



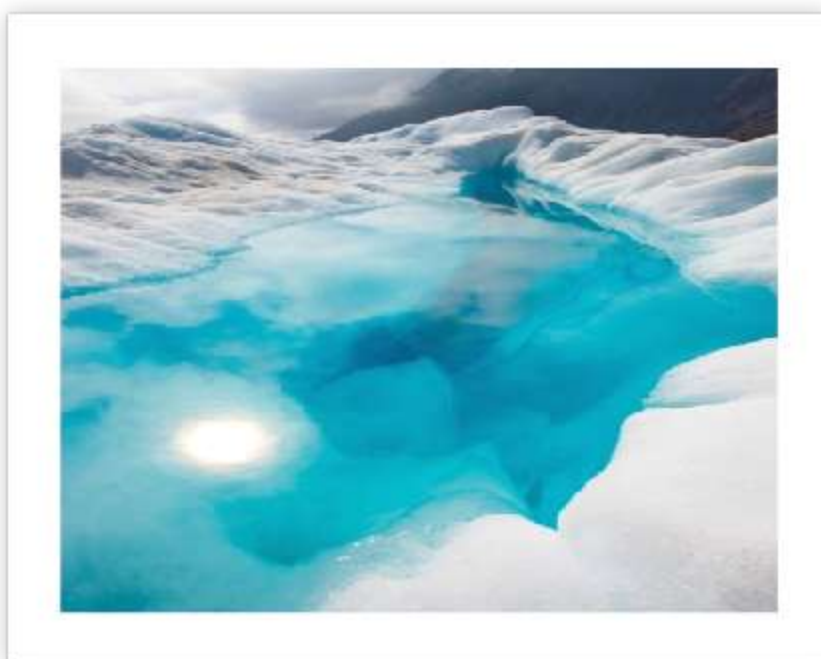
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΕΠΕΞΡΓΑΣΜΕΝΟΥ ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΥ
ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ ΑΠΟ ΠΙΛΟΤΙΚΗ
ΜΟΝΑΔΑ MBR

Επιμέλεια: ΣΙΜΟΓΛΟΥ Θ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΖΑΜΤΖΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ



Αθήνα, Σεπτέμβριος 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μελέτη που πραγματοποιήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015 αποτελεί την διπλωματική μου εργασία, η οποία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Αναλυτικής Χημείας στα πλαίσια των σπουδών μου στη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με στόχο την μελέτη των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών επεξεργασμένου συνθετικού αποβλήτου από δείγματα πιλοτικής μονάδας MBR ώστε να ερευνηθεί η αποτελεσματικότητα της παρούσας μονάδας.

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

Πιο συγκεκριμένα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Νικόλαο Τζαμτζή, ο οποίος μου ανέθεσε ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα, για την βοήθεια και την καθοδήγηση που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της. Επίσης, οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες στον επιβλέποντα μηχανολόγο μηχανικό κ. Κωνσταντίνο Χαντζηκωνσταντίνου για την αμέριστη βοήθεια του και τη στήριξη του καθώς και την δυνατότητα που μου έδωσε να συμμετέχω σε ένα ευρύ φάσμα πειραματικών κύκλων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη οφείλω στους γονείς μου για την υποστήριξη που μου παρείχαν κατά την διάρκεια των σπουδών μου και στην αδερφή μου για την συμπαράσταση και την βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συνοδοιπόρους στην διπλωματική εργασία Σταύρο Δουνδουλάκη, Λουκά Λίντζο και Βασίλη Πρασά.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με στόχο την μελέτη των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών επεξεργασμένων αποβλήτων από δείγματα πιλοτικής μονάδας MBR με τροφοδοσία συνθετικού αποβλήτου ώστε να ερευνηθεί η αποτελεσματικότητα της μονάδας.

Η μέθοδος επεξεργασίας αποβλήτων MBR (Membrane Bioreactor) χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια και έχει την δυνατότητα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με διήθηση σε μεμβράνες εξασφαλίζοντας πολύ υψηλές αποδόσεις εκροής.

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε παράλληλα με την εκπόνηση σχετικής διδακτορικής διατριβής και είχε δύο βασικές κατευθύνσεις. Το πρώτο τμήμα αυτής της εργασίας είχε ως στόχο την ανάπτυξη και παρακολούθηση των κύριων χαρακτηριστικών της αναπτυσσόμενης βιομάζας με χρήση είτε βακτηρίων από το εμπόριο είτε με εμβολιασμό με ενεργή ίλη (βιομάζα) από μονάδα επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Το δεύτερο τμήμα είχε ως σκοπό την παρακολούθηση της λειτουργίας πιλοτικής μονάδας MBR και τον μερικό έλεγχο της απόδοσής της χρησιμοποιώντας αναλυτικές τεχνικές για τη μέτρηση βασικών μεγεθών τόσο στο ανάμεικτο υγρό (MLSS, DO, pH, T) όσο και στα επεξεργασμένα απόβλητα (ολικά διαλυμένα στερεά (TSS), πτητικά αιωρούμενα στερεά (VSS), χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), ολικό άζωτο (TN), ολικό φώσφορο (TP)).

Λέξεις- κλειδιά: πιλοτική μονάδα MBR, επεξεργασία υγρών αποβλήτων, αναλυτικές τεχνικές, μεμβράνες, συνθετικό απόβλητο.

ABSTRACT

This paper has been prepared in order to study the physicochemical characteristics of treated waste from MBR pilot plant samples with synthetic waste power to investigate the effectiveness of the unit.

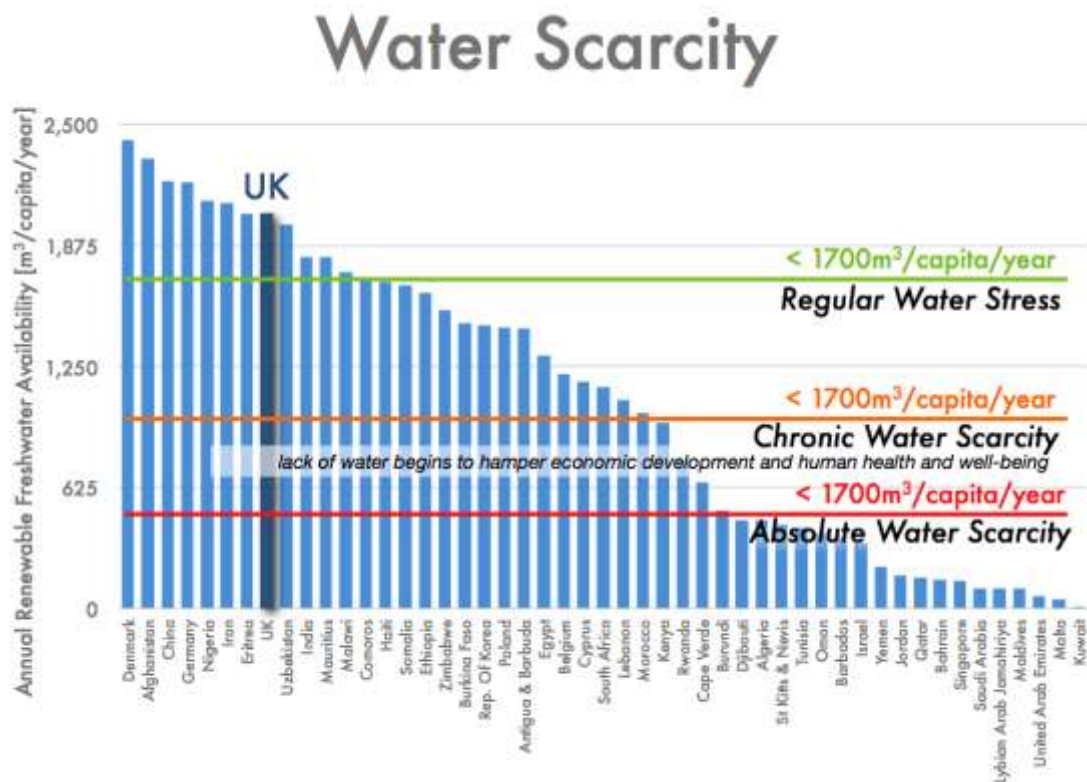
The method of treating waste MBR (Membrane Bioreactor) is increasingly used in recent years and is capable of processing wastewater by filtration membranes ensuring very high discharge performance.

This study took place in parallel with the development of relevant thesis had two main directions. The first part of this work was to develop and monitor the main characteristics of the growing biomass using bacteria either commercially or by inoculation with activated sludge (biomass) from urban waste water treatment plant. The second part was designed to monitor the functioning pilot plant MBR and partial control of its performance by using analytical techniques for the measurement fundamentals in both the mixed liquor (MLSS, DO, pH, T) and the treated waste (total dissolved solids (TSS), volatile suspended solids (VSS), chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP).

Key words: MBR unit, effluent, sample, waste water treatment, analytical techniques, membranes, synthetic waste

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.



Σχήμα: Ετήσια διαθεσιμότητα ανανεώσιμων πηγών νερού

Τον τελευταίο αιώνα η ανθρωπότητα καλείται όλο και πιο έντονα να έρθει αντιμέτωπη με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκλήθηκαν από την από τη βίαιη επέμβασή της στο φυσικό περιβάλλον. Η αλλαγή του κλίματος από την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας, η μείωση της βιοποικιλότητας αλλά και η συνεχής δηλητηρίαση του εδάφους, του νερού και του αέρα είναι μερικά μόνο από

τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προέκυψαν εξαιτίας της ελλιπούς πρόληψης της ρύπανσης.

Τα παραγόμενα απόβλητα είναι ως προς την φύση τους αέρια, υγρά ή στερεά. Κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα συνοδεύεται από την παραγωγή αποβλήτων, η έκθεση σε πολλά από τα οποία μπορεί να είναι επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία. 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.

Το σύστημα ενεργού ιλύος αποτελεί το πιο διαδεδομένο και αποτελεσματικό σύστημα βιολογικής επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Η εκτεταμένη ανάπτυξη κι εφαρμογή του συστήματος, αρχικά με τη χρήση μόνο της αερόβιας διεργασίας, οφείλεται στην οικονομία του και στην εξασφάλιση εκροής υψηλής ποιότητας. Η φιλοσοφία στην οποία βασίστηκε η μέθοδος της ενεργούς ιλύος είναι η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου των λυμάτων από τους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται στο περιβάλλον της αερόβιας δεξαμενής. Το σημαντικότερο κεφάλαιο στην ιστορική εξέλιξη του σχεδιασμού συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων με ενεργό ιλύ, υπήρξε η χρήση ανοξικών και αναερόβιων αντιδραστήρων για την βιολογική απομάκρυνση των θρεπτικών, αζώτου και φωσφόρου χωρίς την χρήση χημικών.

Η απόδοση μίας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) με τη μέθοδο της ενεργούς ιλύος εξαρτάται άμεσα από την ικανότητα της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης να επιτρέπει την ταχεία καθίζηση της εισερχόμενης σε αυτή βιομάζας και το διαχωρισμό της από τα επεξεργασμένα λύματα (διαύγαση). Καθοριστικό ρόλο παίζει επίσης και η επαρκής συμπύκνωση της βιομάζας, έτσι ώστε να είναι αποτελεσματική και οικονομική η επανακυκλοφορία της. Τόσο η ταχύτητα καθίζησης της βιομάζας όσο και ο βαθμός συμπύκνωσής της, εξαρτώνται από τη φύση των βιοκροκίδων.

Η τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων συνεχώς εξελίσσεται. Στα πλαίσια αυτά τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε μια νέα τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων, στηριζόμενη στην βασική μέθοδο της ενεργούς ιλύος και στην διύλιση.

Έτσι από το « πάντρεμα » αυτό, προέκυψε η μέθοδος MEMBRANE BIOREACTOR (MBR), που αποτελεί μέθοδο ενεργού ιλύος με πολύ έντονο χαρακτήρα βιοδιάσπασης της οργανικής ύλης σε συνδυασμό με διύλιση Μικροδιύλιση (MF) ή Υπερδιύλιση (UF) σε αντικατάσταση των Δεξαμενών Τελικής Καθίζησης.

Το χρησιμοποιούμενο μέσο είναι προφανώς οι μεμβράνες νέας τεχνολογίας.

Οι μεμβράνες μπορούν να τοποθετηθούν στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) είτε ως στάδιο τριτοβάθμιας επεξεργασίας με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία της εκροής των λυμάτων από τη βιολογική μονάδα επεξεργασίας είτε να ενσωματωθούν στη δευτεροβάθμια επεξεργασία τους.

Σύμφωνα με τους Stephenson et al., 2000, ως μεμβράνη ορίζεται ένα υλικό μέσα από το οποίο μια ουσία μπορεί να περάσει ευκολότερα από μια άλλη, αποτελεί δηλαδή ένα μέσο διαχωρισμού. Η φιλοσοφία των συστημάτων MBR βασίζεται στη χρησιμοποίηση ενός βιολογικού αντιδραστήρα και της διήθησης διαμέσου των μεμβρανών ως ένα ενιαίο σύστημα για τη δευτεροβάθμια επεξεργασία των λυμάτων, αντί του ενιαίου συστήματος του βιολογικού αντιδραστήρα και της δεξαμενής τελικής καθίζησης που χρησιμοποιείται στο κλασικό σύστημα της ενεργού ιλύος (EI) (Metcalf & Eddy, 2003). Οι βιολογικές διεργασίες στα λύματα πραγματοποιούνται όπως και σε ένα συμβατικό σύστημα βιολογικού καθαρισμού, αλλά ο διαχωρισμός της τελικής εκροής από τα στερεά πραγματοποιείται με τη διεργασία της διήθησης του υγρού διαμέσου των μεμβρανών.

Η αρχή λειτουργίας των συστημάτων MBR είναι παρόμοια με αυτή των συμβατικών συστημάτων EI. Η σημαντικότερη και πλεονεκτικότερη όμως διαφορά μεταξύ των συστημάτων αυτών είναι ότι στα συστήματα MBR καταργείται η ανάγκη χρησιμοποίησης δεξαμενής τελικής καθίζησης με αποτέλεσμα την εξάλειψη προβλημάτων όπως είναι η κακή καθιζησιμότητα της ιλύος και τα συνεπαγόμενα αυτής προβλήματα που συνήθως αντιμετωπίζουν τα συμβατικά συστήματα EI (Van der Roest et al., 2002). Αυτό συμβαίνει γιατί η μεμβράνη δρα ως εμπόδιο που κατακρατά εντελώς τη βιομάζα και απαγορεύει την διέλευση των αιωρούμενων στερεών (Jiang et al., 2005). Επιτυγχάνεται με αυτό τον τρόπο εκροή υψηλής ποιότητας.

Υγρά απόβλητα είναι ύδατα, τα οποία μπορούν να προκύψουν είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες όπως τουαλέτα και απόνερα οικιακής χρήσης, είτε από βιομηχανικές δραστηριότητες. Η ποιοτική και ποσοτική σύσταση των υγρών αποβλήτων εξαρτάται από την πηγή προέλευσής τους.

Για την διασφάλιση της ποιότητας των λυμάτων που καταλήγουν στο περιβάλλον, τα λύματα επεξεργάζονται με στόχο την απομάκρυνση μη επιθυμητών σωματιδίων, βαρέων μετάλλων και θρεπτικών ουσιών. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται διαφέρουν ανάλογα με τον όγκο και την σύσταση των λυμάτων.

Περιεχόμενα

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Ρύπανση υδάτινων πόρων	1
1.1. Γενικά περί μόλυνσης και επαναχρησιμοποίησης του νερού	1
1.2. Πηγές ρύπανσης	2
1.3. Αστικά απόβλητα	2
1.4. Βιομηχανικά απόβλητα	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων	12
2.1. Φυσικές παράμετροι	12
2.1.1. Θερμοκρασία	12
2.1.2 pH	13
2.1.3 Αγωγιμότητα	14
2.1.4 Οσμή	14
2.1.5 Χρώμα	15
2.1.6 Πυκνότητα	15
2.1.7 Στερεά	15
2.1.7.1 Ολικά στερεά (TS)	16
2.1.7.2 Ολικά Αιωρούμενα στερεά (TSS)	16
2.1.7.3 Ολικά Διαλυμένα στερεά (TDS)	17
2.1.7.4 Εξατμιζόμενα στερεά (VSS)	17
2.1.7.5 Καθιζάνοντα στερεά	17
2.2. Βιοχημικές παράμετροι	18
2.2.1 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (B.O.D.)	18

2.2.2 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (C.O.D.)	20
2.2.3 Διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen)	21
2.2.4 Αζωτούχες ενώσεις – Ολικό Άζωτο	22
2.2.4.1 Αμμωνιακά (NH_4^+)	23
2.2.4.2 Νιτρώδη (NO_2^-)	23
2.2.4.3 Νιτρικά (NO_3^-)	23
2.2.5 Φωσφορικά (PO_4^{3-})	24
2.2.6 Πρωτεΐνες	25
2.2.7 Υδατάνθρακες	25
2.2.8 Λίπη και Έλαια	25
2.2.9 Βαρέα μέταλλα	26
2.2.10 Ολικός Οργανικός Άνθρακας	26
2.3. Βιολογικές παράμετροι	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων	28
3.1. Εναλλακτικές δυνατότητες αξιοποίησης των υγρών αποβλήτων	28
3.2. Τεχνικές απαιτήσεις για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων	30
3.3. Ανασκόπηση πλαισίου για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων	31
3.4. Επαναχρησιμοποίηση στην Ελλάδα	34
3.5. Θεσμικό πλαίσιο για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στην Ελλάδα	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων	37
4.1. Συμβατικό σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων	37
4.2. Βιολογικές διεργασίες	37

4.2.1. Βιολογική επεξεργασία με ενεργή λάσπη	37
4.2.2. Η φύση και η σύνθεση των λυμάτων	39
4.2.3 Αποικοδομήσιμος και μη βιοαποικοδομήσιμος άνθρακας	39
4.2.4. «Μαλακό» και «σκληρό» BOD	41
4.2.5. Η σύνθεση της ενεργής λάσπης	42
4.2.5.1. Ενεργή λάσπη βακτηρίων	42
4.2.5.2 Βακτηριακές κροκιδώσεις	43
4.2.5.3 Μεταβολισμός των βακτηρίων	44
4.2.5.4. Οι 3 μεγάλες διαδικασίες σε ένα βακτήριο	45
4.2.6 Βασική διάταξη εγκατάστασης επεξεργασίας	46
4.3. Σύστημα επεξεργασίας MBR (Membrane Bioreactor)	48
4.3.1. Γενικά	48
4.3.2. Ιστορική αναδρομή τεχνολογίας MBR	49
4.3.2.1 Ιστορική αναδρομή	49
4.3.2.2. Παρούσα φάση	51
4.3.2.3. Η ελληνική εμπειρία	52
4.3.3 Αρχή λειτουργίας MBR	54
4.3.4 Κατηγοριοποίηση συστημάτων MBR	56
4.3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα MBR	56
4.4. Μεμβράνες	60
4.4.1 Γενικά	60
4.4.2 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά μεμβρανών	60
4.4.3 Διεργασίες μεμβρανών	62
4.4.4 Τύποι μεμβρανών μονάδας MBR	67
4.4.5 Έμφραξη μεμβρανών	69

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Πιλοτική μονάδα MBR	73
5.1. Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας	73
5.2. Τύποι συνθετικών αποβλήτων και συστατικά αυτών	73
5.3 Εισερχόμενο Απόβλητο	77
5.4 Μεμβράνες πιλοτικής μονάδας	78
5.5 Πιλοτική διάταξη	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Αναλυτικές μέθοδοι μέτρησης κύριων χαρακτηριστικών λειτουργίας και οργανολογία	83
6.1. Χημικά είδη	83
6.2 Αναλυτικά όργανα	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πειραματική διαδικασία των μετρήσεων	92
7.1 Πρωτόκολλο στερεών	92
7.1.1 Προσδιορισμός ολικών στερεών (TS)	92
7.1.2 Προσδιορισμός ολικών διαλυμένων στερεών (TDS)	93
7.1.3 Προσδιορισμός ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS)	94
7.1.4 Προσδιορισμός πτητικών στερεών (VSS)	94
7.2 Πρωτόκολλο COD	95
7.2.1 Προσδιορισμός Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD – Chemical Oxygen Demand)	95
7.3. Πρωτόκολλο ολικού αζώτου	96
7.3.1 Προσδιορισμός ολικού αζώτου (TN _b)	96
7.4. Πρωτόκολλο φωσφόρου	97

7.4.1 Προσδιορισμός φωσφόρου (Phosphate)	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Αποτελέσματα	99
8.1 Η παρούσα πειραματική διαδικασία περιελάμβανε δύο φάσεις.	99
8.2 Δημιουργία Βιομάζας (Α-Φάση)	99
8.3 Έναρξη πιλοτικής μονάδας MBR. (B-Φάση)	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. Συμπεράσματα – Συζήτηση	106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΤΙΤΛΟΙ ΠΙΝΑΚΩΝ	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - ΤΙΤΛΟΙ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ – ΤΙΤΛΟΙ ΕΙΚΟΝΩΝ	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ – ΤΙΤΛΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

Ρύπανση υδάτινων πόρων

1.1. Γενικά περί μόλυνσης και επαναχρησιμοποίησης του νερού

Το φυσικό και κυρίως το επιφανειακό νερό περιέχει πλήθος ανεπιθύμητων συστατικών από διάφορους παθογόνους ή μη μικροοργανισμούς και διάφορα στοιχεία όπως χώμα και διάφορα άλλα αιωρούμενα σωματίδια. 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

Διαφορά μεταξύ ρύπανσης και μόλυνσης:

Ρύπανση είναι οποιαδήποτε εισαγωγή ή διασπορά στο περιβάλλον (αέρας, νερό, έδαφος) όπως:

- ενώσεις και ουσίες σε συγκεντρώσεις αρκετά μεγάλες ώστε να καθιστούν βλαβερές, επικίνδυνες και τοξικές για τον άνθρωπο καθώς επίσης και ικανές να διαταράξουν ανεπανόρθωτα μια ισορροπία.
- ενέργεια όπως θερμότητα, φως ή θόρυβος.

Μόλυνση ορίζεται ως η οποιαδήποτε εισαγωγή ή διασπορά στο περιβάλλον (αέρας, νερό, έδαφος) παθογόνων μικροοργανισμών σε συγκεντρώσεις αρκετά μεγάλες ώστε να καθιστούν επικίνδυνες για τον άνθρωπο ή ικανές να διαταράξουν ανεπανόρθωτα μια ισορροπία.

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)**.

Η νομοθεσία έχει ως πεδίο εφαρμογής στα παρακάτω:

- Αστικά και ορισμένα βιομηχανικά υγρά απόβλητα (εντός ΚΥΑ 5673/400/97) τα οποία προβλέπονται για γεωργική χρήση (άρδευση), τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων, αστική και περιαστική χρήση, βιομηχανική χρήση, επαναχρησιμοποίηση στα υδατικά συστήματα του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2007.
- Βιομηχανικά υγρά απόβλητα (εκτός ΚΥΑ 5673/400/97) τα οποία προβλέπονται για βιομηχανική χρήση, περιορισμένη άρδευση μέσω υπεδάφιου συστήματος, τροφοδότηση υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στο άρθρο 7 του ΠΔ 51/2007 μόνο μέσω διήθησης.

Δεν υπάγονται στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ:

- η ανακύκλωση βιομηχανικών αποβλήτων
- η επαναχρησιμοποίηση για πόση και για κολύμβηση (πισίνες)
- άλλες οικιακές χρήσεις

1.2. Πηγές ρύπανσης

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

1.3. 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.

Χαρακτηριστικά αστικών αποβλήτων:

- Τα απόβλητα παρουσιάζονται σαν πολυφασικό μίγμα, στο οποίο συνυπάρχουν στερεά, τέλεια διαλύματα, ελαιώδη υγρά και κολλοειδείς διασπορές.
- Η κύρια μάζα των λυμάτων είναι νερό.
- Το οργανικό περιεχόμενο των αποβλήτων αποτελείται από πρωτεΐνες (40-60%), υδατάνθρακες (25-50%) και λιπαρές ενώσεις (5-10%).
- Οι οργανικές αυτές ενώσεις συνυπάρχουν με τα προϊόντα αποικοδόμησης τους που είναι: αμινοξέα, αμμωνία, υδρόθειο, αλκοόλες, λιπαρά οξέα, φαινόλες, ινδόλη, διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υδρογόνο, νιτρικά και νιτρώδη άλατα, θείο και θειικά άλατα καθώς και διάφορες άλλες οργανικές

ενώσεις, όπως απορρυπαντικά και άλατα (ορθοφωσφορικά, πολυφωσφορικά κ.ά.).

- Το pH των αποβλήτων είναι ελαφρώς όξινο.
- Η θερμοκρασία τους είναι μερικούς βαθμούς μεγαλύτερη από εκείνη του περιβάλλοντος το χειμώνα και κάπως κατώτερη το καλοκαίρι.

Παρακάτω αναγράφονται οι πίνακες με την τυπική και ενδεικτική σύσταση υγρών αστικών αποβλήτων :

Πίνακας 1.1 : Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων (mg/l)

	Όρια Συγκέντρωσης (mg/l)		
	Ισχυρή	Μεσαία	Αδύνατη
Ολικά στερεά	1200	720	350
*Διαλυμένα(TDS)	850	500	250
Αιωρούμενα(SS)	350	220	100
Καθιζάνοντα ml/l	20	10	5
Bod ₅ (20°C)	400	220	110
Cod	1000	500	250
Toc	290	160	80
Ολικό άζωτο (N)	85	40	20
Οργ. - N	35	15	8
NH ₄ - N	50	25	12
Ολικός φώσφορος(P)	15	8	4
Οργανικός	5	3	1
Ανόργανος	10	5	3
*Χλωριόντα	100	50	30
Θειικά	50	30	20
*Αλκαλικότητα	200	100	50
Λίπη - έλαια	150	100	50

*οι τιμές πρέπει να αυξάνονται κατά ένα ποσοστό σε οικιακά απόβλητα

Πίνακας 1.2 : 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 1.1 παρουσιάζεται η τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων (G. Tchobanoglous and F.L. Burton) σε ισχυρά, μεσαία και αδύνατα.

Στον πίνακα 1.2 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 μεγάλος 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.

1.4. Βιομηχανικά απόβλητα

Βιομηχανικά απόβλητα είναι τα απόβλητα που απορρίπτονται από κτίρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα και δεν είναι οικιακά λύματα ή όμβρια ύδατα (Οδηγία 91/271/ΕΟΚ). Στα βιομηχανικά απόβλητα δεν περιλαμβάνονται αυτά που προέρχονται από τους χώρους εξυπηρέτησης προσωπικού όπως αποχωρητήρια, μαγειρεία, πλυντήρια κ.τ.λ. Η ποσότητά τους διαφέρει ανάλογα με την βιομηχανία αλλά και ανάμεσα σε ομοειδείς βιομηχανίες ανάλογα με την δυναμικότητα.

Διάκριση βιομηχανικών υγρών αποβλήτων

➤ Απόβλητα με φυσική δράση:

–Μεταφορά θερμότητας στα νερά του αποδέκτη που αυξάνει την θερμοκρασία του και την μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου.

–Υπαρξη λεπτών σωματιδίων σε αιώρηση ή ύπαρξη χρώματος που προκαλούν θολότητα στον αποδέκτη και κατ' επέκταση την μείωση της διείσδυσης του ηλιακού φωτός.

–Υπαρξη αερίων σε διάλυση και πτητικών ενώσεων που προκαλούν δυσάρεστες οσμές, μειώνουν την διαλυτότητα του οξυγόνου και έχουν τοξική δράση.

- Απόβλητα με χημική δράση:
 - Ισχυρά οξέα ή βάσεις μεταβάλλουν το pH του αποδέκτη.
 - Άλατα μετάλλων και στοιχείων που έχουν τοξική δράση.
 - Οργανικές ενώσεις (φαινόλες, χλωριωμένες ενώσεις κλπ.) που έχουν τοξική δράση.
- Απόβλητα με βιολογική δράση:
 - Από βιομηχανίες τροφίμων.
 - Περιέχουν πρωτεΐνες, σάκχαρα, λίπη κλπ.

Χαρακτηριστικά υγρών βιομηχανικών αποβλήτων

- **ΟΡΓΑΝΙΚΑ:** στις αγροβιομηχανίες: πρωτεΐνες 40-60%, υδατάνθρακες 25-50% και λίπη και έλαια 10%. Τα οργανικά προκαλούν μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στους αποδέκτες και κάποια οργανικά (π.χ. φαινόλες) είναι επικίνδυνα για την υγεία.
- **Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD5):** χρήσιμη ένδειξη της αναμενόμενης απομάκρυνσης οργανικού φορτίου με τη χρήση βιολογικών μεθόδων.
- **Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD):** για τα αστικά απόβλητα $BOD/COD=0,4-0,8$ - για τα βιομηχανικά απόβλητα ο λόγος αυτός μπορεί να είναι ιδιαίτερα χαμηλός - ένδειξη παρουσίας σημαντικής ποσότητας μη βιοαποδομήσιμων οργανικών ενώσεων.
- **Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC):** οξείδωση παρουσία καταλύτη που μετατρέπει όλο τον οργανικό άνθρακα σε CO_2 .
- **ΑΝΟΡΓΑΝΑ:** pH, ανόργανα άλατα, αλκαλικότητα, άζωτο, φώσφορος, θείο, διάφορες τοξικές ενώσεις και στοιχεία, ραδιενεργά υλικά, διεπιφανειακά (surfactants).
- **ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ :** Τα υγρά απόβλητα περιέχουν μικροοργανισμούς που μπορεί να είναι παθογόνοι. Επίσης μπορεί να περιέχουν κολοβακτηρίδια, η παρουσία των οποίων συνεπάγεται παρουσία παθογόνων.

