



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ Ι: ΜΟΝΑΔΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΛΟΪΖΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ
ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ-ΙΩΑΝΝΑ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π.

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε ως πρωτογενής ερευνητική στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας (UEST), της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Επιθυμώ να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σ' όλους όσους συνέδραμαν στην εκπόνηση αυτής της εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες αξίζουν στην επιβλέπουσα καθηγήτρια της διπλωματικής εργασίας, την Δρ. Αικατερίνη-Ιωάννα Χαραλάμπους για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου, αναθέτοντας το θέμα αυτής της εργασίας. Η συμβολή της αλλά και η καθοδήγησή της ήταν καθοριστική στην εκπόνηση της εν λόγω μελέτης.

Θα ήταν παράλειψή μου να μην ευχαριστήσω την Δρ. Μαρία Κυριαζή για την πολύτιμη καθοδήγηση και υποστήριξη σε όλη την εργαστηριακή δραστηριότητα της διπλωματικής εργασίας, την Δρ. Jelica Novakovic αλλά και την κα. Μαρία Αβραμίδα για την αγαστή συνεργασία και τη βοήθεια που έχω λάβει εξ αρχής, καθώς και κάθε μέλος της εργαστηριακής μονάδας που μου προσέφερε και την ελάχιστη βοήθεια προς την εκπόνηση και ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επιθυμώ να υπογραμμίσω ότι με την έγκριση της υφιστάμενης μελέτης, κλείνει ένας σημαντικός κύκλος της ζωής του γράφοντος, αυτός των προπτυχιακών σπουδών. Παράλληλα, γίνεται υπόβαθρο για το ξεκίνημα ενός νέου κύκλου όσον αφορά τις μετέπειτα προσωπικές μου στοχοθεσίες, τόσο από επαγγελματικής απόψεως όσο και για την πρακτική μου κατάρτιση και εμπάθυνση στον τομέα της χημικής μηχανικής.

Οι όποιες ελλείψεις και αδυναμίας του συγγράμματος βαρύνουν αποκλειστικά τον γράφοντα.

Περιεχόμενα

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Διαθεσιμότητα νερού.....	2
1.1.1 Συμβατικές πηγές	2
1.1.2 Μη Συμβατικές πηγές	2
1.1.3 Χρήσεις νερού.....	3
1.2 Το διαχρονικό πρόβλημα της λειψυδρίας.....	4
1.2.1 Πως ορίζεται η λειψυδρία	4
1.2.2 Πως μετράται η λειψυδρία	5
1.2.3 Η οικονομική όψη της λειψυδρίας	5
1.2.4 Μέτρα Ευρωπαϊκής Ένωσης για την καταπολέμηση της λειψυδρίας	7
1.2.5 Η διαχρονική πορεία του νερού στην Ευρώπη	10
2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ	18
2.1 Αρχή λειτουργίας μονάδων επεξεργασίας λυμάτων	18
2.1.1 Διαδικασίες επεξεργασίας λυμάτων.....	18
2.2 Συστήματα επεξεργασίας λυμάτων υψηλής αλατότητας	22
2.2.1 Τεχνολογίες διήθησης με μεμβράνη	22
2.2.2 Σύστημα προσρόφησης για την επιλεκτική ανάκτηση φωσφόρου	30
2.2.3 Τεχνολογία εξάτμισης.....	33
2.2.4 Κρυστάλλωση.....	35
3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ.....	38
3.1 Μεθοδολογία πειραμάτων, διατάξεις και ανάλυση μετρήσεων	39
3.1.1 Διάταξη NF270-4040	40
3.1.2 Διάταξη XLE-2540	43
3.1.3 Ανάλυση μετρήσεων	45
3.2 Πείραμα 1 – Απόδοση 75%, με μεταβαλλόμενη ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 7,3 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης.....	50
3.3 Πείραμα 2 - Απόδοση 60%, με μεταβαλλόμενη ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 7,3 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης.....	54
3.4 Πείραμα 3 – Μεταβαλλόμενη απόδοση, χωρίς ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 7,3 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης.....	58

3.5 Πείραμα 4 - Μεταβαλλόμενη απόδοση, χωρίς ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 6,0 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης.....	61
3.6 Πείραμα 5 - Απόδοση 75%, με μεταβαλλόμενη ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 6,0 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης.....	64
3.7 Πείραμα 6 – Μεταβαλλόμενη απόδοση, χωρίς ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 5,9 με χρήση μεμβράνης αντίστροφης όσμωσης.....	67
4 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ WAVE	70
4.1 Πείραμα 1 – Απόδοση 75%, με μεταβαλλόμενη ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 7,3 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης.....	72
4.1.1 Πείραμα 1.1 – Απόδοση 75%, σε ανακυκλοφορία 200 L/h και pH= 7.3	72
4.1.2 Πείραμα 1.2 – Απόδοση 75%, σε ανακυκλοφορία 300 L/h και pH= 7.3	75
4.1.3 Πείραμα 1.3 – Απόδοση 75%, σε ανακυκλοφορία 400 L/h και pH= 7.3	78
4.1.4 Πείραμα 1.4 – Απόδοση 75%, σε ανακυκλοφορία 500 L/h και pH= 7.3	81
4.2 Πείραμα 2 - Απόδοση 60%, με μεταβαλλόμενη ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 7,3 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης.....	84
4.2.1 Πείραμα 2.1 – Απόδοση 60%, σε ανακυκλοφορία 200 L/h και pH= 7.3	84
4.2.2 Πείραμα 2.2 – Απόδοση 60%, σε ανακυκλοφορία 300 L/h και pH= 7.3	87
4.2.3 Πείραμα 2.3 – Απόδοση 60%, σε ανακυκλοφορία 400 L/h και pH= 7.3	90
4.2.4 Πείραμα 2.4 – Απόδοση 60%, σε ανακυκλοφορία 500 L/h και pH= 7.3	93
4.3. Πείραμα 3 – Μεταβαλλόμενη απόδοση, χωρίς ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 7,3 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης.....	96
4.3.1 Πείραμα 3.1 – Απόδοση 50%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 7.3.....	96
4.3.2 Πείραμα 3.2 – Απόδοση 60%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 7.3.....	99
4.3.3 Πείραμα 3.3 – Απόδοση 75%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 7.3.....	102
4.4. Πείραμα 4 - Μεταβαλλόμενη απόδοση, χωρίς ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 6,0 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης.....	105
4.4.1 Πείραμα 4.1 – Απόδοση 50%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 6.0.....	105
4.4.2 Πείραμα 4.2 – Απόδοση 60%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 6.0.....	108
4.4.3 Πείραμα 4.3 – Απόδοση 75%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 6.0.....	111
4.5. Πείραμα 5 - Απόδοση 75%, με μεταβαλλόμενη ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 6,0 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης.....	114
4.5.1 Πείραμα 5.1 – Απόδοση 75%, σε ανακυκλοφορία 300 L/h και pH= 6.0	114
4.5.2 Πείραμα 5.2 – Απόδοση 75%, σε ανακυκλοφορία 600 L/h και pH= 6.0	117

4.5.3 Πείραμα 5.3 – Απόδοση 75%, σε ανακυκλοφορία 700 L/h και pH= 6.0	120
4.6. Πείραμα 6 – Μεταβαλλόμενη απόδοση, χωρίς ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 5,9 με χρήση μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης.....	123
4.6.1 Πείραμα 6.1 – Απόδοση 80%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 5.9.....	123
4.6.2 Πείραμα 6.2 – Απόδοση 90%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 5.9.....	126
5 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ WAVE	129
5.1. Μεθοδολογία μελέτης περίπτωσης.....	129
5.2. Μελέτη περιπτώσεων για εξεύρεση των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας.....	130
5.2.1 Περίπτωση 1 – Παραγωγή μέτριας ποσότητας συμπυκνωμένου προϊόντος με νανοδιήθηση και μεγάλης ποσότητας συμπυκνωμένου προϊόντος με αντίστροφη ώσμωση	130
5.2.2 Περίπτωση 2 – Παραγωγή μεγάλης ποσότητας συμπυκνωμένου προϊόντος με νανοδιήθηση και μικρής ποσότητας συμπυκνωμένου προϊόντος με αντίστροφη ώσμωση	138
5.2.3 Περίπτωση 3 – Παραγωγή μικρής ποσότητας συμπυκνωμένου προϊόντος με νανοδιήθηση και μεγάλης ποσότητας συμπυκνωμένου προϊόντος με αντίστροφη ώσμωση	146
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	159
6.1 Συγκριτική αξιολόγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων	159
6.1.1 Απόδοση της μεμβράνης.....	159
6.1.2 Ανακυκλοφορία.....	159
6.1.3 Ενεργός οξύτητα (pH).....	160
6.2 Συμπεράσματα ως προς την απόρριψη ιόντων από τις μεμβράνες	160
6.2.1 Νανοδιήθηση.....	160
6.2.2 Αντίστροφη ώσμωση	161
6.3 Συμπεράσματα από την μελέτη περίπτωσης	161
7 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	162
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	163

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Χορηγίες χρηματοδότησης της Πολιτικής Συνοχής στα πεδία παρέμβασης 20-22	12
Πίνακας 1.2: Κλίμακα των ποσοστιαίων μεταβολών στις εκλύσεις ρύπων στο νερό στα κράτη μέλη της ΕΕ-27 από το 2010 έως το 2019	13
Πίνακας 1.3: Σύνοψη των προηγούμενων τάσεων, των προβλέψεων και των προοπτικών εκπλήρωσης των επιδιώξεων πολιτικής/στόχων	15
Πίνακας 3.1: Οι συγκεντρώσεις των σημαντικότερων ιόντων στην άλμη που χρησιμοποιήθηκε στα εργαστηριακά πειράματα	41
Πίνακας 3.2: Συνθήκες λειτουργίας στη διάταξη νανοδιήθησης	41
Πίνακας 3.3: Οι συγκεντρώσεις των σημαντικότερων ιόντων στο διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα με τη διάταξη αντίστροφης όσμωσης.....	43
Πίνακας 3.4: Συνθήκες λειτουργίας δοκιμών κλίμακας πάγκου σε μονάδα RO.....	44
Πίνακας 3.5: Προετοιμασία πρότυπων διαλυμάτων.....	48
Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων του πειράματος.....	50
Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων του πειράματος.....	54
Πίνακας 3.8: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων του πειράματος.....	58
Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων του πειράματος.....	61
Πίνακας 3.10: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων του πειράματος.....	64
Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων του πειράματος.....	67
Πίνακας 4.1: Η περιγραφή των σταδίων διεργασίας της μεμβράνης όπως απεικονίζονται στο πρόγραμμα WAVE	71
Πίνακας 4.2: Επισκόπηση Συστήματος.....	72
Πίνακας 4.6: Χημικές Προσαρμογές.....	74
Πίνακας 4.5: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	74
Πίνακας 4.7: Επισκόπηση Συστήματος.....	75
Πίνακας 4.8: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	76
Πίνακας 4.9: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	76
Πίνακας 4.10: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	76
Πίνακας 4.11: Χημικές Προσαρμογές.....	77
Πίνακας 4.12: Επισκόπηση Συστήματος.....	78
Πίνακας 4.13: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη.....	79
Πίνακας 4.14: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	79
Πίνακας 4.15: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	79
Πίνακας 4.16: Χημικές Προσαρμογές.....	80
Πίνακας 4.17: Επισκόπηση Συστήματος.....	81
Πίνακας 4.18: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	82
Πίνακας 4.19: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού.....	82
Πίνακας 4.20: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	82
Πίνακας 4.21: Χημικές Προσαρμογές.....	83
Πίνακας 4.22: Επισκόπηση Συστήματος.....	84
Πίνακας 4.23: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	85
Πίνακας 4.24: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	85
Πίνακας 4.25: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	85
Πίνακας 4.26: Χημικές Προσαρμογές.....	86
Πίνακας 4.27: Επισκόπηση Συστήματος.....	87
Πίνακας 4.28: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	88
Πίνακας 4.29: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	88

Πίνακας 4.30:	Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	88
Πίνακας 4.31:	Χημικές Προσαρμογές	89
Πίνακας 4.32:	Επισκόπηση Συστήματος	90
Πίνακας 4.33:	Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	91
Πίνακας 4.34:	Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	91
Πίνακας 4.35:	Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	91
Πίνακας 4.36:	Χημικές Προσαρμογές	92
Πίνακας 4.37:	Επισκόπηση Συστήματος	93
Πίνακας 4.38:	Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	94
Πίνακας 4.39:	Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	94
Πίνακας 4.40:	Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	94
Πίνακας 4.41:	Χημικές Προσαρμογές	95
Πίνακας 4.42:	Επισκόπηση Συστήματος	96
Πίνακας 4.43:	Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	97
Πίνακας 4.44:	Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	97
Πίνακας 4.45:	Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	97
Πίνακας 4.46:	Χημικές Προσαρμογές	98
Πίνακας 4.47:	Επισκόπηση Συστήματος	99
Πίνακας 4.48:	Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	100
Πίνακας 4.49:	Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	100
Πίνακας 4.50:	Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	100
Πίνακας 4.51:	Χημικές Προσαρμογές	101
Πίνακας 4.52:	Επισκόπηση Συστήματος	102
Πίνακας 4.53:	Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	103
Πίνακας 4.54:	Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	103
Πίνακας 4.55:	Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	104
Πίνακας 4.56:	Χημικές Προσαρμογές	104
Πίνακας 4.57:	Επισκόπηση Συστήματος	105
Πίνακας 4.58:	Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	106
Πίνακας 4.59:	Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	106
Πίνακας 4.60:	Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	106
Πίνακας 4.61:	Χημικές Προσαρμογές	107
Πίνακας 4.62:	Επισκόπηση Συστήματος	108
Πίνακας 4.63:	Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	109
Πίνακας 4.64:	Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	109
Πίνακας 4.65:	Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	109
Πίνακας 4.66:	Χημικές Προσαρμογές	110
Πίνακας 4.67:	Επισκόπηση Συστήματος	111
Πίνακας 4.68:	Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	112
Πίνακας 4.69:	Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	112
Πίνακας 4.70:	Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	113
Πίνακας 4.71:	Χημικές Προσαρμογές	113
Πίνακας 4.72:	Επισκόπηση Συστήματος	114
Πίνακας 4.73:	Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	115
Πίνακας 4.74:	Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	115
Πίνακας 4.75:	Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	115
Πίνακας 4.76:	Χημικές Προσαρμογές	116
Πίνακας 4.77:	Επισκόπηση Συστήματος	117
Πίνακας 4.78:	Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	118
Πίνακας 4.79:	Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	118

Πίνακας 4.80: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	118
Πίνακας 4.81: Χημικές Προσαρμογές	119
Πίνακας 4.82: Επισκόπηση Συστήματος	120
Πίνακας 4.83: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	121
Πίνακας 4.84: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	121
Πίνακας 4.85: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	121
Πίνακας 4.86: Χημικές Προσαρμογές	122
Πίνακας 4.87: Επισκόπηση Συστήματος	123
Πίνακας 4.88: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	124
Πίνακας 4.89: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	124
Πίνακας 4.90: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας	124
Πίνακας 4.91: Χημικές Προσαρμογές	125
Πίνακας 4.92: Επισκόπηση Συστήματος	126
Πίνακας 4.93: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη	127
Πίνακας 4.94: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού	127
Πίνακας 4.95: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας.....	128
Πίνακας 4.96: Χημικές Προσαρμογές	128
Πίνακας 5.1: Επισκόπηση Συστήματος νανοδιήθησης N 200 4040 και αντίστροφης ώσμωσης BW 30 2540.....	130
Πίνακας 5.2: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη νανοδιήθησης	131
Πίνακας 5.3: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης	132
Πίνακας 5.4: Χημικές Προσαρμογές	133
Πίνακας 5.5: Επισκόπηση Συστήματος αντίστροφης ώσμωσης SW 30 2540	133
Πίνακας 5.6: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης	134
Πίνακας 5.7: Χημικές Προσαρμογές	135
Πίνακας 5.8: Επισκόπηση Συστήματος SW 30 2540	135
Πίνακας 5.9: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης	136
Πίνακας 5.10: Χημικές Προσαρμογές	137
Πίνακας 5.11: Επισκόπηση Συστήματος νανοδιήθησης N200 4040 και αντίστροφης ώσμωσης BW 30 2540.....	138
Πίνακας 5.12: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη νανοδιήθησης	139
Πίνακας 5.13: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης	140
Πίνακας 5.14: Χημικές Προσαρμογές	141
Πίνακας 5.15: Επισκόπηση Συστήματος SW 30 2540	141
Πίνακας 5.16: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης	142
Πίνακας 5.17: Χημικές Προσαρμογές	143
Πίνακας 5.18: Επισκόπηση Συστήματος SW 30 2540	143
Πίνακας 5.19: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης	144
Πίνακας 5.20: Χημικές Προσαρμογές	145
Πίνακας 5.21: Επισκόπηση Συστήματος νανοδιήθησης N 200 4040 και αντίστροφης ώσμωσης BW 30 2540.....	146
Πίνακας 5.22: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη νανοδιήθησης	147
Πίνακας 5.23: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης	148
Πίνακας 5.24: Χημικές Προσαρμογές	149
Πίνακας 5.25: Επισκόπηση Συστήματος SW 30 2540	149

Πίνακας 5.26: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης	150
Πίνακας 5.27: Χημικές Προσαρμογές	151
Πίνακας 5.28: Επισκόπηση Συστήματος SW 30 2540	151
Πίνακας 5.29: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης	152
Πίνακας 5.30: Χημικές Προσαρμογές	153

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1: Κύκλος 3 κατηγοριών νερού: 1. Πόσιμο νερό (μπλε), 2. Ανακυκλώσιμου νερού (μωβ) και 3. Νερό από απόβλητα (μαύρο).....	2
Διάγραμμα 1.2: Ποσοστά κατανάλωσης νερού κατά το έτος 2017 στην ΕΕ.	3
Διάγραμμα 1.3: Μέσες απώλειες διανομής στην Ευρώπη σε ποσοστά.	6
Διάγραμμα 1.4: Μέσες απώλειες διανομής στην Ευρώπη σε m ³ /km/y.	7
Διάγραμμα 1.5: Κατανομές (εκατομμύρια ευρώ) σε επενδύσεις για το νερό (IF 20, 21, 22) ανά κράτος	11
Διάγραμμα 1.6: Οι πηγές των κύριων προβλημάτων που αφορούν τα ύδατα στην Ευρώπη.	14
Διάγραμμα 2.1: Διάγραμμα ροής διαδικασίας επεξεργασίας λυμάτων.....	20
Διάγραμμα 2.0.2: Γενική παρουσίαση των τεχνολογιών μεμβράνης (μέγεθος πόρων, πίεση λειτουργίας μεμβράνης και απορριπτόμενα συστατικά) για την επεξεργασία ρεύματος νερού	23
Διάγραμμα 2.3: Τα στάδια λειτουργίας του μηχανισμού της ρόφησης.....	31
Διάγραμμα 2.4: Τυπικό διάγραμμα ροής της εξάτμισης πολλαπλών βαθμίδων	34
Διάγραμμα 3.1: Ολοκληρωμένο σύστημα τριτοβάθμιας επεξεργασίας αστικών λυμάτων....	40
Διάγραμμα 3.2: Απόρριψη μονοσθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 75% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.....	51
Διάγραμμα 3.3: Απόρριψη δισθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 75% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.....	52
Διάγραμμα 3.4: Απόρριψη μονοσθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 75% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.....	52
Διάγραμμα 3.5: Απόρριψη δισθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 75% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.....	53
Διάγραμμα 3.6: Απόρριψη μονοσθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 60% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.....	55
Διάγραμμα 3.7: Απόρριψη δισθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 60% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.....	56
Διάγραμμα 3.8: Απόρριψη δισθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 60% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.....	57
Διάγραμμα 5.1: Διήθημα NF 200 4040 και BW 30 2540.....	154
Διάγραμμα 5.2: Συμπυκνωμένο προϊόν NF 200 4040 και BW 30 2540.....	155
Διάγραμμα 5.3: Ροή του νερού διήθησης από NF 200 4040, BW 30 2540, 1 ^η SW 30 2540 και 2 ^η SW 30 2540.....	156
Διάγραμμα 5.4: Ροή του συμπυκνωμένου προϊόντος από NF 200 4040, BW 30 2540, 1 ^η SW 30 2540 και 2 ^η SW 30 2540.....	157
Διάγραμμα 5.5: Ενεργειακή κατανάλωση επεξεργασίας νερού ανά περίπτωση.....	158

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Μηχανισμοί απόρριψης συστατικών από την μεμβράνη νανοδιήθησης (μηχανισμός κοσκίνησης, φαινόμενο Donnan, διηλεκτρικός αποκλεισμός).....	24
Σχήμα 2.2: Διαχωρισμός των συστατικών μείγματος με τη χρήση πορώδους μεμβράνης διήθησης (μηχανισμός κοσκίνησης στα αριστερά) και μη πορώδους μεμβράνης διήθησης (μηχανισμός διάχυσης-διάλυσης δεξιά).....	25
Σχήμα 2.3: Ο μηχανισμός της ώσμωσης (αριστερά), η κατάσταση ισορροπίας (κέντρο) και ο διαχωρισμός των συστατικών του διαλύματος με την αντίστροφη ώσμωση (δεξιά).....	26
Σχήμα 2.4: Μηχανισμός διαχωρισμού ιόντων στην διπολική μεμβράνη	28
Σχήμα 2.5: Κυψέλη τριών διαμερισμάτων.....	29

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Μορφές κρυστάλλου παρακεταμόλης: 1. Άμορφος κρύσταλλος (αριστερά), 2. μερικώς κρυσταλλωμένος (κέντρο) και 3. κρύσταλλος (δεξιά).	36
Εικόνα 3.1: Διάταξη μεμβράνης νανοδιήθησης που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο	40
Εικόνα 3.2: Διάταξη μεμβράνης αντίστροφης όσμωσης που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο	43
Εικόνα 3.3: Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης Agilent AA240FS.....	47

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) και κατ' επέκταση ολόκληρος ο κόσμος αναζητούν βιώσιμους τρόπους για την αντιμετώπιση λαθών του παρελθόντος, σχετικά με την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος, σε συνδυασμό με τις προκλήσεις του μέλλοντος.

Ένας από τους βασικούς προβληματισμούς της ΕΕ είναι το φαινόμενο της λειψυδρίας, αφού η ζήτηση για φρέσκο νερό αυξάνεται ετησίως κυρίως λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού. Το μέλλον σκιαγραφείται δυσοίωνο, αφού η αξιολόγηση της προόδου με ορίζοντα το 2020, το 2030 και το 2050 στην ΕΕ διαφαίνεται αρνητική.

Για αυτόν λόγο, ένας από τους στόχους της ΕΕ είναι η εφαρμογή του μοντέλου της μηδενικής απόρριψης στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας. Στην επίτευξη του στόχου αυτού, μπορεί να συμβάλει η σωστή διαχείριση και επεξεργασία των πόρων η επαναχρησιμοποίηση, η επιδιόρθωση και η ανακύκλωση αυτών καθώς επίσης και η βιομηχανική συμβίωση.

Η παρούσα διπλωματική εργασία λαμβάνοντας υπόψιν τα προαναφερθέντα, μελετά την επεξεργασία δευτερογενώς επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων υψηλής αλατότητας με στόχο την μέγιστη παραγωγή νερού υψηλής ποιότητας. Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας (εφεξής UEST), της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάστηκε και προτάθηκε ένα ολοκληρωμένο σύστημα επεξεργασίας νερού μέσω του οποίου βελτιστοποιείται η ποιότητα του νερού που παράγεται από μονάδες επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων. Οι σημαντικότερες παράμετροι λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος όπως η ροή εισόδου, η ανακυκλοφορία, το pH, το οργανικό φορτίο και η επίδρασή του στη λειτουργία του συστήματος καθώς και η περιεκτικότητα σε άλατα μελετήθηκαν ως προς την απόδοση του συστήματος.

Για το σχεδιασμό του τελικού συστήματος έγιναν πειράματα σε εργαστηριακές διατάξεις (ημιβιομηχανικής κλίμακας) στο Εργαστήριο. Για τη μεταφορά των αποτελεσμάτων από αυτές τις διατάξεις σε συστήματα μεγαλύτερης κλίμακας (scale up) χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Water Application Value Engine (εφεξής WAVE).

Μέσω της χρήσης του προαναφερθέντος λογισμικού κατέστη εφικτή η ρύθμιση των παραπάνω παραμέτρων ώστε να αποφευχθούν βλάβες, και συχνές συντηρήσεις, προκειμένου το σύστημα λειτουργεί συνεχόμενα και σταθερά στον μέγιστο δυνατό βαθμό απόδοσης. Τέλος, ιδιαίτερη μέριμνα δόθηκε ώστε το προτεινόμενο σύστημα να καταναλώνει την ελάχιστη δυνατή ενέργεια και να έχει τις ελάχιστες δυνατές απορρίψεις προκειμένου να είναι βιώσιμο οικονομικά και περιβαλλοντικά.

Λέξεις κλειδιά: Λειψυδρία, Ευρωπαϊκή Ένωση, Κυκλική οικονομία, Μηδενική Απόρριψη, Μηδενική Άλμη, Βιομηχανική Συμβίωση, Αλατότητα, Υγρά απόβλητα, Λύματα, Τεχνολογίες επεξεργασίας, Νανοδιήθηση, Αντίστροφη ώσμωση, Απόδοση μεμβράνης, Ανακυκλοφορία, Σχεδιασμός διεργασίας, Διαλυτότητα, Ενεργός οξύτητα (pH), Νερό διήθησης, Συμπυκνωμένο νερό, WAVE

ABSTRACT

In recent years, the European Union (EU) and by extension, the world has been looking for sustainable ways to deal with past mistakes in the exploitation of natural resources and the protection of the environment and also face the challenges of the future.

One of the main concerns of the EU is the phenomenon of water scarcity, as the demand for fresh water is increasing every year mainly due to the increase of the world population. The future looks bleak, as the assessment of progress in 2020, 2030 and 2050 in the EU looks negative.

For this reason, one of the EU's objectives is to implement the zero-waste model in the context of the circular economy. The proper management and processing of resources, reuse, repair and recycling, as well as industrial coexistence can contribute to the achievement of this goal.

The present dissertation, taking into account the above, studies the treatment of secondary treated high-salinity waste water aiming the maximum production of high-quality water. This research was carried out at the Unit of Environmental Science and Technology (UEST), of the School of Chemical Engineering of the National Technical University of Athens.

More specifically, an integrated water treatment system was designed and proposed through which the quality of water produced by municipal wastewater treatment plants is optimized. The most important operating parameters of such a system such as inlet flow, recirculation, pH, organic load and its effect on system operation as well as the concentration of salt were studied in terms of system performance.

For the design of the final system, experiments were performed bench laboratory equipment (semi-industrial scale) in the Laboratory. The Water Application Value Engine (WAVE) software was used to transfer the results from these systems to larger scale systems.

Through the use of the aforementioned software, it was possible to adjust the above parameters to avoid failures, and frequent maintenance, so that the system operates continuously and consistently to the maximum possible degree of efficiency. Finally, special care was taken to ensure that the proposed system consumes the least possible energy and has the least possible discharges in order to be economically and environmentally sustainable.

Keywords: Water scarcity, European Union, Circular economy, Zero Waste, Zero Brine, Industrial coexistence, Salinity, Liquid waste, Sewage, Processing technologies, Nanofiltration, Reverse osmosis, Membrane efficiency, Recycling, Process design, Water solubility, Active acidity (pH), Permeate water, Concentrated water, WAVE

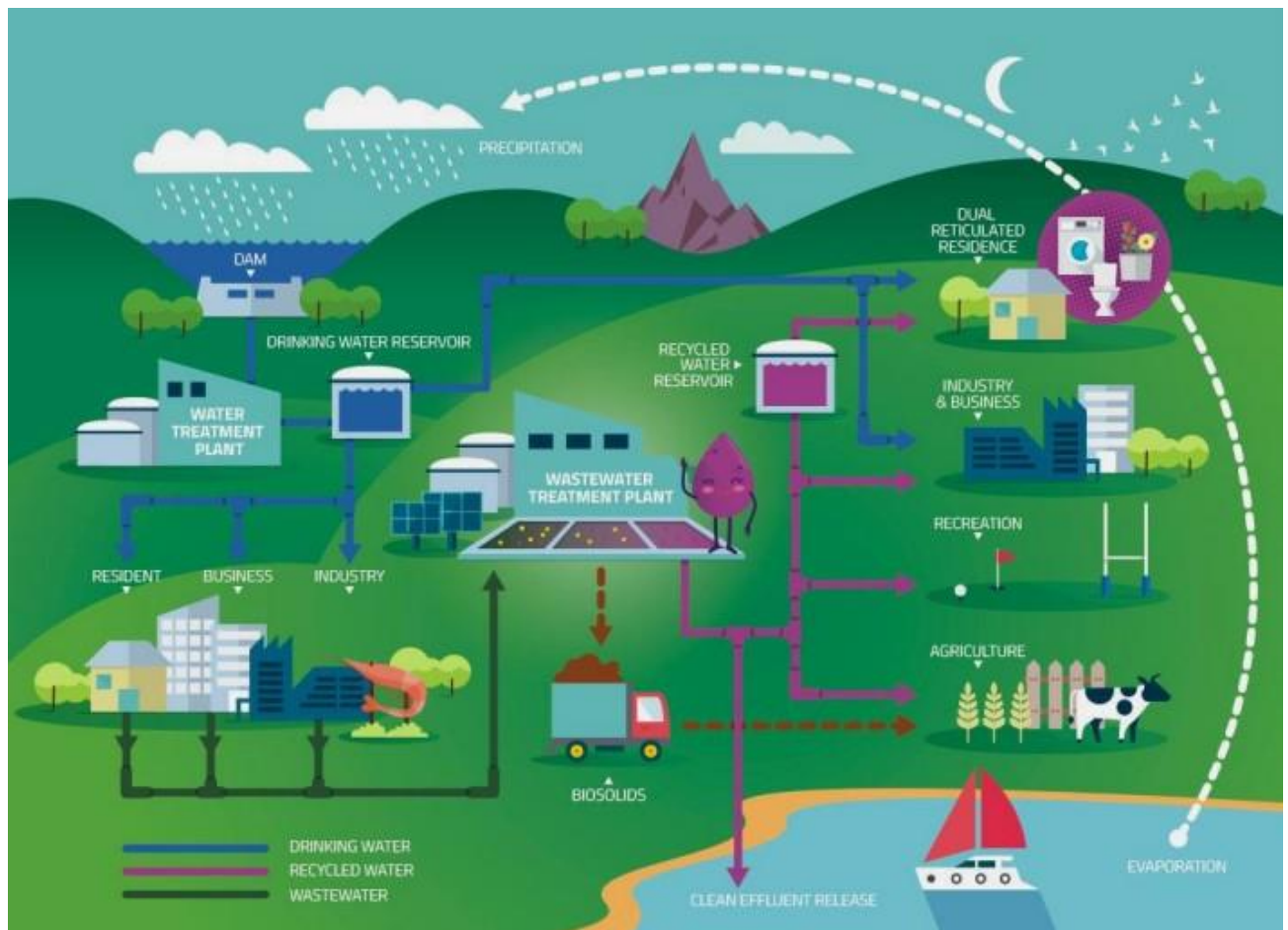
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού αλλά και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, κυρίως των δυτικών κοινωνιών, έχει αυξήσει κατακόρυφα οι καταναλωτικές ανάγκες και τη ζήτηση σε υπηρεσίες και πόρους. Ταυτόχρονα, η κλιματική κρίση αποτελεί ένα μείζων ζήτημα τόσο για την Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και παγκόσμια, με ένα από τα πολλά αποτελέσματα αυτής να είναι η επικίνδυνη αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, που έχει ήδη έχει αρχίσει να επηρεάζει την καθημερινή μας ζωή.

Το ισοζύγιο μεταξύ ζήτησης και προσφοράς νερού φαντάζει πιο ανισόρροπο από ποτέ αφού τόσο οι συμβατικές πηγές όσο και η μη συμβατικές δεν μπορούν αυτή τη στιγμή να καλύψουν τις υπάρχουσες ανάγκες σε φρέσκο νερό. Το διαχρονικό πρόβλημα της λειψυδρίας έχει αρχίσει και μεγαλώνει με πολύπλευρες συνέπειες στην οικονομία, στην υγεία, στο περιβάλλον και σε πολλές άλλες πτυχές της ζωής μας. Για τους παραπάνω λόγους απαιτούνται αλλαγές τόσο στις καθημερινές συνήθειες και τρόπο ζωής του σύγχρονου ανθρώπου όσο και ριζικές αλλαγές στις αλυσίδες παραγωγής και κατανάλωσης.

Μία από αυτές που αποτελεί και στόχο της ΕΕ είναι η αλλαγή από το γραμμικό μοντέλο στο μοντέλο της κυκλικής οικονομίας. Με την καθολική χρήση του τελευταίου μπορεί να αντιμετωπιστεί η ταχεία εξάντληση φυσικών πόρων, η υπερκατανάλωση ενέργειας και να επιτευχθεί η προστασία του περιβάλλοντος και κατ' επέκταση η ίδια η ανθρώπινη υγεία. Επομένως, κρίνεται αναγκαίος ο βέλτιστος σχεδιασμός της διεργασίας, του προϊόντος αλλά και του αποβλήτου του οποίου παράγεται μέσα από αυτή. Αυτό έχει ως στόχο την μείωση απωλειών, την αύξηση της απόδοσης των τεχνολογικών μέσων που χρησιμοποιούνται και του ανθρώπινου δυναμικού. Επιπλέον, χρειάζεται η μελέτη της πορείας διανομής του προϊόντος ώστε να εξασφαλιστεί η μέγιστη ασφάλεια του προϊόντος και του δέκτη αλλά και του προσωπικού και των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούνται. Ακόμα μια πτυχή της κυκλικής οικονομίας είναι η μείωση της κατανάλωσης, - όπου αυτό είναι δυνατό.

1.1 Διαθεσιμότητα νερού



Διάγραμμα 1.1: Κύκλος 3 κατηγοριών νερού: 1. Πόσιμο νερό (μπλε), 2. Ανακυκλώσιμο νερό (μωβ) και 3. Νερό από απόβλητα (μαύρο).

(EurEau, 2021)

1.1.1 Συμβατικές πηγές

Στην κατηγορία των συμβατικών πηγών συγκαταλέγονται το επιφανειακό γλυκό νερό (λίμνες, ποτάμια) και το υπόγειο νερό. Αν και το 72% της επιφάνειας της γης καλύπτεται από νερό, λιγότερο από το 3% αυτού του νερού είναι κατάλληλο για πόση και για άρδευση. (Το νερό είναι πολύτιμο για να το σπαταλάμε, 2020)

1.1.2 Μη Συμβατικές πηγές

Στην κατηγορία των συμβατικών πηγών εμπεριέχονται η επεξεργασία του θαλασσινού νερού και του νερού αποβλήτων, τα φράγματα, η συλλογή των όμβριων υδάτων καθώς και η επαναχρησιμοποίηση του νερού. Σύμφωνα με στατιστικές φαίνεται ότι μόνο το 2,4% των

επεξεργασμένων αστικών λυμάτων και λιγότερο από 0,5% της ετήσιας κατανάλωσης γλυκού νερού της Ευρωπαϊκής Ένωσης επαναχρησιμοποιείται σε ετήσια βάση (Λιαντράκη, 2019).

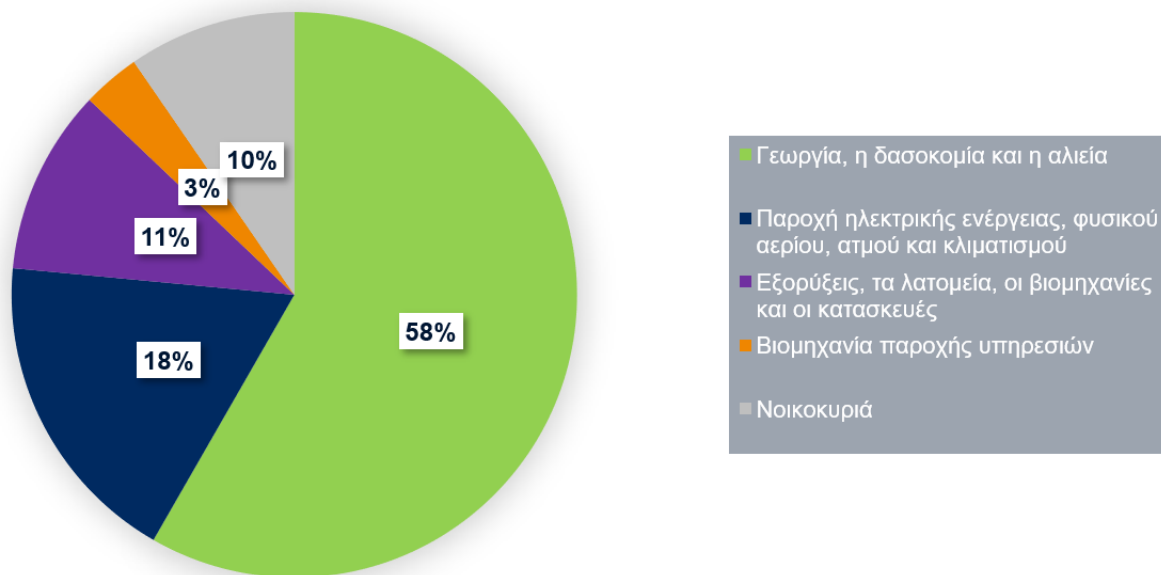
1.1.3 Χρήσεις νερού

Από το 2000 και έπειτα εμφανίστηκαν δύο βασικές κατηγορίες, το πλανητικό όριο γλυκού νερού και το αποτύπωμα νερού. Σκοπός αυτών είναι να προωθήσουν την κατανόηση της βιωσιμότητας των παγκόσμιων πόρων γλυκού νερού και να ποσοτικοποιήσουν τη βιώσιμη εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων από την ανθρωπότητα (Konar et al., 2016).

Το πλανητικό όριο του γλυκού νερού ποσοτικοποιεί τον όγκο των «μπλε» υδάτινων πόρων που η ανθρωπότητα μπορεί να αποσύρει και να παραμείνει σε έναν υποτιθέμενο, ασφαλή οικολογικό χώρο λειτουργίας, όπως για παράδειγμα λίμνες, ποτάμια και υδροφόρους ορίζοντες γλυκού νερού (Rockström et al., 2009).

Η έννοια του αποτυπώματος νερού υπολογίζει την ανθρώπινη προμήθεια και την χρήση όλων των πηγών γλυκού νερού, αναγνωρίζοντας ρητά τις γεωγραφικές διαφορές μεταξύ των περιοχών παραγωγής και κατανάλωσης (Hoekstra and Mekonnen, 2012).

Από το συνολικό γλυκό νερό το που καταναλώθηκε στην ΕΕ κατά έτος 2017 (πληθυσμός 450 εκατομμύρια), διαφαίνεται ότι τα νοικοκυριά χρησιμοποιούν το 9,6% του συνολικού ετήσιου νερού που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 1.2: Ποσοστά κατανάλωσης νερού κατά το έτος 2017 στην ΕΕ.

(EurEau, 2021)

Αξίζει να επισημανθεί ότι μόνο το 9% περίπου της συνολικής γεωργικής γης της Ευρώπης αρδεύεται. Η γεωργία, η δασοκομία και η αλιεία εξακολουθούν να καταναλώνουν περίπου το 60% ενώ για την παραγωγή ενέργειας καταναλώνεται περίπου το 20% του ετησίως

χρησιμοποιούμενου γλυκού νερού στην ΕΕ. Συγκεκριμένα, το νερό χρησιμοποιείται κυρίως ως ψυκτικό σε πυρηνικά και ορυκτά καύσιμα. Επίσης, χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, οι εξορύξεις, τα λατομεία, οι βιομηχανίες και οι κατασκευές καταναλώνουν το 10% του ετησίου χρησιμοποιούμενου γλυκού νερού στην ΕΕ (EurEau, 2021).

1.2 Το διαχρονικό πρόβλημα της λειψυδρίας

1.2.1 Πως ορίζεται η λειψυδρία

Η λειψυδρία είναι ένα από τα πιο κρίσιμα προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα στον αιώνα που ζούμε. (Grafton, 2014).

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, οι πολίτες της ΕΕ χρειάζεται να μάθουν να εκτιμούν την αξία του νερού, το οποίο θεωρείται πλέον ως ο πιο πολύτιμος και σπάνιος πόρος. Η βιωσιμότητα του νερού απειλείται συνεχώς δημιουργώντας μία αυξανόμενη πίεση, η οποία επηρεάζει αρκετές πτυχές της ζωής μας όπως για παράδειγμα την οικονομία, τις κοινότητες και τα οικοσυστήματα τα οποία βασίζονται σε αυτό. Στην περίπτωση όπου η κλιματική αλλαγή συνεχίσει να αυξάνει την μέση θερμοκρασία σε ολόκληρη την Ευρώπη, το νερό αναμένεται να λιγοστεύσει σε πολλές περιοχές, επομένως θα είναι επιτακτική ανάγκη να βρεθούν λύσεις για την προστασία του. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2010)

Σε αυτό το σημείο κρίνεται, απαραίτητο ορισμοί των δύο εννοιών, της ξηρασίας και της λειψυδρίας. Η ξηρασία αναφέρεται στην προσωρινή μείωση της διαθεσιμότητας νερού, για παράδειγμα, όταν δεν βρέχει για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η λειψυδρία, από την άλλη, παρουσιάζεται όταν η ζήτηση για νερό υπερβαίνει τους διαθέσιμους βιώσιμους πόρους, δηλαδή την προσφορά. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2010)

Τέσσερις ακόμη ορισμοί που κρίνεται απαραίτητο να δοθούν είναι αυτοί της «μετεωρολογικής λειψυδρίας», της «γεωγραφικής λειψυδρίας», της «υδρολογικής λειψυδρίας» και της «κοινωνικοοικονομικής λειψυδρίας». Η «μετεωρολογική λειψυδρία», αναφέρεται στη μείωση των κατακρημνισμάτων κάτω από τον μέσο όρο σε μία γεωγραφική περιοχή, και αφορά μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, πριν την έναρξη της περιόδου ξηρασίας.

Ο όρος «γεωγραφική λειψυδρία», που εκφράζει την σημαντική ελάττωση της υγρασίας του εδάφους, η οποία επηρεάζει αρνητικά την γεωργική παραγωγή.

Τρίτον, έχει εμφανιστεί και ο όρος «υδρολογική λειψυδρία» ο οποίος αφορά την έλλειψη τόσο των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, όσο και των επιφανειακών και υπόγειων ροών. Τέλος, η «κοινωνικοοικονομική λειψυδρία» ορίζεται ως η αρνητική διαφορά στο ισοζύγιο μεταξύ προσφοράς και ζήτησης νερού (Κατσόγιαννου, 2013).

Ένας γενικευμένος τέλος ορισμός της λειψυδρίας ο οποίος χρησιμοποιείται πολύ συχνά είναι ο ακόλουθος. Λειψυδρία, ονομάζουμε τη δύσκολη κατάσταση κατά την οποία η διαθεσιμότητα νερού σε μια χώρα ή σε μια περιοχή είναι μικρότερη από 1000 m³ ανά άτομο σε ετήσια βάση. (Rosegrant, Kawamura and Cousin, 2019)

1.2.2 Πως μετράται η λειψυδρία

Ο κύριος τρόπος αξιολόγησης της λειψυδρίας είναι μέσω του δείκτη εκμετάλλευσης των υδάτων, Water Exploitation Index (εφεξής *WEI*). Το *WEI* είναι η μέση ζήτηση γλυκών υδάτων διαιρούμενη διά του μακροπρόθεσμου μέσου όρου των πόρων γλυκού νερού. Δηλαδή δείχνει σε ποιο βαθμό η συνολική ζήτηση νερού ασκεί πίεση στους διαθέσιμους υδάτινους πόρους σε μια δεδομένη περιοχή και επισημαίνει τις περιοχές που έχουν μεγάλη ζήτηση νερού σε σύγκριση με τους πόρους τους. (Use of freshwater resources, 2016)

Στη νότια Ευρώπη, η αύξηση του τουρισμού αύξησε ταυτόχρονα και τη ζήτηση για νερό, με αποτέλεσμα την ερημοποίηση και την εισβολή αλμυρού νερού στους υδροφορείς που βρίσκονται σε ορισμένες παράκτιες ζώνες γλυκού νερού. Η λειψυδρία είναι πιο έντονη στο (Ευρωπαϊκό) νότο, αλλά σε καμία περίπτωση δεν περιορίζεται μόνο σε αυτή την γεωγραφική περιοχή. Τα περισσότερα κράτη μέλη έχουν υποστεί επεισόδια ξηρασίας από το 1976 και πολλά κράτη μέλη έκτοτε συνεχίζουν να αναφέρουν προβλήματα λειψυδρίας και υπερεκμετάλλευσης υδροφόρων οριζόντων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2010).

1.2.3 Η οικονομική όψη της λειψυδρίας

Η Ευρώπη δεν είναι μια άνυδρη ήπειρος, όμως η διαθεσιμότητα γλυκού νερού αποτελεί πλέον ανησυχία για σχεδόν τον μισό πληθυσμό της ΕΕ. Το φαινόμενο της λειψυδρίας είναι συχνότερο και ανησυχητικό σε μεγάλο βαθμό. Υπολογίζεται ότι επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τουλάχιστον το 11% του ευρωπαϊκού πληθυσμού και το 17% του συνολικού εδάφους της ΕΕ.

Συγκεκριμένα, από το 1980, το φαινόμενο της ξηρασίας στην Ευρώπη αυξήθηκε και έγινε ακόμα πιο κρίσιμο ως φαινόμενο, κοστίζοντας περίπου 100 δισεκατομμύρια ευρώ μέχρι το 2010. Μία από τις χειρότερες ξηρασίες συνέβη το 2003, όταν επηρεάστηκε το ένα τρίτο του εδάφους της ΕΕ και περισσότερο από 100 εκατομμύρια άνθρωποι. Μεταξύ 1976 και 2006, ο αριθμός των ατόμων και των περιοχών που επηρεάστηκαν από ξηρασία αυξήθηκε περίπου κατά 20% και το μέσο ετήσιο κόστος τετραπλασιάστηκε.

Επίσης, έχει εκτιμηθεί ότι η κατανάλωση νερού από το κοινό, τη βιομηχανία και τη γεωργία θα αυξηθεί κατά 16% σε σχέση με το 2010 έως το 2030. Επιπρόσθετα, εκτιμάται ότι η κλιματική αλλαγή θα συμβάλει στο πρόβλημα της λειψυδρίας και της ξηρασίας, αυξάνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις τους.

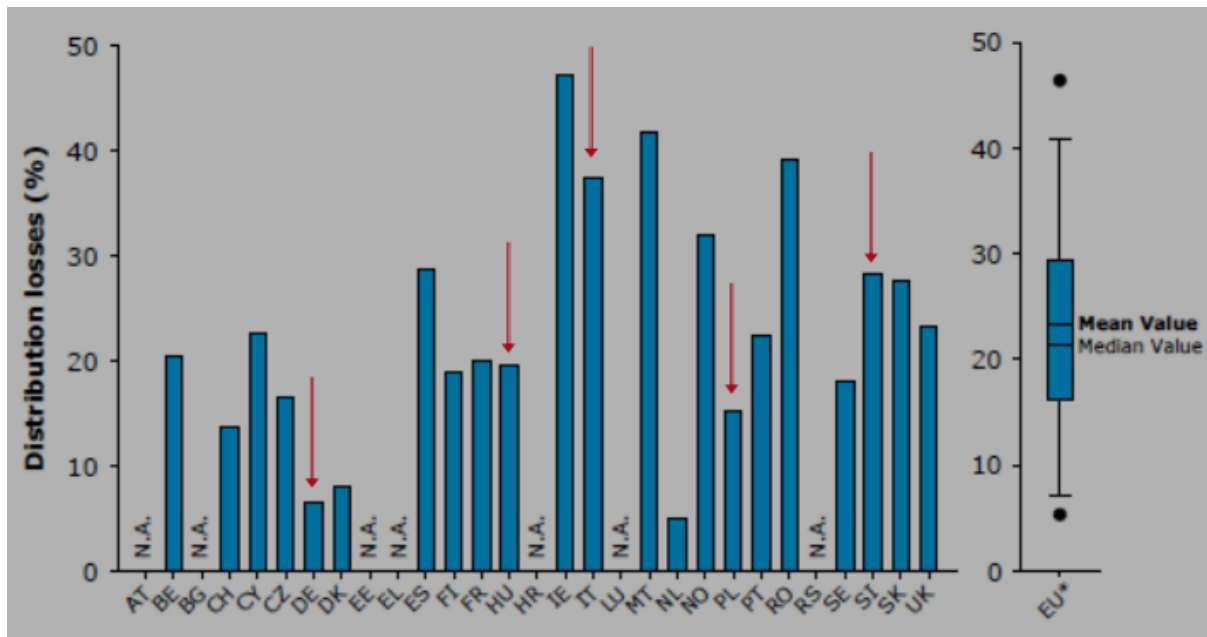
Αποτελεί γεγονός ότι η ζήτηση για νερό συνεχίζει να αυξάνεται σε όλη την Ευρώπη, επιβαρύνοντας τους πόρους της. Υπολογίζεται ότι το 2010 περίπου το 20-40% του διαθέσιμου νερού της Ευρώπης σπαταλιόταν λόγω διαρροών στο σύστημα παροχής, έλλειψης εγκαταστάσεων με τεχνολογίες εξοικονόμησης νερού, υπερβολική άσκοπη άρδευση (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2010)

Το 2015 το World Economic Forum τοποθέτησε το πρόβλημα του νερού στην λίστα με του παγκόσμιους κινδύνους που χρειάζεται η ανθρωπότητα να αντιμετωπίσει σε παγκόσμιο επίπεδο (Water crises are a top global risk, 2015).

