



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ & ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ»



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΧΑΤΖΗΑΝΔΡΕΟΥ ΘΕΟΛΟΓΟΣ

ΓΙΓΟΥΡΤΣΗΣ ΑΝΤΩΝΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΔΡ. ΜΑΝΙΟΣ ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΣ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΙ	3
1.1 Γενικά.....	3
1.2 Είδη Υγροβιότοπων	3
1.2.1 Φυσικοί υγροβιότοποι.....	3
1.2.2 Τεχνητοί υγροβιότοποι.....	4
1.3 Μηχανισμοί Απομάκρυνσης Ρυπαντών.....	7
1.3.1 Γενικά.....	7
1.3.1 Απομάκρυνση BOD/ άνθρακα.....	8
1.3.2 Απομάκρυνση ολικών αιωρούμενων στερεών	8
1.3.3 Απομάκρυνση Αζώτου.....	11
1.3.4 Απομάκρυνση φωσφόρου	14
1.3.5 Απομάκρυνση παθογόνων οργανισμών.....	16
2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	18
2.1 Γενικά.....	18
2.2 Αερόβιες περιστρεφόμενες μονάδες προσκολλημένης βιομάζας.....	19
2.2.1 Μονάδες περιστρεφόμενων βιοδίσκων.....	20
2.2.2 Μονάδες με περιστρεφόμενα μέσα επαφής.....	20
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	23
3.1.2 Υγροβιότοπος επιφανειακής ροής (FWS)	24
3.1.3 Υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής (SSF)	24
3.1.4 Μονάδα βιοδίσκων (EKOL)	25
3.1.5 Σύστημα ADVANTECH.....	26
3.1.6 Χαλικόφιλτρο.....	28
3.1.7 Αμμόφιλτρο	28
3.1.8 Δεξαμενή απορροής.....	29
3.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ	30
3.2.1 Μέθοδος μέτρησης PH	30
3.2.2 Μέθοδος μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC)	30
3.2.3 Μέθοδος μέτρησης αμμωνιακών ιόντων (NH_4^+).....	30
3.2.4 Μέθοδος μέτρησης ολικού φωσφόρου ($\text{PO}_4 - \text{P}$).....	30
3.2.5 Μέθοδος μέτρησης ολικού αζώτου (N)	31
3.2.6 Μέθοδος μέτρησης νιτρικών ($\text{NO}_3 - \text{N}$).....	31
3.2.7 Μέθοδος μέτρησης χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD)	32
3.2.8 Μέθοδος μέτρησης ολικά αιωρούμενων στερεών (TSS)	32
3.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	33
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	34
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	42
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	45

1. ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΙ

1.1 Γενικά

Οι υγροβιότοποι είναι τμήματα εδάφους κατακλυζόμενα με νερό συνήθως μικρού βάθους (<0,6 m) στα οποία αναπτύσσονται φυτά. Πρόκειται για διάφορα είδη κύπερης (φυτά της οικογένειας Cyperaceae, κυρίως του γένους *Carex* spp.), καλάμια (φυτά του γένους *Phragmites*, κυρίως του γένους *P. communis*), είδη βούρλων (φυτά του γένους *Scirpus*) και άλλα όπως είναι είδη ψαθιού και αφράτου (φυτά του γένους *Typha*). Η φυτική βλάστηση προσφέρει το βασικό υπόστρωμα ανάπτυξης των βακτηριακών μεμβρανών, βοηθά στο φιλτράρισμα και την προσρόφιση συστατικών του αποβλήτου, μεταφέρει οξυγόνο στη μάζα νερού και περιορίζει την ανάπτυξη αλγών με τον έλεγχο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων έχουν χρησιμοποιηθεί οι τεχνητοί όσο και οι φυσικοί υγροβιότοποι.

1.2 Είδη Υγροβιότοπων

1.2.1 Φυσικοί υγροβιότοποι

Οι φυσικοί υγροβιότοποι μπορούν να θεωρηθούν υδατικοί αποδέκτες. Στις περισσότερες περιπτώσεις που οι φυσικοί υγροβιότοποι δέχονται εκροές δευτεροβάθμιας ή προωθημένης επεξεργασίας, πληρούν κανονιστικές απαιτήσεις. Επιπλέον, το κύριο αντικείμενο χρησιμοποίησης φυσικών υγροβιότοπων ως αποδεκτών εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, είναι η ενίσχυση προϋπάρχοντος εθίμου. Τροποποιήσεις σε υπάρχοντες υγροβιότοπους με σκοπό τη βελτίωση των συνθηκών επεξεργασίας πρέπει γενικά να αποφεύγονται, γιατί μπορεί να προξενήσουν προβλήματα στο φυσικό οικοσύστημα.

1.2.2 Τεχνητοί υδροβιότοποι

Οι τεχνητοί υδροβιότοποι αποτελούν μια σχετικά νέα τεχνολογία επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, που βασίζεται στη χρησιμοποίηση φυτών που αναφύονται όπως νεροκάλαμα, βούρλα και ψαθί. Σε τέτοια συστήματα, η εφαρμογή του αποβλήτου διενεργείται πάνω ή κάτω από την επιφάνεια εδάφους. Οι τεχνητοί υδροβιότοποι έχουν όλες τις δυνατότητες των φυσικών υδροβιότοπων, αλλά χωρίς τους περιορισμούς, που αφορούν τη διάθεση εκροών σε φυσικά οικοσυστήματα. Για την περαιτέρω επεξεργασία προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με συστήματα τεχνητών υδροβιότοπων έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί δυο τύποι : α) Αυτά της ελεύθερης επιφάνειας (FWS) και β) τα υποεπιφανειακής ροής (SSF).

1.2.2.1 Συστήματα υποεπιφανειακής ροής (SSF)

Τα συστήματα αυτού του τύπου σχεδιάζονται με σκοπό την επίτευξη δευτεροβάθμιας ή προωθημένης επεξεργασίας. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται επίσης συστήματα «ριζόσφαιρας» ή «φίλτρων εδάφους-καλαμιών» και αναπτύσσονται μέσα σε κανάλια ή τάφρους με σχετικά στεγανούς πυθμένες που περιέχουν άμμο ή άλλα γήινα μέσα υποστήριξης της αναπτυσσόμενης (επιφανειακά) φυτικής βλάστησης.

Στα συστήματα αυτά η επιφάνεια του νερού διατηρείται ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ή του χρησιμοποιούμενου μέσου. Η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου οφείλεται σε φυσικές και βιοχημικές αποκρίσεις του μέσου, καθώς επίσης στην επαφή του με το ριζικό σύστημα των φυτών. Τα επίπεδα απομάκρυνσης των ρυπαντών είναι ισοδύναμα των συστημάτων FWS και παρουσιάζουν μειωμένα προβλήματα, σχετικά με την ανάπτυξη κουνουπιών και δυσάρεστων οσμών. Για την κατασκευή των υποστρωμάτων χρησιμοποιείται κυρίως έδαφος, άμμος και διάφορα άλλα χονδρόκοκκα ή ακόμα και πλαστικά ή άλλα αδρανή υλικά.

Η απομάκρυνση BOD και στερεών συστατικών σε αιώρηση διενεργείται με διήθηση, καθίζηση και αποδόμηση από αερόβιους και αναερόβιους μικροοργανισμούς. Η απομάκρυνση του αζώτου σε τέτοια συστήματα, διενεργείται με τους μηχανισμούς νιτροποίησης και απονιτροποίησης. Η απομάκρυνση του φωσφόρου εξαρτάται, κυρίως, από το χρησιμοποιούμενο υπόστρωμα. Η απομάκρυνση μετάλλων ποικίλλει και επιτυγχάνεται, κυρίως, με κατακρήμνιση και προσρόφηση τους. Τέλος η

απομάκρυνση των παθογόνων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δομή του υποστρώματος και την ταχύτητα ροής.

1.2.2.2 Συστήματα επιφανειακής ροής (FWS)

Τα συστήματα αυτά αποτελούνται, συνήθως, από παράλληλες λεκάνες, κανάλια ή τάφρους με αδιαπέραστους πυθμένες, με αναφυόμενη φυτική βλάστηση και μικρό βάθος νερού (0,1 – 0,6 m). Σε τέτοια συστήματα εφαρμόζονται συνεχώς προεπεξεργασμένα απόβλητα και η περαιτέρω επεξεργασία τους διενεργείται, καθώς η εφαρμοζόμενη εκροή του ρέει με μικρή ταχύτητα διαμέσου των στελεχών και ριζωμάτων της υφιστάμενης φυτικής βλάστησης και του υφιστάμενου υποστρώματος. Επίσης τα συστήματα αυτά μπορούν να σχεδιάζονται με σκοπό τη δημιουργία νέων εθίμων και την ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για την αποδοχή υδροβιότοπων ή ενίσχυση υφιστάμενων φυσικών υδροβιότοπων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, αναπτύσσεται ένας συνδυασμός υδατικών επιφανειών, με βλάστηση και ανοικτών και μικρών νησίδων με την κατάλληλη βλάστηση και ενίσχυση της ροής του νερού με αναζωογόνηση των υφιστάμενων εθίμων.

Στα συστήματα FWS κύρια πηγή οξυγόνου είναι η ελεύθερη επιφάνεια του, αλλά η ύπαρξη βιολογικής βλάστησης παρεμποδίζει τον επιφανειακό επαναερισμό, που είναι δυνατό να διενεργείται με τον άνεμο. Γι' αυτό θα πρέπει να εφαρμόζονται μικρά οργανικά φορτία. Αντίθετα, η ύπαρξη επιδρά ανασταλτικά στην ανάπτυξη αλγών. Η απομάκρυνση στερεών σε αιώρηση οφείλεται κυρίως στο μηχανισμό της καθίζησης και διενεργείται, κυρίως, σε μικρές αποστάσεις από το σημείο εισροής του αποβλήτου στο σύστημα. Η απομάκρυνση του αζώτου οφείλεται, κυρίως στις διεργασίες νιτροποίησης – απονιτροποίησης και λιγότερο στην πρόσληψη του από τα φυτά και γι' αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα εφαρμογής του οργανικού φορτίου και το χρόνο συγκράτησης. Ακόμη και όταν τα φυτά που χρησιμοποιούνται συγκομίζονται περιοδικά, η απομάκρυνση του αζώτου που οφείλεται στην πρόσληψή του από τα φυτά, αντιπροσωπεύει ένα ποσοστό 10-15% της συνολικής απομάκρυνσής του. Τέλος, η απομάκρυνση του φωσφόρου σε τέτοια συστήματα είναι περιορισμένη, εξαιτίας της περιορισμένης επαφής του αποβλήτου με το έδαφος.

1.2.2.3 Συστήματα επιπλεόντων υδροχαρών φυτών (Floating aquatic plant systems)

Τα συστήματα επιπλεόντων υδροχαρών φυτών ομοιάζουν στη βασική τους σύλληψη με αυτά των υγροβιότοπων ελεύθερας επιφάνειας με τη διαφορά ότι τα χρησιμοποιούμενα φυτά είναι επιπλέοντα είδη, όπως είναι ο υάκινθος του νερού (*Eichhornia crassipes*) και διάφορα είδη της οικογένειας Lemnaceae. Σ' αυτά τα συστήματα το βάθος του νερού είναι συνήθως μεγαλύτερο από αυτό των συστημάτων των τεχνητών υγροβιότοπων ελεύθερης επιφάνειας και συνήθως κυμαίνεται από 0,5 ως 1,8 m. Επίσης σ' αυτά τα συστήματα εφαρμόζεται συνήθως συμπληρωματικός αερισμός για την αύξηση της ικανότητας επεξεργασίας και τη διατήρηση αερόβιων συνθηκών και βιολογικού ελέγχου της ανάπτυξης κουνουπιών. Τέτοια επιπλέοντα υδροχαρή φυτά έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση αλγών από εκροές λιμνών σταθεροποίησης. Τα συνήθη υδραυλικά φορτία και η ειδική έκταση των συστημάτων επεξεργασίας με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά είναι ισοδύναμα των αντίστοιχων συστημάτων τεχνητών υγροβιότοπων.

1.2.2.4 Υδατοκαλλιέργεια

Υδατοκαλλιέργεια είναι η ανάπτυξη ψαριών και άλλων υδρόβιων οργανισμών σε εκροές υγρών αποβλήτων για την παραγωγή πηγών φυτικών τροφών και κυρίως βιομάζας. Σε διάφορες χώρες τα υγρά απόβλητα έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλαπλές περιπτώσεις υδατοκαλλιεργείων. Στις περισσότερες, όμως, περιπτώσεις το κύριο αντικείμενο τέτοιων συστημάτων ήταν η παραγωγή βιομάζας και η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου αποτελούσε επί μέρους ή δευτερεύοντα σκοπό. Η επιτυγχανόμενη με τέτοια συστήματα επεξεργασία οφείλεται εξ ολοκλήρου στα βακτήρια που αναπτύσσονται και εγκαθίστανται στα επιπλέοντα υδροχαρή φυτά. Γενικά ο συνδυασμός της υδατοκαλλιέργειας και της επεξεργασίας του υγρού αποβλήτου, ως μιας ενιαίας λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος, απαιτεί περαιτέρω έρευνα. Ιδιαίτερα θα πρέπει να καθοριστεί η επικινδυνότητα για τη δημόσια υγεία, που μπορεί να οφείλεται στους υδρόβιους οργανισμούς που αναπτύσσονται σε τέτοια συστήματα.