Πίνακας 1.3 : Ισοδύναμος αριθμός κατοίκων για απόβλητα βιομηχανιών

Κλάδος βιομηχανίας	Βιομηχανία	Μονάδα παραγωγής	Κατανάλωση νερού ανά μονάδα παραγωγής (m ³)	I.A.K.
Βιομηχανίες τροφίμων	Εργοστάσιο σιτηρών	1 τόνος σιτηρών	2 – 8	500
	Κονσερβοποιεία λαχανικών	1 τόνος κονσερβών	4 – 14	500
	Εργοστάσιο ζαχαροπλαστικής	1 τόνος γλυκών	6 – 26	40 – 150
	Εργοστάσιο ζάχαρης	1 τόνος τεύτλων	10 – 20	120 – 400
	Επεξεργασία κρεάτων	1 βοοειδής ή 2 χοίροι	0,3 – 0,4	70 – 200
	Γαλακτοκομεία (χωρίς παραγωγή τυριών)	1000 lt γάλακτος	4 – 6	10 – 30
	Γαλακτοκομεία (με παραγωγή τυριών)	1000 lt γάλακτος	10	50 – 250
	Βιομηχανία μαργαρίνης	1 τόνος μαργαρίνης	20	500
	Ζυθοποιεία	1000 lt ζύθου	5 – 20	300 – 2000
	Οινοποιεία – ποτά	1000 lt σταφύλια	4 – 6	1500 - 2000
Βιομηχανίες δέρματος και υφανσίμων υλών	Βυρσοδεφεία	1 τόνος ακατέργαστων δερμάτων	40 – 60	1000 – 4000
	Πλυντήρια μαλλιού	1 τόνος μαλλιού	30 – 70	2000 – 3000
	Λευκαντήρια	1 τόνος εμπορεύματος	50 – 100	250 – 350
	Βαφεία	1 τόνος εμπορεύματος	20 – 50	2000 – 3500
Καθαριστήρια	Πλυντήρια	1 τόνος ρούχων	5	700 – 2300

Πίνακας 1.4: Ισοδύναμος αριθμός κατοίκων για απόβλητα βιομηχανιών

Βιομηχανίες ξύλου και χαρτιού	Εργοστάσιο κυτταρίνης	1 τόνος κυτταρίνης	200 – 400	3000 – 4000
	Εργοστάσιο χαρτιού	1 τόνος χαρτιού	125 – 1000	100 – 300
Χημικές βιομηχανίες	Εργοστάσιο σαπωνοποιίας - απορρυπαντικών	1 τόνος σαπούνια	15	1000
	Εργοστάσιο ελαστικών	1 τόνος προϊόντων	100 – 150	150
	Εργοστάσιο πλαστικών	1 τόνος προϊόντων	500	200
Διάφορες βιομηχανίες	Εργοστάσιο κεραμικών	1 απασχολούμενος	0,8 lt/ημ	1
	Εργοστάσιο μηχανολογικών	1 απασχολούμενος	40 lt/ημ	1
	Εργοστάσιο χαλύβδινων κατασκευών	1 απασχολούμενος	40 – 200 lt/ημ	1
	Επεξεργασίες σιδήρου	1 απασχολούμενος	60 lt/ημ	1 – 10
	Χυτήρια	1 τόνος υλικού	3 – 8	12 – 30
	Εργοστάσιο ψυχρής ελάσεως	1 τόνος προϊόντων	8 – 50	8 – 50
	Εργοστάσιο εκμετάλλευσης μεταλλευμάτων σιδήρου	1 m ³ μεταλλευμάτων	16	560

Στη συνέχεια παρουσιάζεται πίνακας με τους τυπικούς ρυθμούς ροής λυμάτων από διάφορες πηγές ανά μονάδα και ανά κάτοικο

Πίνακας 1.5 : Τυπικοί ρυθμοί ροής λυμάτων από ποικίλες πηγές σε λίτρα ανά μονάδα και ανά ημέρα

Πηγή	Μονάδα	Ροή	
		Εύρος	Μέσος όρος
Αεροδρόμιο	Επιβάτης	8-15	11
Διαμέρισμα:			
-Υψηλή περίοδος	Άτομο	130-280	190
- Χαμηλή περίοδος	Άτομο	280-300	245
Θέρετρο	Άτομο	190-265	230
Συνεργείο αυτοκινήτων	Επισκευή οχήματος	26-49	38
	Υπάλληλος	34-57	45
Μπαρ	Πελάτης	4-19	11
	Υπάλληλος	38-61	49
Θέρετρο	Άτομο	30-190	150
Καφετέρια	Πελάτης	4-11	8
	Υπάλληλος	30-45	38
Κατασκήνωση	Άτομο	75-150	115
Αίθουσα μπαρ	Θέση	45-95	75
Καφετέρια	Πελάτης	15-30	23
	Υπάλληλος	30-45	38
Κλαμπ εξοχής	Ενεργό μέλος	230-490	380
	Υπάλληλος	38-57	49
Ημερήσια Κατασκήνωση (χωρίς γεύματα)	Άτομο	38-57	49
Πολυκατάστημα	WC	1510-2270	1890
	Υπάλληλος	30-45	38
Τραπεζαρία	Γεύμα	15-38	26
Κοιτώνας	Άτομο	75-190	150
Νοσοκομείο	Κρεβάτι	475-910	627
	Υπάλληλος	19-57	38
Ψυχιατρικό νοσοκομείο	Κρεβάτι	285-530	380
	Υπάλληλος	19-57	38
Ξενοδοχείο	Καλεσμένος	150-214	182
	Υπάλληλος	26-49	38

Ξενοδοχείο, θέρετρο	Άτομο	150-230	190
Αυτόνομη κατοικία			
Τυπικό σπίτι	Άτομο	170-340	265
Καλύτερο σπίτι	Άτομο	230-380	300
Πολυτελές σπίτι	Άτομο	285-570	360
Γηροκομείο	Άτομο	115-230	170
Θερινή αγροικία	Άτομο	95-190	150
Βιομηχανικό κτίριο			
Μόνο απορρίμματα ειδών υγιεινής	Υπάλληλος	26-61	49
Στεγνοκαθαριστήριο	Μηχανή	1700-2460	2080
	Πλύση	170-210	190
Μοτέλ			
Με κουζίνα	Μονάδα	340-680	380
Χωρίς κουζίνα	Μονάδα	285-570	360
Γραφείο	Υπάλληλος	26-61	49
Φυλακή	Έγκλειστος	285-570	435
	Υπάλληλος	19-57	38
Οίκος ευηρίας	Ένοικος	190-455	320
Εστιατόριο	Γεύμα	8-15	11
Σχολείο			
Με καφετέρια,γυμναστήριο	Μαθητής	57-115	95
Με καφετέρια μόνο	Μαθητής	38-75	57
Χωρίς καφετέρια και γυμναστήριο	Μαθητής	19-64	42
Σχολείο	Μαθητής	190-380	285
Εμπορικό κέντρο	Υπάλληλος	26-49	38
	Χώρος στάθμευσης	4-8	8
Θέρετρο	Πελάτης	4-15	11
	Υπάλληλος	30-45	38
Πισίνα	Πελάτης	19-45	38
	Υπάλληλος	30-45	38
Θέατρο	Θέση	8-15	11
Πάρκο	Άτομο	115-190	150
Κέντρο επισκεπτών	Επισκέπτης	15-30	19

Το pH των λυμάτων είναι σχεδόν ουδέτερο (περίπου 7,00). Η θερμοκρασία τους παρουσιάζεται μερικούς βαθμούς μεγαλύτερη από εκείνη του περιβάλλοντος το χειμώνα και κάπως κατώτερη το καλοκαίρι. Η μέση ημερήσια παραγωγή ρυπαντικών φορτίων για κάθε άτομο φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1.6 : Μέση ημερήσια παραγωγή ρυπαντικών φορτίων για κάθε άτομο

Ολικά αιωρούμενα στερεά	80 g ανά κάτοικο και ημέρα
Καθιζάνοντα αιωρούμενα στερεά	54 g ανά κάτοικο και ημέρα
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο(BOD ₅)	65 g ανά κάτοικο και ημέρα
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο(COD)	165 g ανά κάτοικο και ημέρα
Ολικό άζωτο κατά kjeldahl	10 g ανά κάτοικο και ημέρα
Ολικός φώσφορος	3.2 g ανά κάτοικο και ημέρα
Λίπη και έλαια	10 ml ανά κάτοικο και ημέρα
Ανδρομερή μεγαλύτερα των 20 mm	65 g ανά κάτοικο και ημέρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων

Η ποιότητα των υδάτων επιβαρύνεται δυσμενώς από τη διοχέτευση σε αυτά ουσιών ανόργανης και οργανικής προέλευσης. Η διοχέτευση των ουσιών γίνεται είτε μέσω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (ανεξέλεγκτη ή ημι-ελεγχόμενη απόρριψη αποβλήτων) είτε με φυσικές διεργασίες (π.χ. επιφανειακή απορροή υδάτων στα οποία εκχυλίζονται ή διαλύονται ρυπαντικά συστατικά, χημικές αντιδράσεις και έκπλυση νερού σε κατασκευαστικά υλικά με αποτέλεσμα τη διαλυτοποίηση μετάλλων σε αυτό, διαβρωτική δράση του νερού σε μεταλλικές κατασκευές κ.λπ.).

Η επιβάρυνση της ποιότητας των υδάτων εξαρτάται από μια μεγάλη ποικιλία ρύπων και μπορεί να επιφέρει τις εξής κατηγορίες επιπτώσεων:

- Οικολογικές : όταν οι ρύποι προκαλούν δυσμενείς διαταραχές στη λειτουργία των υδατικών οικοσυστημάτων
- Αισθητικές : όταν η ρύπανση γίνεται αιτία για την ανάπτυξη δυσάρεστων οσμών, χωματισμού και θολότητας του υδάτινου αποδέκτη
- Υγιεινολογικές : όταν το νερό γίνεται φορέας παθογένειας και τοξικότητας για τον άνθρωπο και τα ζώα που χρησιμοποιούν είτε το ίδιο για πόση είτε τους υδρόβιους οργανισμούς για τροφή

Στη συνέχεια, δίδονται οι κύριες παράμετροι που εξετάζονται προκειμένου να προσδιορισθεί η ποιότητα και ο βαθμός ρύπανσης των υδάτων.

17

2.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

2.1.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία έχει σημαντική επίδραση στις διεργασίες και τα φυσικά φαινόμενα των υδατικών συστημάτων (δημιουργία ρευμάτων, οξυγόνωση του νερού, μεταβολισμός των υδρόβιων οργανισμών, και άλλα). Εκ των κυριότερων μορφών ρύπανσης των Υδάτων είναι η θερμική ρύπανση επηρεάζοντας κυρίως τα επιφανειακά νερά των ποταμών και λιμνών, τα οποία χρησιμοποιούνται για ψύξη σε βιομηχανικές εφαρμογές. Το νερό αυτό αποκτά θερμότητα και επιστρέφει στον υδάτινο αποδέκτη σημαντικά θερμότερο, αυξάνοντας την θερμοκρασία του νερού του συστήματος. Η άνοδος της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, απαραίτητου για την επιβίωση των φιλοξενούμενων οργανισμών, και μειώνει την πυκνότητα του νερού. Το ελαφρύτερο νερό ανέρχεται

στην επιφάνεια και εμποδίζει την διάλυση του οξυγόνου στην υδατική μάζα, μειώνοντας και την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στα κατώτερα στρώματα. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να αποβεί μοιραίο για τους οργανισμούς που φιλοξενούνται στο νερό ή συντηρούνται από αυτό (πλαγκτόν, ψάρια, όστρακα, αμφίβια, και άλλα).

Η θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων είναι πολύ σπουδαία φυσική παράμετρος εξαιτίας της επίδρασής της στο ρυθμό των βιοχημικών αντιδράσεων.

Όλες οι βιοχημικές αντιδράσεις εκτελούνται με ταχύτερο ρυθμό σε υψηλές θερμοκρασίες. Συνδέεται άμεσα με τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό (είναι λιγότερο διαλυτό στο θερμό νερό από ό τι στο ψυχρό). Ιδιαίτερα τονίζεται η σχέση της θερμοκρασίας με τη διαλυτότητα του οξυγόνου το οποίο προσδίδεται στα απόβλητα κατά την αερόβια βιολογική επεξεργασία στις δεξαμενές ενεργού ιλύος. Η διάθεση τέλος θερμών υγρών αποβλήτων σε φυσικούς αποδέκτες επηρεάζει άμεσα το οικοσύστημα.

Η σχετική νομοθεσία ορίζει τα επιτρεπτά όρια διακύμανσης της θερμοκρασίας του νερού. Το πόσιμο νερό συνιστάται να έχει θερμοκρασία 7-11°C, αν όμως υπερβεί τους 25°C αλλοιώνει την γεύση του νερού.

2.1.2 pH

Το pH είναι μια άκρως σημαντική παράμετρος για ένα υδατικό σύστημα καθώς αποτελεί μέτρο ελέγχου για πολλούς παράγοντες.

Πιο συγκεκριμένα, το pH εξαρτάται άμεσα από το είδος των χημικών ενώσεων που περιέχονται στο νερό, ρυθμίζει τις χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται σ' αυτό, και επιταχύνει ή παρεμποδίζει τις βιοχημικές διεργασίες. Για παράδειγμα, η επιβίωση των κυττάρων είναι εφικτή σε pH με εύρος τιμών 5-9, ενώ υψηλή τιμή pH μειώνει την διαλυτότητα των ουσιών στο νερό, οπότε καθιζάνουν στον πυθμένα

Η νομοθεσία ορίζει τα επιτρεπόμενα όρια για το pH στο πεδίο τιμών 6,6-8,5 για το πόσιμο νερό. Το φυσικό γλυκό νερό έχει ελαφρά αλκαλικό pH, λόγω της παρουσίας ανθρακικών και δισανθρακικών ιόντων. Ο συνήθης τρόπος έκφρασης της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου γίνεται με τον προσδιορισμό της τιμής του pH, που ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των υδρογονοϊόντων στο νερό, δηλαδή $pH = -\log_{10}(H^+)$. Το pH σε θερμοκρασία 25°C μετράται στο εύρος τιμών 0 – 14, με ουδέτερο σημείο την τιμή 7, όπου τα ιόντα υδρογόνου και υδροξυλίου βρίσκονται σε ίσες συγκεντρώσεις. Ύδατα με τιμές pH μικρότερες από 7 ορίζονται ως όξινα και με τιμές μεγαλύτερες από 7, ως αλκαλικά. Έντονα όξινα ή αλκαλικά ύδατα και απόβλητα δημιουργούν προβλήματα κατά την

επεξεργασία και πρέπει να γίνεται ρύθμιση του pH στα επιθυμητά ανά περίπτωση όρια (π.χ. η βιολογική επεξεργασία αποβλήτων πρέπει να γίνεται σε τιμές pH που κυμαίνονται στην ουδέτερη περιοχή, μεταξύ 6 – 8).

Το pH είναι πολύ σημαντική παράμετρος και χαρακτηρίζει τόσο τα φυσικά νερά όσο και τα υγρά απόβλητα τα οποία είναι συνήθως αλκαλικά. Ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου και επηρεάζει όλες τις βιοχημικές αντιδράσεις. Το κατάλληλο εύρος για τη διατήρηση των περισσότερων μικροοργανισμών είναι συνήθως μεταξύ 6 και 9. Πολύ όξινα ή πολύ αλκαλικά απόβλητα είναι δύσκολο έως αδύνατο να υποστούν βιολογική επεξεργασία. Η αναερόβια επεξεργασία της λύσης απαιτεί σταθερές τιμές pH (7,0 – 7,5) για να υπάρξει ισορροπία μεταξύ της όξινης και της αλκαλικής ζύμωσης. Οι τιμές pH των εκροών των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων πρέπει να κυμαίνονται από 6,5 – 8,5 ώστε να μην μεταβάλλονται οι αντίστοιχες τιμές των φυσικών νερών.

2.1.3 Αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα αποτελεί το μέτρο της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος μέσω ενός αγωγού (το αντίθετο φαινόμενο ονομάζεται ηλεκτρική αντίσταση). Σε υδατικό διάλυμα, η τιμή της ειδικής αγωγιμότητας αποτελεί δείκτη παρουσίας διαλυμένων αλάτων.

Η αγωγιμότητα η οποία εκφράζεται σε mS/cm, χρησιμοποιείται ως αντιπροσωπευτικό μέτρο της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στα υγρά απόβλητα. Χρησιμοποιείται επίσης για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων αποβλήτων που προορίζονται για άρδευση και συνδέεται άμεσα με την αλατότητα, η οποία εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις χιλίοις (‰).

Συχνότερα χρησιμοποιείται η ειδική αγωγιμότητα k (σε $\mu\text{mhos/cm}$), η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία του νερού. Η συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων

στερεών (TDS) εξαρτάται από την ειδική αγωγιμότητα ως εξής: $TDS=k \cdot f$. Ο δείκτης f εξαρτάται από την θερμοκρασία του νερού, και την πηγή προέλευσής του, ενώ κυμαίνεται στο εύρος τιμών 0,54-0,90. Ενδεικτικά, η καθαρή βροχή έχει ειδική αγωγιμότητα 20-50 $\mu\text{mhos/cm}$, ενώ η βροχή σε περιοχές με αυξημένη ρύπανση έχει 500 $\mu\text{mhos/cm}$.

2.1.4 Οσμή

Οι οσμές στα αστικά απόβλητα προκύπτουν συνήθως από εκλυόμενα αέρια στην αποσύνθεση οργανικών ουσιών ή ουσιών που προστίθενται στο απόβλητο. Η οσμή μπορεί να μετρηθεί με οργανοληπτικές μεθόδους ή με ενόργανη ανάλυση.

2.1.5 Χρώμα

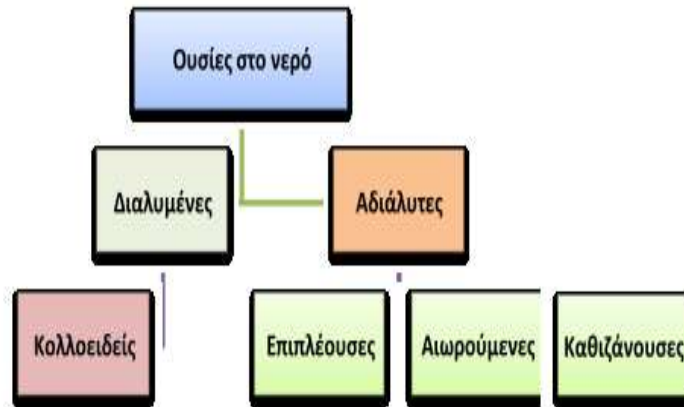
Το χρώμα συνδέεται με το χρόνο παραγωγής των υγρών αποβλήτων. Τα φρέσκα απόβλητα εμφανίζουν καφέ-γκρίζο χρώμα που μεταβάλλεται σταδιακά σε σκούρο γκρι και τέλος σε μαύρο όσο παραμένουν στο δίκτυο λόγω της δημιουργίας αναερόβιων συνθηκών. Στην τελευταία περίπτωση το απόβλητο χαρακτηρίζεται σαν σηπτικό.

2.1.6 Πυκνότητα

Η πυκνότητα των αστικών λυμάτων που δεν περιέχουν σημαντικές ποσότητες βιομηχανικών αποβλήτων είναι ίδια με αυτή του νερού στην ίδια θερμοκρασία.

2.1.7 Στερεά

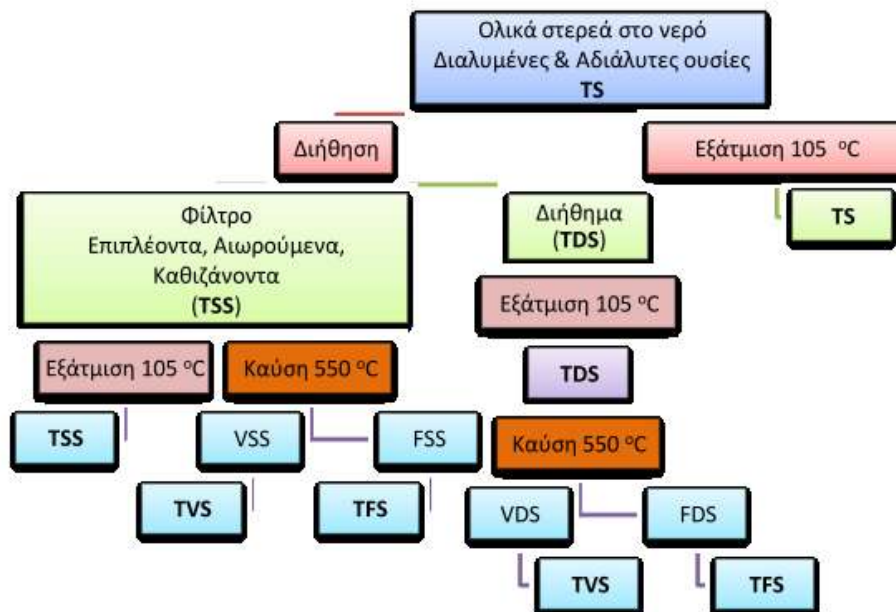
Στα φυσικά νερά ή στα απόβλητα, ως στερεά υλικά ορίζονται τα υλικά που είναι διαλυμένα ή αιωρούνται στη μάζα του ρευστού. Τα στερεά μπορεί να επηρεάζουν την ποιότητα των φυσικών νερών ή των επεξεργασμένων αποβλήτων με πολλούς τρόπους. Νερά που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυμένα στερεά δεν είναι αποδεκτά από τους καταναλωτές ως πόσιμα και για τον λόγο αυτό το όριο των διαλυτών στερεών για το πόσιμο νερό τίθεται στα 500 mg/L. Η υψηλή περιεκτικότητα των νερών σε άλατα δεν είναι επίσης αποδεκτή για βιομηχανικές χρήσεις. Τέλος νερά κολύμβησης με υψηλή περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά δεν είναι αισθητικά αποδεκτά.



Σχήμα 2.1 Ουσίες στο νερό

Η ανάλυση των στερεών ενός δείγματος είναι σημαντική για τον έλεγχο της απόδοσης των φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών σε μια μονάδα επεξεργασίας αστικών αποβλήτων προκειμένου να εκτιμηθεί η ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων ως προς τα όρια που θέτει η νομοθεσία.

Τα στερεά που απαντώνται στα ύδατα μπορούν να ταξινομηθούν σε επιμέρους κατηγορίες όπως ολικά στερεά (TS), ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), εξατμιζόμενα στερεά (VSS) και καθιζάνοντα στερεά.



Σχήμα 2.2 Ταξινόμηση στερεών στα απόβλητα

2.1.7.1 Ολικά στερεά (TS)

Το σύνολο των στερεών που υπάρχουν στα ύδατα (αιωρούμενα, διαλυμένα, καθιζάνοντα) αποτελούν τα ολικά στερεά, η μέτρηση των οποίων παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το επίπεδο επιβάρυνσης που έχει υποστεί ο υδατικός αποδέκτης. Προσδιορίζονται με ζύγιση ως το υπόλειμμα ορισμένου όγκου δείγματος νερού μετά από εξάτμιση σε θερμοκρασία 102-105°C.

2.1.7.2 Ολικά Αιωρούμενα στερεά (TSS)

Τα αιωρούμενα στερεά (λεπτομερή σωματίδια και κolloειδή) είναι ανόργανης ή οργανικής φύσης και έχουν είτε φυσική προέλευση είτε προέρχονται από τη χρήση του νερού από τον άνθρωπο. Η παρουσία τους στα ύδατα οδηγεί στη δημιουργία θολότητας η οποία εκτρέπει ή απορροφά το ηλιακό φως. Ως συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι πέρα από την αισθητική υποβάθμιση του νερού, η παρεμπόδιση της διέλευσης του ηλιακού φωτός και ο περιορισμός των διαδικασιών φωτοσύνθεσης και παραγωγής του φυτοπλαγκτόν. Ακόμη, τα αιωρούμενα στερεά μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών και να παρέχουν προστασία στους παθογόνους μικροοργανισμούς έναντι των διαδικασιών καταστροφής τους. Επιπλέον, τα αιωρούμενα στερεά επηρεάζουν τη μεταφορά συστατικών, όπως του οξυγόνου, μεταξύ ατμόσφαιρας και νερού. Η παράμετρος των αιωρούμενων στερεών είναι σημαντική στη διαχείριση των υγρών αποβλήτων, αφού αποτελεί μέτρο ελέγχου του βαθμού απόδοσης των μονάδων επεξεργασίας αστικών λυμάτων και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων. Ο διαχωρισμός γίνεται με διήθηση και ξήρανση στους 105°C.

2.1.7.3 Ολικά Διαλυμένα στερεά (TDS)

Τα διαλυμένα στερεά οφείλονται στην παρουσία κυρίως ευδιάλυτων ανόργανων αλάτων όπως χλωριούχα, θειικά, νιτρικά, νιτρώδη, αμμωνιακά κ.λπ. Η προέλευσή τους είναι είτε φυσική είτε οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Μερικοί κανονισμοί πόσιμου νερού συνιστούν ή επιβάλλουν ανώτατο όριο για την ολική συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών, όμως τα προβλήματα που δημιουργούν τα στερεά αυτά οφείλονται περισσότερο στα ειδικά χημικά χαρακτηριστικά των ενώσεων που τα αποτελούν παρά στην ολική συγκέντρωσή τους. Ο διαχωρισμός γίνεται με διήθηση και ξήρανση στους 105°C.

2.1.7.4 Εξατμιζόμενα στερεά (VSS)

Τα εξατμιζόμενα στερεά (ή πτητικά στερεά) είναι το ποσοστό των ξηρών στερεών που χάνονται με ανάφλεξη στους 550°C, και είναι μια χρήσιμη παράμετρος για την μέτρηση της οργανικής ύλης. Πρακτικά το σύνολο των παραγόμενων οξειδωμένων πτητικών ενώσεων κατά την πειραματική διαδικασία προέρχεται από οργανικές ενώσεις, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό που προέρχεται από ανόργανες ενώσεις είναι μικρότερο από 1% του συνολικού βάρους. Το ποσοστό μείωσης των πτητικών στερεών αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείκτη για τον βαθμό βιο- αποδόμησης.

2.1.7.5 Καθιζάνοντα στερεά

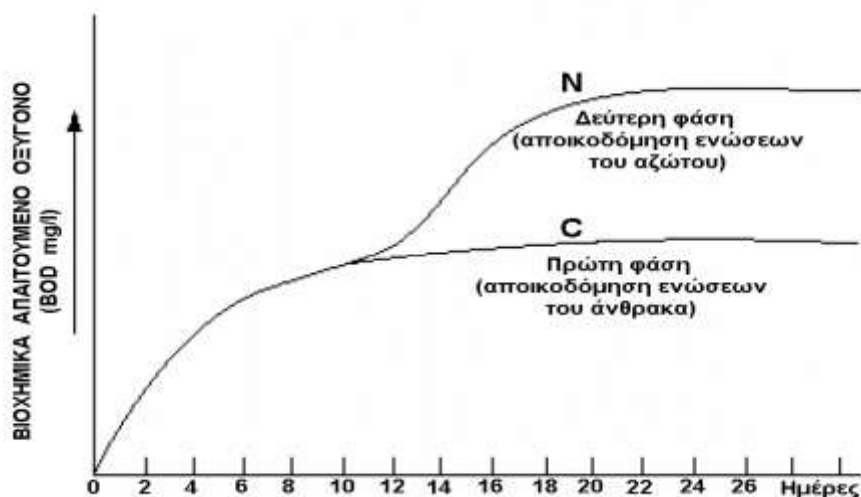
Τα καθιζάνοντα στερεά σχηματίζουν πυθμενική λάσπη η οποία μπορεί να δημιουργήσει δυσμενείς επιπτώσεις για τους πληθυσμούς των ασπόνδυλων οργανισμών και να φράξει πυθμενικά στρώματα χαλικιού όπου τα ψάρια αποθέτουν τα αυγά τους. Επίσης, τα στερεά αυτά όταν υπάρχουν στο αρδευτικό νερό, αποτίθενται στις δεξαμενές και τους αγωγούς, φράσσουν το επιφανειακό στρώμα του εδάφους εμποδίζοντας έτσι την διείσδυση του νερού και του ατμοσφαιρικού αέρα και μπορούν να σχηματίζουν επιστρώματα στα φύλλα των φυτών, γεγονός που εμποδίζει τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

2.2 ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

2.2.1 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (B.O.D.)

Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand, BOD) είναι η παράμετρος που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του οργανικού φορτίου (της τροφής) των υγρών αποβλήτων και των ρυπασμένων νερών. Είναι δηλαδή η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την πλήρη βιοχημική οξείδωση των περιεχόμενων οργανικών ουσιών. Η ταχύτητα της βιολογικής αυτής οξείδωσης εξαρτάται από το είδος της οργανικής ύλης που περιέχεται στο προς εξέταση δείγμα. Υπάρχουν οργανικές ουσίες που οξειδώνονται (αποικοδομούνται) βιολογικά σχετικά εύκολα αλλά υπάρχουν και αυτές που δεν οξειδώνονται βιολογικά (μη βιοδιασπάσιμες ύλες). Ως γνωστόν τα αστικά λύματα περιέχουν κυρίως υδατάνθρακες π.χ. κυτταρίνη, σάκχαρα, άμυλο, καθώς επίσης και αζωτούχες (ουρία, πρωτεΐνες κ.λ.π.) και θειούχες ενώσεις. Οι περισσότερες απ' αυτές τις ουσίες κατά την βιολογική οξείδωση διασπώνται σε άλλες απλούστερες και δίνουν ανάλογα προϊόντα όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), αμμωνία (NH₃) και νερό (H₂O). Οι οξειδωτικές αυτές αντιδράσεις είναι συνυφασμένες με υψηλή κατανάλωση οξυγόνου, η οποία λαμβάνεται σαν μέτρο

της οργανικής ρύπανσης των νερών. Η βιολογική αποικοδόμηση των ρυπαντικών (οργανικών) ουσιών γίνεται σε δύο στάδια (σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 Τα δύο στάδια της βιολογικής αποικοδόμησης της οργανικής ύλης (BOD)

Στο πρώτο στάδιο αποικοδομούνται κυρίως οι ενώσεις του άνθρακα (υδατάνθρακες, λίπη), προηγείται δηλαδή η οξείδωση των ευκολότερα βιοδιασπάσιμων ουσιών, ενώ στο δεύτερο οι ενώσεις του αζώτου (πρωτεΐνες, αμινοξέα). Το πρώτο στάδιο, για θερμοκρασία 20°C, αρχίζει αμέσως και ολοκληρώνεται μέσα σε 20 περίπου ημέρες. Το δεύτερο στάδιο, για θερμοκρασία 20°C, αρχίζει μετά την πάροδο 10 - 15 ημερών και διαρκεί πολύ περισσότερο χρόνο. Σημειώνεται ότι σε υψηλές θερμοκρασίες η αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών γίνεται ταχύτερα και ότι κατά το στάδιο οξείδωσης των αζωτούχων ενώσεων παράγεται νιτρικό οξύ το οποίο στη συνέχεια αντιδρά με τα περιεχόμενα στα οικιακά λύματα ανθρακικά και όξινα ανθρακικά και ουδετεροποιείται.

Όπως προκύπτει και από το διάγραμμα η ολοκλήρωση της μέτρησης (πειράματος) απαιτεί πολύ χρόνο. Για θερμοκρασία 20°C απαιτούνται περίπου 20 ημέρες για να ικανοποιηθούν τα 95-99 % του ολικού BOD και για αυτό η κατανάλωση του οξυγόνου καθορίζεται με βάση τον προσδιορισμό του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου σε πέντε (5) ημέρες (BOD₅). Είναι προφανές ότι η ταχύτητα αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών είναι διαφορετική στις διάφορες θερμοκρασίες. Σε υψηλές θερμοκρασίες η αποικοδόμηση πραγματοποιείται ταχύτερα.