Οι τομείς της ΕΕ που εξαρτώνται από το νερό, το έτος 2019 είχαν έσοδα 3,4 τρισεκατομμύρια ευρώ, ή περίπου το 26% της ετήσιας ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας της ΕΕ και εργοδοτούσαν (άμεσα και έμμεσα) περίπου 44 εκατομμύρια άτομα (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019), δηλαδή περίπου το ένα δέκατο του πληθυσμού της ΕΕ, αφού σύμφωνα με στατιστικά της υπηρεσίας Europe Direct ο πληθυσμός της ΕΕ κατά το έτος 2019 ήταν 446 εκατομμύρια (Europe Direct, 2019).

Για το έτος 2021 υπολογίζεται ότι για τις υπηρεσίες νερού οι άμεσοι εργαζόμενοι είναι 475 χιλιάδες άτομα και η παραγωγή 45,9 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού. Η ετήσια μέση τιμή χρέωσης υπηρεσιών νερού ανά κάτοικο στην Ευρώπη υπολογίζεται στα 188 ευρώ (EurEau, 2021).

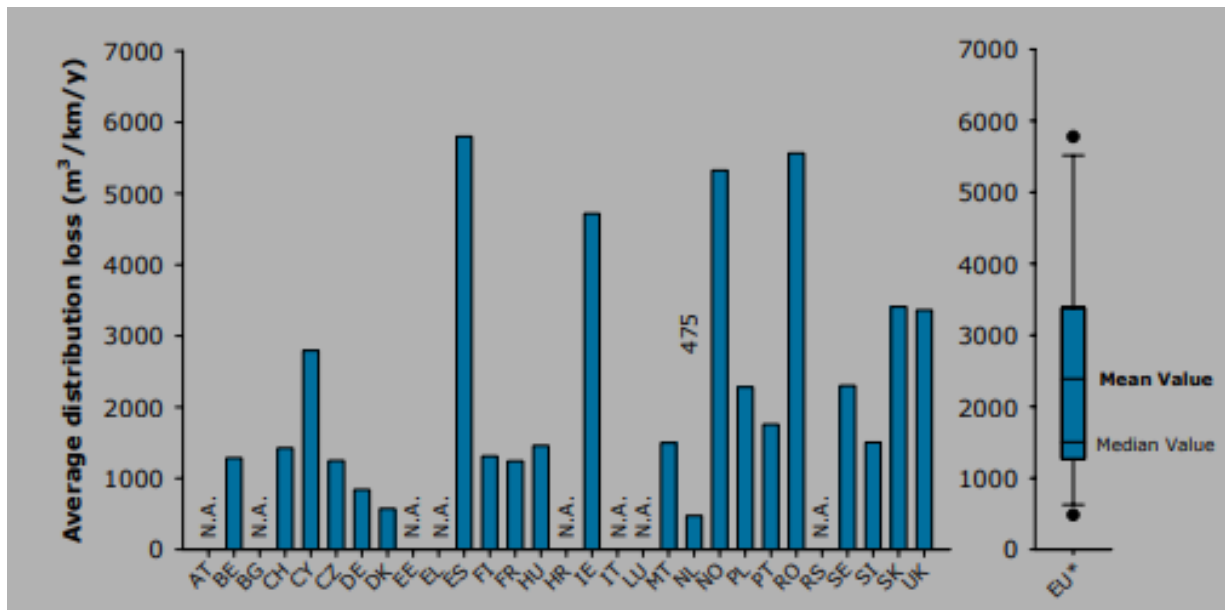
Περαιτέρω, εκτιμάται ότι η επαναχρησιμοποίηση των υδάτων δύναται να δημιουργήσει πράσινες θέσεις εργασίας στη βιομηχανία που σχετίζεται με το νερό, και εκτιμάται ότι η αύξηση κατά 1% του ρυθμού ανάπτυξης της βιομηχανίας νερού στην Ευρώπη δύναται να δημιουργήσει έως και 20.000 νέες θέσεις εργασίας (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).



Διάγραμμα 1.3: Μέσες απώλειες διανομής στην Ευρώπη σε ποσοστά.

(EurEau, 2017)

Μέση τιμή για απώλειες = 23%



Διάγραμμα 1.4: Μέσες απώλειες διανομής στην Ευρώπη σε m³/km/y.

(EurEau, 2017)

Μέση τιμή για απώλειες = 2,171 m³/km/y

1.2.4 Μέτρα Ευρωπαϊκής Ένωσης για την καταπολέμηση της λειψυδρίας

Μια ποικιλία προσεγγίσεων χρησιμοποιείται σε επίπεδο ΕΕ για την προστασία των υδάτων της Ευρώπης όπως η νομοθεσία, τα μέσα της αγοράς, η παρακολούθηση, η έρευνα και η ευαισθητοποίηση. Το 2000, η ΕΕ εισήγαγε την Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα 2000/60/ΕΚ (εφεξής *ΟΠΥ*), η οποία αποτελεί το πιο φιλόδοξο και περιεκτικό κομμάτι της νομοθεσίας της ΕΕ που εγκρίθηκε για τα ύδατα.

Το 2007, η ΕΕ ξεκίνησε τη συζήτηση για την αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας και της ξηρασίας. Η ανακοίνωση προσδιόρισε επτά πολιτικές πρωτοβουλίες που υπήρχε ανάγκη να αντιμετωπιστούν για να επιτευχθεί μια αποτελεσματικότερη χρήση και αποθήκευση του πολύτιμου αυτού πόρου.

Η πολιτική της ΕΕ που σχετίζεται με την λειψυδρία και την ξηρασία βασίζεται στην αρχή της «ιεραρχίας του νερού». Αυτό σημαίνει ότι πρόσθετες υποδομές παροχής νερού, όπως μεταφορές νερού ή μονάδες αφαλάτωσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μόνο όταν έχουν εξαντληθεί όλα τα μέτρα από πλευράς ζήτησης, όπως η εξοικονόμηση νερού, οι βελτιώσεις της αποδοτικότητας του νερού και η τιμολόγηση του νερού (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2010).

Τα μέσα άσκησης πολιτικής που σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή δύναται να συμβάλουν στην βιωσιμότητα του νερού στην ΕΕ είναι: (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2007)

1. Η σωστή τιμολόγηση του νερού.
2. Η αποδοτικότερη κατανομή του νερού και των σχετικών με το νερό χρηματοδοτικών πόρων.
3. Η βελτίωση της διαχείρισης των κινδύνων ξηρασίας.
4. Η μελέτη πρόσθετων υποδομών υδροδότησης.
5. Η προώθηση των τεχνολογιών και πρακτικών που προάγουν την αποδοτική χρήση των υδατικών πόρων.
6. Η προαγωγή νοοτροπίας εξοικονόμησης νερού στην Ευρώπη.
7. Η βελτίωση των γνώσεων και συγκέντρωση δεδομένων.

Σύμφωνα με έκθεση της ευρωπαϊκής επιτροπής του 2012 σχετικά με την επανεξέταση της ευρωπαϊκής πολιτικής για την καταπολέμηση της λειψυδρίας και της ξηρασίας, η εφαρμογή των απαιτήσεων της ΟΠΥ για ανάκτηση του κόστους και τιμολόγηση που να λειτουργεί ως κίνητρο υπήρξε περιορισμένη.

Τα Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής (εφεξής ΣΔΛΑ) δίνουν πληροφορίες για τα ισχύοντα τιμολόγια υπηρεσιών υδάτων, σύμφωνα με τις οποίες ο ορισμός των υπηρεσιών υδάτων συχνά δεν είναι εναρμονισμένος. Επιπλέον, οι διαδικασίες αδειοδότησης για άντληση ή χρήση νερού παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές και η παράνομη υδροληψία εξακολουθεί να αποτελεί σοβαρό πρόβλημα σε τμήματα της Ευρώπης.

Παράλληλα, τα κράτη μέλη προωθούν αποσπασματικά μέτρα στήριξης και τεχνικά μέτρα αντί του ολοκληρωμένου σχεδιασμού χρήσεων γης και νερού ενώ ταυτόχρονα οι αναλύσεις κόστους-αποτελεσματικότητας και κόστους-οφέλους λαμβάνονται υπόψιν σπάνια για την ιεράρχηση των επενδύσεων στο πλαίσιο της διαδικασίας των ΣΔΛΑ.

Ακόμα, παρατηρήθηκε το γεγονός ότι αν και η κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης της ξηρασίας σημείωσε πρόοδο, η εφαρμογή τους, καθώς και η ενσωμάτωσή τους στα ΣΔΛΑ και σε άλλα έγγραφα σχεδιασμού παραμένει περιορισμένη. Υπάρχουν διαθέσιμοι δείκτες ξηρασίας σε προκαταρκτικό στάδιο, για το σύνολο της ΕΕ καθώς και ένας συνδυασμένος δείκτης ειδικά για την ξηρασία στη γεωργία, τον κλάδο με τη μεγαλύτερη κατανάλωση νερού στην ΕΕ. Επιπλέον, παρατηρήθηκε περιορισμένη πρόοδος αναφορικά για τη χρήση των ταμείων αλληλεγγύης της ΕΕ στον τομέα της ξηρασίας (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2012).

Όσο αφορά την προαγωγή νοοτροπίας εξοικονόμησης νερού στην Ευρώπη αναδύονται δύο κύριες τάσεις. Η πρώτη έχει ως σκοπό την παροχή πληροφοριών σχετικά με το υδατικό αποτύπωμα των προϊόντων και η δεύτερη εστιάζει στην υπεύθυνη διαχείριση του νερού.

Ένα από τα μέτρα που εισάγονται για σκοπούς αντιμετώπισης της λειψυδρίας είναι το σύστημα τιμολόγησης νερού στα κράτη μέλη της ΕΕ. Αυτό είναι ένα από τα πολλά μέτρα που εισάγονται για τη λειψυδρία. Τα μέτρα για την ενθάρρυνση της πιο βιώσιμης χρήσης περιλαμβάνουν:

- Μέσα που βασίζονται στην αγορά για να διασφαλιστεί ότι η αρχή «ο χρήστης πληρώνει» γίνεται ο κανόνας. Οι διατιμήσεις μπορούν να αυξήσουν τους λογαριασμούς νερού. Στις περισσότερες χώρες εφαρμόζονται σταδιακά. Τα εναλλακτικά μέτρα για την ενθάρρυνση της αποτελεσματικής χρήσης του νερού περιλαμβάνουν ταρίφες, ποινές για υπερβολική κατανάλωση και εκπτώσεις για εξοικονόμηση νερού.

- Στοχευμένη χρήση χρηματοδότησης για την ενθάρρυνση της εξοικονόμησης νερού, όπως για βελτιωμένο σχεδιασμό χρήσης γης για την πρόληψη νέων εξελίξεων που υπερεκμεταλλεύονται τους υδάτινους πόρους και την προώθηση της βιώσιμης γεωργίας (καλλιέργειες που χρησιμοποιούν λιγότερο νερό, αποδοτικότερη άρδευση κ.λπ.). Εναλλακτικές υποδομές ύδρευσης για την αντιμετώπιση προβλημάτων λειψυδρίας σε λεκάνες απορροής ποταμών, όπως η επέκταση των μονάδων αφαλάτωσης ή η εισαγωγή γλυκού νερού.
- Τεχνολογίες αποδοτικές στο νερό: ενθάρρυνση της έρευνας και μείωση της κατανάλωσης και της σπατάλης νερού.
- Προώθηση μιας κουλτούρας εξοικονόμησης νερού: ενημέρωση, εκπαίδευση και κατάρτιση για την ευαισθητοποίηση τόσο των επιχειρήσεων όσο και των καταναλωτών.
- Δημιουργία ισορροπίας μεταξύ ανάπτυξης ανταγωνιστικής τουριστικής βιομηχανίας και σεβασμού περιβαλλοντικών θεμάτων. Αυτό απαιτεί καλύτερη περιβαλλοντική διαχείριση από τις τουριστικές εταιρείες, σε συνδυασμό με μεγαλύτερη ευαισθητοποίηση των ίδιων των επισκεπτών. Η ΕΕ προσφέρει χρηματοδότηση για την υποστήριξη των πράσινων τουριστικών δικτύων και εξετάζει βασικούς δείκτες για τη βιώσιμη τουριστική ανάπτυξη. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2010).

1.2.4.1 Επεξεργασία βιομηχανικών και αστικών λυμάτων και η επαναχρησιμοποίηση του νερού παραγωγής

Ο στόχος 14 της βιώσιμης ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών, στοχεύει σε σημαντική αύξηση της ανακύκλωσης και της ασφαλούς επαναχρησιμοποίησης του νερού παγκοσμίως έως το 2030. Η επαναχρησιμοποίηση των υδάτων αποτελεί τομέα ύψιστης προτεραιότητας στο στρατηγικό σχέδιο εφαρμογής της ευρωπαϊκής σύμπραξης καινοτομίας για τα ύδατα, και η μεγιστοποίηση της επαναχρησιμοποίησης των υδάτων αποτελεί ειδικό στόχο στο σχέδιο στρατηγικής για τη προστασία των υδάτινων πόρων της Ευρώπης.

Η αξιολόγηση της οδηγίας για την επεξεργασία αστικών λυμάτων επιβεβαιώνει ότι η οδηγία έχει αποδειχθεί σε γενικές γραμμές πολύ αποτελεσματική όταν εφαρμόζεται πλήρως. Η μείωση της οργανικής ύλης και άλλων μορφών μόλυνσης στα επεξεργασμένα λύματα έχει βελτιώσει την ποιότητα των υδάτων σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Αν και η εφαρμογή της οδηγίας ήταν δαπανηρή, τα οφέλη υπερτερούν σαφώς του κόστους. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Αναμφισβήτητα, χωρίς αποτελεσματικές υπηρεσίες υγιεινής, είναι αδύνατο να διατηρηθούν υγιή τα επιφανειακά και υπόγεια νερά, οι θάλασσες και οι ωκεανοί. Οι μονάδες επεξεργασίας λυμάτων διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην πρόληψη της εισόδου ρύπων στο περιβάλλον. Οι εν λόγω μονάδες, αποτελούν μέρος της ολιστικής, αλυσιδωτής προσέγγισης που απαιτείται, μαζί με αποτελεσματικά μέτρα ελέγχου της πηγής, για να επιτευχθεί η αποκατάσταση της βιοποικιλότητας, να εκπληρωθούν οι στόχοι της οδηγίας-πλακίου για τα ύδατα και να επιτευχθεί στην πράξη η φιλοδοξία μηδενικής μόλυνσης της Πράσινης Συμφωνίας της ΕΕ (EurEau, 2021).

Επιπλέον, οι υπηρεσίες ύδρευσης είναι βασικοί παράγοντες στην εφαρμογή μιας κυκλικής οικονομίας. Από αυτή την άποψη, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων εξελίσσονται σε βιο-εργοστάσια, παράγουν ενέργεια από βιομάζα, ανακτούν θρεπτικά

συστατικά, παράγουν ανακτημένο νερό για επαναχρησιμοποίηση και μειώνουν το αποτύπωμα άνθρακα (EurEau, 2021).

Η Επιτροπή ενέκρινε το έτος 2021 επένδυση 84 εκατομμυρίων Ευρώ από το Ταμείο Συνοχής για την κατασκευή νέας υποδομής συλλογής και επεξεργασίας λυμάτων στον Μαραθώνα, στον νομό Αττικής στην Ελλάδα τον Μάιο του 2021. Η Επίτροπος για τη Συνοχή και τις Μεταρρυθμίσεις, Elisa Ferreira, δήλωσε χαρακτηριστικά: «Αυτό είναι ένα σαφές παράδειγμα στήριξης της ΕΕ σε υποδομές που συμβάλλει στη συμμόρφωση του κοινοτικού κεκτημένου για το περιβάλλον και ανταποκρίνεται στους στόχους της Πράσινης Συμφωνίας ».

Συγκεκριμένα, η παραγόμενη ιλύς θα αντιμετωπιστεί ως πολύτιμος πόρος και θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοαερίου. Συνεπώς, το έργο θα συμβάλει επίσης στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

1.2.5 Η διαχρονική πορεία του νερού στην Ευρώπη

1.2.5.1 Αξιολόγηση συμβολής επιχειρησιακών προγραμμάτων για το νερό

Η συνολική χρηματοδότηση για μέτρα διαχείρισης των υδάτων την περίοδο 2014-2020 ήταν πάνω από 14,7 δισ. Ευρώ, δηλαδή χαμηλότερη από την περίοδο 2007-2013, η οποία ήταν πάνω από 21,7 δισ. Ευρώ.

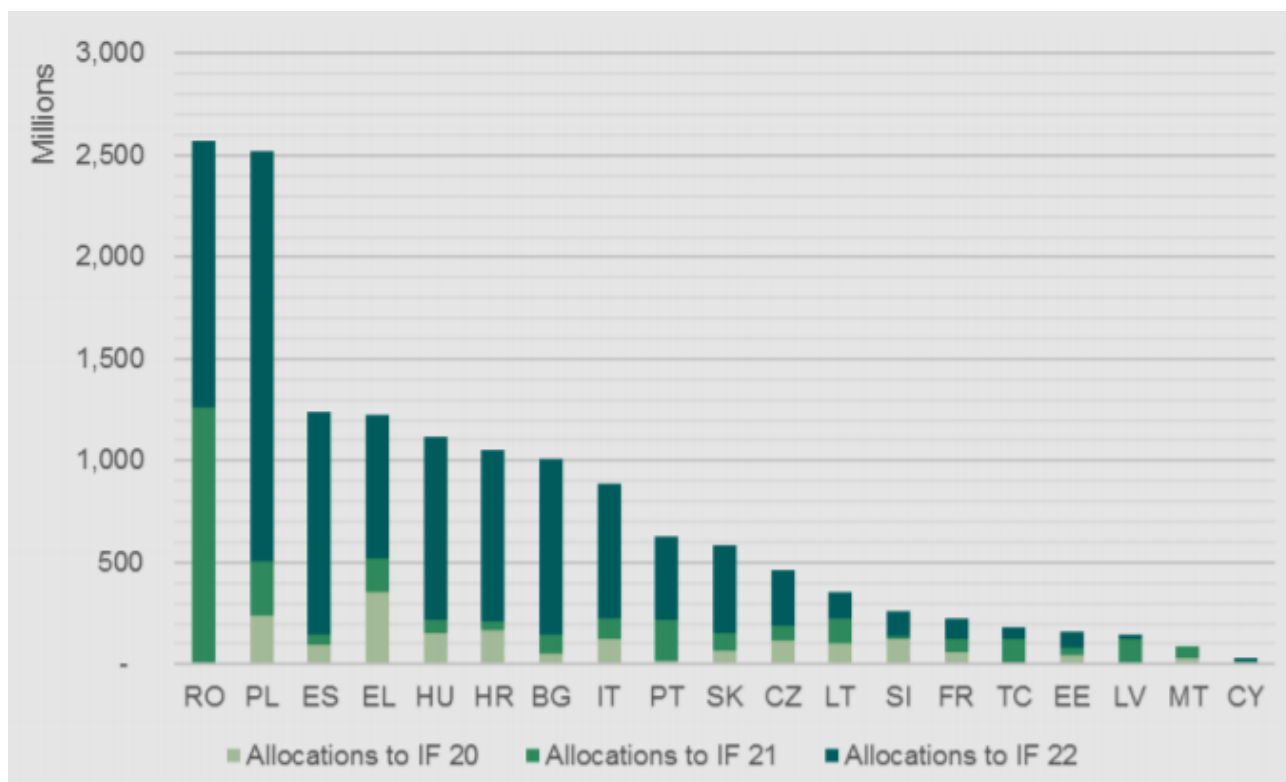
Το υψηλότερο συνολικό μερίδιο χρηματοδότησης (68%) αποδόθηκε στην επεξεργασία λυμάτων, ακολουθούμενο από τη «διαχείριση και τη διατήρηση των υδάτων» με το μερίδιο του 20% και την «παροχή νερού για ανθρώπινη κατανάλωση» που αντιπροσωπεύει το 12% της συνολικής κατανομής αυτά τα τρία πεδία παρέμβασης.

Πιο κάτω παρουσιάζονται οι χρηματοδοτικές κατανομές της Πολιτικής Συνοχής στα ακόλουθα πεδία παρέμβασης (Intervention Fields (IFs)), για το έτος 2016 που σχετίζονται με άμεσες επενδύσεις στον τομέα των υδάτων: (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017)

IF 20: Παροχή νερού για ανθρώπινη κατανάλωση

IF 21: Διαχείριση νερού και εξοικονόμηση πόσιμου νερού

IF 22: Επεξεργασία λυμάτων



Διάγραμμα 1.5: Κατανομές (εκατομμύρια ευρώ) σε επενδύσεις για το νερό (IF 20, 21, 22) ανά κράτος

(Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017)

Πίνακας 1.1: Χορηγίες χρηματοδότησης της Πολιτικής Συνοχής στα πεδία παρέμβασης 20-22 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017)

MS	Allocations IF 20 Provision of water for human consumption		Allocations to IF 21 Water management and drinking water conservation		Allocations to IF 22 Waste water treatment		Allocations to IFs 20-22	
	EUR	%	EUR	%	EUR	%	EUR	%
RO	-	-	1,261,394,735	42.4%	1,312,880,234	13.1%	2,574,274,969	17.4%
PL	239,116,597	13.6%	265,928,673	8.9%	2,013,346,354	20.1%	2,518,391,624	17.1%
ES	98,995,352	5.6%	48,546,556	1.6%	1,090,939,070	10.9%	1,238,480,978	8.4%
GR	354,936,893	20.1%	167,609,744	5.6%	706,526,157	7.1%	1,229,072,794	8.3%
HU	155,317,706	8.8%	60,252,480	2.0%	901,984,581	9.0%	1,117,554,767	7.6%
HR	169,340,216	9.6%	40,000,000	1.3%	840,000,000	8.4%	1,049,340,216	7.1%
BG	55,381,353	3.1%	89,325,430	3.0%	861,827,827	8.6%	1,006,534,610	6.8%
IT	125,012,341	7.1%	103,425,947	3.5%	659,860,199	6.6%	888,298,487	6.0%
PT	19,500,000	1.1%	201,000,000	6.8%	408,000,000	4.1%	628,500,000	4.3%
SK	68,072,261	3.9%	81,914,894	2.8%	435,958,507	4.4%	585,945,662	4.0%
CZ	115,315,076	6.5%	76,799,842	2.6%	269,145,391	2.7%	461,260,309	3.1%
LT	100,642,956	5.7%	126,548,914	4.3%	131,053,058	1.3%	358,244,928	2.4%
SI	125,000,000	7.1%	14,000,000	0.5%	125,111,315	1.2%	264,111,315	1.8%
FR	58,571,000	3.3%	68,483,000	2.3%	97,152,000	1.0%	224,206,000	1.5%
Cooperation Programme s	1,409,501	0.1%	126,314,309	4.2%	52,472,957	0.5%	180,196,766	1.2%
EE	45,957,447	2.6%	34,946,809	1.2%	76,595,744	0.8%	157,500,000	1.1%
LV	-	-	122,197,066	4.1%	22,105,013	0.2%	144,302,079	1.0%
MT	28,500,000	1.6%	58,632,371	2.0%	-	-	87,132,371	0.6%
CY	-	-	19,953,750	0.7%	10,046,250	0.1%	30,000,000	0.2%
Total OPs analysed	1,761,068,699	99.9%	2,967,274,520	99.7%	10,015,004,656	100%	14,743,347,875	99.9%
Total	1,762,340,913	100%	2,976,569,301	100.0%	10,016,826,870	100%	14,755,737,085	100%

Τα κράτη κατατάσσονται σύμφωνα με την υψηλότερη συνολική κατανομή και στους 3 τομείς. Παρατηρείται ότι η Ρουμανία, η Λετονία και η Κύπρος δεν διέθεσαν καμία χρηματοδότηση ως επένδυση σχετικά με την παροχή πόσιμου νερού, ενώ η Μάλτα δεν προχώρησε προς επένδυση στον τομέα επεξεργασίας λυμάτων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017).

1.2.5.2 Η παρούσα κατάσταση των υδάτων στην Ευρώπη

Στον πιο κάτω πίνακα παρουσιάζεται η κλίμακα των ποσοστιαίων μεταβολών στις απορροές στα κράτη μέλη της ΕΕ-27 από το 2010 έως το 2019. Η πρώτη στήλη αναφέρεται στην ποσοστιαία μεταβολή των βαρέων μετάλλων και πιο συγκεκριμένα του Καδμίου (Cd), Υδραργύρου (Hg), Νικελίου (Ni) και Μολύβδου (Pb). Η δεύτερη στήλη αναφέρεται στον

συνολικό οργανικό άνθρακα (Total Organic Carbon - TOC), δηλαδή την συνολική ποσότητα άνθρακα που βρίσκεται σε μια οργανική ένωση και χρησιμοποιείται ως μη ειδικός δείκτης της ποιότητας του νερού.

Η τρίτη στήλη αφορά το συνολικό άζωτο, δηλαδή το άθροισμα των νιτρικών (NO₃) και των νιτρώδων (NO₂) ενώσεων, του οργανικού αζώτου και της αμμωνίας (όλα εκφρασμένα σε N).

Τέλος, στην τέταρτη στήλη παρουσιάζεται ο συνολικός φώσφορος, ο οποίος αποτελεί το άθροισμα όλων των μορφών φωσφόρου στο δείγμα (ορθοφωσφορικών, συμπυκνωμένων φωσφορικών και οργανικών φωσφορικών).

Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της Κύπρου, στην οποία παρουσιάζεται τεράστια αύξηση της τάξεως των 12000% όσο αφορά την ποσότητα στοιχείων Καδμίου (Cd), Υδραργύρου (Hg), Νικελίου (Ni) και Μόλυβδου (Pb) και 2700% προς το συνολικό φώσφορο (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2021).

Πίνακας 1.2: Κλίμακα των ποσοστιαίων μεταβολών στις εκλύσεις ρύπων στο νερό στα κράτη μέλη της ΕΕ-27 από το 2010 έως το 2019

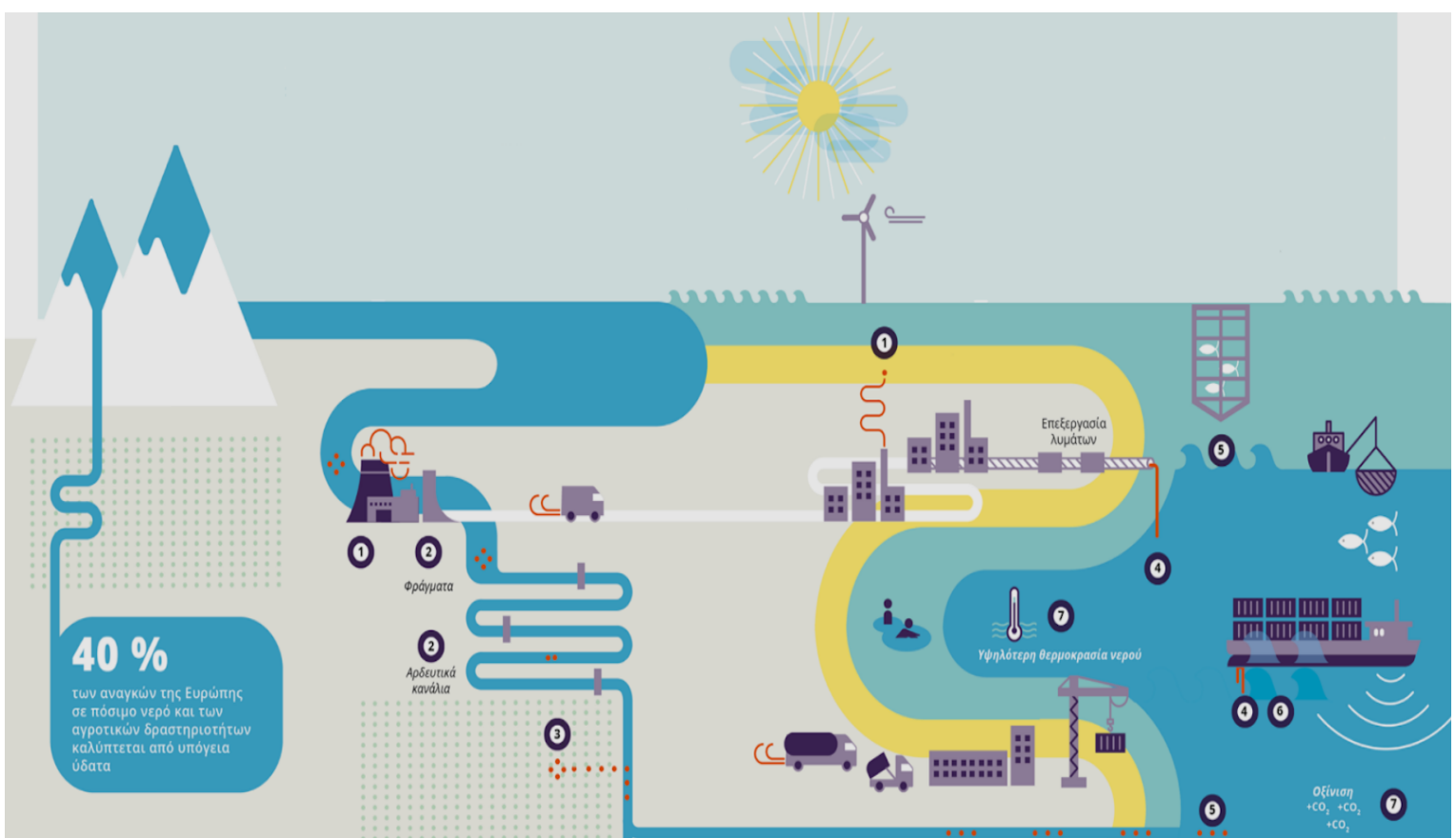
(Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2021)

	Cd, Hg, Ni, Pb	TOC	Total N	Total P
Austria	● -33.6%	● -22.6%	● 0.7%	● -21.9%
Belgium	● -40.3%	● -4.4%	● -14.0%	● 20.7%
Bulgaria	● -63.1%	● -52.2%	● -59.4%	● -78.3%
Croatia	● 222.6%	● 0.2%	● 165.3%	● 235.0%
Cyprus	● 12294.7%	● -20.4%	● -3.7%	● 2677.2%
Czechia	● -48.0%	● -10.4%	● -39.7%	● -26.4%
Denmark	● -20.1%	● 21.4%	● 35.5%	● 30.8%
Estonia	● 15.4%	● 55.3%	● -34.9%	● -60.5%
Finland	● -59.3%	● -63.0%	● -7.8%	● 52.4%
France	● -81.8%	● -89.9%	● -37.5%	● -20.7%
Germany	● -26.6%	● -19.1%	● -28.8%	● -32.2%
Greece	● 236.7%	● -55.4%	● 5.4%	● -1.7%
Hungary	● -80.4%	● -55.5%	● -70.4%	● -76.0%
Ireland	● -41.8%	● 40.5%	● 39.6%	● 18.2%
Italy	● -24.8%	● -23.1%	● -24.8%	● -40.9%
Latvia	● 35.1%	● -47.1%	● -48.2%	● 33.0%
Lithuania	● -72.4%	● -86.4%	● -83.8%	● 20.2%
Luxembourg	● -44.4%	● -70.7%	● -55.1%	● -61.6%
Malta	● -94.7%	● 0.7%	● 162.7%	● 105.3%
Netherlands	● -53.4%	● -45.0%	● -42.5%	● -48.2%
Poland	● -53.0%	● -13.1%	● -43.1%	● -32.2%
Portugal	● -15.9%	● -38.0%	● 28.3%	● -11.2%
Romania	● -72.5%	● -15.1%	● -25.1%	● -33.7%
Slovakia	● -37.5%	● -36.3%	● -42.8%	● -52.0%
Slovenia	● 61.1%	● -5.8%	● -46.4%	● -18.5%
Spain	● 2.6%	● 169.2%	● 49.9%	● 21.3%
Sweden	● -20.2%	● -5.8%	● 0.0%	● -3.8%

Σύμφωνα με έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος του 2018 για την αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων, ποσοστό 75% των περιοχών των υπόγειων υδάτων παρουσιάζει καλή χημική κατάσταση σε αντίθεση με τα επιφανειακά ύδατα (ποταμοί, λίμνες και μεταβατικά ύδατα) που μόνο το 44% παρουσιάζει καλή ή πολύ καλή οικολογική κατάσταση. Αυτό γίνεται οφείλεται στη χημική μόλυνση που αποτίθεται από τον αέρα, τις αλλοιώσεις λόγω δόμησης και την μόλυνση από θρεπτικά στοιχεία που προέρχονται από γεωργικές δραστηριότητες.

Σε ακόμα χειρότερη κατάσταση βρίσκεται η θάλασσα, αφού το 75-96% των περιοχών που εξετάστηκαν αντιμετωπίζουν προβλήματα μόλυνσης με κύρια αίτια την χημική μόλυνση, τον εμπλουτισμό με θρεπτικά στοιχεία και τον ευτροφισμό, την κλιματική αλλαγή καθώς και λόγω πιέσεων από παράκτιες και θαλάσσιες δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων των θαλάσσιων απορριμμάτων και του υποθαλάσσιου θορύβου (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2021).

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κύρια προβλήματα υδάτων στην Ευρώπη αναλύονται ως ακολούθως: (1) στη χημική μόλυνση που αποτίθεται από τον αέρα, (2) στις αλλοιώσεις λόγω δόμησης (επιφανειακούς υδροφόρους), (3) στη μόλυνση από θρεπτικά στοιχεία που προέρχονται από γεωργικές δραστηριότητες, (4) στη χημική μόλυνση (υγρά απόβλητα, διαρροές υγρών καυσίμων στην θάλασσα κ.α.), (5) στον εμπλουτισμό με θρεπτικά στοιχεία και ευτροφισμό, (6) στις πιέσεις από παράκτιες και θαλάσσιες δραστηριότητες που περιλαμβάνονται των θαλάσσιων απορριμμάτων και του υποθαλάσσιου θορύβου και τέλος (7) στην κλιματική αλλαγή.



Διάγραμμα 1.6: Οι πηγές των κύριων προβλημάτων που αφορούν τα ύδατα στην Ευρώπη

(Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2021).

Στις 29 χώρες όπου λειτουργεί το πρόγραμμα EurEau, 507 εκατομμύρια κάτοικοι είναι συνδεδεμένοι με παροχή πόσιμου νερού ενώ παράλληλα 458 εκατομμύρια κάτοικοι είναι συνδεδεμένοι με δημόσιο δίκτυο λυμάτων, δηλαδή 1,5% περισσότεροι κάτοικοι έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες νερού σε σύγκριση με το 2017. Κάθε χρόνο ανανεώνεται και διορθώνεται το 1% του συστήματος των αγωγών του πόσιμου νερού, δηλαδή 43 χιλιάδες χιλιόμετρα. Τα ποσά μπορεί να φαίνονται εντυπωσιακά ωστόσο, στην πραγματικότητα χρειάζονται μεγαλύτερα ποσά για επένδυση στον τομέα αυτό προκειμένου να στηριχθεί η αναγκαία συντήρηση (EurEau, 2021)

1.2.5.3 Οι προβλέψεις για το μέλλον

Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη συμβάλει στην αύξηση της συχνότητας και της έντασης των φαινομένων ξηρασίας. Αυτό κάνει ολοένα και περισσότερο επιτακτική την ανάγκη για αφαλάτωση, η οποία δεν περιορίζεται πλέον μόνο στις άνυδρες περιοχές. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (International Panel on Climate Change) παρατηρεί ότι πολλές άνυδρες περιοχές, όπως η Μεσόγειος Θάλασσα, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών και επομένως προβλέπεται μείωση στη διαθεσιμότητα των υδάτινων πόρων, γεγονός που εκτιμάται ότι θα επιδεινώσει την ήδη αυξημένη πίεση που σκιαγραφείται στην περιοχή (Xevgenos et al., 2014)

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ήδη από το 2007 σε ανακοίνωση της προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο είχε αναφέρει ότι λαμβανομένων υπόψη των προβλεπόμενων κλιματικών μεταβολών παρά τις ουσιαστικές προσπάθειες μετριασμού που καταβάλλονταν στην ΕΕ, ότι θα πληγούν 1,1 έως 3,2 δισεκατομμύρια κάτοικοι εφόσον οι θερμοκρασίες θα αυξάνονταν κατά 2 έως 3° C (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2007).

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει την αξιολόγηση της προόδου που παρατηρείται σε πολιτικές/στόχους που είναι κατανεμημένες σε θεματικές ενότητες που τέθηκαν προς εκπλήρωση με ορίζοντα το 2020, το 2030 και το 2050 στην ΕΕ. (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2019)

Πίνακας 1.3: Σύνοψη των προηγούμενων τάσεων, των προβλέψεων και των προοπτικών εκπλήρωσης των επιδιώξεων πολιτικής/στόχων

(Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2019)

Θεματικές ενότητες	Προηγούμενες τάσεις και προοπτικές		Προοπτικές εκπλήρωσης των επιδιώξεων πολιτικής/στόχων		
	Προηγούμενες τάσεις (10-15 έτη)	Προβλέψεις έως το 2030	2020	2030	2050
Προστασία, διατήρηση και ανάδειξη του φυσικού κεφαλαίου					
Χερσαίες προστατευόμενες περιοχές			<input checked="" type="checkbox"/>		
Θαλάσσιες προστατευόμενες περιοχές			<input checked="" type="checkbox"/>		
Προστατευόμενα είδη και ενδιαιτήματα της ΕΕ			<input checked="" type="checkbox"/>		
Κοινά είδη (πουλιά και πεταλούδες)			<input checked="" type="checkbox"/>		
Κατάσταση και υπηρεσίες οικοσυστημάτων			<input checked="" type="checkbox"/>		
Υδάτινα οικοσυστήματα και υγρότοποι			<input checked="" type="checkbox"/>		
Υδρομορφολογικές πιέσεις			<input checked="" type="checkbox"/>		
Κατάσταση θαλάσσιων οικοσυστημάτων και βιοποικιλότητας			<input checked="" type="checkbox"/>		
Πιέσεις και επιπτώσεις στα θαλάσσια οικοσυστήματα			<input checked="" type="checkbox"/>		
Αστικοποίηση και χρήσεις γης από τη γεωργία και τη δασοκομία					<input checked="" type="checkbox"/>
Κατάσταση του εδάφους			<input checked="" type="checkbox"/>		
Ατμοσφαιρική ρύπανση και επιπτώσεις στα οικοσυστήματα			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Χημική ρύπανση και επιπτώσεις στα οικοσυστήματα			<input checked="" type="checkbox"/>		
Κλιματική αλλαγή και επιπτώσεις στα οικοσυστήματα			<input checked="" type="checkbox"/>		
Αποδοτική από πλευράς πόρων, κυκλική και χαμηλών εκπομπών άνθρακα οικονομία					
Αποδοτικότητα υλικών πόρων			<input checked="" type="checkbox"/>		
Κυκλική χρήση υλικών				<input type="checkbox"/>	
Παραγωγή αποβλήτων			<input type="checkbox"/>		
Διαχείριση αποβλήτων			<input type="checkbox"/>		
Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και προσπάθειες μετριασμού			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ενεργειακή αποδοτικότητα			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Εκπομπές αέριων ρύπων			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Εκπομπές ρύπων από τη βιομηχανία			<input type="checkbox"/>		
Καθαρές βιομηχανικές τεχνολογίες και διαδικασίες			<input type="checkbox"/>		
Εκπομπές χημικών			<input checked="" type="checkbox"/>		
ΰπληση υδάτων και πιέσεις στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα			<input checked="" type="checkbox"/>		
Βιώσιμη χρήση των θαλασσών			<input type="checkbox"/>		
Προστασία από περιβαλλοντικούς κινδύνους για την υγεία και την ευημερία					
Συγκεντρώσεις αέριων ρύπων			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Επιπτώσεις της Ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και ευημερία				<input checked="" type="checkbox"/>	
Έκθεση του πληθυσμού σε περιβαλλοντικό θόρυβο και επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία			<input checked="" type="checkbox"/>		
Διαφύλαξη ήσυχων περιοχών			<input checked="" type="checkbox"/>		
Πιέσεις ρύπανσης στο νερό και συνδέσεις με την ανθρώπινη υγεία			<input checked="" type="checkbox"/>		
Χημική ρύπανση και κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία και ευημερία			<input checked="" type="checkbox"/>		
Κίνδυνοι της κλιματικής αλλαγής για την κοινωνία			<input type="checkbox"/>		
Στρατηγικές και σχέδια προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή			<input type="checkbox"/>		
Ενδεικτική αξιολόγηση των προηγούμενων τάσεων (10-15 έτη) και προβλέψεις για το 2030			Ενδεικτική αξιολόγηση των προοπτικών εκπλήρωσης των επιδιώξεων πολιτικής/στόχων		
	Κυριαρχία των τάσεων/εξελίξεων βελτίωσης	Έτος <input checked="" type="checkbox"/>	Ως επί το πλείστον διαπιστώνεται πρόοδος		
	Εμφάνιση μικτής εικόνας των τάσεων/βελτιώσεων	Έτος <input type="checkbox"/>	Διαπιστώνεται εν μέρει πρόοδος		
	Κυριαρχία των τάσεων/εξελίξεων επιδείνωσης	Έτος <input checked="" type="checkbox"/>	Ως επί το πλείστον δεν διαπιστώνεται πρόοδος		

Σημείωση: Το έτος για τις επιδιώξεις/στόχους δεν υποδηλώνει το ακριβές έτος-στόχο αλλά το χρονικό πλαίσιο των επιδιώξεων/στόχων.

Συμπερασματικά λοιπόν, χρειάζεται η ανάπτυξη μιας άρτιας, αειφόρας και πράσινης πολιτικής για την καταπολέμηση του φαινομένου αυτού. Βέβαια, αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο εάν χρησιμοποιηθούν μέτρα παραγωγής νερού με μη συμβατικούς τρόπους (Gikas and Angelakis, 2009). Τα μέτρα αυτά αφορούν κυρίως την αφαλάτωση νερού και έπειτα την επαναχρησιμοποίηση του νερού και τη συλλογή νερού από την βροχή.

Λόγω των παραπάνω ανησυχιών και σκεπτόμενοι του κινδύνου που ελλοχεύουν με τις πολύπλευρες αρνητικές συνέπειες που δύναται να υπάρξουν, η εν λόγω διπλωματική εργασία εστιάζει στην μελέτη της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων υψηλής αλατότητας δια μέσου της χρήσης επιλεκτικών διαπερατών μεμβρανών με στόχο την μέγιστη παραγωγή νερού διήθησης και της ελάχιστης δυνατής παραγωγής συμπυκνωμένου νερού.

2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

Η τεχνολογία αφαλάτωσης είναι η πιο ελκυστική συμπληρωματική μη συμβατική πηγή νερού, αντίθετα η διαχείριση των εκροών συμπυκνωμάτων ή της απορριπτόμενης άλμης εξακολουθεί να είναι σοβαρό πρόβλημα το οποίο λειτουργεί αποτρεπτικά για την λειτουργία της. Η άλμη είναι καταστρεπτική για την βιοποικιλότητα όπου απορρίπτεται λόγω της υψηλής συγκέντρωσης αλάτων και διαφόρων άλλων ρύπων που περιέχονται σε αυτή. Ο τύπος των ρύπων ενδέχεται να διαφέρει, ανάλογα με τον τύπο του υγρού τροφοδοσίας. Επομένως, χρειάζεται η απορριφθείσα άλμη να αντιμετωπιστεί ορθά για να αποφευχθεί η μόλυνση του περιβάλλοντος καθώς παράλληλα και η στροφή σε άλλες τεχνολογίες ή πηγές πόρων που δύναται να χρησιμοποιηθούν χωρίς να παράγουν προϊόντα που είναι τόσο καταστροφικά για το περιβάλλον. Επίσης, αναλογιζόμενοι ότι η διαθεσιμότητα του νερού ύδρευσης και άρδευσης μειώνεται καθώς αυξάνεται η ζήτηση του, ο δρόμος προς την αναζήτηση πρώτων υλών δεύτερης γενιάς θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μονόδρομος. Μία από αυτές τις προτάσεις – λύσεις για το πρόβλημα αυτό, είναι η επεξεργασία λυμάτων αφού δεν έχουν τόσο μεγάλη συγκέντρωση σε άλατα όσο το θαλάσσιο νερό.

2.1 Αρχή λειτουργίας μονάδων επεξεργασίας λυμάτων

Αρχικά, χρειάζεται να απομακρυνθούν συγκεκριμένοι ρύποι από τα αστικά λύματα ώστε να αποφευχθούν πιθανά προβλήματα στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, οι ρύποι που είναι αναγκαίο να απομακρυνθούν είναι τα ανόργανα αιωρούμενα στερεά, τα οργανικά αιωρούμενα στερεά, οι διαλυμένες οργανικές ενώσεις, οι ενώσεις που περιέχουν φώσφορο και άζωτο, τα αδρομερή, τα λίπη και έλαια, και τέλος οι παθογόνοι μικροοργανισμοί (ΒΛΥΣΙΔΗΣ, 2007).

2.1.1 Διαδικασίες επεξεργασίας λυμάτων

Οι διαδικασίες πλήρους επεξεργασίας των αστικών λυμάτων περιλαμβάνουν πέντε στάδια. Αρχικά γίνεται προεπεξεργασία των λυμάτων, ακολούθως εφαρμόζεται πρωτοβάθμιας επεξεργασία, μετά δευτεροβάθμιας επεξεργασία, τριτοβάθμια επεξεργασία και τέλος επεξεργασία των παραγομένων πρωτογενών και δευτερογενών ιλύων.

