



Έλεγχος ποιότητας
επεξεργασμένων
υγρών αποβλήτων,
πilotικής μονάδας
βιο-αντιδραστήρα
μεμβρανών (MBR) με
αναλυτικές τεχνικές.

ΔΟΥΝΔΟΥΛΑΚΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΖΑΜΤΖΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία που πραγματοποιήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015 αποτελεί την διπλωματική μου εργασία .

Η εκπόνηση της διπλωματικής αυτής υλοποιήθηκε στο εργαστήριο Αναλυτικής χημείας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου καθώς και αποσπασματικά σε ιδιωτικό μικροβιολογικό εργαστήριο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όσους στάθηκαν δίπλα μου και με βοήθησαν στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Πιο συγκεκριμένα, χρωστάω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Νικόλαο Τζαμτζή, ο οποίος μου ανέθεσε ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα, με κατεύθυνε σωστά και με καθοδηγούσε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Κωνσταντίνο Χαντζηκωνσταντίνου για την αμέριστη βοήθειά του και στήριξη του σε μένα καθώς και την δυνατότητα που μου έδωσε να συμμετέχω σε μέρος των πειραμάτων, καθώς και στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Τέλος, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου για την συμπαράστασή τους καθώς και για την βοήθεια που μου παρείχαν στο μικροβιολογικό εργαστήριο και τις γνώσεις που μου μετέφεραν σχετικά με την μικροβιολογία των αστικών αποβλήτων, μέσα με τα οποία βελτίωσα την εργασία μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δ. Τσούκληρη για την συνεργασία μας στο εξαιρετικά ενδιαφέρον πείραμα απολύμανσης με φωτοκατάλυση. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συνοδοιπόρους στην διπλωματική Δημήτρη Σίμογλου, Λουκά Λίτζιο και Βασίλη Πρασά.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική έγινε για την ανάγκη εύρεσης λύσεων στην ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων κάτι το οποίο επιβάλλεται στις μέρες μας, όπου οι φυσικές πηγές διαρκώς συρρικνώνονται και παράλληλα η ρύπανση του περιβάλλοντος αυξάνεται.

Η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση νερού λόγω αστικοποίησης, αύξησης πληθυσμού, τουρισμού και βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου οδηγεί στην απόρριψη μεγάλων ποσοτήτων αστικών αποβλήτων. Η αναγκαιότητα για διαχείριση των υγρών αποβλήτων και επαναχρησιμοποίηση της επεξεργασμένης εκροής γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική στα πλαίσια της προστασίας περιβάλλοντος και εξοικονόμησης νερού που επιβάλλονται με αυστηρούς όρους από την ευρωπαϊκή νομοθεσία.

Μια μέθοδος επεξεργασίας αποβλήτων που τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο είναι το σύστημα MBR (Membrane Bioreactor), το οποίο έχει την δυνατότητα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με διήθηση σε μεμβράνες.

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας των μεμβρανών του συστήματος MBR μέσω της μελέτης δειγμάτων της εκροής αυτής της πιλοτικής μονάδας. Εξετάστηκε λοιπόν η ποιότητα των αποβλήτων που συλλέχθηκαν στην έξοδο της μονάδας, ύστερα από επεξεργασία αυτών, με αναλυτικές τεχνικές.

Πιο συγκεκριμένα, μετρήθηκαν η αγωγιμότητα, τα ολικά διαλυμένα στερεά (Total Dissolved Solids, TDS), η σκληρότητα, τα χλωρίοντα, η αλκαλικότητα και η θολότητα που είχαν τα δείγματα των επεξεργασμένων αποβλήτων.

Προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση των μεμβρανών στην συγκράτηση μικροοργανισμών, πραγματοποιήθηκε έκθεση των δειγμάτων, πριν και μετά την επεξεργασία στην μονάδα MBR, σε μικροσκόπιο. Ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκαν καλλιέργειες των δειγμάτων σε μικροβιολογικό εργαστήριο, έτσι ώστε να αποκομίσουμε μια πιο σαφή εικόνα για το είδος και την ποσότητα των μικροβίων που διαπέρασαν τις μεμβράνες και βρέθηκαν στα επεξεργασμένα απόβλητα. Η πειραματική διαδικασία αξιολόγησης αφορούσε δείγματα από τέσσερα διαφορετικά είδη μεμβρανών στον ίδιο βιοαντιδραστήρα MBR. Παράλληλα έγιναν μετρήσεις και σε υπερκείμενο υγρό προκειμένου να εξαχθούν συγκριτικά συμπεράσματα σε σχέση με την κλασσική διαδικασία επεξεργασίας με καθίζηση.

Συμπερασματικά, στο τέλος όλων των μετρήσεων, τα αποτελέσματα βρέθηκαν να είναι εξαιρετικά και ότι η πιλοτική μονάδα MBR λειτούργησε με σταθερά αποτελέσματα στην έξοδο με διάφορες παραμέτρους λειτουργίας. Τέλος, η επεξεργασία που δέχονται τα απόβλητα στο σύστημα MBR είναι τέτοια ώστε να τα καθιστά κατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση σε διάφορους τομείς όπως την γεωργική χρήση.

Λέξεις- κλειδιά: πιλοτική μονάδα MBR, δείγμα εκροής, επεξεργασία υγρών αποβλήτων, αναλυτικές τεχνικές, μεμβράνες, μικροοργανισμοί

ABSTRACT

This paper was made for the need to be found even more solutions in recycling and waste reuse which nowadays is a must, while natural resources are increasingly drying up and, at the same time, the environmental pollution increases.

The increasing water demand due to urbanization, population growth, tourism and improving living standards leads to rejection of large quantities of municipal waste. The need for wastewater management and reuse of treated effluent becomes increasingly urgent in the context of environmental protection and water saving as imposed strict conditions by European legislation.

A method of processing waste used in recent years more and more is the MBR system (Membrane Bioreactor), which has the ability to process wastewater by filtration on membranes.

The objective of the present work is testing the effectiveness of the membranes of the MBR system by examining samples of the effluent of this pilot plant. So, the quality of the wastewater, collected at the outlet of the unit, was examined after treatment thereof, with analytical techniques.

More specifically, conductivity, total dissolved solids (TDS), hardness, chlorides, alkalinity and turbidity, contained in the samples of the treated wastewater, were measured.

In order to evaluate the performance of the membranes in relation to the retention of microorganisms, an exhibition of samples, before and after treatment in the MBR unit, was carried out under a microscope. Also, these samples were cultured on a microbiological laboratory, so to reap a clearer picture of the species and amount of microbes that penetrated the membranes and were found in the treated wastewater. The experimental procedure involved evaluating samples of four types of membranes in the same bioreactor MBR. At the same time measurements on the supernatant were made in order to extract comparative results compared with the conventional precipitation treatment process .

In conclusion, at the end of all measurements, the results were found to be excellent and the MBR pilot plant operated with solid results in the output of various operating parameters. Finally, the processing of receiving the wastewaters in the MBR system is such that makes them suitable for reuse in various sectors such as agriculture.

Keywords: pilot plant MBR, sample effluent, wastewater treatment, analytical techniques, membranes, microorganisms

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό είναι ζωτικής σημασίας για τον άνθρωπο καθώς αποτελεί το 70-80% του ανθρώπινου οργανισμού. Στη δεκαετία του 1950, μόνο πέντε χώρες αντιμετώπιζαν πρόβλημα επάρκειας νερού, ωστόσο στο τέλος της δεκαετίας του 1990, το πρόβλημα επεκτάθηκε σε 26 χώρες με πληθυσμό πάνω από 300 εκατομμύρια. Προβλέψεις δείχνουν ότι 66 χώρες με συνολικό πληθυσμό περίπου τα 2/3 του συνολικού της γης θα εμφανίσουν σοβαρές ελλείψεις νερού. Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού σε συνδυασμό με τον όλο και μεγαλύτερο περιορισμό πηγών του νερού (η ζήτηση του νερού αυξάνεται κατά μέσο όρο τρεις φορές πιο γρήγορα από την αύξηση του πληθυσμού) αναγκάζει την παγκόσμια κοινότητα να δει αυτόν τον πολύτιμο πόρο με την δέουσα προσοχή.

Ένας κάτοικος του νότιου ημισφαιρίου καταναλώνει 15-50 λίτρα νερού την ημέρα, ενώ ένας μέσος κάτοικος του βορείου ημισφαιρίου έχει μέση κατανάλωση νερού 150 λίτρα ημερησίως τα οποία αγγίζουν τα 500, αν προστεθούν οι ανάγκες της βιομηχανίας. Σύμφωνα με την έρευνα της UNESCO που πραγματοποιήθηκε το 2003 για τα παγκόσμια αποθέματα νερού, στις προσεχείς δεκαετίες η κατά κεφαλήν ποσότητα νερού σε παγκόσμιο επίπεδο αναμένεται να μειωθεί κατά 30%. Αναμένεται να προκληθούν προβλήματα διαφόρων εκφάνσεων στον παγκόσμιο πληθυσμό όπως δίψα, ασθένειες, κακή υγιεινή, έλλειψη τροφής, και αναζητούνται τρόποι τόσο για την άμβλυνση των επιπτώσεων των παραπάνω, όσο και για την ουσιαστική αντιμετώπιση του προβλήματος.

Σήμερα, το 80% του διαθέσιμου πόσιμου νερού στον πλανήτη χρησιμοποιείται στη γεωργία, το 8% στη βιομηχανία και μόνο 10% προορίζεται για οικιακή κατανάλωση. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας σύγχρονες μεθόδους καθαρισμού γίνεται να μειωθούν οι ανάγκες για νερό στη γεωργία κατά 10-50%, στη βιομηχανία κατά 40-90% και στις πόλεις κατά το 1/3 χωρίς την υποβίβαση του βιοτικού επιπέδου. Άρα, είναι πολύ σημαντικό να γίνουν επιστημονικές μελέτες για την βελτιστοποίηση αυτών των μεθόδων οι οποίες θα αποτελέσουν σημαντικό παράγοντα στην επιβίωση του ανθρώπινου γένους.

Το νερό αποτελεί στρατηγικής σημασίας αγαθό ανά την υφήλιο και θα αποτελέσει αιτία για πολλές πολιτικές διενέξεις ακόμα και για ένοπλες συρράξεις. Μελλοντικά, δεν είναι απίθανο, να γίνει παγκόσμιος πόλεμος για το νερό. Προβλέπεται ότι το καθαρό νερό θα γίνει το πετρέλαιο του μέλλοντος. Συμπερασματικά, χώρες του Αρκτικού Κύκλου όπως ο Καναδάς και η Ρωσία με την παγωμένη Σιβηρία, διαθέτοντας τεράστια και πλεονάζοντα αποθέματα νερού, αναμένεται να αναρριχηθούν οικονομικά, ανταγωνιζόμενες τις πιο πλούσιες χώρες του πλανήτη (Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, Κίνα, Ευρωπαϊκή Ένωση).

Διεθνείς οργανισμοί σε συνεργασία με κυβερνήσεις κρατών, προσπαθούν να εφαρμόσουν διάφορες μεθόδους και πρακτικές για τον καθαρισμό των υδατικών πόρων από την επιβάρυνση που έχουν δεχθεί από τον άνθρωπο. Οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να βοηθήσουν στην διαπίστωση της ακριβούς σύστασης και ποιότητας των υδάτων. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, μέσω της Ε.Ρ.Α., και στην Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω του Συμβουλίου της Ευρώπης, έχει καθοριστεί συγκεκριμένο νομικό πλαίσιο για την προστασία των Υδάτων από κάθε επιβαρυντική ανθρώπινη δραστηριότητα. Τέλος, το ίδιο πλαίσιο προβλέπει τρόπους για την αποτελεσματική διαχείρισή τους, καθώς το νερό αντιμετωπίζεται επισήμως ως μέγιστη παγκόσμια κληρονομιά και όχι ως εμπορικό προϊόν.

Κλείνοντας, θα ήθελα να αναφέρω την δομή της διπλωματικής μου. Αυτή αποτελείται από το θεωρητικό και το πειραματικό μέρος. Το πρώτο μέρος περιέχει πληροφορίες για την ρύπανση και μόλυνση του νερού, αναφέρεται στις μεμβράνες, όπως τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητές τους. Επιπρόσθετα, στο θεωρητικό μέρος γίνεται λόγος για την νομοθεσία πάνω στην επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων καθώς και για τις μεθόδους ελέγχου

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

ρύπανσης σε απόβλητα. Στο πειραματικό μέρος, περιγράφεται αναλυτικά η πιλοτική μονάδα βιοαντιδραστήρα MBR, μεμβρανών. Παράλληλα, γίνεται αναφορά για τα όργανα, τα χημικά είδη και τις μεθόδους που χρησιμοποιήσαμε. Επίσης, περιγράφονται λεπτομερώς οι πειραματικοί κύκλοι που πραγματοποιήθηκαν. Αυτοί είναι η παρακολούθηση της κοκκομετρίας της βιομάζας, παρακολούθηση αναλυτικών παραμέτρων στην εκροή του συστήματος MBR όπως είναι η αγωγιμότητα, τα ολικά διαλυμένα στερεά (Total Dissolved Solids, TDS), τα χλωριόντα, η σκληρότητα, η αλκαλικότητα και η θολότητα. Επίσης, εξετάστηκε η απομείωση μικροοργανισμών από τις μεμβράνες. Τέλος, αναγράφονται τα συμπεράσματα που βγάλαμε όσον αφορά την αποδοτικότητα των μεμβρανών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Ρύπανση υδάτινων πόρων.....	10
1.1. Γενικά.....	10
1.2. Ρύπανση και μόλυνση του νερού	11
1.3. Παράμετροι ρύπανσης του νερού	12
1.4. Είδη και χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων	15
1.4.1. Αστικά απόβλητα	15
1.4.2. Βιομηχανικά απόβλητα	15
1.4.3. Χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Επεξεργασία υγρών αποβλήτων.....	20
2.1. Κλασικά συστήματα επεξεργασίας	20
2.2. Σύστημα επεξεργασίας MBR (Membrane Bioreactor).....	21
2.2.1. Ιστορική αναδρομή	21
2.2.2. Αρχή λειτουργίας MBR.....	21
2.2.3. Κατηγοριοποίηση συστημάτων MBR.....	23
2.2.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα MBR έναντι συστήματος ενεργούς ιλύος (EI).....	23
2.3. Μεμβράνες.....	26
2.3.1. Γενικά.....	26
2.3.2. Ιδιότητες και χαρακτηριστικά μεμβρανών.....	26
2.3.3. Διεργασίες μεμβρανών	27
2.3.4. Χαρακτηριστικά Μονάδας Μεμβρανών MBR.....	31
2.3.5. Έμφραξη μεμβρανών	32
2.4. Απολύμανση υγρών αποβλήτων.....	34
2.4.1. Γενικά.....	34
2.4.2. Απολύμανση αποβλήτων επεξεργασμένων με φωτοκατάλυση TiO ₂	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων-Νομοθεσία	38
3.1. Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων	38
3.1.1. Άρδευση αγροτικών περιοχών	38
3.1.2. Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων	38
3.1.3. Ανακύκλωση στη βιομηχανία	39
3.1.4. Αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος	39
3.1.5. Αστική χρήση	39
3.1.6. Επαναχρησιμοποίηση στην Ελλάδα.....	40
3.2. Νομοθεσία.....	40
3.2.1. Η κοινή υπουργική απόφαση 145116/2011	40

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

3.2.2. Σκοπός	41
3.2.3. Πεδίο εφαρμογής	41
3.2.4. Τύποι επαναχρησιμοποίησης	42
3.2.5. Όρια και παράμετροι χρήσης	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Αναλυτικές μέθοδοι ελέγχου ρύπανσης σε απόβλητα	50
4.1. Οπτικές μέθοδοι	50
4.1.1. Θολερομετρία	50
4.1.3. Φασματομετρία	50
4.1.4. Κοκκομετρική ανάλυση με την συσκευή MASTERSIZER	51
4.2. Ηλεκτρομετρικές μέθοδοι	51
4.2.1. Αγωγιμότητα	51
4.2.2. Ολικά στερεά	52
4.2.3. Σκληρότητα	52
4.2.4. Υπολειμματικό χλώριο	53
4.2.5. Αλκαλικότητα	53
4.2.6. pH	53
4.3. Βιοχημικές μέθοδοι	53
4.3.1. Μικροσκοπικές μελέτες	53
4.3.2. Μέθοδοι καλλιέργειας	54
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Πιλοτική μονάδα MBR	55
5.1. Γενική Περιγραφή	55
5.2. Πιλοτική διάταξη	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Χημικά είδη	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Μέθοδοι ανάλυσης - Αναλυτικά όργανα	60
7.1. Μέτρηση Θολότητας – Θολερόμετρο	60
7.2. Μέτρηση Αγωγιμότητας - Ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) - Αγωγιμόμετρο	60
7.3. Μέτρηση Σκληρότητας / Χλωριόντων (Cl ⁻) - Αυτόματος τιτλοδότης Orion	61
7.4. Μέτρηση Αλκαλικότητας - Αυτόματος τιτλοδότης HANNA	63
7.5. Μέτρηση κοκκομετρίας - Mastersizer	63
7.6. Χαρακτηρισμός μικροοργανισμών - Οπτικό μικροσκόπιο	66
7.7. Καλλιέργειες - Επωαστικός κλίβανος	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Αποτελέσματα - Συζήτηση	73
8.1. Παρακολούθηση της κοκκομετρίας, του ειδικού εμβαδού επιφανείας (Specific Surface Area - SSA) και του MLSS της βιομάζας κατά την λειτουργία του συστήματος MBR	73
8.1.1. Παρακολούθηση της κοκκομετρίας της βιομάζας	73
8.1.2. Παρακολούθηση του ειδικού εμβαδού επιφανείας (Specific Surface Area - SSA)	74
8.1.3. Παρακολούθηση του MLSS της βιομάζας	75
8.2. Παρακολούθηση αναλυτικών παραμέτρων στην εκροή συστήματος MBR τεσσάρων διαφορετικών μεμβρανών (40 ημέρες λειτουργίας)	75
8.2.1. Παρακολούθηση Αγωγιμότητας	75
8.2.2. Παρακολούθηση Ολικών διαλυμένων στερεών (TDS)	77

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

8.2.3. Παρακολούθηση Χλωριόντων.....	78
8.2.4. Παρακολούθηση Σκληρότητας.....	79
8.2.5. Παρακολούθηση Αλκαλικότητας.....	80
8.2.6. Παρακολούθηση Θολότητας.....	81
8.3. Παρακολούθηση της απομείωσης μικροοργανισμών στην εκροή συστήματος MBR τεσσάρων διαφορετικών μεμβρανών (30 ημέρες λειτουργίας).....	83
8.3.1. Παρακολούθηση ανάπτυξης αποικιών E.Coli.....	84
8.3.2. Παρακολούθηση ανάπτυξης αποικιών Pseudomonas sp.....	86
8.3.3. Παρακολούθηση ανάπτυξης αποικιών Streptococcus.....	88
Κεφάλαιο 9. Συμπεράσματα – Προοπτικές.....	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ.....	93
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΤΙΤΛΟΙ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	94
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – ΤΙΤΛΟΙ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	94
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ – ΤΙΤΛΟΙ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	95
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ – ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	96

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Ρύπανση υδάτινων πόρων

1.1. Γενικά

Το φυσικό και κυρίως το επιφανειακό νερό περιέχει πλήθος ανεπιθύμητων συστατικών από διάφορους παθογόνους ή μη μικροοργανισμούς και διάφορα στοιχεία όπως χρώμα και διάφορα άλλα αιωρούμενα σωματίδια. Όλα τα φυσικά νερά περιέχουν αιωρούμενες ή αδιάλυτες ανόργανες ή οργανικές χημικές ουσίες σε κάποιο βαθμό. Ανεξάρτητα της υψηλής συγκέντρωσης τους ή μη πρέπει να θεωρούνται ως προσμείξεις ανάλογα με τον τρόπο χρήσης του νερού. Το τρεχούμενο νερό μπορεί να περιέχει :

- Από άμμο μέχρι και χαλίκια διαφόρου μεγέθους
- Οργανικά στερεά, άλγη, και βακτήρια
- Διαλυμένα ανόργανα στερεά όπως:
 1. τα διττανθρακικά
 2. τα θειικά και χλωριούχα άλατα ασβεστίου
 3. το μαγνήσιο
 4. τα νάτριο
- Ενώσεις του διοξειδίου του πυριτίου, του σιδήρου και του μαγγανίου
- Μέταλλα και οργανικές ενώσεις χωρίς σίδηρο μπορούν να είναι παρόντες σε χαμηλές συγκεντρώσεις ,τα οποία ,ωστόσο, υπερβαίνουν τα προτεινόμενα όρια της *EPA (Environmental Protection Agency)*
- Διαλυμένο ασβέστιο και ενώσεις του μαγνησίου (που ορίζεται ως σκληρότητα) τα οποία οδηγούν σε προβλήματα λειτουργίας των λεβήτων και των συστημάτων ψύξης
- Άλλα διαλυμένα στερεά που μπορούν να θεωρηθούν ως προσμείξεις, ανάλογα με τις συγκεντρώσεις τους και την προβλεπόμενη χρήση του νερού

Η ρύπανση των υδάτινων αποδεκτών λόγω της απόρριψης σε αυτούς μη επαρκώς επεξεργασμένων βιομηχανικών υγρών αποβλήτων επιβαρυνμένων με βαρέα μέταλλα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα. Στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες έχουν τεθεί αυστηρά περιβαλλοντικά κριτήρια αναφορικά με την απόρριψη υγρών αποβλήτων που προέρχονται από βιομηχανικές δραστηριότητες. Τα όρια μπορεί να διαφοροποιούνται ανάλογα με τη χώρα, την περιοχή και το βιομηχανικό κλάδο (US EPA, 2005). Είναι ,λοιπόν, επιτακτική ανάγκη η ανάπτυξη και εφαρμογή κατάλληλων διεργασιών-συστημάτων επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων στα πλαίσια της κάθε βιομηχανίας προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το ρυπαντικό φορτίο σε επιτρεπτά επίπεδα πριν την απόρριψή τους. Ωστόσο, η επιλογή του κατάλληλου συστήματος επεξεργασίας πρέπει να λαμβάνει υπόψη την προέλευση και την αρχική σύσταση των υγρών αποβλήτων, την ισχύουσα νομοθεσία που καθορίζει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της επεξεργασμένης εκροής και το κόστος της επεξεργασίας. Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή του κατάλληλου συστήματος προϋποθέτει τη διεξαγωγή εργαστηριακών και πιλοτικών δοκιμών. Μια μέθοδος μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλη όταν χαρακτηρίζεται από υψηλή απόδοση, είναι περιβαλλοντικά φιλική και οικονομικά βιώσιμη.

Στην Ελλάδα το θεσμικό πλαίσιο για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι η ΚΥΑ 145116/2011 (ΦΕΚ Β 354) και προβλέπει τον καθορισμό μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, όπως τροποποιήθηκε από την ΚΥΑ 191002/2013 (ΦΕΚ Β 2220).

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

1.2. Ρύπανση και μόλυνση του νερού

Τα υγρά αστικά απόβλητα περιέχουν κυρίως οργανικές ουσίες (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη, έλαια, φαινόλες, επιφανειακά τασιενεργές ουσίες), ανόργανες ουσίες (άζωτο, φώσφορο, διάφορα άλατα), και διάφορα στερεά. Επίσης, σε αυτά περιέχονται ουσίες οι οποίες βρίσκονται σε κολλοειδή μορφή, μικροοργανισμοί, τοξικές ουσίες, μέταλλα, ιχνοστοιχεία καθώς και διαλυμένα αέρια, όπως αμμωνία (NH₃), υδρόθειο (H₂S) κ.ά. Οι ουσίες αυτές χαρακτηρίζονται ως ρυπαντές του νερού και του περιβάλλοντος γενικότερα. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη, επιβάλλεται από τη νομοθεσία και στοχεύει στην εξουδετέρωση και την απομάκρυνση αυτών των ρυπαντών. Οι βασικές γνώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων και η διάκριση των εννοιών «ρύπανση» και «μόλυνση» του νερού, θεωρούνται απαραίτητα στοιχεία για την κατανόηση των διεργασιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Διαφορά μεταξύ ρύπανσης και μόλυνσης:

- *Ρύπανση* ονομάζεται η επιβάρυνση του νερού με ύλη ή ενέργεια, η ανεπιθύμητη δηλαδή μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού (φυσικών, χημικών, ραδιολογικών, βιολογικών - μικροβιολογικών), εξαιτίας κυρίως των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, σε βαθμό που μπορεί να δημιουργηθεί κίνδυνος για την υγεία και να υποβαθμιστεί η ποιότητα ζωής του ανθρώπου. Η ρύπανση προκαλεί βλάβη στα φυσικά οικοσυστήματα και παρεμποδίζει τις επιθυμητές χρήσεις των υδατικών πόρων.

Σημειακές πηγές ρύπανσης αποτελούν οι πηγές που εκβάλλουν ρύπους σε εντοπισμένα σημεία όπως σε αγωγούς, τάφρους και αποχετευτικά δίκτυα που καταλήγουν είτε σε υδάτινους αποδέκτες, είτε στο υπέδαφος. Ως πηγές θεωρούνται κυρίως :

- βιομηχανικές μονάδες
- μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων που απομακρύνουν μέρος των ρύπων

Μη σημειακές πηγές ρύπανσης είναι πηγές οι οποίες δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν σε κανένα ειδικό σημείο απορροής. Είναι συνήθως μεγάλες περιοχές που ρυπαίνουν το νερό με επιφανειακή απορροή, υπεδάφια ροή ή απόθεση στην ατμόσφαιρα. Τέτοιες είναι:

- οι απορροές χημικών στα επιφανειακά νερά και η διαρροή τους στο έδαφος μέσα από χωράφια,
 - υλοτομημένα δάση, δρόμοι, αποχετεύσεις
- *Μόλυνση* ορίζεται η παρουσία στο νερό παθογόνων μικροοργανισμών ή και μικροοργανισμών δεικτών, που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας παθογόνων, εξαιτίας κυρίως των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Κύρια πηγή επιβάρυνσης των υδάτινων σωμάτων με παθογόνους μικροοργανισμούς, δηλαδή μικροβιακή μόλυνση του νερού, είναι τα αστικά και κτηνοτροφικά απόβλητα με τα περιττώματα ανθρώπων και ζώων που περιέχουν.

Πηγές μόλυνσης του νερού είναι οι εξής:

- επικίνδυνα απόβλητα των νοικοκυριών, των σηπτικών συστημάτων
- χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στο γρασίδι και τον κήπο
- καύσιμα προερχόμενα από διαρροές δεξαμενών αποθήκευσης
- ζωικά απόβλητα
- γεωργικά χημικά προϊόντα
- χώροι υγειονομικής ταφής
- η έκπλυση των μετάλλων από υδραυλικές εγκαταστάσεις

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

1.3. Παράμετροι ρύπανσης του νερού

Έχει αποδειχτεί εμπειρικά ότι ποικίλοι παράγοντες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν παρθεί μια απόφαση σχετικά με την ποιότητα των υδάτων. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να πραγματοποιούνται μετρήσεις και έλεγχος των συγκεντρώσεων των διαλυμένων ανόργανων και οργανικών ουσιών. Ο έλεγχος αυτός πρέπει να επεκταθεί και σε άλλα συστατικά, όπως βαρέα μέταλλα, απορρυπαντικά, φυτοφάρμακα κ.α. Προς την ποιοτική προσέγγιση του πόσιμου νερού έχουν τεθεί κάποια όρια στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού προς ανθρώπινη κατανάλωση. Τα ποιοτικά όρια ορίζονται με βάση χημικές, βιοχημικές και μικροβιολογικές παραμέτρους. Μια ουσία χαρακτηρίζεται ως *ρύπος* εφόσον η συκέντρωσή της στο νερό είναι αρκετά μεγαλύτερη απ' αυτή που συνήθως συναντάται στα φυσικά αποθέματα του γλυκού νερού. Ένας ρύπος χαρακτηρίζεται *τοξικός* όταν έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει σοβαρή βλάβη ή θάνατο σε ανθρώπους ή ζώα.

Οι ρύποι του νερού διακρίνονται σε:

- *συμβατικούς*

Ανήκουν ουσίες που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως οργανική ύλη (οργανικές ουσίες), ενώσεις του αζώτου (αμμωνιακά NH_4^+ , νιτρώδη NO_2^- , νιτρικά άλατα NO_3^-), ενώσεις του φωσφόρου (κυρίως φωσφορικά άλατα PO_4^{3-}).

- *μη συμβατικούς*

Περιλαμβάνονται τα βαριά μέταλλα (Cd, Cr, Hg, Pb, Ni, Cu, Zn, κ.λ.π.), οι τοξικές οργανικές ενώσεις και ουσίες όπως το αρσενικό(As), τα θειούχα(S_2^-), τα κυανιούχα(CN^-) και τα ραδιενεργά υλικά. Οι τοξικές οργανικές ενώσεις είναι ουσίες οι οποίες έχουν συντεθεί από τον άνθρωπο για διάφορες χρήσεις. Σπουδαιότερες απ' αυτές είναι τα παρασιτοκτόνα, τα εντομοκτόνα, τα ζιζανιοκτόνα, τα οποία καταλήγουν στο νερό λόγω της ευρείας χρήσης τους στη γεωργία και στη βιομηχανία, οι διοξίνες, οι οποίες παράγονται εκεί όπου υπάρχουν καύσεις ή διεργασίες με χλώριο, οι υδρογονάνθρακες του πετρελαίου, οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB's), οι φαινόλες, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH's) και τα τριαλογονομεθάνια (Tri-Halo-Methanes, THM), τα οποία συνήθως σχηματίζονται κατά την προαπολύμανση του νερού, την απολύμανση των υγρών αποβλήτων κ.λ.π.

- *θερμικούς*

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

- *ρύπους (μολυντές) από μικρόβια*

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Παρακάτω, στον πίνακα 1, παρουσιάζονται επιγραμματικά οι δείκτες ποιότητας του νερού.

Πίνακας 1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού (Νταρακάς Ε., 2009)

Ποιοτικά χαρακτηριστικά	Παράμετρος
Φυσικοχημικά	<ul style="list-style-type: none"> • Θερμοκρασία • Οξύτητα – Αλκαλικότητα • Αγωγιμότητα – Αλατότητα • Θολότητα • Οσμή • Χρώμα • Στερεές ουσίες • Άλατα – Σκληρότητα • Διάφορα κατιόντα (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, NH_4^+) • Διάφορα ανιόντα (NO_2^-, NO_3^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, Cl^-) • Θρεπτικά συστατικά (N, P, S, Si) • Ιχνοστοιχεία και μέταλλα
Βιοχημικά	<ul style="list-style-type: none"> • Διαλυμένο οξυγόνο (DO) • Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) • Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD) • Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)
Μικροβιολογικά	<ul style="list-style-type: none"> • Ιοί • Βακτήρια • Μύκητες • Φύκια • Πρωτόζωα • Έλμινθες • Μαλακόστρακα

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Στον πίνακα 2 αναγράφονται οι ενδεικτικές παράμετροι του πόσιμου νερού.

Πίνακας 2: Ενδεικτικές παράμετροι του πόσιμου νερού(Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της 3ης/11/1998)

α/α	Παράμετρος	Μονάδα έκφρασης αποτελεσμάτων	Παραμετρική τιμή*
1	Ιόντα υδρογόνου	μονάδα	pH 6.5≤pH≤9.5
2	Αγωγιμότητα	μS/cm	2500
3	Χλωριούχα άλατα	mg/l	250
4	Θειικά άλατα	mg/l	250
5	Νάτριο	g/l	200
6	Αργίλιο	μg/l	200
7	Νιτρικά άλατα	mg/l	50
8	Νιτρώδη άλατα	mg/l	0,50
9	Βρωμικά άλατα	mg/l	10
10	Κυανιούχα άλατα	μg/l	50
11	Αμμώνιο	mg/l	0,50
12	Φθοριούχα άλατα	mg/l	1,5
13	Σίδηρος	μg/l	200
14	Μαγγάνιο	μg/l	50
15	Χαλκός	mg/l	2,0
16	Αρσενικό	μg/l	10
17	Χρώμιο	μg/l	50
18	Υδράργυρος	μg/l	1,0
19	Μόλυβδος	μg/l	10
20	Νικέλιο	μg/l	20
21	Κάδμιο	μg/l	5,0

*Η παραμετρική τιμή, με βάση την Οδηγία 98/83/ΕΚ, αναφέρεται στη συγκέντρωση καταλοίπων μονομερούς στο νερό, όπως υπολογίζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές περί μέγιστης μετανάστευσης εκ του αντιστοίχου πολυμερούς, όταν βρίσκεται σε επαφή με το νερό.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

1.4. Είδη και χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

1.4.1. Αστικά απόβλητα

Αστικά απόβλητα είναι τα απόνερα αστικής προέλευσης. Αποτελούνται από νερό που προέρχεται από ανθρώπινη χρήση και απορρίπτεται σαν έκκριμα ή απόκριμα (κόπρανα, ούρα, κτλ.) και από νερό που έχει χρησιμοποιηθεί στις συνηθισμένες οικιακές χρήσεις (πλυσίματα, καθαριότητα, κτλ.).

Η μέση ποσότητα που αποχετεύει ο άνθρωπος την ημέρα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι η αφθονία ή η έλλειψη νερού στο σπίτι και την περιοχή, το κόστος του νερού, το πολιτιστικό επίπεδο, η οικονομική κατάσταση.

1.4.2. Βιομηχανικά απόβλητα

Βιομηχανικά απόβλητα είναι τα υγρά απόβλητα διαφόρων βιομηχανιών ή άλλων εγκαταστάσεων, τα οποία περιέχουν υπολείμματα των χρησιμοποιούμενων ή των παραγόμενων υλών. Στα βιομηχανικά απόβλητα δεν περιλαμβάνονται αυτά που προέρχονται από τους χώρους εξυπηρέτησης προσωπικού όπως αποχωρητήρια, μαγειρεία, πλυντήρια κ.τ.λ.

1.4.3. Χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

Τα υγρά απόβλητα αποτελούνται κατά κύριο λόγο από νερό. Ο προσδιορισμός και η συνεχής παρακολούθηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων είναι απολύτως απαραίτητος προκειμένου να καθοριστούν τα στάδια και ο βαθμός επεξεργασίας τους και να ελεγχθεί η επίτευξη των στόχων και των απαιτήσεων για την ασφαλή διάθεσή τους στο περιβάλλον. Τα χαρακτηριστικά αυτά κατατάσσονται σε φυσικά, χημικά και βιολογικά :

➤ *Φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων :*

- *Θερμοκρασία*

Σημαντική παράμετρος για το σχεδιασμό και τη λειτουργία των βιολογικών διεργασιών στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

- *Αγωγιμότητα*

Παράμετρος με την οποία εκτιμάται η ποιότητα της επεξεργασμένης εκροής, ειδικά για γεωργική χρήση.

- *Θολότητα*

Παράμετρος με την οποία εκτιμάται η ποιότητα της εκροής.

- *Διαπερατότητα*

Παράμετρος με την οποία εκτιμάται η ποιότητα της εκροής για απολύμανση με UV.

- *Χρώμα*

Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η κατάσταση των λυμάτων, δηλαδή φρέσκα λύματα ή λύματα που έχουν υποστεί σήψη. Το νερό χαρακτηρίζεται ως άχρωμο. Οποιαδήποτε υποψία ή παρουσία χρώματος είναι συνδεδεμένη με υποβαθμισμένη ποιότητα του νερού.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

- *Οσμή και γεύση*

Παράμετρος με την οποία καθορίζεται εάν οι οσμές αποτελούν πρόβλημα. Το νερό χαρακτηρίζεται ως άγευστο και άοσμο. Ωστόσο, όταν η οσμή και η γεύση είναι ιδιαίτερα έντονη ή ακόμα και αποκρουστική, αυτό πιθανόν οφείλεται στην παρουσία μικροοργανισμών.

- *Πυκνότητα*
- *Στερεές ουσίες*

(Αιωρούμενες, Επιπλέουσες, Καθιζάνουσες, Αδιάλυτες, Διαλυμένες) και κατανομή μεγέθους σωματιδίων.

➤ *Χημικά (ανόργανα) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων :*

- *pH*

Το μέτρο της οξύτητας ή της αλκαλικότητας των υγρών αποβλήτων.

