#### 4.2.4 Απολύμανση με υποχλωριώδες νάτριο

Απολύμανση του νερού έτσι ώστε να καταπολεμηθούν οι μικροοργανισμοί με υδατικό διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου NaOCl. Η έκχυση του διαλύματος γίνεται με χρήση δοσομετρικών αντλιών της εταιρείας GRUNDFOS, αντλίες που είναι αξιόπιστες με ακρίβεια που ξεκινάει από τα 20 ml/hr και φτάνει έως τα 6 lit/hr. Η ακριβής ποσότητα ρύθμισης εξαρτάται από την μέτρηση του υπολειμματικού χλωρίου μετά την έξοδο τους από τα αμμόφιλτρα και θεωρείτε ότι έχουμε επιτύχει πλήρη απομάκρυνση των ανεπιθύμητων οργανικών ουσιών εάν το υπολειμματικό χλώριο το μετράμε μεγαλύτερο από 20 ppm.

Η DDC εντυπωσιάζει με χαρακτηριστικά όπως ο απλός χειρισμός με περιστροφικό κουμπί και η οθόνη γραφικών LC με περισσότερες από 25 γλώσσες. Και επιπλέον, όλα τα στάνταρ προγράμματα λειτουργίας και οι είσοδοι / έξοδοι όπως ο αναλογικός έλεγχος ή το ρελέ εξόδου μπορούν να ενσωματωθούν στα συστήματα ελέγχου. Αυτή η αντλία είναι κατάλληλη για γενική χρήση χάρη στα χαρακτηριστικά της που περιλαμβάνουν τη λειτουργία SlowMode (κατά της σπηλαίωσης) για μέσα με υψηλό ιξώδες, καθώς και το απλό πρόγραμμα βαθμονόμησης.

Η εφαρμογή της αντλίας αυτής απαιτεί την προσάρτηση ειδικών εγχυτήρων, ποδοβαλβίδων και πλαστικών ελαστικών σωληνώσεων μικρής διατομής που να έχουν υψηλή αντοχή σε διάβρωση καθώς το υποχλωριώδες νάτριο είναι ισχυρά διαβρωτικό ρευστό.



Σχήμα 4.4 Δοσομετρική αντλία χημικών.

Μία επιπλέον δυνατότητα της εν λόγω αντλίας είναι η ογκομέτρηση της πυκνότητας του διακινούμενου ρευστού, έτσι τα αναγραφόμενα ml/hr στην οθόνη της αντλίας να είναι και τα πραγματικά.

Η αντλία λειτουργεί με πίεση εξόδου μεγαλύτερη των 5 bar, αποτρέποντας έτσι την αντίθετη κίνηση ρευστού, από το κυρίως ρεύμα του ρευστού τροφοδοσίας προς την αντλία.

Για την σωστή και ακριβής ρύθμιση της ποσότητας του υποχλωριώδους νατρίου, έχει τοποθετηθεί όργανο μέτρησης In situ πριν την είσοδο του νερού τροφοδοσίας στα φίλτρα άμμου. Ο χειριστής έχει ένα φορητό όργανο μέτρησης και ανά τακτά χρονικά διαστήματα (μία κάθε μέρα) ή όταν παρατηρήσει κάποια αλλαγή στις καθημερινές ενδείξεις να δοκιμάσει την τιμή του υπολειμματικού χλωρίου και να βαθμονομήσει το όργανο.

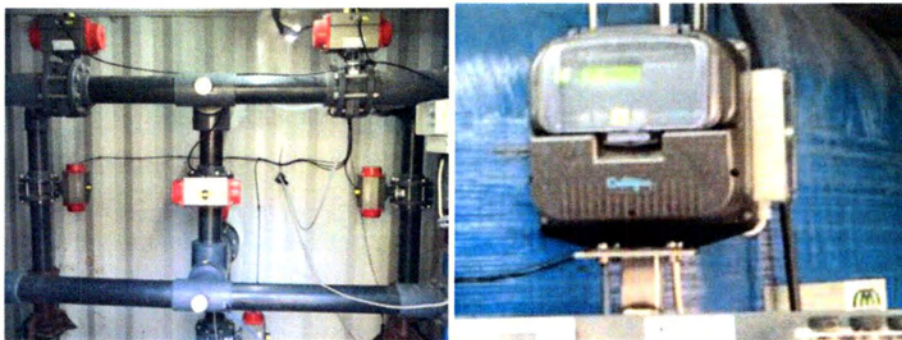
#### 4.2.5 Διήθηση με φίλτρα άμμου

Επιτυγχάνεται δέσμευση των μικροοργανισμών που έχουν εξουδετερωθεί από την απολύμανση του νερού καθώς και δέσμευση του σιδήρου, που μπορεί να περιέχει το νερό. Η διαδικασία ροής του ακατέργαστου νερού είναι η εξής:

- Το ακατέργαστο νερό περνάει μέσω των στρωμάτων διήθησης με κατεύθυνση από πάνω προς τα κάτω και τα ανεπιθύμητα υλικά συγκρατούνται.
- Όταν παρουσιαστεί μία συγκεκριμένη πτώση πίεσης το φίλτρο υφίσταται έναν κύκλο καθαρισμού αντίστροφης πλύσης με ροή από πάνω προς τα κάτω μέσω αυτόματου μηχανισμού ανοίγματος και κλεισίματος των κατάλληλων πνευματικών βαλβίδων.
- Στην συνέχεια ακολουθεί η πλύση από πάνω προς τα κάτω για την απομάκρυνση των ακαθαρσιών και επιστροφή του στην κανονική διάταξη..



Σχήμα 4.5 Φίλτρα άμμου.



Σχήμα 4.6 Σύστημα σωληνώσεων επικοινωνίας των φίλτρων και μηχανισμός αυτοματοποίησης των πνευματικών βαλβίδων.

#### 4.2.6 Έκχυση αντικαθαλατωτικού

Η έκχυση του αντικαθαλατωτικού γίνεται με δοσομετρικές αντλίες DDC ιδίου τύπου με της απολύμανσης. Η ακριβής ποσότητα του αντικαθαλατωτικού λαμβανομένης και της σχετικά υψηλής τιμής του γίνεται σε συνεννόηση με την προμηθεύτρια εταιρεία των μεμβρανών και εφόσον έχει γίνει πλήρης ποιοτική και ποσοτική ανάλυση του νερού τροφοδοσίας. Το αντικαθαλατωτικό παίζει σημαντικό ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία των μονάδων αφού **ελαχιστοποιεί** τα φαινόμενα της κρυστάλλωσης στις επιφάνειες των μεμβρανών. Απαιτείται επομένως η εποπτεία της δοσολογίας μέσω ειδικών ρελέ, τα οποία θα

σταματούν την λειτουργία των μονάδων σε περίπτωση βλάβης των αντλιών, αλλά και καθημερινό εποπτικό έλεγχο της κατανάλωσης από την στάθμη των δεξαμενών αποθήκευσης του.

#### 4.2.7 Έκχυση όξινου θειώδους νατρίου

Έχει αναφερθεί τη βλάβη που μπορεί να προκαλέσει το υπολειμματικό χλώριο στις μεμβράνες (αποδόμηση των πλεγματικών δομών ) γι' αυτό απαιτείται η εξουδετέρωση του με υδατικό διάλυμα όξινου θειώδους νατρίου. Η έκχυση του γίνεται με δοσομετρικές αντλίες DDC όπως για το αντικαθαλατωτικό και για το υποχλωριώδες νάτριο. Η ακριβής ποσότητα έκχυσης μπορεί να γίνει είτε αναλυτικά από σχέσεις που έχουν αναφερθεί είτε μέσω της ένδειξης του REDOX (δυναμικό οξειδοαναγωγής) και του οργάνου που το μετράει κάθε στιγμή, εάν αυτό δείχνει τιμή κάτω από 200 mV. Αυτή η τιμή μας εξασφαλίζει πως όλο το υπολειμματικό χλώριο έχει εξουδετερωθεί. Επειδή πάντα η ένδειξη των οργάνων μέτρησης τα οποία είναι τοποθετημένα για συνεχή μέτρηση και είναι γενικά ευαίσθητα σε διακυμάνσεις, αλλά και σε μικρές μεταβολές της τάσης τροφοδοσίας αφού λειτουργούν με μέτρησης τάσης, καλό είναι να χρησιμοποιείται από τους χειριστές και ειδικό φορητό όργανο για την επιβεβαίωση αλλά και της βαθμονόμηση της σταθεράς όταν αυτό απαιτείται.



**Σχήμα 4.7** Όργανο μέτρησης του Redox, pH, T.

#### 4.2.6 Διήθηση με φυσιγγία (cartridge filters)

Η λειτουργία φίλτρων με φυσιγγία είναι πολύ σημαντική γιατί προστατεύουν τις μεμβράνες από φραγή, μέσω των σωματιδίων που μπορεί να παρασυρθούν από τα φίλτρα άμμου. Τα φίλτρα προκαλούν μία πτώση πίεσης την οποία θα πρέπει να επί νικήσουν οι αντλίες boosters. Συνιστάται η αντικατάσταση τους κάθε τρεις μήνες, όμως μπορεί να αντικατασταθούν όταν η πτώση πίεση λόγω των σωματιδίων που έχουν μαζέψει ξεπεράσει τα 0.5 bar και η πίεση αναρρόφησης της αντλίας υψηλής πίεσης πέσει κατά από την παραμετροποίηση της μελέτης.