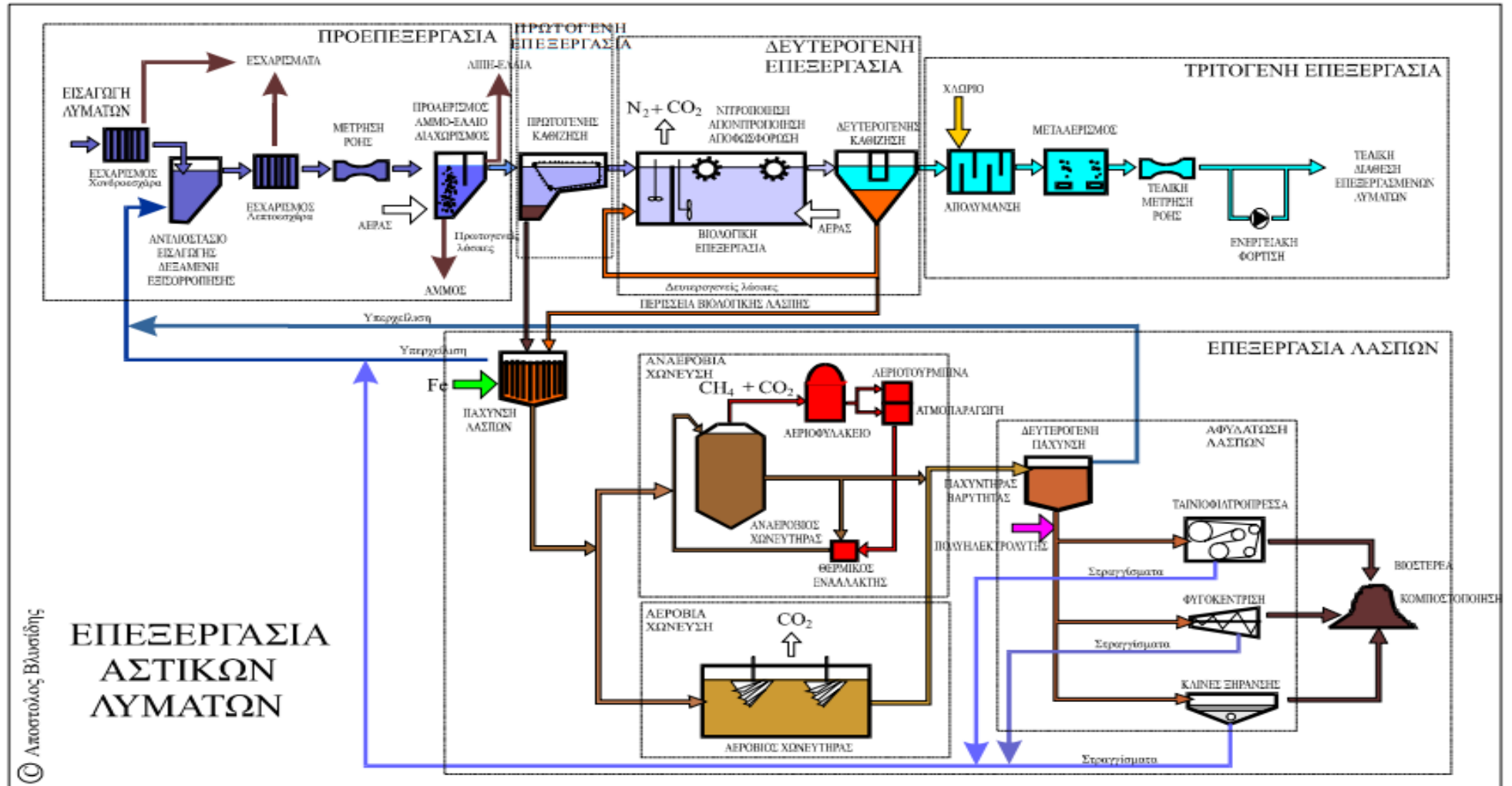
2.1.1.1 Προεπεξεργασία

Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τον εσχαρισμό, την εξισορρόπηση της παροχής, την ανύψωση των λυμάτων, την απομάκρυνση των λιπών και ελαίων, την μέτρηση της παροχής, και τέλος τον προαερισμό των λυμάτων. Συνήθως τα τελευταία καταλήγουν με φυσική ροή σε ένα φρεάτιο συλλογής το οποίο δύναται να χρησιμοποιηθεί και ως δεξαμενή εξισορρόπησης καθώς

και ως αντλιοστάσιο ανύψωσης. Επίσης, στο φρεάτιο αυτό χρησιμοποιώντας βυθιζόμενες ή κοχλιωτές αντλίες τα λύματα ανυψώνονται σε τέτοιο ύψος ώστε στη συνέχεια η ροή τους μέχρι και την τριτοβάθμια επεξεργασία να γίνεται με φυσική ροή.

Η ροή των λυμάτων μετά το φρεάτιο αυτό χρειάζεται να είναι σταθερή και ίση με τη μέση παροχή προκειμένου να επεξεργάζεται ομοιόμορφα. Πριν το φρεάτιο εισαγωγής τοποθετείται μία χονδροεσχάρα η οποία έχει ως στόχο την συγκράτηση των αδρομερών αιωρούμενων στερεών που είναι μεγαλύτερα από 2 cm. Ακολούθως, στο φρεάτιο εξισορρόπησης, τοποθετείται μία λεπτοεσχάρα η οποία συγκρατεί αδρομερή στερεά μεγαλύτερα από 1 cm.

Στην συνέχεια τοποθετείται ροόμετρο του οποίου οι ενδείξεις στιγμιαίας παροχής χρησιμοποιούνται στον έλεγχο της μονάδας επεξεργασίας. Μετά τα λύματα εισέρχονται σε έναν αεριζόμενο αμμοελαιδιαχωριστήρα όπου με τη βοήθεια διαχυτήρων αέρα μεσαίας φυσαλίδας αναγκάζεται το υγρό σε περιστροφική βαθμωτή κίνηση αυξάνοντας την επιτάχυνση στα αιωρούμενά στερεά και στα σταγονίδια λιπών και ελαίων. Με αυτό τον τρόπο διαχωρίζονται τα μεν αιωρούμενά ανόργανα στερεά στον πυθμένα της δεξαμενής τα δε σταγονίδια λιπών και ελαίων στην επιφάνεια της δεξαμενής λόγω διαφοράς πυκνότητας. Η παροχή του αέρα ρυθμίζεται σε επίπεδο όπου επιτυγχάνεται ο αναγκαίος προαερισμός των λυμάτων και η άνοδος του οξειδοαναγωγικού δυναμικού (redox) του υγρού σε θετικά επίπεδα ώστε να αποτρέπεται η παραγωγή δυσσομιών λόγω αναερόβιων βιολογικών διεργασιών (παραγωγή υδροθείου, πτητικών οξέων κ.ά.) (ΒΛΥΣΙΔΗΣ, 2007).



Διάγραμμα 2.1: Διάγραμμα ροής διαδικασίας επεξεργασίας λυμάτων

(ΒΛΥΣΙΔΗΣ, 2007)

2.1.1.2 Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Περιλαμβάνει μία δεξαμενή πρωτογενούς καθίζησης ώστε να επιτευχθεί απομάκρυνση των αιωρούμενων οργανικών στερεών. Με κατάλληλες διατάξεις οι πρωτογενείς λάσπες συλλέγονται, απομακρύνονται και αναμιγνύονται με τις δευτερογενείς λάσπες (βιολογικές λάσπες) και στη συνέχεια οδηγούνται σε μονάδα επεξεργασίας λασπών. (ΒΛΥΣΙΔΗΣ, 2007)

2.1.1.3 Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Κατά την διεργασία αυτή, πραγματοποιείται αποδόμηση των ρύπων, βιολογική οξείδωση οργανικών διαλυτών στερεών, βιολογική νιτροποίηση και απονιτροποίηση του περιεχομένου αζώτου καθώς και δέσμευση φωσφόρου είτε με βιολογικό τρόπο είτε με χημικό τρόπο. Η όλη διεργασία λαμβάνει χώρα σε μεγάλους αεριζόμενους βιοαντιδραστήρες όπου με κατάλληλες οξειδωτικές, ανοξικές ή αναερόβιες συνθήκες ευνοείται η ανάπτυξη κατάλληλων μικροοργανισμών.

Ακολούθως, το επεξεργασμένο λύμα οδηγείται σε δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης. Τα διαχωριζόμενα στερεά επιστρέφουν στον βιοαντιδραστήρα ώστε να αυξάνεται η συγκέντρωση τους σ' αυτόν και κατά συνέπεια να επιτυγχάνονται οι βιοαντιδράσεις επεξεργασίας.

Η περίσσεια της παραγομένης βιολογικής λάσπης απομακρύνεται από τον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης. Έτσι, ο χρόνος παραμονής των μικροοργανισμών στον βιοαντιδραστήρα ελέγχεται από την παροχή εξόδου της βιολογικής λάσπης. Ο συνδυασμός του αερόβιου βιοαντιδραστήρα με τη δεξαμενή δευτερογενούς καθίζησης ονομάζεται διαδικασία ενεργού ιλύος και μπορούν να εφαρμοστούν διάφορα συστήματα ενεργού ιλύος ανάλογα με τα αναπτυσσόμενα οικοσυστήματα. Η ρύθμιση του χρόνου παραμονής των μικροοργανισμών στο σύστημα, επιτρέπει την δυνατότητα επιλογής του οικοσυστήματος του βιοαντιδραστήρα. Στην πράξη διακρίνονται τέσσερα συστήματα ενεργού ιλύος: 1. Τροποποιημένου αερισμού, 2. Υψηλού ποσοστού, 3. Συμβατικών και 4. Παρατεταμένου αερισμού.

Συνήθως κατά την επεξεργασία αστικών λυμάτων εφαρμόζεται το σύστημα του παρατεταμένου αερισμού (extended aeration) διότι με αυτό το σύστημα μπορεί να επιτευχθεί η ταυτόχρονη απομάκρυνση του BOD και η νιτροποίηση του οργανικού αζώτου. (ΒΛΥΣΙΔΗΣ, 2007)

2.1.1.4 Τριτοβάθμιας επεξεργασία

Τα λύματα στο στάδιο αυτό οδηγούνται σε μονάδα απολύμανσης που περιλαμβάνει μονάδα χλωρίωσης. Η χλωρίωση εφαρμόζεται είτε με διάλυμα NaOCl (μικρές μονάδες) είτε με αέριο χλώριο (μεγάλες μονάδες). Πριν την τελική έξοδο, το απόβλητο διέρχεται από σύστημα μετααερισμού κατά το οποίο αυξάνεται η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο απορριπτόμενο επεξεργασμένο απόβλητο (απαίτηση της νομοθεσίας). Αν το απόβλητο αυτό θα επαναχρησιμοποιηθεί τότε χρειάζεται να διέλθει από φίλτρα άμμου με σκοπό την

απομάκρυνση όλων των αιωρούμενων στερεών. Αν τα επεξεργασμένα απόβλητα απορριφθούν στην θάλασσα με τη βοήθεια υποθαλάσσιου αγωγού, τότε χρειάζεται η ανύψωση αυτών σε κατάλληλο επίπεδο ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή διασπορά. (ΒΛΥΣΙΑΔΗΣ, 2007)

2.1.1.5 Επεξεργασία ιλύων

Στο στάδιο αυτό συλλέγονται οι πρωτογενείς και οι δευτερογενείς λάσπες και οδηγούνται σε διάταξη πάχυνσή τους ώστε η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών να ανέλθει στο 5%. Στη συνέχεια, οι λάσπες αυτές επεξεργάζονται είτε σε αντιδραστήρες αερόβιας χώνευσης (μικρές μονάδες) είτε σε αντιδραστήρες αναερόβιας χώνευσης (μεγάλες μονάδες), με στόχο την αυτοοξειδωση του οργανικού περιεχομένου τους, παράγοντας με αυτό τον τρόπο ένα τελικό σταθεροποιημένο προϊόν αιωρούμενων στερεών (2.5%) το οποίο δύναται να απορριφθεί χωρίς πρόβλημα στο περιβάλλον.

Οι λάσπες οδηγούνται σε παχυντήρα βαρύτητας μετά την χώνευση τους ώστε να συμπυκνωθούν στη συγκέντρωση του 5% και στη συνέχεια οδηγούνται στη μονάδα αφυδάτωσης όπου η υγρασία ελαττώνεται στο επίπεδο 50% - 70%. Οι μηχανισμοί αφυδάτωσης μπορεί να είναι είτε ταινιοφιλτρόπρεσσες είτε κλίνες ξήρανσης είτε φυγοκεντρικές.

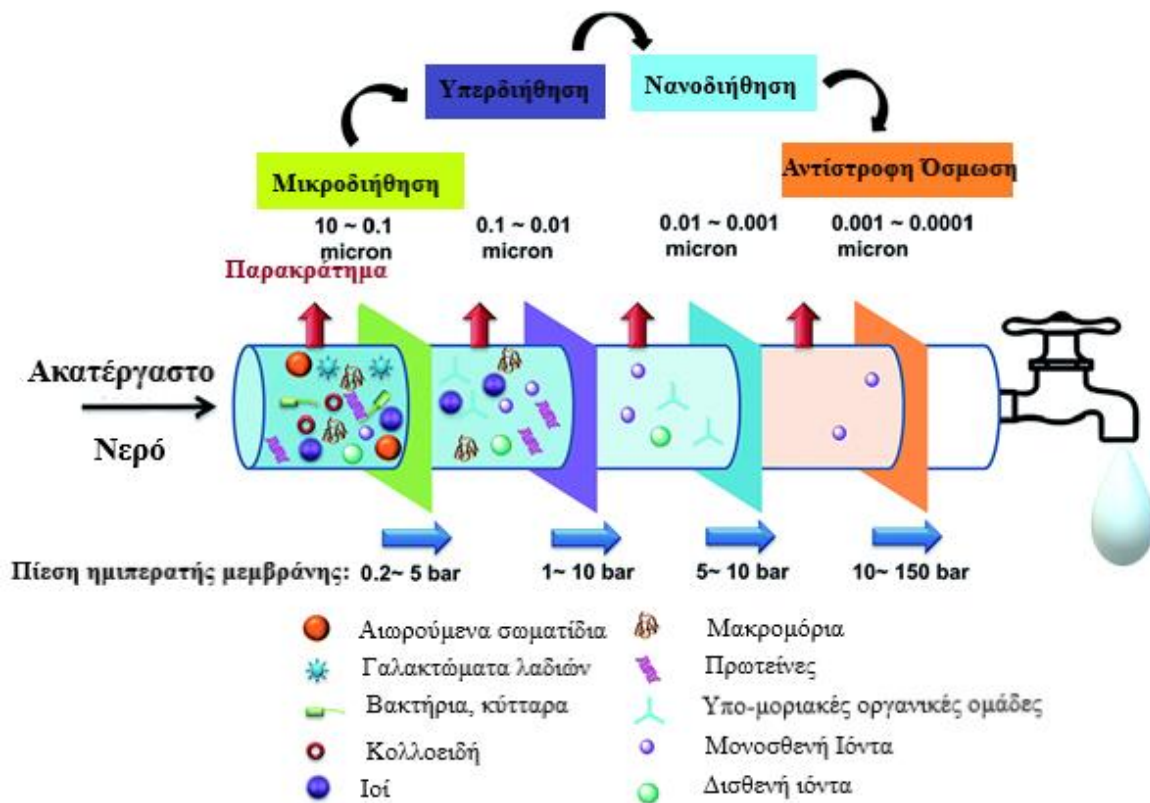
Μετά την αφυδάτωσή μπορούν να απορριφθούν με ασφάλεια στο έδαφος. Για ευκολότερη διαθεσιμότητα στο έδαφος πραγματοποιείται επεξεργασία με κομποστοποίηση με στόχο το τελικό προϊόν να έχει αυξημένες εδαφοβελτιωτικές ιδιότητες. Η κομποστοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί και σε μη σταθεροποιημένη αλλά αφυδατωμένη λάσπη (ΒΛΥΣΙΑΔΗΣ, 2007).

2.2 Συστήματα επεξεργασίας λυμάτων υψηλής αλατότητας

2.2.1 Τεχνολογίες διήθησης με μεμβράνη

Οι τεχνολογίες διήθησης με μεμβράνη έχουν ως στόχο τον διαχωρισμό δυο ομογενών φάσεων με την βοήθεια μιας ημιπερατής μεμβράνης, η οποία ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της (μέγεθος πόρων, δομή, φόρτιση, σχεδιασμός) διαχωρίζει επιλεκτικά τα συστατικά.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τρεις προηγμένες τεχνολογίες επεξεργασίας αποβλήτων για ανάκτησης των συστατικών που περιέχονται σε αυτά. Συγκεκριμένα, οι τεχνολογίες αυτές είναι η διήθηση μεμβρανών (νανοδιήθηση, αντίστροφη ώσμωση και ηλεκτροδιάλυση), η προσρόφηση, η ανταλλαγή ιόντων και απόσταξη, καθώς επίσης η εξάτμιση και η κρυστάλλωση. Το αφυδατωμένο νερό που είναι απιονισμένο, ονομάζεται διήθημα. Αντίστοιχα το ρεύμα νερού που μεταφέρει τους συμπυκνωμένους μη επιθυμητούς στο νερό παράγοντες που δεν διέρχονται μέσω της εκάστοτε μεμβράνης ονομάζεται ρεύμα απόρριψης (ή συμπύκνωμα).



Διάγραμμα 2.0.2: Γενική παρουσίαση των τεχνολογιών μεμβράνης (μέγεθος πόρων, πίεση λειτουργίας μεμβράνης και απορριπτόμενα συστατικά) για την επεξεργασία ρεύματος νερού

(Liao et al., 2018)

2.2.1.1 Νανοδιήθηση

Η νανοδιήθηση εμπίπτει στην κατηγορία των διεργασιών διαχωρισμού με μεμβράνη, η οποία πραγματοποιείται λόγω της διαφορά πίεσης που αναπτύσσεται εκατέρωθεν των πλευρών της. Η διαφορά μεγέθους των συστατικών του διαλύματος είναι κατά κανόνα η κύρια αιτία διαχωρισμού, αν και σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και τα ηλεκτροστατικά φαινόμενα που αναπτύσσονται στην διεπιφάνεια της.

Οι κύριοι μηχανισμοί διαχωρισμού της νανοδιήθησης είναι:

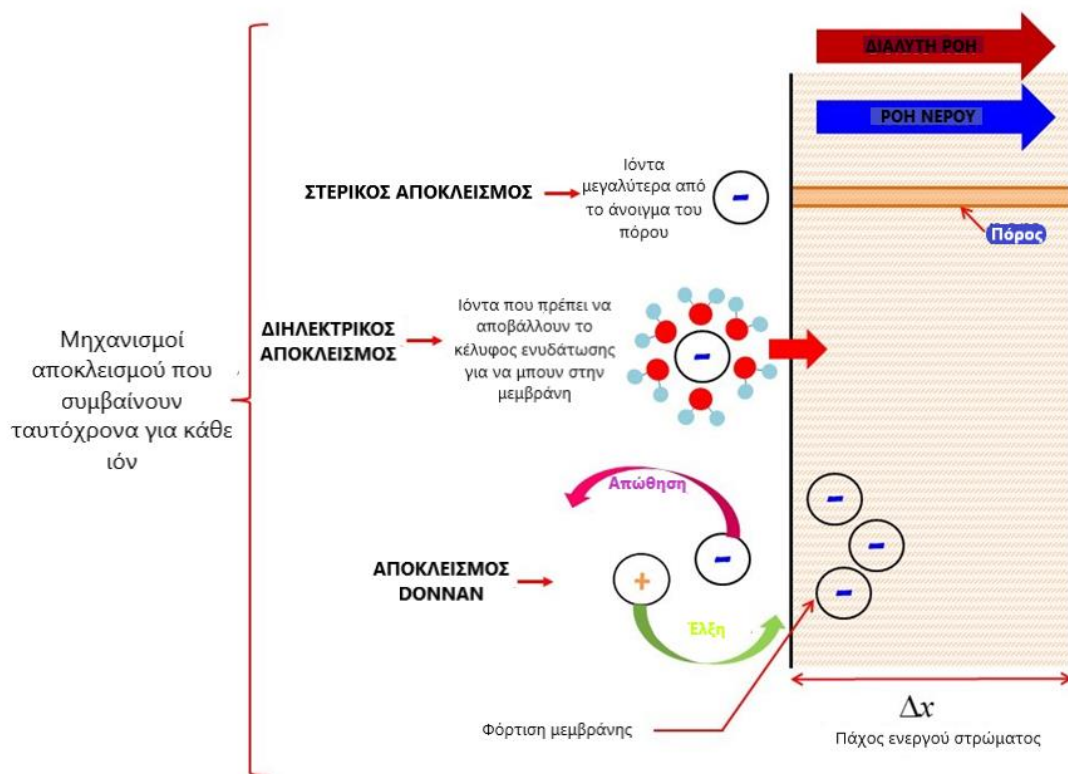
2.2.1.1.1 Μηχανισμός κοσκίνησης

Ο μηχανισμός της κοσκίνησης επιτρέπει την απόρριψη των συστατικών με βάση το μοριακό βάρος αυτών εκφρασμένο σε Dalton και συνήθως στην νανοδιήθησης κυμαίνεται μεταξύ 150-500 Dalton. Η τεχνική αυτή ονομάζεται Molecular Weight Cut-Off (MWCO) καθορίζεται από

τη σχέση μεγέθους μεταξύ των πόρων και των συστατικών καθώς και από τις αλληλεπιδράσεις των με την επιφάνεια της μεμβράνης (Cassano, Conidi, Ruby-Figueroa and Castro-Muñoz, 2018).

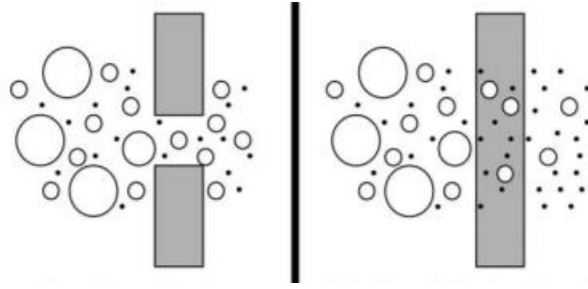
2.2.1.1.2 Μηχανισμός διάχυσης-διάλυσης

Ο μηχανισμός της διάχυσης-διάλυσης στηρίζεται στις διαφορές των διαλυτοτήτων των ενώσεων του υγρού προς διαχωρισμό και στην κινητικότητα των διαφορετικών διαλυτών συστατικών στην επιφάνεια της μεμβράνης. Δηλαδή, αρχικά οι ενώσεις διαλύονται στην επιφάνεια της μεμβράνης και ακολούθως διαχέονται μέσα από αυτήν, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα (Baker, 2004).



Σχήμα 2.1: Μηχανισμοί απόρριψης συστατικών από την μεμβράνη νανοδιήθησης (μηχανισμός κοσκίνησης, φαινόμενο Donnan, διηλεκτρικός αποκλεισμός).

(Geise et al., 2010).



Σχήμα 2.2: Διαχωρισμός των συστατικών μείγματος με τη χρήση πορώδους μεμβράνης διήθησης (μηχανισμός κοσκίνισης στα αριστερά) και μη πορώδους μεμβράνης διήθησης (μηχανισμός διάχυσης-διάλυσης δεξιά)

(Geise *et al.*, 2010).

2.2.1.1.3 Μεμβράνες νανοδιήθησης στην βιομηχανία

Η χρήση των μεμβρανών νανοδιήθησης έχει αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία χρόνια κατά την επεξεργασία νερού και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων. Τα συστατικά που απορρίπτονται κατά την επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι τα οργανικά μακρομόρια, τα ραδιονουκλεΐδια, τα βαρέα μέταλλα, τα νιτρικά άλατα, τα θειικά ιόντα, τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), τα βακτήρια, οι ιοί, τα δισθενή ιόντα κ.α. (Tchobanoglous, *et al.*, 2018).

Επίσης, η εφαρμογή των μεμβρανών αυτών εστιάζεται κυρίως σε βιομηχανίες (Fatah, 2018)

- Την χημική βιομηχανία
- Την βιομηχανία μετάλλων
- Την κλωστοϋφαντουργία και την βιομηχανία χρωμάτων
- Την βιομηχανία επεξεργασίας δέρματος
- Την βιομηχανία τροφίμων, ποτών και γαλακτοκομικών προϊόντων
- Την μονάδα αφαλάτωσης
- Γενικές βιομηχανικές διεργασίες και επεξεργασίες λυμάτων

Όσον αφορά την επεξεργασία του νερού, οι μεμβράνες αυτές βρίσκουν εφαρμογές στην: (Fatah, 2018)

- Συλλογή και αφαίρεση μεταλλικών υποπροϊόντων
- Παραγωγή καθαρού νερού
- Απομάκρυνση νιτρικών αλάτων
- Αφαίρεση φυτοφαρμάκων

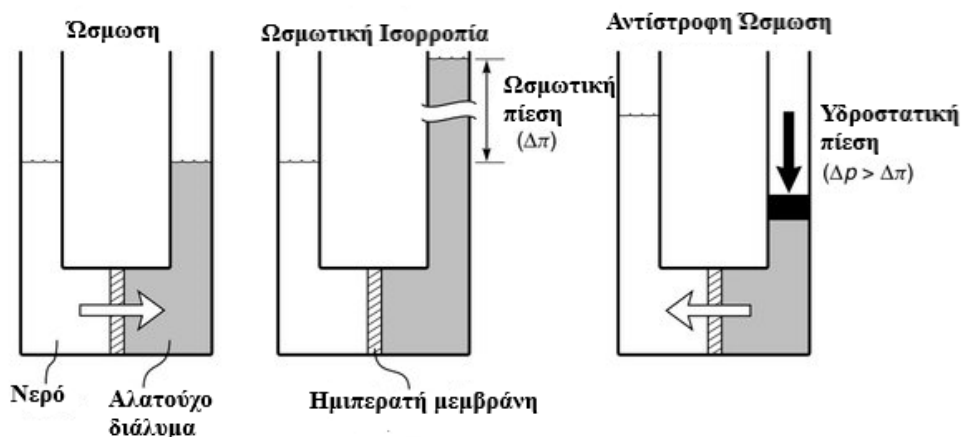
- Αποσκλήρυνση του νερού, με τις οποίες αφαιρούνται κυρίως τα δισθενή και τα διτανθρακικά ιόντα.

2.2.1.2 Αντίστροφη ώσμωση

Η αντίστροφη ώσμωση, όπως και η προηγούμενη τεχνολογία, εμπίπτει στις τεχνολογίες διαχωρισμού με μεμβράνη. Παρουσιάζει ευρεία εφαρμογή στην τεχνολογία του νερού και ειδικότερα σε μονάδες αφαλάτωσης, καθώς είναι πιο οικονομική και λιγότερο ενεργοβόρα από τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται μέχρι και σήμερα όπως απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (Multi Effect Distillation - MED), πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση (Multi-Stage Flash Distillation - MSF) και θερμική συμπίεση ατμών (Thermal Vaporr Compression -TVC)

Η μεμβράνη αυτή χαρακτηρίζεται από την πολύ μικρή διάμετρο των πόρων της σε σχέση με άλλες τεχνολογίες διαχωρισμού με μεμβράνη. Επομένως, αποτελεί την πιο ιδανική περίπτωση για επεξεργασία μονοσθενών ιόντων και για αυτό τον λόγο βρίσκεται στο τελευταίο στάδιο στην διεργασία αφαλάτωσης επειδή απομακρύνει τα ιόντα νατρίου (Na^+), Καλίου (K^+) και Χλωρίου (Cl^-) που αδυνατούν να πράξουν οι άλλες μεμβράνες. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι η τοποθέτηση μεμβρανών με μεγαλύτερους πόρους μπροστά της βοηθάει στην προστασία της πολύτιμης αυτής μεμβράνης. Παγκόσμια, υφίστανται πάνω από 13.000 μονάδες αφαλάτωσης στον κόσμο, σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Αφαλάτωσης.

Ο διαχωρισμός στην επιφάνεια της ημιπερατής μεμβράνης, στηρίζεται στην άσκηση πίεσης μεγαλύτερης της ωσμωτικής, ώστε τα μόρια του διαλύτη να μεταφερθούν από το διάλυμα προς τον καθαρό διαλύτη διαμέσου της μεμβράνης, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Wenten and Khoiruddin, 2015).



Σχήμα 2.3: Ο μηχανισμός της ώσμωσης (αριστερά), η κατάσταση ισορροπίας (κέντρο) και ο διαχωρισμός των συστατικών του διαλύματος με την αντίστροφη ώσμωση (δεξιά).

(Wenten and Khoiruddin, 2015)

2.2.1.2.1 Μηχανισμός διαχωρισμού

Ο μηχανισμός διαχωρισμού στηρίζεται στο μοντέλο της διάχυσης-διάλυσης και της αποκοπής του μοριακού βάρους (MWC0) όπως και στην Νανοδιήθηση. Έτσι, με αυτόν τον τρόπο απομακρύνονται οι ενώσεις με μοριακό βάρος μεγαλύτερο των 150-250 Da. Επομένως, με αυτόν τον τρόπο τα φορτισμένα και μεγάλα σε μέγεθος σωματίδια αδυνατούν να περάσουν από τους πόρους είτε επειδή επικάθονται στην επιφάνεια της μεμβράνης με αντιδράσεις που πραγματοποιούνται σε αυτήν, είτε επειδή το μέγεθος τους είναι μεγαλύτερο από το άνοιγμα του πόρου που καλούνται να διέλθουν Wenten & Khoiruddin, 2016.

2.2.1.2.2 Μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης στην βιομηχανία

Η μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης χρησιμοποιείται συχνά στις διεργασίες:

Επεξεργασίας του νερού

Στην κατηγορία αυτή ο ρόλος της μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης εστιάζεται στην αφαλάτωση του νερού, κυρίως του θαλασσινού και του υφάλμυρου, απομακρύνοντας από αυτό ρύπους, διαλυμένα στερεά και άλλα συστατικά για την παραγωγή πόσιμου ή απιονισμένου ή κατάλληλου για κάποια βιομηχανική διεργασία νερού. Ακόμα, εφαρμόζεται κατά την επεξεργασία του νερού τύρφης μέσω της οποίας απομακρύνεται η οργανική ύλη όπως είναι τα χουμικά οξέα και οι χουμικές ενώσεις για την παραγωγή καθαρού πόσιμου νερού.

Επεξεργασίας λυμάτων

Οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης χρησιμοποιούνται ποικιλότροπος αναφορικά με την ποιότητα του λύματος για παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης, αναμόρφωση του νερού, παραγωγή πόσιμου νερού, ανάκτηση ζάχαρης στην περίπτωση των λυμάτων ζάχαρης, καθαρισμό και αποφόρτιση λυμάτων.

Επεξεργασίας των τροφίμων και των ποτών

Εφαρμόζεται για την αύξηση του συμπυκνώματος των χυμών των φρούτων καθώς παρουσιάζει ιδιαίτερα πλεονεκτήματα, όπως την προστασία των ευαίσθητων συστατικών των φρούτων, την χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, το μικρό επενδυτικό κόστος και τη διατήρηση της ποιότητας του χυμού σε υψηλά επίπεδα.

Επιπλέον, χρησιμοποιείται στην γαλακτοβιομηχανία για την αντικατάσταση των συμβατικών μεθόδων επεξεργασίας όπως είναι αυτών της φυγοκέντρισης και της εξάτμισης. Ταυτόχρονα, συμβάλλει σε διαχωρισμούς όπως της απολίπανσης του ορού γάλακτος, της ανάκτησης και του διαχωρισμού πρωτεϊνών.

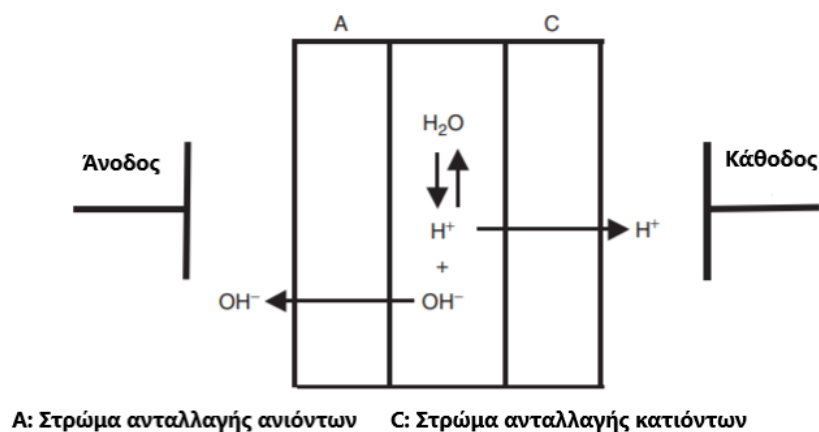
Επίσης, έχει την δυνατότητα απομάκρυνσης των αλκοολών από τα ποτά που έχουν υποστεί ζύμωση, διατηρώντας την γεύση και την ποιότητά τους. Ακόμα, ελκυστικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι και η παραγωγή υψηλής ποιότητας προϊόντων με αλκοόλη και η μικρή χημική αλλοίωση για την περίπτωση αυτή. (Wenten and Khoiruddin, 2015).

2.2.1.3 Ηλεκτροδιάλυση Διπολικής Μεμβράνης

Ο μηχανισμός λειτουργίας της τεχνολογίας αυτής στηρίζεται στην διαφορά του ηλεκτρικού δυναμικού που εφαρμόζεται μεταξύ δυο ηλεκτροδίων. Η μεμβράνη, με αυτόν τον τρόπο είναι ικανή να διαχωρίσει, να συγκεντρώσει και να καθαρίσει επιλεγμένα ιόντα από κάποιο υδατικό διάλυμα, συμπεριλαμβανομένων και κάποιων οργανικών διαλυτών, το οποίο οφείλεται στην εκλεκτικότητα της ως προς τα διαχωρισθέντα ιόντα. Δηλαδή, αν είναι πιο διαπερατή σε κατιόντα και όχι στα ανιόντα είναι ικανή να συμπυκνώσει ή να αραιώσει ένα ιοντικό διάλυμα ανάλογα.

2.2.1.3.1 Μηχανισμός λειτουργίας

Ο μηχανισμός λειτουργίας της περιγράφεται ως εξής (Wilhelm, 2001):

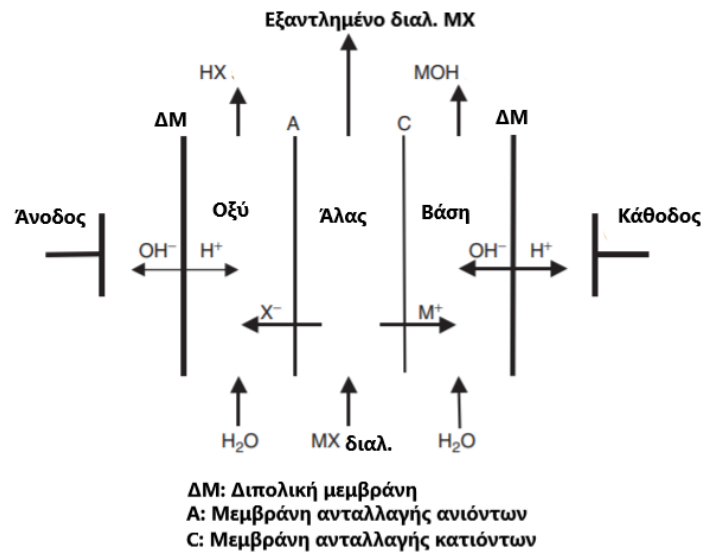


Σχήμα 2.4: Μηχανισμός διαχωρισμού ιόντων στην διπολική μεμβράνη

(Tanaka, 2015)

Η μεμβράνη αποτελείται από δυο στρώματα αντίθετου φορτίου (A,C), όπως φαίνεται και στο σχήμα, που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους και υπάρχει η δυνατότητα ανταλλαγής ιόντων. Όταν εφαρμόζεται το ηλεκτρικό πεδίο, τα παραγόμενα υδροξύλια και πρωτόνια κινούνται ανάλογα στο αντίστοιχο ηλεκτρόδιο. Μαζί τους μετακινούνται και τα διαλυμένα ανιόντα οξέος και τα κατιόντα βάσεων, τα οποία δεν είναι επιθυμητά. Η ωθούσα δύναμη του διαχωρισμού σε αυτήν

την περίπτωση είναι η βαθμίδα της συγκέντρωσης που αναπτύσσεται στην διεπιφάνεια των μεμβρανών και το ηλεκτρικό δυναμικό.



Σχήμα 2.5: Κυψέλη τριών διαμερισμάτων

(Tanaka, 2015)

Το παραπάνω σχήμα υποδεικνύει το μηχανισμό λειτουργίας της, ο οποίος αποτελείται από τρία μέρη: το στρώμα ανταλλαγής ανιόντων (A), το στρώμα ανταλλαγής κατιόντων (C) και την διεπιφάνεια μεταξύ των δυο αυτών στρωμάτων. Όταν εφαρμοστεί ρεύμα στο σύστημα, τα κατιόντα και τα ανιόντα κινούνται κατά μήκος των μονοπολικών μεμβρανών και συνδυάζονται με τα ιόντα OH^- και H^+ της μεμβράνης σχηματίζοντας οξύ και βάση.

Η υψηλή αποδοτικότητα του συστήματος εξαρτάται από την καλή διαπερατότητα του νερού και την πολύ λεπτή διεπιφάνεια επαφής μεταξύ των στρωμάτων ανταλλαγής ιόντων (Tanaka, 2015).

Οι περιορισμοί που προκύπτουν κατά τη λειτουργία της μεμβράνης αποδίδονται στην ίδια και επηρεάζουν την χημική της σταθερότητα, την μεταφορά συν-ιόντων, την αντίσταση του στρώματος στη μεταφορά των ιόντων, τη σταθερότητα του καταλύτη, την αντοχή στην πίεση της μεμβράνης και την απολέπιση ή δηλητηρίαση της από τον πολύπλοκο συνδυασμό του σταθερού φορτίου με τα πολυσθενή μεταλλικά άλατα (Wilhelm, 2001).

2.2.1.3.2 Διπολικές μεμβράνες ηλεκτροδιάλυσης στην βιομηχανία

Οι βιομηχανικές εφαρμογές που σχετίζονται με τη χρήση αυτής της μεμβράνης εστιάζονται τα τελευταία χρόνια στην επεξεργασία των βιομηχανικών αποβλήτων και την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Ο ρόλος των μεμβρανών διπολικής ηλεκτροδιάλυσης περιλαμβάνει (Applications of bipolar membrane electrodialysis, 2021):

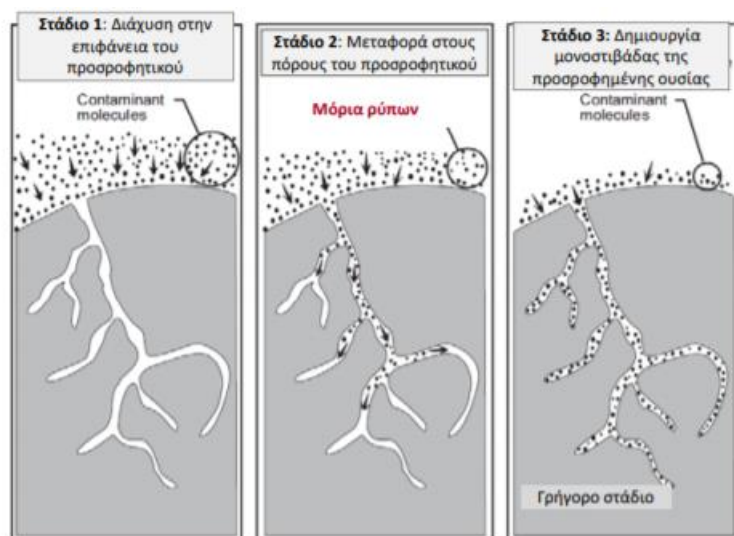
- Τον διαχωρισμό των βαρέων μετάλλων, όπως για παράδειγμα την ανάκτηση Cr(III) και Cr(IV)
- Την αναγέννηση οξέος/βάσης
- Τη ρύθμιση του pH σε χημικές διεργασίες, αφού η χρήση της απαιτεί λιγότερα χημικά, με συνέπεια τα παράγονται άλατα να είναι λιγότερα
- Την απομάκρυνση του SO₂ από τα καυσαέρια
- Την ανακύκλωση του HF και του HNO₃
- Την αναγέννηση ρητίνης ανταλλαγής ιόντων
- Την παραγωγή νερού υψηλής καθαρότητας, με πλεονέκτημα την καλύτερη απομάκρυνση ασθενών οξέων και βάσεων

2.2.2 Σύστημα προσρόφησης για την επιλεκτική ανάκτηση φωσφόρου

Τα συστήματα προσρόφησης-επιλεκτικής ανάκτησης φωσφόρου (Biophree adsorption) στοχεύουν στην μείωση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στα υδάτινα περιβάλλοντα, η οποία είναι αναγκαία για την ρύθμιση του ευτροφισμού σε λίμνες και δεξαμενές. Αν και το όριο της επιτρεπτής συγκέντρωσης για την αποφυγή του ευτροφισμού δεν έχει πλήρως οριστεί, η συγκέντρωση του ενδείκνυται να κυμαίνεται σε επίπεδα μικρότερα από αυτά των 100 ή/και 10 μm/L P. Με την συγκεκριμένη τεχνολογία υπάρχει η δυνατότητα οι συγκεντρώσεις να είναι της τάξεως του 0,1 ή ακόμη και του 0,01 mg/L.

Παρουσιάζονται κάποιοι περιορισμοί ως προς την χρήση της, όπως η απομάκρυνση μόνο του διαλυμένου φωσφόρου, οι οποίοι όμως δύναται να αντιμετωπιστούν με την χρήση πρόσθετων διεργασιών, όπως για παράδειγμα τεχνολογίες οξειδωσης, κροκίδωσης, διήθησης και άλλες. (Kumar, Korving, van Loosdrecht and Witkamp, 2019)

Η αφαίρεση του φωσφόρου σε αυτά τα συστήματα πραγματοποιείται διαμέσου της προσρόφησης. Ο μηχανισμός της προσρόφησης είναι μια φυσική διεργασία διαχωρισμού που επιτυγχάνεται με την προσθήκη στερεών σωματιδίων. Οι διαλυμένες ουσίες στα υγρά ή αέρια ρεύματα αποτελούν τις προσροφούμενες ουσίες. Αυτές μεταφέρονται και προσκολλώνται στην επιφάνεια των στερεών σωματιδίων που ονομάζονται προσροφητικά μέσα. Η επιλεκτικότητα των προσροφητικών μέσων αποτελεί την βάση του διαχωρισμού.



Διάγραμμα 2.3: Τα στάδια λειτουργίας του μηχανισμού της ρόφησης

(Kumar, Korving, van Loosdrecht and Witkamp, 2019)

Όπως φαίνεται, ο μηχανισμός λειτουργίας της στηρίζεται σε τρία διακριτά στάδια, όπου αρχικά γίνεται η μεταφορά των ουσιών από τον κύριο όγκο του διαλύματος στο εξώτατο στρώμα του προσροφητή (οριακό στρώμα), στην συνέχεια η εκλεκτική διάχυση μέσω της επιφανειακής στοιβάδας, ώστε οι ουσίες να εισέλθουν στην επιφάνεια των πόρων και τέλος πραγματοποιείται η μεταφορά μέσα στους πόρους και επιτυγχάνεται η προσκόλλησή σε αυτούς.

2.2.2.1 Ιδιότητες προσροφητικού μέσου

Ένα προσροφητικό μέσο χαρακτηρίζεται ως επαρκές αν έχει υψηλή ικανότητα προσρόφησης, γεγονός το οποίο εξαρτάται από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του προσροφητή.

Στην περίπτωση των φυσικών ιδιοτήτων του κύριο ρόλο έχει η επιφάνεια του προσροφητικού, δηλαδή, η πιθανότητα προσρόφησης είναι ανάλογη της επιφάνειας του προσροφητικού. Η ύπαρξη και το μέγεθος των πόρων που βοηθούν στην αύξηση της επιφάνειάς του. Επίσης, κύριο ρόλο, διαδραματίζει και η χημική σύνθεση του προσροφητή, η οποία επιτρέπει την σύνδεσή του με την επιθυμητή ουσία.

Στην περίπτωση των χημικών ιδιοτήτων υπάρχουν δυο κατηγορίες προσρόφησης, η φυσική και η χημική. Στη πρώτη αναπτύσσονται δυνάμεις, όπως Van der Waals, έλξης διπόλου με μη πολωμένο και έλξης διπόλου-διπόλου. Σε σύγκριση με την χημική, είναι πιο γρήγορη και είναι αντιστρεπτή και εξώθερμη (< 10 kcal/mol). Στη δεύτερη κατηγορία αναπτύσσονται χημικοί δεσμοί (ομοιοπολικοί) στην επιφάνεια των προσροφητικών μέσων. Η διαδικασία αυτή είναι αναντίστρεπτη και εξώθερμη (>20 kcal/mol).

2.2.2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τον μηχανισμό της προσρόφησης

Η προσρόφηση καθορίζεται από τους παρακάτω παράγοντες (Kumar, Korving, van Loosdrecht and Witkamp, 2019):

1) Συγγένεια

Η ικανότητα προσρόφησης των φωσφορικών εξαρτάται από την συγγένεια που έχουν τα φωσφορικά ιόντα με τα χρησιμοποιούμενα προσροφητικά μέσα. Προσροφητικά που εμφανίζουν πολύ καλή συγγένεια με τα φωσφορικά είναι συνήθως τα μεταλλικά οξείδια.

2) Κινητική

Το ψευδοκινητικό μοντέλο της προσρόφησης επηρεάζει τα προσροφητικά μέσα, και εννοείται ότι σε κάθε περίπτωση θα προτιμηθεί το προσροφητικό με την μεγαλύτερη κινητική.

3) Εκλεκτικότητα

Η εκλεκτικότητα του προσροφητικού παρουσιάζει την προτίμηση που έχει το μέσο να απομακρύνει φωσφορικά ιόντα έναντι κάποιων άλλων ιόντων που δρουν ανταγωνιστικά με αυτό. Μερικά από αυτά τα ιόντα είναι του αρσενικού, τα πυριτικά, κάποια θειικά άλατα, οργανικές ύλες (χουμικά οξέα και φουλβικά οξέα). Πέρα από τα συγκεκριμένα ιόντα και μόρια, υπάρχουν και κάποια κατιόντα όπως είναι αυτά του μαγνησίου και του ασβεστίου, τα οποία ενισχύουν την απορρόφηση των φωσφορικών από τα χρησιμοποιούμενα προσροφητικά μέσα.

4) Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία επηρεάζει την απόδοση του προσροφητή μέσω της θερμοδυναμικής του. Δηλαδή, σε μια ενδόθερμη διεργασία η προσρόφηση θα έχει μεγαλύτερη απόδοση όταν οι θερμοκρασία είναι υψηλή, ενώ το αντίθετο θα συμβαίνει για την εξώθερμη.

5) pH

Τα φωσφορικά συναντώνται στο διάλυμα με διαφορετικές μορφές, οι οποίες εξαρτώνται από το pKa και το pH του διαλύματος. Μερικές μορφές είναι: H_3PO_4 , $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} ή PO_4^{3-} . Η προσρόφηση σε αυτές τις περιπτώσεις ευνοείται όταν το pH είναι μικρότερο από το σημείο μηδενική φόρτισης (pHZPC), το οποίο δεν είναι απόλυτο γιατί χρειάζεται να συνυπολογιστεί και η επίδραση των ανταγωνιστικών και μη μορίων και ενώσεων που βρίσκονται διαλυμένα μέσα στο διάλυμα.

2.2.2.3 Εφαρμογές συστημάτων προσρόφησης-επιλεκτικής ανάκτησης φωσφόρου

Τα συστήματα προσρόφησης για την ανάκτηση του φωσφόρου χρησιμοποιούνται στα επιφανειακά ύδατα και την αγροτική απορροή, στην βιομηχανική χρήση του νερού και των δεξαμενών καθώς και στην αναβάθμιση και επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (Aquacare BioPhree, 2020).

2.2.3 Τεχνολογία εξάτμισης

Η λειτουργία των τεχνολογιών εξάτμισης έχει ως στόχο την αλλαγή φάσης των μορίων από υγρή σε αέρια και το πετυχαίνει αυτό μέσω προσφοράς ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας. Η προσφερόμενη ενέργεια, σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι χαρακτηριστική, διαφορετική για κάθε σύστημα και χρειάζεται να ξεπεράσει ενεργειακά την επιφανειακή τάση του συστήματος.

Ως πηγές θέρμανσης δύναται να χρησιμοποιηθούν: ο ατμός, το ζεστό νερό, τα θερμικά υγρά, τα καυσάερια και η ηλεκτρική ενέργεια.

Πιθανά προβλήματα κατά την λειτουργία των εξατμιστήρων είναι αυτά της διάβρωσης και σε μεγάλο βαθμό οφείλονται στις καθαλατώσεις της άλμης. Οι καθαλατώσεις είναι τα άλατα που καθιζάνουν και επικάθονται στις θερμές επιφάνειες των εξατμιστήρων λόγω της μείωσης της διαλυτότητας τους μέσα σε αυτά. Οι ενώσεις που προκαλούν το φαινόμενο είναι: το ανθρακικό και θειικό ασβέστιο, το υδροξείδιο του μαγνησίου, τα σωματίδια, οι μικροοργανισμοί που προκαλούν το biofouling και οι χημικές ενώσεις που προκύπτουν από την αλλοίωση του εξοπλισμού.

Για την αντιμετώπιση της εφαρμόζονται κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και συγκέντρωσης άλμης, απομακρύνονται συστατικά του διαλύματος, προστίθενται ειδικά χημικά πρόσθετα (πολυηλεκτρολύτες) και συνδυαστικά χημικά με πρόσθετα για την καλύτερη αντιμετώπιση της (Πασιπουλαρίδης, 2018).

2.2.3.1 Εξάτμιση χαμηλής θερμοκρασίας

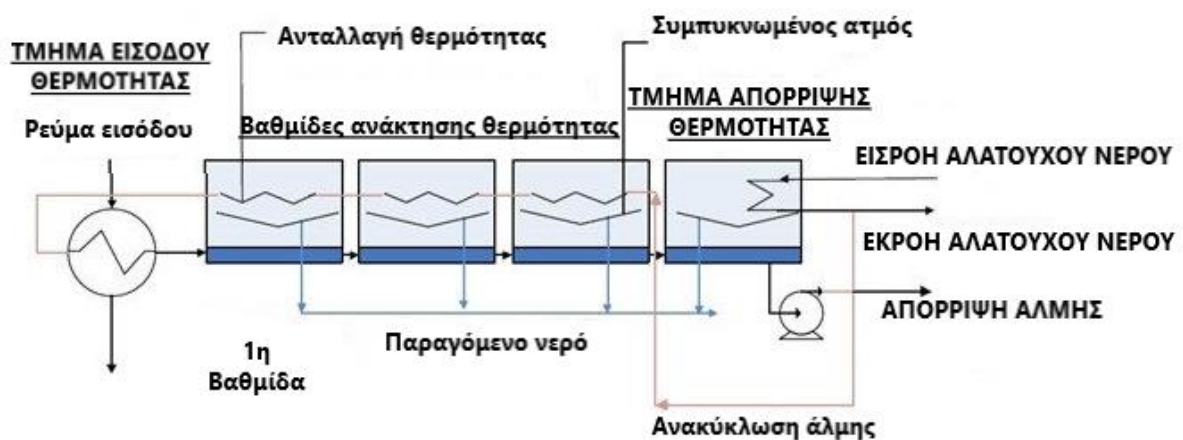
Η εξάτμιση χαμηλής θερμοκρασίας (Low Temperature Evaporation) αποτελεί μια καινοτόμο μέθοδο η οποία αξιοποιεί την υπολειπόμενη θερμότητα (είτε νερό με θερμοκρασία χαμηλότερη από 50°C είτε ατμό χαμηλής πίεσης ~0.13bar και τις χαμηλές πιέσεις για την παραγωγή νερού υψηλής καθαρότητας που δύναται να χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανία (Raha, et al., 2007).