1.3 Μηχανισμοί Απομάκρυνσης Ρυπαντών

1.3.1 Γενικά

Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την επεξεργασία του αποβλήτου στους τεχνητούς υγροβιότοπους είναι όμοιες με αυτές που συμβαίνουν στα φυσικά οικοσυστήματα. Η αποδόμηση της οργανικής ύλης μπορεί να προκύψει είτε μέσω αερόβιων είτε μέσω αναερόβιων διεργασιών. Η ισορροπία μεταξύ των διεργασιών αυτών εξαρτάται από το οργανικό φορτίο καθώς και από την παροχή οξυγόνου. Το οργανικό φορτίο προέρχεται κυρίως από την εισροή του αποβλήτου. Η παροχή του οξυγόνου γίνεται μέσω της ελεύθερης επιφάνειας του νερού και των αλγών που είναι προσκολλημένα στην επιφάνεια των αναδύμενων φυτών. Σαν συνέπεια των παραπάνω, οι διεργασίες στη στήλη του νερού είναι αερόβιες κατά τη διάρκεια της μέρας, ενώ γίνονται αναερόβιες τη νύχτα.

Η παροχή οξυγόνου στα ιζήματα του υγροβιότοπου είναι αρκετά χαμηλή και έτσι οι διεργασίες εκεί είναι κυρίως αναερόβιες. Παρόλα αυτά από τις ρίζες των φυτών διαρρέεται κάποια ποσότητα οξυγόνου. Όπου η πυκνότητα των ριζών είναι υψηλή η διαρροή αυτή συνεισφέρει στην παροχή οξυγόνου και στα επιφανειακά στρώματα εδάφους. Σε σύγκριση όμως με το BOD του αποβλήτου η ροή οξυγόνου από τις ρίζες είναι μικρή και δεν είναι ο κύριος μηχανισμός αποδόμησης των φορτίων του άνθρακα. Η παραγωγή οξυγόνου από τη φυτική ριζόσφαιρα μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντική σε άλλες διεργασίες όπως αυτή της νιτροποίησης.

Πολλοί από τους μηχανισμούς επεξεργασίας είναι τουλάχιστον μερικώς διαδοχικοί. Για παράδειγμα σε απλές μικροβιακές καλλιέργειες, το μεγαλύτερο μέρος του BOD αποδομείται πριν ξεκινήσει η νιτροποίηση. Ένα από τα πλεονέκτημα ενός περίπλοκου συστήματος επεξεργασίας, όπως το σύστημα ενός τεχνητού υγροβιότοπου, είναι, ως ένα σημείο, ότι αυτοί οι διαδοχικοί μηχανισμοί απομάκρυνσης μπορούν να συμπιεστούν στο χώρο και στο χρόνο. Παρακάτω ακολουθεί μια πιο λεπτομερής ανάλυση των μηχανισμών απομάκρυνσης κάθε ρυπαντή.

1.3.1 Απομάκρυνση BOD/ άνθρακα

Το διαλυμένο ή σε αιώρηση BOD απομακρύνεται με διάφορους μηχανισμούς στους τεχνητούς υγροβιότοπους. Το διαλυτό BOD απομακρύνεται με την βιολογική δραστηριότητα και την προσρόφηση του στα φυτά και στην επιφάνεια των υποστρωμάτων και στην στήλη νερού. Οι χαμηλές ταχύτητες και τα αναφυόμενα φυτά διευκολύνουν τη συσσωμάτωση, καθίζηση και την παγίδευση του BOD σε αιώρηση.

Ένας τεχνητός υγροβιότοπος έχει μια ποικιλία πηγών ή φορτίων άνθρακα. Το απόβλητο που εισρέει αντιπροσωπεύει το κύριο φορτίο άνθρακα. Υπάρχουν όμως και άλλες σημαντικές πηγές από την ανάπτυξη της φυτικής βλάστησης και από την ανάπτυξη της βιομάζας των μικροοργανισμών.

Η φύση των πηγών του άνθρακα διαφέρει. Παραδείγματος χάριν, ο οργανικός άνθρακας στα αστικά απόβλητα μπορεί να είναι εύκολα βιοαποικοδομήσιμος και δημιουργεί άμεσα υψηλό BOD. Αντίθετα τα υπολείμματα των φύλλων που πέφτουν από τα φυτά είναι δύσκολα βιοαποικοδομήσιμα και διασπώνται αργά.

Οι μηχανισμοί αποσύνθεσης του φορτίου του άνθρακα καθορίζεται από μια ισορροπία μεταξύ του φορτίου του άνθρακα και της παροχής οξυγόνου. Το οξυγόνο διοχετεύεται στη στήλη νερού του υγροβιότοπου με διάχυση από τον ατμοσφαιρικό αέρα, μέσω της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών στη στήλη νερού. Αν η παροχή οξυγόνου ικανοποιεί την απαίτηση σε οξυγόνο, η αποικοδόμηση του BOD προκύπτει με αερόβιες διεργασίες. Αν η απαίτηση σε οξυγόνο είναι μεγαλύτερη από την παροχή οξυγόνου, η αποικοδόμηση γίνεται με αναερόβιες διεργασίες. Η ισορροπία μεταξύ του αερόβιου και αναερόβιου μεταβολισμού μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τις διόδους απομάκρυνσης του άνθρακα σε έναν υγροβιότοπο. Στα περισσότερα συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων και οι δύο διεργασίες μπορούν να φέρουν αποτελέσματα. Η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης προκύπτει και στα ιζήματα και στο στρώμα των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στη φυτική βλάστηση.

1.3.2 Απομάκρυνση ολικών αιωρούμενων στερεών

Τα ολικά αιωρούμενα στερεά των υγρών αποβλήτων αποτελούνται από μια ποικιλία οργανικών και ανόργανων συστατικών. Η πυκνότητα και το μέγεθος των

σωματιδίων διαφέρουν αξιοσημείωτα. Σωματίδια διαφορετικού μεγέθους και πυκνότητας απομακρύνονται με διαφορετικούς μηχανισμούς.

Ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης των ολικών αιωρούμενων στερεών είναι η συσσωμάτωση και η καθίζηση στο κυρίως υγρό και η φίλτρανση στα διάκενα του υποστρώματος. Τα περισσότερα από τα στερεά που έχουν καθιζάνει απομακρύνονται στα 50 με 100 ft από το σημείο εφαρμογής. Η ιδανική απομάκρυνση στερεών απαιτεί τη διευκόλυνση της φίλτρανσης και της καθίζησης από τη βλάστηση και την αποφυγή επανεμφάνισης αλγών. Τα στερεά που προέρχονται από άλγη απαιτούν 6 με 10 μέρες χρόνο συγκράτησης έτσι ώστε να απομακρυνθούν.

Τα μεγαλύτερα και βαρύτερα σωματίδια κατακάθονται στη ζώνη του υγροβιότοπου που εισρέει το απόβλητο. Ελαφρότερα και μικρότερα σωματίδια κατακάθονται με τη βοήθεια της φυτικής βλάστησης. Η φυτική βλάστηση του υγροβιότοπου προωθεί την κατακάθιση μειώνοντας την ανάμιξη της στήλης νερού και την επαναιώρηση των σωματιδίων. Τα μικρότερα σωματίδια (βακτήρια, άργιλοι, κολλοειδή κ.τ.λ.) δε συσσωματώνονται ώστε να κατακαθίσουν όσο βρίσκονται στον υγροβιότοπο. Για τα σωματίδια αυτά ο μοναδικός μηχανισμός απομάκρυνσης είναι η προσκόλλησή τους σε επιφάνειες στη στήλη νερού. Οι επιφάνειες αυτές είναι οι επιφάνειες των φυτών καθώς και οι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται πάνω σε αυτά.

1.3.2.1 Καθίζηση

Η διαδικασία της καθίζησης εξαρτάται από το σχήμα και το μέγεθος του σωματιδίου που καθιζάνει, τη βαρύτητα και το ιξώδες. Λαμβάνει χώρα τόσο από μεμονωμένα σωματίδια, όσο και από συσσωματωμένα σωματίδια. Η αντίσταση που επηρεάζει την ταχύτητα καθίζησης εξαρτάται από το μέγεθος του σωματιδίου την τύρβη και το ιξώδες. Όσον αφορά στα σωματίδια που έχουν προκύψει από συσσωματώσεις, η ταχύτητα καθίζησης αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, καθώς η μάζα τους μεγαλώνει συνεχώς.

1.3.2.2 Συσσωμάτωση

Λαμβάνει χώρα είτε εξαιτίας φυσικών διεργασιών, είτε εξαιτίας της χημικής προσρόφησης. Ο σχηματισμός ολοένα και μεγαλύτερων σωματιδίων εξαρτάται από

την ηλεκτρική φόρτιση στην επιφάνεια της συσσώρευσης. Ποσότητα διαλυμένης ύλης μπορεί να προσροφηθεί στη σωματιδιακή επιφάνεια ως αποτέλεσμα διαφόρων μηχανισμών συγκράτησης, οι οποίοι έχουν σαν αποτέλεσμα την αποσταθεροποίηση των σωματιδίων και συνεπώς τη σωματιδιακή συσσώματωση.

1.3.2.3 Φίλτραση / Συγκράτηση

Η απομάκρυνση εξαιτίας της φίλτρασης δεν είναι σημαντική στους υδροβιότοπους επιφανειακής ροής. Το σώμα των αναφυόμενων φυτών και των φυτικών καταλοίπων δεν παγιδεύει σε μεγάλο βαθμό τα σωματίδια της εισροής. Η συγκράτηση όμως και η συγκόλληση των σωματιδίων στην επιφάνεια της φυτικής βλάστησης αποτελεί σημαντικό μηχανισμό απομάκρυνσης. Η αποτελεσματικότητα του μηχανισμού αυτού εξαρτάται από το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά των σωματιδίων, την ταχύτητα ροής και την επιφάνεια της φυτικής βλάστησης στην οποία προσκρούουν τα σωματίδια. Η επιφάνεια της φυτικής βλάστησης καλύπτεται σταδιακά με ένα στρώμα μικροοργανισμών το οποίο προσροφά κολλοειδή ή υπερκολλοειδή σωματίδια και απορροφά διαλυμένα μόρια. Ανάλογα με την φύση των στερεών αυτά μπορούν να μεταβολιστούν και να μετατραπούν σε διαλυτά σωματίδια, αέρια και βιομάζα ή μπορούν να προσκολληθούν φυσικά στην επιφάνεια του στρώματος αυτού και να αποδεσμευτούν στη στήλη νερού.

1.3.2.4 Επαναιώρηση

Στους τεχνητούς υδροβιότοπους επιφανειακής ροής η φυσική επαναιώρηση δεν είναι κυρίαρχη διεργασία. Οι ταχύτητες του νερού είναι συνήθως πολύ μικρές για να προκαλέσουν την αιώρηση σωματιδίων που έχουν ήδη καθιζάνει. Η πιθανότητα ύπαρξης διαβρωτέων ταχυτήτων βρίσκεται μόνο σε περιπτώσεις υδροβιότοπων με μεγάλο λόγο μήκους ανά πλάτος που λαμβάνουν μεγάλα φορτία.

Υπάρχουν τρεις μηχανισμοί που μπορούν να προκαλέσουν επαναιώρηση σε υδροβιότοπους επιφανειακής ροής τύρβη που δημιουργείται από τον άνεμο, η διάταραξη που προκαλεί η πανίδα του συστήματος και η επίπλευση που προκαλείται από την παραγωγή αερίων. Σε ανοικτές επιφάνειες νερού ο άνεμος προκαλεί επιφανειακή

ροή κατά τη κατεύθυνση του και ροή στο βυθό του υδροβιότοπου με αντίθετη κατεύθυνση.

Πολλά ζώα διαφόρων ειδών και μεγεθών μπορούν να προκαλέσουν επαναιώρηση των ιζημάτων σε ένα υδροβιότοπο. Παράδειγμα τέτοιων ζώων που έχουν παρατηρηθεί είναι ψάρια όπως κυπρίνοι και ψάρια του γένους *alosa*. Η επαναιώρηση μέσω των αερίων που παράγονται στο σύστημα προκύπτει όταν τα αέρια αυτά παγιδεύονται ή ενσωματώνονται στα σωματίδια του ιζήματος. Τα αέρια που παράγονται από το σύστημα είναι κυρίως το οξυγόνο που παράγεται με τη φωτοσύνθεση και η παραγωγή μεθανίου στις αναερόβιες ζώνες.

Σε υδροβιότοπους που είναι πλήρως καλυμμένοι με βλάστηση, το στρώμα των υπολειμμάτων και το ριζικό σύστημα της βλάστησης εξασφαλίζουν τη σταθεροποίηση των ιζημάτων και του εδάφους. Το γεγονός αυτό περιορίζει αλλά δεν εξαλείφει το πρόβλημα της επαναιώρησης.

Η ποσότητα TSS στην εκροή του υδροβιότοπου συνήθως αποτελείται από στερεά τα οποία δημιουργούνται εντός του συστήματος και σπάνια από σωματίδια τα οποία δεν μπορούν να απομακρυνθούν από την εισροή. Για το λόγο αυτό οι συγκεντρώσεις των TSS στην εκροή δεν μπορούν να είναι μηδενικές, κυμαίνονται όμως κοντά στις ελάχιστες συγκεντρώσεις που παράγονται από το σύστημα. Αυτές οι συγκεντρώσεις ονομάζονται συγκεντρώσεις υπόβαθρου και κυμαίνονται από 2 έως 10 mg/L.

1.3.3 Απομάκρυνση Αζώτου

Η απομάκρυνση αζώτου στους τεχνητούς υδροβιότοπους επιτυγχάνεται με νιτροποίηση και απονιτροποίηση. Η πρόσληψη του από τα φυτά αντιπροσωπεύει περίπου το 10% της συνολικής απομάκρυνσης του αζώτου. Η νιτροποίηση και απονιτροποίηση είναι μικροβιακές αντιδράσεις που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και το χρόνο συγκράτησης. Οι οργανισμοί για την νιτροποίηση απαιτούν οξυγόνο και επαρκής επιφάνεια να αναπτυχθούν και γι' αυτό δεν είναι παρόντες σε μεγάλους αριθμούς, είτε όταν το οργανικό φορτίο είναι ιδιαίτερα υψηλό είτε συστήματα σχετικά νέα με ατελής κάλυψη φυτικής βλάστησης.

