

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***“Επεξεργασία Αστικών Λυμάτων με τη Χρήση Τεχνητών Υγροβιότοπων
Κατακόρυφης Ροής”.***



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΜΑΝΙΟΣ ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΔΑΡΑΜΟΥΣΚΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ΜΑΙΟΣ 2016

Πρόλογος-Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο εκπλήρωσης των σπουδών του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του ΤΕΙ Ηρακλείου.

Κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί η επεξεργασία των αστικών λυμάτων με την χρήση τεχνητών υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής. Μια φυσική μέθοδο επεξεργασίας υγρών αποβλήτων η οποία στην Ελλάδα, σε αντίθεση με την υπόλοιπη Ευρώπη και την Αμερική, είναι ελάχιστα διαδεδομένη.

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωσή της.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Φουντουλάκη Μιχάλη, Χημικό Μηχανικό για την ανάθεση της παρούσας εργασίας και την βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της, τον Δρ. Μανιό Θρασύβουλο, προϊστάμενο του τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε στην τόσο σημαντική μου προσπάθεια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή	σελ.5-6
-------------------	---------

Κεφάλαιο 1ο

2. 1.1 Αστικά Λύματα.....	σελ. 7
3. 1.1.1 Κατηγορίες Υγρών Αποβλήτων.....	σελ. 7
4. 1.1.2 Επεξεργασία Αποβλήτων.....	σελ. 8
5. 1.1.3 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων.....	σελ. 11-12
6. 1.1.4 Φυσικά Χαρακτηριστικά Αποβλήτων.....	σελ. 13
7. 1.1.5 Χημικά Ανόργανα-Οργανικά Χαρακτηριστικά υγρών Αποβλήτων	σελ. 14-15
8. 1.1.6 Βιολογικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων.....	σελ. 16-17
9. 1.1.7 Επαναχρησιμοποίηση Λυμάτων.....	σελ. 18
10.1.1.8 Εθνική Βάση Δεδομένων Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων των Οικισμών της Χώρας	σελ. 19

Κεφάλαιο 2ο

11. 2.1 Υγροβιότοποι	σελ. 20
12. 2.1.1 Τεχνητοί Υγροβιότοποι.....	σελ. 21-22
13. 2.1.2 Τεχνητοί Υγροβιότοποι Επιφανειακής Ροής.....	σελ. 23-24
14. 2.1.3 Τεχνητοί Υγροβιότοποι-Υποεπιφανειακής Οριζόντιας Ροής	σελ. 25-26
15.2.1.4 Τεχνητοί Υγροβιότοποι-Υποεπιφανειακής Κατακόρυφης Ροής	σελ. 26-27
16. 2.2. Φυτά Κάλυψης Υγροβιότοπων	σελ. 28-33
17. 2.2.1 Καλαμιά	σελ. 28-29
18.2.2.2 Αλόφυτα	σελ. 29-33

Κεφάλαιο 3ο

19. 3.1 Υλικά και Μέθοδοι	σελ. 34
20. 3.1.1 Μέθοδος Μέτρησης PH	σελ. 34-36
21. 3.1.2 Μέθοδος Μέτρησης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC)....	σελ. 36-37
22. 3.1.3 Μέθοδος Μέτρησης Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD)	σελ. 37-40
23. 3.1.4 Μέθοδος μέτρησης Ολικού Αζώτου (N).....	σελ. 40-44
24. 3.1.5 Μέθοδος μέτρησης Θολρότητας.....	σελ. 44-45
25. 3.1.6 Μέθοδος μέτρησης Βιολογικά Απαιτούμενου Οξυγόνο (BOD)	σελ. 45-48

Κεφάλαιο 4ο - Πειραματικό Μέρος

26. 4.1.1 Εισαγωγή	σελ. 49
27. 4.1.2 Δεξαμενή.....	σελ.50
28. 4.1.3 Υλικά πλήρωσης.....	σελ. 50-51
29. 4.1.4 Σύστημα εισροής-εκροής.....	σελ. 51-52
30. 4.1.5 Φυτά κάλυψης.....	σελ. 52
31. 4.1.6 Κατασκευή.....	σελ. 52-55

Κεφάλαιο 5ο - Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

32. 5.1.1 Εισαγωγή	σελ. 56
33. 5.1.2 Αποτελέσματα μέτρησης pH.....	σελ. 56
34. 5.1.3 Αποτελέσματα μέτρησης Ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) .σελ	57
35. 5.1.4 Αποτελέσματα μέτρησης Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD).	σελ. 57-58
36. 5.1.5 Αποτελέσματα μέτρησης Ολικού Αζώτου (TN).....	σελ. 58
37. 5.1.6 Αποτελέσματα μέτρησης θολρότητας.....	σελ. 59
38. 5.1.7 Αποτελέσματα μέτρησης Βιολογικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (BOD)	σελ. 59-60
39. 5.1.8 Συνολική Σύγκριση της απόδοσης των συστημάτων... .σελ.	60-61
40. Βιβλιογραφία.....	σελ. 62-63

Εισαγωγή

Η μετάβαση των ανθρωπίνων κοινωνιών από νομαδικές κοινότητες σε πιο μόνιμες δομές έφερε στο φως την ανάγκη να διευθετηθεί το πρόβλημα της διάθεσης των στερεών και υγρών αποβλήτων που παράγονταν στις κοινωνίες αυτές.

Όσο ο άνθρωπος ζούσε ως κυνηγός και ως συλλέκτης, τα απόβλητα διαθέτονταν ελεύθερα στη φύση όπου αποσυνθέτονταν με φυσικό τρόπο. Με το σχηματισμό των πρώτων πόλεων, παρουσιάστηκε η ανάγκη ανεύρεσης εναλλακτικών τρόπων και μεθόδων για την διάθεση των αποβλήτων.

Μέχρι προσφάτως, όσον αφορά την υγιεινή των αποβλήτων δινόταν έμφαση στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων υγείας, από μολυσματικές ασθένειες. Σήμερα η υγιεινή αποβλήτων, εστιάζεται επίσης στο να αντιμετωπίσει τους χρόνιους κινδύνους υγείας και τις επιπτώσεις των ρύπων στο περιβάλλον.

Η διαχείριση των υγρών αποβλήτων και ιδιαίτερα η επεξεργασία και η διάθεση τους, συνδέονται άμεσα με την υδατική ρύπανση, τη χρήση και γενικότερα με την διαχείριση των υδατικών πόρων και αποτελεί σημαντικό αντικείμενο της προστασίας του περιβάλλοντος στις σημερινές κοινωνίες (1).

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

Πάντα όμως η επεξεργασία των αποβλήτων υπακούει σε οδηγίες και κανονισμούς που έχουν στόχο την εξασφάλιση της ποιότητας των αποβλήτων ώστε να μην δημιουργεί η απόρριψή τους πρόβλημα στο περιβάλλον.

Αποτελεί λοιπόν επιτακτική ανάγκη να υιοθετήσουμε ως στάση ζωής την επιστροφή του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον. Να υιοθετήσουμε την εφαρμογή μιας περιβαλλοντικής πολιτικής, η οποία με την συμβολή και αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών θα προωθήσει την φιλοσοφία επαναχρησιμοποίησης υλικών, διαφυλάττοντας τις φυσικές πρώτες ύλες του πλανήτη αλλά και την χρήση ήπιων, εναλλακτικών μορφών ενέργειας, (ηλιακή, αιολική, γεωθερμική) οι οποίες είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας, που

χρησιμοποίησε ο άνθρωπος και είναι ανεξάντλητες, οικονομικές και φιλικές προς το περιβάλλον.

Να υιοθετήσουμε μια τέτοια πολιτική πρακτική, η οποία θα διευκολύνει την ενημέρωση του πολίτη και την πρόσβασή του σε πηγές πληροφόρησης, που σχετίζονται με την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και η οποία θα προάγει την ενεργό συμμετοχή του σε μείζονος σημασίας περιβαλλοντικά θέματα. Το γεγονός αυτό αποτελεί υποχρέωση της Πολιτείας και θα συμβάλει στο χτίσιμο της εμπιστοσύνης μεταξύ του πολίτη και των Δημοσίων Αρχών.

Κεφάλαιο 1^ο

1.1.1 ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ

Τα αστικά λύματα ανήκουν στη γενικότερη κατηγορία των υγρών αποβλήτων, των οποίων η επεξεργασία είναι σημαντική για την αποφυγή υποβάθμισης του περιβάλλοντος και της προστασίας της δημόσιας υγείας.

Ως **υγρό απόβλητο** χαρακτηρίζεται ένα νερό, το οποίο εξαιτίας της χρήσης του μέσω του ανθρώπου και των δραστηριοτήτων του υπέστη μια αλλαγή στις ιδιότητες του, (φυσικές, χημικές και βιολογικές) και επομένως είναι αδύνατο πλέον να χρησιμοποιηθεί όπως είναι για τον ίδιο σκοπό, είτε η χρήση του εμπεριέχει κινδύνους. Επομένως, θεωρείτο ως υποβαθμισμένο υλικό (2).

1.1.2 Κατηγορίες Υγρών Αποβλήτων

Ανάλογα τη χρήση από όπου προήλθαν, ορίζουμε τα υγρά απόβλητα στις παρακάτω κατηγορίες:

Οικιακά υγρά απόβλητα, απόβλητα που παράγονται από τις διάφορες ατομικές δραστηριότητες όπως είναι το μπάνιο και τα μπάνερα τόσο σε οικιακό και ξενοδοχειακό επίπεδο όσο και σε εμπορικό, για παράδειγμα υγρά απόβλητα αεροδρομίων και εμπορικών καταστημάτων.

Βιομηχανικά υγρά απόβλητα, απόβλητα που παράγονται σε διάφορες βιομηχανίες για παράδειγμα μεταλλουργικές, ηλεκτροπαραγωγικές ή κλωστοϋφαντουργικές.

Γεωργικά υγρά απόβλητα, απόβλητα που παράγονται από κάθε γεωργική δραστηριότητα, όπως για παράδειγμα οι εντατικές κτηνοτροφικές μονάδες (3, 4).

1.1.3 Επεξεργασία αποβλήτων

Η επεξεργασία των λυμάτων συμβάλλει στην απομάκρυνση όσο περισσότερων αιωρούμενων στερεών, πριν τα λύματα διοχετευθούν ξανά στο περιβάλλον.

Από την πρακτική εφαρμογή των διαφόρων συνδυασμών των διαδικασιών των λυμάτων έχουν διαμορφωθεί τρία κυρίως βασικά στάδια επεξεργασίας. Αυτά είναι:

A. Πρωτοβάθμια επεξεργασία αποβλήτων

Σε αυτή την φάση του βιολογικού καθαρισμού αποτελεί η καθίζηση με απαραίτητο συμπλήρωμα την επεξεργασία της λάσπης (π.χ. αναερόβια χώνευση) που δεν είναι πάντως εξολοκλήρου «μηχανική» επεξεργασία. Ο μηχανικός καθαρισμός μπορεί να ελαττώσει το ρυπαντικό φορτίο (οργανικά, στερεά, μικρόβια), κατά μέσον όρο, από 35-50% περίπου. Κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία τα απόβλητα υποβάλλονται κατ' αρχήν σε προεπεξεργασία που γίνεται με τους εξής τρόπους:

α) *Εσχαρισμός*: Τα απόβλητα διέρχονται από χαλύβδινες σχάρες όπου κατακρατούνται και απομακρύνονται τα μεγάλα στερεά σώματα (>1 cm) για να προφυλάξει τις εγκαταστάσεις από μηχανικές εμφράξεις και φθορές.

β) *Κόσκινα*: Τα κόσκινα που χρησιμοποιούνται είναι κυλινδρικά δονούμενα ή περιστρεφόμενα, ακίνητα από χάλκινο ή ορειχάλκινο φύλλο

γ) *Συλλέκτες άμμου*: Αποτελούν κανάλια μεγάλου εύρους που η ροή είναι τόσο χαμηλή ώστε να ευνοείται η καθίζηση της άμμου. Η απομάκρυνση της άμμου είναι απαραίτητη γιατί η άμμος μπορεί αργότερα να δημιουργήσει βλάβες στον εξοπλισμό της μονάδας όπως σε αντλίες, ροόμετρα κ.λπ. Σκοπός του αμμοσυλλέκτη είναι να διαχωριστεί η άμμος χωρίς να διαχωριστούν τα οργανικά στερεά.

δ) *Ελαιοδιαχωριστήρες*: Απομακρύνουν τα λάδια, τα πετρελαιοειδή και τις λιπαρές ουσίες. Χρησιμοποιούνται μόνο για ειδικές κατηγορίες αποβλήτων και δεν είναι πάντα απαραίτητοι αν δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα. Μετά την προεπεξεργασία γίνεται χημική κατεργασία εφόσον αυτό είναι απαραίτητο. Συνήθως εφαρμόζεται για τα βιομηχανικά απόβλητα.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία έχουμε σημαντική ελάττωση των στερεών και μικρή ελάττωση του BOD. Η

πρωτοβάθμια επεξεργασία είναι απαραίτητη για να οδηγηθούν τα αστικά απόβλητα στη βιολογική επεξεργασία.

B. Δευτεροβάθμια Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ακολουθεί συνήθως την πρωτοβάθμια και έχει ως σκοπό στη περαιτέρω μείωση του διαλυτού οργανικού φορτίου (BOD) και των αιωρούμενων στερεών ενώ ακόμα μπορεί να στοχεύει στη μείωση των αζωτούχων (N) και φωσφορικών (P) ενώσεων, που μπορεί να υπάρχουν στα υγρά απόβλητα. Με δεδομένο ότι το κυριότερο ρυπαντικό φορτίο στα αστικά λύματα είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος (σε ποσοστό περίπου 70%) οργανικής σύνθεσης, η βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στηρίζεται στη βιοχημική αποικοδόμηση και μετατροπή των πολύ λεπτών και διαλυμένων οργανικών ουσιών σε συσσωματώματα, τα οποία στη συνέχεια απομακρύνονται με καθίζηση.