Προβλήματα που είναι πιθανό να προκύψουν αλλά υπάρχουν λύσεις για αυτά είναι (Raha, et al., 2007):

- Καθαλατώσεις που έχουν αντιμετωπιστεί με την μείωση της θερμοκρασίας και την παρακολούθηση της συγκέντρωσης της άλμης
- Προκατεργασίας η οποία περιλαμβάνει πλέον αποκλειστικά την χλωρίωση αποφεύγοντας με αυτόν τον τρόπο τις αρνητικές συνέπειες της στο περιβάλλον

2.2.3.2 Εξάτμιση πολλαπλών σταδίων

Η εξάτμιση πολλαπλών σταδίων (Multiple Effect Distillation) εμπίπτει στην κατηγορία τεχνολογιών διαχωρισμού αφού επεξεργάζεται μίγματα στα οποία εμπεριέχεται νερό ή κάποιος διαλύτης, ο οποίος χρειάζεται να αφαιρεθεί και στη συνέχεια να απομακρυνθεί. Στηρίζεται στον μηχανισμό της εξάτμισης και βρίσκει εφαρμογή πολύ συχνά σε διεργασίες αφαλάτωσης νερού. Επίσης, χρησιμοποιείται στην συγκέντρωση και στον καθαρισμό των διαλυμάτων καθώς και στην κρυστάλλωση. Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι ότι εξοικονομεί ενέργεια με ανακύκλωση της απορριπτόμενης θερμότητας και το πετυχαίνει υψηλής καθαρότητας νερό.



Διάγραμμα 2.4: Τυπικό διάγραμμα ροής της εξάτμισης πολλαπλών βαθμίδων

(Shen, 2015)

Απαρτίζεται από μια συστοιχία που μπορεί να φτάσει και τις 16 βαθμίδες, οι οποίες είναι ρυθμισμένες σε διαφορετικές θερμοκρασίες και πιέσεις. Σε κάθε βαθμίδα το νερό της τροφοδοσίας θερμαίνεται χρησιμοποιώντας ατμό στον οποίο ψεκάζεται συνήθως το αλατούχο νερό. Ακολούθως, ένα κομμάτι του ατμού εξατμίζεται και μεταβαίνει στην επόμενη βαθμίδα για να θερμάνει το παραγόμενο υπόλειμμά της το οποίο χρησιμοποιείται ως τροφοδοσία στην επόμενη βαθμίδα της. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι και την τελευταία βαθμίδα του συστήματος και ο παραγόμενος ατμός της τελευταία εξ αυτών συμπυκνώνεται στον τελικό συμπυκνωτή που χρησιμοποιείται για την προθέρμανση της τροφοδοσίας. Έτσι, η ενέργεια επαναχρησιμοποιείται μεταξύ των βαθμίδων και μειώνεται το λειτουργικό και ενεργειακό κόστος της εγκατάστασης (Shen, 2015).

1.2.4 Κρυστάλλωση

Η κρυστάλλωση (crystallization) είναι μια διεργασία απομάκρυνσης ενός διαλυμένου στερεού από μια ομοιογενή ρευστή κατάσταση (υγρή ή αέρια ή τήγμα) με τη μορφή κρυστάλλων, η οποία εφαρμόζεται κυρίως για τον διαχωρισμό, τον εξευγενισμό και την απομάκρυνση ανεπιθύμητων συστατικών των διαλυμάτων και χρησιμοποιείται αρκετά στην επεξεργασία της ζάχαρης και του αλατιού.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κρυστάλλωση είναι (συνοπτική αναφορά):

Ο βαθμός υπερκορεσμού, η θερμοκρασία, η πίεση, η ενεργός οξύτητα (pH), ο ρυθμός εξיסορρόπησης και αύξησης, η ιοντική ισχύς και η καθαρότητα των ουσιών, η διάχυση και η μεταφορά, ο όγκος και η γεωμετρία του δείγματος και των συσκευών, τα στερεά σωματίδια και οι αλληλεπιδράσεις, τα φαινόμενα που εξαρτώνται από την πυκνότητα και το ιξώδες, τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά πεδία, ακουστικά κύματα, η ευαισθησία της δομής της ουσίας σε φυσικές παραμέτρους, η δέσμευση άλλων ουσιών, ειδικές πρόσθετες ουσίες κ.α.

2.2.4.1 Μηχανισμός κρυστάλλωσης

Ο μηχανισμός της κρυστάλλωσης υπακούει στην αρχή της διαλυτότητας. Για να καθιζάνει η ουσία ενός διαλύματος με τη μορφή κρυστάλλου χρειάζεται να αλλάξει η διαλυτότητα της ουσίας μέσα σε αυτό, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται είτε με τη μείωση της θερμοκρασίας κάτω από τη θερμοκρασία που πραγματοποιείται η αλλαγή της φάσης, είτε με την εξάτμιση του διαλύτη από το διάλυμα. Επομένως, προκύπτουν δυο στάδια για την ανάπτυξη του κρυστάλλου, το στάδιο της πυρηνογένεσης και της ανάπτυξης κρυστάλλου (Ζουμπούλης, Καραπάντσιος, Μάτης και Μαύρος, 2009):

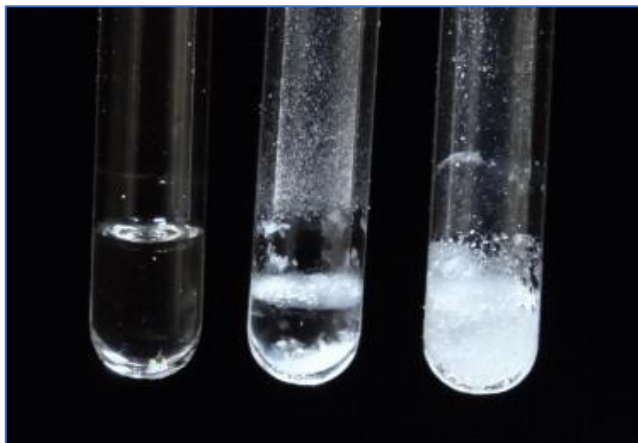
2.2.4.1.1 Το στάδιο της πυρηνογένεσης

Παρατηρείται ένας ξαφνικός σχηματισμός των κρυστάλλων μέσα στο υπέρκορο διάλυμα ο οποίος δημιουργείται σε τρία στάδια. Τα τρία στάδια της πυρηνογένεσης είναι η ψευδοπυρηνογένεση, η πρωτοβάθμιας πυρηνογένεση και η δευτεροβάθμιας πυρηνογένεση. Ως διαδικασία περιγράφει την ταχύτητα παραγωγής κρυστάλλων ανά μονάδα χρόνου και όγκου μητρικού υλικού χωρίς στερεά.

Κατά το στάδιο της ψευδοπυρηνογένεσης εμφανίζεται ανάπτυξη κρυστάλλων περισσότερο ατελών σε πρώιμο στάδιο, και σχηματίζεται στην περίπτωση των μεγάλων υπερκορεσμών ή της μικρής παρουσίας μάγματος (διφασικό διάλυμα κρυστάλλων-υγρού). Στο στάδιο της πρωτογενούς πυρηνογένεσης παρουσιάζεται σχηματισμός πολύ μικρών σωματιδίων νέας φάσης στην υπάρχουσα υπέρκορη ομογενή φάση. Τέλος, το στάδιο της δευτερογενούς πυρηνογένεσης αφορά τον σχηματισμό πυρήνων εξαιτίας των υπαρχόντων κρυστάλλων μέσα στο μάγμα (Cipollina et al., 2014).

2.2.4.1.2 Το στάδιο της ανάπτυξης του κρυστάλλου

Στην περίπτωση αυτή πολλά στρώματα της ουσίας επικάθονται σε αυτή συνεισφέροντας στην αύξηση του μεγέθους του. Επομένως, το στάδιο σχετίζεται με τη διαδικασία της διάχυσης κατά την οποία τα μόρια ή τα ιόντα φτάνουν από τον κύριο όγκο του διαλύματος στις επιφάνειες των σχηματιζόμενων κρυστάλλων όπου και αντιδρούν με αυτές δημιουργώντας τον κρύσταλλο. Βασική προϋπόθεση στην όλη διαδικασία είναι η ύπαρξη υπέρκορου διαλύματος.



Εικόνα 2.1: Μορφές κρυστάλλου παρακεταμόλης: 1. Αμορφος κρύσταλλος (αριστερά), 2. μερικώς κρυσταλλωμένος (κέντρο) και 3. κρύσταλλος (δεξιά).

Οι παραγόμενοι κρύσταλλοι είναι συνήθως αρκετά καθαροί. Στην περίπτωση όμως, όπου κατά την απομάκρυνση τους από το τελικό διφασικό μίγμα (μητρικού υγρού-κρυστάλλων) «εγκλωβίσουν» ορισμένη ποσότητα μητρικού υγρού και με αυτό τον τρόπο επιμολύνουν το τελικό προϊόν, εφαρμόζεται είτε ανακρυστάλλωση είτε επεξεργασία του μητρικού υγρού με διήθηση είτε με έκπλυση του κρυστάλλου χρησιμοποιώντας διαλύτη ύστερα από φυγοκέντριση. Η έκταση αυτής της μόλυνσης εξαρτάται από την ποσότητα του εγκλωβισμένου μητρικού υγρού και η ποιότητα του τελικού προϊόντος από την υψηλή καθαρότητα του κρυστάλλου, την εμφάνιση του, το μέγεθος και την ομοιομορφία του καθώς βέβαια και από την ύπαρξη ή όχι συσσωματωμάτων.

Η ανάκτηση των κρυστάλλων από το ρευστό δύναται να γίνει με τους εξής τρόπους (Cipollina et al., 2014):

- την ψύξη του διαλύματος (χρησιμοποιείται κυρίως όταν η διαλυτότητα της ουσίας που θέλουμε να απομακρυνθεί εξαρτάται από την μεταβολή της θερμοκρασίας)
- την εξάτμιση του διαλύτη (χρησιμοποιείται συνηθέστερα όταν η διαλυτότητα είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας)
- τον συνδυασμό ψύξης και εξάτμισης

- την προσθήκη βοηθητικής ένωσης (για να μειωθεί η διαλυτότητα της ουσίας)
- με χημική αντίδραση
- την χρήση μεμβράνης
- την εκτόνωση του κορεσμένου διαλύματος που βρίσκεται σε υψηλή πίεση.

2.2.4.2 Εφαρμογές της κρυστάλλωσης στην βιομηχανία

Η κρυστάλλωση χρησιμοποιείται στην:

- Παραγωγή (π.χ. λιπασμάτων)
- Διαχωρισμό (π.χ. αλάτων από υγρά διαλύματα)
- Εξευγενισμό και απομάκρυνση ανεπιθύμητων συστατικών

2.2.4.3 Επιλεκτική κρυσταλλοποίηση Μαγνησίου

Η συμπυκνωμένη άλμη που δημιουργείται κυρίως από τις διεργασίες αφαλάτωσης περιέχει σημαντικές ποσότητες μαγνησίου που φτάνουν σε τιμές μέχρι και 30-40 kg/m³ άλμης. Η κρυστάλλωση σε αυτές στις περιπτώσεις εφαρμόζεται για την απομάκρυνση του μαγνησίου στην μορφή Mg(OH)₂ (Cipollina et al., 2014).

3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να σχεδιαστεί ένα σύστημα επεξεργασίας του υφάλμυρου νερού που προκύπτει από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία αστικών λυμάτων ώστε αυτό να αποκτήσει τα κατάλληλα ποιοτικά χαρακτηριστικά για να χρησιμοποιηθεί για άρδευση.

Σε ένα σταθμό επεξεργασίας αστικών λυμάτων, όπου τα τελικά προϊόντα είναι το νερό άρδευσης, η συμπυκνωμένη άλμη και η λάσπη η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα, τόσο η ποσότητα των προϊόντων όσο και η ποιότητα αυτών παίζει κρίσιμο ρόλο στην απορρόφησή τους από την αγορά. Στο πλαίσιο του σχεδιασμού ενός τέτοιου συστήματος εξετάζεται πως οι συνθήκες λειτουργίας του κάθε υποσυστήματος που θα το αποτελέσει επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα. Ο σχεδιασμός αυτών των συστημάτων πρέπει να έχει ως στόχο τη μεγαλύτερη δυνατή ανάκτηση νερού άρδευσης, τη μικρότερη δυνατή παραγωγή συμπυκνωμένης άλμης χωρίς να δημιουργούνται λειτουργικά προβλήματα στο σύστημα, το μικρότερο ενεργειακό κόστος και τη μηδενική. Για την απομάκρυνση των αλάτων από το νερό που προκύπτει από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία προτάθηκε ο εξής σχεδιασμός.

Αρχικά το νερό περνάει μέσα από ένα σύστημα νανοδιήθησης. Εδώ ο στόχος είναι η απομάκρυνση των δισθενών ιόντων κυρίως Ca, Mg και SO₄. Στη συνέχεια το διήθημα της αντίστροφης ώσμωσης θα οδηγηθεί σε μία μονάδα αντίστροφης ώσμωσης προκειμένου να απομακρυνθούν από αυτή τα μονοσθενή ιόντα κυρίως Na, Cl. Το διήθημα της αντίστροφης ώσμωσης έχει κατάλληλες ιδιότητες να χρησιμοποιηθεί για άρδευση αλλά και για βιομηχανική χρήση.

Επειδή ο σχεδιασμός αναφέρεται σε σύστημα μηδενικής απόρριψης τα συμπυκνώματα πρέπει να επεξεργαστούν προκειμένου να προκύψουν και από αυτά χρήσιμα προϊόντα. Έτσι, προτείνεται η περαιτέρω επεξεργασία του συμπυκνώματος της νανοδιήθησης από έναν εξατμιστήρα χαμηλής θερμοκρασίας προκειμένου να ανακτηθεί επιπλέον νερό και έναν μίγμα ιόντων Ca και Mg. Για την επεξεργασία του συμπυκνώματος που προκύπτει από την αντίστροφη ώσμωση προτείνεται ένας εξατμιστήρας πολλαπλών βαθμίδων ο οποίος θα παράγει υψηλής ποιότητας νερό και κορεσμένο διάλυμα χλωριούχου νατρίου το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη από τη μονάδα χλωρίωσης του Σταθμού Επεξεργασίας Λυμάτων.

Στην εργασία αυτή μεγαλύτερο βάρος δόθηκε στα δύο πρώτα στάδια επεξεργασίας του νερού δηλαδή στο σχεδιασμό και λειτουργία των υποσυστημάτων νανοδιήθησης και αντίστροφης ώσμωσης, μιας και στο εργαστήριο υπάρχουν αρκετά πειραματικά δεδομένα από προηγούμενες έρευνες τα οποία μπορούν να στηρίξουν το σχεδιασμό και τη λειτουργία των εξατμιστήρων.

3.1 Μεθοδολογία πειραμάτων, διατάξεις και ανάλυση μετρήσεων

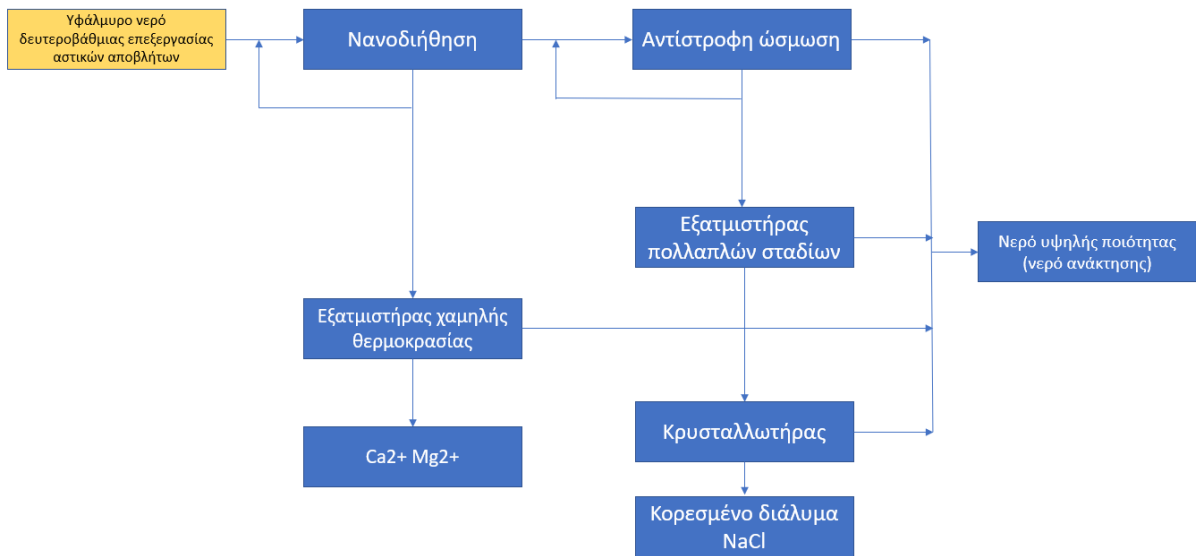
Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακά πειράματα σε συστήματα ημβιομηχανικής κλίμακας νανοδιήθησης και αντίστροφης ώσμωσης, ενώ οι αναλύσεις των διηθημάτων και των συμπυκνωμάτων που προέκυψαν έγιναν στο εργαστήριο Γενικής Χημείας, της Σχολής Χημικών Μηχανικών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Για την παρασκευή των συνθετικών άλμεων που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα χρησιμοποιήθηκε η σύσταση του νερού που προκύπτει από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία αστικών λυμάτων του Σταθμού Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων της Λάρνακας.

Για να εξεταστεί η επαναληψιμότητα της πειραματικής διεργασίας και προκειμένου να διαπιστωθεί ότι τα συστημικά σφάλματα είναι και θα παραμείνουν αμελητέα, ώστε οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα κάθε ένα από τα παρακάτω πειράματα επαναλαμβάνονταν δύο φορές. Στη συνέχεια για να ελεγχθεί κατά πόσο τα αποτελέσματα από τις εργαστηριακές διατάξεις θα επαναληφθούν σε σύστημα μεγαλύτερης κλίμακας ή ποια προβλήματα θα προκύψουν χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο λογισμικό Water Application Value Engine (WAVE) της εταιρείας DUPONT.

Οι κύριες παράμετροι οι οποίες εξετάστηκαν ως προς τη λειτουργία των συστημάτων ήταν η ανακυκλοφορία του συμπυκνώματος, η ροή συμπυκνώματος και διηθήματος. Οι ροές των τριών αυτών ρευμάτων, συμπυκνώματος, διηθήματος και ανακυκλοφορίας καταγράφηκαν μέσω ειδικών ροομέτρων ενώ η σύσταση τους στα κύρια μονοσθενή και δισθενή άλατα εξετάζονταν μετά από την ανάλυση δειγμάτων τα οποία λαμβάνονταν από κάθε ρεύμα.

Αρχικά, η δεξαμενή τροφοδοσίας γέμιζε στα 100 L και γινόταν προσθήκη αλατιού, ώστε στα 100 L να εμπεριέχονται επιπλέον 125g αλατιού με στόχο την δημιουργία υφάλμυρου νερού τροφοδοσίας. Η πειραματική διάταξη ξεπλύθηκε αρκετές φορές με το υφάλμυρο αυτό διάλυμα, ούτως ώστε τυχόν προηγούμενο διάλυμα να φύγει ή/και να αλλάξει η συγκέντρωση του προς το διαλυμένο αλάτι, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το σφάλμα της διεργασίας που θα περνάμε κατά τις μετρήσεις στην έξοδο αυτής. Η πίεση σε όλα τα στάδια της διεργασίας ήταν σταθερή και ίση με 10 psi (0.6 bar). Όσο αφορά το pH, ήταν ένας παράγοντας ρύθμισης που χρησιμοποιήθηκε, ώστε, να μελετηθεί πως η μεταβολή του επηρεάζει τα αποτελέσματα των πειραμάτων, τις συνθήκες λειτουργίας καθώς και την ίδια την μεμβράνη.

Κατά την διάρκεια των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε η μεμβράνη NF 270 4040 αντί της μεμβράνης NF 200 4040 διότι αν και είναι και οι δυο μεμβράνες κατάλληλες για υφάλμυρο νερό, η πρώτη ειδικεύεται στην επεξεργασία δημοτικού πόσιμου νερού ενώ η δεύτερη στην αφαλάτωση οργανικών ενώσεων, επεξεργασία οξέων και ανάκτηση αντιψυκτικού. Επιπλέον η πρώτη μεμβράνη έχει μέγιστο βαθμό απόδοσης 97% ενώ η δεύτερη μεμβράνη μόνο 90%. Επομένως, αναλογιζόμενοι τα πιο πάνω, η NF 270 4040 μοιάζει καταλληλότερη για τη διεκπεραίωση των ακόλουθων πειραμάτων (Aquaquote, 2018) (Aquaquote, 2018).



Διάγραμμα 3.1: Ολοκληρωμένο σύστημα αφαλάτωσης αστικών λυμάτων

3.1.1 Διάταξη νανοδιήθησης



Εικόνα 3.1: Διάταξη μεμβράνης νανοδιήθησης που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο

Η μεμβράνη που χρησιμοποιείται στη μονάδα NF είναι μια μεμβράνη FILMTEC NF270-4040 η οποία είναι μια σύνθετη μεμβράνη πολυπιπεραζίνης, κατάλληλη για αφαίρεση του συνολικού οργανικού άνθρακα (TOC) και της μέσης σκληρότητας (Aquaquote, 2018).

Για να προσομοιωθούν τα πραγματικά λύματα μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία παρασκευάστηκε συνθετικό διάλυμα. Οι συγκεντρώσεις των κυριότερων ιόντων σε αυτό το διάλυμα είναι:

Πίνακας 3.1: Οι συγκεντρώσεις των σημαντικότερων ιόντων στην άλμη που χρησιμοποιήθηκε στα εργαστηριακά πειράματα

Ions	Συγκεντρώσεις, mg/l
K⁺	2.54
Na⁺	559.47
Ca⁺²	227.6
Mg⁺²	36.35
Cl⁻	875
SO₄⁻²	47

Στην αρχή κάθε πειράματος, το σύστημα λειτουργούσε για 10-15 λεπτά προκειμένου να επιτευχθούν σταθερές συνθήκες λειτουργίας. Οι συνθήκες λειτουργίας, που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3, διατηρήθηκαν σε όλα τα πειράματα.

Πίνακας 3.2: Συνθήκες λειτουργίας στη διάταξη νανοδιήθησης

Συνθήκες λειτουργίας		Recovery				
		Πείραμα 1	Πείραμα 2	Πείραμα 3	Πείραμα 4	Πείραμα 5
Απόδοση Μembrάνης		75%	60%	75%	75%	75%
				60%	60%	
				50%	50%	
Ροή παροχής	l/h	400	400	400	300	400
Ροή διηθήματος	l/h	300	240	300	240	300
				240	200	
				200	100	
	l/h	100	160	100	160	100

Ροή συμπυκνωμένου προϊόντος				160	200	
				200	300	
Θερμοκρασία λειτουργίας	°C	20	20	20	20	20
pH		7,3	7,3	7,3	6,0	6,0
Ανακυκλοφορία	l/h	200	200	0	0	300
	l/h	300	300			600
	l/h	400	400			700
	l/h	500	500			

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.2, εξετάστηκαν συνδυασμοί διαφορετικών ποσοστών ανάκτησης και διαφορετικών ροών ανακυκλοφορίας για να βρεθεί ο καλύτερος όσον αφορά την επίτευξη των τριών στόχων. Καταρχάς την μέγιστη ανάκτηση νερού, δεύτερο την ελαχιστοποίηση του συμπυκνωμένου προϊόντος και την προστασία των μηχανημάτων της διεργασίας ώστε να λειτουργούν σταθερά σε υψηλές αποδόσεις μακροχρόνια.

Επίσης, χρειάζεται να αναφέρουμε ότι αν και ο κύριος στόχος είναι η ανάκτηση νερού, πραγματοποιήθηκαν και πειράματα με απόδοση 50% με σκοπό να μελετηθεί εάν η μειωμένη αναλογία διηθήματος/συμπυκνώματος συμβάλει στην αποφυγή προβλημάτων λειτουργίας και διαλυτότητας.

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, συλλέχθηκαν δείγματα διηθήματος και συμπυκνώματος. Η τιμή pH ρυθμίστηκε στα 6,0 κατά την διάρκεια των πειραμάτων 4 και 5, με προσθήκη διαλύματος υδροχλωρικού οξέος, για να αποφευχθεί η χρήση αντικαθαλατωτικών κατά τη διάρκεια πειραμάτων. Τα αντικαθαλατωτικά προστίθενται σε όλες σχεδόν τις διαδικασίες αφαλάτωσης, που χρησιμοποιούνται μεμβράνες NF και RO, για να αποφευχθεί η επικάλυψη των αλάτων στις μεμβράνες που έχουν ως αποτέλεσμα λειτουργικά προβλήματα. Τα αντικαθαλατωτικά δεν περνούν μέσα από τις μεμβράνες και έτσι απορρίπτονται στο ρεύμα συμπυκνώματος. Ωστόσο, σε αυτή τη μελέτη περίπτωσης θέλουμε να ανακτήσουμε NaCl υψηλής καθαρότητας από το συμπύκνωμα RO. Έτσι, αποφεύγεται η χρήση αντικαθαλατωτικών μέσω ρύθμισης του pH.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα των διαδικασιών, σε πραγματικό χρόνο, μετρήθηκε η αγωγιμότητα των ροών εισόδου και εξόδου. Επιπλέον, δείγματα από τα ρεύματα εισόδου και εξόδου εξετάζονται με ατομική απορρόφηση (για συγκεντρώσεις κατιόντων) και φασματοφωτομετρία (για συγκεντρώσεις ανιόντων). Τα αποτελέσματα των παραπάνω πειραμάτων συνοψίζονται στα γραφήματα που παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους.

3.1.2 Διάταξη αντίστροφης ώσμωσης



Εικόνα 3.2: Διάταξη μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο

Η μεμβράνη που χρησιμοποιείται στη μονάδα RO είναι μια μεμβράνη FILMTEC XLE 25-40 η οποία είναι μια σύνθετη μεμβράνη λεπτής μεμβράνης πολυπεραζίνης, και είναι κατάλληλη για εμπορικά συστήματα επεξεργασίας νερού, υπηρεσίες τροφίμων, ιατρικά και ερευνητικά ιδρύματα και τουριστικές μονάδες (Aquaquote, 2018).

Πίνακας 3.3: Οι συγκεντρώσεις των σημαντικότερων ιόντων στο διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα με τη διάταξη αντίστροφης ώσμωσης

Ions	Συγκεντρώσεις, mg/l
K⁺	1.22
Na⁺	471.6
Ca⁺²	203.1
Mg⁺²	30.96

Cl⁻	1,128
SO₄⁻²	3,62

Ως παροχή στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης χρησιμοποιήθηκε το ρεύμα διήθησης του Πειράματος 5, σε συνθήκες λειτουργίας 75% απόδοση, 700L/h ανακυκλοφορία και pH = 6,0.

Στην αρχή κάθε πειράματος, το σύστημα λειτουργούσε για 10-15 λεπτά προκειμένου να επιτευχθούν σταθερές συνθήκες λειτουργίας. Οι συνθήκες λειτουργίας, που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3, διατηρήθηκαν σε όλα τα πειράματα.

Πίνακας 3.4: Συνθήκες λειτουργίας δοκιμών κλίμακας πάγκου σε μονάδα RO

Συνθήκες λειτουργίας		
		Πείραμα 6
Απόδοση Μεμβράνης		90%
		80%
Ροή παροχής	l/h	400
Ροή διηθήματος	l/h	360
		320
Ροή συμπυκνωμένου προϊόντος	l/h	40
		80
Θερμοκρασία λειτουργίας	°C	20
pH		5,9
Ανακυκλοφορία	l/h	0

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.4, εξετάστηκαν δύο διαφορετικά ποσοστά ανάκτησης για μηδενική ροή ανακυκλοφορίας ώστε να βρεθεί ο βέλτιστος όσον αφορά την επίτευξη των τριών στόχων που ειπώθηκαν παραπάνω στην υποενότητα 3.1.1.

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, συλλέχθηκαν δείγματα διηθήματος και συμπυκνώματος. Η τιμή pH ήταν ήδη 5,9 άρα δεν χρειάστηκε προσθήκη διαλύματος υδροχλωρικού οξέος, για να αποφευχθεί η χρήση αντικαθαλατωτικών κατά τη διάρκεια πειραμάτων. Σε αυτή τη μελέτη περίπτωσης θέλουμε να ανακτήσουμε NaCl υψηλής καθαρότητας από το συμπύκνωμα RO. Οπότε αποφεύγεται η χρήση αντικαθαλατωτικών μέσω ρύθμισης του pH.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα των διαδικασιών, σε πραγματικό χρόνο, μετρήθηκε η αγωγιμότητα των ροών εισόδου και εξόδου. Επιπλέον, δείγματα από τα ρεύματα εισόδου και εξόδου εξετάζονται με ατομική απορρόφηση (για συγκεντρώσεις κατιόντων) και φασματοφωτομετρία (για συγκεντρώσεις ανιόντων).

3.1.3 Ανάλυση δειγμάτων

3.1.3.1 Μέτρηση χλωριόντων Cl^- με Spectroquant Chloride Test kit της Merck

Αρχή μεθόδου

Η μέθοδος βασίζεται στην αντίδραση των χλωριόντων με θειοκυανιούχο υδράργυρο ($\text{Hg}(\text{SCN})_2$) για το σχηματισμό χλωριούχου υδράργυρου. Τα θειοκυανιούχα ιόντα αντιδρούν με τα ιόντα σιδήρου (III) για το σχηματισμό κόκκινου θειοκυανιούχου σιδήρου (III) ο οποίος προσδιορίζεται φωτομετρικά.

Διαδικασία

Χρησιμοποιείται το Chloride Test kit της Merck με κωδικό 1.14897.0001. Τα θολά δείγματα διηθούνται με φίλτρα μεμβράνης 0.45 μm . Το pH του δείγματος πρέπει να είναι μεταξύ 1-12. Εάν το δείγμα δεν είναι στο επιθυμητό pH τότε γίνεται ρύθμισή με σταγόνες HNO_3 ή NH_4OH . Πραγματοποιείται κατάλληλη αραίωση ώστε η τελική συγκέντρωση των χλωριόντων του δείγματος να είναι μέσα στα επιθυμητά όρια.

Για τη μέτρηση στην περιοχή 2.5 – 25.0 mg/L Cl^- :

Σε ένα φιαλίδιο ανάπτυξης χρώματος:

1. Μεταγγίζουμε τα 5 mL του προετοιμαζόμενου δείγματος.
2. Προσθέτουμε 2.5 mL αντιδραστηρίου Cl^- και αναμιγνύουμε.
3. Προσθέτουμε 0.5 mL αντιδραστηρίου Cl^- και αναμιγνύουμε.
4. Αναμένουμε 1 λεπτό και φωτομετρείται στην κυψελίδα των 10 mm.

Για τη μέτρηση στην περιοχή 10 – 250 mg/L Cl^- :

Σε ένα φιαλίδιο ανάπτυξης χρώματος:

1. Μεταγγίζουμε τα 1 mL του προετοιμαζόμενου δείγματος.
2. Προσθέτουμε 2.5 mL αντιδραστηρίου Cl^- και αναμιγνύουμε.

3. Προσθέτουμε 0.5 mL αντιδραστηρίου Cl^{-2} και αναμιγνύουμε.
4. Αναμένουμε 1 λεπτό και φωτομετρείται στην κυψελίδα των 10 mm.

3.1.3.2 Μέτρηση θειικών ιόντων SO_4^{2-} με Spectroquant Sulfate Test kit της Merck

Αρχή μεθόδου

Τα θειικά ιόντα αντιδρούν με τα ιόντα βάριου να σχηματίζουν το ελαφρώς διαλυτό θειικό βάριο. Η προκύπτουσα θολότητα μετριέται στο φωτόμετρο (θολωσιμετρική μέθοδος).

Διαδικασία

Πρώτα ελέγχεται η τιμή του pH του δείγματος η οποία πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 2-10. Η διόρθωση του pH γίνεται με το υδροχλωρικό οξύ ή διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου. Τα θολά δείγματα διηθούνται από μεμβράνη 0.45 μm . Το διήθημα συλλέγεται και αραιώνεται κατάλληλα (εάν αυτό απαιτείται) ώστε το τελικό δείγμα να είναι μέσα στο εύρος των τιμών της μεθόδου. Η περιοχή μέτρησης του Sulfate Cell Test με κωδικό 1.02537.0001 είναι 5-250 mg/L.

Επόμενα βήματα:

1. Στα έτοιμα φιαλίδια ανάπτυξης χρώματος προσθέτουμε 5 mL διηθημένου δείγματος κατάλληλα αραιωμένου.
2. Προσθέτουμε ένα κουταλάκι αντιδραστηρίου $\text{SO}_4\text{-1K}$, πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
3. Ο χρόνος αναμονής, για την μέτρηση αμέσως μετά την προσθήκη του αντιδραστηρίου $\text{SO}_4\text{-1K}$ πρέπει να είναι ακριβώς 2 min.

3.1.3.3 Προσδιορισμός των κύριων κατιόντων σε δείγμα νερού με FAAS



Εικόνα 3.3: Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης Agilent AA240FS

Αρχή μεθόδου

Ο προσδιορισμός των μετάλλων σε υγρά δείγματα πραγματοποιείται με Φασματοφωτόμετρο Ατομικής Απορρόφησης με Φλόγα (FAAS).

Η ατομική απορρόφηση βασίζεται στη μέτρηση της ακτινοβολίας χαρακτηριστικού μήκους κύματος που απορροφούν οι ατομοποιημένες μορφές μετάλλων που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση. Η απορρόφηση υπακούει στο νόμο των Beer-Lambert, που διατυπώνεται ως εξής:

$$A = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right) = -\epsilon \cdot C \cdot d$$

Όπου: A = απορρόφηση

I = η ένταση της ακτινοβολίας που διαπερνά στο νέφος

I₀ = η ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο νέφος

ε = μοριακός συντελεστής απορρόφησης

d = οπτική διαδρομή

C = συγκέντρωση του προσδιοριζόμενου στοιχείου.

Στη σχέση αυτή βασίζεται ο ποσοτικός προσδιορισμός με τη FAAS, χωρίς άμεσο υπολογισμό της συγκέντρωσης, αλλά με τη βοήθεια καμπύλης αναφοράς, που κατασκευάζεται με μέτρηση της απορρόφησης διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης.

Προετοιμασία προτύπων διαλυμάτων για κατασκευή καμπύλης βαθμονόμησης

Για την παρασκευή προτύπων βαθμονόμησης χρησιμοποιούνται πρότυπα διαλύματα, τα οποία είναι εμπορικά διαθέσιμα και έχουν συγκέντρωση 1000 mg/L.

Πίνακας 3.5: Προετοιμασία πρότυπων διαλυμάτων

Στοιχείο	Πρότυπο (ppm)	μL/100mL
Na	0.1	10
	0.2	20
	0.4	40
K	0.2	20
	0.4	40
	0.8	80
Mg	0.1	10
	0.2	20
	0.4	40
Ca	0.25	25
	0.5	50
	1	100

Με χρήση πιπέτας μεταφέρονται σε ογκομετρικές φιάλες των 100 mL συγκεκριμένες ποσότητες από το πρότυπο εμπορίου (1000 mg/L) του κάθε μετάλλου που θέλουμε να μετρήσουμε και γίνεται αραιώση στη χαραγή με προσθήκη 1.5 mL νιτρικού οξέος 65%. Χρησιμοποιώντας ως αραιωτικό διάλυμα HNO₃ συγκέντρωσης 65% ώστε να δημιουργήσουμε όξινο περιβάλλον κατά την ατομοποίηση του προπαρασκευαστικού διαλύματος, πετυχαίνοντας με αυτόν τον τρόπο μεγαλύτερη απόδοση του οργάνου.

Ανάλυση FAAS

1. Αρχικά, ενεργοποιείται η μονάδα FAAS. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να ζεσταθεί ενώ προετοιμάζονται τα πρότυπα βαθμονόμησης και οι αραιώσεις δειγμάτων.
2. Αραιώνονται τα δείγματα 1: 500, 1: 250, 1: 100 και 1: 1 και αναλύεται το κάθε δείγμα από χαμηλή σε υψηλή συγκέντρωση έως ότου προσδιοριστεί ποιες αραιώσεις είναι κατάλληλες για ανάλυση. Κάθε δείγμα αναλύεται δύο φορές.

Υπολογισμοί-παρουσίαση αποτελεσμάτων

Σε περίπτωση αραίωσης υγρού δείγματος ακολουθούνται οι παρακάτω υπολογισμοί για την εύρεση της περιεκτικότητας του δείγματος σε μέταλλο:

$$C_{\text{μεταλ.}} = C_{\text{AAS}} \cdot X_{\text{αραίωσης}}$$

Όπου:

C = συγκέντρωση μετάλλου στο δείγμα (σε ppm)

CAAS = συγκέντρωση μετάλλου στο διάλυμα αραίωσης (σε ppm)

X = συντελεστής αραίωσης

3.2 Πείραμα 1 – Απόδοση 75%, με μεταβαλλόμενη ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 7,3 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης

Στόχος πειράματος:

Στο παρόν πείραμα μελετάται πως η μεταβολή της ανακυκλοφορίας επηρεάζει το νερό διήθησης και το νερό συμπύκνωσης.

Περιγραφή πειράματος:

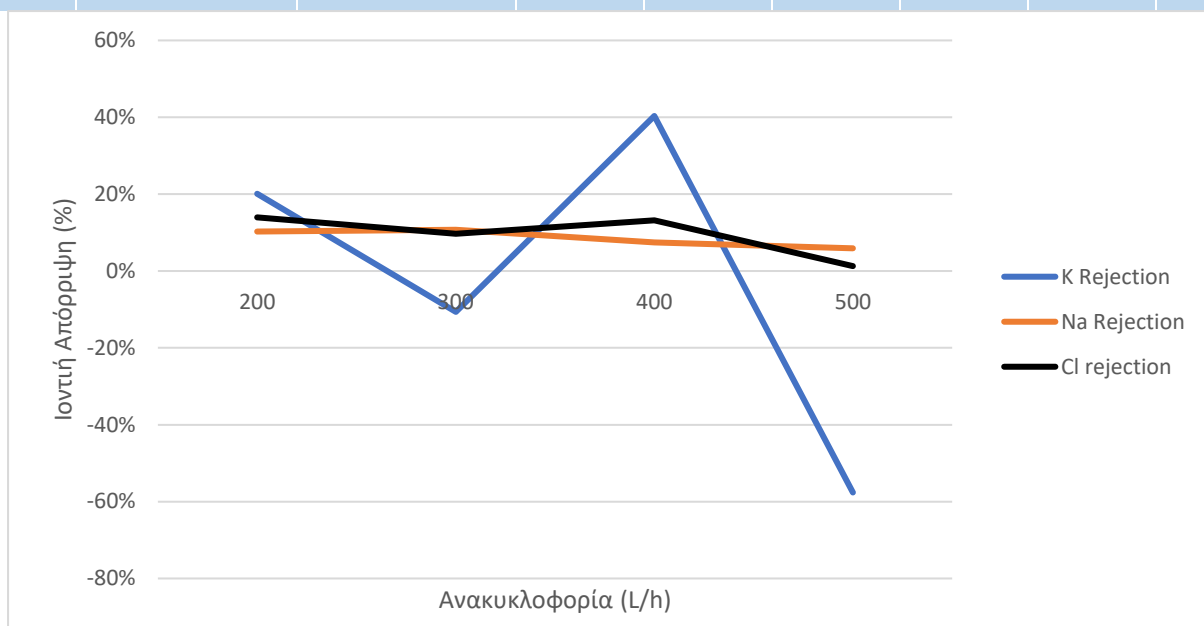
Αρχικά, στο πρώτο πείραμα, κρατήσαμε σταθερή την απόδοση της μεμβράνης νανοδιήθησης τύπου NF 270 4040, δηλαδή η απόκτηση του διηθήματος κατά το πείραμα ήταν σταθερή στο 75% ως προς την τροφοδοσία της μεμβράνης, μεταβάλλοντας μόνο την ανακυκλοφορία σταδιακά από 200 L/h σε 300 L/h, ακολούθως σε 400 L/h και τέλος σε 500 L/h σε σταθερό pH τροφοδοσίας ίσο με 7,3.

Μετρήσεις εργαστηρίου:

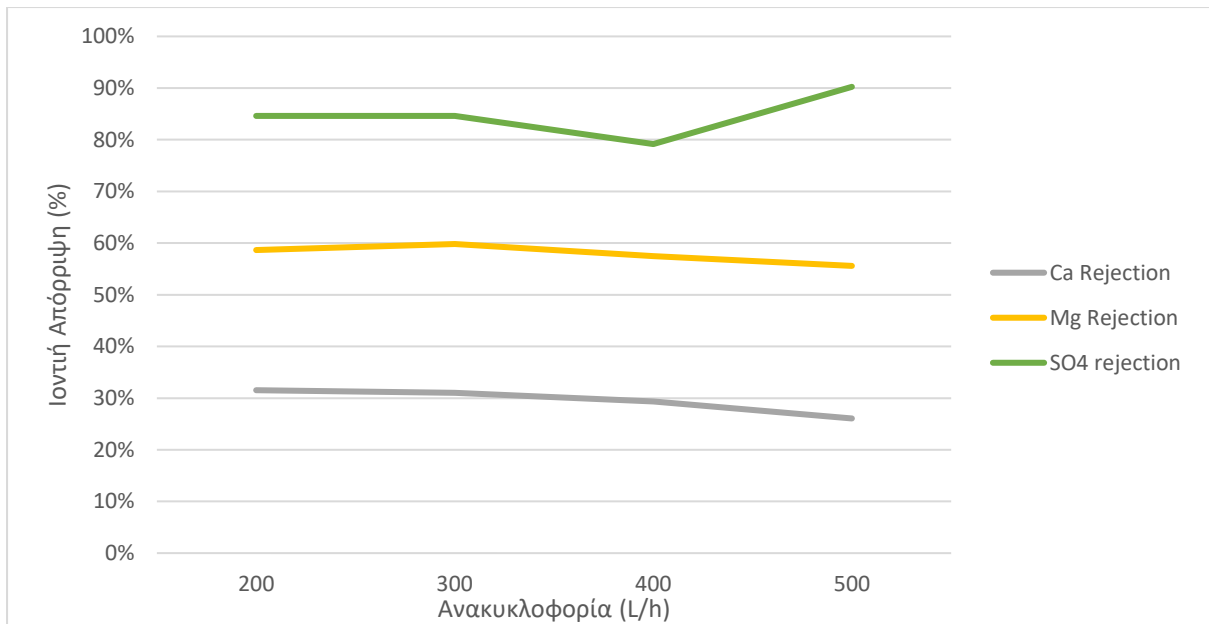
Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων του πειράματος

Απόδοση	Ανακυκλοφορία	Δείγμα από	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO4
75%	200	Παροχή	2.19	401.03	190.6	35.485	860	39
		Διήθημα	2.255	484.915	371.95	98.88	660	133
		Συμπυκνωμένο	1.75	360.005	130.5	14.675	740	6
75%	300	Παροχή	4.045	407.485	190.85	37.26	825	39
		Διήθημα	5.995	498.585	363.95	98.8	1105	129
		Συμπυκνωμένο	4.475	363.755	131.65	14.97	745	6
75%	400	Παροχή	2.64	436.765	197.4	36.27	945	48
		Διήθημα	1.995	520.37	377.1	99.87	1080	150
		Συμπυκνωμένο	1.575	404.115	139.45	15.425	820	10
75%	500	Παροχή	1.475	399.85	190.7	34.845	785	41
		Διήθημα	2.355	494.81	368.6	98.715	1100	137
		Συμπυκνωμένο	2.325	376.245	141	15.475	775	4
75%	200	Παροχή	3.02	515.04	211.4	34.295	1050	50
		Διήθημα	2.725	618.285	404.2	101.15	1110	140
		Συμπυκνωμένο	2.145	476.875	158.9	15.27	865	12

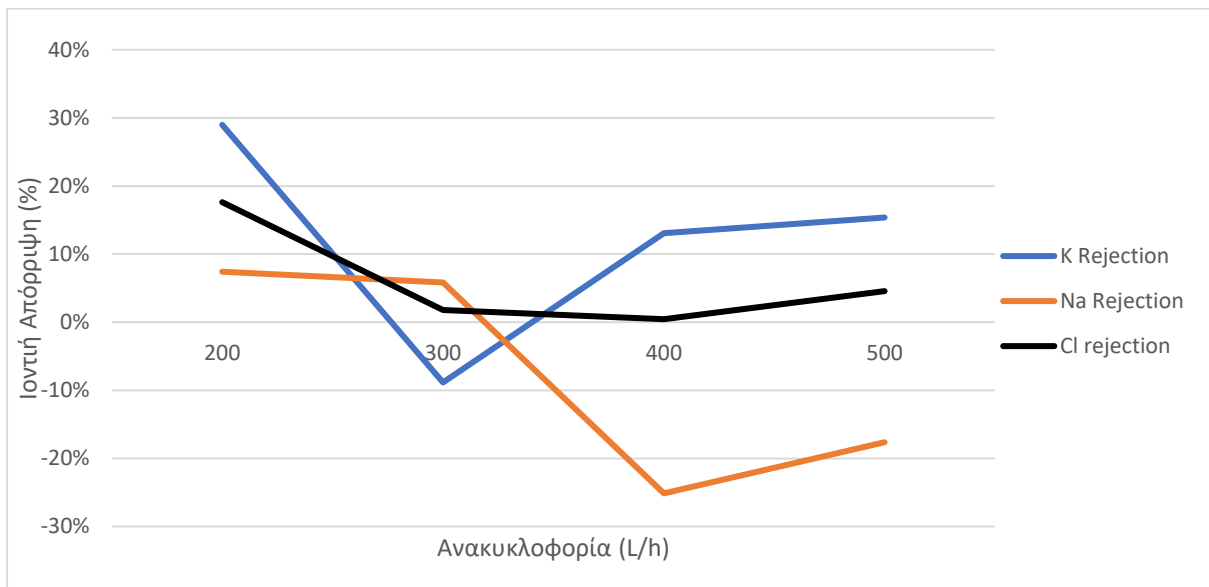
75%	300	Παροχή	2.6	463.25	208.8	34.34	845	50
		Διήθημα	3.15	638.585	411.5	99.845	1375	145
		Συμπυκνωμένο	2.83	436.185	141.9	13.355	830	5
75%	400	Παροχή	3.255	383.025	233.7	36.455	1140	51
		Διήθημα	2.61	632.26	386.4	95.05	1175	142
		Συμπυκνωμένο	2.83	479.295	154.1	15.145	1135	12
75%	500	Παροχή	2.34	385.26	218.4	35.695	880	47
		Διήθημα	3.115	609.685	405.6	97.915	1235	145
		Συμπυκνωμένο	1.98	453.075	206.5	15.85	840	5



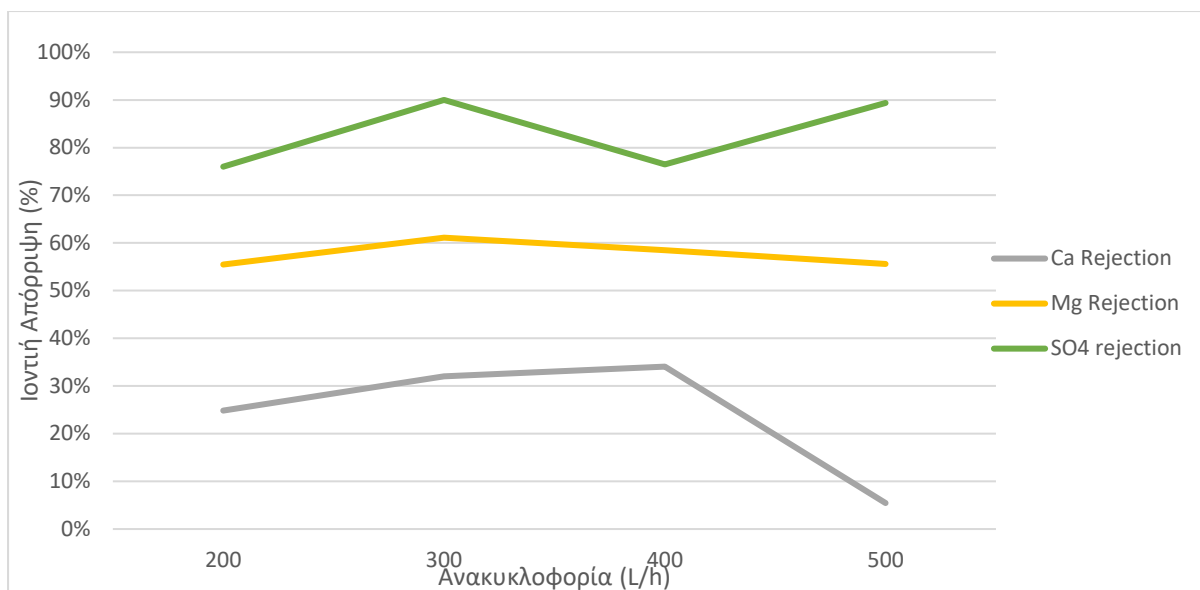
Διάγραμμα 3.2: Απόρριψη μονοσθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 75% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.