- *Αλκαλικότητα ($HCO_3^- + CO_3^{2-} + OH - H^+$)*

Το μέτρο της ρυθμιστικής ικανότητας των υγρών αποβλήτων (της ικανότητάς τους να εξουδετερώνουν οξέα).

- *Χλωριούχα*

Παράμετρος για την εκτίμηση της ποιότητας της επεξεργασμένης εκροής, ειδικά για την επαναχρησιμοποίηση για γεωργική χρήση (άρδευση).

- *Αζωτούχες ενώσεις*

Χρησιμοποιούνται ως μέτρο της παρουσίας θρεπτικών συστατικών καθώς και του βαθμού αποσύνθεσης στα υγρά απόβλητα. Οι οξειδωμένες μορφές μπορούν να ληφθούν ως μέτρο του βαθμού οξείδωσης :

1. Ελεύθερη αμμωνία (NH_4^+)
2. Οργανικό άζωτο (Org. N)
3. Νιτρώδη (NO_2^-)
4. Νιτρικά (NO_3^-)

- *Φωσφορικές ενώσεις*

Χρησιμοποιούνται ως μέτρο παρουσίας των θρεπτικών συστατικών στα υγρά απόβλητα. Οι οξειδωμένες μορφές μπορούν να ληφθούν ως μέτρο του βαθμού οξείδωσης :

1. Ανόργανος φώσφορος (Inorg. P)
2. Οργανικός φώσφορος (Org. P)
3. Ολικός φώσφορος (TP)

- *Θειικά (SO_4^{2-})*

Παράμετρος για την εκτίμηση της πιθανότητας δημιουργίας οσμών. Για την εκτίμηση της «επεξεργασιμότητας» της ιλύος.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

- *Μέταλλα (Ca, Mg, K, Na, Cr, Cu, Co, Pb, Cd, Hg, Mo, Ni, Fe, Se, As, Zn)*

Εκτίμηση της καταλληλότητας της εκροής για επαναχρησιμοποίηση και για την εκτίμηση της τοξικότητας. Ωστόσο ίχνη ορισμένων μετάλλων είναι απαραίτητα για μερικές βιολογικές διεργασίες.

- *Διάφορα αέρια (O₂, CO₂, NH₃, H₂S, CH₄)*

Παρουσία / απουσία συγκεκριμένων αερίων.

➤ *Χημικά (οργανικά) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων :*

- *C-BOD*, (Biochemical Oxygen Demand), Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

Το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιολογική αποικοδόμηση των ανθρακούχων οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.

- *N-BOD*, Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

Το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιολογική αποικοδόμηση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.

- *COD*, (Chemical Oxygen Demand), Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

Το οξυγόνο που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.

- *TOC*, (Total Organic Carbon), Ολικός Οργανικός Άνθρακας

Χρησιμοποιείται συμπληρωματικά με το BOD, αλλά πολύ σπάνια επειδή αφορά μέτρηση με πολύ μεγάλη ευαισθησία, δηλαδή πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης.

- *Συγκεκριμένες οργανικές ενώσεις και κατηγορίες ενώσεων*

Προσδιορισμός της παρουσίας των συγκεκριμένων οργανικών ενώσεων και για την εκτίμηση των απαραίτητων ειδικών μέτρων που πρέπει να ληφθούν κατά τον σχεδιασμό της ΕΕΛ για την απομάκρυνσή τους.

➤ *Βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων :*

- *Ολικά Κολοβακτηριοειδή, (Total Coliforms, TC) και Κολοβακτηριοειδή Κοπράνων, (Fecal Coliforms, FC)*

Για την εκτίμηση της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών και την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης των υγρών αποβλήτων.

- *Ειδικοί μικροοργανισμοί, (Βακτήρια, Ιοί, Πρωτόζωα, Έλμινθες)*

Για την εκτίμηση της παρουσίας των συγκεκριμένων μικροοργανισμών που συνδέονται με την λειτουργία της Ε.Ε.Λ. και την επαναχρησιμοποίηση της εκροής.

- *Τοξικότητα, Οξεία (άμεση) Τοξικότητα (TUA), Χρόνια Τοξικότητα (TUC)*

Για την εκτίμηση της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Οι οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στα υγρά απόβλητα αποτελούν τον κατ' εξοχήν συμβατικό ρύπο ο οποίος πρέπει να απομακρυνθεί. Ιδιαίτερη επίσης αναφορά γίνεται στις στερεές ουσίες (αδιάλυτες, διαλυμένες, κolloειδείς, επιπλέουσες, αιωρούμενες, καθιζάνουσες) και στους μικροοργανισμούς οι οποίοι συνδέονται με την ποιότητα και την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

Παρακάτω αναγράφονται οι πίνακες (3,4) με την τυπική και ενδεικτική σύσταση υγρών αστικών αποβλήτων .

Πίνακας 3: Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων (mg/l)

Αστικά απόβλητα			
Παράμετρος (mg/l)	Ισχυρά	Μεσαία	Αδύνατα
Ολικά στερεά	1200	720	350
BOD	400	220	110
COD	1000	500	250
TOC	290	160	80
Ολικό Άζωτο	85	40	20
Ολικός Φώσφορος	15	8	4
Χλωρικά	100	50	30
Θειικά	50	30	20

Στον πίνακα 3 παρουσιάζεται η κατάταξη των Metcalf and Eddy τυπικών αστικών αποβλήτων σε ισχυρά, μεσαία και αδύνατα.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Πίνακας 4: Ενδεικτική σύσταση υγρών αστικών αποβλήτων σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας

Αστικά κέντρα	Παράμετροι			
	Αιωρούμενα Στερεά (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	Ολικό Άζωτο(mg/l)
Βόλος	300	330	720	56
Καβάλα	282	355	750	43
Αικατερίνη	230	280	450	35
Κως	300	240	620	45
Σπάρτη	230	323	700	31

Στον πίνακα 4 βλέπουμε τις παραμέτρους αστικών αποβλήτων σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας. Τα αστικά ανεπεξέργαστα απόβλητα αποτελούνται κυρίως από πρωτεΐνες (40 – 60%), υδρογονάνθρακες (25 – 50%), λιπίδια (10%), ουρία και από ένα μεγάλο πλήθος μετάλλων και ιχνοστοιχείων (As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, K, Se, Na, W, V, Zn, ενώσεις του βενζολίου, χλωριωμένες ενώσεις, φαινόλες). Τα σημαντικότερα θρεπτικά των αστικών αποβλήτων είναι το άζωτο και ο φώσφορος. Το άζωτο των οικιακών αποβλήτων βρίσκεται κυρίως με τη μορφή της ουρίας καθώς και στα κόπρανα και σε άλλες οργανικές ύλες. Η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στα οικιακά απόβλητα μπορεί να ποικίλει από 20 – 70 mg/l. Σε νωπά απόβλητα, το αμμωνιακό άζωτο, που βρίσκεται με την μορφή ιόντων αμμωνίου και αμμωνίας, είναι περίπου το 60% του ολικού αζώτου. Νιτρώδη και νιτρικά, οξειδωμένες δηλαδή μορφές αζώτου, βρίσκονται σε ελάχιστες συγκεντρώσεις στα απόβλητα. Το οργανικό άζωτο των αποβλήτων και η ουρία υδρολύονται εύκολα σε αμμωνιακό άζωτο, έτσι ώστε σε απόβλητα που παραμένουν επί σημαντικό διάστημα στο δίκτυο, το ποσοστό του αμμωνιακού αζώτου να φτάνει ή και να ξεπερνά το 80% του ολικού αζώτου. Στα αστικά απόβλητα η ποσότητα του φωσφόρου ανά κάτοικο και ημέρα κυμαίνεται από 2,5 έως 4 g. Σημαντικό ποσοστό από τις ποσότητες αυτές (μέχρι και 50%) οφείλεται στη χρήση απορρυπαντικών. Οι παραγόμενες ποσότητες αστικών αποβλήτων παρουσιάζουν μια σχετική σταθερότητα και εκτιμάται πως - με την προϋπόθεση ότι η εφαρμοζόμενη πολιτική διαχείρισης του νερού δεν ευνοεί την υπερκατανάλωσή του - η μέση ημερήσια παραγωγή ανά κάτοικο κυμαίνεται περίπου στα 160 με 170 λίτρα. Επομένως, για συγκεκριμένο πληθυσμό μπορεί εύκολα να εκτιμηθεί η παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

2.1. Κλασικά συστήματα επεξεργασίας

Η επεξεργασία αποβλήτων είναι η διαδικασία που διαχωρίζει τις επικίνδυνες ουσίες από το νερό στα απόβλητα, ώστε το νερό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον αποδέκτη. Εκτενής έρευνα έχει γίνει στο θέμα πάνω στον βαθμό επεξεργασίας και την παρακολούθηση του νερού. Υπάρχουν πολλές απόψεις επί του θέματος, ωστόσο μια σίγουρη πρόταση είναι η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αποβλήτων ως νερό ψύξης σε βιομηχανίες. Η πρακτική επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης νερών που προκύπτουν από την επεξεργασία των αποβλήτων είναι σχετικά πρόσφατη στην χώρα μας.

Η ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει έργα για τη συλλογή, την επεξεργασία και τη διάθεσή τους. Τα υγρά απόβλητα μιας πόλης συλλέγονται με το σύστημα αποχέτευσης, το οποίο πολλές φορές δέχεται και εισροές από υπόγεια ή επιφανειακά νερά. Μπορεί ακόμα να δέχεται και κάποιες κατηγορίες βιομηχανικών αποβλήτων τα οποία έχουν υποστεί κάποιου είδους προεπεξεργασία. Το δίκτυο του συστήματος αποχέτευσης συμβάλλει σε έναν Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό (Κ.Α.Α.) ο οποίος καταλήγει σε μια Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.) όπου τα λύματα υφίστανται επεξεργασία με σκοπό τη δέσμευση και την εξουδετέρωση των ανεπιθύμητων συστατικών τους. Πολλές φορές στις Ε.Ε.Λ. καταλήγουν και βοθρολύματα.

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων αμβλύνει τις δυσμενείς επιπτώσεις στους αποδέκτες, διαφυλάσσει την οικολογική ισορροπία και προστατεύει το περιβάλλον. Οι μέθοδοι επεξεργασίας με φυσικές δυνάμεις είναι γνωστές ως φυσικές διεργασίες, ενώ οι μέθοδοι κατά τις οποίες η απομάκρυνση των ρυπογόνων ουσιών επιτυγχάνεται με χημικές και βιολογικές αντιδράσεις είναι γνωστές ως χημικές και βιολογικές διεργασίες.

Τα κύρια στάδια της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων είναι τα εξής:

- *Προεπεξεργασία*, κατά την οποία απομακρύνονται υλικά όπως πανιά, χαλίκια, άμμος, μικρά τεμάχια ξύλου και πλαστικού, λάδια και λίπη τα οποία συνήθως προκαλούν ζημιές στο μηχανολογικό εξοπλισμό και προβλήματα στη συντήρηση και τη λειτουργία της Ε.Ε.Λ.
- *Πρωτοβάθμια επεξεργασία*, κατά την οποία απομακρύνεται ένα μέρος των αιωρούμενων στερεών και ένα μέρος των οργανικών ουσιών. Αυτό επιτυγχάνεται με το φυσικό φαινόμενο της καθίζησης.
- *Δευτεροβάθμια επεξεργασία*, κατά την οποία απομακρύνονται οι βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες και τα αιωρούμενα στερεά με τη χρήση βιολογικών και χημικών διεργασιών. Σημειώνεται ότι και η απολύμανση περιλαμβάνεται στον τυπικό ορισμό της συμβατικής δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.
- *Τριτοβάθμια επεξεργασία*, κατά την οποία απομακρύνονται οι εναπομείνουσες από την δευτεροβάθμια επεξεργασία αιωρούμενες ουσίες, συνήθως με χρήση μέσου διήθησης.
- *Προχωρημένη επεξεργασία*, για την απομάκρυνση των αιωρούμενων αλλά και των διαλυμένων ουσιών που παραμένουν στα απόβλητα μετά τη συνηθισμένη βιολογική επεξεργασία, όταν αυτή απαιτείται σε διάφορες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης του νερού. Η επεξεργασία αυτή επιτυγχάνεται με συνδυασμό φυσικών, βιολογικών και χημικών διεργασιών και συνήθως περιλαμβάνει διήθηση, χρήση μεμβρανών, αντίστροφη ώσμωση, προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα ή ιοντοεναλλαγή.
- *Απολύμανση*, για την εξουδετέρωση παθογόνων μικροοργανισμών, με χρήση χλωρίου ή ακτινοβολίας.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Σύγχρονα δίκτυα αποχέτευσης άρχισαν να κατασκευάζονται στην Ευρώπη πριν από 100 περίπου χρόνια. Τη δεκαετία του 1930 ξεκίνησε στην Ευρώπη η κατασκευή των πρώτων Ε.Ε.Λ.. Σήμερα έχουν κατασκευαστεί σύγχρονες Ε.Ε.Λ. σε όλες σχεδόν τις πόλεις της Ελλάδας, οι οποίες περιλαμβάνουν πολλά στάδια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και κάθε στάδιο επεξεργασίας περιλαμβάνει περισσότερες από μια διεργασίες.

2.2. Σύστημα επεξεργασίας MBR (Membrane Bioreactor)

2.2.1. Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη αναφορά για την αντικατάσταση της δεξαμενής τελικής καθίζησης από σύστημα μεμβρανών γίνεται από τους Smith et al., το 1969, οι οποίοι προσομοίωσαν και εξέτασαν πειραματικά ένα συνδυασμένο σύστημα ενεργού ιλύος και εξωτερικής διήθησης. Παράλληλα, οι Hardt et al, εξέτασαν το διαχωρισμό της ενεργού ιλύος με μεμβράνες υπερδιήθησης.

Τα πρώτα ολοκληρωμένα συστήματα MBR εμφανίστηκαν στη Β. Αμερική στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και στην Ιαπωνία στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Όμως οι μονάδες αυτές επεξεργάζονταν λύματα με πολύ μικρές παροχές. Η εγκατάσταση και λειτουργία συστημάτων MBR στην Ευρώπη άρχισε αργότερα, στα μέσα της δεκαετίας του 1990. Μέχρι το 2002 είχαν κατασκευασθεί και λειτουργούσαν πάνω από 1000 μονάδες MBR σε όλο τον κόσμο, ενώ πολλές άλλες έχουν κατασκευαστεί μέχρι σήμερα. Η συντριπτική πλειοψηφία (66%) ολοκληρωμένων σε λειτουργία συστημάτων MBR βρίσκεται στην Ιαπωνία. Οι υπόλοιπες μονάδες βρίσκονται στη Βόρεια Αμερική (Καναδά και ΗΠΑ) και στην Ευρώπη.

Στην Ευρώπη, την τελευταία δεκαετία, η ανάπτυξη συστημάτων MBR έχει προοδεύσει σημαντικά από μικρά πιλοτικά συστήματα σε πλήρους κλίμακας εγκαταστάσεις. Η συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιείται στην πράξη σε χώρες όπως η Γερμανία, η Γαλλία, η Ιταλία, η Ισπανία και η Μεγάλη Βρετανία (Visvanathan et al., 2000). Το Δεκέμβριο του 2003 άρχισε να λειτουργεί η μεγαλύτερη μονάδα MBR στον κόσμο, στο Καρστ της Γερμανίας, η οποία βρίσκεται στο βόρειο μέρος του Ρήνου και κοντά στην πόλη του Ντίσελντορφ. Αυτή η ΕΕΛ είναι γνωστή ως Nordkanal και μπορεί να εξυπηρετήσει έναν ισοδύναμο πληθυσμό περίπου 80,000. Τέλος, σχεδιάζεται μία παρόμοιου μεγέθους ΕΕΛ με σύστημα MBR στο Hilversum και μία μονάδα MBR πέντε φορές μεγαλύτερη στο Beverdijk.

Μέχρι το 2006, στην Ευρώπη λειτουργούσαν περίπου 100 αστικές εγκαταστάσεις πλήρους κλίμακας που μπορούσαν να εξυπηρετήσουν ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο του 500 και περίπου 300 μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις με χωρητικότητα μεγαλύτερη των 20m³/d. Με τη πάροδο του χρόνου ο αριθμός των εγκατεστημένων μονάδων MBR έχει αυξηθεί αρκετά και ιδιαίτερα από το 2002 μέχρι το 2005 έχουμε ετήσια αύξηση πάνω από 50 σε βιομηχανικές μονάδες και πάνω από 20 σε δημοτικές μονάδες.

2.2.2. Αρχή λειτουργίας MBR

Το κλασικό σύστημα MBR είναι αυτό που επιτυγχάνει διαχωρισμό του υγρού από τα στερεά και η αρχή λειτουργίας του είναι απλή:

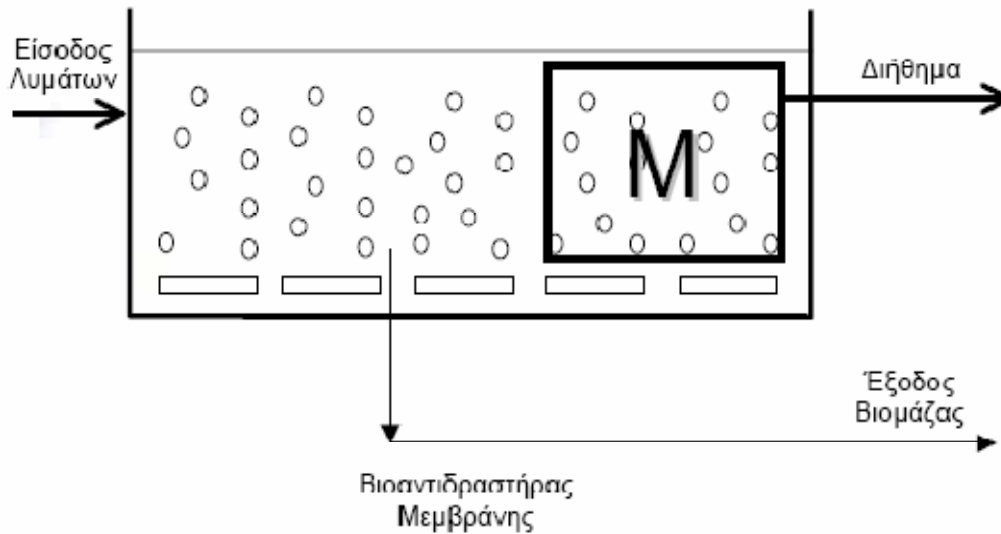
- Η βιολογική επεξεργασία των λυμάτων λαμβάνει χώρα κανονικά στους αντιδραστήρες και το ανάμικτο υγρό διηθείται ώστε να διαχωριστεί η τελική εκροή των λυμάτων από την ίλη.
- Η διήθηση πραγματοποιείται είτε με την εφαρμογή πίεσης στο ανάμικτο υγρό του αντιδραστήρα είτε με την εφαρμογή χαμηλής πίεσης στο διήθημα, ώστε το διήθημα

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

να περάσει μέσα από τη μεμβράνη ενώ τα στερεά να κατακρατηθούν από τις μεμβράνες.

- Η κατακράτηση των σωματιδίων από τις μεμβράνες οφείλεται αποκλειστικά στο μεγαλύτερο μέγεθος των σωματιδίων σε σχέση με τους πόρους της μεμβράνης.

Στην εικόνα 1 παρουσιάζεται σχηματικά η γενική αρχή λειτουργίας ενός συστήματος βιοαντιδραστήρα μεμβράνης.



Εικόνα 1: Γενική αρχή λειτουργίας συστήματος βιοαντιδραστήρα μεμβράνης

Γενικά, η λειτουργία των συστημάτων MBR είναι στενά συνδεδεμένη με το είδος της διάταξης. Όμως υπάρχουν κάποια βασικά λειτουργικά στοιχεία τα οποία είναι κοινά για όλα τα συστήματα MBR και είναι τα εξής:

- Η βιομάζα πρέπει να τροφοδοτείται με το απαραίτητο οξυγόνο για την επιτέλεση των βιολογικών διεργασιών που απαιτούν οξυγόνο.
- Το ανάμικτο υγρό πρέπει να διατηρείται σε αιώρηση.
- Πρέπει να ασκηθεί η κατάλληλη πίεση ώστε να πραγματοποιηθεί η διήθηση (δηλαδή να αναπτυχθεί μια διαφορά πίεσης διαμέσου των μεμβρανών).
- Πρέπει να αναπτυχθούν αποδοτικοί τρόποι καθαρισμού, ώστε να περιοριστεί το φαινόμενο της έμφραξης των μεμβρανών.

Οι δύο πρώτες παράμετροι αφορούν τη βιολογική επεξεργασία και είναι κοινές με το κλασικό σύστημα της ΕΙ. Οι δυο τελευταίες παράμετροι σχετίζονται με τη διεργασία της διήθησης και επομένως αφορούν αποκλειστικά το σύστημα MBR.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

2.2.3. Κατηγοριοποίηση συστημάτων MBR

Τα συστήματα MBR που διαχωρίζουν τα στερεά από το υγρό διακρίνονται σε τρία συστήματα ανάλογα με το είδος της διάταξης:

- εξωτερικά συστήματα MBR (External Cross-Flow MBR)
- εσωτερικά εμβυθιζόμενα συστήματα MBR (Internally Submerged MBR)
- εξωτερικά εμβυθιζόμενα συστήματα MBR (Externally Submerged MBR)

2.2.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα MBR έναντι συστήματος ενεργούς ιλύος (EI)

Το σύστημα MBR εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι του συμβατικού συστήματος της ενεργούς ιλύος (EI). Παρακάτω αναλύονται τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα του συστήματος MBR :

➤ Πλεονεκτήματα

- Η επεξεργασμένη εκροή είναι ανώτερη των συστημάτων EI καθώς οι μεμβράνες εμποδίζουν τη διείσδυση των αιωρούμενων στερεών στην εκροή, καθώς απαιτείται μόνο μικρή δόση απολυμαντικού. Επίσης, υπάρχει δυνατότητα απολύμανσης της εκροής χωρίς χρήση χημικών.
- Το σύστημα MBR είναι λειτουργικά ευέλικτο, δηλαδή έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει αποδοτικά σε υψηλούς χρόνους παραμονής (SRT > 20 ημέρες) σε συνδυασμό με υψηλές συγκεντρώσεις του MLSS (6 – 15 g/l). Η λειτουργία του συστήματος σε υψηλά MLSS μειώνει σημαντικά τον απαιτούμενο όγκο των βιολογικών αντιδραστήρων. Αντίθετα, στο συμβατικό σύστημα της ενεργού ιλύος συνήθως δεν εφαρμόζονται πολύ υψηλοί χρόνοι παραμονής στερεών, καθώς η ιλύς αποκτά δυσμενή χαρακτηριστικά καθίζησης σε βάθος χρόνου με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η διαδικασία διαύγασης.
- Η δυνατότητα λειτουργίας του συστήματος MBR σε υψηλά SRT έχει και άλλα οφέλη, καθώς μειώνεται σημαντικά η παραγωγή περίσσειας ιλύος και ευνοείται η ανάπτυξη μικροοργανισμών με χαμηλές ταχύτητες ανάπτυξης, όπως είναι οι νιτροποιητές.
- Η απουσία δεξαμενής καθίζησης σε συνδυασμό με το μικρότερο απαιτούμενο όγκο των βιολογικών αντιδραστήρων μειώνει σημαντικά την απαιτούμενη έκταση της εγκατάστασης σε σχέση με αυτή που απαιτείται στα συμβατικά συστήματα EI.
- Η πλήρης κατακράτηση των στερεών στο σύστημα σημαίνει ότι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (HRT) είναι τελείως ανεξάρτητος από το χρόνο παραμονής των στερεών γεγονός που προσδίδει ευελιξία στο χειρισμό του συστήματος.
- Η παραγόμενη εκροή του συστήματος MBR έχει μειωμένες συγκεντρώσεις μικρορρυπαντών και η ποιότητά της είναι τέτοια που επιτρέπει την ασφαλή επαναχρησιμοποίησή της για μη πόσιμες χρήσεις.
- Ανεπηρέαστη λειτουργία από προβλήματα διόγκωσης της λάσπης.
- Ταχεία εκκίνηση (start-up).
- Δυνατότητα τοποθέτησης μεμβρανών σε προϋπάρχουσες εγκαταστάσεις (retrofitting).

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

➤ Μειονεκτήματα

- Το αυξημένο λειτουργικό του κόστος του συστήματος MBR σε σχέση με αυτό του συστήματος της ενεργούς ιλύος (EI) . Αυτό οφείλεται στην ανάγκη αντικατάστασης των μεμβρανών κάθε 7-10 χρόνια, στις αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις για τον περιορισμό της έμφραξης των μεμβρανών (αερισμός μεμβρανών) και στην κατανάλωση χημικών για τον καθαρισμό των μεμβρανών.
- Ανεπαρκής αερισμός στον τρόπο λειτουργίας της μονάδας, εξαιτίας των μεγάλων συγκεντρώσεων MLSS που αναπτύσσονται με αποτέλεσμα ο παροχτετευμένος αέρας να καταναλώνεται κατά βάση για την κάλυψη των αναγκών της κυτταρικής συντήρησης και όχι για την αερόβια βιοαποδόμηση του ρυπαντικού φορτίου.
- Προκύπτουν λειτουργικοί περιορισμοί λόγω της προβληματικής ανάμιξης στο εσωτερικό του αντιδραστήρα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται διακριτά στρώματα ενεργού ιλύος, η πυκνότητα των οποίων μειώνεται από την βάση του αντιδραστήρα προς την ελεύθερη επιφάνεια του.
- Στην μονάδα βιοαντιδραστήρα MBR προκαλείται ρύπανση των μεμβρανών λόγω των επικαθήσεων βιομάζας και άλλων ανόργανων συστατικών στην ενεργό επιφάνεια αυτών, με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται η ροή διηθήματος μέσω των πόρων της μεμβράνης. Οι μεμβράνες πρέπει να καθαρίζονται με συγκεκριμένους τρόπους, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και να αντικαθιστούνται όταν παύουν να λειτουργούν σωστά. Επίσης, τα απόβλητα που εισέρχονται στις μονάδες των μεμβρανών πρέπει να έχουν υποστεί κατάλληλη προεπεξεργασία (μικρό-εσχαρισμό), ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος φθοράς και έμφραξης των μεμβρανών.
- Η βαθμιαία έμφραξη των μεμβρανών απαιτεί τον περιοδικό χημικό καθαρισμό του συστήματος. Παρότι ο χημικός καθαρισμός στις ΕΕΛ έχει αυτοματοποιηθεί, δεν παύει να αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Στις εικόνες 2 και 3 απεικονίζονται μια μονάδα βιοαντιδραστήρα MBR και ένα συμβατικό σύστημα Ενεργούς Ιλύος (EI).



Εικόνα 2: Μονάδα βιοαντιδραστήρα MBR



Εικόνα 3: Συμβατικό σύστημα Ενεργούς Ιλύος (EI)

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

2.3. Μεμβράνες

2.3.1. Γενικά

Οι μεμβράνες είναι λεπτά, περατά ή ημιπερατά φύλλα από πολυμερή, ανόργανα ή μεταλλικά υλικά και παρεμποδίζουν την διέλευση ορισμένων μορίων ή συστατικών. Ο βασικός ρόλος της μεμβράνης είναι να ενεργεί ως ένα εκλεκτικό φράγμα (selective barrier) . Επιτρέπει το πέρασμα ορισμένων συστατικών και συγκρατεί άλλα συστατικά ενός μίγματος. Η μεμβράνη θα μπορούσε να οριστεί ως μια περιοχή ασυνέχειας παρεμβαλλόμενη ανάμεσα σε δύο φάσεις ή ως μια διακριτή , λεπτή διεπιφάνεια η οποία τροποποιεί το πέρασμα χημικών ειδών τα οποία έρχονται σε επαφή μαζί της.

Οι μεμβράνες χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό σε διηθήσεις . Ως διήθηση (filtration) καλείται ο διαχωρισμός δύο ή περισσότερων συστατικών από ένα ρευστό, ο οποίος βασίζεται πρωταρχικά στη διαφορά μεγέθους. Η διήθηση, σε συμβατική χρήση , αναφέρεται στον διαχωρισμό μη αναμίξιμων στερεών σωματιδίων με υγρά ή αέρια ρεύματα διεργασίας. Η διήθηση μέσω μεμβρανών επεκτείνει αυτή την εφαρμογή ώστε να περιλαμβάνει τον διαχωρισμό διαλυμένων ουσιών από υγρά ρεύματα και τον διαχωρισμό μιγμάτων αερίων.

2.3.2. Ιδιότητες και χαρακτηριστικά μεμβρανών

Οι μεμβράνες για να είναι αποτελεσματικές σε διεργασίες διαχωρισμού πρέπει να έχουν καλές μηχανικές ιδιότητες, να συνδυάζουν δηλαδή την μηχανική σταθερότητα με ένα σημαντικό βαθμό ευκαμνίας. Παράλληλα, πρέπει να έχουν καλή χημική αντοχή , με ανεκτικότητα σε ευρεία περιοχή τιμών pH, και καλή αντοχή σε υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου ώστε να διευκολύνεται ο καθαρισμός τους αν είναι απαραίτητος. Επίσης , οι μεμβράνες πρέπει να έχουν καλή θερμική αντοχή διότι τυχόν διακυμάνσεις της θερμοκρασίας προς το ανώτερο όριο δεν πρέπει να επηρεάζουν τις ιδιότητες και την διάρκεια ζωής τους.

Μια ταξινόμηση των μεμβρανών είναι δυνατόν να γίνει με βάση το υλικό κατασκευής και σύμφωνα με την δομή τους , όπως φαίνεται στον πίνακα 5.

Πίνακας 5: Ταξινόμηση των μεμβρανών

Σύμφωνα με το υλικό κατασκευής	Σύμφωνα με την δομή
<ul style="list-style-type: none">• Πολυμερικές• Μεμβράνες από τροποποιημένα φυσικά προϊόντα βασισμένα στη κυτταρίνη• Κεραμικές και μεταλλικές μεμβράνες	<ul style="list-style-type: none">• Συμμετρικές• Ασύμμετρες

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Πιο αναλυτικά, οι στερεές μεμβράνες διακρίνονται :

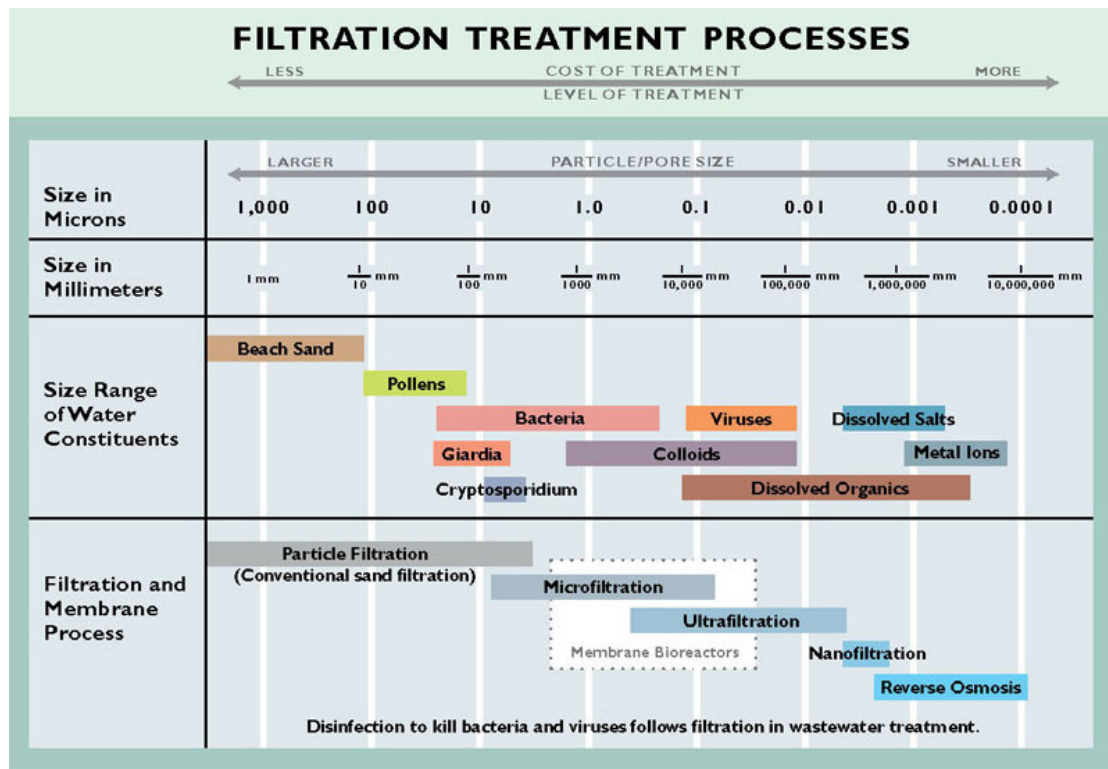
- Σύμφωνα με τη *δομή* τους σε :
 - *Συμμετρικές*. Οι συμμετρικές μεμβράνες έχουν ομοιόμορφη δομή σε όλο το πάχος τους.
 - *Ασύμμετρες*. Οι ασύμμετρες μεμβράνες έχουν δύο πλευρές με διαφορετικού μεγέθους πόρους.
- Σύμφωνα με το *μέγεθος των πόρων* τους σε :
 - *Μη πορώδεις* με διάμετρο πόρων, στην επιφάνεια της μεμβράνης, μικρότερη από 2 nm ($d_p < 2\text{nm}$).
 - *Πορώδεις* με διάμετρο πόρων, στην επιφάνεια της μεμβράνης, μικρότερη από 200 μm ($d_p < 200\mu\text{m}$). Οι πόροι αυτοί αναφέρονται ως μέσο- ή μακρο-πόροι .
- Σύμφωνα με το *σχήμα* τους σε :
 - *Επίπεδες* με πάχος 0.01-0.2 mm.
 - *Σωληνοειδείς* με πάχη 2.54 cm, 0.6 cm, 85 μm , 1 mm.
 - *Τριχοειδείς*
 - *Ινοειδείς* με πάχος 40-250 μm .
- Σύμφωνα με την *σύσταση* τους σε :
 - *Ομοιογενείς*. Παρασκευάζονται από ένα από πολυμερές ή αποτελούνται από μίγμα συμβατών μεταξύ τους πολυμερών.
 - *Ετερογενείς*. Αποτελούνται από μίγμα μη αναμίξιμων πολυμερών (τουλάχιστον δύο φάσεις παρούσες). Επίσης σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι μεμβράνες πολλών στρωμάτων (non integrally skinned ή composite membranes) , καθώς και οι ενισχυμένες μεμβράνες.

2.3.3. Διεργασίες μεμβρανών

Η διεργασία μεμβράνης είναι μια φυσική διεργασία (unit operation) κατά την διάρκεια της οποίας λαμβάνει χώρα εκλεκτική μεταφορά μάζας δια μέσου της μεμβράνης, η οποία επιτρέπει επιλεκτικά σε κάποια είδη (μόρια, σωματίδια, μικροοργανισμούς) με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά να την διαπεράσουν ενώ παράλληλα απορρίπτει κάποια άλλα και αυτό γίνεται ως αποτέλεσμα μιας ωθούσας δύναμης (driving force). Μια ταξινόμηση των διεργασιών με μεμβράνες με βάση την ωθούσα δύναμη, η οποία εφαρμόζεται για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός, παρουσιάζεται στον πίνακα 6 . Οι διεργασίες μεμβρανών με ωθούσα δύναμη την πίεση (pressure driven membrane processes), η ηλεκτροδιάλυση και ο διαχωρισμός αερίου είναι πλήρως ενταγμένες στην βιομηχανική παραγωγή, ενώ οι υπόλοιπες βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Παρακάτω, στην εικόνα 4, απεικονίζεται το φάσμα εφαρμογής των μεμβρανών.



Εικόνα 4: Εφαρμογές που βασίζονται στην τεχνολογία μεμβρανών

Οι κυριότερες μέθοδοι φίλτρανσης λοιπόν, που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία του νερού και των υγρών αποβλήτων και όπου ωθούσα δύναμη είναι η διαφορά πίεσης κατά μήκος της μεμβράνης είναι οι εξής :

- Μικροδιήθηση (*microfiltration, MF*)

Είναι μια από τις παλαιότερες διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες. Χαρακτηρίζεται από μέγεθος πόρων από 0,1 – 2 μm . Οι μεμβράνες μικροδιήθησης έχουν τους μεγαλύτερους σε μέγεθος πόρους και ονομάζονται μακρο-πόροι. Χρησιμοποιούνται για την κατακράτηση ουσιών, των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται από 0,08 μm έως 10 μm . Οι πιέσεις λειτουργίας που χρησιμοποιούνται είναι χαμηλές, συνήθως μεταξύ 0,5 έως 2,0 bar. Παρατηρείται η απομάκρυνση ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους όπως βακτήρια, λίπη, ζύμες και μύκητες από μικρότερες διαλυμένες ουσίες.