Οι οργανικές ουσίες που παραμένουν μετά το πρωτοβάθμιο καθαρισμό στα λύματα βρίσκονται σε λεπτό καταμερισμό ή είναι διαλυμένες. Για να είναι πιο εύκολη η αποδόμηση και απομάκρυνση τους, δημιουργούνται κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη σαπροφυτικών οργανισμών. Οι σχετικές χημικές διεργασίες διευκολύνονται και επιταχύνονται με την έκκριση από τους οργανισμούς διαφόρων ενζύμων μέσα ή και έξω από το κύτταρο, που δρουν καταλυτικά και εξασφαλίζουν τη διάσπαση και μεταβολισμό των ουσιών.

Οι βιολογικές επεξεργασίες διακρίνονται ανάλογα με τους μικροοργανισμούς σε αερόβιες, αναερόβιες και αερόβιες - αναερόβιες.

Η Αερόβια επεξεργασία γίνεται με παρουσία στοιχειακού οξυγόνου, είναι πολύ ταχύτερη από την αναερόβια με κύρια τελικά προϊόντα CO₂, H₂O, NO₃ και με ορισμένα μη διασπάσιμα οργανικά υλικά, καθώς και με υπολειμματικό κυτταρικό υλικό.

Η Αναερόβια επεξεργασία γίνεται με απουσία στοιχειακού οξυγόνου. Η κυριότερη εφαρμογή αυτής της επεξεργασίας γίνεται για τη χώνευση της λάσπης από τα συστήματα καθιζήσεως και για την επεξεργασία ορισμένων πυκνών βιομηχανικών ή άλλων αποβλήτων σε αναερόβιες δεξαμενές. Η αναερόβια επεξεργασία είναι μια πολύ αργή και ευαίσθητη διαδικασία στην οποία συμμετέχουν υποχρεωτικά αναερόβιοι μικροοργανισμοί οι οποίοι

χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης (από 3–50 ημέρες), καθώς και μύκητες και πρωτόζωα.

Τα θετικά της αναερόβιας διαδικασίας είναι η παραγωγή μεθανίου το οποίο μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα παράγει το βιοαέριο (ενέργεια) και δεν απαιτείται αερισμός. Η διαδικασία της αποδομήσεως των οργανικών ουσιών γίνεται κυρίως σε δυο στάδια από ξεχωριστές ομάδες μικροοργανισμών.

Στο πρώτο στάδιο γίνεται υδρόλυση και ζύμωση των σύνθετων οργανικών ενώσεων με παραγωγή απλών οργανικών οξέων από αναερόβια βακτήρια. Στο δεύτερο στάδιο μετατρέπονται τα οργανικά οξέα σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από αναερόβια βακτήρια.

Η Αερόβια - αναερόβια επεξεργασία αποτελεί μικτή επεξεργασία η οποία πραγματοποιείται σε δεξαμενές σταθεροποίησης με αρκετό βάθος, όπου στο ανώτερο στρώμα διατηρούνται αερόβιες συνθήκες εξαιτίας του ατμοσφαιρικού οξυγόνου ή του παραγόμενου από τα φύκια οξυγόνου με τη διεργασία της φωτοσύνθεσης, ενώ στο κατώτερο στρώμα όπου δεν διεισδύει το φως επικρατούν αναερόβιες συνθήκες.

Γ. Τριτοβάθμια Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

Η τριτοβάθμια επεξεργασία στοχεύει στην ελάττωση του αζώτου και φωσφόρου που είναι βασικοί παράγοντες ευτροφισμού, καθώς και για την απομάκρυνση των τοξικών ή άλλων ανεπιθύμητων ουσιών.

Σ' αυτή την επεξεργασία εφαρμόζονται διάφορες πρόσθετες μέθοδοι καθαρισμού, όπως φυσικές, χημικές και βιολογικές. Αυτή η επεξεργασία μπορεί να συνίσταται σε μια, ή σε συνδυασμό των εξής διεργασιών:

- α) Διήθηση με κατάλληλα φίλτρα για την απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων.
- β) Απομάκρυνση ιόντων μετάλλων με αντίστροφη ώσμωση ή ανταλλαγή ιόντων.
- γ) Απομάκρυνση μη βιοαποικοδομήσιμων οργανικών ουσιών με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα.
- δ) Αφαίρεση των θρεπτικών συστατικών (2).

1.1.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

Τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά ενός υγρού αποβλήτου αποτελούν τα δεδομένα εισόδου στην εφαρμογή μιας τεχνολογίας επεξεργασίας του ενώ τα δεδομένα εξόδου καθορίζονται από τις απαιτήσεις αποτοξικοποίησης και σταθεροποίησης του από την εκάστοτε νομοθεσία διάθεσης του αποβλήτου στο περιβάλλον ή από τις προδιαγραφές απαιτήσεων για την ανακύκλωσή του ή την επαναχρησιμοποίηση του (5).

Τα υγρά αστικά απόβλητα περιέχουν κυρίως:

- οργανικές ουσίες (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη, έλαια, φαινόλες, επιφανειακά τασιενεργές ουσίες),
- ανόργανες ουσίες (άζωτο, φώσφορο, διάφορα άλατα), και διάφορα στερεά.
- ουσίες οι οποίες βρίσκονται σε κολλοειδή μορφή, μικροοργανισμούς, τοξικές ουσίες, μέταλλα, ιχνοστοιχεία καθώς και διαλυμένα αέρια, όπως αμμωνία (NH_3), υδρόθειο (H_2S) κ.ά.

Οι ουσίες αυτές χαρακτηρίζονται ως ρυπαντές του νερού και του περιβάλλοντος γενικότερα. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη, επιβάλλεται από τη νομοθεσία και στοχεύει στην εξουδετέρωση και την απομάκρυνση αυτών των ρυπαντών.

Μια ουσία χαρακτηρίζεται ως **ρύπος** εφόσον η συγκέντρωσή της στο νερό είναι αρκετά μεγαλύτερη απ' αυτή που συνήθως συναντάται στα φυσικά αποθέματα του γλυκού νερού.

Ένας ρύπος χαρακτηρίζεται **τοξικός** όταν έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει σοβαρή βλάβη ή θάνατο σε ανθρώπους ή ζώα. Οι ρύποι του νερού διακρίνονται σε: συμβατικούς, μη συμβατικούς, θερμικούς και ρύπους (μολυντές) από μικρόβια.

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

Στους **μη συμβατικούς ρύπους** του νερού περιλαμβάνονται τα βαριά μέταλλα (Cd, Cr, Hg, Pb, Cu, Zn, κ.λπ.), οι τοξικές οργανικές ενώσεις, (εντομοκτόνα, παρασιτοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, οι υδρογονάνθρακες του

πετρελαίου,) και ουσίες όπως το αρσενικό (As), τα θειούχα (S^{2-}), τα κυανιούχα (CN^-) και τα ραδιενεργά υλικά.

Ρύπανση ονομάζεται η επιβάρυνση του νερού με ύλη ή ενέργεια, η ανεπιθύμητη δηλαδή μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού (φυσικών, χημικών, ραδιολογικών, βιολογικών, μικροβιολογικών), εξαιτίας κυρίως των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, σε βαθμό που μπορεί να δημιουργηθεί κίνδυνος για την υγεία και να υποβαθμιστεί η ποιότητα ζωής του ανθρώπου.

Μόλυνση ονομάζεται η παρουσία στο νερό παθογόνων μικροοργανισμών ή και μικροοργανισμών δεικτών, που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας παθογόνων, εξαιτίας κυρίως των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Κύρια πηγή επιβάρυνσης των υδάτινων σωμάτων με παθογόνους μικροοργανισμούς είναι τα αστικά και κτηνοτροφικά απόβλητα με τα περιττώματα ανθρώπων και ζώων που περιέχουν.

Τα υγρά απόβλητα μπορεί να χαρακτηριστούν από την φυσική, χημική και βιολογική τους σύσταση.

1.1.5 Φυσικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

Τα φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων συμπεριλαμβάνουν την ολική περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά, την οσμή, τη θερμοκρασία, την πυκνότητα, το χρώμα και τη θολερότητα.

Η Ολική Περιεκτικότητα των Στερεών Συστατικών σε υγρά απόβλητα αντιπροσωπεύει αυτό που απομένει μετά από εξάτμιση σε 103-105°C.

Η Οσμή: Στα αστικά απόβλητα προκύπτει συνήθως από εκλυόμενα αέρια στην αποσύνθεση οργανικών ουσιών ή ουσιών που προστίθενται στο απόβλητο.

Η Θερμοκρασία ανάλογα με την γεωγραφική θέση και μόνο κατά μέσο όρο κυμαίνεται στους 10-21°C. Είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία του πόσιμου νερού επειδή ένα μέρος του νερού θερμαίνεται κατά τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες. Στις χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις, στην υδρόβια ζωή και στην καταλληλότητα του νερού για διάφορες χρήσεις, η θερμοκρασία παρουσιάζει σημαντική επίδραση, γι' αυτό και ο προσδιορισμός της στα υγρά απόβλητα είναι σημαντικός.

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

Το χρώμα: «Φρέσκα» απόβλητα εμφανίζουν ένα ελαφρύ καφέ–γκρίζο χρώμα. Με αυξανόμενο χρόνο παραμονής στο δίκτυο και δημιουργία αναερόβιων συνθηκών, το χρώμα μεταβάλλεται σταδιακά από γκρίζο σε σκούρο γκρι και τέλος σε μαύρο. Στην τελευταία περίπτωση χαρακτηρίζεται το απόβλητο ως σηπτικό. Η αλλαγή αυτή οφείλεται στην **κατακρήμνιση θειούχων μετάλλων**.

Η Θολερότητα: αποτελεί ένα μέτρο των χαρακτηριστικών διάδοσης του φωτός μέσω του νερού, είναι ένα ακόμη ενδεικτικό τεστ της ποιότητας αποβλήτων ως προς κολλοειδής ενώσεις και αιωρούμενα συστατικά. Η μέτρηση της θολερότητας βασίζεται στην σύγκριση διαθλασιμότητας ή απορρόφησης φωτός σε σχέση μ' ένα πρότυπο διάλυμα. Γενικά δεν υπάρχει καμία άμεση σχέση μεταξύ θολερότητας και συγκέντρωσης αιωρούμενων συστατικών σ' ένα ακατέργαστο λύμα.

1.1.6 Χημικά Ανόργανα –οργανικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

Τα χημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων διακρίνονται σε ανόργανα και οργανικά.

Χημικά (ανόργανα) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

- **pH (-log[H⁺]).** Το μέτρο της οξύτητας ή της αλκαλικότητας των υγρών αποβλήτων.
- **Αλκαλικότητα ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^- - \text{H}^+$).** Το μέτρο της ρυθμιστικής ικανότητας των υγρών αποβλήτων να εξουδετερώνουν οξέα.
- **Χλωριούχα.** Παράμετρος για την εκτίμηση της ποιότητας της επεξεργασμένης εκροής, ειδικά για την επαναχρησιμοποίηση για άρδευση.
- **Αζωτούχες ενώσεις.** Χρησιμοποιούνται ως μέτρο της παρουσίας θρεπτικών συστατικών καθώς και του βαθμού αποσύνθεσης στα υγρά απόβλητα.
 - Η Ελεύθερη αμμωνία (NH₄⁺)
 - Οργανικό άζωτο (Org. N)
 - Άζωτο Kjeldahl (TKN : Org. N + NH₄⁺)
 - Νιτρώδη (NO₂⁻) προσδιορίζονται φωτομετρικά ή με υγρή χρωματογραφία υψηλής πίεσης. Είναι ασταθή σχετικά ιόντα, το οποίο υπόκειται εύκολα σε οξειδωση προς νιτρικά (NO₃⁻) και δεν υπερβαίνουν το 1 mg/Lt σε απόβλητα ή το 0,1 mg/Lt σε επιφανειακά νερά. Παρ' όλα αυτά η ρύπανση μέσω νιτρωδών είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη διότι, σε υψηλή συγκέντρωση στο πόσιμο νερό προκαλεί μεθαιμοσφαιριναιμία.
 - Νιτρικά (NO₃⁻)
- **Φωσφορικές ενώσεις.** Χρησιμοποιούνται ως μέτρο παρουσίας των θρεπτικών συστατικών στα υγρά απόβλητα. Οι οξειδωμένες μορφές μπορούν να ληφθούν ως μέτρο του βαθμού οξειδωσης.
 - Ανόργανος φώσφορος (Inorg. P)
 - Οργανικός φώσφορος (Org. P)
 - Ολικός φώσφορος (TP)
- **Θειικά (SO₄²⁻).** Παράμετρος για την εκτίμηση της πιθανότητας δημιουργίας οσμών. Για την εκτίμηση της «επεξεργασιμότητας» της ιλύος.

- **Μέταλλα (Ca, Mg, K, Na, Cr, Cu, Co, Pb, Cd, Hg, Mo, Ni, Fe, Se, As, Zn).** Για την εκτίμηση της καταλληλότητας της εκροής για επαναχρησιμοποίηση. Για την εκτίμηση της τοξικότητας. Ωστόσο ίχνη ορισμένων μετάλλων είναι απαραίτητα για μερικές βιολογικές διεργασίες.
- **Διάφορα αέρια (O₂, CO₂, NH₃, H₂S, CH₄).** Παρουσία/απουσία συγκεκριμένων αερίων.