1.3.3.1 Οργανικό άζωτο

Το οργανικό άζωτο, που περιέχεται στα αιωρούμενα στερεά των υγρών αποβλήτων, απομακρύνεται, όπως αναφέρεται σε μεγάλο ποσοστό με διήθηση και φιλτράρισμα. Επίσης το οργανικό άζωτο, υπό τη μορφή στερεών συστατικών του αποβλήτου, που συνήθως περιέχεται σε πολύπλοκες μεγαλομοριακές ενώσεις, όπως υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λιγνίνη, μπορεί να ενσωματώνεται κατ' ευθεία στην οργανική μάζα ή στο χούμο του εδάφους. Ένα ποσοστό το οργανικού αζώτου υδρολύεται σε διαλυτά αμινοξέα και μπορεί να υποστεί περαιτέρω διάσπαση κατά την οποία ελευθερώνεται ιονισμένο αμμώνιο (NH_4^+).

1.3.3.2 Αμμωνιακό άζωτο

Το αμμωνιακό άζωτο μπορεί να ακολουθεί διάφορους δίοδους απομάκρυνσης. Διαλυμένη αμμωνία μπορεί να απομακρυνθεί με εξάχνωση της ως αέρια αμμωνία, κατ' ευθεία στην ατμόσφαιρα. Το ποσοστό απομάκρυνσης με αυτή τη δίοδο είναι σχετικά μικρό (<10%). Το μεγαλύτερο ποσοστό εισερχόμενου και παραγόμενου αμμωνίου προσροφάτε προσωρινά δια μέσου αντιδράσεων εναλλαγής ιόντων σε εδαφικά οργανικά και αργιλικά σωματίδια. Το προσροφημένο αμμώνιο είναι διαθέσιμο για πρόσληψη του από τα φυτά και μικροοργανισμούς ή για μετατροπή του σε νιτρικό άζωτο δια μέσου της βιολογικής νιτροποίησης. Επειδή το δυναμικό προσρόφησης του αμμωνίου σε φυσικά συστήματα είναι πεπερασμένο είναι απαραίτητη η νιτροποίηση του για περαιτέρω απελευθέρωση του και αναγέννηση νέων περιοχών προσρόφησης.

1.3.3.3 Βιολογική νιτροποίηση

Το αμμώνιο μπορεί να δράσει και σαν υπόστρωμα για μικροβιακούς μετασχηματισμούς. Η νιτροποίηση είναι μια αερόβια οξειδωση του αμμωνίου σε νιτρικά. Μεγάλος αριθμός μικροοργανισμών που χρησιμοποιούν τον οργανικό άνθρακα σαν πηγή ενέργειας είναι ικανοί να παράγουν οξειδωμένες νιτρικές ενώσεις. Εν τούτοις η νιτροποίηση από αυτότροφους μικροοργανισμούς θεωρείται ο κύριος μηχανισμός μετατροπής του αμμωνίου σε νιτρικό άζωτο. Η νιτροποίηση είναι μια διεργασία που συντελείται σε δυο στάδια από μια ομάδα βακτηρίων. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει

την οξείδωση του αμμωνίου σε νιτρώδη, κυρίως από βακτήρια του γένους Nitrosomas, ενώ το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει την οξείδωση των νιτρωδών σε νιτρικά, κυρίως από βακτήρια του γένους Nitrobacter. Η απόδοση της νιτροποίησης εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων όπως η παροχή αμμωνίου, η παροχή οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα, η πυκνότητα του πληθυσμού των βακτηρίων, η θερμοκρασία, pH και αλκαλικότητα. Η παροχή οξυγόνου περιορίζει την νιτροποίηση στην επιφάνεια όπου είναι δυνατή η παροχή οξυγόνου και στα φιλμ των μικροοργανισμών στην επιφάνεια της φυτικής βλάστησης.

1.3.3.4 Νιτρικό άζωτο

Το νιτρικό άζωτο φέρει αρνητικό φορτίο, δε συγκρατείται με αντιδράσεις εναλλαγής και συνήθως παραμένει σε διάλυση και μεταφέρεται με τη ροή του νερού. Το νιτρικό άζωτο προσλαμβάνεται από τα φυτά, αλλά η απομάκρυνσή του με αυτή τη διεργασία συμβαίνει μόνο στην περιοχή ανάπτυξης των ριζών και σε περιόδους ενεργούς φυτικής βλάστησης. Η κύρια απομάκρυνση από το σύστημα επιτυγχάνεται με τη συγκομιδή και απομάκρυνση από αυτό σημαντικού ποσοστού της παραγόμενης φυτικής βλάστησης. Αντίθετα, όταν η φυτική βλάστηση παραμένει στο σύστημα, το άζωτο που περιέχεται σε αυτήν επανεισάγεται στο σύστημα κυρίως ως οργανικό άζωτο.

1.3.3.5 Βιολογική απονιτροποίηση

Το νιτρικό άζωτο απομακρύνεται επίσης με τη διεργασία της βιολογικής απονιτροποίησης και στην συνέχεια με τη διάχυση του στην ατμόσφαιρα, κυρίως ως οξείδιου του αζώτου ή ως ελεύθερου αζώτου. Η απονιτροποίηση διενεργείται με επαμφοτερίζοντα βακτήρια υπό ανοξικές συνθήκες. Γι' αυτή τη διεργασία δεν είναι απαραίτητο να επικρατούν ανοξικές συνθήκες σε όλο το σύστημα. Έτσι απονιτροποίηση είναι δυνατό να συμβαίνει σε ανοξικές μικροπεριοχές, παρακείμενες σε ευρύτερες αερόβιες περιοχές. Για μεγιστοποίηση της απονιτροποίησης θα πρέπει να βελτιστοποιούνται οι απαιτούμενες συνθήκες γι' αυτή τη διεργασία. Για την ολοκλήρωση της βιολογικής απονιτροποίησης, εντός των ανοξικών συνθηκών, απαιτείται και μια αυξημένη αναλογία άνθρακα / αζώτου. Μια αναλογία άνθρακα / αζώτου 2:1 είναι απαραίτητη. Βιομάζα από τη φυτική βλάστηση μπορεί να αποτελέσει μερική πηγή άν-

θρακα. Σε συστήματα όμως με υψηλά φορτία η πηγή άνθρακα θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στο απόβλητο. Έτσι σε συστήματα με εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας που έχουν αναλογία άνθρακα / αζώτου <1 , δεν μπορεί να μεγιστοποιηθεί η απομάκρυνση αζώτου, χωρίς να ληφθούν πρόσθετα μέτρα.

1.3.4 Απομάκρυνση φωσφόρου

Ο φώσφορος στα φυσικά νερά και στα υγρά απόβλητα συναντάτε κυρίως υπό τη μορφή φωσφορικών. Τα φωσφορικά ταξινομούνται σε ορθοφωσφορικά, συμπυκνωμένα (πυροφωσφορικά, μεταφωσφορικά και πολυφωσφορικά) φωσφορικά και οργανικά δεσμευμένα φωσφορικά και εμφανίζονται στο σύστημα τόσο σε σωματιδιακή μορφή, όσο και σε διαλυτή μορφή. Ο φώσφορος αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία των οικοσυστημάτων. Συχνά αποτελεί το κυριότερο περιοριστικό θρεπτικό σε υδάτινα οικοσυστήματα. Έχει συνήθως την τάση να συσσωρεύεται στο ίζημα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας και με αυτό τον τρόπο απομακρύνεται. Η επαύξηση των ανόργανων φωσφορικών και της βιομάζας στο ίζημα αποτελεί τον κυριότερο μηχανισμό απομάκρυνσης του φωσφόρου σε ένα σύστημα επεξεργασίας τεχνητού υδροβιότοπου επιφανειακής ροής.

1.3.4.1 Φυσικοί – Χημικοί διαχωρισμοί

Τα φωσφορικά που βρίσκονται υπό τη μορφή σωματιδίων μπορούν να εναποτεθούν στον πυθμένα του υδροβιότοπου μέσω της καθίζησης ή να παγιδευτούν στην επιφάνεια της φυτικής βλάστησης και να δεσμευτούν από το στρώμα των μικροοργανισμών. Τα διαλυμένα φωσφορικά μπορούν να δεσμευτούν από τα στρώματα των μικροοργανισμών που βρίσκονται στην επιφάνεια της φυτικής βλάστησης και στα κατάλοιπα της που επιπλέουν, ή που βρίσκονται στο ίζημα. Η ανταλλαγή των διαλυμένων φωσφορικών ανάμεσα στο νερό που είναι εγκλωβισμένο στους πόρους και στην υδάτινη στήλη διαμέσου της διάχυσης ή της ρόφησης / εκρόφησης αποτελεί την κύρια πηγή των διαλυμένων φωσφορικών. Στο εγκλωβισμένο, στους πόρους, νερό του ιζήματος τα φωσφορικά αυτά μπορούν να κατακρημνιστούν ως αδιάλυτα σιδηρούχα, ασβεστούχα και αλουμινούχα φωσφορικά ή να προσροφηθούν σε σωματίδια ιλύος, οργανική τύρφη και σιδηρούχα και αλουμινούχα οξείδια και υδροξείδια. Τα φωσφο-

ρικά μπορούν να απελευθερωθούν από τα μεταλλικά σύμπλοκα ανάλογα με το οξειδοαναγωγικό δυναμικό του συστήματος. Επίσης, τα φωσφορικά απελευθερώνονται από τα σιδηρούχα και αλουμινούχα σύμπλοκα με υδρόλυση η οποία λαμβάνει χώρα κάτω από ανοξικές συνθήκες. Τα ροφημένα φωσφορικά στα σωματίδια ιλύος και έλυδρα οξείδια μπορούν επίσης να επιστρέψουν στην υδάτινη στήλη μέσω της ανταλλαγής ιόντων. Αν το pH του συστήματος μειωθεί, ως αποτέλεσμα του βιολογικού σχηματισμού οργανικών οξέων, νιτρικών ή θεικών, κάποια ποσότητα φωσφορικών μπορεί να εκλυθεί. Με την πάροδο του χρόνου ένα σημαντικό μέρος των φωσφορικών που έχουν απομακρυνθεί, δεσμεύεται στο ίζημα και με αυτό τον τρόπο απομακρύνεται από το σύστημα. Κατά την αρχική περίοδο προσαρμογής ενός συστήματος FWS μέχρις ότου αυτό σταθεροποιηθεί παρατηρείται μεγάλου βαθμού απομάκρυνση λόγω των αρχικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στον πυθμένα του υγροβιότοπου.

1.3.4.2 Βιολογικοί μετασχηματισμοί φωσφορικών

Τα διαλυμένα οργανικά φωσφορικά και τα μη διαλυμένα οργανικά και ανόργανα φωσφορικά δεν είναι συνήθως διαθέσιμα για την βλάστηση μέχρις ότου μετασχηματιστούν σε διαλυτή ανόργανη μορφή. Οι μετασχηματισμοί αυτοί πραγματοποιούνται στη στήλη νερού από αιωρούμενους μικροοργανισμούς, από τα στρώματα των μικροοργανισμών στην επιφάνεια των φυτών και στα ιζήματα. Η λήψη από τους μικροοργανισμούς αποτελεί ένα γρήγορο κυκλικό μηχανισμό. Με το θάνατο και την αποσύνθεση της βλάστησης η μεγαλύτερη ποσότητα των φωσφορικών επιστρέφει πίσω στην υδάτινη στήλη, ενώ κάποια ποσότητα απομακρύνεται στα καινούρια σχηματιζόμενα ιζήματα. Η λήψη φωσφορικών από τα μακρόφυτα πραγματοποιείται μέσω του ριζικού συστήματος. Η λήψη πραγματοποιείται κατά την περίοδο ανάπτυξης της βλάστησης ενώ κάποια ποσότητα φωσφορικών αποδεσμεύεται κατά τη γήρανση των φυτών κατά το τέλος του καλοκαιριού ή το φθινόπωρο, συνοδευόμενη από την αποσύνθεση των φυτικών κατάλοιπων.

Η μορφή των φωσφορικών, ο τύπος και η πυκνότητα της φυτικής βλάστησης, ο ρυθμός υδραυλικού φορτίου των φωσφορικών και οι κλιματικές συνθήκες καθορίζουν τον τύπο και την ποσότητα των φωσφορικών που απομακρύνονται από το σύστημα σε κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η απομάκρυνση των φωσφορικών δια μέσου των φυτών λαμβάνει χώρα εποχιακά, καθώς κατά την περίοδο γήρανσης

των φυτών, η μεγαλύτερη ποσότητα φωσφορικών που έχει απομακρυνθεί, ελευθερώνεται πίσω στην υδάτινη στήλη.

Συνήθως σε υγροβιότοπους επεξεργασίας οι ευκαιρίες επαφής μεταξύ των υγρών αποβλήτων και του εδάφους είναι περιορισμένες, ενώ η απομάκρυνση της βλάστησης δεν πραγματοποιείται με ιδιαίτερα εύκολο τρόπο. Αποτελεσματική απομάκρυνση του φωσφόρου παρατηρείται ιδιαίτερα κατά την διάρκεια των πρώτων 12-24 μηνών. Όταν όλο το σύστημα φτάσει σε ένα επίπεδο ισορροπίας, η απομάκρυνση του φωσφόρου μειώνεται. Σε γενικές γραμμές με βάση διάφορες εκτιμήσεις και έρευνες, η ετήσια απομάκρυνση φωσφόρου από συστήματα FWS παρουσιάζεται περιορισμένη.