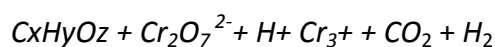
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του BOD χρησιμοποιούνται :

- για την εύρεση της ποσότητας οξυγόνου που απαιτείται για τη βιοχημική οξείδωση των οργανικών ουσιών,
- για την εύρεση του μεγέθους (διαστασιολόγηση) των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων,
- για τη μέτρηση της αποδοτικότητας μερικών διεργασιών επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και
- για την εύρεση των τιμών συμμόρφωσης με τα όρια των εκροών τα οποία τίθενται από τη νομοθεσία.

2.2.2 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (C.O.D.)

Το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand - COD) είναι η παράμετρος που προσδιορίζει έμμεσα το συνολικό οργανικό φορτίο που υπάρχει στα ύδατα ή τα απόβλητα (βιοαποικοδομήσιμο και μη). Συγκεκριμένα, προσδιορίζει το οξυγόνο που απαιτείται για την πλήρη διάσπαση-οξείδωση του συνολικού οργανικού φορτίου προς νερό και διοξείδιο του άνθρακα.

Η οξείδωση πραγματοποιείται με ισχυρά οξειδωτικά μέσα, υπό όξινες συνθήκες και λόγω του γεγονότος ότι ορισμένες οργανικές ενώσεις είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές στις διαδικασίες πλήρους οξείδωσής τους (π.χ. αρωματικές ενώσεις), η διεργασία αναπτύσσεται παρουσία καταλύτη. Το COD αποτελεί επίσης βασική παράμετρο για το σχεδιασμό και έλεγχο της λειτουργίας μονάδων βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Το απαιτούμενο οξυγόνο για την οξείδωση μιας ποσότητας οργανικών ουσιών (της τροφής) μπορεί να μετρηθεί και με χημικές μεθόδους. Πρόκειται για το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο το οποίο συμβολίζεται ως COD. Με τον όρο COD εννοούμε την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την χημική οξείδωση της οργανικής ύλης σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και νερό (H₂O). Η οξείδωση αφορά το σύνολο των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα δείγμα και μπορούν να οξειδωθούν με ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο. Σαν τέτοιο οξειδωτικό χρησιμοποιείται το διχρωμικό κάλιο (K₂Cr₂O₇) σε όξινο περιβάλλον. Η οξείδωση του οργανικού φορτίου γίνεται σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και χαμηλού pH παρουσία θειικού αργύρου (Ag₂SO₄) σαν καταλύτη. Η εξουδετέρωση των χλωριούχων ιόντων που συνήθως υπάρχουν στο δείγμα, γίνεται με θειικό υδράργυρο (HgSO₄). Η εξουδετέρωση της περίσσειας των διχρωμικών (Cr₂O₇²⁻) ιόντων γίνεται με διάλυμα θειικού αμμωνιούχου σιδήρου (FeSO₄(NH₄)₂SO₄ * 6H₂O) γνωστής κανονικότητας. Για την ογκομετρική ανάλυση (τιτλοδότηση) χρησιμοποιείται δείκτης Ferroin. Η οξείδωση της οργανικής ύλης μπορεί να παρασταθεί από την παρακάτω στοιχειομετρική εξίσωση:



Η μέτρηση του COD χρησιμοποιείται πολλές φορές αντί της μέτρησης του BOD ή συμπληρωματικά. Η ταχύτητα της μέτρησης είναι το μεγάλο πλεονέκτημά της αφού ολοκληρώνεται σε 2-3 ώρες, σε αντίθεση με τη μέτρηση του BOD₅, η οποία διαρκεί 5 ημέρες. Το μειονέκτημα όμως είναι ότι με το COD μετριέται όχι μόνο η βιοδιασπάσιμη αλλά και η μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη. Συνεπώς, η μέτρηση του COD είναι κατά κάποιον τρόπο λιγότερο αντιπροσωπευτική από τη μέτρηση του BOD₅ όταν πρόκειται για προσδιορισμό του οργανικού φορτίου που υπάρχει στα τυπικά αστικά λύματα. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg/l COD. Κατά κανόνα το COD είναι πάντα μεγαλύτερο από το BOD₅ και για τα αστικά λύματα ο λόγος COD / BOD₅ είναι 1,2 - 1,5.

2.2.3 Διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen)

Το διαλυμένο οξυγόνο διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο για τα υδατικά οικοσυστήματα. Οι περισσότερες μορφές ζωής χρειάζονται οξυγόνο για να επιβιώσουν. Μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου σε επίπεδα μικρότερα από την τιμή κορεσμού οδηγεί σε αποδόμηση της οργανικής ύλης και νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου, ενώ οι φιλοξενούμενες μορφές ζωής επηρεάζονται σημαντικά, ή ακόμα θανατώνονται. Το περισσότερο οξυγόνο των φυσικών νερών προέρχεται από την ατμόσφαιρα όπου υπάρχει σε ποσοστό 20,95%, και με αυτόν τον τρόπο υπάρχει δυνατότητα οξυγόνωσης των υδάτων απλώς με την επαφή με την ατμόσφαιρα. Το οξυγόνο μπορεί να προέρχεται από την φωτοσυνθετική δράση των αλγών, σε μικρό ποσοστό.

Η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό εξαρτάται από την μερική πίεση του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα, από την θερμοκρασία του νερού, και την περιεκτικότητα του νερού σε άλατα. Ισχύει ο νόμος του Henry: $X_{(g)} = X_{(aq)}$. Τα αστικά λύματα όπως και συγκεκριμένες κατηγορίες υγρών βιομηχανικών αποβλήτων περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου, αμμωνιακού και οργανικού αζώτου. Η μη αποτελεσματική επεξεργασία τους πριν την τελική τους διάθεση, οδηγεί σε αντίστοιχη αύξηση των συγκεντρώσεων των ενώσεων αυτών στα φυσικά ύδατα όπου λαμβάνουν χώρα οι εξής διεργασίες: Το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνιακά ιόντα τα οποία είναι άμεσα διαθέσιμα για νιτροποίηση (μετατροπή σε νιτρικά). Η διαδικασία αυτή απαιτεί την κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων διαλυμένου οξυγόνου. Επίσης, το άζωτο και ο φώσφορος που περιέχονται στα λύματα, ως θρεπτικά συστατικά, ενεργοποιούν την παραγωγή νέας ζωντανής οργανικής ύλης στον υδάτινο αποδέκτη η οποία μετά την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής της αποσυντίθεται καταναλώνοντας διαλυμένο οξυγόνο. Επομένως, η μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στα ύδατα είναι δείκτης της ρυπαντικής επιβάρυνσης που έχει επέλθει σε αυτά, λόγω κυρίως της παρουσίας οργανικών ενώσεων και ενώσεων του αζώτου.

Ο βαθμός ελάττωσης της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου εξαρτάται επίσης από την υφιστάμενη σχέση των ρυθμών αποξυγόνωσης και οξυγόνωσης του συγκεκριμένου οικοσυστήματος (συχνά η αναπλήρωση του οξυγόνου γίνεται μόνο από εισρέουσες μάζες νερού πλουσιότερες σε διαλυμένο οξυγόνο). Σύμφωνα με τις κατευθύνσεις της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας, η ενδεικνυόμενη ελάχιστη μέση τιμή διαλυμένου οξυγόνου για τη διαβίωση σαλμονίδων πρέπει να είναι τα 9 mg/l και η οριακή ελάχιστη τιμή τα 7 mg/l, ενώ για τις κυπρινίδες 7 mg/l και 5 mg/l, αντίστοιχα. Για οικοσυστήματα καλλιέργειας οστρακοειδών η ελάχιστη συγκέντρωση στο 95 % του χρόνου πρέπει να είναι ίση με 70% της τιμής κορεσμού, ενώ για περιοχές κολύμβησης συνιστάται ελάχιστη τιμή στο 90% του χρόνου ίση με τα 80% της τιμής κορεσμού.

2.2.4 Αζωτούχες ενώσεις – Ολικό Άζωτο

Οι ενώσεις του αζώτου αποτελούν σημαντική παράμετρο στην αξιολόγηση της ρύπανσης των υδάτων. Το άζωτο συντελεί στο φαινόμενο του ευτροφισμού των υδάτων, ιδιαίτερα σε θαλάσσια περιβάλλοντα. Το άζωτο, με βαθμίδες οξειδωσης από +5 ως -3, απαντάται σε διάφορες μορφές στα ύδατα. Κυρίως ως νιτρικά ιόντα, νιτρώδη ιόντα, αμμωνιακά ιόντα και οργανικό άζωτο. Οι ενώσεις αυτές, μαζί με το διαλυμένο αέριο άζωτο, καταναλώνονται από τους μικροοργανισμούς που συμμετέχουν στον κύκλο του αζώτου

Η παρουσία αμμωνίας και νιτρικών στα ύδατα αποτελεί ένδειξη ρύπανσης των υδάτων από γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Πιο συγκεκριμένα, η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων αμμωνίας υποδηλώνει πρόσφατη ρύπανση ενώ οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών που αποτελούν και το τελικό προϊόν της οξειδωσης της αμμωνίας και γενικά των αζωτούχων ενώσεων, υποδηλώνει ρύπανση μεγαλύτερης διάρκειας.

Το άζωτο είναι βασικό στοιχείο για τη σύνθεση των πρωτεϊνών και οι γνώσεις για τη μορφή με την οποία βρίσκεται στα απόβλητα καθώς επίσης και οι συγκεντρώσεις του σε οποιαδήποτε μορφή, είναι απαραίτητες για τη διαδικασία αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των βιολογικών διεργασιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Στα υγρά απόβλητα το άζωτο βρίσκεται σε διάφορες μορφές κυριαρχεί όμως η μορφή του πρωτεϊνικού υλικού και της ουρίας (NH_2CONH_2). Ανεπαρκής ποσότητα αζώτου μπορεί να επιβάλλει την προσθήκη αζώτου προκειμένου να διευκολυνθεί η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Οι ευαίσθητοι φυσικοί αποδέκτες επεξεργασμένων εκροών απαιτούν πάντα την απομάκρυνση του αζώτου από τα υγρά απόβλητα. Το οργανικό κλάσμα, το οποίο βρίσκεται στα απόβλητα σε διαλυτή ή σωματιδιακή μορφή, αποτελείται από αμινοξέα, αμινοσακχαρίτες και πρωτεΐνες. Η κατανομή της αμμωνίας και των αμμωνιακών ιόντων εξαρτάται

συνήθως από το pH. Σε απόβλητα με χαμηλό pH κυριαρχεί το άζωτο με τη μορφή των αμμωνιακών (NH_4^+), ενώ σε υψηλότερες τιμές pH κυριαρχεί η αμμωνία (NH_3).

Τα νιτρώδη (NO_2^-) ιόντα αποτελούν ένα δείγμα προϋπάρχουσας ρύπανσης, ενώ σπάνια συναντάται υψηλή συγκέντρωση αυτών των ιόντων στα υγρά απόβλητα. Τα νιτρώδη θεωρούνται σημαντικά για τα υγρά απόβλητα γιατί είναι ιδιαίτερα τοξικά. Συνήθως όμως οξειδώνονται πολύ γρήγορα σε νιτρικά (NO_3^-) ιόντα. Τα νιτρώδη που βρίσκονται στις εκροές των υγρών αποβλήτων οξειδώνονται από το χλώριο κατά την απολύμανση και αυτό οδηγεί στην αύξηση της δόσης του χλωρίου και επομένως και στο κόστος της απολύμανσης. Η υπερίσχυση των νιτρικών (NO_3^-) ιόντων, τα οποία αποτελούν τη πιο οξειδωμένη μορφή του αζώτου στα υγρά απόβλητα, υποδηλώνει ότι τα απόβλητα σταθεροποιήθηκαν αναφορικά με τις απαιτήσεις σε οξυγόνο.

2.2.4.1 Αμμωνιακά (NH_4^+)

Η αμμωνία, με τη μορφή NH_4^+ , NH_4OH και NH_3 , βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλα τα επιφανειακά ύδατα και σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα αστικά λύματα και σε απόβλητα συγκεκριμένων βιομηχανικών κλάδων (ως αποτέλεσμα της υδρόλυσης της ουρίας και της αποδόμησης αζωτούχων ενώσεων). Στα υπόγεια νερά η συγκέντρωσή της είναι πολύ μικρή, ενώ η παρουσία της υποδηλώνει ότι το περιβάλλον έχει αποκτήσει αναγωγικό χαρακτήρα.

2.2.4.2 Νιτρώδη (NO_2^-)

Τα νιτρώδη προέρχονται είτε από την οξείδωση της αμμωνίας είτε από την αναγωγή των νιτρικών και είναι ενώσεις ασταθείς και βραχύβιες. Βρίσκονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις στα φυσικά ύδατα και η συγκέντρωσή τους συνεχώς μειώνεται λόγω οξείδωσής τους προς νιτρικά. Επίσης απαντώνται στα νερά ψύξης βιομηχανικών μονάδων, όπου προστίθενται ως αντιδιαβρωτικό μέσο, σε απόβλητα συγκεκριμένων βιομηχανικών κλάδων και στα αστικά λύματα. Θεωρούνται επικίνδυνα για τους οργανισμούς δεδομένου ότι σε όξινο περιβάλλον, αντιδρούν με τις δευτεροταγείς αμίνες σχηματίζοντας νιτροζαμίνες που είναι δυνητικά καρκινογόνες.

2.2.4.3 Νιτρικά (NO_3^-)

Τα νιτρικά αποτελούν την ανώτατη οξειδωτική βαθμίδα των ενώσεων του αζώτου, είναι θερμοδυναμικώς σταθερά και οι μεταβολές της συγκέντρωσής τους στα ύδατα οφείλονται κυρίως σε βιοχημικές δράσεις. Η συγκέντρωσή τους στα φυσικά ύδατα είναι πολύ μικρή, ενώ σε ορισμένα υπόγεια ύδατα εμφανίζουν αυξημένες

συγκεντρώσεις. Όταν το νερό που προορίζεται για πόσιμο περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών και υπόκειται σε καθαρισμό με ενεργό άνθρακα, τότε είναι δυνατό να παρατηρηθεί αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη που όπως αναφέρθηκε είναι επικίνδυνα για την υγεία. Κύρια πηγή των νιτρικών αποτελούν τα γεωργικά λιπάσματα. Επίσης, ανάγονται στον οργανισμό σε νιτρώδη και στη συνέχεια απορροφώνται από το αίμα και οξειδώνουν το σίδηρο της αιμογλοβίνης. Αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών στα ύδατα παρουσιάζουν τον κίνδυνο πρόκλησης στα βρέφη της νόσου της κυάνωσης, ενώ στο όξινο περιβάλλον του στομάχου των οργανισμών ενδέχεται να μετατραπούν όπως και τα νιτρώδη, σε νιτροζαμίνες που είναι δυνητικά καρκινογόνες ουσίες.

2.2.5 Φωσφορικά (PO_4^{3-})

Ο φώσφορος ανήκει στα θρεπτικά συστατικά και συντελεί στο φαινόμενο του ευτροφισμού των υδάτων. Ο φώσφορος δεν απαντάται ελεύθερος στο φυσικό περιβάλλον, αλλά σε τρεις μορφές, τα ορθοφωσφορικά, τα πολυφωσφορικά ιόντα και τα φωσφορικά που είναι δεσμευμένα με οργανικές ενώσεις.

Τα φωσφορικά στα ύδατα προέρχονται από γεωργικές δραστηριότητες (κυρίως από τη χρήση λιπασμάτων) καθώς και από την απόρριψη αστικών λυμάτων και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων. Καθορισμένες ποσότητες φωσφορικών είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των φυτών και των ζώων, σε μεγάλες όμως συγκεντρώσεις και σε συνδυασμό με την παρουσία νιτρικών προκαλείται το φαινόμενο του ευτροφισμού. Κύρια πηγή φωσφορικών στα νερά είναι τα συνθετικά απορρυπαντικά, στα οποία προστίθενται μεγάλες ποσότητες τριφωσφορικού νατρίου ($\text{STP-Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$).

Ο φώσφορος, όπως και το άζωτο, αποτελεί απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, των φυτών και των ζώων. Η συνιστώμενη ημερήσια κατανάλωση για ενήλικους είναι 800mg. Λόγω των φαινομένων ευτροφισμού που δημιουργεί στα επιφανειακά νερά πρέπει να απομακρυνθεί από τα υγρά απόβλητα, τα οποία μπορεί να περιέχουν από 4 – 16 mg/l φωσφόρου. Για την αξιολόγηση της έκτασης του ευτροφισμού χρησιμοποιούνται οι απόλυτες συγκεντρώσεις των ανόργανων ενώσεων του αζώτου και του φωσφόρου, και ο λόγος N/P. Η τιμή του λόγου αυτού στα μη ρυπασμένα εδάφη είναι 16:1 (στα φυτοπλαγκτονικά κύτταρα). Όταν η τιμή του λόγου είναι μεγαλύτερη από 16:1, περιοριστικός παράγων θεωρείται ο φώσφορος, και σε αντίθετη περίπτωση το άζωτο.

Στη βιοτεχνολογία ενδιαφέρει η μετατροπή των διαφόρων ανόργανων φωσφορικών αλάτων του εδάφους από τα φυτά σε διάφορες οργανικές ενώσεις

του φωσφόρου, ο μεταβολισμός των οργανοφωσφορικών ενώσεων από τα ζώα, και η μετατροπή των οργανοφωσφορικών ενώσεων με τη βοήθεια διαφόρων ετεροτροφικών μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες κ.λ.π.) σε ανόργανα φωσφορικά άλατα. Οι μορφές του φωσφόρου στη φύση, καθώς και οι τρόποι με τους οποίους οι διάφορες μορφές μετασχηματίζονται στο υδατικό περιβάλλον απεικονίζονται στο σχήμα για τον κύκλο του φωσφόρου.

Στα υγρά απόβλητα ο φώσφορος απαντάται (περίπου 4 gr / κάτοικο την ημέρα) κυρίως στις οργανικές ενώσεις και αποτελεί το 75 % περίπου του συνολικά υπάρχοντος φωσφόρου. Ο υπόλοιπος (25 % περίπου) βρίσκεται στα υγρά απόβλητα κυρίως με τη μορφή των ορθοφωσφορικών (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4) διαλυτών ιόντων από 70 - 90 % και πολυφωσφορικών ($\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$) ιόντων τα οποία είναι περίπλοκα μόρια, αλλά και με τη μορφή οργανικών φωσφορικών ενώσεων. Ο οργανικά δεσμευμένος φώσφορος δεν έχει ιδιαίτερη σημασία για τα αστικά λύματα. Τα ορθοφωσφορικά ιόντα χρησιμεύουν για το βιολογικό μεταβολισμό χωρίς να διασπώνται περαιτέρω. Τα πολυφωσφορικά ιόντα υφίστανται υδρόλυση για να επανέλθουν στην ορθοφωσφορική μορφή. Η διαδικασία αυτή είναι συνήθως πολύ αργή. Ο φώσφορος αποτελεί βασικό συστατικό για τη σύνθεση του κυτταρικού ιστού των μικροοργανισμών της ενεργού ιλύος και για την μεταφορά ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα ποσοστό της τάξης του 10% έως 30% της εισερχόμενης ποσότητας φωσφόρου να απομακρύνεται κατά τη διάρκεια της βιολογικής επεξεργασίας στις δεξαμενές αερισμού, ενώ το σύνολο σχεδόν των φωσφορικών ενώσεων μετατρέπεται σε διαλυτά ορθοφωσφορικά ιόντα. Η συγκέντρωση του φωσφόρου στην εκροή των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων καθορίζεται από τον χαρακτηρισμό (ωφέλιμες χρήσεις) του αποδέκτη όπως ισχύει και για τους άλλους ρύπους. Αυτό σημαίνει ότι ο βαθμός απόδοσης του συστήματος και η διαδικασία επεξεργασίας που επιλέγεται είναι άμεσα συνυφασμένη με τον αποδέκτη και τις χρήσεις του. Σε γενικές γραμμές, όταν πρόκειται για ευαίσθητους αποδέκτες θεωρείται ικανοποιητική η ποσότητα του φωσφόρου στην απορροή όταν αυτή δεν υπερβαίνει τα 2 mg/l. Η πρακτική που ακολουθείται πάντως, εφόσον αποφασίζεται απομάκρυνση του φωσφόρου, αποβλέπει απομάκρυνση της τάξης του 90 έως και 95 %.

2.2.6 Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες είναι μακρομόρια που προέρχονται από τροφές φυτικής ή ζωικής προέλευσης. Λόγω της ύπαρξης θείου στα μόρια τους, όταν βρίσκονται σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις κατά την αποσύνθεση τους εκλύουν δυνατές οσμές.

2.2.7 Υδατάνθρακες

Οι υδατάνθρακες αποτελούνται από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο. Είναι βιοδιασπάσιμες, (άμυλο, σάκχαρα, κυτταρίνη).

2.2.8 Λίπη και Έλαια

Τα λίπη και έλαια είναι ενώσεις που δεν διασπώνται εύκολα από βακτήρια, ενώ μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα αν δεν απομακρυνθούν από τα απόβλητα πριν την διάθεσή τους στην φύση δημιουργώντας προβλήματα σε πολλούς ζωντανούς οργανισμούς.

2.2.9 Βαρέα μέταλλα

Είναι στοιχεία, όπως ο χαλκός, το νικέλιο και ο υδράργυρος, που αντιδρούν με τα μικροβιακά ένζυμα, αναστέλλοντας ή επιβραδύνοντας το μεταβολισμό τους, γι' αυτό και σε υψηλές συγκεντρώσεις πρέπει να απομακρύνονται από τα απόβλητα γιατί γίνονται τοξικά, τερατογόνα και καρκινογόνα.

2.2.10 Ολικός Οργανικός Άνθρακας

Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) είναι το ποσό του άνθρακα που δεσμεύεται σε μια οργανική ένωση και χρησιμοποιείται συχνά ως ένας μη ειδικός δείκτης της ποιότητας του νερού. Εκφράζει το συνολικό οργανικό φορτίο σε ένα δείγμα ύδατος (mg/ℓ ύδατος).

2.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

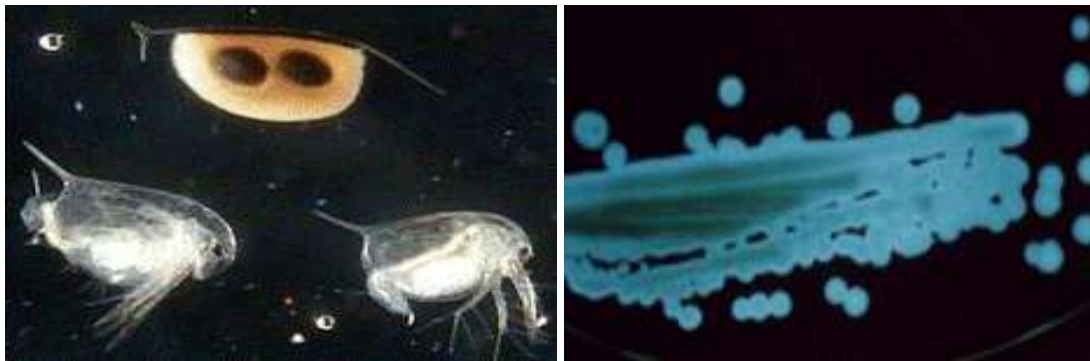
- **Ολικά Κολοβακτηριοειδή**, (Total Coliforms, TC) και **Κολοβακτηριοειδή Κοπράνων**, (Fecal Coliforms, FC). Για την εκτίμηση της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών και την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης των υγρών αποβλήτων

- **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.



Εικόνα 2.1 Μικροοργανισμοί που σχετίζονται με τη λειτουργία της Ε.Ε.Λ.

- **Τοξικότητα**, Οξεία (άμεση) Τοξικότητα (ΤΥΑ), Χρόνια Τοξικότητα (ΤΥΧ). Για την εκτίμηση της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων.



Εικόνα 2.2 *Daphnia magna* – *Vibrio fischeri* (Μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούνται για ελέγχους τοξικότητας)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Επαναχρησιμοποίηση Υγρών Αποβλήτων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι εναλλακτικές δυνατότητες και οι τεχνικές απαιτήσεις για την επαναχρησιμοποίηση της επεξεργασμένης εκροής από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, η οποία αποτελεί στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

3.1 Εναλλακτικές δυνατότητες αξιοποίησης των υγρών απόβλητων

Η αξιοποίηση των λυμάτων μπορεί να διακριθεί σε δύο βασικούς τύπους: την επαναχρησιμοποίηση για μη πόσιμους σκοπούς και την επαναχρησιμοποίηση για εμπλουτισμό του δικτύου ύδρευσης πόλεως. Ο κάθε τύπος μπορεί να αναλυθεί σε επιμέρους υποπεριπτώσεις όπως):

Επαναχρησιμοποίηση για μη πόσιμους σκοπούς:

- Αγροτική
- Αστική
- Βιομηχανική
- Φόρτιση υπογείων υδροφορέων (που δεν χρησιμοποιούνται για ύδρευση)
- Αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής

Επαναχρησιμοποίηση για εμπλουτισμό του δικτύου ύδρευσης:

- Έμμεση πόση (μέσω εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων)
- Άμεση πόση

❖ Αγροτική χρήση

Σε παγκόσμιο επίπεδο, το ποσοστό του νερού που χρησιμοποιείται για γεωργικές εφαρμογές υπερβαίνει το 70% της συνολικής κατανάλωσης νερού. Στην Ελλάδα το ποσοστό αυτό ανέρχεται περίπου στο 86%. Σε περίπτωση που οι υδατικοί πόροι μιας περιοχής δεν επαρκούν για τις αγροτικές εφαρμογές, είναι δυνατό να εμπλουτιστούν με κατάλληλα επεξεργασμένα απόβλητα. Αυτό, εκτός από την προφανή εξοικονόμηση υδάτινων πόρων, σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να έχει θετικές επιπτώσεις και στην αγροτική παραγωγή, όπως φαίνεται από την πειραματική μελέτη καλλιέργειας μελιτζάνας στην Κύπρο, όπου τα φυτά που αρδεύτηκαν με επεξεργασμένα απόβλητα εμπλουτισμένα σε άζωτο παρουσίασαν

αυξημένη παραγωγικότητα σε σχέση με τα φυτά που αρδεύτηκαν με νερό εμπλουτισμένο με την ίδια ποσότητα αζώτου.

❖ Αστική χρήση

Τα συστήματα αστικής επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων παρέχουν ανακτημένο νερό για οποιαδήποτε χρήση εκτός της πόσης σε αστικές περιοχές. 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. Μερικές μικρές κοινότητες λόγω της δυσκολίας ανάπτυξης άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων αναπτύσσουν και υλοποιούν μελέτες για τέτοια συστήματα. Μερικές από τις αστικές χρήσεις είναι το πότισμα δημόσιων πάρκων και κέντρων αναψυχής, αθλητικών γηπέδων, σχολικών αυλών, γηπέδων παιχνιδιού, νησίδων και κρασπέδων αυτοκινητοδρόμων, κήπων μονοκατοικιών και πολυκατοικιών, γενικό πλύσιμο και άλλες εργασίες συντήρησης, εμπορικές χρήσεις, όπως οι εγκαταστάσεις πλυσίματος οχημάτων, το πλύσιμο παραθύρων, το νερό ανάμιξης για ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα και υγρά λιπάσματα, πυροπροστασία κλπ. Κατά τον σχεδιασμό των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων υγρών αποβλήτων για αστική χρήση, οι σημαντικότεροι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι η αξιοπιστία εξυπηρέτησης και η προστασία της δημόσιας υγείας.

❖ Βιομηχανική χρήση

Η βιομηχανία προβλέπεται να αποτελέσει μελλοντικά σημαντικό χρήστη των ανακτημένων αστικών λυμάτων. Τα αστικά λύματα είναι κατάλληλα για πολλές βιομηχανίες που χρησιμοποιούν νερό το οποίο δεν χρειάζεται να έχει την ποιότητα του πόσιμου. Οι κύριες βιομηχανικές χρήσεις των αστικών λυμάτων είναι 1) το νερό ψύξης, 2) το νερό τροφοδοσίας λεβήτων και 3) το νερό κατεργασίας ή βιομηχανικό νερό. Η κυρίαρχη όμως χρήση που παρουσιάζει την μεγαλύτερη ζήτηση είναι το νερό ψύξης.

❖ Αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής

Η χρήση ανακτημένων λυμάτων 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
- διάφορες άλλες χρήσεις

Σκοπός τους είναι η δημιουργία ενός περιβάλλοντος στο οποίο θα μπορεί να αναπτυχθεί η ζωή στο φυσικό περιβάλλον και η ανάπτυξη μιας περιοχής με αυξημένη αισθητική αξία.

❖ Επαναχρησιμοποίηση για σκοπούς ύδρευσης

Η εφαρμογή των έργων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για άμεση ή έμμεση (μέσω εμπλουτισμού υδροφορέων) ύδρευση είναι πολύ περιορισμένη και συμβαίνει μόνο σε κάποιες κοινότητες όπου δεν είναι δυνατή ή είναι ιδιαίτερα δύσκολη η αξιοποίηση άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων. Γενικά υπήρξε και εξακολουθεί να υπάρχει ακόμα και σήμερα σοβαρός προβληματισμός ως προς την άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για πόση. Ο κύριος προβληματισμός στα έργα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για υδρευτικούς σκοπούς, αφορά πιθανές χρόνιες επιδράσεις στην υγεία από πιθανή αντίδραση και ανάμειξη ανόργανων και οργανικών συστατικών που παραμένουν στην ανακτώμενη εκροή, ακόμα και υπό συνθήκες πολύ προχωρημένης επεξεργασίας. Είναι ευρύτατα παραδεκτό ότι τα συνήθη ποιοτικά κριτήρια του πόσιμου νερού επαρκούν μόνο στην περίπτωση που η υδροληψία γίνεται από πηγές που δεν έχουν ακόμα υποστεί ρύπανση και όχι από ανακτημένα λύματα. Στην περίπτωση των λυμάτων οι απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες και όχι καλά προσδιορισμένες. Έχει εκτιμηθεί ότι μόνο το 10% κατά βάρος των οργανικών ενώσεων του πόσιμου νερού έχουν αναγνωρισθεί, ενώ για λίγες από αυτές έχουν εξακριβωθεί οι επιδράσεις τους στην υγεία. Επίσης σημαντική ασάφεια παρατηρείται στον προσδιορισμό της επίδρασης στη δημόσια υγεία της δράσης διαφόρων συνθετικών ενώσεων που περιέχονται στα λύματα. Οι έρευνες οι σχετικές με τις επιδράσεις στην υγεία κατά την επαναχρησιμοποίηση για πόση είναι εφαρμόσιμες μόνο για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς το μείγμα των ρύπων διαφέρει από πόλη σε πόλη. Ακόμα και για την ίδια πόλη είναι πιθανό τα επικίνδυνα συστατικά των λυμάτων να αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Αυτός ο περιορισμός επιδρά αρνητικά στην προσπάθεια ανάπτυξης πλήρων και συνολικών ποιοτικών κριτηρίων για επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για πόση.