Σχήμα 4.8 Δοχεία «σχοίνινων» φίλτρων

#### 4.2.7 Αντλία υψηλής πίεσης

Είναι η κύρια αντλία της μονάδας και είναι αυτή η οποία προκαλεί το φαινόμενο της αντίστροφης ώσμωσης. Χρησιμοποιείται inverter για τον έλεγχο των στροφών λειτουργίας της, για την ρύθμιση της ακριβούς ροής του νερού τροφοδοσίας. Είναι φυγοκεντρικές αντλίες κατασκευασμένες από ανοξείδωτα μέρη, γι' αυτό και όταν γίνεται χημικός καθαρισμός, όξινος ή αλκαλικός θα πρέπει να αποκλείονται από το κύκλωμα.

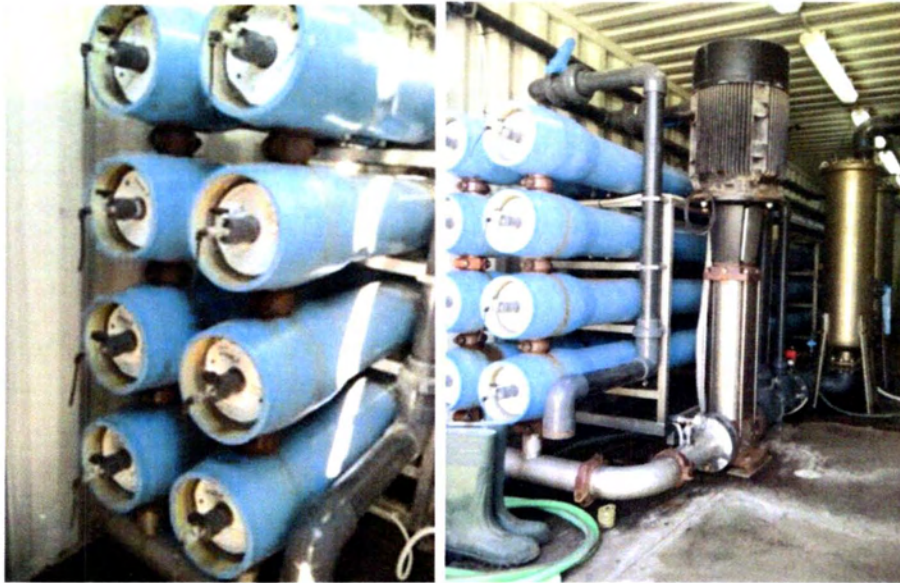


**Σχήμα 4.9** Αντλία υψηλής πίεσης.

Η αντλία υψηλής πίεσης είναι της εταιρείας GRUNDFOS τύπου CRN90-3-2 A-F-G-V-HQQV και πληροφορίες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της βρίσκουμε στον ακόλουθο σύνδεσμο :[26]

#### 4.2.8 Μεμβρανοδοχεία

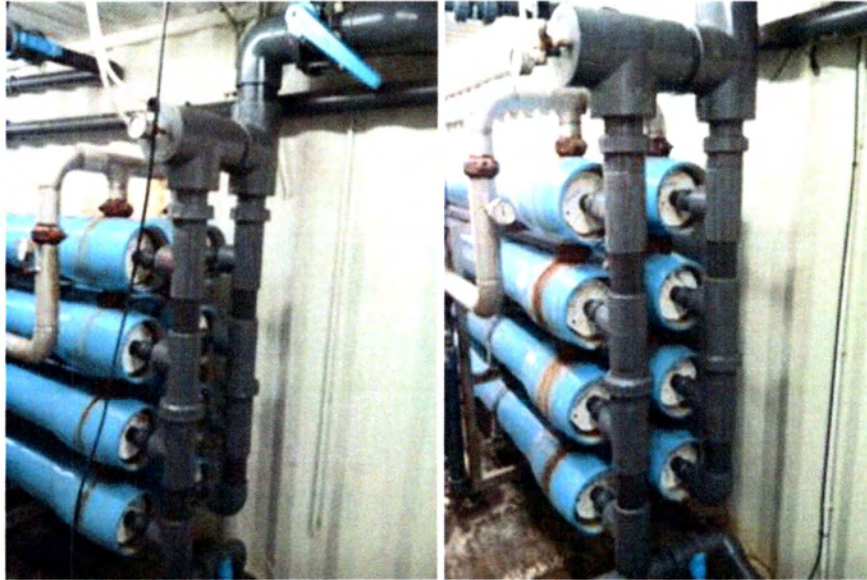
Είναι δοχεία από πλαστικό υλικό αντοχής σε υψηλή πίεση, τα οποία περιέχουν τις μεμβράνες τοποθετημένες σε σειρά ανά δέκα τεμάχια. Για τις μονάδες του Σαρακηνού και του Γηροκομείου έχουμε δύο σειρές από πέντε μεμβρανοδοχεία ενώ στην μονάδα του Λατομείου που η παραγωγή είναι μεγαλύτερη έχουμε δύο σειρές από έξι μεμβρανοδοχεία.



**Σχήμα 4.10** Μεμβρανοδοχεία υψηλής πίεσης.

#### 4.2.9 Συλλέκτης (Collector)

Είναι ένα πλαστικό τμήμα από PVC αντοχής σε πίεση  $12 \text{ bar}$ , στην έξοδο των μεμβρανοδοχείων η λειτουργία του οποίου είναι να συγκεντρώνει το προϊόν της αφαλάτωσης και στην συνέχεια να το διανέμει ομογενοποιημένο σε δεξαμενή αποθήκευσης του. Θα πρέπει να επιδεικνύεται μεγάλη προσοχή για διαρροές, αφού τα πλαστικά μέρη του τα οποία είναι κολλημένα με ειδική κόλλα συνήθως εμφανίζουν ρωγμές λόγω των καταπονήσεων που υφίσταται όλο το σύστημα της αντίστροφης ώσμωσης.



**Σχήμα 4.11** collector στην έξοδο των μεμβρανοδοχείων.

#### 4.2.10 Δεξαμενή καθαρισμού, αντλία ανακυκλοφορίας

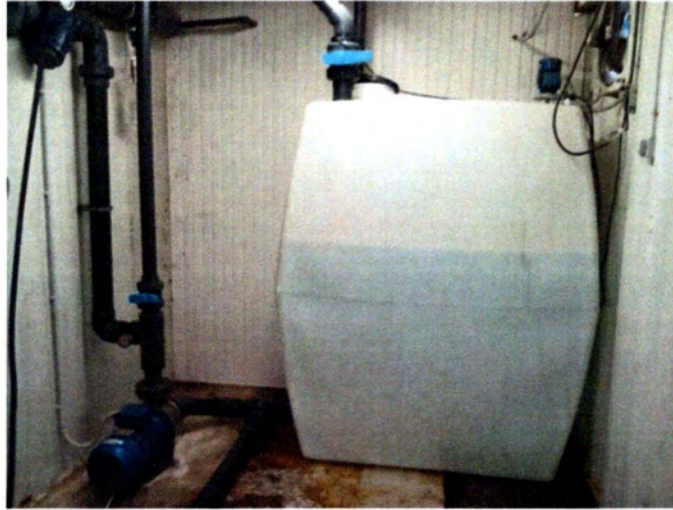
Κατά την καθημερινή λειτουργία των μονάδων προβλέπεται η πλύση των μονάδων με νερό χαμηλής περιεκτικότητας σε άλατα. Αυτό γίνεται επίσης γιατί καθημερινώς θα πρέπει να γίνεται πλύση και των φίλτρων άμμου. Κατά το χρονικό διάστημα αυτής της πλύσης που διαρκεί 25' οι μεμβράνες θα πρέπει να πλένονται με καθαρό νερό προϊόντος της, για να αποφεύγεται η δημιουργία κρυσταλλώσεων στην επιφάνεια των μεμβρανών. Η πλύση αυτή θα πρέπει να γίνεται και όταν για κάποιο λόγο η λειτουργία της μονάδας σταματήσει απότομα (shut down).

Άλλη χρήση της πλαστικής δεξαμενής αποθήκευσης είναι η παροχή νερού αλλά για την δημιουργία των απαραίτητων χημικών διαλυμάτων, που απαιτούνται για τον χημικό και αλκαλικό καθαρισμό των μεμβρανών. Η δεξαμενή περιέχει και αντλία η οποία διακινεί το καθαρό νερό μέσα στις μεμβράνες με χαμηλότερη πίεση της αντλίας υψηλής πίεσης περίπου ίσης με 3 bar.

Για την ανακυκλοφορία του νερού και των χημικών καθαρισμού χρησιμοποιείται αντλία χαμηλής πίεσης .