1.3.5 Απομάκρυνση παθογόνων οργανισμών

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που εισέρχονται σε ένα τεχνητό υγροβιότοπο μπορεί να είναι ενσωματωμένα στα ολικά αιωρούμενα στερεά ή μπορεί να αιωρούνται στην εισροή του αποβλήτου. Αυτοί που είναι ενσωματωμένοι στα ολικά στερεά απομακρύνονται με του ίδιους μηχανισμούς που απομακρύνονται και τα TSS. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι η καθίζηση η φίλτρανση και η ρόφηση. Αφού διαχωριστούν από την στήλη νερού, οι ζωντανοί μικροοργανισμοί μπορούν να αποδεσμευτούν και να συγκρατηθούν στα στρώματα των μικροοργανισμών ή στους πόρους των ιζημάτων που περιέχουν νερό ή να εισέλθουν ξανά στη στήλη νερού. Ανεξάρτητα από το που θα βρεθούν, πρέπει να ανταγωνιστούν με το σύνολο των οργανισμών που τους περιβάλλουν. Σαν εντερικοί οργανισμοί, συνήθως απαιτούν πλούσιο υπόστρωμα και υψηλές θερμοκρασίες. Οι περισσότεροι δεν μπορούν να επιζήσουν τον ανταγωνισμό αυτό. Οι περισσότεροι θα καταστραφούν σαν θηράματα άλλων οργανισμών ή από την ακτινοβολία UV, αν βρεθούν κοντά στην επιφάνεια του νερού.

Η απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών στους υγροβιότοπους φαίνεται να έχει άμεση σχέση με την απομάκρυνση των ολικών αιωρούμενων στερεών και το χρόνο συγκράτησης. Έχουν διεξαχθεί λίγες μελέτες για την επίδραση των τεχνητών υγροβιότοπων στους παθογόνους μικροοργανισμούς που βρήκαν παρόμοια απομάκρυνση σε εισροές μολυσμένες με σαλμονέλα και κολοβακτηρίδια MS2. Πολλοί παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι πιο ευαίσθητοι στο περιβάλλον των υγροβιότοπων από ότι οι οργανισμοί που χρησιμοποιούνται σαν δείκτες, όπως τα βακτήρια E.

Coli και οι στρεπτόκοκκοι. Μερικοί όμως ιοί και πρωτόζωα μπορεί να είναι πιο ανθεκτικοί. Μεμονωμένα αποτελέσματα που αφορούν σε ιούς έχουν καταγραφεί και οι μηχανισμοί που επηρεάζουν την απομάκρυνση τους είναι διαφορετικοί από αυτούς που καταστρέφουν τους δείκτες.

Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι οι παθογόνοι μικροοργανισμοί μπορούν να αναπτυχθούν μέσα στον υγροβιότοπο. Επίσης τέτοιοι οργανισμοί μπορούν να βρεθούν ακόμα και στους φυσικούς υγροβιότοπους. Η ποσότητα αυτή των μικροοργανισμών μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την εποχή και άλλες λειτουργικές παραμέτρους του συστήματος. Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι γενικά οι μικροοργανισμοί δεν προέρχονται πάντα από ανθρώπινες πηγές. Παρόλα αυτά οι εκροές των τεχνητών υγροβιότοπων όσον αφορά στους παθογόνους οργανισμούς είναι απίθανο να βρίσκονται εντός των επιτρεπόμενων ορίων από την νομοθεσία. Γι' αυτό απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία για τη διάθεση τους στο περιβάλλον.

2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

2.1 Γενικά

Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη πληρωτικού υλικού πάνω στο οποίο αναπτύσσονται οι μικροοργανισμοί που συμμετέχουν στην επεξεργασία. Στα συστήματα προσκολλημένης βιομάζας σχηματίζεται ένα στρώμα βιολογικού υλικού (βιοφίλμ) το οποίο συγκρατείται στην επιφάνεια του πληρωτικού υλικού ή του μέσου επαφής. Το βιοφίλμ αποτελείται από μικροοργανισμούς, αιωρούμενο οργανικό υλικό και άλλα συστατικά μεταξύ των οποίων και εξωκυτταρικό κολλώδες (πολυμερές) υλικό. Αμέσως μετά το στρώμα του βιοφίλμ διακρίνεται μια περιοχή που αντιστοιχεί σε στάσιμο στρώμα υγρού και μετά από αυτό ακολουθεί η περιοχή που εκδηλώνεται η κύρια ροή του υγρού. Σημειώνεται μεταφορά οργανικού υλικού και θρεπτικών συστατικών προς την περιοχή του βιοφίλμ καθώς και μεταφορά των προϊόντων των βιολογικών αντιδράσεων από την περιοχή του βιοφίλμ προς την κύρια ροή του υγρού.

Το πάχος του βιοφίλμ εξαρτάται από το είδος του συστήματος επεξεργασίας και από τις λειτουργικές συνθήκες που επιβάλλονται και κυμαίνεται στην περιοχή από 100 μm μέχρι 10 μm. Η συγκέντρωση οργανικού υλικού είναι μεγαλύτερη στην κύρια ροή του υγρού και παρατηρείται μια κλίση συγκέντρωσης μέσα στο στάσιμο στρώμα καθώς και μείωση της συγκέντρωσης καθώς αυξάνεται το βάθος εντός του βιοφίλμ. Η κινητική της βιολογικής διεργασίας ελέγχεται κυρίως από το ρυθμό διάχυσης εντός του βιοφίλμ. Το θέμα του περιορισμού του ρυθμού της βιολογικής διεργασίας που συναρτάται με το ρυθμό διάχυσης εντός του στρώματος του βιοφίλμ είναι αρκετά σημαντικό όταν πρόκειται για τη μεταφορά διαλυμένου οξυγόνου.

Όταν οι συνθήκες στην κύρια ροή είναι αερόβιες το εξωτερικό τμήμα του βιοφίλμ είναι αερόβιο αλλά καθώς προχωράμε κατά την έννοια του βάθους εντός του βιοφίλμ οι συνθήκες μεταβάλλονται και συνήθως μετατρέπονται σε αναερόβιες καθώς πλησιάζουμε προς την επιφάνεια βιοφίλμ και πληρωτικού υλικού.

Η παρουσία αερόβιων, ανοξικών και αναερόβιων περιοχών εντός του στρώματος του βιοφίλμ δίνει τη δυνατότητα, ώστε με κατάλληλο σχεδιασμό και λειτουργία, τα συστήματα προσκολλημένης βιομάζας να επιτυγχάνουν εκτός από την αφαίρεση οργανικού υλικού παράλληλα και νιτροποίηση καθώς και απονιτροποίηση.

2.2 Αερόβιες περιστρεφόμενες μονάδες προσκολλημένης βιομάζας

Στα συστήματα αυτά το πληρωτικό μέσο δεν παραμένει ακίνητο αλλά υποβάλλεται σε περιστροφική κίνηση ώστε κατά διαστήματα να έρχεται σε επαφή με τα λύματα (καθώς βυθίζεται σε μια σκάφη που βρίσκεται κάτω από τον άξονα περιστροφής) και κατά διαστήματα να έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα (καθώς εξέρχεται από την σκάφη με τα λύματα). Η βιομάζα είναι εκείνη η οποία οδηγείται, περιστρεφόμενη, ώστε να έρχεται σε επαφή με τα λύματα.

Το πληρωτικό μέσο στις περιστρεφόμενες μονάδες προσκολλημένης βιομάζας πρέπει να έχει μεγάλη ειδική επιφάνεια και παράλληλα να διαμορφώνεται επαρκούς διάκενος χώρος ώστε να μην προκαλούνται εμφράξεις, κατά την ανάπτυξη της βιομάζας, που παρεμποδίζουν την κυκλοφορία τόσο των λυμάτων όσο και του ατμοσφαιρικού αέρα.

Όταν πρωτοεφαρμόστηκε η τεχνολογία των περιστρεφόμενων μονάδων προσκολλημένης βιομάζας (αρχές της δεκαετίας του 1960) το μέσο επαφής ήταν λεπτοί κυκλικοί δίσκοι προσαρμοσμένοι σε οριζόντιο περιστρεφόμενο άξονα. Έτσι αρχικά είχε επικρατήσει το όνομα μονάδες περιστρεφόμενων βιοδίσκων. Κατά τις δεκαετίες του 1960 και 1970 παρουσιάστηκαν προβλήματα με τη λειτουργία των μονάδων αυτών. Η απόδοση επεξεργασίας ήταν σε αρκετές περιπτώσεις κάτω από τα αναμενόμενα επίπεδα. Διαπιστώθηκαν κατασκευαστικά προβλήματα με τη στήριξη των βιοδίσκων. Επίσης σε μερικές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν προβλήματα περιστροφής του άξονα λόγω ανομοιόμορφης ανάπτυξης βιομάζας. Τα παρακάτω είχαν ως επακόλουθο να χαθεί η καλή φήμη των μονάδων αυτών κατά τις αρχές της δεκαετίας του 1980. Όμως, στη συνέχεια, έγιναν καλύτεροι σχεδιασμοί που αναίρεσαν τα προβλήματα και καθιέρωσαν την αντίστοιχη τεχνολογία ως αξιόπιστη.

Οι κυριότερες κατασκευαστικές βελτιώσεις αφορούν στον τρόπο στήριξης του μέσου επαφής στον άξονα περιστροφής. Το μέσο επαφής διαμορφώνεται από φύλλα κυκλικών τομέων πλαστικού υλικού που απέχουν μεταξύ τους σταθερή απόσταση. Τα φύλλα αυτά σχηματίζουν δέσμες μέσου επαφής οι οποίες σταθεροποιούνται με κατάλληλη στήριξη γύρω από τον άξονα περιστροφής. Οι μονάδες με τις δέσμες των λεπτών κυκλικών τομέων από φύλλα πλαστικού υλικού ονομάζονται μονάδες με περιστρεφόμενα μέσα επαφής.

2.2.1 Μονάδες περιστρεφόμενων βιοδίσκων

Στις μονάδες περιστρεφόμενων βιοδίσκων ένας αριθμός από κυκλικούς λεπτούς δίσκους είναι προσαρμοσμένοι σε κοινό οριζόντιο άξονα με μικρή μεταξύ τους απόσταση. Ο κοινός οριζόντιος άξονας τοποθετείται συνήθως σε μια μακρόστενη δεξαμενή και έτσι ώστε να βρίσκεται λίγο πιο πάνω από την ελεύθερη στάθμη των λυμάτων. Καθώς περιστρέφεται ο άξονας οι τομείς κάθε δίσκου βυθίζονται στα λύματα και αναδύονται στην ατμόσφαιρα σε κάθε περιστροφή.

Όταν πρόκειται για μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας (απαιτούνται αρκετές μονάδες βιοδίσκων) οι μονάδες διευθετούνται συνήθως με τον άξονα τους κάθετο στη ροή των λυμάτων και κατανέμονται σε διαδοχικές βαθμίδες επεξεργασίας.

Σε κάθε βιοδίσκο διαμορφώνεται ένα λεπτό βιοφίλμ. Η περιστροφή του βιοδίσκου προκαλεί ανάδευση και αντίστοιχο αερισμό στα λύματα της σκάφης. Όμως το πιο σημαντικό για τη διεργασία είναι ότι το βιοφίλμ και το στρώμα υγρού που το περιβάλλει εκτίθενται στον ατμοσφαιρικό αέρα κατά το χρονικό διάστημα που βρίσκονται εκτός των λυμάτων. Η κύρια μεταφορά οξυγόνου σε μια επιφάνεια μέσου επαφής γίνεται κατά το χρονικό διάστημα που η επιφάνεια αυτή βρίσκεται έξω από τα λύματα.

2.2.2 Μονάδες με περιστρεφόμενα μέσα επαφής

Τα μέσα επαφής είναι κυκλικοί τομείς από κυματοειδές πλαστικό φύλλο (συνήθως πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας) οι οποίοι τοποθετούνται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους (με τη βοήθεια και αποστατών) και σχηματίζουν δέσμες φύλλων μέσου επαφής. Οι δέσμες αυτές προσαρμόζονται στον άξονα της μονάδας με τη βοήθεια σωλήνων στήριξης (οι οποίοι διέρχονται δια μέσου των δεσμών) καθώς και πλευρικών στηριγμάτων. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει μια στιβαρή κατασκευή η οποία δεν παρουσιάζει τα προβλήματα που παρουσίαζαν οι αρχικές μονάδες βιοδίσκων, όπου οι βιοδίσκοι στηρίζονταν απ' ευθείας στον άξονα περιστροφής.

Αυτό που επιτυγχάνεται με τον τρόπο στήριξης είναι να διαμορφώνονται δίσκοι γύρω από τον άξονα περιστροφής οι οποίοι όμως δεν είναι συμπαγείς. Κάθε δίσκος μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από άθροισμα κυκλικών τομέων. Κάθε ένας από τους κυκλικούς αυτούς τομείς αντιστοιχεί σε μια από τις δέσμες μέσου επαφής που βρίσκονται στο ίδιο κάθετο επίπεδο γύρω από τον άξονα περιστροφής. Το σύνολο

λο των τομέων διαμορφώνει έναν κύλινδρο του οποίου η διάμετρος είναι ίση με την διάμετρο κάθε βιοδίσκου ενώ το μήκος του εξαρτάται από τον αριθμό των τομέων.

Οι διάφοροι κατασκευαστές αερόβιων μονάδων επεξεργασίας με περιστρεφόμενα μέσα επαφής έχουν και διαφορετικό σχεδιασμό των βιοτυμπάνων. Όμως όλοι οι σχεδιασμοί επιδιώκουν μεγάλη ειδική επιφάνεια και επαρκή διάκενο χώρο μεταξύ των διαδοχικών φύλλων του μέσου επαφής. Όσον αφορά την ειδική επιφάνεια διακρίνουμε διάφορους σχεδιασμούς. Ένας σχεδιασμός ονομάζεται κανονικής πυκνότητας (κανονική απόσταση μεταξύ των φύλλων του μέσου επαφής) και ένας άλλος ονομάζεται υψηλής πυκνότητας (μικρής απόστασης μεταξύ των φύλλων του μέσου).

