



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ

ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ
75% ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
25% ΕΘΝΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ



ΠΑΙΔΕΙΑ ΜΠΡΟΣΤΑ
2^ο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Εκπαίδευσης και Αρχικής
Επαγγελματικής Κατάρτισης

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΜΣ “ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ”**



**Διπλωματική εργασία με τίτλο:
«Φυσικά Συστήματα, Τεχνητοί Υγρότοποι Επεξεργασίας Υγρών
Αποβλήτων, Εφαρμογές και Συγκριτικά Αποτελέσματα»**

**ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ
Μίμης Στυλιανός
ΑΜ:145/200513**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Πέτρος Γαγάνης
Επικ. Καθηγητής
Τμήμα Περιβάλλοντος,
Πανεπιστήμιο Αιγαίου**

Μυτιλήνη, Οκτώβριος 2006

	Σελίδες
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	5
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	9
2.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	10
2.1 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ	10
2.1.1 Β.Ο.Δ. (οργανικό φορτίο)	11
2.1.2 Αιωρούμενα Στερεά	13
2.1.3 Άζωτο	13
2.1.3.1 Οργανικό άζωτο	14
2.1.3.2 Αμμωνιακό άζωτο	14
2.1.3.3 Νιτρικό άζωτο	15
2.1.4 Φωσφόρος	16
2.1.5 Μέταλλα	17
2.1.6 Λίπη & Έλαια	18
2.1.7 Ανόργανα ιχνοστοιχεία	19
2.1.7.1 Βόριο	20
2.1.7.2 Σελήνιο	20
2.1.7.3 Αρσενικό	20
2.1.7.4 Νάτριο	20
2.1.7.5 Θείο	21
2.1.7.6 Κάλιο	21
2.1.8 Ίχνη Οργανικών	22
2.1.9 Παθογόνοι μικροοργανισμοί	22
2.2 ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.	23
2.2.1. Μηχανισμοί επεξεργασίας στους υγροτόπους	24
2.2.2 Οι Τεχνητοί Υγρότοποι ως μέσο διαχείρισης λυμάτων και διατήρησης της εδαφικής ποιότητας	26
2.2.3 Σύντομη ιστορική σνσδρομή της ανάπτυξης των Φυσικών Συστημάτων Επεξεργασίας Υγρών αποβλήτων	30
2.3 ΤΥΠΟΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.	33

2.3.1 Βραδεία Εφαρμογή	35
2.3.2 Ταχεία Διήθηση ή Εφαρμογή	35
2.3.3 Επιφανειακή Ροή	37
2.3.4 Υγρότοποι	38
2.3.4.1 Φυσικοί υγρότοποι	39
2.3.4.2 Τεχνητοί υγρότοποι	40
2.3.4.2.1 Συστήματα Επιπλεόντων Υδροχαρών Φυτών	41
2.3.4.2.2 Υδατοκαλλιέργεια	41
2.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ	42
ΤΩΝ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ.	
2.4.1 Εκτίμηση και Επιλογή θέσης	42
2.4.2 Προεπεξεργασία Υγρών Αποβλήτων	44
2.4.3 Στοιχεία φυτών των υγροτόπων	44
2.4.4 Παράμετροι Σχεδιασμού	46
2.4.4.1 Υδραυλικός Χρόνος Παρακράτησης	47
2.4.4.2 Βάθος Νερού	51
2.4.4.3 Γεωμετρία και έκταση λεκάνης	52
2.4.4.4 Ρυθμός Εφαρμογής Φορτίου BOD ₅	54
2.4.4.5 Παροχή εισόδου	56
2.4.4.6 Έλεγχος Φορέων Εντόμων	56
2.5 ΤΕΧΝΗΤΟΙ ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥΣ ΣΕ ΕΛΛΑΔΙΚΟ	57
ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟ.	
2.5.1 Εφαρμογές Τεχνητών Υγροτόπων Στην Ελλάδα.	57
2.5.1.1 Τεχνητός Υγρότοπος Καλλιθέας- Λευκώνα Δήμου Πρεσπών.	57
2.5.1.2 Τεχνητός Υγρότοπος Αγ. Γερμανού-Λαιμού-Πλατέως Δήμου Πρεσπών.	58
2.5.1.3 Τεχνητός Υγρότοπος Νέας Μαδύτου- Μόδι.	58
2.6 ΠΙΛΟΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ	59
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ ΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	
2.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ	60
2.7.1 Τεχνητοί Υγρότοποι στη Γαλλία και Γερμανία.	61
2.7.2 Υβριδικό Σύστημα (μικτό)(φυτεμένα φίλτρα κάθετης και οριζόντιας	62
ροής):περίπτωση του Oaklands Park, Newnham-on-Severn, Gloucestershire (Ηνωμένο	
Βασίλειο).	

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	64
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	67
4.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	67
4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	68
4.3 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	73
4.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	75
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	76
5.1 ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	77
5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	80
5.2.1 (Βιο)χημικές Αναλύσεις	80
5.2.2 Μικροβιολογικές Αναλύσεις	83
5.2.3 Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων	92
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	96
7. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	98
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	100
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	104
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	105
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ	106
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV	107

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ, την Αμερικανική Γεωργική Σχολή Θεσσαλονίκης για τη δυνατότητα που μου έδωσε, ώστε να πραγματοποιήσω το πειραματικό μέρος της εργασίας στα εργαστήρια της σχολής. Τα στοιχεία τα οποία συγκέντρωσα, περιγραφικά, λειτουργικά, αλλά και από δικές μου εργαστηριακές μετρήσεις και υπολογισμούς στα λύματα, με βοήθησαν στη συγγραφή της εργασίας αυτής.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον επιβλέπωντα Καθηγητή της εργασίας και Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου ΔΡ, Πέτρο Γαγάνη καθώς και τον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας ΔΡ. Νικόλαο Σουλακέλλη για την πολύτιμη βοήθεια όλη τη χρονιά αλλά και για την πραγματοποίηση της ανάλυσης της αεροφωτογραφίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα το Διευθυντή του τμήματος Τεχνικών Έργων και Περιβάλλοντος MsC. Πολιτικό Μηχανικό Αντώνιο Πετρά καθώς και τον MsC Περιβαλλοντολόγο Πολιτικό Μηχανικό, Νικόλαο Νικολαΐδη, ανεξάρτητο μελετητή της Αμερικανικής Γεωργικής Σχολής για την πολύτιμη βοήθεια τους σε ότι χρειάστηκα και την απεριόριστη υπομονή τους.

Ένα ευχαριστώ είναι πολύ λίγο για τους γονείς μου και τον αδερφό μου, για την ουσιαστική βοήθεια τους, την ηθική ,ψυχολογική και οικονομική στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Τέλος θα ήθελα να αναφερθώ στους φίλους που έκανα αυτά τα χρόνια, νιώθω χαρούμενος που έχω τέτοιους ανθρώπους γύρω μου, και θα ήθελα να τους έχω δίπλα μου για πολλά χρόνια ακόμη, τα ονόματα είναι περιτά..καταλαβαίνουν ποιοι είναι και πόσο σημαντικό ρόλο έχουν για μένα.

Στέλιος Δ. Μίμης

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ρύπανση και υποβάθμιση του περιβάλλοντος απασχολεί και προβληματίζει σήμερα όλο και περισσότερο τους ειδικούς και μη σε όλον τον κόσμο. Στις μέρες μας ένας μεγάλος αριθμός ρύπων διαφεύγουν στο περιβάλλον, διαταράσσουν την οικολογική ισορροπία και θέτουν σε κίνδυνο την ισορροπία των οικοσυστημάτων, αλλά και ανθρώπινες ζωές. Βαθμιαία η κατάσταση γίνεται όλο και πιο δραματική με τη συνεχή υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα που αναπνέουμε, των νερών που πίνουμε και του εδάφους που μας τρέφει. Η ανάγκη βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου των σύγχρονων κοινωνιών παραμέρισε την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Η αύξηση του πληθυσμού των πόλεων, η εκβιομηχάνιση, η εντατικοποίηση των καλλιεργειών, η χρήση συνθετικών λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων σήμανε και μια σειρά οικολογικών προβλημάτων, όπως είναι η ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών νερών, η υποβάθμιση των ποταμών, των λιμνών και των θαλασσών. Είναι γνωστό ότι η Μεσόγειος δέχεται κάθε χρόνο 2.500.000 τόνους φυτοφαρμάκων, 30.000 τόνους μετάλλων και 500.000 τόνους πετρελαιοειδών.(N. Νικολαΐδης, προσωπική επικοινωνία.)

Στην Ελλάδα τα περιβαλλοντικά προβλήματα έχουν τη ρίζα τους στην πολιτική ανάπτυξης που ακολουθήθηκε για πολλές δεκαετίες με το δίλημμα περιβάλλον ή ανάπτυξη. Πολλοί πιστεύουν ακόμη και σήμερα, ότι οικονομική ανάπτυξη και προστασία του περιβάλλοντος δεν μπορούν να συνυπάρξουν. Αυτή είναι μια λαθεμένη αντίληψη, που οδηγεί σε υποβάθμιση του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής. Η ορθολογική ανάπτυξη πρέπει να συνδυάζει και να εναρμονίζει την οικονομική ανάπτυξη με την προστασία του περιβάλλοντος και πρέπει να διασφαλίζει οικολογική ισορροπία και ποιότητα ζωής. Η σύγχρονη τεχνολογία και η επιστήμη παρέχουν απεριόριστες δυνατότητες για την περιβαλλοντική προστασία.

Η ρύπανση και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος προκαλείται από τις δραστηριότητες του ανθρώπου από τα βιομηχανικά, από τα αστικά και από τα απόβλητα που δημιουργούνται από τις γεωργικές δραστηριότητες για τη φυτική και τη ζωική παραγωγή. Το πρώτο βήμα για την προστασία του περιβάλλοντος και ειδικότερα των υδάτινων οικοσυστημάτων, όπως είναι οι θάλασσες, τα ποτάμια και οι λίμνες, αλλά και τα υπόγεια νερά των υδροφορέων και των εδαφών, θεωρείται αναμφίβολα η κατασκευή μονάδων επεξεργασίας υγρών και στερεών αποβλήτων. Όσον αφορά την επεξεργασία των λυμάτων, η μακροχρόνια εμπειρία και η προηγμένη τεχνολογία και τεχνογνωσία - τόσο στην Ελλάδα και στην υπόλοιπη Ευρωπαϊκή

Ένωση όσο και στις Ηνωμένες Πολιτείες και στον Καναδά - οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, ένα ποσοστό των συμβατικών μονάδων επεξεργασίας λυμάτων για μικρούς Δήμους και Κοινότητες, δεν λειτουργεί ικανοποιητικά. Αυτό οφείλεται κυρίως στο υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησής τους, τα οποία οι τοπικοί φορείς αδυνατούν να καλύψουν. Ακριβώς αυτοί οι λόγοι οδήγησαν την επιστημονική κοινότητα να στραφεί σε εφικτές λύσεις για μικρές πόλεις και κοινότητες, αναπτύσσοντας μεθόδους οι οποίες απαιτούν χαμηλότερο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης και οι οποίες είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον. Οι μέθοδοι αυτές οδήγησαν στα **Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων (Natural Systems for Wastewater Treatment)**.

Σύμφωνα με τον Αγγελάκη (1995), φυσικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων ονομάζονται αυτά που η επεξεργασία των λυμάτων διενεργείται με φυσικά μέσα και διεργασίες, (φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες) καθώς και ο συνδυασμός αυτών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον "υγρά απόβλητα - ατμόσφαιρα - έδαφος - φυτό". Τα φυσικά συστήματα κατατάσσονται σε πέντε βασικές κατηγορίες:

1. **Τα συστήματα των σηπτικών δεξαμενών ή βόθρων ή επιτόπια συστήματα** (septic tanks or on site systems). Τα συστήματα αυτά είναι τα πλέον διαδεδομένα για αραιοκατοικημένους μικρούς ή μεγαλύτερους οικισμούς, καθώς και για παραθεριστικές κατοικίες, όταν υπάρχει ικανοποιητικός κατάλληλος χώρος στο οικόπεδο κάθε κατοικίας. Σήμερα για λόγους μεγαλύτερης προστασίας των υπόγειων νερών, τα συστήματα αυτά έχουν αντικατασταθεί από στεγανούς βόθρους και εφαρμόζονται, για πολύ μικρές παροχές λυμάτων. Η μελέτη και κατασκευή τους γίνεται με βάση τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό και τις τοπικές συνθήκες, που αφορούν κυρίως τη διαπερατότητα των εδαφών.

2. **Τα εδαφικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων** (Land treatment wastewater systems). Στα συστήματα αυτά, τα λύματα, μετά την προεπεξεργασία τους, εφαρμόζονται στην επιφάνεια του εδάφους. Στη συνέχεια επιτυγχάνεται περαιτέρω επεξεργασία με τις διάφορες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον έδαφος ή υδροφορέας - ατμόσφαιρα - λύματα. Τα συστήματα αυτά διακρίνονται στους εξής επιμέρους τύπους: α) τα συστήματα βραδείας διήθησης ή εφαρμογής (Slow Rate Systems-SRS), β) στα συστήματα επιφανειακής απορροής (Overland Flow Systems-OFS), γ) στα συστήματα ταχείας διήθησης (Rapid Infiltration Systems-RIS) και δ) στα συστήματα συνδυασμένων τύπων (Compination Land Systems – CLS).

3. **Τα συστήματα δεξαμενών σταθεροποίησης για την επεξεργασία λυμάτων** (wastewater stabilization ponds systems - SPS). Η επεξεργασία των λυμάτων στα συστήματα αυτά αποδίδεται στις διάφορες διεργασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα και οφείλονται στη

μικροβιακή ζωή καθώς και στα κατώτερα φυτά και ζώα που αναπτύσσονται στο σύστημα. Τα συστήματα των δεξαμενών σταθεροποίησης απαιτούν, για την κατασκευή των διαφόρων επιμέρους έργων τους, μικρότερη έκταση από τα εδαφικά συστήματα και περιλαμβάνουν τους επιμέρους τύπους: α) τις αερόβιες δεξαμενές (aerobic ponds), β) τις επαμφοτερίζουσες δεξαμενές (facultative ponds), γ) τις μερικής ανάμειξης αεριζόμενες δεξαμενές (partial-mix aerated ponds) και δ) τις δεξαμενές ελεγχόμενης παροχής (controlled discharge ponds). Οι δεξαμενές σταθεροποίησης χρησιμοποιούνται για ένα ευρύ φάσμα καιρικών συνθηκών, από μόνες τους ή σε συνδυασμό με άλλα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων.

4. Τα συστήματα υδροχαρών φυτών για την επεξεργασία λυμάτων (aquatic plants treatment systems - APS). Τα συστήματα αυτά είναι παρόμοια με τα συστήματα των δεξαμενών σταθεροποίησης, με τη διαφορά ότι στις δεξαμενές καλλιεργούνται υδροχαρή φυτά, για περαιτέρω επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Διακρίνονται σε δύο επιμέρους τύπους συστημάτων: α) τα συστήματα με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά, και β) τα συστήματα με βυθισμένα υδροχαρή φυτά. Σε διεθνές επίπεδο μεγαλύτερη βαρύτητα δίνεται στα συστήματα με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά, όπως είναι οι υδροχαρείς υάκινθοι (*Eichhornia crassipes*), τα κοινά λήμνα (*Lemna* sp.) και τα νούφαρα (*Nuphar* spp.). Με τα φύλλα των φυτών αυτών καλύπτεται η επιφάνεια του νερού, οπότε με τη σκιά τους αποφεύγεται η ανάπτυξη αλγών στις δεξαμενές. Επιπρόσθετα το εκτεταμένο ριζικό σύστημα των φυτών δημιουργεί ένα υπόστρωμα για την ανάπτυξη μικροοργανισμών, οι οποίοι αποικοδομούν ακόμα περισσότερο τους ρύπους των λυμάτων, επιτυγχάνοντας έτσι την καλύτερη δυνατή επεξεργασία τους.

5. Τα συστήματα τεχνητών υγροτόπων επεξεργασίας λυμάτων (wastewater constructed wetlands treatment systems). Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για περαιτέρω επεξεργασία προεπεξεργασμένων λυμάτων, όπως και τα προηγούμενα φυσικά συστήματα. Αποτελούνται από λεκάνες μικρού βάθους, στις οποίες τοποθετείται μια εδαφική στρώση και καλλιεργούνται διάφορα υδροχαρή φυτά, όπως είναι οι κοινές καλαμιές (*Phragmites australis*), τα διάφορα είδη βούρλων (*Juncus* spp.), οι σύφες (*Scirpus* spp.) και διάφορα είδη ψαθών (*Typha* spp.). Η επεξεργασία των λυμάτων στα συστήματα αυτά γίνεται στο περιβάλλον "έδαφος - φυτό - ατμόσφαιρα - λύματα". Σημειώνεται ότι στα συστήματα αυτά, με την ανάπτυξη στις ρίζες των φυτών ειδικών πληθυσμών βακτηρίων, επιτυγχάνεται επιπρόσθετα ένα φιλτράρισμα και μια προσρόφηση διαφόρων συστατικών των λυμάτων, μεταφέρεται οξυγόνο στη μάζα του νερού και περιορίζεται η ανάπτυξη αλγών (πρασινάδας ή μουχιών) εξαιτίας της αναπτυσσόμενης βλάστησης, με την οποία επιτυγχάνεται έλεγχος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Τα συστήματα των Τεχνητών υγροτόπων είναι δύο

τύπων: α) τα συστήματα με λεκάνες ελεύθερης υδατικής επιφάνειας και β) τα συστήματα υπόγειας ροής. Και στα δύο αυτά συστήματα οι λεκάνες βρίσκονται κάτω από συνθήκες συνεχούς κατάκλυσης.

Σύμφωνα με τους Cooper and Hobson (1989) τα πλεονεκτήματα των κέντρων επεξεργασίας λυμάτων με τεχνητούς υγροτόπους, σε σχέση με τα κλασσικά συστήματα, συνοψίζονται στα εξής: α) έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής, β) η κατασκευή τους είναι απλή, καθώς συνήθως δε χρειάζεται μηχανικό ή ηλεκτρικό εξοπλισμό, γ) το κόστος λειτουργίας και συντήρησής τους είναι ασήμαντο, δ) είναι ικανά να ανταπεξέλθουν τις διαδικασίες ενός ευρέος πεδίου συνθηκών λειτουργίας τους, οι οποίες αναφέρονται στα κλιματικά δεδομένα, στην ποιότητα και το είδος των λυμάτων εισροής κ.ά., ε) παρέχουν μια σταθερή ποιότητα εκροών και στ) καθίσταται φιλικότερα στο περιβάλλον, εξασφαλίζοντας μια δυναμική διατήρηση της άγριας ζωής. Το συνολικό κόστος κατασκευής, συμπεριλαμβανομένης και της αξίας της γης, σύμφωνα με τους Kadlec and Knight (1996), ενός κλασσικού κέντρου επεξεργασίας λυμάτων είναι περίπου 12% μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κέντρο με τεχνητούς υγροτόπους, ενώ το συνολικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης του κλασσικού κέντρου είναι 344% μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κέντρο με τεχνητούς υγροτόπους. Εξάλλου η απαιτούμενη έκταση για την επεξεργασία αστικών λυμάτων, με μια τιμή εκροής μικρότερη από 20 mg BOD₅/l υπολογίζεται ότι είναι 2-5 m² ανά ισοδύναμο κάτοικο (Pe). Επιπρόσθετα θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος αυτή των τεχνητών υγροτόπων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και για τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων, λαμβάνοντας σ' αυτή την περίπτωση καθαρές ποιοτικά εκροές.

Στην κατηγορία αυτών των συστημάτων μπορεί να καταταγεί και ένας τρίτος τύπος τεχνητού υγροτόπου, ο οποίος είναι ένας συνδυασμός των εδαφικών συστημάτων ταχείας διήθησης και των συστημάτων με τεχνητούς υγροτόπους. Στον τύπο αυτόν το έδαφος των λεκανών έχει μεγαλύτερο πάχος και υψηλότερη τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας. Για τη λειτουργία αυτού του συστήματος, οι λεκάνες κατακλύζονται διαδοχικά με μεγάλες παροχές λυμάτων και η ροή γίνεται κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, για το λόγο αυτό ονομάζονται συστήματα τεχνητών υγροτόπων με λεκάνες περιοδικής κατάκλυσης ή περιοδικής άρδευσης ή περιοδικής διήθησης με κατακόρυφη ροή. Αυτός ο τύπος σε σύγκριση με τους δύο πρώτους τύπους τεχνητών υγροτόπων, απαιτεί μικρότερη έκταση για την επεξεργασία μιας μονάδας όγκου λυμάτων. Αυτό το πλεονέκτημα των υγροτόπων με περιοδική κατάκλυση αποδίδεται, κυρίως, στις συνθήκες ακόρεστης ροής και επιπρόσθετα στο μεγαλύτερο πάχος της εδαφικής

στρώσης των λεκανών, με το οποίο επιτυγχάνεται ένα επιπρόσθετο φιλτράρισμα των λυμάτων.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Σκοπό της έρευνας αποτελεί η διερεύνηση για το κατά πόσο οι Τεχνητοί Υγρότοποι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μπορούν να χαρακτηριστούν ως μέθοδος φιλική προς το περιβάλλον, το κατά πόσο μειώνουν το ρυπαντικό φορτίο των διαχωρισμένων στερεών καθώς και πόσο αποτελεσματικοί είναι στην επεξεργασία και στην απολύμανση των υγρών αποβλήτων. Για το σκοπό αυτό έχουν γίνει πειράματα με Τεχνητούς Υγροτόπους για επεξεργασία και απολύμανση υγρών αποβλήτων στην Αμερικανική Γεωργική Σχολή Θεσσαλονίκης, των οποίων τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και συγκρίνονται με αντίστοιχα της διεθνούς βιβλιογραφίας.

Παρόμοιες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί για τους τεχνητούς υγροτόπους επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και έχουν αναφερθεί θετικά αποτελέσματα όσον αφορά την επεξεργασία, τον τρόπο σχεδιασμού και λειτουργίας, την απολύμανση τους. (Burka, U., προσωπική επικοινωνία, Ν. Νικολαΐδης, προσωπική επικοινωνία.).

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στα Συστήματα Εδαφικής Διάθεσης-Επεξεργασίας διενεργείται με φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες, που συμβαίνουν στο οικοσύστημα «έδαφος - υγρό απόβλητο - φυτό». Γενικά, τα συστήματα αυτά είναι ικανά για απομάκρυνση όλων των κύριων και δευτερευόντων ρυπαντικών συστατικών των υγρών αποβλήτων. Μία τυπική σύνθεση υγρών αποβλήτων στις ΗΠΑ δίνεται τον πίνακα 2.1.1.

Η σχεδίαση όλων των συστημάτων εδαφικής επεξεργασίας βασίζεται στον Περιοριστικό Παράγοντα Σχεδιασμού (π.π.σ.). Ένα σημείο στο οποίο διαφέρει η εδαφική επεξεργασία από τις μηχανικές τεχνολογίες είναι στο ότι, ενώ η απομάκρυνση των μετάλλων και μερικών άλλων συστατικών είναι πολύ αποτελεσματική, μπορεί λόγω συσσώρευση τους στο έδαφος, να περιορίσουν το χρόνο ζωής του συστήματος ή/και την μελλοντική χρήση της περιοχής για αγροτική χρήση (Reed and Crites, 1984).

Για τον προσδιορισμό του π.π.σ. ενός συγκεκριμένου συστήματος, είναι θεμελιώδης η κατανόηση των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στις ρυπαντικές παραμέτρους των υγρών αποβλήτων και το σύστημα εδαφικής επεξεργασίας. Αυτές οι παράμετροι μπορούν να ταξινομηθούν σε εννέα κύριες κατηγορίες:

- BOD
- Αιωρούμενα Στερεά
- Άζωτο
- Φωσφόρος
- Μέταλλα
- Λίπη και Έλαια
- Ίχνη Ανόργανων Στοιχείων
- Ίχνη Οργανικών
- Παθογόνοι Μικροοργανισμοί

Πίνακας 2.1.1 : Τυπική σύνθεση αστικών υγρών αποβλήτων στις ΗΠΑ (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995 : Pettygrove and Asano, 1985) ^α

Συστατικά	Ισχυρά	Ενδιάμεσα	Αδύνατα
BOD ₅	400	220	110
TOC	290	160	80
COD	1000	500	250
Στερεά, ολικά	-	-	-
διαλυμένα	1200	720	350
αιωρούμενα	350	220	100
Καθιζάνοντα (cm ³ /L)	20	10	5
Άζωτο, ολικό	85	40	20
οργανικό	35	15	8
NH ₃ -N	50	25	12
NO ₂ -N	0	0	0
NO ₃ -N	0	0	0
Φωσφόρος, ολικός	15	8	4
οργανικός	5	3	1
ανόργανος	10	5	3
Λίπη - Έλαια	150	100	50
Χλωρίοντα	100	50	30
Αλκαλικότητα (CaCO ₃)	200	100	50
Ολικά κολοβακτηρίδια (σε ΠΠΑ ^P /100 ml)	> 100.000	20 - 50.000	5.000

^α Όλες οι μονάδες σε mg/L, εκτός όπου αναφέρονται διαφορετικά.

2.1.1 B.O.D. (οργανικό φορτίο)

Όλα τα συστήματα εδαφικής επεξεργασίας είναι πολύ ικανά στην απομάκρυνση των βιοαποδομήσιμων οργανικών. Η αποδομούμενη οργανική ουσία, σε διάλυση ή σε αιώρηση, απομακρύνεται κυρίως, με βιολογική αποδόμηση, καθώς και με διήθηση και προσρόφηση. Οι μικροοργανισμοί που διενεργούν την αποδόμηση, αναπτύσσονται σε γλοιώδης επιφάνειες ή μεμβράνες στην επιφάνεια των εδαφικών σωματιδίων και της φυτικής βλάστησης, και προϋποθέτουν την επικράτηση ακόρεστων συνθηκών (αερόβιες συνθήκες).

Γενικά, τα συστήματα εδαφικής επεξεργασίας σχεδιάζονται και λειτουργούν υπό αερόβιες συνθήκες, με σκοπό να προάγεται η αποδόμηση με αερόβιους μικροοργανισμούς,

που είναι πιο ταχεία και πλήρης διεργασία, σε σχέση με την αναερόβια. Έτσι, περιορίζονται και οι δυσάρεστες οσμές της αποδόμησης, που σχετίζονται κυρίως με την αναερόβια διεργασία. Παρ' όλα αυτά, σε συστήματα με καλή διαχείριση, υπάρχουν αναερόβιες ζώνες μέσα στο γλοιώδες επίπεδο των μικροοργανισμών που συνεισφέρουν στη διάσπαση των πιο ανθεκτικών οργανικών και στην απομάκρυνση του αζώτου μέσω απονιτροποίησης (Reed and Crites, 1984).

Η ικανότητα των εδαφικών συστημάτων για αερόβια αποδόμηση των οργανικών ουσιών περιορίζεται από την ικανότητα τους για μεταφορά οξυγόνου κατ' ευθείαν από την ατμόσφαιρα. Γι' αυτό τα συστήματα αυτά θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε ο ρυθμός εφαρμογής του BOD₅ να είναι μικρότερος από τον ρυθμό μεταφοράς οξυγόνου στο σύστημα. Τυπικά οργανικά φορτία που χρησιμοποιούνται σε συστήματα εδαφικής επεξεργασίας, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.1.1

Πίνακας 2.1.1.1: Τυπικά οργανικά φορτία σε συστήματα εδαφικής επεξεργασίας (Reed et. al, 1995)

Τύπος συστήματος	Οργανικό φορτίο (Kg/στρ. d)
Βραδεία Εφαρμογή	500 - 1000
Επιφανειακή Ροή	400-1100
Ταχεία Διήθηση	1450 - 10000

2.1.2 Αιωρούμενα Στερεά

Στα συστήματα Επιφανειακής Ροής (ΕΡ), που χαρακτηρίζονται από την ροή των υγρών αποβλήτων στην εδαφική επιφάνεια, τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται μερικώς με καθίζηση, που ευνοείται από τις μικρές ταχύτητες ροής και το μικρό βάθος νερού, και μερικώς με διήθηση διαμέσου της φυτικής βλάστησης και της φυτικής στρωμνής. Ενώ στα συστήματα Βραδείας Εφαρμογής (ΒΕ) και Ταχείας Διήθησης (ΤΔ), που η ροή των υγρών αποβλήτων γίνεται υποεπιφανειακά, τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται κυρίως με διήθηση τους στο έδαφος, το αβαθές υπέδαφος ή/και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Ωστόσο, και στα συστήματα Ταχείας Διήθησης η καθίζηση μπορεί να είναι σημαντικός μηχανισμός απομάκρυνσης.

Στα συστήματα ΒΕ και ΤΔ ο κύριος όγκος των (οργανικών) στερεών απομακρύνεται σε βάθος μερικών εκατοστών του μέτρου από την εδαφική επιφάνεια (Angelakis and Rolston, 1985). Έτσι, τείνει να μειώνεται η διηθητική ικανότητα του εδάφους και γι' αυτό τα συστήματα αυτά θα πρέπει να σχεδιάζονται και να λειτουργούν με κύριο κριτήριο την διατήρηση της αρχικής ταχύτητας διήθησης.

Γενικά, τα συστήματα ΒΕ και ΤΔ είναι πολύ αποτελεσματικά στην απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Τα συστήματα ΕΡ, λόγω της διαφοροποίησης του μηχανισμού απομάκρυνσης, παρουσιάζουν μικρότερη αποτελεσματικότητα. Ωστόσο, τα συστήματα ΕΡ όταν δέχονται εσχαρισμένα ή πρωτοβάθμια υγρά απόβλητα, προάγουν καλύτερης ποιότητας εκροή, ως προς τα SS, από την συμβατική δευτεροβάθμια επεξεργασία.

2.1.3 Άζωτο

Η απομάκρυνση του αζώτου στα συστήματα εδαφικής επεξεργασίας είναι πολύπλοκη και δυναμική, εξαιτίας των πολλών μορφών αζώτου (N_2 , οργανικό N, NH_3 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) και της σχετικά εύκολης μεταπήδησης του από την μια οξειδωτική βαθμίδα στην άλλη. Το σύνολο των διεργασιών αυτών παρουσιάζεται στον πίνακα 2.1.1.1. Το άζωτο, σε τυπικά ανεπεξέργαστα απόβλητα, συνήθως βρίσκεται ως οργανικό (40 %) και ως αμμωνιακό (60 %) (δες και Πίνακα 2.1.1).

Οι μηχανισμοί που αφορούν την απομάκρυνση του αζώτου εξαρτώνται από τα παρόντα είδη του. Έτσι, κατά τον σχεδιασμό όλων των συστημάτων εδαφικής επεξεργασίας, είναι σημαντικό εκτός από την ολική συγκέντρωση του αζώτου, να προσδιορίζονται και οι αναμενόμενες ειδικές μορφές του. Η εμπειρία και από τα τρία συστήματα, δείχνει ότι όσο

λιγότερο οξειδωμένο είναι το άζωτο που εισέρχεται στο σύστημα, τόσο περισσότερο αποτελεσματική θα είναι η παρακράτηση και η ολική απομάκρυνση του (USEPA, 1981). Ειδικότερα, εάν το άζωτο είναι ο π.π.σ., θα πρέπει να υπολογίζονται οι απώλειες του κατά την προεπεξεργασία ή/και την αποθήκευση των υγρών αποβλήτων, πράγμα που θα μειώσει την απαιτούμενη έκταση του συστήματος και, επομένως, το κόστος κατασκευής του.

2.1.3.1 Οργανικό άζωτο

Το οργανικό άζωτο, που περιέχεται στα αιωρούμενα στερεά, απομακρύνεται με καθίζηση και φιλτράρισμα. Επίσης, το οργανικό άζωτο, υπό την μορφή στερεών συστατικών των υγρών αποβλήτων, συνήθως περιέχεται σε μεγαλομοριακές οργανικές ενώσεις, όπως υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λιγνίνη, και μπορεί να ενσωματώνεται κατ' ευθείαν στην οργανική ύλη και τον χούμο του συστήματος έδαφος - φυτό. Ένα ποσοστό του οργανικού αζώτου διαλύεται σε αμινοξέα και μπορεί να υποστεί περαιτέρω διάσπαση κατά την οποία ελευθερώνεται (ιονισμένο) αμμώνιο (NH_4^+)

2.1.3.2 Αμμωνιακό άζωτο

Το αμμωνιακό άζωτο μπορεί να απομακρυνθεί με εξάτμιση, με προσρόφηση στο εδαφικό υλικό και με πρόσληψη από τα φυτά. Διαλυμένη αμμωνία μπορεί να εξατμιστεί και να απελευθερωθεί κατ' ευθείαν στην ατμόσφαιρα ως αέρια αμμωνία. Το ποσοστό απομάκρυνσης με αυτόν τον μηχανισμό είναι σχετικά μικρό (< 10 %), εκτός κι αν χρησιμοποιούνται λίμνες σταθεροποίησης για προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων, στις οποίες επικρατούν ευνοϊκές συνθήκες για εξάτμιση της αμμωνίας (μεγάλος χρόνος παρακράτησης και υψηλό pH) (Reed *et al.*, 1995).

Το μεγαλύτερο ποσοστό του εισερχόμενου (ή και παραγόμενου) αζώτου σ' ένα σύστημα εδαφικής επεξεργασίας προσροφάτε σε εδαφικά, οργανικά και αργιλικά, σωματίδια. Το προσροφημένο αμμώνιο είναι διαθέσιμο για πρόσληψη του από τα φυτά ή για μετατροπή του σε νιτρικό άζωτο, μέσω της βιολογικής νιτροποίησης. Η προσρόφηση μπορεί να είναι ανανεώσιμη διεργασία, εφόσον οι μικροοργανισμοί του εδάφους οξειδώνουν την παρακρατημένη αμμωνία σε νιτρικά, ώστε να αποκατασταθεί η προσροφητική ικανότητα του. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα συστήματα EP, όπου η προσρόφηση περιορίζεται στην κεκλιμένη επιφάνεια ροής των υγρών αποβλήτων και επομένως, το δυναμικό της είναι περιορισμένο.

2.1.3.3 Νιτρικό άζωτο

Ο λόγος για τον οποίο θα πρέπει να εξετάζονται τα νιτρικά είναι η αποφυγή υψηλών συγκεντρώσεων τους σε πόσιμα νερά, πράγμα που θα μπορούσε να θέσει σε κίνδυνο την δημόσια υγεία, κυρίως των βρεφών. Το όριο συγκέντρωσης για το πόσιμο νερό στην Ελλάδα (Ε.Ε.) είναι 50 mg/L, με ενδεδειγμένη τιμή τα 25 mg/L. Τα όρια για τις ΗΠΑ και του Π.Ο.Υ είναι 10 mg/L. Τα νιτρικά φέρουν αρνητικό φορτίο, δεν συγκρατούνται με αντιδράσεις ιοντοανταλλαγής και συνήθως παραμένουν σε διάλυση, οπότε μεταφέρονται με την ροή του νερού. Έτσι, όταν το νιτρικό άζωτο δεν απομακρύνεται με φυτική πρόσληψη ή απονιτροποίηση, καταλήγει στους υποκείμενους υδροφορείς. Σε συστήματα με υψηλή κατείδυση, όπως είναι αυτά της ΒΕ και ΤΔ, η μεταφορά των νιτρικών με το νερό κατείδυσης μπορεί να προκαλέσει ρύπανση στους υπόγειους (ή/και τους επιφανειακούς) αποδέκτες.

Ο ασφαλής σχεδιασμός προϋποθέτει την ικανοποίηση των επιπέδων του πόσιμου νερού, στα όρια του συστήματος. Για αυτόν τον λόγο, το άζωτο συχνά αποτελεί τον *π.π.σ.* για τα συστήματα ΒΕ, εξαιτίας των σχετικά χαμηλών επιτρεπόμενων συγκεντρώσεων νιτρικών που απαιτούνται, σε σχέση με τις άλλες σημαντικές παραμέτρους του πόσιμου νερού. Για ασφαλή σχεδιασμό του συστήματος θα πρέπει να θεωρείται ότι όλο το εφαρμοζόμενο άζωτο θα εμφανιστεί με την μορφή νιτρικών, για όλη την περίοδο της εφαρμογής, και ότι δεν θα υπάρξει περίπτωση για ανάμιξη ή διασπορά στον υποκείμενο υδροφόρο (Reed and Crites, 1984).

Η απομάκρυνση του νιτρικού αζώτου με φυτική πρόσληψη, συμβαίνει μόνο στην ριζόσφαιρα και κατά την διάρκεια της αυξητικής περιόδου. Ουσιαστικά, η απομάκρυνση των νιτρικών με αυτόν τον μηχανισμό, επιτυγχάνεται με την συγκομιδή και απομάκρυνση από το σύστημα μεγάλου ποσοστού της παραγόμενης φυτικής βλάστησης. Αντίθετα, όταν η φυτική βλάστηση παραμένει στο σύστημα, το άζωτο που περιέχει επανεισάγεται σ' αυτό, κυρίως ως οργανικό.

Στα συστήματα εδαφικής επεξεργασίας το νιτρικό άζωτο απομακρύνεται, επίσης, με την διεργασία της βιολογικής απονιτροποίησης και, στην συνέχεια, την διάχυση του στην ατμόσφαιρα, κυρίως με την μορφή οξειδίου του αζώτου ή ελεύθερου αζώτου. Η βιολογική απονιτροποίηση αποτελεί βασικό μηχανισμό απομάκρυνσης του αζώτου στα συστήματα ΤΔ και ΕΡ, και διενεργείται από επαμφοτερίζοντα βακτήρια σε αναερόβιες συνθήκες. Για τη πραγματοποίηση της διεργασίας δεν είναι απαραίτητο οι συνθήκες αυτές να επικρατούν σε

όλο το σύστημα. Η απονιτροποίηση είναι δυνατό να συμβαίνει σε αναερόβιες μικροπεριοχές, παρακείμενες σε ευρύτερες αερόβιες (Rolston *et al.*, 1976).