Η περιεκτικότητα των δεξαμενών είναι τέτοια ώστε κατά την λειτουργία τους να θεωρούμε ότι το αλμυρό νερό τροφοδοσίας έχει αντικατασταθεί πλήρως με καθαρό νερό προϊόντος.





**Σχήμα 4.12** Δεξαμενή ανακυκλοφορίας.

#### 4.2.11 Παροχόμετρο ανακυκλοφορίας

Κατά την μελέτη της εγκατάστασης έχει προβλεφθεί ένα μέρος του νερού της άλμης να επανακυκλοφορεί ξανά μέσα από τις μεμβράνες για να ρυθμίζεται η ανάκτηση κάθε μεμβράνης. Η παροχή αυτή ρυθμίζεται μέσω ενός απλού πλαστικού παροχόμετρου με βαλβίδα ρύθμισης και κατάλληλου δικτύου σωληνώσεων. Σε όλες τις μονάδες η παροχή αυτή ρυθμίζεται στα  $4.7 \text{ m}^3/\text{hr}$ .



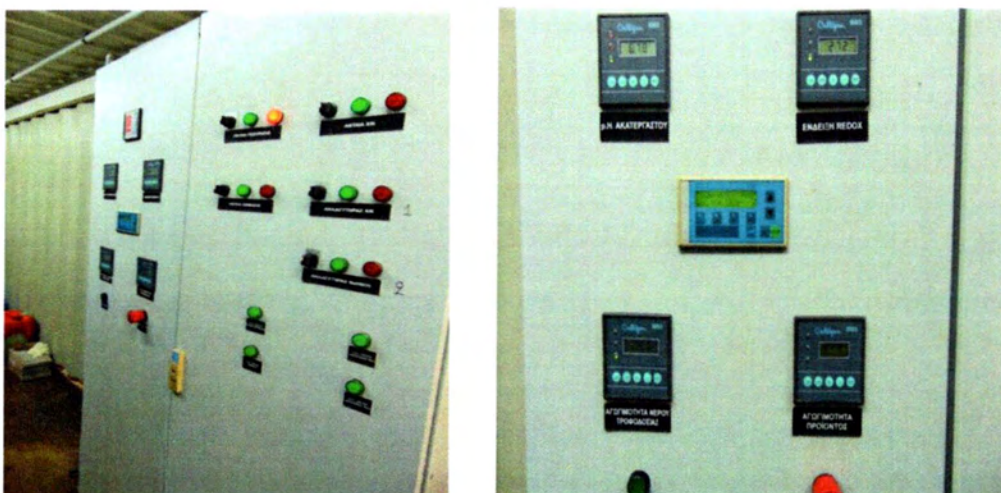
**Σχήμα 4.13** Παροχόμετρο ανακυκλοφορίας.

#### 4.2.12 Ηλεκτρολογικός Πίνακας

Ο ηλεκτρολογικός πίνακας αποτελεί ένα από τα πιο κύρια μέρη της εγκατάστασης αφού σε αυτόν περιλαμβάνονται :

- Το inverter της υψηλής
- Συστήματα shut down και εκκίνησης των boosters
- Υπολογιστής καταγραφής των χαρακτηριστικών του νερού
- Συστήματα αυτόματης διακοπής
- Ενδείξεις των οργάνων μέτρησης
  - Οξειδοαναγωγή (Redox)
  - pH
  - Θερμοκρασία
  - Αγωγιμότητα
  - Πιέσεις

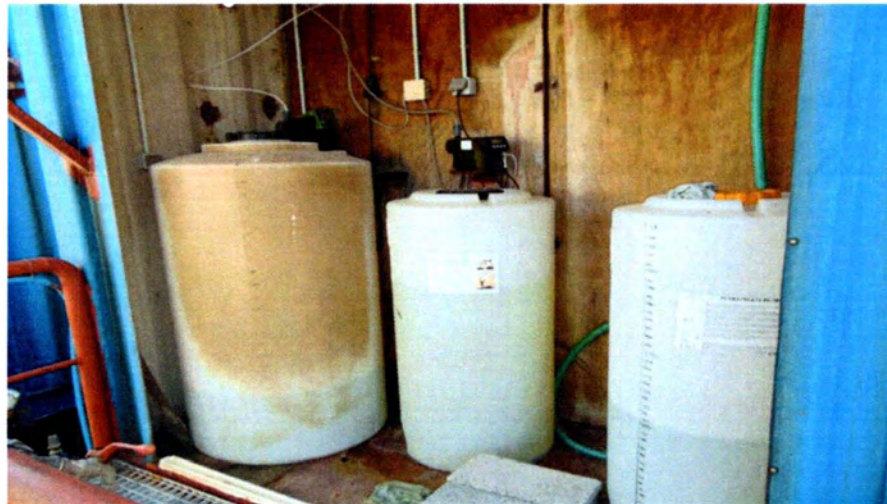
Συνιστάται ο προσεκτικός χειρισμός του καθώς περιλαμβάνει καλώδια υψηλής τάσης.



Σχήμα 4.14 Ηλεκτρολογικός πίνακας.

#### 4.2.13 Χώρος αποθήκευσης χημικών

Στον χώρο αυτό ο οποίος βρίσκεται στο πίσω μέρος των container τοποθετούνται οι πλαστικές δεξαμενές που περιέχουν τα χημικά αναλώσιμα δηλαδή το αντικαθαλατωτικό, το όξινο θειώδες νάτριο και το υποχλωριώδες νάτριο. Ο λόγος που βρίσκονται σε διαφορετικό μέρος είναι λόγω της διαβρωτικότητας που έχουν τα αέρια που εξάγονται από αυτά καθώς και για ευκολία στην τροφοδοσία τους. Εγκατεστημένες στο πάνω μέρος των δεξαμενών είναι και οι δοσομετρικές αντλίες που τις συνοδεύουν.



Σχήμα 4.15 Χώρος αποθήκευσης χημικών.

Κατά την τροφοδότηση των χημικών αναλώσιμων θα πρέπει να τηρούνται όλοι οι κανόνες Μ.Α.Π. και ιδιαίτερα θα πρέπει ο χειριστής να φέρει ειδική μάσκα προστασίας για οσμές θειικού οξέος, γυαλιά προστασίας των ματιών, αδιάβροχα γάντια καθώς αδιάβροχα και αντιολισθητικά παπούτσια.

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Ως αποτελέσματα λειτουργίας των μονάδων, παρουσιάζονται οι καθημερινές μετρήσεις των βασικών παραμέτρων της μονάδας αντίστροφης ώσμωσης του Σαρακηνού, ύστερα από σχετική συνεννόηση με τον Προϊστάμενο του Τεχνικού Τμήματος της Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. Χούσιο Ιωάννη.

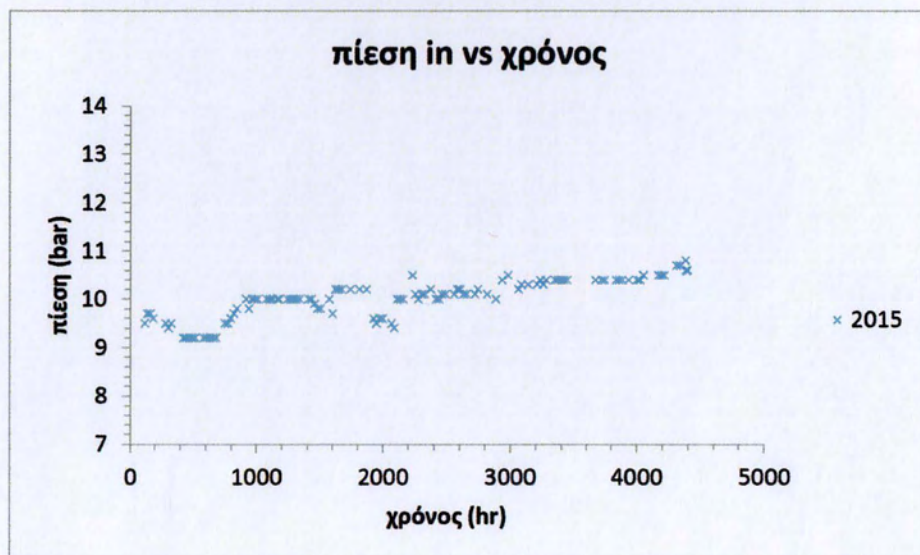
Ο έλεγχος των μονάδων γίνεται σε καθημερινή βάση και αφορά την τροφοδότηση με χημικά αναλώσιμα, των έλεγχου των οργάνων μέτρησης (μανόμετρα, παροχόμετρα, όργανα μέτρησης Redox, υπολειμματικού χλωρίου κ.τ.λ.) και την συμπλήρωση του ακόλουθου εντύπου :