Η ειδική επιφάνεια των μέσων επαφής κανονικής πυκνότητας είναι $110 \text{ m}^2/\text{m}^3$ και των μέσων επαφής υψηλής πυκνότητας $170 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Η διάμετρος του βιοτυμπάνου είναι συνήθως 3,66 m (12 ft), το μήκος του βιοτυμπάνου είναι 7,62 m (25ft) και ο άξονας του έχει μήκος 8,23 m (27ft). Μια τέτοια μονάδα με μέσο επαφής κανονικής πυκνότητας έχει συνολική επιφάνεια 9300 m^2 και με μέσο επαφής υψηλής πυκνότητας έχει συνολική επιφάνεια 14000 m^2 .

Το περιστρεφόμενο μέσο επαφής βυθίζεται μερικά στα λύματα. Το ποσοστό βύθισης αποτελεί σημαντική λειτουργική παράμετρο. Όσο αυξάνεται το ποσοστό βύθισης βελτιώνεται η μεταφορά οξυγόνου αλλά και απαιτείται περισσότερη ενέργεια για την περιστροφή του άξονα. Η περιστροφική ταχύτητα είναι συνήθως γύρω στις 2rpm. Η περιστροφή του άξονα γίνεται με κατάλληλο συνδυασμό κινητήρα-μειωτήρα. Μέσα στη σκάφη με τα λύματα υπάρχει δυνατότητα παροχέτευσης αέρα για βοηθητικό αερισμό. Τα φύλλα του μέσου επαφής (κυκλικοί τομείς βιοδίσκου) φέρουν αυλακώσεις (κυματοειδή φύλλα). Οι αυλακώσεις αυξάνουν την διαθέσιμη επιφάνεια και βελτιώνουν την μεταφορά μάζας. Επίσης οι αυλακώσεις αυξάνουν την ακαμψία. Οι σφηνοειδείς δέσμες του μέσου επαφής αφήνουν μεταξύ τους ακτινικά διάκενα τα οποία διευκολύνουν την στράγγιση του υγρού και την κυκλοφορία του αέρα.

Ανάλογα με το οργανικό φορτίο επιλέγεται ο ελάχιστος αριθμός μονάδων της πρώτης βαθμίδας. Ο αριθμός των βαθμίδων επιλέγεται σύμφωνα με την απαιτούμενη ποιότητα της επεξεργασμένης εκροής. Μια μονάδα επεξεργασίας αντιστοιχεί σε έναν άξονα περιστρεφόμενου μέσου επαφής (διάμετρος τυμπάνου 3,66 m, μήκος τυμπάνου περίπου 7,62 m, μήκος άξονα 8,23 m). Ο αριθμός των βαθμίδων επηρεάζει τόσο τη συγκέντρωση οργανικού υλικού στην εκροή από την τελευταία βαθμίδα όσο και το βαθμό της νιτροποίησης που επιτυγχάνεται.

Σε συστήματα με πολλές βαθμίδες προκειμένου να μην υπερφορτίζεται η πρώτη βαθμίδα είναι δυνατόν να μη τροφοδοτείται όλη η παροχή των λυμάτων σε αυτή αλλά ένα μέρος της να τροφοδοτείται στη δεύτερη βαθμίδα (βηματική τροφοδότηση λυμάτων).

Μια διαφοροποίηση στο σχεδιασμό μονάδων με περιστρεφόμενα μέσα επαφής σχετίζεται με το ποσοστό της βύθισης και με την χρησιμοποίηση αέρα όχι μόνο για εφεδρικό αερισμό αλλά και για την περιστροφή της μονάδας. Η περιστροφή του άξονα επιτυγχάνεται με τη βοήθεια καπακιών αέρα τα οποία είναι προσαρμοσμένα στα άκρα των τομέων του μέσου επαφής. Τα καπάκια αυτά έχουν τέτοιο προσανατολισμό ώστε να εγκλωβίζουν τον αέρα όταν βρίσκονται εντός του υγρού της σκάφης και δεξιότερα από τη σωλήνωση εμφύσησης του αέρα.

Υπάρχουν μονάδες που λειτουργούν με βύθιση 85% και η περιστροφή τους γίνεται με εμφύσηση αέρα. Στις μονάδες αυτές επιτυγχάνεται καλύτερος έλεγχος του πάχους του βιοφίλμ, καλύτερος έλεγχος των οσμών και οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι μικρότερες (μεγαλύτερο ποσοστό της μάζας της μονάδας δέχεται ανωστικές δυνάμεις).

Οι μονάδες με μερικά βυθισμένα περιστρεφόμενα μέσα επαφής τοποθετούνται είτε μέσα σε στεγασμένο χώρο είτε σε πλαστικά κουβούκλια κατάλληλου σχεδιασμού. Έτσι μειώνονται οι επιπτώσεις από τις χαμηλές θερμοκρασίες καθώς και οι αλλοιώσεις του πλαστικού μέσου επαφής από της επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο Αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι. Κρήτης στον υβριδικό υδροβιότοπο. Διήρκησε περίπου πέντε μήνες. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου παίρναμε δείγματα λυμάτων (σε πλαστικά μπουκάλια χωρητικότητας 0.5 l), από τα επιμέρους μηχανικά συστήματα ανά τακτά διαστήματα. Σε αυτά τα δείγματα γίνονταν αναλύσεις και μετρήσεις, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω. Επιπλέον κάναμε συνδυασμούς συστημάτων με σκοπό να δούμε ποια είναι η πιο αποτελεσματική πορεία επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Τα δείγματα τα παίρναμε μέρες, κατά τις οποίες θα είχαμε τη μικρότερη πιθανότητα να πάρουμε αλλοιωμένα αποτελέσματα (δεν παίρναμε δείγματα τις μέρες που έβρεχε και για λίγες μέρες μετά τη βροχή, καθώς και για λίγες μέρες μετά την αλλαγή συνδυασμού των συστημάτων). Παρακάτω θα γίνει μια αναφορά στα επιμέρους συστήματα του υβριδικού υδροβιότοπου, των εργαστηριακών αναλύσεων και μετρήσεων, καθώς και των συνδυασμών μεταξύ των συστημάτων.

3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΥ

Ο υβριδικός υδροβιότοπος αποτελείται από: μια είσοδο λυμάτων που έρχονται από το κέντρο βιολογικής επεξεργασίας, έναν υδροβιότοπο επιφανειακής ροής (ελεύθερης επιφάνειας FWS), έναν υδροβιότοπο υποεπιφανειακής ροής (SSF), μια μονάδα βιολογικής επεξεργασίας με τεχνολογία βιοδίσκων EKOL, μια κόμπακτ μονάδα βιοαντιδραστήρα με προσκολλημένη βιομάζα (Advantex), ένα χαλκόφιλτρο, ένα αμμόφιλτρο και μια δεξαμενή απορροής.

3.1.1 Είσοδος λυμάτων από βιολογικό

Αποτελείται από ένα μεγάλο πλαστικό δοχείο μέσα στο οποίο συγκεντρώνονταν τα επεξεργασμένα λύματα από το βιολογικό. Από εκεί τα λύματα διανέμονταν στα επιμέρους συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του υδροβιότοπου. Η διανομή γίνονταν ανά τακτά διαστήματα και σε συγκεκριμένες ποσότητες και ελέγχονταν από έναν υπολογιστή.

3.1.2 Υγροβιότοπος επιφανειακής ροής (FWS)

Για να κατασκευαστεί ο υδροβιότοπος έπρεπε πρώτα να υπολογιστεί ο υδραυλικός χρόνος παραμονής των λυμάτων, καθώς και η επιφάνεια του. Βάση τύπων ο υπολογιζόμενος υδραυλικός χρόνος παραμονής υπολογίστηκε 0,44d το χειμώνα και 0,34d το καλοκαίρι, ενώ η επιφάνεια στα 32 m². Για να πληρούνται τα όρια ασφαλείας αποφασίστηκε ο υδροβιότοπος να έχει επιφάνεια 36 m² με πλάτος 3 m και μήκος 12 m, στην οποία συμπεριλαμβάνεται η είσοδος με χαλίκι, η έξοδος και η βαθειά ανοξική ζώνη στο κέντρο.



Εικόνα 3. Υγροβιότοπος ελεύθερης επιφανείας (FWS)

3.1.3 Υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής (SSF)

Για το σύστημα υδροβιοτόπου SSF χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση σχεδιασμού Tchobanoglou και Burton (1991). Η μέση περατότητα του χαλικιού ήταν 0,45 και το βάθος λεκάνης 0,45 m. Έτσι επειδή ο χρόνος παραμονής στο πορώδες υπόστρωμα (HRT) είναι 0,5d, η επιφάνεια υπολογίστηκε στα 37 m². Για ασφάλεια και για κατασκευαστικούς λόγους, αποφασιστικέ η επιφάνεια να γίνει 40 m², πλάτους 8 m και μήκους 5 m. Αρχικά 1 m κατά μήκος είναι με χαλίκι 60 – 100 mm, καθώς και το τελευταίο 1 m (ζώνη εξόδου). Στη μέση τοποθετήθηκε χαλίκι 30 mm με τη κορυφή να καλύπτεται για 5 cm με χαλίκι 10 mm, για τη φύτευση καλαμιών.



Εικόνα 4. Υδροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής (SSF).

3.1.4 Μονάδα βιοδίσκων (EKOL)

Οι μονάδες τύπου EKOL, είναι τυποποιημένες μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία λυμάτων από μεμονωμένες κατοικίες, ξενοδοχεία, εταιρείες, σχολεία, αλλά και μικρούς οικισμούς και είναι σχεδιασμένες για παροχές από 1 έως 15 m³/μέρα. Το σύστημα EKOL είναι μια κόμπακτ μονάδα επεξεργασίας λυμάτων με τεχνολογία βιοδίσκων, αξιόπιστη και ασφαλής για το περιβάλλον και τη Δημόσια Υγεία. Τα χαρακτηριστικά αυτής της μονάδας είναι:

- Δευτεροβάθμια εκροή BOD₅ < 25 mg/l και S.S. <30 mg/l, για εισροή με BOD έως 400 mg/l
- Ελάχιστες απαιτήσεις σε επίβλεψη συντήρηση
- Μικρό βάρος και διαστάσεις
- Χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια
- Όλα τα μέρη της μονάδας είναι πλαστικά
- Αθόρυβο και πλήρως άοσμο
- Μπορεί να λειτουργεί ακόμη κι αν έχουμε ελάχιστο πληθυσμό για κάποιες περιόδους Προσαρμόζεται εύκολα σε μεγάλες διακυμάνσεις φορτίου.
- Δεν παράγει σημαντική ποσότητα βιολογικής λάσπης που να χρειάζεται συχνή απομάκρυνση

Η μονάδα που χρησιμοποιήθηκε στον υδροβιότοπο τοποθετήθηκε έτοιμη από τον κατασκευαστή με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.



Εικόνα 6. Σύστημα βιολογικής επεξεργασίας με τεχνολογία βιοδίσκων EKOL.

3.1.5 Σύστημα ADVANTEX

Έγινε παραγγελία του συστήματος επεξεργασίας λυμάτων με τεχνολογία βιοδίσκων ADVANTEX. Η βιολογική επεξεργασία αποτελείται από βιολογικά φίλτρα ADVANTEX (από την εταιρεία ORENCO SYSTEMS, USA). Τα συστήματα αυτά είναι μονάδες προσκολλημένης βιομάζας (attached growth) με πληρωτικά υλικά μεγάλης ενεργής επιφάνειας τύπου πορώδους υφάσματος, από πλαστικό υλικό υψηλής αντοχής και μεγάλων αποδόσεων επεξεργασίας. Η απόδοση τους είναι σε επίπεδο τριτοβάθμιας επεξεργασίας. Συνολικά το σύστημα ADVANTEX μαζί με τη σηπτική δεξαμενή δίνει αποδόσεις:

- Για τα BODs (βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο) και S.S. (απαιτούμενα στερεά) >98 % (συνήθως >99 %).
- Για άζωτο και φώσφορο 60 – 90 % (ανάλογα με την εποχή και τις φορτίσεις).
- Για τα μικρόβια συνολικά αφαίρεση 99,0 – 99,9 % ή 99,999 % με απλή χλωρίωση ή UV.

Η επεξεργασία είναι αερόβια και η οξυγόνωση γίνεται με φυσικό τρόπο (με απορρόφηση οξυγόνου από τον αέρα, ενώ ο προσφερόμενος εξοπλισμός εξασφαλίζει

απλά ανανέωση του αέρα στο χώρο του ADVANTEX). Τα προεπεξεργασμένα λύματα τροφοδοτούνται με μια αντλία (ανοξειδωτή) προς τα φίλτρα ADVANTEX σε μικρές ποσότητες κατά διαστήματα 1 – 3 min κάθε 20 – 30 min. Με το δίκτυο σωληνώσεων διαμοιράζονται σε όλη την επιφάνεια και διέρχονται (κατεισδύουν) μέσα στο φίλτρο με βαρύτητα, ενώ ταυτόχρονα έχουμε εισροή οξυγόνου (αέρας) με φυσικό εφελευσμό. Τα λύματα κατά τη διέλευση τους από το φίλτρο διέρχονται από το πορώδες των υφασμάτων και επιφανειακά όπου έχει προσκολληθεί βιομάζα (μικρόβια), η οποία μεταβολίζει (καταναλώνει για τροφή) τις οργανικές ουσίες των λυμάτων, παράγοντας τελικά, διοξείδιο του άνθρακα, νερό και αέριο άζωτο. Οι φορτίσεις είναι πολύ χαμηλές ανά μονάδα βιομάζας με αποτέλεσμα τον πλήρη μεταβολισμό των οργανικών ρύπων, ενώ δεν παράγεται λάσπη από τα φίλτρα ADVANTEX. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος αυτού είναι:

- Συνολική ποσότητα λυμάτων: $3,5 \text{ m}^3/\text{d}$ (αιχμή $4 \text{ m}^3/\text{d}$).
- Εκτιμώμενη ποιότητα λυμάτων: $\text{COD} = 700 - 900 \text{ ppm}$, $\text{BOD}_5 = 450 - 600 \text{ ppm}$.
- Η μονάδα έχει μια αντοχή υπέρβασης 30 – 40 % για περιόδους αιχμής.