Ωστόσο, για να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση της διεργασίας, θα πρέπει να βελτιστοποιούνται οι απαιτούμενες συνθήκες. Μια αναλογία άνθρακα / αζώτου τουλάχιστον 2:1 (βασισμένη στον TOC και το ολικό N) είναι απαραίτητη για την επίτευξη πλήρους απονιτροποίησης στα συστήματα εδαφικής επεξεργασίας (Smith *et al.*, 1988). Η βιομάζα από την αποδομούμενη φυτική βλάστηση μπορεί να αποτελέσει συμπληρωματική πηγή άνθρακα. Σε συστήματα, όμως, με υψηλούς ρυθμούς εφαρμογής των υγρών αποβλήτων, (όπως τα ΕΡ και ΤΔ) η πηγή άνθρακα θα πρέπει να περιέχεται στα υγρά απόβλητα. Έτσι, όταν εφαρμόζονται δευτεροβάθμια υγρά απόβλητα, τα οποία έχουν αναλογία C/N < 1, δεν μπορεί να μεγιστοποιηθεί η απομάκρυνση του αζώτου.

2.1.4 Φωσφόρος

Η παρουσία του φωσφόρου στα νερά δεν είναι γνωστό να έχει κάποια επίπτωση στην δημόσια υγεία, αλλά θα πρέπει να εξετάζεται στον σχεδιασμό των συστημάτων εδαφικής επεξεργασίας, γιατί αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα για την εμφάνιση ευτροφικών συνθηκών στα επιφανειακά νερά. Στα αστικά υγρά απόβλητα ο φωσφόρος παρουσιάζεται με την μορφή ορθοφωσφορικών και πολυφωσφορικών αλάτων. Τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα μπορεί να περιέχουν και οργανικό φωσφόρο. Οι κύριοι μηχανισμοί απομάκρυνσης τους είναι η χημική κατακρήμνιση και η προσρόφηση. Μικρότερες ποσότητες (20-30 % του εφαρμοζόμενου P) μπορούν να απομακρυνθούν με πρόσληψη από τα φυτά. Γενικά, η χημική κατακρήμνιση θεωρείται μια σημαντική διεργασία απομάκρυνσης του φωσφόρου. Επίσης η προσρόφηση είναι σχετικά ισχυρή και ανθίσταται στην μεταφορά του με το νερό κατέισδυσης.

Σε αντίθεση με το άζωτο, η απομάκρυνση του φωσφόρου εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε χημικές αντιδράσεις, που δεν είναι απαραίτητα ανανεώσιμες στο έδαφος. Ως αποτέλεσμα, η ικανότητα που έχει μια εδαφική απόθεση για παρακράτηση του φωσφόρου, θα μειώνεται με τον χρόνο μέχρι να εξαντληθεί, αλλά μέχρι εκείνη την στιγμή η απομάκρυνση του θα είναι ολοκληρωμένη. Έχει υπολογιστεί ότι 0,3 m βάθους εδάφους, σ' ένα τυπικό σύστημα ΒΕ, θα καθίσταται κορεσμένο με P κάθε 10 έτη.

Στα αστικά συστήματα εδαφικής διάθεσης-επεξεργασίας, είναι απίθανο ότι ο φωσφόρος θα αποτελέσει τον π.π.σ. τους. Ωστόσο, σε περιπτώσεις που απαιτείται πολύ

υψηλό ποσοστό απομάκρυνσης του, μπορεί να ελέγξει τον χρόνο ζωής του συστήματος. Η πιο κρίσιμη περίπτωση μπορεί να είναι αυτή, όπου σε μια θέση με σχετικά καθαρή άμμο και υποστράγγιση, σε ρηχό βάθος, η εκροή εκφορτίζεται σε ευαίσθητα επιφανειακά νερά. Σε μια τέτοια περίπτωση, η απομάκρυνση του φωσφόρου μπορεί να διαρκέσει 20 έως 60 έτη, ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων και τον ρυθμό εφαρμογής τους (Reed and Crites, 1984).

Ο βαθμός απομάκρυνσης του φωσφόρου στα εδαφικά συστήματα, εξαρτάται από τον βαθμό επαφής των υγρών αποβλήτων με την στερεά μάζα τους και τον χρόνο παρακράτησης τους. Έτσι, τα συστήματα ΕΡ έχουν πιο περιορισμένο δυναμικό απομάκρυνσης του.

2.1.5 Μέταλλα

Ο λόγος για τον οποίο θα πρέπει να θεωρούνται τα ίχνη των μετάλλων, είναι το ενδεχόμενο συσσώρευσης τους στο έδαφος και από εκεί, μέσω φυτών και ζώων, η μετατόπιση στην τροφική αλυσίδα και τελικά στον άνθρωπο. Τα μέταλλα μεγαλύτερου ενδιαφέροντος είναι ο μόλυβδος (Pb), ο ψευδάργυρος (Zn), ο χαλκός (Cu), το νικέλιο (Ni) και το κάδμιο (Cd) (USEPA, 1981). Γενικά, τα Zn, Cu και Ni γίνονται τοξικά για τα φυτά πριν η συγκέντρωσή τους στους ιστούς των φυτών φτάσει σε επίπεδα που θέτουν κίνδυνο για τον άνθρωπο. Αντίθετα, το κάδμιο απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή, γιατί η επιβλαβής για τον άνθρωπο συγκέντρωσή του είναι πολύ μικρότερη από αυτή που θα έχει τοξικές επιδράσεις στα φυτά. Τα φυτά αντιδρούν, όταν τα μέταλλα εφαρμόζονται κατά την αυξητική τους περίοδο, αλλά δεν επηρεάζονται από την πρότερη συσσώρευση τους στο έδαφος, όπως δείχνει και ο Πίνακας 2.1.5.1.

Η απομάκρυνση ιχνών μετάλλων στο έδαφος, είναι μια πολύπλοκη διεργασία που εμπλέκει τους μηχανισμούς προσρόφησης, χημικής κατακρήμνισης και ιοντικής εναλλαγής. Επειδή η προσρόφηση των μετάλλων γίνεται στην επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών και του οργανικού υλικού, τα λεπτόκοκκα και οργανικά εδάφη έχουν μεγαλύτερη ικανότητα παρακράτησης των ιχνών τους. Το δυναμικό κατακρήμνισης των μετάλλων, στα περισσότερα εδάφη και ιζήματα, είναι γενικά υψηλό, ιδιαίτερα υπό συνθήκες $pH > 6,5$. Σε μικρότερο pH και υπό αναερόβιες συνθήκες, ορισμένα μέταλλα είναι πιο διαλυτά και μπορούν να απελευθερωθούν σε διάλυση.

Στα αστικά υγρά απόβλητα, τα μέταλλα βρίσκονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Γενικά, η τυπική συγκέντρωσή τους σε ανεπεξεργαστα υγρά απόβλητα, είναι μικρότερη από της απαιτήσεις για το πόσιμο και αρδευτικό νερό. Η απομάκρυνσή τους στα διάφορα εδαφικά συστήματα ποικίλει και εξαρτάται από την συγκέντρωσή τους στην εφαρμοζόμενη εκροή και τις τοπικές συνθήκες. Τα ποσοστά απομάκρυνσης τους κυμαίνονται από 80-95 % (Metcalf & Eddy, 1991).

Πίνακας 2.1.5.1 : Περιεκτικότητα φυτών σε μέταλλα σε συστήματα εδαφικής επεξεργασίας - συγκεντρώσεις σε mg/L (Reed et al, 1995)

Περιοχές: έτος έναρξης , έτος δειγμάτων

		Melbourr 1	Fresno	Manteca	Livermor
Μέταλλο	Παρακείμενα	1896, 1972	1907, 1973	1961, 1973	1964, 1973
Κάδμιο	0,77	0,89	0,9	1,6	0,3
Χαλκός	6,5	12,0	16,0	13,0	10,0
Νικέλιο	2,7	4,9	5,0	45,0	2,0
Μόλυβδος	2,5	2,5	13,0	15,0	10,0
Ψευδάργυρος	50,0	63,0	93,0	161,0	103,0

2.1.6 Λίπη & Έλαια

Τα λίπη και έλαια δεν θα πρέπει να αποτελούν παράγοντα σχεδιασμού των αστικών συστημάτων εδαφικής επεξεργασίας. Ωστόσο, είναι πιο πιθανό να είναι συνήθη συστατικά των βιομηχανικών υγρών αποβλήτων. Οι κύριες μορφές τους είναι το πετρέλαιο, τα φυτικά και τα ζωικά λίπη (έλαια). Οι βιομηχανίες τροφίμων, τα σαπωνοποιεία, καθώς και οι μονάδες παραγωγής μαργαρίνης και κεριών, είναι όλες πηγές φυτικών και ζωικών ελαίων. Η σκόπιμη εκφόρτιση παραγώγων του πετρελαίου στο αποχετευτικό δίκτυο δεν αναμένεται, αλλά οι διαρροές μηχανημάτων και το πλύσιμο εξοπλισμών, μπορεί να αποτελέσουν σημαντικές αιτίες επιβάρυνσης με έλαια των αστικών υγρών αποβλήτων.

Δύο δίοδοι απομάκρυνσης των ελαίων έχουν διαπιστωθεί. Το πτητικό μέρος τους χάνεται στην ατμόσφαιρα και το απομένον, τελικά, αποδομείται από τους μικροοργανισμούς του εδάφους (Reed and Crites, 1984). Η αποδόμηση των φυτικών και ζωικών ελαίων θα πρέπει να γίνεται σε υψηλότερους ρυθμούς από αυτή των πετρελαιοειδών, εφόσον συνήθως είναι πιο εύκολα (γρήγορα) αποδομήσιμα από τους οργανισμούς του εδάφους. Η προσθήκη

των ελαίων στο σύστημα έδαφος-φυτό, αλλάζει σημαντικά την αναλογία άνθρακα / άζωτο, οπότε είναι απαραίτητη η προσθήκη αζώτου και άλλων μικροθρεπτικών, ώστε να πραγματοποιηθούν οι μικροβιακές αντιδράσεις στους αναμενόμενους ρυθμούς.

Επίσης, όταν γίνεται εφαρμογή σημαντικών ποσοτήτων ελαίων σε αγροτικά συστήματα μπορεί να υπάρξει αρνητική επίδραση στη βλάστηση των σπόρων. Η επίδραση τους στη βλάστηση και στην απόδοση της καλλιέργειας είναι πιο σημαντική από ότι στο σύστημα του εδάφους. Έλαια σε επίπεδα 1 % του εδαφικού βάρους, φαίνεται να είναι το «κατώφλι» για μειωμένες αποδόσεις και σε επίπεδα 1,5 - 2 %, η μείωση της απόδοσης της βλάστησης συχνά υπερβαίνει το 50 % (Overcash and Pal, 1979). Οι επιδράσεις αυτές συμβαίνουν με την άμεση εφαρμογή των ελαίων, πριν την απώλεια των (πηκτικών) υδρογονανθράκων.

2.1.7 Ανόργανα ιχνοστοιχεία

Η κατηγορία αυτή αναφέρεται σε αμέταλλα στοιχεία, όπως το βόριο (B), το σελήνιο (Se), το αρσενικό (As), το νάτριο (Na), το θείο (S), το κάλιο (K), καθώς και στα οξείδια και άλατα που σχηματίζουν. Η κύρια επίδραση των στοιχείων αυτών, στα συστήματα εδαφικής επεξεργασίας, είναι στα φυτικά μέρη τους, καθώς και στην περατότητα ορισμένων αργίλων, όταν υπάρχει υψηλό φορτίο νατρίου στα υγρά απόβλητα. Μερικά, όπως είναι το κάλιο, είναι βασικά θρεπτικά συστατικά των φυτών, και άλλα προσφέρονται ως μικροστοιχεία σε χαμηλές συγκεντρώσεις, όμως μπορεί να γίνουν τοξικά για τα φυτά σε μεγαλύτερα επίπεδα. Στις συγκεντρώσεις με τις οποίες βρίσκονται στα αστικά υγρά απόβλητα, κανένα από αυτά τα στοιχεία δεν μπορεί να αποτελέσει τον π.π.σ. του συστήματος.

2.1.7.1 Βόριο

Το βόριο είναι βασικό μικροθρεπτικό για τα φυτά, αλλά γίνεται τοξικό σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις (<1mg/L) (Reed and Crites, 1984). Το έδαφος έχει κάποια προσροφητική ικανότητα, εάν είναι παρόντα οξείδια του αργιλίου και του σιδήρου. Οι αντιδράσεις είναι όμοιες με αυτές που ισχύουν για τον φωσφόρο, αλλά η ικανότητα απομάκρυνσης για το βόριο είναι μικρή. Μια ασφαλής προσέγγιση στον σχεδιασμό του συστήματος, θα ήταν να θεωρηθεί ότι όλο το βόριο που δεν θα προσληφθεί από τα φυτά θα περάσει στο νερό κατεΐσδυσης.

2.1.7.2 Σελήνιο

Το σελήνιο αποτελεί μικροθρεπτικό για τα ζώα, αλλά δεν είναι βασικό για τα φυτά. Ωστόσο, σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να γίνει τοξικό για τα ζώα, ενώ πολλά φυτά μπορούν να το αφομοιώσουν σ' αυτά τα επίπεδα χωρίς εμφανή επίδραση πάνω τους. Φυτά που περιέχουν 4-5 ppm σελήνιο θεωρούνται τοξικά για τα ζώα (Reed and Crites, 1984). Το σελήνιο μπορεί να προσροφηθεί ασθενώς από υδροξειδία του εδάφους.

2.1.7.3 Αρσενικό

Το αρσενικό δεν είναι βασικό στοιχείο για όλους τους ζωντανούς οργανισμούς. Σε σημαντικές συγκεντρώσεις μπορεί να γίνει μέτρια τοξικό για τα φυτά και πολύ τοξικό για τα ζώα. Στην περιοχή της εδαφικής επεξεργασίας η τροφική αλυσίδα προστατεύεται, εφόσον τα φυτά παρουσιάζουν δυσμενείς επιπτώσεις από το αρσενικό πριν αυτό φτάσει σε επικίνδυνα επίπεδα στα βρώσιμα μέρη τους. Το αρσενικό απομακρύνεται με προσρόφιση από τα κolloειδή του εδάφους.

2.1.7.4 Νάτριο

Το νάτριο βρίσκεται σε όλα τα υγρά απόβλητα. Δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις για το νάτριο, αλλά έχει προταθεί ότι η κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων από τον άνθρωπο σχετίζεται με υψηλή πίεση και καρδιολογικά προβλήματα. Η προτεινόμενη συγκέντρωση για το πόσιμο νερό στην Ελλάδα (Ε.Ε.) είναι 20 mg/L με μέγιστη επιτρεπτή τα 175 mg/L. Το νάτριο και το ασβέστιο μπορεί να είναι άμεσα τοξικά για τα φυτά, αλλά το κύριο πρόβλημα που προκαλούν είναι αύξηση της αλατότητας (ή αλκαλικότητα) του εδάφους. Η ανάπτυξη ευαίσθητων φυτών γίνεται αδύναμη όπου η περιεκτικότητα του εδάφους σε άλατα υπερβαίνει το 0,1 % κ.β. (Reed and Crites, 1984). Η αλατότητα έχει άμεση σχέση με την οσμωτική πίεση της εδαφικής διάλυσης, η οποία ελέγχει την ικανότητα των φυτών να προσλαμβάνουν νερό.

Το νάτριο δεν απομακρύνεται μόνιμα στο έδαφος, αλλά περισσότερο σχετίζεται με τις αντιδράσεις ιοντικής εναλλαγής. Οι αντιδράσεις είναι όμοιες με αυτές που συμβαίνουν κατά την αποσκλήρυνση του νερού και εμπλέκουν νάτριο, μαγνήσιο και ασβέστιο στο σύστημα. Σε μερικές περιπτώσεις, όπου υπάρχει περίσσεια νατρίου με ταυτόχρονη παρουσία ασβεστίου και μαγνησίου, η συσσωμάτωση και η διόγκωση των αργιλικών μορίων μπορεί να μειώσει την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους (Reed and Crites, 1984). Η σχέση μεταξύ νατρίου,

ασβεστίου και μαγνησίου εκφράζεται ως ρυθμός προσρόφησης νατρίου (Sodium Adsorption Rate).

Οι συγκεντρώσεις των Na, Ca και Mg είναι σε χιλιοϊσοδύναμα ανά λίτρο (meq/l). Τα προβλήματα αλατότητας είναι πιο έντονα σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές, όπου τα εφαρμοζόμενα υγρά απόβλητα μπορεί ήδη να έχουν υψηλή περιεκτικότητα αλάτων, η συγκέντρωση των οποίων αυξάνεται μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Έτσι τα συστήματα σχεδιάζονται για να ικανοποιηθούν η ελάχιστες ανάγκες των φυτών, ώστε αυτά να μπορέσουν να αναπτυχθούν.

2.1.7.5 Θείο

Το θείο βρίσκεται σε όλα τα υγρά απόβλητα, είτε ωςθειώδη (SO_3^{2-}) είτε ωςθειικά (SO_4^{2-}). Τα θειικά δεν παρακρατούνται εύκολα από τα εδάφη, αλλά συχνά βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα. Στα αστικά υγρά απόβλητα τα θειικά δεν βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις. Η συγκέντρωση που συνίσταται για το πόσιμο νερό στην Ελλάδα (Ε.Ε.) είναι 25 mg/L με μέγιστο όριο τα 500 mg/L, ενώ για νερό άρδευσης συνίσταται από 200-600 mg/L, ανάλογα με τον τύπο της βλάστησης. Η ασφαλής προσέγγιση στον σχεδιασμό του συστήματος, είναι ίδια με αυτήν που περιγραφήκε για το άζωτο. Είναι συνετό να θεωρηθεί ότι το σύνολο των θειούχων ενώσεων που εφαρμόζονται στο έδαφος θα μετατραπεί σε θειικά. Όταν το σύστημα σχετίζεται με υδροφορείς πόσιμου νερού, το επίπεδο των 25 mg/L για τα θειικά θα πρέπει να επιτυγχάνεται στα όρια της θέσης του συστήματος.

2.1.7.6 Κάλιο

Το κάλιο αποτελεί βασικό θρεπτικό συστατικό για την ανάπτυξη των φυτών και συνήθως βρίσκεται σε χαμηλές έως μέτριες συγκεντρώσεις στα αστικά υγρά απόβλητα. Το κάλιο αντιδρά με το έδαφος μέσω των διεργασιών ανταλλαγής κατιόντων, αλλά δεν συγκρατείται εύκολα ούτε συσσωρεύεται στο έδαφος. Στα συστήματα εδαφικής επεξεργασίας αυτό που ενδιαφέρει περισσότερο δεν είναι η απομάκρυνση του καλίου, αλλά η δυσμενής επίδραση που μπορεί να έχει στην απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου. Κάθε καλλιέργεια απαιτεί συγκεκριμένη αναλογία θρεπτικών, ώστε να βελτιστοποιηθεί η ανάπτυξη της, οπότε και η απομάκρυνση των N και P. Σε τυπικά αστικά υγρά απόβλητα η αναλογία N:P:K είναι 6:1:2 (Reed and Crites, 1984). Σε περιπτώσεις που η αναλογία των θρεπτικών στα υγρά απόβλητα δεν είναι ικανοποιητική, προβλέπεται η προσθήκη κατάλληλων λιπασμάτων.

2.1.8 Ίχνη Οργανικών

Στα συστήματα εδαφικής επεξεργασίας τα οργανικά ιχνοστοιχεία θα πρέπει να εξετάζονται για τις επιδράσεις που έχουν στην δημόσια υγεία, είτε μέσω της συσσώρευσης και παραμονής τους στο έδαφος, είτε με την μεταφορά τους σε υδατικούς αποδέκτες ή/και στην τροφική αλυσίδα. Η απομάκρυνση τους γίνεται με εξάτμιση, προσρόφηση, φωτοχημική διάσπαση και βιολογική αποδόμηση. Το ποίοι μηχανισμοί θα επικρατήσουν εξαρτάται από των τύπο των ενώσεων (π.χ. πτητικές ή σταθερές) και τον βαθμό επαφής τους με το έδαφος.

Η εξάτμιση μπορεί να συμβεί στις λεκάνες ΤΔ, στα σταγονίδια που σχηματίζουν η καταιονιστήρες όταν χρησιμοποιούνται για διανομή των υγρών αποβλήτων και στην υγρή μεμβράνη (film) των συστημάτων ΕΡ. Η προσρόφηση συμβαίνει κυρίως στο οργανικό μέρος των συστημάτων το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τα υγρά απόβλητα. Η προσρόφηση στο οργανικό υλικό αποτελεί τον κύριο φυσικοχημικό μηχανισμό απομάκρυνσης των οργανικών ιχνοστοιχείων. Σε πολλές περιπτώσεις η μικροβιακή δράση αποδομεί την προσροφημένη ύλη.

Σε λειτουργούντα συστήματα διαπιστώθηκε ότι οι πιο διαλυτές ενώσεις, όπως το χλωροφόρμιο, τείνουν να κινούνται ταχύτερα στο έδαφος απ' ότι οι λιγότερο διαλυτές ενώσεις, όπως είναι κάποια είδη PCBs. Ωστόσο, σε όλες τις περιπτώσεις το ποσό που διέφευγε από το σύστημα εδαφικής επεξεργασίας ήταν πολύ μικρό (Reed *et al.*, 1995).

2.1.9 Παθογόνοι μικροοργανισμοί

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που θα πρέπει να εξετάζονται στα συστήματα εδαφικής επεξεργασίας, είναι τα βακτήρια, οι ιοί και τα παράσιτα. Εφόσον πριν την εφαρμογή (διάθεση) τους, τα υγρά απόβλητα υφίστανται κάποιας μορφής (πρωτοβάθμια) επεξεργασία ή/και αποθήκευση, δεν θα πρέπει να υπάρχει ιδιαίτερη ανησυχία για τα παράσιτα (Reed *et al.*, 1995). Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης των βακτηρίων, όπως και των παρασίτων, περιλαμβάνουν καθίζηση, προσρόφηση, ακτινοβολία, διήθηση, θήρευση και γενικά έκθεση σε δυσμενείς συνθήκες. Οι ιοί απομακρύνονται μόνο με προσρόφηση και την επακόλουθη θανάτωση τους (Metcalf & Eddy, 1991).

Σε συστήματα ΒΕ και ΤΔ, που χαρακτηρίζονται από ροή των υγρών αποβλήτων διαμέσου του εδαφικού στρώματος η απομάκρυνση των μικροοργανισμών θεωρείται σχεδόν πλήρης (Metcalf & Eddy, 1991). Σε αμμοπηλώδη έως αργιλοπηλώδη εδάφη, που συνήθως χρησιμοποιούνται σε συστήματα ΒΕ, πλήρης απομάκρυνση των μικροοργανισμών επιτυγχάνεται κατά την μεταφορά της εκροής των εφαρμοζόμενων υγρών αποβλήτων σε

βάθος τουλάχιστον 1,5 m. Μεγαλύτερες αποστάσεις μεταφοράς απαιτούνται στα συστήματα ΤΔ και εξαρτώνται, κυρίως, από τον ρυθμό του υδραυλικού φορτίου και την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους (USEPA, 1981). Στα συστήματα ΕΡ παρατηρούνται διαφοροποιούμενα ποσοστά απομάκρυνσης των μ/ο, αλλά γενικά, όχι σε τέτοιο βαθμό που να μην απαιτείται απολύμανση της τελικής εκροής, ιδιαίτερα αν επιδιώκεται επαναχρησιμοποίηση της. Πρακτικά, με τα συστήματα ΒΕ απομακρύνονται περίπου 5 τάξεις μεγέθους (logs), με τα συστήματα ΤΔ 2 έως 3 logs και με την ΕΡ περίπου μέχρι το 90 % των εφαρμοζόμενων κοπρώδων κολοβακτηριδίων (Reed and Crites, 1984).

2.2ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Όπως είναι γνωστό, διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον με την αλληλεπίδραση του νερού, του εδάφους, της ατμόσφαιρας και φυτικών και ζωικών οργανισμών. Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας σχεδιάζονται έτσι, ώστε να χρησιμοποιούν τα πλεονεκτήματα τέτοιων φυσικών διεργασιών, στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Πολλές φορές οι διεργασίες που εμπλέκονται στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας είναι οι ίδιες με αυτές που συμβαίνουν στα μηχανικά ή συμβατικά συστήματα επεξεργασίας, όπως είναι: η καθίζηση, η διήθηση, η μεταφορά αερίων, η προσρόφηση, η ιοντική εναλλαγή, η χημική κατακρήμνιση, η χημική οξείδωση και αναγωγή και η βιολογική μετατροπή και αποδόμηση και άλλες, που είναι μοναδικές σε φυσικά συστήματα επεξεργασίας, όπως είναι η φωτοσύνθεση, η φωτοοξείδωση και η πρόσληψη από τα φυτά. Στα φυσικά συστήματα οι διεργασίες συντελούνται με 'φυσικές' ταχύτητες και τείνουν να διενεργούνται περισσότερες από μία συγχρόνως, σε έναν 'οικοσυστηματικό αντιδραστήρα', σε αντίθεση με τα μηχανικά συστήματα, στα οποία συμβαίνουν διαδοχικά και σε διαφορετικούς, σε σειρά αντιδραστήρες ή δεξαμενές, με επιταχυνόμενες ταχύτητες, ως αποτέλεσμα της εισρέουσας σε αυτές ενέργειας (Metcalf and Eddy, 1991).

Γενικά, φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ονομάζονται αυτά, που η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου διενεργείται με φυσικά μέσα και διεργασίες, όπως είναι οι φυσικές, χημικές, και βιολογικές διεργασίες ή συνδυασμός τους, που συμβαίνουν στο

περιβάλλον. Τα φυσικά συστήματα κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες (Metcalf and Eddy,1991):

1. Αυτά που βασίζονται στο έδαφος ή τα γήινα συστήματα επεξεργασίας. Μετά την εφαρμογή προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια του εδάφους, επιτυγχάνεται περαιτέρω επεξεργασία τους δια μέσου των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, που συμβαίνουν στο έδαφος και βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Τα φορτία εφαρμογής των αποβλήτων πρέπει να είναι συμβατά με το δυναμικό του κάθε συστήματος. Οι κύριοι τύποι συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, με εφαρμογή τους στο έδαφος και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς, είναι οι:

- α) βραδεία εφαρμογή
- β) ταχεία διήθηση,
- γ) επιφανειακή ροή και
- δ) συνδυασμένοι τύποι.

2. Τα συστήματα που βασίζονται στα υδροχαρή φυτά, όπως είναι οι φυσικοί και τεχνητοί υγρότοποι και τα συστήματα των επιπλεόντων υδροχαρών φυτών.

2.2.1. Μηχανισμοί επεξεργασίας στους υγροτόπους

Οι τεχνητοί υγρότοποι, όταν κατασκευάζονται και χρησιμοποιούνται ως συστήματα επεξεργασίας λυμάτων, απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και επιπρόσθετα το κόστος λειτουργίας τους είναι ιδιαίτερα χαμηλό. Το τελευταίο σχεδόν μηδενίζεται όταν η τοπογραφία της περιοχής εξασφαλίζει ικανοποιητική διαφορά υψομέτρων μεταξύ των διαδοχικών θέσεων των διαφόρων εγκαταστάσεων για τα διάφορα στάδια επεξεργασίας των λυμάτων, οπότε αποφεύγεται η άντληση των λυμάτων. Τα στάδια αυτά, σε ένα σύστημα τεχνητού υγροτόπου, περιλαμβάνουν την προεπεξεργασία των λυμάτων, την βιοχημική-φυσική αποικοδόμηση των διαφόρων ρύπων τους και τέλος την απολύμανση του νερού της εκροής.

Η προεπεξεργασία περιλαμβάνει δύο διακριτές διαδικασίες, πριν οδηγηθούν τα υγρά απόβλητα στην κυρίως επεξεργασία τους. Η πρώτη διαδικασία της προεπεξεργασίας αφορά την απομάκρυνση των αδρομερών στερεών των λυμάτων, επιτυγχάνεται με την κατασκευή μιας κατάλληλης διάταξης σχάρας και για το λόγο αυτό ονομάζεται διαδικασία εσχάρωσης. Η δεύτερη διαδικασία της προεπεξεργασίας αφορά την αφαίρεση των υπολοίπων στερεών συστατικών και των επιπλεόντων λιπών των λυμάτων και επιτυγχάνεται με την κατασκευή ειδικής διάταξης, η οποία ονομάζεται σηπτική δεξαμενή ή δεξαμενή Imhoff.

Η βιοχημική και φυσική αποικοδόμηση των ρύπων, συνιστά την καρδιά ενός συστήματος τεχνητών υγροτόπων και επιτυγχάνεται κατά την δίοδο των λυμάτων σε μια ή

περισσότερες λεκάνες επεξεργασίας. Υπενθυμίζεται εδώ ότι, στο κατάλληλο υπόστρωμα που έχει τοποθετηθεί στις λεκάνες, έχουν φυτευτεί τα κατάλληλα σε κάθε περίπτωση υδροχαρή φυτά. Η διεργασία αφομοίωσης των ρύπων και καθαρισμού των λυμάτων, με το επιθυμητό αποτέλεσμα "καθαρού" νερού στην εκροή, λαμβάνει χώρα στο σύστημα υπόστρωμα λεκανών - φυτό - βακτήρια - ατμόσφαιρα - λύματα.

Το στάδιο της απολύμανσης ή όχι του νερού της εκροής λαμβάνει χώρα πριν από τη διάθεση του νερού από τα επεξεργασμένα λύματα και καθορίζεται στους περιβαλλοντικούς όρους, κατά την έγκριση της Μελέτης των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.). Οι όροι αυτοί έχουν άμεση σχέση με τον τελικό αποδέκτη και τον τρόπο διαχείρισης των νερών του αποδέκτη, την επαναχρησιμοποίηση των νερών των λυμάτων για άρδευση διαφόρων καλλιεργειών, για τεχνητό εμπλουτισμό των υπόγειων νερών καθώς και για διάφορες άλλες χρήσεις.

Οι κυριότεροι μηχανισμοί απομάκρυνσης ή επεξεργασίας των διαφόρων ρύπων σε συστήματα επεξεργασίας λυμάτων με τεχνητούς υγροτόπους ελεύθερης επιφάνειας (FWS) και υπόγειας ροής (SFS) περιγράφονται συνοπτικά, σύμφωνα με τον Tchobanoglous, στον Πίνακα 2.2.1.1. (Κεφαλάκης και Αγγελάκης, 1997).

Πίνακας 2.2.1.1: Μηχανισμοί επεξεργασίας στους τεχνητούς υγροβιότοπους (Tchobanoglous, 1997)

Μελετούμενη Παράμετρος	Είδος Τεχνητού Υγροτόπου Ελεύθερης Επιφάνειας	Υπόγειας Ροής
Βιοαποικοδομήσιμα Οργανικά	Βιοαποικοδομήσιμη διαλυμένου BOD5 με αερόβια, επαμφοτερίζοντα και αναερόβια βακτήρια στα φυτά και στο υπόστρωμα, προσρόφηση, φιλτράρισμα και καθίζηση του εν αιωρήσει BOD5.	Βιοαποικοδομήσιμη με επαμφοτερίζοντα και αναερόβια βακτήρια στα φυτά και στο υπόστρωμα.
Αιωρούμενα Στερεά Αζωτο	Καθίζηση, διήθηση. Νιτροποίηση- Απονιτροποίηση, αφομοίωση από το φυτό, αεριοποίηση.	Καθίζηση, διήθηση. Νιτροποίηση- Απονιτροποίηση, αφομοίωση από το φυτό, αεριοποίηση.
Φώσφορος	Καθίζηση, αφομοίωση από το φυτό.	Φιλτράρισμα, καθίζηση, αφομοίωση από το φυτό.
Βαρέα μέταλλα	Προσρόφηση από τις ρίζες του φυτού και τις επιφάνειες του υποστρώματος.	Καθίζηση, προσρόφηση από τις ρίζες του φυτού και τις επιφάνειες του υποστρώματος.
Μικροοργανικά	Αεριοποίηση, προσρόφηση, βιοαποικοδόμηση.	Προσρόφηση, βιοαποικοδόμηση.

Παθογόνα μικρόβια	Φυσική καταστροφή, ανταγωνισμός διαφόρων ειδών, απολύμανση από το ηλιακό φως, καθίζηση, απέκκριση αντιβιοτικών από τις ρίζες των φυτών.	Φυσική καταστροφή, ανταγωνισμός διαφόρων ειδών, απολύμανση από το ηλιακό φως, καθίζηση, απέκκριση αντιβιοτικών από τις ρίζες των φυτών.
-------------------	---	---

2.2.2 Οι Τεχνητοί Υγρότοποι ως μέσο διαχείρισης λυμάτων και διατήρησης της εδαφικής ποιότητας

Οι πρώτες συντονισμένες προσπάθειες κατασκευής υγροτοπικών οικοσυστημάτων από τον άνθρωπο, άρχισαν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '70. Οι υγρότοποι σχεδιάζονται και κατασκευάζονται σήμερα για τέσσερις κυρίως λόγους:

- 1) την επεξεργασία λυμάτων και βελτίωση ποιότητας νερών,
- 2) την αντιμετώπιση πλυμμυρικών φαινομένων και επαναπλήρωση υπόγειων υδροφορέων,
- 3) την εκμετάλλευσή τους για πρωτογενή παραγωγή και
- 4) την αναπλήρωση των υγροτόπων που χάνονται από την επέκταση της γεωργίας και των κατοικημένων περιοχών. Ιδιαίτερη σημασία για τη διατήρηση της ποιότητας των εδαφικών πόρων έχουν οι υγρότοποι που κατασκευάζονται για τους τρεις πρώτους λόγους.

Οι τεχνητοί υγρότοποι για επεξεργασία λυμάτων χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση ρύπων που προέρχονται είτε από σημειακές είτε από μη σημειακές πηγές ρύπανσης. Με άλλα λόγια τα οικοσυστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για τη μείωση του ρυπαντικού φορτίου αστικών, βιομηχανικών, γεωργικών λυμάτων καθώς και των νερών απορροής. Με τη χρήση των τεχνητών υγροτόπων για επεξεργασία λυμάτων προστατεύονται οι εδαφικοί πόροι μιας περιοχής από την διάθεση στην επιφάνεια του εδάφους ανεπεξέργαστων λυμάτων, με ανόργανους και οργανικούς ρύπους, και άρα διατηρείται η εδαφική υγεία. Σήμερα εκτιμάται ότι πάνω από 1000 συστήματα τεχνητών υγροτόπων για επεξεργασία λυμάτων λειτουργούν σε παγκόσμια βάση. Τουλάχιστον τα μισά από αυτά βρίσκονται στις ΗΠΑ.

Η κατασκευή και λειτουργία τους βασίζεται στον κατάλληλο συνδυασμό των δομικών στοιχείων των υγροτόπων, του εδάφους, του νερού και της βλάστησης (Πίνακας 2.2.2.1), με στόχο τη δημιουργία εκείνων των λειτουργιών που είναι υπεύθυνες για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού που διέρχεται από τους υγροτόπους. Οι λειτουργίες αυτές είναι: α)η απομάκρυνση και μετασχηματισμός των θρεπτικών και β)η συγκράτηση ιζημάτων και

τοξικών ουσιών. Οι λειτουργίες αυτές είναι αποτέλεσμα ενός συνόλου φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών ή μηχανισμών που λαμβάνουν χώρα στους υγροτόπους (Πίνακας 2.2.2.2) και είναι υπεύθυνες για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού που διέρχεται από τους υγροτόπους και άρα για τη διατήρηση της εδαφικής ποιότητας στην κατάντη του υγροτόπου περιοχή.

Οι υγρότοποι που κατασκευάζονται για την αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων και επαναπλήρωση υπόγειων υδροφορέων έχουν επίσης μεγάλη σημασία για τη διατήρηση της ποιότητας των εδαφών. Η σημασία τους έγκειται σε τρεις κυρίως λόγους:

1. Μειώνουν την ορμή των νερών απορροής και συγκρατούν μεγάλες ποσότητες από αυτά, κατά συνέπεια οι περιοχές κατάντη του υγροτόπου διατρέχουν μικρότερο διάβρωση από το νερό.

2. Συγκρατούν τα προϊόντα διάβρωσης που παρασύρουν τα νερά απορροής από περιοχές ανάντη του υγροτόπου. Τα προϊόντα διάβρωσης συνήθως περιέχουν, εκτός από αδρανή υλικά, και ρύπους ανάλογους με τη χρήση γης της περιοχής από όπου προέρχονται, για παράδειγμα εάν προέρχονται από γεωργικές εκτάσεις πιθανών να έχουν υπολείμματα γεωργικών φαρμάκων και αυξημένες συγκεντρώσεις θρεπτικών.

3. Η επαναπλήρωση των υπόγειων υδροφορέων έχει θετικές συνέπειες στην παραγωγικότητα των εδαφών αφού με αύξηση του αποθέματος νερού και με συνετή χρήση αυτού μπορεί να αυξηθεί η παραγωγή στις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Η λειτουργία της επαναπλήρωσης των υπόγειων υδροφορέων έχει ιδιαίτερη σημασία όταν πρόκειται για υδροφορείς που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα. Η ενίσχυση αυτών των υδροφορέων με νερό καλής ποιότητας εμποδίζει τη διείσδυση θαλάσσιου νερού στους υδροφορείς. Κατά συνέπεια δεν αλλοιώνεται η ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση από τα άλατα και αποφεύγεται ο κίνδυνος αλάτωσης των εδαφών λόγω άρδευσης με νερό υψηλής αλατότητας.

Στην περίπτωση των υγροτόπων που κατασκευάζονται για πρωτογενή παραγωγή, τα οφέλη για τα εδάφη της περιοχής προέρχονται τόσο από τη διατήρηση της ποιότητά τους όσο και από τη βελτίωση αυτής. Οι υγρότοποι μπορούν να προσφέρουν εναλλακτικό εισόδημα στους κατοίκους της περιοχής (αλιεία, κτηνοτροφία κλπ). Το αποτέλεσμα είναι ευεργετικό για τα εδάφη της περιοχής αφού πλέον το εισόδημα των κατοίκων δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τη γεωργική παραγωγή και δεν είναι αναγκασμένοι να εντατικοποιήσουν τις γεωργικές τους πρακτικές μέχρι τελικής εξάντλησης και υποβάθμισης των εδαφών τους. Παράλληλα ένα πιθανό σύστημα διαχείρισης των εδαφών της περιοχής με εναλλαγές των χρήσεων γης, για παράδειγμα καλλιέργεια εδαφών για ορισμένα έτη και κατόπιν εναλλαγή με

υγρολίβαδα για κτηνοτροφική χρήση, θα μπορούσε να βελτιώσει την ποιότητα των εδαφών της περιοχής με αύξηση της οργανικής ουσίας και εμπλουτισμό των εδαφών με θρεπτικά.