Σαρακηνός 2016						
Ημερομηνία :		Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή
	Ώρα μετρήσεων					
NaOCl	Συμπλήρωση Κάδου					
	Ρύθμισης Αντλίας					
Πίεση Αέρα ( bar)						
Πίεση Εισόδου Φίλτρων						
Πτώση Πίεσης Φίλτρων						
Ελεύθερο χλώριο μετά τα φίλτρα						
PC – 191	Ένδειξη στάθμης αντικαθαλατωτικού					
	Ρύθμισης Αντλίας (ml/h)					
συμπλήρωση κάδου (lt) αντικαθαλατωτικού						
NaHSO <sub>4</sub>	ένδειξη στάθμη όξινου θειώδους					
	Ρύθμιση Αντλίας (ml/h)					
συμπλήρωση κάδου Kgr όξινου θειώδους						
Πτώση Πίεσης Φίλτρων						
REDOX νερού εισόδου όσμωσης						
ελεύθερο χλώριο στην είσοδο της όσμωσης						
pH νερού όσμωσης						
θερμοκρασία νερού εισόδου όσμωσης						
πίεση εισόδου Όσμωσης (πριν την αντλία υψηλής)						
πίεση εισόδου μεμβρανών (μετά την αντλία)						

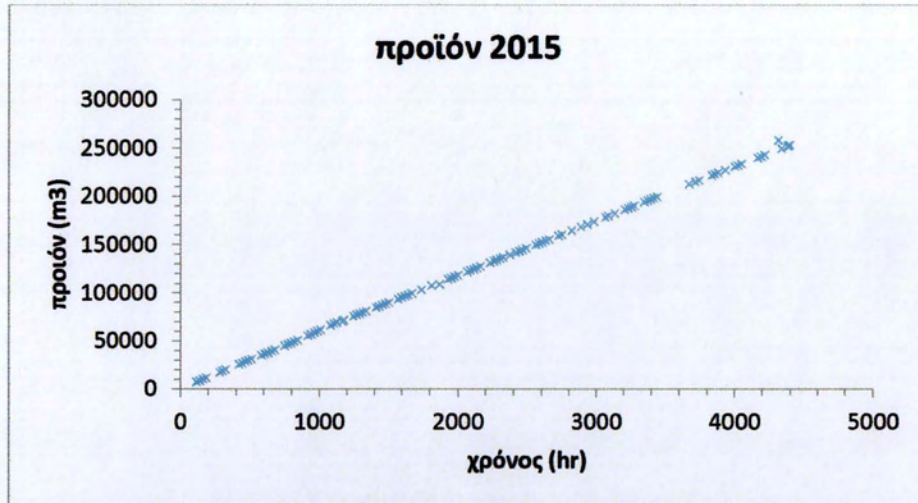
συχνότητα λειτουργίας inverter	(Hz)						
ένταση ρεύματος inverter							
πίεση απόρριψης μεμβρανών	(bar)						
παροχή προϊόντος όσμωσης	(m <sup>3</sup> /h)						
σύνολο κυβικών νερού προϊόντος	(m <sup>3</sup> /h)						
παροχή αποχέυτευσης όσμωσης	(m <sup>3</sup> /h)						
σύνολο κυβικών νερού απόρριψης	(m <sup>3</sup> /h)						
παροχή ανακυκλοφορίας όσμωσης	(m <sup>3</sup> /h)						
πίεση προϊόντος							
αγωγιμότητα προϊόντος							
pH νερού προϊόντος							
σκληρότητα νερού προϊόντος							
χλωριόντα νερού προϊόντος							
Ωρες λειτουργίας αντλίας RO							

Το έντυπο αυτό βοηθάει σημαντικά των χειριστή των μονάδων ως μνήμη όλων των κύριων χαρακτηριστικών παραμέτρων, αφού γίνεται καθημερινά και ως εργαλείο για την διεξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την ζωή των μονάδων. Από την καθημερινή συμπλήρωση του εντύπου πήραμε τα ακόλουθα αποτελέσματα τα οποία τα παραθέτω σε μορφή διαγραμμάτων, που βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών λειτουργίας από την παράθεση πινάκων με αριθμούς. Έχουμε λοιπόν τα εξής διαγράμματα :

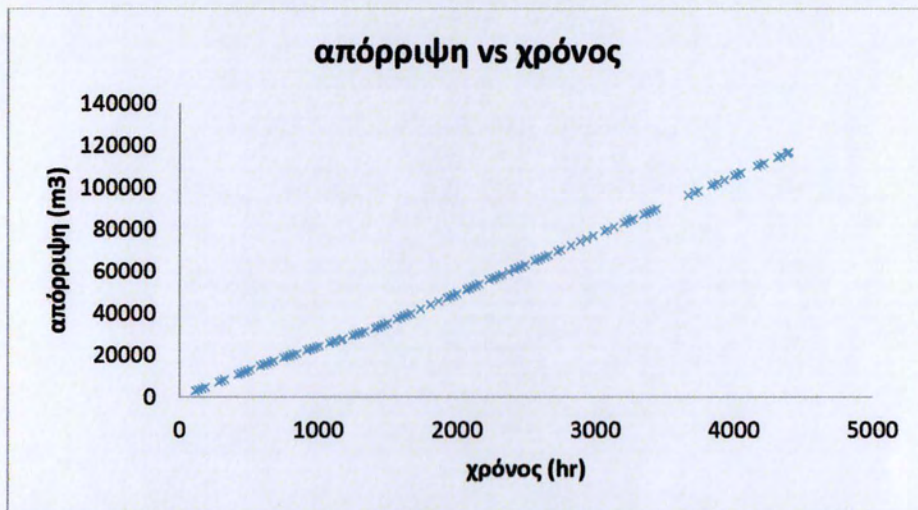
Αρχικά δίνονται οι μετρήσεις που αφορούν την λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης του Σαρακηνού για την χρονική περίοδο του 2015.



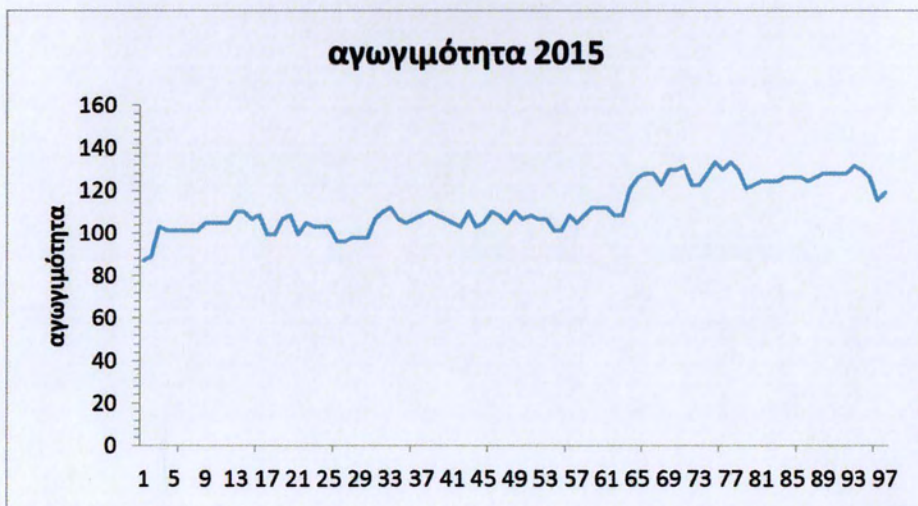
Σχήμα 5.1 Πίεση εισόδου μεμβρανών σε σχέση με τον συνολικό χρόνο λειτουργίας.



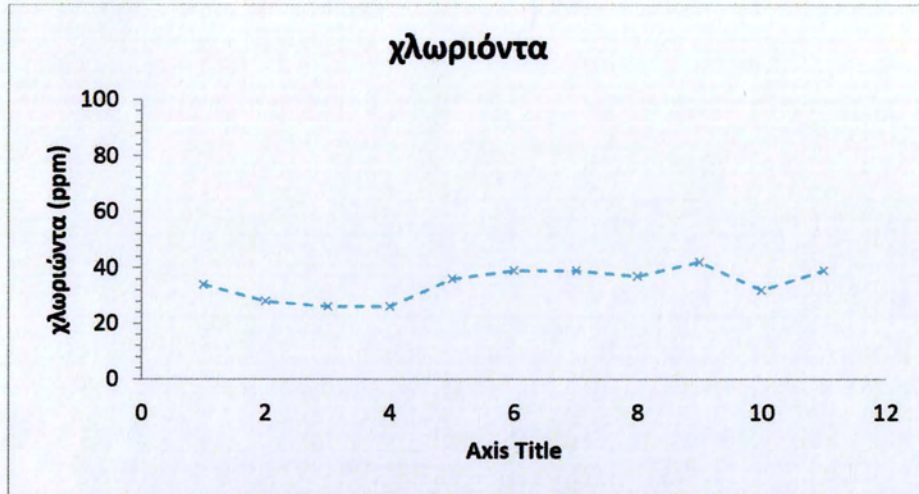
**Σχήμα 5.2** Παραγωγή συνολικού προϊόντος σε σχέση με τον χρόνο λειτουργίας.