- Υπερδιήθηση (*ultrafiltration, UF*)

Το μέγεθος των πόρων των μεμβρανών υπερδιήθησης κυμαίνονται μεταξύ 2 – 50 nm και ονομάζονται μεσο-πόροι. Χρησιμοποιείται πίεση λειτουργίας μεταξύ 0,1 και 10bar. Η υπερδιήθηση εφαρμόζεται για την αφαίρεση ουσιών με μεγέθη από 0,005 μm έως 0,2 μm και αφαιρεί με επιτυχία αιωρούμενα στερεά, ιούς και κολλοειδή. Εφαρμόζεται για το διαχωρισμό διαλυτών μακρομοριακών ενώσεων, καθώς το σύστημα έχει τη δυνατότητα αφαίρεσης διαλυτών οργανικών ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους. Τα συστήματα με μεμβράνες μικροδιήθησης και υπερδιήθησης είναι κατάλληλα για εφαρμογή σε συστήματα MBR κυρίως λόγω της δυνατότητας λειτουργίας τους σε νερά που χαρακτηρίζονται από υψηλές

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

συγκεντρώσεις στερεών και λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, που συνεπάγεται και μικρότερο λειτουργικό κόστος, σε αντίθεση με τις άλλες κατηγορίες μεμβρανών.

- *Νανοδιήθηση (nanofiltration, NF)*

Νανοδιήθηση είναι η διήθηση διαμέσου μεμβράνης όπου το εύρος των πόρων αυτής κυμαίνεται από 0,001 - 0,01 μm. Οι μεμβράνες νανοδιήθησης χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να διαχωρίζουν και να απορρίπτουν σε μεγάλο βαθμό τα δισθενή ιόντα αλάτων, ενώ ταυτοχρόνως επιτρέπουν την περατότητα σε μονοθενή ιόντα. Επίσης, έχουν υψηλή ικανότητα διαχωρισμού οργανικών ουσιών με μοριακό βάρος μεγαλύτερο από 200. Η ροή διαμέσου της μεμβράνης επιτυγχάνεται με την εφαρμογή υδραυλικής πίεσης. Οι πιέσεις που εφαρμόζονται στα συστήματα νανοδιήθησης κυμαίνονται μεταξύ 10 έως και 30 bar. Στην συγκεκριμένη διεργασία υπάρχουν αυστηρά όρια και περιορισμοί στην εφαρμογή χημικών, μηχανικών και θερμικών καταπονήσεων. Έτσι, οι μεμβράνες νανοδιήθησης δεν χρησιμοποιούνται στα συστήματα MBR, καθώς λόγω του μικρού μεγέθους των πόρων και της υψηλής συγκέντρωσης του ανάμικτου υγρού η γρήγορη έμφραξη των μεμβρανών είναι αναπόφευκτη.

- *Αντίστροφη όσμωση (reverse osmosis, RO)*

Αφορά μεμβράνες που δεν έχουν πόρους. Η τεχνική χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό διαλυμένων στερεών από τα μόρια του νερού σε ένα υδατικό διάλυμα και την πλήρη απομάκρυνση βακτηρίων και οργανικών ουσιών από το νερό .

- *Διεξάτμιση (pervaporation ,PV)*

Διαχωρισμός μιγμάτων αναμίξιμων υγρών.

- *Διαπίδυση (permeation, P)*

Επιλεκτικός διαχωρισμός μιγμάτων αερίων ή μιγμάτων αερίων – ατμών.

- *Ηλεκτροδιάλυση (electrodialysis, ED)*

Επιλεκτική μεταφορά ιόντων.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Στον πίνακα 6 φαίνονται σχηματικά οι διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες και η ωθούσα δύναμη.

Πίνακας 6: Διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες και ωθούσα δύναμη

Ωθούσα Δύναμη	Διεργασία Μembrάνης
Διαφορά πίεσης (pressure difference)	<ul style="list-style-type: none"> • Μικροδιήθηση (microfiltration, MF) • Υπερδιήθηση (ultrafiltration, UF) • Αντίστροφη όσμωση (reverse osmosis, RO) • Νανοδιήθηση (nanofiltration, NF) • Διεξάτμιση (pervaporation, PV) • Retraction • Διαπίδυση
Διαφορά χημικού δυναμικού	<ul style="list-style-type: none"> • Διαχωρισμός αερίου (Gas separation) • Υγρές μεμβράνες (liquid membranes)
Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού	<ul style="list-style-type: none"> • Ηλεκτροδιάλυση (electrodialysis) • Ηλεκτροφόρηση μέσω μεμβράνης (membrane electrophoresis) • Ηλεκτρόλυση μέσω μεμβράνης (membrane electrolysis)
Διαφορά θερμοκρασίας	<ul style="list-style-type: none"> • Απόσταξη μέσω μεμβράνης (membrane distillation)

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

2.3.4. Χαρακτηριστικά Μονάδας Μεμβρανών MBR

Οι μεμβράνες της μονάδας MBR που εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική χωρίζονται σε δύο είδη :

- Μονάδα με τριχοειδείς κοίλες ίνες (*hollow-fibre membrane module*)

Η μονάδα με κοίλες ίνες αποτελείται από ένα τεμάχιο με εκατοντάδες ή χιλιάδες κοίλες ίνες. Αυτές οι ίνες είναι τοποθετημένες μέσα σε έναν αγωγό. Το τροφοδοτούμενο ρεύμα και το διήθημα μπορούν να ρέουν είτε στο εσωτερικό είτε στο εξωτερικό των ινών, ανάλογα με το εάν η διήθηση πραγματοποιείται από το εσωτερικό προς το εξωτερικό των ινών (*inside-out filtration*) ή αντίστροφα από το εξωτερικό στο εσωτερικό των ινών (*outside-in filtration*). Στην εικόνα 5 απεικονίζεται μια μονάδα με τριχοειδείς κοίλες ίνες.

Είναι φτιαγμένες από φθορίδιο πολυβινυλίου (PVDF - Polyvinylidene Fluoride) και πολυπροπυλένιο (PP) αντίστοιχα.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι hollow - fibre μεμβράνες που χρησιμοποιήσαμε.



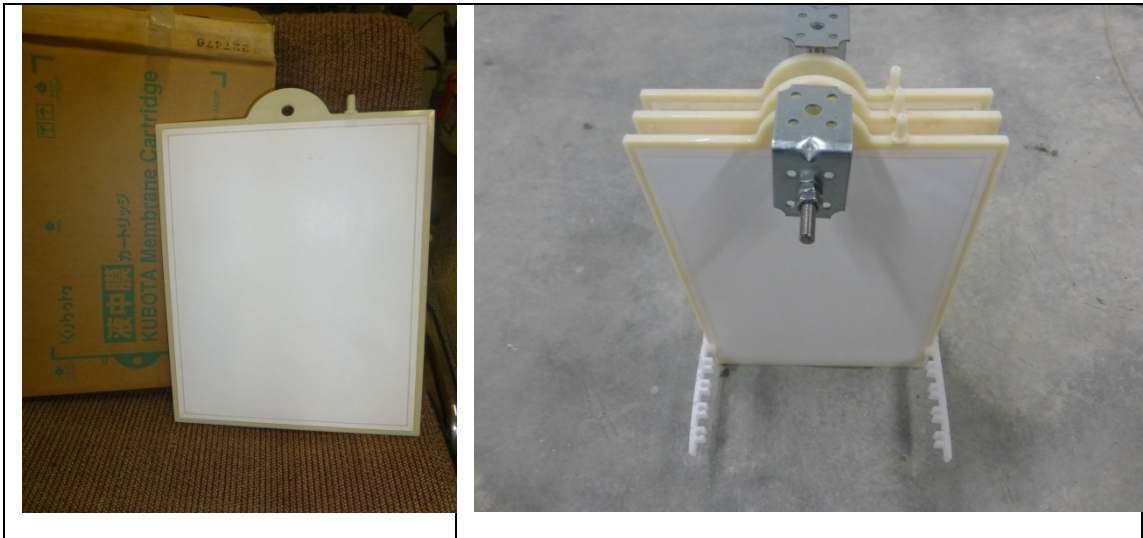
Εικόνα 5: Φωτογραφία των στοιχείων μεμβρανών κοίλων ινών

- Μονάδα με επίπεδα φύλλα (*flat sheet membrane module*)

Οι μεμβράνες αυτές είναι κατάλληλες για εφαρμογές από βιομηχανική επεξεργασία των αποβλήτων μέχρι και τα οικιακά απόβλητα. Το μέγεθος πόρου των μεμβρανών είναι 0,1 μm και είναι ικανό για να αφαιρέσει σχεδόν όλα τα βακτήρια και πρωτόζωα από τα απόβλητα. Είναι φτιαγμένες από φθορίδιο πολυβινυλίου (PVDF - Polyvinylidene Fluoride) και χλωριωμένο πολυαιθυλένιο (CPE - Chlorinated Polyethylene) αντίστοιχα.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι flat sheet μεμβράνες που χρησιμοποιήσαμε.

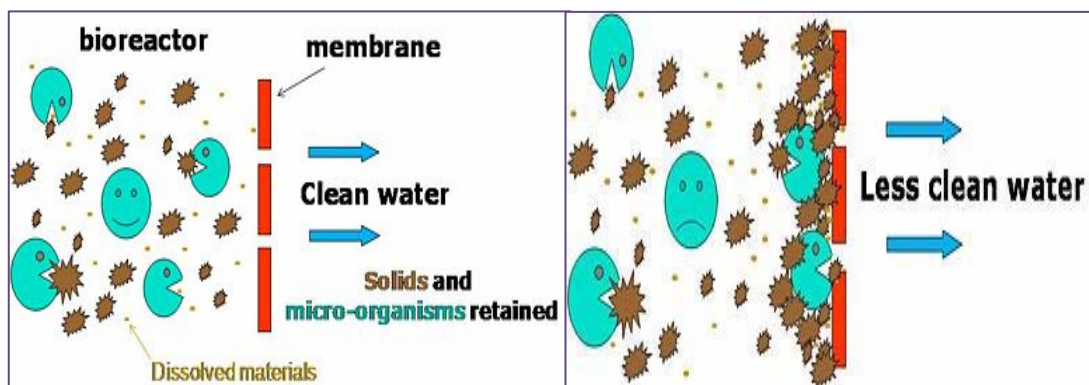


Εικόνα 6: Φωτογραφία των στοιχείων επίπεδων μεμβρανών

2.3.5. Έμφραξη μεμβρανών

Έμφραξη των μεμβρανών ορίζεται ως η βαθμιαία απόθεση σωματιδίων στην επιφάνεια και στους πόρους των μεμβρανών και αποτελεί το βασικότερο λειτουργικό πρόβλημα των συστημάτων MBR. Τα σωματίδια αυτά μπορεί να είναι οργανικά στερεά (αιωρούμενα στερεά, κολλοειδή, μακρομόρια), ανόργανα συστατικά (άλατα) και ιζήματα τα οποία περιέχονται στο τροφοδοτούμενο υγρό. Η σταδιακή απόθεσή τους αυξάνει βαθμιαία την αντίσταση του συστήματος στη ροή του διηθήματος με αποτέλεσμα να απαιτείται εφαρμογή μεγαλύτερης πίεσης για να παραμείνει σταθερή η παροχή διηθήματος, ή αναγκαστικά μειώνεται η παροχή του διηθήματος για δεδομένη πτώση πίεσης. Επομένως η έμφραξη μπορεί να οριστεί ως η μόνιμη συσσώρευση οργανικών και/ή ανόργανων ουσιών η οποία δημιουργεί μια συνεχή μείωση της ροής του διηθήματος για δεδομένη πτώση πίεσης.

Στην εικόνα 7 απεικονίζεται το φαινόμενο της έμφραξης των μεμβρανών :



Εικόνα 7: Το φαινόμενο της έμφραξης των μεμβρανών

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Υπάρχουν διάφορα είδη έμφραξης που παρατηρούνται στις μεμβράνες υπερδιήθησης και μικροδιήθησης των συστημάτων MBR και μπορούν να διαχωριστούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος των συσσωρευμένων σωματιδίων:

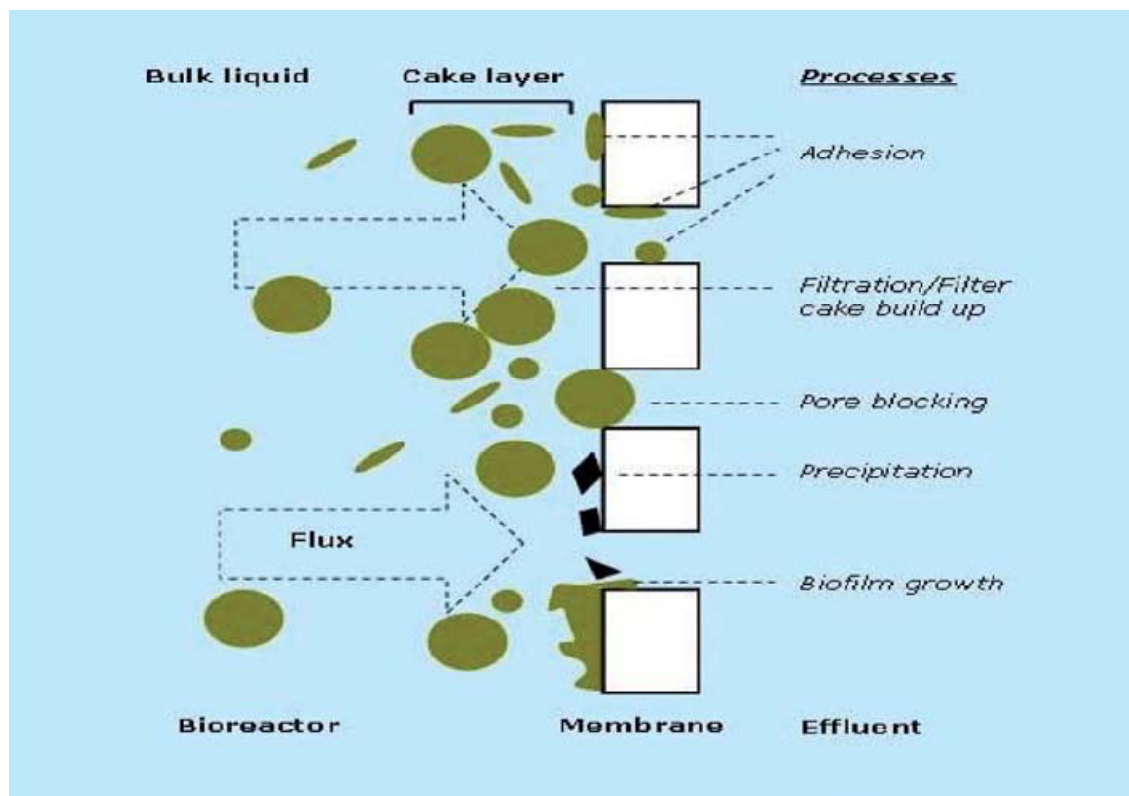
- Την μικροέμφραξη
- Την μακροέμφραξη

Μία άλλη κατηγοριοποίηση των ειδών έμφραξης γίνεται βάσει των μηχανισμών που είναι υπεύθυνοι για την αύξηση της αντίστασης στη ροή του διηθήματος. Υπάρχουν τρεις μηχανισμοί, οπότε και τρία είδη έμφραξης αντίστοιχα.

Οι δύο πρώτοι μηχανισμοί αποτελούν την έμφραξη των πόρων, ενώ ο τρίτος μηχανισμός είναι γνωστός ως συγκέντρωση πόλωσης:

- Η στένωση των πόρων της μεμβράνης (pore narrowing).
- Η απόφραξη των πόρων (pore plugging).
- Η δημιουργία ενός ζελατινώδους στρώματος στην επιφάνεια της μεμβράνης το οποίο είναι γνωστό ως “cake layer”.

Παρακάτω, στην εικόνα 8, απεικονίζονται οι μηχανισμοί έμφραξης των μεμβρανών :



Εικόνα 8: Μηχανισμοί έμφραξης των μεμβρανών σε συστήματα MBR

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Πιο αναλυτικά οι τρεις μηχανισμοί έμφραξης :

- *Στένωση των πόρων της μεμβράνης (pore narrowing)*

Η στένωση των πόρων της μεμβράνης οφείλεται στην προσρόφηση και/ή στην συσσώρευση σωματιδίων που είναι αρκετά μικρότερα σε μέγεθος ένωσή από αυτά των πόρων της μεμβράνης. Μόλις η μεμβράνη έρθει σε επαφή με το υγρό, τα μόρια των διαλυμένων ουσιών προσροφώνται λόγω φυσικοχημικών αλληλεπιδράσεων στο εσωτερικό των ελεύθερων επιφανειών της μεμβράνης, ανάμεσα στους πόρους, με αποτέλεσμα το κενό των πόρων να μειώνεται σημαντικά. Ειδικά οι πρωτεΐνες, έχουν την τάση να προσροφώνται σε υδρόφοβες ουσίες και για το λόγο αυτό, οι μεμβράνες μικροδιήθησης και υπερδιήθησης κατασκευάζονται κυρίως από υδρόφιλα υλικά. Όταν η προσρόφηση γίνεται σε περιορισμένη κλίμακα, είναι επιθυμητή γιατί αυξάνει τη διηθητική ικανότητα της μεμβράνης και μειώνει το μοριακό βάρος αποκοπής (molecular weight cutoff).

- *Απόφραξη των πόρων (pore plugging)*

Η απόφραξη των πόρων συμβαίνει όταν σωματίδια που έχουν περίπου ίδιο μέγεθος, παγιδεύονται μέσα στους πόρους, ανάμεσα στο υλικό των μεμβρανών. Συνήθως οι πόροι μικρότερου μεγέθους είναι πιο ευπαθείς σε αυτό το μηχανισμό έμφραξης γιατί υπάρχουν περισσότερα σωματίδια που είναι στο ίδιο ή και μεγαλύτερο μέγεθος από αυτά.

- *Δημιουργία “cake layer” - συγκέντρωση πόλωσης*

Η συγκέντρωση πόλωσης είναι ένα φαινόμενο παρόμοιο με την έμφραξη, όχι όμως ταυτόσημο. Το φαινόμενο της συγκέντρωσης πόλωσης συμβάλει στη μείωση της ροής διήθησης διαμέσου της μεμβράνης. Η συγκέντρωση πόλωσης περιγράφει την τάση των σωματιδίων να συσσωρεύονται στη διεπιφάνεια μεμβράνης-υγρού δημιουργώντας ένα λεπτό ζελατινώδες στρώμα (“cake layer”). Ο σχηματισμός επικαθίσεων αποτελεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα. Είναι ένα σύνολο φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που οδηγούν σε μη αντιστρεπτή μείωση της παροχής. Ακόμα και στις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας, σταδιακά μια μεμβράνη χάνει την αποδοτικότητα της λόγω μόνιμων επικαθίσεων (π.χ. καταβύθιση ανθρακικού ασβεστίου), προερχόμενων από την διεργασία για την οποία χρησιμοποιήθηκε. Έτσι, δημιουργείται ένα στρώμα στερεών (cake layer) στην επιφάνεια της μεμβράνης. Η κακή συντήρηση μιας μεμβράνης (υψηλά επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων, ανεπαρκής καθαρισμός μετά από κάθε κύκλο διήθησης κ.α.) μπορούν να επιταχύνουν σημαντικά την καταστροφή της μεμβράνης λόγω επικαθίσεων. Τα φαινόμενα επικαθίσεων μπορούν να μειώσουν δραστικά την αποδοτικότητα της διεργασίας καθώς προκαλούν προβλήματα όπως η μείωση της παροχής, χαμηλής ποιότητας διήθημα και σταδιακή καταστροφή της μεμβράνης. Οι επικαθίσεις μπορούν να μειωθούν με την κατάλληλη επιλογή του υλικού κατασκευής της μεμβράνης ή με την εφαρμογή προεπεξεργασίας, είτε με την κατάλληλη τροποποίηση των συνθηκών λειτουργίας της μεμβράνης.

2.4. Απολύμανση υγρών αποβλήτων

2.4.1. Γενικά

Η απολύμανση των υγρών αποβλήτων στοχεύει στην καταστροφή ή στην αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών ώστε να προστατευτεί η δημόσια υγεία. Όλες οι μέθοδοι απολύμανσης αποσκοπούν στην καταστροφή των βακτηρίων, των ιών και των λοιπών μικροοργανισμών που πιθανό να είναι φορείς ασθενειών, ή μπορούν να εξελιχθούν σε τέτοιους.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Το απολυμαντικό μέσο πρέπει να είναι δραστικό σε όλες τις κατηγορίες μικροοργανισμών που παρουσιάζονται ή αναμένεται να παρουσιασθούν στο σύστημα, να συμφέρει οικονομικά, να μην δημιουργεί παρενέργειες στο σύστημα, να μη διευκολύνει την ανεξέλεγκτη ανάπτυξη ανεπιθύμητων ειδών και να μην δημιουργεί σοβαρούς κινδύνους για το προσωπικό και το περιβάλλον. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί παρουσιάζουν διαφορετική ανθεκτικότητα στα διάφορα απολυμαντικά μέσα. Οι σπόροι των βακτηρίων και των πρωτόζωων παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα και ακολουθούν οι ιοί και τα βακτήρια. Οι κύριες κατηγορίες εντερικών μικροοργανισμών οι οποίες υπάρχουν στα υγρά απόβλητα και πρέπει να θανατωθούν πριν τα υγρά απόβλητα διατεθούν στο περιβάλλον είναι τα βακτήρια, τα πρωτόζωα, οι κύστες, οι ιοί και οι έλμινθες. Η περιεκτικότητα των τυπικών αστικών αποβλήτων σε κολοβακτηρίδια είναι της τάξης των $10^7 - 10^9$ CFU / 100 ml. Με τις επιμέρους διεργασίες κατά την επεξεργασία των αποβλήτων απομακρύνεται ένα μεγάλο ποσοστό αυτών των μικροοργανισμών. Στις σχάρες για παράδειγμα επιτυγχάνεται ποσοστό απομάκρυνσης 10 - 20 % περίπου, στους αμμοσυλλέκτες 10 - 25 % περίπου και κατά την καθίζηση απομακρύνεται ποσοστό της τάξης του 25 - 75 %. Με τη βιολογική επεξεργασία και πιο συγκεκριμένα με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος επιτυγχάνεται απομάκρυνση του 90 - 98 % των μικροοργανισμών. Αυτό όμως δεν είναι αρκετό. Η απολύμανση με τη χρήση ισχυρών οξειδωτικών παραγόντων (Cl_2 , ClO_2 , O_3) ή με υπεριώδη ακτινοβολία (UV) είναι απαραίτητη προκειμένου να αποφευχθεί η μικροβιακή μόλυνση των φυσικών αποδεκτών.

Με την απολύμανση λοιπόν επιτυγχάνεται καταστροφή ή αδρανοποίηση των μικροοργανισμών που περιέχονται στα λύματα, σε ποσοστό της τάξης του 98 - 99,9 %, ώστε αυτοί να μην είναι ικανοί να μεταδώσουν ασθένειες στα ζώα και τους ανθρώπους. Με τον όρο «αδρανοποίηση» εννοείται όχι απαραίτητα θανάτωση των μικροοργανισμών αλλά παρεμπόδιση της ανάπτυξης ή της δυνατότητας αναπαραγωγής.

Οι μηχανισμοί με τους οποίους δρουν τα απολυμαντικά μέσα είναι η καταστροφή του κυτταρικού υλικού των μικροοργανισμών, η παρεμβολή στον ενεργειακό τους μεταβολισμό με την αδρανοποίηση της λειτουργίας των ενζύμων τους και η παρεμβολή στην βιοσύνθεση και την ανάπτυξή τους παρεμποδίζοντας τη σύνθεση των πρωτεϊνών, των νουκλεϊνικών οξέων και των κυτταρικών τοιχωμάτων.

Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, κυριότερες από τις οποίες είναι:

- το είδος, η δόση και ο χρόνος επαφής του απολυμαντικού
- ο τύπος και η φυσιολογική κατάσταση του μικροοργανισμού (πρωτόζωα, βακτήρια, ιοί)
- το pH, η θερμοκρασία, η θολότητα και η διαλυμένη οργανική ύλη

Πίνακας 7: Ταξινόμηση των απολυμαντικών μέσων και μεθόδων

Μη χημικά	Χημικά	
	Οξειδωτικά	Μη οξειδωτικά
Υπεριώδης ακτινοβολία (UV)	Cl_2 ClO_2 NaOCl O_3 Br_2 I_2 H_2O_2	Μεθυλενοδιθειοκυάνιο(MBT)
Ραδιενεργός ακτινοβολία		Διβρωμοντριλοπροπιοαμίδιο(BNPA)
Αποστειρωτική διήθηση		Χλωριωμένες φαινόλες
Θερμότητα		Ισοθειαζόλες
Φωτοκατάλυση		Δι-τριβουτυλοξειδίο του κασσιτέρου (TBTO)

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

2.4.2. Απολύμανση αποβλήτων επεξεργασμένων με φωτοκατάλυση TiO_2

Κρίσιμα περιβαλλοντικά ζητήματα, όπως η συνεχής μείωση των διαθέσιμων υδατικών πόρων για ύδρευση και άρδευση, σε συνδυασμό με την αύξηση των αποβλήτων και απορριμμάτων, λιγότερο ή περισσότερο τοξικών, επιβάλλουν την εντατικοποίηση της έρευνας με στόχο την ανάπτυξη και την εφαρμογή τεχνολογιών για αποτελεσματική απορρύπανση και, κατά το δυνατόν, αποκατάσταση του ατμοσφαιρικού, του εδαφικού και του υδατικού περιβάλλοντος. Σε σχέση με την απολύμανση του νερού και των υγρών αποβλήτων, η ετερογενής φωτοκατάλυση με ημιαγωγούς έχει αποκτήσει ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, με έμφαση στην καταστροφή των βακτηρίων και, σε μικρότερο βαθμό, των ιών και των πρωτόζωων. Τα περισσότερα πειράματα φωτοκαταλυτικής απολύμανσης που αναφέρονται στη βιβλιογραφία, έχουν πραγματοποιηθεί σε καλλιέργειες μικροοργανισμών, κυρίως του βακτηρίου E.Coli (Εσερίχια Κόλι), σε υδατικά αιωρήματα. Παρά τη χρησιμότητα των πειραμάτων επιβίωσης των μικροοργανισμών σε καθαρές καλλιέργειες βακτηρίων, είναι γεγονός ότι υπάρχει δυσκολία στην άμεση μεταφορά των αποτελεσμάτων των εφαρμοζόμενων μεθόδων απολύμανσης στα δείγματα αυτά σε φυσικά νερά ή σε υγρά απόβλητα. Επομένως, η πραγματοποίηση ανάλογων πειραμάτων σε νερά ή σε υγρά απόβλητα, είναι απαραίτητη για τη διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής των μεθόδων αυτών σε πραγματικές συνθήκες. Το διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2), n-τύπου ημιαγωγός, είναι ένα υλικό με ευρεία χρήση ως φωτοκαταλύτης. Πέρα από την αποτελεσματικότητά του ως καταλύτης, έχει τα πλεονεκτήματα ότι είναι φτηνό υλικό, διαθέσιμο εμπορικά σε διάφορες κρυσταλλικές μορφές με διαφορετικά σωματιδιακά χαρακτηριστικά, είναι μη τοξικό και σταθερό φωτοχημικά.

Ο μηχανισμός της ετερογενούς φωτοκαταλυτικής διάσπασης περιλαμβάνει στοιχεία λειτουργίας των ημιαγωγικών υλικών και μπορεί να περιγραφεί συνοπτικά ως εξής:

- Ακτινοβόληση ενός υδατικού αιωρήματος TiO_2 με ακτινοβολία ενέργειας μεγαλύτερης από αυτή του ενεργειακού χάσματος (π.χ. 3-3,2eV στην περίπτωση του TiO_2), μεταξύ της ζώνης αγωγιμότητας (conduction band) και της ζώνης σθένους (valence band) προκαλεί τη μετάπτωση ενός ηλεκτρονίου σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας μια θετικά φορτισμένη “οπή” στη ζώνη σθένους (Εικόνα 9).
- Το εύρος του ενεργειακού χάσματος μπορεί να καλυφθεί με χρήση ακτινοβολίας στην περιοχή UV-A με μήκος κύματος μικρότερο από 385 nm.
- Οι οπές και τα ηλεκτρόνια που δημιουργούνται μπορούν είτε να ανασυνδυαστούν αποδίδοντας θερμότητα (διεργασία ανεπιθύμητη για τη φωτοκατάλυση), είτε να κινηθούν ανεξάρτητα προς την επιφάνεια του TiO_2 , όπου μπορούν να αντιδράσουν με ουσίες προσροφημένες σε αυτή.
- Οι οπές στη ζώνη σθένους μπορούν να αντιδράσουν με μόρια νερού ή ιόντα υδροξυλίου και να παράγουν ρίζες υδροξυλίου, ενώ τα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας μπορούν να αντιδράσουν με προσροφημένο μοριακό οξυγόνο ανάγοντάς το σε ανιόντα υπεροξειδικής ρίζας, τα οποία αντιδρούν με πρωτόνια και παράγουν υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2) το οποίο στη συνέχεια μπορεί να φωτοδιασπαστεί σε ρίζες υδροξυλίου.
- Τα νανοσωματίδια του TiO_2 έχουν 1-100 nm μέγεθος.

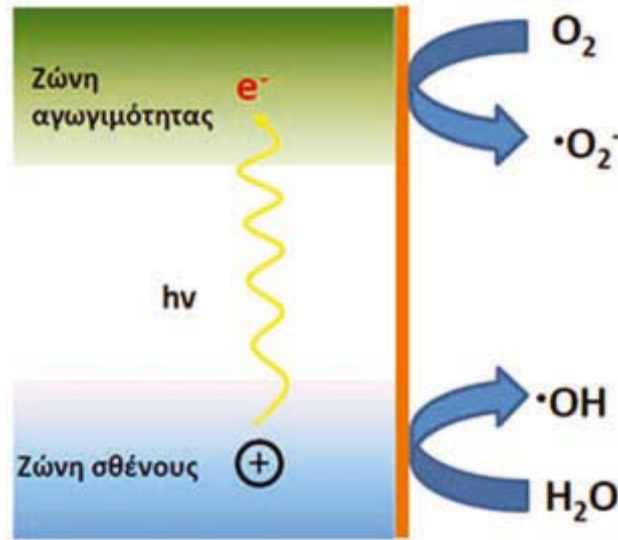
Παράλληλα, η φωτοκατάλυση με TiO_2 είναι:

- μια μέθοδος υψηλής ακρίβειας με πειραματική ευελιξία
- αποτελεί μια εύκολη και απλή τεχνική, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί και σε μεγάλες επιφάνειες

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

- η προετοιμασία του μετάλλου με πρόσμειξη TiO_2 είναι εύκολη
- έχει υψηλή κρυσταλλικότητα
- χρησιμοποιούνται μονοφασικές ταινίες αγωγών

Στην παρακάτω εικόνα, όπως προαναφέρθηκε, παρουσιάζεται ο σχηματισμός ζεύγους.



Εικόνα 9: Σχηματική παράσταση του σχηματισμού ζεύγους ηλεκτρονίου θετικά φορτισμένης οπής μέσω ακτινοβολήσης με UV-A και της επακόλουθης έναρξης οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων- Νομοθεσία

3.1. Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

Τρόποι επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων αποβλήτων:

- άρδευση αγροτικών περιοχών
- εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων
- ανακύκλωση στη βιομηχανία
- αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής
- αστική χρήση

3.1.1. Άρδευση αγροτικών περιοχών

Η άρδευση αποτελεί την πιο μαζική χρήση νερού, ιδιαίτερα σε ξηρές περιοχές. Παγκοσμίως η αγροτική άρδευση αποτελεί το 70% της συνολικής χρήσης νερού και υπερβαίνει κάθε άλλη χρήση κατά τουλάχιστον 1000%. Όταν οι υδατικοί πόροι μιας περιοχής δεν επαρκούν για την ικανοποίηση της ζήτησης (αστικής και γεωργικής), τότε επιλέγεται το διαθέσιμο νερό να χρησιμοποιηθεί δύο φορές: αρχικά για αστική χρήση και μετά το επεξεργασμένο απόβλητο να χρησιμοποιηθεί για άρδευση.

Έτσι σήμερα λειτουργούν αρκετά συστήματα επαναχρησιμοποίησης που παρέχουν ανακτημένο νερό για αγροτική άρδευση. Στις αναπτυσσόμενες χώρες η εφαρμογή λυμάτων στο έδαφος αποτελούσε πάντα και συνεχίζει να αποτελεί τον κύριο τρόπο διάθεσης των αστικών λυμάτων και ικανοποίησης των αρδευτικών αναγκών.

3.1.2. Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων

Ο τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα μπορεί να έχει τους εξής σκοπούς:

- Την δημιουργία υδραυλικού φράγματος που θα εμποδίζει την διείσδυση και ανάμιξη του θαλάσσιου νερού με το γλυκό νερό παράκτιων υδροφορέων.
- Την αποθήκευση επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για μελλοντική χρήση ή για εξισορρόπηση των διακυμάνσεων της ζήτησης π.χ. για άρδευση που είναι συνήθως εποχιακή.
- Την ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, που μπορεί να φθίνει λόγω υπερεκμετάλλευσής του, επειδή η φυσική ανανέωση συμβαίνει με πολύ αργό ρυθμό.
- Τον έλεγχο πιθανών καθιζήσεων του εδάφους.
- Την περαιτέρω επεξεργασία των αστικών αποβλήτων ώστε να είναι δυνατή η μελλοντική χρησιμοποίησή τους.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

3.1.3. Ανακύκλωση στη βιομηχανία

Η βιομηχανία προβλέπεται να αποτελέσει μελλοντικά σημαντικό χρήστη των ανακτημένων αστικών λυμάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και σε άλλες ανεπτυγμένες χώρες. Τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα είναι κατάλληλα για πολλές βιομηχανίες που χρησιμοποιούν νερό το οποίο δεν χρειάζεται να έχει την ποιότητα του πόσιμου. Οι κύριες βιομηχανικές χρήσεις των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων είναι:

- το νερό ψύξης
- το νερό τροφοδοσίας λεβήτων
- το νερό κατεργασίας ή βιομηχανικό νερό

Την μεγαλύτερη ζήτηση παρουσιάζει το νερό ψύξης.

3.1.4. Αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος

Η χρήση αποβλήτων για αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής περιλαμβάνει :

- την δημιουργία τεχνητών υδροβιότοπων ή την διατήρηση φυσικών
- την δημιουργία χώρων αναψυχής
- την αύξηση της παροχής επιφανειακών ρευμάτων

Στόχος είναι η δημιουργία ενός περιβάλλοντος στο οποίο θα μπορεί να αναπτυχθεί ζωή, είτε να διατηρηθεί το φυσικό περιβάλλον και η ανάπτυξη μιας περιοχής με αυξημένη αισθητική αξία. Στην Καλιφόρνια το 7% περίπου της ολικής επαναχρησιμοποίησης για το έτος 1987 σχετιζόταν με την αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και την δημιουργία χώρων αναψυχής. Για τον ίδιο λόγο στη Φλόριντα η περιβαλλοντική χρήση αποτελούσε το 9% της ολικής επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού.

3.1.5. Αστική χρήση

Τα συστήματα επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων για αστική χρήση παρέχουν ανακτημένο νερό για οποιαδήποτε χρήση εκτός της πόσης. Αν και οι ποσότητες ανακτημένων υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιούνται σήμερα για αστική χρήση παγκοσμίως είναι πολύ περιορισμένες και προβλέπεται ότι θα παραμείνουν σε χαμηλά επίπεδα και στο προσεχές μέλλον, οι τεχνολογικές επιτεύξεις στον τομέα αυτό έχουν μεγάλο επιστημονικό και κοινωνικό ενδιαφέρον.