Εικόνα 5. Σύστημα βιολογικής επεξεργασίας με τεχνολογία προσκολλημένης βιομάζας Advantex.

3.1.6 Χαλικόφιλτρο

Η συνολική επιφάνεια του χαλικόφιλτρου είναι 5 m^2 και ο όγκος $12,5 \text{ m}^3$. Είναι ένα σύστημα κάθετης ροής, στο οποίο η εισροή των λυμάτων διαχέεται αρχικά από χαλίκι $60 - 100 \text{ mm}$ με συνολική επιφάνεια 2 m πλάτος και 1 m μήκος. Στη συνέχεια η ροή των λυμάτων περνάει από βάθος $2,5 \text{ m}$ και στον πυθμένα από ένα ανοικτό κανάλι, εισέρχεται στο δεύτερο διαμέρισμα της δεξαμενής, που υπάρχει χαλίκι 30 mm και σε ύψος ξανά $2,5 \text{ m}$. Τελικά τα επεξεργασμένα λύματα καταλήγουν στο τελευταίο διαμέρισμα της δεξαμενής, στο οποίο με αντλία μεταφέρονται σε άλλη μονάδα επεξεργασίας.



Εικόνα 8. Άποψη του χαλικόφιλτρου.

3.1.7 Αμμόφιλτρο

Η συνολική επιφάνεια του αμμόφιλτρου είναι 2 m πλάτος, 1 m μήκος και 2 m βάθος ροής. Ο συνολικός όγκος της δεξαμενής είναι 8 m^3 . Η δεξαμενή κατασκευάστηκε έτσι ώστε να μπορεί να δεχτεί φορτίσεις τόσο από την επιφάνεια όσο και από τον πυθμένα της δεξαμενής.



Εικόνα 9. Άποψη του αμμόφιλτρου

3.1.8 Δεξαμενή απορροής

Η δεξαμενή απορροής είναι εκεί που καταλήγουν τα λύματα μετά από την επεξεργασία στον υδροβιότοπο, ώστε να επιστρέψουν στο βιολογικό.



Εικόνα 2. Σύστημα αντλιών στην δεξαμενή απορροής.

3.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Μετά τη συλλογή των δειγμάτων, γίνονται στο εργαστήριο οι παρακάτω μετρήσεις: μέτρηση PH, ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), ολικός φώσφορος (P), ολικό άζωτο (N), νιτρικά (NO^3), αμμωνιακά (NH^4), ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS), χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD). Παρακάτω γίνεται ανάλυση της κάθε μεθόδου. Για κάθε σύστημα του υδροβιοτόπου γίνονται ξεχωριστή μέτρηση.

3.2.1 Μέθοδος μέτρησης PH

Η μέτρηση του pH γίνονται στο πεχάμετρο. Πρώτα καθαρίζονται οι πόλοι του πεχάμετρου με αποστειρωμένο νερό και μετά βυθίζονται σε ένα ποτήρι που περιείχε μέρος του δείγματος των λυμάτων και παίρναμε τη μέτρηση.

3.2.2 Μέθοδος μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC)

Ομοίως και η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας παίρνονταν από το αγωγιμόμετρο. Βυθίζοντας τους πόλους σε ένα ποτήρι που περιείχε το δείγμα παίρναμε τη μέτρηση την οποία έπρεπε να πολλαπλασιάσουμε με ένα συντελεστή f (συντελεστής διόρθωσης λόγω θερμοκρασίας), ώστε να πάρουμε την κανονική αγωγιμότητα.

3.2.3 Μέθοδος μέτρησης αμμωνιακών ιόντων (NH_4^+)

Για να μετρηθούν τα αμμωνιακά των δειγμάτων χρησιμοποιούνταν ειδικές κυψέλες. Πρώτα παίρναμε 1 ml από το δείγμα και το τοποθετούσαμε στην κυψέλη, κλείναμε και ανακατεύαμε. Μετά γινόταν προσθήκη μιας δόσης (συγκεκριμένη ποσότητα με τη χρήση του ειδικού μπλε καπακιού) ενός αντιδραστηρίου ($\text{NH}_4 - 1\text{K}$) και ανακατεύαμε δυνατά. Αφήναμε την κυψέλη για 15 λεπτά να γίνουν οι αντιδράσεις και μετά μετρούσαμε στο φωτόμετρο στα 640 nm.

3.2.4 Μέθοδος μέτρησης ολικού φωσφόρου ($\text{PO}_4 - \text{P}$)

Για να μετρηθεί ο ολικός φώσφορος των δειγμάτων χρησιμοποιούνταν ειδικές κυψέλες. Πρώτα παίρναμε 1 ml από το δείγμα και το τοποθετούσαμε στην κυψέλη. Μετά γινόταν προσθήκη μιας δόσης (συγκεκριμένη ποσότητα με τη χρήση του ειδικού πράσινου καπακιού) ενός αντιδραστηρίου ($\text{P} - 1\text{K}$) και ανακατεύαμε δυνατά.

Μετά οι κυψέλες τοποθετούνταν στον φούρνο στους 120 °C για 30 λεπτά. Μετά το πέρας του χρόνου οι κυψέλες αφήνονταν μέχρι να αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου. Έπειτα γίνονταν προσθήκη 5 σταγόνων αντιδραστηρίου (P – 2K), κλείσιμο και καλό ανακάτεμα. Μετά οι κυψέλες ανοίγονταν και γινόταν προσθήκη μιας δόσης (συγκεκριμένη ποσότητα με τη χρήση του ειδικού κατακτιού) ενός τρίτου αντιδραστηρίου (P – 3K), κλείσιμο και καλό ανακάτεμα. Μετά οι κυψέλες αφήνονταν για 5 λεπτά να γίνουν οι αντιδράσεις και μετρούσαμε στο φωτόμετρο στα 880 nm.

3.2.5 Μέθοδος μέτρησης ολικού αζώτου (N)

Η μέτρηση του ολικού αζώτου των δειγμάτων γινόταν με ειδικές κυψέλες. Πρώτα παίρναμε μια άδεια κυψέλη και τοποθετούσαμε 1 ml δείγμα και 9 ml νερό, κλείναμε και ανακατεύαμε. Μετά γινόταν προσθήκη μιας δόσης (συγκεκριμένη ποσότητα με τη χρήση του ειδικού μπλε κουταλιού) ενός αντιδραστηρίου (N – 1K) και ανακατεύαμε. Ακολουθούσε προσθήκη 6 σταγόνων από ένα δεύτερο αντιδραστήριο (N – 2K), κλείσιμο και ανακάτεμα. Μετά οι κυψέλες τοποθετούνταν στον φούρνο στους 120 °C για 60 λεπτά. Μετά το πέρας του χρόνου αφήναμε τις κυψέλες να αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου. Μετά παίρναμε 1 ml από το χωνεμένο δείγμα και το τοποθετούσαμε στις ειδικές κυψέλες μαζί με 1 ml από ένα τρίτο αντιδραστήριο (N – 3K), κλείναμε και ανακατεύαμε για 1 λεπτό. Αφήναμε τις κυψέλες για 10 λεπτά να γίνουν οι αντιδράσεις και μετρούσαμε στο φωτόμετρο στα 324 nm.

3.2.6 Μέθοδος μέτρησης νιτρικών (NO₃ – N)

Η μέτρηση των νιτρικών των δειγμάτων γινόταν με τη χρήση ειδικών κυψελών. Πρώτα τοποθετούσαμε στην κυψέλη μια δόση (συγκεκριμένη ποσότητα με τη χρήση του μπλε κουταλιού) ενός αντιδραστηρίου (NO₃ – 1K), κλείναμε και ανακατεύαμε δυνατά για 1 λεπτό. Μετά προσθέταμε 1,5 ml δείγματος και ανακατεύαμε δυνατά, προσέχοντας καθώς η κυψέλη θερμαινόταν. Μετά αφήναμε για 10 λεπτά να γίνουν οι αντιδράσεις και μετρούσαμε στο φωτόμετρο στα 517 nm.

3.2.7 Μέθοδος μέτρησης χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD)

Για να μετρήσουμε το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο των δειγμάτων μας, τοποθετούσαμε σε μια άδεια κυψέλη 2 ml δείγματος, μαζί με 1,2 ml διχρωμικού καλίου ($K_2Cr_2O_7$). Μετά το διάλυμα οξειδώνονταν σε 2,8 ml θερμού διαλύματος θειικού οξέος (H_2SO_4), παρουσία καταλύτη θειικού αργύρου ($(Ag)_2SO_4$). Μετά η κυψέλη τοποθετούνταν στο φούρνο για 2 ώρες στους 148 °C. Μετά το πέρας των 2 ωρών τα δείγματα αφήνονταν για να αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου και μετρούσαμε στο φωτόμετρο στα 605 nm.

3.2.8 Μέθοδος μέτρησης ολικά αιωρούμενων στερεών (TSS)

Για να μετρήσουμε τα ολικά αιωρούμενα στερεά των δειγμάτων, πρώτα παίρναμε ειδικά φίλτρα διηθήσεως (ένα για κάθε δείγμα) και ζυγίζαμε το βάρος τους. Μετά τα τοποθετούσαμε στη διηθητική συσκευή και διηθούσαμε 100 ml από το κάθε δείγμα. Σε κάθε αλλαγή δείγματος η διηθητική συσκευή ξεπλένονταν με απιονισμένο νερό. Μετά βάζαμε τα φίλτρα σε αλουμινόχαρτο και τα τοποθετούσαμε στο φούρνο στους 105 °C, για τουλάχιστον 24 ώρες. Μετά αφού τα βγάzaμε από το φούρνο τα αφήναμε στον ξηραντήρα για να αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου. Και τέλος ζυγίζαμε ξανά τα φίλτρα και βρίσκαμε την ποσότητα από τη διαφορά της δεύτερης μέτρησης από την αρχική.

3.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιο ενδιαφέροντες συνδυασμοί συστημάτων που μελετήθηκαν.

Συνδυασμός 1.



Χαλικόφιλτρο



Βιοδίσκος



Υγροβιότοπος FWS

Συνδυασμός 2.



Υγροβιότοπος SSF



Advantex



Αμμόφιλτρο

Συνδυασμός 3.



Χαλικόφιλτρο



Υγροβιότοπος FWS



Advantex

Συνδυασμός 4.