Η αναπλήρωση των απολεσθέντων υγροτοπικών εκτάσεων συνήθως αποκαθιστά πολλαπλές λειτουργίες. Αποτέλεσμα αναπόσπαστο τμήμα αειφορικής διαχείρισης λεκανών απορροής και βοηθά στη διατήρηση της εδαφικής ποιότητας σε όλη την έκταση της λεκάνης.

Από τα προηγούμενα είναι προφανές ότι οι τεχνητοί υγρότοποι μπορούν να δώσουν αποτελεσματικές λύσεις σε προβλήματα διαχείρισης όχι μόνο υδάτινων πόρων, όπως ήταν γνωστό μέχρι σήμερα, αλλά και εδαφικών πόρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Οι λύσεις αυτές όχι μόνο είναι ευεργετικές για το περιβάλλον, αλλά συνοδεύονται και από άμεσα και έμμεσα οικονομικά οφέλη για τους χρήστες, γεγονός που ευνοεί την υιοθέτησή τους σε μελλοντικά σχέδια αειφορικής διαχείρισης των φυσικών πόρων.

Πίνακας 2.2.2.1: Τα δομικά στοιχεία των Τεχνητών Υγροτόπων και ο ρόλος τους.

Ο ρόλος του υποστρώματος στους Τεχνητούς Υγροτόπους.

- Αποτελεί το μέσον ανάπτυξης των φυτών και της βιολογικής δραστηριότητας.
- Ρυθμίζει και κατανέμει τόσο την ροή του νερού όσο και την αποθήκευση του στο περιβάλλον.
- Ενεργεί τόσο ως περιβαλλοντικός ηθμός όσο και ως ρυθμιστής στην ακινητοποίηση και αποικοδόμηση των περιβαλλοντικά επικίνδυνων ουσιών.

Ο ρόλος της υδρολογίας στους Τεχνητούς Υγρότοπους.

- Η υδρολογία καθορίζει τη δομή και την εξέλιξη της φυτοκοινωνίας.
- Η πρωτογενής παραγωγικότητα και η βιοποικιλότητα ευνοούνται από τη συνεχή ροή ή εναλλασσόμενη υδροπερίοδο, ενώ αντίθετα μειώνονται σε συνθήκες λιμνάζοντος νερού.
- Η συσσώρευση οργανικής ουσίας στους υγρότοπους ελέγχεται από την υδρολογία, μέσω της επίδρασης στην πρωτογενή παραγωγικότητα, στην αποσύνθεση και στην μεταφορά οργανικής ουσίας.
- Η υδρολογία ελέγχει άμεσα ή έμμεσα τους βιομηχανικούς κύκλους στοιχείων και τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών.

Ο ρόλος των φυτών στους Τεχνητούς Υγροτόπους .

- Σταθεροποίηση υδραυλικής αγωγιμότητας.
- Μεταφορά οξυγόνου στο υπόστρωμα.
- Υπόστρωμα ανάπτυξης βακτηρίων.
- Πρόσληψη θρεπτικών.
- Περιορισμός οσμών.
- Βελτίωση αισθητικής.

Πίνακας 2.2.2.2 : Διεργασίες μείωσης ρυπαντικού φορτίου σε Τεχνητούς Υγρότοπους.

Φυσικές Καθίζηση	Χημικές Κατακρήμνιση	Βιολογικές Βακτηριακός μεταβολισμός
Διήθηση	Προσρόφηση	Μεταβολισμός των φυτών
Προσρόφηση	Υδρόλυση	Πρόσληψη από τα φυτά
Εξαέρωση	Οξειδωση-Αναγωγή	Αποσύνθεση φυτών.
	Φωτοχημικές αντιδράσεις	

2.2.3 Σύντομη ιστορική αναδρομή της ανάπτυξης των Φυσικών Συστημάτων Επεξεργασίας ΥΑ

Παρατηρώντας την ιστορική ανάπτυξη των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι Μινωίτες υδραυλικοί γνώριζαν βασικές αρχές της υδραυλικής μηχανικής (Angelakis A.N, Spyridakis S.V, 1995). Χωρίς αυτή την παραδοχή, δε θα μπορούσε να ερμηνευθεί πώς σε πολλές πόλεις της εποχής εκείνης, εγκαταστάσεις αποχέτευσης που σώζονται σήμερα, προκαλούν το θαυμασμό σημερινών ειδικών επιστημόνων για τα τέλεια κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους. Επίσης, διατυπώνεται η άποψη ότι κατά το Μινωικό πολιτισμό γινόταν εφαρμογή υγρών αποβλήτων στο έδαφος με σκοπό την άρδευση και την επεξεργασία τους (Angelakis A.N, Spyridakis S.V, 1995). Ουσιαστικά, η εφαρμογή φυσικών συστημάτων επεξεργασίας στις ΗΠΑ και άλλες χώρες χρονολογείται από τη δεκαετία του 1870 (Πίνακας 2.2.3.1). Όπως στην Ευρώπη, έτσι και στις ΗΠΑ και άλλες περιοχές η ‘γεωργία-λυμάτων’ (sewage farming), που είναι ένας πολύ παλαιός όρος και αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία, έγινε πολύ γρήγορα ευρύτατα γνωστός ως μια πρώτη προσπάθεια ελέγχου της υδατικής ρύπανσης. Στο πρώτο ήμισυ του εικοστού αιώνα αυτά τα συστήματα αντικαταστάθηκαν είτε με επιτόπια συστήματα επεξεργασίας είτε με: α) εφαρμογή σε ειδικές γεωργικές εκμεταλλεύσεις (φάρμες), όπου οι επεξεργασμένες εκροές χρησιμοποιούνταν για φυτική παραγωγή, β) συστήματα άρδευσης διαφόρων περιβαλλόντων και κοινοχρήστων χώρων και γ) εγκαταστάσεις εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων. Αυτά τα νέα σχετικά συστήματα

επεξεργασίας τείνουν να επικρατήσουν κυρίως στις δυτικές και νότιες πολιτείες, όπου η αξία του νερού των υγρών αποβλήτων αποτελούσε ένα πρόσθετο πλεονέκτημα.

Πίνακας 2.2.3.1: Επιλεγμένα πρόδρομα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, βασιζόμενα στο έδαφος (Metcalf and Eddy, 1991).

στον τομέα της μηχανικής υγρών αποβλήτων(Metcalf and Eddy,1991).

Τοποθεσία	Έτος έναρξης	Τύπος	Έκταση (στρ.)	Παροχή (m ³ /h)
Berlin, Γερμανία	1874	S/F	27196	N/A
Braunschweig, Γερμανία	1896	S/F	43991	2523
Croydon-Beddington, Αγγλία	1896	S/F	2509	725
Leamington, Αγγλία	1870	S/F	1599	142
Melbourne, Αυστραλία	1870	S/R	41603	7884
Mexico City, Μεξικό	1900	S/R	448002	89878
Paris, Γαλλία	1869	S/R	6394	12614
Wroclaw, Πολωνία	1882	S/F	7993	4415
Calumet City, MI, ΗΠΑ	1888	R/I	49	173,5
Ely, NV, ΗΠΑ	1908	S/R	1599	252
Fresno, CA, ΗΠΑ	1891	S/R	15986	4100
San Antonio, TX, ΗΠΑ	1895	S/R	15986	4415
Vineland, NJ, ΗΠΑ	1901	R/I	57	142
Woodland, CA, ΗΠΑ	1889	S/R	688	646

N/A: δεν είναι διαθέσιμη
R/I: ταχεία εφαρμογή
S/F: γεωργική εκμετάλλευση, βασιζόμενη σε υγρά απόβλητα
S/R: βραδεία εφαρμογή

Πίνακας 2.2.3.2: Ταξινόμηση μονάδων φυσικών συστημάτων επεξεργασίας στις ΗΠΑ (Αγγελάκης Α.Ν, Tchabanoglous G, 1995).

Τύπος Συστήματος	Αριθμός Μονάδων
1. Απορροφητικά Εδαφικά Συστήματα	209 x 10 ^{4a}
2. Τεχνητές Λίμνες	7607 ^b
3. Βασιζόμενα σε Εφαρμογή στο Έδαφος	1225
α) Βραδείας Εφαρμογής (Βραδείας διήθησης, άρδευσης κλπ.)	
β) Ταχεία Διήθησης (SAT)	
γ) Επιφανειακής Ροής	
4. Υγρότοποι	140
α) Ελευθέρως Επιφάνειας (FWS)	
β) Υποεπιφανειακής Ροής (SFS)	
5. Υδροχαρών Φυτών	20
α) Συστήματα με Επιπλέοντα Φυτά	
β) Συστήματα με Βυθιζόμενα Φυτά	
^a Πρόκειται κυρίως για μονοκατοικίες	
^b Απαιτείται συμπληρωματικός έλεγχος	

Οι πιο πρόσφατες κατακτήσεις στα αντικείμενα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι οι τεχνητοί υγρότοποι με αναδυόμενα φυτά και συστήματα με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά. Το ενδιαφέρον στην εφαρμογή των τεχνητών υγροτόπων αναπτύχθηκε ως αποτέλεσμα της ανανέωσης της λειτουργικότητας των φυσικών υγροτόπων σε συνδυασμό με την εμπειρία, που έχει αποκτηθεί από άλλα φυσικά συστήματα επεξεργασίας. Επιπλέοντα υδροχαρή φυτά εφαρμόστηκαν αρχικά για αναβάθμιση εκροών τεχνητών λιμνών επεξεργασίας και σταθεροποίησης υγρών αποβλήτων. Περισσότερη, όμως, τεχνολογία, σε αυτόν τον τομέα, αποκτήθηκε με την εφαρμογή των συστημάτων υδροχαρών φυτών.

Στις ΗΠΑ ο αριθμός των δημοτικών επιχειρήσεων φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, που εξυπηρετούν πληθυσμό 6,6 εκατομμυρίων περίπου, αυξήθηκε από 304 το 1940 σε 571 το 1972. Πιο πρόσφατες εκτιμήσεις των μονάδων φυσικών συστημάτων, που υπάρχουν στις ΗΠΑ, δίνονται στον Πίνακα 2.2.3.2. Ακόμη όμως, ο αριθμός των συστημάτων αυτών αντιπροσωπεύει μόνο ένα μικρό ποσοστό, στις άνω από 15000 δημοτικές επιχειρήσεις, που εκτιμάται ότι λειτουργούν στις ΗΠΑ. Με την ψήφιση του Ν.1972 για καθαρό νερό, το ενδιαφέρον έχει αναθεωρηθεί σημαντικά, ως αποτέλεσμα της έμφασης, που δίνεται, στην

επαναχρησιμοποίηση του νερού, της ανακύκλωσης του νερού και των θρεπτικών στοιχείων και τη χρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για την άρδευση φυτικών καλλιεργειών. Συγχρόνως, άρχισε να παρέχεται νομοθετικά οικονομική υποστήριξη για έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογίας στα αντικείμενα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας. Αυτό οδήγησε στην ισότιμη αναγνώρισή της, ως τεχνικής διαχείρισης Χαρακτηριστικά των Φυσικών Συστημάτων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων.

Όλοι οι τύποι των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας προϋποθέτουν προεπεξεργασία των χρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων με κάποια μηχανική και/ή συμβατική διεργασία. Η ελάχιστη προεπεξεργασία που συνιστάται είναι η εσχάρωση και/ή πρωτοβάθμια καθίζηση, με σκοπό την απομάκρυνση στερεών, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν προβλήματα στα δίκτυα διανομής ή να δημιουργήσουν ενοχλητικές συνθήκες στον περιβάλλοντα χώρο. Η ανάγκη για υψηλότερου επιπέδου προεπεξεργασία εξαρτάται από τα αντικείμενα και τους σκοπούς του συστήματος και τους σχετικούς κανονισμούς, που ισχύουν. Σημειώνεται ότι η ικανότητα όλων σχεδόν των φυσικών συστημάτων για επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι περιορισμένη. Γι' αυτό το λόγο τα συστήματα αυτά θα πρέπει να σχεδιάζονται, να κατασκευάζονται και να διαχειρίζονται με δεδομένη αυτήν την προϋπόθεση.

2.3 ΤΥΠΟΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ Υ.Α

Οι τύποι των Φυσικών Συστημάτων είναι:

- Βραδεία εφαρμογή.
- Ταχεία διήθηση.
- Επιφανειακή ροή.
- Υγρότοποι.
- Επιπλέοντα υδροχαρή φυτά.

Πίνακας 2.3.1: Τυπικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού φυσικών ανοιγμάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Αγγελάκης, 1995).

Χαρακτηριστικά	Βραδεία	Ταχεία	Επιφανειακή	Υγρότοποι	Επιπλέοντα
-----------------------	----------------	---------------	--------------------	------------------	-------------------

	εφαρμογή	διήθηση	ροή	υδροχαρή φυτά	
Επιδιωκόμενοι σκοποί	B/βάθμια ή προωθημένη επεξεργασία και μηδενική εκροή	B/βάθμια ή προωθημένη επεξ/σία ή εμπλουτισμός υδροφόρων	B/βάθμια ή επεξεργασία με υψηλή απομάκρυνση N	B/βάθμια ή προωθημένη επεξεργασία	B/βάθμια ή προωθημένη επεξεργασία
Τεχνική εφαρμογής	Καταιονισμός ή Επιφανειακά ^a	Συνήθως επιφανειακά	Καταιονισμός ή επιφανειακά	Καταιονισμός ή επιφανειακά	Επιφανειακά
Υδραυλικό φορτίο (m/έτος)	0,61-6,10	6,0-90,0	7,3-56,7	5,5-18,3	5,5-18,3
Απαιτούμενη επιφάνεια (στρ./$(10\text{ m}^3/\text{d})$)	60-590	4,0-60	6,5-48,1	19,2-66,3	19,2-66,3
Ελάχιστη προεπεξεργασία	A/βάθμια Επεξεργασία (καθίζηση) ^b	A/βάθμια Επεξεργασία (καθίζηση) ^b	A/βάθμια επεξεργασία (εσχάρωση)	A/βάθμια επεξεργασία	A/βάθμια επεξεργασία
Διάθεση αποβλήτου (κύριοι διεργασικοί μηχανισμοί)	Εξατμισοδιαπνοή και διήθηση-κατείδυση	Κυρίως διήθηση-κατείδυση - διαπνοή	Κυρίως επιφανειακή απορροή και εξατμισοδιαπνοή	Εξατμισοδιαπνοή-κατείδυση & απορροή	Μερική εξατμισοδιαπνοή
Φυτική Βλάστηση^c	Αναγκαία	Προαιρετική	Αναγκαία	Αναγκαία	Αναγκαία

a Σ' αυτές συμπεριλαμβάνονται όλες σχεδόν οι μέθοδοι επιφανειακής άρδευσης (αυλάκια, λεκάνες και άλλες).

Εξαρτάται από τη χρήση της εκροής και το είδος της υφιστάμενης φυτικής βλάστησης.

b

c

Για λόγους δημόσιας υγείας, δεν χρησιμοποιούνται συνήθως φυτά, που η παραγωγή τους καταναλώνεται άμεσα από τον άνθρωπο.

2.3.1 Βραδεία Εφαρμογή

Η βραδεία εφαρμογή αποτελεί τον επικρατέστερο σήμερα τύπο φυσικού συστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Αυτό, συνοπτικά, περιλαμβάνει την ελεγχόμενη εφαρμογή των προεπεξεργασμένων αποβλήτων σε έδαφος με φυτική βλάστηση, με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία τους και την ικανοποίηση των εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών της φυτικής βλάστησης. Τα εφαρμοζόμενα απόβλητα είτε χρησιμοποιούνται για την ικανοποίηση εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών είτε διηθούνται και κατεισδύουν στο έδαφος και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς (Πίνακας 2.3.1). Κάθε πιθανή επιφανειακή απορροή, συνήθως, συγκεντρώνεται και επανα-εφαρμόζεται στο σύστημα. Η επεξεργασία των αποβλήτων διενεργείται καθώς αυτά διηθούνται στο έδαφος. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα απόβλητα κατεισδύουν στον υποκείμενο υπόγειο υδροφόρο, αλλά είναι δυνατό να συναντηθούν με επιφανειακό νερό ή ακόμη και να ανακτηθούν με στραγγιστικά ή φρεατικά έργα. Η ταχύτητα εφαρμογής των αποβλήτων, δηλαδή το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής (ύψος νερού ανά μονάδα επιφάνειας), και η επιλογή και διαχείριση της φυτικής βλάστησης αποτελούν βασικά στοιχεία σχεδιασμού του συστήματος.

Η εφαρμογή των υγρών αποβλήτων στο έδαφος μπορεί να γίνει με μια ποικιλία μεθόδων, όπως είναι οι επιφανειακές μέθοδοι (λεκάνες, αύλακες και άλλες) ή με καταιονισμό στο παρακάτω σχήμα. Με σκοπό την επικράτηση ακόρεστων συνθηκών στο έδαφος επιβάλλεται η μη συνεχής εφαρμογή του αποβλήτου σε αυτό. Οι ενδιάμεσοι κύκλοι εφαρμογής κυμαίνονται συνήθως από 4-10 ημέρες. Η σχετικά βραδεία εφαρμογή του αποβλήτου, σε συνδυασμό με την παρουσία της φυτικής βλάστησης και την ενδογενή δυνατότητα του εδαφικού οικοσυστήματος, δημιουργούν στα συστήματα βραδείας εφαρμογής υψηλό δυναμικό επεξεργασίας. (Σχήμα 2.3.2.1)

2.3.2 Ταχεία Διήθηση ή Εφαρμογή

Τα συστήματα αυτά ονομάζονται επίσης SAT (Soil – Aquifer - Treatment, δηλαδή Έδαφος – Υδροφορέας - Επεξεργασία). Με τα συστήματα αυτά τα υγρά απόβλητα, που έχουν υποστεί προεπεξεργασία, εφαρμόζεται σε αβαθείς επιφανειακές λεκάνες διήθησης και επαναλαμβανόμενους κύκλους. Η εφαρμογή των αποβλήτων είναι δυνατή και με εκτοξευτές υψηλής ταχύτητας. Συνήθως, σε τέτοιες περιπτώσεις δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη φυτικής βλάστησης πλην της περιπτώσεως, όπου η εφαρμογή του αποβλήτου διενεργείται με εκτοξευτές. Επειδή σε τέτοια συστήματα τα φορτία και οι ταχύτητες εφαρμογής είναι σχετικά υψηλά, οι απώλειες με εξάτμιση είναι μικρές και γι' αυτό ο μεγαλύτερος όγκος των εφαρμοζόμενων αποβλήτων κατεισδύει στο έδαφος, όπου διενεργείται περαιτέρω επεξεργασία του (Σχήμα 2.3.2.1).

Τα συστήματα ταχείας διήθησης περιλαμβάνουν επεξεργασία, που ακολουθείται από:

- Εμπλουτισμό του υπογείου υδροφορέα για αναπλήρωση και/ή προστασία του κυρίως από διεύδυση και ανάμειξη με αλμυρό νερό.
- Ανάκτηση με στράγγιση ή άντληση.
- Φυσική ροή του υπογείου νερού και απόληξη σε επιφανειακή πηγή.

Το δυναμικό επεξεργασίας με τέτοια συστήματα είναι κατά κάποιο τρόπο μικρότερο από αυτό των συστημάτων βραδείας εφαρμογής, εξαιτίας της μικρότερης κατακράτησης σε πιο περατά εδάφη εφαρμογής και με μεγαλύτερες ταχύτητες του υδραυλικού φορτίου (Πίνακας 2.3.2.2).

Πίνακας 2.3.2.1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με γήινα φυσικά συστήματα (Αγγελάκης Α.Ν, Tchabanoglous G, 1995)

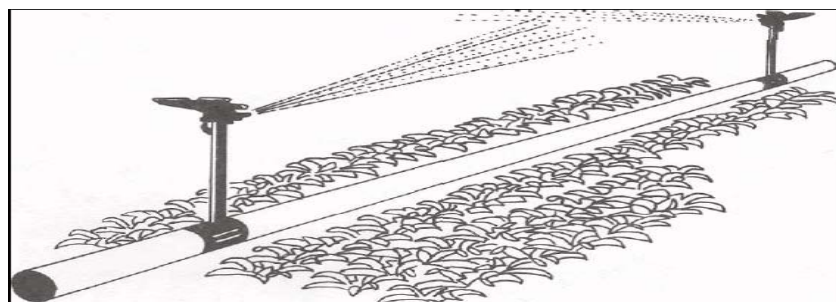
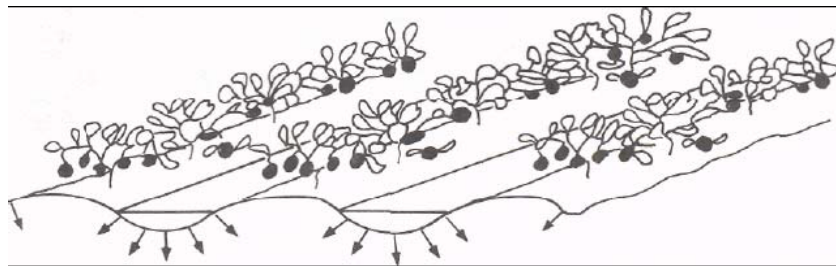
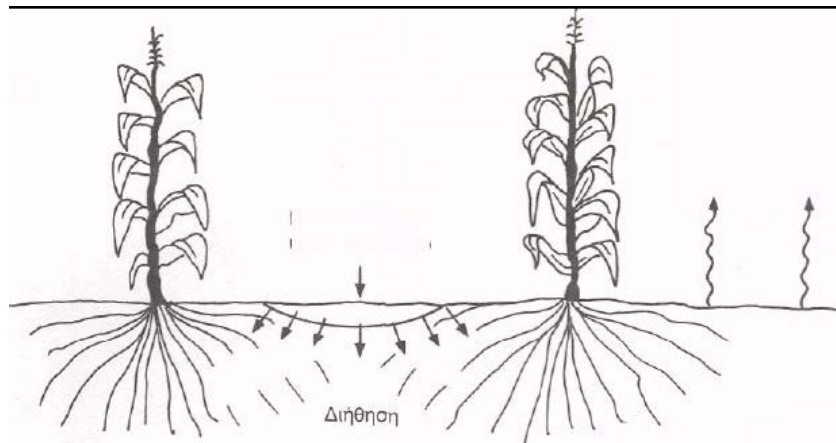
Συστατικό	ΒΡΑΔΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ^a		ΤΑΧΕΙΑ ΔΙΗΘΗΣΗ ^b		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΡΟΗ ^{cd)}	
	Υψηλότερη Δυνατή	Μέσος Όρος	Υψηλότερη Δυνατή	Μέσος Όρος	Υψηλότερη Δυνατή	Μέσος Όρος
BOD₅	<5	<2	<10	5	<15	10
SS	<5	<1	<5	2	<20	10
N-NH₄	<2	<0,5	<2	0,5	<8	,4
Ολικό N	<8	3	<20	10	<10	5
Ολικός P	<0,3	<0,1	<5	1	<6	4
Κολοβακτηρίδια (No/100 cm³)	<10	0	<200	10	<200	200

^a Κατείσδυση μέχρι 1,5 m βάθους πρωτοβάθμιας ή δευτεροβάθμιας εκροής υπό ακόρεστες συνθήκες.

^b Κατείσδυση μέχρι 4,5 m βάθους πρωτοβάθμιας ή δευτεροβάθμιας εκροής. Για μεγαλύτερα βάθη κατείσδυσης έχουν διαπιστωθεί ακόμη υψηλότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά, τουλάχιστον σε ό,τι αφορά το P και τα κολοβακτηρίδια.

^c Απορροή αστικού υγρού αποβλήτου σε κλίση 45 m περίπου.

^d Όλες οι μονάδες μέτρησης αναφέρονται σε mg/l εκτός από αυτές, που γίνεται ειδική αναφορά.



Σχήμα 2.3.2.1: Σχηματική απεικόνιση συστήματος βραδείας εφαρμογής: α) Υδραυλική Ροή, β) Επιφανειακή Εφαρμογή και γ) Εφαρμογή με Καταιονισμό(Αγγελάκης Α.Ν, Tchabanoglous G, 1995)

2.3.3 Επιφανειακή Ροή

Τα συστήματα επιφανειακής ροής βασίζονται στην εφαρμογή των προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων κατά μήκος της υψηλότερης πλευράς μιας διαβαθμισμένης, κεκλιμένης επιφάνειας με φυτική βλάστηση, που επιτρέπει την ροή του σε

όλη την έκτασή της και τη συλλογή της επεξεργασμένης εκροής στο τέλος της κλίσης της. Μια σχηματική απεικόνιση αυτών των διεργασιών δίνεται στο Σχήμα 2.

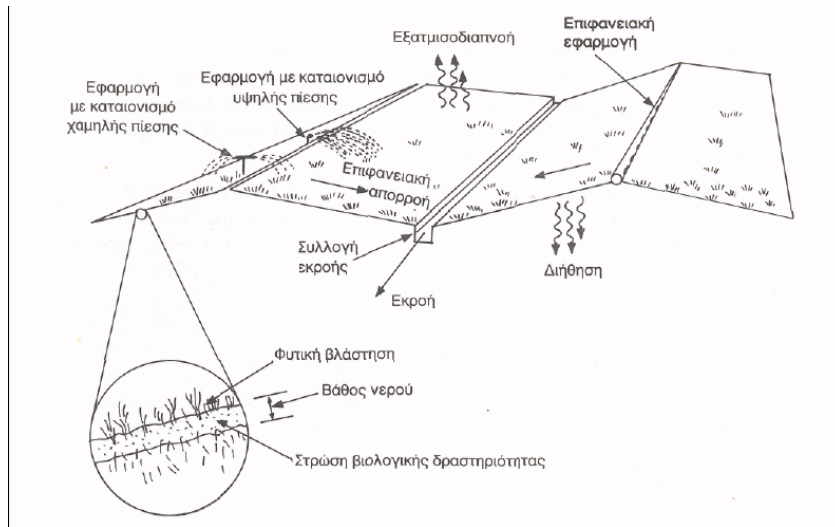
Συνήθως, τα συστήματα επιφανειακής ροής εφαρμόζονται σε θέσεις με εδάφη σχετικά αδιαπέραστα, αν και οι διεργασίες αυτών των συστημάτων έχουν εφαρμογή σε μια ποικιλία εδαφικών τύπων και κυρίως υδραυλικών αγωγιμοτήτων, επειδή η περατότητα του εδάφους, σε τέτοια συστήματα, μειώνεται σημαντικά με το χρόνο. Με αυτά τα συστήματα, η εδαφική διήθηση του αποβλήτου είναι περιορισμένη και αποτελεί μια μικρής έντασης υδραυλική δίοδο του αποβλήτου. Ο κύριος όγκος του εφαρμοζόμενου αποβλήτου συλλέγεται ως επιφανειακή απορροή. Μέρος του εφαρμοζόμενου αποβλήτου διαφεύγει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Οι συνολικές απώλειες του υγρού αποβλήτου εξαρτώνται από την εποχή του έτους, τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες και το είδος της φυτικής βλάστησης. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν με εναλλασσόμενες περιόδους εφαρμογής και ανάπαυσης (ξήρανσης). Η χρονική διάρκεια της κάθε περιόδου εξαρτάται από το σκοπό της επεξεργασίας. Σ' αυτά τα συστήματα η διανομή γίνεται με εκτοξευτές υψηλής ή χαμηλής πίεσης ή με επιφανειακές μεθόδους, όπως είναι οι σωλήνες με ρυθμιζόμενες εξόδους.

2.3.4 Υγρότοποι

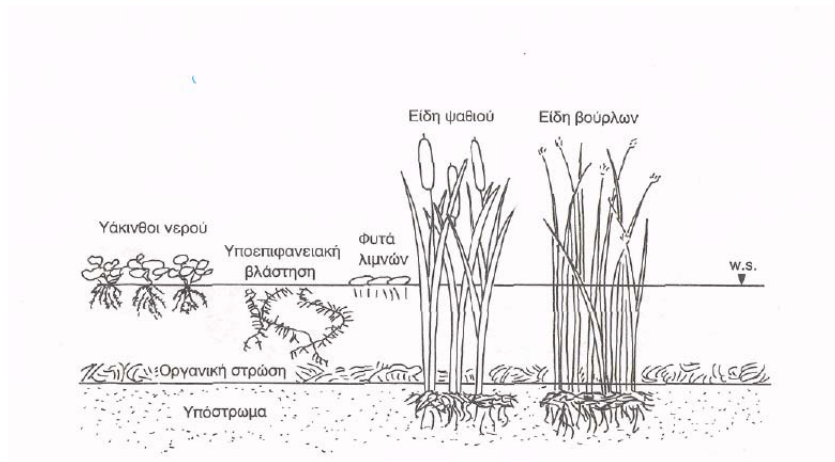
Οι υγρότοποι είναι τμήματα εδάφους κατακλυζόμενα με νερό, συνήθως μικρού βάθους (< 0,6 m), στα οποία αναπτύσσονται φυτά, όπως διάφορα είδη κύπερης (φυτά της οικογένειας Cyperaceae, κυρίως του γένους *Carex* spp.), καλάμια (φυτά του γένους *Phragmites*, κυρίως του είδους *P. communis*), είδη βούρλων (φυτά του γένους *Scirpus*) και άλλα, όπως είναι είδη ψαθίου και αφράτου (φυτά του γένους *Typha*). Τυπικά φυτά που χρησιμοποιούνται σε υγροβιότοπους αναφέρονται στο Σχήμα 3. Η φυτική βλάστηση προσφέρει το βασικό υπόστρωμα ανάπτυξης των βακτηριακών μεμβρανών, βοηθά στο φιλτράρισμα και την προσρόφιση συστατικών των αποβλήτων, μεταφέρει οξυγόνο στη μάζα νερού και περιορίζει την ανάπτυξη αλγών με τον έλεγχο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο οι τεχνητοί, όσο και οι φυσικοί υγρότοποι. Οι φυσικοί όμως υγρότοποι έχουν περιορισμένη χρήση στην αποδοχή και/ή περαιτέρω επεξεργασία εκροών δευτεροβάθμιας ή ακόμη προωθημένης επεξεργασίας.

2.3.4.1 Φυσικοί υγρότοποι

Από μια κανονιστική άποψη οι φυσικοί υγρότοποι μπορούν να θεωρηθούν ως υδατικοί αποδέκτες. Έτσι, στις περισσότερες περιπτώσεις, που οι φυσικοί υγρότοποι δέχονται εκροές δευτεροβάθμιας ή προωθημένης επεξεργασίας, πληρούν κανονιστικές απαιτήσεις. Επιπλέον, το κύριο αντικείμενο χρησιμοποίησης φυσικών υγροτόπων, 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.



Σχήμα 2.3.4.1.1: Σχηματική παράσταση των διεργασιών ενός συστήματος επιφανειακής ροής (Metcalf and Eddy, 1991)



Σχήμα 2.3.4.1.2: Σχηματική απεικόνιση συστήματος υδροχαρών φυτών (Αγγελάκης Α.Ν, Tchabanoglous G, 1995).

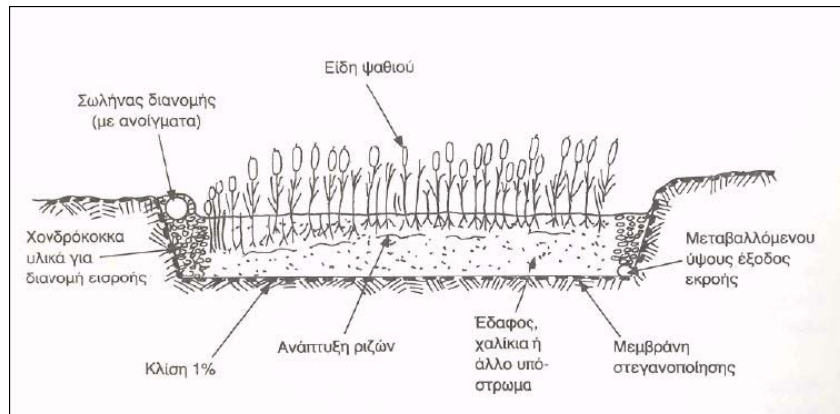
2.3.4.2 Τεχνητοί υγρότοποι

Οι τεχνητοί υγρότοποι έχουν όλες τις δυνατότητες των φυσικών υγροτόπων, αλλά χωρίς τους περιορισμούς, που αφορούν στη διάθεση εκροών σε φυσικά οικοσυστήματα. Για την περαιτέρω επεξεργασία προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με συστήματα τεχνητών υγροτόπων έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί δύο τύποι:

- i. Αυτά της ελεύθερης επιφάνειας (FWS) και
- ii. Τα υπεδάφιας ροής (SFS).

Τα FWS συστήματα αποτελούνται, συνήθως, από παράλληλες λεκάνες, κανάλια ή τάφρους με αδιαπέρατους πυθμένες, με αναφυόμενη φυτική βλάστηση και μικρό βάθος νερού (0,1-0,6 m). Σε τέτοια συστήματα εφαρμόζονται συνεχώς προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα και η περαιτέρω επεξεργασία τους διενεργείται, καθώς η εφαρμοζόμενη εκροή τους ρέει με μικρή ταχύτητα δια μέσου 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 ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για την αποδοχή υγροτόπων ή ενίσχυση υφιστάμενων φυσικών υγροτόπων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, αναπτύσσεται ένας συνδυασμός υδατικών επιφανειών, με βλάστηση και ανοιχτών και μικρών νησίδων με την κατάλληλη βλάστηση και ενίσχυση της ροής του νερού με αναζωογόνηση των υφιστάμενων εθίμων.

Ανάλογα, τα συστήματα τύπου SFS σχεδιάζονται με σκοπό την επίτευξη δευτεροβάθμιας ή προωθημένης επεξεργασίας. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται επίσης συστήματα ‘ρίζοσφαιρας’ 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 (Σχ. 2.3.4.2.1). Περισσότερα στοιχεία για τα συστήματα των Τεχνητών Υγροτόπων δίνονται στη συνέχεια.



Σχήμα 2.3.4.2.1: Εγκάρσια τομή ενός τυπικού SFS συστήματος (Αγγελάκης Α.Ν, Tchabanoglous G, 1995)

2.3.4.2.1 Συστήματα Επιπλέοντων Υδροχαρών Φυτών

Τα συστήματα επιπλέοντων υδροχαρών φυτών μοιάζουν στη βασική σύλληψή τους με αυτά των υγροτόπων ελευθέρως επιφανείας 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 υγροτόπων (FWS) και συνήθως κυμαίνεται από 0,5 έως 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 υγροτόπων.

2.3.4.2.2 Υδατοκαλλιέργεια

Υδατοκαλλιέργεια είναι η ανάπτυξη ψαριών και άλλων υδροβίων 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 υδατοκαλλιέργειών. Στις περισσότερες, όμως, περιπτώσεις το κύριο αντικείμενο τέτοιων συστημάτων ήταν η παραγωγή βιομάζας και η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων αποτελούσε επί μέρους ή δευτερεύοντα σκοπό. Η επιτυχάνουσα, με τέτοια συστήματα, επεξεργασία οφείλεται εξ ολοκλήρου στα βακτήρια, που αναπτύσσονται και εγκαθίστανται στα επιπλέοντα υδροχαρή φυτά (Reed et al, 1988). Γενικά, ο συνδυασμός της

υδατοκαλλιέργειας και της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, ως μιας ενιαίας λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος, απαιτεί περαιτέρω έρευνα. Ιδιαίτερα, θα πρέπει να καθορισθεί η επικινδυνότητα για τη δημόσια υγεία, που μπορεί να οφείλεται στους υδρόβιους οργανισμούς, που αναπτύσσονται σε τέτοια συστήματα.

2.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ

Οι τεχνητοί υγρότοποι 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 των αποβλήτων διενεργείται πάνω ή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Με βάση την αρχή αυτή, τα συστήματα των τεχνητών υγροτόπων διακρίνονται σε αυτά με ελεύθερη επιφάνεια νερού (FWS) και σε αυτά με βυθισμένη βάση ή υποεπιφανειακής ροής (SFS).

Στη συνέχεια, αναφέρονται στοιχεία προκαταρκτικού σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων. Ο λεπτομερής σχεδιασμός τους περιλαμβάνει μεταξύ άλλων, το μέγεθος, την επιλογή και τον επιτόπιο σχεδιασμό των επί μέρους τμημάτων τους, το δίκτυο μεταφοράς, τους σταθμούς άντλησης, όπως αναλυτικά περιγράφονται από την Metcalf and Eddy Inc., (1981). Οι τεχνητοί υγρότοποι έχουν χρησιμοποιηθεί για μια ποικιλία εφαρμογών, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται εφαρμογές από υγρά απόβλητα απορροφητικών συστημάτων μέχρι διάφορα είδη βιομηχανικών αποβλήτων. Στη συνέχεια γίνονται αναφορές για τη χρήση των τεχνητών υγροτόπων στην επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων.

2.4.1 Εκτίμηση και Επιλογή θέσης

Τα βασικά χαρακτηριστικά της θέσης, που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό συστημάτων τεχνητών υγροτόπων, είναι η τοπογραφία, η εδαφολογία, η χρήση γης, η υδρολογία και το κλίμα της περιοχής.

- **Τοπογραφία.** Με δεδομένο ότι τα συστήματα τεχνητών υγροτόπων με ελεύθερη επιφάνεια (FWS) σχεδιάζονται σε επίπεδες λεκάνες ή κανάλια και αυτά με βυθισμένη βάση (SFS) σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με κλίσεις 1% ή ελαφρώς μεγαλύτερες γενικά, απαιτείται ομοιόμορφη τοπογραφία (από επίπεδη έως ελαφρώς κεκλιμένη). Είναι φανερό ότι τέτοια συστήματα μπορούν να κατασκευασθούν και σε ανομοιόμορφες εκτάσεις με μεγάλες κλίσεις, αλλά σε τέτοιες περιπτώσεις το κόστος εκσκαφής, ίσως, να είναι απαγορευτικό. Γενικά, κατάλληλες θέσεις για υγροτόπους θεωρούνται αυτές με κλίσεις μικρότερες από 5%.