Διάγραμμα 3.3: Απόρριψη διθεθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 75% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.



Διάγραμμα 3.4: Απόρριψη μονοσθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 75% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.



Διάγραμμα 3.5: Απόρριψη δισηθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 75% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) έχουν μια μικρή αύξηση στην απόρριψη για ανακυκλοφορία 300 και 500 L/h. Για τα ιόντα μαγνησίου (Mg^{2+}) και ασβεστίου (Ca^{2+}) παρατηρούμε ότι έχουν μικρή αύξηση στην απόρριψη τους για ανακυκλοφορία 300 και 400 L/h. Για τα ιόντα καλίου (K) ότι έχουν μείωση της απόρριψης για 300 L/h και μια μεγάλη αύξηση απόρριψης στα 400 L/h. Τα ιόντα νατρίου (Na^+) και χλωρίου (Cl^-) έχουν μια σταθερή απόρριψη της τάξης του 10% για κάθε ανακυκλοφορία εκτός στα 500 L/h που έχουν σχεδόν μηδενική απόρριψη.

3.3 Πείραμα 2 - Απόδοση 60%, με μεταβαλλόμενη ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 7,3 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης

Στόχος πειράματος:

Στο παρό πείραμα μελετάται πως η μεταβολή της απόδοσης επηρεάζει το νερό διήθησης και το νερό συμπύκνωσης συγκριτικά με το προηγούμενο πείραμα όπου η απόδοση ήταν μεγαλύτερη κατά 15%.

Περιγραφή πειράματος:

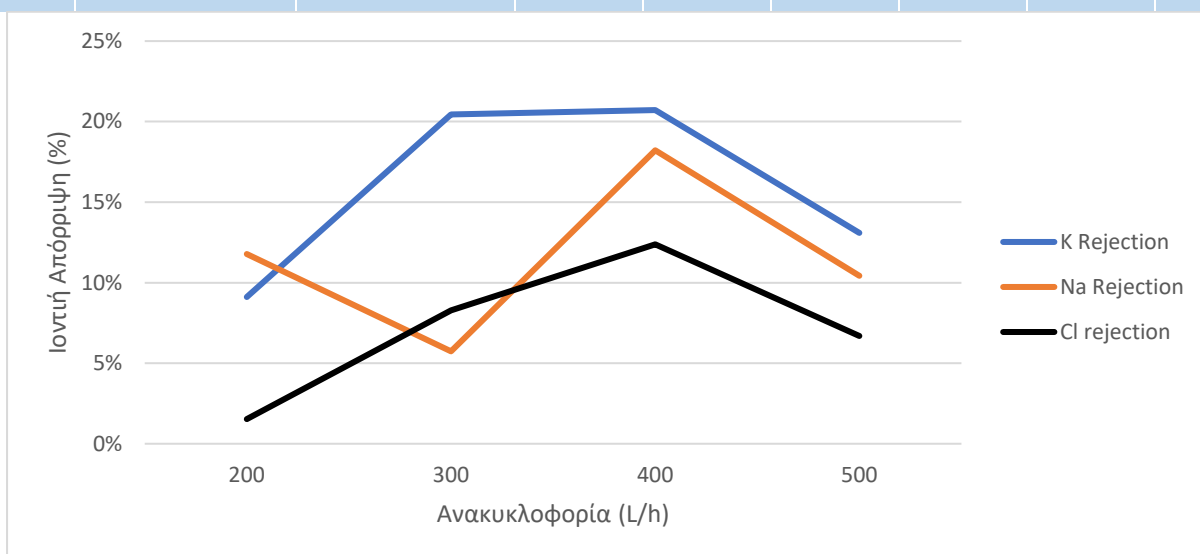
Στο δεύτερο πείραμα, κρατήσαμε σταθερή την απόδοση της μεμβράνης νανοδιήθησης, δηλαδή την απόκτηση του διηθήματος σε 60% μεταβάλλοντας και πάλι μόνο την ανακυκλοφορία σταδιακά από 200 L/h σε 300 L/h, ακολούθως σε 400 L/h και τέλος 500 L/h σε σταθερό pH τροφοδοσίας ίσο με 7,3.

Μετρήσεις εργαστηρίου:

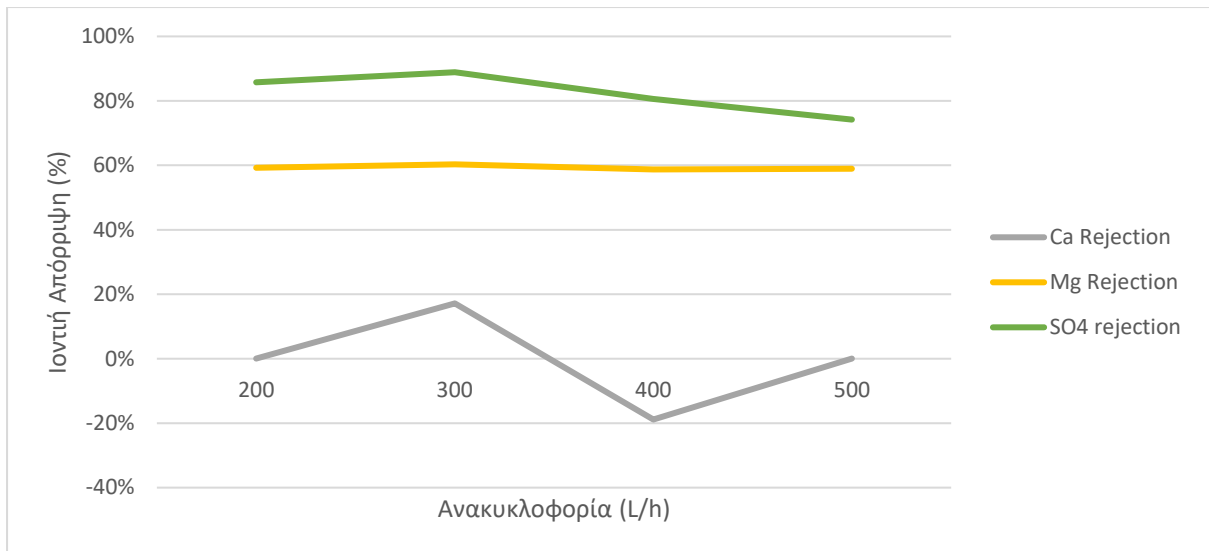
Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων του πειράματος

Απόδοση	Ανακυκλοφορία	Δείγμα από	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO4
60%	200	Παροχή	2.195	515.51	211	35.72	980	35
		Διήθημα	2.625	587.425	287.3	62.35	995	78
		Συμπυκνωμένο	1.995	454.825	811	14.555	965	5
60%	300	Παροχή	2.09	517.03	207	34.625	955	35
		Διήθημα	3.385	595.64	295.1	63.235	1040	82
		Συμπυκνωμένο	1.88	468.705	145.5	14.83	920	2
60%	400	Παροχή	2.2	339.66	206.2	35.215	725	36
		Διήθημα	2.245	411.46	282.4	60.94	815	82
		Συμπυκνωμένο	1.75	320.17	170.8	13.975	665	4
60%	500	Παροχή	2.175	335.43	201.6	34.49	630	32
		Διήθημα	2.085	383.785	489.1	63.13	710	80
		Συμπυκνωμένο	2.01	307.84	146	14.685	565	3
60%	200	Παροχή	1.955	610.79	202	33.675	1050	36
		Διήθημα	1.98	667.325	1688.4	65.7	1240	76
		Συμπυκνωμένο	1.55	499.515	240.1	13.9	920	7

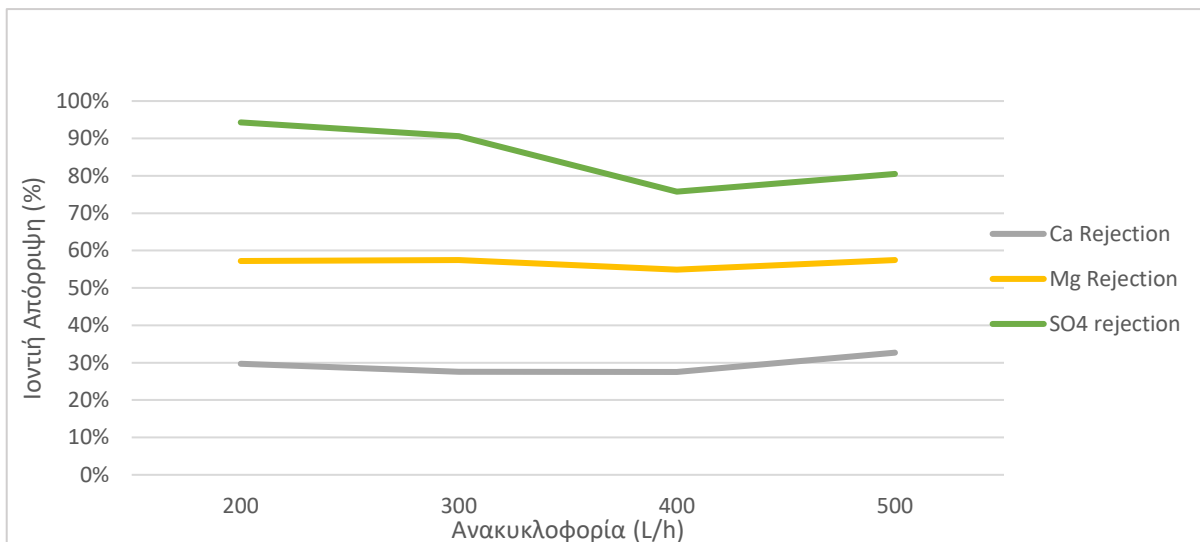
60%	300	Παροχή	2.095	624.83	206.4	34.195	1140	33
		Διήθημα	2.11	704.93	296.2	61.715	1235	73
		Συμπυκνωμένο	1.61	578.61	149.6	15.425	1040	8
60%	400	Παροχή	1.91	561.415	230.4	35.84	970	31
		Διήθημα	2.13	639.67	296.2	63.465	1070	73
		Συμπυκνωμένο	1.66	502.815	582.8	14.725	905	8
60%	500	Παροχή	1.79	562.12	213.6	35.905	975	41
		Διήθημα	2.085	642.59	287.7	62.945	1105	75
		Συμπυκνωμένο	2.55	508.01	143.8	15.275	880	8



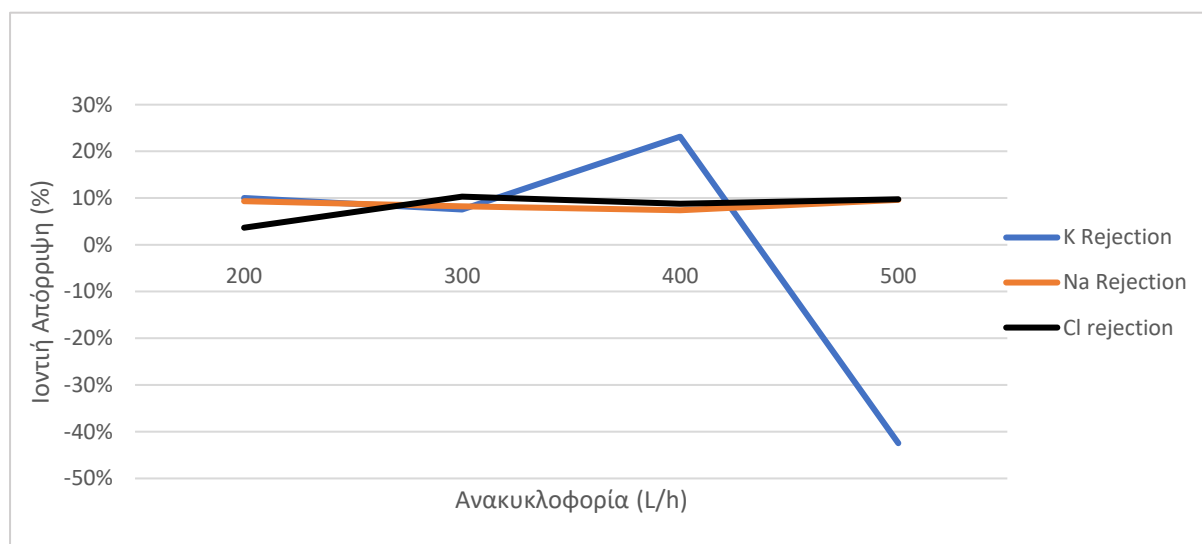
Διάγραμμα 3.6: Απόρριψη μονοσθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 60% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.



Διάγραμμα 3.7: Απόρριψη δισηθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 60% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.



Διάγραμμα 3.8: Απόρριψη δισθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 60% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.



Διάγραμμα 3.9: Απόρριψη μονοσθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 60% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 200 L/h, 300 L/h, 400 L/h και 500 L/h σε pH=7,3.

Παρατηρούμε ότι τα διαγράμματα ακολουθούν το ίδιο μοτίβο σε γενικές γραμμές. Τα θειικά ιόντα έχουν μια μικρή μείωση στην απόρριψη για ανακυκλοφορίες 400 L/h και 500 L/h. Για τα ιόντα μαγνησίου παρατηρούμε μια σταθερή απόρριψη της τάξης 60%. Για τα ιόντα ασβεστίου εξάγουμε συμπεράσματα μόνο από την δεύτερη γραφική και παρατηρούμε ότι έχουν σταθερή απόρριψη της τάξεως 30% με ανακυκλοφορία 200 L/h, 300 L/h και 400 L/h ενώ για 500 L/h πλησιάζουν απόρριψη κοντά στο 40%. Για τα ιόντα καλίου ότι παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση στην απόρριψης τους για 300 και 400 L/h της τάξεως του 20% ενώ για ανακυκλοφορίες 200 L/h και 500 L/h κοντά στο 15%. Τα ιόντα νατρίου έχουν μια σταθερή απόρριψη της τάξης του 10% για όλες τις ανακυκλοφορίες. Για τα ιόντα χλωρίου παρατηρούμε ελάχιστη απόρριψη 4% για ανακυκλοφορία 200L/h και ακολούθως αυξάνεται κοντά στο 10% με ελάχιστα καλύτερες τις ανακυκλοφορίες 300 L/h και 400 L/h.

3.4 Πείραμα 3 – Μεταβαλλόμενη απόδοση, χωρίς ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 7,3 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης

Στόχος πειράματος:

Στο παρών πείραμα μελετάται πως η μεταβολή της απόδοσης επηρεάζει το νερό διήθησης και το νερό συμπύκνωσης.

Περιγραφή πειράματος:

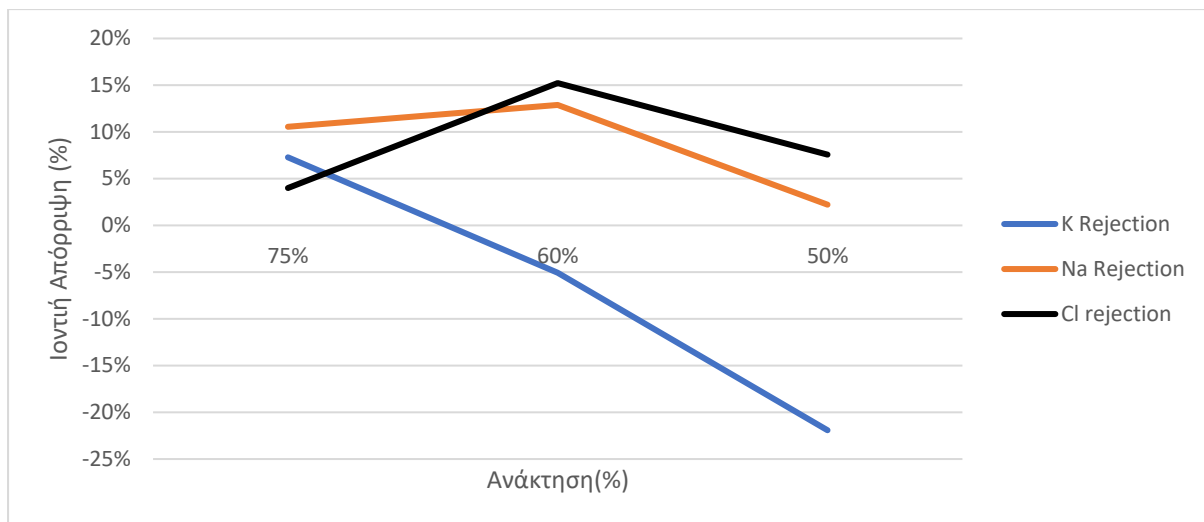
Στο τρίτο πείραμα, δεν χρησιμοποιήθηκε καθόλου ανακυκλοφορία και για αυτό μελετήθηκε καθαρά η περίπτωση μεταβολής της απόδοσης της μεμβράνης νανοδιήθησης, δηλαδή η μεταβολή της ποσότητας απόκτηση του διηθήματος από 75% σε 60% και τέλος σε 50% σε σταθερό pH τροφοδοσίας ίσο με 7,3.

Μετρήσεις εργαστηρίου:

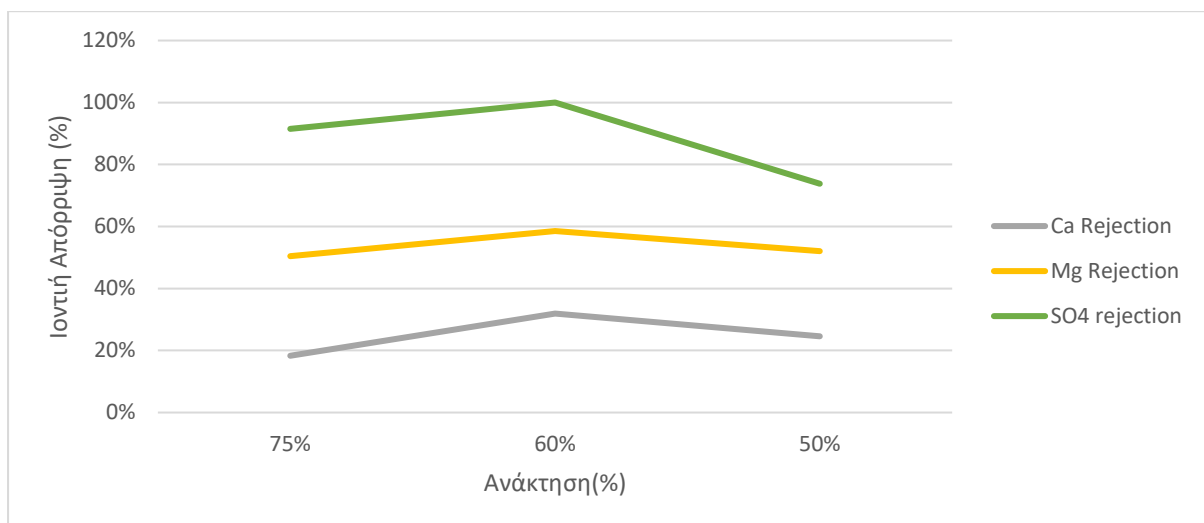
Πίνακας 3.8: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων του πειράματος

Απόδοση	Ανακυκλοφορία	Δείγμα από	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO4
75%	0	Παροχή	2.54	559.47	227.6	36.35	875	47
		Διήθημα	3.9	568.57	396	100.485	995	144
		Συμπυκνωμένο	2.355	500.36	185.9	18.015	840	4
75%	0	Παροχή	3.685	548.6	297.5	47.055	870	38
		Διήθημα	2.93	505.09	366.2	87.85	1230	125
		Συμπυκνωμένο	2.095	422	194.2	19.44	800	7
60%	0	Παροχή	1.88	565.49	223	36.66	985	41
		Διήθημα	3.21	620.29	312.4	64.135	1100	87
		Συμπυκνωμένο	1.975	492.605	151.8	15.195	835	0
60%	0	Παροχή	1.675	374.355	191.2	31.27	700	38
		Διήθημα	3.13	513.22	346.1	67.27	855	87
		Συμπυκνωμένο	2.395	376.72	750.2	17.03	655	8
50%	0	Παροχή	2.03	481.58	219.6	33.69	860	42
		Διήθημα	2.78	557.125	2088.8	53.275	940	74
		Συμπυκνωμένο	2.475	470.905	165.6	16.15	795	11

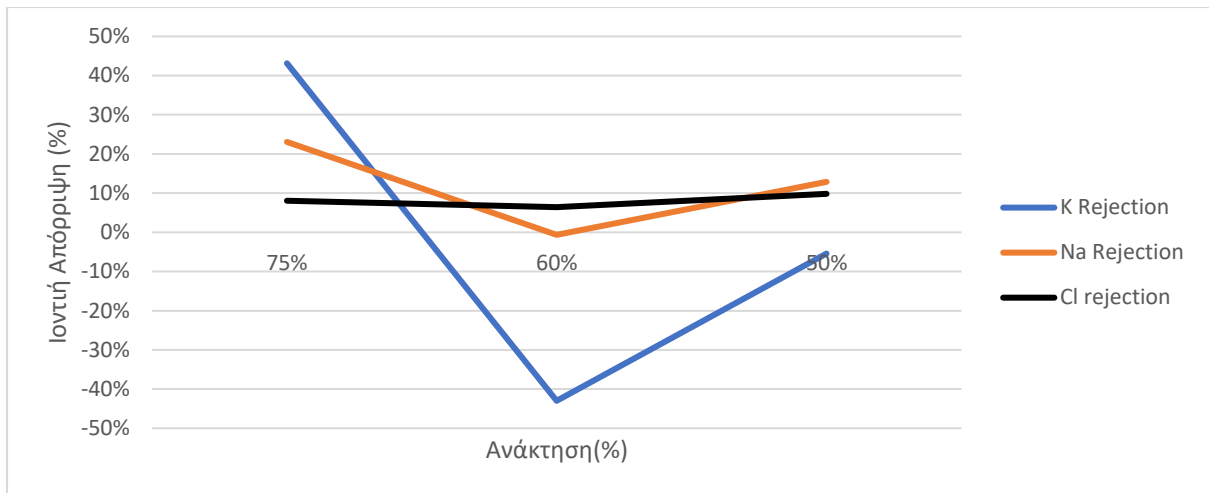
50%	0	Παροχή	2.225	516.815	224.7	36.23	865	40
		Διήθημα	2.165	577.495	281.7	55.625	1005	85
		Συμπυκνωμένο	2.345	450.23	154.7	15.475	780	3



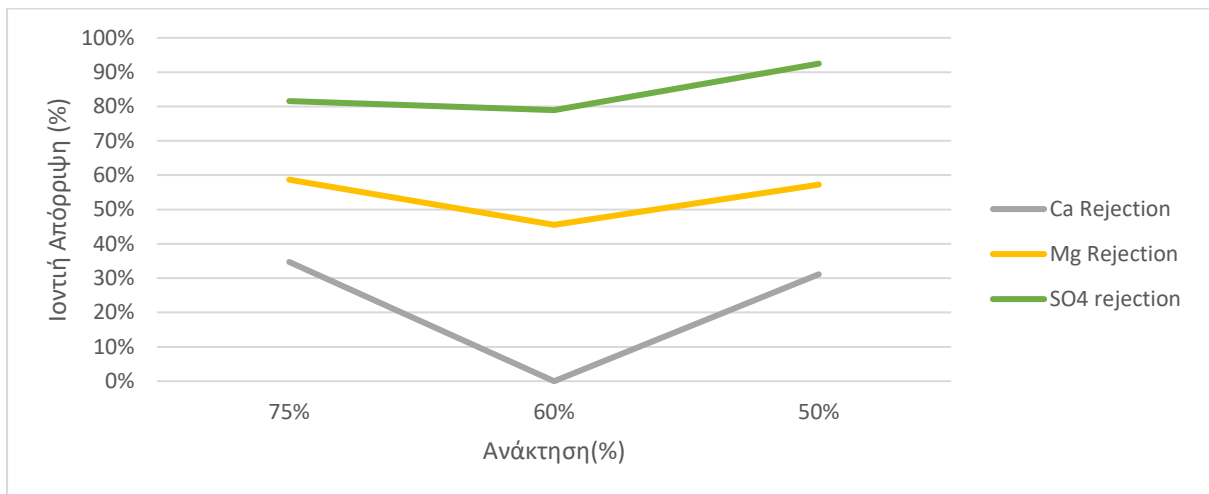
Διάγραμμα 3.10: Απόρριψη μονοσθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης χωρίς ανακυκλοφορία με μεταβλητή απόδοση μεμβράνης σε 75%, 60% και 50% σε pH=7.3



Διάγραμμα 3.11: Απόρριψη δισθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης χωρίς ανακυκλοφορία με μεταβλητή απόδοση μεμβράνης σε 75%, 60% και 50% σε pH=7.3.



Διάγραμμα 3.12: Απόρριψη μονοσθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης χωρίς ανακυκλοφορία με μεταβλητή απόδοση μεμβράνης σε 75%, 60% και 50% σε pH=7,3.



Διάγραμμα 3.13: Απόρριψη δισθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης χωρίς ανακυκλοφορία με μεταβλητή απόδοση μεμβράνης σε 75%, 60% και 50% σε pH=7,3.

Παρατηρούμε ότι τα διαγράμματα αν και έχουν σχετικά παρόμοιες τιμές, παρουσιάζεται γενικά μια αύξηση της απόρριψης ιόντων για ανάκτηση 60% στην πρώτη γραφική παράσταση ενώ αντίθετα στην δεύτερη γραφική παράσταση για την ίδια ανάκτηση μια γενική μείωση της απόρριψης ιόντων. Τα θειικά ιόντα έχουν απόρριψη της τάξεως 80-95%. Στα ιόντα μαγνησίου παρατηρούμε απόρριψη της τάξεως 45-60%. Για τα ιόντα ασβεστίου απόρριψη της τάξεως του 20% με μια αύξηση στο 30% για ανάκτηση 60%. λαμβάνοντας υπόψιν μόνο την πρώτη γραφική παράσταση. Για τα ιόντα καλίου ότι παρουσιάζουν μια μικρή αρνητική στην απόρριψη για 60 και 50% ανάκτηση ενώ μόνο για 75% έχουμε μια πολύ μικρή θετική απόρριψη. Τα ιόντα νατρίου για ανάκτηση 75% έχουν απόρριψη 10%, στην ανάκτηση 60% παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση της απόρριψης τους ενώ για ανάκτηση 50% ή απόρριψη τους μειώνεται κοντά στο 1%. Τα ιόντα χλωρίου παρατηρούμε μια σταθερή απόρριψη της τάξεως του 5-10%.

3.5 Πείραμα 4 - Μεταβαλλόμενη απόδοση, χωρίς ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 6,0 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης

Στόχος πειράματος:

Στο παρόν πείραμα μελετάται πως η μεταβολή του pH επηρεάζει την ποιότητα του νερού διήθησης και του νερού συμπύκνωσης, καθώς και την προστασία της μεμβράνης, αποφεύγοντας προβλήματα λειτουργίας και διαλυτότητας σε σύγκριση με το Πείραμα 3.

Περιγραφή πειράματος:

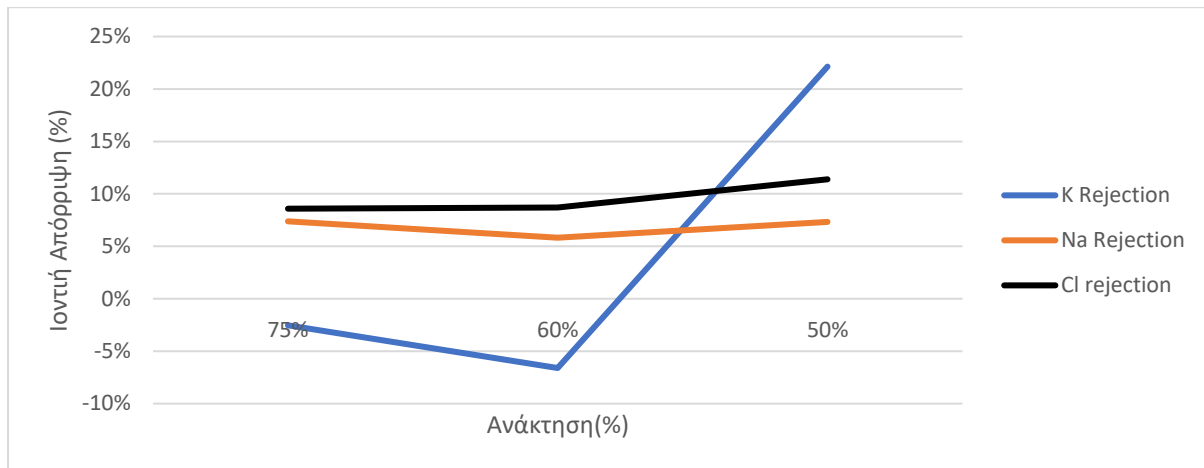
Στο τέταρτο πείραμα, δεν χρησιμοποιήθηκε καθόλου ανακυκλοφορία όπως και στο πείραμα 3, με μεταβολή της απόδοσης της μεμβράνης νανοδιήθησης από 75% σε 60% και τέλος σε 50%. Η διαφορά με το πείραμα 3 είναι ότι το pH τροφοδοσίας μειώθηκε (έγινε πιο όξινο) από 7.3 σε 6.0.

Μετρήσεις εργαστηρίου:

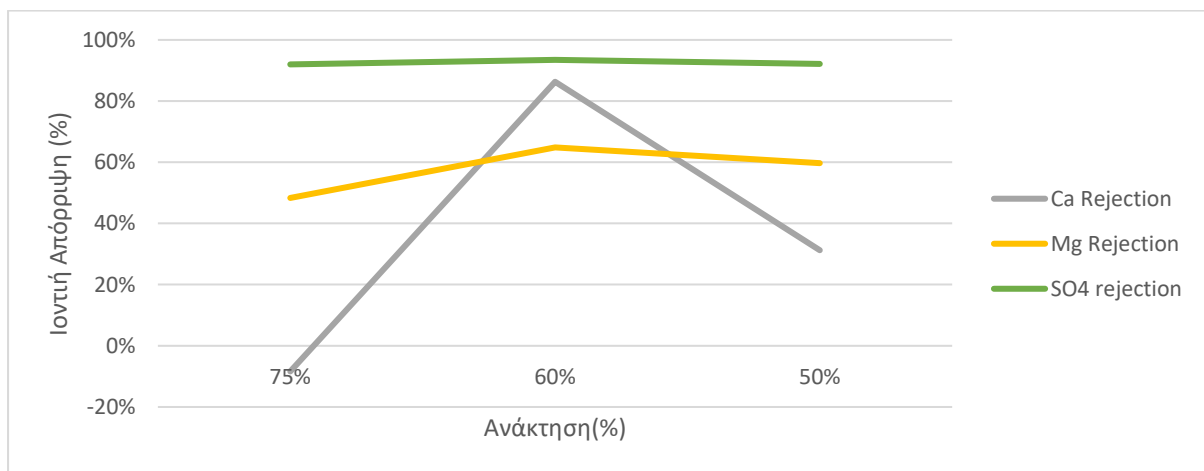
Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων του πειράματος

Απόδοση	Ανακυκλοφορία	Δείγμα από	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO4
75%	0	Παροχή	1.58	500.5	200.6	34.175	990	50
		Διήθημα	1.805	547.7	312.4	81.3	1225	128
		Συμπυκνωμένο	1.62	463.555	217.4	17.655	905	4
75%	0	Παροχή	1.92	489.645	212.8	33.62	1000	41
		Διήθημα	2.08	572.765	337.4	85.395	1340	134
		Συμπυκνωμένο	1.73	484.45	157.2	17.18	615	4
60%	0	Παροχή	1.665	495	1033.1	41.37	920	46
		Διήθημα	1.94	570.205	281	63.43	1145	84
		Συμπυκνωμένο	1.775	466.195	141.3	14.54	840	3
60%	0	Παροχή	1.56	507.315	203.3	33.935	1035	39
		Διήθημα	1.825	527.97	269.1	59.34	1130	79
		Συμπυκνωμένο	1.55	456.62	175.2	15.055	825	1
50%	0	Παροχή	1.92	484.285	206.3	33.83	1010	38
		Διήθημα	1.74	510.165	254.6	50.09	1085	65
		Συμπυκνωμένο	1.495	448.76	141.8	13.625	895	3

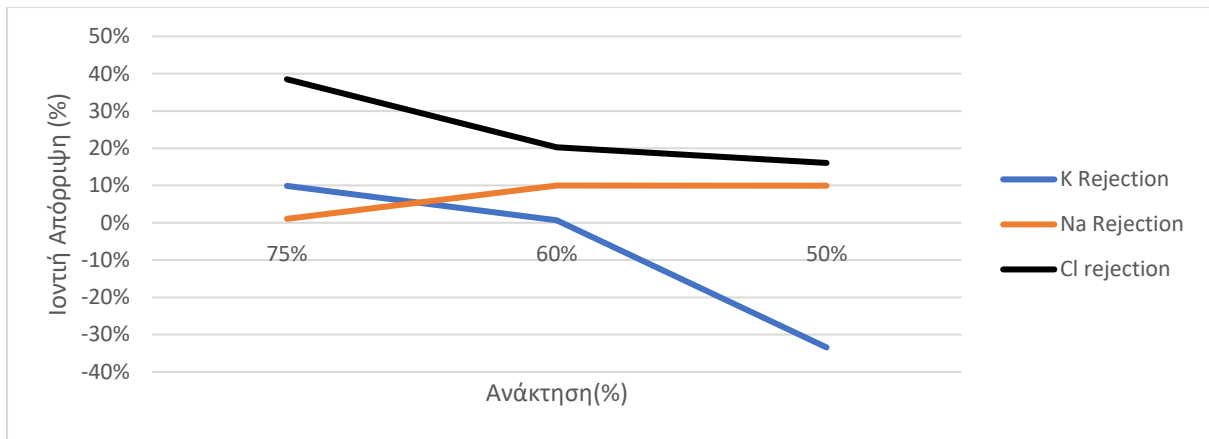
50%	0	Παροχή	1.645	507.225	234	34.98	1090	36
		Διήθημα	1.795	513.515	250.4	51.805	1190	67
		Συμπυκνωμένο	2.195	456.87	148.9	14.61	915	6



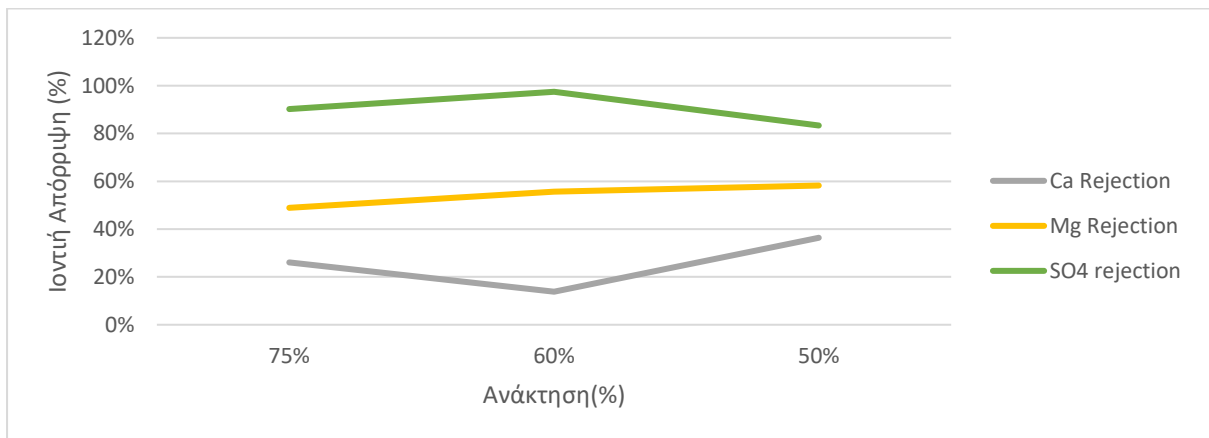
Διάγραμμα 3.14: Απόρριψη μονοσθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης χωρίς ανακυκλοφορία με μεταβλητή απόδοση μεμβράνης σε 75%, 60% και 50% σε pH=6,0.



Διάγραμμα 3.15: Απόρριψη δισθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης χωρίς ανακυκλοφορία με μεταβλητή απόδοση μεμβράνης σε 75%, 60% και 50% σε pH=6,0.



Διάγραμμα 3.16: Απόρριψη μονοσθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης χωρίς ανακυκλοφορία με μεταβλητή απόδοση μεμβράνης σε 75%, 60% και 50% σε pH=6,0.



Διάγραμμα 3.17: Απόρριψη δισθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης χωρίς ανακυκλοφορία με μεταβλητή απόδοση μεμβράνης σε 75%, 60% και 50% σε pH=6,0.

Παρατηρούμε ότι τα διαγράμματα αν και έχουν σχετικά παρόμοιες τιμές, εκτός από τις απορρίψεις στα ιόντα ασβεστίου για 60% ανάκτηση, χλωρίου για 75% ανάκτηση και καλίου για 50% ανάκτηση. Τα θεϊκά ιόντα έχουν απόρριψη της τάξεως 90%. Στα ιόντα μαγνησίου παρατηρούμε αύξηση της απόρριψης όσο μειώνεται η ανάκτηση από τα 45 % προς 60%. Για τα ιόντα ασβεστίου απόρριψη της τάξεως του 20% με μια αύξηση στο 30% για ανάκτηση 60%. λαμβάνοντας υπόψιν μόνο την πρώτη γραφική παράσταση. Για τα ιόντα καλίου ότι παρουσιάζουν μια μικρή αρνητική στην απόρριψη για 60 και 50% ανάκτηση ενώ μόνο για 75% έχουμε μια πολύ μικρή θετική απόρριψη. Τα ιόντα νατρίου για ανάκτηση 75% έχουν απόρριψη 10%, στην ανάκτηση 60% παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση της απόρριψης τους ενώ για ανάκτηση 50% ή απόρριψη τους μειώνεται κοντά στο 1%. Τα ιόντα χλωρίου παρατηρούμε να έχουν μια σταθερή απόρριψη της τάξεως του 5-10%.

3.6 Πείραμα 5 - Απόδοση 75%, με μεταβαλλόμενη ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 6,0 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης

Στόχος πειράματος:

Στο παρόν πείραμα μελετάται πως η μεταβολή του pH επηρεάζει το νερό διήθησης και το νερό συμπύκνωσης σε σύγκριση με το Πείραμα 1.

Περιγραφή πειράματος:

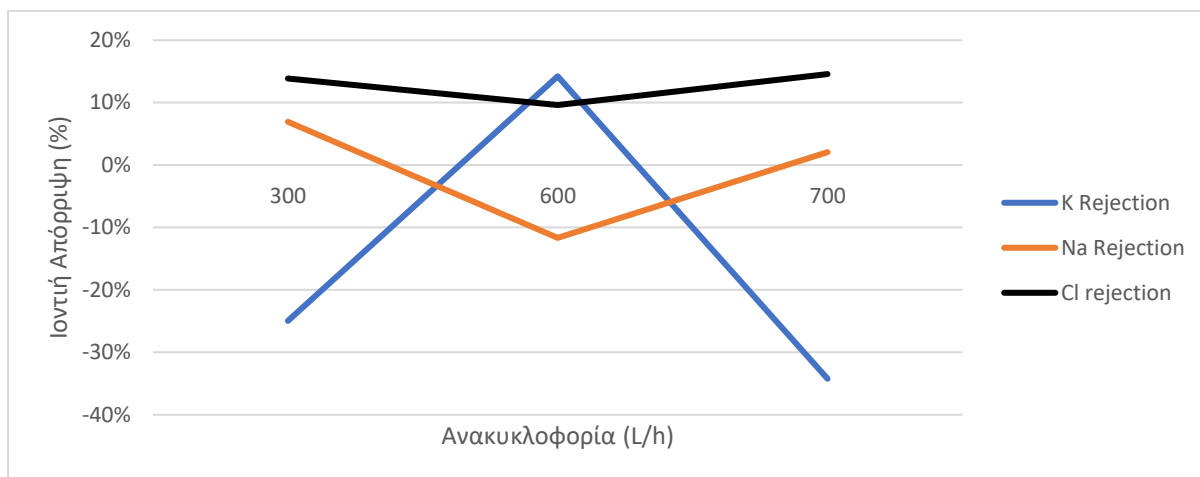
Στο πέμπτο πείραμα αποφασίσαμε να μελετήσουμε την περίπτωση όπου το pH τροφοδοσίας θα είναι 6.0 σε σταθερή απόδοση μεμβράνης 75% με μεταβολή της ανακυκλοφορίας από 300 L/h σε 600 L/h και τέλος σε 700 L/h.

Μετρήσεις πειράματος:

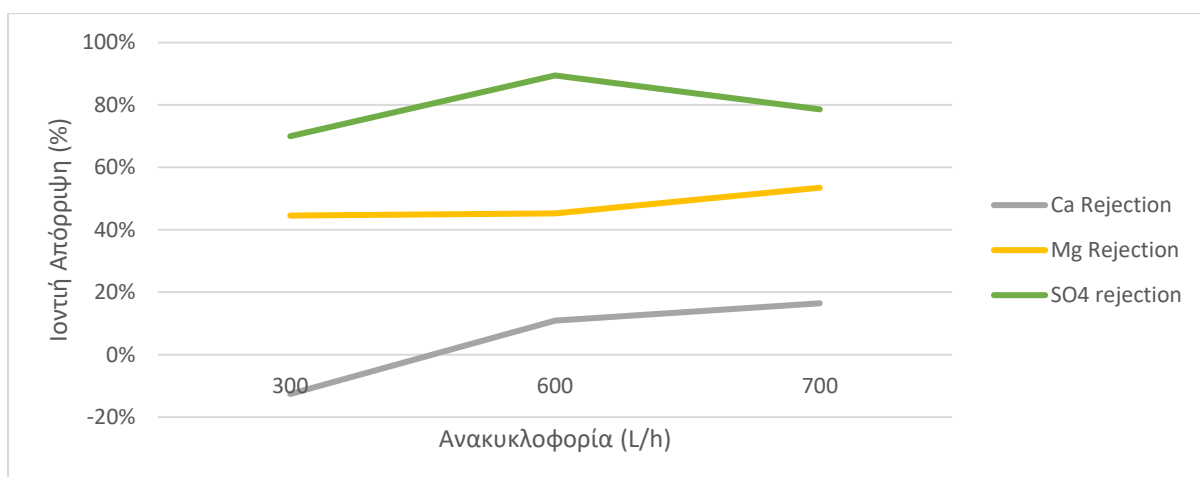
Πίνακας 3.10: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων του πειράματος

Απόδοση	Ανακυκλοφορία	Δείγμα από	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO4
75%	300	Παροχή	1.925	562.495	215.3	35.225	1155	40
		Διήθημα	2.215	600.225	350.2	88.39	1250	134
		Συμπυκνωμένο	2.405	523.52	242.4	19.52	995	12
75%	300	Παροχή	2.48	553.935	235	35.185	1030	41
		Διήθημα	2.81	678.425	418.4	99.99	1305	132
		Συμπυκνωμένο	2.71	524.16	165.5	16.29	890	11
75%	600	Παροχή	3.235	516.82	224.4	32.95	1040	38
		Διήθημα	3.275	619.245	433.9	92.3	1350	129
		Συμπυκνωμένο	2.775	577.08	199.9	18.025	940	4
75%	600	Παροχή	1.28	530.435	221.5	33.71	1020	40
		Διήθημα	1.765	640.42	367.7	91.85	1220	133
		Συμπυκνωμένο	1.585	557.91	203.4	17.375	905	5
75%	700	Παροχή	1.3	550.79	213.7	34.67	995	42
		Διήθημα	2.035	641	373	92.28	1045	128
		Συμπυκνωμένο	1.745	539.46	178.5	16.12	850	9
75%	700	Παροχή	2.47	573.49	220.2	35.58	1120	44

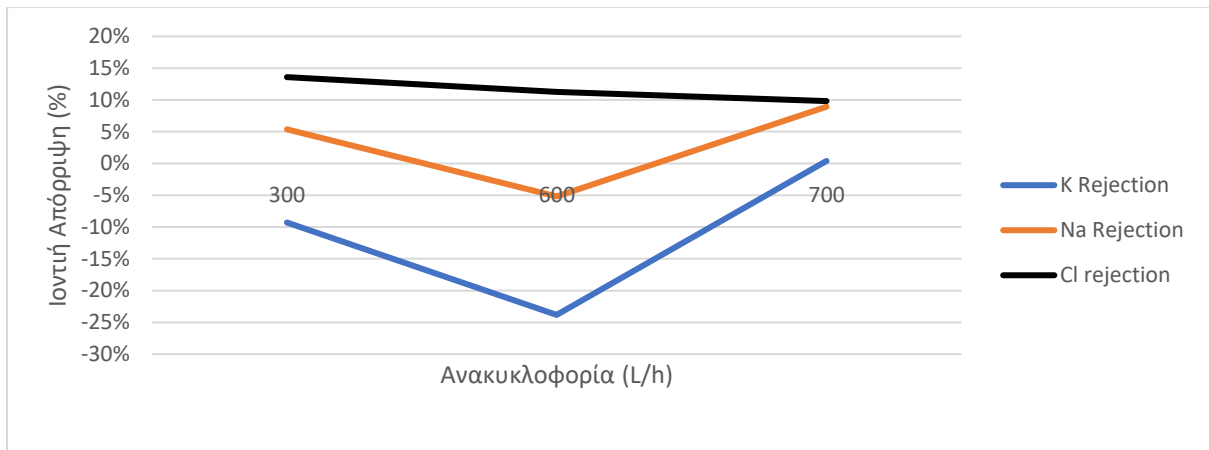
		Διήθημα	11.555	648.84	385	91.25	1195	127
		Συμπυκνωμένο	2.46	522.255	185.4	16.595	1010	7



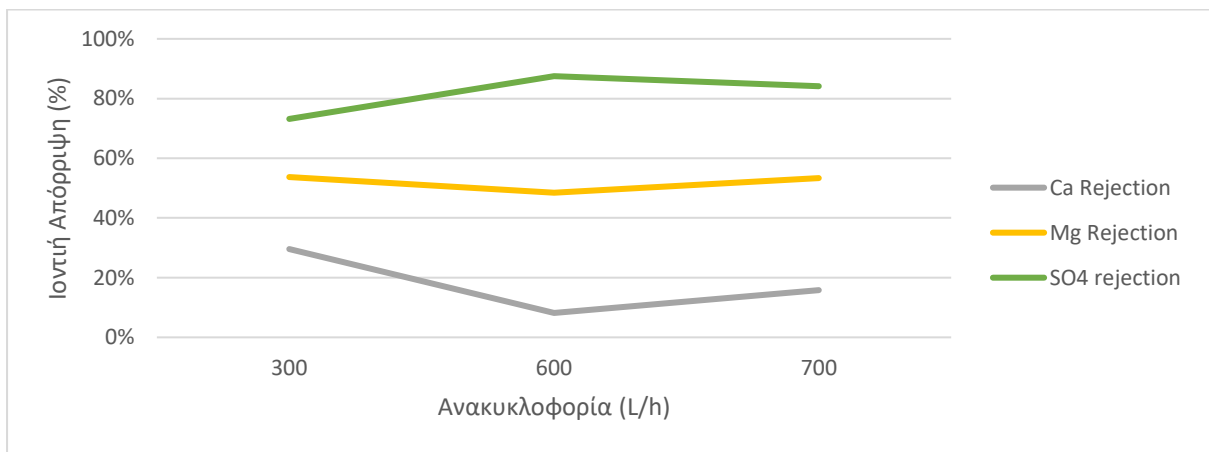
Διάγραμμα 3.18: Απόρριψη μονοθεσών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 75% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 300 L/h, 600 L/h και 700 L/h σε pH=6,0.