3.2 Τεχνικές απαιτήσεις για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων

Η αποτελεσματική επεξεργασία των λυμάτων με στόχο την επιστροφή καλής ποιότητας νερού στην φύση είναι γενικά μια σύνθετη και υψηλού βαθμού δυσκολίας διεργασία. Σε αυτό συντελούν δύο βασικοί παράγοντες: πρώτον τόσο η μικροβιολογική όσο και η χημική σύσταση των λυμάτων δεν είναι καθορισμένες και δύναται να υπόκεινται σε μεγάλες διακυμάνσεις, με αποτέλεσμα να μην ορίζεται

πάντα μονοσήμαντα το είδος της βέλτιστης επεξεργασίας, και δεύτερον, οι τεράστιοι προς επεξεργασία όγκοι νερού απαιτούν την κατασκευή και λειτουργία ενός μεγάλου έργου. Η επεξεργασία που τελικά επιλέγεται αποτελείται συνήθως από πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια (βιολογική) επεξεργασία, με τελικό στάδιο, πριν την διάθεση, την εφαρμογή κάποιας διεργασίας απολύμανσης. Κατά την τελευταία δεκαετία έχουν ιδιαίτερα αναπτυχθεί οι διεργασίες καθαρισμού με την χρήση μεμβρανών, και πιστεύεται ότι πολύ σύντομα, όταν οι τεχνολογίες αναπτυχθούν περαιτέρω, θα είναι εφικτή η παραγωγή υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένου ύδατος προς πόση, σε προσιτό κόστος. Τρεις κύριες μέθοδοι απολύμανσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά: η χλωρίωση, ο οζονισμός και υπεριώδης (UV) ακτινοβολία. Η κάθε μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και απαιτείται τεχνοοικονομική μελέτη για τον προσδιορισμό της πλέον κατάλληλης, η οποία σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να συνίσταται σε κατάλληλο συνδυασμό δύο τεχνολογιών.

3.3 Ανασκόπηση θεσμικού πλαισίου για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων

Υγιεινολογικά προβλήματα από την επαναχρησιμοποίηση ακατέργαστων ή ανεπαρκώς επεξεργασμένων λυμάτων έχουν κατά καιρούς επισημανθεί και δεν είναι περίεργο ότι η έμφαση κατά τον καθορισμό κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων δίνεται στην προστασία της δημόσιας υγείας μέσω κατάλληλου ελέγχου των παθογόνων μικροοργανισμών. Μία ορθολογική προσέγγιση του προβλήματος θέσπισης καταλλήλων μικροβιολογικών κριτηρίων είναι αυτή που βασίζεται σε συμπεράσματα επιδημιολογικών ερευνών. Τέτοιες έρευνες δείχνουν ότι ο κίνδυνος μετάδοσης ασθενειών λόγω επαναχρησιμοποίησης λυμάτων είναι μικρός και αφορά μόνον τις περιπτώσεις ανεπεξέργαστων λυμάτων ή λυμάτων πολύ κακής ποιότητας. Με βάση επομένως τις επιδημιολογικές έρευνες είναι δυνατό να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η επαναχρησιμοποίηση επαρκώς επεξεργασμένων (π.χ. με βιολογική επεξεργασία και απολύμανση) λυμάτων για άρδευση δεν εγκυμονεί κινδύνους για τη δημόσια υγεία, δεδομένου ότι με την επεξεργασία των λυμάτων επιτυγχάνεται σημαντική μείωση παθογόνων μικροοργανισμών. Τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών ερευνών έχουν αντιμετωπισθεί με μεγαλύτερο ή μικρότερο σκεπτικισμό σε όλες τις προσπάθειες που κατά καιρούς έχουν γίνει για τη διαμόρφωση ασφαλών κριτηρίων. Αυτό αιτιολογείται αν ληφθούν υπόψη οι εγγενείς ασάφειες που υπεισέρχονται σε τέτοιου είδους έρευνες καθώς και ο στατιστικός τους χαρακτήρας ο οποίος δεν αποκλείει την ύπαρξη θεωρητικών τουλάχιστον κινδύνων μετάδοσης ασθενειών. Έτσι σε όλες τις περιπτώσεις θέσπισης κριτηρίων, χωρίς να παραγνωρίζονται τα συμπεράσματα των επιδημιολογικών ερευνών, λαμβάνεται σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό πρόνοια για την αποτελεσματική αντιμετώπιση και των θεωρητικών κινδύνων. Στη συνέχεια

του κεφαλαίου δίνονται περιληπτικά οι σημαντικότεροι κανονισμοί και οδηγίες που έχουν διαμορφωθεί διεθνώς με στόχο τον καθορισμό των κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων.

Οδηγίες και Κανονισμοί διεθνών οργανισμών

Διάφοροι διεθνείς Οργανισμοί έχουν ασχοληθεί με κριτήρια ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων, όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization, WHO) και ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (Food and Agriculture Organization, FAO).

Οι οδηγίες επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων για άρδευση του WHO βασίζονται στο μικρότερο δυνατό βαθμό απομάκρυνσης, απ' αυτόν που απαιτείται για να επιτευχθεί η προτεινόμενη ποιότητα εκροής για απεριόριστη άρδευση. Αυτός βέβαια μπορεί να είναι αποδεκτός, εάν εφαρμόζονται συμπληρωματικά μέτρα προστασίας της δημόσιας υγείας ή η ποιότητα των εκροών μετά την επεξεργασία, βελτιωθεί περαιτέρω με αραίωση με φυσικά νερά, παρατεταμένη αποθήκευση ή μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, το 1989, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ανακοίνωσε τέσσερις βασικές κατηγορίες μέτρων για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, οι οποίες συνίστανται στις πιο κάτω: - Επεξεργασία των λυμάτων - Περιορισμός των τύπων των αρδευόμενων καλλιεργειών - Επιλογή μεθόδου άρδευσης - Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης στους παθογόνους οργανισμούς των λυμάτων, του εδάφους ή των αγροτικών προϊόντων. Για την ικανοποίηση των πιο επάνω μέτρων ο WHO κατέληξε στα εξής συμπεράσματα:

- Η άρδευση με ακατέργαστα λύματα και χωρίς λήψη προληπτικών μέτρων εγκυμονεί υψηλό κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών.
- Η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας των λυμάτων ή η λήψη μέτρων για την αποφυγή της ανθρώπινης επαφής με τους παθογόνους μικροοργανισμούς μειώνει τον κίνδυνο, ο οποίος όμως, αν και χαμηλός, εξακολουθεί να υφίσταται.
- Αποτελεσματικό μέτρο, τουλάχιστο για τους καταναλωτές, αποτελεί



η εφαρμογή της άρδευσης σε περιορισμένους τύπους καλλιεργειών και κυρίως σε καλλιέργειες που δεν παράγουν προϊόντα που τρώγονται ωμά (περιορισμένη άρδευση).

➤ Αποτελεσματικό μέτρο είναι η επιλογή κατάλληλης μεθόδου εφαρμογής των λυμάτων και

συγκεκριμένα η εφαρμογή τους στο υπέδαφος.

- Η πλήρης επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί το αποτελεσματικότερο εργαλείο για την πρόληψη μετάδοσης ασθενειών χωρίς στην περίπτωση αυτή να είναι αναγκαίος ο περιορισμός των καλλιεργειών (απεριόριστη άρδευση).

Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην επιλογή του τύπου των αρδευόμενων καλλιεργειών και στον βάσει αυτού διαχωρισμό της άρδευσης σε δύο κατηγορίες: την “περιορισμένη άρδευση” η οποία αφορά καλλιέργειες με προϊόντα που δεν τρώγονται ωμά και την “απεριόριστη” η οποία μπορεί να εφαρμοσθεί σε κάθε τύπο καλλιέργειας αλλά και για πότισμα γηπέδων, πάρκων, κλπ.

Στην πρώτη περίπτωση ουσιαστικά δεν τίθενται μικροβιολογικά κριτήρια, συνιστάται όμως η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας η οποία μπορεί να αποτελείται από πρωτοβάθμια επεξεργασία ή από επεξεργασία σε λίμνες σταθεροποίησης με χρόνο παραμονής 8-10 ημέρες.

Επισημαίνεται πάντως ότι βασική προϋπόθεση για την περιορισμένη άρδευση είναι η αποφυγή άμεσης επαφής των καρπών με τους παθογόνους μικροοργανισμούς μέσω επιλογής καταλλήλου μεθόδου άρδευσης (επιφανειακή) και με αποφυγή συλλογής των καρπών από το έδαφος. Τέλος, ως πρόσθετο μέτρο ασφαλείας συνιστάται η διακοπή της άρδευσης δύο εβδομάδες πριν από τη συλλογή των καρπών. Στην περίπτωση της απεριόριστης άρδευσης συνιστάται η τήρηση συγκεκριμένων μικροβιολογικών κριτηρίων τόσο ως προς τους εντερικούς νηματώδεις οργανισμούς όσο και ως προς τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια FC, με ακόμη αυστηρότερα κριτήρια για ορισμένες περιπτώσεις, όπως το πότισμα γκαζόν. Σημειώνεται ότι τα κριτήρια αυτά είναι λιγότερο αυστηρά από προγενέστερα κριτήρια του WHO για απεριόριστη άρδευση. Είναι εμφανές ότι η οδηγία του WHO βασίζεται κυρίως στα δεδομένα των επιδημιολογικών ερευνών σε συνδυασμό με μία εμφανή προσπάθεια ρεαλιστικής αντιμετώπισης των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στις αναπτυσσόμενες χώρες, και θέτει όχι ιδιαίτερα αυστηρά κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά, όμως έχουν υποστεί και εξακολουθούν να υφίστανται έντονη κριτική στις αναπτυγμένες χώρες. Οι οδηγίες και τα όρια που τίθενται από τον WHO έχουν υποστεί κριτική από τις αναπτυγμένες χώρες, αφού θεωρούνται αρκετά ελαστικά. Παρ’ όλα αυτά, αποτελούν μια βάση εκκίνησης για τις υπό ανάπτυξη χώρες, όπου πολλές φορές παρατηρείται το φαινόμενο της επαναχρησιμοποίησης λυμάτων απουσία σχετικών κριτηρίων ποιότητας.

Ο FAO στην προσπάθειά του να διαμορφώσει κριτήρια ποιότητας για το νερό άρδευσης, που να αντιμετωπίζουν προβλήματα δημόσιας υγείας, πρότεινε τη χρήση της οδηγίας σε ότι αφορά όρια των κοπρανώδων κολοβακτηριδίων (FC), που προτείνονται από τον WHO. Εκτός από την αντιμετώπιση των κινδύνων δημόσιας υγείας, που οφείλονται στη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για

άρδευση, ο FAO έχει προτείνει και οδηγίες για τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα του αρδευτικού νερού καθώς και μια σειρά αγρονομικών μέτρων προκειμένου να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή απόδοση των αρδευόμενων καλλιεργειών.

Με βάση την ταξινόμηση αυτή το νερό άρδευσης κατατάσσεται σε διάφορες κατηγορίες ποιότητας, έτσι ώστε ο χρήστης να αποφαινεται για τα πιθανά πλεονεκτήματα, όσο και τα προβλήματα, που αφορούν τη χρήση δεδομένης ποιότητας νερού για άρδευση. Η γενική αυτή κατηγοριοποίηση αφορά κατά κύριο λόγο τη χρήση συμβατικών πηγών αρδευτικού νερού. Ωστόσο, θεωρείται εξ' ίσου εφαρμόσιμη και στη περίπτωση αξιολόγησης της ποιότητας εκροών αποβλήτων για άρδευση. Μια πλήρης περιγραφή και αξιολόγηση των υφιστάμενων οδηγιών και κανονισμών επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, σε παγκόσμιο επίπεδο, έγινε πρόσφατα από την Αρχή Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ. Επίσης, η EPA θέσπισε προτεινόμενα κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για άρδευση. Αυτά τα κριτήρια αναφέρονται στη συγκέντρωση χημικών ουσιών στο ανακτημένο νερό ενώ δίνεται έμφαση στη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων.

3.4 Επαναχρησιμοποίηση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα παρουσιάζει σοβαρό έλλειμμα νερού, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της χαμηλής βροχόπτωσης και των αυξημένων ζητήσεων για άρδευση και χρήση νερού. Η ζήτηση νερού στην Ελλάδα έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία πενήντα χρόνια. Συχνά παρατηρείται σημαντική μείωση των αποθεμάτων νερού εξαιτίας των καιρικών και περιφερειακών διακυμάνσεων της βροχόπτωσης, της αυξημένης ζήτησης το καλοκαίρι και της δυσκολίας στη μεταφορά νερού μέσω των βουνών. Ως αποτέλεσμα, η ενσωμάτωση της επαναχρησιμοποίησης νερού στη διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων αναδεικνύεται σε πολύ καίριο ζήτημα. Το 2000, σχεδόν 60 τοις εκατό του πληθυσμού ήταν συνδεδεμένο σε 270 εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων, συνολικής δυναμικότητας 1.30 Mm³/d (345 mg/d). Η ελάχιστη επεξεργασία των αποβλήτων είναι η δευτερογενής, συνήθως με ολοκληρωτική ή μερική απομάκρυνση αζώτου στο 80% των περιπτώσεων. Η τεταρτογενής επεξεργασία, με τη μορφή της διήθησης, εφαρμόζεται σε κάποιες εγκαταστάσεις, αλλά η διαδικασία της αναβάθμισης άλλων εγκαταστάσεων σε τεταρτογενή επεξεργασία είναι σε εξέλιξη. 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. Περισσότερες από 15 εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων προγραμματίζουν να επαναχρησιμοποιήσουν τις εκροές τους στην άρδευση.. Ωστόσο, ακόμα λαμβάνει χώρα σε ορισμένες περιοχές η μη προγραμματισμένη επαναχρησιμοποίηση, όπου τα απόβλητα εκβάλλονται σε ποτάμια και έπειτα από διήθηση, αντλούνται μέσω πηγαδιών από τους αγρότες .

3.5 Θεσμικό πλαίσιο για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στην Ελλάδα

ΚΥΑ 145116/2011 (ΦΕΚ Β 354) 'Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων', όπως τροποποιήθηκε από την ΚΥΑ 191002/2013 (ΦΕΚ Β 2220)

- Ανάγκη κάλυψης του νομοθετικού κενού λόγω απουσίας ενιαίας ευρωπαϊκής νομοθεσίας
- Προώθηση της αξιοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων
- Διασφάλιση της δημόσιας υγείας με τη θέσπιση κατάλληλων όρων και κριτηρίων

ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ :

∅ Αστικά και ορισμένα βιομηχανικά υγρά απόβλητα (εντός ΚΥΑ 5673/400/97) :

Γεωργική χρήση (άρδευση), τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων, αστική και περιαιστική χρήση, βιομηχανική χρήση, επαναχρησιμοποίηση στα υδατικά συστήματα του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2007

∅ Βιομηχανικά υγρά απόβλητα (εκτός ΚΥΑ 5673/400/97):

Βιομηχανική χρήση, περιορισμένη άρδευση μέσω υπεδάφιου συστήματος, τροφοδότηση υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στο άρθρο 7 του ΠΔ 51/2007 μόνο μέσω διήθησης

Δεν υπάγονται στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ: η ανακύκλωση βιομηχανικών αποβλήτων, η επαναχρησιμοποίηση για πόση και για κολύμβηση (πισίνες), οι άλλες οικιακές χρήσεις

Επαναχρησιμοποίηση για Άρδευση

Περιορισμένη άρδευση

- Καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται μετά από επεξεργασία (π.χ. θερμική), ή δεν είναι ανθρώπινης κατανάλωσης ή δεν έρχονται σε επαφή με το έδαφος
- Δεν επιτρέπεται ο καταιονισμός
- Δεν επιτρέπεται η πρόσβαση του κοινού
- E. Coli \leq 200 EC/100ml
- BOD $<$ 25mg/l, SS $<$ 35mg/l
- 2-βάθμια επεξεργασία + απολύμανση

Απεριόριστη άρδευση

- Όλα τα είδη των καλλιεργειών
- Επιτρέπονται διάφορες μέθοδοι χρήσης συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού
- Χωρίς περιορισμούς πρόσβασης
- E. Coli \leq 5 EC/100ml για το 80% δειγμάτων
- BOD \leq 10 mg/l για το 80% δειγμάτων
- SS \leq 10 mg/l για το 80% δειγμάτων
- Θολότητα \leq 2 ntu
- 2-βάθμια + 3-βάθμια + απολύμανση

Και για τους δύο τύπους άρδευσης θα πρέπει επιπρόσθετα να τηρούνται οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων, τα επιθυμητά αγρονομικά χαρακτηριστικά των προς άρδευση αποβλήτων και οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ουσιών προτεραιότητας στα απόβλητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων

4.1 Συμβατικό σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων

Η επεξεργασία αποβλήτων είναι η διαδικασία που διαχωρίζει τις επικίνδυνες ουσίες από το νερό στα απόβλητα, ώστε το νερό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον εγκεκριμένο αποδέκτη. Εκτενής έρευνα έχει γίνει στο θέμα πάνω τον βαθμό επεξεργασίας και την παρακολούθηση του νερού. 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.

4.2 Βιολογικές διεργασίες

4.2.1 Βιολογική επεξεργασία με ενεργή λάσπη

Τα πρώτα χρόνια του εικοστού αιώνα επινοήθηκε η μέθοδος της βιολογικής επεξεργασίας, και τώρα αποτελεί τη βάση της επεξεργασίας των λυμάτων σε όλο τον κόσμο. Περιορίζει φυσικά τα βακτήρια σε πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις σε δεξαμενές. Αυτά τα βακτήρια, μαζί με ορισμένα πρωτόζωα και άλλα μικρόβια, αναφέρονται συλλογικά ως ενεργή λάσπη. Η έννοια της επεξεργασίας είναι πολύ απλή. Τα βακτήρια αφαιρούν μικρά μόρια του οργανικού άνθρακα «τρώγοντάς» τα. Ως αποτέλεσμα, τα βακτήρια αναπτύσσονται, και τα λύματα καθαρίζονται. Τα

επεξεργασμένα λύματα μπορούν στη συνέχεια να απορρίπτονται στα ύδατα υποδοχής - συνήθως σε ποτάμι ή στη θάλασσα.

Ενώ η ιδέα είναι πολύ απλή, ο έλεγχος της διαδικασίας επεξεργασίας είναι πολύ περίπλοκος, λόγω του μεγάλου αριθμού μεταβλητών που μπορούν να την επηρεάσουν. Αυτά περιλαμβάνουν αλλαγές στη σύνθεση της βακτηριδιακής χλωρίδας των δεξαμενών θεραπείας, και αλλαγές στα λύματα που διέρχονται εντός της εγκατάστασης. Το εισρέον μπορεί να δείξει διακυμάνσεις στον ρυθμό ροής, στη χημική σύνθεση και το pH και στη θερμοκρασία. Πολλές δημοτικές εγκαταστάσεις πρέπει επίσης να αντιμετωπίσουν τις ροές νερού της βροχής μετά από καταιγίδες. Οι εν λόγω εγκαταστάσεις που δέχονται βιομηχανικά λύματα πρέπει να αντιμετωπίσουν τις ανθεκτικές χημικές ουσίες που τα βακτήρια μπορούν να διαλύουν μόνο με πολύ αργούς ρυθμούς, και τις τοξικές χημικές ουσίες που αναστέλλουν τη λειτουργία των ενεργοποιημένων βακτηρίων της λάσπης. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των τοξικών χημικών ουσιών μπορούν να παράγουν ένα τοξικό σοκ που σκοτώνει τα βακτήρια. Όταν συμβεί αυτό, η εγκατάσταση μπορεί να περάσει ανεπεξέργαστα λύματα απευθείας στο περιβάλλον, μέχρις ότου τα νεκρά βακτήρια απομακρυνθούν από τις δεξαμενές και εισαχθούν νέοι «σπόροι» βακτηρίων.

Παγκοσμίως, η σύνθεση των αποβλήτων που αποβάλλονται στα ύδατα εισδοχής διέπεται από τις εθνικές υπηρεσίες περιβάλλοντος. Στην Ευρώπη, η ρυθμιστική νομοθεσία είναι η Οδηγία για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων (1991) και η πιο πρόσφατη Οδηγία για το πλαίσιο για τα ύδατα (2000). Στις ΗΠΑ, η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας (EPA) διασφαλίζει τη συμμόρφωση με το νόμο για καθαρό νερό (1977). Η νομοθεσία ασχολείται με την πρόληψη της ρύπανσης, και ως εκ τούτου θέτει όρια συγκέντρωσης για το διαλυμένο οργανικό άνθρακα (όπως BOD ή COD), το άζωτο και τα φωσφορικά άλατα - που προκαλούν ευτροφισμό των υδάτων υποδοχής. Επιχειρεί επίσης να περιορίσει την αποβολή γνωστών τοξικών χημικών ουσιών, θέτοντας τα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης στα λύματα. Πρόσφατα, σε αναγνώριση του γεγονότος ότι τα λύματα περιέχουν άγνωστες τοξικές χημικές ουσίες, μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση για τη νομοθεσία εισάγεται στην Ευρώπη, βασιζόμενη σε δοκιμές για αξιολόγηση της τοξικότητας (DTA). Στις ΗΠΑ η χρήση αυτών των δοκιμών πραγματοποιείται εδώ και αρκετά έτη και είναι γνωστή ως Whole Effluent Toxicity (WET) . Αυτές οι δοκιμές χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των τοξικών επιδράσεων των λυμάτων σε αντιπροσωπευτικούς οργανισμούς των υδάτων υποδοχής. Οποιαδήποτε τοξικότητα ανιχνεύεται στα λύματα θα υπήρχε προφανώς και στα λύματα που εισέρχονται στο εργοστάσιο. Παραδόξως, παρότι η άμεση αξιολόγηση της επιρροής της τοξικότητας σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων θα μπορούσε να επηρεάσει τη λειτουργία των βιολογικών διεργασιών, δεν έχει ακόμα συμπεριληφθεί στη νομοθεσία.

4.2.2 Η φύση και η σύνθεση των λυμάτων

Τα οικιακά λύματα αποτελούνται κυρίως από οργανικό άνθρακα, είτε σε διάλυμα είτε ως σωματιδιακή ύλη. Περίπου 60% είναι σε σωματιδιακή μορφή, και από αυτό, περίπου κάτω από το μισό είναι αρκετά μεγάλο για να εγκατασταθούν στα αιωρούμενα. Σωματίδια 1nm έως 100 μm παραμένουν σε κolloειδές αιώρημα και κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας απορροφώνται πάνω στην ενεργή λάσπη.

Το μεγαλύτερο μέρος της οργανικής ύλης είναι εύκολα βιοδιασπώμενο, και αποτελείται από πρωτεΐνες, αμινοξέα, πεπτίδια, υδατάνθρακες, λίπη και λιπαρά οξέα. Το ποσοστό άνθρακα προς άζωτο σε αναλογία φωσφόρου (ή C: N: P αναλογία) είναι περίπου 100: 17: 5 ή 100: 19: 6. Αυτό είναι κοντά στο ιδανικό για την ανάπτυξη των ενεργοποιημένων βακτηρίων λάσπης. Ωστόσο, τα βιομηχανικά απόβλητα είναι πολύ πιο μεταβλητά στη σύνθεση. Εκείνα που παράγονται από τη ζυθοποιία, και βιομηχανίες πολτού και χαρτιού, για παράδειγμα, είναι ελλιπή σε άζωτο και φωσφορικό άλας. Αυτές οι θρεπτικές ουσίες πρέπει να προστεθούν, ως εκ τούτου για να επιτευχθεί η σωστή αναλογία για μικροβιακή ανάπτυξη, και να επιτρέψει βέλτιστη πρόοδος της επεξεργασίας.

4.2.3 Αποικοδομήσιμος και μη βιοαποικοδομήσιμος άνθρακας

Για τον έλεγχο των βιολογικών διεργασιών σε ένα εργοστάσιο επεξεργασίας, είναι απαραίτητο να υπάρχει γνώση της οργανικής δύναμης, ή του οργανικού φορτίου, ή των εισρεόντων υγρών αποβλήτων. Τρία διαφορετικά μέτρα είναι διαθέσιμα, και το καθένα έχει τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες του. Ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) είναι απλός στη μέτρηση. Πρόκειται για οξείδωση με καύση σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και μέτρηση του προκύπτοντος CO₂. Ωστόσο, οι τιμές TOC περιλαμβάνουν αυτές τις σταθερές ενώσεις οργανικού άνθρακα που δεν μπορούν να διασπαστούν βιολογικά.

Ο οργανικός άνθρακας μπορεί επίσης να μετρηθεί με χημική οξείδωση. Το δείγμα θερμαίνεται σε ισχυρό θειικό οξύ που περιέχει διχρωμικό κάλιο, και ο οξειδωμένος άνθρακας καθορίζεται από την ποσότητα του διχρωμίου που θα χρησιμοποιηθεί στην αντίδραση. Το αποτέλεσμα εκφράζεται σε μονάδες οξυγόνου, αντί του άνθρακα, και η διαδικασία αναφέρεται ως Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD). Και πάλι είναι μία απλή μέθοδος. Ωστόσο, το μειονέκτημα είναι ότι ένας αριθμός ανθεκτικών οργανικών ενώσεων άνθρακα που δεν είναι βιολογικά οξειδώσιμος, περιλαμβάνεται στην τιμή που ελήφθη. Αντιστρόφως, μερικές αρωματικές ενώσεις, όπως το βενζόλιο, το τολουόλιο, και κάποιες πυριδίνες, οι οποίες μπορούν να διασπαστούν από βακτήρια, οξειδώνονται εν μέρει μόνο κατά τη διαδικασία COD. Συνολικά ωστόσο, η COD θα υπερεκτιμήσει τον άνθρακα που μπορεί να αφαιρεθεί

από την ενεργή λάσπη. Η τρέχουσα μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του βιοδιασπώμενου άνθρακα, είναι το 5-ημερών Βιοχημικό Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD_5). Είναι μία μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου σε μια περίοδο 5-ημερών με ένα μικρό «σπόρο» βακτηρίων που περιορίζεται, στο σκοτάδι, σε μία φιάλη που περιέχει λύματα. Κατά τη διάρκεια αυτού του χρόνου, ο βιοαποικοδομήσιμος οργανικός άνθρακας παραλαμβάνεται, και υπάρχει μια αντίστοιχη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, όπου μέρος του άνθρακα χρησιμοποιείται για την αναπνοή των βακτηρίων. Η αναπνοή είναι μια μορφή βιολογικής οξείδωσης, και θα εξηγηθεί αργότερα. Μάλλον αναποτελεσματικά, ο βιοδιασπώμενος άνθρακας, όπως και κατά τη δοκιμή COD, εκφράζεται σε μονάδες οξυγόνου. Αυτό συμβαίνει επειδή το τεστ είχε εισαχθεί για να μετρηθεί η εξάντληση του οξυγόνου σε ύδατα υποδοχής που προκλήθηκαν από τον εναπομείναντα διασπασμένο άνθρακα στο απόβλητο. Η βασική αξία του είναι η ρύθμιση της σύνθεσης των αποβλήτων από την επεξεργασία νερού. Για τη διαχείριση της διαδικασίας, όπου απαιτείται η γνώση της οργανικής φόρτισης της εισροής, η BOD_5 έχει περιορισμένη αξία, εξαιτίας των 5 ημερών που απαιτούνται για να γίνει η μέτρηση. Υπάρχει τώρα πρόοδος για την αντικατάσταση της χρήσης BOD_5 ως μέτρου της αντοχής του εισρέοντος, με βραχυπρόθεσμη δοκιμή (BOD_{st}), η οποία μπορεί να διεξαχθεί σε μια χρονική κλίμακα από 30 λεπτά έως αρκετές ώρες.

Οι τιμές που λαμβάνονται για το BOD_5 είναι πάντα χαμηλότερες από εκείνες του COD, για 2 λόγους:

- Τα ενεργά βακτήρια λάσπης δεν μπορούν να διασπάσουν μερικές από τις ενώσεις που οξειδώνονται χημικά στη δοκιμή COD.
- Μερικός άνθρακας που απομακρύνεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής BOD δεν είναι οξειδωμένος, αλλά καταλήγει ως νέα βακτηριακή βιομάζα. Έτσι, η BOD μετρά μόνο το βιοαποικοδομήσιμο άνθρακα που πράγματι οξειδώνεται από τα βακτηρίδια.

Η αναλογία BOD_5 / COD θα εξαρτηθεί από τη σύνθεση των λυμάτων. Για οικιακά λύματα, καθώς επίσης και τα λύματα από το σφαγείο, τα γαλακτοκομικά, το αποστακτήριο και τις βιομηχανίες καουτσούκ, η αναλογία είναι περίπου 0,5 έως 0,6. Ωστόσο, για λύματα που εξέρχονται από την εγκατάσταση επεξεργασίας, είναι πιο κοντά στο 0,2. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο βιοδιασπώμενος οργανικός άνθρακας έχει αφαιρεθεί κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, αφήνοντας τις ενώσεις που δεν διασπώνται εύκολα από τα βακτήρια - «σκληρά» BOD. Αυτά θα μετρηθούν εύκολα με χημική οξείδωση, αλλά δεν θα διασπαστούν εύκολα και θα απομακρυνθούν από τα βακτήρια μέσα στο μπουκάλι BOD.

4.2.4 «Μαλακό» και «σκληρό» BOD

Ο χρονικός ορίζοντας για την απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα ποικίλει ανάλογα με την ικανότητα των ενεργοποιημένων βακτηρίων λάσπης να το απορροφήσουν. Μικρού μοριακού βάρους ενώσεις θα αρχίσουν να απομακρύνονται από τα λύματα αμέσως μόλις εισέλθουν στις δεξαμενές με την ενεργή λάσπη. Η αφαίρεσή τους μπορεί να ολοκληρωθεί σε 1-2 ώρες. Αυτή η ομάδα των ενώσεων συχνά αναφέρεται ως άμεσα βιοαποικοδομήσιμο ή «μαλακό» BOD. Άλλες ενώσεις, υψηλότερου μοριακού βάρους, θα χρειαστούν αρκετές ώρες για να διασπαστούν και να αφαιρεθούν. Ακόμη άλλες ενώσεις είναι περισσότερο απείθαρχες, και μπορεί ακόμη να επιμένουν και μετά από αρκετές ημέρες. Αυτή η λιγότερο άμεσα βιοαποικοδομήσιμη BOD συχνά αναφέρεται ως BOD «σκληρό». Ο μηχανισμός της διάσπασής τους και η απομάκρυνσή τους από τα βακτήρια θα εξεταστούν αργότερα.