Χημικά (οργανικά) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

- **C-BOD**, (Biochemical Oxygen Demand), Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο. Το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιολογική αποικοδόμηση των **ανθρακούχων** οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.
- **N-BOD**, Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο. Το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιολογική αποικοδόμηση των **αζωτούχων** οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.
- **COD**, (Chemical Oxygen Demand), Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο. Το οξυγόνο που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.
- **TOC**, (Total Organic Carbon), Ολικός Οργανικός Άνθρακας, ο οποίος χρησιμοποιείται σπάνια και συμπληρωματικά με το BOD, διότι αφορά μετρήσεις με μεγάλη ευαισθησία.
- **Συγκεκριμένες οργανικές ενώσεις και κατηγορίες ενώσεων.** Για τον προσδιορισμό της παρουσίας των συγκεκριμένων οργανικών ενώσεων και για την εκτίμηση των απαραίτητων ειδικών μέτρων που πρέπει να ληφθούν κατά τον σχεδιασμό της ΕΕΛ για την απομάκρυνσή τους.

1.1.7 Βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

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

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

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

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

- **Τοξικότητα**, Οξεία Τοξικότητα (TUA), Χρόνια Τοξικότητα (TUC). Για την εκτίμηση της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι οργανικές ενώσεις (υδατάνθρακες, λίπη, αμινοξέα, πρωτεΐνες, θειοπρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα κλπ.), που υπάρχουν στα υγρά απόβλητα αποτελούν τον κατ' εξοχήν συμβατικό ρύπο ο οποίος πρέπει να απομακρυνθεί.

Το κεντρικό στοιχείο όλων αυτών των οργανικών ενώσεων είναι ο **άνθρακας** (C) και τα σπουδαιότερα στοιχεία με τα οποία ο άνθρακας συνθέτει τις οργανικές ενώσεις είναι το **άζωτο** (N) και ο **φώσφορος** (P).

Ιδιαίτερη επίσης αναφορά γίνεται στις **στερεές ουσίες** (αδιάλυτες, διαλυμένες, κolloειδείς, επιπλέουσες, αιωρούμενες, καθιζάνουσες) και στους **μικροοργανισμούς** οι οποίοι συνδέονται με την ποιότητα και την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

Η βασική επιλογή σχεδιασμού των έργων αποχέτευσης πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν το υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησής τους, τα οποία οι τοπικοί φορείς αδυνατούν να καλύψουν. Έτσι βάσει τεχνοοικονομικών μελετών αναπτύχθηκαν μέθοδοι με χαμηλό κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης που ταυτόχρονα να είναι φιλικές προς το περιβάλλον.

Τέτοιες μέθοδοι είναι οι εξής:

- Συστήματα σηπτικών δεξαμενών ή βόθρων
- Εδαφικά συστήματα
- Συστήματα δεξαμενών σταθεροποίησης
- Συστήματα τεχνητών υγροτόπων
- Συστήματα υδρόχαρων φυτών (6).

1.1.8 Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων

Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων μπορεί να αποτελέσει ένα εργαλείο ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Το σκεπτικό της επαναχρησιμοποίησης κατάλληλα επεξεργασμένων αστικών ή βιομηχανικών λυμάτων παρουσιάζει εγγενή οφέλη που σχετίζονται με την εξοικονόμηση υδατικών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και οικονομικά οφέλη.

Ωστόσο η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων απαιτεί έναν ολοκληρωμένο και ορθολογικό σχεδιασμό, που λαμβάνει υπόψη τους ενδεχόμενους κινδύνους και περιορισμούς.

Είναι πλέον αναγνωρισμένο ότι τα θρεπτικά συστατικά των λυμάτων έχουν αμελητέα συνεισφορά στην εξοικονόμηση λιπασμάτων και ότι το βασικό πλεονέκτημα έγκειται στην εξοικονόμηση νερού. Κατά συνέπεια το αναμενόμενο όφελος είναι άμεσα συσχετισμένο με τη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων και επομένως η σκοπιμότητα της επαναχρησιμοποίησης θα πρέπει να αξιολογείται σε συνάρτηση με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής.

Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων υπόκειται σε σοβαρούς περιορισμούς που υπαγορεύονται από διαπιστωμένους αλλά και θεωρητικούς κινδύνους οι οποίοι δεν γίνονται αποδεκτοί ιδίως σε χώρες με μεγάλες απαιτήσεις και υψηλά επίπεδα ασφάλειας ως προς τα θέματα της δημόσιας υγείας.

Το γενικό συμπέρασμα που έχει προκύψει μετά από πολύχρονες διεθνείς έρευνες δεν είναι καθόλου ενθαρρυντικό για την άμεση επαναχρησιμοποίηση του νερού για σκοπούς ύδρευσης προς πόση ενώ σοβαροί ενδοιασμοί υπάρχουν και για τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων που τα νερά τους προορίζονται για πόση. Πολύ καλύτερες προοπτικές παρουσιάζει η επαναχρησιμοποίηση για άρδευση, αστικές (πλην πόσης) χρήσεις, το περιαστικό πράσινο, τη δημιουργία ή τον εμπλουτισμό υδατίνων σωμάτων για αναψυχή και για ορισμένες βιομηχανικές δραστηριότητες (7).

1.1.9 Εθνική Βάση Δεδομένων Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων των οικισμών της χώρας που εμπίπτουν στις διατάξεις της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ

Στο πλαίσιο των απαιτήσεων της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ και για την άμεση παρακολούθηση της πορείας εφαρμογής της στην Ελλάδα, ολοκληρώθηκε και λειτουργεί η Εθνική Βάση Δεδομένων των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων των οικισμών της χώρας που εμπίπτουν στις διατάξεις της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ της χώρας. Η καταχώρηση όλων των στοιχείων και λειτουργικών δεδομένων των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων πραγματοποιείται μέσω διαδικτύου απευθείας από τους αρμόδιους φορείς λειτουργίας τους. Η καταχώρηση δεδομένων έχει ήδη ξεκινήσει και τα στοιχεία είναι διαθέσιμα για την άμεση πληροφόρηση φορέων και πολιτών, σε σχέση με τη συλλογή, επεξεργασία και διάθεση των αστικών λυμάτων (7).

Κεφάλαιο 2^ο

2.1 ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΙ

Υγροβιότοπος ονομάζεται κάθε τόπος που καλύπτεται μόνιμα ή εποχικά από ρηχά νερά ή που δεν καλύπτεται ποτέ από νερά αλλά έχει υγρό υπόστρωμα για μεγάλο διάστημα του έτους.

Οι υγροβιότοποι είναι τμήματα εδάφους κατακλυζόμενα με νερό συνήθως μικρού βάθους (<0,6m), 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 ψαθιού και αφράτου (φυτά του γένους *Typha*).

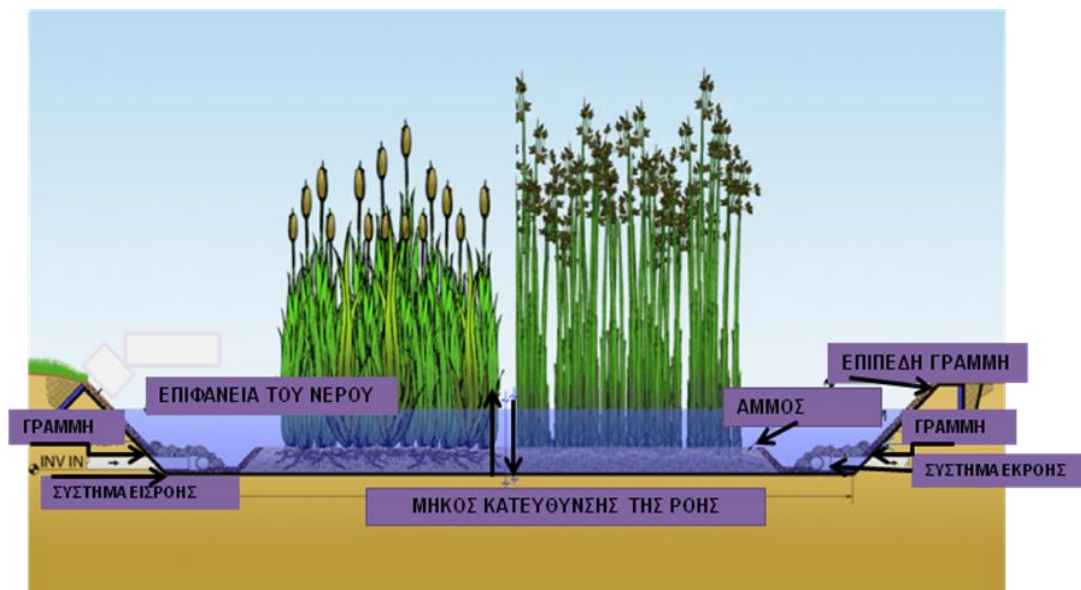
Η φυτική βλάστηση προσφέρει το βασικό υπόστρωμα ανάπτυξης των βακτηρίων, βοηθά στο φιλτράρισμα και την προσρόφηση συστατικών του αποβλήτου, μεταφέρει οξυγόνο στη μάζα νερού και περιορίζει την ανάπτυξη αλγών με τον έλεγχο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο τεχνητοί όσο και φυσικοί υγροβιότοποι.

Οι φυσικοί ή και τεχνητοί υγροβιότοποι χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια (8).

2.1.1 Τεχνητοί υγροβιότοποι

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι μπορεί να σχεδιαστούν ώστε να μιμηθούν τα χαρακτηριστικά των φυσικών υγροτόπων, δρώντας ως βιολογικό φίλτρο ή αφαιρώντας ιζήματα και ρύπους, όπως τα βαρέα μέταλλα από το νερό.

Μερικοί τεχνητοί υγρότοποι μπορεί επίσης να χρησιμεύουν για ενδημική και αποδημητική άγρια ζωή (8).



Εικόνα 1. Τεχνητός υγροβιότοπος

Αποτελούν μία απλή και αποτελεσματική λύση για την δευτεροβάθμια επεξεργασία αποβλήτων οικισμών έως και 2.000 κατοίκων για την τριτοβάθμια επεξεργασία, όταν απαιτούνται εκροές πολύ χαμηλές σε οργανικό φορτίο ($BOD_5 < 5 \text{mg/l}$) και στερεά ($TSS < 10 \text{mg/l}$), για την επεξεργασία πλημμυρικών απορροών, για τη σταθεροποίηση της ιλύος, ακόμα και για τις ειδικές περιπτώσεις επεξεργασίας απορροών από αυτοκινητοδρόμους και αγροτικών απορροών πλούσιων σε θρεπτικά και φυτοφάρμακα (8).

Επιπλέον, οι τεχνητοί υγρότοποι προσφέρουν πολλά πρόσθετα πλεονεκτήματα σε σχέση με τους φυσικούς υγρότοπους συμπεριλαμβανομένης της επιλογής του τόπου, την ευελιξία των διαστάσεων και το πιο σημαντικό τον έλεγχο των υδραυλικών δίοδων και τον χρόνο παραμονής (9).

Ωστόσο, τα συστήματα αυτά δεν έχουν βρει ευρεία χρήση, λόγω της έλλειψης ευαισθητοποίησης, και τοπικής τεχνογνωσίας για την ανάπτυξη της τεχνολογίας σε τοπική βάση (10).

Οι δύο κύριοι τύποι των τεχνητών υγροτόπων είναι υπόγειας ροής και επιφανειακής ροής. Η φυτεμένη βλάστηση παίζει σημαντικό ρόλο στην απομάκρυνση των ρυπαντών, αλλά και η κοίτη του φίλτρου που αποτελείται συνήθως από ένα συνδυασμό άμμου και χαλικιών, διαδραματίζει εξίσου σημαντικό ρόλο.

Τα συστήματα τεχνητών υγροτόπων χρησιμοποιούνται για περαιτέρω επεξεργασία προεπεξεργασμένων λυμάτων και οδηγούν σε αξιόλογη απομάκρυνση οργανικού άνθρακα και αιωρούμενων στερεών και ενώ η απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου καθίσταται αξιόλογη υπό προϋποθέσεις (11).

Τα συστήματα των τεχνητών υγροβιότοπων διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

- 1. Τεχνητοί υγροβιότοποι επιφανειακής ροής** ή ελεύθερης επιφάνειας (Free Water Surface Treatment Wetlands-**FWS**) και
- 2. Τεχνητοί υγροβιότοποι υποεπιφανειακής ροής** (Subsurface Flow Systems-**SFS**).

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι υποεπιφανειακής ροής διακρίνονται σε δυο υποκατηγορίες:

- Τεχνητοί υγροβιότοποι οριζόντιας ροής (HF) και
- Τεχνητοί υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής (VF).

2.1.2 Τεχνητοί υδροβιότοποι επιφανειακής ροής (FWS):

Αποτελούνται από λεκάνες μικρού βάθους, στις οποίες τοποθετείται μια εδαφική στρώση ή οποιοδήποτε άλλο υλικό που υποστηρίζει την ανάπτυξη βλάστησης και μια υδάτινη στήλη μικρού βάθους και καλλιεργούνται διάφορα υδροχαρή φυτά, όπως είναι οι κοινές καλάμιές (*Phragmites communis*), τα διάφορα είδη βούρλων (*Juncus* spp.), οι σύφες (*Scirpus* spp.) και διάφορα είδη ψαθών (*Typha* spp.).

Η στεγανότητά τους επιτυγχάνεται με την κάλυψη του πυθμένα και των λεκανών με γεωμεμβράνες ή με άλλα κατάλληλα υλικά με μικρή διαπερατότητα στο νερό (π.χ. αργιλική στρώση), καθώς επίσης και με τη χρήση του ίδιου του φυσικού εδάφους των λεκανών, όταν η μηχανική του σύσταση εξασφαλίζει μικρή διαπερατότητα. Το νερό που εφαρμόζεται ρέει επιφανειακά, πάνω από το εδαφικό στρώμα και τα καθιζάνοντα στερεά. Στους FWS ο εφοδιασμός της υδάτινης στήλης με οξυγόνο είναι περιορισμένος συγκριτικά με τους υδροβιότοπους υποεπιφανειακής ροής, καθώς το ριζικό σύστημα βρίσκεται στο εδαφικό υπόστρωμα και κάτω από την στήλη των υγρών και το μεταφερόμενο σε αυτό οξυγόνο καταναλώνεται στο εκτεταμένο βενθικό περιβάλλον. Επιπλέον, λόγω της πυκνής φυτικής βλάστησης η μεταφορά οξυγόνου διαμέσου της επιφάνειας είναι περιορισμένη.