Οι μικρές κοινότητες, λόγω της δυσκολίας ανάπτυξης άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων, αναπτύσσουν και υλοποιούν μελέτες για τέτοια συστήματα. Έτσι το ενδιαφέρον για τη δημόσια υγεία επιβάλλει την ανάπτυξη σχετικής τεχνογνωσίας. Μερικές από τις αστικές χρήσεις είναι οι ακόλουθες:

- Πότισμα δημόσιων πάρκων και κέντρων αναψυχής, αθλητικών γηπέδων, σχολικών αυλών, γηπέδων παιχνιδιού, νησίδων και κρασπέδων αυτοκινητοδρόμων, νεκροταφείων και κήπων που περιβάλλουν δημόσια κτίρια και εγκαταστάσεις.
- Πότισμα κήπων μονοκατοικιών και πολυκατοικιών, γενικό πλύσιμο και άλλες εργασίες συντήρησης.
- Πότισμα κήπων που περιβάλλουν εμπορικά κέντρα, γραφεία και βιομηχανικά κτίρια.
- Εμπορικές χρήσεις, όπως οι εγκαταστάσεις πλυσίματος οχημάτων, το πλύσιμο παραθύρων το νερό ανάμιξης για ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα και υγρά λιπάσματα.
- Διακόσμηση κήπων με διακοσμητικά σιντριβάνια, πισίνες και καταρράκτες.
- Έλεγχος σκόνης και παραγωγή σκυροδέματος σε δομικά έργα.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

- Πυροπροστασία.
- Καθαρισμό τουαλετών σε εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια.

Τα συστήματα επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων για αστική χρήση προϋποθέτουν την ύπαρξη συστημάτων διπλής διανομής στην αστική περιοχή. Το σύστημα διανομής του ανακτημένου νερού είναι παράλληλο με το κύριο σύστημα διανομής πόσιμου νερού. Το παλαιότερο αστικό σύστημα διπλής διανομής στις Η.Π.Α. βρίσκεται στην πόλη St.Petersburg της Φλόριντας (1977). Στις οικιστικά διαμορφωμένες αστικές περιοχές η εκ των υστέρων εγκατάσταση δεύτερου δικτύου για διανομή ανακτημένου νερού και εσωτερικών υδραυλικών εγκαταστάσεων έχει συνήθως υψηλό κόστος που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι απαγορευτικό. Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις τα οφέλη που προκύπτουν από την διατήρηση αποθεμάτων πόσιμου νερού μπορούν να δικαιολογήσουν το κόστος, παραδείγματος χάριν, σε περιπτώσεις που το πόσιμο νερό μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις, ή όταν οι τοπικοί υδροφορείς έχουν τόσο κακή ποιότητα ώστε να απαιτείται μεγάλος βαθμός επεξεργασίας. Στις αναπτυσσόμενες όμως αστικές περιοχές η εγκατάσταση διπλού συστήματος διανομής από την αρχή εξασφαλίζει σημαντικά κέρδη.

3.1.6. Επαναχρησιμοποίηση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα παρουσιάζει σοβαρό πρόβλημα έλλειψης νερού, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της χαμηλής βροχόπτωσης και των αυξημένων ζήτησεων για άρδευση και χρήση νερού. Η ζήτηση νερού στην Ελλάδα έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία πενήντα χρόνια.

Σημαντική μείωση των αποθεμάτων νερού παρατηρείται εξαιτίας των καιρικών και περιφερειακών διακυμάνσεων της βροχόπτωσης, της αυξημένης ζήτησης το καλοκαίρι και της δυσκολίας στη μεταφορά νερού μέσω των βουνών. Είναι σημαντική λοιπόν, η επαναχρησιμοποίηση του νερού σαν λύση στη διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων. Λαμβάνοντας υπόψη την υφιστάμενη κατάσταση, η περιορισμένη επαναχρησιμοποίηση θεωρείται ήδη ως μια διαθέσιμη εναλλακτική σε συμμόρφωση βέβαια με αυστηρά πρότυπα.

Μια ανάλυση της κατανομής των επεξεργασμένων οικιακών αποβλήτων έδειξε ότι περισσότερο από 83% της εκροής αποβλήτων παράγεται σε περιοχές με έλλειμμα νερού. Αυτό αποδεικνύει ότι η επαναχρησιμοποίηση νερού σε αυτές τις περιοχές θα μπορούσε να καλύψει ένα σημαντικό ποσοστό της ζήτησης σε νερό. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που ωθεί στην επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού αποτελεί το γεγονός ότι το 88% της εκροής των αποβλήτων εντοπίζονται σε απόσταση μικρότερη των πέντε χιλιομέτρων από μια γεωργική έκταση που έχει ανάγκη από νερό άρδευσης. Γι' αυτό, το επιπλέον κόστος της άρδευσης με ανακτημένο νερό, υπολογίζεται να είναι σχετικά χαμηλό.

3.2. Νομοθεσία

3.2.1. Η κοινή υπουργική απόφαση 145116/2011

Η μέχρι τώρα απουσία ενός ολοκληρωμένου και σαφούς θεσμικού πλαισίου αποτελούσε ανασταλτικό παράγοντα για την προώθηση και ευρεία εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης η οποία μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Ειδικότερα, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων αφ' ενός από την λειψυδρία και ξηρασία στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και την αναμενόμενη επιδείνωση του προβλήματος λόγω της κλιματικής αλλαγής, και αφ' ετέρου από την έντονη ταπείνωση και υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων ορισμένων περιοχών της χώρας.

Με την *Κ.Υ.Α. 145116/2011* θεσπίζονται τέσσερις βασικές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων:

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

- άρδευση
- βιομηχανική χρήση
- τροφοδότηση/ εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων
- αστική και περιαστική επαναχρησιμοποίηση

Τίθενται όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους για τις διάφορες μεθόδους επαναχρησιμοποίησης, καθώς και ο αντίστοιχος βαθμός της κατ' ελάχιστον απαιτούμενης επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ακολουθούμενη από απολύμανση) και η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών.

3.2.2. Σκοπός

Η παρούσα Κοινή Υπουργική Απόφαση στοχεύει στην :

- Προώθηση της αξιοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και, μέσω αυτής, την εξοικονόμηση των υδατικών πόρων, γεγονός το οποίο θα συμβάλλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων από την προϊούσα λειψυδρία και ξηρασία στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και την αναμενόμενη επιδείνωση του προβλήματος λόγω της κλιματικής αλλαγής. Επίσης, θα βοηθήσει στην μείωση της έντονης ταπείνωσης και υφαλμύρινσης των υπόγειων υδροφορέων ορισμένων περιοχών της χώρας από την υπεράντληση, την λειψυδρία και την είσοδο του θαλάσσιου μετώπου σε παραλιακές περιοχές.
- Βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μέσω της τροφοδότησης των υπογείων υδροφορέων.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι η διασφάλιση της Δημόσιας Υγείας.

3.2.3. Πεδίο εφαρμογής

Η ΚΥΑ εφαρμόζεται για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων:

- Υγρών οικιακών ή αστικών λυμάτων ή βιομηχανικών λυμάτων που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, ασχέτως μεγέθους εγκατάστασης.
- Υγρών βιομηχανικών αποβλήτων που προέρχονται από άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ασχέτως μεγέθους, που είναι μη επικίνδυνα, ή έχουν καταστεί μη επικίνδυνα μετά από προβλεπόμενη επεξεργασία.

Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, είναι οι εξής:

- Επεξεργασία του γάλακτος
- Παραγωγή οπωροκηπευτικών προϊόντων
- Παραγωγή και εμφιάλωση μη αλκοολούχων ποτών
- Μεταποίηση γεώμηλων
- Βιομηχανία κρέατος
- Ζυθοποιία
- Παραγωγή αλκοόλης και αλκοολούχων ποτών
- Παραγωγή ζωοτροφών από φυτικά προϊόντα
- Παραγωγή ζελατίνας και κόλλας από δέρματα και οστά ζώων
- Μονάδες παραγωγής βύνης
- Μεταποιητική βιομηχανία ιχθύων

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

3.2.4. Τύποι επαναχρησιμοποίησης

Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων επιτρέπεται για:

- γεωργική χρήση (άρδευση),
- τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων,
- αστική και περιαστική χρήση,
- βιομηχανική χρήση
- υδατικά συστήματα του άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007.

Δεν υπάγονται στο πεδίο εφαρμογής της παρούσας απόφασης:

- η ανακύκλωση βιομηχανικών αποβλήτων
- η άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση για πόση, με εξαίρεση τις περιπτώσεις που αναφέρονται στο άρθρο 8
- επαναχρησιμοποίηση για χρήσεις κολύμβησης (πισίνες)
- άλλες οικιακές χρήσεις

Στην ΚΥΑ ορίζονται οι εξής δυνατότητες για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων:

- Άρδευση, που διακρίνεται σε:
 - Περιορισμένη
 - Απεριόριστη
- Βιομηχανική χρήση, που διακρίνεται σε:
 - Επαναχρησιμοποίηση ως νερό ψύξης μιας χρήσης.
 - Άλλες βιομηχανικές χρήσεις όπως:
 - επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης
 - νερό για λέβητες
 - νερό διεργασιών
- Τροφοδότηση/ Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων, που διακρίνεται σε:
 - Τροφοδότηση με διήθηση μέσω εδαφικού στρώματος
 - Τροφοδότηση με γεωτρήσεις
 - Αστική και Περιαστική επαναχρησιμοποίηση

Οι προαναφερόμενοι τύποι επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων δεν είναι επιτρεπτοί για το σύνολο του πεδίου εφαρμογής της ΚΥΑ. Οι επιτρεπόμενες μορφές επαναχρησιμοποίησης σε συνάρτηση με την πηγή παραγωγής των υγρών αποβλήτων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Πίνακας 8: Δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης ανάλογα με την πηγή των υγρών αποβλήτων

Τύπος υγρών αποβλήτων	Απόβλητα	Δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης
Απόβλητα που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, ασχέτως μεγέθους εγκατάστασης	<ul style="list-style-type: none"> Οικιακά Αστικά Βιομηχανικά 	<ol style="list-style-type: none"> Άρδευση Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων Αστική και περιαστική χρήση Βιομηχανική χρήση
Υγρά βιομηχανικά απόβλητα που προέρχονται από άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ασχέτως μεγέθους, που είναι μη επικίνδυνα, ή έχουν καταστεί μη επικίνδυνα μετά από προβλεπόμενη επεξεργασία	<ul style="list-style-type: none"> Υγρά βιομηχανικά απόβλητα 	<ol style="list-style-type: none"> Βιομηχανική χρήση Περιορισμένη άρδευση μέσω υπεδάφιου συστήματος άρδευσης Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007 και μόνο μέσω διήθησης

Πιο αναλυτικά οι τέσσερις δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων:

- *Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση*

Δύο τύποι επαναχρησιμοποίησης υπάρχουν στην περίπτωση της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα:

- Περιορισμένη άρδευση, που αφορά μόνο καλλιέργειες τα προϊόντα των οποίων καταναλώνονται μετά από θερμική ή άλλου είδους επεξεργασία ή δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή οι καρποί τους δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος κατά τη διαδικασία συλλογής τους. Παραδείγματα των καλλιεργειών αυτών είναι καλλιέργειες ζωοτροφών, λιβάδια, βιομηχανικές καλλιέργειες, δέντρα (εκτός των οπωροφόρων), καλλιέργειες σπόρων κ.α.. Στην περιορισμένη άρδευση δεν επιτρέπεται η εφαρμογή του καταιονισμού ως μεθόδου άρδευσης. Η πρόσβαση του κοινού στην αρδευόμενη έκταση πρέπει να απαγορεύεται.
- Απεριόριστη άρδευση, που αφορά σε είδη καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, π.χ. λαχανικά, αμπέλια, οπωροφόρα δέντρα, ενώ αφορά επίσης και ανθοκομικές καλλιέργειες. Στις περιπτώσεις αυτές επιτρέπονται διάφοροι τύποι άρδευσης, συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού, ενώ δεν υπάρχουν περιορισμοί στην πρόσβαση του κοινού.

- *Τροφοδότηση ή εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων*

Διακρίνονται δύο βασικές μέθοδοι τροφοδότησης των υπόγειων υδροφορέων:

- Άμεσος εμπλουτισμός μέσω γεωτρήσεων υπό πίεση ή με βαρύτητα.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

- Εμπλουτισμός με τη μέθοδο της διήθησης διαμέσου εδαφικού στρώματος εδάφους, με κατάλληλα χαρακτηριστικά και επαρκές βάθος.

Με ορισμένες εξαιρέσεις, ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων επιτρέπεται μόνο στις περιπτώσεις κατά τις οποίες τα υπόγεια νερά δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007. Στην τροφοδότηση των υπόγειων υδροφορέων εντάσσονται τόσο η υπεδάφια όσο και η επιφανειακή διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, συμπεριλαμβανόμενης και της τελικής διάθεσης σε απορροφητικό βόθρο.

- *Αστική και περιαστική επαναχρησιμοποίηση*

Ο συγκεκριμένος τύπος επαναχρησιμοποίησης αναφέρεται κυρίως στο αστικό και περιαστικό πράσινο, τις δασικές εκτάσεις, την αναψυχή, την αποκατάσταση φυσικού περιβάλλοντος, την πυρόσβεση, τον καθαρισμό οδών. Οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης μεταξύ άλλων νυμπεριλαμβάνουν: το πότισμα συγκεντρωμένων εκτάσεων πρασίνου όπως δάση, άλση, νεκροταφεία, πρανή και νησίδες αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα, αυλές κατοικιών, ελεύθερος χώρος ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων και εγκαταστάσεων αναψυχής, τη χρήση νερού για την πυρόσβεση, τη συμπύκνωση εδαφών, τον καθαρισμό οδών και πεζοδρομίων, τα διακοσμητικά συντριβάνια, τη δημιουργία τεχνητών ή τη διατήρηση φυσικών λιμνών ή υγροβιοτόπων καθώς και για την ενίσχυση παροχής επιφανειακών ρευμάτων.

- *Βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση*

Η επαναχρησιμοποίηση αυτού του τύπου περιλαμβάνει εφαρμογές όπως χρήση νερών ψύξης (μιας χρήσης ή επανακυκλοφορούμενων), αναπλήρωση νερών λεβήτων και αξιοποίηση για τις διάφορες βιομηχανικές διεργασίες. Η βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση δεν πρέπει να εφαρμόζεται σε βιομηχανίες προϊόντων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

3.2.5. Όρια και παράμετροι χρήσης

Τα όρια των μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων αποτυπώνονται στους παρακάτω πίνακες (9,10,11,12) .

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Πίνακας 9: Όρια για περιορισμένη άρδευση και για βιομηχανική χρήση του νερού

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	E.Coli (EC/100 ml)	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα	Κατά το ελάχιστο απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
Περιορισμένη άρδευση	≤ 200 διάμεση τιμή	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997		Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, απολύμανση	BOD₅,SS, N, P : σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997 (ΦΕΚ192/Β/14-3-97) EC : μια/ εβδομάδα Υπολειμματικό Χλώριο Cl₂ : συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)
Περιοχές όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δένδρα (μη συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων, με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Άρδευση με καταιονισμό δεν θα εφαρμόζεται.						
Βιομηχανική χρήση						
Νερό ψύξης μιας χρήσης						
Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθ. 7 του ΠΔ 51/2-3-2007, (με την επιφύλαξη των παραγ. 4 και 5 του άρθ. 5 της παρούσας), με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος με επαρκές πάχος και κατάλληλα χαρακτηριστικά						

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Πίνακας 10: Όρια μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	E.Coli (EC/100 ml)	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα	Κατά το ελάχιστο απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
Απεριόριστη άρδευση	≤ 5 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 50 για το 95% των δειγμάτων	≤ 10 για το 80% των δειγμάτων	≤ 10 για το 80% των δειγμάτων	≤ 2 διάμεση τιμή	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, ακολουθούμενη από τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση	<p>BOD₅, SS, N, P : σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997 (ΦΕΚ 192/Β/14-3-97)</p> <p>Θολότητα και διαπερατότητα : για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000κατοίκους, τέσσερις ανά εβδομάδα και δυο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις.</p> <p>EC : για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50.000 κατοίκους 4 ανά εβδομάδα και 2 ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Κατ' εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής 1 ανά εβδομάδα.</p> <p>Υπολειμματικό Χλώριο (Cl₂): συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>
Όλες οι καλλιέργειες όπως οπωροφόρα δένδρα, λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμοκήπια. Η απεριόριστη άρδευση επιτρέπει την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων εφαρμογής της άρδευσης συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού.						
Βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης						
Επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης για λέβητες, νερό διεργασιών κλπ.						

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Πίνακας 11: Όρια μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αστική και περιαστική χρήση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	E.Coli (EC/100 ml)	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα	Κατά το ελάχιστο απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p>Αστική χρήση Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαγιών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρόμων, διακοσμητικά σιντριβάνια. Πότισμα με καταιονισμό απαγορεύεται.</p>	≤ 2 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 20 για το 95% των δειγμάτων	≤ 10 για το 80% των δειγμάτων	≤ 2 για το 80% των δειγμάτων	≤ 2 διάμεση τιμή	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, ακολουθούμενη από τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση	<p>BOD₅, SS, N, P : σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997 (ΦΕΚ 192/Β/14-3-97)</p> <p>Θολότητα και διαπερατότητα: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους, τέσσερις ανά εβδομάδα και δυο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις.</p> <p>EC : για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50.000 κατοίκους 7 ανά εβδομάδα και 3 ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Κατ' εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής 2 ανά εβδομάδα.</p> <p>Υπολειμματικό Χλώριο (Cl₂): συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>
<p>Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθ. 7 του ΠΔ 51/2-3-2007 (ΦΕΚ 54Α/8-3-2007), με γεωτρήσεις.</p>						
<p>Περιαστικό πράσινο συμπεριλαμβανομένων των άλσων και των δασών.</p>						

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων για τις παραμέτρους του Πίνακα 11 καθορίζεται σε:

- 12 ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 200.000 κατοίκους και υγρά βιομηχανικά απόβλητα από βιομηχανικές δραστηριότητες που δεν εμπίπτουν στις κατηγορίες (ανεξαρτήτως μεγέθους δραστηριότητας) της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ192/Β/14.3.97).
- 4 ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεταξύ 50.000 και 200.000 κατοίκων.
- 2 ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεταξύ 10.000 και 50.000 κατοίκων και υγρά βιομηχανικά απόβλητα από βιομηχανικές δραστηριότητες που εμπίπτουν στις κατηγορίες (ανεξαρτήτως μεγέθους δραστηριότητας) της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ192/Β/14.3.97).
- Ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεταξύ 2.000 και 10.000 κατοίκων.

Για εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μικρότερο των 2.000 κατοίκων και οικιακά ιδιωτικά συστήματα επεξεργασίας δεν απαιτείται έλεγχος για τη διαπίστωση τήρησης των ορίων του Πίνακα 11.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Πίνακας 12: Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων σε επεξεργασμένα λύματα για αστική επαναχρησιμοποίηση, περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση, βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση και τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων

Μέταλλο	Μέγιστη συγκέντρωση (ppm)
Αργίλιο (Al)	5
Αρσενικό (As)	0,1
Βηρύλλιο (Be)	0,1
Κάδμιο (Cd)	0,01
Κοβάλτιο (Co)	0,05
Χρόμιο (Cr)	0,1
Χαλκός (Cu)	0,2
Σίδηρος (Fe)	3
Λίθιο (Li)	2,5
Μαγγάνιο (Mn)	0,2
Μολυβδαίνιο (Mo)	0,01
Νικέλιο (Ni)	0,2
Μόλυβδος (Pb)	0,1
Σελήνιο (Se)	0,02

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Αναλυτικές μέθοδοι ελέγχου ρύπανσης σε απόβλητα

4.1. Οπτικές μέθοδοι

4.1.1. Θολερομετρία

Η θολρότητα είναι ένα μέτρο των χαρακτηριστικών διάδοσης του φωτός μέσω του νερού. Η θολότητα του νερού οφείλεται σε αιωρούμενα σωματίδια τα οποία μπορεί να είναι ανόργανες ουσίες, όπως πηλίνα, άλευρα πετρωμάτων, βούρκος, ανθρακικό ασβέστιο, πυρίτιο, σίδηρο, μαγγάνιο, θείο, ή βιομηχανικά απόβλητα. Ακόμα, η θόλωση μπορεί να προκληθεί από οργανικές ουσίες όπως οι απεκκρίσεις διαφόρων μικροοργανισμών, φυτική ή ζωική ύλη, γράσο, λίπος, λάδι, και άλλα. Ενώ η θολρότητα μπορεί να οφείλεται σε μια ενιαία εξωτερική ουσία στο νερό, μπορεί στην πραγματικότητα να είναι ένα μίγμα πολλών ουσιών. Το μέγεθος τους μπορεί να ποικίλει από μικρά κολλοειδή σώματα μέχρι χονδροειδή σιτάρια της άμμου που παραμένουν αιωρούμενα για όσο διάστημα το νερό ανακινείται. Το θολό νερό πρέπει να εξεταστεί για ρύπανση. Η κατανάλωση του μπορεί να καταστεί επικίνδυνη καθότι η απολύμανση του πόσιμου νερού δεν είναι αρκετή. Αυτό συμβαίνει γιατί οι παθογόνοι οργανισμοί εγκλωβίζονται στα σωματίδια που αιωρούνται και με αυτόν τον τρόπο προστατεύονται από το απολυμαντικό. Η δομή αυτών των σωματιδίων επιτρέπει την απορρόφηση επιβλαβών οργανικών ή ανόργανων ουσιών. Η παραμετρική τιμή για τη θολότητα είναι να είναι «αποδεκτό από τους καταναλωτές» και «άνευ ασυνήθους μεταβολής».

Η μέτρηση της θολρότητας βασίζεται στην σύγκριση διαθλασιμότητας ή απορρόφησης φωτός σε σχέση μ' ένα πρότυπο διάλυμα. Κολλοειδή συστατικά διαθλούν ή απορροφούν φως χαρακτηριστικού μήκους κύματος και δεν επιτρέπουν την διαπέραση. Η θολερομετρία βασίζεται στο σκεδασμό του φωτός από τα σωματίδια κολλοειδών συστημάτων. Η εξάρτηση της εντάσεως σκεδασμού του φωτός από τον αριθμό των σωματιδίων που υπάρχουν σε ορισμένο όγκο κολλοειδούς συστήματος είναι γραμμική, σε αυστηρά καθορισμένες πειραματικές συνθήκες. Η νεφελομετρία ή αλλιώς νεφελομετρική μέθοδος είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την μέτρηση της θολρότητας. Αποτελεί μια από της πλέον εξελιγμένες μεθόδους, η οποία διακρίνεται για την ακρίβειά της στον τρόπο προσδιορισμού θολρότητας σε ιδιαίτερα χαμηλές τιμές.

4.1.2. Ανακλασιμετρία (Reflectometer)

Το ανακλασίμετρο χρησιμεύει στον ποσοτικό προσδιορισμό διαφορετικών ουσιών (αλουμίνιο, αμμώνιο, άργυρος, ασβέστιο, ασκορβικό οξύ, γλυκόζη,θειώδη, κάλιο, κοβάλτιο, μαγγάνιο, μόλυβδος, νικέλιο, νιτρικά, νιτρώδη, σίδηρος, υπεροξειδία, φωσφορικά, χαλκός, χλώριο, χρωμικά, ψευδάργυρος). Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του είναι η αποθήκευση δεδομένων από παλαιότερες μετρήσεις, ακόμα και η εξαγωγή του μέσου όρου τους, προσδίδοντας με αυτό τον τρόπο μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό εξαιτίας της τεχνικής της «οπτικής διπλής ακτίνας», η οποία εφαρμόζεται ξεχωριστά για κάθε παρτίδα και επιτυγχάνει τη μέτρηση δυο ζωνών αντίδρασης.

4.1.3. Φασματομετρία

Η φασματομετρία υπερύθρου αποτελεί ένα σημαντικό και εύχρηστο εργαλείο για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό πολλών ουσιών. Ειδικότερα, η φασματομετρία απορρόφησης και ανάκλασης στη μέση υπέρυθρη περιοχή βρίσκει εφαρμογή στη μελέτη της δομής μοριακών ενώσεων και ιδιαίτερα οργανικών ενώσεων και ουσιών βιοχημικού ενδιαφέροντος. Διάφοροι κατασκευαστές οργάνων προσφέρουν σήμερα μη καταγραφικά φασματοφωτόμετρα απλής δέσμης, χρήσιμα για μετρήσεις στην υπερώδη και στην ορατή

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

περιοχή. Η κατώτερη χρήσιμη περιοχή μήκους κύματος για τα όργανα αυτά κυμαίνεται από 190-210nm και η ανώτερη από 800-1000nm. Όλα διαθέτουν εναλλασσόμενες λυχνίες βολφραμίου και υδρογόνου ή δευτερίου. Τα περισσότερα διαθέτουν φωτοπολλαπλασιαστές ως μεταλλάκτες και μονοχρωμάτορες για διασπορά και επιλογή της ακτινοβολίας. Μερικά από τα όργανα είναι εξοπλισμένα με ψηφιακά συστήματα ανάγνωσης και άλλα έχουν μεγάλα αναλογικά όργανα βελόνας. Τυπικές περιοχές εύρους φασματικής ζώνης είναι 2-8nm και αναφέρεται η ακρίβεια επιλογής μήκους κύματος +/- 0,5 έως +/- 2 nm.

Στα πλεονεκτήματα των οργάνων απλής δέσμης περιλαμβάνεται η ισχυρότερη ακτινοβολία, ο καλύτερος λόγος σήματος προς θόρυβο και οι απλοί και εύχρηστοι χώροι τοποθέτησης των δειγμάτων. Αντίθετα, η διαδικασία καταγραφής του σήματος του μεταλλάκτη για την κυψελίδα αναφοράς και στην συνέχεια και για την κυψελίδα δείγματος (ώστε στη συνέχεια να υπολογιστούν οι απορροφήσεις ή οι διαπερατότητες) δεν είναι ικανοποιητική, λόγω της ολίσθησης και του θορύβου flicker της πηγής και του μεταλλάκτη.

4.1.4. Κοκκομετρική ανάλυση με την συσκευή MASTERSIZER

Η κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων εκροής συστήματος MBR έγινε με την βοήθεια της συσκευής Mastersizer, που βασίζεται στην περίθλαση με λέιζερ. Η συγκεκριμένη μέθοδος προσδιορισμού του κοκκομετρικού μεγέθους είναι η καλύτερη για την λεπτομερή σύγκριση δειγμάτων ίδιας προέλευσης, για την μελέτη κοκκομετρικού μεγέθους και για τις αλλαγές στη συσσωμάτωση. Η λειτουργία της βασίζεται στην αρχή της περίθλασης με λέιζερ και στη θεωρία Mie για να καθορίσει το επί τις εκατό (%) ποσοστό κατ' όγκο των κόκκων. Η θεωρία Mie βασίζεται στις παραδοχές πως:

- *Το σωματίδιο υποτίθεται ότι είναι σφαιρικό.* Αυτό είναι σημαντικό επειδή λίγα σωματίδια είναι πραγματικά σφαιρικά. Η σκέδαση του φωτός είναι ευαίσθητη προς τον όγκο του σωματιδίου. Για το λόγο αυτό, οι διάμετροι των σωματιδίων υπολογίζονται από την μέτρηση όγκου του σωματιδίου, θεωρείται ότι ισοδυναμούν με μία σφαίρα αντίστοιχου όγκου.
- *Το αιώρημα είναι αραιό.* Η συγκέντρωση των σωματιδίων θεωρείται ότι είναι τόσο χαμηλή που η σκέδαση της ακτινοβολίας μετράται απευθείας από τον ανιχνευτή και ότι δεν υπάρχει εκ νέου σκέδαση από άλλα σωματίδια, πριν φθάσει στον ανιχνευτή. Η τεχνική της περίθλασης με λέιζερ βασίζεται στο ότι τα σωματίδια που διέρχονται από μια δέσμη λέιζερ θα σκεδάσουν το φως σε γωνία που έχει άμεση σχέση με το μέγεθός τους. Το εύρος μεγέθους κατά την διάρκεια της μέτρησης είναι άμεσα συνδεδεμένο με το φάσμα της γωνίας σκέδασης. Καθώς το μέγεθος των σωματιδίων μειώνεται, η γωνία σκέδασης αυξάνεται λογαριθμικά. Η ένταση της σκέδασης εξαρτάται επίσης από το μέγεθος των σωματιδίων και μειώνεται σε σχέση με τα σωματίδια της εγκάρσιας διατομής. Μεγάλα σωματίδια, επομένως σκεδάζουν το φως σε μικρές γωνίες με υψηλή ένταση, ενώ τα μικρά σωματίδια σκεδάζουν σε ευρύτερες οπτικές γωνίες, αλλά με χαμηλή ένταση.

4.2. Ηλεκτρομετρικές μέθοδοι

4.2.1. Αγωγιμότητα

Αγωγιμότητα είναι η ικανότητα του νερού να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα και είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των διαλυμένων ιόντων στο διάλυμα. Επιπλέον παίζει ρόλο το σθένος και το είδος των ιόντων. Επίσης η αγωγιμότητα επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και συγκεκριμένα η άνοδος της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση της. Η παραμετρική τιμή της είναι 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στους 20°C .

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

4.2.2. Ολικά στερεά

Τα ολικά στερεά αφορούν ουσίες που παραμένουν αφού το νερό εξατμιστεί στους 105°C και διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

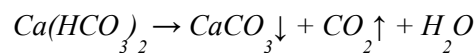
- Τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), τα οποία δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι και είναι μόρια και ιόντα με μέγεθος μικρότερο από 1 nm.
- Τα κολλοειδή, τα οποία δεν είναι εμφανή εξαιτίας του μεγέθους τους.
- Τα αδιάλυτα τα οποία είναι ορατά και έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από 1μm. Χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες σε συνάρτηση με το ειδικό τους βάρος: καθιζάνουσες, αιωρούμενες και επιπλέουσες

4.2.3. Σκληρότητα

Η σκληρότητα εκφράζει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων και έχει άμεση συσχέτιση με προς γεωλογικές παραμέτρους του εδάφους από όπου προέρχεται το νερό, καθώς επηρεάζεται και από το pH και τη θερμοκρασία.

Η σκληρότητα διακρίνεται σε δυο τύπους:

- Την *ανθρακική (ή παροδική)* σκληρότητα που οφείλεται στα όξινα ανθρακικά (διττανθρακικά) άλατα. Αυτού του είδους η σκληρότητα μπορεί να ξεπεραστεί με την άνοδο προς θερμοκρασίας στο σημείο βρασμού του νερού. Κατά τη διάρκεια προς αντίδρασης προς τα διαλυμένα όξινα ανθρακικά άλατα των δύο μετάλλων καταβυθίζονται ως αδιάλυτα ανθρακικά άλατα, ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα, σύμφωνα με τα παρακάτω:



- Τη *μη ανθρακική (μόνιμη)* σκληρότητα που οφείλεται στα υπόλοιπα άλατα (χλωριούχα, θειικά, νιτρικά, ανθρακικά) και δεν αίρεται με βρασμό.

Η ολική σκληρότητα είναι η παροδική και μόνιμη και οφείλεται στα κατιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}) και μαγνησίου (Mg^{2+}) που εκφράζεται με τη μορφή του ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) και ανθρακικού μαγνησίου ($MgCO_3$). Σε αρκετές περιπτώσεις περιέχονται και άλλα κατιόντα του στροντίου, του βαρίου, του μαγγανίου, του ψευδαργύρου, του σιδήρου και του αργιλίου. Προσδίδει ιδιάζουσα γεύση στο νερό, καθυστερεί το βράσιμο των τροφίμων και αποτρέπει το σχηματισμό αφρού με τη χρήση σαπουνιού και είναι υπεύθυνη για το σχηματισμό επικαθίσεων στις σωληνώσεις και στις ηλεκτρικές συσκευές. Βιομηχανίες βυρσοδεψίας, βαφείας, χημικών και φαρμακευτικών προϊόντων διαθέτουν ειδικές εγκαταστάσεις, ώστε να μειώσουν τη σκληρότητα του νερού, αφού το σκληρό νερό είναι επιζήμιο τόσο στην κατεργασία, όσο και στο τελικό προϊόν. Αντιθέτως, στην ζυθοποιία και στην αρτοποιία είναι επιθυμητή γιατί βοηθάει στην δράση των ενζύμων. Όσον αφορά τον άνθρωπο, οι υψηλές τιμές σκληρότητας του νερού δεν είναι επικίνδυνες ενώ έχει τεκμηριωθεί ότι υπάρχει μια σημαντική αλληλοεπίδραση ανάμεσα στην αυξημένη σκληρότητα και τη μείωση των καρδιαγγειακών παθήσεων. Νερό με σκληρότητα μέχρι και 500 mg/l $CaCO_3$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο, αλλά οι πιο καλές τιμές είναι μεταξύ 80 και 150 mg/l.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

4.2.4. Υπολειμματικό χλώριο

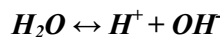
Είναι μια σημαντική παράμετρος διότι αποδεικνύει εάν η χλωρίωση ήταν αποτελεσματική και επαρκής. Είναι το ενεργό χλώριο υπό τη μορφή υποχλωριώδους οξέως (HOCl). Το ενεργό χλώριο αποτελείται από ενώσεις χλωρίου που ανιχνεύονται στο νερό και έχουν απολυμαντική δράση. Το χλώριο μετράται σε ppm. Το χλώριο υπό την μορφή αερίου (Cl₂) όταν διαλυθεί στο νερό δίνει ενώσεις με ισχυρή δράση εναντίον των βακτηρίων και των ιών. Προσφέρει επίσης μία προστασία στο νερό που διακινείται στο δίκτυο διανομής εναντίον πιθανής τοπικής μόλυνσης ή ανάπτυξης βακτηρίων που βρίσκονται σε λανθάνουσα κατάσταση.

4.2.5. Αλκαλικότητα

Αλκαλικότητα είναι η ικανότητα του νερού να εξουδετερώνει ένα όξινο διάλυμα. Η εξουδετέρωση αυτή οφείλεται στην παρουσία ιόντων υδροξυλίου (OH⁻), ανθρακικών αλάτων (CO₃⁻²) και διττανθρακικών ανιόντων (HCO₃⁻). Συνήθως μετράται σε χιλιοστοϊσοδύναμα ανά λίτρο. Η παρουσία οργανικής ύλης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στον καθορισμό της αλκαλικότητας. Τα χλωριούχα, θειικά και νιτρικά ιόντα δεν συμβάλλουν στην αλκαλικότητα.

4.2.6. pH

Ως pH ορίζεται «ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος προς συγκέντρωσης των κατιόντων υδρογόνου» ($pH = -\log[H]$). Το pH μπορεί να πάρει τιμές από 0-14. Η περιοχή 0-7 αφορά τα όξινα διαλύματα, ενώ από 7-14 είναι τα αλκαλικά. Τα περισσότερα νερά στη φύση έχουν pH μεταξύ 6 και 9. Το πόσιμο νερό το οποίο έχει τιμές pH μεγαλύτερες από 10 ή τιμές μικρότερες του 4, έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί ερεθισμό στα μάτια και στο δέρμα. Η παραμετρική τιμή για το pH είναι: 6,5 < pH < 9,5. Η παράμετρος του pH προσδίδει κάποια μοναδικά γνωρίσματα στο νερό και έχει περισσότερο σχέση με τη διαβρωτικότητά του. Αναφέρεται σαν τιμή στη συγκέντρωση των κατιόντων υδρογόνου (H⁺) του διαλύματος. Το καθαρό νερό είναι ιονισμένο σε κατιόντα υδρογόνου (H⁺) και ανιόντα υδροξυλίου (OH⁻) σύμφωνα με την εξίσωση:



Η τιμή pH του νερού αντικατοπτρίζει τη χημική του σύσταση. Το pH δρα ως ρυθμιστής των χημικών αντιδράσεων επιταχύνοντας ή παρεμποδίζοντας τις. Το pH των φυσικών νερών παρότι υφίσταται ποικίλες μεταβολές παραμένει αμετάβλητο εξαιτίας της μεγάλης ρυθμιστικής ικανότητάς του. Σε περιπτώσεις όπου εξωγενείς παράγοντες παρεμβαίνουν, τότε το pH υφίσταται αξιόλογες και σχετικώς μόνιμες μεταβολές. Η όξινη βροχή, τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα ακόμα και η σύσταση του υπεδάφους συμβάλλουν ουσιαστικά στη διαμόρφωση του pH. Τιμές του pH σε νερά άνω του 7 παρατηρούνται σε φαινόμενα έντονης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας - ευτροφισμού, αλλά και σε αυξημένες συγκεντρώσεις ασβεστίου, νατρίου και μαγνησίου.