- **Εδαφολογία.** Θέσεις με εδάφη ή υπεδάφη με μικρή σχετικά περατότητα (<5 mm/h) είναι πιο επιθυμητές για συστήματα υγρατόπων, αφού ο αντικειμενικός σκοπός τους είναι η επεξεργασία υγρών αποβλήτων σε μια υδατική στρώση, πάνω από το χρησιμοποιούμενο εδαφικό υπόστρωμα. Έτσι, ελαχιστοποιούνται οι απώλειες των εφαρμοζόμενων υγρών αποβλήτων με διήθησή τους στο έδαφος. Σε συστήματα υγρατόπων, όπως και σε αυτά επιφανειακής ροής, οι πόροι στο επιφανειακό έδαφος τείνουν να αποφράσσονται, εξαιτίας της κατακράτησης στερεών και των αναπτυσσόμενων αποικιών βακτηρίων. Επίσης, σε φυσικά εδάφη, είναι δυνατή η ελάττωση της περατότητας τους με συμπίεση τους στη διάρκεια κατασκευής του έργου. Θέσεις με πολύ πέρατα εδάφη μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο στην περίπτωση κατασκευής μικρών συστημάτων με αργλικές βάσεις ή άλλα τεχνητά υποστρώματα.
- **Χρήση Γης.** Γενικά, προτιμούνται ανοικτές γεωργικές εκτάσεις, ιδιαίτερα εκείνες που ευρίσκονται σε υπάρχοντες φυσικούς υγρατόπους. Οι τεχνητοί υγρατόποι επιδρούν αυξητικά και βελτιωτικά σε υπάρχοντες φυσικούς υγρατόπους με προσθήκη υδρόβιας δραστηριότητας και εξασφάλιση σταθεράς υδατοτροφοδοσίας τους. Σε πολλές περιπτώσεις επιδρούν θετικά στην ποιοτική αναβάθμιση των περιοχών εγκατάστασης τους.
- **Υδρολογία.** Οι υγρατόποι πρέπει να βρίσκονται έξω από περιοχές επιδεκτικές σε πλημμύρες εκτός αν παρέχεται ιδιαίτερη προστασία τους από πλημμυρικά συμβάντα. Σε περιπτώσεις που συμβαίνουν μικρής έκτασης πλημμυρικά γεγονότα, ιδιαίτερα στη περίοδο του χειμώνα, που η λειτουργία τους περιορίζεται, δεν απαιτείται ιδιαίτερη προστασία τους.
- **Κλίμα.** Η χρήση τεχνητών υγρατόπων είναι δυνατή ακόμη και σε ψυχρά κλίματα. Ως παράδειγμα αναφέρεται το FWS σύστημα του Listowel του Ontario, που λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και με θερμοκρασία του υγρών αποβλήτων μέχρι και 3 °C. Γενικά, όμως, η αποτελεσματικότητα λειτουργίας ενός συστήματος εξαρτάται από τη θερμοκρασία των εφαρμοζόμενων υγρών αποβλήτων και τον επιδιωκόμενο σκοπό της επεξεργασίας τους. Έτσι, με δεδομένο ότι οι κύριοι μηχανισμοί επεξεργασίας είναι κυρίως βιολογικής φύσης, η απόδοση επεξεργασίας είναι σημαντικά εξαρτώμενη από την επικρατούσα θερμοκρασία. Γι' αυτό, απαιτείται αποθήκευση των εφαρμοζόμενων αποβλήτων, όταν δεν επιτυγχάνεται ο αντικειμενικός σκοπός κατασκευής του δεδομένου συστήματος.

2.4.2 Προεπεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

Το ελάχιστο επίπεδο προεπεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε συστήματα υγροτόπων είναι εκροές πρωτοβάθμιας επεξεργασίας ή αεριζόμενων τεχνητών λιμνών με μικρό χρόνο παρακράτησης ή άλλων ισοδυνάμων με αυτές. Το επίπεδο προεπεξεργασίας εξαρτάται από τα ποιοτικά κριτήρια, που πρέπει να πληρεί η τελική εκροή, και την ικανότητα απομάκρυνσης του δεδομένου συστήματος. Σημειώνεται ότι σε τεχνητούς υγροτόπους έχουν χρησιμοποιηθεί και εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας ή ακόμη και προωθημένης επεξεργασίας, προκειμένου να αντιμετωπισθούν τοπικές κανονιστικές απαιτήσεις. Γενικά, όμως, πρέπει να αποφεύγεται η χρήση εκροών οξειδωτικών τεχνητών λιμνών, που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις αλγών, επειδή αυτά, όπως και τα συστήματα επιφανειακής ροής, δεν απομακρύνονται αποτελεσματικά και δημιουργούν διάφορα λειτουργικά προβλήματα. Επίσης, επειδή η απομάκρυνση φωσφόρου σε τέτοια συστήματα είναι περιορισμένη, συνίσταται η απομάκρυνσή του κατά την προεπεξεργασία του αποβλήτου, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν περιορισμοί ως προς τη συγκέντρωσή του στην τελική εκροή.

2.4.3 Στοιχεία φυτών των υγροτόπων

Οι τεχνητοί υγρότοποι βασίζονται στην κυριότερη λειτουργία των φυσικών υγροτόπων, η οποία αφορά τις διάφορες φυσικές διεργασίες, με τις οποίες επιτυγχάνεται η βελτίωση της ποιότητας των νερών (Karathanassis, 1995). Οι τεχνητοί υγρότοποι βρίσκουν εφαρμογή στον καθαρισμό των λυμάτων από κοινότητες και μικρές πόλεις, των νερών από ορυχεία, των εκροών από βιομηχανικές περιοχές, των λυμάτων από κτηνοτροφικές μονάδες, από βιομηχανίες τροφίμων και από εργοστάσια χαρτοποιίας.

Τα υδρόφιλα φυτά συμβάλλουν στην επεξεργασία των αποβλήτων με την πρόσληψη, εκτός των κυρίων θρεπτικών στοιχείων και επιπρόσθετων άλλων συστατικών, τα οποία συνιστούν τους κυριότερους ρύπους των υγρών αστικών βιομηχανικών και κτηνοτροφικών αποβλήτων. Ο μεγαλύτερος ρόλος τους, πέρα από τη μεταφορά οξυγόνου στην περιοχή του ριζοστρώματος, οφείλεται στην ίδια τη φυσική παρουσία των φυτών στις λεκάνες επεξεργασίας. Έτσι το ριζικό σύστημα και τα στελέχη των φυτών, τα οποία βρίσκονται μέσα στο πορώδες μέσο των λεκανών, συμβάλλουν στη διευκόλυνση της κίνησης του νερού των προς επεξεργασία λυμάτων μέσα στις λεκάνες. Επιπρόσθετα η φυτομάζα, που αναπτύσσεται πάνω από το νερό, εμποδίζει τη διέλευση του φωτός στις λεκάνες, αποτρέποντας έτσι την ανάπτυξη των αλγών (πρασινάδας) σ' αυτές.

Όμως η μεγαλύτερη, ίσως, συμβολή των φυτών στους υγροτόπους, ιδιαίτερα σε αυτούς με ελεύθερη υδατική επιφάνεια, αποτελούν τα βυθισμένα στο νερό τμήματα των στελεχών, των φύλλων και των διαφόρων υπολειμμάτων τους, με τα οποία αυξάνεται σημαντικά η ειδική επιφάνεια των λεκανών, η οποία χρησιμοποιείται ως υπόβαθρο για την ανάπτυξη της μικροβιακής χλωρίδας.

Παραδείγματα εφαρμογής στη χώρα μας συστημάτων τεχνητών υγροτόπων για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, αποτελεί το ερευνητικό έργο που αποπερατώθηκε το 1996, κοντά στις εγκαταστάσεις της Μονάδας Βιολογικού Καθαρισμού Λυμάτων Θεσσαλονίκης (ΜΒΚΘ) - όπου γίνεται ο πρωτογενής καθορισμός τους - με παροχή σχεδιασμού αντιστοιχούσα σε οικισμό 500 κατοίκων. Ένα δεύτερο παράδειγμα αποτελεί ο σταθμός επεξεργασίας των λυμάτων της κοινότητας Ν. Μαδύτου Θεσσαλονίκης, στον οποίο επεξεργάζονται με επιτυχία τα λύματα 3.700 κατοίκων. Επίσης σύστημα τεχνητών υγροτόπων έχει κατασκευαστεί και στις καινούργιες εγκαταστάσεις του τμήματος Δασολογίας του Α.Π.Θ., στο Πανεπιστημιακό δάσος του Περτουλίου Τρικάλων, για την επεξεργασία των λυμάτων τους. Επιπρόσθετα, έχουν αποπερατωθεί τα έργα επεξεργασίας λυμάτων με τεχνητούς υγροτόπους στις κοινότητες της Αργυρούπολης Χανίων, της Πόμπιας Ηρακλείου και του Γοματίου Χαλκιδικής.

Τα φυτά που συνήθως χρησιμοποιούνται σε όλα τα είδη των τεχνητών υγροτόπων είναι αυτά που απαντώνται στους υπάρχοντες φυσικούς υγροτόπους και περιλαμβάνουν διάφορα είδη υδροχαρών φυτών. Τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα από αυτά τα φυτά είναι οι κοινές καλάμιές (*Phragmites* sp.) για τους υγροτόπους υπόγειας οριζόντιας και κατακόρυφης ροής και τα ψαθιά ή τύφες (*Typha* sp.), τα βούρλα ή γιούγκοι (*Juncus* sp.), τα ψαθιά ή σκίρποι ή σύφες (*Scirpus*) και οι ξιφάρες ή κάρηκες (*Carex* sp.) για τους υγροτόπους με ελεύθερη επιφάνεια νερού. Επίσης χρησιμοποιούνται, κυρίως όμως στις δεξαμενές σταθεροποίησης, και διάφορα είδη επιπλεόντων φυτών, όπως τα κοινά λήμνα (*Lemna* sp.), τα νούφαρα (*Nuphar* sp.), οι υδροχαρείς υάκινθοι (*Eichhornia crassipes*) καθώς επίσης και διάφορα αισθητικά φυτά, όπως τα διάφορα είδη κρίνων (*Zantedeschia aethiopica*, *Iris pseudacorus*, *Canna flaccida*, *Hedychium coronarium*).

Τα φυτά αυτά φυτεύονται στο πορώδες στρώμα των λεκανών, οπότε οι ρίζες τους αναπτύσσονται στη ζώνη που καλύπτουν τα λύματα. Έτσι αυξάνουν τη διαπερατότητα του πορώδους μέσου και το σημαντικότερο προσθέτουν οξυγόνο στο χώρο, με τη βοήθεια ειδικών βακτηρίων που αναπτύσσονται στο περιβάλλον αυτό, οπότε αυξάνεται η βιολογική δράση για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Οι μέσες αποστάσεις φύτευσης είναι 60 cm για τα *Typha* και τα *Phragmites*, 30-60 cm για τα *Juncus* και τα *Scirpus* και 15 cm για τα

Carex. Επίσης εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι το βάθος ριζοστρώματος για τα Typha είναι 30-40 cm, για τα Phragmites 60-80 cm και για τα Juncus 60-90 cm. Αυτό το βάθος καθορίζει και το πάχος του πορώδους υλικού, με το οποίο πληρούνται οι λεκάνες επεξεργασίας των λυμάτων. Επειδή το κυρίαρχο φυτικό είδος αυτών των λεκανών είναι οι καλαμιές, αυτά τα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων ονομάζονται πολλές φορές και κλίνες καλαμιών (reed beds). (Todd, 1980)

2.4.4 Παράμετροι Σχεδιασμού

Όπως προαναφέρεται, οι τεχνητοί υγρότοποι, ελεύθερης και υποεπιφανειακής ροής, αν και αποτελούν νέες τεχνολογίες, είναι σήμερα ευρύτατα διαδεδομένοι σε όλες σχεδόν τις ΗΠΑ. Οι Brown and Reed (1994) βασιζόμενοι σε μια προκαταρκτική επισκόπηση-θεώρηση τέτοιων συστημάτων στις ΗΠΑ, συμπεραίνουν ότι τα συστήματα αυτά είναι τόσο αξιόπιστα όσο και χαμηλού σχετικά κόστους, κυρίως σε ό,τι αφορά την απομάκρυνση BOD και διαλυμένων στερεών κατά την επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Αντίθετα, τα συστήματα αυτά υστερούν σε ό,τι αφορά την απομάκρυνση NH_3 , που πιθανόν οφείλεται σε περιορισμένο εφοδιασμό με οξυγόνο. Γι' αυτό απαιτείται πρόσθετη ερευνητική εργασία προσδιορισμού του κατάλληλου σχεδιασμού σε περιπτώσεις εξειδικευμένων συστημάτων απομάκρυνσης ειδικών συστατικών-ρυπαντών των αποβλήτων.

Στα συστήματα τεχνητών υγροτόπων ο σχεδιασμός των βασικών παραμέτρων, όπως είναι ο υδραυλικός χρόνος παρακράτησης, η γεωμετρία (μήκος και πλάτος) λεκάνης, η ταχύτητα του φορτίου BOD_5 και η ταχύτητα υδραυλικού φορτίου, τυγχάνει πρωτίστης σημασίας. Τυπικές διακυμάνσεις αυτών των παραμέτρων δίδονται στον Πίνακα 2.4.4.1.

Πίνακας 2.4.4.1 : Βασικά στοιχεία σχεδιασμού συστημάτων τεχνητών υγροτόπων (Αγγελάκης Α.Ν, Tchabanoglous G, 1995).

Παράμετροι σχεδιασμού	Μονάδες	ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	
		FWS	SFS
Υδραυλικός χρόνος κράτησης	d	5-14	5-14
Βάθος νερού	m	0,1-0,5	0-0,8
Μέγιστος ρυθμός εφαρμογής φορτίου BOD	kg/στρ.d	8	8

Ταχύτητα υδραυλικού φορτίου	$m^3/m^2 d$	0,01-0,06	0,01-0,06
Απαιτούμενη έκταση	$στρ./m^3 d$	0,02-0,14	0,02-0,14
Κάτοψη (αναλογία μήκους/πλάτους)	-	2:1-10:1	<1
Έλεγχος κουνουπιών	-	Απαιτείται	Δεν απαιτείται
Συχνότητα συγκομιδής φυτικής βλάστησης	έτη	3-5	1-2

2.4.4.1 Υδραυλικός Χρόνος Παρακράτησης

Για συστήματα FWS, που σχεδιάζονται για την απομάκρυνση BOD, ο απαιτούμενος υδραυλικός χρόνος παρακράτησης μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση του ακόλουθου μοντέλου (Reed S.C,1988) .Η εξίσωση, στην οποία βασίζεται το μοντέλο αυτό είναι η ακόλουθη:

$$C_e / C_0 = L_0 \exp(-0,7 K_T A_V^{1,75} L W d n / Q)$$

όπου:

C_e : απαιτούμενη συγκέντρωση BOD στην εκροή (ML^{-3})

C_0 : συγκέντρωση BOD στην εισροή (ML^{-3})

L_0 : εμπειρικός συντελεστής, που βασίζεται στο κλάσμα BOD που δεν απομακρύνεται (0,52 περίπου για εκροή πρωτοβάθμιας επεξεργασίας)

A_V : ειδική επιφάνεια ($L^2 L^{-3}$), $15,7 m^2/m^3$ για τυπική φυτική βλάστηση

L : μήκος του συστήματος (L)

W : πλάτος του συστήματος (L)

d : βάθος νερού (L)

n : αποδοτικό πορώδες μέσο του συστήματος (0,75 για αναφυόμενη φυτική βλάστηση)

K_T : σταθερά κινητικής, εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία (T^{-1})

$K_T = K_{20} \Theta^{(T-20)}$, όπου

K_{20} : σταθερά σε θερμοκρασία $20^\circ C$ ($0,0057 d^{-1}$)

$\Theta = 1,10$ και T : θερμοκρασία νερού, $^\circ C$, και

$Q=(Q_e+Q_0)/2$ [$L^3 T^{-1}$], όπου

Q_0 και Q_e : παροχές εισροής και εκροής αντίστοιχα, [$L^3 T^{-1}$]

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής δίνεται από την εξίσωση:

$$t = LWdn/Q \quad (1)$$

όπου $LWdn$ ορίζεται ως ο όγκος πορώδους τους υποστρώματος σε m^3 .

Για τα συστήματα SFS τεχνητών υγροτόπων έχει αναπτυχθεί ένα παρόμοιο μοντέλο υπολογισμού του χρόνου κράτησης, που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση BOD(Reed S.C,1988). Γενικά, η ροή σ' ένα σύστημα SFS δίνεται από το νόμο του Darcy, δηλαδή:

$$Q = K \cdot A_s \cdot S \quad \text{ή} \quad A_s = Q/K \cdot S \quad (2)$$

όπου

Q : ροή στη μονάδα του χρόνου [$L^3 T^{-1}$]

k : υδραυλική αγωγιμότητα [$L^3 L^{-2} T^{-1}$]

A_s : επιφάνεια κάθετη στην κατεύθυνση ροής [L^2]

S : υδραυλική κλίση της λεκάνης dd/dx . Στη Δυτική Γερμανία χρησιμοποιούνται ταχύτητα ροής $< 8,6$ m/d και $S = 8,6/K$.

Επίσης,

$$A_s = d \cdot W \quad (3)$$

όπου

W : πλάτος υποστρώματος [L]

d : βάθος λεκάνης [L].

Συνιστάται η χρησιμοποίηση $d = 0.3, 0.6$ και 0.76 για τα είδη των γενών *Typha*, *Phragmites* και *Scirpus* αντίστοιχα.

Από την εξίσωση (4) υπολογίζεται:

$$W = A_s/d = Q/dKS \quad (4)$$

Η απομάκρυνση BOD σ' ένα σύστημα SFS υπολογίζεται με την εξίσωση κινητικής πρώτης τάξης, δηλαδή

$$C_e/C_0 = \exp(-K_T t') \quad (5)$$

Όπου

C_0 : συγκέντρωση BOD στην εισροή

t' : χρόνος κράτησης πορώδους

C_e : απαιτούμενη συγκέντρωση BOD στην εκροή και

K_T : σταθερά εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία [T], που υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (6), δηλαδή

$$K_T = K_{20} \Theta^{(T-20)} \quad (6)$$

Στην εξίσωση (7) ο χρόνος t' ορίζεται ως ο θεωρητικός χρόνος κράτησης πορώδους, βασιζόμενος στο πορώδες του μέσου:

$$t' = Lwda/Q \quad (7)$$

όπου

a : πορώδες υποστρώματος της λεκάνης.

Ο πραγματικός χρόνος κράτησης,

t , είναι συνάρτηση της υδραυλικής αγωγιμότητας του μέσου και του μήκους της λεκάνης κι υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$t = L/KS \quad (8)$$

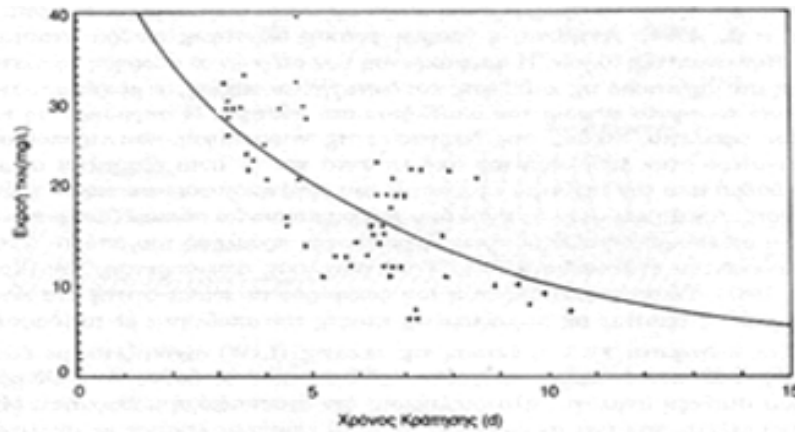
Χαρακτηριστικά των υποστρωμάτων, που θεωρούνται κατάλληλα για συστήματα τύπου SFS, δίδονται στον Πίνακα 2.4.4.4.1. Σημειώνεται ότι απαιτείται προσοχή στη χρήση των παραπάνω εξισώσεων κατά το σχεδιασμό συστημάτων τεχνητών υγροτόπων επειδή οι περισσότερες από αυτές βασίστηκαν σε δεδομένα περιορισμένου αριθμού συστημάτων. Γι' αυτό, όλες οι τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων θα πρέπει

προηγουμένως να ελέγχονται με τις συνιστώμενες τιμές τους, που δίδονται στον Πίνακα 2.4.4.1.1. Επίσης, σε μεγάλα έργα συνιστάται να προηγούνται πιλοτικές μελέτες.

Πίνακας 2.4.4.1.1: Χαρακτηριστικά τυπικών υποστρωμάτων, κατάλληλων για συστήματα υποεπιφανειακής ροής (Αγγελάκης Α.Ν, Tchabanoglous G, 1995)

Τύπος υποστρώματος	Μέγιστο μέγεθος 10% κόκκων (mm)	Πορώδες, α	Υδραυλική αγωγιμότητα, $(m^3 / m^2 d)$	K, K ₂₀
Μέτρια άμμος	1	0,42	420,62	1,84
Χονδρόκοκκη άμμος	2	0,39	480,06	1,35
Χαλικώδης άμμος	8	0,35	499,87	0,86

Γενικά, σε συστήματα τεχνητών υγροτόπων η απομάκρυνση του αζώτου σχετίζεται άμεσα με το χρόνο παρακράτησης. Όμως, δεν μπορεί να προσδιορισθεί με μοντέλα κινητικής πρώτης-τάξης, επειδή η επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι η μορφή του αζώτου, η αναλογία C:N, η γεωμετρία του συστήματος και η δομή της φυτικής βλάστησης. Γι' αυτό, στο σχεδιασμό συστημάτων τεχνητών υγροτόπων ο χρόνος παρακράτησης, που απαιτείται για την απομάκρυνση του αζώτου, πρέπει να βασίζεται σε δεδομένα πιλοτικών μελετών ή άλλων συστημάτων, που λειτουργούν σε σχετικές με αυτούς θέσεις και παρόμοια χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων. Τυπικά δεδομένα απομάκρυνσης TKN σε σχέση με το χρόνο κράτησης σε ένα εκ περιτροπής ψαθιού /ανοικτής ροής/ με χαλικώδες υπόστρωμα σύστημα δίδονται στο Σχήμα 2.4.4.1. Σε συστήματα τύπου FWS φαίνεται ότι, εδαφικοί σχηματισμοί εναλλαγής φυτικής βλάστησης και ζώνης ελεύθερης ροής, ίσως διασφαλίζουν τον κατάλληλο συνδυασμό περιβαλλοντικών συνθηκών για βέλτιστη απομάκρυνση αζώτου. Η διατήρηση τέτοιων σχηματισμών απαιτεί περιοδική συγκομιδή της βλάστησης, που αναπτύσσεται στην ελεύθερη ζώνη, τουλάχιστον σε ετήσια βάση.



Σχήμα 2.4.4.4.1: Τυπικά δεδομένα απομάκρυνσης αζώτου με συστήματα τεχνητών υγροτόπων. Απομάκρυνση TKN σε σχέση με το χρόνο κράτησης σε σύστημα, που χρησιμοποιεί εναλλακτικά ψαθί /ανοικτή ροή/ χαλικιώδες υπόστρωμα (Metcalf and Eddy,1991)

2.4.4.2 Βάθος Νερού

Στα συστήματα FWS, το βάθος του νερού εξαρτάται από το βάθος, που απαιτεί η ανάπτυξη της φυτικής βλάστησης, που επιλέγεται. Γενικά, σε ψυχρά κλίματα το λειτουργικό βάθος αυξάνει στη διάρκεια του χειμώνα, ώστε να επιτρέπεται η επιφανειακή ανάπτυξη πάγου και ο κατάλληλος αυξημένος χρόνος παρακράτησης, που απαιτείται υπό τέτοιες συνθήκες. Γι' αυτό, στα FWS συστήματα πρέπει κατά το σχεδιασμό τους να προβλέπεται μια κατασκευή εξόδου, που να επιτρέπει μεταβαλλόμενο λειτουργικό βάθος. Ένα τέτοιο σύστημα στο Listowel του Ontario της California έχει αυτή τη δυνατότητα, ώστε να λειτουργεί σε βάθος 0,1 m τους θερινούς μήνες και 0,3 m τους χειμερινούς.

Στα συστήματα τύπου SFS το βάθος τους σχεδιάζεται έτσι ώστε να ελέγχεται το βάθος ριζοβολίας της φυτικής βλάστησης, επειδή η τροφοδοσία με οξυγόνο διενεργείται ουσιαστικά δια μέσου του ριζικού συστήματος.

2.4.4.3 Γεωμετρία και έκταση λεκάνης

Η γεωμετρία της λεκάνης εξαρτάται από τον τύπο του συστήματος (FWS ή SFS). Γι' αυτό, οι τύποι των δύο συστημάτων θεωρούνται στη συνέχεια χωριστά.

- **Συστήματα FWS**

Γενικά, στα συστήματα FWS κύρια πηγή οξυγόνου είναι η ελεύθερη επιφάνεια τους, αλλά η ύπαρξη διαλογικής βλάστησης παρεμποδίζει τον επιφανειακό επαναερισμό, που είναι δυνατό να διενεργείται με τον άνεμο. Γι' αυτό, θα πρέπει να εφαρμόζονται μικρά οργανικά φορτία, μέχρι 11 kg/στρ*d. Αντίθετα, η ύπαρξη φυτικής βλάστησης επιδρά ανασταλτικά στην ανάπτυξη αλγών. Η απομάκρυνση των 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 της νιτροποίησης-απονιτροποίησης και λιγότερο στην πρόσληψή του από τα φυτά και γι' αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα εφαρμογής του οργανικού φορτίου και το χρόνο παρακράτησης. Ακόμη και όταν τα φυτά που χρησιμοποιούνται συγκομίζονται περιοδικά, η απομάκρυνση αζώτου, η οφειλόμενη στην πρόσληψη 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.

Στα συστήματα FWS, η έκταση της λεκάνης (LxW) σχεδιάζεται με βάση την εξίσωση και δεδομένα τον χρόνο παρακράτησης και το βάθος του. Οδηγίες για μια σταθερή αναλογία πλάτους /μήκους δεν έχουν ακόμη καθορισθεί. Μια σχετική μελέτη, που έχει ανακοινωθεί, συνιστά επιμήκεις λεκάνες με αναλογία πλάτος/μήκος =1/10 για την επίτευξη ικανοποιητικής επεξεργασίας (Metcalf and Eddy, 1991). Με τη χρήση λεκανών μικρού πλάτους και μεγάλου σχετικά μήκους ελαττώνεται το δυναμικό για περιορισμένη κυκλοφορία. Αυτό συνεπάγεται αυξημένη συγκέντρωση φορτίου στην είσοδο της λεκάνης, που μπορεί να οδηγήσει σε υπερφορτώσεις, ιδιαίτερα στην περίπτωση που γίνεται υπέρβαση των κριτηρίων των σχετικών με τα εφαρμοζόμενα φορτία. Για την αποφυγή υπερφορτώσεων στην είσοδο της λεκάνης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα οφιοειδές περικυκλικό κανάλι για σταδιακή τροφοδοσία. Τέτοια τυπικά συστήματα έχουν συνολικό πλάτος ισοδύναμο με το μήκος της λεκάνης. Το πλάτος τους διαχωρίζεται σε πολλαπλάσιες (τουλάχιστον δύο) παράλληλες λεκάνες με αναχώματα για καλύτερο υδραυλικό έλεγχο και λειτουργική ευκαμψία. Επίσης, με τις πολλαπλές λεκάνες δίνεται η δυνατότητα να τίθενται εκτός λειτουργίας τμήματα του

συστήματος για διάφορους διαχειριστικούς λόγους, όπως είναι η φροντίδα της φυτικής βλάστησης και η συντήρηση της λεκάνης.

- **Συστήματα SFS**

Γενικά, στα συστήματα SFS η επιφάνεια του νερού διατηρείται ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ή του χρησιμοποιούμενου μέσου. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων οφείλεται σε φυσικές και βιοχημικές αποκρίσεις του μέσου, καθώς επίσης στην επαφή του με το ριζικό σύστημα των φυτών. Τα επίπεδα απομάκρυνσης είναι ισοδύναμα των συστημάτων FWS και παρουσιάζουν μειωμένα προβλήματα, σχετικά με την ανάπτυξη κουνουπιών και δυσάρεστων οσμών. Για την κατασκευή των υποστρωμάτων χρησιμοποιούνται κυρίως έδαφος, άμμος και διάφορα άλλα χονδρόκοκκα ή ακόμη και πλαστικά ή άλλα αδρανή υλικά. Συγκριτικά αποτελέσματα απομάκρυνσης BOD, αιωρούμενων στερεών και αζώτου με συστήματα SFS δίνονται στον Πίνακα 2.4.4.3.1. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτού του πίνακα τα φυτά με δυναμικό για πιο βαθύ ριζικό σύστημα είναι πιο αποδοτικά. Γενικά, η απομάκρυνση BOD και στερεών συστατικών σε αιώρηση διενεργείται με διήθηση, καθίζηση και αποδόμηση με αερόβιους και αναερόβιους μικροοργανισμούς. Η απομάκρυνση του αζώτου σε τέτοια συστήματα, όπως και στα συστήματα FWS, διενεργείται με τους μηχανισμούς νιτροποίησης και απονιτροποίησης. Η απομάκρυνση του φωσφόρου σε συστήματα SFS εξαρτάται, κυρίως, από το χρησιμοποιούμενο υπόστρωμα. Η απομάκρυνση μετάλλων ποικίλλει και επιτυγχάνεται, κυρίως, με κατακρήμνιση και προσρόφησή τους. Τέλος, η απομάκρυνση των παθογόνων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δομή του υποστρώματος και την ταχύτητα ροής. Στα συστήματα SFS η κάθετη επιφάνεια προς την κατεύθυνση ροής, A , ορίζεται από την υδραυλική ικανότητα του συστήματος σύμφωνα με την Εξ. (1). Η ταχύτητα ροής, KS , θα πρέπει να λαμβάνει την οριακή τιμή $6,8 \text{ m/d}$ για να ελαχιστοποιηθούν οι τοπικές επιβραδύνσεις, που οφείλονται σε βακτηριακές εκκρίσεις (Reed at al., 1998). Το απαιτούμενο πλάτος του συστήματος υπολογίζεται με την Εξ. (4) και είναι συνάρτηση της A , και του βάθους του. Τέλος, το μήκος του συστήματος υπολογίζεται με την Εξ. (7). Ένα τυπικό μήκος ενός συστήματος SFS είναι μικρότερο από το πλάτος του.

Πίνακας 2.4.4.3.1 Συγκριτικά αποτελέσματα απομάκρυνσης (BOD, SS και N) σε συστήματα SFS στο Santee της California*.

Συνθήκες υποστρώματος	Βάθος ριζικού συστήματος (cm)		ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗ ΕΚΡΟΗ (mg/l)	
	BOD		SS	NH ₄ ⁺
Χωρίς βλάστηση	0	36	6	22
Φυτά γένους Typha sp.	30	30	6	18
Φυτά γένους Phragmites sp.	>60	22	8	5
Φυτά γένους Scirpus sp.	76	5	4	2

NH₄⁺=25 mg/l και t=6 d.

2.4.4.4 Ρυθμός Εφαρμογής Φορτίου BOD₅

Όπως στα συστήματα επιφανειακής ροής, έτσι και σε αυτά των τεχνητών υγροτόπων, τα φορτία BOD₅ θα πρέπει να ρυθμίζονται έτσι ώστε η ζήτηση οξυγόνου στα εφαρμοζόμενα απόβλητα να μην υπερβαίνει την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου με τη φυτική βλάστηση. Επίσης, απαιτείται εμπειρία στη χρήση των κριτηρίων έκτασης-φορτίου [(μάζα/(επιφάνεια x χρόνο)], επειδή το πραγματικό φορτίο δεν εφαρμόζεται ομοιόμορφα αλλά, συνήθως, παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του, κυρίως στις εισόδους, ενώ το οξυγόνο ουσιαστικά τροφοδοτείται ομοιόμορφα σε όλη την έκταση του συστήματος. Εκτιμούμενοι ρυθμοί μεταφοράς οξυγόνου για αναφερόμενα φυτά κυμαίνονται από 5 έως 45 g/m² d με μια μέση τιμή 20 g/m² d, που θεωρείται τυπική για τα περισσότερα συστήματα. Έτσι, αυτός ο ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου είναι συγκρίσιμος με τον ρυθμό μεταφοράς οξυγόνου σε συστήματα σταλαγματικών φίλτρων, που είναι της τάξης 28,5 g/m² d. Το οξυγόνο μεταφέρεται από εκτιθεμένα στην ατμόσφαιρα φύλλα και στελέχη των φυτών στο ριζικό τους σύστημα. Στα συστήματα SFS, που οι ρίζες των φυτών είναι σε επαφή με την ροή της εκροής του εφαρμοζόμενου αποβλήτου, το μεταφερόμενο οξυγόνο στο ριζικό σύστημα είναι

διαθέσιμο στους μικροοργανισμούς, που αποικούν σε αυτό, και αποδομούν το διαλυμένο BOD στην εκροή επαφής.

Το βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο πρέπει να προσδιορίζεται στη βάση της τελικής απαίτησης, BOD_u . Βασιζόμενοι σε μια αναλογία $BOD_u/BOD_5=1,5$, ο μέγιστος ρυθμός εφαρμοζόμενης BOD_5 σε ένα σύστημα SFS πρέπει θεωρητικά να μην υπερβαίνει τα 13,3 kg/στρ.d. Τυπικά, το ανώτατο συνιστώμενο όριο είναι 11 kg/στρ.d. Επειδή το φορτίο BOD παρουσιάζει αυξημένη συγκέντρωση στην είσοδο του συστήματος, συνιστάται όπως το τελικό φορτίο BOD να μην υπερβαίνει το ήμισυ του ρυθμού μεταφοράς οξυγόνου. Βασιζόμενοι σ' αυτό το κριτήριο και σε μια αναλογία $BOD_u / BOD_5 = 1,5$, ο μέγιστος ρυθμός φορτίου BOD_5 θα πρέπει να μην υπερβαίνει τα 6,65 kg/στρ.d. Για συστήματα, που επεξεργάζονται υγρά απόβλητα με σημαντικό κλάσμα οργανικών στερεών, που καθιζάνουν, το φορτίο θα πρέπει να είναι ακόμη μικρότερο και να διανέμεται κατά μήκος της λεκάνης με σταδιακή τροφοδοσία, έτσι ώστε να αποφεύγεται η επικράτηση αναερόβιων συνθηκών στην κορυφή-είσοδο της λεκάνης του συστήματος.

Στα συστήματα FWS, ο εφοδιασμός με οξυγόνο σε μια θεωρούμενη στήλη νερού είναι περιορισμένος σε σύγκριση με τα συστήματα SFS. Αυτό οφείλεται στο ότι το ριζικό σύστημα ευρίσκεται στο εδαφικό υπόστρωμα κάτω από τη στήλη νερού και το μεταφερόμενο σε αυτό οξυγόνο καταναλώνεται στο εκτεταμένο βενθικό περιβάλλον, που συνήθως παρατηρείται σε συστήματα υγροτόπων. Επίσης, η μεταφορά οξυγόνου δια μέσου της επιφάνειας του εδάφους με επαναερισμό, που προξενείται με τον άνεμο και τη φωτοσύνθεση, είναι περιορισμένη, εξαιτίας της παρουσίας πυκνής φυτικής βλάστησης. Έτσι, συστήματα τύπου FWS με πλήρη φυτική βλάστηση είναι κατάλληλα μόνο για μέσους ρυθμούς φορτίου BOD. Με δεδομένη την έλλειψη δεδομένων στη σημερινή βιβλιογραφία, συνιστώνται κατά το σχεδιασμό τους φορτία, που να μην υπερβαίνουν το όριο των 6,65 kg/στρ.d, που προαναφέρεται. Σε συστήματα SFS αυτό θεωρείται ως ανώτατο επιτρεπόμενο όριο.

Αναφέρεται πολύ επιτυχής επεξεργασία εκροών οξειδωτικών τεχνητών λιμνών με εφαρμογή τους σε συστήματα FWS, πλήρους φυτικής βλάστησης και ρυθμούς φορτίου BOD μέχρι και 6,0 kg/στρ.d. Όπως προαναφέρεται, αυξημένη μεταφορά οξυγόνου μπορεί να επιτευχθεί σε συστήματα με αυξημένο πλάτος λεκάνης και χρησιμοποίηση εναλλακτικών τμημάτων με/και χωρίς φυτική βλάστηση, για βελτίωση του επιπέδου απομάκρυνσης αζώτου.

2.4.4.5 Παροχή εισόδου Υ.Α

Σε συστήματα τεχνητών υγροτόπων η ταχύτητα του υδραυλικού φορτίου εφαρμογής, L_w , δεν είναι συνήθως πρωταρχική παράμετρος σχεδιασμού, αλλά είναι χρήσιμη, κυρίως, για τη σύγκριση διαφόρων συστημάτων μεταξύ τους. Οι ταχύτητες υδραυλικού φορτίου, που χρησιμοποιούνται στην πράξη, κυμαίνονται από 15 έως 50 $m^3/στρ.d$. Το αντίστροφο της ταχύτητας του υδραυλικού φορτίου, δηλαδή η ειδική έκταση, A_c , χρησιμοποιείται επίσης, για τη σύγκριση μελετών διαφόρων συστημάτων και ταχείς προκαταρκτικούς προσδιορισμούς για την απαιτούμενη έκταση. Η απαιτούμενη ειδική έκταση, στην πράξη, κυμαίνεται από 0,21 έως 0,69 $στρ/(10^3 m^3 d)$. Σε κεντρικές παραλιακές πεδιάδες της California, που χρησιμοποιούνται εκροές δευτεροβάθμιας ή πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, σε υγροβιότοπους για την ανάπτυξη υδρόβιας ζωής και υδροχαρούς βλάστησης σε κατοικημένες περιοχές, μια ειδική έκταση 0,21 $στρ/(10^3 m^3 d)$ αποδείχθηκε πολύ αποτελεσματική.