Οι FWS αναπαριστούν τη δομή και τη λειτουργία των φυσικών υδροβιότοπων και προσαρμόζονται ικανοποιητικά στο ευρύτερο περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται αποτελώντας τόπους ενδημισμού της πανίδας που αναπτύσσεται στην εκάστοτε περιοχή.

Το επιφανειακό στρώμα των FWS χαρακτηρίζεται από αερόβιες συνθήκες ενώ το πυθμενικό από αναερόβιες συνθήκες. Τυπικά βάθη της υγρής στήλης κυμαίνονται από λίγα cm έως 1m.

Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την επεξεργασία των λυμάτων στους τεχνητούς υδροβιότοπους είναι όμοιες με αυτές που συμβαίνουν στα φυσικά οικοσυστήματα. Η αποδόμηση της οργανικής ύλης προκύπτει είτε μέσω αερόβιων είτε μέσω αναερόβιων διεργασιών. Η ισορροπία μεταξύ των διεργασιών αυτών εξαρτάται από το οργανικό φορτίο καθώς και από την παροχή οξυγόνου.

Κύρια πηγή του απαραίτητου για τις βιοχημικές διεργασίες οξυγόνου είναι ο επαναερισμός της υγρής στήλης. Το οξυγόνο διοχετεύεται στη στήλη

νερού του υδροβιότοπου με διάχυση από τον ατμοσφαιρικό αέρα, μέσω της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών, στη στήλη νερού.

Η απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα των λυμάτων πραγματοποιείται τόσο από την αιωρούμενη όσο και από την προσκολλημένη βιομάζα. Τα περισσότερα από τα αιωρούμενα στερεά καθιζάνουν και φιλτράρονται στα πρώτα μέτρα πλησίον του σημείου εισόδου στο σύστημα.

Η απομάκρυνση του αζώτου πραγματοποιείται λόγω νιτροποίησης στις αεριζόμενες περιοχές και απονιτροποίησης στις ανοξικές.

Η απομάκρυνση του φωσφόρου πραγματοποιείται μέσω προσρόφησης και χημικής κατακρήμνισης και είναι κατά κανόνα περιορισμένη (όπως και σε όλα τα φυσικά συστήματα).

Σημαντικό ζήτημα σχετικά με την χωροθέτηση τέτοιων συστημάτων, είναι το ότι οι FWS αποτελούν κατοικίες αναπαραγωγής κουνουπιών (που μπορούν να γίνουν φορείς μεταδόσεως νόσων στις γειτονικές περιοχές).

Τα πλεονεκτήματα του FWS συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Χαμηλό κόστος κατασκευής.
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος.
- Αντοχή σε διακυμάνσεις υδραυλικού και ρυπαντικού φορτίου (πολύ μικρές παροχές – έως αρκετά μεγάλες).
- Προσαρμογή στο ευρύτερο οικοσύστημα και την αισθητική της περιοχής.
- Φυσική διεργασία -> πράσινη τεχνολογία.

Τα μειονεκτήματα του FWS, μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- Επιτυγχάνεται μειωμένη απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου.
- Πραγματοποιείται φτωχή οξυγόνωση της υγρής στήλης.
- Δημιουργούνται προβλήματα οσμών και κουνουπιών.
- Απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις για την κατασκευή (8).

2.1.3 Τεχνητοί υγροβιότοποι υποεπιφανειακής - οριζόντιας ροής (HF):

Στους υγροβιότοπους οριζόντιας ροής τα υγρά απόβλητα τροφοδοτούνται από τη μία άκρη του υγροβιότοπου και οδηγούνται στην έξοδο (αντιδιαμετρικά της εισόδου) καλύπτοντας μία οριζόντια πορεία. Κατά τη διάρκεια αυτής της πορείας έρχονται σε επαφή με ένα σύστημα αερόβιων, ανοξικών και αναερόβιων ζωνών. Οι αερόβιες ζώνες βρίσκονται γύρω από τις ρίζες των αναπτυσσόμενων φυτών του υγροβιότοπου. Το φυτό που συνήθως χρησιμοποιείται είναι το *Phragmites australis*, το κοινώς λεγόμενο καλάμι, το οποίο έχει την ικανότητα να μεταφέρει οξυγόνο από τα φύλλα και μέσω των ριζωμάτων στις ρίζες. Φαίνεται ότι στην περιοχή γύρω από τα ριζώματα, στη λεγόμενη ριζόσφαιρα, αναπτύσσονται οι πληθυσμοί των βακτηρίων. Το οργανικό φορτίο οξειδώνεται από τους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς, ενώ οι νιτροποιητές οξειδώνουν την αμμωνία σε νιτρώδη και νιτρικά. Σε περιοχές γύρω και μακριά από τις ρίζες, όπου οι συνθήκες είναι ανοξικές γίνεται η απονιτροποίηση, δηλαδή η μετατροπή των νιτρικών και νιτρωδών ενώσεων σε αέριο άζωτο.

Αυτός είναι και ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης αζώτου αφού η πρόσληψή του από τα φυτά θεωρείται αμελητέα. Τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται μέσω καθίζησης και σε μικρές αποστάσεις από το σημείο εισροής του αποβλήτου στο σύστημα, ενώ η απομάκρυνση φωσφόρου σε τέτοια συστήματα είναι εξαιρετικά περιορισμένη, λόγω της περιορισμένης επαφής του αποβλήτου με το έδαφος.

Τα αιωρούμενα στερεά σε συστήματα υγροβιότοπων ελεύθερης επιφάνειας απομακρύνονται αφενός μεν με καθίζηση, που ευνοείται από τις επικρατούσες μικρές ταχύτητες ροής και το μικρό βάθος νερού και αφετέρου δε με διήθηση διαμέσου του εδαφικού βιολογικού φίλτρου και της φυτικής βλάστησης.

Οι υγροβιότοποι οριζόντιας ροής έχουν περιορισμένη δυνατότητα μεταφοράς οξυγόνου και δεν μπορούν να νιτροποιήσουν σε υψηλούς ρυθμούς, ούτε και να επεξεργαστούν αποτελεσματικά απόβλητα με μεγάλες συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου. Η αδυναμία αυτή οδήγησε τα τελευταία χρόνια στον σχεδιασμό υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής.

Τα πλεονεκτήματα του υγροτόπου οριζόντιας ροής είναι:

- Συστήματα χαμηλού κόστους κατασκευής και λειτουργίας.
- Σχετικά αξιόπιστα συστήματα.
- Έχουν ικανοποιητική απόδοση στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και των διαλυμένων στερεών.

Τα μειονεκτήματα του υγροτόπου οριζόντιας ροής είναι:

- Η αδυναμία υψηλού ρυθμού νιτροποίησης.
- Η αδυναμία επεξεργασίας λυμάτων με μεγάλο οργανικό φορτίο.
- Η περιορισμένη απομάκρυνση φωσφόρου.
- Απαιτήση για περιοδική καταστροφή της ξηρής βλάστησης με σκοπό την διατήρηση των συνθηκών ελεύθερης ροής.
- Ισχυρή εξάρτηση από κλιματολογικούς παράγοντες.

Τεχνητοί υγροβιότοποι υποεπιφανειακής - κατακόρυφης ροής (VF):

Οι υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής αποτελούνται συνήθως από στρώσεις διαβαθμισμένων υλικών (έδαφος, άμμος, χονδρόκοκκα, αδρανή, πλαστικά κ.λπ.), ενώ τα καλάμια φυτεύονται στην άνω στρώση που είναι συνήθως από άμμο.

Τα υγρά απόβλητα διερχόμενα κατακόρυφα του υγροβιότοπου συλλέγονται σε ένα δίκτυο αποστράγγισης τοποθετημένο στη βάση του. Οι στρώσεις διαβαθμισμένων υλικών αποστραγγίζουν πλήρως και έτσι επιτρέπεται η είσοδος νέου αέρα ανάμεσα στους πόρους των υλικών.

Η επόμενη δόση υγρών αποβλήτων που θα διέλθει του υγροβιότοπου, παγιδεύει τον αέρα στους πόρους, που σε συνδυασμό με τον αερισμό που δημιουργείται από την απότομη εφαρμογή της δόσης δημιουργεί άριστες συνθήκες οξυγόνωσης, διάσπασης του οργανικού φορτίου και νιτροποίησης.

Η απομάκρυνση του αζώτου επιτυγχάνεται και στην περίπτωση αυτή μέσω νιτροποίησης – απονιτροποίησης, ενώ η απομάκρυνση φωσφόρου εξαρτάται από τη φύση του εφαρμοζόμενου υποστρώματος.

Η απομάκρυνση μετάλλων ποικίλει και επιτυγχάνεται κυρίως με κατακρήμνιση και προσρόφηση, ενώ η απομάκρυνση των παθογόνων οργανισμών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δομή του υποστρώματος και

την ταχύτητα ροής. Τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται κυρίως με φιλτράρισμά τους στο έδαφος ή το υπέδαφος.

Οι υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής πλεονεκτούν ως προς τη μεταφορά οξυγόνου, ωστόσο απαιτείται προσεκτική μελέτη της ποσότητας των υγρών αποβλήτων που θα εφαρμοστεί και της χρονικής περιόδου εφαρμογής της επόμενης δόσης.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι το σύστημα δεν είναι και τόσο αποτελεσματικό, σε ότι αφορά την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών, με αποτέλεσμα συχνά να συνδυάζεται με υγροβιότοπο οριζόντιας ροής.

Τα πλεονεκτήματα του υγροτόπου κατακόρυφης ροής είναι:

- Συστήματα χαμηλού κόστους κατασκευής και λειτουργίας.
- Σχετικά αξιόπιστα συστήματα.
- Ικανοποιητική απόδοση στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και των διαλυμένων στερεών.
- Λόγω του σχεδιασμού δεν παρατηρούνται οχλήσεις από έντομα.

Τα μειονεκτήματα του υγροτόπου κατακόρυφης ροής είναι:

- Η αδυναμία υψηλού ρυθμού νιτροποίησης.
- Η αδυναμία επεξεργασίας λυμάτων με μεγάλο οργανικό φορτίο.
- Η περιορισμένη απομάκρυνση φωσφόρου.
- Απαιτήση για περιοδική καταστροφή της ξηρής βλάστησης με σκοπό την διατήρηση των συνθηκών ελεύθερης ροής.
- Αναμενόμενες μικρές οχλήσεις από οσμές.
- Ισχυρή εξάρτηση από κλιματολογικούς παράγοντες (8).

2.2 ΦΥΤΑ ΚΑΛΥΨΗΣ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΩΝ

2.2.1 Καλαμιά (*Arundo donax*)

Οικογένεια: Αγρωστίδες. Χρησιμοποιούνται σαν φράχτες για την προφύλαξη των καλλιεργειών από τους ισχυρούς ανέμους (ανεμοθραύστες), στην καθαοπλεκτική και γενικά στην κατασκευή πολλών αντικειμένων και οργάνων, όπως τελέρα, φλογέρες, αλιευτικά καλάμια (καλαμίδια), στηρίγματα φυτών, καλαμωτές (για ξήρανση καρπών), στην κατασκευή χωρισμάτων και οροφών κτλ. (12).



Εικόνα 2. Καλάμια (Πηγή: users.sch.gr/gpantakis/?p=3962)

Η **καλαμιά** είναι ένα πολυετές φυτό με C3 φωτοσυνθετικό μηχανισμό και ανήκει στην οικογένεια Poaceae. Με πιθανή καταγωγή την Ασία, θεωρείται επίσης φυτό ενδημικό των Μεσογειακών χωρών. Το φυτό έχει επεκταθεί σε πολλές υποτροπικές και θερμές-εύκρατες περιοχές και ευρίσκεται αναπτυσσόμενο στις ΗΠΑ, στην Κίνα, στην Αυστραλία και στη Ν. Αφρική. Τα νεαρά φύλλα του φυτού είναι κατάλληλα για ζωοτροφή, ενώ στην Ευρώπη χρησιμοποιείται και σαν καλλωπιστικό φυτό. Άλλες χρήσεις του φυτού περιλαμβάνουν την στήριξη και αντιανεμική προστασία διαφόρων καλλιεργειών, την κατασκευή πρόχειρων υπόστεγων, ράβδων μετρήματος,

μπαστουινιών, μουσικών οργάνων, καλαθιών και ψαθών, καθώς και την παραγωγή χαρτιού και πλαστικών.

Το καλάμι λόγω της υψηλής του απόδοσης σε βιομάζα, θεωρείται κατάλληλο ως στερεό βιοκαύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (13).

2.2.2. Αλόφυτα

Σύμφωνα με ερευνητές τα φυτά που παρουσιάζουν αντοχή σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων ονομάζονται **Αλόφυτα** (Halophytes) ενώ αυτά που είναι ευαίσθητα στην αυξημένη συγκέντρωση αλάτων ονομάζονται **Γλυκόφυτα** (Glycophytes).

Ωστόσο, αυτός ο όρος δεν είναι γενικά αποδεκτός. Για παράδειγμα, κάποιοι ορίζουν ως αλόφυτα τα φυτά που είναι ανθεκτικά σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων και επιπλέον είναι ικανά να συσσωρεύουν σχετικά υψηλές ποσότητες από Na^+ και Cl^- στους ιστούς τους ενώ γλυκόφυτα αυτά που έχουν μικρή αντοχή σε αυξημένη αλατότητα και δεν συσσωρεύουν άλατα στους ιστούς τους.