4.3. Βιοχημικές μέθοδοι

4.3.1. Μικροσκοπικές μελέτες

Η ανίχνευση και ο προσδιορισμός της μικροβιακής μόλυνσης του νερού είναι μια χρονοβόρα και πολύπλοκη διεργασία. Η κατανάλωση πόσιμου νερού μολυσμένου από παθογόνους

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Μικροοργανισμούς μπορεί να καταστεί επικίνδυνη για τον άνθρωπο. Για να μπορέσουμε να δούμε τι είδους μικροοργανισμών περιείχαν τα δείγματα υγρών αποβλήτων της πιλοτικής μονάδας MBR πριν και μετά την έξοδο χρησιμοποιήσαμε οπτικό μικροσκόπιο σε μικροβιολογικό εργαστήριο. Η ωφέλιμη μεγέθυνση του μικροσκοπίου είναι εκείνη που κάνει ορατά τα μικρότερα σωματίδια που μπορούν να διαχωριστούν. Μικροσκόπια που χρησιμοποιούνται στην μικροβιολογία χρησιμοποιούν γενικά αντικειμενικό φακό δυνάμεως 100x με προσοφθάλμιο φακό ισχύος 10x, μεγεθύνοντας έτσι το δείγμα 1000 φορές. Κατά συνέπεια, σωματίδια με διάμετρο 0,2μm μεγεθύνονται περίπου σε 0,2mm και γίνονται ορατά. Περισσότερη μεγέθυνση δεν θα έδινε μεγαλύτερο διαχωρισμό λεπτομερειών και θα μείωνε την οπτική επιφάνεια.

Τα μικροσκόπια διακρίνονται σε δύο είδη :

- Οπτικό μικροσκόπιο
- Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

4.3.2. Μέθοδοι καλλιέργειας

Καλλιέργεια είναι η διεργασία ανάπτυξης οργανισμών με την παροχή κατάλληλων συνθηκών περιβάλλοντος, οι οποίες είναι :

- Θρεπτικά συστατικά
- pH
- Θερμοκρασία
- Αερισμός

Άλλοι παράγοντες που πρέπει να ελέγχονται είναι η συγκέντρωση άλατος και η οσμωτική πίεση του υλικού ανάπτυξης και ειδικοί παράγοντες προς το φως για τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς.

Θρέψη είναι η παροχή θρεπτικών ουσιών για την ανάπτυξη ενός οργανισμού.

Τα θρεπτικά συστατικά ταξινομούνται ανάλογα με τον ρόλο τους στον μεταβολισμό:

- Δότες και δέκτες υδρογόνου
- Πηγή άνθρακα
- Πηγή αζώτου
- Ανόργανα άλατα του θείου, φώσφορος, ενεργοποιητές ενζύμων
- Παράγοντες αναπτύξεως

Η τεχνική που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια μικροοργανισμών και ο τύπος του θρεπτικού υλικού που θα επιλέξουμε εξαρτώνται από την φύση της έρευνας.

Τρεις περιπτώσεις περιγράφονται :

- Ανάπτυξη κυττάρων δεδομένου είδους.
- Μικροβιολογική εξέταση φυσικών υλικών.
- Απομόνωση συγκεκριμένου τύπου μικροοργανισμού.

Για να μελετηθούν οι ιδιότητες ενός δεδομένου μικροοργανισμού απαιτείται η ανάπτυξη του σε καθαρή καλλιέργεια απαλλαγμένη από άλλους τύπους μικροοργανισμών. Για να γίνει αυτό πρέπει να απομονωθεί ένα κύτταρο και να καλλιεργηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε και οι συλλογικοί του απόγονοι να μείνουν απομονωμένοι. Για τον σκοπό αυτό υπάρχουν αρκετές μέθοδοι, μια από αυτές είναι η καλλιέργεια σε πλάκες (τρυβλία), την οποία χρησιμοποιήσαμε και στην παρούσα διπλωματική.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Πιλοτική μονάδα MBR

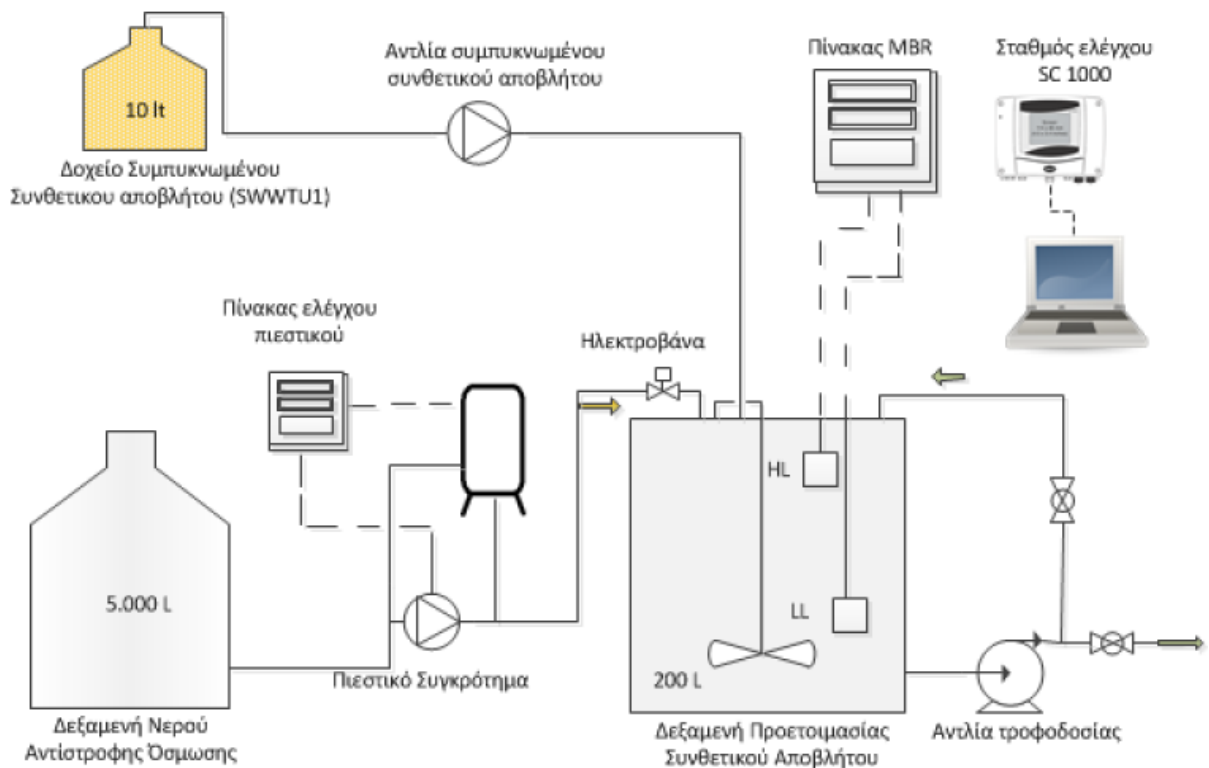
5.1. Γενική Περιγραφή

Η τεχνολογία MBR είναι μια νέα τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων. Στην τεχνολογία αυτή συνδυάζεται ο διαχωρισμός μέσω μεμβράνης με το κλασικό σύστημα ενεργοποιημένης ιλύος σε βιοαντιδραστήρα. Στην δεξαμενή MBR, η μεμβράνη διαχωρίζει το καθαρό νερό από τα λύματα που βρίσκονται στην δεξαμενή υπό την μορφή ενεργού ιλύος. Λόγω του διαχωρισμού μέσω των μεμβρανών που λαμβάνει χώρα στην δεξαμενή αερισμού, η δεξαμενή καθίζησης παραλείπεται και η ενεργός ιλύς παραμένει στην δεξαμενή MBR. Η τεχνολογία MBR μπορεί να ενισχύσει σε μεγάλο βαθμό την διαδικασία της βιοδιάσπασης. Το ποσοστό μείωσης του COD μπορεί να είναι περισσότερο από 95%, και τα στερεά (SS) στην εκροή μπορεί να είναι $<1.0\text{mg/L}$. Το συλλεγόμενο επεξεργασμένο νερό μπορεί να ανακυκλωθεί.

Η πιλοτική διάταξη MBR σχεδιάστηκε για εργαστηριακή χρήση. Από τα αποτελέσματα δοκιμών της πιλοτικής διάταξης εργαστηριακής κλίμακας, αναμένεται να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα τα οποία αργότερα θα χρησιμοποιηθούν σε μεγαλύτερη διάταξη MBR.

5.2. Πιλοτική διάταξη

Η πιλοτική διάταξη αποτελείται από 2 κύρια τμήματα όπως φαίνεται στα Σχήματα 1 και 2.



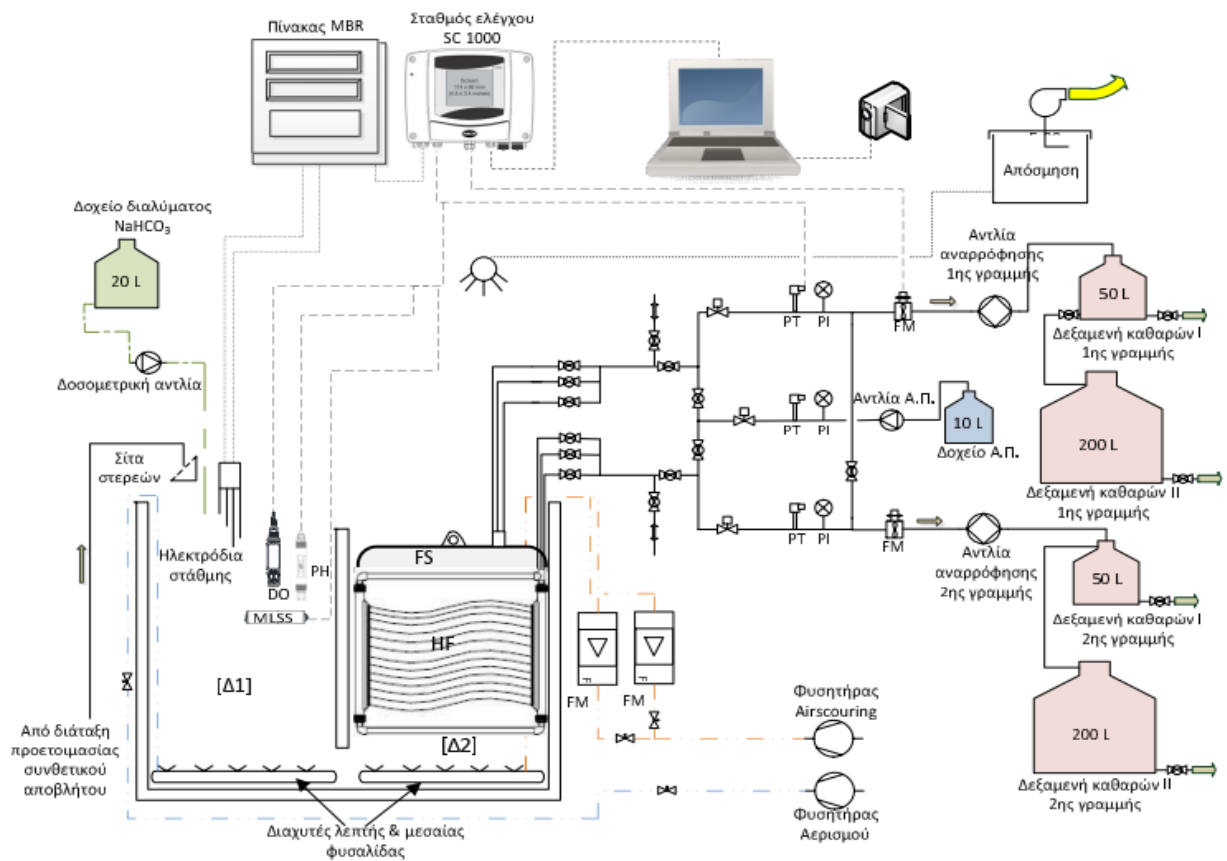
Σχήμα 1. Διάταξη Προετοιμασίας Συνθετικού Αποβλήτου.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Στο Σχήμα 1 φαίνεται το πρώτο τμήμα που τροφοδοτεί αδιαλείπτως με Σ.Α. την μονάδα MBR. Συμπυκνωμένο Σ.Α. δοσομετρείται με σταθερό ρυθμό μέσω διαφραγματικής αντλίας (2 L/h), με διαδικασία batch προς την δεξαμενή προετοιμασίας συνολικής χωρητικότητας 200 L, όπου γίνεται ταυτόχρονη τροφοδοσία νερού αντίστροφης όσμωσης (Α.Ο.) μέσω ηλεκτροβάνας και υπό ανάδευση παρασκευάζεται στην ζητούμενη αραιώση το τελικό Σ.Α. Η δεξαμενή προετοιμασίας φέρει κατακόρυφο αργόστροφο ανοξείδωτο αναδευτήρα τύπου προπέλας. Η τροφοδοσία του τελικού Σ.Α. προς την μονάδα MBR γίνεται με οριζόντια φυγοκεντρική αντλία (0÷3.0 m³/h). Ο έλεγχος της αντλίας γίνεται μέσω ηλεκτροδίων άνω και κάτω στάθμης (Σχήμα 2). Για την συγκράτηση μικροσωματιδίων προς το MBR η διάταξη τροφοδοσίας φέρει στο άκρο της πλέγμα συγκράτησης στερεών >1 mm.

Στο Σχήμα 2 φαίνεται το κύριο σώμα της πιλοτικής διάταξης με ένα επαμφοτερίζον (Δ1) και ένα αερόβιο (Δ2) διαμέρισμα. Ο ενεργός όγκος κάθε διαμερίσματος είναι 37 L και 47 L αντίστοιχα. Στο πρώτο διαμέρισμα (Δ1) εγκαταστάθηκαν για την on-line παρακολούθηση των χαρακτηριστικών της βιομάζας, μετρητής pH/T, μετρητής DO/T, μετρητής MLSS/θολότητα.

Η προσθήκη του απαραίτητου αέρα για την βιολογική διεργασία στο Δ1 μπορεί να γίνει είτε με σωληνωτό διαχυτή μεσαίας φυσαλίδας είτε με τρεις διαχυτές λεπτής φυσαλίδας που τροφοδοτούνται από τον φυσητήρα αερισμού τύπου διαφράγματος (85 L/min).

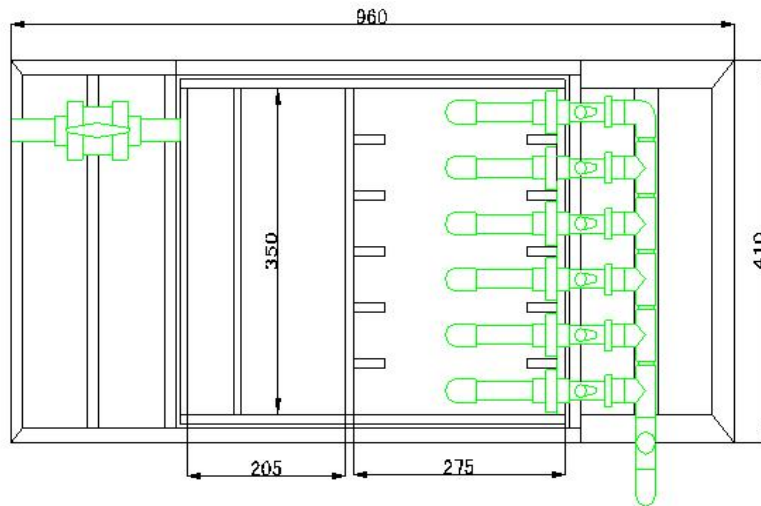


Σχήμα 2. Πιλοτική διάταξη βιοαντιδραστήρα εμβαπτιζόμενων μεμβρανών (SMBR).

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

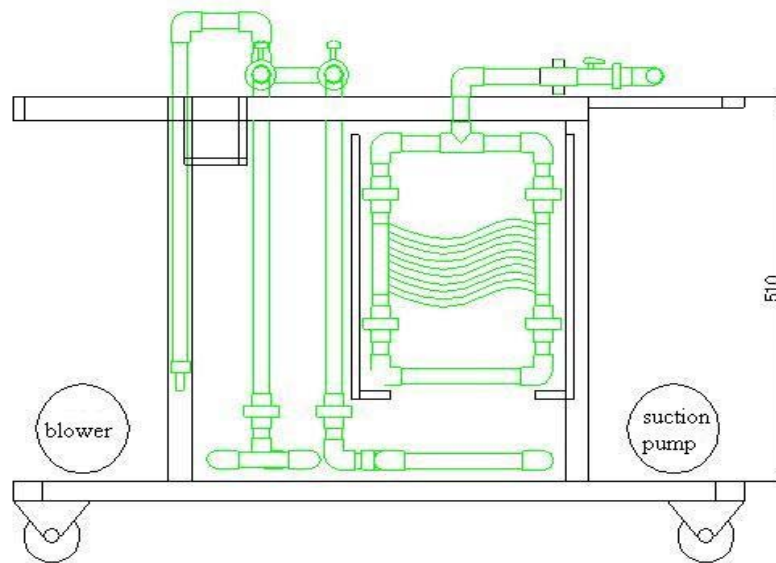
Στο διαμέρισμα Δ2 υπάρχουν θέσεις για βύθιση ενός έως έξι στοιχείων μεμβρανών τύπου HF, ή ενός έως δεκαοκτώ τύπου FS καθώς και οποιοσδήποτε συνδυασμός των ανωτέρω. Σε κάθε γραμμή εξόδου έχει εγκατασταθεί μια περισταλτική αντλία αναρρόφησης (0.975-9.750 L/H). Κάθε στοιχείο μεμβράνης ελέγχεται από ανεξάρτητη γραμμή αναρρόφησης μέσω δικλειδίας, ώστε ακόμα και αν κάποια παρουσιάσει βλάβη οι υπόλοιπες να συνεχίσουν να λειτουργούν. Περαιτέρω σε κάθε γραμμή αναρρόφησης εγκαθίστανται σε σειρά ηλεκτροβάνα ελέγχου ροής, μανόμετρο γλυκερίνης (-1÷0 bar) καθώς και αναλογικός μετρητής κενού (-1÷0 bar). Ο χρόνος λειτουργίας και στάσης των αντλιών αναρρόφησης όπως επίσης και η πίεση λειτουργίας της κάθε γραμμής (-0.01÷ -0.05 MPa) ρυθμίζονται ανάλογα με τον κατασκευαστή για λόγους προστασίας των στοιχείων των μεμβρανών. Τέλος κάθε γραμμή αναρρόφησης εφοδιάζεται με μετρητή παροχής (0.03÷0.58 L/min). Για τον καθαρισμό των μεμβρανών (air scouring) έχουν εγκατασταθεί ένας φυσητήρας διαφράγματος τροφοδοσίας αέρα (85 L/min), που τροφοδοτεί στο Δ2 είτε δυο σωληνωτούς διαχυτές μεσαίας φυσαλίδας είτε επτά διαχυτές λεπτής φυσαλίδας. Η παροχή αέρα σε κάθε διαχυτή είναι ρυθμιζόμενη μέσω βανών και μετρητών/ρυθμιστών παροχής. Για την δυνατότητα αντίστροφης πλύσης (Α.Π.) των μεμβρανών H.F. έχει εγκατασταθεί αντλία διαφράγματος (5.76 L/H) η οποία μπορεί να αρχίσει να λειτουργεί κατά τη διάρκεια της διακοπής της αντλίας αναρρόφησης (relaxation) με συγκεκριμένο χρονοπρογραμματισμό. Στην γραμμή Α.Π. υπάρχουν σε σειρά ηλεκτροβάνα ελέγχου ροής, μανόμετρο γλυκερίνης καθώς και αναλογικός μετρητής πίεσης (0÷1 bar). Η όλη λειτουργία της διάταξης είναι πλήρως αυτοματοποιημένη μέσω ελεγκτή (mini plc), οθόνης αφής και ηλεκτρικού πίνακα ελέγχου. Η ηλεκτρική τροφοδοσία του πίνακα γίνεται με ρεύμα 220V, 50 Hz.

Στο Σχήμα 3 και 4 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα πιλοτικής διάταξης.



Σχήμα 3.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.



Σχήμα 4.

- Παράμετροι σχεδιασμού πιλοτικής διάταξης MBR :
 - Δυναμικότητα διάταξης: 100-200 L/d.
 - COD > 650 mg/L.
 - BOD₅ > 250mg/L.
 - Χρόνος παραμονής HRT (εξαρτάται από την διεργασία)
- Αναμενόμενα χαρακτηριστικά στην έξοδο :
 - COD < 40mg/L.
 - BOD₅ < 15mg/L
 - SS < 0,5 mg/L

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Χημικά είδη

Τα χημικά είδη που χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα διπλωματική :

➤ **Απιονισμένο Νερό**

Σε όλα τα πειράματα και τα παρασκευασθέντα διαλύματα χρησιμοποιήθηκε απιονισμένο νερό που λήφθηκε από την στήλη αντίστροφης όσμωσης του πολυτεχνείου.

➤ **Διαλύματα Βαθμονόμησης**

Ρυθμιστικά διαλύματα HannaHI 7004pH=4 και HannaHI 7007 pH=7, για την βαθμονόμηση του αυτόματου τιτλοδότη.

Διάλυμα βαθμονόμησης του αγωγιμόμετρου : 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

➤ **Υδροχλωρικό οξύ(HCl)**

Για την μέτρηση της αλκαλικότητας.

➤ **Αιματούχο άγαρ και McConkey άγαρ**

Στα τρυβλία για τις καλλιέργειες.

➤ **Sodium chloride(NaCl) 0,9%**

Στείρο ελεύθερο πυρετογόνων ενέσιμο διάλυμα στις αραιώσεις των δειγμάτων προς καλλιέργεια.

➤ **Αποσταγμένο νερό (water for injections)**

Στείρο ελεύθερο πυρετογόνων ενέσιμο διάλυμα στις αραιώσεις των δειγμάτων προς καλλιέργεια.

➤ **Διάλυμα EDTA**

Χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της σκληρότητας στα δείγματα.

➤ **AgNO₃**

Χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση των χλωριόντων στα δείγματα.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Μέθοδοι ανάλυσης - Αναλυτικά όργανα

7.1. Μέτρηση Θολότητας – Θολερόμετρο

Θολερόμετρα ή νεφελόμετρα ονομάζονται τα όργανα που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της θολότητας ή θολερότητας σε δείγματα εξόδου πιλοτικής μονάδας MBR. Τα θολερόμετρα συνοδεύονται από κλίμακες ανάγνωσης θολερότητας οι οποίες διαχωρίζονται μεταξύ τους και έχουν τις τιμές: 0- 0,2 , 0-1 , 0-10 , 0-100 , 0-1000. Τέλος, τα δείγματα τοποθετούνται στις καλά σκουπισμένες κυψελίδες του θολερόμετρου για να γίνει η μέτρηση. Τα δείγματα πριν την μέτρηση δεν πρέπει να έχουν φυσαλίδες από αέρα. Για τα πειράματα μας χρησιμοποιήθηκε το φορητό θολερόμετρο Turbiquant 1100 IR (εικόνα 10).



Εικόνα 10: Θολερόμετρο Turbiquant 1100 R

7.2. Μέτρηση Αγωγιμότητας - Ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) - Αγωγιμόμετρο

Με το αγωγιμόμετρο (εικ.11) μετράμε την αγωγιμότητα, η οποία αναφέρεται στον βαθμό δυσκολίας της διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος εσωτερικά του διαλύματος. Η κίνηση του ρεύματος οφείλεται στις κινήσεις των ιόντων εσωτερικά της μάζας του διαλύματος. Κάθε διάλυμα παρουσιάζει διαφορετική αγωγιμότητα, η οποία εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες σύμφωνα με τον τύπο:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

- R: ηλεκτρική αντίσταση (ohm)
- l: μήκος διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος στο διάλυμα (cm)
- S: διατομή αγωγού (cm²)
- ρ: ειδική αντίσταση (ohm cm)

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) μετρήθηκαν και αυτά με το αγωγιμόμετρο.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται το αγωγιμόμετρο που χρησιμοποιήσαμε.



Εικόνα 11: Αγωγιμόμετρο τύπου mettler toledo

Προκειμένου να χρησιμοποιήσουμε το αγωγιμόμετρο (εικόνα 11) για μετρήσεις κάνουμε τα παρακάτω βήματα:

- *Επιλογή προτύπου για βαθμονόμηση*

Αρχικά, επιλέγουμε το κατάλληλο προγράμμα για την εκτέλεση της μέτρησης. Το πρότυπο που χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα εργασία είναι το εξής: $-1.413\mu\text{S}/\text{cm}$.

- *Εκτέλεση βαθμονόμησης*

Ρυθμίζουμε το αγωγιμόμετρο στις καθορισμένες τιμές προτύπου βαθμονόμησης και πατάμε Cal. Στην οθόνη εμφανίζονται οι σχετικές ενδείξεις που θα χρησιμοποιηθούν στη μέτρηση, δηλαδή το εικονίδιο βαθμονόμησης, το εικονίδιο της μέτρησης, η τιμή της θερμοκρασίας κτλ.

- *Μέτρηση του δείγματος*

Τοποθετούμε το δείγμα κάτω από τον αισθητήρα αγωγιμότητας, όπως φαίνεται στην εικόνα 11, και πατάμε READ για να ξεκινήσει η μέτρηση. Στην οθόνη αναγράφεται πλέον η αγωγιμότητα του δείγματος.

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο μετρήσαμε και τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS).

7.3. Μέτρηση Σκληρότητας / Χλωριόντων (Cl) - Αυτόματος τιτλοδότης Orion

Προκειμένου να υπολογίσουμε την σκληρότητα και τα χλωριόντα στα προς μέτρηση δείγματα εξόδου της πιλοτικής μονάδας MBR χρησιμοποιήσαμε τον *αυτόματο τιτλοδότη Orion*. Αυτός αποτελείται από μία αυτόματη προχοίδα με την οποία γίνεται η εισαγωγή του πρότυπου διαλύματος. Η ροή του γίνεται στάγδην με σταθερό ρυθμό. Η συσκευή διαθέτει έναν ειδικό αισθητήρα που καταλήγει στην φιάλη όπου βρίσκεται το διάλυμα ώστε να γίνεται

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

έλεγχος της αλλαγής των τιμών pH του διαλύματος μετά την εισαγωγή πρότυπου διαλύματος. Η τιτλοδότηση συνεχίζεται αυτόματα μέχρι την μεταβολή του χρώματος του διαλύματος, λόγω του δείκτη. Με αυτό τον τρόπο προσδιορίζεται εύκολα και με ακρίβεια το τελικό σημείο και γνωρίζουμε πόση ποσότητα πρότυπου διαλύματος απαιτήθηκε. Ο αυτόματος τιτλοδότης αποτελείται από, όπως φαίνεται στην εικόνα 12 σε σειρά από δεξιά, το μηχανικό, το ηλεκτρονικό μέρος και τον εκτυπωτή. Το μηχανικό μέρος αποτελείται από την δοσιμετρική αντλία μεγάλης ακρίβειας, τον αναδευτήρα, το ηλεκτρόδιο redox, και το ακροφύσιο εκροής (dispenser), μέσω του οποίου γίνεται η προσθήκη του τιτλοδότη στο προς ανάλυση διάλυμα. Το ηλεκτρονικό μέρος (controller) ελέγχει την αντλία και δέχεται ηλεκτρικά σήματα. Το ηλεκτρόδιο REDOX (εικόνα 13) στέλνει κατά τη διάρκεια της μέτρησης ηλεκτρικό σήμα προς το ηλεκτρονικό μέρος της συσκευής το οποίο, ανάλογα με τις ρυθμίσεις που έχουν γίνει από το χρήστη, εκτυπώνει τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Ηλεκτρικό σήμα προς το ηλεκτρονικό μέρος της συσκευής δίνει και η μηχανική αντλία, όσον αφορά τον όγκο που προστίθεται στον αναλύτη. Ο συνδυασμός των δύο σημάτων δηλαδή του όγκου και του σήματος αποτυπώνονται στην οθόνη του controller και ταυτόχρονα στον ενσωματωμένο εκτυπωτή (printer), ο οποίος λειτουργεί με θερμικό χαρτί εκτύπωσης. Για την μέτρηση της σκληρότητας χρησιμοποιήσαμε ως τιτλοδότη *EDTA*.

Με τον ίδιο αυτόματο τιτλοδότη μπορεί να γίνει και μέτρηση των χλωριόντων. Ο τιτλοδότης σε αυτή την περίπτωση είναι νιτρικός άργυρος ($AgNO_3$) πλέον και κατά την διάρκεια της τιτλοδότησης θα αρχίσει να θολώνει το διάλυμα το οποίο επιβεβαιώνει την ύπαρξη χλωριόντων.

Τέλος, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ηλεκτροδίου REDOX (εικ.13) είναι:

- Μήκος Ηλεκτροδίου : 120 mm
- Διάμετρος Ηλεκτροδίου : 12 mm
- Υλικό σώματος : polysulfone
- Εύρος θερμοκρασίας : 0 - 80 C°
- Τύπος καλωδίου : 2 m coaxial
- Τύπος σύνδεσης : BNC

Παρακάτω απεικονίζονται ο αυτόματος τιτλοδότης Orion (εικ.12) και το ηλεκτρόδιο REDOX (εικ.13).



Εικόνα 12: Αυτόματος τιτλοδότης



Εικόνα 13: Ηλεκτρόδιο REDOX

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

7.4. Μέτρηση Αλκαλικότητας - Αυτόματος τιτλοδότης HANNA

Η αλκαλικότητα στα δείγματα εξόδου της πιλοτικής μονάδας MBR μετράται με τον αυτόματο τιτλοδότη HANNA. Ο τελευταίος λειτουργεί ως :

- ποτενσιομετρικός τιτλοδότης
- μετρητής pH
- μετρητής mV
- μετρητής ISE

Βασικό του χαρακτηριστικό είναι ότι έχει την δυνατότητα να τρέχει δύο μεθόδους τιτλοδότησης στην σειρά. Επίσης, υποστηρίζει έως 100 μεθόδους τιτλοδότησης. Διαθέτει δύο δοσομετρικές αντλίες με την ικανότητά να εκτελεί και ανάποδες τιτλοδοτήσεις. Στην εικόνα 14 απεικονίζεται ο αυτόματος τιτλοδότης HANNA. Δεξιά στην εικόνα 14 τοποθετείται το δείγμα προς εξέταση και αριστερά της συσκευής, στην ίδια εικόνα, βρίσκεται το υδροχλωρικό οξύ (HCL) με το οποίο γίνεται η εξουδετέρωση. Το δείγμα έρχεται σε επαφή με την γυάλινη σύριγγα εδάφους ακριβείας 25ml καθώς και με την προχοΐδα PTFE με σωλήνα πολουρεθάνης. Το γράφημα της τιτλοδότησης εμφανίζεται στην οθόνη και αποθηκεύεται ως bitmap.



Εικόνα 14: Αυτόματος τιτλοδότης HANNA

7.5. Μέτρηση κοκκομετρίας - Mastersizer

Κοκκομετρία είναι η μέτρηση των διαστάσεων των κόκκων ενός μίγματος και η μελέτη της κατανομής τους στη μάζα του υλικού μέσα στο οποίο περιέχονται.

Το Mastersizer (εικ.15) είναι μια συσκευή κοκκομετρικής ανάλυσης που μετράει το μέγεθος και την κατανομή των σωματιδίων. Με το Mastersizer πραγματοποιήθηκε κοκκομέτρηση της βιομάζας της πιλοτικής μονάδας MBR. Λειτουργεί με laser με μονοχρωματική ακτινοβολία και το σκεδαζόμενο φως που περνά από ένα δείγμα παρέχει σημαντικές πληροφορίες.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Mastersizer είναι τα εξής:

- Εύρος μέτρησης : 0,3 μm -300 μm
- Αρχή σκέδασης : Σκέδαση Mie
- Χρόνος Ανάλυσης : < 4 min

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

- Πηγή φωτός : LaserHeNe (632,8nm μήκος κύματος)
- Ακρίβεια : $\pm 2\%$ (στο Dv50 με τα Malvern reference standards)

Παρακάτω φαίνεται η συσκευή MASTERSIZER που χρησιμοποιήσαμε.



Εικόνα 15: Mastersizer Micro Malvern

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

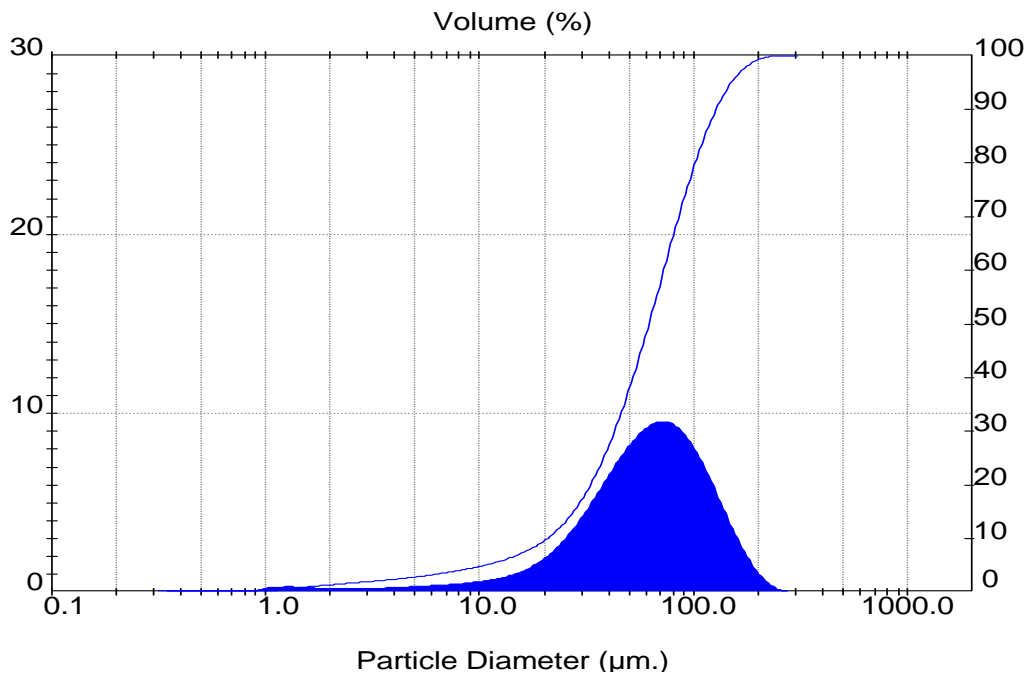
Τα αποτελέσματα φαίνονται στον αναλυτικό πίνακα με στοιχεία μιας μέτρησης στο Mastersizer (σχ.5) και το αντίστοιχο διάγραμμα μιας μέτρησης (σχ.6).

Result: Analysis Table

ID:	Run No: 1	Measured: 16/12/2013 3:48ii
File: BIOMAZ1	Rec. No: 1	Analy sed: 16/12/2013 3:48ii
Path: C:\SIZERMU\DATA\		Source: Analysed
Sampler: Internal	Analysis: Poly disperse	Measured Beam Obscuration: 19.6 %
Presentation: 4GHD		Residual: 1.392 %
Modif ications: None		
Conc. = 0.1142 %Vol	Density = 1.000 g/cm ³	S.S.A.= 0.2239 m ² /g
Distribution: Volume	D[4, 3] = 68.85 um	D[3, 2] = 26.80 um
D(v, 0.1) = 20.67 um	D(v, 0.5) = 61.58 um	D(v, 0.9) = 127.11 um
Span = 1.728E+00	Uniformity = 5.354E-01	

Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%
0.31	0.00	1.95	1.37	12.21	5.71	76.32	63.30
0.36	0.00	2.28	1.59	14.22	6.57	88.91	72.57
0.42	0.00	2.65	1.80	16.57	7.68	103.58	80.97
0.49	0.00	3.09	2.01	19.31	9.17	120.67	87.99
0.58	0.00	3.60	2.24	22.49	11.20	140.58	93.29
0.67	0.00	4.19	2.51	26.20	13.99	163.77	96.83
0.78	0.00	4.88	2.81	30.53	17.74	190.80	98.84
0.91	0.05	5.69	3.15	35.56	22.64	222.28	99.74
1.06	0.26	6.63	3.53	41.43	28.78	258.95	99.99
1.24	0.55	7.72	3.96	48.27	36.15	301.68	100.00
1.44	0.86	9.00	4.45	56.23	44.58		
1.68	1.14	10.48	5.03	65.51	53.79		

Σχήμα 5. Αναλυτικός πίνακας με τα στοιχεία μιας μέτρησης στο Mastersizer



Σχήμα 6. Διάγραμμα μεγέθους των σωματιδίων κατά την διάρκεια μιας μέτρησης

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Για την μέτρηση του μεγέθους των σωματιδίων χρησιμοποιείται μια συσκευή Mastersizer, η οποία βασίζεται στην σκέδαση στατικού φωτός λέιζερ. Το λογισμικό Mastersizer δημιουργεί μια κατανομή μεγέθους όγκου των συσσωματώσεων. Προκειμένου να περιγράψει το μέσο μέγεθος σωματιδίων, υπολογίζεται η διάμετρος του μέσου όγκου η οποία είναι επίσης γνωστή ως η μέση διάμετρος μάζας.