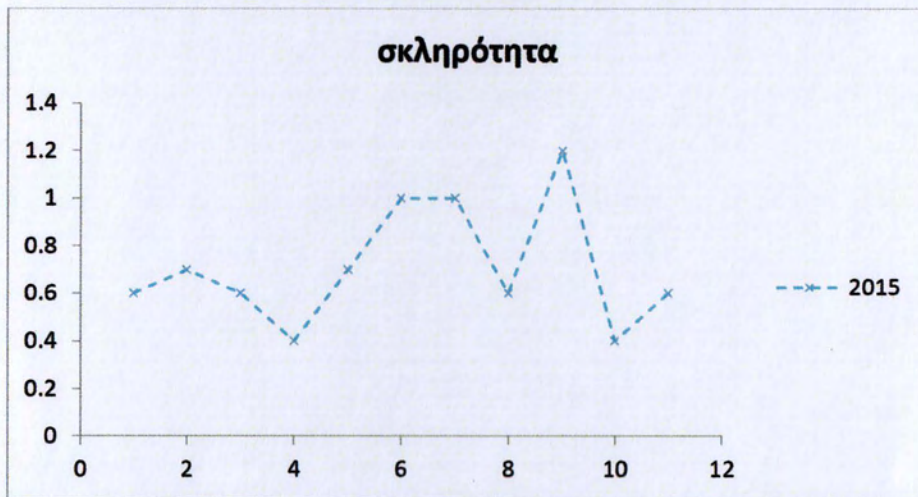
**Σχήμα 5.3** Παραγωγή συνολικής άλμης σε σχέση με τον χρόνο λειτουργίας.



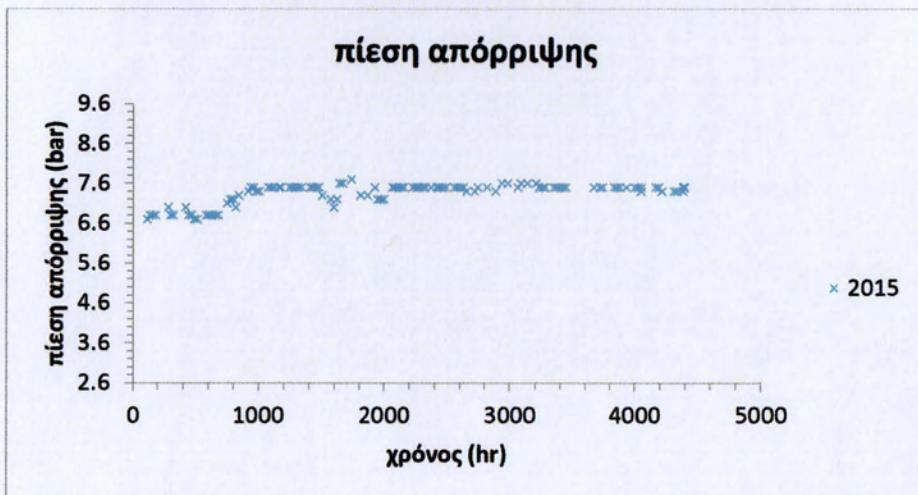
**Σχήμα 5.4** Μεταβολή της αγωγιμότητας του προϊόντος σε σχέση με το χρόνο.



Σχήμα 5.5 Μεταβολή της περιεκτικότητας σε χλωριόντα του προϊόντος .



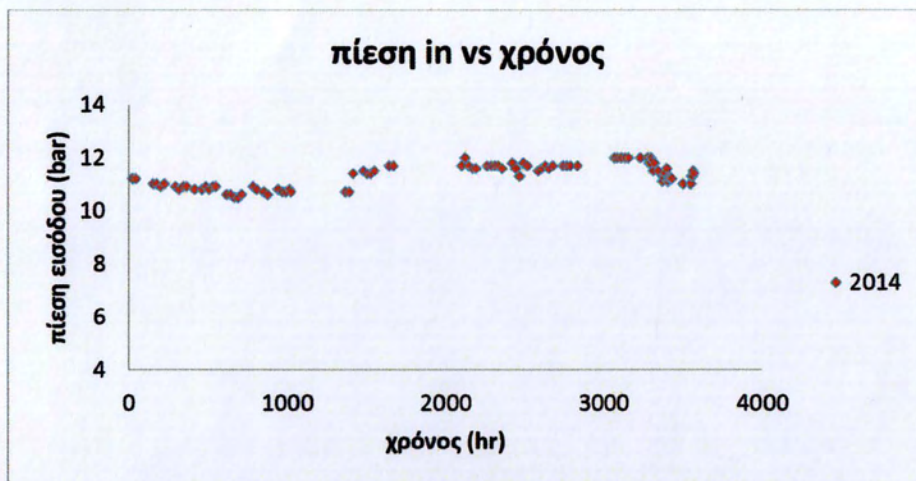
Σχήμα 5.6 Μεταβολή της σκληρότητας του προϊόντος σε σχέση με τον συνολικό χρόνο.



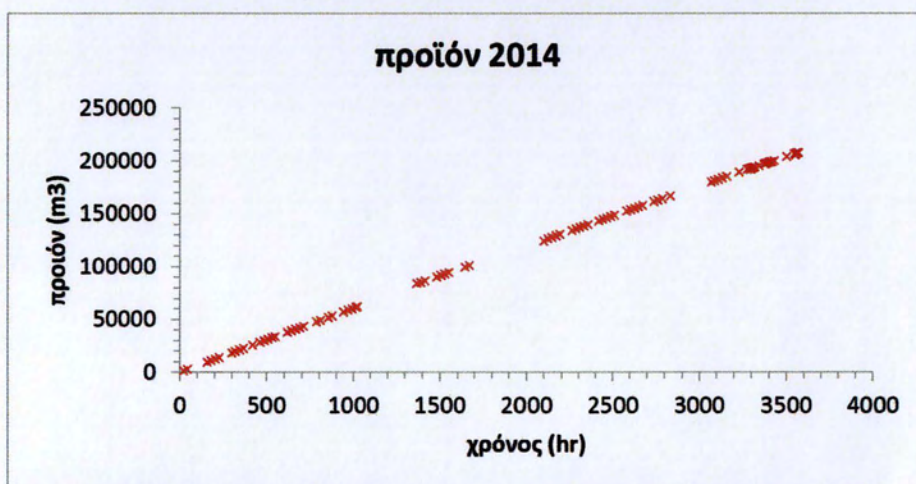
Σχήμα 5.7 Μεταβολή της πίεσης απόρριψης vs χρόνος λειτουργίας.

Στην συνέχεια δίδονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το 2014.

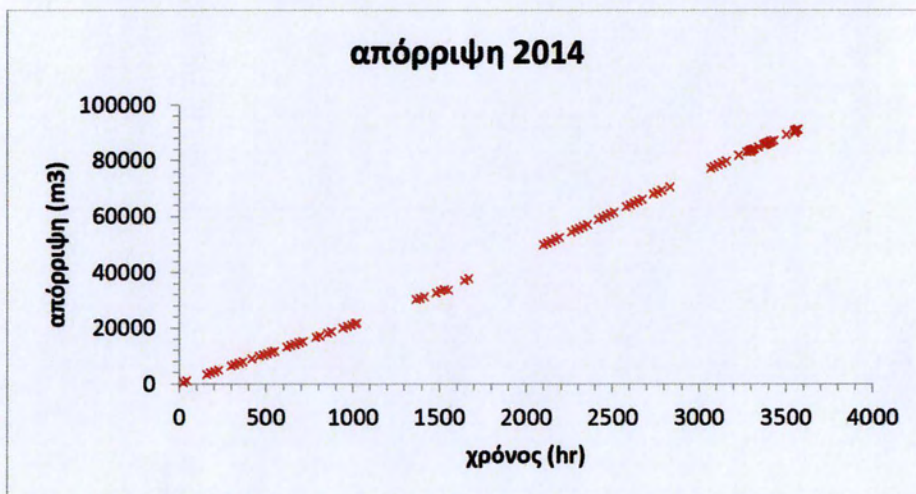




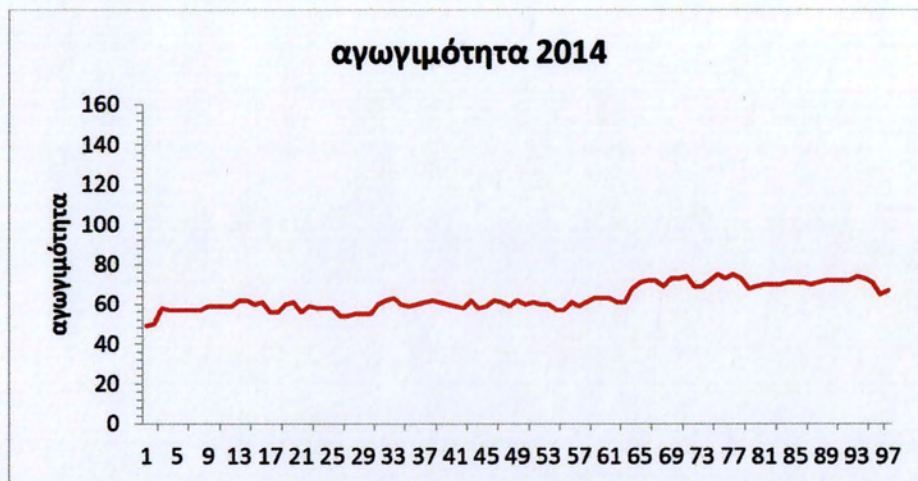
Σχήμα 5.8 Πίεση εισόδου μεμβρανών vs χρόνος λειτουργίας.