2.4.4.6 Έλεγχος Φορέων Εντόμων

Γενικά, τα συστήματα των τεχνητών υγροτόπων και ιδιαίτερα αυτά τύπου FWS, αποτελούν ιδεώδεις κατοικίες αναπαραγωγής κουνουπιών. Γι' αυτό, ο έλεγχος των φορέων-εντόμων αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην τελική απόφαση κατασκευής συστημάτων τεχνητών υγροτόπων, ιδιαίτερα των FWS. Έτσι, ο σχεδιασμός τέτοιων συστημάτων πρέπει να περιλαμβάνει βιολογικό έλεγχο κουνουπιών, όπως είναι η δημιουργία συνθηκών ανάπτυξης του είδους ψαριού *Cambusia affinis*, σε συνδυασμό, βέβαια, με χημικό έλεγχό τους. Σημειώνεται ότι είναι απαραίτητα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου άνω του 1 mg/l για τη διατήρηση πληθυσμού ψαριών αυτού του είδους. Επίσης, αραίωση της φυτικής βλάστησης ίσως θεωρείται απαραίτητη για τον περιορισμό τμημάτων, που δεν είναι προσιτά στην ανάπτυξη του ιχθυοπληθυσμού. Αντίθετα, στα συστήματα SFS ο πολλαπλασιασμός των κουνουπιών δεν αποτελεί συνήθως ιδιαίτερο πρόβλημα, επειδή αυτά είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να εμποδίζεται η είσοδος κουνουπιών στην υποεπιφανειακή ζώνη του νερού. Για το σκοπό αυτό, η επιφάνειά τους είναι, συνήθως, καλυμμένη με χαλίκια, χονδρόκοκκη άμμο ή άλλα υλικά.

2.5 ΤΕΧΝΗΤΟΙ ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥΣ ΣΕ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟ

2.5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

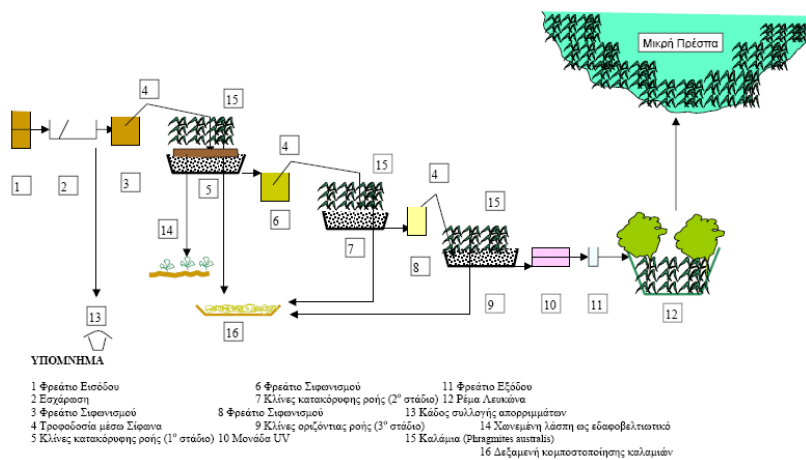
2.5.1.1 Τεχνητός Υγρότοπος Καλλιθέας- Λευκώνα Δήμου Πρεσπών.

Το έργο «Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Δ.Δ. Καλλιθέας - Λευκώνα Δήμου Πρεσπών», καλύπτει τις ανάγκες δύο οικισμών συνολικού πληθυσμού σχεδιασμού 600 ι.κ. και ευρίσκεται στην περιοχή Πρεσπών του Ν. Φλώρινας, η οποία έχει ιδιαίτερη περιβαλλοντική αξία προστατεύεται δε από πολυάριθμες εθνικές και διεθνείς συμβάσεις.

Η επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας με τεχνητούς υγροτόπους υπαγορεύθηκε από τα χαρακτηριστικά της περιοχής, καθώς υπάρχουν εκτεταμένοι παραλίμνιοι καλαμιώνες ιδιαίτερα στη Μικρή Πρέσπα και την απαίτηση για απουσία υπέργειων κτισμάτων προς αποφυγή αλλοίωσης της φυσιογνωμίας της περιοχής.

Το έργο χωροθετήθηκε σε επικλινές γήπεδο και ο σχεδιασμός του είναι ανάλογος της «Γαλλικής» προσέγγισης. Αποτελείται από εσχάρωση, αυτοεκκενούμενους σίφωνες τροφοδοσίας των κλινών επεξεργασίας, τρεις κλίνες κατακόρυφης ροής για την πρωτοβάθμια επεξεργασία με φυτά καλάμια και δύο κλίνες κατακόρυφης ροής για τη δευτεροβάθμια επεξεργασία επίσης με φυτά καλάμια.

Επιπρόσθετα για τριτοβάθμια επεξεργασία (μείωση N μέσω απονιτροποίησης) σχεδιάστηκαν δύο κλίνες οριζόντιας υποεπιφανειακής ροής με φυτά καλάμια. Το σύνολο της επιφάνειας των κλινών ανέρχεται σε $4,0 \text{ m}^2$ /ι.κ.



Σχήμα 1. Διάγραμμα Ροής ΕΕΛ Δημοτικών Διαμερισμάτων Καλλιθέας-Λευκώνα Δήμου Πρεσπών

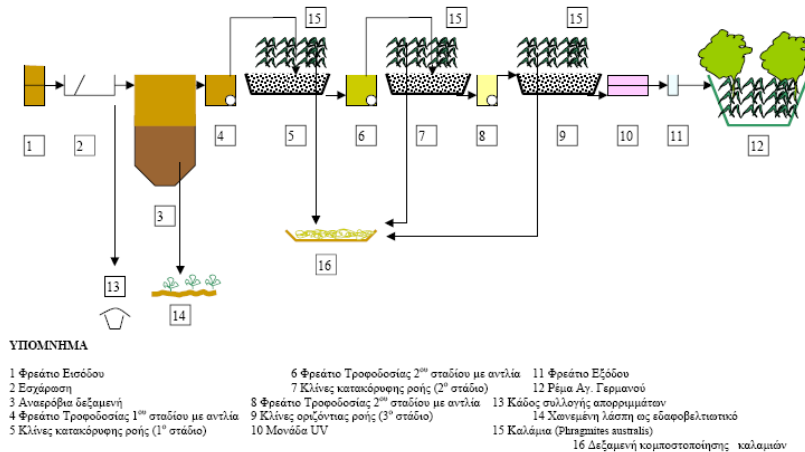
Σχημά 2.5.1.1.1: Διάγραμμα ροής ΕΕΛ Δημοτικού Διαμερίσματος Καλλιθέας-Λευκώνα Δήμου Πρεσπών.

2.5.1.2 Τεχνητός Υγρότοπος Αγ. Γερμανού-Λαιμού-Πλατέως Δήμου Πρεσπών.

Το έργο «Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων Δ.Δ. Αγ. Γερμανού - Λαιμού - Πλατέως Δήμου Πρεσπών» επεξεργάζεται τα υγρά απόβλητα τριών οικισμών συνολικού πληθυσμού σχεδιασμού 1310 ι.κ..

Χωροθετήθηκε σε οριζόντιο γήπεδο με αποτέλεσμα την ανάγκη τροφοδοσίας των κλινών με αντλίες (υψηλής παροχής αλλά χαμηλού μανομετρικού) που οδήγησαν σε αύξηση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας.

Ο σχεδιασμός συμπεριέλαβε τη σύσταση της Γερμανικής οδηγίας εργασίας για ύπαρξη σταδίου καθίζησης πριν την εφαρμογή των λυμάτων στις κλίνες. Το έργο περιλαμβάνει εσχάρωση, αναερόβια δεξαμενή χωρητικότητας 600m³ για την πρωτοβάθμια επεξεργασία, φρεάτια και αντλίες τροφοδοσίας μεταξύ των σταδίων επεξεργασίας, έξι κλίνες κατακόρυφης ροής για το 1^ο στάδιο και τέσσερις κλίνες επίσης κατακόρυφης ροής για το 2^ο στάδιο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας φυτεμένες με καλάμια (αυτόχθονα στην περιοχή). (Παρισόπουλος, Γ., 2005)



Σχήμα 2. Διάγραμμα Ροής ΕΕΛ Αγ. Γερμανού - Λαιμού - Πλατέως

Σχήμα 2.5.1.2.1: Διάγραμμα ροής ΕΕΛ Αγ. Γερμανού-Λαιμού-Πλατέως.

2.5.1.3 Τεχνητός Υγρότοπος Νέας Μαδύτου- Μόδι.

Το 1991 με πρωτοβουλία της ευρωπαϊκής κοινοτητας, ένα πρόγραμμα αξιολόγησης μονάδων καθαρισμού με φυτεμένα φίλτρα κάθετης ροής εφαρμοσθηκε στην Ελλάδα στην κοινοτητα της Νέας Μαδύτου - Μόδι. Η διαστασιολόγηση πραγματοποιήθηκε με βάση εμπειρίες στην Αγγλία (Montgomery Watson, University of Portsmouth, Camphill Water) και

τη Γαλλία (Societe d'Ingenierie Nature et Technique, SINT), με κύριο στο να επιδείξουν την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας με τον ελάχιστο ηλεκτρομή ανολογικο εξοπλισμο,

- την καλή ενσωμάτωση της διαδικασίας στο περιβάλλον,
- την ανάπτυξη ενδιαφέροντος, ευαισθητοποίησης και υπευθυνότητας της τοπικής κοινότητας γύρω απο το θέμα της επεξεργασίας,
- μείωση του κοστους επένδυσης και συντήρησης,
- τη δυνατότητα τοπικής επαναχρησιμοποίησης των λασπών και του επεξεργασμένου υγρού.

Η μονάδα αυτή είναι μία απο τις μεγαλύτερες με φυτευτά φίλτρα κάθετης ροής στον κόσμο. Η ικανότητα της είναι για 3500 ισοδύναμους κατοίκους. Τέθηκε σε λειτουργία τον Ιούνιο του 1995 και η λειτουργία και αποδοσή της παρακολουθούνταν επί 2 χρονια γεγονός που δεν επιτρέπει να εξακριβώσουμε τη διατήρηση των αποδοσεων μακροπροθεσμα. (Montgomery, W., 1997)

2.6 ΠΙΛΟΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ ΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΑΗΤΩΝ

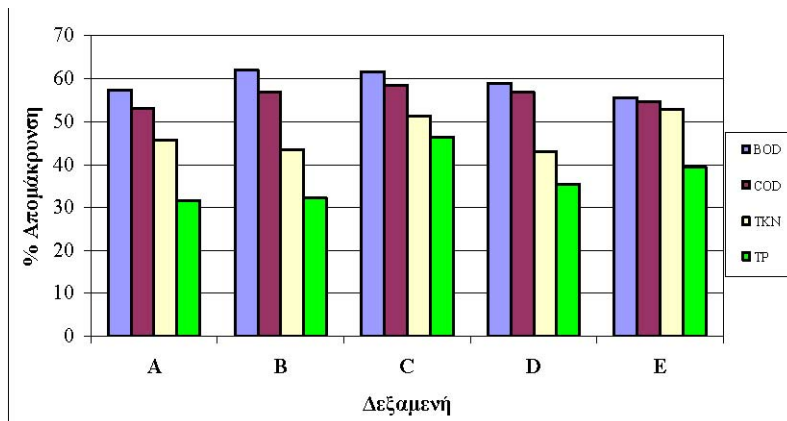
Η έρευνα αυτή περιγράφει την κατασκευή και λειτουργία 5 μονάδων Τεχνητών Υγροτόπων, που τα προκαταρκτικά αποτελέσματα τους δείχνουν σημαντικές απομακρύνσεις ρύπων. Το σύστημα αποτελείται από τέσσερις ορθογωνικής όψης μονάδες ενώ η πέμπτη έχει όψη τραπεζίου.

Στον πυθμένα κάθε μονάδας έχει τοποθετηθεί μια αδιαπέρατη πλαστική μεμβράνη, ώστε να αποφευχθούν διαρροές λύματος. Οι κλίνες καλύφθηκαν με εδαφικό υλικό, στη συνέχεια φυτεύτηκαν η πρώτη μονάδα με ψαθί (*Typha latifolia*), μία με κοινό καλάμι (*Phragmites australis*), μία με χονδρό καλάμι (*Arundo donax*) και δύο με ψαθί.

Στις δεξαμενές διοχετεύεται αρχικά συνθετικό λύμα από το οποίο θα προκύψουν αποτελέσματα σύγκρισης απόδοσης μεταξύ των δεξαμενών. Οι συγκεντρώσεις στο ρεύμα εισόδου των BOD και COD είναι της τάξεως των 300mg/L και 600mg/L, αντίστοιχα.

Τα δείγματα αναλύονται στο εργαστήριο ακολουθώντας πρότυπες μεθόδους (standard methods) για τον προσδιορισμό μεταξύ άλλων των BOD, COD, αμμωνίας, TKN, νιτρωδών, νιτρικών, ολικού φωσφόρου και ορθοφωσφορικών. Επίσης, μετρούνται επιτόπου και σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας η θερμοκρασία, το pH, η αγωγιμότητα και το διαλυμένο οξυγόνο

(DO). Τα αποτελέσματα καταγράφονται και μελετώνται. Ακόμα, υπολογίζονται οι αποδόσεις του συστήματος στην απομάκρυνση του οργανικού υλικού και των θρεπτικών.



Σχήμα 2.6.1: Απομακρύνσεις μετά από δειγματοληψία. (Tsihrintzis et al, 2005)

Πέντε πιλοτικές μονάδες τεχνητών υγροβιοτόπων επιφανειακής ροής είναι σε λειτουργία, με στόχο την κατανόηση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτά τα συστήματα και την εξαγωγή κατάλληλων σταθερών και σχεδιαστικών παραμέτρων για τη λειτουργία αυτών των συστημάτων στην Ελλάδα. Οι προκαταρκτικές μετρήσεις στις μονάδες υποδεικνύουν σημαντική απομάκρυνση οργανικού υλικού και σχετικά μεγάλη απομάκρυνση αζώτου σε διάφορες μορφές. Αυτά τα προκαταρκτικά αποτελέσματα ενθαρρύνουν για την περαιτέρω λειτουργία αυτών των συστημάτων και για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

2.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ.

Η πρώτη ανεπίσημη γερμανική οδηγία για την επεξεργασία λυμάτων με τη μέθοδο των τεχνητών υγροτόπων εκδόθηκε το 1982 με τίτλο «Abwasserbehandlung in Anlagen mit Sumpfpflanzen». Στην οδηγία αυτή ενσωματώθηκαν οι γνώσεις και η εμπειρία που υπήρχε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 80. Στη δεκαετία του 80 εμφανίστηκαν αρκετές μονάδες επεξεργασίας αυτού του τύπου και η τεχνολογία προχώρησε περισσότερο. Έτσι το 1989 δημοσιεύτηκε η δεύτερη, επίσημη πλέον, οδηγία (ATV-H 262) με τίτλο «Behandlung von hauslichen Abwasser in Pflanzenbeeten». (Παντοκράτορας, Α., 2001)

Η οδηγία αυτή είχε σημαντική εφαρμογή στην πράξη και χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή μονάδων επεξεργασίας σε συνδυασμό με συμπληρωματικές απαιτήσεις και οδηγίες των ομόσπονδων κρατιδίων. Ο πρόσφατος κανονισμός (ATV-A 262) δημοσιεύτηκε το 1998 με τίτλο «Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenbeeten für

kommunales Abwasser bei Ausbaugrossen bis 1000 Einwohnerwerte» (Βασικές αρχές για τη μελέτη, κατασκευή και λειτουργία τεχνητών υγροτόπων για την επεξεργασία αστικών λυμάτων δυναμικότητας μέχρι 1000 ισοδύναμων κατοίκων). Ο κανονισμός αυτός έχει λάβει ακόμη περισσότερο επίσημη μορφή. Έχει μετατραπεί από οδηγία (Hinweis) σε κανονισμό εργασίας (Arbeitsblatt) και έχει ενσωματώσει όλες τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα αυτό. (Παντοκράτορας, Α., 2001)

2.7.1 Τεχνητοί Υγρότοποι στη Γαλλία και Γερμανία.

Ο σχεδιασμός των ΕΕΛ που περιλαμβάνουν τεχνητούς υγρότοπους παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία. Πολλές μονάδες είναι υβριδικές και γενικά ο σχεδιασμός των έργων αυτών δεν έχει συστηματοποιηθεί. Η διαστασιολόγηση των κλινών επεξεργασίας των τεχνητών υγροτόπων είναι κατά βάση εμπειρική και βασίζεται κυρίως σε αποδεκτά όρια φορτίου BOD_5 $m^{-2} d^{-1}$ ή $m^{-2} i.k.^{-1}$. Τα συνιστώμενα όμως όρια του φορτίου και κατά συνέπεια της απαιτούμενης έκτασης ανά ισοδύναμο κάτοικο διαφέρουν σημαντικά από χώρα σε χώρα αλλά και μεταξύ οργανισμών της ίδιας χώρας.

Μια πρόσφατη καταγραφή της επιφάνειας των κλινών επεξεργασίας ανά ισοδύναμο κάτοικο ($m^2/i.k.$). Η προτεινόμενη διαστασιολόγηση των κλινών κατακόρυφης ροής είναι σκόπιμο να τονισθεί ότι αφορά σε σχεδιασμό στον οποίο δεν προβλέπεται η κατασκευή δεξαμενής καθίζησης ή αναερόβιας δεξαμενής. Τα λύματα δηλαδή εφαρμόζονται απ' ευθείας μετά την εσχάρωση σε δόσεις ικανές να ενεργοποιήσουν το σύνολο της επιφάνειας της κλίνης.

Στη Γερμανία υφίσταται από χρόνια κανονισμός εργασίας για το σχεδιασμό ΕΕΛ με τεχνητούς υγρότοπους. Ο Γερμανικός κανονισμός διαφέρει ουσιαστικά από την προαναφερόμενη «Γαλλική προσέγγιση» καθώς :

α) Απαιτεί την προεπεξεργασία των λυμάτων με καθίζηση σε δεξαμενή Imhof πριν την εφαρμογή στις κλίνες

β) Καθορίζει σημαντικά μεγαλύτερη επιφάνεια κλίνης ανά $i.k.$ που ανέρχεται σε $4 m^2/i.k.$ για υγρότοπους κατακόρυφης ροής (προηγούμενη απαίτηση του κανονισμού εργασίας έτους 1998: $2,5 m^2/i.k.$) και $5 m^2/i.k.$ για υγρότοπους οριζόντιας ροής.

Είναι προφανές ότι η Γαλλική προσέγγιση οδηγεί σε έργα με σημαντικά μειωμένο κόστος έναντι των Γερμανικών κανονισμών εργασίας. Η μακροχρόνια επίπτωση των

διαφορών αυτών στην απόδοση των έργων δεν είναι ακόμη επαρκώς τεκμηριωμένη. Η σύγκριση των διαφόρων προσεγγίσεων σχεδιασμού απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή καθώς τις περισσότερες φορές αγνοεί, λόγω έλλειψης της σχετικής πληροφορίας, την ποιότητα της κατασκευής και την τήρηση των αναφερομένων προδιαγραφών σε κάθε εξεταζόμενο έργο. Αστοχίες εντοπίζονται συνήθως στην κατασκευή των φίλτρων (κοκκομετρική διαβάθμιση, καθαρότητα και επιμέλεια τοποθέτησης του υλικού) και στην ομοιόμορφη κατανομή των αποβλήτων σε όλη επιφάνεια των κλινών.(Παρισόπουλος, Γ., 2005)

2.7.2 Υβριδικό Σύστημα (μικτό)(φυτεμένα φίλτρα κάθετης και οριζόντιας ροής): περίπτωση του Oaklands Park, Newnham-on-Severn, Gloucestershire (Ηνωμένο Βασίλειο).

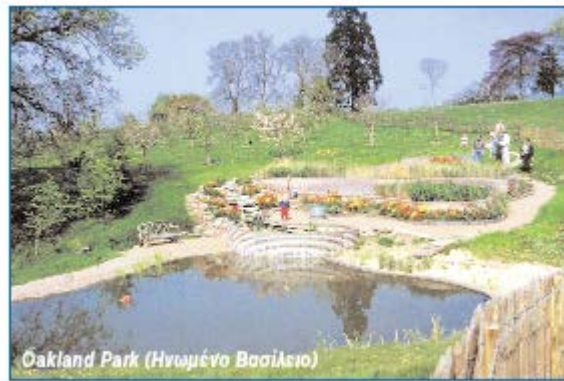
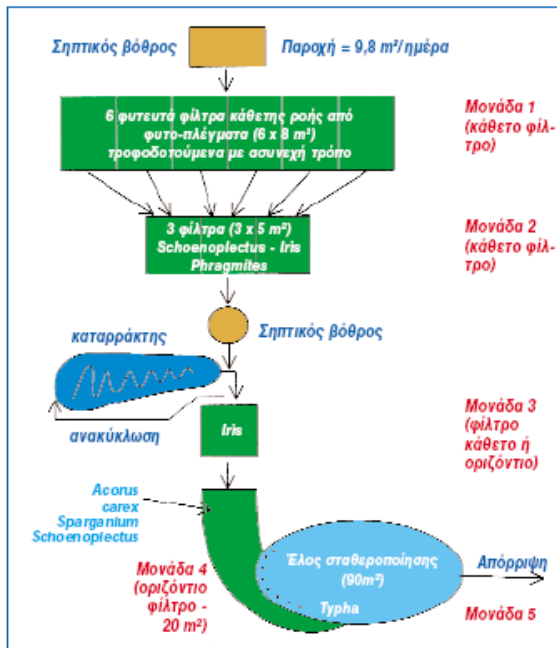
Το υβριδικό μικτό σύστημα κατασκευάστηκε τον Ιούλιο 1989 για να εξυπηρετήσει την τοποθεσία Camphill Village Trust στην περιφέρεια του Newnham στην ελώδη εκβολή του ποταμού Severn (δυτική Αγγλία).Το κίνημα του Camphill είναι μία διεθνής φιλανθρωπική οργάνωση που κατασκευάζει και διαχειρίζεται κέντρα υποδοχής και διαβίωσης για αναξιοπαθούντες.

Οι κοινότητες του Camphill εφαρμόζουν οργανικές μεθόδους καλλιέργειας και γεωργίας. Μετά την κατασκευή αυτού του πρώτου συστήματος το 1989, πολλές άλλες εγκαταστάσεις αυτού του τύπου δημιουργήθηκαν σε άλλες κοινότητες του Camphill, όπως επίσης και από πολλές άλλες παρεμφερείς φιλανθρωπικές οργανώσεις.

Το σύστημα του Oaklands Park (Σχήμα 2.7.2.1), σχεδιάστηκε αρχικά για να εξυπηρετήσει 98 ι.κ. αλλά επεξεργάζεται στην πραγματικότητα μόνο τις απορρίψεις που αντιστοιχούν σε 65 ι.κ.. Το σύστημα που μπορούμε να παρατηρήσουμε στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζει δύο μονάδες κάθετων φίλτρων που τροφοδοτούνται διαλειπτικά, συνολικής επιφάνειας 63 m² ακολουθούμενης από δύο μονάδες οριζόντιων φίλτρων που τροφοδοτούνται συνεχώς παρουσιάζοντας μία συνολική επιφάνεια των 28 m².

Η συνολική επιφάνεια είναι μόνο 1,4 m²/ι.κ. Το παρακάτω σχήμα σε διατομή δείχνει τη δομή των κάθετων φίλτρων στο πρώτο και δεύτερο στάδιο.

Κάθε κάθετο φίλτρο τροφοδοτείται 1 με 2 μέρες και μετά αφήνεται σε στάση για 10 μέρες περίπου. Αυτό επιτρέπει την αποξήρανση των φίλτρων μεταξύ των τροφοδοσιών και εμποδίζει το φράξιμο από την καθαριστική βιομάζα. Ο έλεγχος της τροφοδοσίας γίνεται με το χέρι από τα μέλη της κοινότητας. Τα οριζόντια φίλτρα τροφοδοτούνται συνεχώς.(Bryan, D., (1991) & Burka, U., (1990) & Cooper, P., (2001) & Siedel, K., (1987))



Σχήμα 2.7.2.1 : Μικτό σύστημα του Oakland Park (Cooper et al, 1996)& Burka, U., (1990) & Cooper, P., (2001) & Siedel, K., (1987))

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η Αμερικανική Γεωργική Σχολή από την έναρξη λειτουργίας της το 1913, ως μικρό Γεωργικό Σχολείο για τα ορφανά των Βαλκανικών πολέμων βρισκόταν έξω από τον κτιριακό όγκο της πόλης. Η εκτροφή ζώων και τα αστικά της απόβλητα δεν δημιουργούσαν οποιοδήποτε πρόβλημα οσμής ή ρύπανσης στον περιβάλλοντα χώρο. Σήμερα η περιοχή είναι οικιστική, υπάρχουν περίοικοι: Σχολεία, Οικισμοί, το Τεχνολογικό Πάρκο Θεσσαλονίκης, το μεγάλο κτίριο διοίκησης της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας CEDEFOP για την Τεχνική Εκπαίδευση, η οποία έχει δοθεί από την Ένωση μόνιμα στην Ελλάδα κ.α. Εξάλλου στα νότια της Σχολής ο κεντρικός οδικός άξονας για τη Χαλκιδική κόβει ένα κομμάτι από το 1.200 στρεμμάτων συνολικό κτήμα της και οι τυχόν άσχημες οσμές γίνονται κάποιες φορές αντιληπτές από τους ταξιδιώτες. Βόρεια του Αγροκτήματος της Σχολής βρίσκεται η οικιστική περιοχή της Πυλαίας, ανατολικά ο οικισμός του Πανοράματος και ο ορεινός όγκος του Χορτιάτη (υψόμετρο 1201 μέτρα), νότια ο οικισμός Λήδα - Μαρία και η οικιστική περιοχή της Θέρμης και δυτικά ο συνοικισμός του Φοίνικα. Στα δυτικά εκτείνεται ο Θερμαϊκός κόλπος.

Η Α.Γ.Σ Θεσσαλονίκης λειτουργεί σαν ανεξάρτητο μη κερδοσκοπικό ίδρυμα γεωργικής εκπαίδευσης με ιστορία ενός αιώνα. Ο μόνιμος πληθυσμός της είναι 400 άτομα από τα οποία 240 είναι μαθητές και μαθήτριες, που φοιτούν στο Τεχνικό Επαγγελματικό Λύκειο και στην Τεχνική Επαγγελματική Σχολή. Στην Αμερικανική Γεωργική Σχολή, φοιτούν επίσης και επιλεγμένες διεθνείς ομάδες μαθητών στο Κολέγιο Επαγγελματικής και Τεχνικής Εκπαίδευσης(Dimitris Perrotis).

Στο πλαίσιο των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων στη Σχολή λειτουργεί το Αγρόκτημα, το οποίο αποτελεί και βασικό στοιχείο της εκπαίδευσης. Στο ζωντανό αυτό εργαστήριο όπου οι μαθητές εκπαιδεύονται στην γεωργική παραγωγή και τη διαχείριση κτηνοτροφικών μονάδων, εκτρέφονται βοοειδή, χοίροι και πουλικά. Παράλληλα λειτουργεί γαλακτοκομείο, πτηνοσφαγείο και καλλιεργούνται διάφορα φυτά σε θερμοκήπια. Όπως είναι φυσικό οι δραστηριότητες αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφόρων αποβλήτων σε στερεή, υγρή και αέρια μορφή. Σε ότι αφορά τη στάθμη των εκπεμπόμενων αερίων αυτή δεν ξεπερνά τα επιτρεπόμενα όρια, γι' αυτό δεν απαιτείται καμία ειδική επεξεργασία για τον καθαρισμό τους. Αντίθετα τα παραγόμενα υγρά και στερεά απόβλητα λόγω της σύνθεσης και της ποσότητάς τους απαιτούν λήψη ειδικών μέτρων προστασίας. Για το σκοπό αυτό η Σχολή κατασκεύασε και λειτουργεί μονάδα επεξεργασίας στερεών και υγρών αποβλήτων. Συγκεκριμένα διαθέτει μονάδα αναερόβιας επεξεργασίας για παραγωγή βιοαερίου, μονάδα

αερόβιας επεξεργασίας και περαιτέρω καθαρισμό των υγρών αποβλήτων και μονάδα κομποστοποίησης της στερεάς φάσης της κοπριάς.

Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αποθηκεύονται σε δύο λίμνες (20.000 m³ και 40.000 m³) και επαναχρησιμοποιούνται για άρδευση ορισμένων καλλιεργειών. Το δυνάμενο να παραχθεί βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή θερμικής ενέργειας, ενώ το παραγόμενο εδαφοβελτιωτικό υποπροϊόν της αναερόβιας επεξεργασίας, μετά από κομποστοποίηση μαζί με τη στερεά φάση της αερόβιας επεξεργασίας των λοιπών αποβλήτων εφαρμόζεται στις καλλιέργειες, και ιδιαίτερα στους κήπους της οικολογικής καλλιέργειας στην Α.Γ.Σ.

Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η λειτουργία των μονάδων επεξεργασίας των αποβλήτων στην Α.Γ.Σ. έγινε, με βάση σχετικές περιβαλλοντικές μελέτες, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος της περιοχής, η δημόσια υγεία και να δημιουργούνται προϋποθέσεις ανάπτυξης μέσα από την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, την καύση του βιοαερίου και τη χρήση του εδαφοβελτιωτικού. Η Α.Γ.Σ. έλαβε οριστική άδεια διάθεσης λυμάτων - αποβλήτων της το 1996 (αριθμ. πρωτ. 30/οικ/2239/9-9-1996). Από τότε έγιναν και σχεδιάζονται να γίνουν στο μέλλον τροποποιήσεις στη λειτουργία των εγκαταστάσεων βιολογικού καθαρισμού με βάση τις αλλαγές στο τρόπο διαχείρισης των ζώων, τις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της ζωοτεχνίας και τα νέα έργα και δραστηριότητες μέσα και γύρω από τη Σχολή.

Συγκεκριμένα έχουν γίνει οι παρακάτω αλλαγές /τροποποιήσεις στα θέματα επεξεργασίας και διάθεσης αποβλήτων:

- Η Σχολή έχει εγκαταλείψει σταδιακά την αρχή της "υγρής διαχείρισης" στο σταβλισμό των ζώων και υιοθέτησε την αρχή της "ξηρής διαχείρισης". Άμεση συνέπεια της μετάβασης στην "ξηρή διαχείριση" ήταν η μεγάλη μείωση του όγκου των υγρών ζωικών αποβλήτων. Αποτέλεσμα της αλλαγής αυτής ήταν και η διακοπή λειτουργίας της μονάδας αναερόβιας χώνευσης (μονάδα βιοαερίου), η οποία επεξεργαζόταν τα απόβλητα σε υγρή μορφή. Σε υγρή διαχείριση παραμένει μόνο ο στάβλος εκτροφής μοσχαριών. Η παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων από το στάβλο αυτό είναι πολύ μικρή για να δικαιολογήσει τη συνέχιση λειτουργίας της μονάδας του βιοαερίου.
- Έχει μειωθεί ο αριθμός των γαλακτοφόρων αγελάδων από 170 σε 120.
- Η Σχολή έγινε αποδέκτης των ανεπεξέργαστων λυμάτων του Ευρωπαϊκού Κέντρου για την Επαγγελματική Κατάρτιση (CEDEFOP).

- Η Σχολή έχει εγκαταλείψει τον αρχικό σχεδιασμό της μονάδας κομποστοποίησης με στατικό σωρό και υλοποίησε μονάδα εγκιβωτισμένης κομποστοποίησης.
- Έχει κατασκευαστεί καταθλιπτικός αγωγός από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων της Σχολής μέχρι το αποχετευτικό δίκτυο της Ε.Υ.Α.Θ. στην οδό Μαρίνου Αντύπα. Ο αγωγός αυτός προορίζεται για τη μελλοντική σύνδεση της Σχολής με το αποχετευτικό δίκτυο της περιοχής, όταν αυτό τεθεί σε λειτουργία, για την προώθηση των αστικών της λυμάτων στο βιολογικό καθαρισμό της πόλης της Θεσσαλονίκης και όχι στη δική της μονάδα. Μετά τη σύνδεση αυτή οι εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού της θα λειτουργούν αποκλειστικά για την επεξεργασία μόνον των παραγόμενων ζωικών ποβλήτων της.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η μέθοδος επεξεργασίας είναι φυσική υπό την έννοια ότι για την επεξεργασία των αποβλήτων χρησιμοποιούνται μέθοδοι που πάρθηκαν από τη Φύση και καταναλώνονται οι ελάχιστες δυνατές ποσότητες ενέργειας. Συγκεκριμένα πρόκειται για την επεξεργασία των λυμάτων μέσα σε κλίνες (μεγάλα παρτέρια) όπου αναπτύσσονται υδρόβια φυτά. Πρόκειται για τα λεπτά καλάμια που συναντάμε στις όχθες των λιμνών όπως και σε αρδευτικά κανάλια, ρέματα, κ.α. Η μέθοδος αυτή ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας αποβλήτων στην οποία περιλαμβάνονται και οι κατασκευασμένες λιμνοδεξαμενές επεξεργασίας λυμάτων (lagoons).

Οι τεχνητοί υγρότοποι αποτελούνται από κλίνες μικρού συνήθως βάθους από αδρανή και άμμο στις οποίες έχουμε κορεσμένες συνθήκες ροής και στις οποίες αναπτύσσονται υδροχαρή φυτά. Οι κλίνες αυτές χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία υγρών αστικών αποβλήτων αλλά και αποβλήτων από βιομηχανίες, κτηνοτροφικές μονάδες, ορυχεία κλπ. Οι κύριοι μηχανισμοί απομάκρυνσης των ρυπαντών είναι: α) ο βακτηριακός μεταβολισμός τόσο στην μάζα του υλικού πλήρωσης όσο και στο ριζικό σύστημα των φυτών, β)η προσρόφιση τόσο από μικροπόρους των ριζών όσο και των υλικών κατασκευής και γ)άλλες φυσικές διεργασίες όπως καθίζηση και φίλτραση.

Οι τεχνητοί υγρότοποι κατασκευάζονται και λειτουργούν σε μεγάλη ποικιλία σχημάτων, υποστρώματος, βλάστησης και ροής υγρών. Με βάση τις συνθήκες ροής νερού έχουμε υγροτόπους οριζόντιας ροής και υγροτόπους κατακόρυφης ροής. Τα φυτά που συνήθως χρησιμοποιούνται στη φύτευση των υγροτόπων, βρίσκονται συνήθως στους φυσικούς υγροτόπους και περιλαμβάνουν τα λεπτά καλάμια *Phragmites* sp., την τύφη *Typha* sp., το βούρλο *Scirpus* sp., κ.α.

Το βασικότερο πλεονέκτημα από λειτουργικής πλευράς των φυσικών συστημάτων έναντι των συμβατικών συστημάτων ενεργού ιλύος σχετίζεται με την βιοκοινότητα μικροοργανισμών που επιτελεί την απομάκρυνση των ρύπων από τα υγρά απόβλητα. Τόσο η ποσότητα όσο και η ποικιλότητα βακτηριδιακού πληθυσμού του φυσικού συστήματος των τεχνητών υγροτόπων υπερτερεί έναντι της ενεργού ιλύος. Αυτό φαίνεται καθαρά στο γεγονός ότι ο μέσος χρόνος παραμονής των λυμάτων στη δεξαμενή αερισμού για το σύστημα π.χ. του παρατεταμένου αερισμού είναι περίπου 24 ώρες ενώ στο σύστημα των τεχνητών υγροτόπων κατακόρυφης ροής (αυτό που εφαρμόζεται στο έργο) ο αντίστοιχος «χρόνος

επεξεργασίας» είναι 15-30 λεπτά της ώρας. Στην πρώτη περίπτωση χρειαζόμαστε ενέργεια για την παροχή οξυγόνου και ανάμιξης ενώ στη δεύτερη χρησιμοποιούμε τη βαρύτητα.

Δεύτερο σημαντικό πλεονέκτημα των τεχνητών υγροτόπων είναι το χαμηλό μικροβιακό φορτίο στην έξοδο του συστήματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις αρκεί μια μικρή προσπάθεια απολύμανσης των καθαρών επεξεργασμένων νερών ενώ σε μερικές περιπτώσεις δεν απαιτείται καθόλου.

Τρίτο σημαντικό πλεονέκτημα είναι τα υψηλά επίπεδα διαλελυμένου οξυγόνου (D.O.) στα επεξεργασμένα νερά σε αντίθεση με την οριακή ή μηδενική πολλές φορές συγκέντρωση D.O. στην εκροή των συμβατικών μηχανικών συστημάτων ενεργού ιλύος. Αυτό σημαίνει πολύ μικρή έως αμελητέα επίπτωση στη βασική ζωτική παράμετρο των φυσικών αποδεκτών που είναι το D.O.

Σε δύο παρτέρια διαστάσεων 1x1 έγινε φύτευση καλαμιών (τα καλάμια ονομάζονται *Phragmites australis*, είναι απλά νεροκάλαμα τα οποία φύονται σε λίμνες), από γειτονική λίμνη περίπου 2 μηνών έπειτα από 12 μήνες από τη φύτευση τους έγινε έγχυση επεξεργασμένου υγρού αποβλήτου. Τα υγρά απόβλητα αφού έχουν περάσει από το στάδιο της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας αφαιρώντας σημαντικό ποσοστό αιωρούμενων στερεών (σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει κίνδυνος το σύστημα να φρακάρει) τότε γίνεται έγχυση στα παρτέρια με τους καλαμώνες του υγρού αποβλήτου, όταν απορροφηθεί από την επιφάνεια τα υγρά τότε καταλήγουν στην έξοδο του συστήματος έγινε συλλογή του επεξεργασμένου υγρού το οποίο ήταν βελτιωμένο κατά πολύ όσον αφορά το χρώμα και αναλύθηκε στα εργαστήρια της σχολής, οι μέθοδοι των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν είναι οι εξής:

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούσαν το pH, TNK, COD, BOD₅ και NH₄-N. οι μεθοδολογίες των αναλύσεων είναι οι παρακάτω.

4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Μέτρηση TNK:

Με τη μέθοδο Kjeldahl υπολογίζουμε ποσοτικά το άζωτο, που είναι το άθροισμα της ελεύθερης αμμωνίας και του οργανικού αζώτου που μετατρέπεται σε (NH₄)₂SO₄ μετά από χώνευση. Δεν περιλαμβάνονται οι ποσότητες του αζώτου με τη μορφή νιτρικών και νιτρωδών αλάτων.

ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ:

Αντιδραστήριο χώνευσης:

H₂SO₄-HgSO₄-K₂SO₄.

Διαλύονται 135,5 γρ K₂SO₄ ΣΕ 650 ml (Βρασμός σε κάθετο ψυκτήρα)

Προστίθενται 200 ml H₂SO₄, 25 ml διαλύματος HgSO₄ και αραιώνονται ως το 1 λίτρο με αποσταγμένο νερό.

*Διάλυμα HgSO₂.