Θα πρέπει το δείγμα που χρησιμοποιείται να είναι φρέσκο και να συλλέγεται απευθείας από το σύστημα βιοαντιδραστήρα MBR. Για την ανάλυση, καθορίζεται το επίπεδο σκίασης σε 10-30 % στο λογισμικό του Mastersizer για τον έλεγχο της συγκέντρωσης λάσπης .

Το μέγεθος των σωματιδίων ή των συσσωματώσεων αναμένεται να ασκήσει κάποια άμεση ή έμμεση επίδραση στις ιδιότητες της λάσπης. Ο Zhang et al. (1997) πρότεινε ότι η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων στις συσσωματώσεις/κροκιδώσεις του MBR ήταν μικρότερη, ή, στενότερη από αυτή που παρατηρείται στα συμβατικά συστήματα ενεργού ιλύος (CAS), με σημαντικά μικρότερες τιμές μέσου μεγέθους. Κατά τη διαδικασία MBR, η μέση διάμετρος των κροκιδώσεων κυμαίνονταν από 4 έως 40 μm , ενώ κυμαίνεται από 50 έως 400 μm για το σύστημα CAS (Conventional Activated Sludge). Το μικρότερο μέγεθος σωματιδίων στο MBR προέκυψε από τον υψηλό αερισμό και την στροβιλώδη ροή η οποία μπορεί να σπάει τις συσσωματώσεις. Ωστόσο, η δύναμη διάτμησης που προκύπτει από την άντληση κατά τη διάρκεια της διήθησης στην μέθοδο MBR οδηγεί επίσης στη διάλυση των βιολογικών κροκιδώσεων και τη δημιουργία λεπτών κολλοειδών σωματιδίων.

Στα δύο παραπάνω σχήματα αποτυπώνονται όλες οι πληροφορίες που μας δίνει η μέτρηση βιομάζας στο Mastersizer. Όπως φαίνεται, στο σχήμα 5 αντλούμε όλες τις πληροφορίες που χρειαζόμαστε αναφορικά με την μέτρηση. Η μέθοδος ανάλυσης ήταν η 4GHD και επιλέχθηκε με βάση τον δείκτη διάθλασης του διασπαρτικού, το οποίο είναι το νερό (με δείκτη διάθλασης 1,33). Ο όρος residual είναι μια στατιστική τιμή η οποία πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο 0 γίνεται, ωστόσο τα δείγματα βιομάζας δεν ήταν σταθερά οπότε το residual κυμαινόταν σε τιμές πάνω από 1. Μια άλλη χρήσιμη πληροφορία που μας δίνει το σχήμα 5 είναι το ειδικό εμβαδόν επιφανείας (Specific Surface Area - SSA) , που είναι το συνολικό εμβαδόν επιφανείας του υλικού ανά μονάδα μάζας. Οι τιμές που ουσιαστικά δείχνουν την πορεία της κοκκομετρίας της βιομάζας είναι οι $D(v,0.1)$, που δηλώνει ότι το 10% των σωματιδίων έχει μέγεθος μικρότερο από το νούμερο που αναγράφεται δίπλα. Αντίστοιχα, η δεύτερη τιμή $D(v,0.5)$ δηλώνει ότι το 50% των σωματιδίων έχει μέγεθος μικρότερο από το νούμερο που αναγράφεται δίπλα και η τιμή $D(v,0.9)$ ισχύει για το 90%. Το μέγεθος των κόκκων μετράται σε μm δηλαδή σε μικρόμετρα ($1\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$). Τέλος, στο σχήμα 6 φαίνεται και σχηματικά η κοκκομέτρηση, δίνοντας βάση στον αριθμό των μεγίστων που δημιουργούνται.

7.6. Χαρακτηρισμός μικροοργανισμών - Οπτικό μικροσκόπιο

Η εικόνα μικροσκοπίου μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες της ενεργούς ιλύος. Αυτή η πληροφορία έχει σχέση με την ποιοτική εκτίμηση της ιλύος. Η παρατήρηση με μικροσκόπιο δεν παρέχει καμία άμεση πληροφορία σχετικά με τη δραστηριότητα της βιομάζας. Η μικροσκοπική εξέταση θα πρέπει να διεξάγεται με ιλύ που είναι όσο το δυνατόν πιο φρέσκια. Δείγμα που δεν μπορεί να αναλυθεί άμεσα πρέπει να διατηρείται δροσερό (4-7 °C). Το δείγμα δεν πρέπει να καταψύχεται καθώς μπορεί να επηρεάσει την δομή των συσσωματώσεων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ιδιότητες της ιλύος αλλάζουν βαθμιαία κατά την αποθήκευση. Οι αλλαγές στα χαρακτηριστικά της ιλύος σχετίζονται με την δομή, τις διαστάσεις και σύνθεση των κροκιδών, την παρουσία νηματοειδών μικροοργανισμών και βακτηρίων, τα οποία είναι συνδεδεμένα με τις κροκίδες ή ως ελεύθερα κύτταρα μεταξύ των κροκιδών.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Προκειμένου να παρατηρήσουμε μικροοργανισμούς στα δείγματα εκροής που εξετάσαμε καθώς και σε δείγματα βιομάζας του συστήματος MBR, χρησιμοποιήσαμε οπτικό μικροσκόπιο. Τα βήματα που ακολουθήσαμε είναι τα εξής :

- Τοποθετούμε το δείγμα πάνω σε αντικειμενοφόρο πλάκα κάτω από τον αντικειμενικό φακό.
- Παρατηρούμε το δείγμα από τον προσοφθάλμιο φακό.

Τα δείγματα ήταν νωπά και μελετήθηκαν σε μεγεθύνσεις 100x και 400x. Δεν χρησιμοποιήθηκε μεγέθυνση 1000x, διότι τα δείγματα δεν είχαν υποστεί χρώση.

Στο οπτικό μικροσκόπιο (εικ.16) παρατηρήθηκαν δείγματα βιομάζας και εξόδου της πιλοτικής μονάδας MBR, τα οποία αργότερα εξετάστηκαν σε καλλιέργειες. Το οπτικό μικροσκόπιο λειτουργεί με τρεις αντικειμενικούς φακούς δυνάμεως 10x , 40x και 100x (εικ.17, 18, 19) με προσοφθάλμιο φακό ισχύος 10x (εικ.20), μεγεθύνοντας έτσι το δείγμα 100, 400 και 1000 φορές αντίστοιχα.

Παρακάτω απεικονίζονται με την σειρά το οπτικό μικροσκόπιο, οι τρεις αντικειμενικοί φακοί (10x , 40x , 100x) και ο προσοφθάλμιος φακός (10x).



Εικόνα 16: Οπτικό μικροσκόπιο



Εικόνα 17: Αντικειμενικός φακός δυνάμεως 10x



Εικόνα 18 : Αντικειμενικός φακός δυνάμεως 40x

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.



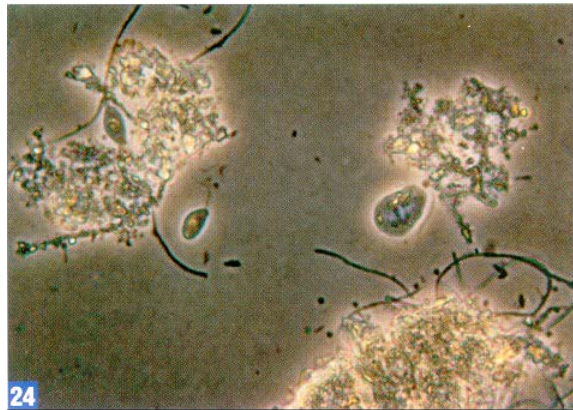
Εικόνα 19: Αντικειμενικός φακός δυνάμεως 100x



Εικόνα 20: Προσοφθάλμιος φακός ισχύος 10x

Στις εικόνες 21, 22, 23 και 24 φαίνονται διάφοροι μικροοργανισμοί που βρέθηκαν σε δείγματα ιλύος σε μονάδα επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, σε μεγέθυνση 800x.

- Μαστιγοφόρα πρωτόζωα



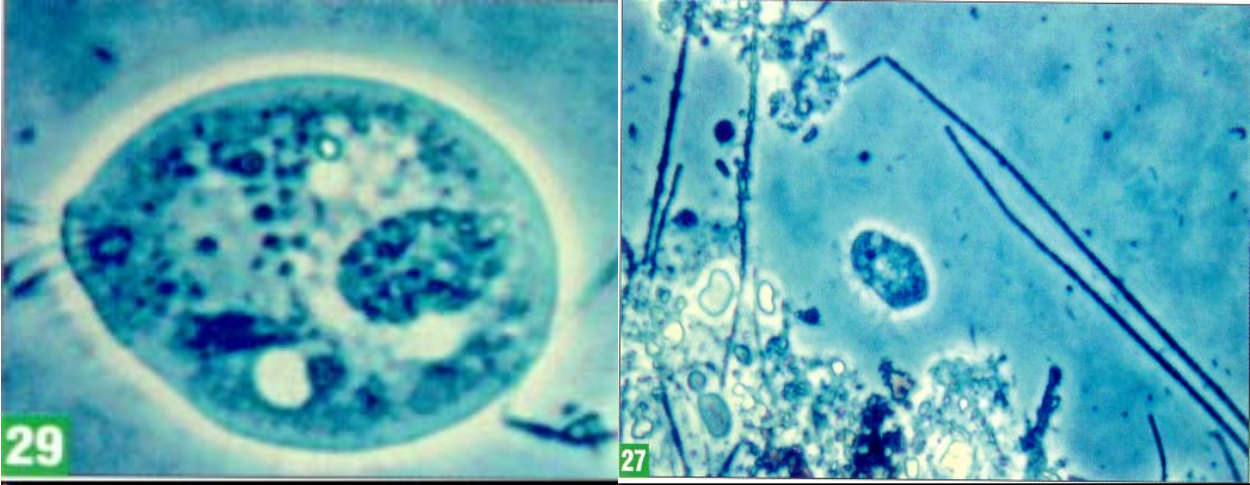
Εικόνα 21: Τρία μαστιγοφόρα πρωτόζωα ανάμεσα σε κροκιδώματα και σε μερικά νηματοειδή βακτήρια



Εικόνα 22: Μαστιγοφόρο πρωτόζωο ανάμεσα σε μία συστάδα από βακτήρια και νηματοειδή βακτήρια

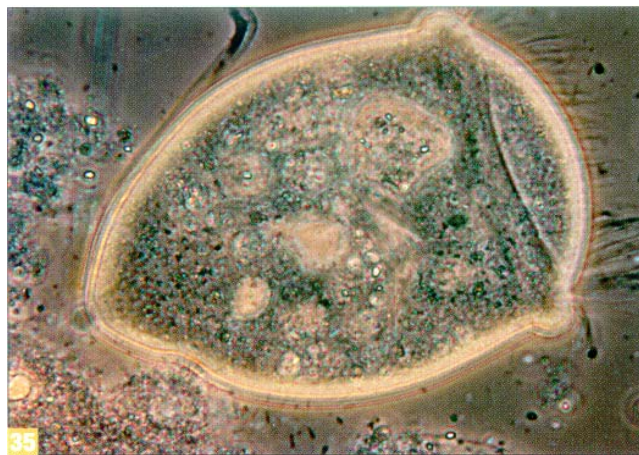
Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

- Κινητά βλεφαριδοφόρα πρωτόζωα



Εικόνα 23: Κινητά βλεφαριδοφόρα πρωτόζωα

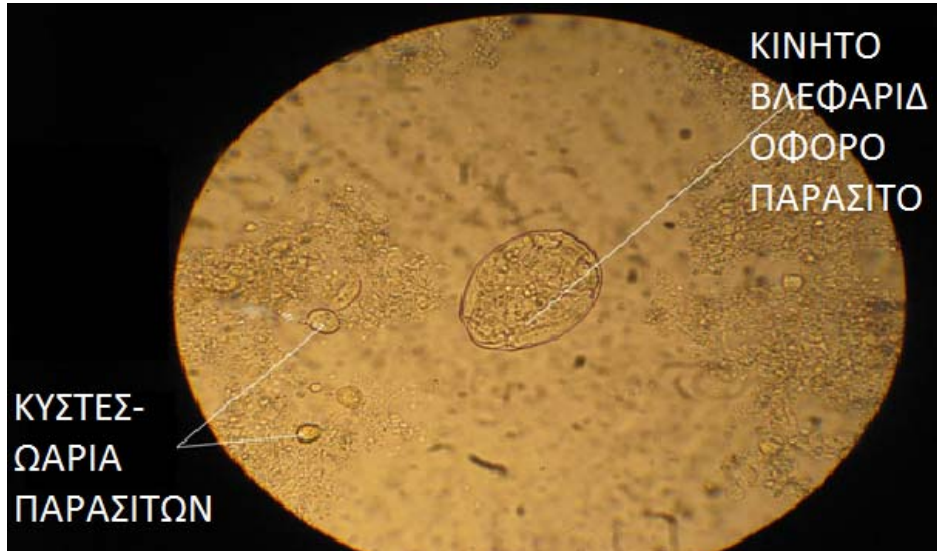
- Εδραία βλεφαριδοφόρα πρωτόζωα



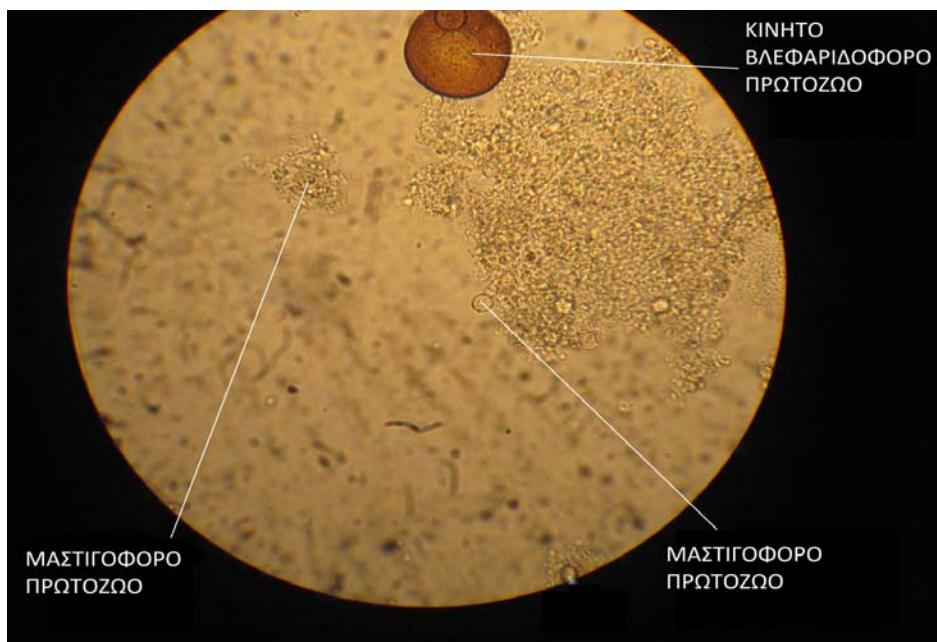
Εικόνα 24: Εδραίο βλεφαριδοφόρο πρωτόζωο

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Στις εικόνες 25, 26, 27, σε μεγέθυνση 400x, βλέπουμε διάφορους μικροοργανισμούς από δείγματα βιομάζας του συστήματος MBR που παρατηρήσαμε στο οπτικό μικροσκόπιο σε μικροβιολογικό εργαστήριο.

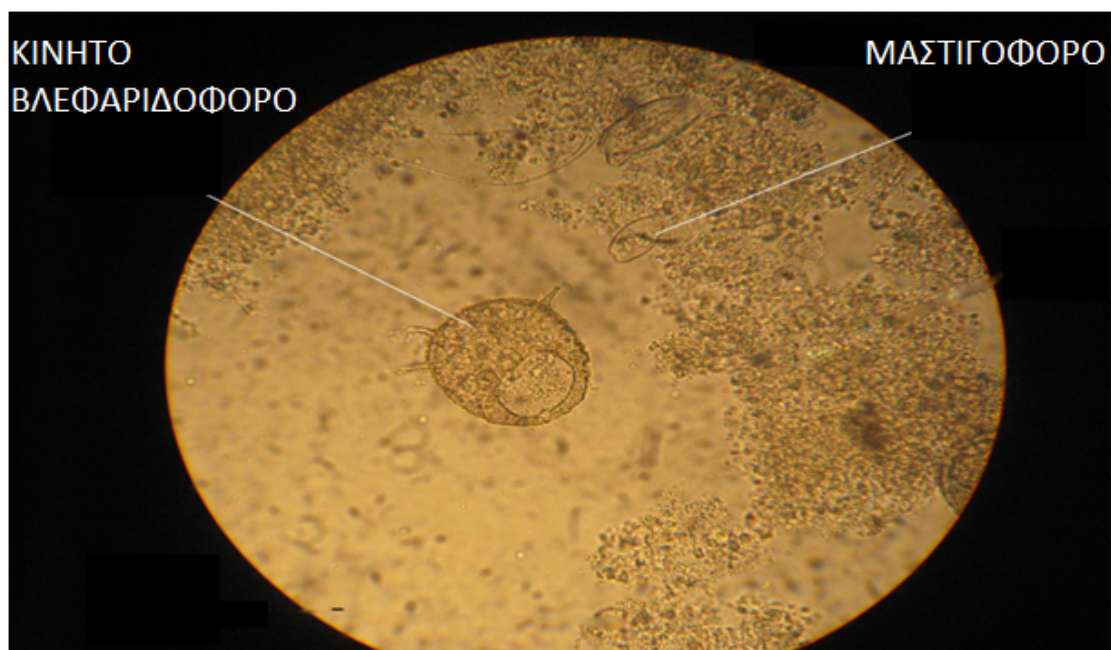


Εικόνα 25: Φωτογραφία δείγματος βιομάζας συστήματος MBR από οπτικό μικροσκόπιο σε μεγέθυνση 400x



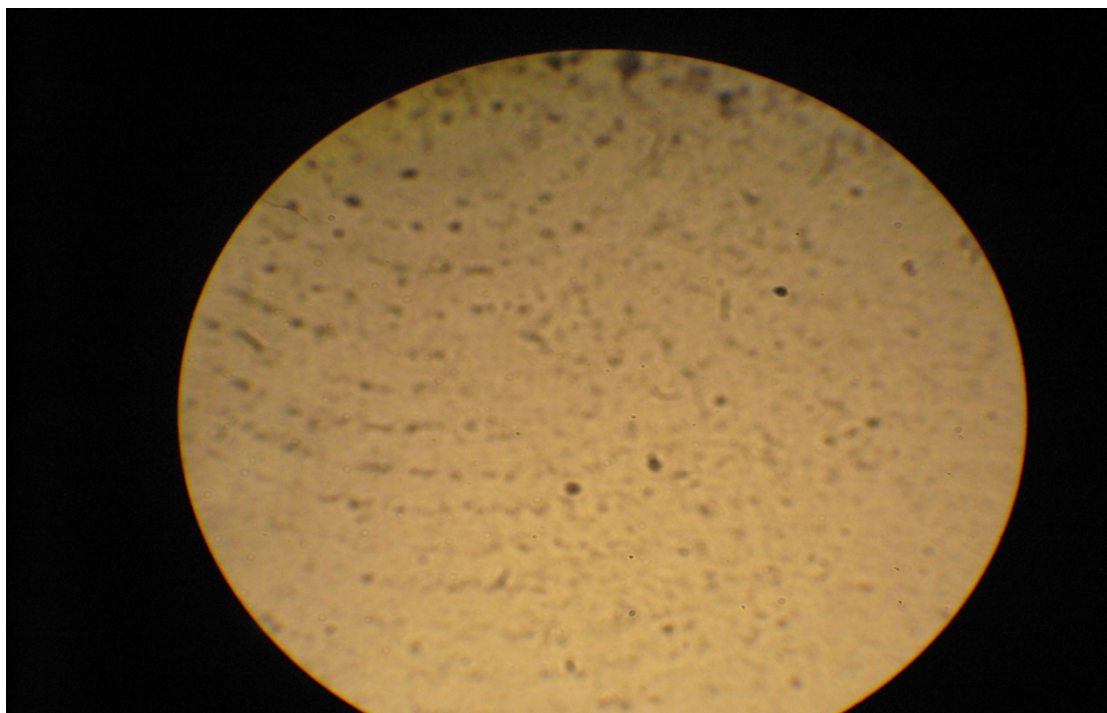
Εικόνα 26: Φωτογραφία δείγματος βιομάζας συστήματος MBR από οπτικό μικροσκόπιο σε μεγέθυνση 400x

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.



Εικόνα 27: Φωτογραφία δείγματος βιομάζας συστήματος MBR από οπτικό μικροσκόπιο σε μεγέθυνση 400x

Τέλος, στην εικόνα 28, φαίνεται ότι το δείγμα εξόδου μεμβρανών του συστήματος MBR που όπως παρατηρήσαμε στο οπτικό μικροσκόπιο δεν περιέχει κάποιο μικροοργανισμό.



Εικόνα 28: Φωτογραφία δείγματος εκροής συστήματος MBR από οπτικό μικροσκόπιο σε μεγέθυνση 400

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

7.7. Καλλιέργειες - Επωαστικός κλίβανος

Οι μικροοργανισμοί μπορούν να καλλιεργηθούν είτε με ποσοτική είτε με ποιοτική καλλιέργεια :

- *Ποσοτική ανάλυση:* Τα βακτήρια δεν μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια με την μικροσκοπική εξέταση, εκτός αν υπάρχουν τουλάχιστον 100 εκατομμύρια (10^8) κύτταρα ανά ml. Τα φυσικά σώματα νερού σπάνια περιέχουν πάνω από 10^5 κύτταρα ανά ml. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η μέτρηση σε στερεά υλικά. Ένας συγκεκριμένος και μετρημένος όγκος νερού αραιώνεται διαδοχικά και στην συνέχεια ένα ml από κάθε σωληνάριο αραιώσεως τοποθετείται σε τρυβλία θρεπτικού άγαρ και μετρούνται οι αποικίες που αναπτύσσονται. Εφόσον μετρούνται μόνο κύτταρα που μπορούν να σχηματίσουν αποικίες, η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και ως " μέτρηση βιώσιμων μικροβίων".
- *Ποιοτική ανάλυση:* Οι μέθοδοι τοποθέτησεως σε τρυβλία και καλλιέργειες εμπλουτισμού χρησιμοποιούνται για την λήψη μιας εικόνας του βακτηριακού πληθυσμού του δείγματος. Παρόλο που οι μέθοδοι αυτοί είναι ικανοποιητικές για γενικές βιολογικές μελέτες, είναι ανεπαρκείς για τον σκοπό της υγειονομικής αναλύσεως του νερού.

Ο επωαστικός κλίβανος, στον οποίο επωάστηκαν τα τρυβλία των καλλιεργειών στους 37°C φαίνεται στην εικόνα 29.



Εικόνα 29: Επωαστικός κλίβανος

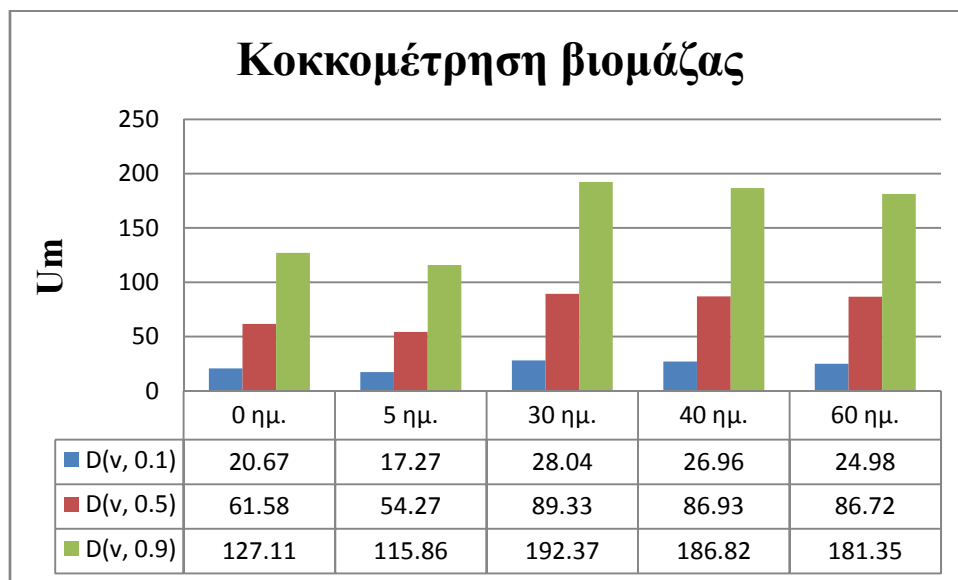
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Αποτελέσματα - Συζήτηση

8.1. Παρακολούθηση της κοκκομετρίας, του ειδικού εμβαδού επιφανείας (Specific Surface Area - SSA) και του MLSS της βιομάζας κατά την λειτουργία του συστήματος MBR

8.1.1. Παρακολούθηση της κοκκομετρίας της βιομάζας

Παράλληλα με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα εκροής συστήματος MBR, δείγματα βιομάζας κοκκομετρήθηκαν στο Mastersizer, όπως προαναφέρθηκε. Χρησιμοποιήθηκε φρέσκο δείγμα ιλύος που συλλέχτηκε απευθείας από το σύστημα βιοαντιδραστήρα. Το μέγεθος των σωματιδίων και η κατανομή μεγέθους μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ως αποτέλεσμα των διαφορών στο περιβάλλον στην εγκατάσταση επεξεργασίας.

Στο σχήμα 7 απεικονίζονται οι τιμές που λήφθηκαν από το Mastersizer και αφορούν το μέγεθος των σωματιδίων δείχνοντας την πορεία της κοκκομετρίας της βιομάζας. Συνολικά πέντε μετρήσεις έγιναν μέσα σε διάστημα 60 ημερών. Υπάρχουν τρεις τιμές για κάθε μέτρηση οι $[D(v, 0.1)]$, $[D(v, 0.5)]$ και $[D(v, 0.9)]$ οι οποίες, όπως προείπαμε, αναφέρονται σε ποσοστό μεγέθους σωματιδίων το οποίο μετράται σε μm . Από το διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι οι τιμές της κοκκομετρίας τείνουν να έχουν μια σταθερότητα στην πάροδο των 60 ημερών.



Σχήμα 7. Παρακολούθηση της κοκκομετρίας της βιομάζας σε διάστημα 60 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

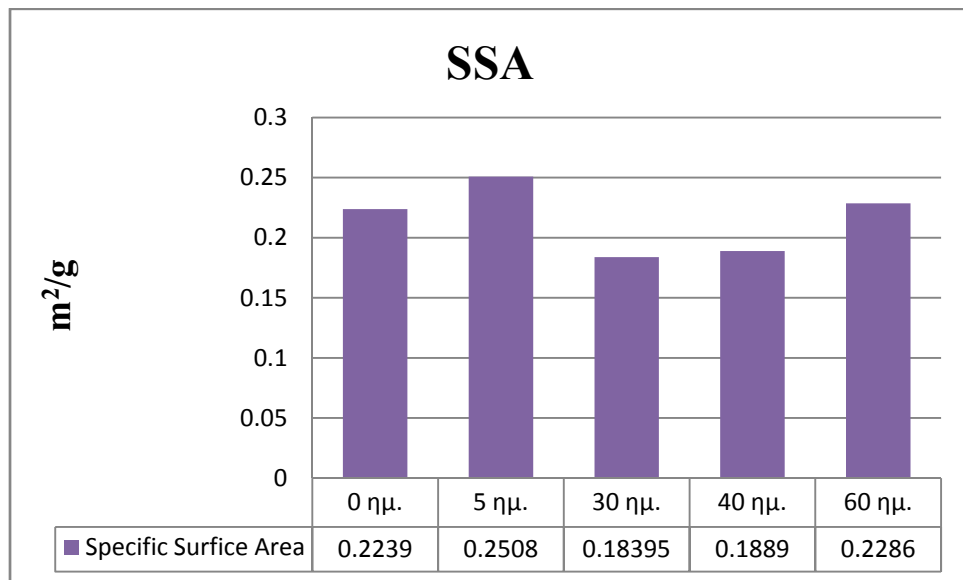
Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

8.1.2. Παρακολούθηση του ειδικού εμβαδού επιφανείας (Specific Surface Area - SSA)

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων στο Mastersizer, ένα άλλο μέγεθος που μας χρησιμεύει για να προσδιορίσουμε την ποιότητα της κοκκομετρίας της βιομάζας είναι το ειδικό εμβαδόν επιφανείας, το οποίο βρίσκεται και αυτό στον αναλυτικό πίνακα που δίνει το Mastersizer.

Η ειδική έκταση επιφανείας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει τον τύπο και τις ιδιότητες του υλικού (π.χ. χώμα). Ορίζεται είτε με το εμβαδόν επιφανείας διαιρούμενο με τη μάζα (με μονάδες μέτρησης : m^2/kg), είτε με την επιφάνεια διαιρούμενη με τον όγκο (μονάδες μέτρησης: m^2/m^3 ή m^{-1}). Έχει ιδιαίτερη σημασία για την προσρόφηση, την ετερογενή κατάλυση και τις αντιδράσεις στις επιφάνειες.

Παρακάτω, στο σχήμα 8, παρουσιάζεται διαγραμματικά η πορεία του SSA κατά την διάρκεια των 60 ημερών και αφορά τα ίδια βιομάζα. Γενικά παρατηρούμε μια σταθερή διακύμανση στις τιμές του SSA κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

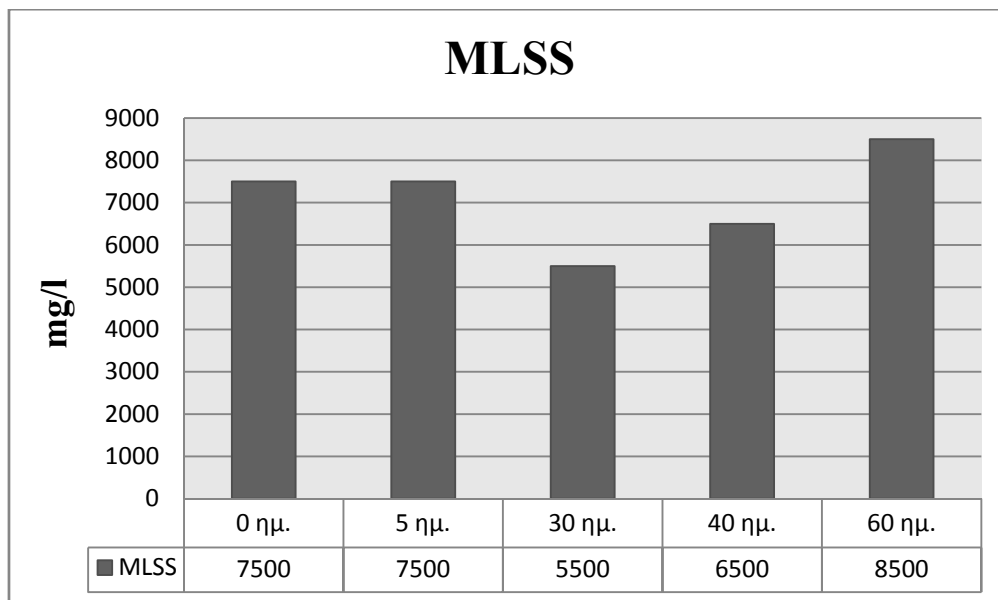


Σχήμα 8. Παρακολούθηση του ειδικού εμβαδού επιφανείας (Specific Surface Area - SSA) σε διάστημα 60 ημερών

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

8.1.3. Παρακολούθηση του MLSS της βιομάζας

Το μικτό υγρό αιωρούμενων στερεών ή MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids) είναι, ουσιαστικά, η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών σε μια δεξαμενή αερισμού κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ενεργού ιλύος, η οποία λαμβάνει χώρα κατά την επεξεργασία αποβλήτων. Το MLSS μετριέται κυρίως σε χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο (mg/L). Το μικτό υγρό είναι ένας συνδυασμός ρευστών ή ακατέργαστων λυμάτων και ενεργούς ιλύος εντός της δεξαμενής. Το MLSS αποτελείται κυρίως από μικροοργανισμούς και μη βιοδιασπώμενα αιωρούμενα σωματίδια. Το MLSS εξασφαλίζει ότι υπάρχει επαρκής ποσότητα ενεργούς βιομάζας για να καταναλώσει τους οργανικούς ρύπους ανά πάσα στιγμή. Ειδικότερα, όσο περισσότερο η βιομάζα καταναλώνει ρύπους τόσο χαμηλότερη είναι η βιοχημική απαίτηση σε οξυγόνο (BOD). Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μετρητής της αποτελεσματικότητας της επεξεργασίας αποβλήτων. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η πορεία των μικτών υγρών αιωρούμενων στερεών (MLSS). Παρατηρούμε ότι το MLSS τείνει να έχει μια σταθερή πορεία με την πάροδο του χρόνου, γεγονός που δηλώνει μια καλή κοκκομετρία καθ' όλη την διάρκεια του πειραματικού κύκλου.



Σχήμα 9. Παρακολούθηση της κοκκομετρίας της βιομάζας σε διάστημα 60 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

8.2. Παρακολούθηση αναλυτικών παραμέτρων στην εκροή συστήματος MBR τεσσάρων διαφορετικών μεμβρανών (40 ημέρες λειτουργίας)

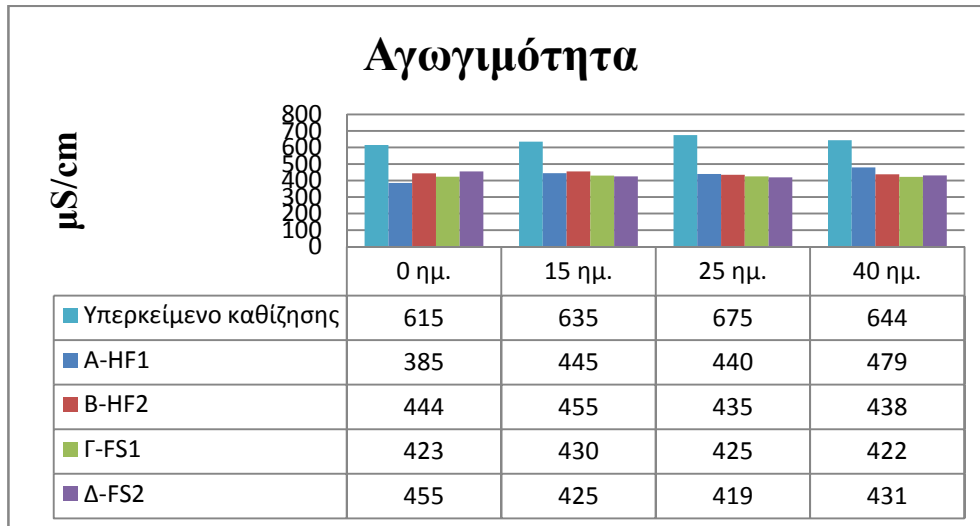
8.2.1. Παρακολούθηση Αγωγιμότητας

Με σκοπό να γίνει κατανοητό το πόσο αποδοτικές είναι οι προς εξέταση μεμβράνες, ενδεικτικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο πάνω σε δείγματα υγρών αποβλήτων, τα οποία είχαν συλλεχτεί από την εκροή της πιλοτικής μονάδας MBR.