Επίσης κατηγοριοποιούνται σε **υποχρεωτικά αλόφυτα** (obligate halophytes) τα οποία αναπτύσσονται καλά σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων ενώ έχουν μειωμένη ανάπτυξη σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλάτων και τα **δυναμικά αλόφυτα** (facultative halophytes), όπως το *Mesembrythemum crystallinum*, στο οποίο οι μεταβολικές διεργασίες των αλόφυτων λαμβάνουν μέρος αφού εκτεθεί σε μέτριες συγκεντρώσεις αλάτων (14).

Σε μια ερευνητική εργασία που διεξήχθη το 1989, βρέθηκε ότι δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί ο ακριβής αριθμός των Αλόφυτων διότι, εν μέρει, υπάρχει πρόβλημα στον καθορισμό του χαμηλότερου ορίου ανθεκτικότητας όπου ένα φυτό θεωρείται αλόφυτο. Επομένως, τα αλόφυτα έχουν προταθεί να είναι φυσικά καλύτερα για να αντιμετωπίσουν περιβαλλοντικές πιέσεις, όπως είναι τα βαρέα μέταλλα σε σύγκριση με τα αλατούχα-ευαίσθητα φυτά σοδειάς συνήθως επιλέγονται για σκοπούς φυτοθεραπείας, και, ως εκ τούτου, προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες για την έρευνα φυτοθεραπείας για την απολύμανση του μολυσμένο χώματος από βαρέα μέταλλα.

Ερευνητικά δεδομένα δείχνουν ότι τα αλόφυτα είναι ιδανικά για τη φυτοεξαγωγή, τη σταθεροποίηση του φυτού ή τη φυτοαπέκκριση των βαρέων

μετάλλων μολυσμένου αλατούχου διαλύματος και μη αλατούχου. Πρόσφατα ευρήματα ενθαρρύνουν τη χρησιμοποίηση της συσσώρευσης “αλόφυτα με αλατούχο διάλυμα για την αφαλάτωση του εδάφους σε άνυδρες και ημι-άνυδρες περιοχές (15).

Τα Αλόφυτα έχουν αναπτύξει δύο κύριους μηχανισμούς για την αντιμετώπιση της υψηλής αλατότητας: την *Ανθεκτικότητα* (salt tolerance) δηλαδή την ικανότητα να διατηρούν φυσιολογικούς μεταβολικούς ρυθμούς ακόμα και με την παρουσία, ενδοκυτταρικά, υψηλών επιπέδων αλάτων και την *Αποφυγή* (salt avoidance) κατά την οποία τα φυτά δεν επιτρέπουν την είσοδο των ιόντων μέσα στα κύτταρά τους.

Η αντοχή των φυτών στην υψηλή αλατότητα δεν καθορίζεται από συγκεκριμένα γονίδια ή από μία συγκεκριμένη μεταβολική διαδικασία αλλά από την απόκριση του φυτού συνολικά, όπου πολλές και σύνθετες διεργασίες λαμβάνουν μέρος.

Μηχανισμός Ανθεκτικότητας Τα φυτά που έχουν επιλέξει τη στρατηγική της ανθεκτικότητας στηρίζονται στην πρόσληψη και συσσώρευση αλάτων εντός των κυττάρων τους, ώστε να αντισταθμιστεί το χαμηλό δυναμικό νερού του εδάφους και να επιτυγχάνονται ικανοποιητικές πιέσεις σπαργής.

Τα φυτά αυτά αντιμετωπίζουν την τοξικότητα των υψηλών συγκεντρώσεων των ιόντων μέσα στα κύτταρά τους είτε προσλαμβάνοντας μεγαλύτερη αναλογία νερού ως προς την ξηρή τους βιομάζα (succulence), είτε μεταφέροντας τα ιόντα Na^+ και Cl^- στα χυμοτόπια (salt compartmentation).

Τα φυτά θα πρέπει να έχουν και πρόσθετους μηχανισμούς άντλησης άλλων ιόντων, κυρίως K^+ το οποίο είναι συνήθως σε έλλειψη, σε αλατούχα εδάφη. Έχει παρατηρηθεί ότι ο μεταφορέας υψηλής συγγένειας K^+ , ο HKT1, δρα επίσης ως ισχυρός συµμεταφορέας K^+/Na^+ . Σε υψηλές συγκεντρώσεις εξωγενούς Na^+ , όμως, η μεταφορά K^+ σταματά και ο HKT1 συμπεριφέρεται ως χαμηλής συγγένειας σύστημα πρόσληψης Na^+ . Εφόσον όμως υπάρχει στο έδαφος αρκετό Ca^{2+} , αυτό ενεργοποιεί έναν υψηλής συγγένειας μηχανισμό για το K^+ , οπότε τα φυτά προσλαμβάνουν K^+ παρά Na^+ .

Έπειτα, το δυναμικό του νερού του κυτοπλάσματος με αυτό του χυμοτοπίου εξισορροπείται με μηχανισμούς οσμωρύθμισης ή οσμωτικής

εξισορρόπησης. Η οσμωρύθμιση στο κυτόπλασμα επιτυγχάνεται με τη σύνθεση συμβατών οσμωλυτών χαμηλού μοριακού βάρους.

Είναι επίσης γνωστό ότι κάποια Αλόφυτα μπορούν να αλλάζουν τη φωτοσύνθεσή τους από C3 σε CAM (Crassulacean Acid Metabolism) φωτοσύνθεση, όταν αντιμετωπίσουν υψηλή αλατότητα ή έλλειψη νερού. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το *Mesembryanthemum crystallinum*, στο οποίο έπειτα από 10 μέρες στρες ενεργοποιείται η CAM φωτοσύνθεση, τα στόματα μένουν ανοιχτά μόνο το βράδυ και η σπαργή των κυττάρων επανέρχεται.

Ο μηχανισμός της Αποφυγής πραγματοποιείται, είτε επειδή οι ρίζες του φυτού παρουσιάζουν χαμηλή περατότητα στα άλατα (salt exclusion) π.χ. όπως στο είδος *Rhizophora mangle*, είτε με την είσοδο των αλάτων και την έκκρισή τους (salt evasion) από εξειδικευμένους αλατώδεις αδένες ή κύστες των φύλλων, π.χ. στο είδος *Tamarix*.

Η ικανότητα των φυτών να ρυθμίζουν την απορρόφηση και τη μεταφορά των αλάτων εξαρτάται από τους εξής μηχανισμούς: α) την επιλεκτικότητα των κυττάρων των ριζών, β) την τάση να προσλαμβάνουν K^+ παρά Na^+ μέσα στο ξύλωμα (xylem) από τα κύτταρα της στήλης (stele), γ) την απομάκρυνση των αλάτων, διαμέσου του ξυλώματος, από τα ανώτερα τμήματα των ριζών, τον βλαστό και τα φύλλα, μέσω της ανταλλαγής του Na^+ με το K^+ και δ) της επανα-μεταφοράς των ιόντων διαμέσου του φλοιώματος από τον βλαστό προς τις ρίζες (14).

Βούρλα (*Juncus acutus*)



Εικόνα 3. Φωτογραφία βούρλων του γένους *Juncus* sp., σε υγρότοπο της Μήλου, Ελλάδα. Βούρλα (Πηγή: [nhmc.image.59981](#))

Τα βούρλα είναι από τα πιο κοινά υδρόβια φυτά των υγροτόπων της Ελλάδας. Είναι ριζωμένα στον πυθμένα, ενώ οι βλαστοί τους βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια του νερού (Υπερυδατικά ριζόφυτα).

Ταξινόμηση:

- Plantae
- Magnoliophyta
- Liliopsida
- Juncaceae
- *Juncus* sp (16)

Αλιμιά (*Atriplex halimus*)



Εικόνα 4. Φωτογραφία του φυτού Αλιμιά, *Atriplex halimus*. (Πηγή: [nhmc.image.38858](#))

Μεγάλος πολυετής θάμνος με χαρακτηριστικά γκριζοασημί φύλλα, και πολύ μικρά άνθη σε στάχεις. Φυτρώνει σε άγονα εδάφη κοντά σε θάλασσα. Είναι ολιγαρκές φυτό και ανθεκτικό στο αλάτι, γι' αυτό συχνά χρησιμοποιείται ως φυτοφράχτης σε παραθαλάσσιους κήπους.

Ταξινόμηση:

- Plantae,
- Magnoliophyta,
- Magnoliopsida,
- Chenopodiaceae,
- *Atriplex halimus* (17).

Κεφάλαιο 3^ο

3.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η λήψη των δειγμάτων πραγματοποιούταν στον υγροβιότοπο του αγροκτήματος του Τ.Ε.Ι. και στην συνέχεια ακολουθούσε επεξεργασία των δειγμάτων αυτών, στο εργαστήριο με τις ακόλουθες μετρήσεις:

- ΡΗ
- Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC)
- Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)
- Ολικό Άζωτο (N)
- Θολότητα-θολερότητα
- Βιολογικά Απαιτούμενου Οξυγόνο (BOD)

3.1.1 Μέθοδος μέτρησης ρΗ

Ο **ρΗ** αποτελεί ένα εύχρηστο τρόπο έκφρασης της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου πιο σωστά των κατιόντων υδροξωνίου (H_3O^+) σε ένα υδατικό διάλυμα. Πιο συγκεκριμένα, με "ρΗ" συμβολίζεται ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδροξωνίου στο διάλυμα. Δηλαδή:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

Η **κλίμακα ρΗ** κυμαίνεται από 0 έως 14 και χρησιμοποιείται ευρέως για τον προσδιορισμό της οξύτητας ενός διαλύματος. Διαλύματα για τα οποία η τιμή του ρΗ είναι μικρότερη από 7 χαρακτηρίζονται ως όξινα, ενώ διαλύματα με ρΗ μεγαλύτερο από 7 χαρακτηρίζονται αλκαλικά. Τέλος, τα διαλύματα με ρΗ=7 ονομάζονται ουδέτερα.

Ακριβέστερος είναι ο ορισμός που δίνεται με χρήση της ενεργότητας, a_{H^+} , των ιόντων H^+ :

$$\text{pH} = -\log(a_{\text{H}^+}) = \log\left(\frac{1}{a_{\text{H}^+}}\right)$$

Η ενεργότητα είναι πάντα μικρότερη από τη συγκέντρωση και ορίζεται ως η συγκέντρωση (σε mol/L) ενός ιόντος πολλαπλασιασμένη με το συντελεστή ενεργότητας.

Το **pH** αποτελεί μέτρο οξύτητας ή αλκαλικότητας μιας χημικής ουσίας, εξ ου και αναφέρεται ως **ενεργός οξύτητα**.

Η έννοια και η κλίμακα του pH επινοήθηκε το 1909 από το Δανό χημικό Σέρενσεν (Søren Peter Lauritz Sørensen), επικεφαλής του χημικού τμήματος του εργαστηρίου Carlsberg (18).

Υλικά και όργανα:

Η μέτρηση του pH των δειγμάτων μας πραγματοποιήθηκε με πεχάμετρο της εταιρείας CRISON pH METER GLP21.



Εικόνα 5. Πεχάμετρο CRISON (pH Meter GLP21)

Εκτέλεση:;

Η διαδικασία που ακολουθούσε ήταν να καθαρίζονται πρώτα οι πόλοι του πεχάμετρου με αποστειρωμένο νερό και έπειτα να βυθίζονται σε ένα

ποτήρι που περιείχε μέρος του δείγματος των λυμάτων. Το πεχάμετρο υπολόγιζε την τιμή του pH.

3.1.2 Μέθοδος μέτρησης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC)

Αγωγιμότητα G είναι το ρεύμα I προς την διαφορά δυναμικού E που εφαρμόζεται σε δυο ηλεκτρόδια μέσα σε ένα διάλυμα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα διαλύματος είναι μια μαθηματική έκφραση της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα.

Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, το σθένος τους, την κινητικότητά τους, τη συγκέντρωσή τους, τη θερμοκρασία και το ιξώδες του διαλύματος, καθώς και το μέγεθος της διαφοράς δυναμικού, με την οποία γίνεται η μέτρηση.

Έτσι λοιπόν, όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των αλάτων τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα. Τα διαλύματα των περισσότερων ανόργανων οξέων και βάσεων και όλων των αλάτων είναι σχετικά καλοί αγωγοί του ρεύματος.

Αντίθετα, τα μόρια των οργανικών ενώσεων που δεν διίστανται όταν διαλυθούν στο νερό, άγουν ελάχιστα ή καθόλου το ηλεκτρικό ρεύμα.

Σε ένα υδατικό διάλυμα, η αγωγιμότητα είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο υγρό (19).

Ανάλογα λοιπόν με την τιμή της ηλεκτρικής του αγωγιμότητας, ένα υλικό χαρακτηρίζεται ως αγωγός, μονωτής ή ημιαγωγός.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα δίνεται αριθμητικά εάν διαιρέσουμε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει ένα αντικείμενο (σε amperes) προς την διαφορά δυναμικού/τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του (σε volts). Πρόκειται δηλαδή για ένα μέγεθος αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης. Ο αντίστοιχος τύπος είναι:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{V}$$

όπου:

G: Η αγωγιμότητα που εμφανίζει το αντικείμενο (σε Siemens)

R: Η αντίσταση που εμφανίζει το αντικείμενο (σε ohms)

V: Η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα του αντικειμένου (σε volts).

I: Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το αντικείμενο (σε amperes)

Υλικά και Όργανα:

Η μέτρηση της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας των δειγμάτων μας πραγματοποιήθηκε με αγωγιμόμετρο.



Εικόνα 6. Αγωγιμόμετρο CRISON (Conductivity Meter S25).

Εκτέλεση:

Σε αυτή εδώ την φάση πραγματοποιείται καθαρισμός των πόλων με αποστειρωμένο νερό και έπειτα βύθιση τους, σε ένα ποτήρι που περιείχε το δείγμα. Το αγωγιμόμετρο μας έδινε μια τιμή η οποία έπρεπε να πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή f (συντελεστής διόρθωσης λόγω θερμοκρασίας), ώστε να πάρουμε την κανονική αγωγιμότητα (6).