Διάγραμμα 3.19: Απόρριψη δισθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 75% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 300 L/h, 600 L/h και 700 L/h σε pH=6,0.



Διάγραμμα 3.20: Απόρριψη μονοσθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 75% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 300 L/h, 600 L/h και 700 L/h σε pH=6,0.



Διάγραμμα 3.21: Απόρριψη δισθενών ιόντων με μεμβράνη νανοδιήθησης με σταθερή απόδοση μεμβράνης 75% με μεταβλητή ανακυκλοφορία στα 300 L/h, 600 L/h και 700 L/h σε pH=6,0

Σε αυτό το πείραμα παρατηρούμε ότι τα διαγράμματα αν και έχουν σχετικά παρόμοιες τιμές, εκτός από τις απορρίψεις στα ιόντα καλίου και ασβεστίου για ανακυκλοφορία 300 L/h . Παρατηρούμε ότι τα θειικά ιόντα έχουν την μέγιστη απόρριψη της τάξεως 90% για ανακυκλοφορία 600 L/h. Στα ιόντα μαγνησίου παρατηρούμε ότι η απόρριψη ιόντων είναι μεταξύ 45 και 60% με μέγιστη απόρριψη 700 L/h. Για τα ιόντα ασβεστίου δεν μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για ανακυκλοφορία 300L/h. Για τις άλλες δυο ανακυκλοφορίες όμως μπορούμε να πούμε ότι αυξάνεται η απόρριψη ιόντων με την αύξηση της ανακυκλοφορίας. Για τα ιόντα καλίου δυστυχώς δεν μπορούμε να εξάγουμε κάποιο συμπέρασμα για την ιοντική απόρριψη. Τα ιόντα νατρίου έχουν σχεδόν ίδια καμπύλη όμως δυστυχώς ούτε από αυτήν μπορούμε να εξάγουμε κάποιο ασφαλές συμπέρασμα. Όσο αφορά τα ιόντα χλωρίου φαίνεται ότι έχουν σχεδόν σταθερή απόρριψη και στις 3 ανακυκλοφορίες τις τάξεως 10% με τις ελάχιστα καλύτερη απόρριψη στα 300 L/h και 700L/h ανακυκλοφορίας.

3.7 Πείραμα 6 – Μεταβαλλόμενη απόδοση, χωρίς ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 5,9 με χρήση μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης

Στόχος πειράματος:

Στο παρόν πείραμα μελετάται πως η αλλαγή μεμβράνης επηρεάζει το νερό διήθησης και το νερό συμπύκνωσης σε σύγκριση με το Πείραμα 4.

Περιγραφή πειράματος:

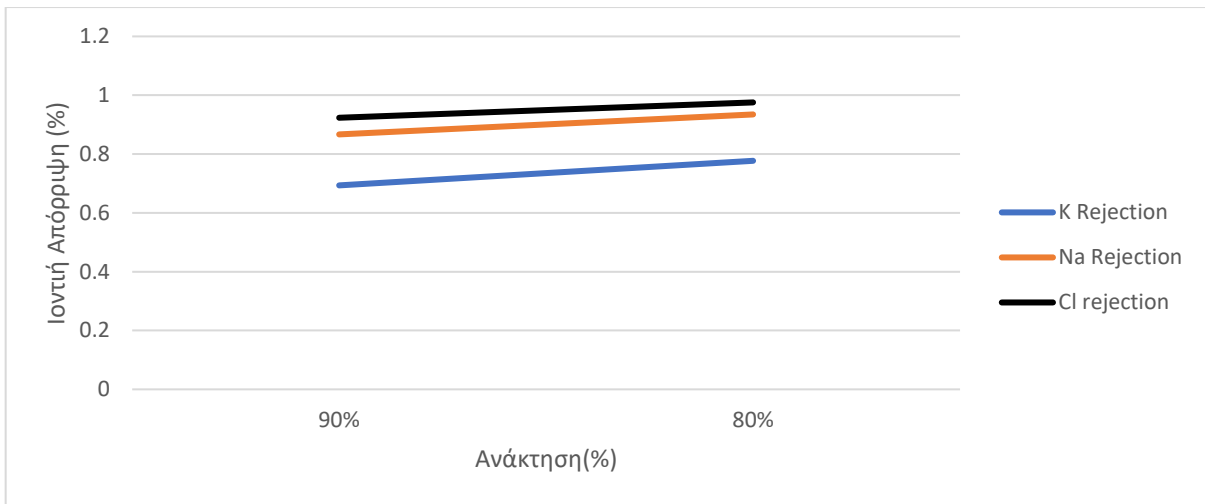
Σε αυτό το πείραμα αποφασίσαμε να μελετήσουμε την περίπτωση όπου η μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης τύπου XLE 2540 έχει ως τροφοδοσία το διήθημα του πειράματος 5.

Σε αυτό το πείραμα μελετήθηκε η περίπτωση μεταβολής της απόδοσης της μεμβράνης από 90% σε 80% χωρίς την εφαρμογή ανακυκλοφορίας σε pH τροφοδοσίας 5.9.

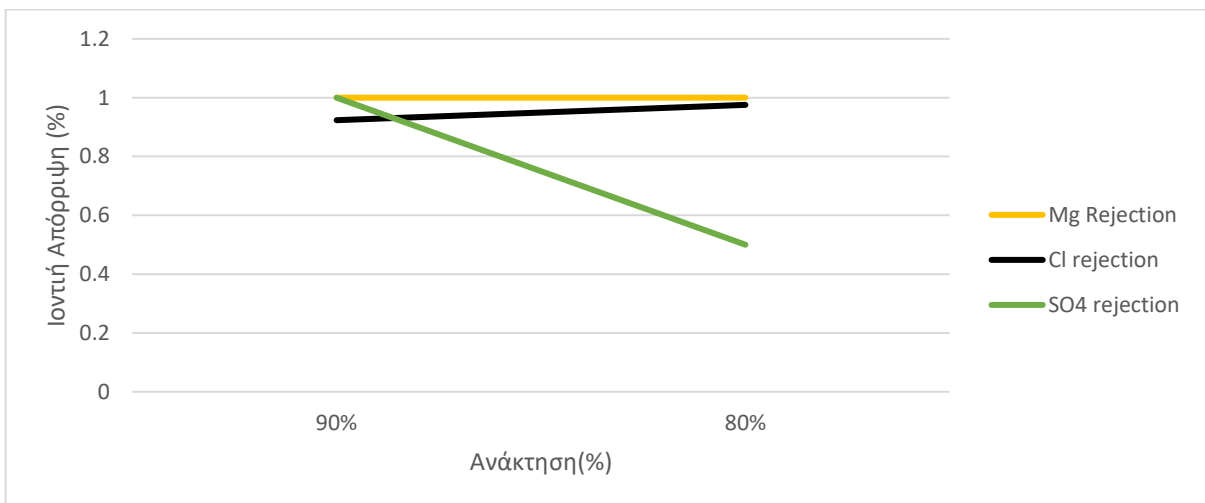
Μετρήσεις πειράματος:

Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων του πειράματος

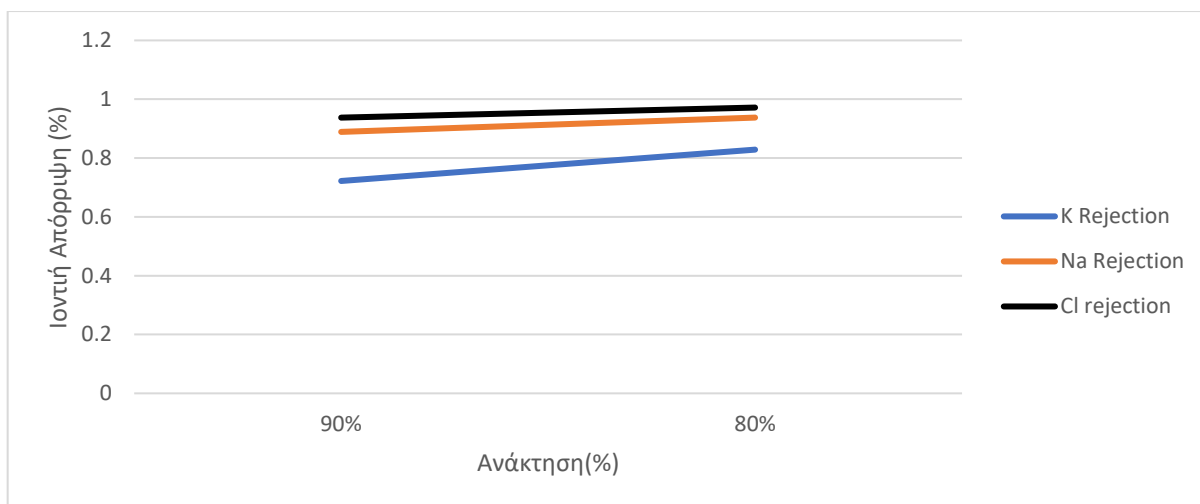
Απόδοση	Ανακυκλοφορία	Δείγμα από	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO4
90%	0	Παροχή	2.545	648.89	409.4	20.485	1110	3
		Διήθημα	18.11	212.43	3775.6	206.08	9800	22
		Συμπυκνωμένο	0.78	86.385	7.2	0	85	0
90%	0	Παροχή	2.555	487.195	317	15.675	1120	4
		Διήθημα	13.07	250.805	2689.4	143.195	10900	13
		Συμπυκνωμένο	0.71	54.075	8.3	0	70	2
80%	0	Παροχή	2.355	564.23	383.7	19.685	1025	4
		Διήθημα	9.32	146.425	1893.8	97.595	5300	12
		Συμπυκνωμένο	0.525	36.875	11	0	25	2
80%	0	Παροχή	2.305	564.245	399.3	20.235	1060	4
		Διήθημα	10.115	115.355	2004.2	104.28	5000	10
		Συμπυκνωμένο	0.395	35.22	11	0	30	1



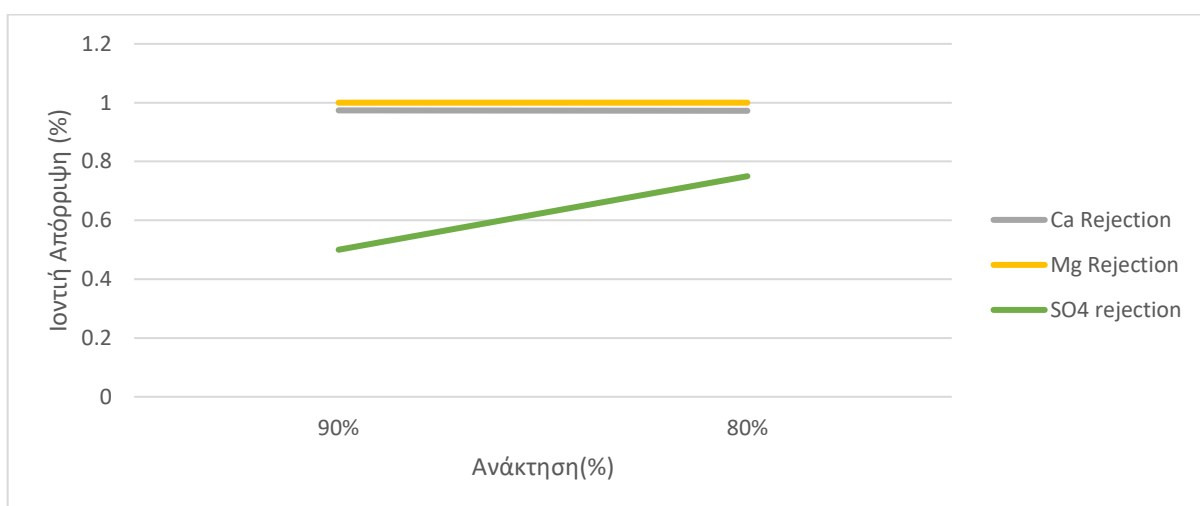
Διάγραμμα 3.22: Απόρριψη μονοσθενών ιόντων με μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης με μεταβλητή απόδοση μεμβράνης από 90% σε 80% χωρίς ανακυκλοφορία σε pH=5,9.



Διάγραμμα 3.23: Απόρριψη δισθενών ιόντων με μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης με μεταβλητή απόδοση μεμβράνης από 90% σε 80% χωρίς ανακυκλοφορία σε pH=5,9.



Διάγραμμα 3.24: Απόρριψη μονοθενών ιόντων με μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης με μεταβλητή απόδοση μεμβράνης από 90% σε 80% χωρίς ανακυκλοφορία σε pH=5,9.



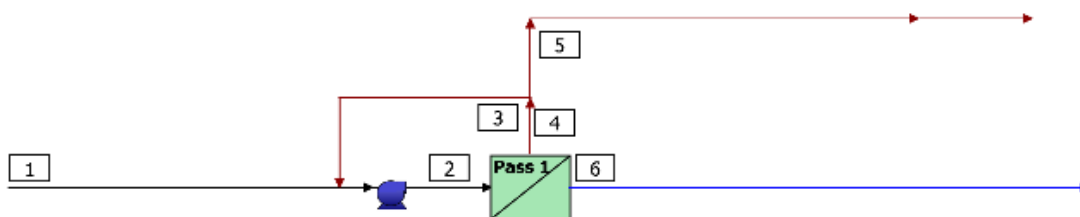
Διάγραμμα 3.25: Απόρριψη δισθενών ιόντων με μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης με μεταβλητή απόδοση μεμβράνης από 90% σε 80% χωρίς ανακυκλοφορία σε pH=5,9.

Παρατηρούμε ότι τα διαγράμματα έχουν πολύ παρόμοιες τιμές. Συγκεκριμένα στις τιμές των δισθενών ιόντων μαγνησίου και ασβεστίου παρατηρείται σχεδόν απόλυτη απόρριψη. Τα θεικά ιόντα παρουσιάζουν απόρριψη από 50 έως 100% για απόδοση μεμβράνης 90% και απόρριψη από 50% έως 75% για απόδοση μεμβράνης 80%. Τα ιόντα καλίου ότι παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση στην απόρριψη τους από 70% σε σχεδόν 80% καθώς η απόδοση της μεμβράνης μειώνεται από τα 90% στα 80%. Τα ιόντα νατρίου παρουσιάζουν επίσης μια μικρή αύξηση της απόρριψής τους από 90 σε 95% καθώς μειώνεται η απόδοση της μεμβράνης από 90% σε 80%. Τα ιόντα χλωρίου παρουσιάζουν ελάχιστη αύξηση στην απόρριψη τους από 90-95% σε 95-98% καθώς μειώνεται η απόδοση της μεμβράνης.

4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΝΑΝΟΔΙΗΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ WAVE

Διεξάγοντας πειράματα στις διατάξεις της νανοδιήθησης και αντίστροφης ώσμωσης του εργαστηρίου, δόθηκε η δυνατότητα να ελεγχθούν οι παράμετροι που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις των σημαντικότερων ιόντων στα συμπυκνώματα και διηθήματα σε διάφορες συνθήκες. Με τη χρήση αυτών των διατάξεων όμως δεν είναι εφικτό να προβλεφθούν τα λειτουργικά προβλήματα που μπορεί να παρουσιάσουν οι μεμβράνες με την πάροδο του χρόνου και ποιες είναι οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας ώστε να αποφευχθούν αυτά τα προβλήματα. Για να ολοκληρωθεί λοιπόν η μελέτη αυτών των δύο συστημάτων και ως προς αυτήν την παράμετρο χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό WAVE.

Το πρόγραμμα WAVE της DUPONT είναι ένα πρόγραμμα το οποίο έχει την δική του βιβλιοθήκη για διάφορους τύπους νερού και ειδικεύεται στην εξαγωγή αναφοράς-αποτελεσμάτων μέσα από διάφορα project στα οποία γίνεται επεξεργασία νερού με την χρήση μεμβρανών. Στα project αυτά αρχικά γίνεται επιλογή τύπου μεμβράνης, μετά η σύσταση της τροφοδοσίας, και οι συνθήκες λειτουργίας της μεμβράνης. Στην συνέχεια γίνεται η επιλογή του τύπου της μεμβράνης και η διάταξη αυτής ή αυτών στον χώρο. Ακολούθως, γίνεται ρύθμιση της παροχής ανακυκλοφορίας και της απόδοσης της μεμβράνης. Τέλος, το πρόγραμμα υπολογίζει κατά πόσο είναι εφικτή η διεργασία αυτή ή όχι. Στην περίπτωση που δεν είναι, τότε επιστρέφει ειδοποιήσεις ώστε να επανεξεταστεί ο σχεδιασμός της διάταξης. Στην περίπτωση που είναι εφικτή η διεργασία τότε παρουσιάζεται μια αναφορά η οποία δίνει πληροφορίες που αφορούν την διεργασία. Μερικές από τις πληροφορίες αυτές, αφορούν τις συγκεντρώσεις ιόντων στην είσοδο και στις εξόδους της μεμβράνης, σφάλματα και προειδοποιήσεις που αφορούν τον σχεδιασμό της μεμβράνης και την σύσταση του νερού σε κάθε στάδιο της διεργασίας.



Διάγραμμα 4.1: Τα στάδια διεργασίας του συστήματος όπως απεικονίζονται στο πρόγραμμα WAVE

Πίνακας 4.1: Η περιγραφή των σταδίων διεργασίας της μεμβράνης όπως απεικονίζονται στο πρόγραμμα WAVE

#	Description
1	Raw Feed to RO System
2	Net Feed to Pass 1
3	Concentrate Recycle from Pass 1 to Pass 1
4	Total Concentrate from Pass 1
5	Net Concentrate from RO System
6	Net Product from RO System

Σε περίπτωση που δεν εφαρμόζουμε ανακυκλοφορία στην διεργασία τότε δεν εμφανίζεται το ρεύμα 3 στα στάδια της διεργασίας.

4.1 Πείραμα 1 – Απόδοση 75%, με μεταβαλλόμενη ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 7,3 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης

4.1.1 Πείραμα 1.1 – Απόδοση 75%, σε ανακυκλοφορία 200 L/h και pH= 7.3

Πίνακας 4.2: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	0.80
Feed TDS ^a	(mg/L)	2,436
Feed Pressure	(bar)	1.8
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.45
Pass Average flux	(LMH)	9.9
Permeate TDS ^a	(mg/L)	1,931
Pass Recovery		56.2 %
Average NDP	(bar)	0.8
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.11
Temperature	(°C)	23.0
pH		7.3
Chemical Dose		-
RO System Recovery		75.0 %
Net RO System Recovery		75.0%

Πίνακας 4.3: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentration	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.30	1.37	1.57	1.21	1.21
Na ⁺	500.0	500.0	525.8	603.1	465.7	465.7
Mg ⁺²	41.00	41.00	49.55	75.18	29.63	29.63
Ca ⁺²	240.0	240.0	272.5	370.0	196.8	196.8
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.64	0.64	0.94	2.27	0.33	0.33
HCO ₃ ⁻	225.9	225.9	268.9	397.2	168.4	168.4
NO ₃ ⁻	3.20	3.20	3.27	3.49	3.10	3.10
F ⁻	0.90	0.90	0.96	1.14	0.82	0.82
Cl ⁻	1,144	1,144	1,215	1,427	1,050	1,050
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	50.00	85.24	191.0	3.12	3.12
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	12.00	12.43	13.72	11.43	11.43
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	12.22	12.22	12.01	11.61	12.63	12.63
TDS ^a	2,219	2,219	2,436	3,085	1,931	1,931
Est. Cond. μS/cm	4,031	4,031	4,360	5,327	3,586	3,586
pH	7.3	7.3	7.4	7.5	7.2	7.2

Πίνακας 4.4: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning		Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.63	1	1	2	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.56	1	1	3	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.48	1	1	4	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.41	1	1	5	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.35	1	1	6	NF270-4040

Πίνακας 4.4: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

Πίνακας 4.3: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	7.3	7.5
Langelier Saturation Index	0.35	1.02
Stiff & Davis Stability Index	0.43	0.95
TDS ^a (mg/l)	2,219	3,085
Ionic Strength (molal)	0.05	0.07
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	225.9	397.2
CO ₂ (mg/l)	12.22	11.61
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.64	2.27
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	8.3
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	26.7
SiO ₂ (% saturation)	9.9	11.3
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.01

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι υπάρχουν προειδοποιήσεις σχεδιασμού και διαλυτότητας στο σύστημα. Όσο αφορά τον σχεδιασμό αυτού, η ροή του συμπυκνώματος είναι πολύ μικρή για το δεδομένο σύστημα και ο όσο αφορά την διαλυτότητα, ο δείκτης κορεσμού του Langelier είναι πάνω από το 0 και για αυτό προτείνεται η χρήση αντικαθαλατωτικών.

4.1.2 Πείραμα 1.2 – Απόδοση 75%, σε ανακυκλοφορία 300 L/h και pH= 7.3

Πίνακας 4.5: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	0.90
Feed TDS ^a	(mg/L)	2,497
Feed Pressure	(bar)	1.8
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.45
Pass Average flux	(LMH)	9.8
Permeate TDS ^a	(mg/L)	1,941
Pass Recovery		50.0 %
Average NDP	(bar)	0.8
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.13
Temperature	(°C)	23.0
pH		7.3
Chemical Dose		-
RO System Recovery		75.0 %
Net RO System Recovery		75.0%

Πίνακας 4.6: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentration	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.30	1.39	1.56	1.21	1.21
Na ⁺	500.0	500.0	532.9	598.6	467.1	467.1
Mg ⁺²	41.00	41.00	52.00	73.98	30.00	30.00
Ca ⁺²	240.0	240.0	281.6	364.8	198.4	198.4
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.64	0.64	1.01	2.01	0.35	0.35
HCO ₃ ⁻	225.9	225.9	280.6	389.6	170.9	170.9
NO ₃ ⁻	3.20	3.20	3.29	3.48	3.11	3.11
F ⁻	0.90	0.90	0.98	1.13	0.82	0.82
Cl ⁻	1,144	1,144	1,234	1,413	1,054	1,054
Br ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	50.00	96.69	190.1	3.29	3.29
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	12.00	12.53	13.60	11.47	11.47
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	12.22	12.22	12.29	12.59	12.24	12.24
TDS ^a	2,219	2,219	2,497	3,051	1,941	1,941
Est. Cond. μS/cm	4,031	4,031	4,451	5,275	3,603	3,603
pH	7.3	7.3	7.4	7.5	7.2	7.2

Πίνακας 4.7: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.65	1	1	3	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.58	1	1	4	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.51	1	1	5	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.45	1	1	6	NF270-4040

Πίνακας 4.8: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

Πίνακας 4.9: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	7.3	7.5
Langelier Saturation Index	0.35	0.96
Stiff & Davis Stability Index	0.43	0.90
TDS ² (mg/l)	2,219	3,051
Ionic Strength (molal)	0.05	0.06
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	225.9	389.6
CO ₂ (mg/l)	12.22	12.59
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.64	2.01
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	8.2
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	26.0
SiO ₂ (% saturation)	9.9	11.2
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Όπως και στο προηγούμενο πείραμα, υπάρχουν προειδοποιήσεις σχεδιασμού και διαλυτότητας στο σύστημα. Όσο αφορά τον σχεδιασμό αυτού, η ροή του συμπυκνώματος εξακολουθεί να είναι πολύ μικρή για το δεδομένο σύστημα και ο όσο αφορά την διαλυτότητα, ο δείκτης κορεσμού του Langelier συνεχίζει να είναι πάνω από το 0 και για αυτό προτείνεται η χρήση αντικαθαλατωτικών αν και παρουσιάζεται μια ελαφρύς μείωση.

4.1.3 Πείραμα 1.3 – Απόδοση 75%, σε ανακυκλοφορία 400 L/h και pH= 7.3

Πίνακας 4.10: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	1.00
Feed TDS ^a	(mg/L)	2,544
Feed Pressure	(bar)	1.9
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.45
Pass Average flux	(LMH)	9.8
Permeate TDS ^a	(mg/L)	1,948
Pass Recovery		45.0 %
Average NDP	(bar)	0.8
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.16
Temperature	(°C)	23.0
pH		7.3
Chemical Dose		-
RO System Recovery		75.0 %
Net RO System Recovery		75.0%

Πίνακας 4.11: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentration	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.30	1.40	1.55	1.22	1.22
Na ⁺	500.0	500.0	538.4	595.8	468.1	468.1
Mg ⁺²	41.00	41.00	53.91	73.26	30.26	30.26
Ca ⁺²	240.0	240.0	288.7	361.7	199.5	199.5
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.64	0.64	1.08	1.97	0.36	0.36
HCO ₃ ⁻	225.9	225.9	289.8	385.1	172.5	172.5
NO ₃ ⁻	3.20	3.20	3.31	3.47	3.11	3.11
F ⁻	0.90	0.90	0.99	1.12	0.83	0.83
Cl ⁻	1,144	1,144	1,248	1,403	1,058	1,058
Br ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	50.00	106.0	189.9	3.42	3.42
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	12.00	12.63	13.57	11.48	11.48
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	12.22	12.22	12.28	12.52	12.24	12.24
TDS ^a	2,219	2,219	2,544	3,031	1,948	1,948
Est. Cond. μS/cm	4,031	4,031	4,522	5,244	3,615	3,615
pH	7.3	7.3	7.4	7.5	7.2	7.2

Πίνακας 4.12: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.61	1	1	5	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.55	1	1	6	NF270-4040

Πίνακας 4.13: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

Πίνακας 4.14: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	7.3	7.5
Langelier Saturation Index	0.35	0.95
Stiff & Davis Stability Index	0.43	0.89
TDS* (mg/l)	2,219	3,031
Ionic Strength (molal)	0.05	0.06
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	225.9	385.1
CO ₂ (mg/l)	12.22	12.52
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.64	1.97
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	8.2
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	25.6
SiO ₂ (% saturation)	9.9	11.2
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Όπως και στο προηγούμενο πείραμα, υπάρχουν προειδοποιήσεις σχεδιασμού και διαλυτότητας στο σύστημα. Όσο αφορά τον σχεδιασμό αυτού, η ροή του συμπυκνώματος εξακολουθεί να είναι πολύ μικρή για το δεδομένο σύστημα, αν και διαφαίνεται μια βελτίωση. Στην περίπτωση της διαλυτότητας στο σύστημα, ο δείκτης κορεσμού του Langelier συνεχίζει να είναι πάνω από το 0 και για αυτό προτείνεται η χρήση αντικαθαλατωτικών.

4.1.4 Πείραμα 1.4 – Απόδοση 75%, σε ανακυκλοφορία 500 L/h και pH= 7.3

Πίνακας 4.15: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	1.10
Feed TDS*	(mg/L)	2,582
Feed Pressure	(bar)	1.9
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.45
Pass Average flux	(LMH)	9.9
Permeate TDS*	(mg/L)	1,954
Pass Recovery		40.9 %
Average NDP	(bar)	0.9
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.16
Temperature	(°C)	23.0
pH		7.3
Chemical Dose		-
RO System Recovery		75.0 %
Net RO System Recovery		75.0%

Πίνακας 4.16: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentration	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.30	1.41	1.55	1.22	1.22
Na ⁺	500.0	500.0	542.7	593.9	468.8	468.8
Mg ⁺²	41.00	41.00	55.44	72.76	30.44	30.44
Ca ⁺²	240.0	240.0	294.3	359.4	200.3	200.3
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.64	0.64	1.14	1.95	0.36	0.36
HCO ₃ ⁻	225.9	225.9	297.0	382.0	173.6	173.6
NO ₃ ⁻	3.20	3.20	3.32	3.46	3.11	3.11
F ⁻	0.90	0.90	0.99	1.09	0.84	0.84
Cl ⁻	1,144	1,144	1,259	1,397	1,060	1,060
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	50.00	113.5	189.8	3.53	3.53
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	12.00	12.71	13.56	11.48	11.48
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	12.22	12.22	12.24	12.40	12.28	12.28
TDS*	2,219	2,219	2,582	3,017	1,954	1,954
Est. Cond. μS/cm	4,031	4,031	4,578	5,222	3,623	3,623
pH	7.3	7.3	7.4	7.5	7.2	7.2

Πίνακας 4.17: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.65	1	1	6	NF270-4040

Πίνακας 4.18: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

Πίνακας 4.19: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	7.3	7.5
Langelier Saturation Index	0.35	0.95
Stiff & Davis Stability Index	0.43	0.89
TDS* (mg/l)	2,219	3,017
Ionic Strength (molal)	0.05	0.06
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	225.9	382.0
CO ₂ (mg/l)	12.22	12.40
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.64	1.95
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	8.2
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	24.1
SiO ₂ (% saturation)	9.9	11.2
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Όπως και στο προηγούμενο πείραμα, υπάρχουν προειδοποιήσεις σχεδιασμού και διαλυτότητας στο σύστημα. Όσο αφορά τον σχεδιασμό αυτού, αν και έχει αυξηθεί η ανακυκλοφορία δίνοντας, η οποία συμβάλει στην αύξηση του συμπυκνωμένου ρεύματος, η ροή του συμπυκνώματος εξακολουθεί να είναι μικρή για το δεδομένο σύστημα. Στην περίπτωση της διαλυτότητας, ο δείκτης κορεσμού του Langelier συνεχίζει να είναι πάνω από το 0 και για αυτό προτείνεται η χρήση αντικαθαλατωτικών.

4.2 Πείραμα 2 - Απόδοση 60%, με μεταβαλλόμενη ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 7,3 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης

4.2.1 Πείραμα 2.1 – Απόδοση 60%, σε ανακυκλοφορία 200 L/h και pH= 7.3

Πίνακας 4.20: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	0.80
Feed TDS*	(mg/L)	2,481
Feed Pressure	(bar)	1.9
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.48
Pass Average flux	(LMH)	10.5
Permeate TDS*	(mg/L)	1,957
Pass Recovery		60.0 %
Average NDP	(bar)	0.9
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.10
Temperature	(°C)	23.0
pH		7.3
Chemical Dose		-
RO System Recovery		80.0 %
Net RO System Recovery		80.0%

Πίνακας 4.21: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentrat e	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.30	1.38	1.63	1.22	1.22
Na ⁺	500.0	500.0	530.7	622.5	469.4	469.4
Mg ⁺²	41.00	41.00	51.47	82.88	30.53	30.53
Ca ⁺²	240.0	240.0	279.2	396.7	200.8	200.8
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.64	0.64	0.99	2.54	0.36	0.36
HCO ₃ ⁻	225.9	225.9	277.2	430.1	174.4	174.4
NO ₃ ⁻	3.20	3.20	3.28	3.54	3.12	3.12
F ⁻	0.90	0.90	0.97	1.18	0.83	0.83
Cl ⁻	1,144	1,144	1,227	1,474	1,062	1,062
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	50.00	96.46	235.8	3.54	3.54
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	12.00	12.53	14.10	11.48	11.48
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	12.22	12.22	12.17	12.40	12.31	12.31
TDS*	2,219	2,219	2,481	3,265	1,957	1,957
Est. Cond. μS/cm	4,031	4,031	4,426	5,583	3,629	3,629
pH	7.3	7.3	7.4	7.5	7.2	7.2

Πίνακας 4.22: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.62	1	1	2	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.54	1	1	3	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.46	1	1	4	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.39	1	1	5	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.32	1	1	6	NF270-4040

Πίνακας 4.23: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

Πίνακας 4.24: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	7.3	7.5
Langelier Saturation Index	0.35	1.08
Stiff & Davis Stability Index	0.43	0.99
TDS* (mg/l)	2,219	3,265
Ionic Strength (molal)	0.05	0.07
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	225.9	430.1
CO ₂ (mg/l)	12.22	12.40
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.64	2.54
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	10.6
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	29.8
SiO ₂ (% saturation)	9.9	11.7
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.01

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Αν και η απόδοση μειώνεται, συνεχίζουν να υπάρχουν προειδοποιήσεις σχεδιασμού και διαλυτότητας στο σύστημα. Στην περίπτωση του σχεδιασμού, παρουσιάζονται οι ίδιες προειδοποιήσεις με την απόδοση 75% για την ίδια ανακυκλοφορία, δηλαδή, η ροή του συμπυκνώματος εξακολουθεί να είναι πολύ μικρή για το δεδομένο σύστημα. Στην περίπτωση της διαλυτότητας, ο δείκτης κορεσμού του Langelier συνεχίζει να είναι πάνω από το 0 και για αυτό προτείνεται η χρήση αντικαθαλατωτικών.

4.2.2 Πείραμα 2.2 – Απόδοση 60%, σε ανακυκλοφορία 300 L/h και pH= 7.3

Πίνακας 4.25: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	0.90
Feed TDS*	(mg/L)	2,728
Feed Pressure	(bar)	2.2
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.54
Pass Average flux	(LMH)	11.8
Permeate TDS*	(mg/L)	2,049
Pass Recovery		60.0 %
Average NDP	(bar)	1
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.13
Temperature	(°C)	23.0
pH		7.3
Chemical Dose		-
RO System Recovery		90.0 %
Net RO System Recovery		90.0%

Πίνακας 4.26: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentration	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.30	1.45	1.75	1.25	1.25
Na ⁺	500.0	500.0	556.8	670.3	481.1	481.1
Mg ⁺²	41.00	41.00	62.00	104.0	34.00	34.00
Ca ⁺²	240.0	240.0	315.3	466.0	214.9	214.9
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.64	0.64	1.30	3.31	0.47	0.47
HCO ₃ ⁻	225.9	225.9	316.7	497.1	195.5	195.5
NO ₃ ⁻	3.20	3.20	3.32	3.55	3.16	3.16
F ⁻	0.90	0.90	1.00	1.20	0.87	0.87
Cl ⁻	1,144	1,144	1,276	1,539	1,100	1,100
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	50.00	181.2	443.8	6.26	6.26
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	12.00	12.98	14.94	11.67	11.67
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	12.22	12.22	12.42	13.33	12.18	12.18
TDS*	2,219	2,219	2,728	3,745	2,049	2,049
Est. Cond. μS/cm	4,031	4,031	4,781	6,228	3,775	3,775
pH	7.3	7.3	7.4	7.6	7.3	7.3

Πίνακας 4.27: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.60	1	1	3	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.52	1	1	4	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.44	1	1	5	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.36	1	1	6	NF270-4040

Πίνακας 4.28: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

Πίνακας 4.29: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	7.3	7.6
Langelier Saturation Index	0.35	1.23
Stiff & Davis Stability Index	0.43	1.08
TDS* (mg/l)	2,219	3,745
Ionic Strength (molal)	0.05	0.08
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	225.9	497.1
CO ₂ (mg/l)	12.22	13.33
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.64	3.31
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	21.3
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	33.8
SiO ₂ (% saturation)	9.9	12.4
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.01

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι συνεχίζουν να υπάρχουν προειδοποιήσεις σχεδιασμού και διαλυτότητας στο σύστημα. Στην περίπτωση του σχεδιασμού, παρουσιάζονται οι ίδιες προειδοποιήσεις με την απόδοση 75% για την ίδια ανακυκλοφορία, δηλαδή, η ροή του συμπυκνώματος εξακολουθεί να είναι πολύ μικρή για το δεδομένο σύστημα. Στην περίπτωση της διαλυτότητας, ο δείκτης κορεσμού του Langelier συνεχίζει να είναι πάνω από το 0 και για αυτό προτείνεται η χρήση αντικαθαλατωτικών.

4.2.3 Πείραμα 2.3 – Απόδοση 60%, σε ανακυκλοφορία 400 L/h και pH= 7.3

Πίνακας 4.30: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	1.00
Feed TDS*	(mg/L)	2,410
Feed Pressure	(bar)	1.6
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.36
Pass Average flux	(LMH)	7.9
Permeate TDS*	(mg/L)	1,902
Pass Recovery		36.0 %
Average NDP	(bar)	0.7
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.17
Temperature	(°C)	23.0
pH		7.3
Chemical Dose		-
RO System Recovery		60.0 %
Net RO System Recovery		60.0%

Πίνακας 4.31: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentrat e	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.30	1.36	1.45	1.20	1.20
Na ⁺	500.0	500.0	523.2	557.9	461.4	461.4
Mg ⁺²	41.00	41.00	48.32	59.30	28.81	28.81
Ca ⁺²	240.0	240.0	268.6	311.4	192.5	192.5
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.64	0.64	0.90	1.40	0.30	0.30
HCO ₃ ⁻	225.9	225.9	264.2	321.6	161.8	161.8
NO ₃ ⁻	3.20	3.20	3.27	3.37	3.09	3.09
F ⁻	0.90	0.90	0.96	1.05	0.80	0.80
Cl ⁻	1,144	1,144	1,208	1,304	1,038	1,038
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	50.00	78.38	120.9	2.75	2.75
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	12.00	12.35	12.87	11.42	11.42
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	12.22	12.22	12.05	11.87	12.58	12.58
TDS*	2,219	2,219	2,410	2,695	1,902	1,902
Est. Cond. μS/cm	4,031	4,031	4,321	4,752	3,540	3,540
pH	7.3	7.3	7.4	7.5	7.2	7.2

Πίνακας 4.32: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.64	1	1	6	NF270-4040

Πίνακας 4.33: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

Πίνακας 4.34: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	7.3	7.5
Langelier Saturation Index	0.35	0.77
Stiff & Davis Stability Index	0.43	0.76
TDS* (mg/l)	2,219	2,695
Ionic Strength (molal)	0.05	0.06
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	225.9	321.6
CO ₂ (mg/l)	12.22	11.88
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.64	1.40
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	4.8
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	20.6
SiO ₂ (% saturation)	9.9	10.6
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι συνεχίζουν να υπάρχουν προειδοποιήσεις σχεδιασμού και διαλυτότητας στο σύστημα. Στην περίπτωση του σχεδιασμού, παρουσιάζεται μικρότερος αριθμός προειδοποιήσεων συγκριτικά με την απόδοση 75% για την ίδια ανακυκλοφορία, αν και η ροή του συμπυκνώματος εξακολουθεί να είναι πολύ μικρή για το δεδομένο σύστημα. Στην περίπτωση της διαλυτότητας, ο δείκτης κορεσμού του Langelier συνεχίζει να είναι πάνω από το 0 και για αυτό προτείνεται η χρήση αντικαθαλατωτικών αν και έχει μειωθεί.

4.2.4 Πείραμα 2.4 – Απόδοση 60%, σε ανακυκλοφορία 500 L/h και pH= 7.3

Πίνακας 4.35: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	1.10
Feed TDS*	(mg/L)	2,433
Feed Pressure	(bar)	1.7
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.36
Pass Average flux	(LMH)	7.9
Permeate TDS*	(mg/L)	1,905
Pass Recovery		32.7 %
Average NDP	(bar)	0.7
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.17
Temperature	(°C)	23.0
pH		7.3
Chemical Dose		-
RO System Recovery		60.0 %
Net RO System Recovery		60.0%

Πίνακας 4.36: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentrat e	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.30	1.37	1.45	1.20	1.20
Na ⁺	500.0	500.0	526.0	557.2	461.9	461.9
Mg ⁺²	41.00	41.00	49.24	59.12	28.92	28.92
Ca ⁺²	240.0	240.0	272.1	310.6	193.0	193.0
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.64	0.64	0.93	1.37	0.31	0.31
HCO ₃ ⁻	225.9	225.9	268.9	320.3	162.7	162.7
NO ₃ ⁻	3.20	3.20	3.27	3.36	3.09	3.09
F ⁻	0.90	0.90	0.97	1.05	0.80	0.80
Cl ⁻	1,144	1,144	1,216	1,302	1,039	1,039
Br ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	50.00	82.20	120.8	2.80	2.80
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	12.00	12.39	12.85	11.43	11.43
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	12.22	12.22	12.10	12.02	12.46	12.46
TDS*	2,219	2,219	2,433	2,690	1,905	1,905
Est. Cond. μS/cm	4,031	4,031	4,357	4,743	3,546	3,546
pH	7.3	7.3	7.4	7.5	7.2	7.2

Πίνακας 4.37: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

RO Design Warnings

None

Πίνακας 4.38: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

Πίνακας 4.39: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	7.3	7.5
Langelier Saturation Index	0.35	0.76
Stiff & Davis Stability Index	0.43	0.75
TDS* (mg/l)	2,219	2,690
Ionic Strength (molal)	0.05	0.06
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	225.9	320.3
CO ₂ (mg/l)	12.22	12.02
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.64	1.37
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	4.8
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	20.5
SiO ₂ (% saturation)	9.9	10.6
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι συνεχίζουν να υπάρχουν μόνο προειδοποιήσεις διαλυτότητας στο σύστημα. Επομένως, με την ρύθμιση της απόδοσης στο 60% αποφεύγονται προβλήματα κατά στον σχεδιασμό του συστήματος, αφού η ροή για το συμπυκνωμένο προϊόν είναι πάνω από το όριο. Αντίθετα, στην περίπτωση της διαλυτότητας, ο δείκτης κορεσμού του Langelier συνεχίζει να είναι πάνω από το 0, στο ίδιο επίπεδο με το προηγούμενο πείραμα και για αυτό προτείνεται η χρήση αντικαθαλατωτικών.

4.3. Πείραμα 3 – Μεταβαλλόμενη απόδοση, χωρίς ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 7,3 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης

4.3.1 Πείραμα 3.1 – Απόδοση 50%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 7.3

Πίνακας 4.40: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	0.60
Feed TDS*	(mg/L)	2,219
Feed Pressure	(bar)	1.3
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.30
Pass Average flux	(LMH)	6.6
Permeate TDS*	(mg/L)	1,866
Pass Recovery		50.0 %
Average NDP	(bar)	0.5
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.10
Temperature	(°C)	23.0
pH		7.3
Chemical Dose		-
RO System Recovery		50.0 %
Net RO System Recovery		50.0%

Πίνακας 4.41: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentrat	Permeate	
		e		Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.42	1.18	1.18
Na ⁺	500.0	544.0	456.0	456.0
Mg ⁺²	41.00	54.22	27.79	27.79
Ca ⁺²	240.0	292.9	187.2	187.2
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.64	1.23	0.26	0.26
HCO ₃ ⁻	225.9	298.2	153.2	153.2
NO ₃ ⁻	3.20	3.33	3.07	3.07
F ⁻	0.90	1.03	0.77	0.77
Cl ⁻	1,144	1,266	1,022	1,022
Br ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	97.71	2.31	2.31
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	12.64	11.36	11.36
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	12.22	11.46	13.15	13.15
TDS*	2,219	2,572	1,866	1,866
Est. Cond. μS/cm	4,031	4,568	3,483	3,483
pH	7.3	7.4	7.1	7.1

Πίνακας 4.42: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product	
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.54	1	1	1	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.49	1	1	2	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.44	1	1	3	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.39	1	1	4	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.34	1	1	5	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.30	1	1	6	NF270-4040

Πίνακας 4.43: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

Πίνακας 4.44: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	7.3	7.4
Langelier Saturation Index	0.35	0.69
Stiff & Davis Stability Index	0.43	0.70
TDS* (mg/l)	2,219	2,572
Ionic Strength (molal)	0.05	0.05
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	225.9	298.2
CO ₂ (mg/l)	12.22	11.46
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.64	1.23
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	3.8
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	19.1
SiO ₂ (% saturation)	9.9	10.5
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι εμφανίζονται ξανά προειδοποιήσεις σχεδιασμού και διαλυτότητας στο σύστημα. Επομένως, αν και η απόδοση της μεμβράνης έχει μειωθεί από 60% σε 50%, η μη ύπαρξη ανακυκλοφορίας επαναφέρει τις προειδοποιήσεις σχεδιασμού, ενώ παράλληλα στην περίπτωση της διαλυτότητας, ο δείκτης κορεσμού του Langelier συνεχίζει να είναι πάνω από το 0 και για αυτό προτείνεται η χρήση αντικαθαλατωτικών.

4.3.2 Πείραμα 3.2 – Απόδοση 60%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 7.3

Πίνακας 4.45: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	0.60
Feed TDS*	(mg/L)	2,219
Feed Pressure	(bar)	1.5
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.36
Pass Average flux	(LMH)	7.9
Permeate TDS*	(mg/L)	1,858
Pass Recovery		60.0 %
Average NDP	(bar)	0.7
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.08
Temperature	(°C)	23.0
pH		7.3
Chemical Dose		-
RO System Recovery		60.0 %
Net RO System Recovery		60.0%

Πίνακας 4.46: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentrat e	Permeate	
				Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.48	1.18	1.18
Na ⁺	500.0	567.2	455.2	455.2
Mg ⁺²	41.00	61.42	27.39	27.39
Ca ⁺²	240.0	321.2	185.9	185.9
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.64	1.56	0.26	0.26
HCO ₃ ⁻	225.9	335.5	152.4	152.4
NO ₃ ⁻	3.20	3.40	3.07	3.07
F ⁻	0.90	1.09	0.77	0.77
Cl ⁻	1,144	1,333	1,018	1,018
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	121.6	2.25	2.25
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	13.07	11.29	11.29
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	12.22	11.63	12.80	12.80
TDS*	2,219	2,760	1,858	1,858
Est. Cond. μS/cm	4,031	4,853	3,469	3,469
pH	7.3	7.5	7.1	7.1

Πίνακας 4.47: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.53	1	1	1	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.47	1	1	2	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.41	1	1	3	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.35	1	1	4	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.29	1	1	5	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.24	1	1	6	NF270-4040

Πίνακας 4.48: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

Πίνακας 4.49: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	7.3	7.5
Langelier Saturation Index	0.35	0.82
Stiff & Davis Stability Index	0.43	0.80
TDS* (mg/l)	2,219	2,760
Ionic Strength (molal)	0.05	0.06
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	225.9	335.5
CO ₂ (mg/l)	12.22	11.63
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.64	1.56
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	5.0
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	22.5
SiO ₂ (% saturation)	9.9	10.8
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι συνεχίζουν να υπάρχουν προειδοποιήσεις σχεδιασμού και διαλυτότητας στο σύστημα. Αυτό γίνεται επειδή η ροή στο συμπυκνωμένο προϊόν είναι πολύ μικρή για το δεδομένο σύστημα. Στην περίπτωση της διαλυτότητας, ο δείκτης κορεσμού του Langelier συνεχίζει να είναι πάνω από το 0, στο ίδιο επίπεδο με το προηγούμενο πείραμα και για αυτό προτείνεται η χρήση αντικαθαλατωτικών.

4.3.3 Πείραμα 3.3 – Απόδοση 75%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 7.3

Πίνακας 4.50: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	0.60
Feed TDS*	(mg/L)	2,219
Feed Pressure	(bar)	1.7
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.45
Pass Average flux	(LMH)	9.8
Permeate TDS*	(mg/L)	1,881
Pass Recovery		75.0 %
Average NDP	(bar)	0.8
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.09
Temperature	(°C)	23.0
pH		7.3
Chemical Dose		-
RO System Recovery		75.0 %
Net RO System Recovery		75.0%

Πίνακας 4.51: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentrat e	Permeate	
				Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.63	1.19	1.19
Na ⁺	500.0	622.8	459.1	459.1
Mg ⁺²	41.00	80.35	27.89	27.89
Ca ⁺²	240.0	392.6	189.2	189.2
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.64	2.55	0.29	0.29
HCO ₃ ⁻	225.9	429.1	157.6	157.6
NO ₃ ⁻	3.20	3.57	3.08	3.08
F ⁻	0.90	1.22	0.79	0.79
Cl ⁻	1,144	1,492	1,028	1,028
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	192.9	2.41	2.41
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	14.23	11.26	11.26
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	12.22	12.25	12.43	12.43
TDS*	2,219	3,233	1,881	1,881
Est. Cond. μS/cm	4,031	5,552	3,507	3,507
pH	7.3	7.6	7.2	7.2

Πίνακας 4.52: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.52	1	1	1	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.44	1	1	2	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.36	1	1	3	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.29	1	1	4	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.22	1	1	5	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.15	1	1	6	NF270-4040
Element Recovery > Maximum Limit (%)	19.0	20.3	1	1	4	NF270-4040
Element Recovery > Maximum Limit (%)	19.0	24.4	1	1	5	NF270-4040
Element Recovery > Maximum Limit (%)	19.0	30.7	1	1	6	NF270-4040

Πίνακας 4.53: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

Πίνακας 4.54: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	7.3	7.6
Langelier Saturation Index	0.35	1.08
Stiff & Davis Stability Index	0.43	1.00
TDS* (mg/l)	2,219	3,233
Ionic Strength (molal)	0.05	0.07
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	225.9	429.1
CO ₂ (mg/l)	12.22	12.25
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.64	2.55
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	8.7
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	31.6
SiO ₂ (% saturation)	9.9	11.8
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.01

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι συνεχίζουν να υπάρχουν προειδοποιήσεις σχεδιασμού και διαλυτότητας στο σύστημα. Επίσης, εμφανίζονται προειδοποιήσεις όχι μόνο για το γεγονός ότι η ροή του συμπυκνωμένου προϊόντος είναι μικρό, αλλά και για το ότι η απόδοση της μεμβράνης είναι αδύνατο να φτάσει το 75% για το δεδομένο σύστημα. Ταυτόχρονα, στην περίπτωση της διαλυτότητας, ο δείκτης κορεσμού του Langelier συνεχίζει να είναι πάνω από το 0, στο ίδιο μεγαλύτερο με το προηγούμενο πείραμα και για αυτό προτείνεται η χρήση αντικαθαλατωτικών.