Διαλύονται 4g κόκκινο οξείδιο του υδραργύρου (HgO) σε 25ml διάλυμα H₂SO₄ 1:4 (5ml π.H₂SO₄ : 20ml α.H₂O) και αραιώνονται μέχρι όγκου 50ml με α.H₂O.

➤ Διάλυμα βορικού οξέος H₃BO₃.

Διαλύονται 20g H₃BO₃ σε α.H₂O και το διάλυμα αραιώνεται στο 1lt.

➤ Πρότυπο διάλυμα H₂SO₄ 0,02N.

➤ Διάλυμα NaOH – Na₂S₂O₃ H₂O.

Διαλύονται 500g NaOH και 25g Na₂S₂O₃ H₂O σε α.H₂O και αραιώνονται στο 1lt.

➤ Δείκτης

200mg δείκτη methyl red σε 100ml 95% EtOH

100mg δείκτη methylene blue σε 50ml 95% EtOH

Αναμιγνύονται σε αναλογία 2:1.

Παρασκευάζεται καινούργιο διάλυμα κάθε μήνα.

➤ Διάλυμα NH₄Cl.

Διαλύονται 3,8214g NH₄Cl σε α.H₂O και το διάλυμα αραιώνεται μέχρι 1lt. Το διάλυμα αυτό είναι 1000mg/lt ή 1mg/ml ως προς N-NH₃.

➤ Διάλυμα NH₂-CO-NH₂ (ουρία)

Διαλύονται 2,1428g NH₂-CO-NH₂ σε α.H₂O και το διάλυμα αραιώνεται μέχρι 1lt.

Το διάλυμα αυτό είναι 1000mg/lt ή 1mg/ml ως προς N.

ΜΕΘΟΔΟΣ :

Η μέθοδος προσδιορισμού N κατά Kjeldahl περιλαμβάνει τρία στάδια :

- i. Χώνευση
- ii. Απόσταξη
- iii. Τιτλοδότηση

- i. Χώνευση : Σκοπός της χώνευσης είναι η μετατροπή οργανικών αζωτούχων ενώσεων σε ενώσεις αμμωνιακού δεσμού, όπως (NH₄)₂SO₄. Τα τυπικά προϊόντα χώνευσης είναι CO₂, H₂O, SO₂ και (NH₄)₂SO₄. Σε καλά καθαρισμένους σωλήνες της συσκευής χώνευσης φέρουμε 50ml δείγματος (ή μικρότερη ποσότητα αραιωμένη στα

50ml, αν το N είναι περισσότερο από 50mg/l) και προσθέτουμε 10ml από το αντιδραστήριο χώνευσης, προσεκτικά και σιγά-σιγά, καθώς και μπίλιες βρασμού. Ταυτόχρονα επεξεργαζόμαστε ένα λευκό δείγμα και ένα πρότυπο διάλυμα ως 50ppm ως προς N. Ανοίγουμε το διακόπτη του ρεύματος και τη βρύση της αντλίας νερού.

Στη συνέχεια ρυθμίζουμε τη θερμοκρασία και το χρόνο χώνευσης, όπου έχουμε 4 φάσεις :

- 1^η φάση : Ξήρανση στους 200-2500C (διακόπτης στο 4), διάρκεια 15-20'.
 - 2^η φάση : Κύρια θέρμανση μέχρι 380-4000C (διακόπτης στο 4-8 σταδιακά), διάρκεια 30-45'.
 - 3^η φάση : Διατήρηση της θερμοκρασίας (διακόπτης στο 8), διάρκεια 20-30'.
 - 4^η φάση : Κρυώνουμε κάτω από 400C σε χρόνο 10-15'.
- ii. Απόσταξη : Σκοπός της απόσταξης είναι να μεταφέρουμε το (NH₄)₂SO₄ που έχει παραχθεί κατά την χώνευση στην κωνική φιάλη στο H₃BO₃ και το μικτό δείκτη. Προσθέτουμε 50ml α.Η₂O σε κάθε σωλήνα και την τοποθετούμε στη συσκευή της απόσταξης. Σε κωνική φιάλη βάζουμε 20ml H₃BO₃ 3-4 σταγόνες μικτό δείκτη..
- iii. Τιτλοδότηση : Τιτλοδοτούμε το περιεχόμενο της κωνικής φιάλης, που περιέχει όλη την ποσότητα του N με την μορφή συμπλόκου , με 0,02N H₂SO₄.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ :

Το N υπολογίζεται από τον τύπο :

$$N \text{ (ppm)} = (\alpha - \beta) \times 280 / \gamma$$

Όπου :

α = ml 0,02N H₂SO₄ για το δείγμα

β = ml 0,02N H₂SO₄ για το λευκό

γ = ml δείγματος

Μέτρηση COD:

Μέτρηση COD με τη μέθοδο της HACH.

Αντιδραστήρια:

- Αμπούλες με αντιδραστήρια της HACH. Περιοχή συγκέντρωσης 0-150 ppm για την έξοδο και 0-150 ppm για την είσοδο.
- Πυκνό Θειικό οξύ(98%)
- Εναμμόνιος θειικός σίδηρος FAS.

Διαλύματα:

- Διάλυμα δείκτη φερροίνης
- Διάλυμα FAS (0.125 N)
- M.B FAS = 391,975 gr

Διαλύουμε 391,975 gr FAS SE 1000ml νερό αποσταγμένο για διάλυμα 1N.

Για διάλυμα 0.125 N έχουμε $391,975 * 0,125 = 48,99$ gr FAS. Η ποσότητα αυτή διαλύεται στα 1000 ml αποσταγμένο νερό και προστίθενται 10 ml πυκνού H₂SO₄ (98%).

- Διαλύματα FAS (0.0125 N). Αραιώνονται 50 ml του προηγούμενου διαλύματος στα 500 ml. Το διάλυμα που προκύπτει είναι 0,0125.
- Διάλυμα K₂Cr₂O₇ (0.25 N) Διαλύονται 12,259 gr διχρωμικού καλίου στο 1 λίτρο αποσταγμένο νερό.
- Διάλυμα K₂Cr₂O₇ (0.025 N). Αραιώνοντας 50 ml του προηγούμενου διαλύματος στα 500 ml αποσταγμένου νερού.

Διαδικασία: Για περιοχή 0-150 ppm COD.

- Ανοίγουμε τον αντιδραστήρα της HACH και περιμένουμε να ζεσταθεί μέχρι 150 ° c.
- Σε κάθε αμπούλα της HACH βάζουμε 2 ml από κάθε δείγμα.
- Στο τυφλό βάζουμε 2 ml αποσταγμένο νερό
- Ετοιμάζουμε ένα φιαλίδιο (τίτλος) το οποίο περιέχει:
 - i. 2 ml K₂Cr₂O₇ 0.025 N
 - ii. 3 ml πυκνό H₂SO₄
- Παίρνουμε 2 φιαλίδια της HACH 0-150 ppm και προσθέτουμε στο ένα 2 ml αποσταγμένο νερό και στο άλλο 2 ml από την έξοδο.
- Παίρνουμε 2 φιαλίδια της HACH 0-150 ppm και προσθέτουμε στο ένα 2 ml αποσταγμένο νερό που είναι το τυφλό 2 ml εισόδου και.
- Όλα μαζί τα βάζουμε στον επωαστήρα στους 150 ° c για 2 ώρες.
- Μετά αφού τα βγάλουμε και κρυώσουν ξεκινάμε την τιτλοδότηση.
- Τα αραιά δείγματα τα τιτλοδοτούμε με εναμμώνιο θεικό σίδηρο 0,0125 N αφού προηγουμένως έχουμε ρίξει ένα φιαλίδιο, ένα μαγνητάκι και 2 σταγόνες δείκτη φερροίνης. Έστω η κατανάλωση του τυφλού=A ml, του δείγματος της εξόδου =B ml.
COD εξόδου =A-B/A * 200 mg/l.

Παρόμοια για τα πυκνά δείγματα με τη διαφορά ότι η τιτλοδότηση γίνεται με εναμμώνιο θειικό σίδηρο 0,125 N. Έστω η κατανάλωση του τυφλού= A ml, του δείγματος της εισόδου = B ml. Ο τύπος είναι COD εξόδου = $A-B/A * 200$ mg/l.

- Παρασκευή $(NH_4)_2 Fe (SO_4)_2 6H_2O$ 0,0125 N.

Ζυγίζουμε 24,5 gr $(NH_4)_2 Fe (SO_4)_2 6H_2O$. Διαλύονται αυτά τα γραμμάρια σε αποσταγμένο νερό σε μία ογκομετρική φιάλη των 500 ml. Προσθέτουμε 5 ml H_2SO_4 και συμπληρώνουμε με αποσταγμένο νερό έως τη χαραγή της ογκομετρικής φιάλης.

- $(NH_4)_2 Fe (SO_4)_2 6H_2O$ 0,0125 N.

Σε μία ογκομετρική φιάλη των 500 ml βάζουμε 50 ml εναμμώνιου θειικού σιδήρου 0,125N και συμπληρώνουμε με αποσταγμένο νερό έως τη χαραγή.

Μέτρηση BOD₅:

Αυτός ο προσδιορισμός προσδιορίζει την ποσότητα των οργανικών ουσιών στα απόβλητα για τη μέτρηση του καταναλωθέντος οξυγόνου από μικροοργανισμούς. Ο προσδιορισμός λαμβάνεται από τον προσδιορισμό του διαλελυμένου οξυγόνου που έχει καταναλωθεί στα απόβλητα, οι αραιώσεις των δειγμάτων γίνονται με στάνταρ αραιωτικό νερό και το διαλελυμένο οξυγόνο (DO), προσδιορίζεται πριν και μετά την περίοδο των 5 ημερών της επώασης.

Συσκευές:

- Προχοίδα βαθμολογημένη ανα 0,1 ml χωρητικότητας 50 ml.
- Φιάλες BOD, Χωρητικότητας 300 ml.
- Φιάλες Erlemeyer, 250 ml.
- 10 ml σιφόνια μετρήσεως.
- Ευρύστομο ογκομετρικό σιφόνιο
- Εκολλάπτικό μηχάνημα, θερμοστατικά ρυθμιζόμενο στους 20 ° c.

Αντιδραστήρια:

- Απεσταγμένο νερό
- Φωσφορικό ρυθμιστικό διάλυμα
- Διάλυμα θειικού μαγνησίου
- Διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου
- Διάλυμα χλωριούχου σιδήρου
- Αραιωτικό νερό.

Διαδικασία:

- Καταρχήν η ποσότητα του δείγματος που θα προστεθεί στη φιάλη των 300 ml θα πρέπει να έχει προσδιοριστεί, για να το κάνουμε αυτό θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι το νερό στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος περιέχει περίπου 8 mgus/lit διαλελυμένου οξυγόνου. Συνεπώς αν η απαίτηση σε οξυγόνο του προς εξέταση δείγματος είναι μεγαλύτερη από 8 mgus/lit, πρέπει να γίνει αραίωση. Μετά την επώαση των 5 ημερών το διαλελυμένο οξυγόνο πρέπει να είναι 2 mgus/lit. Στα απόβλητα χρησιμοποιούμε 30-150 ml δείγματος ανάλογα με την καθαρότητα τους.
- Γεμίζονται 2 φιάλες BOD των 300 ml περίπου μέχρι τη μέση με νερό αραιώσεως. Μετά χρησιμοποιώντας ένα σιφόνιο ευρύστομο, μετρούμε την προκαθορισμένη ποσότητα του δείγματος στις 2 φιάλες BOD των 300ml. Γεμίζονται κάθε φιάλη με νερό αραιώσεως και τοποθετούμε τα πώματα και προσέχουμε πάρα πολύ να μην περιέχονται φυσαλίδες αέρα.
- Γεμίζουμε 2 φιάλες με νερό αραιώσεως και της κλείνουμε με τον ίδιο τρόπο.
- Τοποθετούμε μία φιάλη με το αραιωμένο δείγμα και μία φιάλη με το νερό αραίωσης για επώαση.
- Κάνουμε προσδιορισμό στο διαλελυμένο οξυγόνο, στις φιάλες που έχουν μείνει καταγράφουμε το αρχικό περιεχόμενο διαλελυμένο οξυγόνο.
- Μετά της 5 ημέρες κάνουμε έναν προσδιορισμό σε διαλυμένο οξυγόνο στις φιάλες που έχουν επωασθεί. Σημειώνουμε το περιεχόμενο διαλελυμένο οξυγόνο, η αύξηση ή η ελάττωση του διαλελυμένου οξυγόνου στις φιάλες με άμεση αραίωση νερού δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για τη διόρθωση του αποτελέσματος του αραιωμένου δείγματος. Είναι μόνο μία μέτρηση της ποιότητας του νερού αραίωσης και δεν θέλουμε η αύξηση ή η μείωση να είναι πάνω από 0,2 mgu/lit στο διαλελυμένο οξυγόνο.

Υπολογισμός:

$$BOD_5 = (D1-D2)*V \text{ φιάλης} / V \text{ λαμβανόμενου δείγματος} * \text{ mgs/lit.}$$

4.3 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Γίνεται η χρήση των υφιστάμενων δεξαμενών βιοαερίου που είναι κατασκευασμένες από σκυρόδεμα και έχουν στεγανωθεί. Οι δεξαμενές είναι καλυμένες με καπάκια από πολυουρεθάνη και πλάκες από σίδηρο. Μέσα σε κάθε δεξαμενή είναι εγκατεστημένοι αναδευτήρες βιοαερίου από χυτοσίδηρο, επίσης σε όλες τις δεξαμενές έχει εγκατασταθεί

σύστημα σωληνώσεων για τη θέρμανση των περιεχομένων των δεξαμενών. Όλος αυτός ο εξοπλισμός θα πρέπει να απομακρυνθεί και να καθαριστούν οι δεξαμενές.

Επαναχρησιμοποιείται και η κυκλική δεξαμενή συλλογής του βιοαερίου η οποία είναι εξοπλισμένη με «καμπάνα» από πολυουρεθάνη. Αυτή θα πρέπει να απομακρυνθεί όπως και η διάταξη ολίσθησης ανύψωσης που υπάρχει.

Δεξαμενή	Κάτοψη (m ²)	Βάθος (m)	Όγκος (m ³)
ΕΞΙΣΟΡΟΠΗΣΗ	8,34	4,2	35
Α' ΣΤΑΔΙΟ	150	3,5	525
Β' ΣΤΑΔΙΟ	100	3,2	320

Πίνακας 4.3.1. Γεωμετρικά στοιχεία υφιστάμενων δεξαμενών

Στις δεξαμενές χώνευσης κατασκευάζεται επίπεδο έδρασης με δοκούς από σκυρόδεμα σε ύψος 1,90m και 1,55m για το πρώτο και το δεύτερο στάδιο αντίστοιχα. Αυτό γίνεται επειδή οι υφιστάμενες δεξαμενές δεν έχουν το ίδιο βάθος. Κάθε μια από τις δεξαμενές θα αντιστοιχεί σε ένα στάδιο επεξεργασίας. Οι δεξαμενές είναι δίδυμες και για την υδραυλική ενοποίησή τους κατασκευάζεται οπή στα διαχωριστικά τοιχεία.

Επάνω στο επίπεδο έδρασης που δημιουργείται τοποθετούνται πλάκες σχαρωτές προκατασκευασμένες όπως αυτές που τοποθετούνται στα σχαρωτά δάπεδα των κτηνοτροφικών μονάδων. Έτσι σχηματίζεται ο πυθμένας των παρτεριών των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας. Κατόπιν γίνεται η διάστρωση των διαφόρων αδρανών υλικών πλήρωσης αρχίζοντας από την κροκάλα και φτάνοντας σταδιακά στην άμμο.

Πάνω στην άμμο φυτεύονται τα υδρόβια φυτά που προαναφέρθηκαν. Αναπτύσσονται επεξεργαζόμενα τα υγρά απόβλητα και κατά διαστήματα κόβονται για να γίνει ανανέωση της βλάστησης.

Η κυκλική δεξαμενή συλλογής βιοαερίου μετατρέπεται σε δεξαμενή εξισορρόπησης παροχής και φορτίου. Στη δεξαμενή τοποθετείται ζεύγος αντλιών λυμάτων όπως και αναδευτήρας.

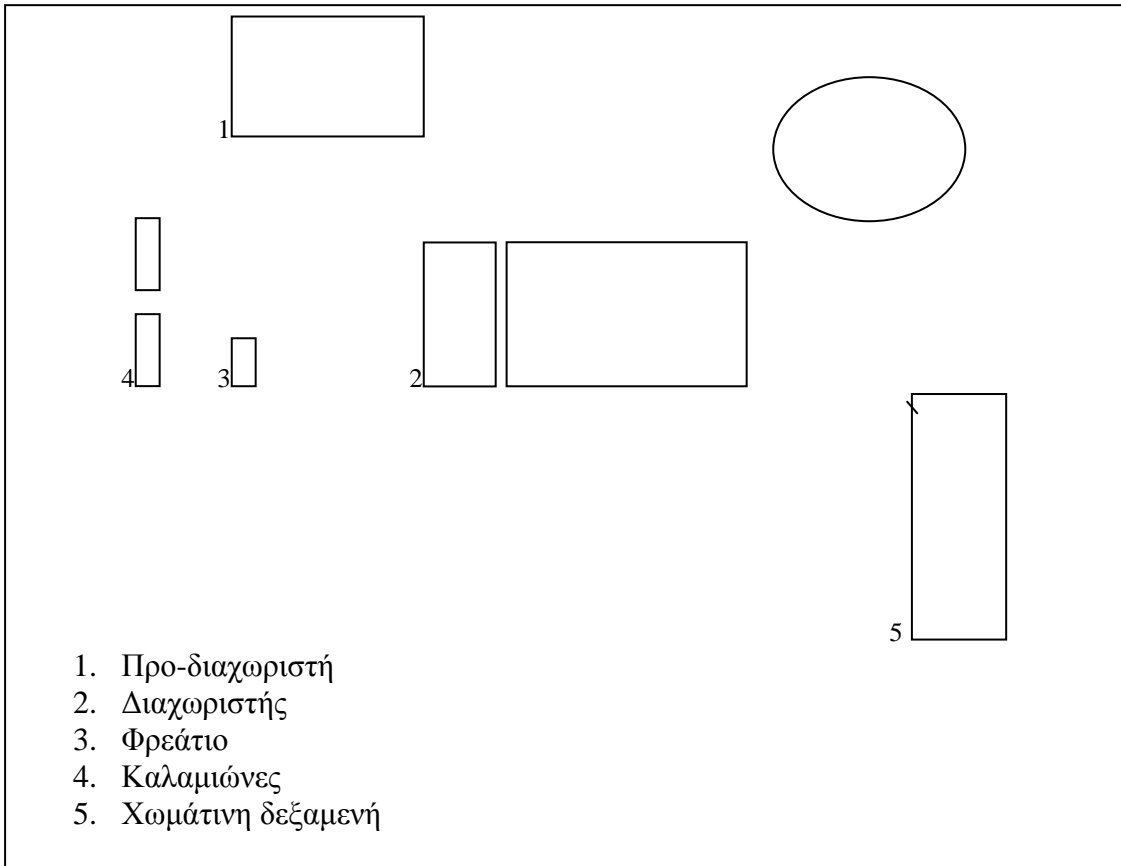
Όλα τα παραπάνω αποτελούν την αρχή για την δημιουργία Τεχνητών Υγροτόπων κατακόρυφης ροής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

4.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Τα διαχωρισμένα υγρά από τις δύο διατάξεις διαχωρισμού εισέρχονται στη δεξαμενή εξισορρόπησης παροχής και φορτίου. Στη δεξαμενή αυτή επίσης αντλείται μέρος των επεξεργασμένων νερών έτσι ώστε να μειωθούν τα επίπεδα του εισερχομένου ρυπαντικού φορτίου αλλά και να δοθεί διαλελυμένο οξυγόνο στα εισερχόμενα υγρά. Αυτό μειώνει το shock που αναπόφευκτα προκαλεί η εισροή των ανεπεξέργαστων υγρών στα παρτέρια.

Από τη δεξαμενή εξισορρόπησης και με βάση πρόγραμμα τροφοδοσίας τα υγρά οδηγούνται στο Α στάδιο τεχνητών υγροτόπων. Εκεί διανέμεται με σωλήνες PVC σε όλο την έκταση της δεξαμενής. Τα υγρά στραγγίζουν στον πυθμένα των δεξαμενών και από εκεί αντλούνται προς το Β Στάδιο τεχνητών υγροτόπων. Εκεί γίνεται μια δεύτερη διέλευση και καθαρισμός. Εκτιμάται ότι κάθε στάδιο επιφέρει μείωση 60% περίπου στο ρυπαντικό φορτίο οπότε επιτυγχάνεται ο στόχος επεξεργασίας. Θα υπάρχει η δυνατότητα ανακυκλοφορίας των επεξεργασμένων νερών με το χειρισμό βαννών.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ



Σχήμα 5.1 Διάταξη βιολογικού καθαρισμού Αμερικανικής Γεωργικής Σχολής Θεσσαλονίκης.

Η ονομασία του πειράματος είναι «Τεχνητοί Υγρότοποι Κατακόρυφης Ροής, Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων» (“Vertical Flow Reed Beds Liquid Waste Treatment”). Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις της Αμερικανικής Γεωργικής Σχολής Θεσσαλονίκης, που βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της πόλης. Η διάταξη του βιολογικού καθαρισμού ακολουθεί τη σειρά «πρό διαχωριστή-διαχωριστής-φρεάτιο-καλαμιώνες-φρεάτιο-χωμάτινη δεξαμενή». Οι δειγματοληψίες και οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στις 26/06/06, 30/06/06, 07/07/06 και 14/07/06 και αφορούσαν το pH, BOD₅, COD, TKN, NH₄-N

5.1 ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.

(Βιο)χημικές παράμετροι

Οι παράμετροι που μετρώνται είναι:

- pH
- COD Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο
- BOD Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο
- Ολικό Άζωτο
- Αμμωνία

Το pH, εκφράζει τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου σε ένα υδατικό διάλυμα. Πιο συγκεκριμένα με pH συμβολίζεται ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου $[H^+]$ στο διάλυμα.

Δηλαδή: $pH = -\log[H^+]$

Διαλύματα για τα οποία η τιμή του pH είναι μικρότερη από 7 χαρακτηρίζονται ως όξινα, ενώ διαλύματα με pH μεγαλύτερο από 7 χαρακτηρίζονται βασικά. Διαλύματα για τα οποία η τιμή του pH ισούται με 7, χαρακτηρίζονται ως ουδέτερα. Το pH επηρεάζει έμμεσα τα οργανικά υλικά, ασκώντας καθοριστική επίδραση στο σύνολο των αναπτυσσόμενων μικροοργανισμών. Άριστο pH θεωρείται εκείνο της ελαφρά αλκαλικής αντίδρασης (6,5-7,5), δεδομένου ότι ευνοεί την δραστηριότητα των βακτηρίων χωρίς να περιορίζει σημαντικά εκείνη των μυκήτων, συνήθως δεν γίνεται διόρθωση της οξύτητας του αρχικού υλικού πριν την έναρξη εφαρμογής της επεξεργασίας γιατί με την έναρξη της επεξεργασίας το pH ανεβαίνει στην ελαφρά αλκαλική περιοχή εξαιτίας κυρίως της απελευθέρωσης αμμωνίας. Τα επιτρεπόμενα όρια σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία για το pH είναι 6,9-9,0.

Σαν COD (Chemical Oxygen Demand) αναφέρεται η χημική ζήτηση σε οξυγόνο που αντιστοιχεί στη συγκέντρωση ανόργανων και (ή) οργανικών μολυσματικών παραγόντων που δεν δύναται να βιο-διασπασθούν από τους αερόβιους μικροοργανισμούς των υγροτόπων.

Η μέτρηση του χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (COD) χρησιμοποιείται ευρύτατα για την μέτρηση του οργανικού φορτίου που περιέχεται σε αστικά ή βιομηχανικά λύματα. Το COD ορίζεται ως η ποσότητα του διχρωμικού καλίου που καταναλώνεται για την οξείδωση των οργανικών και ανόργανων ενώσεων που περιέχονται στο δείγμα. Τα επιτρεπόμενα όρια σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία για το COD είναι 180 mg/l.

Η βιολογική ζήτηση (Biological oxygen demand) σε οξυγόνο αποτελεί μία μονάδα μέτρησης της ρύπανσης των οργανικών σωμάτων. Εκφράζεται σε χιλιοστόγραμμα οξυγόνου

ανά κυβικού μέτρου υγρών αποβλήτων. Αντιστοιχεί στην ποσότητα του αναγκαίου οξυγόνου που απαιτείται για να οξειδώσει τις απορρίψεις των ρυπασμένων υγρών αποβλήτων που πραγματοποιούνται κατά μέσο όρο από κάθε κάτοικο, σε μία ροή νερού ή από ένα δεδομένο οικισμό. Αυτή η μέτρηση πραγματοποιείται σύμφωνα με μία δοκιμή σταθεροποιημένη μετά από πέντε μέρες οξείδωσης των οργανικών σωμάτων. Τα επιτρεπόμενα όρια σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία για το BOD₅ είναι 60 mg/l.

Ο προσδιορισμός των μορφών του αζώτου παρουσιάζει ιδιαίτερη σημασία καθώς το άζωτο ανάλογα με την μορφή του, μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως αποξυγόνωση υδάτινων αποδεκτών, φαινόμενα τοξικότητας στους υδρόβιους οργανισμούς, ευτροφισμό, ακόμα και προβλήματα υγείας όταν ξεπεράσει κάποιες συγκεντρώσεις στο πόσιμο νερό (συγκέντρωση νιτρικών >50 mg/l προκαλεί τον θάνατο στα βρέφη). Η χημεία του αζώτου είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη δεδομένου ότι το άζωτο απαντάται στη φύση σε διάφορες μορφές με αριθμό οξείδωσης που ποικίλει. Οι πιο σημαντικές μορφές του αζώτου στη φύση είναι: α) το οργανικό άζωτο, β) η αμμωνία, γ) το αέριο άζωτο, δ) τα νιτρώδη και τα νιτρικά. Η αναλογία των μορφών αυτών στα λύματα ή στους αποδέκτες τους, είναι ενδεικτική του βαθμού ρύπανσης και της επικινδυνότητας του αποδέκτη. Σημαντικές ποσότητες οργανικού αζώτου υποδηλώνουν πρόσφατη ρύπανση. Σταδιακά το οργανικό άζωτο υδρολύεται σε αμμωνία και στην συνέχεια οξειδώνεται σε νιτρώδη και νιτρικά υπό αερόβιες συνθήκες. Συνεπώς, η εμφάνιση υψηλών τιμών συγκεντρώσεων νιτρικών, ταυτίζεται με μη πρόσφατη ρύπανση από λύματα, με τη μεσολάβηση κάποιου χρονικού διαστήματος μέχρι την δημιουργία τους και αποτελεί μία ένδειξη μειωμένης επικινδυνότητας του αποδέκτη.

Η μέθοδος ανάλυσης αζώτου κατά Kjeldahl, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των αζωτούχων ενώσεων που περιέχουν άζωτο με αριθμό οξείδωσης -III. Οι αζωτούχες ενώσεις διακρίνονται σε αμμωνιακό άζωτο, ουρεία και οργανικό άζωτο. Η ουρεία στο υδάτινο περιβάλλον είναι μια ιδιαίτερα ασταθής ένωση, καθώς υδρολύεται άμεσα από ένζυμα σε αμμωνία. Συνεπώς, οι επικρατέστερες αζωτούχες ενώσεις που απαντώνται στο φυσικό περιβάλλον και περιλαμβάνονται στο ολικό κατά Kjeldahl άζωτο, είναι η αμμωνία και το οργανικό άζωτο που περιλαμβάνεται στα κόπρανα και σε άλλες πρωτεϊνούχες ενώσεις. Τα επιτρεπόμενα όρια σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία για το TKN είναι 45 mg/l.

Όσον αφορά την αμμωνία, το test νιτροποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές και κυρίως στον προσδιορισμό της δραστηριότητας των αυτοτροφικών βακτηριδίων στην ενεργό ιλύ. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό πιθανής τοξικότητας βιομηχανικών λυμάτων, σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών

λυμάτων, δεδομένου ότι η παρουσία τοξικότητας στα λύματα προκαλεί την αναχαίτιση της βιολογικής δραστηριότητας των αυτοτροφικών μικροοργανισμών.

Το test πραγματοποιείται σε εργαστηριακούς αντιδραστήρες διακοπτόμενων κύκλων λειτουργίας (batch), όπου βιομάζα και αραιώσεις των επικινδύνων αποβλήτων με αστικά λύματα αναμειγνύονται και αερίζονται. Προσθέτεται αμμωνία και μετράται σε τακτά χρονικά διαστήματα η συγκέντρωση της αμμωνίας και το νιτρικό και νιτρώδες άζωτο.

Η μεταβολή της συγκέντρωσης αμμωνίας μετριέται επίσης, αλλά δεν χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της νιτροποίησης καθώς τμήμα της αμμωνίας καταναλώνεται για την ανάπτυξη βακτηριδίων. Τα επιτρεπόμενα όρια σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία για την αμμωνία είναι 35mg/l.

Μικροβιολογικές Παράμετροι:

Οι παράμετροι που έχουμε να εξετάσουμε αφορούν μια ομάδα μικροβίων, πιο συγκεκριμένα:

- Ολικά κολοβακτηρίδια (Total Coliforms)
- Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Fecal Coliforms)
- Εντερόκοκκος (Enterococcus)
- Κολοβακτηρίδιο (E.Coli)

Για τον έλεγχο υγιεινής του νερού, δύο κυρίως ομάδες μικροβίων χρησιμοποιούνται σαν δείκτες μικροβιακής μόλυνσης, τα Total Coliforms (Κολοβακτηριοειδή) και Fecal Coliforms (Κολοβακτηρίδια). Γενικώς, οι δύο ομάδες αυτές των μικροβίων είναι GRAM αρνητικά αερόβια ή αναερόβια που δεν σχηματίζουν σπόρους και αποικοδομούν την λακτόζη στους 35 °C σε 24-48 ώρες.

Τα Total Coliforms (κολοβακτηριοειδή), αναφέρονται στα γένη *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*. Όλα αυτά εκτός από την *Escherichia* μπορούν να υπάρξουν και σαν ελεύθεροι και σαπροφυτικοί οργανισμοί.

Τα Fecal Coliforms είναι η *Escherichia* και η *Klebsiella*. Ξεχωρίζουν από τα Total Coliforms γιατί αποικοδομούν την λακτόζη και σε υψηλότερη θερμοκρασία.

Το γένος Εντερόκοκκος αποτελείται από gram-θετικούς, μικροαερόφιλους κόκκους (στρογγυλοί), οι οποίοι δεν είναι κινητοί και εμφανίζονται σε αλυσίδες ή ζευγάρια. Το γένος καθορίζεται από έναν συνδυασμό αντιγονικών, αιμολυτικών και φυσιολογικών χαρακτηριστικών και ήταν στο παρελθόν μέρος του γένους Στρεπτόκοκκος (στρεπτόκοκκοι Δ ομάδας).

Η *E. coli* είναι gram αρνητικά, ραβδόμορφα βακτηρίδια που ανήκουν στην οικογένεια *Enterobacteriaceae*. Η *E. coli* υπάρχει στα έντερα όλων των ζώων, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου. Όταν οι αεροβικές μέθοδοι καλλιέργειας χρησιμοποιούνται, η *E. coli* είναι το κυρίως είδος που βρίσκεται στα περιττώματα. Κανονικά η *E. coli* εξυπηρετεί μια χρήσιμη λειτουργία στο σώμα με την καταστολή της αύξησης των επιβλαβών βακτηριακών ειδών και με τη σύνθεση αξιόλογων ποσών βιταμινών. Μια μειονότητα στελεχών *E. coli* είναι ικανή να προκαλέσει ασθένεια σε ανθρώπους με ποικίλους διαφορετικούς μηχανισμούς. Ο ορότυπος O 157: H 7 της *E. coli* είναι μια σπάνια ποικιλία της *E. coli* που παράγει μεγάλες ποσότητες μιας ή περισσοτέρων σχετικών, ισχυρών τοξινών που προκαλούν σοβαρές ζημιές στο εσωτερικό του εντέρου.

5.2 Αποτελέσματα αναλύσεων

5.2.1 (Βιο)χημικές αναλύσεις

Το πείραμα των «Τεχνητών Υγροτόπων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Κατακόρυφης Ροής», έλαβε χώρα στην Αμερικανική Γεωργική Σχολή Θεσσαλονίκης (Α.Γ.Σ.Θ.). Οι δειγματοληψίες και οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στις 26/06/06, 30/06/06, 07/07/06 και 14/07/06.

Στο βιολογικό καθαρισμό της Αμερικανικής Γεωργικής Σχολής Θεσσαλονίκης η σειρά που χρησιμοποιείτε ως τώρα, ακολουθεί τη διάταξη των σταδίων «προ διαχωριστή- διαχωριστή- φρεατίου». Έπειτα ακολουθούν οι καλαμώνες, που με τη σειρά τους εκβάλλουν στο φρεάτιο που καταλήγουν στη χωμάτινη δεξαμενή. Οι τιμές είναι ιδιαίτερα αυξημένες καθώς αφορούν τα λύματα τα οποία για το στάδιο προ διαχωριστή, δεν έχουν υποστεί καμία επεξεργασία. Έπειτα, ακολουθεί η σειρά του σταδίου διαχωριστή που είναι η πρωτοβάθμια επεξεργασία, από αυτό το στάδιο, κάποιο από αυτά τα λύματα, συλέγεται και χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των καλαμώνων ενώ αυτά που δεν χρησιμοποιούνται για την παραπάνω τροφοδοσία, καταλήγουν στο φρεάτιο και εκρέουν στη χωμάτινη δεξαμενή.

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων παρουσιάζονται παρακάτω και αφορούν την Είσοδο και την Έξοδο των Τεχνητών Υγροτόπων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων της Αμερικανικής Γεωργικής Σχολής. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι αναλύσεις ως προς το σημαντικό βαθμό μείωσης των ρύπων σε σχέση με τον απλό τρόπο σχεδιασμού και λειτουργίας των Τεχνητών Υγροτόπων.

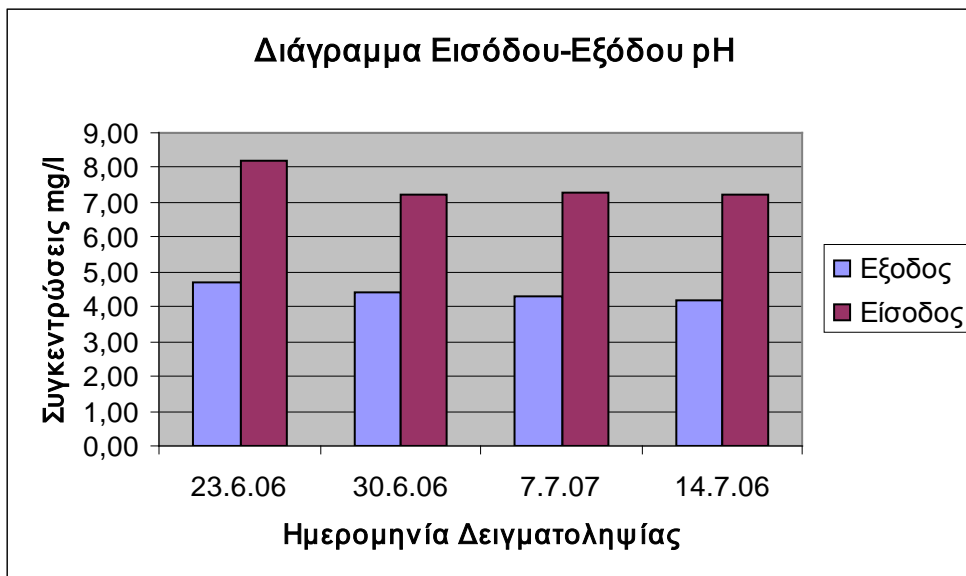
Και στις τέσσερις δειγματοληψίες, παρατηρείται αύξηση του pH από όξινο που ήταν στην είσοδο, σε ουδέτερο προς βασικό (Σχήμα 5.1). Κατά μέσο όρο η αύξηση της τιμής του pH είναι της τάξης του 70%.

Όσον αφορά το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), (Σχήμα 5.2) παρατηρείται ότι υπάρχει σημαντική μείωση της τάξης του 94% κατά μέσο όρο.

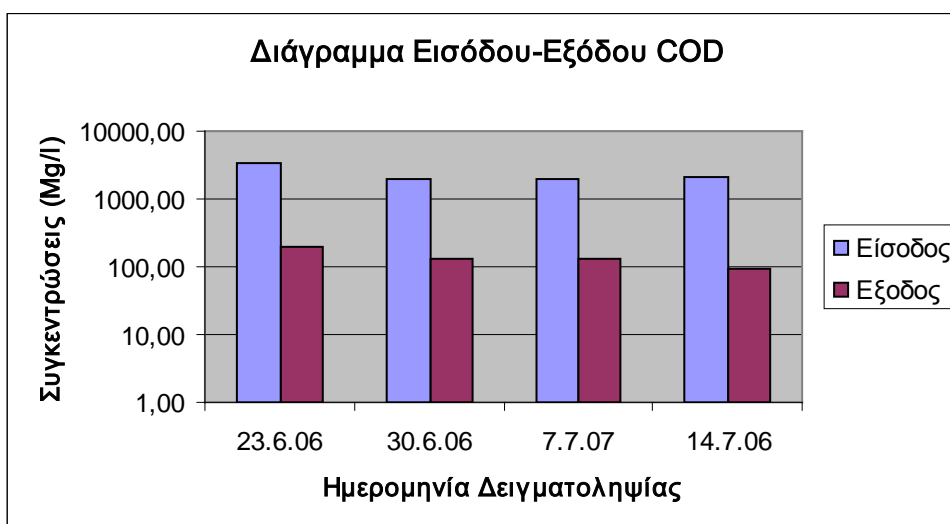
Όπως φαίνεται στο Σχήμα (5.3), όπου η μετρούμενη παράμετρος είναι το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD₅) και πίο συγκεκριμένα για το ποσό του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου σε περίοδο 5 ημερών, παρατηρείται μείωση του BOD, κατά μέσο όρο της τάξης του 95% (πολύ υψηλό ποσοστό μείωσης).