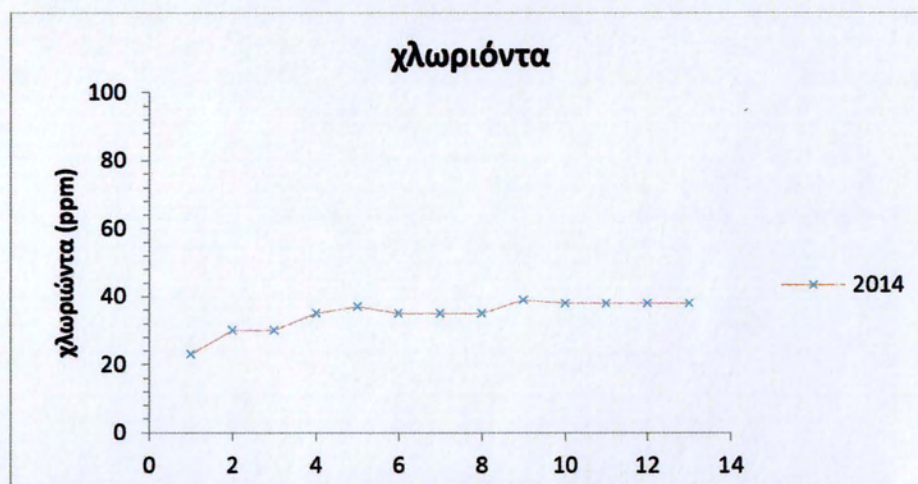
Σχήμα 5.9 Παραγωγή προϊόντος vs συνολικός χρόνος λειτουργίας.



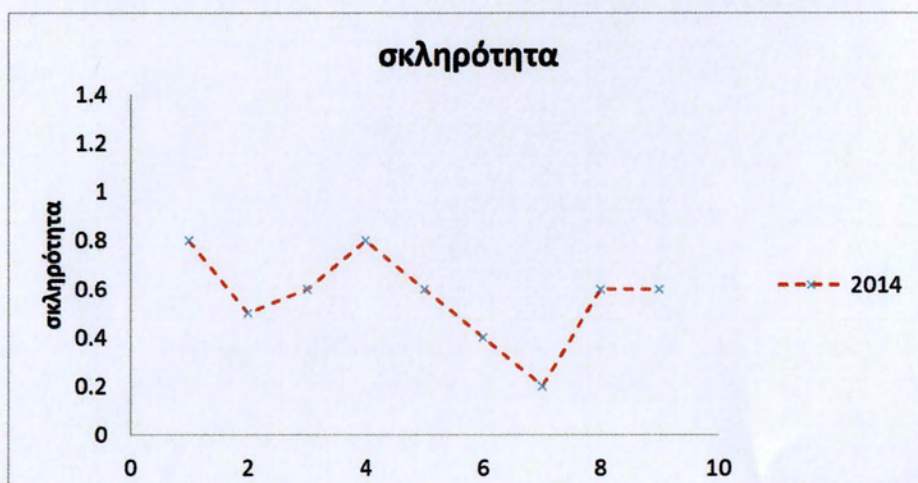
Σχήμα 5.10 Παραγωγή άλμης vs συνολικός χρόνος λειτουργίας.



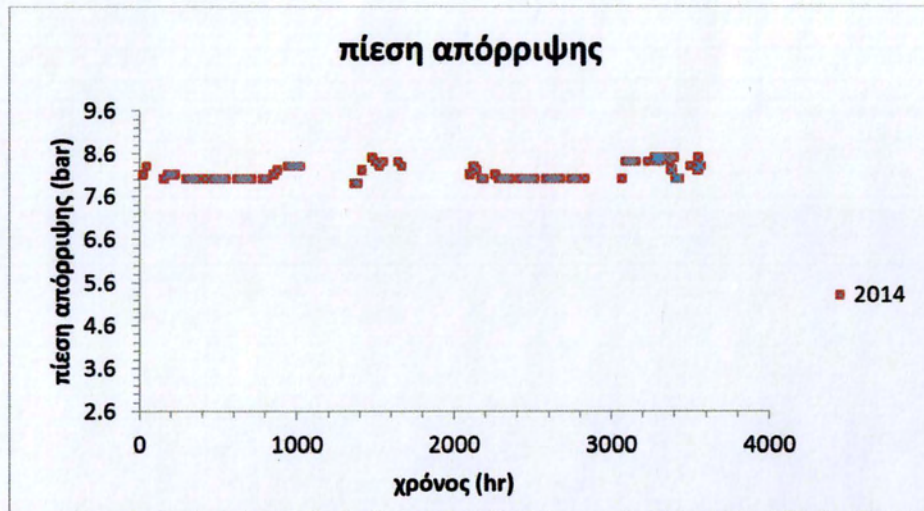
Σχήμα 5.11 Μεταβολή της αγωγιμότητας του προϊόντος σε σχέση με το χρόνο.



Σχήμα 5.12 Μεταβολή της περιεκτικότητας σε χλωριόντα του προϊόντος .



Σχήμα 5.13 Μεταβολή της σκληρότητας του προϊόντος σε σχέση με τον συνολικό χρόνο.



Σχήμα 5.14 Μεταβολή της πίεσης απόρριψης vs χρόνος λειτουργίας.

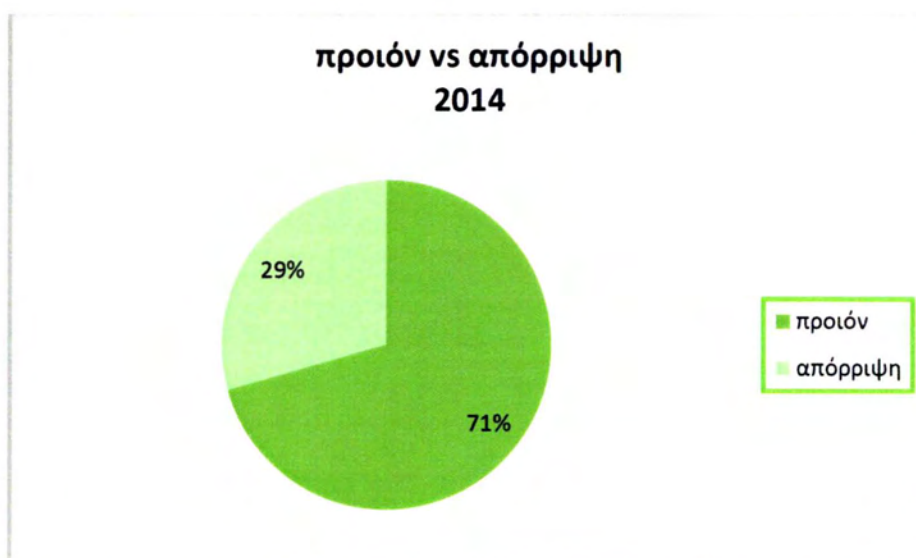
## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Κατά την μελέτη των γραφημάτων που αναπαριστούν με τρόπο ευκρινή τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των μονάδων τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τη απόδοση της μονάδας του Σαρακηνού.

Θα παραθέσω και τα ακόλουθα δύο γραφήματα που σχετίζουν το ποσοστό του προϊόντος σε σχέση με την άλμη αλλά και πίνακα με την μέση παραγωγή προϊόντος και άλμης κατά τις δύο χρονιές :

Πίνακας 6.1 Μέση παραγωγή προϊόντος και άλμης

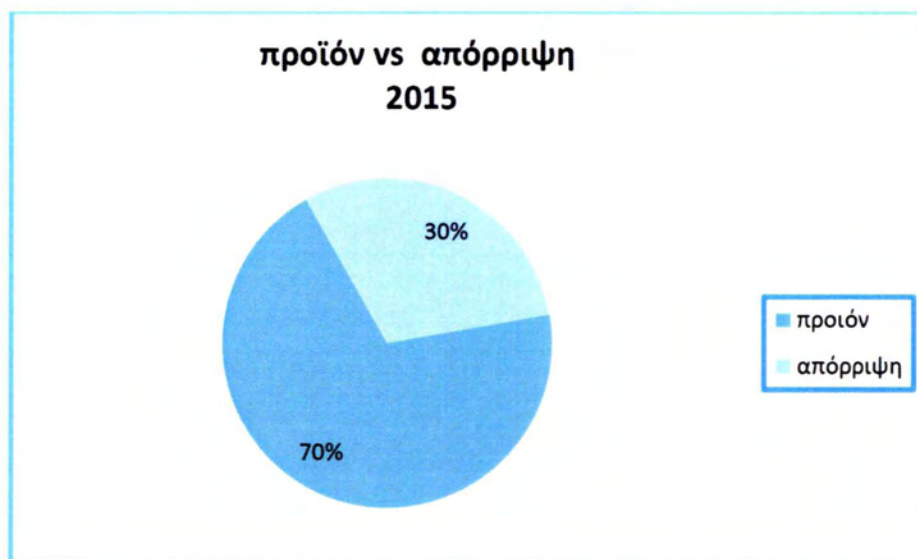
	προϊόν	άλμη
μέση παραγωγή 2014	59	24.57
μέση παραγωγή 2015	58.96	25.50



Σχήμα 6.1 Ποσοστιαία παραγωγή προϊόντος και άλμης για το 2014.