4.4. Πείραμα 4 - Μεταβαλλόμενη απόδοση, χωρίς ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 6,0 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης

4.4.1 Πείραμα 4.1 – Απόδοση 50%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 6.0

Πίνακας 4.55: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	0.60
Feed TDS*	(mg/L)	2,165
Feed Pressure	(bar)	1.3
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.30
Pass Average flux	(LMH)	6.6
Permeate TDS*	(mg/L)	1,844
Pass Recovery		50.0 %
Average NDP	(bar)	0.5
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.10
Temperature	(°C)	23.0
pH		6.0
Chemical Dose		-
RO System Recovery		50.0 %
Net RO System Recovery		50.0%

Πίνακας 4.56: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentrat	Permeate	
		e		Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.41	1.19	1.19
Na ⁺	500.0	541.1	459.0	459.0
Mg ⁺²	41.00	53.88	28.12	28.12
Ca ⁺²	240.0	290.5	189.5	189.5
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.01	0.03	0.01	0.01
HCO ₃ ⁻	96.95	129.1	64.85	64.85
NO ₃ ⁻	3.20	3.34	3.06	3.06
F ⁻	0.90	1.05	0.75	0.75
Cl ⁻	1,220	1,356	1,084	1,084
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	97.71	2.29	2.29
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	12.64	11.37	11.37
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	105.7	105.0	106.4	106.4
TDS*	2,165	2,487	1,844	1,844
Est. Cond. μS/cm	4,095	4,625	3,557	3,557
pH	6.0	6.1	5.8	5.8

Πίνακας 4.57: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.54	1	1	1	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.49	1	1	2	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.44	1	1	3	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.39	1	1	4	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.34	1	1	5	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.30	1	1	6	NF270-4040

Πίνακας 4.58: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

RO Solubility Warnings

None

Πίνακας 4.59: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	6.0	6.1
Langelier Saturation Index	-1.32	-1.00
Stiff & Davis Stability Index	-1.25	-0.99
TDS* (mg/l)	2,165	2,487
Ionic Strength (molal)	0.05	0.05
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	96.95	129.1
CO ₂ (mg/l)	105.7	105.0
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.01	0.03
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	3.8
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	19.5
SiO ₂ (% saturation)	8.8	9.4
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι συνεχίζουν να εμφανίζονται μόνο προειδοποιήσεις σχεδιασμού στο συγκεκριμένο σύστημα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχει μειωθεί το pH από 7,3 σε 6,0 συγκριτικά με το πείραμα 3.1 συμβάλλοντας θετικά στην διαλυτότητα των συστατικών του συστήματος. Αντίθετα, οι προειδοποιήσεις λειτουργικότητας εξακολουθούν να εμφανίζονται, αφού η ροή του συμπυκνωμένου προϊόντος συνεχίζει να είναι κάτω από το όριο, για το δεδομένο σύστημα.

4.4.2 Πείραμα 4.2 – Απόδοση 60%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 6.0

Πίνακας 4.60: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	0.60
Feed TDS*	(mg/L)	2,165
Feed Pressure	(bar)	1.4
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.36
Pass Average flux	(LMH)	7.9
Permeate TDS*	(mg/L)	1,837
Pass Recovery		60.0 %
Average NDP	(bar)	0.7
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.08
Temperature	(°C)	23.0
pH		6.0
Chemical Dose		-
RO System Recovery		60.0 %
Net RO System Recovery		60.0%

Πίνακας 4.61: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentration	Permeate	
				Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.47	1.19	1.19
Na ⁺	500.0	562.8	458.2	458.2
Mg ⁺²	41.00	60.91	27.73	27.73
Ca ⁺²	240.0	317.6	188.3	188.3
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.01	0.03	0.01	0.01
HCO ₃ ⁻	96.95	145.4	64.71	64.71
NO ₃ ⁻	3.20	3.43	3.05	3.05
F ⁻	0.90	1.11	0.76	0.76
Cl ⁻	1,220	1,431	1,079	1,079
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	121.7	2.23	2.23
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	13.06	11.29	11.29
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	105.7	105.1	106.0	106.0
TDS*	2,165	2,658	1,837	1,837
Est. Cond. μS/cm	4,095	4,906	3,543	3,543
pH	6.0	6.2	5.8	5.8

Πίνακας 4.62: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.53	1	1	1	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.47	1	1	2	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.41	1	1	3	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.35	1	1	4	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.29	1	1	5	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.24	1	1	6	NF270-4040

Πίνακας 4.63: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

RO Solubility Warnings

None

Πίνακας 4.64: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	6.0	6.2
Langelier Saturation Index	-1.32	-0.86
Stiff & Davis Stability Index	-1.25	-0.88
TDS* (mg/l)	2,165	2,658
Ionic Strength (molal)	0.05	0.06
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	96.95	145.4
CO ₂ (mg/l)	105.7	105.1
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.01	0.03
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	4.9
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	23.0
SiO ₂ (% saturation)	8.8	9.8
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι συνεχίζουν να εμφανίζονται μόνο προειδοποιήσεις σχεδιασμού στο συγκεκριμένο σύστημα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχει μειωθεί το pH από 7,3 σε 6,0 συγκριτικά με το πείραμα 3.2 συμβάλλοντας θετικά στην διαλυτότητα των συστατικών του συστήματος. Αντίθετα, οι προειδοποιήσεις λειτουργικότητας εξακολουθούν να εμφανίζονται, αφού η ροή του συμπυκνωμένου προϊόντος συνεχίζει να είναι κάτω από το όριο, για το δεδομένο σύστημα.

4.4.3 Πείραμα 4.3 – Απόδοση 75%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 6.0

Πίνακας 4.65: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	0.60
Feed TDS*	(mg/L)	2,165
Feed Pressure	(bar)	1.7
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.45
Pass Average flux	(LMH)	9.8
Permeate TDS*	(mg/L)	1,858
Pass Recovery		75.0 %
Average NDP	(bar)	0.8
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.09
Temperature	(°C)	23.0
pH		6.0
Chemical Dose		-
RO System Recovery		75.0 %
Net RO System Recovery		75.0%

Πίνακας 4.66: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentrat	Permeate	
		e		Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.61	1.20	1.20
Na ⁺	500.0	614.7	461.8	461.8
Mg ⁺²	41.00	79.32	28.23	28.23
Ca ⁺²	240.0	385.6	191.5	191.5
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.01	0.06	0.01	0.01
HCO ₃ ⁻	96.95	186.6	67.07	67.07
NO ₃ ⁻	3.20	3.62	3.06	3.06
F ⁻	0.90	1.24	0.79	0.79
Cl ⁻	1,220	1,608	1,090	1,090
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	192.9	2.39	2.39
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	14.21	11.26	11.26
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	105.7	105.3	105.8	105.8
TDS*	2,165	3,087	1,858	1,858
Est. Cond. μS/cm	4,095	5,593	3,580	3,580
pH	6.0	6.3	5.9	5.9

Πίνακας 4.67: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning		Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.52	1	1	1	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.44	1	1	2	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.36	1	1	3	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.29	1	1	4	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.22	1	1	5	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	0.68	0.15	1	1	6	NF270-4040
Element Recovery > Maximum Limit	(%)	19.0	20.3	1	1	4	NF270-4040
Element Recovery > Maximum Limit	(%)	19.0	24.4	1	1	5	NF270-4040
Element Recovery > Maximum Limit	(%)	19.0	30.8	1	1	6	NF270-4040

Πίνακας 4.68: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

RO Solubility Warnings

None

Πίνακας 4.69: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	6.0	6.3
Langelier Saturation Index	-1.32	-0.58
Stiff & Davis Stability Index	-1.25	-0.66
TDS* (mg/l)	2,165	3,087
Ionic Strength (molal)	0.05	0.07
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	96.95	186.6
CO ₂ (mg/l)	105.7	105.2
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.01	0.06
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	8.6
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	32.3
SiO ₂ (% saturation)	8.8	10.8
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι συνεχίζουν να εμφανίζονται μόνο προειδοποιήσεις σχεδιασμού στο συγκεκριμένο σύστημα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχει μειωθεί το pH από 7,3 σε 6,0 συγκριτικά με το πείραμα 3.3 συμβάλλοντας θετικά στην διαλυτότητα των συστατικών του συστήματος. Αντίθετα, οι προειδοποιήσεις λειτουργικότητας εξακολουθούν να αυξάνονται αφού αυξάνεται η απόδοση του συστήματος και η ροή του συμπυκνωμένου προϊόντος συνεχίζει να είναι κάτω από το όριο σε ακόμα πιο μικρή παροχή, για το δεδομένο σύστημα.

4.5. Πείραμα 5 - Απόδοση 75%, με μεταβαλλόμενη ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 6,0 με χρήση μεμβράνης νανοδιήθησης

4.5.1 Πείραμα 5.1 – Απόδοση 75%, σε ανακυκλοφορία 300 L/h και pH= 6.0

Πίνακας 4.70: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	0.90
Feed TDS*	(mg/L)	2,418
Feed Pressure	(bar)	1.8
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.45
Pass Average flux	(LMH)	9.9
Permeate TDS*	(mg/L)	1,912
Pass Recovery		50.0 %
Average NDP	(bar)	0.8
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.13
Temperature	(°C)	23.0
pH		6.0
Chemical Dose		-
RO System Recovery		75.0 %
Net RO System Recovery		75.0%

Πίνακας 4.71: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentrate	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.30	1.38	1.54	1.22	1.22
Na ⁺	500.0	500.0	530.8	592.3	469.3	469.3
Mg ⁺²	41.00	41.00	51.71	73.12	30.32	30.32
Ca ⁺²	240.0	240.0	279.7	359.1	200.4	200.4
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.01	0.01	0.02	0.05	0.01	0.01
HCO ₃ ⁻	96.96	96.96	121.1	169.4	72.87	72.87
NO ₃ ⁻	3.20	3.20	3.30	3.51	3.10	3.10
F ⁻	0.90	0.90	0.98	1.14	0.82	0.82
Cl ⁻	1,220	1,220	1,320	1,520	1,120	1,120
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	50.00	96.85	190.5	3.26	3.26
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	12.00	12.53	13.58	11.47	11.47
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	105.7	105.7	105.6	105.5	105.8	105.8
TDS*	2,165	2,165	2,418	2,925	1,912	1,912
Est. Cond. μS/cm	4,095	4,095	4,510	5,322	3,676	3,676
pH	6.0	6.0	6.1	6.2	5.9	5.9

Πίνακας 4.72: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.65	1	1	3	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.58	1	1	4	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.51	1	1	5	NF270-4040
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.68	0.45	1	1	6	NF270-4040

Πίνακας 4.73: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

RO Solubility Warnings

None

Πίνακας 4.74: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	6.0	6.2
Langelier Saturation Index	-1.32	-0.69
Stiff & Davis Stability Index	-1.25	-0.75
TDS* (mg/l)	2,165	2,925
Ionic Strength (molal)	0.05	0.06
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	96.96	169.4
CO ₂ (mg/l)	105.7	105.5
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.01	0.05
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	8.2
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	26.4
SiO ₂ (% saturation)	8.8	10.2
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι συνεχίζουν να εμφανίζονται μόνο προειδοποιήσεις σχεδιασμού στο συγκεκριμένο σύστημα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχει μειωθεί το pH από 7,3 σε 6,0 συγκριτικά με το πείραμα 3.3 συμβάλλοντας θετικά στην διαλυτότητα των συστατικών του συστήματος. Αντίθετα, οι προειδοποιήσεις λειτουργικότητας εξακολουθούν να υφίστανται, αφού η ροή του συμπυκνωμένου προϊόντος συνεχίζει να είναι κάτω από το όριο όπως και στο πείραμα 3.3.

4.5.2 Πείραμα 5.2 – Απόδοση 75%, σε ανακυκλοφορία 600 L/h και pH= 6.0

Πίνακας 4.75: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	1.20
Feed TDS*	(mg/L)	2,524
Feed Pressure	(bar)	2.0
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.45
Pass Average flux	(LMH)	9.9
Permeate TDS*	(mg/L)	1,927
Pass Recovery		37.5 %
Average NDP	(bar)	0.8
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.18
Temperature	(°C)	23.0
pH		6.0
Chemical Dose		-
RO System Recovery		75.1 %
Net RO System Recovery		75.1%

Πίνακας 4.76: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentration	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.30	1.41	1.53	1.22	1.22
Na ⁺	500.0	500.0	543.3	586.5	471.3	471.3
Mg ⁺²	41.00	41.00	56.25	71.50	30.87	30.87
Ca ⁺²	240.0	240.0	296.2	352.3	202.7	202.7
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.01	0.01	0.03	0.04	0.01	0.01
HCO ₃ ⁻	96.96	96.96	130.7	164.4	74.57	74.57
NO ₃ ⁻	3.20	3.20	3.34	3.49	3.10	3.10
F ⁻	0.90	0.90	1.00	1.10	0.83	0.83
Cl ⁻	1,220	1,220	1,359	1,498	1,127	1,127
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	50.00	119.9	189.8	3.56	3.56
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	12.00	12.78	13.55	11.48	11.48
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	105.7	105.7	105.8	106.0	105.5	105.5
TDS*	2,165	2,165	2,524	2,882	1,927	1,927
Est. Cond. μS/cm	4,095	4,095	4,679	5,251	3,701	3,701
pH	6.0	6.0	6.1	6.2	5.9	5.9

Πίνακας 4.77: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

RO Design Warnings

None

Πίνακας 4.78: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

RO Solubility Warnings

None

Πίνακας 4.79: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	6.0	6.2
Langelier Saturation Index	-1.32	-0.73
Stiff & Davis Stability Index	-1.25	-0.78
TDS* (mg/l)	2,165	2,882
Ionic Strength (molal)	0.05	0.06
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	96.96	164.4
CO ₂ (mg/l)	105.7	106.0
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.01	0.04
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	8.1
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	24.2
SiO ₂ (% saturation)	8.8	10.2
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι δεν εμφανίζονται προειδοποιήσεις σχεδιασμού και διαλυτότητας στο συγκεκριμένο σύστημα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχει μειωθεί το pH από 7,3 σε 6,0 συγκριτικά με το πείραμα 3.3 συμβάλλοντας θετικά στην διαλυτότητα των συστατικών του συστήματος και παράλληλα η αύξηση της ανακυκλοφορίας στα 600L/h από την μηδενική ανακυκλοφορία σε σχέση με το πείραμα 3.3, έχει αυξήσει την ροή του συμπυκνωμένου ρεύματος σε επιτρεπτό όριο.

4.5.3 Πείραμα 5.3 – Απόδοση 75%, σε ανακυκλοφορία 700 L/h και pH= 6.0

Πίνακας 4.80: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	45.7
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	1.30
Feed TDS*	(mg/L)	2,547
Feed Pressure	(bar)	2.0
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.45
Pass Average flux	(LMH)	9.9
Permeate TDS*	(mg/L)	1,929
Pass Recovery		34.6 %
Average NDP	(bar)	0.8
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.20
Temperature	(°C)	23.0
pH		6.0
Chemical Dose		-
RO System Recovery		75.0 %
Net RO System Recovery		75.0%

Πίνακας 4.81: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentrat e	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.30	1.42	1.53	1.22	1.22
Na ⁺	500.0	500.0	546.0	585.5	471.6	471.6
Mg ⁺²	41.00	41.00	57.27	71.20	30.96	30.96
Ca ⁺²	240.0	240.0	299.8	351.0	203.1	203.1
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.01	0.01	0.03	0.04	0.01	0.01
HCO ₃ ⁻	96.96	96.96	132.8	163.5	74.82	74.82
NO ₃ ⁻	3.20	3.20	3.35	3.49	3.10	3.10
F ⁻	0.90	0.90	1.01	1.10	0.83	0.83
Cl ⁻	1,220	1,220	1,367	1,494	1,128	1,128
Br ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	50.00	50.00	125.1	189.5	3.62	3.62
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	12.00	12.00	12.86	13.59	11.47	11.47
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	105.7	105.7	105.8	106.0	105.5	105.5
TDS*	2,165	2,165	2,547	2,874	1,929	1,929
Est. Cond. μS/cm	4,095	4,095	4,716	5,238	3,705	3,705
pH	6.0	6.0	6.1	6.2	5.9	5.9

Πίνακας 4.82: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

RO Design Warnings

None

Πίνακας 4.83: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

RO Solubility Warnings

None

Πίνακας 4.84: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	6.0	6.2
Langelier Saturation Index	-1.32	-0.73
Stiff & Davis Stability Index	-1.25	-0.78
TDS* (mg/l)	2,165	2,874
Ionic Strength (molal)	0.05	0.06
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	96.96	163.5
CO ₂ (mg/l)	105.7	106.0
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.01	0.04
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	8.0
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	12.9	24.0
SiO ₂ (% saturation)	8.8	10.2
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι συνεχίζουν εμφανίζονται προειδοποιήσεις σχεδιασμού και διαλυτότητας στο συγκεκριμένο σύστημα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχει μειωθεί το pH από 7,3 σε 6,0 συγκριτικά με το πείραμα 3.3 συμβάλλοντας θετικά στην διαλυτότητα των συστατικών του συστήματος και παράλληλα η αύξηση της ανακυκλοφορίας στα 700L/h από την μηδενική ανακυκλοφορία σε σχέση με το πείραμα 3.3, έχει αυξήσει την ροή του συμπυκνωμένου ρεύματος σε επιτρεπτό όριο.

4.6. Πείραμα 6 – Μεταβαλλόμενη απόδοση, χωρίς ανακυκλοφορία σε pH ίσο με 5,9 με χρήση μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης

4.6.1 Πείραμα 6.1 – Απόδοση 80%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 5.9

Πίνακας 4.85: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	15.6
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	0.60
Feed TDS*	(mg/L)	1,931
Feed Pressure	(bar)	9.1
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.48
Pass Average flux	(LMH)	30.8
Permeate TDS*	(mg/L)	135.8
Pass Recovery		80.0 %
Average NDP	(bar)	4.7
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.40
Temperature	(°C)	25.0
pH		5.9
Chemical Dose		-
RO System Recovery		80.0 %
Net RO System Recovery		80.0%

Πίνακας 4.86: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentrat	Permeate	
		e		Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.22	5.68	0.11	0.11
Na ⁺	471.6	2,205	38.40	38.40
Mg ⁺²	30.96	148.6	1.56	1.56
Ca ⁺²	203.1	976.2	9.91	9.91
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.01	0.30	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	75.81	350.9	7.43	7.43
NO ₃ ⁻	3.10	10.67	1.21	1.21
F ⁻	0.83	3.83	0.08	0.08
Cl ⁻	1,128	5,336	76.52	76.52
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	3.62	17.64	0.12	0.12
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	11.47	55.42	0.49	0.49
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	105.8	106.0	105.5	105.5
TDS*	1,930	9,110	135.8	135.8
Est. Cond. μS/cm	3,705	15,517	284	284
pH	5.9	6.4	5.0	5.0

Πίνακας 4.87: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.16	0.12	1	1	6	XLE-2540

Πίνακας 4.88: Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
CaF ₂ (% saturation) > 100	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

Πίνακας 4.89: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	5.9	6.4
Langelier Saturation Index	-1.56	0.28
Stiff & Davis Stability Index	-1.44	-0.20
TDS* (mg/l)	1,930	9,110
Ionic Strength (molal)	0.04	0.19
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	75.81	350.9
CO ₂ (mg/l)	105.9	106.1
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.01	0.30
CaSO ₄ (% saturation)	0.11	0.98
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	9.9	511.9
SiO ₂ (% saturation)	8.1	41.3
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι εμφανίζονται προειδοποιήσεις σχεδιασμού και διαλυτότητας στο σύστημα. Αυτό γίνεται γιατί η ροή του συμπυκνωμένου προϊόντος είναι κάτω από το επιτρεπτό όριο. Στην περίπτωση της διαλυτότητας, ο δείκτης κορεσμού του Langelier είναι πάνω από το 0, και αυτό οφείλεται στην μεγάλη απόδοση της μεμβράνης (80%) αφού για μικρότερη απόδοση και ίδιο (σχεδόν) pH με το πείραμα 5.3 δεν εμφανίζονται προειδοποιήσεις διαλυτότητας. Επίσης εμφανίζεται κορεσμός του φθοριούχου ασβεστίου (CaF₂) λόγω της υψηλής απόδοσης. Για του παραπάνω λόγους προτείνεται η χρήση αντικαθαλατωτικών.

4.6.2 Πείραμα 6.2 – Απόδοση 90%, χωρίς ανακυκλοφορία και pH= 5.9

Πίνακας 4.90: Επισκόπηση Συστήματος

Number of Elements		6
Total Active Area	(m ²)	15.6
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	0.60
Feed TDS*	(mg/L)	1,931
Feed Pressure	(bar)	12.2
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.54
Pass Average flux	(LMH)	34.6
Permeate TDS*	(mg/L)	199.5
Pass Recovery		90.0 %
Average NDP	(bar)	5.1
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.46
Temperature	(°C)	25.0
pH		5.9
Chemical Dose		-
RO System Recovery		90.0 %
Net RO System Recovery		90.0%

Πίνακας 4.91: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentrat	Permeate	
		e		Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.22	10.83	0.15	0.15
Na ⁺	471.6	4,213	56.13	56.13
Mg ⁺²	30.96	288.5	2.36	2.36
Ca ⁺²	203.1	1,898	14.93	14.93
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.01	1.60	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	75.81	663.8	10.50	10.50
NO ₃ ⁻	3.10	17.44	1.51	1.51
F ⁻	0.83	7.24	0.12	0.12
Cl ⁻	1,128	10,269	112.9	112.9
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	3.62	34.62	0.18	0.18
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	11.47	108.3	0.72	0.72
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	105.8	106.7	105.7	105.7
TDS*	1,930	17,511	199.5	199.5
Est. Cond. μS/cm	3,705	27,881	413	413
pH	5.9	6.6	5.2	5.2

Πίνακας 4.92: Προειδοποιήσεις Σχεδιασμού

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Permeate Flow Rate > Maximum Limit (m ³ /h)	0.12	0.16	1	1	1	XLE-2540
Permeate Flow Rate > Maximum Limit (m ³ /h)	0.12	0.14	1	1	2	XLE-2540
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.16	0.11	1	1	4	XLE-2540
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.16	0.08	1	1	5	XLE-2540
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit (m ³ /h)	0.16	0.06	1	1	6	XLE-2540
Element Recovery > Maximum Limit (%)	30.0	32.3	1	1	2	XLE-2540
Element Recovery > Maximum Limit (%)	30.0	37.8	1	1	3	XLE-2540
Element Recovery > Maximum Limit (%)	30.0	39.4	1	1	4	XLE-2540
Element Recovery > Maximum Limit (%)	30.0	32.1	1	1	5	XLE-2540

Πίνακας 4.93 Προειδοποιήσεις Διαλυτότητας

Warning	Pass No
Stiff & Davis Stability Index > 0	1
CaF ₂ (% saturation) > 100	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

Πίνακας 4.94: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	5.9	6.6
Langelier Saturation Index	-1.56	1.02
Stiff & Davis Stability Index	-1.44	0.29
TDS* (mg/l)	1,930	17,511
Ionic Strength (molal)	0.04	0.37
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	75.81	663.8
CO ₂ (mg/l)	105.9	106.7
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.01	1.60
CaSO ₄ (% saturation)	0.11	2.2
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	9.9	2,831
SiO ₂ (% saturation)	8.1	82.5
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Παρατηρείται ότι συνεχίζουν να υπάρχουν προειδοποιήσεις σχεδιασμού και διαλυτότητας στο σύστημα. Συγκριτικά με το πείραμα 6.1, παρατηρείται ότι με την αύξηση της απόδοσης, εμφανίζονται περισσότερες προειδοποιήσεις σχεδιασμού, ενώ παράλληλα, τόσο ο δείκτης κορεσμού του Langelier όσο και ο κορεσμός του CaF₂ χειροτερεύουν. Συγκεκριμένα, εμφανίζονται επιπρόσθετα περιορισμοί απόδοσης της μεμβράνης λειτουργίας, ο δείκτης κορεσμού Langelier αυξάνεται από 0.28 σε 1.02, ο δείκτης σταθερότητας Stiff & Davis από 0.20 αυξάνεται σε 0.29 που δεν είναι επιτρεπτό και ο κορεσμός CaF₂ από 511.9 σε 2,831.

5 ΜΕΛΕΤΗ ΟΛΟΚΛΗΤΩΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΝΑΝΟΔΙΗΘΗΣΗΣ – ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ WAVE

5.1. Μεθοδολογία μελέτης περίπτωσης

Πέρα από την μελέτη των εργαστηριακών πειραμάτων, μελετήθηκε θεωρητικά η περίπτωση κατά την οποία το προϊόν διήθησης της μεμβράνη νανοδιήθησης είναι το ρεύμα τροφοδοσίας σε μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης με στόχο την μέγιστη ανάκτηση καθαρού νερού και ελαχιστοποίηση του προϊόντος συμπύκνωσης, καθώς και της μηδενικής ύπαρξης προειδοποιήσεων σχεδιασμού και διαλυτότητας. Αυτό γίνεται ούτως ώστε η διεργασία να συνεχίζεται απρόσκοπτα από τεχνικές βλάβες και πολύ συχνές συντηρήσεις καθώς και για να λειτουργεί στον βαθμό απόδοσης της σταθερά.

Επίσης, στην μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε η μεμβράνη νανοδιήθησης η NF 200 4040 αντί της μεμβράνης NF 270 4040 αφού έπεται επεξεργασία με μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης που εκ των πραγμάτων έχει καλύτερη απόδοση αφαλάτωσης από την NF 270 4040, δηλαδή την παραγωγή πόσιμου νερού (Aquaquote, NF 200 4040, 2018) (Aquaquote, NF 270 4040 2018).

Επιπρόσθετα, στην συγκεκριμένη μελέτη αντί της μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης XLE 2540 χρησιμοποιήθηκε η BW30 2540 διότι αν και οι 2 μεμβράνες μπορούν να λειτουργήσουν σε ίδια μέγιστη απόδοση λειτουργίας, η μεμβράνη XLE 2540 έχει μέγιστη ροή εισόδου τα 850 L/h ενώ η BW30 2540 έχει μεγαλύτερη μέγιστη ροή εισόδου στα 1000 L/h. Επομένως, λειτουργώντας στην ίδια απόδοση, η δεύτερη δύναται να παράγει μεγαλύτερη ροή διηθήματος αφού έχει μεγαλύτερο μέγιστο ρεύμα εισόδου (Aquaquote, XLE 2540, 2018) (Aquaquote, BW30 2540, 2018).

Ως ρεύμα τροφοδοσίας στη πρώτη μεμβράνη, χρησιμοποιείται νερό ίδιας σύστασης που μελετήσαμε πειραματικά με ενεργό οξύτητα 6.0 ενώ, η παροχή αυξάνεται από τα 600L/h σε 1000L/h. Το προϊόν συμπύκνωμα της νανοδιήθησης χρησιμοποιείται ως τροφοδοσία για τον εξατμιστήρα χαμηλής θερμοκρασίας. Επιπλέον, μελετήθηκε η περίπτωση περεταίρω επεξεργασίας του ρεύματος του συμπυκνωμένου προϊόντος της μεμβράνης της αντίστροφης ώσμωσης με την χρήση της μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης SW 30 2540, καθώς και το συμπυκνωμένο προϊόν αυτής με ακόμα μια μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης SW 30 2540. Κατά την χρήση αυτών των μεμβρανών χρησιμοποιήθηκαν 12 στοιχεία (elements) αντί 6 που χρησιμοποιήθηκαν στις πρώτες δυο μεμβράνες αφού ο συνολικός αριθμός διαλυμένων στερεών στο νερό γίνεται όλο και πιο μεγάλος και αυτό αυξάνει κατά πολύ την πίεση κατά την επεξεργασία του. Στην μελέτη αυτή ερευνήθηκαν τρεις περιπτώσεις, ώστε να επιλεγεί η ιδανικότερη.

5.2. Μελέτη περιπτώσεων για εξεύρεση των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας

5.2.1 Περίπτωση 1 – Παραγωγή μέτριας (50%) ποσότητας προϊόντος διήθησης με νανοδιήθηση και μέτριας ποσότητας (45%) προϊόντος διήθησης με αντίστροφη ώσμωση

Στην περίπτωση 1 μελετήθηκε η περίπτωση κατά την οποία παράγεται σχετικά μέτρια ποσότητα συμπυκνωμένου προϊόντος κατά την επεξεργασία με την μεμβράνη νανοδιήθησης και σχετικά μεγάλης ποσότητας συμπυκνωμένου προϊόντος κατά την επεξεργασία με την μεμβράνη αντίστροφής ώσμωσης.

Πίνακας 5.1: Επισκόπηση Συστήματος νανοδιήθησης N 200 4040 και αντίστροφης ώσμωσης BW 30 2540

Number of Elements		6	6
Total Active Area	(m ²)	45.7	15.6
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	2.69	1.35
Feed TDS*	(mg/L)	4,984	2,348
Feed Pressure	(bar)	9.5	15.8
Flow Factor Per Stage		0.85	1.00
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	1.35	0.61
Pass Average flux	(LMH)	29.5	38.8
Permeate TDS*	(mg/L)	2,346	27.71
Pass Recovery		50.2 %	45.2 %
Average NDP	(bar)	5.7	11.5
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.66	1,639
Temperature	(°C)	23.0	23.0
pH		5.5	5.3
Chemical Dose		-	-
RO System Recovery		60.6 %	
Net RO System Recovery		60.6%	
Specific Energy	(kWh/m ³)	1640.38	

Πίνακας 5.2: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη νανοδιήθησης

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentration	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total to Pass 2
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.30	2.70	3.73	1.68	1.68
Na ⁺	500.0	500.0	1,033	1,416	649.6	649.6
Mg ⁺²	41.00	41.00	120.2	214.9	25.45	25.45
Ca ⁺²	240.0	240.0	631.0	1,055	206.6	206.6
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	41.01	41.01	115.8	203.1	28.51	28.51
NO ₃ ⁻	3.14	3.14	5.97	7.72	4.21	4.21
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	1,255	1,255	2,859	4,295	1,423	1,423
Br ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	49.00	49.00	179.6	357.2	1.92	1.92
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	11.76	11.76	36.42	67.05	5.78	5.78
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	144.9	144.9	150.5	158.0	143.0	143.0
TDS*	2,142	2,142	4,984	7,620	2,346	2,346
Est. Cond. μS/cm	4,125	4,125	8,953	13,061	4,527	4,527
pH	5.5	5.5	5.9	6.0	5.3	5.3

Πίνακας 5.3: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentrat	Permeate	
		e		Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.68	3.03	0.02	0.02
Na ⁺	649.6	1,175	8.04	8.04
Mg ⁺²	25.45	46.15	0.18	0.18
Ca ⁺²	206.6	374.7	1.46	1.46
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	28.51	51.21	2.51	2.51
NO ₃ ⁻	4.21	7.44	0.28	0.28
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	1,423	2,576	15.15	15.15
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	1.92	3.49	0.01	0.01
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	5.78	10.49	0.03	0.03
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	143.0	143.2	141.5	141.5
TDS*	2,346	4,248	27.71	27.71
Est. Cond. μS/cm	4,527	7,872	69	69
pH	5.3	5.5	4.5	4.5

Πίνακας 5.4: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc	Pass 2 Feed	RO 2 nd Pass Conc
pH	5.5	6.0	5.3	5.5
Langelier Saturation Index	-2.20	-0.36	-2.58	-1.88
Stiff & Davis Stability Index	-2.13	-0.79	-2.52	-2.04
TDS* (mg/l)	2,142	7,620	2,346	4,248
Ionic Strength (molal)	0.05	0.17	0.05	0.09
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	41.01	203.1	28.51	51.21
CO ₂ (mg/l)	145.0	158.0	142.9	143.1
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.00	0.06	0.00	0.00
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	23.1	0.06	0.13
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂ (% saturation)	8.2	49.4	4.0	7.3
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00

Πίνακας 5.5: Επισκόπηση Συστήματος αντίστροφης όσμωσης SW 30 2540

Number of Elements		12
Total Active Area	(m ²)	31.2
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	1.35
Feed TDS*	(mg/L)	12,247
Feed Pressure	(bar)	36.4
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.88
Pass Average flux	(LMH)	28.2
Permeate TDS*	(mg/L)	153.8
Pass Recovery		65.2 %
Average NDP	(bar)	19.1
Specific Energy	(kWh/m ³)	1.95
Temperature	(°C)	23.0
pH		4.6
Chemical Dose		-
RO System Recovery		88.1 %
Net RO System Recovery		88.1%

Πίνακας 5.6: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentration	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	3.03	3.03	8.41	23.50	0.28	0.28
Na ⁺	1,175	1,175	3,380	9,570	46.84	46.84
Mg ⁺²	46.15	46.15	134.4	382.1	1.00	1.00
Ca ⁺²	374.7	374.7	1,092	3,104	7.92	7.92
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	51.99	51.99	140.9	392.4	9.96	9.96
NO ₃ ⁻	7.72	7.72	20.93	57.99	0.96	0.96
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	2,576	2,576	7,442	21,102	86.26	86.26
Br ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	3.49	3.49	10.28	29.33	0.02	0.02
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	6.33	6.33	17.81	50.03	0.45	0.45
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	1,324	1,324	1,327	1,325	1,322	1,322
TDS*	4,244	4,244	12,246	34,711	153.8	153.8
Est. Cond. μS/cm	7,880	7,880	20,748	52,490	343	343
pH	4.6	4.6	4.9	5.2	4.1	4.1

Πίνακας 5.7: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	4.6	5.2
Langelier Saturation Index	-2.84	-0.47
Stiff & Davis Stability Index	-3.00	-1.45
TDS* (mg/l)	4,244	34,711
Ionic Strength (molal)	0.09	0.72
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	51.99	392.4
CO ₂ (mg/l)	1,325	1,325
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.00	0.07
CaSO ₄ (% saturation)	0.13	1.8
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	0.00	0.00
SiO ₂ (% saturation)	4.0	33.7
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Πίνακας 5.8: Επισκόπηση Συστήματος SW 30 2540

Number of Elements		12
Total Active Area	(m ²)	31.2
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	1.35
Feed TDS*	(mg/L)	42,603
Feed Pressure	(bar)	55.3
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.47
Pass Average flux	(LMH)	15.2
Permeate TDS*	(mg/L)	618.0
Pass Recovery		34.8 %
Average NDP	(bar)	15.7
Specific Energy	(kWh/m ³)	5.53
Temperature	(°C)	23.0
pH		5.0
Chemical Dose		-
RO System Recovery		47.3 %
Net RO System Recovery		47.3%

Πίνακας 5.9: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentrat e	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	23.50	23.50	28.77	43.62	1.19	1.19
Na ⁺	9,570	9,570	11,785	18,025	196.8	196.8
Mg ⁺²	382.1	382.1	471.4	723.1	4.09	4.09
Ca ⁺²	3,104	3,104	3,830	5,874	32.76	32.76
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.02	0.02	0.03	0.09	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	156.6	156.6	191.6	290.3	10.81	10.81
NO ₃ ⁻	58.37	58.37	71.25	107.5	3.90	3.90
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	21,240	21,240	26,173	40,066	367.9	367.9
Br ⁻⁴	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	29.52	29.52	36.48	56.09	0.07	0.07
PO ₄ ⁻⁵	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	11.83	11.83	14.52	22.09	0.46	0.46
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	825.5	825.5	827.6	826.9	824.8	824.8
TDS*	34,576	34,576	42,602	65,207	618.0	618.0
Est. Cond. μS/cm	52,600	52,600	63,185	91,584	1,273	1,273
pH	5.0	5.0	5.1	5.3	4.2	4.2

Πίνακας 5.10: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	5.0	5.3
Langelier Saturation Index	-1.06	-0.21
Stiff & Davis Stability Index	-2.04	-1.28
TDS* (mg/l)	34,576	65,207
Ionic Strength (molal)	0.72	1.41
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	156.6	290.3
CO ₂ (mg/l)	825.5	826.6
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.02	0.09
CaSO ₄ (% saturation)	1.8	3.9
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	0.00	0.00
SiO ₂ (% saturation)	7.8	15.1
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

5.2.2 Περίπτωση 2 – Παραγωγή μέτριας ποσότητας (60%) προϊόντος διήθησης με νανοδιήθηση και μέτριας ποσότητας (47%) προϊόντος διήθησης με αντίστροφη ώσμωση

Στην περίπτωση αυτή μελετήθηκε η περίπτωση κατά την οποία υπάρχει παραγωγή σχετικά μεγάλης ποσότητας συμπυκνωμένου προϊόντος κατά την επεξεργασία με νανοδιήθηση και σχετικά μικρής ποσότητας συμπυκνωμένου προϊόντος κατά την επεξεργασία με την μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης BW 30 2540.

Πίνακας 5.11: Επισκόπηση Συστήματος νανοδιήθησης N200 4040 και αντίστροφης ώσμωσης BW 30 2540

Number of Elements		6	6
Total Active Area	(m ²)	45.7	15.6
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	2.22	1.33
Feed TDS*	(mg/L)	3,636	1,941
Feed Pressure	(bar)	8.2	14.7
Flow Factor Per Stage		0.85	1.00
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	1.33	0.63
Pass Average flux	(LMH)	29.2	40.2
Permeate TDS*	(mg/L)	1,940	29.99
Pass Recovery		59.9 %	47.4 %
Average NDP	(bar)	5.2	10.8
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.47	1.08
Temperature	(°C)	25.0	25.0
pH		5.5	5.1
Chemical Dose		-	-
RO System Recovery		62.7 %	
Net RO System Recovery		62.7%	
Specific Energy	(kWh/m ³)	2.08	

Πίνακας 5.12: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη νανοδιήθησης

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentrat e	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total to Pass 2
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.30	2.34	3.60	1.49	1.49
Na ⁺	500.0	500.0	905.3	1,376	591.2	591.2
Mg ⁺²	41.00	41.00	60.71	128.6	15.46	15.46
Ca ⁺²	240.0	240.0	371.8	734.7	129.8	129.8
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	41.00	41.00	61.10	127.0	17.40	17.40
NO ₃ ⁻	3.14	3.14	5.71	7.79	4.33	4.33
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	1,255	1,255	2,146	3,603	1,175	1,175
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	48.99	48.99	65.20	161.7	0.87	0.87
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	11.76	11.76	17.60	36.72	4.85	4.85
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	143.7	143.7	144.5	148.7	141.5	141.5
TDS*	2,142	2,142	3,636	6,179	1,940	1,940
Est. Cond. μS/cm	4,125	4,125	6,762	10,950	3,778	3,778
pH	5.5	5.5	5.6	5.9	5.1	5.1

Πίνακας 5.13: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentrat	Permeate	
		e		Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.49	2.80	0.02	0.02
Na ⁺	591.2	1,108	9.29	9.29
Mg ⁺²	15.46	29.05	0.14	0.14
Ca ⁺²	129.8	244.0	1.17	1.17
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	17.40	32.01	2.49	2.49
NO ₃ ⁻	4.33	7.84	0.37	0.37
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	1,175	2,203	16.45	16.45
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	0.87	1.63	0.00	0.00
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	4.85	9.14	0.02	0.02
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	141.5	141.8	140.1	140.1
TDS*	1,940	3,637	29.99	29.99
Est. Cond. μS/cm	3,778	6,815	73	73
pH	5.1	5.4	4.4	4.4

Πίνακας 5.14: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc	Pass 2 Feed	RO 2 nd Pass Conc
pH	5.5	5.9	5.1	5.4
Langelier Saturation Index	-2.17	-0.83	-3.16	-2.41
Stiff & Davis Stability Index	-2.10	-1.17	-3.01	-2.51
TDS* (mg/l)	2,142	6,179	1,940	3,637
Ionic Strength (molal)	0.05	0.13	0.04	0.07
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	41.00	127.0	17.40	32.01
CO ₂ (mg/l)	143.7	148.7	141.5	141.8
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.00	0.02	0.00	0.00
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	8.8	0.02	0.05
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂ (% saturation)	7.9	25.7	3.2	6.1
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00

Πίνακας 5.15: Επισκόπηση Συστήματος SW 30 2540

Number of Elements		12
Total Active Area	(m ²)	31.2
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	1.36
Feed TDS*	(mg/L)	10,833
Feed Pressure	(bar)	33.2
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.89
Pass Average flux	(LMH)	28.4
Permeate TDS*	(mg/L)	151.4
Pass Recovery		65.4 %
Average NDP	(bar)	17.4
Specific Energy	(kWh/m ³)	1.76
Temperature	(°C)	25.0
pH		5.4
Chemical Dose		-
RO System Recovery		88.6 %
Net RO System Recovery		88.6%

Πίνακας 5.16: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentration	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	2.80	2.80	7.97	22.23	0.29	0.29
Na ⁺	1,108	1,108	3,290	9,306	50.23	50.23
Mg ⁺²	29.05	29.05	87.47	248.6	0.73	0.73
Ca ⁺²	244.0	244.0	735.1	2,089	5.93	5.93
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.00	0.00	0.02	0.29	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	32.85	32.85	93.12	259.1	4.58	4.58
NO ₃ ⁻	7.84	7.84	21.73	60.03	1.11	1.11
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	2,203	2,203	6,566	18,596	87.79	87.79
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	1.63	1.63	4.97	14.19	0.01	0.01
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	9.14	9.14	26.46	74.20	0.75	0.75
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	141.2	141.2	141.5	141.5	140.5	140.5
TDS*	3,638	3,638	10,833	30,669	151.4	151.4
Est. Cond. μS/cm	6,815	6,815	18,614	47,394	320	320
pH	5.4	5.4	5.7	6.0	4.7	4.7

Πίνακας 5.17: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	5.4	6.0
Langelier Saturation Index	-2.39	0.03
Stiff & Davis Stability Index	-2.49	-0.90
TDS* (mg/l)	3,638	30,669
Ionic Strength (molal)	0.07	0.61
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	32.85	259.1
CO ₂ (mg/l)	141.2	141.5
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.00	0.29
CaSO ₄ (% saturation)	0.04	0.66
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	0.00	0.00
SiO ₂ (% saturation)	6.1	52.8
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Πίνακας 5.18: Επισκόπηση Συστήματος SW 30 2540

Number of Elements		12
Total Active Area	(m ²)	31.2
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	1.36
Feed TDS*	(mg/L)	37,351
Feed Pressure	(bar)	47.7
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.45
Pass Average flux	(LMH)	14.4
Permeate TDS*	(mg/L)	644.3
Pass Recovery		33.1 %
Average NDP	(bar)	12.9
Specific Energy	(kWh/m ³)	5.04
Temperature	(°C)	25.0
pH		6.0
Chemical Dose		-
RO System Recovery		45.1 %
Net RO System Recovery		45.1%

Πίνακας 5.19: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης όσμωσης

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentrat e	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	22.23	22.23	26.89	39.51	1.26	1.26
Na ⁺	9,306	9,306	11,327	16,799	216.4	216.4
Mg ⁺²	248.6	248.6	303.2	451.1	2.99	2.99
Ca ⁺²	2,089	2,089	2,548	3,791	24.83	24.83
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.29	0.29	0.46	1.20	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	259.8	259.8	314.4	461.6	13.73	13.73
NO ₃ ⁻	60.03	60.03	72.39	105.8	4.50	4.50
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	18,596	18,596	22,647	33,615	377.3	377.3
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	14.19	14.19	17.34	25.86	0.04	0.04
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	74.20	74.20	89.99	132.7	3.23	3.23
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	140.8	140.8	141.1	141.3	140.8	140.8
TDS*	30,670	30,670	37,347	55,423	644.3	644.3
Est. Cond. μS/cm	47,395	47,395	56,431	79,879	1,292	1,292
pH	6.0	6.0	6.1	6.2	5.1	5.1

Πίνακας 5.20: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	6.0	6.2
Langelier Saturation Index	0.04	0.75
Stiff & Davis Stability Index	-0.90	-0.34
TDS* (mg/l)	30,670	55,423
Ionic Strength (molal)	0.61	1.13
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	259.8	461.6
CO ₂ (mg/l)	140.8	141.3
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.29	1.20
CaSO ₄ (% saturation)	0.66	1.4
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	0.00	0.00
SiO ₂ (% saturation)	52.8	96.7
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

5.2.3 Περίπτωση 3 – Παραγωγή μέτριας ποσότητας (62%) προϊόντος διήθησης με νανοδιήθηση και μέτριας ποσότητας (48%) προϊόντος διήθησης με αντίστροφη ώσμωση

Στην περίπτωση 3 μελετήθηκε η περίπτωση κατά την οποία παράγεται σχετικά μικρή ποσότητα συμπυκνωμένου προϊόντος κατά την επεξεργασία με νανοδιήθηση και σχετικά μεγάλη ποσότητα συμπυκνωμένου προϊόντος κατά την επεξεργασία με την μεμβράνη αντίστροφής ώσμωσης.