Υγροβιότοπος SSF



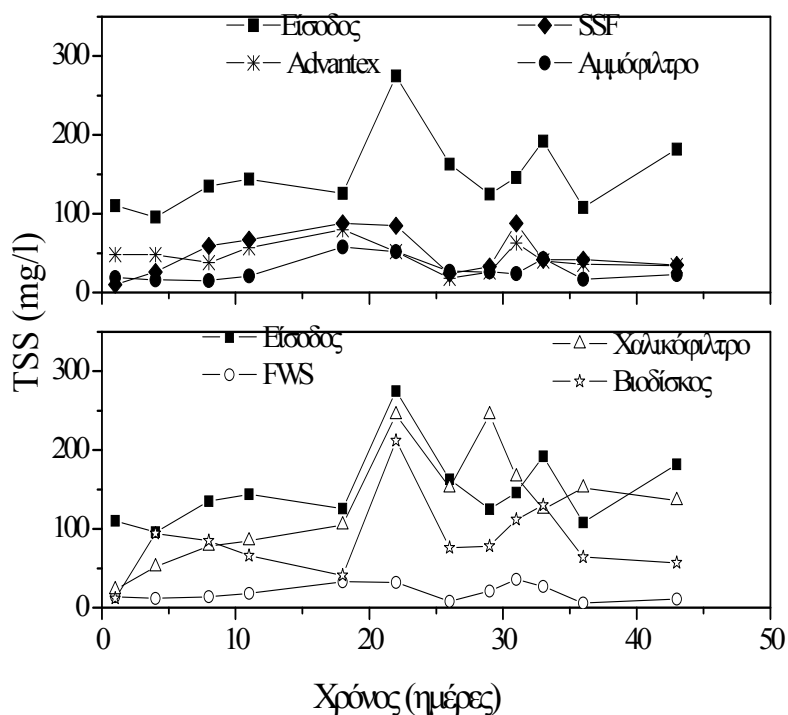
Βιοδίσκος



Αμμόφιλτρο

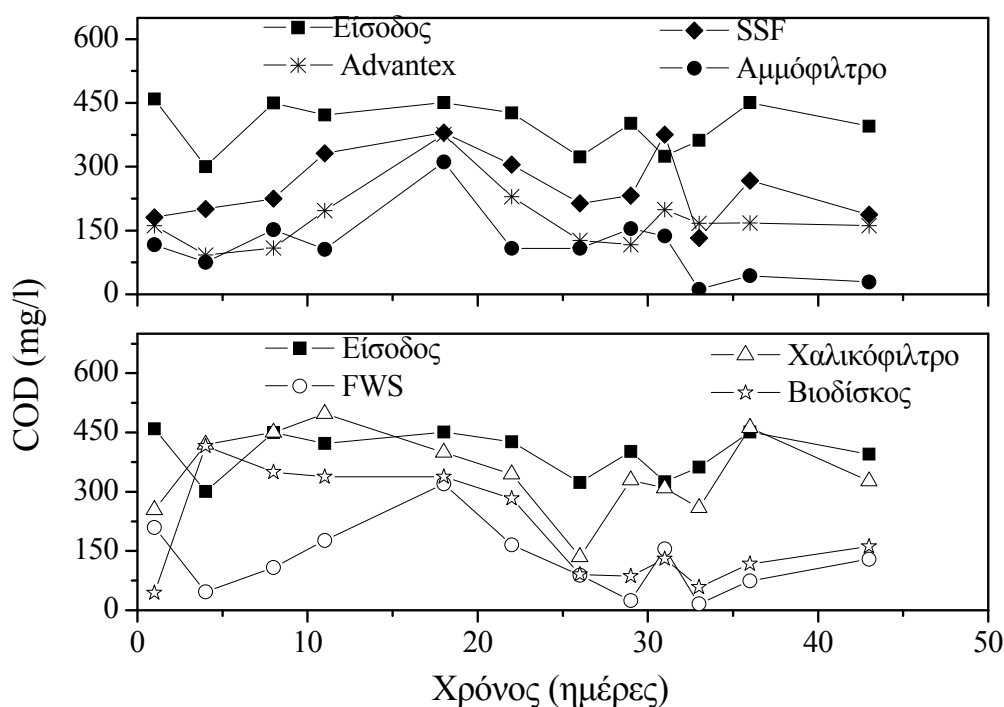
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο σχήμα 1 φαίνεται η μεταβολή των ολικών αιωρούμενων στερεών κατά την διάρκεια λειτουργίας των συνδυασμών 1 και 2 των μονάδων. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα που αφορά τον συνδυασμό 1 (κάτω διάγραμμα) τα ολικά αιωρούμενα στερεά σωματίδια απομακρύνονταν σταδιακά καθώς περνούσαν από τα επιμέρους συστήματα του συνδυασμού. Αντίθετα στον συνδυασμό 2 (πάνω διάγραμμα) ο υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής μείωσε δραματικά την συγκέντρωση τους.



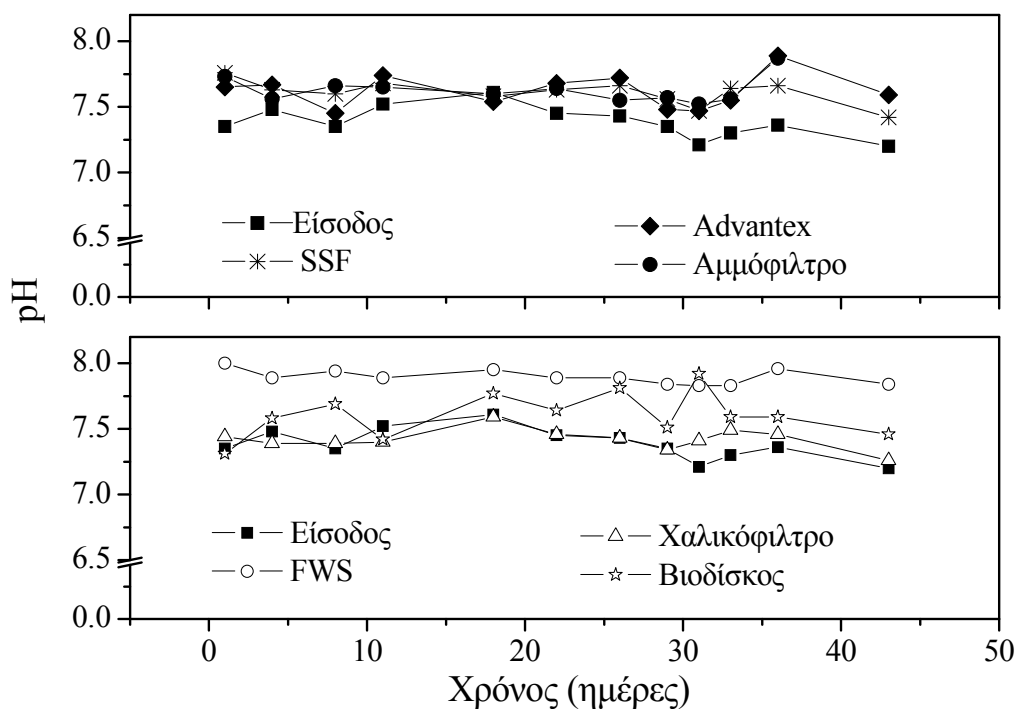
Σχήμα 1. Μεταβολή των ολικών αιωρούμενων στερεών κατά την διάρκεια λειτουργίας των συνδυασμών (1 και 2) των μονάδων.

Στο σχήμα 2 φαίνεται η μεταβολή του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου κατά την διάρκεια λειτουργίας των συνδυασμών 1 και 2. Στον συνδυασμό 1 (κάτω διάγραμμα) το χαλκόφιλτρο μεταβάλλει ελάχιστα ως λίγο την συγκέντρωση του COD, σε αντίθεση με το βιοδίσκο που την μειώνει αρκετά από την 25^η μέρα και μετά. Επίσης το σύστημα FWS μειώνει αρκετά τις πρώτες 12 μέρες. Η συγκέντρωση σχεδόν μηδενίζεται τις μέρες 29 και 32. Στον συνδυασμό 2 (πάνω διάγραμμα) το σύστημα SSF (σαν πρώτο σύστημα) μειώνει αισθητά την συγκέντρωση COD και το αμμόφιλτρο (σαν τρίτο σύστημα) φτάνει σε σημείο σχεδόν να την μηδενίσει (33^η μέρα).



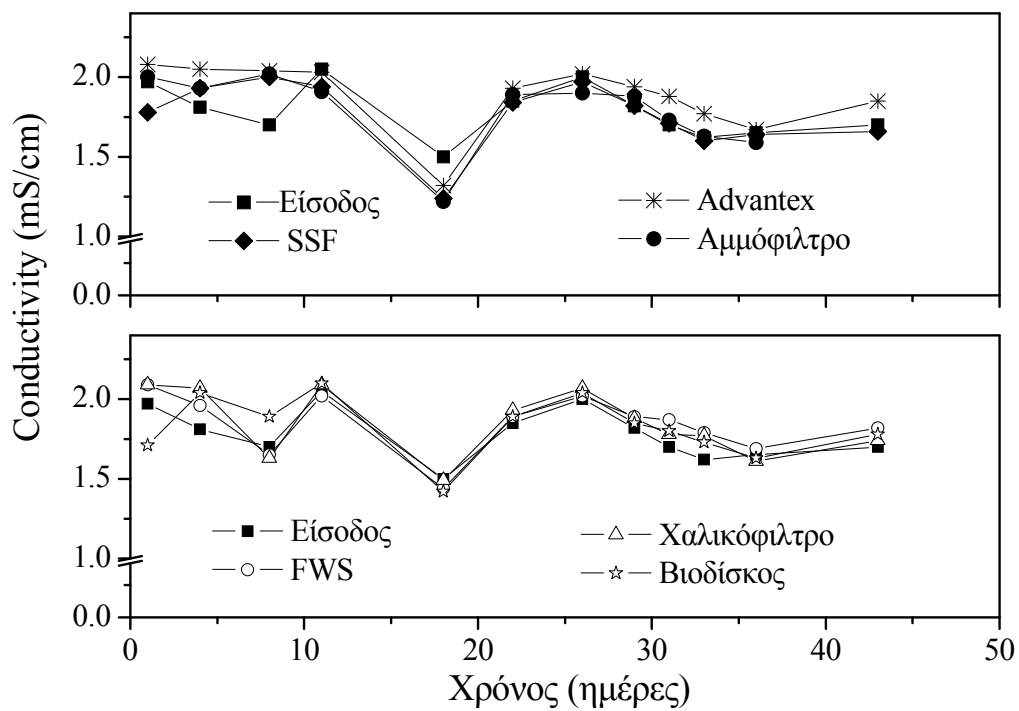
Σχήμα 2. Μεταβολή του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου κατά την διάρκεια λειτουργίας των συνδυασμών (1 και 2) των μονάδων.

Στο σχήμα 3 φαίνεται η μεταβολή του pH κατά την διάρκεια λειτουργίας των συνδυασμών 1 και 2. Στον συνδυασμό 2 (κάτω διάγραμμα) οι μεταβολές του pH είναι σχεδόν μηδαμινές (+0,05 - 0,2) από σύστημα σε σύστημα., ενώ στον συνδυασμό 1 (πάνω διάγραμμα) οι μεταβολές είναι παρόμοιες, με την διαφορά ότι ο υγροβιότοπος επιφανειακής ροής αυξάνει το pH κατά 0,5. Και στους δύο συνδυασμούς ο μέσος όρος του pH κυμαίνεται από 7,4 – 7,6. Όποτε μπορούμε να πούμε ότι κανένα σύστημα δεν μεταβάλλει το pH σημαντικά.



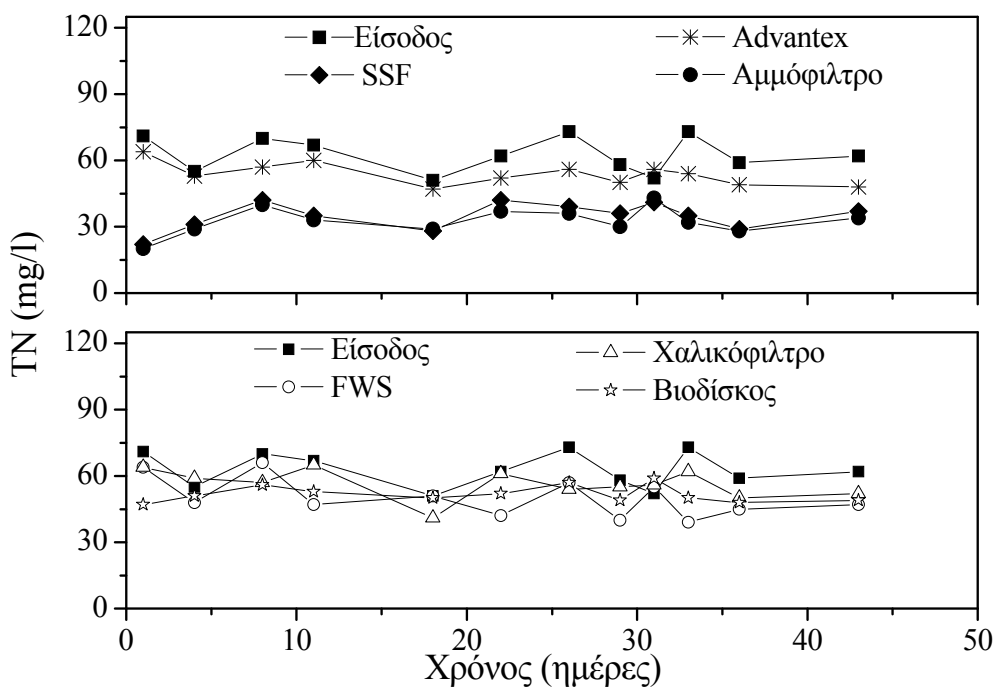
Σχήμα 3. Μεταβολή του pH κατά την διάρκεια λειτουργίας των συνδυασμών (1 και 2) των μονάδων.

Στο σχήμα 4 φαίνεται η μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά την διάρκεια λειτουργίας των συνδυασμών 1 και 2. Όπως βλέπουμε η μεταβολή είναι σχεδόν μηδαμινή από σύστημα σε σύστημα και για τους δυο συνδυασμούς. Άρα μπορούμε να πούμε ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν μεταβάλλεται κατά την διάρκεια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Η μέση τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνεται μεταξύ 1,8 – 2,0 και στους δυο συνδυασμούς.



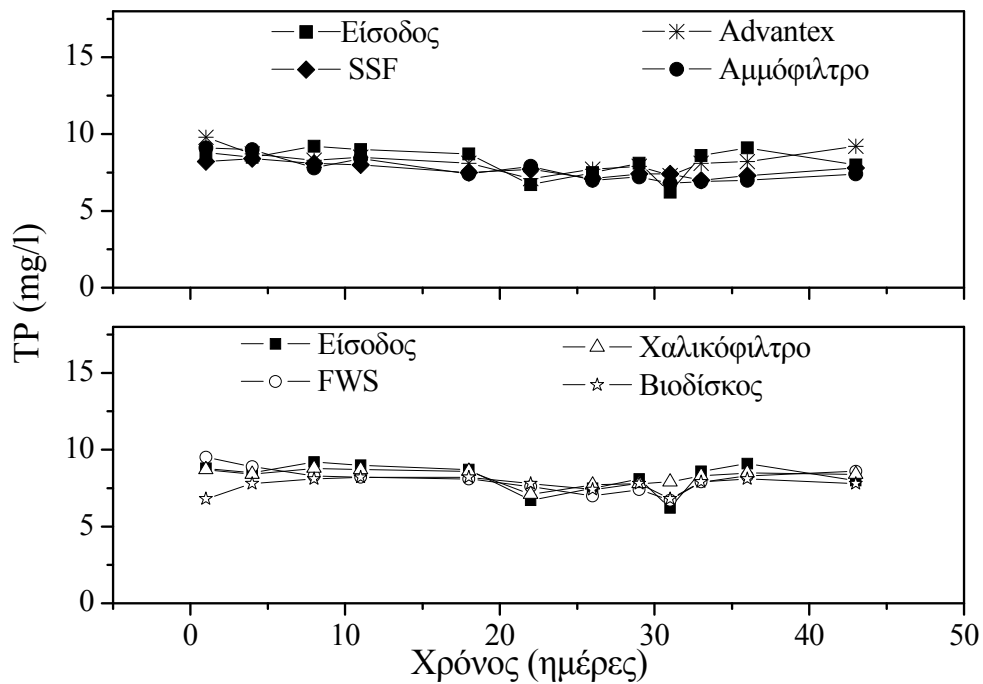
Σχήμα 4. Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά την διάρκεια λειτουργίας των συνδυασμών (1 και 2) των μονάδων.