Το καθαρό αποτέλεσμα είναι ότι μεγαλύτερες, σύνθετες μοριακές ενώσεις οργανικού άνθρακα μπορεί να μην διασπαστούν επειδή ο χρόνος διαθέσιμης επεξεργασίας (ο υδραυλικός χρόνος) δεν είναι αρκετά μεγάλος, και ως εκ τούτου θα αποβληθούν στην εκροή. Για να συνοψίσουμε, ο οργανικός άνθρακας στα λύματα μπορεί να παρουσιαστεί ως εξής:

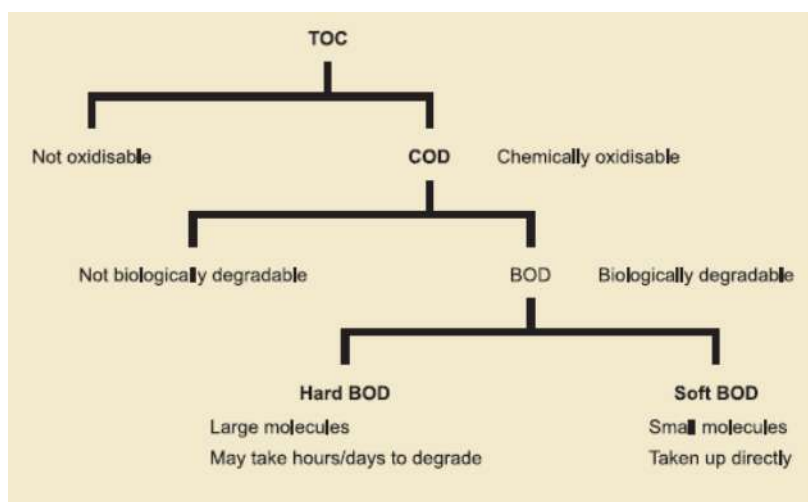


Figure 1 The relationship between the organic carbon fractions in sewage.

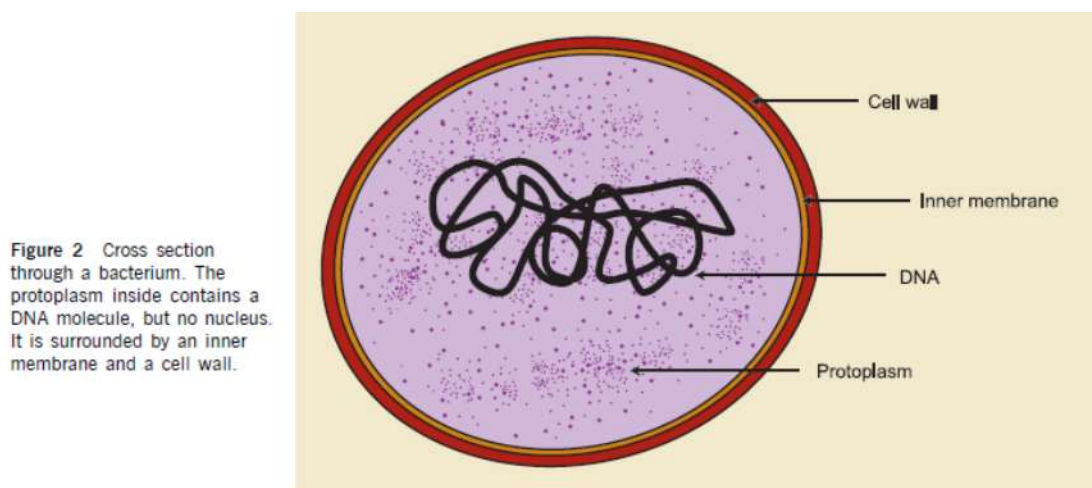
Σχήμα 4.1 : Η σχέση του οργανικού άνθρακα στα λύματα

4.2.5 Η σύνθεση της ενεργής λάσπης

4.2.5.1 Ενεργή λάσπη βακτηρίων

Η ενεργή λάσπη αερισμού επεξεργασίας λυμάτων είναι ένα σύνθετο οικοσύστημα ανταγωνιστικών οργανισμών. Οι κυρίαρχοι οργανισμοί είναι τα βακτήρια, τα οποία μπορεί να φτάνουν τα 300 είδη. Τα βακτήρια είναι από τους μικρότερους και σε αφθονία ζωντανούς οργανισμούς. Κάθε ένα αποτελείται από ένα μόνο κύτταρο ποικίλλοντας σε μέγεθος από περίπου 0.5 - 2 μm. Στο εξωτερικό, το κύτταρο οριοθετείται από μία μεμβράνη που ρυθμίζει την εισροή των ιόντων και των μορίων από το περιβάλλον νερό. Αυτό με τη σειρά του περιβάλλεται από ένα άκαμπτο κυτταρικό τοίχωμα, κατασκευασμένο από ένα πολυμερές σάκχαρο. Το εσωτερικό του κυττάρου περιέχει το κυτταρόπλασμα και τις χιλιάδες διαφορετικές χημικές ουσίες των οποίων οι αντιδράσεις ρυθμίζονται από τα ένζυμα. Το βακτηριακό κύτταρο δεν διαθέτει πυρήνα. Τα περισσότερα βακτήρια είναι σφαιρικά, αλλά ορισμένα μπορεί να είναι σε σχήμα ράβδου ή να έχουν σπειροειδή μορφή. Τα νηματοειδή βακτήρια περιλαμβάνουν μακριές αλυσίδες μικρών βακτηριακών κυττάρων, ενίοτε δε περιβάλλονται από ένα σωληνοειδές περίβλημα, και μπορεί να φθάσουν σε μήκος τα 100 μm.

Μικρές μοριακού βάρους ενώσεις διαχέονται μέσα στα βακτήρια (κατάποση) διαμέσου του κυτταρικού τοιχώματος. Ταυτόχρονα, ορισμένα από τα μεγαλύτερα πολύπλοκα μόρια που έχουν συντεθεί εντός των βακτηρίων, περνάνε προς τα έξω. Αυτή η διαδικασία αναφέρεται ως έκκριση.



Εικόνα 4.1 Διατομή μέσω ενός βακτηρίου

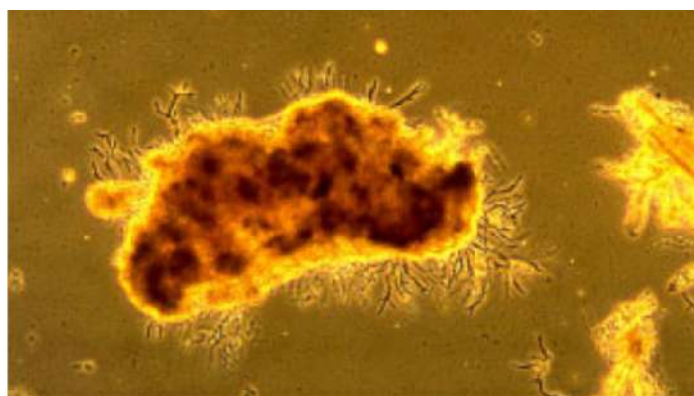
Οι εκκρίσεις περιλαμβάνουν λάσπες και πηκτές ουσίες, που μπορούν να συνδεθούν τα βακτήρια μαζί, και επίσης ένζυμα. Τα ένζυμα διασπούν μεγάλα οργανικά μόρια σε μικρότερα μονομερή τα οποία είναι αρκετά μικρά ώστε να καταποθούν. Τα βακτήρια χρησιμοποιούν την κατάποση μορίων για τη σύνθεση των νέων μορίων, κατά τη διαδικασία της ανάπτυξης. Όταν έχουν φθάσει σε κανονικό μέγεθος, το

βακτήριο διαιρείται σε δύο, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Αν τα μόρια των θρεπτικών συστατικών δεν είναι περιορισμένα, αυτό οδηγεί σε εκθετική αύξηση στον αριθμό των βακτηρίων. Τα βακτήρια σε μονάδα επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνουν ετερότροφα και αυτότροφα. Τα ετερότροφα βακτήρια είναι η κυρίαρχη ομάδα των οργανισμών. Χαρακτηρίζονται από το ότι τρέφονται κυρίως με οργανικά μόρια άνθρακα παρά με ανόργανα. Αντιθέτως, τα αυτότροφα απορροφούν ανόργανες χημικές ουσίες, και χρησιμοποιούν αυτές στην σύνθεση των οργανικών ενώσεων. Τα βακτήρια νιτροποίησης που αφαιρούν την αμμωνία από το ακάθαρτο νερό είναι τα πιο σημαντικά από αυτή την ομάδα. Υπάρχουν σχετικά λίγα είδη αυτοτρόφων, και δεδομένου ότι έχουν χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης, τείνουν να είναι εκτός ανταγωνισμού σε σχέση με τα ταχύτερα αναπτυσσόμενα ετερότροφα.

4.2.5.2 Βακτηριακές κροκιδώσεις

Σε μία καλά συντηρημένη δεξαμενή αερισμού, τα βακτήρια συγκεντρώνονται στο υλικό της ενεργοποιημένης ιλύος, αν και ορισμένα εμφανίζονται πάντα ελεύθερα στα λύματα. Οι κροκιδώσεις σχηματίζονται από συσσωματώματα μη-ζωντανών οργανικών πολυμερών τα οποία είναι πιθανόν να εκκρίνονται από τα βακτήρια. Έχουν μια ανοιχτή πορώδη δομή, και είναι επαρκώς ισχυρά να αντέχουν τις δυνάμεις διάτμησης που δημιουργούνται από την κίνηση του νερού, κατά την διάρκεια εξαερισμού των δεξαμενών. Ποικίλλουν σε μέγεθος το λιγότερο από 10 μm έως 1 χιλιοστό έως (1000 μm).

Figure 3 Micrograph of activated sludge flocs. The dark brown colour indicates a high population of bacteria in the floc. The small floc in the centre shows filamentous bacteria extending out from the surface, but since they do not link up with neighbouring flocs, this sludge will settle well. (Photograph courtesy of Ray Kenny).



Εικόνα 4.2 Μικρογραφία της ενεργοποιημένης ιλύος

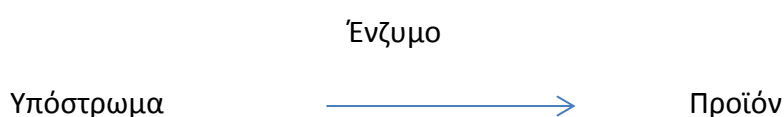
Τα βακτήρια απορροφώνται επί των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών, και ένα μέσο μέγεθος κροκιδώσεων μπορεί να φιλοξενεί αρκετά εκατομμύρια βακτήρια. Αμέσως μετά την εισροή των λυμάτων στην δεξαμενή αερισμού, τα λεπτά σωματίδια, τα κολλοειδή σωματίδια και τα μεγάλα μόρια, μπερδεύονται και απορροφώνται από το υλικό. Αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι τα ένζυμα που εκκρίνονται από τα βακτήρια στο νερό, τείνουν να περιορίζονται στην περιοχή του

υποστρώματος, διευκολύνοντας έτσι την πέψη τους. Ωστόσο, για τα βακτήρια που ζουν στο εσωτερικό, η διαθεσιμότητα του οξυγόνου μπορεί να είναι ένα πρόβλημα. Αυτό συμβαίνει επειδή το οξυγόνο πρέπει να διαχέεται κατά μήκος μιας κλίσης συγκέντρωσης από το ακάθαρτο νερό στο εσωτερικό. Τα βακτήρια των αναλυτικών κροκιδώσεων μπορεί να συνεχίσουν να αυξάνονται, όταν η συγκέντρωση του οξυγόνου του μικτού υγρού είναι μόνο 0,6 mg O₂ / l, ενώ για να εξασφαλιστεί αυτή η συγκέντρωση στο εσωτερικό ενός μεγάλου όγκου, μια μικτή συγκέντρωση υγρού οξυγόνου από 1,2 έως 2,0 mg O₂ / μπορεί να απαιτείται. Αρκετά συχνά, όταν η δεξαμενή αερισμού λειτουργεί κάτω από τους 2,0 mg O₂ / l, το κέντρο των κροκιδώσεων μπορεί να έχει έλλειψη σε οξυγόνο, και αποικείται από αναερόβια βακτήρια. Η εξωτερική επιφάνεια των ενεργοποιημένων κροκιδώσεων λάσπης συχνά αποικείται από μικροοργανισμούς του υψηλότερου τροφικού επιπέδου, συμπεριλαμβανομένων των πρωτόζωων και τροχόζωων. Αυτά τρέφονται με βακτήρια και σωματίδια στα λύματα.

Όπως σε όλα τα οικοσυστήματα, οι οργανισμοί είναι σε μια δυναμικά σταθερή κατάσταση. Έτσι τα κυρίαρχα είδη βακτηρίων μπορεί να αλλάξουν, μερικές φορές σε καθημερινή βάση, σε απόκριση στις αλλαγές στη σύνθεση των λυμάτων. Τα είδη των βακτηρίων που έχουν την ικανότητα να εκκρίνουν τα ένζυμα για να σπάσει μια νέα πηγή τροφής θα αυξηθούν ταχύτερα, αυξάνοντας έτσι το σχετικό αριθμό. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως προσαρμογή ή εγκλιματισμός. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η έκθεση σε χαμηλά επίπεδα δυνητικά τοξικών χημικών ουσιών, όπως η φαινόλη, μπορεί να οδηγήσει σε μια περίοδο ημερών επαγωγής των ενζύμων που θα τις αφομοιώσει. Αυτά τα είδη των βακτηρίων μπορεί τότε να εκμεταλλευτούν την τοξική ουσία ως πηγή τροφής.

4.2.5.3 Μεταβολισμός των βακτηρίων

Η επεξεργασία των λυμάτων στην δεξαμενή αερισμού περιλαμβάνει την απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα από το μικτό υγρό μέσω απορρόφησης από τα βακτήρια. Μόλις απορροφηθούν, οι ενώσεις του άνθρακα μεταβολίζονται. Ο μεταβολισμός περιλαμβάνει χιλιάδες ταυτόχρονες χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν ανά πάσα στιγμή μέσα στο βακτήριο. Σε κάθε μία από αυτές τις αντιδράσεις, ένα υπόστρωμα, με την παρουσία ενός ενζύμου (το οποίο δρα ως καταλύτης), μετατρέπεται σε ένα προϊόν.



Το προϊόν γίνεται τότε το υπόστρωμα για το επόμενο βήμα στην αλυσίδα, και σχεδόν αμέσως μετατρέπεται, με την παρουσία ενός άλλου συγκεκριμένου ενζύμου, σε ένα διαφορετικό προϊόν - και ούτω καθεξής. Για ορισμένες από αυτές τις αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα, πρέπει να παρέχεται χημική ενέργεια (ενδογενείς αντιδράσεις). Σε άλλες αντιδράσεις (εξωγενείς αντιδράσεις), η ενέργεια που εκπέμπεται είναι συνήθως με τη μορφή θερμότητας.

Τα μεγάλα τμήματα του μεταβολισμού που μας ενδιαφέρουν εδώ είναι τα εξής:

Καταβολισμός ή μεταβολισμός ενέργειας : Αυτό περιλαμβάνει μία σειρά αντιδράσεων στις οποίες οι ενώσεις του άνθρακα διασπώνται για να δώσουν κυτταρική ενέργεια. Αυτό είναι η βιολογική οξείδωση και περιλαμβάνει την πρόσληψη οξυγόνου από το βακτήριο. Αυτή είναι επίσης η βάση της διαδικασίας που αναφέρεται ως αναπνοή.

Αναβολισμός : Πρόκειται για μια σειρά από βιοσυνθετικές αντιδράσεις στις οποίες μικρά μόρια ενώνονται για να σχηματίσουν μεγάλα μακρομόρια μοριακού βάρους. Αυτό απαιτεί μια εισαγωγή ενέργειας από καταβολισμό, και αποτελεί τη βάση της διαδικασίας της ανάπτυξης.

4.2.5.4 Οι 3 μεγάλες διαδικασίες σε ένα βακτήριο

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν πολλές χιλιάδες χημικές αντιδράσεις που εμπλέκονται στο μεταβολισμό ενός βακτηρίου μπορούμε να εντοπίσουμε τις τρεις σημαντικότερες διαδικασίες που είναι σχετικές με τη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων. Αυτές είναι:

- Απορρόφηση
- Αναπνοή
- Ανάπτυξη και διαίρεση

Αυτές οι διαδικασίες έχουν πολύ υψηλό βαθμό ενσωμάτωσης και η σχέση μεταξύ τους σε ένα ενιαίο βακτηριακό κύτταρο μπορεί να αποδειχθεί ως εξής:

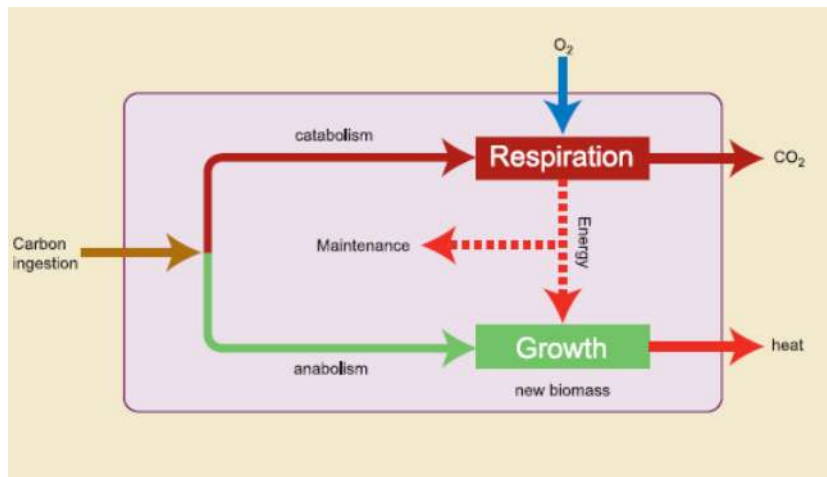


Figure 4 Representation of a single bacterium showing the relationship between the 3 processes.

Σχήμα 4.2 Παρουσίαση της σχέσης μεταξύ των 3 διαδικασιών

Αυτές οι τρεις διαδικασίες είναι η Κατάποση, η Αναπνοή και η Ανάπτυξη.

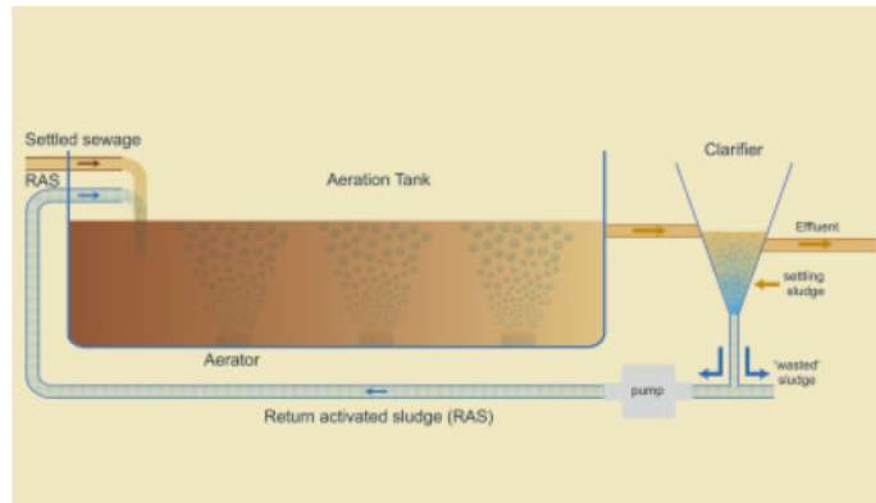
4.2.6 Βασική διάταξη εγκατάστασης επεξεργασίας

Μια τυπική μονάδα επεξεργασίας περιλαμβάνει τρεις φάσεις επεξεργασίας - πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή. Η πρωτοβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνει εναπόθεση των στερεών σε δεξαμενή καθαρισμού. Τα λύματα στη συνέχεια περνά σε δευτεροβάθμια επεξεργασία ή αερισμού των δεξαμενών. Αυτή είναι η κύρια βιολογική φάση της επεξεργασίας από τα ενεργά βακτήρια λάσπης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μια τρίτη φάση για την περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας της δευτερογενούς εκροής, αφαιρώντας το άζωτο, τα φωσφορικά άλατα, τα αιωρούμενα στερεά ή τα παθογόνα, αν απαιτείται.

Υπάρχουν πολλά είδη δεξαμενών αερισμού, συμπεριλαμβανομένων αντιδραστήρας εμβολικής ροής, εντελώς μικτή, φιλτραρίσματος με φίλτρο, αντιδραστήρας αλληλουχίας παρτίδας (SBR), και ούτω καθεξής. Η απλούστερη από αυτές είναι το σύστημα αντιδραστήρα εμβολικής ροής, και θα χρησιμοποιήσουμε αυτή για να τονιστούν οι βασικές αρχές της βιολογικής επεξεργασίας.

Ένα σύστημα αντιδραστήρα εμβολικής ροής μπορεί να αποτελείται από μία μακριά ορθογώνια δεξαμενή, 3-5m σε βάθος, με εξαερισμό για την παροχή οξυγόνου για την αναπνοή και να κρατά την ενεργή λάσπη.

Figure 14 Layout of a plug-flow plant. In its passage through the aeration tank, there is an increase in the activated sludge biomass, as a result of bacterial growth. At the end of the tank, the mixed liquor passes to the clarifier, to allow the sludge to settle. Some sludge is recycled back to the beginning of the tank. The rest, corresponding to the net new biomass, is 'wasted' i.e. dewatered and dried.



Σχήμα 4.3 Διάταξη εμβολικής ροής

Στην είσοδο δέχεται την εισροή λυμάτων από την πρωτογενή δεξαμενή καθαρισμού. Λαμβάνει επίσης μια ροή Επιστρεφόμενης ή Ανακυκλωμένης Ενεργής Λάσπης (RAS). Αυτός ο συνδυασμός των υγρών αποβλήτων και ενεργής λάσπης αναφέρεται ως μεικτό υγρό.

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.

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.

4.3 Σύστημα επεξεργασίας MBR (Membrane Bioreactor)

4.3.1 Γενικά

Το σύστημα βιοαντιδραστήρα μεμβρανών (Membrane Bioreactors - MBR) αποτελεί ένα σύστημα βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων το οποίο έχει υιοθετηθεί τα τελευταία χρόνια για την επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων. Σε αντίθεση με το συμβατικό σύστημα της ενεργού ιλύος όπου ο διαχωρισμός της επεξεργασμένης εκροής από το ανάμικτο υγρό πραγματοποιείται με βαρύτητα σε δεξαμενή καθίζησης, στο σύστημα MBR ο διαχωρισμός αυτός επιτυγχάνεται με διήθηση του υγρού διαμέσου μεμβρανών. Η συνεχής βελτίωση του λόγου κόστους/αποτελεσματικότητας των συστημάτων MBR έχει συμβάλει σημαντικά στην ευρεία υιοθέτηση των συστημάτων MBR. Στο σύστημα MBR δεν υπάρχει δεξαμενή τελικής καθίζησης και επομένως η ιλύς δεν χρειάζεται να έχει

ευνοϊκά χαρακτηριστικά καθίζησης. Έτσι, τα συνεπαγόμενα προβλήματα καθιζηματικότητας της ιλύος που αντιμετωπίζει το σύστημα της ΕΙ, εξαλείφονται. Η παραγόμενη εκροή από τις μεμβράνες του συστήματος είναι κατάλληλη για απευθείας επαναχρησιμοποίηση μετά από ελαφρά απολύμανση ή για περαιτέρω επεξεργασία σε μονάδα αντίστροφης όσμωσης. Οι μεμβράνες κατακρατούν τα αιωρούμενα στερεά, καθώς και μεγαλομοριακές ουσίες οι οποίες θα διέφευγαν στην τελική εκροή των συστημάτων που εφαρμόζουν Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης (ΔΤΚ). Το διήθημα είναι υψηλής ποιότητας, καλύτερο από αυτό των τριτοβάθμιων συστημάτων. Άρα παρατηρείται αύξηση των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων με ασφάλεια για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Η επίτευξη υψηλής ποιότητας εκροής εξασφαλίζεται με την εφαρμογή μεμβρανών με μικρό μέγεθος πόρων, το οποίο κυμαίνεται από 0.02 – 1 μm ανάλογα με το είδος των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται (μεμβράνες MF/UF). Οι μεμβράνες αυτές δεν επιτρέπουν τη διέλευση των αιωρούμενων σωματιδίων και των περισσότερων κolloειδών ουσιών στην τελική εκροή.

Στα συστήματα MBR διακρίνονται δύο είδη διατάξεων: (i) το εξωτερικό MBR και το (ii) εμβαπτιζόμενο MBR. Στο εξωτερικό MBR οι μονάδες των μεμβρανών είναι τοποθετημένες εκτός του αντιδραστήρα, ενώ στο εμβαπτιζόμενο MBR οι μεμβράνες είναι βυθισμένες μέσα στο βιολογικό αντιδραστήρα. Στο εξωτερικό MBR το ανάμικτο υγρό τροφοδοτείται υπό πίεση από το βιολογικό αντιδραστήρα στη μονάδα των μεμβρανών, όπου πραγματοποιείται η διεργασία της διήθησης.

4.3.2 Ιστορική αναδρομή τεχνολογίας MBR

4.3.2.1 Ιστορική αναδρομή

Σύμφωνα με τους Stephenson et al., 2000, η πρώτη αναφορά για την αντικατάσταση της δεξαμενής τελικής καθίζησης με σύστημα μεμβρανών έγινε από τους Smith et al. Το 1969, οι οποίοι δημιούργησαν και εξέτασαν ένα σύστημα που συνδύαζε ένα συμβατικό σύστημα ΕΙ και εξωτερική διήθηση. Αναφέρεται επίσης ότι το 1970 οι Hardt et al. διερεύνησαν το διαχωρισμό της ενεργού ιλύος με μεμβράνες υπερδιήθησης.

Η τεχνολογία της χρησιμοποίησης μεμβρανών σε βιολογικούς αντιδραστήρες διείσδυσε πρώτα στην Ιαπωνία στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Περίπου την ίδια χρονική περίοδο η εταιρία Thetford systems που αποτελεί τώρα τμήμα της εταιρίας Zenon παρουσίασε μια νέα μορφή εξωτερικού MBR για την αερόβια επεξεργασία λυμάτων. Η Zenon συνέχισε το έργο της Dorr-Oliver και το 1982 εισήγαγε στην αγορά το σύστημά της με την εμπορική ονομασία ZenonGem. Μέχρι το 1993, υπήρχαν 39 συστήματα MBR τα οποία χρησιμοποιούνταν για την επεξεργασία των βιομηχανικών και αστικών λυμάτων (Μαλαμής, 2005). Στα συστήματα αυτά, οι μεμβράνες ήταν τοποθετημένες εξωτερικά από τη δεξαμενή αερισμού γι' αυτό και είναι γνωστά ως εξωτερικά συστήματα MBR (External MBR). Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 η Καναδική εταιρεία Zenon Environmental Inc. άρχισε να δραστηριοποιείται στον τομέα των MBR με σκοπό την επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων. Το πρώτο εμπορικά

επιτυχημένο σύστημα MBR της Zenon κατασκευάστηκε το 1982 και ονομάστηκε ZenoGem (Stephenson et al., 2000). Η καινοτομία του συστήματος αυτού ήταν ότι οι μονάδες των μεμβρανών ήταν τοποθετημένες εντός της δεξαμενής αερισμού και το σύστημα αυτό είναι γνωστό ως εμβυθιζόμενο MBR (Immersed MBR), (Metcalf & Eddy, 2003).

Το 1989 η Ιαπωνική κυβέρνηση συνεργάστηκε με αρκετές μεγάλες εταιρείες με σκοπό να επενδύσει σημαντικά σε νέες τεχνολογίες όπως είναι τα συστήματα MBR και να τα εγκαταστήσει κυρίως σε μεγάλα κτιριακά συγκροτήματα με στόχο την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (Stephenson et al., 2000). Μία από τις εταιρείες που συμμετείχε σε αυτή την προσπάθεια ήταν η Kubota, η οποία έχει εξελιχθεί σε μία από τις μεγαλύτερες κατασκευάστριες εταιρείες συστημάτων MBR στον κόσμο.

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 στη Ευρώπη ξεκίνησε μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Έως το 2002 είχαν κατασκευασθεί και λειτουργούσαν πάνω από 1000 μονάδες MBR σε όλο τον κόσμο, ενώ πολλές άλλες έχουν κατασκευασθεί μέχρι σήμερα. Η συντριπτική πλειοψηφία (66%) ολοκληρωμένων εν λειτουργία

συστημάτων MBR βρίσκεται στην Ιαπωνία. Οι υπόλοιπες μονάδες βρίσκονται στη Βόρεια Αμερική (Καναδά και ΗΠΑ) και στην Ευρώπη (Stephenson et al., 2000).

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. Το Δεκέμβριο του 2003 άρχισε να λειτουργεί η μεγαλύτερη μονάδα MBR στον κόσμο, στο Κάαρστ της Γερμανίας. Αυτή η ΕΕΛ είναι γνωστή ως Nordkanal και μπορεί να εξυπηρετήσει έναν ισοδύναμο πληθυσμό περίπου 80,000 (Μαλαμής, 2005).

4.3.2.2 Παρούσα φάση

Μονάδες μεγάλης κλίμακας αερόβιας επεξεργασίας άρχισαν να λειτουργούν στη Βόρεια Αμερική στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και μετά στην Ιαπωνία στις αρχές της δεκαετίας του 1980, ενώ το ίδιο διάστημα άρχισαν να λειτουργούν μονάδες αναερόβιας επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων στην Νότια Αφρική. Η εισαγωγή των αερόβιων αντιδραστήρων στην Ευρώπη δεν έγινε νωρίτερα από τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Σήμερα υπάρχουν αρκετές εκατοντάδες μονάδων που λειτουργούν και υπάρχουν αρκετές που βρίσκονται υπό κατασκευή, το 98% περίπου των οποίων είναι αερόβιοι βιοαντιδραστήρες.

Η υψηλή ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων είναι κοινό χαρακτηριστικό όλων των συστημάτων. Η πλήρης απομάκρυνση των στερεών, η σημαντική ικανότητα απολύμανσης, η υψηλή απομάκρυνση οργανικού φορτίου και θρεπτικών καθώς και η μικρή έκταση που καταλαμβάνουν αυτά τα συστήματα αποτελούν εξίσου κοινά χαρακτηριστικά όλων των MBRs, ανεξάρτητα από το είδος των αποβλήτων και των διαφόρων εμπορικών προϊόντων. Η ποιότητα της επεξεργασίας είναι τόσο υψηλή ώστε η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση αποτελούν συχνά επιλογές ζωτικής σημασίας. Η συνεχόμενη μείωση του κόστους των μεμβρανών σε συνδυασμό με την αύξηση του χρόνου ζωής των μεμβρανών συμβάλλουν καθημερινά στη χρήση όλο και περισσότερων συστημάτων για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας.

4.3.2.3 Η Ελληνική εμπειρία

Είναι γνωστό ότι στην Ελλάδα δεν είναι εύκολο να εφαρμοστούν νέες τεχνολογίες ακόμη και αν αυτές διαθέτουν όλα τα φόντα να είναι ιδιαίτερα επιτυχημένες όπως συμβαίνει με την περίπτωση των MBRs.