Πίνακας 5.21: Επισκόπηση Συστήματος νανοδιήθησης N 200 4040 και αντίστροφης ώσμωσης BW 30 2540

Number of Elements		6	6
Total Active Area	(m ²)	45.7	15.6
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	2.11	1.31
Feed TDS*	(mg/L)	4,827	2,583
Feed Pressure	(bar)	8.5	15.5
Flow Factor Per Stage		0.85	1.00
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	1.31	0.63
Pass Average flux	(LMH)	28.6	40.2
Permeate TDS*	(mg/L)	2,581	31.83
Pass Recovery		62.1 %	48.1 %
Average NDP	(bar)	5.1	11
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.48	1.13
Temperature	(°C)	25.0	25.0
pH		5.5	5.4
Chemical Dose		-	-
RO System Recovery		62.8 %	
Net RO System Recovery		62.8%	
Specific Energy	(kWh/m ³)	2.13	

Πίνακας 5.22: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη νανοδιήθησης

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentration	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total to Pass 2
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.30	1.30	2.54	3.84	1.75	1.75
Na ⁺	500.0	500.0	970.4	1,448	677.3	677.3
Mg ⁺²	41.00	41.00	124.8	273.2	33.84	33.84
Ca ⁺²	240.0	240.0	619.1	1,218	252.2	252.2
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.00	0.00	0.02	0.11	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	41.00	41.00	118.5	252.4	36.47	36.47
NO ₃ ⁻	3.14	3.14	5.58	7.65	4.30	4.30
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	1,255	1,255	2,720	4,602	1,565	1,565
Br ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	48.99	48.99	225.8	589.0	3.22	3.22
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	11.76	11.76	41.15	96.65	7.12	7.12
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	143.7	143.7	148.0	156.7	142.5	142.6
TDS*	2,142	2,142	4,827	8,490	2,581	2,581
Est. Cond. μS/cm	4,125	4,125	8,650	14,205	4,952	4,952
pH	5.5	5.5	5.9	6.1	5.4	5.4

Πίνακας 5.23: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentration	Permeate	
				Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	1.75	3.35	0.02	0.02
Na ⁺	677.3	1,295	9.01	9.01
Mg ⁺²	33.84	64.86	0.27	0.27
Ca ⁺²	252.2	483.5	1.92	1.92
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.00	0.01	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	36.47	69.38	2.63	2.63
NO ₃ ⁻	4.30	8.00	0.30	0.30
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	1,565	2,995	17.59	17.59
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	3.22	6.18	0.02	0.02
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	7.12	13.67	0.04	0.04
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	142.6	142.7	141.2	141.2
TDS*	2,581	4,939	31.83	31.83
Est. Cond. μS/cm	4,952	9,044	77	77
pH	5.4	5.7	4.5	4.5

Πίνακας 5.24: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc	Pass 2 Feed	RO 2 nd Pass Conc
pH	5.5	6.1	5.4	5.7
Langelier Saturation Index	-2.17	-0.08	-2.26	-1.49
Stiff & Davis Stability Index	-2.10	-0.58	-2.25	-1.72
TDS* (mg/l)	2,142	8,490	2,581	4,939
Ionic Strength (molal)	0.05	0.20	0.05	0.10
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	41.00	252.4	36.47	69.38
CO ₂ (mg/l)	143.7	156.7	142.6	142.7
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.00	0.11	0.00	0.01
CaSO ₄ (% saturation)	1.7	39.8	0.11	0.27
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂ (% saturation)	7.9	69.5	4.8	9.4
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00

Πίνακας 5.25: Επισκόπηση Συστήματος SW 30 2540

Number of Elements		12
Total Active Area	(m ²)	31.2
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	1.32
Feed TDS*	(mg/L)	12,181
Feed Pressure	(bar)	34.4
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.86
Pass Average flux	(LMH)	27.6
Permeate TDS*	(mg/L)	166.3
Pass Recovery		65.2 %
Average NDP	(bar)	17.4
Specific Energy	(kWh/m ³)	1.85
Temperature	(°C)	25.0
pH		5.7
Chemical Dose		-
RO System Recovery		86.1 %
Net RO System Recovery		86.1%

Πίνακας 5.26: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentration	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	3.35	3.35	7.98	22.25	0.30	0.30
Na ⁺	1,295	1,295	3,187	9,009	50.56	50.56
Mg ⁺²	64.86	64.86	161.4	458.4	1.37	1.37
Ca ⁺²	483.5	483.5	1,203	3,419	9.92	9.92
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.01	0.01	0.06	0.97	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	69.92	69.92	166.6	463.0	6.90	6.90
NO ₃ ⁻	8.00	8.00	18.68	51.55	0.97	0.97
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	2,995	2,995	7,402	20,967	95.73	95.73
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	6.17	6.17	15.51	44.26	0.03	0.03
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	7.11	7.11	17.16	48.10	0.50	0.50
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	143.5	143.5	143.6	143.9	143.0	143.0
TDS*	4,933	4,933	12,180	34,484	166.3	166.3
Est. Cond. μS/cm	9,043	9,043	20,597	51,939	349	349
pH	5.7	5.7	5.9	6.2	4.8	4.8

Πίνακας 5.27: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	5.7	6.2
Langelier Saturation Index	-1.48	0.71
Stiff & Davis Stability Index	-1.72	-0.29
TDS* (mg/l)	4,933	34,484
Ionic Strength (molal)	0.10	0.73
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	69.92	463.0
CO ₂ (mg/l)	143.5	143.9
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.01	0.97
CaSO ₄ (% saturation)	0.27	2.9
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	0.00	0.00
SiO ₂ (% saturation)	4.9	35.0
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Πίνακας 5.28: Επισκόπηση Συστήματος SW 30 2540

Number of Elements		12
Total Active Area	(m ²)	31.2
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	1.25
Feed TDS*	(mg/L)	36,775
Feed Pressure	(bar)	35.9
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	0.25
Pass Average flux	(LMH)	8.0
Permeate TDS*	(mg/L)	924.3
Pass Recovery		20.0 %
Average NDP	(bar)	6.4
Specific Energy	(kWh/m ³)	6.24
Temperature	(°C)	25.0
pH		6.2
Chemical Dose		-
RO System Recovery		25.0 %
Net RO System Recovery		25.0%

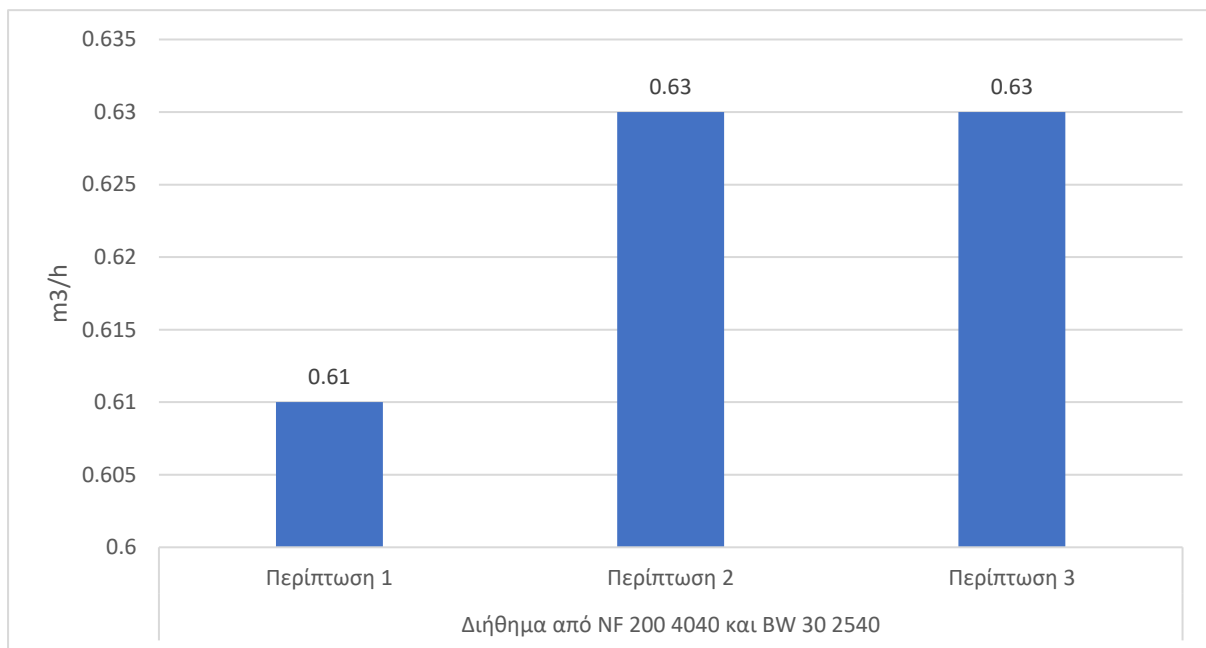
Πίνακας 5.29: Συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών στην μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης

Concentrations (mg/L as ion)						
	Raw Feed	Adjusted Feed		Concentration	Permeate	
		Initial	After Recycle			Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	22.25	22.25	23.65	29.14	1.70	1.70
Na ⁺	9,009	9,009	9,604	11,934	284.9	284.9
Mg ⁺²	458.4	458.4	489.2	609.6	7.31	7.31
Ca ⁺²	3,419	3,419	3,649	4,547	54.15	54.15
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.97	0.97	1.13	1.90	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	462.7	462.7	492.0	606.3	30.95	30.95
NO ₃ ⁻	51.55	51.55	54.73	67.14	5.05	5.05
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	20,967	20,967	22,361	27,816	537.2	537.2
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	44.26	44.26	47.27	59.05	0.15	0.15
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	48.10	48.10	51.19	63.28	2.83	2.83
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	144.1	144.1	144.4	144.7	144.2	144.2
TDS*	34,483	34,483	36,773	45,733	924.3	924.3
Est. Cond. μS/cm	51,937	51,937	54,951	66,494	1,829	1,829
pH	6.2	6.2	6.2	6.3	5.4	5.4

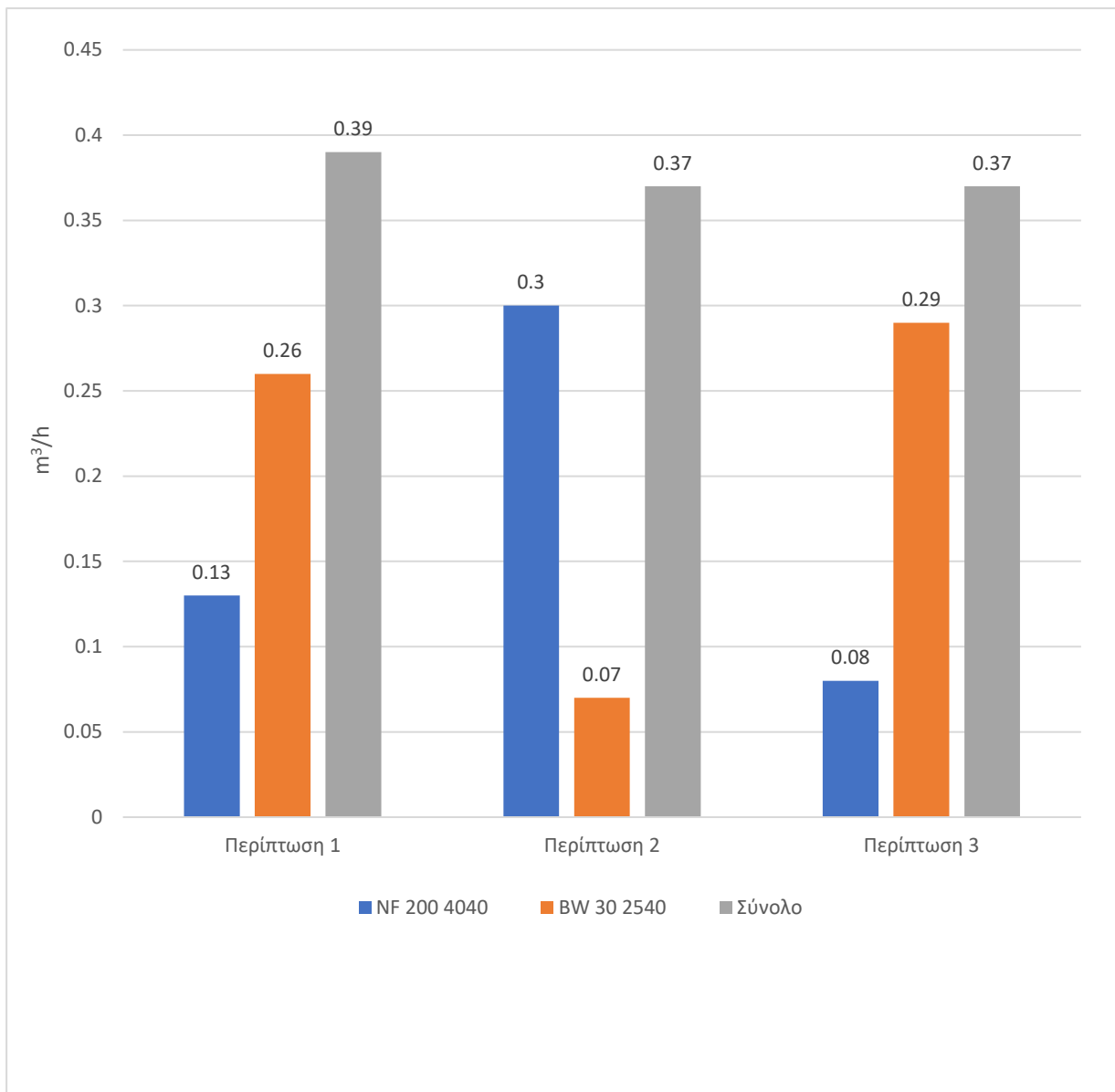
Πίνακας 5.30: Χημικές Προσαρμογές

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	6.2	6.3
Langelier Saturation Index	0.71	1.05
Stiff & Davis Stability Index	-0.29	-0.04
TDS* (mg/l)	34,483	45,733
Ionic Strength (molal)	0.73	0.98
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	462.7	606.3
CO ₂ (mg/l)	144.1	144.7
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.97	1.90
CaSO ₄ (% saturation)	2.9	4.1
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	0.00	0.00
SiO ₂ (% saturation)	35.0	46.6
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

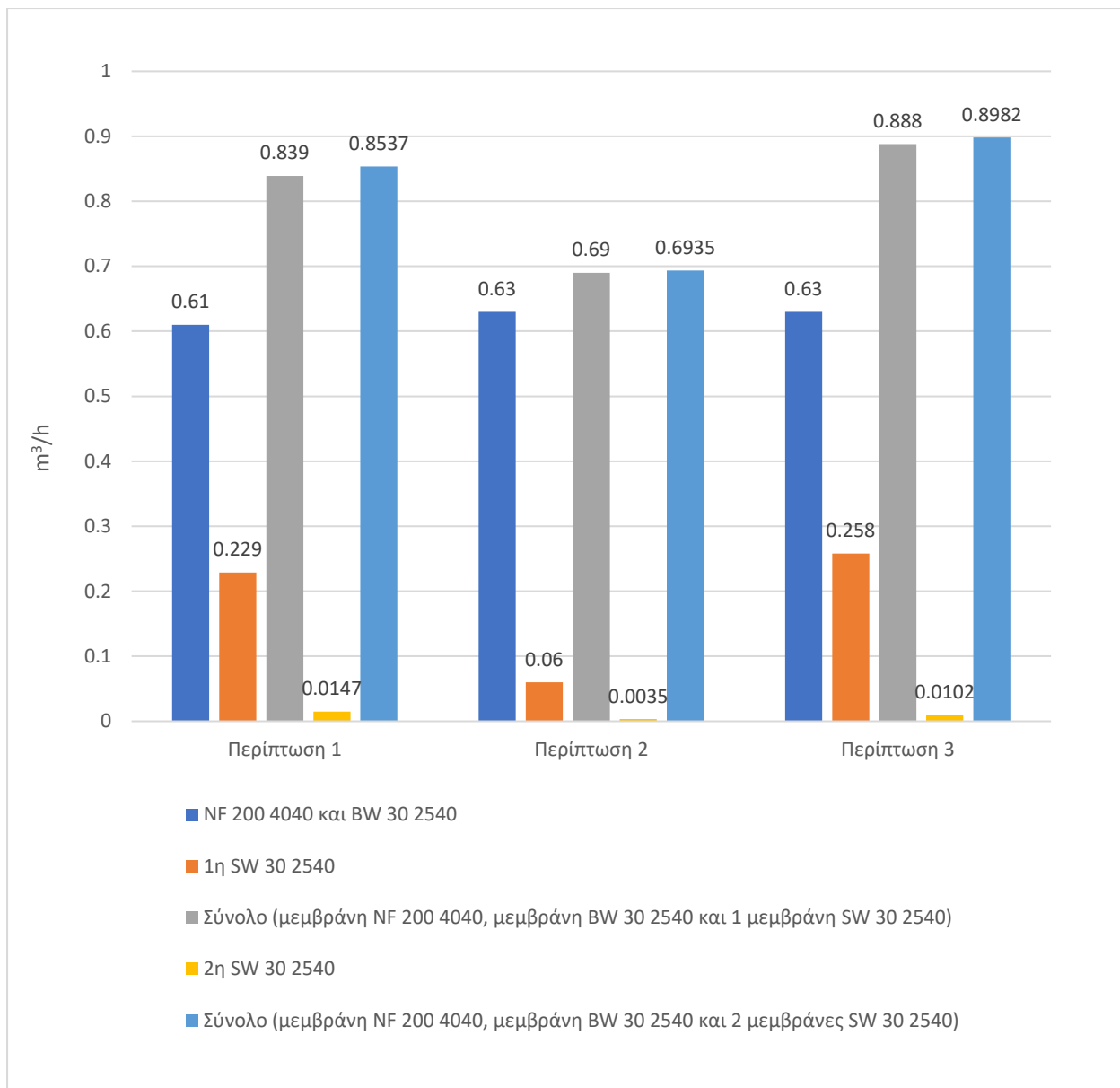
5.2.4 Συγκεντρωτικά διαγράμματα



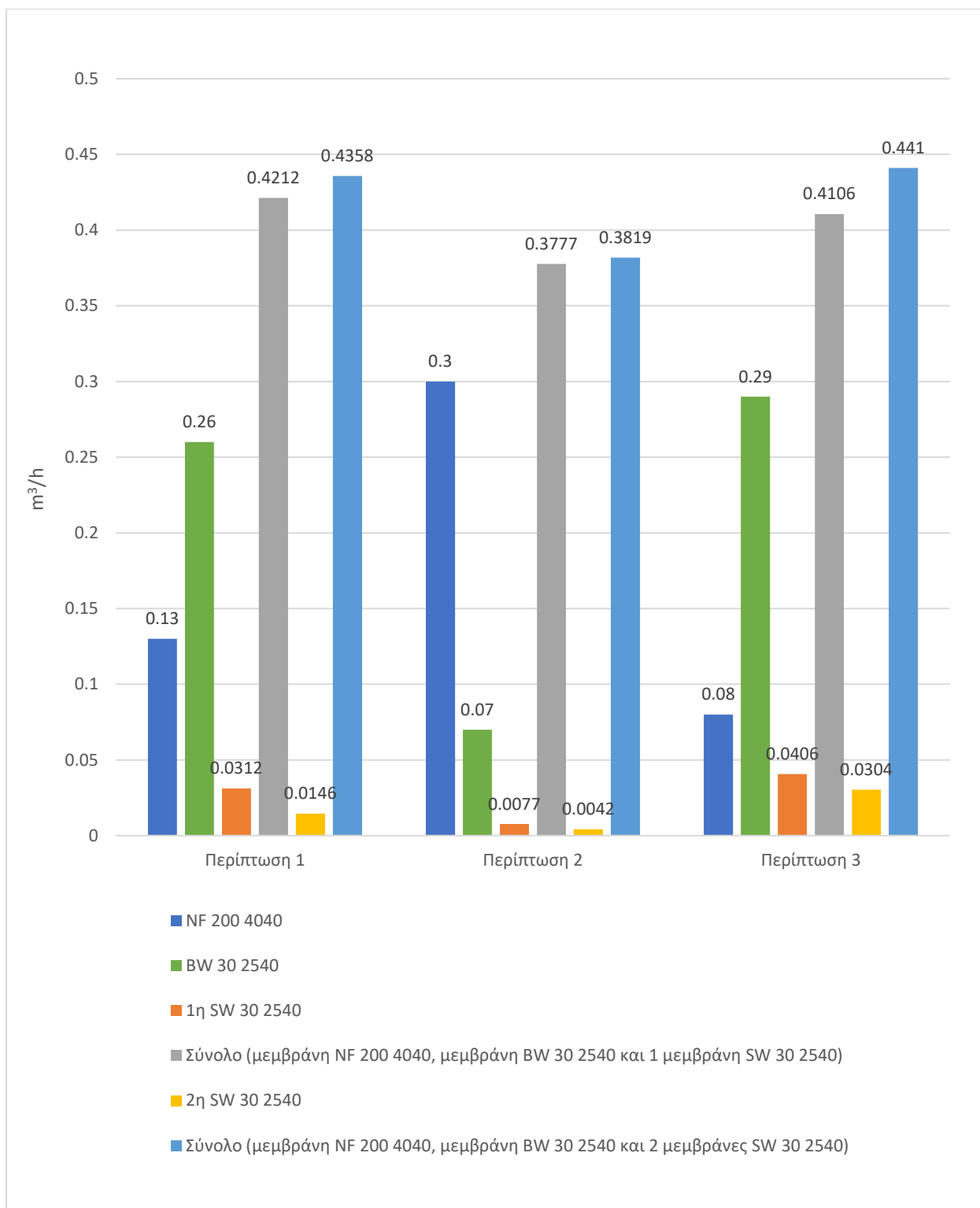
Διάγραμμα 5.1: Διήθημα NF 200 4040 και BW 30 2540



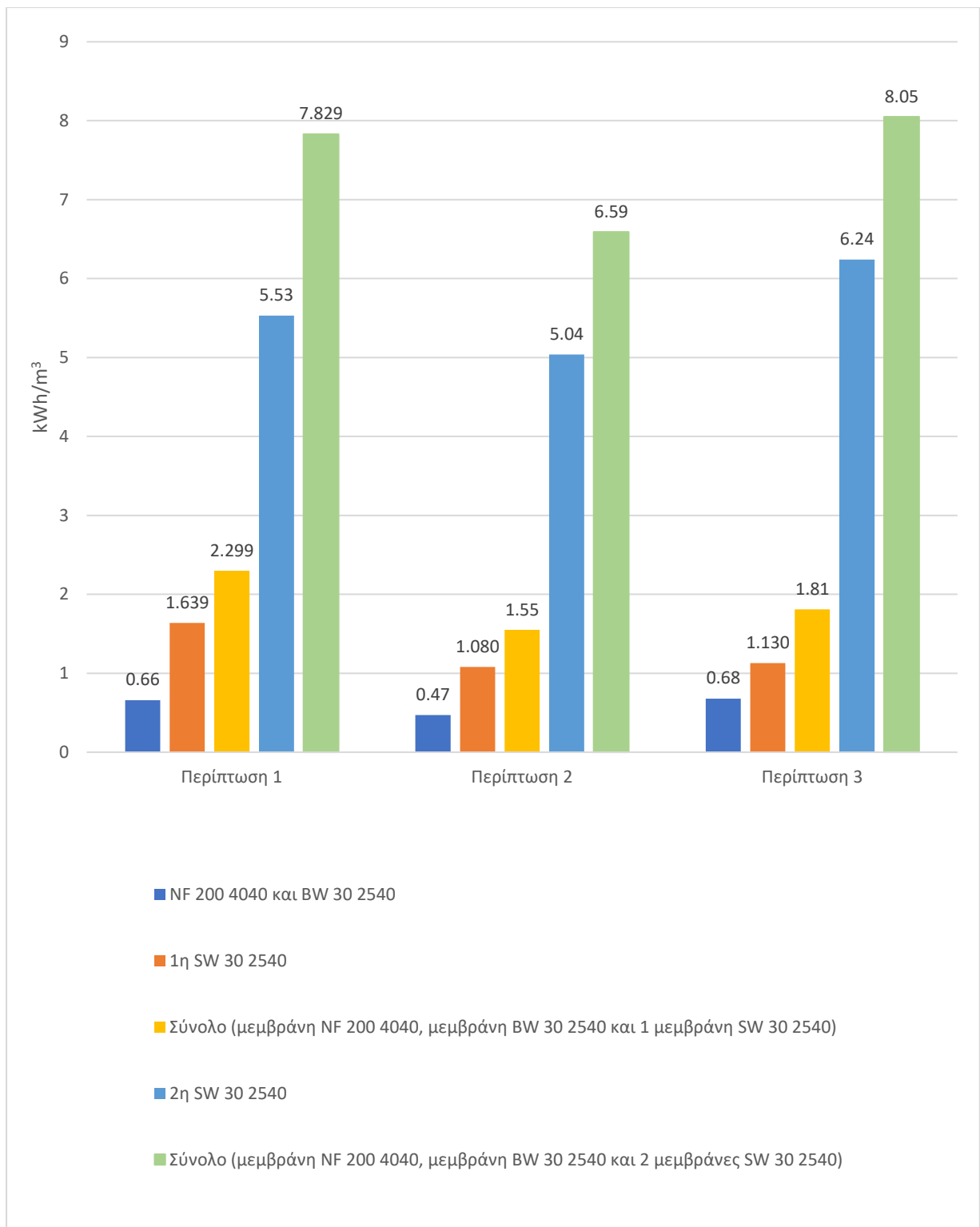
Διάγραμμα 5.2: Συμπυκνωμένο προϊόν NF 200 4040 και BW 30 2540



Διάγραμμα 5.3: Ροή του νερού διήθησης από NF 200 4040, BW 30 2540, 1η SW 30 2540 και 2η SW 30 2540



Διάγραμμα 5.4: Ροή του συμπυκνωμένου προϊόντος από NF 200 4040, BW 30 2540, 1^η SW 30 2540 και 2^η SW 30 2540



Διάγραμμα 5.5: Ενεργειακή κατανάλωση επεξεργασίας νερού ανά περίπτωση

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Συγκριτική αξιολόγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων

Αρχικά, διαπιστώθηκε η πειραματική επαναληψιμότητα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε στις διατάξεις νανοδιήθησης και αντίστροφης ώσμωσης αφού οι μετρήσεις μεταξύ τους ήταν σχεδόν ίδιες στις πλείστες περιπτώσεις ενώ σε άλλες ήταν ελάχιστα - αμελητέα διαφορετικές. Επίσης, η επαλήθευση των μετρήσεων επιβεβαιώθηκε με το πρόγραμμα WAVE, αφού με την χρήση του αυτού διαπιστώθηκε η σωστή διεξαγωγή των πειραμάτων και κατ' επέκταση των πειραματικών μετρήσεων και η σύγκλιση των πειραματικών αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα του προγράμματος. Όσο αφορά τις μεταβλητές που μελετήθηκαν σε αυτή την διπλωματική εργασία, φαίνεται ότι όλες επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος επεξεργασίας και την λειτουργικότητα των μεμβρανών.

6.1.1 Απόδοση της μεμβράνης

Μελετώντας τα αποτελέσματα παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της απόδοσης της μεμβράνης δεν συντελεί πάντα προς την βελτιστοποίηση της λειτουργία της μεμβράνης αφού πολλές φορές η ίδια αύξηση της απόδοσης της μεμβράνης ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα επικαθίσεων στην διεργασία ή ακόμα και προβλήματα σχεδιασμού της διεργασίας, τα οποία παρατηρούνται ξεκάθαρα στην αναφορά του προγράμματος WAVE. Συγκεκριμένα, κατά την μελέτη των περιπτώσεων του 3^{ου}, του 4^{ου} και του 6^{ου} πειράματος, η αύξηση της απόδοσης της μεμβράνης παρατηρείται ότι έχει αρνητικές επιπτώσεις στην προστασία της μεμβράνης, αφού αυξάνει τον δείκτη κορεσμού του Langelier, τον δείκτη σταθερότητας των Stiff & Davis καθώς και το ποσοστό κορεσμού του φθοριούχου ασβεστίου (CaF₂) στο διάλυμα ενώ ταυτόχρονα μειώνει και την ροή του συμπυκνωμένου ρεύματος κάτω από το επιτρεπτό όριο.

Με αυτό τον τρόπο, αυξάνονται οι επικαθίσεις στην μεμβράνη, οι οποίες ενδέχεται να φράξουν μερικές από τις οπές τις μεμβράνης προκαλώντας υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας και μικρότερη διάρκεια ζωής της μεμβράνης, ενώ παράλληλα αυτό ενδέχεται μελλοντικά να επηρεάσει και την ποιότητα των προϊόντων. Για τον λόγο αυτό, ανάλογα με το πόσο υψηλά είναι αυτοί οι δείκτες και το ποσοστό κορεσμού προτείνεται η μείωση του pH λειτουργίας στο 6,0 ή η χρήση χημικών πρόσθετων πρόληψης/αφαίρεσης των επικαθίσεων (αντικαθαλατωτικών) καθώς και η ξεχωριστή μελέτη κάθε περίπτωσης ώστε να ρυθμίζεται η απόδοση της μεμβράνης κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται τα προαναφερθέντα προβλήματα.

6.1.2 Ανακυκλοφορία

Στην περίπτωση της ανακυκλοφορίας, η μεταβολή της επηρεάζει την απόδοση της μεμβράνης επεξεργασίας και κυρίως συμβάλει σημαντικά στην προφύλαξη της. Παρατηρήθηκε ότι η ιδανική ανακυκλοφορία εξαρτάται από την μεταβολή της παροχής της τροφοδοσίας και τη

σύστασης της, την απόδοση λειτουργίας της μεμβράνης επεξεργασίας καθώς και από τα φυσικά χαρακτηριστικά αυτής. Επίσης, όπως μελετήθηκε τόσο πειραματικά όσο και θεωρητικά στο πρόγραμμα WAVE, η χαρακτηριστική περίπτωση του πειράματος 2 έδειξε ότι αν και η απόδοση του συστήματος αυξάνεται από την αύξηση της κυκλοφορίας από 200 L/h στα 300 L/h, ωστόσο το αντίθετο συμβαίνει όταν η ανακυκλοφορία αυξάνεται στα 400 L/h και στα 500 L/h, αφού παρατηρείται κατακόρυφη μείωση της απόδοσης του συστήματος με ταυτόχρονη εμφάνιση προειδοποιήσεων για τον σχεδιασμό της διεργασίας καθώς και της διαλυτότητας. Συμπερασματικά, παρατηρείται το ότι χρειάζεται η μελέτη της κάθε περίπτωσης ξεχωριστά, ώστε να βρεθεί η βέλτιστη ανακυκλοφορία λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες. Επίσης με την ύπαρξη της ανακυκλοφορίας παρατηρήθηκε ότι μειώνονται οι προειδοποιήσεις σχεδιασμού της διεργασίας, γεγονός που υποδεικνύει ότι η ανακυκλοφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την προστασία της μεμβράνης.

6.1.3 Ενεργός οξύτητα (pH)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, διαπιστώθηκε ότι η μείωση της ενεργού οξύτητας επηρεάζει θετικά τόσο την προφύλαξη των μεμβρανών όσο και την απόδοση τους. Συγκεκριμένα, μείωση του pH συνεπάγεται μεγαλύτερη διαλυτότητα των συστατικών του νερού, μείωση του δείκτη κορεσμού του Langelier, του δείκτη σταθερότητας των Stiff & Davis και του ποσοστού κορεσμού των συστατικών του νερού προστατεύοντας με αυτό τον τρόπο την μεμβράνη και ταυτόχρονα την απόδοση λειτουργίας της. Επίσης, εάν υπάρχουν υψηλές αποδόσεις μεμβράνης της τάξεως 80% ή/και μεγαλύτερες, ακόμα και αν ρίξουμε το pH χρησιμοποιώντας HCl για αποφυγή προειδοποιήσεων διαλυτότητας και επομένως της χρήσης των αντικαθαλατωτικών, κρίνεται ότι δεν είναι αρκετή η μείωση του pH στο 6,0.

6.2 Συμπεράσματα ως προς την απόρριψη ιόντων από τις μεμβράνες

6.2.1 Νανοδιήθηση

Θα μπορούσε να παρατηρηθεί ότι η μεμβράνη NF270 4040 εμφανίζει χαμηλή αποδοτικότητα απόρριψης μονοσθενών ιόντων (περίπου 10 %), η οποία είναι σημαντικά χαμηλότερη από την απόρριψη δισθενών κατιόντων. Η υψηλότερη απόρριψη παρατηρείται για τα θεϊκά ανιόντα SO_4^{2-} και φτάνει το 90%. Τα κατιόντα Mg^{2+} εμφανίζουν καλύτερα χαρακτηριστικά απόρριψης (περίπου 60 %) από τα κατιόντα Ca^{+2} (περίπου 30 %). Η αποτελεσματικότητα της απόρριψης όλων των ιόντων θεωρείται σχεδόν ανεξάρτητη από τη συμπυκνωμένη ροή ανακυκλοφορίας.

Από τα προαναφερθέντα αποτελέσματα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι αποδόσεις απόρριψης όλων των ιόντων είναι σχεδόν ανεξάρτητες από τη ροή ανακυκλοφορίας και υπάρχουν μόνο μικρές διαφορές μεταξύ ανάκτησης 60% και 75%. Έτσι, η ισορροπία μεταξύ κατανάλωσης ενέργειας και αποφυγής φραγών στη μεμβράνη οδηγεί στη βέλτιστη ροή ανάκτησης από την πιλοτική μονάδα. Η προσαρμογή του pH χρησιμοποιώντας HCl για να αποφευχθεί η προσθήκη αντικαθαλατωτικών φαίνεται επίσης να έχει μια μικρή επίδραση στους δισθενείς παράγοντες απόρριψης. Τέλος, παρόλο που οι παράγοντες απόρριψης για Mg^{2+} και

SO_4^{2-} φαίνονται ικανοποιητικοί, ο συντελεστής απόρριψης για τα ιόντα Ca^{+2} φαίνεται πολύ χαμηλός.

6.2.2 Αντίστροφη ώσμωση

Παρατηρείται ότι η μεμβράνη XLE-2540 εμφανίζει πολύ μεγάλη αποδοτικότητα ως προς την απόρριψη μονοσθενών ιόντων (περίπου 88-94%). Στην περίπτωση των δισθενών ιόντων, η απόδοση απόρριψης δύναται να φτάσει μέχρι και το 97%.

Επίσης, χρειάζεται να αναφέρουμε ότι η απόδοση λειτουργίας του συστήματος μειώνεται όταν η απόδοση της μεμβράνης ξεπεράσει το επιτρεπτό όριο για το εκάστοτε σύστημα όπως διαφάνηκε και στο Πείραμα 6.2 με αποτέλεσμα να μειώσει την απόδοση απόρριψης και την εμφάνιση περισσότερων προειδοποιήσεων σχεδιασμού και διαλυτότητας.

6.3 Συμπεράσματα από την μελέτη περίπτωσης

Από την μελέτη της περίπτωσης αυτής παρατηρήθηκε ότι κατά την επεξεργασία του υφάλμυρου νερού, με την χρήση αυτών των μεμβρανών η απόδοση του συστήματος κυμαίνεται από 60% έως 63%, αφού μεγαλύτερη απόδοση δημιουργεί προβλήματα σχεδιασμού στο σύστημα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τα πειράματα που διεξάχθηκαν στο εργαστήριο.

Επίσης, παρατηρείται αύξηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης κατά την επεξεργασία με την δεύτερη μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης και ακόμα μεγαλύτερη κατά την επεξεργασία με την τρίτη μεμβράνη αφού αυξάνονται κατακόρυφα τα διαλυμένα στερεά στο νερό, γεγονός που δυσκολεύει κατά πολύ την επεξεργασία του. Για τον λόγο αυτό, καθώς και για τους λόγους ότι το ρεύμα του συμπυκνωμένου νερού από την έξοδο της δεύτερης μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης είναι αρκετά μικρό, το ρεύμα του διηθήματος από την έξοδο της τρίτης μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης είναι επίσης αρκετά μικρό και το συμπυκνωμένο νερό στην έξοδο αυτής έχει τεράστια ποσότητα διαλυμένων στερεών όντας επίσης μικρό ρεύμα εξόδου, υπάρχει το ενδεχόμενο η επεξεργασία με την τρίτη μεμβράνη να είναι επιζήμια για το όλο σύστημα.

Επομένως, η βέλτιστη περίπτωση είναι η Περίπτωση 3 αφού ανακτάται το περισσότερο νερό διήθησης και εάν δεν χρησιμοποιηθεί η τρίτη μεμβράνη για τον πιο προαναφερθέντα λόγο, θα έχει τον μικρότερο όγκο συμπυκνωμένου προϊόντος και την μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση συγκριτικά με τις άλλες δύο περιπτώσεις.

7 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Ως συνέχεια αυτής της διπλωματικής, εκτός από τον στόχο μεγαλύτερης ανάκτησης νερού διήθησης, χρειάζεται να μελετηθεί περαιτέρω ο τρόπος επεξεργασίας του συμπυκνωμένου προϊόντος καθώς και η αξιοποίηση του, αφού που παράγεται μετά από κάθε στάδιο επεξεργασίας νερού. Επιπλέον, τα συστατικά του νερού $Mg(OH)_2$ και το $CaCO_3$ είναι δύο σημαντικές πρώτες ύλες και με αρκετά υψηλή τιμή πώλησης όταν βρίσκονται σε υψηλή καθαρότητα.

Επίσης, ένα σημείο που χρίζει περαιτέρω μελέτης είναι ο αποτελεσματικότερος τρόπος προφύλαξης της μεμβράνης σε υψηλότερες αποδόσεις. Αυτό δύναται να παρέχει μεγαλύτερες ποσότητες νερού με μεγαλύτερη ή ίση διάρκεια ζωής της μεμβράνης ενώ παράλληλα μειώνει τον όγκο του συμπυκνωμένου προϊόντος. Επομένως, με αυτόν τον τρόπο αντιμετωπίζεται το φαινόμενο της λειψυδρίας σε μεγαλύτερο βαθμό, η οποία όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω παρουσιάζει αύξηση τα τελευταία χρόνια και παράλληλα είναι ένα βήμα πιο κοντά στις αρχές της μηδενικής απόρριψης.

Το συμπυκνωμένο ρεύμα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μια χρήσιμη και αξιοποιήσιμη πηγή νεών προϊόντων. Για τον λόγο αυτό απαιτείται μια ολοκληρωμένη, αειφόρα και οικονομοτεχνικά τεκμηριωμένη μελέτη που θα προκαλέσει το ενδιαφέρον και θα στηρίξει αυτή την κατεύθυνση. Πάνω σε αυτή τη βάση, θα μπορούσε κάθε πόλη να δει το ρεύμα αυτό ως τον τοπικό και συνεχόμενο πλούτο, τον οποίο θα μπορεί ξεκάθαρα να ανακτήσει και να αξιοποιήσει προς το δικό της συμφέρον. Αυτή εξάλλου είναι και η βασική ιδέα των προγραμμάτων zero waste και zero brine, (δηλαδή της μηδενικής απόρριψης και μηδενικής άλμης) καθώς της ιδέας της κυκλικής οικονομίας.

Επιπρόσθετα, σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσε ίσως να εφαρμοστεί και η τεχνική της βιομηχανικής συμβίωσης ούτως ώστε το συμπυκνωμένο αυτό ρεύμα να αποτελέσει την πρώτη ύλη δεύτερης γενεάς για μια άλλη βιομηχανία. Μια τέτοια προοπτική, πάντοτε προσαρμοσμένη στις δυνατότητες και ανάγκες κάθε περιοχής, μπορεί να αποτελέσει οικονομική, βιομηχανική, εμπορική και κοινωνική ευκαιρία προς τη βελτίωση της ζωής των κατοίκων και του οικοσυστήματος.

Συνοπτικά λοιπόν, η διπλωματική αυτή εργασία δίνει αρκετό υλικό για μελλοντική μελέτη και έρευνα αφού χρειάζεται να βρεθούν λύσεις στα προβλήματα αλλά και αναβαθμίσεις στα υπάρχοντα συστήματα για να πετύχουμε το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα. Άλλωστε η επιστήμη είναι μια παγκόσμια ανθρώπινη προσπάθεια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Έχει εφαρμοστεί βιβλιογραφία με βάση τη σειρά εμφάνισης στο πιο πάνω κείμενο με αύξοντα αριθμό

1. Ypen.gov.gr. 2020. *Το νερό είναι πολύτιμο για να το σπαταλάμε*. [online] Available at: < https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/legacy/Files/Ydatikoι%20Poroi/20200515_Water_Factsheet_GREECE.pdf > [Accessed 27 September 2021].
2. Λιαντράκη, Μ., 2019. Επαναχρησιμοποίηση νερού και η Κοινωνική αποδοχή του. Μεταπτυχιακή Εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης.
3. Konar, M., Evans, T., Levy, M., Scott, C., Troy, T., Vörösmarty, C. and Sivapalan, M., 2016. Water resources sustainability in a globalizing world: who uses the water?. *Hydrological Processes*, 30(18), pp.3330-3336.
4. Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F., Lambin, E., Lenton, T., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H., Nykvist, B., de Wit, C., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R., Fabry, V., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. and Foley, J., 2009. A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), pp.472-475.
5. Hoekstra, A. and Mekonnen, M., 2012. The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [online] 109(9), pp.3232-3237. Available at: <<https://www.pnas.org/content/109/9/3232>> [Accessed 27 September 2021].
6. EurEau, 2021. *The Value of Water Services*. [online] EurEau. Available at: <<https://www.eureau.org/resources/publications/5805-the-value-of-water-services/file>> [Accessed 27 September 2021].
7. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2010. *Λειψυδρία και ξηρασία στην Ευρωπαϊκή Ένωση*. [online] Available at: <https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/water_scarcity.pdf> [Accessed 27 September 2021].
8. Grafton, R., 2014. *Global water*. Canberra, Australia: ANU Press.
9. Κατσόγιαννου, Ι., 2013. *Διερεύνηση της εφαρμογής του palpai drought index στον ελληνικό χώρο*. Μεταπτυχιακή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
10. European Environment Agency. 2016. Use of freshwater resources. [online] Available at: <<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/use-of-freshwater-resources>> [Accessed 27 September 2021].
11. World Economic Forum. 2015. *Water crises are a top global risk*. [online] Available at: <<https://www.weforum.org/agenda/2015/01/why-world-water-crises-are-a-top-global-risk/>> [Accessed 27 September 2021].
12. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019. *Fitness Check of the Water Framework Directive and the Floods Directive*. [online] Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Available at: <[https://ec.europa.eu/environment/water/fitness_check_of_the_eu_water_legislation/documents/Water%20Fitness%20Check%20-%20SWD\(2019\)439%20-%20web.pdf](https://ec.europa.eu/environment/water/fitness_check_of_the_eu_water_legislation/documents/Water%20Fitness%20Check%20-%20SWD(2019)439%20-%20web.pdf)> [Accessed 27 September 2021].
13. Europe Direct, 2019. *eu_in_slides*. [online] Europe Direct, pp.9-10. Available at: <https://europa.eu/european-union/sites/default/files/eu_in_slides_el.pdf> [Accessed 27 September 2021].
14. EurEau, 2021. *Europe's Water in Figures*. [online] Available at: <<https://www.eureau.org/resources/publications/eureau-publications/5824-europe-s-water-in-figures-2021/file>> [Accessed 27 September 2021].
15. EurEau, 2017. *Europe's water in figures*. [online] EurEau. Available at: <<https://www.eureau.org/resources/publications/1460-eureau-data-report-2017-1/file>> [Accessed 27 September 2021].
16. Interreg Europe, 2020. *Water Loss*. [online] Interreg Europe, p.14. Available at: <<https://www.interreg-central.eu/Content.Node/Digital-Learning-Resources/03-Water-Loss.pdf>> [Accessed 27 September 2021].
17. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2007. *Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο το Συμβούλιο και - Η αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας και της ξηρασίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση*. [online] Available at: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX%3A52007DC0414>> [Accessed 27 September 2021].

18. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2012. *Έκθεση σχετικά με την επανεξέταση της ευρωπαϊκής πολιτικής για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας και της ξηρασίας*. [online] Available at: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012DC0672&from=EN>> [Accessed 27 September 2021].
19. EurEau, 2020. *Annual report 2020*. [online] EurEau. Available at: <<https://www.eureau.org/resources/publications/annual-reviews/5797-eureau-annual-report-2020/file>> [Accessed 27 September 2021].
20. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021. *Urban Waste Water Treatment Directive - Review*. [online] Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Available at: <https://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/evaluation/index_en.htm> [Accessed 27 September 2021].
21. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021. *EU Cohesion policy: €84 million for urban wastewater treatment plant in Marathon, Greece*. [online] Available at: <https://ec.europa.eu/regional_policy/en/newsroom/news/2021/05/05-04-2021-eu-cohesion-policy-eur84-million-for-urban-wastewater-treatment-plant-in-marathon-greece> [Accessed 27 September 2021].
22. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017. *European level report: Evaluation of the contribution of Operational Programmes to the implementation of EU water policy*. [online] Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Available at: <https://ec.europa.eu/environment/water/pdf/EU_overview_report_%20operational_programmes%20.pdf> [Accessed 27 September 2021].
23. Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2021. *Industrial pollutant releases to water in Europe*. [online] Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. Available at: <<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/industrial-pollutant-releases-to-water/assessment>> [Accessed 27 September 2021].
24. Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2021. *Water and agriculture: EEA Report No 17/2020 towards sustainable solutions*. [online] Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. Available at: <<https://www.eea.europa.eu/publications/water-and-agriculture-towards-sustainable-solutions>> [Accessed 27 September 2021].
25. Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2021. *Ensuring clean waters for people and nature*. [online] Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. Available at: <<https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2020/articles/ensuring-clean-waters-for-people>> [Accessed 27 September 2021].
26. Xevgenos, D., Vidalis, A., Moustakas, K., Malamis, D. and Loizidou, M., 2014. Sustainable management of brine effluent from desalination plants: the SOL-BRINE system. *Desalination and Water Treatment*, [online] 53(12), pp.3151-3160. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/271904504_Sustainable_management_of_brine_effluent_from_desalination_plants_the_SOL-BRINE_system> [Accessed 27 September 2021].
27. Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2019. *The European environment — state and outlook 2020*. [online] Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. Available at: <<https://www.eea.europa.eu/publications/soer-2020>> [Accessed 27 September 2021].
28. Gikas, P. and Angelakis, A., 2009. Water resources management in Crete and in the Aegean Islands, with emphasis on the utilization of non-conventional water sources. *Desalination*, [online] 248(1-3), pp.1049-1064. Available at: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916409007243>> [Accessed 27 September 2021].
29. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017. *European level report: Key descriptive statistics on the consideration of water issues in the Rural Development Programmes 2014-2020*. [online] Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Available at: <https://ec.europa.eu/environment/water/pdf/EU_overview_report_RDPs.pdf> [Accessed 27 September 2021].
30. ΒΛΥΣΙΔΗΣ, A. ed., 2007. In: *ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ*. [online] ΑΘΗΝΑ: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ. Available at: <<http://users.ntua.gr/vlysidis/treatment.pdf>> [Accessed 27 September 2021].
31. Liao, Y., Loh, C., Tian, M., Wang, R. and Fane, A., 2018. Progress in electrospun polymeric nanofibrous membranes for water treatment: Fabrication, modification and applications. *Progress in Polymer Science*, [online] 77, pp.69-94. Available at: <<https://dr.ntu.edu.sg/bitstream/10356/104282/1/Progress%20in%20electrospun%20polymeric%20nanofibrous%20membranes%20for%20water%20treatmen.pdf>> [Accessed 27 September 2021].
32. Cassano, A., Conidi, C., Ruby-Figueroa, R. and Castro-Muñoz, R., 2018. Nanofiltration and Tight Ultrafiltration Membranes for the Recovery of Polyphenols from Agro-Food By-Products. *International Journal of Molecular Sciences*, [online] 19(2), p.351. Available at: < <https://www.mdpi.com/1422-0067/19/2/351>> [Accessed 27 September 2021].
33. Baker, . R. W., 2004. *Membrane Technology and Applications*, 2nd Edition. s.l.:WILEY. Available at: < <http://aulanni.lecture.ub.ac.id/files/2012/01/MembraneTechnologyApplication1.pdf> >.

34. Geise, G., Lee, H., Miller, D., Freeman, B., McGrath, J. and Paul, D., 2010. Water purification by membranes: The role of polymer science. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, [online] 48(15), pp.1685-1718. Available at: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/polb.22037>> [Accessed 27 September 2021].
35. Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R. & Burton, F. L. (2013) *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, 5 ed.: Metcalf & Eddy, McGraw Hill. Available at: <<https://www.politeianet.gr/books/9789604181131-tchobanoglous-george-tziolas-michaniki-ugron-apobliton-deuteros-tomos-279339>> [Accessed 27 September 2021].
36. Fatah, A and Mona, A., 2018. *Nanofiltration systems and applications in wastewater treatment: Review article*. [online] Available at: <<https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=NART94283176>> [Accessed 27 September 2021].
37. Wenten, I. and Khoiruddin, 2015. *Reverse osmosis applications: Prospect and challenges*. [online] Available at: <<https://daneshyari.com/article/preview/622767.pdf>> [Accessed 27 September 2021].
38. Climate Policy Watcher. 2021. *Applications of bipolar membrane electrodialysis*. [online] Available at: <<https://www.climate-policy-watcher.org/reverse-osmosis/applications-of-bipolar-membrane-electrodialysis.html>> [Accessed 27 September 2021].
39. Tanaka, Y., 2015. Theory of Teorell, Meyer, and Sievers (TMS Theory). *Ion Exchange Membranes*, [online] pp.67-73. Available at: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444633194000031>> [Accessed 27 September 2021].
40. Wilhelm, F., 2001. *Bipolar Membrane Electrodialysis - Membrane Development and Transport Characteristics*, [online] Available at: <<https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/6074731/t000002b.pdf>> [Accessed 27 September 2021].
41. Kumar, P., Korving, L., van Loosdrecht, M. and Witkamp, G., 2019. Adsorption as a technology to achieve ultra-low concentrations of phosphate: Research gaps and economic analysis. *Water Research X*, [online] 4, p.100029. Available at: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31334493/>> [Accessed 27 September 2021].
42. Baltic Smart Water Hub. 2020. *Aquacare BioPhree® – Capturing phosphate through absorption*. [online] Available at: <<https://www.balticwaterhub.net/innovation/aquacare-biophree>> [Accessed 27 September 2021].
43. Πασιπούλαριδης, Α., 2018. *Διαχωρισμός αλάτων από την άλημη μονάδα αφαλάτωσης θαλάσσιου νερού*. Master. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
44. Shen, S., 2015. Thermodynamic Losses in Multi-effect Distillation Process. *IOP Publishing Ltd*, [online] Available at: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/88/1/012003>> [Accessed 27 September 2021].
45. Ζουμπούλης, Α., Καραπάντσιος, Θ., Μάτης, Κ. and Μαύρος, Π. ed., 2009. Κρυστάλλωση. In: *Στοιχεία φυσικών διεργασιών*. [online] Τζιόλα. Available at: <https://www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/fd/mavros/ch13_crystallization_a4.pdf> [Accessed 27 September 2021].
46. Cipollina, A., Bevacqua, M., Dolcimascolo, P., Tamburini, A., Brucato, A., Glade, H., Buether, L. and Micale, G., 2014. Reactive crystallisation process for magnesium recovery from concentrated brines. *Desalination and Water Treatment*, [online] 55(9), pp.2377-2388. Available at: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19443994.2014.947771>> [Accessed 27 September 2021].
47. Aquaquote, 2018. *NF200-4040*. [online] Aquaquote. Available at: <[https://www.aquaquote.com/membranes/dupont+filmtec+\(dow\)/nf200-4040](https://www.aquaquote.com/membranes/dupont+filmtec+(dow)/nf200-4040)> [Accessed 27 September 2021].
48. Aquaquote, 2018. *NF270-4040*. [online] Aquaquote. Available at: <[https://www.aquaquote.com/membranes/dupont+filmtec+\(dow\)/nf270-4040](https://www.aquaquote.com/membranes/dupont+filmtec+(dow)/nf270-4040)> [Accessed 27 September 2021].
49. Aquaquote, 2018. *XLE--2540*. [online] Aquaquote. Available at: <[https://www.aquaquote.com/membranes/dupont+filmtec+\(dow\)/xle-2540](https://www.aquaquote.com/membranes/dupont+filmtec+(dow)/xle-2540)> [Accessed 27 September 2021].
50. Aquaquote, 2018. *BW30--2540*. [online] Aquaquote. Available at: <[https://www.aquaquote.com/membranes/dupont+filmtec+\(dow\)/bw30-2540](https://www.aquaquote.com/membranes/dupont+filmtec+(dow)/bw30-2540)> [Accessed 27 September 2021].