3.3 Μέθοδος μέτρησης Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD)

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, COD) είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη χημική οξειδωση των αποβλήτων.

Το COD είναι μία μετρήσιμη ποσότητα η οποία δεν εξαρτάται ούτε από την ικανότητα βιοαποικοδόμησης των μικροοργανισμών ούτε από την γνώση της χημικής σύστασης και δομής των μορίων που υπάρχουν σε ένα απόβλητο/δείγμα.

Το COD χρησιμοποιείται σαν μέτρηση της μόλυνσης των φυσικών νερών και των υγρών αποβλήτων και για να εκτιμηθεί η δύναμη του απόβλητου όπως τα οικιακά και τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα. Το COD έχει επιπλέον εφαρμογές σε επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας, παραγωγής χημικών, περιβαλλοντικές μελέτες κλπ.

Υλικά και Όργανα:

Ο προσδιορισμός του COD ορίσθηκε με την χρήση προϊόντων της εταιρείας HACH LANGE τεστ σε φιαλίδια (COD, τεστ σε φιαλίδια 50 - 300 mg/l O₂, Αριθμός προϊόντος: LCK 614 και 15 - 50 mg/l O₂).



Εικόνα 7. Έτοιμα kit φυσικοχημικών αναλύσεων LCK 614 COD

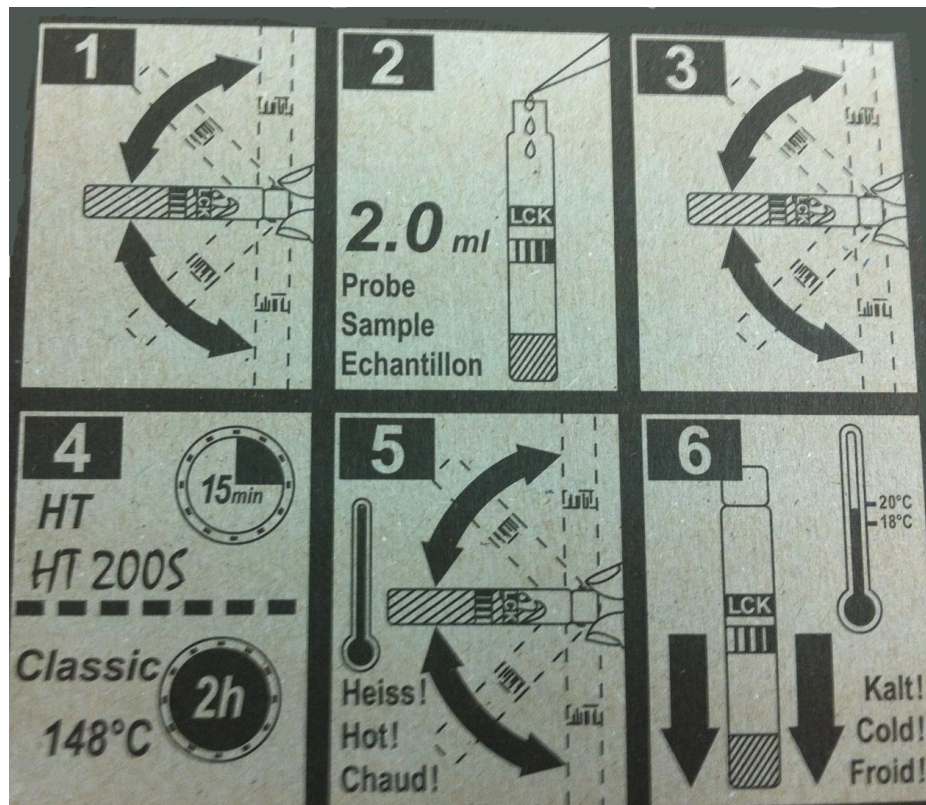


Εικόνα 8. Έτοιμα κιτ φυσικοχημικών αναλύσεων LCK 314 COD

Εκτέλεση:

Σύμφωνα με τις οδηγίες της εταιρείας παρασκευής της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε, ο υπολογισμός του COD έγινε με τον εξής τρόπο:

1. Στο 1^ο στάδιο, ανακινούμε το φιαλίδιο με το αντιδραστήριο υγρό.
2. Έπειτα προσθέτουμε 2 ml του δείγματος μας.
3. Ανακινούμε το φιαλίδιο ξανά.
4. Τοποθετούμε το φιαλίδιο σε θερμικό αντιδραστήρα για 2 ώρες στους 148 °C
5. Ανακινούμε ξανά το φιαλίδιο στην θερμοκρασία που είναι όταν βγαίνει από τον θερμικό αντιδραστήρα.
6. Στην συνέχεια πετυχαίνουμε πτώση της θερμοκρασίας στους 18 – 20 °C.
7. Τέλος μετράμε την ποσότητα COD (mg/l) με την χρήση του φασματομετρητή.



Εικόνα 9. Πειραματική διαδικασία υπολογισμού COD, βάση οδηγιών της Hach Lange.

3.1.4 Μέθοδος μέτρησης Ολικού Αζώτου (N)

Το **άζωτο** (Nitrogenium) είναι χημικό στοιχείο που ανήκει στα αμέταλλα, έχει σύμβολο το N και ατομικό αριθμό 7. Στη συνηθισμένη στοιχειακή του μορφή και κάτω από Κανονικές Συνθήκες είναι διατομικό αέριο, άχρωμο, άοσμο, άγευστο και σχετικά αδρανές στις Κ.Σ.

Η λέξη **άζωτο** προέρχεται ετυμολογικά από τις λέξεις «α-» (στερητικό) και «ζωή». Έχει την έννοια ότι δεν υποστηρίζει τη ζωή, όπως το οξυγόνο.

Είναι το πιο διαδεδομένο χημικό στοιχείο ατμοσφαιρικού αέρα της Γης, αποτελώντας το 78% του όγκου του και απαραίτητο συστατικό όλων των ζωντανών οργανισμών. Θεωρείται το πέμπτο πιο διαδεδομένο συστατικό του σύμπαντος.

Ελεύθερο άζωτο (**«διάζωτο»**, εφόσον αποτελείται από διατομικά μόρια) έχει βρεθεί σε μετεωρίτες, στον ήλιο και άλλα άστρα και νεφελώματα, ενώ είναι βασικό συστατικό της ατμόσφαιρας του τιτάνα. Ενωμένο βρίσκεται

σε όλους τους ζωντανούς ιστούς με τη μορφή πρωτεϊνών, αμινοξέων και άλλων χημικών ενώσεων. Επίσης, στην ατμόσφαιρα, στο νερό της βροχής και των θαλασσών, στο έδαφος και στα περιττώματα των ζώων με τη μορφή οξειδίων, αμμωνίας, νιτρικού οξέος, νιτρικών και αμμωνιακών αλάτων.

Σχηματίζει πολλές σημαντικές βιομηχανικά, βιοχημικά χημικές ενώσεις, όπως (εκτός από τις αναφερόμενες παραπάνω) νιτροενώσεις, άμινες, αμινοξέα, νιτρίλια, νουκλεϊκά οξέα, καθώς και πλήθος άλλων ανόργανων και οργανικών ενώσεων. Η νανοτεχνολογία ερευνά εφαρμογές σε διάφορες τεχνητές αλλοτροπικές μορφές και χημικές ενώσεις μοριακού μεγέθους της τάξης των νανομέτρων.

Όσον αφορά τα απόβλητα, το Άζωτο είναι βασικό στοιχείο για την σύνθεση των πρωτεϊνών και οι γνώσεις για την μορφή με την οποία βρίσκεται στα απόβλητα καθώς επίσης και οι συγκεντρώσεις του σε οποιαδήποτε μορφή, είναι απαραίτητες για την διαδικασία αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των βιολογικών διεργασιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

Το ολικό άζωτο (Total Nitrogen, TN) κατανέμεται σε ανόργανο άζωτο (Total Inorganic Nitrogen, TIN) το οποίο περιλαμβάνει τα νιτρώδη (NO_2^-) και τα νιτρικά (NO_3^-) άλατα, και σε οργανικό άζωτο (Total Organic Nitrogen, TON). Στο οργανικό άζωτο ανήκει η αμμωνία στην αέρια μορφή (NH_3) ή στην ιοντική της μορφή (NH_4^+), η ουρία (NH_2CONH_2) και το άζωτο των πρωτεϊνών. Το αμμωνιακό και το οργανικό άζωτο αποτελούν το άζωτο Kjeldahl (TKN).

Υλικά και Μέθοδος:

Η μέτρηση του Αζώτου πραγματοποιήθηκε με χρήση προϊόντων της εταιρείας HACH LANGE τεστ σε φιαλίδια (LATON Ολικό Άζωτο, τεστ σε φιαλίδια 5-40 mg/l TNb, Αριθμός προϊόντος: LCK238).

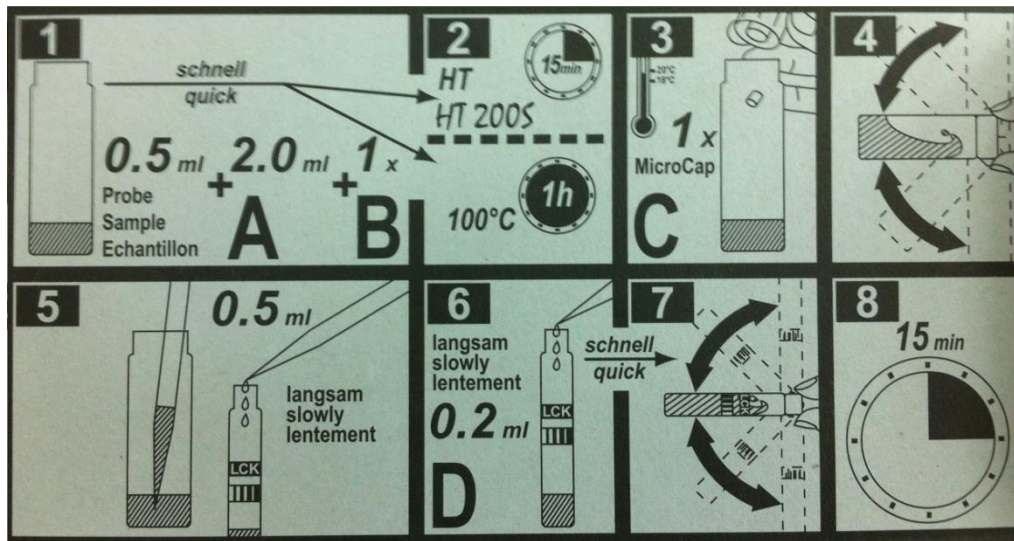


Εικόνα 10. Έτοιμα κιτ φυσικοχημικών αναλύσεων LCK238 LATON Ολικό Άζωτο

Εκτέλεση:

Σύμφωνα με τις οδηγίες της εταιρείας (HACH LANGE) παρασκευής της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε, ο υπολογισμός του Ολικού Αζώτου έγινε με τον εξής τρόπο:

1. Σε κενό φιαλίδιο προσθέτουμε 0,5 ml του δείγματος μας, 2 ml του αντιδραστηρίου A και 1 χαπάκι του αντιδραστηρίου B.
2. Τοποθετούμε το φιαλίδιο σε θερμικό αντιδραστήρα για 1 ώρα στους 100 °C.
3. Αφήνουμε την θερμοκρασία του φιαλιδίου να πέσει στους 18 – 20 °C και προσθέτουμε ένα χαπάκι του αντιδραστηρίου C.
4. Ανακινούμε καλά το φιαλίδιο με το μείγμα.
5. Προσθέτουμε στο φιαλίδιο μέτρησης του Αζώτου 0,5 ml από το μείγμα που μόλις δημιουργήσαμε.
6. Προσθέτουμε επίσης 0,2 ml από το αντιδραστήριο D.
7. Ανακινούμε ξανά.
8. Τέλος περιμένουμε για 15 λεπτά και στην συνέχεια μετράμε το ολικό Άζωτο (mg/l) με την χρήση φασματομετρητή Hach Lange DR 2800.



Εικόνα 11. Πειραματική διαδικασία υπολογισμού Αζώτου, βάση οδηγιών της Hach Lange.



Εικόνα 12. Φασμαφωτόμετρο Hach Lange DR 280



Εικόνα 13. Θερμικός Αντιδραστήρας WTW CR 3200

3.1.5 Μέθοδος μέτρησης Θολρότητας

Η Θολότητα στα υγρά εμφανίζεται από τα αιωρούμενα και αδιάλυτα σωματίδια. Η μονάδα μέτρησης καθιερώθηκε από το ISO Standard και είναι: FNU (Formazine Nephelometric Unit) και από το EPA: NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Η σχέση FTU και NTU είναι η εξής: 1 FTU = 1 NTU.

Στην επεξεργασία νερού, η παρακολούθηση του επιπέδου της θολότητας καθορίζει την σωστή φίλτραυση στα διάφορα στάδια της διαδικασίας. Στο πόσιμο νερό, η μέτρηση της θολότητας είναι μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για τον καθορισμό της ποιότητας του νερού, καθώς οι απαιτήσεις για πολύ χαμηλά επίπεδα θολότητας καθιστούν απαραίτητη την μέτρησή της με ηλεκτρονικά όργανα. Η μέτρηση της θολρότητας βασίζεται στην σύγκριση διαθλασιμότητας ή απορρόφησης φωτός σε σχέση μ' ένα πρότυπο διάλυμα (20).