Η αγωγιμότητα (μονάδα μέτρησης: $\mu\text{S}/\text{cm}$, μικρό Siemens ανά εκατοστό) είναι το πρώτο μέγεθος που μετρήθηκε. Όπως προαναφέρθηκε, η αγωγιμότητα μετρήθηκε με το

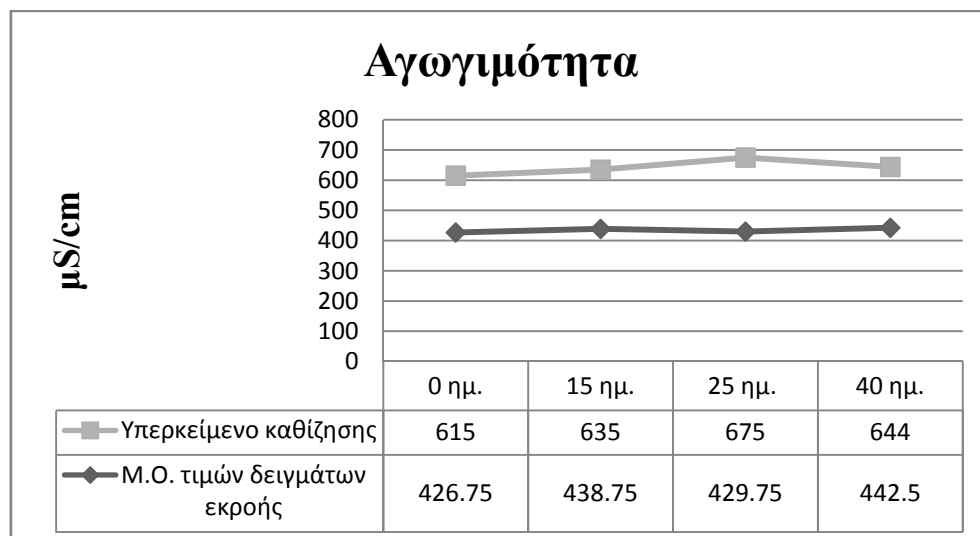
Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

αγωγιμόμετρο. Στο παρακάτω διάγραμμα (σχ.10) παρουσιάζουμε τις τιμές αγωγιμότητας σε δείγματα εξόδου των τεσσάρων μεμβρανών (Α, Β, Γ, Δ) που μελετήσαμε στην διάρκεια των 40 ημερών. Επίσης, στο διαγράμμα αναγράφεται και η τιμή της αγωγιμότητας για το υπερκείμενο υγρό καθίζησης 2 ωρών. Παρατηρούμε ότι οι τιμές αγωγιμότητας των δειγμάτων εξόδου είναι μικρότερες σε σχέση με τις τιμές του υπερκείμενου υγρού.



Σχήμα 10. Παρακολούθηση Αγωγιμότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

Στο σχήμα 11 απεικονίζεται διαγραμματικά ο μέσος όρος των τιμών της αγωγιμότητας σε κάθε ημέρα μέτρησης σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του υπερκείμενου υγρού. Είναι εμφανής η σταθερότητα στις τιμές της αγωγιμότητας των δειγμάτων εξόδου κατά την διάρκεια των μετρήσεων για 40 ημέρες.

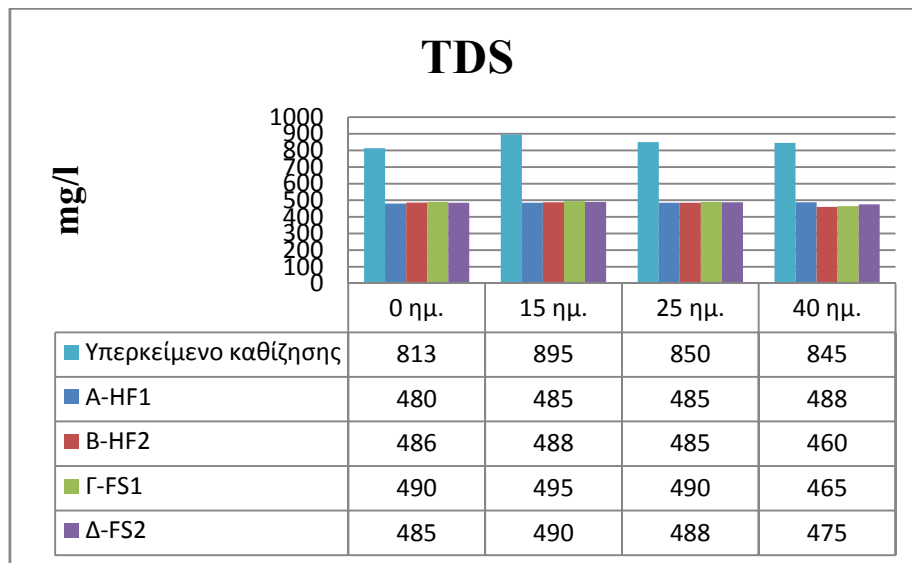


Σχήμα 11. Παρακολούθηση του μέσου όρου της Αγωγιμότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

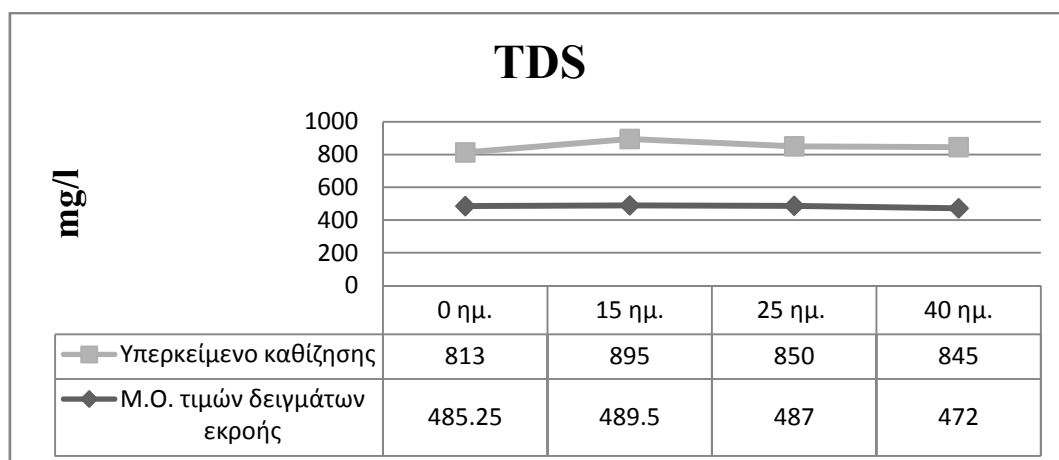
8.2.2. Παρακολούθηση Ολικών διαλυμένων στερεών (TDS)

Στα δείγματα εκροής μετρήθηκαν τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), όπως και η αγωγιμότητα, με το αγωγιμόμετρο και έχουν μονάδα μέτρησης $\mu\text{S}/\text{cm}$ (μικρό Siemens ανά εκατοστό). Τα ολικά διαλυμένα στερεά ουσιαστικά δηλώνουν την συγκέντρωση μετάλλων, αλάτων, κατιόντων ή ανιόντων και οργανικής ύλης διαλυμένα στο διάλυμα καθώς επίσης και τα αιωρούμενα ή όχι σωματίδια που δεν έχουν διαλυθεί. Παρακάτω, στο σχήμα 12, παρουσιάζεται το διάγραμμα με τις τιμές των TDS στα δείγματα εκροής της πιλοτικής μονάδας MBR και του υπερκείμενου υγρού κατά την διάρκεια των μετρήσεων για 40 ημέρες. Παρατηρούμε ότι οι τιμές των TDS των δειγμάτων εξόδου είναι μικρότερες σε σχέση με τις τιμές TDS του υπερκείμενου υγρού.



Σχήμα 12. Παρακολούθηση TDS στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

Στο σχήμα 13 απεικονίζεται διαγραμματικά ο μέσος όρος των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών σε κάθε ημέρα μέτρησης σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του υπερκείμενου υγρού. Είναι εμφανής η σταθερότητα στις τιμές των TDS των δειγμάτων εξόδου κατά την διάρκεια των μετρήσεων για 40 ημέρες.

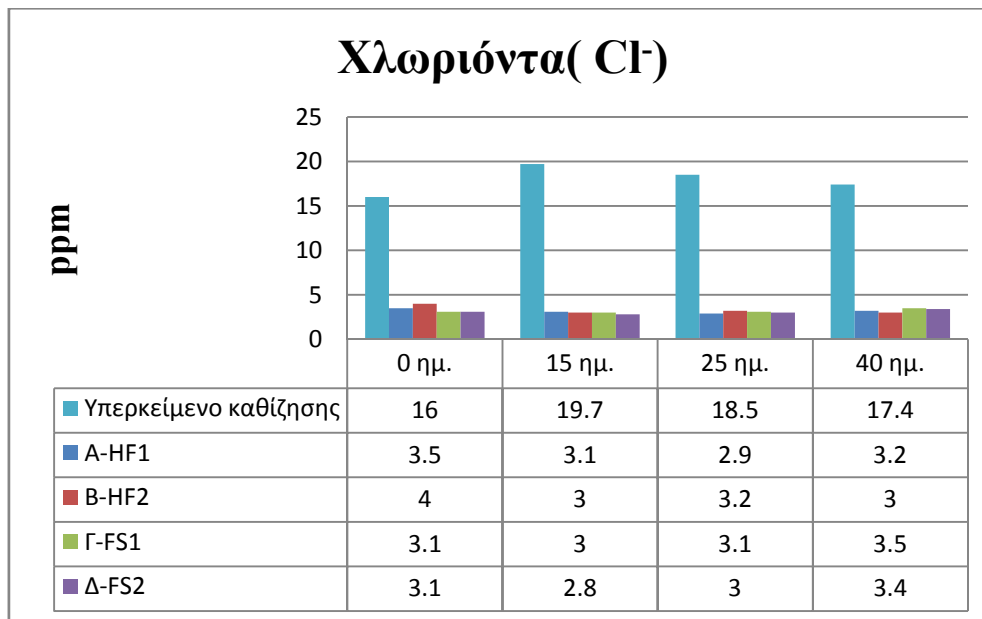


Σχήμα 13. Παρακολούθηση του μέσου όρου των TDS στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

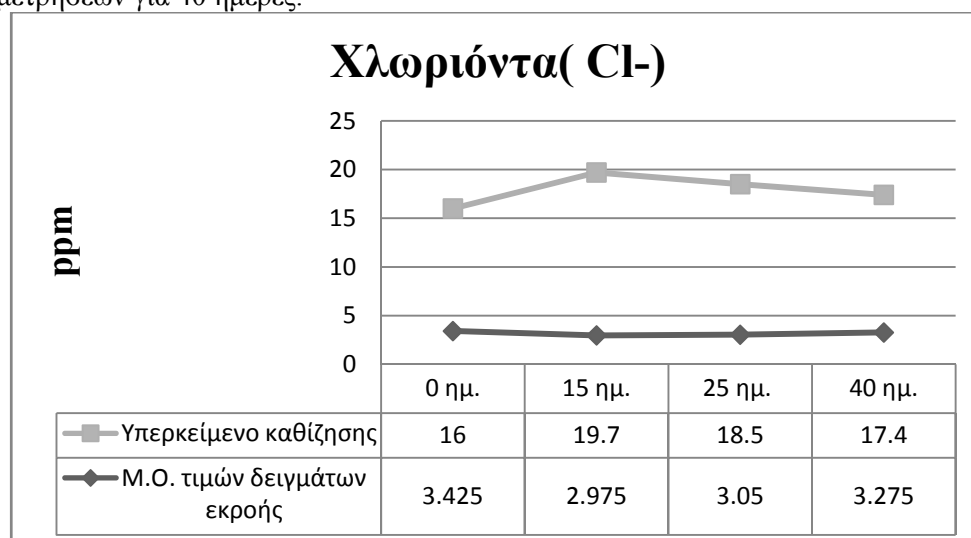
8.2.3. Παρακολούθηση Χλωριόντων

Τα χλωριόντα (Cl⁻) μετρήθηκαν με τον αυτόματο τιτλοδότη Orion. Μετρούνται σε ppm και δηλώνουν την συγκέντρωση χλωρίου στο νερό. Στο σχήμα 14 φαίνεται το διάγραμμα με τις τιμές των χλωριόντων που μετρήθηκαν στα δείγματα εκροής της πιλοτικής μονάδας MBR καθώς και σε υπερκείμενο υγρό καθίζησης, στην διάρκεια των 40 ημερών. Παρατηρούμε ότι οι τιμές των χλωριόντων των δειγμάτων εξόδου είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με τις τιμές του υπερκείμενου υγρού.



Σχήμα 14. Παρακολούθηση Χλωριόντων στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

Στο σχήμα 15 απεικονίζεται διαγραμματικά ο μέσος όρος των τιμών των χλωριόντων σε κάθε ημέρα μέτρησης σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του υπερκείμενου υγρού. Είναι εμφανής η σταθερότητα στις τιμές των χλωριόντων των δειγμάτων εξόδου κατά την διάρκεια των μετρήσεων για 40 ημέρες.

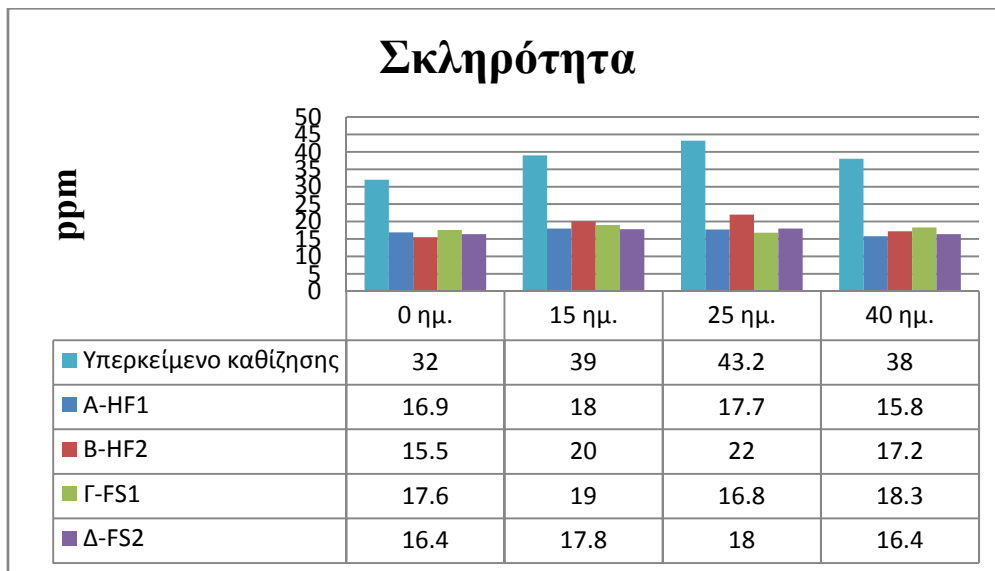


Σχήμα 15. Παρακολούθηση του μέσου όρου των Χλωριόντων στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

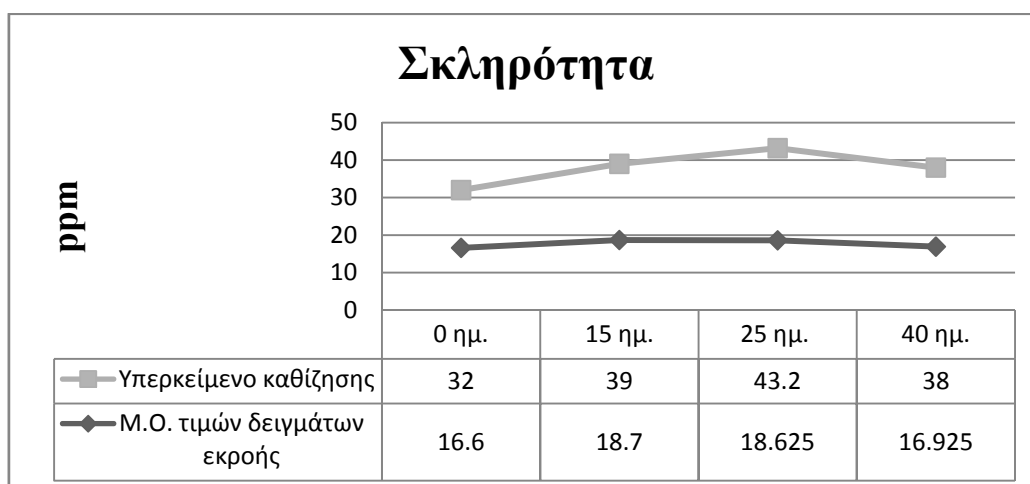
8.2.4. Παρακολούθηση Σκληρότητας

Η σκληρότητα μετρήθηκε με τον αυτόματο τιτλοδότη Orion. Το μέγεθος αυτό μετράται σε ppm και δηλώνει την συγκέντρωση κατιόντων ασβεστίου (Ca^{+}) και μαγνησίου (Mg^{+}) που υπάρχουν στο νερό. Στο σχήμα 16 παρουσιάζεται το διάγραμμα με τις τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων εκροής και του υπερκείμενου υγρού στην διάρκεια των 40 ημερών. Παρατηρούμε ότι οι τιμές σκληρότητας των δειγμάτων εξόδου είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με τις τιμές του υπερκείμενου υγρού.



Σχήμα 16. Παρακολούθηση Σκληρότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

Στο σχήμα 17 απεικονίζεται διαγραμματικά ο μέσος όρος των τιμών της σκληρότητας σε κάθε ημέρα μέτρησης σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του υπερκείμενου υγρού. Είναι εμφανής η σταθερότητα στις τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων εξόδου κατά την διάρκεια των μετρήσεων για 40 ημέρες.

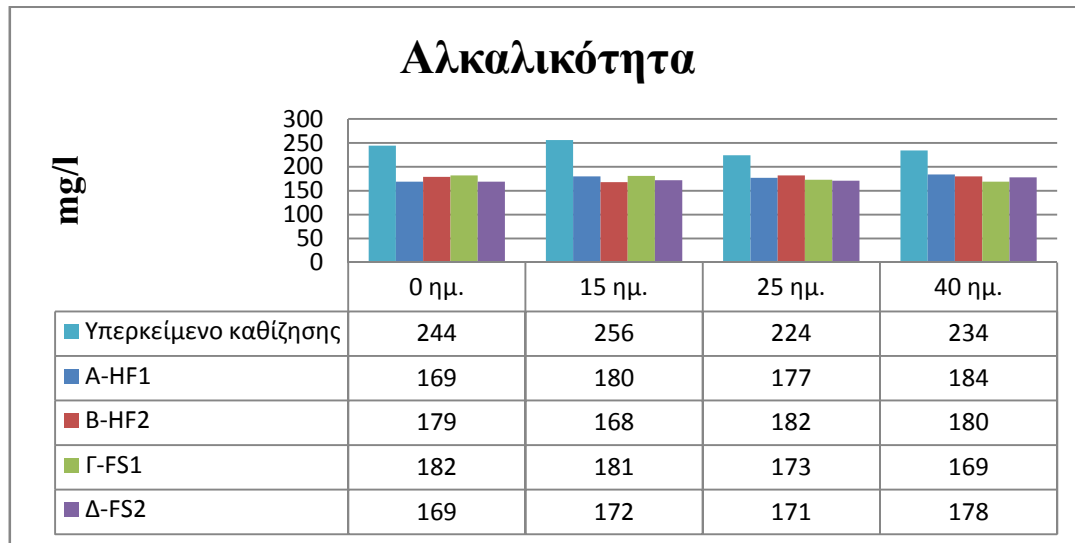


Σχήμα 17. Παρακολούθηση του μέσου όρου της Σκληρότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

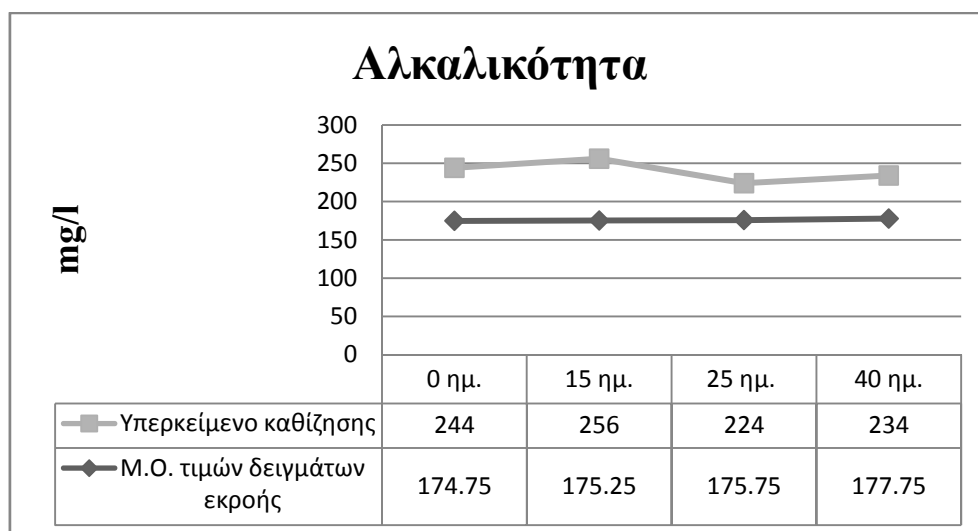
8.2.5. Παρακολούθηση Αλκαλικότητας

Η αλκαλικότητα μετρήθηκε με αυτόματο τιτλοδότη HANNA. Είναι ένα μέτρο της ικανότητας των νερών να εξουδετερώνουν ορισμένη ποσότητα υδρογονοκατιόντων. Η εξουδετέρωση αυτή οφείλεται στην παρουσία των ιόντων υδροξυλίου (OH^-), ανθρακικών αλάτων (CO_3^{2-}) και διττανθρακικών ανιόντων (HCO_3^-). Η παρουσία οργανικής ύλης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στον καθορισμό της αλκαλικότητας. Η αλκαλικότητα μετράται σε μιλιγραμμάρια ανά λίτρο (mg/l). Στο σχήμα 18 παρουσιάζεται το διάγραμμα με τις τιμές των δειγμάτων εκροής των τεσσάρων εξεταζόμενων μεμβρανών στην διάρκεια των 40 ημερών. Παρατηρούμε ότι οι τιμές αλκαλικότητας των δειγμάτων εξόδου είναι μικρότερες σε σχέση με τις τιμές του υπερκείμενου υγρού.



Σχήμα 18. Παρακολούθηση Αλκαλικότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

Στο σχήμα 19 απεικονίζεται διαγραμματικά ο μέσος όρος των τιμών της σκληρότητας σε κάθε ημέρα μέτρησης σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του υπερκείμενου υγρού. Είναι εμφανής η σταθερότητα στις τιμές της αλκαλικότητας των δειγμάτων εξόδου κατά την διάρκεια των μετρήσεων για 40 ημέρες.

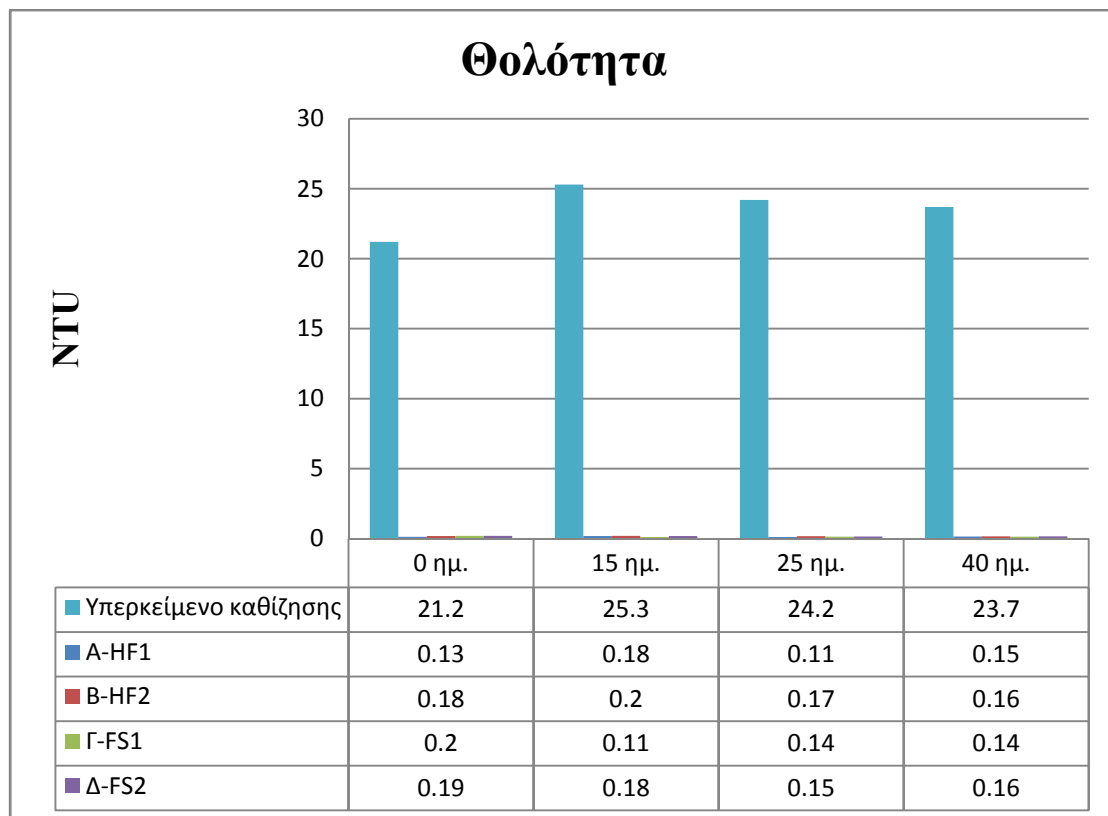


Σχήμα 19. Παρακολούθηση του μέσου όρου της Αλκαλικότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

8.2.6. Παρακολούθηση Θολότητας

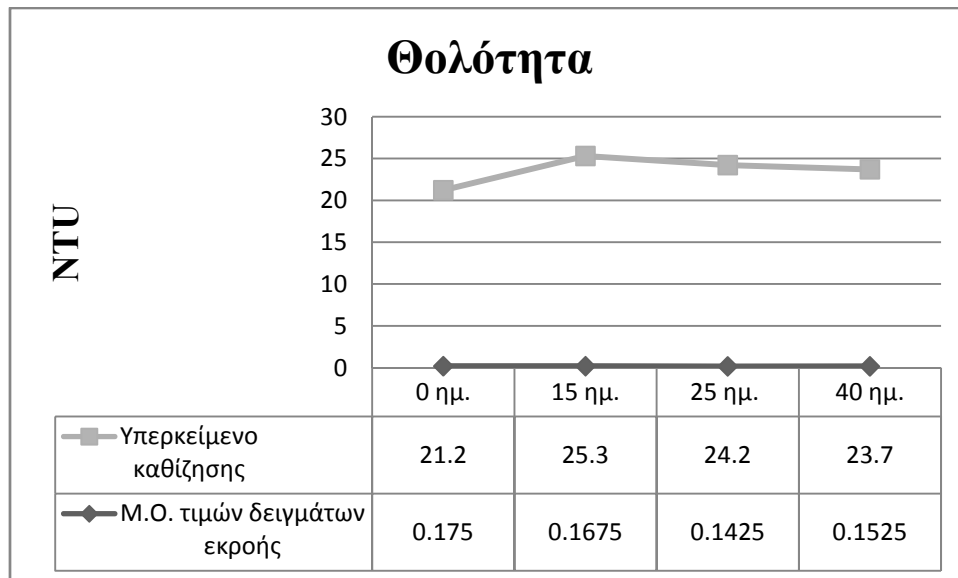
Η θολότητα ή θολερότητα οφείλεται σε αδιάλυτες αιωρούμενες ουσίες, οι οποίες προέρχονται από οργανικές και κυρίως ανόργανες ενώσεις και από φυτικούς ή ζωτικούς οργανισμούς (σωματίδια ιλύος, υδροξείδιο του σιδήρου και αργιλίου, διοξείδιο του πυριτίου, πλαγκτόν). Αυξημένη θολότητα αποτελεί ένδειξη ρύπανσης. Μεγάλες τιμές θολότητας (>10) καθιστούν το νερό ακατάλληλο προς πόση. Η θολερότητα εκφράζεται σε NTU και μετράται με το θολερόμετρο. Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα με τις τιμές θολότητας των δειγμάτων εκροής των τεσσάρων μεμβρανών στην διάρκεια των 40 ημερών. Η θολότητα στο υπερκείμενο υγρό καθίζησης έχει μεγάλη τιμή καθώς είναι πυκνό και περιέχει πολλά συσσωματώματα και όλα τα άλλα που προαναφέρθηκαν. Οι τιμές της θολότητας στα δείγματα εξόδου σε όλη την διάρκεια των μετρήσεων είναι ικανοποιητικές καθώς καμία τιμή δεν υπερβαίνει το 1 NTU, τιμή που έχει καθοριστεί νομικά ως οριακή για επεξεργασμένα απόβλητα εκροής προερχόμενα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας.



Σχήμα 20. Παρακολούθηση Θολότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Στο σχήμα 21 απεικονίζεται διαγραμματικά ο μέσος όρος των τιμών της σκληρότητας σε κάθε ημέρα μέτρησης σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του υπερκείμενου υγρού. Παρατηρούμε ότι καμία τιμή του μέσου όρου δεν υπερβαίνει το 1NTU. Είναι εμφανής η σταθερότητα στις τιμές της θολότητας των δειγμάτων εξόδου κατά την διάρκεια των μετρήσεων για 40 ημέρες.



Σχήμα 21. Παρακολούθηση του μέσου όρου της Θολότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

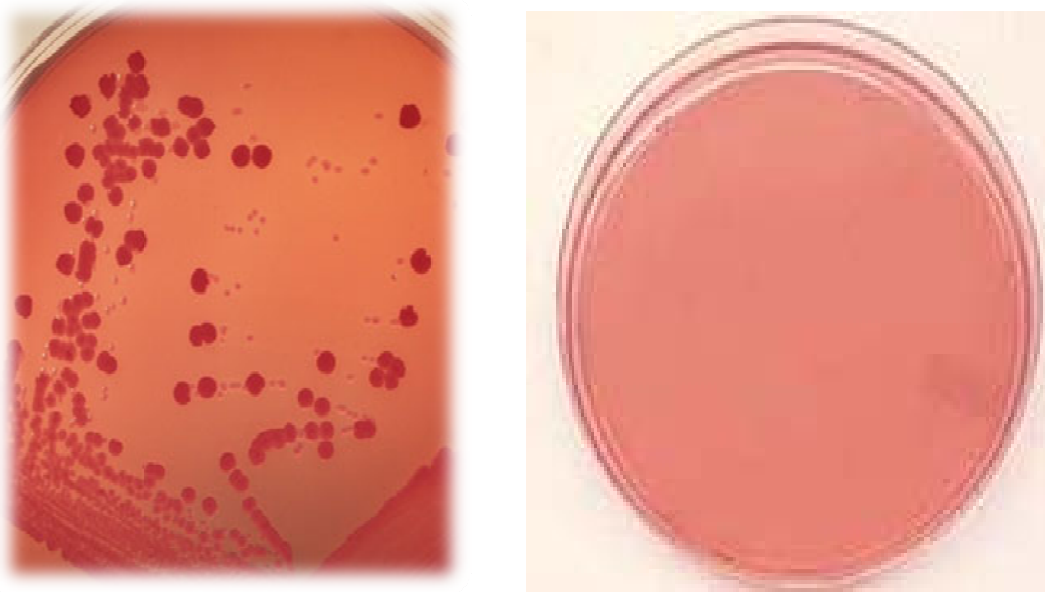
8.3. Παρακολούθηση της απομείωσης μικροοργανισμών στην εκροή συστήματος MBR τεσσάρων διαφορετικών μεμβρανών (30 ημέρες λειτουργίας)

Προκειμένου να δούμε πόσο αποτελεσματικές είναι οι μεμβράνες όσον αφορά την συγκράτηση μικροβιακού φορτίου, κάναμε καλλιέργειες σε μικροβιολογικό εργαστήριο στα δείγματα που συλλέξαμε. Έτσι, δείγματα εξόδου των τεσσάρων μεμβρανών όπως και δείγμα βιομάζας υποβλήθηκαν σε καλλιέργειες κατά την διάρκεια ενός μηνός. Το πείραμα αυτό αποσκοπούσε στο να εξετάσουμε το ποσοστό απομείωσης των μικροοργανισμών στα δείγματα εκροής.

Πιο συγκεκριμένα, έγιναν καλλιέργειες για την ανίχνευση τριών μικροοργανισμών :

1. E. Coli
2. Pseudomonas sp.
3. Streptococcus

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται αποικίες E.Coli, Pseudomonas sp. και Streptococcus κατά την καλλιέργεια των δειγμάτων σε τρυβλίο McConkey, καθώς και ένα τρυβλίο χωρίς ανάπτυξη.



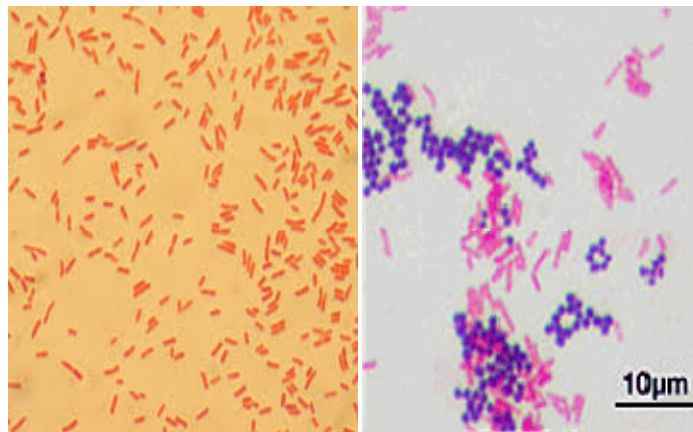
Εικόνα 30: Τρυβλία καλλιεργειών

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

8.3.1. Παρακολούθηση ανάπτυξης αποικιών E.Coli

Το *Escherichia coli* (*Escherichia coli*, συντομογραφία *E. coli*) είναι ένα αρνητικό κατά Gram, ραβδοειδούς σχήματος κολοβακτήριο (*Enterobacteriaceae*). Το μέγεθός του είναι περίπου 2 μικρόμετρα (μm) και έχει διάμετρο 0,25-1,0 μm και όγκο κυττάρου 0,6-0,7 μm^3 . Συνήθως βρίσκεται στο έντερο ενδόθερμων ζώων. Επίσης, αποτελεί μέρος της φυσικής χλωρίδας του εντέρου όντας αβλαβής και μπορεί να ωφελήσει τους ξενιστές του παράγοντας βιταμίνη K_2 , και εμποδίζοντας την εγκατάσταση άλλων παθογόνων βακτηρίων μέσα στο έντερο. Τα στελέχη απαντώνται συχνά στα κόπρανα των ζώων και των ανθρώπων. Στελέχη που διαθέτουν μαστίγια είναι κινητά. Τα περισσότερα είναι αβλαβή, αλλά το O157:H7 παράγει την ισχυρή τοξίνη verotoxin (VT) και καταστρέφει το έντερο. Αν βρεθεί κοντά σε διπλανά όργανα όπως την ουροδόχο κύστη μπορεί να προκαλέσει ουρολοίμωξη. Το βακτήριο δεν αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες και πεθαίνει όταν ζεσταίνεται στους 70 °C για αρκετό χρονικό διάστημα, ενώ μπορεί να επιβιώσει στο ψυγείο για αρκετές μέρες υπό κάποιες συνθήκες.

Παρακάτω, στην εικόνα 31, φαίνονται σχηματικά σε οπτικό μικροσκόπιο στελέχη του προς εξέταση μικροοργανισμού.