Κατά καιρούς έχουν γίνει κάποιες μικρές εγκαταστάσεις από αντιπροσώπους εταιριών κατασκευής MBRs σε ξενοδοχεία. Η μοναδική περίπτωση ύπαρξης μονάδας μεγάλης δυναμικότητας είναι αυτή της Μήλου από την εταιρία ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ ΑΕ, η οποία άρχισε να λειτουργεί στις αρχές του τρέχοντος έτους, με αποτέλεσμα να είναι πάρα πολύ νωρίς για την έκβαση ασφαλών συμπερασμάτων, όχι τόσο για τη λειτουργική απόδοση του συστήματος, όσο για τις ανάγκες συντήρησης και τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργήσει μια τέτοια μονάδα στις εγχώριες συνθήκες λειτουργίας.

Η συνοπτική τεχνική περιγραφή της συγκεκριμένης μονάδας είναι:

- Άφιξη και προεπεξεργασία βοθρολυμάτων σε compact σύστημα
- Μονάδα ομογενοποίησης-εξισορρόπησης-προαερισμού βοθρολύματων
- Compact σύστημα προεπεξεργασίας λύματων (εσχάρωση 3 mm, εξάμμωση, λιποσυλλογή)
- Βιολογική βαθμίδα που περιλαμβάνει: κροδίδωση για χημική αποφωσφόρωση, απονιτροποίηση σε ανοξική δεξαμενή, αερισμό με υποβρύχια διάχυση και δεξαμενή βιοαντιδραστήρα με μεμβράνες
- Δεξαμενή συλλογής επεξεργασμένων και διάταξη χλωρίωσης
- Αφυδάτωση λάσπης
- Βοηθητικές υποδομές

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα τεχνικά στοιχεία της εγκατάστασης :

Πίνακας 4.1 : Τεχνικά στοιχεία εγκατάστασης MBR Μήλου (Μεσόγειος Α.Ε., 2009)

Παράμετρος	Μονάδες μέτρησης	Τιμή
Ισοδύναμος πληθυσμός	ι.κ.	3.200
Συνολική επιφάνεια μεμβρανών	m ²	800
Τύπος μεμβρανών	Flat sheet	Kubota
Έκταση εγκατάστασης	Στρέμματα	0,8
Ποιότητα εκροής		
BOD	mg/l	10
SS	mg/l	5
P	mg/l	2
TN	mg/l	10
Ολικά κολοβακτηρίδια	MPN/100 ml	100



Εικόνα 4.3 : Εγκατάσταση MBR στη νήσο Μήλο

4.3.3 Αρχή λειτουργίας MBR

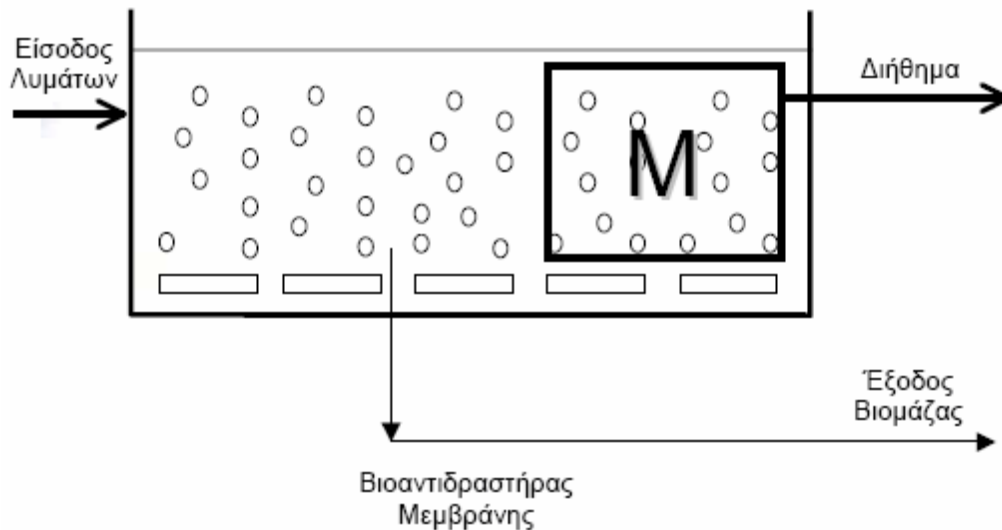
Το κλασικό σύστημα MBR είναι αυτό που επιτυγχάνει διαχωρισμό του υγρού από τα στερεά και η αρχή λειτουργίας του είναι απλή:

- 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 ιλύ.
- Η διήθηση πραγματοποιείται είτε με την εφαρμογή πίεσης στο ανάμικτο υγρό του αντιδραστήρα είτε με την εφαρμογή χαμηλής πίεσης στο διήθημα,

ώστε το διήθημα 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 παρουσιάζεται σχηματικά η γενική αρχή λειτουργίας ενός συστήματος βιοαντιδραστήρα μεμβράνης.



Σχήμα 4.4 : 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.

4.3.4 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)

4.3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα MBR

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

❖ Πλεονεκτήματα

- Η επεξεργασμένη εκροή είναι ανώτερη των συστημάτων ΕΙ 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 εμφανίζει λειτουργική ευελιξία καθώς μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά σε υψηλούς χρόνους παραμονής (SRT > 20 ημέρες) σε συνδυασμό με υψηλές συγκεντρώσεις MLSS (6 – 20 g l⁻¹). 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 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 ΕΙ.
- 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).

❖ Μειονεκτήματα

- Το βασικό μειονέκτημα του συστήματος MBR είναι το αυξημένο λειτουργικό του κόστος σε σύγκριση με αυτό του συστήματος της ΕΙ. 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 παροχετευόμενος 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 πιλοτική μονάδα 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 (μικρο-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.

Παρακάτω παρουσιάζονται ένα συμβατικό σύστημα Ενεργούς Ιλύος (ΕΙ) και μια μονάδα βιοαντιδραστήρα MBR:



Εικόνα 4.4 : Συμβατικό σύστημα Ενεργούς Ιλύος (ΕΙ) Δήμου Κιλκίς



Εικόνα 4.5 : Μονάδα βιοαντιδραστήρα MBR του Nordkanal στο κρατίδιο North Rhine Westphalia της Γερμανίας

4.4 Μεμβράνες

4.4.1 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.

4.4.2 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 ευκαμψίας. 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 παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 4.2 : Ταξινόμηση των μεμβρανών

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

Πιο αναλυτικά, οι 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 σύστασή τους σε :

Ομοιογενείς : Παρασκευάζονται από ένα από πολυμερές ή αποτελούνται από μίγμα συμβατών μεταξύ τους πολυμερών.

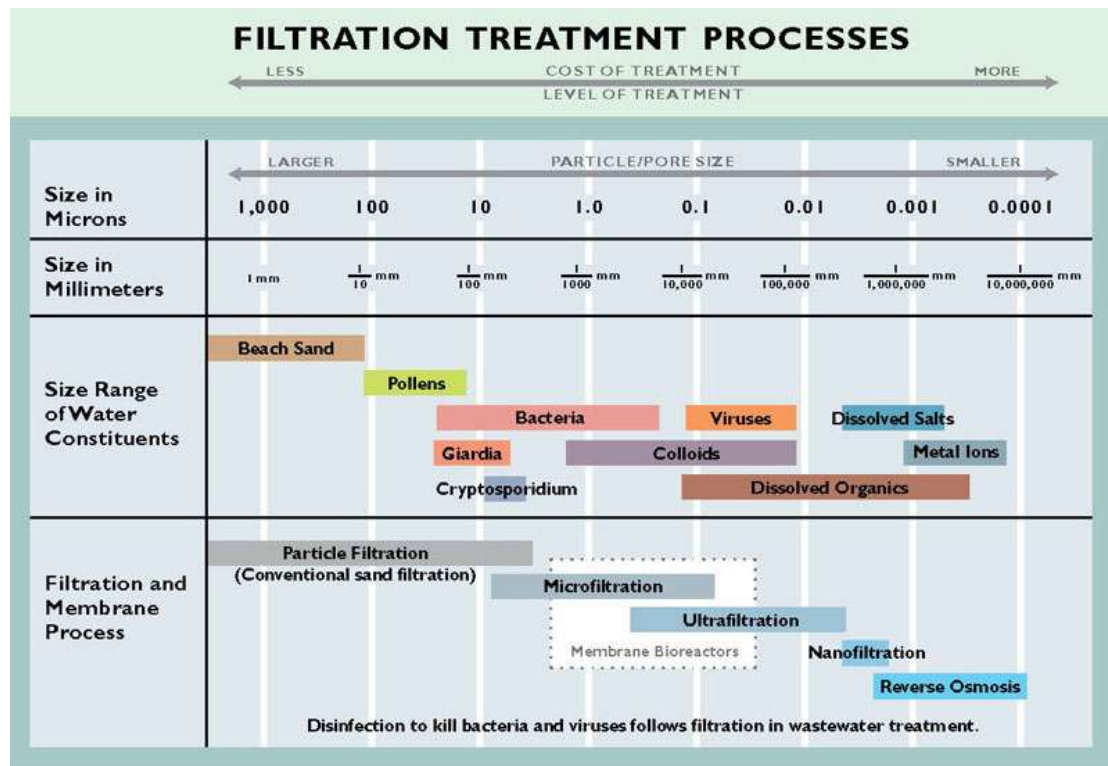
Ετερογενείς :Αποτελούνται από μίγμα μη αναμιξιμων πολυμερών (τουλάχιστον δύο φάσεις παρούσες). Επίσης σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι μεμβράνες πολλών στρωμάτων (non integrally skinned ή composite membranes), καθώς και οι ενισχυμένες μεμβράνες.

4.4.3 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.

Παρακάτω απεικονίζεται το φάσμα εφαρμογής των μεμβρανών :



Εικόνα 4.6 : Εφαρμογές που βασίζονται στην τεχνολογία μεμβρανών

Οι κυριότερες μέθοδοι φίλτρασης (εικ. x3), 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 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 μονοσθενή 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.

Παρακάτω στον πίνακα φαίνονται σχηματικά οι διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες και η ωθούσα δύναμη :

Πίνακας 4.3 : Διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες και ωθούσα δύναμη

Ωθούσα Δύναμη	Διεργασία Μεμβράνης
<p>Διαφορά πίεσης (pressure difference)</p>	<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
<p>Διαφορά χημικού δυναμικού</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Διαχωρισμός αερίου (Gas separation) <ul style="list-style-type: none"> • Υγρές μεμβράνες (liquid membranes)
<p>Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ηλεκτροδιάλυση (electrodialysis) • Ηλεκτροφόρηση μέσω μεμβράνης (membrane electrophoresis) • Ηλεκτρόλυση μέσω μεμβράνης (membrane electrolysis)

4.4.4 Τύποι μεμβρανών μονάδας MBR

Οι μεμβράνες της μονάδας MBR και που παράλληλα 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 4.7 απεικονίζεται μια μονάδα με τριχοειδείς κοίλες ίνες.

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

- 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.

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



Εικόνα 4.7 : Μεμβράνη με τριχοειδείς κοίλες ίνες (hollow-fibre membrane)

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι flat sheet μεμβράνες που χρησιμοποιήσαμε :

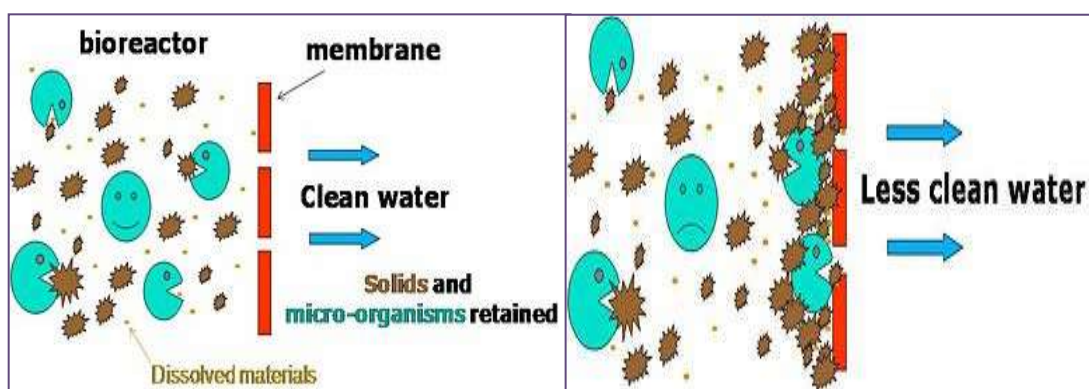


Εικόνα 4.8 : Μεμβράνη με επίπεδα φύλλα (flat sheet membrane)

4.4.5 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 ορισθεί 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 4.9 απεικονίζεται το φαινόμενο της έμφραξης των μεμβρανών :



Εικόνα 1.9 : Το φαινόμενο της έμφραξης των μεμβρανών

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:

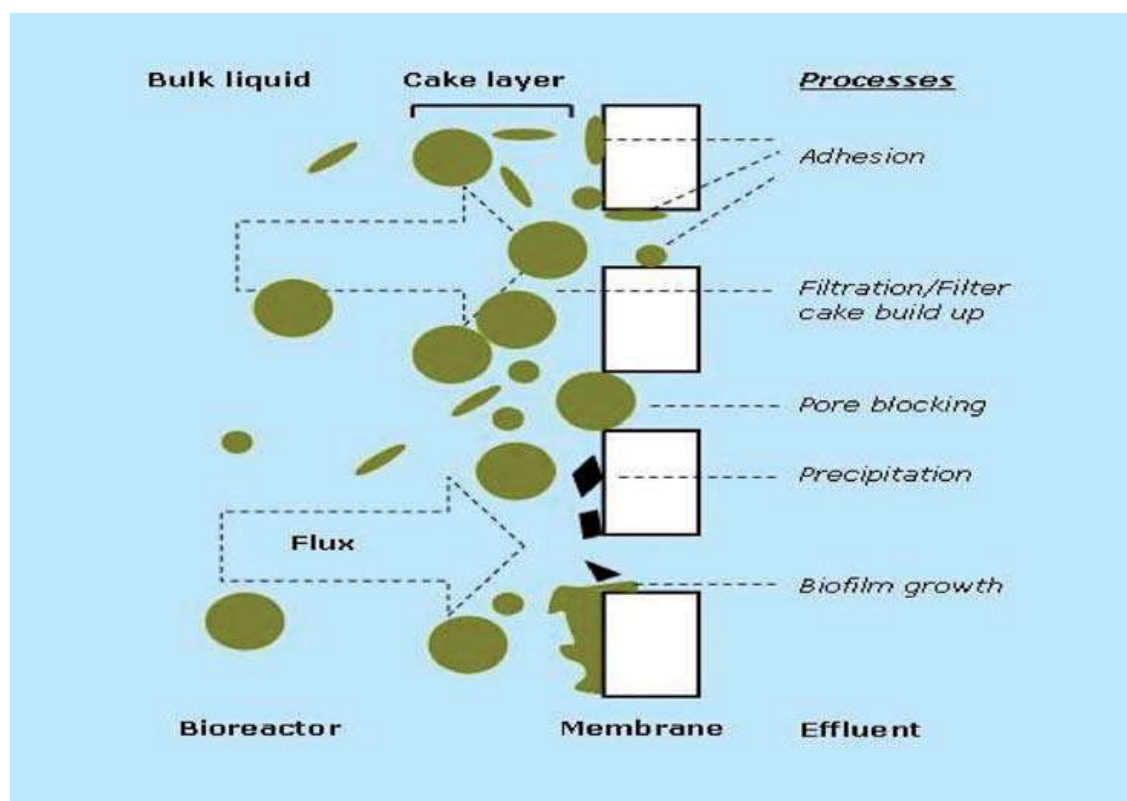
- Την μικροέμφραξη
- Την μακροέμφραξη

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 4.10 απεικονίζονται οι μηχανισμοί έμφραξης των μεμβρανών:



Εικόνα 4.10 : Μηχανισμοί έμφραξης των μεμβρανών σε συστήματα MBR

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 ένωσση 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.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

Πιλοτική μονάδα MBR

5.1. Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Η τεχνολογία MBR είναι μια νέα τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων. Στην τεχνολογία αυτή συνδυάζεται ο διαχωρισμός μέσω μεμβράνης με το κλασσικό 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 <math><1.0 \text{ mg/L}</math>. 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. Τύποι συνθετικών αποβλήτων και συστατικά αυτών

Λόγω της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας είναι επιθυμητό από τους ενδιαφερόμενους πριν υιοθετήσουν την συγκεκριμένη τεχνολογία να επιβεβαιώσουν την καταλληλότητα και την απόδοσή της μέσω μιας πιλοτικής διάταξης. Για τις ανάγκες λειτουργίας μιας τέτοιας πιλοτικής διάταξης συνήθως επιλέγουν τη χρήση προσομοιωμένων συνθετικών αποβλήτων. Οι περισσότερες επιστημονικές μελέτες σε συστήματα MBR χρησιμοποιούν συνθετικά απόβλητα,

παρασκευασμένα εργαστηριακά. Το πρώτο της στάδιο είναι απαραίτητο για να καταλάβει τη λειτουργία του αντιδραστήρα, τη διάρκεια αποδοτικής χρήσης των μεμβρανών πριν χρειαστούν καθαρισμό, την απόδοση των συστημάτων. Η χρήση συνθετικού αποβλήτου έχει το πλεονέκτημα της σταθερής και απόλυτα συγκεκριμένης συγκέντρωσης στα διάφορα συστατικά του, έναντι ενός αληθινού αποβλήτου όπου αυτή η συγκέντρωση θα είχε ίσως και σημαντικές αυξομειώσεις. Επίσης, ενδεχομένως, θα περιείχε συστατικά που θα έδιναν αξιοσημείωτα αποτελέσματα που δεν θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε αν δεν είμαστε σίγουροι για τα συστατικά αυτά. Τέλος το συνθετικό απόβλητο είναι άμεσα διαθέσιμο, σε όση ποσότητα χρειάζεται και σε σχετικά χαμηλό κόστος.

Οι τρεις βασικές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για την παρασκευή του αποβλήτου είναι η τροφή που πρέπει να έχουν τα μικρόβια για να αναπτυχθούν, η δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για αυτά και φυσικά κάποια αρχική ποσότητα μικροβίων για να μπορέσει να ξεκινήσει η διαδικασία.

Όσον αφορά την τροφή, αυτή δίνεται σε μορφή άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου από τις περισσότερες έρευνες που έχουν γίνει. Αυτό είναι άλλωστε αρκετά ρεαλιστικό αφού όλα τα αστικά απόβλητα περιέχουν οπωσδήποτε αυτά τα συστατικά. Αυτό που αλλάζει είναι σε τί είδους χημικές ενώσεις θα περιέχονται τα χημικά αυτά στοιχεία. Αυτό που ενδιαφέρει κυρίως είναι η συγκέντρωση αυτών σε όρους COD, ολικού αζώτου και ολικού φωσφόρου και η αναλογία αυτών.

Για να αναπτυχθούν τα μικρόβια χρειάζεται η προσθήκη μεταλλικών ιχνοστοιχείων, σε ελάχιστες συγκεντρώσεις, για να έχει το διάλυμα ευνοϊκές συνθήκες αγωγιμότητας. Επίσης το pH είναι υψίστης σημασίας για τα μικρόβια και πρέπει να είναι σε τιμή από 6 έως 7.

Τέλος η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ικανοποιητική αρκεί να μην έχει ακραία χαμηλά ή υψηλά νούμερα. Κάτι τέτοιο ευτυχώς δεν αποτελεί πρόβλημα στη χώρα μας.

Τα αρχικά μικρόβια μπορούν να προέλθουν είτε με απ' ευθείας προσθήκη αυτών, αγορασμένων από το εμπόριο, είτε με προσθήκη στο συνθετικό απόβλητο ενός μικρού ποσοστού ήδη επεξεργασμένης λάσπης που θα πάρουμε από έναν υπάρχων βιολογικό καθαρισμό.

Παρακάτω παραπέμπονται ενδεικτικοί πίνακες συστατικών συνθετικών αποβλήτων.

Πίνακας 5.1 : Συστατικά συνθετικού απόβλητου

Χημικά Συστατικά	Συγκέντρωση (mg/l)
Ουρία	91,74
NH ₄ Cl	12,75
Na-acetate	79,37
Peptone	17,41
MgHPO ₄ .3H ₂ O	29,02
KH ₂ PO ₄	23,4
FeSO ₄ .7H ₂ O	5,80
Συστατικά τροφίμων	
Άμυλο	122
Γάλα σε σκόνη	116,19
Μαγιά	52,24
Σογιέλαιο	29,02
Ίχνη Μετάλλων	
Cr(NO ₃) ₃ .9H ₂ O	0,770
CuCl ₂ .2H ₂ O	0,536
MnSO ₄ .H ₂ O	0,108
NiSO ₄ .6H ₂ O	0,336
PbCl ₂	0,100
ZnCl ₂	0,208

Με στόχο την προσομοίωση των αστικών λυμάτων, ο Boeije χρησιμοποίησε ως εισροή σε ένα σύστημα εναλλασσόμενων κύκλων λειτουργίας (SBR) συνθετικό λύμα, η σύσταση του οποίου παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.2.

Η πεπτόνη και η σκόνη γάλακτος χρησιμοποιήθηκαν κυρίως ως πηγή πρωτεϊνών, ενώ το άμυλο και το σογιέλαιο ως πηγές υδατανθράκων και λιπαρών υλών αντίστοιχα. Ο φώσφορος εισέρχεται στο σύστημα επεξεργασίας κυρίως με τη μορφή ανόργανου φωσφόρου και η αμμωνία με τη μορφή χλωριούχου αμμωνίου και ουρίας. Στη «συνταγή» αυτή συμμετέχει σημαντικός αριθμός ιχνοστοιχείων με στόχο την καλύτερη προσομοίωση με τα αστικά λύματα. Το συνολικό COD είναι 439 mg/l.

Πίνακας 5.2 : Συστατικά συνθετικού αποβλήτου

Συστατικό	Συγκέντρωση mg/l)
Πεπτόνη	853
Ζωικό εκχύλισμα	587
Ουρία	160
NaCl	37
MgSO ₄ ·7H ₂ O	11
K ₂ HPO ₄	149
CaCl ₂ ·2H ₂ O	21

Στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζεται η σύσταση συνθετικού λύματος που χρησιμοποιήθηκε σε τεστ μέτρησης της ταχύτητας αποξυγόνωσης βιομάζας, που αναπτύσσεται σε συστήματα ενεργού ιλύος επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Ο σκοπός ήταν η ταυτοποίηση ουσιών που αναστέλλουν τη μικροβιακή δράση και η υπόδειξη κατάλληλων συγκεντρώσεων ουσιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τεστ βιοδιασπασιμότητας.

Πίνακας 5.3 : Συστατικά συνθετικού απόβλητου

Συστατικά	Συγκέντρωση (mg/l)
Ζωικό εκχύλισμα	80
CH ₃ COOH	0,2
KH ₂ PO ₄	70
FeCl ₃ ·6H ₂ O	1,5
CaCl ₂	2,88
NaHCO ₃	420

Τα βιομηχανικά απόβλητα έχουν τελείως διαφορετική σύσταση τόσο από τα αστικά όσο και μεταξύ τους για ευνόητους λόγους. Η προσομοίωση των βιομηχανικών αποβλήτων απαιτεί επομένως την ταυτοποίηση όλων των ενώσεων που υπάρχουν στο εν λόγω απόβλητο, επειδή η σύστασή τους μπορεί να διαφέρει ακόμα και όταν πρόκειται για απόβλητο από βιομηχανίες όμοιων προϊόντων.

5.6 Εισερχόμενο Απόβλητο.

Το εισερχόμενο απόβλητο το οποίο επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στην παραπάνω πιλοτική μονάδα ήταν συνθετικό απόβλητο του οποίου η σύνθεση παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα 5.4 .

Πίνακας 5.4 : Σύνθεση εισερχομένου συνθετικού αποβλήτου

Material	Chemical Formula	Concentration in SWW (mg/L)
D(+)-Glucose	C ₆ H ₁₂ O ₆ H ₂ O	400±10
Peptone A	Peptone from soymeal	50±2
Peptone B	Peptone from gelatin	150±5
Urea	CO(NH ₂) ₂	50±2
Ammonium Sulfate	(NH ₄) ₂ SO ₄	50±2
Ammonium chloride	NH ₄ Cl	50±2
Potassium dihydrogen phosphate	KH ₂ PO ₄	15±1

5.4 Μεμβράνες πιλοτικής μονάδας

Οι μεμβράνες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία ήταν τύπου κοίλων ινών (Hollow Fiber) και ήταν δύο διαφορετικών επώνυμων εργοστασίων και διαφορετικών υλικών κατασκευής.

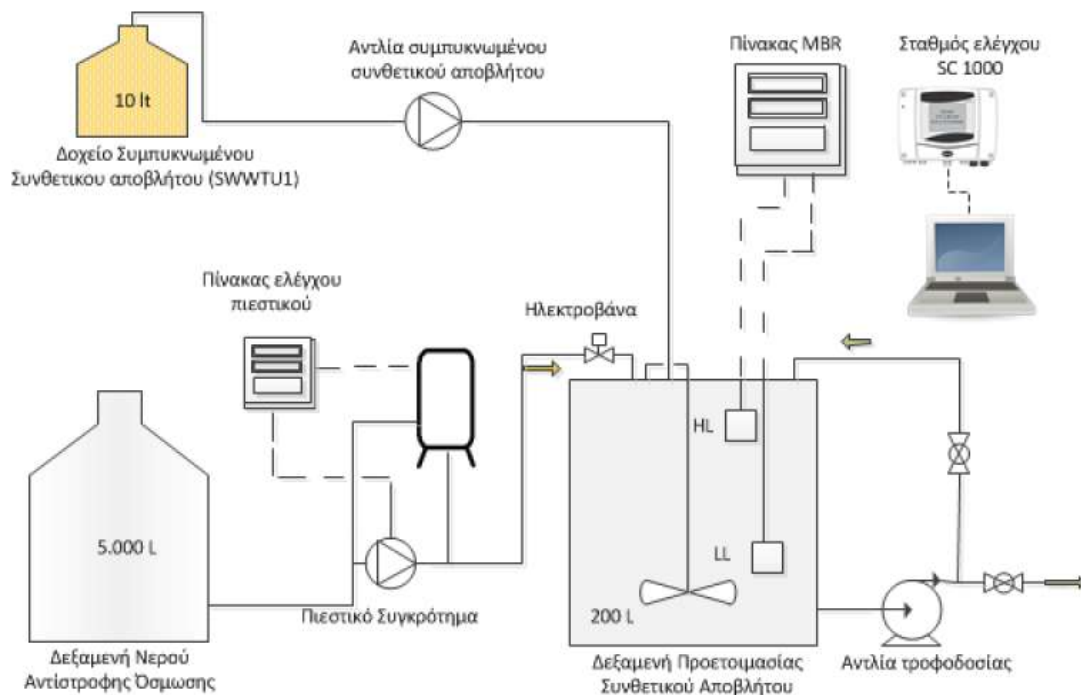
Στον Πίνακα 5.5 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των δύο μεμβρανών που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 5.5 : Χαρακτηριστικά μεμβρανών που χρησιμοποιήθηκαν

MANUFACTURER	MODULE TYPE	FILTRATION TYPE	MEMBRANE MATERIAL	PORE SIZE (μm)	MEMBRANE AREA (m ²)	TYPE
2xHangzhou Tech.,Ltd.	(M1) ZCM-LAB	MF	PP	0.2	0.2	HF
1xShenzhen Kaihong Tech. Ltd.	(M2) R-PVDF	UF	Reinforced PVDF	0.1	0.2	HF

5.5 Πιλοτική διάταξη

Η πιλοτική διάταξη αποτελείται από 2 κύρια τμήματα όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.1 και 5.2.



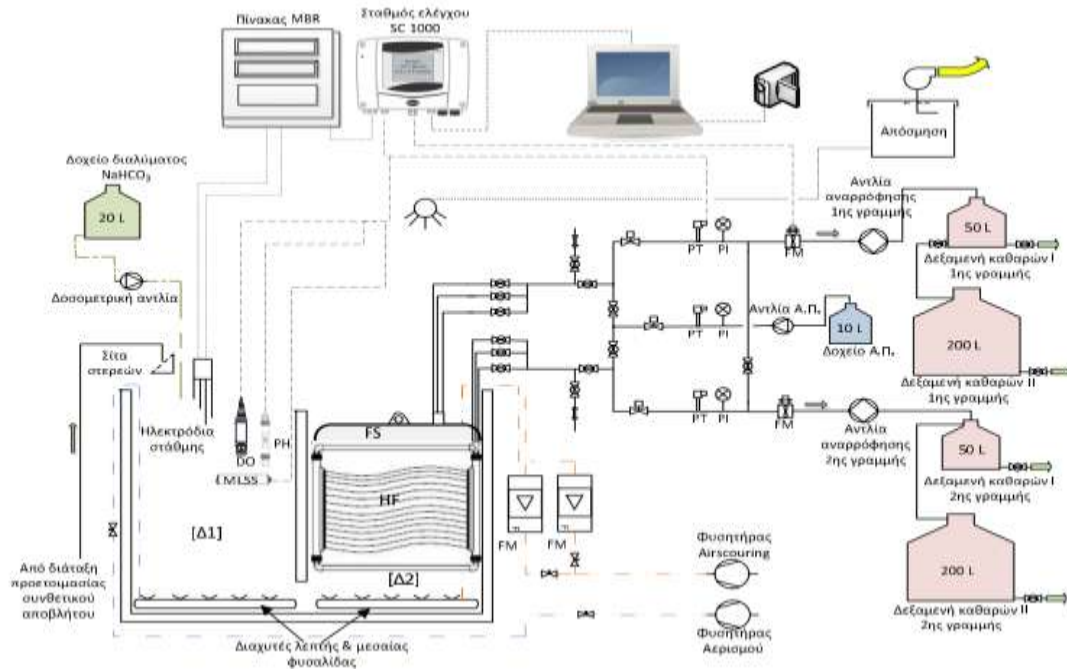
Σχήμα 5.1 Διάταξη Προετοιμασίας Συνθετικού Αποβλήτου

Στο Σχήμα 5.1 φαίνεται το πρώτο τμήμα που τροφοδοτεί αδιαλείπτως με συνθετικό απόβλητο την μονάδα MBR. Συμπυκνωμένο συνθετικό απόβλητο 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 συνθετικό απόβλητο. Η δεξαμενή προετοιμασίας φέρει κατακόρυφο αργόστροφο ανοξείδωτο αναδευτήρα τύπου προπέλας. Η τροφοδοσία του τελικού συνθετικό απόβλητο 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 5.2). Για την συγκράτηση μικροσωματιδίων προς το MBR η διάταξη τροφοδοσίας φέρει στο άκρο της πλέγμα συγκράτησης στερεών >1 mm. +

Στο Σχήμα 5.2 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/θολότητας.

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).