Εικόνα 14. Θολερόμετρο Hach 2100Q/5

3.1.6 Μέθοδος μέτρησης Βιολογικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (BOD)

Η βιοχημική απαίτηση οξυγόνου ή το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand, BOD) είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από μικροοργανισμούς προκειμένου να αποικοδομήσουν βιολογικά τα απόβλητα και ενδιαφέρει η μέτρηση BOD-πέντε ημερών ή BOD₅. Το BOD συνήθως εκφράζεται σε χιλιοστογραμμάρια απαιτούμενου οξυγόνου ανά λίτρο αποβλήτου (mg/L) ή σε ισοδύναμες μονάδες: γραμμάρια ανά κυβικό μέτρο (g/m³). Η βιοχημική οξείδωση είναι βραδεία. Σε χρόνο 20 ημερών έχει οξειδωθεί μόλις το 95-99 % της οργανικής ύλης των λυμάτων. Δεδομένου ότι ο χρόνος αυτός είναι πολύ μεγάλος, συνήθως μετράται το BOD των πρώτων 5 ημερών (BOD₅), όπου έχει διασπασθεί το 70- 80 % των οργανικών ενώσεων.

Η μεγάλη αξία του BOD βρίσκεται στο ότι μετρά κατευθείαν το κυριότερο ρυπαντικό αποτέλεσμα της οργανικής ύλης δηλαδή, την κατανάλωση διαλυμένου οξυγόνου που πραγματοποιούν οι μικροοργανισμοί κατά την οξείδωση τους.

Το BOD είναι παραδοσιακά πλέον η σημαντικότερη παράμετρος μέτρησης της ισχύος της οργανικής ρύπανσης το BOD σε μία μονάδα

επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι ένας από τους δείκτες-κλειδιά προκειμένου να εκτιμηθεί η απόδοση της επεξεργασίας.

Υλικά και Όργανα:

- Ογκομετρικοί κύλινδροι των 250 ml
- Ογκομετρικός κύλινδρος των 164 ml
- Συσκευή μέτρησης BOD

Αντιδραστήρια:

- Nitrification Inhibitor (5g/L C₄H₈N₂S).
- Παστίλιες καθαρού NaOH – Sodium hydroxide.

Εκτέλεση:

Στις φιάλες της συσκευής BOD προστίθενται 250 ml από το δείγμα. Σε όλες τις φιάλες προστίθενται σταγόνες Nitrification Inhibitor, έπειτα τοποθετούνται οι ειδικές θήκες και προστίθενται, για κάθε δείγμα, 4-5 παστίλιες NaOH. Στη συνέχεια βιδώνονται οι μετρητές πάνω στα μπουκάλια και μετά μηδενίζεται η πίεση πατώντας ταυτόχρονα το S και M μέχρι η τιμή της ένδειξης να γίνει μηδέν. Έπειτα οι φιάλες τοποθετούνται στο ψυγείο-μέτρησης BOD και μετά από 5 ημέρες με το κουμπί S προκύπτει η τιμή του BOD για την 5η ημέρα. Η τελική τιμή του BOD₅ προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της μέτρησης με τον Factor. Η τιμή που προκύπτει είναι σε mg/L.

Όγκος (mL)	BOD (mg/L)	Nitrif. Inh (σταγόνες)	Factor
432	0-40	9	1
365	0-80	7	2
250	0-200	5	5
164	0-400	3	10
97	0-800	2	20
43.5	0-2000	1	50
22.7	0-4000	1	100

Πίνακας: Οι τιμές του BOD και οι αντίστοιχοι όγκοι των δειγμάτων, οι ποσότητες Nitrification Inhibitor και οι συντελεστές (Factor) πολλαπλασιασμού.



Εικόνα 15. Φιάλη και Συσκευή μέτρησης BOD (Oxitor S12,WTW)

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο Αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι. Κρήτης στον τεχνητό υγροβιότοπο. Είχε διάρκεια περίπου 1½ μήνα (26/10/2015 έως 07/12/2015).

Κατά την διάρκεια της περιόδου αυτής, πραγματοποιούταν συλλογή δειγμάτων σε πλαστικά δοχεία του 1 lt, μεταξύ εισόδου-εξόδου του τεχνητού υγροβιότοπου ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Η χρησιμότητα των δειγμάτων αυτών πραγματοποιήθηκαν με τις παραπάνω μεθόδους ώστε να πάρουμε τα κατάλληλα αποτελέσματα για την ανάλυση που ακολουθεί παρακάτω.

Το σύστημα του τεχνητού υγροβιότοπου αποτελείται:

1. Είσοδο λυμάτων που έρχονται από το κέντρο βιολογικής επεξεργασίας (βιολογικός Ηρακλείου).

2. Υγροβιότοπο υποεπιφανειακής κατακόρυφης ροής με αλόφυτα και χαλίκια.
3. Δεξαμενή απορροής.

Κεφάλαιο 4^ο

4.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4.1.1 Εισαγωγή

Στόχος της μελέτης αυτής ήταν η επεξεργασία των αστικών λυμάτων μέσω τεσσάρων τεχνητών υδροβιότοπων κατακόρυφης ροής, οι οποίοι εμπεριέχουν οι τρεις αλόφυτα και ο ένας σκέτος με χαλίκια και άμμο.

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί έχει αποδειχθεί ότι η χρήση ορισμένων αλόφυτων σε τεχνητούς υδροβιότοπους κατακόρυφης ροής έναντι οριζόντιας, μειώνει την αλατότητα κατά την εκροή σε ποσοστό 20-60%.

Ο σχεδιασμός του πειραματικού τεχνητού υδροβιότοπου κατακόρυφης ροής έγινε με βάση τις σχεδιαστικές προδιαγραφές που υπάρχουν στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης και στις ΗΠΑ.

Οι δεξαμενές στα συστήματα αυτά έχουν μέσο βάθος 0.90 με 1.20m. Το υλικό πλήρωσης αποτελείται κυρίως από άμμο και χαλίκια διαφόρων διαμέτρων μειούμενης κοκκομετρίας από τον πυθμένα προς την επιφάνεια. Για τη λειτουργία αυτού του συστήματος οι λεκάνες κατακλύζονται περιοδικά με μεγάλες παροχές λυμάτων και η ροή γίνεται κατά την κατακόρυφη διεύθυνση.

Η εκροή των συστημάτων θα πρέπει να έχει βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά όχι μόνο ως προς τις περιβαλλοντικές παραμέτρους (COD, άζωτο, φώσφορο κλπ) αλλά και ως προς τα αγρονομικά χαρακτηριστικά (Ηλεκτρική αγωγιμότητα, νάτριο, χλωριόντα κλπ).

Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους τεχνητού υδροβιότοπου έναντι των υπολοίπων είναι η απαίτηση μικρότερης έκτασης για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων και η διατήρηση αερόβιων συνθηκών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, εξαιτίας της περιοδικής ανάπαυσης και ως εκ τούτου και περιοδικής ξήρανσης κάθε λεκάνης.

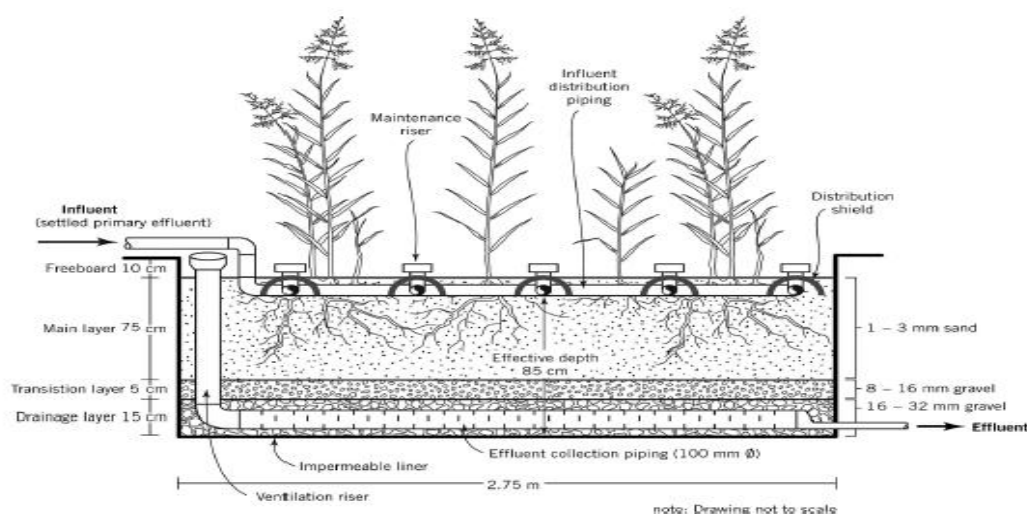
Για το σχεδιασμό ενός πειραματικού συστήματος χρειάζεται να καθοριστούν διάφορα κρίσιμα χαρακτηριστικά όπως: Δεξαμενή, Υλικά πλήρωσης, Σύστημα εισροής, Σύστημα εκροής, Φυτά κάλυψης (21).

4.1.2 Δεξαμενή: Οι τεχνητοί υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής έχουν μέσο βάθος 0.90 με 1.20m. Επομένως, η δεξαμενή που θα επιλεγεί θα πρέπει να έχει ένα αντίστοιχο ύψος. Από την άλλη μεριά λόγω της κατακόρυφης ροής δεν υπάρχει ιδιαίτερος περιορισμός στη έκταση της επιφάνειας.

Στην εργασία αυτή επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν παλετοδεξαμενές διαστάσεων 1m (ύψος) x 1m (πλάτος) x1 m (μήκος). Οι δεξαμενές αυτές α) πληρούν τα κριτήρια για την προσομοίωση των συνθηκών που επικρατούν σε πραγματικής κλίμακας τεχνητούς υγροβιότοπους κατακόρυφης ροής, β) έχουν ικανοποιητικές διαστάσεις επιφάνειας, γ) είναι εξαιρετικά ανθεκτικές και δ) είναι ευρέως χρησιμοποιούμενες από πολλές ερευνητικές ομάδες για την κατασκευή πειραματικών τεχνητών υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής.

4.1.3 Υλικά πλήρωσης: Το υλικό πλήρωσης αποτελείται κυρίως από άμμο και χαλίκια διαφόρων διαμέτρων μειούμενης κοκκομετρίας από τον πυθμένα προς την επιφάνεια. Ο υγροβιότοπος αποτελείται συνήθως από 3 ή 4 διαφορετικά στρώματα. Το χονδρόκοκκο χαλίκι στο πυθμένα είναι 10-20cm, στη συνέχεια υπάρχει ένα στρώμα 5-20cm από μεσαίου μεγέθους χαλίκι και το κυρίως υλικό πλήρωσης (40-60cm) αποτελείται από άμμο ή άμμο και λεπτόκοκκο χαλίκι.

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για τον σχεδιασμό τεχνητών υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής θα πρέπει το κύριο στρώμα της άμμου να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά $d_{10}=0.25-1.2\text{mm}$ και $d_{60}=0.1-4\text{mm}$ με συντελεστή ανομοιομορφίας ($U=d_{60}/d_{10}$) μικρότερο από 3.5.

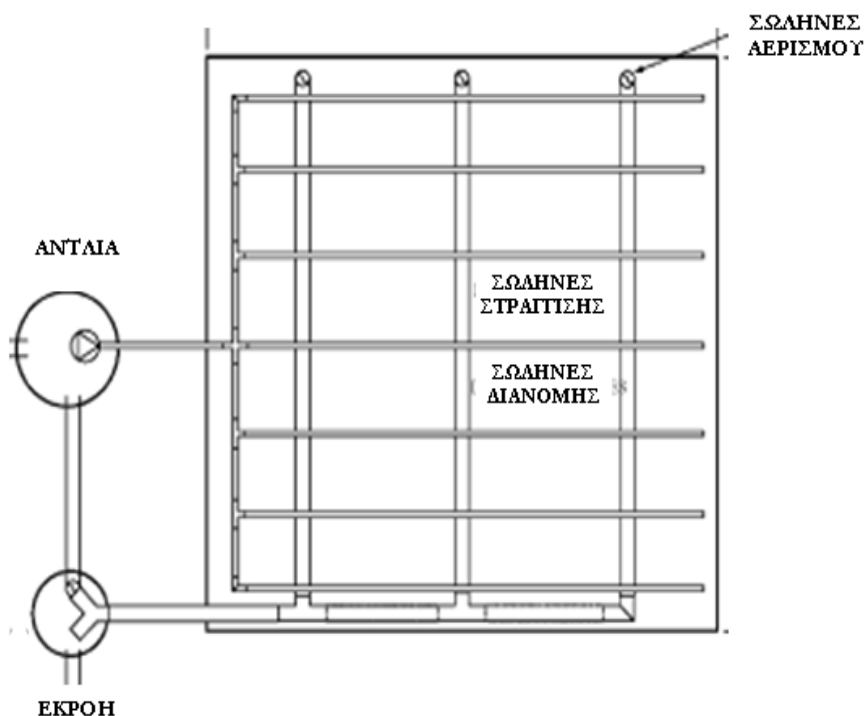


Εικόνα 16. Κάθετη τομή τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής (Πηγή: Nivala et al., 2013, (22))

Στην εργασία αυτή, αποφασίστηκε να σχεδιαστούν οι τεχνητοί υγροβιότοποι με 3 στρώματα χαλικιών.

- Άμμος 1-3mm,
- Μέσο χαλίκι 8-16mm,
- Κροκάλες 16-32mm

4.1.4 Σύστημα εισροής-εκροής: Οι τεχνητοί υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής όπως λέει και το όνομα τους χαρακτηρίζονται από την κατακόρυφη ροή των προς επεξεργασία λυμάτων μέσα από τις διαφορετικές στρώσεις των λεκανών τους. Η λειτουργία τους προσομοιάζει αρκετά με το περιοδικό πότισμα μιας γλάστρας στην οποία το νερό αρχικά πλημμυρίζει τη λεκάνη και εν συνεχεία αφήνεται να στραγγίσει. Η τροφοδοσία των συστημάτων γίνεται από ένα δίκτυο διανομής όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Δίκτυο διανομής και στράγγισης λυμάτων σε τεχνητό υγροβιότοπο κατακόρυφης ροής.