Παρατηρούμε πως οι προδιαγραφές της κατασκευάστριας εταιρείας διαφέρουν κατά λίγο όσον αφορά την συνολική ποσότητα που θα έπρεπε να επεξεργάζεται η μονάδα που είναι στο σύνολο της  $80 \text{ m}^3/\text{hr}$  παραγόμενο προϊόν  $60 \text{ m}^3/\text{hr}$  και άλμης  $20 \text{ m}^3/\text{hr}$ . Επειδή δεν υπήρχε δυνατότητα ακριβής ρύθμισης της παροχής του εισερχόμενου νερού, θεωρήθηκε

πως για προστασία των μεμβρανών το επιπλέον νερό θα πρέπει να απορρίπτεται ως άλμη. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της μεγάλης πίεσης  $\approx 7 \text{ bar}$  και της ροής αυτού με τύρβη δεν είναι δυνατόν η ακριβής ρύθμιση της βάνας εξόδου του νερού έτσι ώστε να έχουμε π.χ. προϊόν ακριβώς  $60 \text{ m}^3/\text{hr}$ .



Σχήμα 6.2 Ποσοστιαία παραγωγή προϊόντος και άλμης για το 2015.

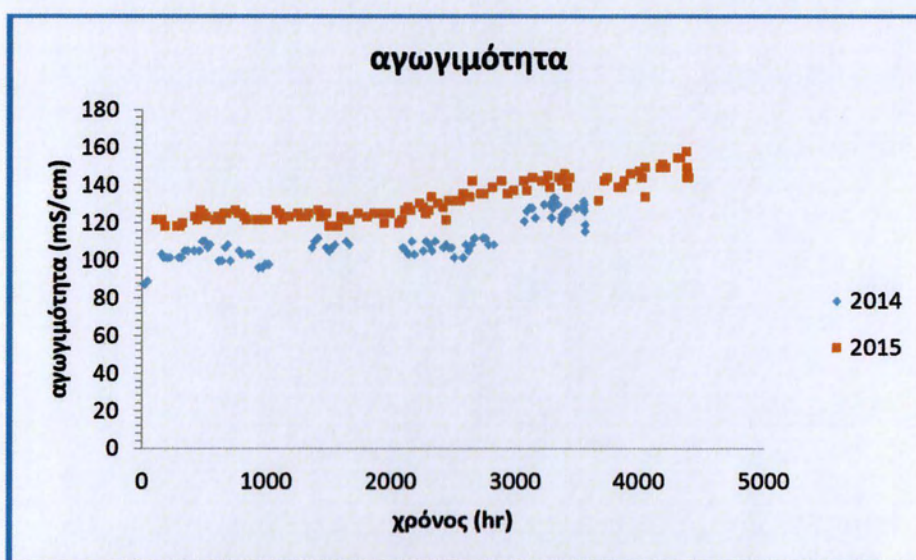
Εάν συγκρίνουμε ξεχωριστά την λειτουργία της μονάδας για κάθε χρονιά εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Η παραγωγή προϊόντος και άλμης μεταβάλλονται γραμμικά με τον χρόνο, που δηλώνει ομαλή λειτουργία της μονάδας.
- Η αγωγιμότητα του προϊόντος τείνει ελαφρώς να αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου, κάτι που έχει να κάνει με την αύξηση ελαφρώς της αγωγιμότητας του νερού τροφοδοσίας όταν πηγαίνουμε σε ξηρούς (άνυδρους) μήνες και δεν έχουμε ανανέωση (εμπλουτισμό) των υπόγειων υδάτινων πόρων.
- Η περιεκτικότητα του προϊόντος σε χλωριόντα έχει γενικά σταθερή τιμή, με μικρές διακυμάνσεις, λόγω της φύσης της διεργασίας. Υψηλές πιέσεις, φαινόμενα τυρβώδους ροής, αλλαγή της θερμοκρασίας του νερού εισόδου κ.τ.λ.
- Η σκληρότητα του παραγόμενου νερού μετριέται σε ικανοποιητικές τιμές, με μικρές διακυμάνσεις λόγω της φύσης της διεργασίας.
- Η πίεση εισόδου του νερού στις μεμβράνες παρουσιάζει μικρή αύξηση προς το τέλος της λειτουργίας των μονάδων (Χειμώνας), λόγω της μείωσης της

θερμοκρασίας του νερού εισόδου. Δίνεται χαρακτηριστικά ότι η θερμοκρασία του νερού τον Αύγουστο είναι περίπου 20 °C ενώ τον Δεκέμβριο περίπου 12 °C.

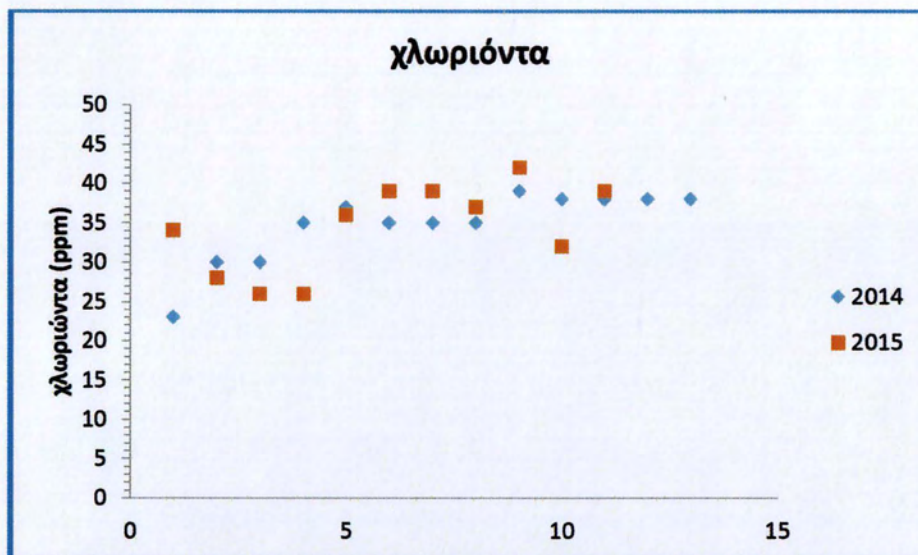
Εάν συγκρίνουμε κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά λειτουργίας των μονάδων σε κοινά γραφήματα εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα :

- Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 6.3** η αγωγιμότητα του παραγόμενου νερού έχει αυξηθεί κατά μέσω όρο 10  $\mu S/cm$  το 2015 σε σχέση με το 2014, αλλά βρίσκεται πάντα σε ικανοποιητικά πλαίσια.



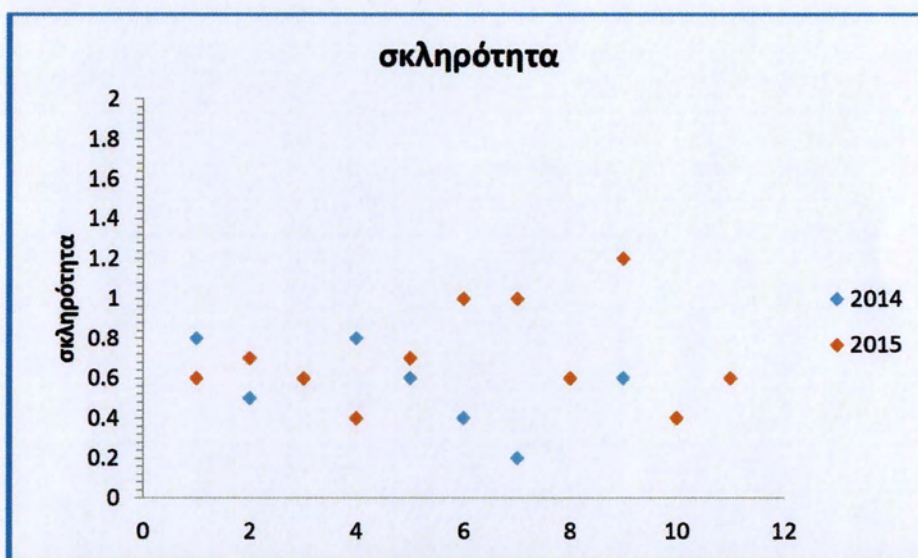
**Σχήμα 6.3** Συγκριτικό διάγραμμα της αγωγιμότητας του παραγόμενου νερού.