Σχετικά με την αμμωνία, η οποία επηρεάζει καθώς υπάρχει σε μεγάλο ποσοστο στα απόβλητα, το πείραμα των «Τεχνητών Υγροτόπων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Κατακόρυφης Ροής», έδειξε ότι και αυτή η παράμετρος μπορεί να μειωθεί ικανοποιητικά. Το Σχήμα (5.4), δείχνει ότι το ποσοστό μείωσης είναι κατά μέσο όρο 20-25%, καθώς αν υπήρχαν αυξημένα ποσοστά αμμωνίας στο σύστημα, θα υπήρχε πρόβλημα, καθώς η αμμωνία θα ξέφαινε τους καλαμώνες με αποτέλεσμα να καταστρεφόταν το πείραμα. Για το λόγο αυτό, τα καλάμια θα πρέπει κατά την φύτευση τους να ποτίζονται με καθαρό νερό και όταν φτάσουν σε ηλικία 14 μηνών και άνω, να τροφοδοτούνται με λύματα. Συγκεκριμένα για την πρώτη θέση δειγματοληψίας, η μείωση της αμμωνίας ήταν 10%, στην δεύτερη δειγματοληψία 15% στην τρίτη δειγματοληψία 15% και τέλος στην τέταρτη δειγματοληψία 28%.

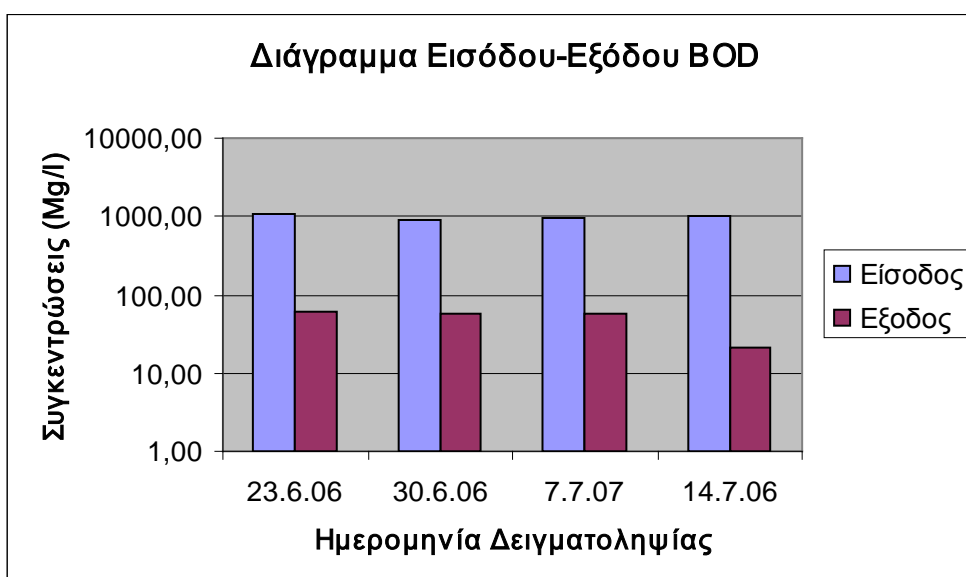
Τελευταία μετρούμενη παράμετρος είναι το ολικό άζωτο, ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο Kjeldahl και παρατηρείται επίσης σημαντική μείωση των ρύπων. Τα καλάμια τύπου *Phragmites* Spp. που χρησιμοποιήθηκαν, λειτουργούν αζωτοδεσμευτικά. Οι συγκεντρώσεις αζώτου που εκρέονται είναι ικανοποιητικές καθώς α) είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων της Ελληνικής Νομοθεσίας και β) η εκροή αυτή μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για άρδευση σε καλλιέργειες (αυτό χρησιμοποιείται στην Α.Γ.Σ.Θ. για την άρδευση καλλιέργειας καλαμποκιού που χρησιμοποιείται σαν τροφή των κοτόπουλων που εκτρέφει η Σχολή). Επομένως, στο σύνολο του οργανικού και αμμωνιακού αζώτου παρατηρείται σημαντική μείωση.



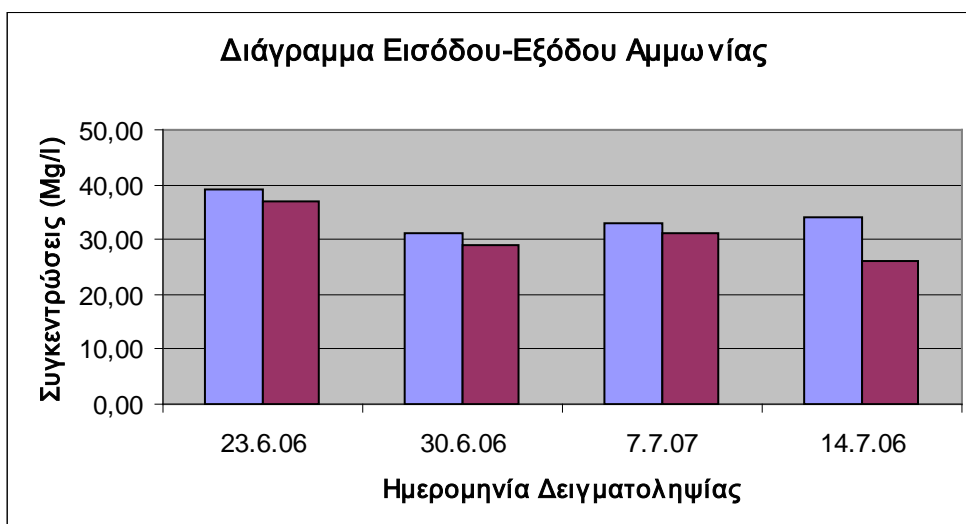
Σχήμα 5.1 Διάγραμμα συγκέντρωσης pH Εισόδου-Εξόδου καλαμιώνων.



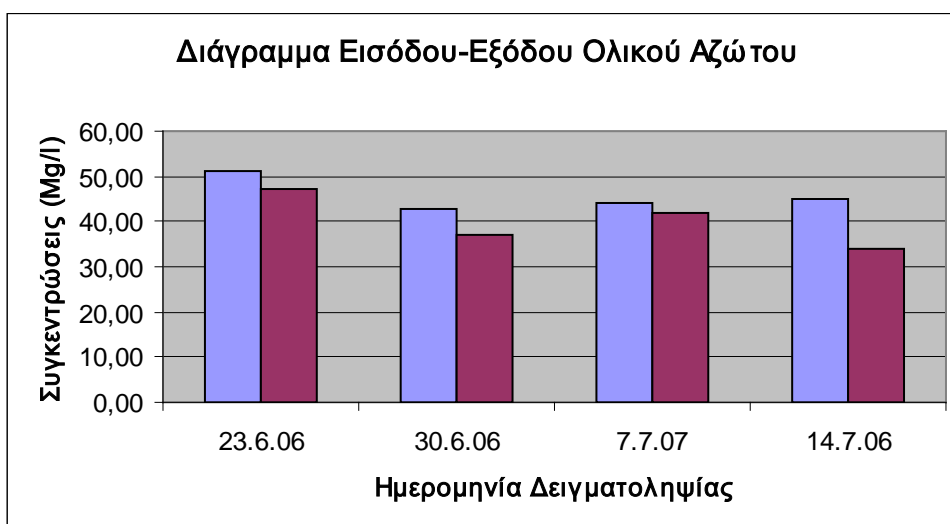
Σχήμα 5.2 Διάγραμμα συγκέντρωσης COD Εισόδου-Εξόδου καλαμιώνων.



Σχήμα 5.3 Διάγραμμα συγκέντρωσης Εισόδου-Εξόδου BOD₅ καλαμιώνων.



Σχήμα 5.4 Διάγραμμα συγκέντρωσης Εισόδου-Εξόδου Αμμωνίας καλαμιώνων.



Σχήμα 5.5 Διάγραμμα συγκέντρωσης Ολικού Αζώτου Εισόδου-Εξόδου καλαμιώνων.

5.2.2 Μικροβιολογικές αναλύσεις.

Οι μικροβιολογικές αναλύσεις για τα ολικά κολοβακτηρίδια στα στάδια επεξεργασίας πρό διαχωριστή- διαχωριστή- φρεατίου, δίνονται στο Σχήμα (5.6). Οι συγκεντρώσεις τους παρουσιάζουν σημαντική μείωση όσο προχωράει η επεξεργασία. Κατά την πρώτη δειγματοληψία για τα ολικά κολοβακτηρίδια παρατηρείται ότι η συγκέντρωση στη θέση δειγματοληψίας (προ διαχωριστή) είναι 1.620.000 mg/100 ml ενώ στη δεύτερη θέση δειγματοληψίας (διαχωριστής) μειώνεται στα 920.000 mg/100 ml), στην τρίτη θέση δειγματοληψίας (φρεάτιο), παρατηρείται ότι η συγκέντρωση της εκροής στο φρεάτιο είναι 16.000 mg/100 ml).

Όπως δίνεται στο Σχήμα (5.7) το οποίο αφορά τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια, υπάρχει σημαντική μείωση από τα διάφορα στάδια επεξεργασίας. Πιο συγκεκριμένα, κατά την πρώτη δειγματοληψία παρατηρείται η συγκέντρωση στη θέση δειγματοληψίας (προ διαχωριστή) να είναι 1.620.000 mg/100 ml, ενώ στη δεύτερη θέση δειγματοληψίας (διαχωριστής), φαίνεται μείωση της συγκέντρωσης στα 920.000 mg/100 ml. Στην τρίτη θέση δειγματοληψίας (φρεάτιο) η συγκέντρωση της εκροής είναι 1100 mg/100 ml).

Στα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Σχήμα 5.8), παρατηρείται μείωση στις θέσεις επεξεργασίας. Συγκεκριμένα, κατά την πρώτη δειγματοληψία η συγκέντρωση των κολοβακτηριδίων στη θέση δειγματοληψίας (προ διαχωριστή) είναι 1.470.000 mg/100 ml, ενώ στη δεύτερη θέση δειγματοληψίας (διαχωριστής), η συγκέντρωση είναι 920.000 mg/100 ml. Τέλος στην τρίτη θέση δειγματοληψίας (φρεάτιο), η συγκέντρωση είναι 1.100 mg/100 ml.

Όπως δίνεται στο Σχήμα (5.9), οι συγκεντρώσεις του εντερόκοκκου παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση, πιο συγκεκριμένα, κατά την πρώτη θέση δειγματοληψίας παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση του εντερόκοκκου στη θέση δειγματοληψίας (προ διαχωριστή) είναι 9.600.000 mg/100 ml ενώ στη δεύτερη θέση δειγματοληψίας (διαχωριστής) 300.000 mg/100 ml). Στην τρίτη θέση δειγματοληψίας (φρεάτιο), η συγκέντρωση είναι 20 mg/100 ml).

Οι μικροβιολογικές αναλύσεις που αφορούν τους καλαμώνες δείχνουν ότι ο αριθμός των μικροβίων στα απόβλητα είναι ιδιαίτερα αυξημένος. Βασικός σκοπός είναι να πραγματοποιηθεί απολύμανση των αποβλήτων, κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της χλωρίωσης των υγρών αποβλήτων κατά την εκροή, άλλη μέθοδος απολύμανσης είναι με τη μέθοδο του UV (υπεριώδης ακτινοβολία), παρακάτω αναλύονται τα αποτελέσματα απολύμανσης των υγρών αποβλήτων με καλάμια (τύπου *phragmites* spp.) που χρησιμοποιήθηκαν και για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν σημαντικό ποσοστό μείωσης.

Στα ολικά κολοβακτηρίδια (Σχήμα 5.10), παρουσιάζεται σημαντική διακύμανση των συγκεντρώσεων ανά δειγματοληψία. Ικανοποιητικά θεωρούνται τα αποτελέσματα όπου οι συγκεντρώσεις της εκροής είναι μεταξύ 1.000-100.00 mg/100 ml. Στη δεύτερη δειγματοληψία, η συγκέντρωση είναι 35.000 mg/100 ml. Στην τρίτη δειγματοληψία, είναι 3.500 mg/100 ml, στην τέταρτη και στην πέμπτη δειγματοληψία η συγκέντρωση είναι 5.600 mg/100 ml, ενώ στην έκτη η τιμή συγκέντρωσης είναι 35.000 mg/100 ml.

Για τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (η συγκέντρωση των οποίων ενδιαφέρει περισσότερο καθώς αυτά είναι που φέρουν ιδιαίτερα μολυσματικούς παράγοντες), (Σχήμα 5.11), η συγκέντρωση της εκροής πρέπει να είναι της τάξης των 10.000 mg/100 ml.

Συγκεκριμένα, θα λέγαμε ότι για την πρώτη δειγματοληψία παρατηρείται ότι η συγκέντρωση των κοπρανόδων κολοβακτηριδίων είναι 16.000 mg/100 ml, ενώ στη δεύτερη δειγματοληψία η συγκέντρωση βρίσκεται στα 13.000 mg/100 ml, στην τρίτη δειγματοληψία η συγκέντρωση είναι 17.000 mg/100 ml. Στην τέταρτη δειγματοληψία μειώνεται στα 3.200 mg/100 ml, ενώ στην πέμπτη και στην έκτη δειγματοληψία αυξάνονται στην 4.800 mg/100 ml και 35.000 mg/100 ml).

Η *E.Coli* που όπως και οι παραπάνω είναι αρκετά παθογόνος ρύπος, έγινε προσπάθεια μείωσης της μικροβιακής συγκέντρωσης με τη μέθοδο της απολύμανσης με τεχνητούς υγροτόπους και όπως παρατηρείται στο (Σχήμα 5.12), τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά. Συγκεκριμένα, στην πρώτη δειγματοληψία παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση είναι 4300 mg/100 ml ενώ στη δεύτερη και τρίτη δειγματοληψία παρατηρείται διακύμανση με συγκέντρωση στα 13.000 mg/100 ml και 17.000 mg/100 ml ,στην τέταρτη δειγματοληψία παρατηρούμε μείωση της συγκέντρωσης (2.600 mg/100 ml) σε σχέση με της δύο προηγούμενες,. Στην πέμπτη και έκτη δειγματοληψία η συγκέντρωση είναι 4.800 mg/100 ml και 35000 mg/100 ml. Απο τα παραπάνω παρατηρούμε ότι υπάρχει διακύμανση στις δειγματοληψίες αλλά το ποσοστό απολύμανσης των αποβλήτων είναι σημαντικό.

Ικανοποιητικές κρίνονται και οι συγκεντρώσεις του εντερόκοκκου (*Enterococcus* spp.) καθώς παρουσιάζουν πολύ σημαντικό βαθμό μείωσης. Οι τέσσερις από τις έξι δειγματοληψίες (Σχήμα 5.13), αναφέρουν ότι είναι εντός των ορίων που έχουν τεθεί (1.000-10.000 mg/100 ml). Συγκεκριμένα, κατα την πρώτη δειγματοληψία η συγκέντρωση του εντερόκοκκου είναι 830 mg/100 ml, ενώ στη δεύτερη 6.400 mg/100 ml. Στην τρίτη δειγματοληψία η συγκέντρωση είναι 100 mg/100 ml, (πολύ ικανοποιητική συγκέντρωση). Στην τέταρτη δειγματοληψία παρατηρείται ότι η συγκέντρωση είναι 20.000 mg/100 ml, στην πέμπτη δειγματοληψία 10.000 mg/100 ml, ενώ στην έκτη και τελευταία είναι πολύ αυξημένη και ισούται με 80.000 mg/100 ml.

Για τις μικροβιολογικές αναλύσεις για τους καλαμώνες, θα λέγαμε ότι τα παραπάνω μας επιτρέπουν την υποστήριξη της άποψης ότι οι τεχνητοί υγρότοποι μπορούν να επιφέρουν πολύ σημαντικό ποσοστό μείωσης των συγκεντρώσεων.

Στην χωμάτινη δεξαμενή καταλήγουν όλα τα απόβλητα του βιολογικού καθαρισμού, είτε αυτά είναι ζωικά είτε αστικά απόβλητα, χρησιμοποιούνται (έπειτα από αραίωση με νερό γεώτρησης) για άρδευση των καλλιεργειών καλαμποκιού που τρέφουν τα κοτόπουλα της σχολής.

Πραγματοποιήθηκαν πέντε διαδοχικές δειγματοληψίες για να διαπιστώθει κατά πόσο μειώνονται οι συγκεντρώσεις των μικροβίων έπειτα από την επεξεργασία και αν αυτό που

καταλήγει στην τελική δεξαμενή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση. Τα αποτελέσματα δείχνουν (Σχήμα 5.14) ότι για τα ολικά κολοβακτηρίδια (total coliforms) οι συγκεντρώσεις διακυμάνονται με την μικρότερη συγκέντρωση να βρίσκεται στα 4.900 mg/100 ml και την μεγαλύτερη στα 92.000 mg/100 ml, οι λόγοι που οι συγκεντρώσεις είναι αυξημένες είναι ποικίλοι, όπως λ.χ το σημείο της δειγματοληψίας, οι καιρικές συνθήκες. Συγκεκριμένα θα λέγαμε ότι στη δεύτερη δειγματοληψία έχουμε συγκέντρωση 160.000 mg/100 ml. Στην τρίτη 92.000 mg/100 ml ιδιαίτερα αυξημένη σε σύγκριση με της προηγούμενες και τις επόμενες. Στην τέταρτη δειγματοληψία 4.900 mg/100 ml, στην πέμπτη δειγματοληψία 35.000 mg/100 ml ενώ στην έκτη δειγματοληψία 11.000 mg/100 ml.

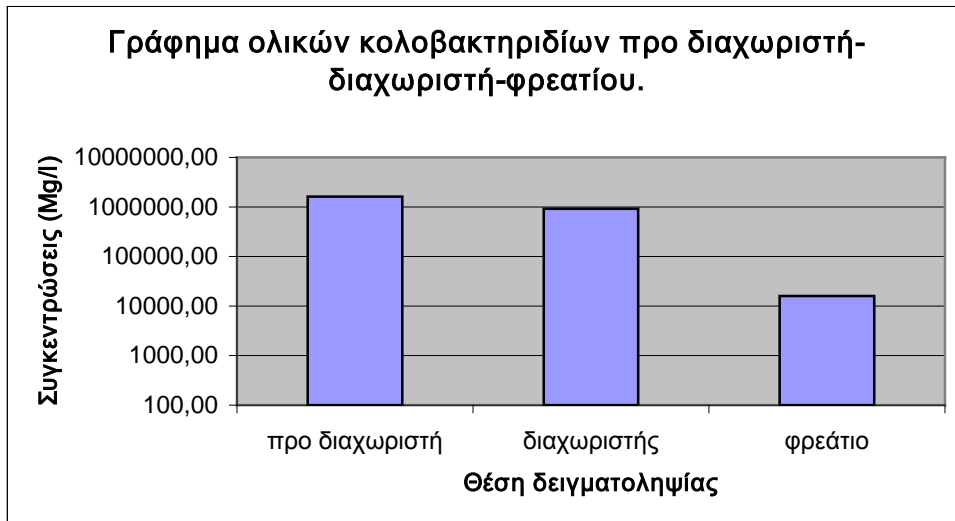
Για τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Σχήμα 5.15) (fecal coliforms) παρατηρούμε ότι κατά τη δεύτερη δειγματοληψία η τιμή είναι στα 160000 mg/100 ml. Στην τρίτη δειγματοληψία 92000 mg/100 ml. Στην τέταρτη 2300 mg/100 ml), στην πέμπτη δειγματοληψία 35000 mg/100 ml ενώ στην έκτη δειγματοληψία 7000 mg/100 ml.

Για την *E.coli* της χωμάτινης δεξαμενής (Σχήμα 5.16) παρατηρείται αυξομείωση των συγκεντρώσεων, συγκεκριμένα, στη δεύτερη δειγματοληψία η συγκέντρωση βρίσκεται στα 21.000 mg/100 ml., ενώ στην τρίτη δειγματοληψία στα 92.000 mg/100 ml, στην τέταρτη 2.300 mg/100 ml, στην πέμπτη δειγματοληψία 13.000 mg/100 ml, ενώ στην έκτη και τελευταία δειγματοληψία η η συγκέντρωση είναι 4.900 mg/100 ml.

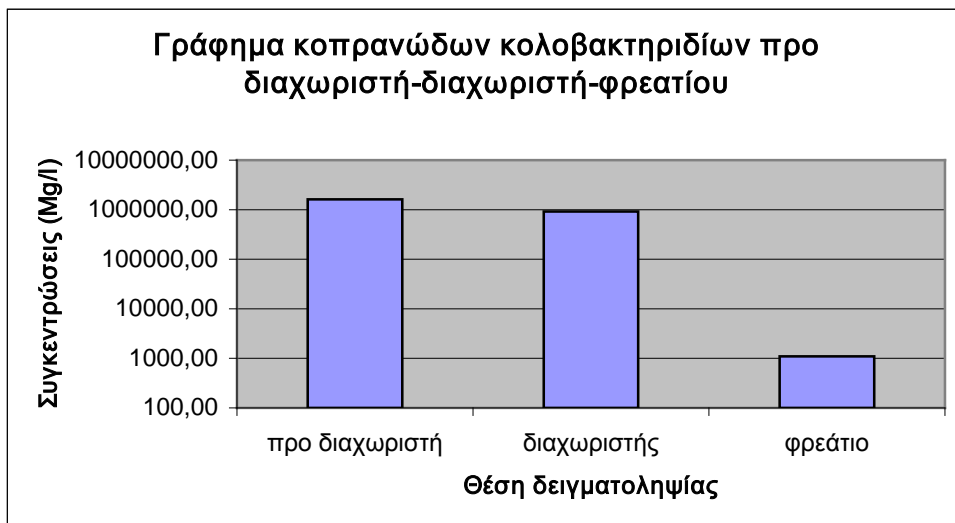
Όσον αφορά τον εντερόκοκκο (Σχήμα 5.17) (*Enterococcus* spp.) κι εδώ υπάρχει διακύμανση των συγκεντρώσεων, αυτές είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικές καθώς παρουσιάζουν χαμηλό μικροβιακό φορτίο, συγκεκριμένα στη δεύτερη δειγματοληψία η συγκέντρωση είναι 15.000 mg/100 ml. Στην τρίτη δειγματοληψία στα 200 mg/100 ml (σημαντική μείωση σε σχέση με την προηγούμενη μέτρηση). Στην τέταρτη δειγματοληψία η συγκέντρωση είναι 10.000 mg/100 ml, ενώ στην πέμπτη και στην έκτη δειγματοληψία, η συγκέντρωση βρίσκεται στα 30.000 mg/100 ml. Για την χωμάτινη (τελική) δεξαμενή, παρατηρείται σημαντικότατο ποσοστό μείωσης των μικροβίων. Την τελική εκροή έπειτα από παραμονή και άραϊωση με νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση καλλιέργειας καλαμποκιού. Όσον αφορά της χημικές αναλύσεις στις θέσεις δειγματοληψίας «προ διαχωριστή-διαχωριστή-φρεατίου», πραγματοποιείται μείωση της συγκέντρωσης, η οποία όμως δεν είναι σε ικανοποιητικό βαθμό, για το λόγο αυτό συμπεραίνουμε ότι η επεξεργασία των αποβλήτων με τεχνητούς υγρότοπους μπορεί να επιφέρει πολύ σημαντικά αποτελέσματα.

Στους καλαμώνες παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης των μικροβίων, γεγονός που επιτρέπει εκτός από την επεξεργασία των αποβλήτων, να χρησιμοποιηθεί και η απολύμανση με τεχνητούς υγρότοπους. Τέλος, για τις μικροβιολογικές αναλύσεις στη

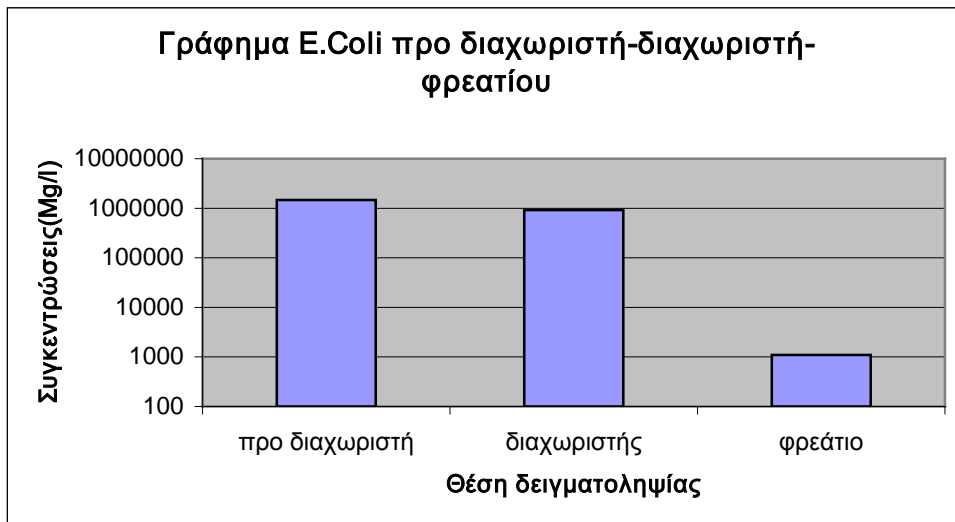
χωμάτινη δεξαμενή ,παρατηρείται ότι το ποσοστό καθαρισμού των αποβλήτων είναι σημαντικό, γεγονός που σημαίνει ότι το «καθαρό υγρό» μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επαναχρησιμοποίηση και άρδευση.



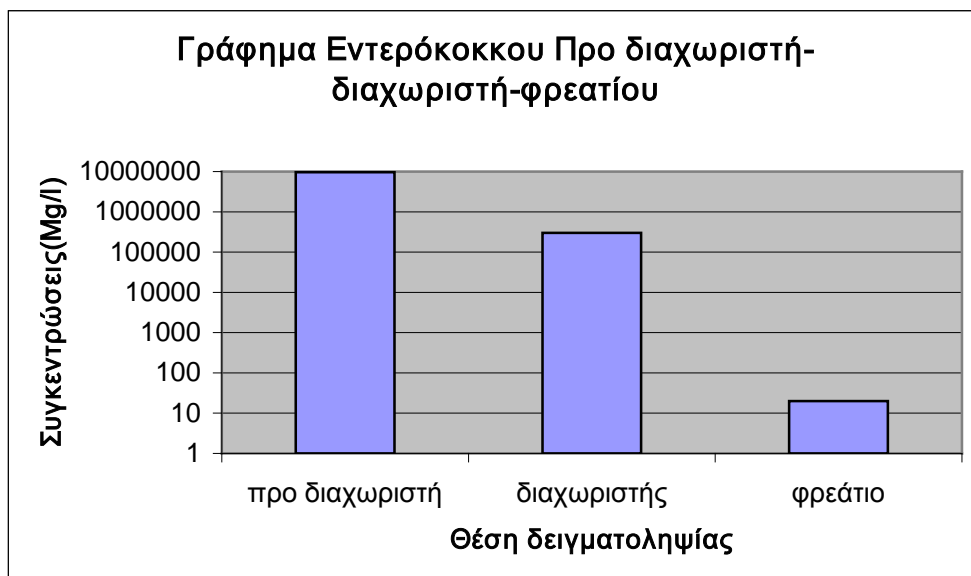
Σχήμα 5.6 Διάγραμμα συγκέντρωσης Ολικών Κολοβακτηριδίων Πρό διαχωριστή- Διαχωριστή-Φρεατίου.



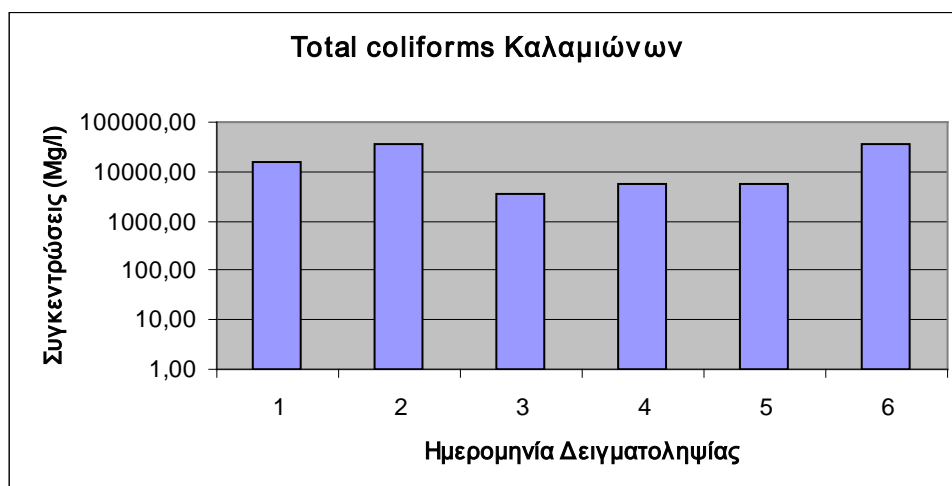
Σχήμα 5.7 Διάγραμμα συγκέντρωσης Κοπρανώδων Κολοβακτηριδίων Πρό διαχωριστή-Διαχωριστή-Φρεατίου



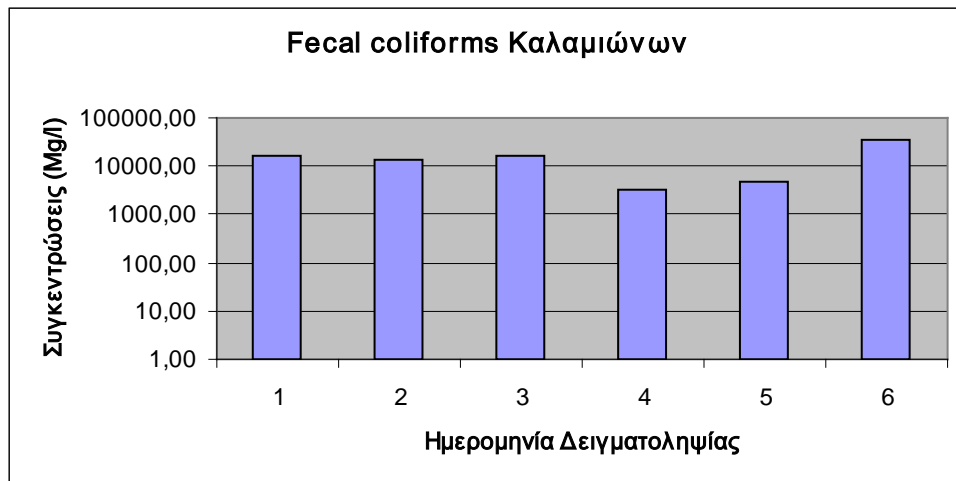
Σχήμα 5.8 Διάγραμμα συγκέντρωσης E.coli Κολοβακτηριδίων Φρεατίου-Πρό διαχωριστή-Διαχωριστή



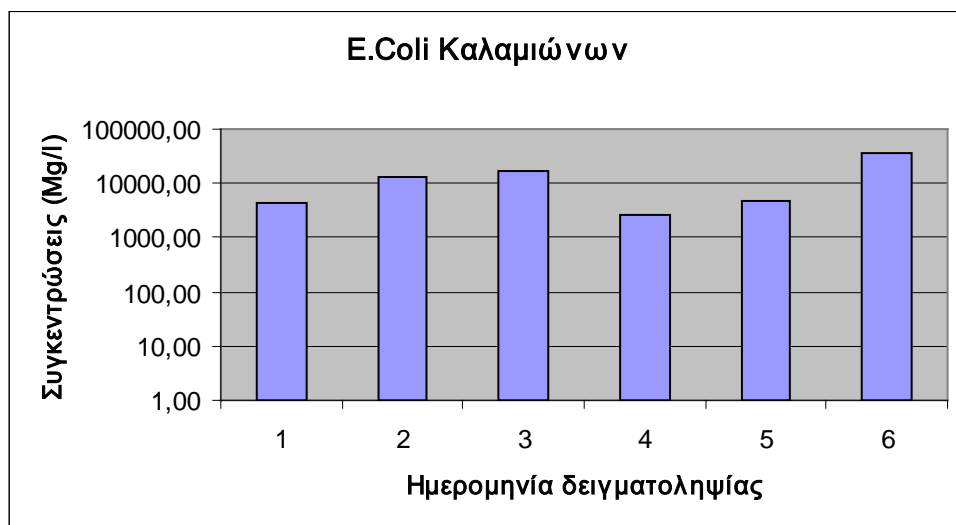
Σχήμα 5.9 Διάγραμμα συγκέντρωσης Εντερόκοκκου Φρεατίου-Πρό διαχωριστή-Διαχωριστή



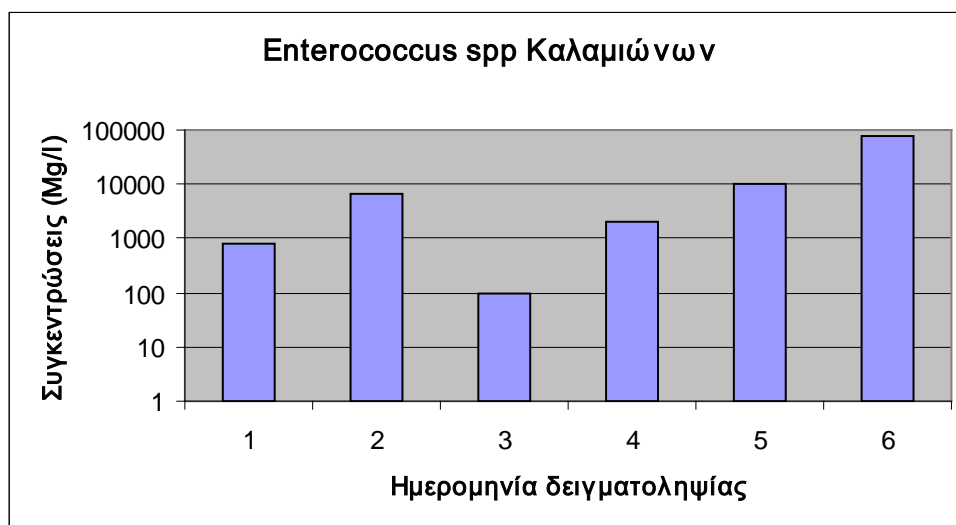
Σχήμα 5.10 Διάγραμμα συγκέντρωσης Ολικών κολοβακτηριδίων καλαμιώνων



Σχήμα 5.11 Διάγραμμα συγκέντρωσης κοπρανώδων κολοβακτηριδίων καλαμιώνων.



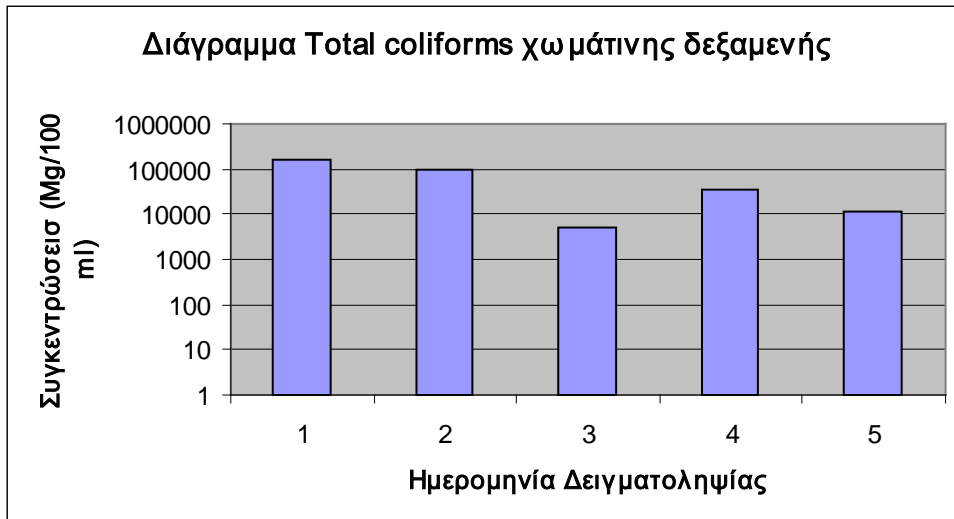
Σχήμα 5.12 Διάγραμμα συγκέντρωσης E.coli καλαμιώνων



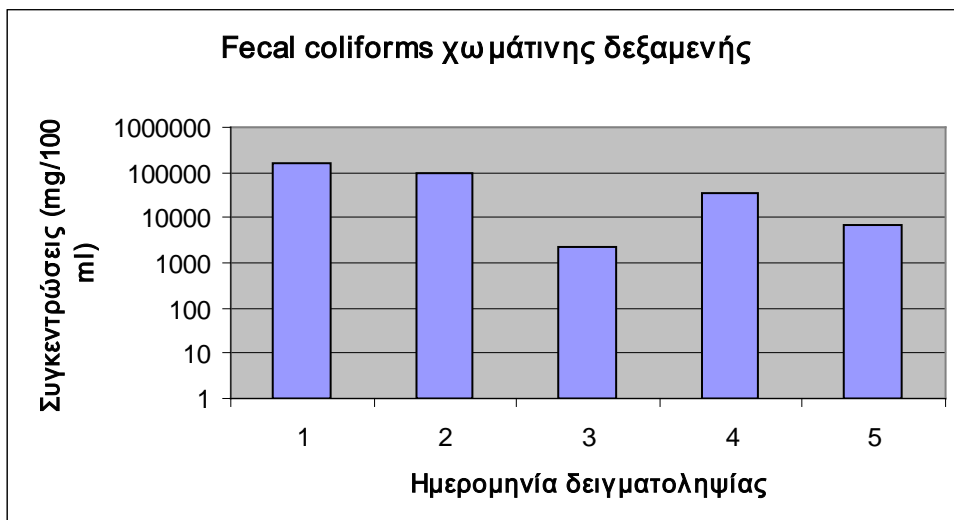
Σχήμα 5.13 Διάγραμμα συγκέντρωσης Εντερόκοκκου καλαμιώνων

Ημερομηνία δειγματοληψίας

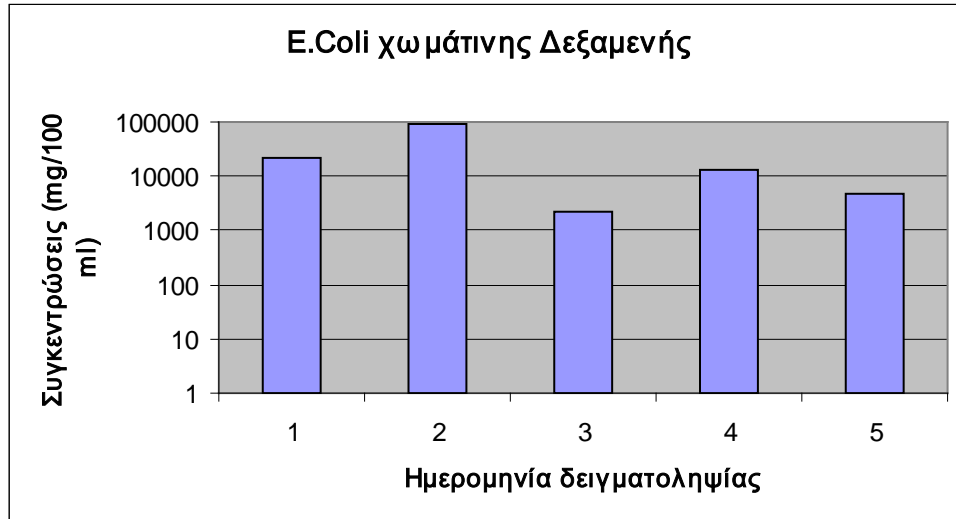
1. 14/4/2006
2. 26/4/2006
3. 2/5/2006
4. 8/5/2006
5. 16/5/2006
6. 25/5/2006



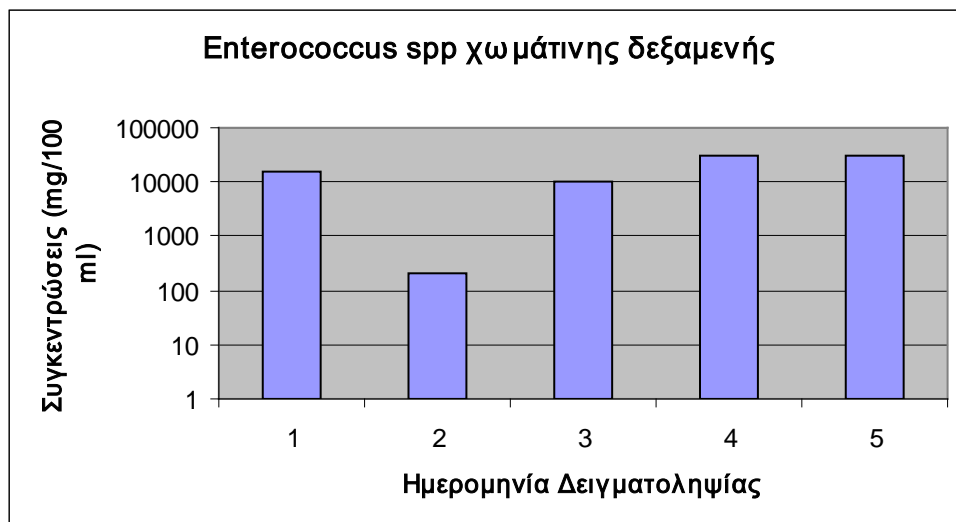
Σχήμα 5.14 Διάγραμμα συγκέντρωσης Ολικών κολοβακτηριδίων Χωμάτινης Δεξαμενής



Σχήμα 5.15 Διάγραμμα συγκέντρωσης κοπρανόδων κολοβακτηριδίων Χωμάτινης Δεξαμενής



Σχήμα 5.16 Διάγραμμα συγκέντρωσης E.coli Χωμάτινης Δεξαμενής



Σχήμα 5.17 Διάγραμμα συγκέντρωσης Εντερόκοκκου Χωμάτινης Δεξαμενής

5.2.3 Συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Στη συγκριτική αξιολόγηση γίνεται προσπάθεια ερμηνείας των σχημάτων όσον αφορά τις χημικές αναλύσεις σε BOD, COD,TKN και NH₄-N, του συστήματος τεχνητών υγροτόπων που χρησιμοποιείται στην Αμερικανική Γεωργική Σχολή Θεσσαλονίκης (Α.Γ.Σ.Θ).