Στο σχήμα 5 φαίνεται η μεταβολή του ολικού αζώτου κατά την διάρκεια λειτουργίας των συνδυασμών 1 και 2. Στον συνδυασμό 1 (κάτω διάγραμμα) η μεταβολή του ολικού αζώτου είναι σχεδόν μηδαμινή, καθώς κανένα σύστημα δεν φαίνεται να μειώνει σημαντικά την συγκέντρωσή του. Στον συνδυασμό 2 (πάνω διάγραμμα) έχουμε μείωση, που όπως παρατηρούμε, φτάνει μέχρι το 50 %.



Σχήμα 5. Μεταβολή του ολικού αζώτου κατά την διάρκεια λειτουργίας των συνδυασμών (1 και 2) των μονάδων.

Στο σχήμα 6 φαίνεται η μεταβολή των φωσφορικών ιόντων κατά την διάρκεια λειτουργίας των συνδυασμών 1 και 2. Όπως φαίνεται και στα δυο διαγράμματα η μεταβολή είναι ελάχιστη ως μηδαμινή από σύστημα σε σύστημα και στους δυο συνδυασμούς. Άρα μπορούμε να πούμε ότι η συγκέντρωση φωσφορικών ιόντων δεν μεταβάλλεται κατά την διάρκεια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων



Σχήμα 6. Μεταβολή των φωσφορικών ιόντων κατά την διάρκεια λειτουργίας των μονάδων

Πίνακας 1. Μέσες τιμές και σχετικό σφάλμα για διάφορες χημικές αναλύσεις στην εισροή λυμάτων και στις επεξεργασμένες απορροές από τα συστήματα κατά την διάρκεια λειτουργίας των συνδυασμών τους.

	COD (mg/l)		TSS (mg/l)		TN (mg/l)		TP (mg/l)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Συνδυασμός 1.								
Είσοδος	397	56	150	48	62.7	7.9	8.2	0.9
Χαλικόφιλτρο	348	103	130	68	56.3	6.7	8.2	0.6
Βιοδίσκος	200	133	85	50	51.7	3.8	7.7	0.5
FWS	126	86	19	10	50.0	8.8	8.0	0.8
Συνδυασμός 2.								
Είσοδος	397	56	150	48	62.7	7.9	8.2	0.9
SSF	252	79	49	27	53.8	5.1	8.2	0.8
Advantex	175	74	45	16	34.7	6.2	7.6	0.5
Αμμόφιλτρο	112	77	28	14	32.5	6.1	7.5	0.7
Συνδυασμός 3.								
Είσοδος	407	63	164	37	63.2	7.4	8.3	1.1
Χαλικόφιλτρο	344	85	134	59	57.4	7.1	8.2	0.8
FWS	212	77	93	57	52.1	4.8	8.2	0.6
Advantex	131	55	50	31	31.4	3.8	7.5	0.5
Συνδυασμός 4.								
Είσοδος	407	63	164	37	63.2	7.4	8.3	1.1
SSF	264	78	53	22	54.5	6.8	8.1	0.5
Βιοδίσκος	102	49	13	15	40.2	5.9	7.2	0.7
Αμμόφιλτρο	74	58	9	11	38.4	6.2	7.1	0.6

Πίνακας 2. Ποσοστά απομάκρυνσης των ρύπων από κάθε σύστημα.

	COD (%)	TSS (%)	TN (%)	TP (%)
Συνδυασμός 1.				
Χαλικόφιλτρο	12	13	10	0
Βιοδίσκος	50	43	18	2
FWS	68	87	20	6
Συνδυασμός 2.				
SSF	37	67	14	0
Advantex	56	70	45	7
Αμμόφιλτρο	72	81	48	9
Συνδυασμός 3.				
Χαλικόφιλτρο	15	18	9	1
FWS	48	43	18	1
Advantex	68	70	50	10
Συνδυασμός 4.				
SSF	35	68	14	2
Βιοδίσκος	75	92	36	13
Αμμόφιλτρο	82	95	39	14

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σκοπός του πειράματος ήταν η αξιολόγηση μηχανικών συστημάτων και τεχνητών υγροβιότοπων στην επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων. Τα συστήματα δεν αξιολογήθηκαν ξεχωριστά αλλά σε συνδυασμό μεταξύ τους, με σκοπό να βρούμε τον πιο αποδοτικό συνδυασμό. Οι συνδυασμοί που έγιναν ήταν τέσσερις :

- a. Χαλικόφιλτρο → Βιοδίσκος → Υγροβιότοπος επιφανειακής ροής
- b. Υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής → Σύστημα ADVANTEX → Αμμόφιλτρο
- c. Χαλικόφιλτρο → Υγροβιότοπος επιφανειακής ροής → Σύστημα ADVANTEX
- d. Υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής → Βιοδίσκος → Αμμόφιλτρο

Παρακάτω θα αναφερόμαστε στους συνδυασμούς σαν Σ1, Σ2, Σ3 και Σ4 αντίστοιχα.

Συγκρίνουμε, με τη βοήθεια του πίνακα 1, τους τέσσερις συνδυασμούς ως προς την μεταβολή των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (TSS). Στον Σ1 βλέπουμε ότι η συγκέντρωση στην εισροή λυμάτων είναι 150 ± 48 mg/l, ενώ στην επεξεργασμένη απορροή είναι 19 ± 10 mg/l. Στον Σ2 η συγκέντρωση στην εισροή λυμάτων είναι ίδια ενώ στην επεξεργασμένη απορροή είναι 28 ± 14 mg/l. Στον Σ3 και Σ4 η συγκέντρωση στις εισροές λυμάτων είναι 164 ± 37 mg/l ενώ στις επεξεργασμένες απορροές είναι 50 ± 30 mg/l και 9 ± 11 mg/l αντίστοιχα. Από τις παραπάνω τιμές βγάζουμε το συμπέρασμα ότι ο Σ4 και ο Σ1 είναι αποδοτικότεροι στην απομάκρυνση ολικών αιωρούμενων σωματιδίων.

Επίσης όσον αφορά την μείωση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD), παρατηρούμε ότι, στον Σ1 και Σ2 η συγκέντρωση στις εισροές λυμάτων είναι 397 ± 56 mg/l, ενώ στις επεξεργασμένες απορροές είναι 126 ± 86 mg/l και 112 ± 77 mg/l αντίστοιχα. Αντίθετα στον Σ3 και Σ4 στις εισροές λυμάτων είναι 407 ± 63 mg/l, ενώ στις επεξεργασμένες απορροές είναι 131 ± 35 mg/l και 74 ± 58 mg/l αντίστοιχα. Άρα συμπεραίνουμε ότι ο αποδοτικότερος συνδυασμός συστημάτων στην μείωση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου είναι ο Σ4.

Επιπροσθέτως, αναφορικά με τη μείωση της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου (TN), παρατηρούμε ότι στους συνδυασμούς Σ1 και Σ2 η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στις εισροές λυμάτων είναι $62,7 \pm 7,9$ mg/l ενώ στις επεξεργασμένες απορροές είναι $50 \pm 8,8$ mg/l και $32,5 \pm 6,1$ mg/l αντίστοιχα. Στους συνδυασμούς Σ3 και Σ4 η συγκέντρωση στις εισροές λυμάτων είναι $63,2 \pm 7,4$ mg/l ενώ στις επεξεργασμένες απορροές $31,4 \pm 3,8$ mg/l και $31,4 \pm 6,2$ mg/l αντίστοιχα. Όπως βλέπουμε ο συνδυασμός Σ1 είναι ο λιγότερο παραγωγικός ενώ από τους άλλους τρεις ο πιο παραγωγικός φαίνεται ότι είναι ο Σ3 και Σ4.

Τέλος σχετικά με την μείωση των φωσφορικών ιόντων (TP), βλέπουμε ότι στους συνδυασμούς Σ1 και Σ2 η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων στις εισροές λυμάτων είναι $8,2 \pm 0,9$ mg/l ενώ στις επεξεργασμένες απορροές είναι $8,0 \pm 0,8$ mg/l και $7,5 \pm 0,7$ mg/l αντίστοιχα. Στους συνδυασμούς Σ3 και Σ4 η συγκέντρωση στις εισροές είναι $8,3 \pm 1,1$ mg/l ενώ στις επεξεργασμένες απορροές είναι $7,5 \pm 0,5$ mg/l και $7,1 \pm 0,6$ mg/l αντίστοιχα. Όπως φαίνεται κανένα σύστημα δεν μπορεί να θεωρηθεί ιδιαίτερα αποδοτικό ως προς την απομάκρυνση των φωσφορικών ιόντων, ενώ ο συνδυασμός Σ4 θεωρείται ο αποδοτικότερος από όλους καθώς μεταβάλλει περισσότερο την συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων.

Κάνοντας σύγκριση στο συνολικό ποσοστό απομάκρυνσης COD για κάθε συνδυασμό, παρατηρούμε ότι οι συνδυασμοί Σ1, Σ2 και Σ3 απομακρύνουν το 68 – 72 % της συνολικής συγκέντρωσης σε αντίθεση με τον Σ4 που η απόδοση του φτάνει το 82 %. Επίσης παρατηρούμε ότι και στους δυο συνδυασμούς (Σ1 και Σ3) η απόδοση του χαλικόφιλτρου είναι πάρα πολύ μικρή (12-13 %). Αντίθετα η απόδοση του SSF είναι 35-37 %, δηλαδή απομακρύνει πάνω από το 1/3 του COD.

Από τα ποσοστά απομάκρυνσης TSS που φαίνονται στον πίνακα 2, παρατηρούμε ότι όλοι οι συνδυασμοί απομακρύνουν πάνω από 70 % της συγκέντρωσης. Βλέπουμε ότι ο συνδυασμός Σ4 απομακρύνει μέχρι και το 95 % της συνολικής συγκέντρωσης, δηλαδή σχεδόν όλα τα ολικά αιωρούμενα στερεά. Γενικά αν εξαιρέσουμε τον συνδυασμό Σ3 οι υπόλοιποι 3 συνδυασμοί θεωρούνται πάρα πολύ αποδοτικοί. Το λιγότερο αποδοτικό σύστημα φαίνεται να είναι το χαλικόφιλτρο ενώ το SSF φαίνεται να είναι ιδιαίτερα αποδοτικό.

Αναφορικά με την απομάκρυνση TN και κάνοντας χρήση του πίνακα 2 παρατηρούμε ότι ο Σ1 είναι ο λιγότερο αποδοτικός με ποσοστό απομάκρυνσης 20 % ενώ οι Σ2 και Σ3 είναι αποδοτικότεροι με ποσοστό που φτάνει το 50 %. Πάντως και εδώ φαίνεται ότι το χαλκικό φίλτρο είναι το λιγότερο αποδοτικό σύστημα. Αντίθετα το σύστημα ADVANTEX είναι το αποδοτικότερο.

Και τέλος με την βοήθεια του πίνακα 2 βλέπουμε ότι κανένα σύστημα δεν μπορεί να θεωρηθεί ιδιαίτερα αποδοτικό στην απομάκρυνση TP. Με τους συνδυασμούς Σ1, Σ2 και Σ3 να μην ξεπερνούν το 10 % και τον Σ4 να φτάνει μόλις το 14 % μπορούμε να πούμε ότι τα συστήματα που χρησιμοποιήσαμε δεν είναι κατάλληλα για απομάκρυνση φωσφορικών ιόντων.

Συγκρίνοντας και τα τέσσερα συστήματα μεταξύ τους συνολικά ως προς την απομάκρυνση ρύπων μπορούμε να πούμε ότι αποδοτικότερος συνδυασμός είναι ο Σ4 αφού απομακρύνει σχεδόν όλο το COD και TSS και μια ικανοποιητική ποσότητα αζώτου. Από την άλλη πλευρά ο Σ1 μπορεί να θεωρηθεί αποδοτικός στην απομάκρυνση TSS, ενώ ο Σ2 στην απομάκρυνση TSS και TN. Τέλος ο Σ3 είναι αποδοτικός στην απομάκρυνση TN.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αγγελάκης Α.Ν., Tchobanoglous G., «Υγρά απόβλητα: φυσικά συστήματα επεξεργασίας, επαναχρησιμοποίηση και διάθεση εκροών», Ηράκλειο 1995, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Σελ. 464

Μαρκαντωνάτος Γρηγόρης, «Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων», Αθήνα 1990, Σελ. 738

Τσώνης Π. Στυλιανός, «Επεξεργασία λυμάτων», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2004, Σελ. 510

Τσώνης Π. Στυλιανός, «Καθαρισμός νερού», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2003. Σελ. 450

Binnie C., Kimber M., Smethurst G., «Basic water treatment», Cambridge 2002, Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, Third edition, Pages 292

Crite W. Ronald, Middlebrooks E. Joe, Reed C. Sherwood, «Natural wastewater treatment systems», New York 2006, CRC Press, Taylor & Francis Group, Pages 552

Metcalf & Eddy, Inc., revised by Tchobanoglous G., Burton L. Franklin, Stensel H. David, «Μηχανική υγρών αποβλήτων, επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση», Θεσσαλονίκη 2006, Εκδόσεις Τζιόλα, Τέταρτη έκδοση, Τόμος Α, Σελ. 1102

Metcalf & Eddy, Inc., revised by Tchobanoglous G., Burton L. Franklin, Stensel H. David, «Μηχανική υγρών αποβλήτων, επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση», Θεσσαλονίκη 2007, Εκδόσεις Τζιόλα, Τέταρτη έκδοση, Τόμος Β, Σελ. 1059