- Τα χλωριόντα στο παραγόμενο νερό είναι στα ίδια επίπεδα και τις δύο χρονιές, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 6.4**



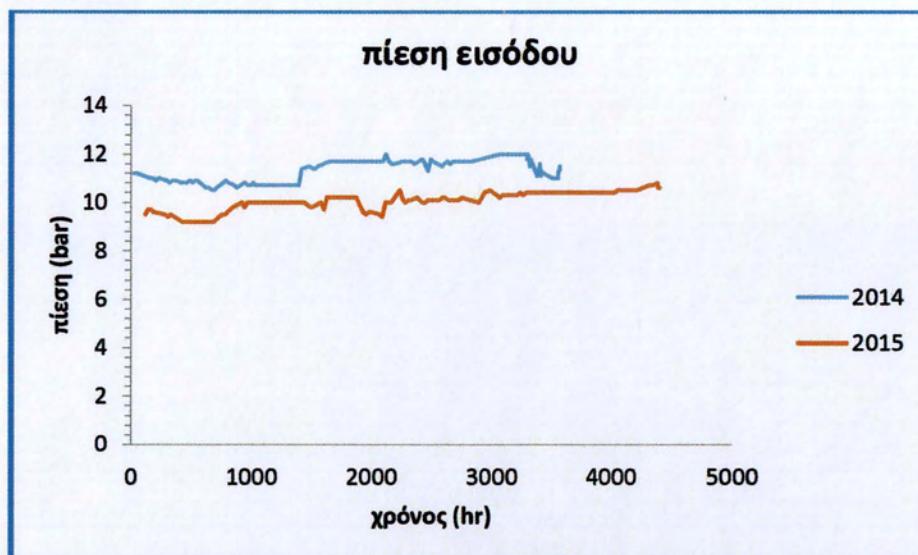
Σχήμα 6.4 Συγκριτικό διάγραμμα των χλωριόντων στο διήθημα

- Η σκληρότητα του παραγόμενου νερού δεν δείχνει να έχει αλλάξει με την πάροδο της χρονικής περιόδου τα υπό εξέταση χρόνια όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.5



Σχήμα 6.5 Συγκριτικό διάγραμμα της σκληρότητας του διηθήματος

- Η πίεση εισόδου των μεμβρανών δείχνει να έχει μειωθεί λίγο το 2015 σε σχέση με το 2014 κάτι που μπορεί να δικαιολογηθεί μόνο από τη αλλαγή του μανομέτρου, που έγινε το 2015.



**Σχήμα 6.6** Συγκριτικό διάγραμμα της πίεσης εισόδου στις μεμβράνες

Θα πρέπει να κάνουμε και μία αναφορά στο ποσοστό της απομάκρυνσης των χλωριόντων και την μεταβολή της σκληρότητας μεταξύ του νερού της τροφοδοσίας και του προϊόντος- σκληρότητας. Λαμβάνουμε τους ακόλουθους πίνακες :

**Πίνακας 6.2** Απόδοση στην απόρριψη των προϊόντων

χλωριόντα		ποσοστό
γεώτρησης	1099	0,97
διηθήματος	35	

**Πίνακας 6.3** Απόδοση στην μεταβολή της σκληρότητας

σκληρότητα		ποσοστό
γεώτρησης	68,4	0,99
διηθήματος	0,71	

Θεωρούμε ότι η απόδοση των μεμβρανών ως προς την μεταβολή των χλωριόντων και την μείωση της σκληρότητας είναι πολύ ικανοποιητική.



## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Κατά την μελέτη των γραφημάτων που αναπαριστούν με τρόπο ευκρινή τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των μονάδων τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα :

1. Δεν δημιουργήθηκαν κατά τα δύο έτη διακυμάνσεις στην λειτουργία των μονάδων
2. Αν και ο προτεινόμενος ως χρόνος ζωής των μεμβρανών έχει παρέλθει, θεωρείτε πως αυτές μπορεί ακόμα να χρησιμοποιούνται από την εταιρεία με αξιοπιστία.
3. Η απόδοση σε απομάκρυνση των χλωριόντων είναι 97 %, πάρα πολύ καλή, γεγονός που επιτρέπει την εταιρεία να θεωρεί την επιλογή της μονάδας αντίστροφης όσμωσης από την Culligan Hellas ως καλή επιλογή.

Θα ήθελα στο σημείο θα ήθελα να κάνω ορισμένες προτάσεις για την βελτίωση της λειτουργίας των μονάδων και την προστασία τους. Οι προτάσεις αυτές είναι οι εξής :

1. Χρειάζεται προστασία από υπέρταση του δικτύου λόγω καιρικών φαινομένων, καθώς έχουν χαλάσει λόγω αυτής, 2 inverter, και αρκετά ηλεκτρολογικά όργανα.
2. Καλό είναι οι μονάδες να μετεγκατασταθούν από τα «container» σε κτιριακές εγκαταστάσεις, γιατί στα container ο χώρος για εργασίες είναι πολύ περιορισμένος.
3. Χρειάζεται στεγανή απομόνωση του ηλεκτρολογικού πίνακα από τις διαρροές νερού στις σωληνώσεις, οι οποίες μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την ζωή των χειριστών.
4. Χρειάζεται οι βάνες να ανοίγουν με ομαλό τρόπο, γαι την αποφυγή των πληγμάτων τόσο στις μεμβράνες όσο και στα φίλτρα άμμου.
5. Απαιτείται η υπηρεσία να έχει στην αποθήκη της κάποια βασικά όργανα ως ανταλλακτικά για την άμεση αντικατάσταση τους όταν αυτά χαλάσουν, έτσι ώστε να μειωθεί ο χρόνος που παραμένουν ανενεργές όταν αυτά προκύπτουν.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Πηγή: ΔΕΥΑΜΒ, προσωπική επικοινωνία, Απρίλιος 2016).
- [2] [https://en.wikipedia.org/wiki/Membrane\\_technology#cite\\_note-enf-5](https://en.wikipedia.org/wiki/Membrane_technology#cite_note-enf-5)
- [3] <http://www.kochmembrane.com/Learning-Center/Technologies/What-is-Microfiltration.aspx>
- [4] <http://www.kochmembrane.com/Learning-Center/Technologies/What-is-Ultrafiltration.aspx>
- [5] <http://www.kochmembrane.com/Learning-Center/Technologies/What-is-Nanofiltration.aspx>
- [6] <http://www.kochmembrane.com/Learning-Center/Technologies/What-is-Reverse-Osmosis.aspx>
- [7] Dow Chemical Company, *FilmTec Reverse Osmosis Membranes Technical Manual*
- [8] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, as published jointly by the American Public Health Association, the American Water Works Association, and the Water Pollution Control Federation
- [9] ASTM D 4195 – 88 (Reapproved 2003): Standard Guide for Water Analysis for Reverse Osmosis Application
- [10] Water Quality and Treatment, 5th Edition, Prepared by the American Water Works Association, McGraw-Hill, Inc., New York, 1999
- [11] Water Manual, WABAG, 2nd Ed. (2003)
- [12] ASTM D3739-94 (2003): Standard Practice for Calculation and Adjustment of the Langelier Saturation Index for Reverse Osmosis
- [13] ASTM D4582-91 (2001): Standard Practice for Calculation and Adjustment of the Stiff and Davis Stability Index for Reverse Osmosis
- [14] ASTM D4692-01: Standard Practice for Calculation and Adjustment of Sulfate Scaling Salts (CaSO<sub>4</sub>, SrSO<sub>4</sub>, and BaSO<sub>4</sub>) for Reverse Osmosis

- [15] S.I. Graham, R.L. Reiz, and C.E. Hickman, "Improving Reverse Osmosis Performance though Periodic Cleaning", *Desalination*, 74, 113 (1989)
- [16] M. Luo and Z. Wang, "Complex Fouling and Cleaning-in-Place of a Reverse Osmosis Desalination System", *Desalination*, 141, 15 (2001)
- [17] D1889 /ASTM D1889-00 Standard Test Method for Turbidity of Water
- [18] ASTM D6698-01 Standard Test Method for On-Line Measurement of Turbidity Below 5 NTU in Water
- [19] ASTM D4189-95 (2002): Standard Test Method for Silt Density Index (SDI) of Water
- [20] Schippers, J.C. and Verdouw, J.: The modified fouling index, a method of determining the fouling characteristics of water, *Desalination* 32, 137 (1980)
- [21] D4454-85(2002) Standard Test Method for Simultaneous Enumeration of Total and Respiring Bacteria in Aquatic Systems by Microscopy
- [22] ASTM D1291-01: Standard Practice for Estimation of Chlorine Requirement or Demand of Water, or Both
- [23] White, G.C.: Handbook of Chlorination. Van Nostrand Reinhold Co., New York (2nd ed., 1986)
- [24] C.F.Wend, P.S.Steward, W.Jones, A.K.Camper: Pretreatment for membrane water treatment systems: a laboratory study. *Water Research* 37 (2003) 3367-3378
- [25] [http://www.caprari.com/cms-web/upl/doc/PDF\\_prodotto/MEC-A\\_tec\\_it\\_en\\_fr.pdf](http://www.caprari.com/cms-web/upl/doc/PDF_prodotto/MEC-A_tec_it_en_fr.pdf)
- [26] [http://www.lenntech.com/uploads/grundfos/96124240/Grundfos\\_CRN-90-3-2-A-F-G-V-HQQV.pdf](http://www.lenntech.com/uploads/grundfos/96124240/Grundfos_CRN-90-3-2-A-F-G-V-HQQV.pdf)



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000139959