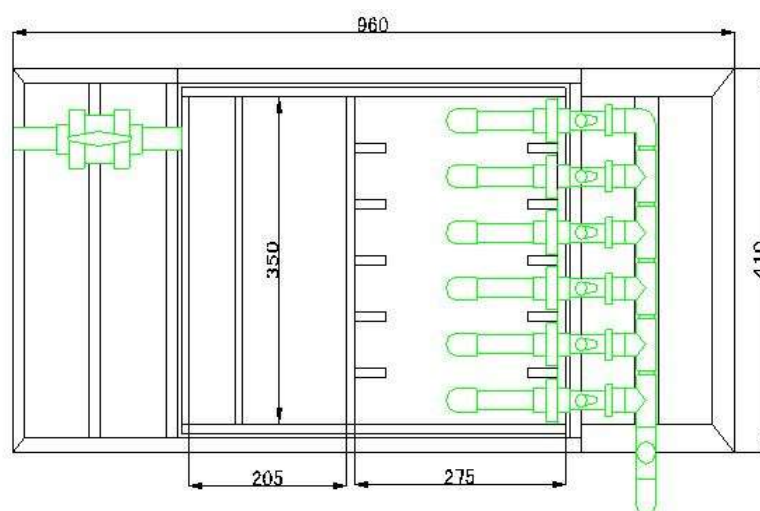


Σχήμα 5.2. Πιλοτική διάταξη βιοαντιδραστήρα εμβαπτιζόμενων μεμβρανών (SMBR).

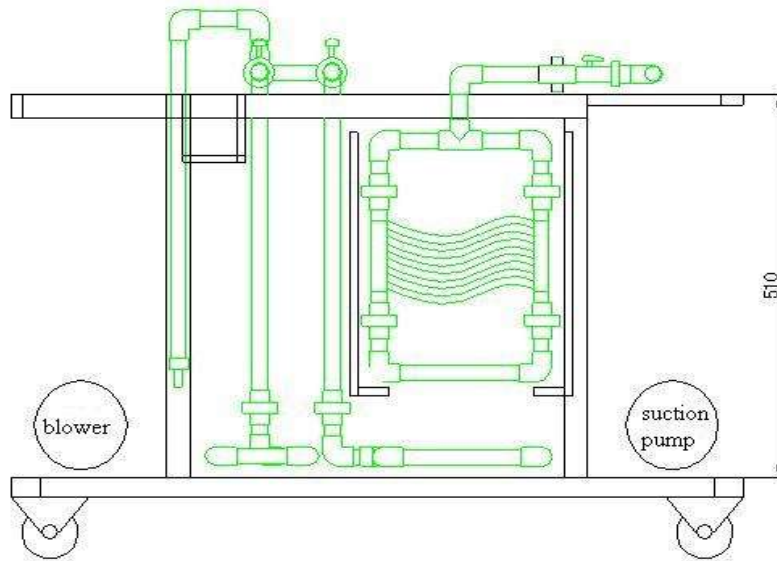
Στο διαμέρισμα Δ2 υπάρχουν θέσεις για βύθιση ενός έως έξι στοιχείων μεμβρανών τύπου HF, ή ενός έως δεκαοκτώ τύπου FS καθώς και οποιοσδήποτε συνδυασμός των ανωτέρω. Σε κάθε γραμμή εξόδου έχει εγκατασταθεί μια περισταλτική αντλία αναρρόφησης (0.975-9.750 L/H). Κάθε στοιχείο μεμβράνης ελέγχεται από ανεξάρτητη γραμμή αναρρόφησης μέσω δικλείδας, ώστε ακόμα και αν κάποια παρουσιάσει βλάβη οι υπόλοιπες να συνεχίσουν να λειτουργούν. Περαιτέρω σε κάθε γραμμή αναρρόφησης εγκαθίστανται σε σειρά ηλεκτροβάννα 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 Η.Φ. 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 ηλεκτροβάννα 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 5.3 και 5.4 φαίνεται η κάτοψη και η όψη πιλοτικής διάταξης MBR.



Σχήμα 5.3 Κάτοψη πιλοτικής μονάδας MBR



Σχήμα 5.4 Όψη πιλοτικής μονάδας MBR

- ❖ Παράμετροι σχεδιασμού πιλοτικής διάταξης MBR :
 - Δυναμικότητα διάταξης: 100-200 L/d.
 - COD > 680-720 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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.

Αναλυτικές μέθοδοι μέτρησης κύριων χαρακτηριστικών λειτουργίας και οργανολογία

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκαν χημικά είδη και αναλυτικά όργανα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

6.1 Χημικά είδη

- Απιονισμένο Νερό
- Φίλτρα μεγέθους πόρων 0.45 μm (Whatman)



Εικόνα 6.1 Φίλτρα μεγέθους πόρων 0.47 μm (Whatman)

- Κάψες από πορσελάνη



Εικόνα 6.2 Κάψες από πορσελάνη

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

- **Κit αντιδραστηρίων για μέτρηση COD**
 - Hach-Lange LCK 514
 - Hach-Lange LCI 400
 - Hach-Lange LCK 114
- **Κit αντιδραστηρίων για μέτρηση ολικού αζώτου**
 - Hach-Lange LCK 238
 - Hach-Lange LCK 338
- **Κit αντιδραστηρίων για μέτρηση φωσφόρου**
 - Hach-Lange LCK 350

6.2 Αναλυτικά όργανα

- Θερμοαντιδραστήρας Merck TR 320



Εικόνα 6.3 Θερμοαντιδραστήρας Merck TR 320

Ο θερμοαντιδραστήρας TR 320 της Merck είναι μια συσκευή ελέγχου της θερμοκρασίας για εργαστηριακή χρήση. Εξασφαλίζει τη χώνευση των φιαλιδίων που περιέχουν το δείγμα προς μέτρηση. Ο αντιδραστήρας έχει 8 προεπιλεγμένα προγράμματα. Επιλέγουμε αυτό που ορίζει ο κατασκευαστής για την εκάστοτε μέτρηση που θέλουμε να κάνουμε: Ο θερμοαντιδραστήρας έχει χώρο για 12 φιαλίδια με εξωτερική διάμετρο 16 mm.

➤ Θερμοαντιδραστήρας Hach-Lange HT 200S



Εικόνα 6.4 Θερμοαντιδραστήρας Hach-Lange HT 200S

Ο θερμοαντιδραστήρας αυτός επιτυγχάνει τη χώνευση των δειγμάτων και κατόπιν την ψύξη τους σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα από τους κλασικούς αντιδραστήρες. Έτσι εξοικονομείται χρόνος και μπορούν να πραγματοποιηθούν περισσότερες μετρήσεις. Χρειάζεται περίπου 10 λεπτά για να προθερμανθεί ο αντιδραστήρας και περίπου 15 λεπτά για να επανέλθει σε θερμοκρασία δωματίου (υποθέτουμε θερμοκρασία 25°C. Συνολικά απαιτούνται 35 λεπτά για μέτρηση COD, ολικού αζώτου και φωσφόρου.

Διαθέτει 12 θαλάμους χώνευσης για στρογγυλές κυψελίδες. Επίσης έχει τρία προεπιλεγμένα προγράμματα αλλά και δυνατότητα χρήσης εννέα προγραμμάτων καθορισμένων από το χρήστη.

➤ Φασματοφωτόμετρο Hach DR 2010



Εικόνα 6.5 Φασματοφωτόμετρο Hach DR 2010

Το παραπάνω φωτόμετρο έχει το αξιόλογο χαρακτηριστικό να είναι φορητό. Λειτουργεί με επαναφορτιζόμενη μπαταρία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απ' ευθείας αναλύσεις χωρίς να απαιτείται η μεταφορά των δειγμάτων στο εργαστήριο.

Έχει εύρος μήκους κύματος 400 έως 900 nm και ακρίβεια ± 2 nm στις μετρήσεις από 400 έως 700nm, και ± 3 nm στις μετρήσεις από 700 έως 900 nm.

➤ Φασματοφωτόμετρο Hack DR 2800



Εικόνα 6.6 Φασματοφωτόμετρο Hack DR 2800

Το παραπάνω φασματοφωτόμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις σε πόσιμο νερό, σε αστικά απόβλητα, σε απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων και ποτών, σε απόβλητα χημικών βιομηχανιών αλλά και σε γενικότερες εφαρμογές της φασματομετρίας. Το εύρος του μήκους κύματος είναι από 340 έως 900 nm. Η ακρίβεια είναι $\pm 1,5$ nm και η αναπαραγωγιμότητα μικρότερη από 0,1nm. Μπορεί να μετρήσει περισσότερες από 50 παραμέτρους.

Άλλα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται παρακάτω:

- Αναλυτικός ζυγός



Εικόνα 6.7 Αναλυτικός ζυγός

- Αυτόματη πιπέτα



Εικόνα 6.8 Αυτόματη πιπέτα

➤ Συσσκευή διήθησης



Εικόνα 6.9 Συσσκευή διήθησης

➤ Ξηραντήρας με ξηραντικό υλικό



Εικόνα 6.10 Ξηραντήρας με ξηραντικό υλικό

- Φούρνος ξήρανσης στους 103 °C -105° C



Εικόνα 6.11 Φούρνος ξήρανσης στους 103 °C -105° C

- Κλίβανος στους 550 ± 50 °C



Εικόνα 6.12 Κλίβανος στους 550 ± 50 °C

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.

Πειραματική διαδικασία των μετρήσεων

Στα πλαίσια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας προγραμματίστηκαν και υλοποιήθηκαν 2-3 φορές την εβδομάδα δειγματοληψίες και εργαστηριακές αναλύσεις.

Στο πρώτο τμήμα της εργασίας αυτής, έγινε προσπάθεια παρακολούθησης της αναπτυσσόμενης βιομάζας με αναλυτικές τεχνικές. Οι αναλυτικές τεχνικές περιελάμβαναν μετρήσεις χαρακτηριστικών συνθετικού αποβλήτου (COD, TN, TP) και μετρήσεις χαρακτηριστικών της βιομάζας (στερεά, καθαρισιμότητα, χρώμα). Παράλληλα γινόταν παρακολούθηση των χαρακτηριστικών της πιλοτικής μονάδας MBR μέσω on-line οργάνων και σύνδεση των μετρήσεων με την ανάπτυξη της βιομάζας.

Στο δεύτερο τμήμα, κατά τη διάρκεια λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας MBR πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στερεών, μετρήσεις χαρακτηριστικών στην έξοδο της πιλοτικής μονάδας, μετρήσεις του συνθετικού αποβλήτου και μετρήσεις καθαρισιμότητας.

Το πειραματικό πρωτόκολλο που χρησιμοποιήσαμε παρουσιάζεται παρακάτω.

7.1 Πρωτόκολλο στερεών

7.1.1 Προσδιορισμός ολικών στερεών (TS)

Τα **ολικά στερεά (total solids-TS)** είναι όλα τα στερεά που εμπεριέχονται σε ένα δείγμα νερού.

- Υπολογίζονται με εξάτμιση γνωστού όγκου δείγματος νερού (χωρίς διήθηση) στους 105 °C.
- Μια κάψα εξάτμισης ζυγίζεται με ακρίβεια (0.1 mg) σε αναλυτικό ζυγό.
- Ένας γνωστός όγκος δείγματος νερού τοποθετείται στην προζυγισμένη κάψα η οποία τοποθετείται στους 105 °C μέχρι να εξατμισθεί πλήρως το νερό.
- Η κάψα τοποθετείται σε ξηραντήριο μέχρι να κρυώσει και επαναζυγίζεται με ακρίβεια σε αναλυτικό ζυγό.

Ο τύπος για το TS είναι :

$$TS (mg/l) = \frac{(A-B) \times 1000 ml/l}{C(ml)}$$

A = Μικτό βάρος μετά την ξήρανση (mg) (Βάρος ξηρού υπολείμματος + βάρος κάψας μετά από 24 ώρες στους 105 °C)

B = Βάρος κάψας (mg)

C = Όγκος δείγματος (ml).

7.1.2 Προσδιορισμός ολικών διαλυμένων στερεών (TDS)

Τα **ολικά διαλυμένα στερεά (total dissolved solids-TDS)** είναι όλα τα στερεά που εμπεριέχονται σε ένα δείγμα νερού .

- Υπολογίζονται με εξάτμιση γνωστού όγκου δείγματος νερού (μετά από διήθηση σε φίλτρο 1.2 mm) στους 105 °C.
- Η διήθηση γίνεται για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών.
- Το υπόλειμμα εξάτμισης των 105 °C αποτελείται από στερεές ουσίες (ανόργανες ή οργανικές) σε διαλυμένη ή κολλοειδή μορφή. Οι ουσίες αυτές διέρχονται μέσα από φίλτρο με διάμετρο πόρων από 0,5 έως 1μ, ανάλογα με τις προδιαγραφές. Το μέγεθος των διαλυμένων στερεών κυμαίνεται από 10⁻⁸ – 10⁻⁶ mm ενώ το μέγεθος των κολλοειδών ουσιών κυμαίνεται από 10⁻⁶ – 10⁻³ mm.
- Μια κάψα εξάτμισης ζυγίζεται με ακρίβεια (0.1 mg) σε αναλυτικό ζυγό.
- Ένας γνωστός όγκος δείγματος νερού τοποθετείται στην προζυγισμένη κάψα η οποία τοποθετείται στους 105 °C μέχρι να εξατμισθεί πλήρως το νερό.
- Η κάψα τοποθετείται σε ξηραντήριο μέχρι να κρυώσει και επαναζυγίζεται με ακρίβεια σε αναλυτικό ζυγό.

Ο τύπος για το TDS είναι :

$$TDS (mg/l) = \frac{(A-B) \times 1000 ml/l}{C(ml)}$$

A = Μικτό βάρος μετά τη ξήρανση (mg) (Βάρος ξηρού υπολείμματος + βάρος κάψας μετά από 24 ώρες στους 105 °C)

B = Βάρος κάψας (mg)

C = Όγκος δείγματος (ml).

7.1.3 Προσδιορισμός ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS)

Τα **ολικά αιωρούμενα στερεά (total suspended solids- TSS)** είναι όλα τα στερεά που παραμένουν σε φίλτρο 1.2 mm μετά από διήθηση γνωστού όγκου δείγματος νερού.

- Το φίλτρο ζυγίζεται με ακρίβεια σε αναλυτικό ζυγό .
- Ένας γνωστός (συγκεκριμένος) όγκος δείγματος νερού (συνήθως 300 - 400 ml) διηθείται από το προζυγισμένο φίλτρο, το οποίο ξηραίνεται στους 105 °C για 24 ώρες.
- Μετά την πλήρη ξήρανση του φίλτρου και αφού αυτό κρυώσει σε θερμοκρασία δωματίου (σε ξηραντήριο) ακολουθεί η τελική ζύγιση.

Ο τύπος για το TSS είναι :

$$TSS (mg / l) = \frac{(A - B) \times 1000 ml / l}{C (ml)}$$

A = Μικτό βάρος μετά τη ξήρανση (mg) (Βάρος ξηρού υπολείμματος + βάρος φίλτρου μετά από 24 ώρες στους 105 °C)

B = Βάρος φίλτρου (mg)

C = Όγκος δείγματος (ml)

7.1.4 Προσδιορισμός πτητικών στερεών (VSS)

Τα **Πτητικά στερεά (Volatile solids-VS)** είναι ότι απομακρύνεται μετά τη καύση ενός δείγματος νερού στους 500 ± 50 °C. Εφαρμόζεται για τα ολικά, τα διαλυμένα και τα αιωρούμενα στερεά με σκοπό τον προσδιορισμό των πτητικών τους.

- Αφού μετρηθούν τα ολικά αιωρούμενα στερεά πραγματοποιείται καύση του φίλτρου στους 500 ± 50 °C για 1 ώρα.
- Το φίλτρο ζυγίζεται μαζί με το στερεό υπόλειμμα.
- Αυτό είναι το σταθερό (στερεό) υπόλειμμα καύσης.
- Η διαφορά μεταξύ των ολικών στερεών και του στερεού υπολείμματος καύσης είναι τα πτητικά αιωρούμενα στερεά.

Ο τύπος για το VSS είναι :

$$VSS (mg/l) = \frac{(A - B) \times 1000 ml/l}{C(ml)}$$

$$FSS (mg/l) = \frac{(B - D) \times 1000 ml/l}{C(ml)}$$

A = Βάρος του χωνιού + φίλτρο + υπόλειμμα (24) ωρών στους 105 °C (mg)

B = Βάρος του χωνιού + φίλτρο + υπόλειμμα 1 ώρας στους 500 ± 50 °C (mg)

C = Όγκος δείγματος (ml),

D = Βάρος του χωνιού + φίλτρο (mg).

7.2 Πρωτόκολλο COD

7.2.1 Προσδιορισμός Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD – Chemical Oxygen Demand)

Χρησιμοποιήθηκαν:

- Φορητό φασματοφωτόμετρο με αναλυτικές οδηγίες χρήσης.
- Θερμοαντιδραστήρας για την οξείδωση των δειγμάτων σε κατάλληλη θερμοκρασία (148 °C).
- Όλα τα απαραίτητα αντιδραστήρια.

Διαδικασία:

1. Μελετήστε προσεκτικά τις οδηγίες χρήσης του φορητού φασματοφωτομέτρου και μέθοδο. Αποφασίστε για τα αντιδραστήρια που θα χρησιμοποιηθούν ανάλογα με την περιοχή μέτρησης (Low ή High). Αυτό

εξαρτάται από την προέλευση του δείγματος, δηλαδή την αναμενόμενη τιμή COD (χαμηλή ή υψηλή συγκέντρωση).

2. Ανακινήστε καλά το φιαλίδιο.
3. Χρησιμοποιώντας σιφώνιο με πουάρ ή αυτόματη πιπέτα, προσθέστε 2,0 mL δείγματος στο ειδικό φιαλίδιο που περιέχει το οξειδωτικό μέσο και τον καταλύτη.
4. Ανακινήστε καλά το φιαλίδιο και τοποθετείστε το στον θερμοαντιδραστήρα για οξείδωση.
5. Ο χρόνος που απαιτείται για την οξείδωση είναι 120 min στους 148 °C.
6. Έπειτα, ανακινήστε ξανά 2 φορές.
7. Μετά την οξείδωση τα δείγματα πρέπει να κρυώσουν σε θερμοκρασία δωματίου (30 min).
8. Χωρίς να ανακινήστε τα δείγματα, σκουπίστε με χαρτί κουζίνας το εξωτερικό του φιαλιδίου και μετρήστε το COD στο φορητό φασματοφωτόμετρο.

7.3. Πρωτόκολλο ολικού αζώτου

7.3.1 Προσδιορισμός ολικού αζώτου (TN_b)

Χρησιμοποιήθηκαν:

- Φορητό φασματοφωτόμετρο με αναλυτικές οδηγίες χρήσης.
- Θερμοαντιδραστήρας για την οξείδωση των δειγμάτων σε κατάλληλη θερμοκρασία (148 °C).
- Όλα τα απαραίτητα αντιδραστήρια

Διαδικασία:

1. Μελετήστε προσεκτικά τις οδηγίες χρήσης του φορητού φασματοφωτομέτρου και μέθοδο. Αποφασίστε για τα αντιδραστήρια που θα χρησιμοποιηθούν ανάλογα με την περιοχή μέτρησης (Low ή High). Αυτό εξαρτάται από την προέλευση του δείγματος, δηλαδή την αναμενόμενη τιμή του ολικού αζώτου (χαμηλή ή υψηλή συγκέντρωση).
2. Σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα βάζουμε 0.5ml απόβλητο , 2ml από το A και 1 ταμπλέτα από το B.

3. Στη συνέχεια το τοποθετούμε στο θερμοαντιδραστήρα για 60 min στους 100 °C
4. Μετά το αφήνουμε να κρυώσει και προσθέτουμε 1 ταμπλέτα από το C.
5. Το ανακινούμε αρκετές φορές μέχρι να διαλυθούν πλήρως οι ουσίες
6. Με τη χρήση πιπέτας αφαιρούμε 0.5ml και το προσθέτουμε στο αντιδραστήριο
7. Προσθέτουμε 0.2ml από το D και το ανακινούμε αρκετά καλά
8. Μετά από 15 min και αφού το καθαρίσουμε εξωτερικά ,παίρνουμε την μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο.

7.4. Πρωτόκολλο φωσφόρου

7.4.1 Προσδιορισμός φωσφόρου (Phosphate)

Χρησιμοποιήθηκαν:

- Φορητό φασματοφωτόμετρο με αναλυτικές οδηγίες χρήσης.
- Θερμοαντιδραστήρας για την οξείδωση των δειγμάτων σε κατάλληλη θερμοκρασία (148 °C).
- Όλα τα απαραίτητα αντιδραστήρια

Διαδικασία:

1. Μελετήστε προσεκτικά τις οδηγίες χρήσης του φορητού φασματοφωτομέτρου και μέθοδο. Αποφασίστε για τα αντιδραστήρια που θα χρησιμοποιηθούν ανάλογα με την περιοχή μέτρησης (Low ή High). Αυτό εξαρτάται από την προέλευση του δείγματος, δηλαδή την αναμενόμενη τιμή του φωσφόρου (χαμηλή ή υψηλή συγκέντρωση).
2. Αφαιρούμε το καπάκι με το αντιδραστήριο (doci cap) από το φιαλίδιο.
3. Προσθέτουμε 0.4 ml του δείγματος μας στο φιαλίδιο.
4. Τοποθετούμε το καπάκι με το αντιδραστήριο στο φιαλίδιο.
5. Ανακινούμε καλά το φιαλίδιο έως ώστε να διαλυθεί το αντιδραστήριο.
6. Στη συνέχεια τοποθετούμε το φιαλίδιο στο θερμοαντιδραστήρα για 60 min στους 100 °C
7. Αφήνουμε την θερμοκρασία του φιαλιδίου να επανέλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και προσθέτουμε 0.5 ml του αντιδραστηρίου B

8. Έπειτα, αλλάζουμε το υπάρχον καπάκι με το καπάκι από το αντιδραστήριο C και ανακινούμε καλά.
9. Μετά από 10 min και αφού το καθαρίσουμε καλά, παίρνουμε την μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

8.1 Η παρούσα πειραματική διαδικασία περιελάμβανε δύο φάσεις.

- Η Α-Φάση αφορά την παρασκευή της βιομάζας για την λειτουργία του αντιδραστήρα. Σε αυτή την φάση στόχος ήταν η παραγωγή 100 λίτρων βιομάζας με συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών 3500 mg/L. Στην προσπάθεια αυτή μεταφέραμε ανά διάφορα χρονικά διαστήματα βιομάζα από το αρχικό μας δοχείο (Α) το οποίο είναι και αυτό που παρουσιάζεται διαγραμματικά παρακάτω, σε διαφορετικά δοχεία Β, Γ, Δ και Ε.
- Στη Β-Φάση η βιομάζα που δημιουργήθηκε μεταφέρθηκε σε πιλοτική διάταξη MBR όπου ακολούθησε μερικός έλεγχος της απόδοσής της χρησιμοποιώντας αναλυτικές τεχνικές.

Και στις δύο φάσεις μελετήθηκαν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της βιομάζας χρησιμοποιώντας τα όργανα και τις μεθόδους που αναφέρθηκαν στα παραπάνω κεφάλαια (6-7).

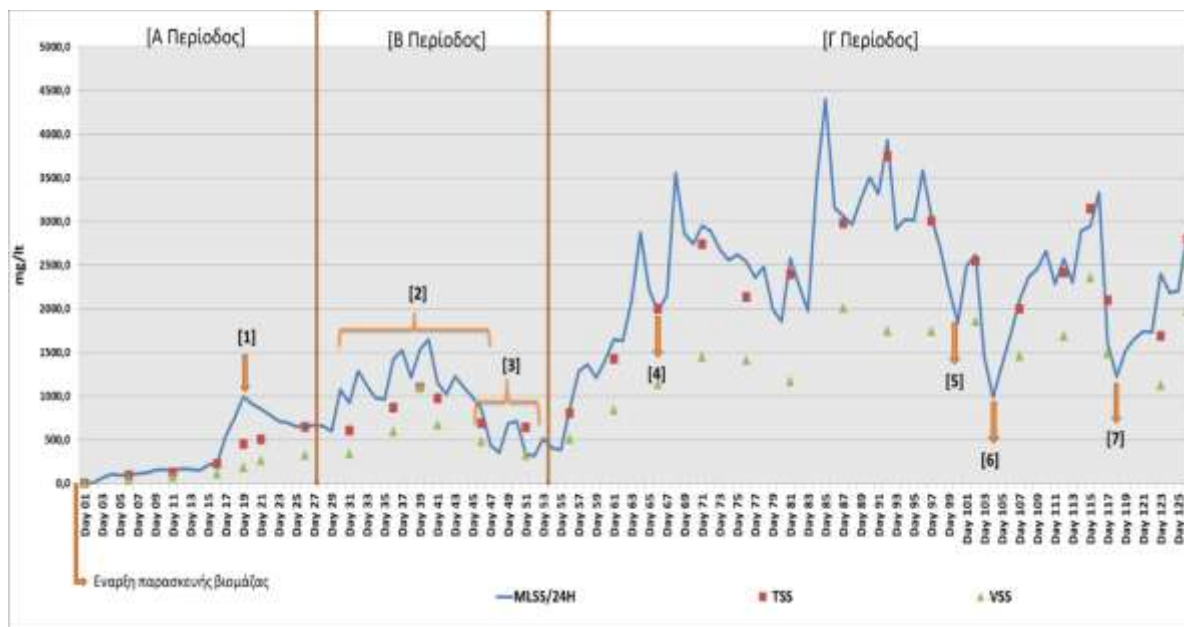
Στην συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες από τις φυσικοχημικές αυτές μετρήσεις τόσο για την φάση της παραγωγής της βιομάζας, όσο και για την φάση που ακολούθησε με την λειτουργία της μονάδας MBR.

8.2 Δημιουργία Βιομάζας (Α-Φάση)

Η φάση Α διήρκησε 126 ημέρες, και αποτελείται από τρεις περιόδους.

- Α περίοδος (Day 1-Day 27). Σε αυτή την περίοδο έγινε προσπάθεια για παραγωγή βιομάζας χρησιμοποιώντας βακτήρια γνωστής εταιρίας.
- Β περίοδος (Day 28 – Day 54). Σε αυτήν την περίοδο αποφασίστηκε η αλλαγή του τύπου βακτηρίων λόγω χαμηλής ανάπτυξης της παραγόμενης βιομάζας.
- Γ περίοδος (Day 55- Day 126). Με το πέρας περίπου δύο μηνών αποφασίστηκε για την ταχύτερη δημιουργία της βιομάζας να γίνει εμβολιασμός με έτοιμη βιομάζα ΒΙΟ.ΚΑ. (βιολογικού καθαρισμού).

Στο παρακάτω διάγραμμα 8.1 παρουσιάζεται η πορεία της βιομάζας κατά την διάρκεια της πρώτης φάσης.



Διάγραμμα 8.1 Πορεία ανάπτυξης βιομάζας ανά περίοδο

Στο διάγραμμα 8.1 παρουσιάζεται η πορεία της βιομάζας μέσα από την μέτρηση των αιωρούμενων στερεών τόσο με online μέτρηση (MLSS) όσο και με εργαστηριακή μέτρηση των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS), όπως παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 7. Οι online μετρήσεις παρουσιάζονται κατά μέσο όρο ημέρας. Το διάγραμμα συμπληρώνεται με τις μετρήσεις των πτητικών αιωρούμενων στερεών (VSS) ώστε να γίνει ένας πιο λεπτομερής έλεγχος για την πορεία της βιομάζας.

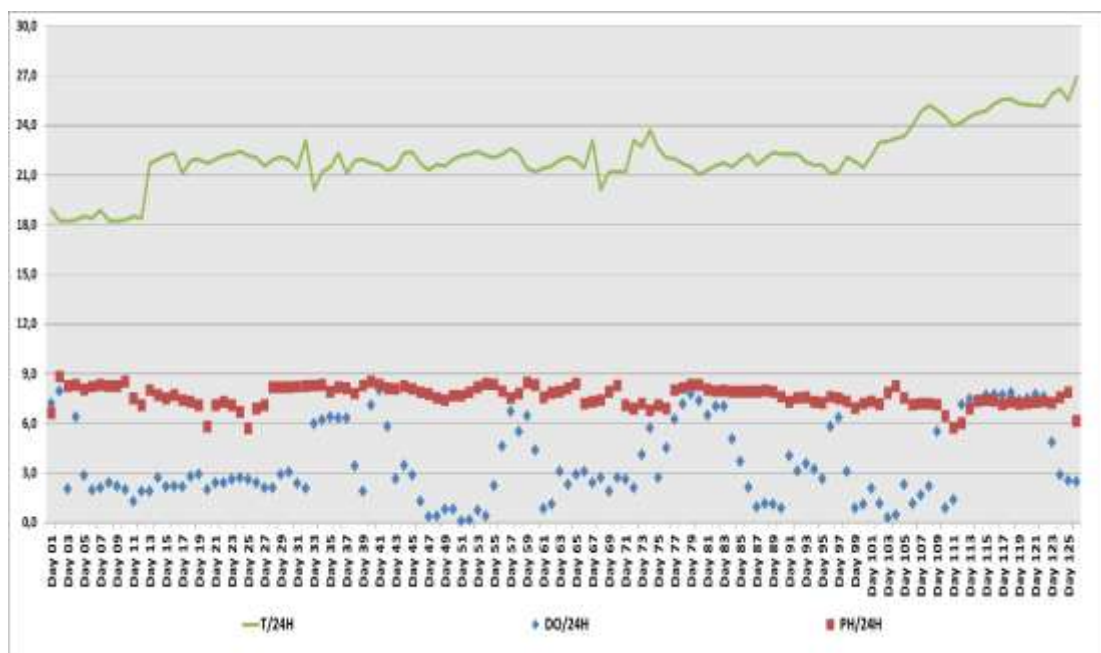
Στο διάγραμμα 8.1 έχουν αποτυπωθεί κάποιες παρατηρήσεις για να γίνει πιο κατανοητή η πορεία της ανάπτυξης της βιομάζας.

Συγκεκριμένα παρατηρούμε :

- ✚ Στο σημείο 1 και για περίοδο 8 ημερών (Day 16- Day 23) παρουσιάστηκε διαφοροποίηση των online μετρήσεων MLSS σε σχέση με τις εργαστηριακές

μετρήσεις λόγω λανθασμένης θέσης του οργάνου μέτρησης MLSS και επηρεασμό από φυσαλίδες αερισμού.

- ✚ Παρότι το παραπάνω πρόβλημα διορθώθηκε προσωρινά στο σημείο 2 παρατηρήθηκε εκ νέου κατά την διάρκεια της περιόδου Day 31-43
- ✚ Την περίοδο Day 47-53 (σημείο 3) παρουσιάστηκαν χαμηλές τιμές MLSS εξαιτίας προβλήματος διαρροής βιομάζας λόγω αφρισμού.
- ✚ Στο σημείο 4 πραγματοποιήθηκε μεταφορά 5-6 λίτρων από το αρχικό μας δοχείο Α σε δοχείο Β.
- ✚ Στο σημείο 5 πραγματοποιήθηκε μεταφορά 5-6 λίτρων από το αρχικό μας δοχείο Α σε δοχείο Γ.
- ✚ Στο σημείο 6 πραγματοποιήθηκε μεταφορά 5-6 λίτρων από το αρχικό μας δοχείο Α σε δοχείο Δ.
- ✚ Στο σημείο 7 πραγματοποιήθηκε μεταφορά 5-6 λίτρων από το αρχικό μας δοχείο Α σε δοχείο Ε.
- ✚ Τέλος την ημέρα 126 αποφασίστηκε η μεταφορά της βιομάζας σε πιλοτική μονάδα MBR.