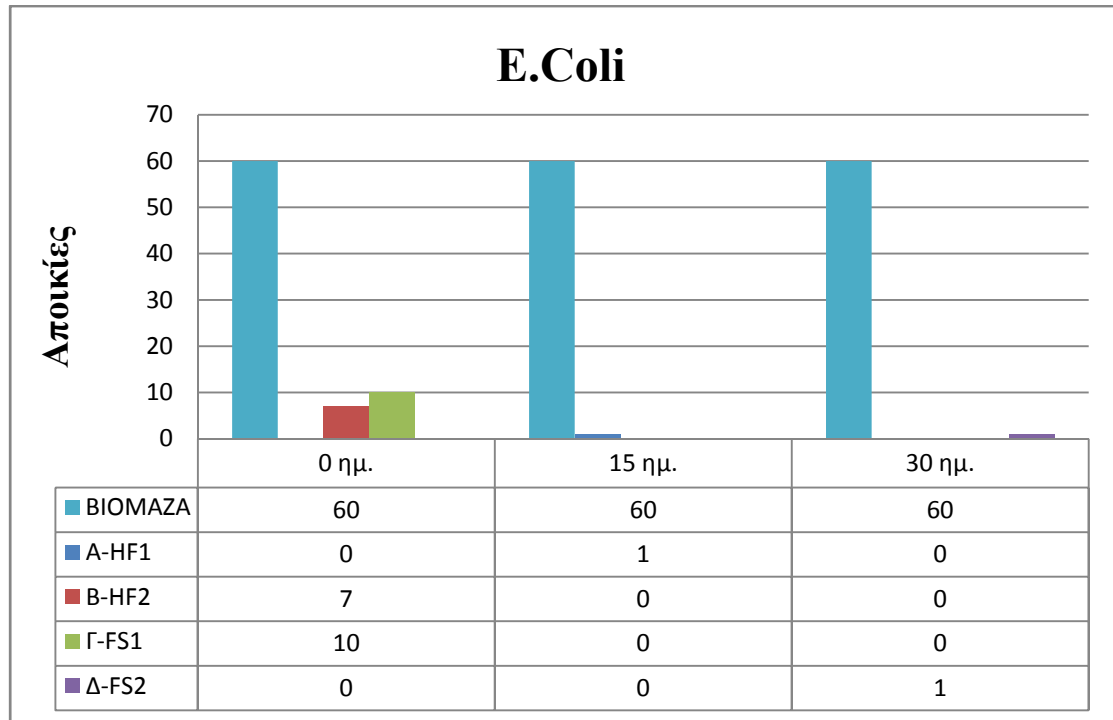


Εικόνα 31: Gram (-) E.Coli και Gram (+) E.Coli ανάμεσα σε Gram (+) κόκκους

Στο σχήμα 22 περιέχει το διάγραμμα που δείχνει τον αριθμό αποικιών του μικροοργανισμού *E.Coli* που μετρήθηκαν στις καλλιέργειες που έγιναν σε δείγματα εκροής των τεσσάρων μεμβρανών και στη βιομάζα της πιλοτικής μονάδας. Παρατηρούμε ότι στο τέλος των μετρήσεων στις 30 ημέρες υπάρχει σχεδόν 100% απομείωση του μικροβίου και από τις τέσσερις μεμβράνες καθώς μόνο μια αποικία αναπτύχθηκε στη μεμβράνη Δ. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι οι προς εξέταση μεμβράνες έχουν πολύ καλή απόδοση όσον αφορά το φιλτράρισμα του συγκεκριμένου μικροβίου. Η 1 αποικία αντιστοιχεί σε 5×10^6 μικροοργανισμούς/100ml δείγματος και έχει μονάδα μέτρησης τα CFU (Colony forming units)/ml ή CFU/g.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Πιο αναλυτικά, το σχήμα με το διάγραμμα παρακολούθησης των αποικιών E.Coli απεικονίζεται παρακάτω.



Σχήμα 22. Παρακολούθηση των αποικιών των μικροοργανισμών Εσσερίγια κόλι (E. Coli), στις 4 μεμβράνες σε διάστημα 30 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

Στον πίνακα 13 βλέπουμε το ποσοστό απομείωσης του μικροοργανισμού E.Coli που είχε η κάθε μεμβράνη. Παρατηρούμε ότι στις 2 από τις τρεις μετρήσεις μας είχαμε 100% απομείωση και στην περίπτωση της πρώτης μέτρησης η απομείωση έφτασε στο 90%.

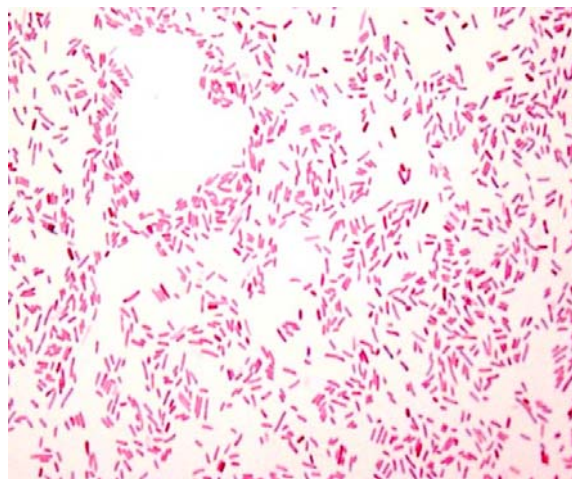
Πίνακας 13: % Απομείωση μικροοργανισμών E.Coli σε διάστημα λειτουργίας πιλοτικής μονάδας MBR 30 ημερών

E.Coli Τύπος μεμβράνης	% Απομείωση		
	0 ημ.	15 ημ.	30 ημ.
A	100	98,3	100
B	88,3	100	100
Γ	83,3	100	100
Δ	100	100	98,3

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

8.3.2. Παρακολούθηση ανάπτυξης αποικιών *Pseudomonas* sp.

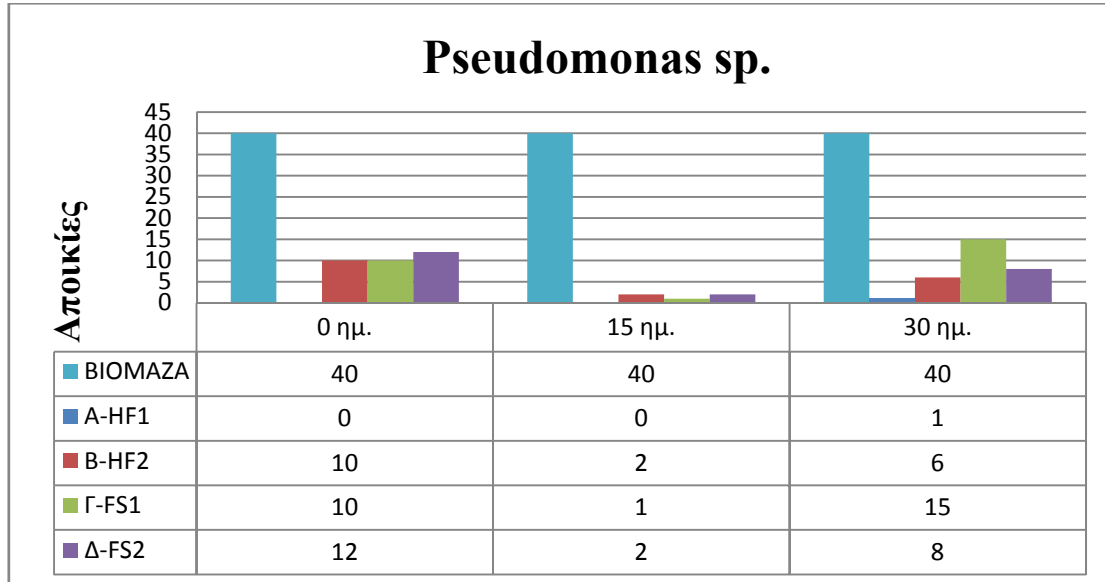
Η Ψευδομονάς η πυοκυανική ή αεριογόνος (*Pseudomonas aeruginosa*) αποτελεί ένα είδος βακτηρίου μέλος του γένους *Pseudomonas* (Ψευδομονάδων). Είναι ένα Gram-αρνητικό και κατά κανόνα κινητό αερόβιο βακτήριο. Δεν σχηματίζει εφησυχάζουσες μορφές και δεν παράγει σπόρους (μη σπορογόνο). Είναι βακτηρίδιο άρα έχει ραβδοειδές σχήμα. Το μήκος της ράβδου του κυμαίνεται από 1- 5μm και το πλάτος από 0,5 –1μm. Εξωτερικά του κυττάρου σε μερικά στελέχη υπάρχει πολυσακχαρικό έλυτρο που το προστατεύει από την φαγοκυττάρωση και από επικίνδυνες για αυτό ουσίες. Τα κύτταρα του βακτηριδίου *P. Aeruginosa* διατάσσονται μεμονωμένα, σε ζεύγη και σε μικρές αλυσίδες. Το βακτήριο αυτό χαρακτηρίζεται ως αμφίτριχο, διότι έχει μια μόνο βλεφαρίδα σε κάθε πόλο. Η αεριογόνος ψευδομονάδα δεν προκαλεί συνήθως ασθένειες σε υγιείς ανθρώπους. Είναι ένας ευκαιριακά παθογόνος μικροοργανισμός. Ονομάζεται ευκαιριακός, επειδή η συμπεριφορά του εξαρτάται από τις συνθήκες. Μπορεί όμως να προκαλέσει θανατηφόρες λοιμώξεις σε ανοσοκατεσταλμένα άτομα, σε ασθενείς με σοβαρά εγκαύματα, με σοβαρές δερματικές βλάβες και σε ασθενείς που πάσχουν από κυστική ίνωση. Έχει ελάχιστες διατροφικές απαιτήσεις και μπορεί να ανεχθεί μια μεγάλη ποικιλία περιβαλλοντικών συνθηκών. Η *P. aeruginosa* προκαλεί ενδονοσοκομειακές λοιμώξεις όπως ουρολοιμώξεις, μηνιγγίτιδα, λοιμώξεις από καθετήρες, σηψαιμία, πνευμονία, διαπυήσεις τραυμάτων κ.ά. Προκαλεί όμως και εξωνοσοκομειακές λοιμώξεις όπως ωτίτιδα, λοιμώξεις τραυμάτων, επιπεφυκίτιδα κ.α. Είναι υπεύθυνη για το 16% της νοσοκομειακής πνευμονίας, το 12% των ενδονοσοκομειακών λοιμώξεων του ουροποιητικού συστήματος, το 8% λοιμώξεων χειρουργικών τραυμάτων και το 10% λοιμώξεων του αίματος. Ευθύνεται επιπλέον για ασθένειες στα ζώα και τα φυτά. Απαντάται σε διάφορες τοποθεσίες του φυσικού περιβάλλοντος, στο έδαφος και στο νερό. Το 10% των ανθρώπων την φέρει ως μέρος προς φυσιολογικής χλωρίδας του εντέρου. Μπορεί να επιβιώσει κάτω από δυσμενείς συνθήκες για προς περισσότερους οργανισμούς, αντιστέκεται στην φαγοκυττάρωση και είναι ανθεκτικό στα περισσότερα αντιβιοτικά. Παρακάτω στην εικόνα 32 φαίνονται σχηματικά σε οπτικό μικροσκόπιο στελέχη του προς εξέταση μικροοργανισμού.



Εικόνα 32: Gram(-) *Pseudomonas*

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Στο σχήμα 23 απεικονίζεται το διάγραμμα με τις αποικίες του μικροοργανισμού ψευδομονάδας (*Pseudomonas sp.*) που μετρήθηκαν σε καλλιέργειες δειγμάτων εκροής και βιομάζας. Όπως φαίνεται, βρέθηκαν αποικίες στα δείγματα εξόδου σε όλες τις μεμβράνες στο τέλος των μετρήσεων. Παρατηρούμε πως στις αποικίες που καλλιεργήσαμε παρατηρήθηκε ο μικροοργανισμός και στις τέσσερις εξόδους μας.



Σχήμα 23. Παρακολούθηση των αποικιών των μικροοργανισμών Ψευδομονάδας (*Pseudomonas sp.*) στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 30 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

Στον πίνακα 14 παρατηρούμε το ποσοστό απομείωσης του μικροοργανισμού *Pseudomonas sp.* που είχε η κάθε μεμβράνη.

Πίνακας 14: % Απομείωση μικροοργανισμών *Pseudomonas sp.* σε διάστημα λειτουργίας πιλοτικής μονάδας MBR 30 ημερών

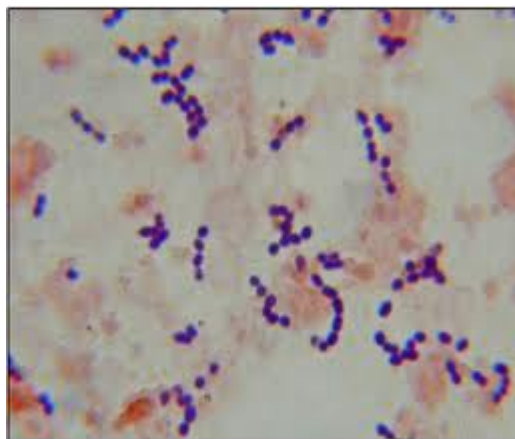
Pseudomonas sp.	% Απομείωση		
	0 ημ.	15 ημ.	30 ημ.
Α	100	100	98,3
Β	83,3	95	85
Γ	83,3	98,3	62,5
Δ	70	95	80

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

8.3.3. Παρακολούθηση ανάπτυξης αποικιών *Streptococcus*

Ο *στρεπτόκοκκος* (στρεπτός κόκκος), είναι γένος βακτηρίων που αποτελείται από θετικούς κατά Gram, μικροαεροφίλους διπλόκοκκους (κυκλικούς), οι οποίοι δεν είναι κινητοί και εμφανίζονται ανά αλυσίδες ή ζεύγη, εξ' ου και η ονομασία διπλόκοκκοι. Κάποια είδη συμπεριλαμβάνονται στην φυσιολογική χλωρίδα του εντέρου ενώ άλλα είδη, εάν βρεθούν στον ανθρώπινο οργανισμό, προκαλούν παθολογία. Οι εντερόκοκκοι προκαλούν λοιμώξεις του ουροποιητικού συστήματος, βακτηριαμία, βακτηριακή ενδοκαρδίτιδα, εκκολπωματίτιδα και μηνιγγίτιδα. Είναι λιγότερο από 2 μm σε μήκος και σχηματίζει αλυσίδες και μεγάλες αποικίες που φτάνουν περισσότερο από 0.5 mm σε μέγεθος. Είναι παθογόνος ιοβόλος διπλόκοκκος και ανήκει στους σχιζομύκητες. Το γένος καθορίζεται από έναν συνδυασμό αντιγονικών, αιμολυτικών και φυσιολογικών χαρακτηριστικών στις ομάδες A, B, C, D, F, και G και υπάρχουν πάνω από 60 διαφορετικά στελέχη του βακτηρίου. Μπορεί να παρατηρηθεί στο έδαφος, στον αέρα και στο γάλα. Πολλοί στρεπτόκοκκοι πρώην γκρουπ D αναταξινομήθηκαν και τοποθετούνται στο γένος *Enterococcus* (συμπεριλαμβανομένου *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, *Enterococcus durans* και *Enterococcus avium*). Άλλα είδη της ομάδας στελεχών D είναι ο *Streptococcus bovis* και ο *Streptococcus hipποδίας*. Στρεπτόκοκκοι μη αιμολυτικοί σπάνια προκαλούν ασθένειες. Ωστόσο, η αιμολυτική ασθενής ομάδα D, δηλαδή οι β-αιμολυτικοί στρεπτόκοκκοι και το *Listeria monocytogenes* (το οποίο είναι στην πραγματικότητα ένας Gram-θετικός βάκιλος) δεν πρέπει να συγχέονται με στρεπτόκοκκους μη αιμολυτικούς.

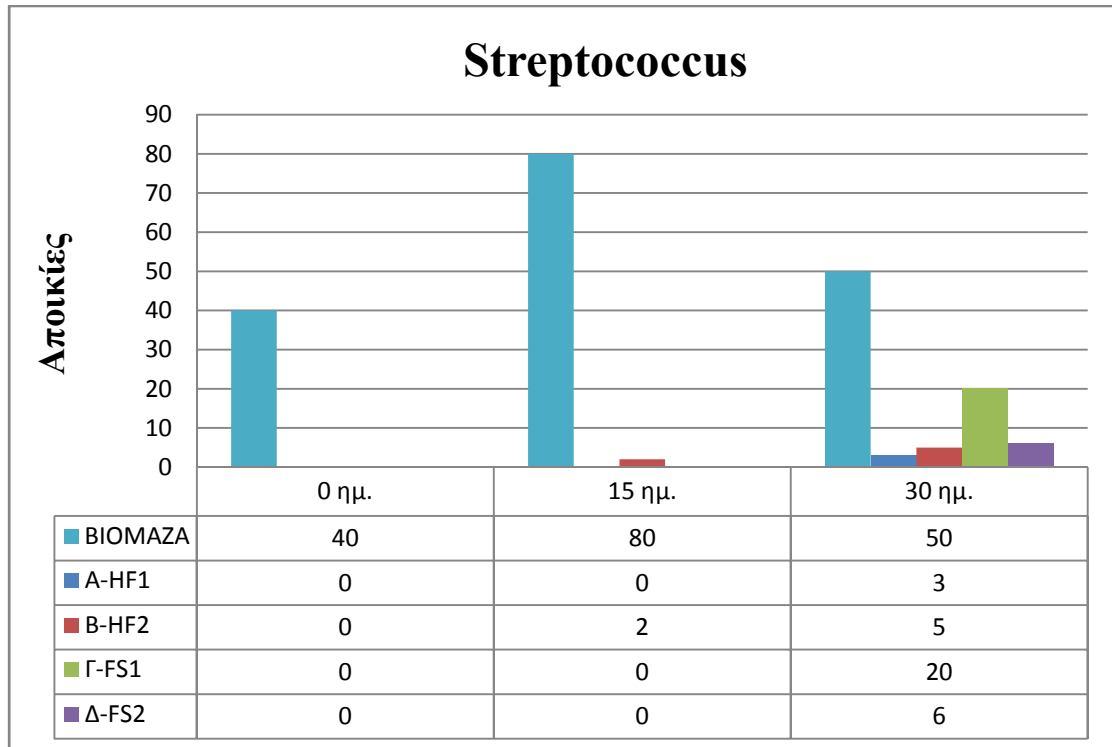
Παρακάτω στην εικόνα 33 φαίνονται σχηματικά σε οπτικό μικροσκόπιο στελέχη του προς εξέταση μικροοργανισμού.



Εικόνα 33: Gram(+) *Streptococcus*

Παρακάτω παρουσιάζεται διαγραμματικά η απομείωση του μικροοργανισμού Στρεπτόκοκκου από τις μεμβράνες που εξετάστηκαν. Παρατηρούμε ότι έγινε καλή απορρόφηση των μικροοργανισμών από αυτές καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων καθώς μόνο σε ένα δείγμα στο τέλος των 30 ημερών βρέθηκαν αρκετές αποικίες στερεπτόκοκκων.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.



Σχήμα 24. Παρακολούθηση των αποικιών των μικροοργανισμών Στρεπτόκοκκου (*Streptococcus*) στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 30 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR

Στον πίνακα 15 παρατηρούμε το ποσοστό απομείωσης του μικροοργανισμού *Streptococcus* που είχε η κάθε μεμβράνη.

Πίνακας 15: % Απομείωση μικροοργανισμών *Streptococcus* σε διάστημα λειτουργίας πιλοτικής μονάδας MBR 30 ημερών

Streptococcus Τύπος μεμβράνης	% Απομείωση		
	0 ημ.	15 ημ.	30 ημ.
A	100	100	94
B	100	97,5	90
Γ	100	100	60
Δ	100	100	88

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Κεφάλαιο 9. Συμπεράσματα – Προοπτικές

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ο έλεγχος τεσσάρων μεμβρανών πιλοτικού βιοαντιδραστήρα MBR με αναλυτικές τεχνικές σε διάστημα δύο μηνών. Για το λόγο αυτό εξετάστηκαν διάφορες παράμετροι καθώς και μετρήθηκαν μικροοργανισμοί στα δείγματα των μεμβρανών αυτών.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι και οι τέσσερις μεμβράνες παρουσίασαν καλή συμπεριφορά σε όλες τις παραμέτρους που μελετήσαμε (αγωγιμότητα, ολικά διαλυμένα στερεά, χλωριόντα, σκληρότητα, αλκαλικότητα, θολότητα) σε σχέση με το υπερκείμενο υγρό καθίζησης 2 ωρών. Επίσης, παρατηρήθηκε πολύ καλή απομείωση χλωριόντων της τάξεως του 85 %.

Παράλληλα, οι μεμβράνες είχαν ικανοποιητικά ποσοστά απομείωσης μικροοργανισμών. Όπως προαναφέρθηκε, το ποσοστό απομείωσης του μικροοργανισμού *E.Coli* σε διάστημα 30 ημερών και στις 4 μεμβράνες αγγίζει το 100%. Ωστόσο, βρέθηκαν μικρότερα ποσοστά απομείωσης μικροοργανισμού *Pseudomonas sp.* καθώς μόνο μια μεμβράνη είχε σχεδόν 100% απομείωση του συγκεκριμένου μικροβίου. Τα ποσοστά απομείωσης του μικροοργανισμού *Streptococcus* στο τέλος των μετρήσεων είναι της τάξης του 90% σε τρεις μεμβράνες.

Με βάση τα ποσοστά απομείωσης των μικροοργανισμών καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι μεμβράνες κατακράτησαν επιτυχώς κάποιους από τους μικροοργανισμούς που είναι επικίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία και κατέστησαν τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα κατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση για διάφορες χρήσεις όπως άρδευση όχι όμως και για πόση.

Περαιτέρω μελέτες μπορούν να γίνουν για την αποτελεσματικότητα των μεθόδων αυτών για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering, Third Edition, 1991.
2. Metcalf, Eddy, Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Fourth ed., McGraw-Hill, New York, NY, 2003.
3. Glen T. Daigger, Membrane Bio-Reactors (MBRs) – The Future of Wastewater Technology, Science and Economy Aspects, Presented at EFCA 2005 General Assembly Meeting & Conference, Krakow, Poland, 30 May 2005.
4. Zeman L.J. and Zydney A.L., Microfiltration and Ultrafiltration: Principles and Applications. Marcel Dekker Inc., New York, 1996.
5. Ahmed Z., Cho J., Lim B.R., Song K.G. and Ahn K.H., Effects of sludge retention time on membrane fouling and microbial community structure in a membrane bioreactor, Journal of Membrane Science, 2007.
6. Baker R.W., Membrane Technology and Applications, Mc Graw-Hill, New York, 2000.
7. Bouhabila E.H., Aim R.B. and Buisson H., Fouling Characterisation in Membrane Bioreactors, Separation and Purification Technology, 2001.
8. Cho B.D. and Fane A.G., Fouling Transients in Nominally Sub-Critical Flux Operation of a Membrane Bioreactor. Journal of Membrane Science, 2002.
9. Choi J.G., Bae T.H., Kim J.H., Tak T.M. and Randall A.A., The Behavior of Membrane Fouling Initiation on the Crossflow Membrane Bioreactor System, Journal of Membrane Science, 2002.
10. Cote P. and Thomson M., Wastewater Treatment Using Membranes: the North American Experience, Selected Proceedings of the 2nd International Conference on Membrane Technology in Environmental Management, IWA Publishing, Tokyo, Japan, 1999.
11. Davies W.J., Le M.S. and Heath C.R., Intensified Activated Sludge Process with Submerged Membrane Microfiltration. Water Science and Technology, 1998.
12. Fan F., Fouling mechanisms and control strategies for improving membrane bioreactor processes, University of Guelph, 2005.
13. Jiang T. and Kennedy M., The role of blocking and cake filtration in MBR fouling, Desalination, 2003.
14. Koseoglou H., Yigit N.O., Iversen V., Drews A., Kitis M., Lesjean B. and Kraume M., Effects of several different flux enhancing chemicals on filterability and fouling reduction of membrane bioreactor (MRB) mixed liquors. Journal of Membrane Science, 2008.
15. Le-Clech P., Chen V. and Fane T., Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment, Journal of membrane Science, 2006.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

16. Van der Roest, H. F., Lawrence, D. P. and Van Bentem, A. G. N., Membrane Bioreactors for Municipal Wastewater treatment, IWA Publishing, London, UK, 2002.
17. Stephenson, T., Judd, S., Jefferson, B. and Brindle, K., Membrane Bioreactors for Wastewater treatment, IWA Publishing, London, 2000.
18. Zhang, J., “Distributed representation as a principle for the analysis of cockpit information displays”, International Journal of Aviation Psychology, 1997a.
19. Zhang, J., “The nature of external representations in problem solving”, Cognitive Science, 1997b.
20. Stephenson T., Judd S., Jefferson B. and Brindle K., Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment, IWA Publications, London, England, (2001).
21. S. Judd, The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment, Elsevier, Oxford, England, 2006.

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. E.Jawetz., J.Melnick., E.Aderlberg, Η μικροβιολογία ειδικών περιβαλλόντων, Ιατρική Μικροβιολογία, Τόμος Α, Παρισιανός, Επιστημονικές Εκδόσεις ΓΡ. Παρισιανός, Αθήνα, 1985.
2. Νταρακάς Ευθύμιος, Διεργασίες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Θεσσαλονίκη, 2010.
3. Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις, ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011.
4. Μαλαμής Σ.Α., Διερεύνηση της χρήσης μεμβρανών στην δευτεροβάθμια επεξεργασία λυμάτων, Διπλωματική Εργασία, ΔΠΜΣ “Επιστήμη και Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων”, ΕΜΠ, Αθήνα, 2005.
5. Μαλαμής, Σ., Βιολογική Επεξεργασία Λυμάτων με τη Χρήση Μεμβρανών, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2009.
6. Διαλυνάς Μ., Λειτουργία πιλοτικού συστήματος βιοαντιδραστήρα υπερδιηθήσεως στην επεξεργασία αστικών λυμάτων, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2008.
7. Γ. Λυμπεράτος, Δ. Βαγενάς, Διαχείριση υγρών αποβλήτων, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2012
8. Α. Ανδρεαδάκης, Δ. Μαμάης, Ε. Γαβαλάκη, Απολύμανση λυμάτων, Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων με Αποκεντρωμένα Συστήματα Επεξεργασίας, Καρδίτσα, 2005.
9. Ειδική Γραμματεία Υδάτων του ΥΠΕΚΑ, Κείμενο κατευθυντήριων γραμμών για τη διαχείριση λυμάτων μικρών οικισμών, Αθήνα 2012.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

1. <https://www.wikipedia.org/>
2. http://library.tee.gr/digital/m2077/m2077_georgiou.pdf
3. http://www.citg.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/CiTG/Gezondheidstechniek/doc/Mingyang_Li_paper_draft-final.pdf
4. http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf
5. <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/5220/1/Master%20Ktenas%202012-new.pdf>
6. http://www.ekke.gr/estia/Cooper/Synedrio_PSM/plakas.pdf

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΤΙΤΛΟΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού (Νταρακάς Ε., 2009).....	13
Πίνακας 2: Ενδεικτικές παράμετροι του πόσιμου νερού(Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της 3ης/11/1998).....	14
Πίνακας 3: Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων (mg/l).....	18
Πίνακας 4: Ενδεικτική σύσταση υγρών αστικών αποβλήτων σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας	19
Πίνακας 5: Ταξινόμηση των μεμβρανών	26
Πίνακας 6: Διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες και ωθούσα δύναμη	30
Πίνακας 7: Ταξινόμηση των απολυμαντικών μέσων και μεθόδων.....	35
Πίνακας 8: Δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης ανάλογα με την πηγή των υγρών αποβλήτων	43
Πίνακας 9: Όρια για περιορισμένη άρδευση και για βιομηχανική χρήση του νερού.....	45
Πίνακας 10: Όρια μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση.....	46
Πίνακας 11: Όρια μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αστική και περιαστική χρήση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις.....	47
Πίνακας 12: Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων σε επεξεργασμένα λύματα για αστική επαναχρησιμοποίηση, περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση, βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση και τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων	49
Πίνακας 13: % Απομείωση μικροοργανισμών <i>E.Coli</i> σε διάστημα λειτουργίας πιλοτικής μονάδας MBR 30 ημερών	85
Πίνακας 14: % Απομείωση μικροοργανισμών <i>Pseudomonas sp.</i> σε διάστημα λειτουργίας πιλοτικής μονάδας MBR 30 ημερών	87
Πίνακας 15: % Απομείωση μικροοργανισμών <i>Streptococcus</i> σε διάστημα λειτουργίας πιλοτικής μονάδας MBR 30 ημερών	89

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – ΤΙΤΛΟΙ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Διάταξη Προετοιμασίας Συνθετικού Αποβλήτου.	55
Σχήμα 2. Πιλοτική διάταξη βιοαντιδραστήρα εμβαπτιζόμενων μεμβρανών (SMBR).	56
Σχήμα 3.....	57
Σχήμα 4.....	58
Σχήμα 5. Αναλυτικός πίνακας με τα στοιχεία μιας μέτρησης στο Mastersizer.....	65
Σχήμα 6. Διάγραμμα μεγέθους των σωματιδίων κατά την διάρκεια μιας μέτρησης.....	65
Σχήμα 7. Παρακολούθηση της κοκκομετρίας της βιομάζας σε διάστημα 60 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR.....	73
Σχήμα 8. Παρακολούθηση του ειδικού εμβαδού επιφανείας (Specific Surface Area - SSA) σε διάστημα 60 ημερών	74
Σχήμα 9. Παρακολούθηση της κοκκομετρίας της βιομάζας σε διάστημα 60 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR	75
Σχήμα 10. Παρακολούθηση Αγωγιμότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR	76
Σχήμα 11. Παρακολούθηση του μέσου όρου της Αγωγιμότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MB	76
Σχήμα 12. Παρακολούθηση TDS στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR.....	77
Σχήμα 13. Παρακολούθηση του μέσου όρου των TDS στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR	77

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Σχήμα 14. Παρακολούθηση Χλωριόντων στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR	78
Σχήμα 15. Παρακολούθηση του μέσου όρου των Χλωριόντων στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR.....	78
Σχήμα 16. Παρακολούθηση Σκληρότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR	79
Σχήμα 17. Παρακολούθηση του μέσου όρου της Σκληρότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR.....	79
Σχήμα 18. Παρακολούθηση Αλκαλικότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR	80
Σχήμα 19. Παρακολούθηση του μέσου όρου της Αλκαλικότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR.....	80
Σχήμα 20. Παρακολούθηση Θολότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος	81
Σχήμα 21. Παρακολούθηση του μέσου όρου της Θολότητας στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 40 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR.....	82
Σχήμα 22. Παρακολούθηση των αποικιών των μικροοργανισμών Εσερίχια κόλι (<i>E. Coli</i>), στις 4 μεμβράνες σε διάστημα 30 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR.....	85
Σχήμα 23. Παρακολούθηση των αποικιών των μικροοργανισμών Ψευδομονάδας (<i>Pseudomonas</i> sp.) στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 30 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR	87
Σχήμα 24. Παρακολούθηση των αποικιών των μικροοργανισμών Στρεπτόκοκκου (<i>Streptococcus</i>) στις τέσσερις μεμβράνες σε διάστημα 30 ημερών λειτουργίας του συστήματος MBR.....	89

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ – ΤΙΤΛΟΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Γενική αρχή λειτουργίας συστήματος βιοαντιδραστήρα μεμβράνης	22
Εικόνα 2: Μονάδα βιοαντιδραστήρα MBR	25
Εικόνα 3: Συμβατικό σύστημα Ενεργούς Ιλύος (EI).....	25
Εικόνα 4: Εφαρμογές που βασίζονται στην τεχνολογία μεμβρανών.....	28
Εικόνα 5: Φωτογραφία των στοιχείων μεμβρανών κοίλων ινών.....	31
Εικόνα 6: Φωτογραφία των στοιχείων επίπεδων μεμβρανών	32
Εικόνα 7: Το φαινόμενο της έμφραξης των μεμβρανών.....	32
Εικόνα 8: Μηχανισμοί έμφραξης των μεμβρανών σε συστήματα MBR.....	33
Εικόνα 9: Σχηματική παράσταση του σχηματισμού ζεύγους ηλεκτρονίου θετικά φορτισμένης οπής μέσω ακτινοβολήσης με UV-A και της επακόλουθης έναρξης οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων.....	37
Εικόνα 10: Θολερόμετρο Turbiquant 1100 R.....	60
Εικόνα 11: Αγωγιμόμετρο τύπου mettler toledo.....	61
Εικόνα 12: Αυτόματος τιτλοδότης.....	62
Εικόνα 13: Ηλεκτρόδιο REDOX.....	62
Εικόνα 14: Αυτόματος τιτλοδότης HANNA.....	63
Εικόνα 15: Mastersizer Micro Malvern	64
Εικόνα 16: Οπτικό μικροσκόπιο	67
Εικόνα 17: Αντικειμενικός φακός δυνάμεως 10x.....	67
Εικόνα 18 : Αντικειμενικός φακός δυνάμεως 40x.....	67
Εικόνα 19: Αντικειμενικός φακός δυνάμεως 100x.....	68
Εικόνα 20: Προσοφθάλμιος φακός ισχύος 10x.....	68
Εικόνα 21: Τρία μαστιγοφόρα πρωτόζωα ανάμεσα σε κροκιδώματα και σε μερικά νηματοειδή βακτήρια	68
Εικόνα 22: Μαστιγοφόρο πρωτόζωο ανάμεσα σε μία συστάδα από βακτήρια και νηματοειδή βακτήρια	68

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.

Εικόνα 23: Κινητά βλεφαριδοφόρα πρωτόζωα.....	69
Εικόνα 24: Εδραίο βλεφαριδοφόρο πρωτόζωο.....	69
Εικόνα 25: Φωτογραφία δείγματος βιομάζας συστήματος MBR από οπτικό μικροσκόπιο σε μεγέθυνση 400x.....	70
Εικόνα 26: Φωτογραφία δείγματος βιομάζας συστήματος MBR από οπτικό μικροσκόπιο σε μεγέθυνση 400x.....	70
Εικόνα 27: Φωτογραφία δείγματος βιομάζας συστήματος MBR από οπτικό μικροσκόπιο σε μεγέθυνση 400x.....	71
Εικόνα 28: Φωτογραφία δείγματος εκροής συστήματος MBR από οπτικό μικροσκόπιο σε μεγέθυνση 400x.....	71
Εικόνα 29: Επωαστικός κλίβανος.....	72
Εικόνα 30: Τρυβλία καλλιερειών.....	83
Εικόνα 31: Gram (-) E.Coli και Gram (-) E.Coli ανάμεσα σε Gram (+) κόκκους.....	84
Εικόνα 32: Gram(-) Pseudomonas.....	86
Εικόνα 33: Gram(+) Streptococcus.....	88

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ – ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

1. **TMP** = Trans membrane pressure / Διαμεμβρανική Πίεση
2. **TS** = Total solids / Το σύνολο των διαλυμένων και αιωρούμενων στερεών
3. **TDS** = Total dissolved solids / Ολικά Διαλυμένα Στερεά
4. **MBR** = Membrane Bioreactor / Βιοαντιδραστήρας Μεμβρανών
5. **Ε.Ε.Λ.** = Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων
6. **TC** = Total Coliforms / Ολικά Κολοβακτηρίδια
7. **FC** = Fecal Coliforms / Κολοβακτηρίδια Κοπράνων
8. **BOD₅** = Biological Oxygen Demand / Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο
9. **COD** = Chemical Oxygen Demand / Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο
10. **EPA** = Environmental Protection Agency / Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος
11. **DO** = Dissolved Oxygen / Διαλυμένο Οξυγόνο
12. **TOC** = Total Organic Carbon / Ολικός Οργανικός Άνθρακας
13. **pH** = Ο αρνητικός λογάριθμος ιόντων υδρογόνου σε υδατικό διάλυμα
14. **Κ.Α.Α.** = Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός
15. **ΔTK** = Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης
16. **RO** = Reverse Osmosis / Αντίστροφη Ωσμωση
17. **EI** = Ενεργή Ιλύς
18. **SRT** = Solids Resistance Time / Χρόνος Παραμονής Στερεών
19. **HRT** = Hydraulic Resistance Time / Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής
20. **MLSS** = Mixed liquor suspended solids / Μικτό Υγρό Αιωρούμενων Στερεών
21. **MF** = Microfiltration / Μικροδιήθηση
22. **UF** = Ultrafiltration / Υπερδιήθηση
23. **NF** = Nanofiltration / Νανοδιήθηση
24. **PV** = Pervaporation / Διεξάτμιση
25. **P** = Permeation / Διαπίδυση
26. **ED** = Electrodialysis / Ηλεκτροδιάλυση
27. **CFU** = Colony Forming Unit / Μονάδα Σχηματισμού Αποικιών
28. **UV** = Ultraviolet / Υπεριώδης Ακτινοβολία
29. **CAL** = Calibration / Βαθμονόμηση
30. **SSA** = Specific Surface Area / Ειδικό Εμβαδόν Επιφανείας
31. **NTU** = Nephelometric Turbidity Unit / Νεφελομετρική Μονάδα Θολερότητας

Έλεγχος ποιότητας επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πιλοτικής μονάδας βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) με αναλυτικές τεχνικές.