Σε σύγκριση με τα υπόλοιπα έντεκα συστήματα τα οποία επεξεργάζονται αστικά και ζωικά απόβλητα, παρατηρούμε ότι τα συστήματα λειτουργούν πολύ καλά. Επίσης, από βιβλιογραφικές αναφορές, αναφέρεται ότι εκτός από την Α.Γ.Σ.Θ., ακόμη πέντε συστήματα τεχνητών υγροτόπων χρησιμοποιούν την εκροή τους για επαναχρησιμοποίηση σε συστήματα άρδευσης.

Για το BOD₅ (Σχήμα 5.18) των Τεχνητών Υγροτόπων της Α.Γ.Σ.Θ η μείωση είναι της τάξης του 95%, στο δεύτερο σύστημα Τεχνητών Υγροτόπων η μείωση είναι της τάξης του 97%, στο τρίτο σύστημα η μείωση είναι 92%, στο τέταρτο σύστημα 94%, στο πέμπτο σύστημα 81%, στο έκτο 74%, στο έβδομο η μείωση του BOD₅ είναι της τάξης του 99%). Στο όγδοο σύστημα 93%, στο ένατο σύστημα 99%, στο ενδέκατο σύστημα η μείωση είναι της τάξης του 92% και τέλος στο δωδέκατο σύστημα Τεχνητών Υγροτόπων η παρατηρούμενη μείωση του BOD₅ είναι 96%.

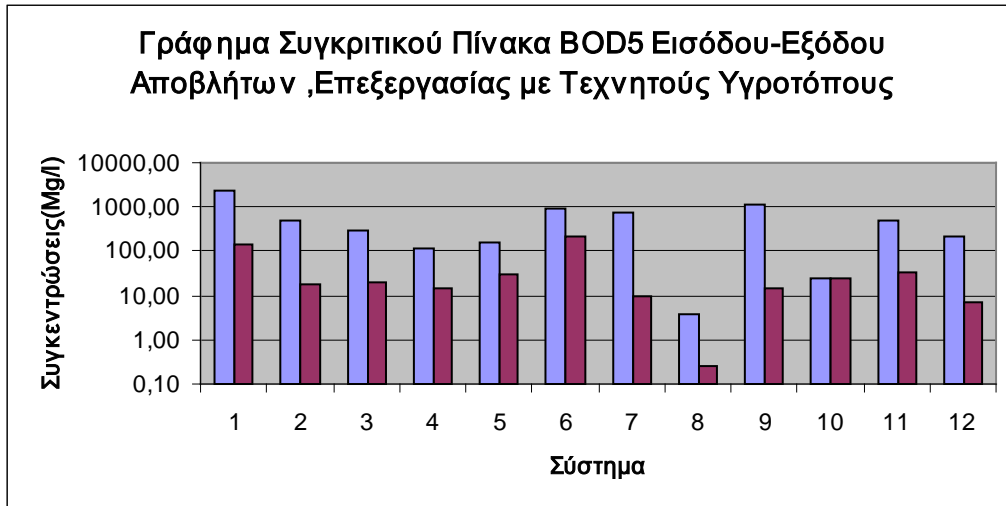
Όσο αφορά το COD (Σχήμα 5.19), η τιμή της Α.Γ.Σ κατά μέσο όρο είναι 95%. Συγκεκριμένα στο δεύτερο σύστημα Τ.Υ η μείωση του COD είναι της τάξης του 93%. Στο τέταρτο σύστημα η μείωση είναι 90% στο πέμπτο σύστημα η μείωση είναι της τάξης του 90%, στο έκτο 95%, στο έβδομο σύστημα είναι 99.5%, στο όγδοο σύστημα 95%, στο ένατο σύστημα 99.4%, στο ενδέκατο σύστημα μείωση είναι 91% και τέλος στο δωδέκατο σύστημα Τεχνητών Υγροτόπων η μείωση του COD είναι 97%.

Για την αμμωνία, (η αμμωνία υπάρχει στα απόβλητα από τα ούρα και έγινε προσπάθεια μείωσης της.) Παρατηρείται ότι (Σχήμα 5.20) το σύστημα της Α.Γ.Σ η μέσο όρο επεξεργασία είναι στο 25%, στο δεύτερο σύστημα η μείωση 78%, στο τρίτο 84% στο έκτο 77% ,στο έβδομο σύστημα 78%, και στο όγδοο σύστημα Τεχνητών Υγροτόπων η μείωση είναι 87%.

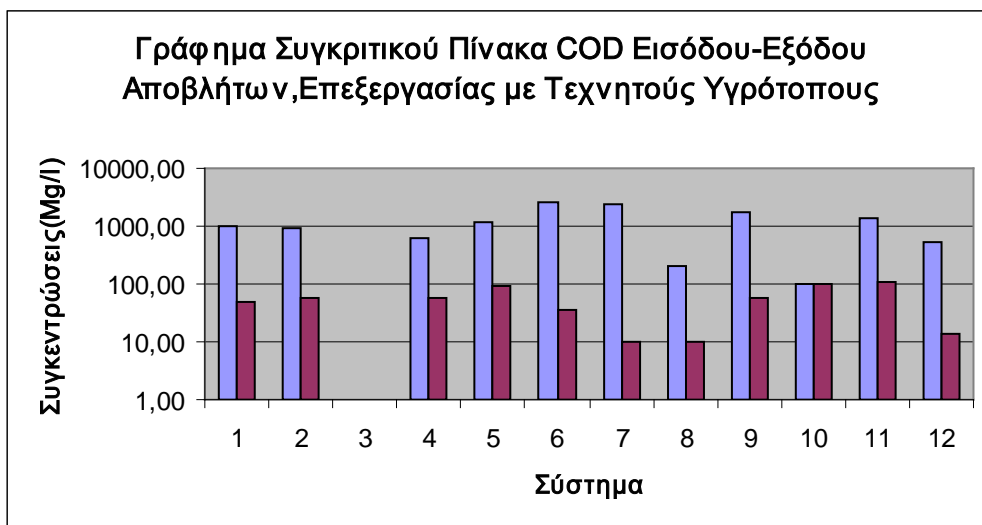
Όσον αφορά το ολικό άζωτο (Σχήμα 5.21) το ποσοστό μείωσης είναι 25%, Για το έκτο σύστημα η μείωση είναι 51%, για το έβδομο σύστημα 75% Για το όγδοο σύστημα είναι 10%,για το ένατο σύστημα η μείωση είναι 91%.

Παρατηρείται ότι οι αποδόσεις για το BOD₅ και COD παρουσιάζουν συγκριτικά καλύτερα αποτελέσματα από το μέσο όρο των υπολοίπων έντεκα συστημάτων, ενώ για το TKN και NH₄-N παρουσιάζουν συγκριτικά, μικρότερα ποσοστά μείωσης έναντι των άλλων συστημάτων. Τα παραπάνω αποτελέσματα μας επιτέπουν να υποστηρίξουμε την άποψη ότι οι

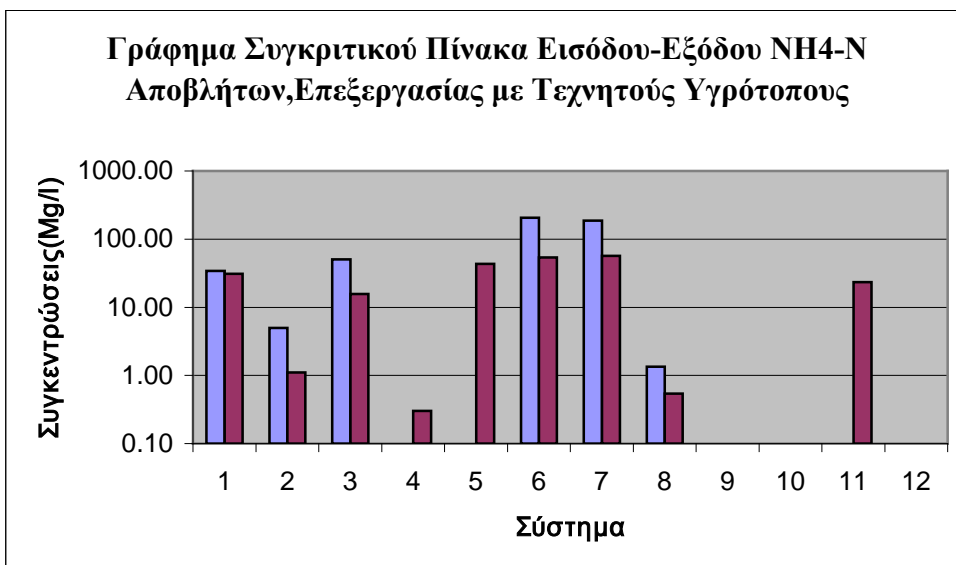
φυσικές μέθοδοι επεξεργασίας και ιδιαίτερα οι τεχνητοί υγρότοποι τυγχάνουν σήμερα γενικής αποδοχής διεθνώς (EU, USA κ.λ.π.), αλλά και στη χώρα μας ως μια αξιόπιστη και κατάλληλη για μονάδες επεξεργασίας μεθόδος, επεξεργασίας και απολύμανσης υγρών αποβλήτων.



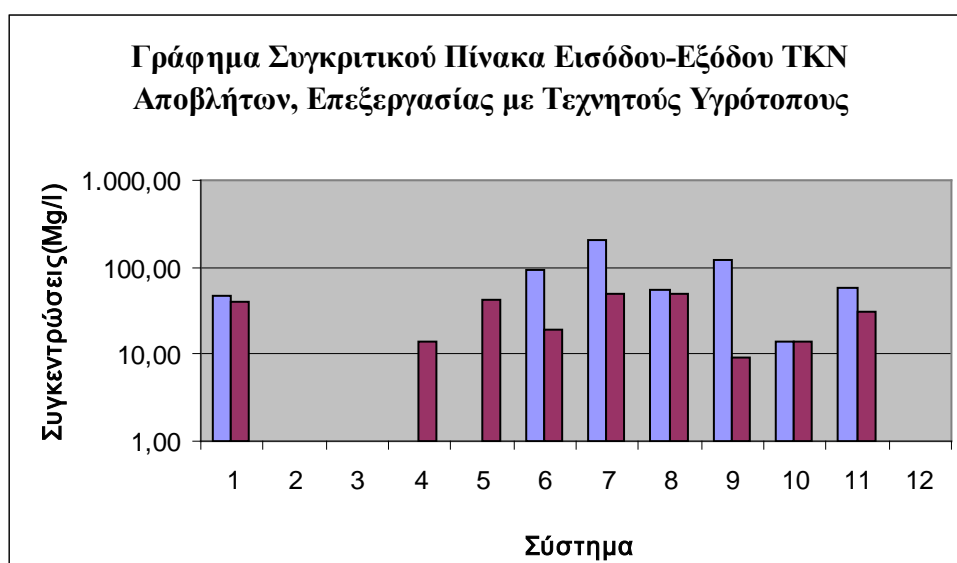
Σχήμα 5.18 Διάγραμμα συγκέντρωσης BOD Εισόδου-Εξόδου Αποβλήτων,Επεξεργασίας με Τεχνητούς Υγρότοπους.



Σχήμα 5.19 Διάγραμμα συγκέντρωσης COD Εισόδου-Εξόδου Αποβλήτων,Επεξεργασίας με Τεχνητούς Υγρότοπους.



Σχήμα 5.20 Διάγραμμα συγκέντρωσης NH₄-N Εισόδου-Εξόδου Αποβλήτων, Επεξεργασίας με Τεχνητούς Υγρότοπους.



Σχήμα 5.21 Διάγραμμα συγκέντρωσης TKN Εισόδου-Εξόδου Αποβλήτων, Επεξεργασίας με Τεχνητούς Υγρότοπους.

Εταιρίες

1. Αμερικανική Γεωργική Σχολή Θεσσαλονίκης
2. Νέα Μάδυτος
3. Oaklands Park
4. SATO A.E
5. EMAGOLD HELLAS
6. EXPOTAN A.E.
7. MABIZ A.E.
8. AMYLUM HELLAS A.E.
9. Τεχνητοί υγρότοποι στις Πρέσπες
10. Τεχνητός Υγρότοπος Καλλιθέας- Λευκώνα Δήμου Πρεσπών
11. Τεχνητοί υγρότοποι από γεωργική απόδοση
12. OANAK

Σύστημα επεξεργασίας

Τεχνητοί υγρότοποι κατακόρυφης ροής εκτός από το σύστημα 3(Oaklands Park) που χρησιμοποιεί μικτό σύστημα (Τεχνητοί Υγρότοποι οριζόντιας και κάθετης ροής)
Τύποι καλαμώνων σε όλα τα συστήματα phragmites australis(φραγμίτες)

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι Τεχνητοί Υγρότοποι αποτελούν ένα αξιόπιστο φυσικό σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Το βασικό πλεονέκτημα τους είναι η απλότητα σχεδιασμού, το χαμηλό κόστος κατασκευής, οι μηδενικές ανάγκες σε τεχνητή προσθήκη ενέργειας, αλλά κυρίως η ελαχιστοποίηση των εκροών προς το περιβάλλον, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της μείωσης των διαχωρισμένων στερεών του ρυπαντικού φορτίου.

Η ποιότητα του υγρού αποβλήτου στην έξοδο των σταδίων των φίλτρων σε ότι αφορά τα COD, BOD₅, TKN και NH₄-N τηρεί τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες. Η τροφοδοσία λυμάτων σε ένα πρώτο στάδιο των φίλτρων είναι προτιμότερη τόσο για την ποιότητα της επεξεργασίας όσο και για το κόστος της επένδυσης. Τα φίλτρα επιτρέπουν μια πολύ καλή νιτροποίηση. Οι μεταβολές της ποιότητας επεξεργασίας είναι συνυφασμένες με τις μεταβολές του φορτίου, της θερμοκρασίας και της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας που οφείλονται στις εποχές. Όμως τα φίλτρα είναι αποτελεσματικά σαν ζώνη απορροφήσεως και η ποιότητα της απόρριψης είναι σχεδόν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Ο τύπος του Τεχνητού Υγροτόπου (κάθετης ροής) που ασχοληθήκαμε ανταποκρίνεται πολύ καλά στις μεταβολές του φορτίου και της θερμοκρασίας δίνοντας πολύ σημαντικά ποσοστά μείωσης των ρύπων.

Ειδικότερα, για το pH παρατηρείται αύξηση (από όξινο σε ουδέτερο προς βασικό), κατά 70%. Για το COD, μείωση κατά 97%, για το BOD μείωση κατά 98%, για την αμμωνία μείωση κατά 25% και για το Ολικό Άζωτο μείωση κατά 25%.

Επίσης έγινε προσπάθεια απολύμανσης των υγρών αποβλήτων με Τεχνητούς Υγρότοπους. Ειδικότερα, θα λέγαμε ότι για τους καλαμώνες η μείωση των ολικών κολοβακτηριδίων είναι της τάξης του 75-80%, για τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια 80%, για την E.Coli, 75%, και για τον εντερόκοκκο 80%. Σημαντική μείωση παρατηρήσαμε και στα στάδια δειγματοληψίας “προ-διαχωριστή-διαχωριστή-φρεατίου”, όπου παρατηρείται μείωση για τα ολικά κολοβακτηρίδια 65-70%, για τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια 70-75%, για τον εντερόκοκκο 60-65% και για την E.coli 55-65%. Τελικός στόχος είναι, ο βαθμός επεξεργασίας και απολύμανσης των αποβλήτων να φτάσει στο 90-99%. Στην χωμάτινη (τελική) δεξαμενή, η τελική απορροή παρουσιάζει σημαντικό βαθμό μείωσης της τάξης του 85-90%.

Τέλος, έγινε συγκριτική αξιολόγηση του συστήματος της Α.Γ.Σ.Θ με άλλα έντεκα συστήματα κατακόρυφης και μικτής μορφής όπου τα ποσοστά παρουσιάζουν σημαντική μείωση. Ειδικότερα, κατά μέσο όρο τα έντεκα συστήματα επεξεργάζοντας τα απόβλητα παρουσιάζουν ότι για το COD, η μείωση είναι 84% ενώ το σύστημα της Α.Γ.Σ.Θ παρουσιάζει

μείωση κατά 97%. Για το BOD₅, μείωση 95% ενώ στο σύστημα της Α.Γ.Σ.Θ παρατηρείται σημαντικότερη μείωση της τάξης του 98% ,για το TKN ,μείωση 59% ενώ το σύστημα της Α.Γ.Σ.Θ παρουσιάζει μείωση κατά 25% και για την NH₄-N ,μείωση 81% ενώ στο σύστημα της Α.Γ.Σ.Θ παρουσιάζεται μείωση της τάξης του 25%. Παρατηρείται ότι οι αποδόσεις για το BOD₅ και COD παρουσιάζουν συγκριτικά καλύτερα αποτελέσματα από το μέσο όρο των υπολοίπων έντεκα συστημάτων, ενώ για το TKN και NH₄-N παρουσιάζουν συγκριτικά, μικρότερα ποσοστά μείωσης έναντι των άλλων συστημάτων. Τα παραπάνω αποτελέσματα μας επιτέπουν να υποστηρίζουμε την άποψη ότι οι φυσικές μέθοδοι επεξεργασίας και ιδιαίτερα οι τεχνητοί υγρότοποι τυγχάνουν σήμερα γενικής αποδοχής διεθνώς (EU, USA κ.λ.π.), αλλά και στη χώρα μας ως μια αξιόπιστη και κατάλληλη για μονάδες επεξεργασίας μέθοδος, επεξεργασίας και απολύμανσης υγρών αποβλήτων.

7. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρησιμοποίηση μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποτέλεσε το πρώτο βήμα για την προστασία των υδάτινων αποδεκτών. Η λειτουργία των συμβατικών μονάδων επεξεργασίας λυμάτων έδειξε ότι μεγάλο ποσοστό αυτών δεν αποδίδουν ικανοποιητικά, εξαιτίας του μικρού κόστους λειτουργίας και συντήρησης, αλλά και της έλλειψης εξειδικευμένου προσωπικού. Οι λόγοι αυτοί οδήγησαν στην αναζήτηση και εφαρμογή εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας, που βασίζονται σε φυσικές διεργασίες, όπως είναι οι τεχνητοί υγρότοποι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως πολύ χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια, χαμηλό λειτουργικό κόστος, μη χρησιμοποίηση πρόσθετων χημικών μέσων και εύκολη, χαμηλού κόστους, συντήρηση.

Το σημαντικότερο μειονέκτημά τους είναι η μεγάλη έκταση, που απαιτείται για τη λειτουργία τους, γεγονός που περιορίζει την εφαρμογή τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην πράξη, η απαιτούμενη έκταση μπορεί να μειωθεί έως και 50% με τη χρήση ειδικής τεχνολογίας.

Στην παρούσα εργασία έγινε λεπτομερείς περιγραφή για τα φυσικά συστήματα και τους τύπους αυτών με επικέντρωση στους τεχνητούς υγρότοπους κατακόρυφης και οριζόντιας ροής όπου έγινε λεπτομερείς αναφορά για τον τρόπο λειτουργίας, τις παραμέτρους για την αποτελεσματικότητα των τεχνητών υγροτόπων, αναφέρθηκαν ακόμα πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα και στο Εξωτερικό καθώς και σε ένα πείραμα που έλαβα χώρα στην Αμερικανική Γεωργική Σχολή Θεσσαλονίκης όπου έχει γίνει λεπτομερείς αναφορά για την τοποθεσία της περιοχής την υπάρχουσα κατάσταση του περιβάλλοντα χώρου, αναφέρεται ο τρόπος που είναι σχεδιασμένοι οι Τεχνητοί Υγρότοποι καθώς επίσης και η μεθοδολογία των αναλύσεων που ακολουθήθηκαν, τα αποτελέσματά του πειράματος έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς φαίνεται ότι μειώνουν κατά πολύ μεγάλο ποσοστό τους υπάρχοντες ρύπους και επιτυγχάνεται σημαντική επεξεργασία, ειδικότερα αποδεικνύεται ότι για το pH παρατηρείται αύξηση κατά 78%, για το BOD₅ 98%, για το COD 97% για το TKN 25% και για την NH₄-N 25%. Επίσης έγινε σύγκριση των μέσων όρων των αποτελεσμάτων με τιμές αποτελεσμάτων από άλλους τεχνητούς υγρότοπους πειράματα των οποίων που έχουν λάβει χώρα στην Ελλάδα και στο Εξωτερικό και τα αποτελέσματα της σύγκρισης είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά καθώς παρατηρείται ότι για της παραμέτρους BOD₅ και COD το σύστημα Τεχνητών Υγροτόπων της Αμερικανικής Γεωργικής Σχολής παρουσιάζει συγκριτικά καλύτερα αποτελέσματα (98% και 97%

αντίστοιχα) ενώ ο μέσος όρος των έντεκα συστημάτων κατά μέσο όρο είναι 95% και 84%,ενώ για το TKN και NH₄-N τα έντεκα συστήματα παρουσιάζουν ποσοτικά μεγαλύτερο βαθμό επεξεργασίας (25% και για τις δύο περιπτώσεις) ενώ ο μέσος όρος για τα έντεκα συστήματα είναι 59% και 81% αντίστοιχα. .

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ελληνική Βιβλιογραφία:

1. Αγγελάκης Α. και Tchobanoglous G., Υγρά Απόβλητα – Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκροών, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 1995.
2. Αραβώσης, Κ., (2003) : Αξιολογήσεις Επενδυτικών Σχεδίων και Προγραμμάτων. Έκδοση Νομική Βιβλιοθήκη, Αθήνα.
3. Αραβώσης, Κ., Κούγκολος, Α., Λέγκας, Κ., Μάκκας, Α., Πατσης, Κ.,(Ιούνιος 2003) : Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με τη χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας & Περιφερειακής Ανάπτυξης, Εργαστήριο Γεωγραφικών Ερευνών και Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού, Βόλος.
4. Βαβίζος, Γ., (1995) : Βιολογικός Καθαρισμός. Γ΄ Έκδοση, ΕΛΚΕΠΑ, Αθήνα.
5. Καραμούζης Δ.Ν., Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων, Τεύχος 1, Τεχνητοί Υγρότοποι, Θεσσαλονίκη, 2003.
6. Κεφαλάκης Ν. και Αγγελάκης Α., Επεξεργασία Λυμάτων Κοινότητας Πόμπιας σε Τεχνητό Υγροβιότοπο, Πρακτικά Διεθνούς Συνεδρίου Συστήματα Επεξεργασίας Οικιακών Λυμάτων και Επαναχρησιμοποίησης Εκροών τους για Μικρούς Ο.Τ.Α., Ηράκλειο Κρήτης, 1997.
7. Κούγκολος, Α., (2000) : “Διαχείριση στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα : Η περίπτωση της Θεσσαλίας” στο Δεκαεπτά Κείμενα για το Σχεδιασμό, τις Πόλεις και την Ανάπτυξη, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.
8. Κούγκολος, Α., (2003) : Περιβαλλοντική Τεχνική. Σημειώσεις μαθήματος. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος.
9. Μαρκαντωνάτος, Γ., (1990) : Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων. Αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, ζωικά απορρίμματα. Β΄ Έκδοση, Αθήνα.
10. Μελανίτου, Γ., (2005) : Δημιουργία νέων βιοτόπων με τη χρήση υγρών αποβλήτων : «Μια σύγχρονη μέθοδος εξοικονόμησης νερού και βελτίωσης βιοτόπων σε άγονες περιοχές» Άρθρο της εφημερίδας Καθημερινή.

11. Μπουζιάνη, Α., (Σεπτέμβριος, 2002) : *Επιλογή μεθόδου επεξεργασίας λυμάτων και χωροθέτηση κατάλληλων μονάδων επεξεργασίας στο Δήμο Γόμφων του Νομού*
12. Τρικάλων. Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Βόλος.
13. Νικολαΐδης, Ν., (2005) : Μελέτη επεξεργασίας υγρών ζωικών αποβλήτων με τεχνητούς υγρότοπους , Αμερικανική Γεωργική Σχολή Θεσσαλονίκης.
14. Νικολαΐδης Ν., (2006): προσωπική επικοινωνία.
15. Παντοκράτορας, Α., (Δεκέμβριος, 2001) : Ο Γερμανικός Κανονισμός ATV - A262 για την Επεξεργασία Λυμάτων με τη Μέθοδο των Τεχνητών Υγροτόπων, Ενημερωτικό τεύχος ΤΕΕ, Τεύχος 2179, Αθήνα.
16. Παρισόπουλος, Γ., Παπαδόπουλος, Φ., Σαπουντζάκης, Γ., Παπαγιανοπούλου, Α., Γιαμούρη, Μ., (Οκτώβριος 2005) : Σύγχρονες προσεγγίσεις σχεδιασμού τεχνητών υγροτόπων, εφαρμογή σε δύο έργα στις Πρέσπες , Διαχείριση υγρών αποβλήτων με αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας, Καρδίτσα.
17. Στάμου, Α., (1995) : *Βιολογικός Καθαρισμός Αστικών Αποβλήτων. Με παρατεταμένο αερισμό και βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
18. Μαμάης, Δ. (2003), «2^η Εργαστηριακή Άσκηση: Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο », Εργαστηριακές Μέθοδοι Υγειονομικής Τεχνολογίας, σελ. 1-4

Ξένη βιβλιογραφία:

1. Angelakis A.N., Spyridakis S.V., The status of Water Resources in Minoan Times: A Preliminary Study, In: Diachronic Climatic Changes Impacts on Water Resources in the Mediterranean Region, Angelakis A.N. and Issar A. (Eds), Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany (1995).
2. Angelakis, A.N., and D.E. Rolston, *Transient Movement and Transformation of Carbon Species in Soil During Wastewater Application*, Water Resour. Res., vol. 21, no 8, 1985.
3. Asano, T. (Ed). *Artificial Recharge of Groundwater*, Butterworth Publishers, Boston, MA, 1985.
4. Bryan, D., and Findlater, B., C, (1991): The modified Max Planck Institute Process- a review of the operation of a vertical flow Reed Bed Treatment System at Oaklands Park, WRc Report UC 1264, WRc Swindon, UK.

5. Burka, U., and Lawrence, P., C (1990): A new community approach to wastewater treatment with higher plants. pp 359-371 in P F Cooper and B C Findlater (Editors), *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, Pergamon Press, Oxford, UK.
6. Burka, U., 2005: Προσωπική επικοινωνία.
7. Cooper, P., F, Job, G., D, Green, M., B and Shutes, R., B E (1996): *Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. pp206 WRc Publications, Medmenham, Marlow, Buckinghamshire, UK.
8. Cooper, P., F (2001): Nitrification and denitrification in Hybrid Constructed Wetland systems. Chapter 12 in *Transformations in Natural and Constructed Wetlands*, Vymazal, J (Editor) to be published by Backhuys Publishers,
9. Crites R. and Tchobanoglous G., *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB/Mc Graw-Hill, USA (1998).
10. Gottle, A. (2004). Bavarian Office for Water Management, Personal communication.
11. Kadlec Lewis R., and Knight R., *Treatment Wetlands*, CRC Publishers, 1996.
12. Karathanasis A., *Constructed Wetlands – An Alternative for Wastewater Treatment*, Office for Information Services and Technical Liaison, Univ. of Kentucky, 1995.
13. Liénard, A., Duchène, Ph., Gorini, D., (1995): A study of activated sludge dewatering in experimental reed-planted or unplanted sludge drying beds. *Wat. Sci.Tech.*, 32 (3), pp 251-261.
14. Metcalf-Eddy, 1991. "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse", McGraw-Hill, N.York, 3rd Ed.
15. Metcalf & Eddy, Inc., (2003), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, MacGraw-Hill, 4th ed., N. York.
16. Montgomery, W., (1997): Demonstration project in the treatment of domestic wastewater with constructed wetlands. Stage/II-Monitoring-of-Maintenance.-Final report LIFE95\UK\A13\GR\181\THE.
17. Reed S.C., Middlebrooks E.J., Crites R.W., *Natural Systems for Waste Management and Treatment*, McGraw-Hill, New York (1988).
18. Seidel, K., (1978): Gewässerreinigung durch höhere Pflanzen, *Zeitschrift Garten und Landschaft*, H1, pp9-17
19. Smith R.G, Hayashi G and De Figueredo R.F. (1988), 'Seasonal Denitrification of Secondary Effluent', In: *61 Annual WPCF Conference*, Dallas, USA
- 20.

21. Tchobanoglou, G. 1997. "Aquatic plant systems for wastewater treatment: engineering considerations", in Reddy, K.,R. and Smith, W.,H. (Eds). Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery, Magnolia Publishing, Orlando, Florida.
22. Tsihrintzis V.A., Karamouzis D., Akratos C., Angelakis A.N., (2004). Comparison of a free-water surface and a vertical subsurface flow constructed wetland system. Proc. 6th Int. Conf. on Waste Stabilization Ponds and 9th Int. Conf. on Wetland Systems for Water Pollution Control, Avignon (France), 26th Sept.-1^{rst} Oct. 2004, Communications of common interest, pp 199-208.
23. U.S. EPA, Subsurface Flow Constructed Wetlands For Wastewater Treatment: A Technology Assessment, EPA, Ιούλιος (1993).

Διευθύνσεις στο διαδίκτυο:

www.deya.gr

www.afs.edu.gr

www.ecosphere.gr

www.water-technology.net/projects/whipsnade/

www.geocities.com/sts_tb/environ.htm

www.teelibrary.gr

www.epa.org

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Τιμές χημικών αναλύσεων στους καλαμώνες.

Είδος ανάλυσης	Ημερομηνία 26/06/06		Ημερομηνία 30/06/06	
	Είσοδος	Έξοδος	Είσοδος	Έξοδος
pH	4,7	8,1	4,4	7,2
COD	3290	193	2020	127
BOD₅	1050	62	900	56
TKN	51	47	43	37
NH₄-N	39	37	31	29

Είδος ανάλυσης	Ημερομηνία 07/07/06		Ημερομηνία 14/07/06	
	Είσοδος	Έξοδος	Είσοδος	Έξοδος
pH	4,3	7,3	4,2	7,2
COD	2029	131	2133	96
BOD₅	933	58	1015	21
TKN	44	42	45	34
NH₄-N	33	31	34	26

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Τιμές μικροβιολογικών αναλύσεων στους καλαμώνες, χωμάτινη δεξαμενή,φρεάτιο,διαχωριστής, πρό διαχωριστή.

	14/4/2006	26/4/2006	2/5/2006	8/5/2006	16/5/2006	24/5/2006
	Καλαμώνες	Καλαμώνες	Καλαμώνες	Καλαμώνες	Καλαμώνες	Καλαμώνες
Total coliforms(/100ml)	16000	35000	3500	5600	5600	35000
Fecal coliforms (/100 ml)	16000	13000	17000	3200	4800	35000
E.Coli	4300	13000	17000	2600	4800	35000
Enterococcus spp(/100 ml)	830	6400	100	2x10 ⁵	10 ⁴	80000
Salmonella spp	Απουσία	Απουσία	Απουσία	Απουσία	Απουσία	Απουσία
	14/4/2006	26/4/2006	2/5/2006	8/5/2006	16/5/2006	24/5/2006
	χωμάτινη	χωμάτινη	χωμάτινη	χωμάτινη	χωμάτινη	χωμάτινη
Total coliforms(/100ml)		>160000	92000	4900	35000	11000
Fecal coliforms (/100 ml)		160000	92000	2300	35000	7000
E.Coli		21000	92000	2300	13000	4900
Enterococcus spp(/100 ml)		15000	200	<10 ⁴	3x10 ⁵	30000
Salmonella spp		Απουσία	Απουσία	Απουσία	Απουσία	Απουσία
	14/4/2006	2/5/2006	8/5/2006			
	φρεάτιο	διαχωριστής	προ διαχωριστή			
Total coliforms(/100ml)	16000	920000	1,62x10 ⁶			
Fecal coliforms (/100 ml)	1100	920000	1,62x10 ⁶			
E.Coli	1100	920000	1,47x10 ⁶			
Enterococcus spp(/100 ml)	20	>300000	>9,6x10 ⁶			

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Αεροφωτογραφία Αμερικανικής Γεωργικής Σχολής Θεσσαλονίκης



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

Όνομα	Σύστημα Επεξεργασίας	pH	BOD	COD	TKN	NH4-N
Αμερικανική ή Γεωργική Σχολή Θεσσαλονίκης	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής	4,4	2368	975	46	34
Νέα Μάδυτος	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής		516	959		5
Oaklands Park	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης και οριζόντιας ροής		285			50,5
Χρήση της μεθόδου των τεχνητών υγροβιότοπων για επεξεργασία - ανακύκλωση υγρών αποβλήτων Σύστημα της SATO Α.Ε	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής		110	600		
EMAGOL D HELLAS	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής		152	1128		
EXPOTAN Α.Ε.	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής		875	2570	92,4	206,7
MABIZ Α.Ε.	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής	10,09	760	2455	202	187
AMYLUM HELLAS Α.Ε.	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής		3,7	200	55,7	1,35
Τεχνητοί υγρότοποι στις Πρέσπες	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής		1102	1676	119	

Τεχνητός Υγρότοπος Καλλιθέας- Λευκώνα Δήμου Πρεσπών Τεχνητοί υγρότοποι από γεωργική απόδοση ΟΑΝΑΚ	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής		24	99	14	
	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής		505	1380	57,3	21,8
	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής	7,62	210	530		

Συγκριτικός Πίνακας Εισόδου Υγρών αποβλήτων με Τεχνητούς Υγρότοπους.

Όνομα	Σύστημα Επεξεργασίας	pH	BOD	COD	TKN	NH4-N
Αμερικανική Γεωργική Σχολή Θεσσαλονίκης	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής	7,5	137	49	40	31
Νέα Μάδυτος	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής		17	58		1,1
Oaklands Park	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης και οριζόντιας ροής		20,8			15,6
Χρήση της μεθόδου των τεχνητών υγροβιότοπων για επεξεργασία - ανακύκλωση υγρών αποβλήτων Σύστημα της SATO A.E	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής	7,5	14	58	14	0,30
EMAGOLD HELLAS	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής	8,5	31	92	42,2	43,2
EXROTAN A.E.	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής	7,9	225	37	18,9	53,9
MABIZ A.E.	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής	10	10	10	50,3	56,7
AMYLUM HELLAS A.E.	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής	8,3	0,25	10	50,3	0,54
Τεχνητοί υγρότοποι στις Πρέσπες	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής		15	59	9	
Τεχνητός Υγρότοπος Καλλιθέας- Λευκώνα Δήμου Πρεσπών	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής		24	99	14	

Τεχνητοί υγρότοποι και χρήση για άρδευση ΟΑΝΑΚ	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής	32	105	30,5	23,3
	Τεχνητοί Υγρότοποι κατακόρυφης ροής	7,2			
		7,63		13,5	

Συγκριτικός Πίνακας Εξόδου Υγρών αποβλήτων με Τεχνητούς Υγρότοπους.