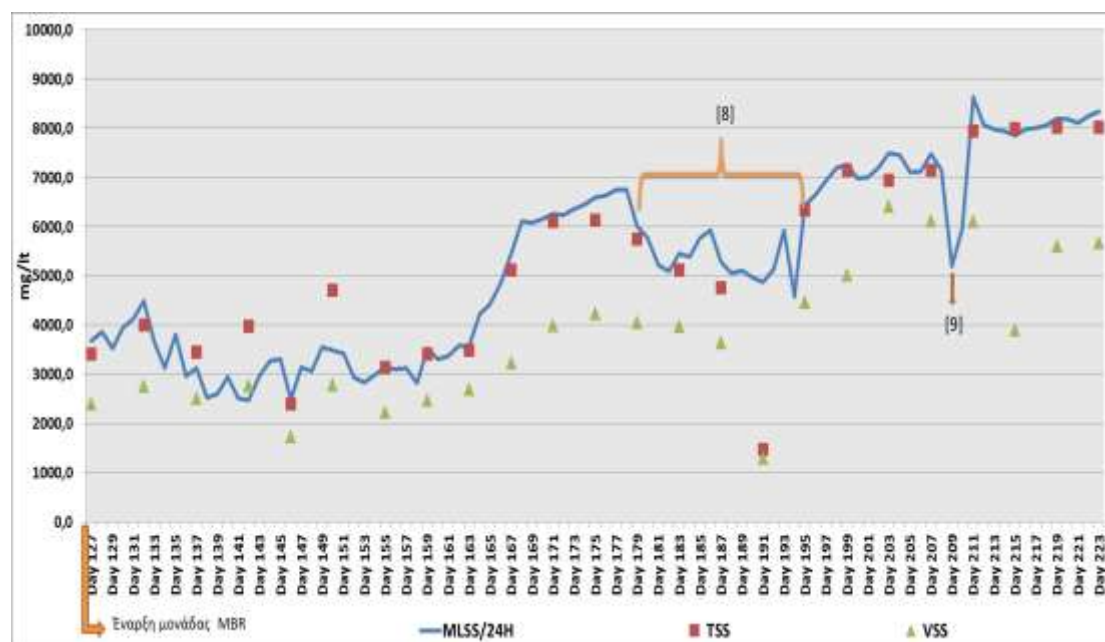


Διάγραμμα 8.2 Πορεία θερμοκρασίας (T), διαλυμένου οξυγόνου (DO) , και pH κατά την διάρκεια παρασκευής της βιομάζας (Α-φάση).

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η πορεία της θερμοκρασίας (T), του διαλυμένου οξυγόνου (DO) , και του pH κατά την διάρκεια παρασκευής της

βιομάζας σε μετρήσεις μέσου όρου ανά ημέρα. Παρατηρούνται όπως είναι λογικό μεγάλες μεταβολές στο pH και κυρίως στο διαλυμένο οξυγόνο λόγω του αρχικού σταδίου της παραγωγής της βιομάζας

8.3 Έναρξη πιλοτικής μονάδας MBR. (B-Φάση)

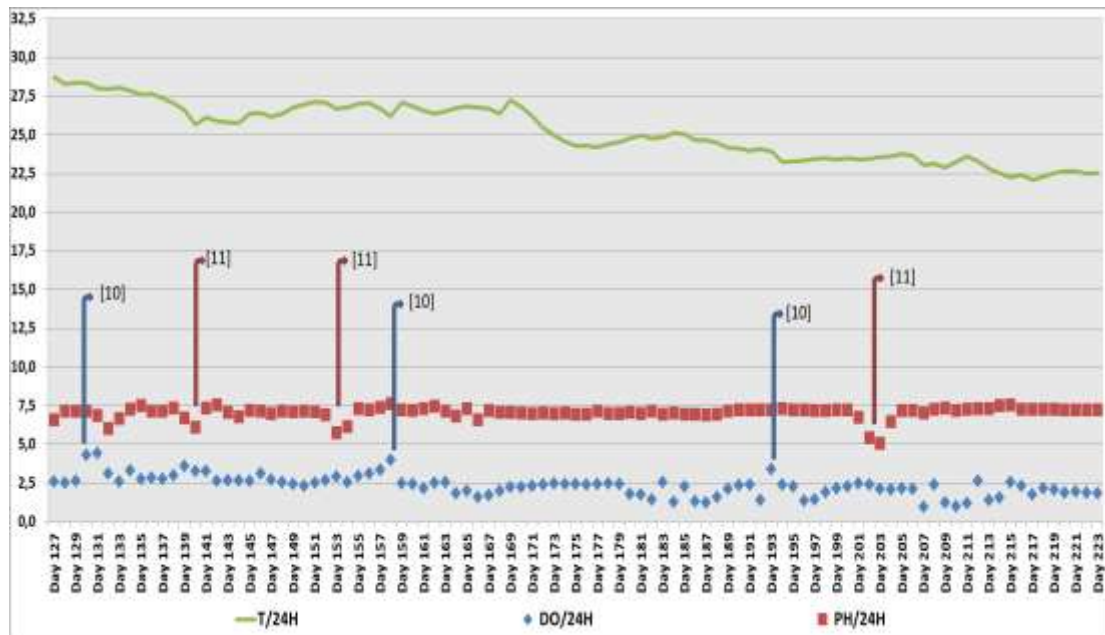


Διάγραμμα 8.3 Πορεία βιομάζας κατά την διάρκεια της B-φάσης Day 127-223.

Στο διάγραμμα 8.3 φαίνεται πως η βιομάζα παρουσιάζει μια σταθερή και κατά διαστήματα ανοδική πορεία η οποία ανακόπτεται στα σημεία 8 και 9 όπως δίνονται στο προαναφερόμενο διάγραμμα. Το διάγραμμα συμπληρώνεται με τις μετρήσεις των πτητικών αιωρούμενων στερεών (VSS) ώστε να γίνει ένας πιο λεπτομερής έλεγχος για την πορεία της βιομάζας.

Παρακάτω αναλύονται εκτενώς τα δύο αυτά σημεία.

- ✚ Στο σημείο 8 του διαγράμματος παρουσιάστηκε πρόβλημα με την τροφοδοσία του συνθετικού αποβλήτου λόγω έμφραξης του αγωγού τροφοδοσίας.
- ✚ Στο σημείο 9 του διαγράμματος παρουσιάστηκε υπερχειλίση της δεξαμενής MBR προβλήματος των ηλεκτροδίων ελέγχου στάθμης.



Διάγραμμα 8.4 Πορεία θερμοκρασίας (T), διαλυμένου οξυγόνου (DO) , και pH κατά την διάρκεια της Β-φάσης (πιλοτική μονάδα MBR).

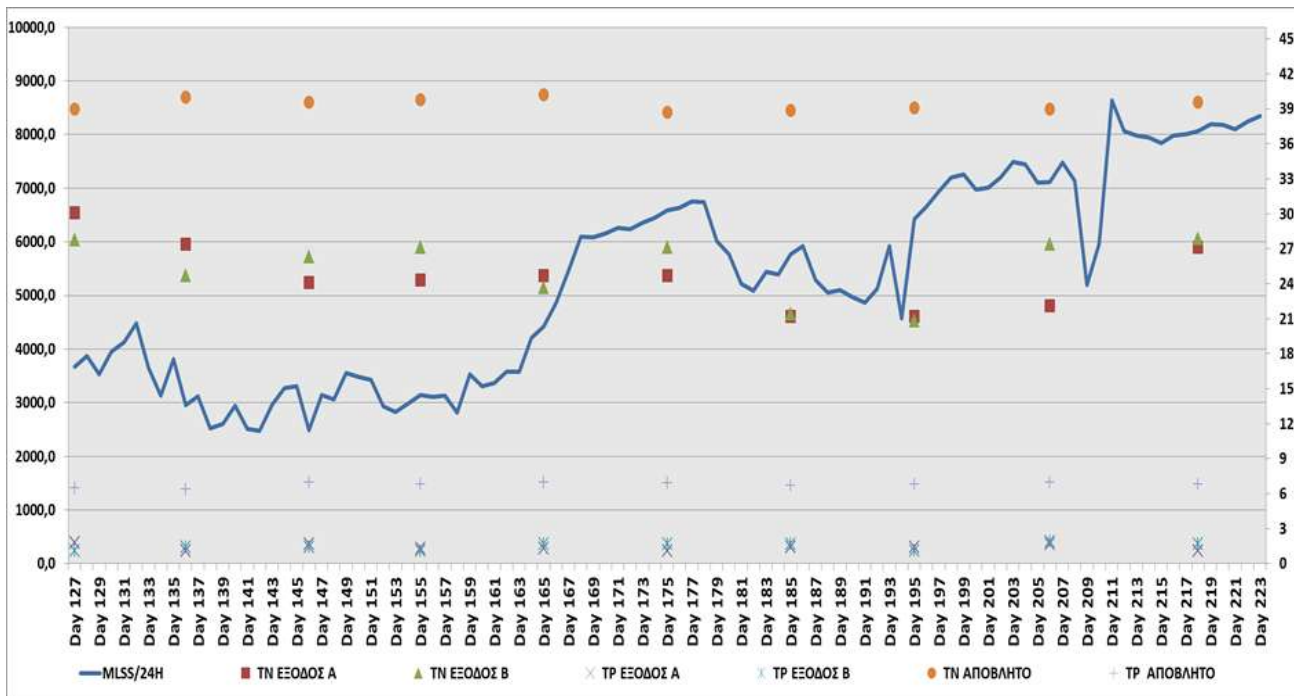
Στο παραπάνω διάγραμμα 8.4 φαίνεται ξεκάθαρα πως η πορεία τόσο του pH όσο και του διαλυμένου οξυγόνου DO παρουσιάζουν σε σχέση με την περίοδο της παρασκευής της βιομάζας μια ξεκάθαρη σταθερή πορεία. Στο διάγραμμα παρατηρούνται βεβαίως κάποιες μικρές διακυμάνσεις τόσο στο pH σημείο 11 όσο και στο DO σημείο 10. Στην πρώτη περίπτωση οι μικρές αυτές διακυμάνσεις οφείλονται στην αύξηση της συγκέντρωσης του συνθετικού αποβλήτου, και στην δεύτερη περίπτωση οφείλονται στην έλλειψη τροφοδοσίας με σόδα για την σταθερή πορεία του pH.



Διάγραμμα 8.5 Πορεία COD (εισόδου, εξόδου, και διαυγασμένου υγρού) της πιλοτικής μονάδας MBR.

Στο διάγραμμα 8.5 παρουσιάζεται η πορεία του COD του εισερχόμενου στην πιλοτική μονάδα αποβλήτου, των δύο εξόδων από τα φίλτρα μας Α και Β και το αντίστοιχο κάθε μέτρησης διαυγασμένου υγρού δύο ωρών καθίζησης.

Παρατηρούμε πως έχουμε μια απομείωση της τάξεως κοντά στο 90% στις εξόδους μας σε σχέση με το αρχικό COD του εισερχόμενου συνθετικού αποβλήτου μας. Ακόμα στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρουσιάζεται η πορεία του COD υγρού μετά από καθίζηση 2 ωρών σε μία προσπάθεια σύγκρισης της πιλοτικής μονάδας μας MBR με ένα κλασικό σύστημα καθαρισμού αποβλήτων (CAS), όπου η έξοδος της πιλοτικής μονάδας παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα κατά 12% σε σχέση με αυτό της καθίζησης.



Διάγραμμα 8.6 Πορεία ολικού φωσφόρου και ολικού αζώτου στην είσοδο και την έξοδο της πιλοτικής μονάδας MBR.

Στο διάγραμμα 8.6 παρουσιάζεται η πορεία του ολικού φωσφόρου και ολικού αζώτου στην είσοδο και στην έξοδο της πιλοτικής μονάδας MBR. Παρατηρείται πως στην περίπτωση του φωσφόρου υπάρχει ανομείωση στις εξόδους της πιλοτικής μονάδας μας σε σχέση με το εισερχόμενο συνθετικό απόβλητο της τάξεως του 70,4% και στην περίπτωση του αζώτου υπάρχει απομείωση κοντά στο 41%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η ανάπτυξη και παρακολούθηση των κύριων χαρακτηριστικών της αναπτυσσόμενης βιομάζας αρχικά με χρήση βακτηρίων από το εμπόριο και στη συνέχεια με εμβολιασμό με ενεργή ίλη από μονάδα επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Επίσης, είχε ως στόχο την παρακολούθηση της πιλοτικής μονάδας MBR και τον μερικό έλεγχο της απόδοσής της χρησιμοποιώντας αναλυτικές τεχνικές για τη μέτρηση βασικών μεγεθών τόσο στο ανάμεικτο υγρό (MLSS, DO, pH, T) όσο και στα επεξεργασμένα απόβλητα (TSS, VSS, COD, TN, TP).

Για την καλύτερη επεξεργασία και παρατήρηση των αποτελεσμάτων μας χωρίσαμε την πειραματική μας διαδικασία σε δύο φάσεις :

Στην πρώτη φάση παρουσιάζεται η προσπάθεια για τη δημιουργία της βιομάζας. Ο στόχος μας ήταν η παραγωγή 100 λίτρων βιομάζας.

Η παρασκευή της αρχικής βιομάζας έγινε με batch κατεργασία 20 λίτρων υπό συνεχή αερισμό και ανάδευση.

Ο αερισμός διακοπτόταν περιοδικά για να γίνει καθίζηση και αφαίρεση ποσότητας διαυγασμένου υπερκείμενου υγρού ίση περίπου με το 1/3 του συνολικού όγκου και ακολούθως συμπλήρωση με συνθετικό απόβλητο μέχρι του αρχικού όγκου της βιομάζας. Η προσθήκη συνθετικού αποβλήτου γινόταν ελεγχόμενα με δοσιμετρική αντλία όπως επίσης και η προσθήκη του NaHCO_3 για τη ρύθμιση του pH.

Η προσπάθεια αυτή έγινε με 3 τρόπους : αρχικά με βακτήρια τύπου A, στη συνέχεια με βακτήρια τύπου B άλλης εταιρίας και τέλος επειδή δεν υπήρξε θεαματική ανάπτυξη της βιομάζας αποφασίστηκε ο εμβολιασμός με βιομάζα πραγματικού αστικού αποβλήτου σε ποσότητα 10% από μονάδα βιολογικού καθαρισμού.

Η παραγόμενη βιομάζα αυξήθηκε σταδιακά. Η επεξεργασία του συνθετικού αποβλήτου με συνεχή διαδικασία ξεκίνησε όταν η βιομάζα έδειχνε μία σχετική φυσικοχημική σταθερότητα και αφού καταγράφηκε μια μέση συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών 3500 mg/L που επιτρέπει την χρήση μεμβρανών HF.

Αρχικά, παρουσιάστηκε η πορεία της βιομάζας μέσα από την μέτρηση των αιωρούμενων στερεών τόσο με ηλεκτρονική-online μέτρηση (MLSS) όσο και με εργαστηριακή μέθοδο μέτρησης των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS). Ακόμη,

παρουσιάστηκαν οι μετρήσεις των πτητικών αιωρούμενων στερεών ώστε να γίνει ένας πιο λεπτομερής έλεγχος για την πορεία της βιομάζας.

Η πορεία της βιομάζας παρουσίασε κάποιες «ανωμαλίες» σε ελάχιστα διαστήματα λόγω προβλημάτων των οργάνων, πάραυτα έγιναν άμεσες διορθώσεις και έτσι επιτύχαμε την δημιουργία της βιομάζας που χρειαζόμασταν.

Έπειτα, παρουσιάστηκε η πορεία της θερμοκρασίας (T), του διαλυμένου οξυγόνου (DO), και του pH κατά την διάρκεια παρασκευής της βιομάζας σε μετρήσεις μέσου όρου ανά ημέρα. Παρατηρήθηκαν όπως είναι λογικό μεγάλες μεταβολές στο pH και κυρίως στο διαλυμένο οξυγόνο λόγω του αρχικού σταδίου της παραγωγής της βιομάζας, στη συνέχεια όμως σταθεροποιήθηκαν οι μεταβολές αυτές καθώς αναπτυσσόταν η βιομάζα.

Στην δεύτερη φάση με τα 100 λίτρα βιομάζας που είχαν παραχθεί, έγινε η έναρξη της πιλοτικής μονάδας MBR όπου χρησιμοποιήθηκε συνθετικό προσομοιωμένο σε αστικό απόβλητο με μεμβράνες τύπου κοίλων ινών (hollow-fiber (Sinoma, Khong)).

Κατά την έναρξη λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας MBR φαίνεται πως η βιομάζα παρουσιάζει μια σταθερή και κατά διαστήματα ανοδική πορεία.

Στο συνέχεια φαίνεται ξεκάθαρα πως η πορεία τόσο του pH όσο και του διαλυμένου οξυγόνου DO παρουσιάζουν σε σχέση με την περίοδο της παρασκευής της βιομάζας μια ξεκάθαρη σταθερή πορεία. Βέβαια, παρατηρούνται κάποιες μικρές διακυμάνσεις τόσο στο pH όσο και στο DO σημείο που οφείλονται στην αύξηση της συγκέντρωσης του συνθετικού αποβλήτου, και στην δεύτερη περίπτωση οφείλονται στην έλλειψη τροφοδοσίας με σόδα για την σταθερή πορεία του pH.

Έπειτα, μελετήσαμε την πορεία του COD του εισερχόμενου στην πιλοτική μονάδα αποβλήτου, των δύο εξόδων από τα φίλτρα μας A και B και το αντίστοιχο κάθε μέτρησης διαυγασμένου υγρού δύο ωρών καθίζησης.

Παρατηρήσαμε πως έχουμε μια απομείωση της τάξεως κοντά στο 90% στις εξόδους μας σε σχέση με το αρχικό COD του εισερχόμενου συνθετικού αποβλήτου μας. Ακόμα, διαπιστώσαμε πως η πορεία του COD του υγρού μετά από καθίζηση 2 ωρών σε μία προσπάθεια σύγκρισης της πιλοτικής μας μονάδας MBR με ένα κλασικό σύστημα καθαρισμού αποβλήτων (CAS), εμφάνισε καλύτερα αποτελέσματα στην έξοδο της πιλοτικής μονάδας κατά 12% σε σχέση με αυτό της καθίζησης.

Τέλος, παρουσιάστηκε η πορεία του ολικού φωσφόρου και ολικού αζώτου στην είσοδο και στην έξοδο της πιλοτικής μονάδας MBR. Συμπεράναμε πως στην περίπτωση του φωσφόρου υπάρχει απομείωση στις εξόδους της πιλοτικής μονάδας μας σε σχέση με το εισερχόμενο συνθετικό απόβλητο της τάξεως του 70,4% και στην περίπτωση του αζώτου υπάρχει απομείωση κοντά στο 41% αντίστοιχα.

Από όλα τα παραπάνω, μέσω της μελέτης των διαγραμμάτων και το πέρας της πειραματικής διαδικασίας εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα :

- Το συνθετικό απόβλητο συμπεριφέρθηκε πολύ ικανοποιητικά στην ανάπτυξη της βιομάζας
- Το μοντέλο αργής αλλά σταθερής ανάπτυξης βιομάζας προσέδωσε στην βιομάζα καλά χαρακτηριστικά για την επεξεργασία της στην πιλοτική μονάδα MBR.
- Κατά την δοκιμαστική φάση λειτουργίας η πιλοτική μονάδα MBR λειτούργησε με επιτυχία τόσο σε επίπεδο μηχανολογικού εξοπλισμού όσο και διατάξεων ελέγχου βασικών λειτουργικών παραμέτρων.
- Ο on-line απομακρυσμένος έλεγχος των παραμέτρων αποδείχτηκε απαραίτητος για τον εντοπισμό και την βελτίωση χημικομηχανικών – μηχανολογικών δυσλειτουργιών και της αυτόματης ρύθμισης της μονάδας.
- Η διάταξη απομάκρυνε ικανοποιητικά το οργανικό φορτίο όπως αυτό εκφράζεται με την ελάττωση της συγκέντρωσης του COD κυρίως λόγω της ολικής συγκέντρωσης των στερεών.
- Η απομείωση στο COD, TN, TP της πιλοτικής μονάδας MBR κρίθηκε εξαιρετική όσον αφορά την έξοδο της πιλοτικής μονάδας παρά το γεγονός ότι η απονιτροποίηση λειτούργουσε διακοπτόμενα.
- Ο συγκριτικός έλεγχος της πορείας του COD μεταξύ του διαυγασμένου υγρού μετά από καθίζηση 2 ωρών (προσομοίωση συμβατικού συστήματος CAS) σε σχέση με αυτό της εξόδου της πιλοτικής μονάδας MBR κατέδειξε την αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας MBR.
- Ο απώτερος σκοπός ήταν η βελτιστοποίηση των κύριων λειτουργικών παραμέτρων της μονάδας και η αξιολόγηση της απόδοσης της μονάδας ώστε να μπορέσουν να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για την ανάπτυξη μονάδων μεγαλύτερης δυναμικότητας

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. Jiang T. and Kennedy M., The role of blocking and cake filtration in MBR fouling, Desalination, 2003.
11. S. Judd, The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment, Elsevier, Oxford, England, 2006.
12. Fan F., Fouling mechanisms and control strategies for improving membrane bioreactor processes, University of Guelph, 2005.
13. N.F. Gray, Biology of Wastewater Treatment, Imperial College Press, 2004
14. Peter Spencer Davies B.Sc, Ph.D, The biological Basis of Wastewater Treatment, Published by Strathkelvin Instruments Ltd 2005

15. Jiang T. and Kennedy M., The role of blocking and cake filtration in MBR fouling, Desalination, 2003.
16. 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.
17. Le-Clech P., Chen V. and Fane T., Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment, Journal of membrane Science, 2006.
18. 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.
19. Stephenson, T., Judd, S., Jefferson, B. and Brindle, K., Membrane Bioreactors for Wastewater treatment, IWA Publishing, London, 2000.
20. 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.
21. Zhang, J., "The nature of external representations in problem solving", Cognitive Science, 1997b.
22. Davies W.J., Le M.S. and Heath C.R., Intensified Activated Sludge Process with Submerged Membrane Microfiltration. Water Science and Technology, 1998.
23. Stephenson T., Judd S., Jefferson B. and Brindle K., Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment, IWA Publications, London, England, (2001).
24. Νταρακάς Ευθύμιος, Διεργασίες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Θεσσαλονίκη, 2010.
25. Μαλαμής Σ.Α., Διερεύνηση της χρήσης μεμβρανών στην δευτεροβάθμια επεξεργασία λυμάτων, Διπλωματική Εργασία, ΔΠΜΣ "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα, 2005.

26. Μαλαμής, Σ., Βιολογική Επεξεργασία Λυμάτων με τη Χρήση Μεμβρανών, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2009.
27. Διαλυνάς Μ., Λειτουργία πιλοτικού συστήματος βιοαντιδραστήρα υπερδιηθήσεως στην επεξεργασία αστικών λυμάτων, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2008.
28. Γ. Λυμπεράτος, Δ. Βαγενάς, Διαχείριση υγρών αποβλήτων, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2012
29. Α. Ανδρεαδάκης, Δ. Μαμάης, Ε. Γαβαλάκη, Απολύμανση λυμάτων, Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων με Αποκεντρωμένα Συστήματα Επεξεργασίας, Καρδίτσα, 2005.
30. Μαρία Λοϊζίδου, “Υγρά απόβλητα” Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Χημικών Μηχανικών Μηχανικών, Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Αθήνα 2006, http://www.uest.gr/notes/ygra_aponlita.pdf
31. Ειδική Γραμματεία Υδάτων του ΥΠΕΚΑ, Κείμενο κατευθυντήριων γραμμών για τη διαχείριση λυμάτων μικρών οικισμών, Αθήνα 2012
32. Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις, ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011
33. Όμιλος Εταιρειών Προστασίας Περιβάλλοντος, Μεσόγειος Α.Ε., <http://www.mesogeos.gr/WebPage/HomePage>
34. Θεσμικό Πλαίσιο για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=WGtQVsk9ulY%3D&tabid=251&language=el-GR>
35. Ευθύμιος Νταρακάς, Αν. Καθηγητής, Εργαστήριο Τεχνικής και Σχεδιασμού Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ιούνιος 2013, <http://users.auth.gr/darakas/Laboratory.pdf>
36. Μπαμπατσούλη Παναγιώτα, Βιοαντιδραστήρες μεμβρανών για την επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ιούνιος 2014
37. Μαρία Λοϊζίδου, “Υγρά απόβλητα” Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Χημικών Μηχανικών Μηχανικών, Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Αθήνα 2006, http://www.uest.gr/notes/ygra_aponlita.pdf

38. <http://gr.hach.com/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΤΙΤΛΟΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Πίνακας 1.1: Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων (mg/l)	3
Πίνακας 1.2: Ενδεικτική σύσταση υγρών αστικών αποβλήτων σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας	4
Πίνακας 1.3: Ισοδύναμος αριθμός κατοίκων για απόβλητα βιομηχανιών	7
Πίνακας 1.4: Ισοδύναμος αριθμός κατοίκων για απόβλητα βιομηχανιών	7
Πίνακας 1.5: Τυπικοί ρυθμοί ροής λυμάτων από ποικίλες πηγές σε λίτρα ανά μονάδα και ανά ημέρα	8
Πίνακας 1.6: Μέση ημερήσια παραγωγή ρυπαντικών φορτίων για κάθε άτομο	10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Πίνακας 4.1: Τεχνικά στοιχεία εγκατάστασης MBR Μήλου (Μεσόγειος Α.Ε., 2009)	53
Πίνακας 4.2: Ταξινόμηση των μεμβρανών	61
Πίνακας 4.3: Διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες και ωθούσα δύναμη	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Πίνακας 5.1 : Συστατικά συνθετικού απόβλητου.	75
Πίνακας 5.2 : Συστατικά συνθετικού αποβλήτου.	76
Πίνακας 5.3 : Συστατικά συνθετικού απόβλητου.	76
Πίνακας 5.4 Σύνθεση εισερχομένου συνθετικού αποβλήτου	77
Πίνακας 5.5: παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των δύο μεμβρανών που χρησιμοποιήθηκαν.	78

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – ΤΙΤΛΟΙ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Σχήμα 2.1: Ουσίες στο νερό	15
Σχήμα 2.2: Ταξινόμηση στερεών στα απόβλητα	16
Σχήμα 2.3: Τα δύο στάδια της βιολογικής αποικοδόμησης της οργανικής ύλης (BOD)	19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Σχήμα 4.1: Η σχέση του οργανικού άνθρακα στα λύματα	41
Σχήμα 4.2: Παρουσίαση της σχέσης μεταξύ των 3 διαδικασιών	42
Σχήμα 4.3: Διάταξη εμβολικής ροής	47
Σχήμα 4.4: Γενική αρχή λειτουργίας συστήματος βιοαντιδραστήρα μεμβράνης	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Σχήμα 5.1 Διάταξη Προετοιμασίας Συνθετικού Αποβλήτου	79
Σχήμα 5.2. Πιλοτική διάταξη βιοαντιδραστήρα εμβαπτιζόμενων μεμβρανών (SMBR).	80
Σχήμα 5.3 Κάτοψη πιλοτικής μονάδας MBR	81
Σχήμα 5.4 Όψη πιλοτικής μονάδας MBR	82

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ – ΤΙΤΛΟΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Εικόνα 2.1: Μικροοργανισμοί που σχετίζονται με τη λειτουργία της Ε.Ε.Λ.	26
Εικόνα 2.2: <i>Daphnia magna</i> – <i>Vibrio fischeri</i> (Μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούνται για ελέγχους τοξικότητας)	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Εικόνα 4.1: Διατομή μέσω ενός βακτηρίου	42
Εικόνα 4.2: Μικρογραφία της ενεργοποιημένης ιλύος	43
Εικόνα 4.3: Εγκατάσταση MBR στη νήσο Μήλο	54
Εικόνα 4.4: Συμβατικό σύστημα Ενεργούς Ιλύος (ΕΙ) Δήμου Κιλκίς	59
Εικόνα 4.5: Μονάδα βιοαντιδραστήρα MBR του Nordkanal στο κρατίδιο North Rhine Westphalia της Γερμανίας	59
Εικόνα 4.6: Εφαρμογές που βασίζονται στην τεχνολογία μεμβρανών	63
Εικόνα 4.7: Μεμβράνη με τριχοειδείς κοίλες ίνες (hollow-fibre membrane)	68
Εικόνα 4.8: Μεμβράνη με επίπεδα φύλλα (flat sheet membrane)	68
Εικόνα 4.9: Το φαινόμενο της έμφραξης μεμβρανών	69
Εικόνα 4.10: Μηχανισμοί έμφραξης των μεμβρανών σε συστήματα MBR	70

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Εικόνα 6.1 Φίλτρα μεγέθους πόρων 0.47 μm (Whatman)	83
Εικόνα 6.2 Κάψες από πορσελάνη	84
Εικόνα 6.3 Θερμοαντιδραστήρας Merck TR 320	85
Εικόνα 6.4 Θερμοαντιδραστήρας Hach-Lange HT 200S	86

Εικόνα 6.5 Φασματοφωτόμετρο Hach DR 2010	87
Εικόνα 6.6 Φασματοφωτόμετρο Hach DR 2800	88
Εικόνα 6.7 Αναλυτικός ζυγός	89
Εικόνα 6.8 Αυτόματη πιπέτα	89
Εικόνα 6.9 Συσκευή διήθησης	90
Εικόνα 6.10 Ξηραντήρας με ξηραντικό υλικό	90
Εικόνα 6.11 Φούρνος ξήρανσης στους 103 °C -105° C	91
Εικόνα 6.12 Κλίβανος στους 550 ± 50 °C	91

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ – ΤΙΤΛΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Διάγραμμα 8.1 Πορεία ανάπτυξης βιομάζας ανά περίοδο.	100
Διάγραμμα 8.2 Πορεία θερμοκρασίας (T), διαλυμένου οξυγόνου (DO) και pH κατά την διάρκεια παρασκευής της βιομάζας (Α-φάση).	101
Διάγραμμα 8.3 Πορεία βιομάζας κατά την διάρκεια της Β-φάσης Day 127-223	102
Διάγραμμα 8.4 Πορεία θερμοκρασίας (T), διαλυμένου οξυγόνου (DO), και pH κατά την διάρκεια της Β-φάσης (πιλοτική μονάδα MBR)	103
Διάγραμμα 8.5 Πορεία COD (εισόδου, εξόδου, και διαυγασμένου υγρού) της πιλοτικής μονάδας MBR	104
Διάγραμμα 8.6 Πορεία ολικού φωσφόρου και ολικού αζώτου στην είσοδο και την έξοδο της πιλοτικής μονάδας MBR	105