Η στράγγιση των λυμάτων από τους τεχνητούς υγροβιότοπους γίνεται με διάτρητους σωλήνες στον πυθμένα της δεξαμενής (Σχήμα 1). Οι σωλήνες αυτοί λειτουργούν και ως φυσικό σύστημα αερισμού του συστήματος. Για την προστασία των σωλήνων στο πυθμένα τοποθετείται χονδρό χαλίκι, (21.)

4.1.5 Φυτά κάλυψης: Τα φυτά που χρησιμοποιήθηκαν στους υγροβιότοπους επεξεργασίας ήταν α) καλάμια (*Phragmites australis*), β) αλιμιά (*Atriplex halimus*) και γ) βούρλα (*Juncus acutus*). Επίσης σε ένα τέταρτο υγροβιότοπο δεν τοποθετήθηκαν καθόλου φυτά κάλυψης.

4.1.6 Κατασκευή: Στο παρακάτω φωτογραφικό υλικό παρουσιάζεται η κατασκευή του τεχνητού υγροβιότοπου με βάση το σχεδιασμό που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (21).



Εικόνα 17. Δεξαμενή πειραματικού τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής



Εικόνα 18. Υλικά πλήρωσης τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής



Εικόνα 19. Δεξαμενή αποθήκευσης με αντλία



Εικόνα 20. Διάτρητοι σωλήνες διανομής των λυμάτων στον υδροβιότοπο



Εικόνα 21. Σύστημα εκροής τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής (Σωλήνες $\Phi 32\text{mm}$ (διάτρητοι στον πυθμένα της δεξαμενής) οι οποίοι ξεκινούν πάνω από την επιφάνεια του συστήματος για φυσικό αερισμό του συστήματος).



Εικόνα 22. Τελική άποψη της πειραματικής διάταξης

Κεφάλαιο 5^ο

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

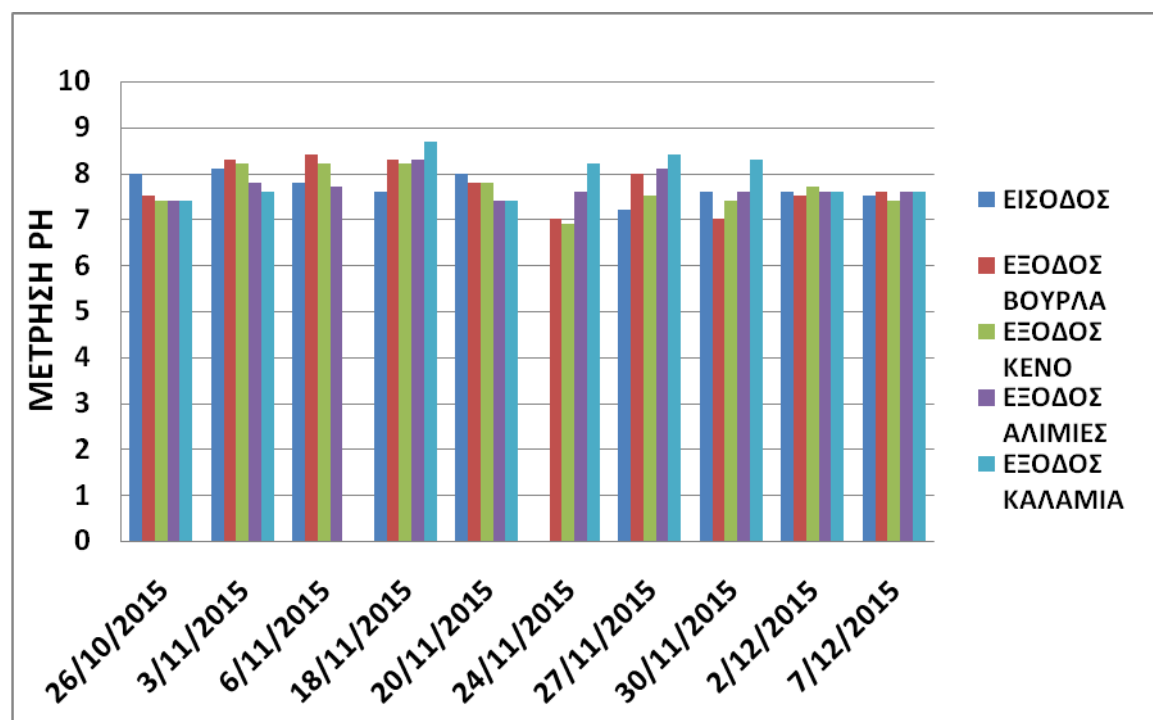
5.1.1 Εισαγωγή

Στα παρακάτω διαγράμματα δίνεται η γραφική παράσταση των μετρήσεων (PH-EC-COD-TN-ΘΟΛΟΤΗΤΑΣ-BOD), εισόδου και εξόδων (Βούρλα, Κενό, Αλιμιά, Καλάμια) αντίστοιχα. Ουσιαστικά στα παρακάτω διαγράμματα έχουμε μια είσοδο και 4 εξόδους.

5.1.2 Αποτελέσματα μέτρησης pH

Στο διάγραμμα 1 δίνεται η γραφική παράσταση των μετρήσεων pH εισόδου και εξόδων (Βούρλα, Κενό, Αλιμιά, Καλάμια) αντίστοιχα.

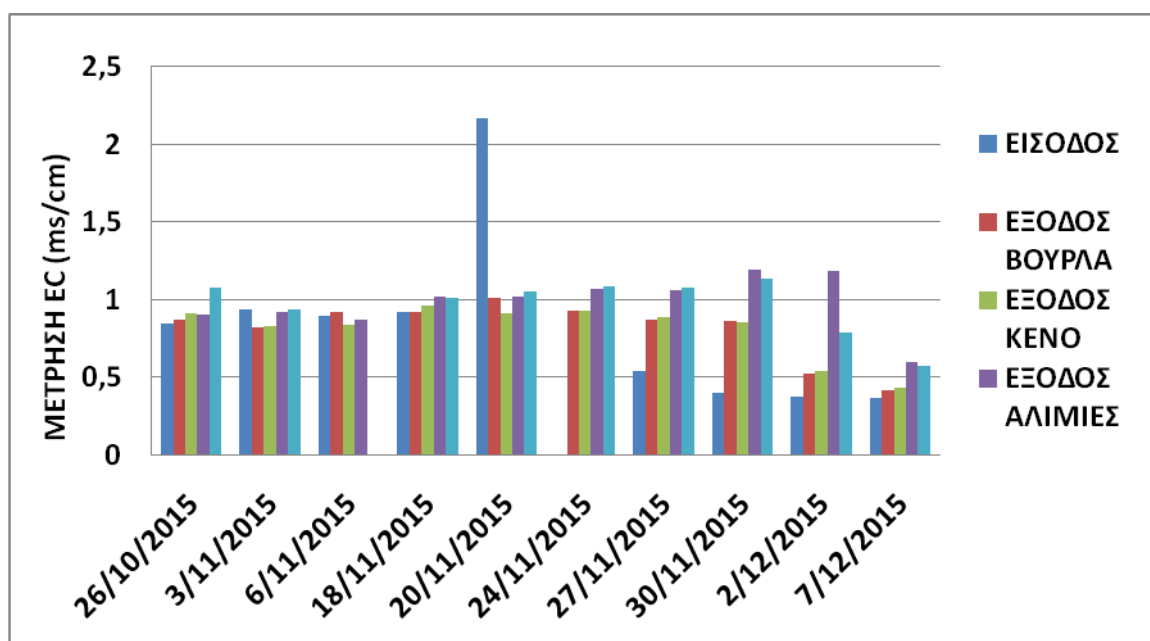
Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από την παράσταση η μέση τιμή του pH στην είσοδο και έξοδο του υγροβιότοπου δεν έχουν μεγάλη απόκλιση και κυμαίνεται από 7.7 έως 7.9.



Διάγραμμα 1. Μεταβολή του pH κατά την διάρκεια λειτουργίας του πειράματος

5.1.3 Αποτελέσματα μέτρησης Ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC)

Παρατηρώντας το παρακάτω διάγραμμα με τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, μπορούμε να δούμε ότι η μέση τιμή δεν παρουσιάζει επίσης μεγάλη απόκλιση. Η αγωγιμότητα στην είσοδο και στην έξοδο των υγροβιότοπων ήταν 0.8-1.0 mS/cm. Παρατηρείται μεγαλύτερη απόκλιση στην μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην είσοδο (ανεπεξεργαστα λύματα).

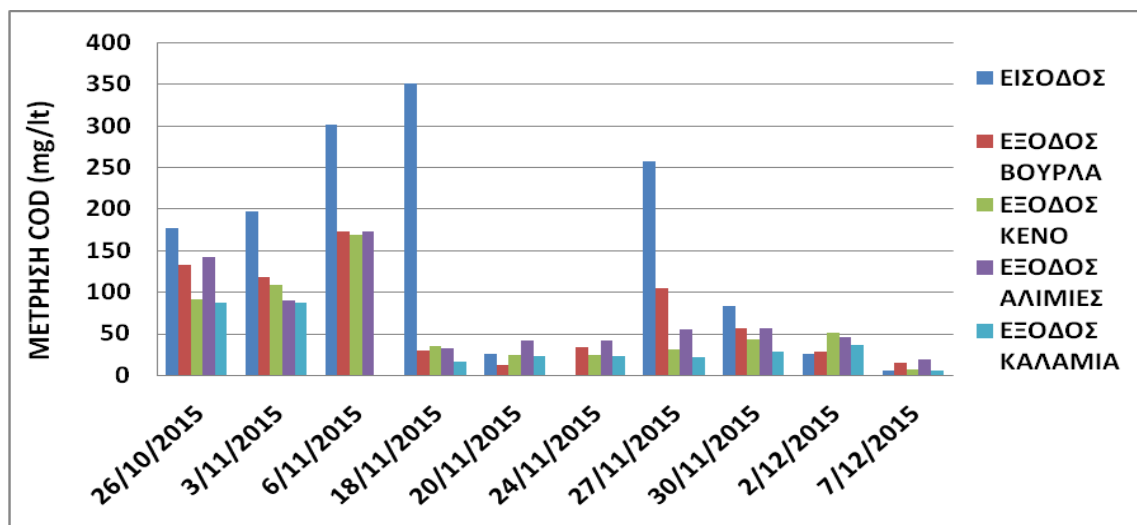


Διάγραμμα 2. Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά την διάρκεια λειτουργίας του πειράματος

5.1.4 Αποτελέσματα μέτρησης Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD)

Στον παρακάτω πίνακα έχουμε τις τιμές του COD. Παρουσιάζεται μεγάλη απόκλιση στην μέση τιμή μεταξύ της εισόδου με τις εξόδους.

Επιπλέον παρουσιάζεται σημαντική διαφορά της μέσης τιμής μεταξύ των εξόδων βούρλα-αλιμιά σε σχέση με την έξοδο κενό-καλάμια. Μεγαλύτερη απόδοση στην απομάκρυνση COD από τα λύματα παρουσίασε ο υγροβιότοπος με τα καλάμια.

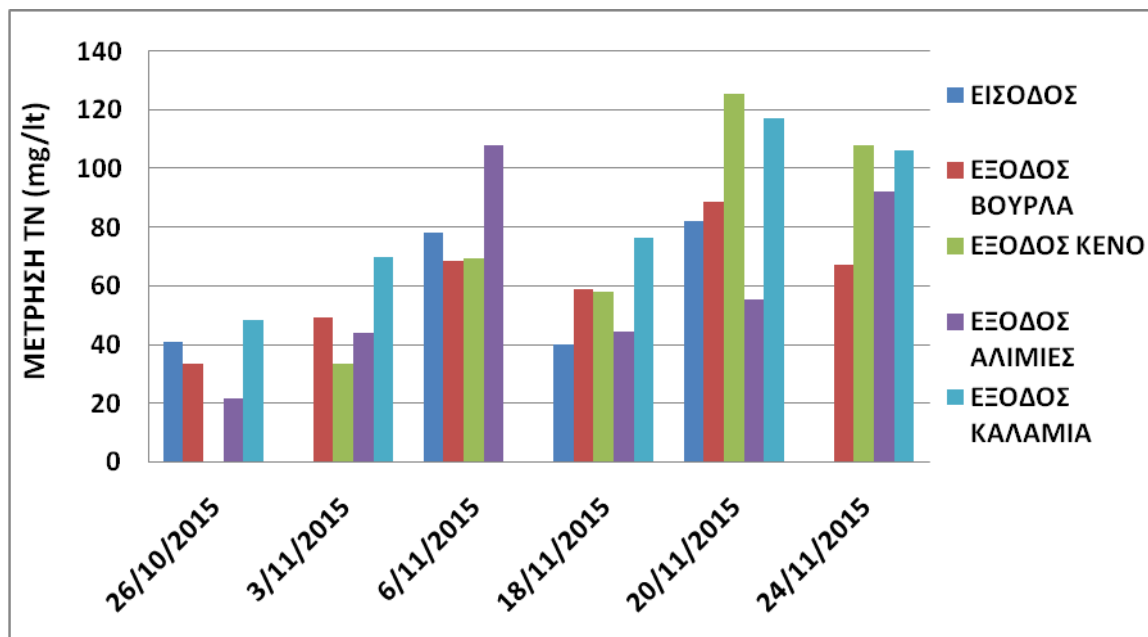


Διάγραμμα 3. Μεταβολή του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) κατά την διάρκεια λειτουργίας του πειράματος

5.1.5 Αποτελέσματα μέτρησης Ολικού Αζώτου (TN)

Στο διάγραμμα 4 δίνεται η γραφική παράσταση των μετρήσεων ολικού αζώτου εσόδου και εξόδων (Βούρλα, Κενό, Αλιμιές, Καλάμια) αντίστοιχα .

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από την παράσταση υπάρχει διαφορά των μέσων τιμών μεταξύ εισόδου-έξοδος βούρλα και έξοδος αλιμιά με τις εξόδους κενό και καλάμια.

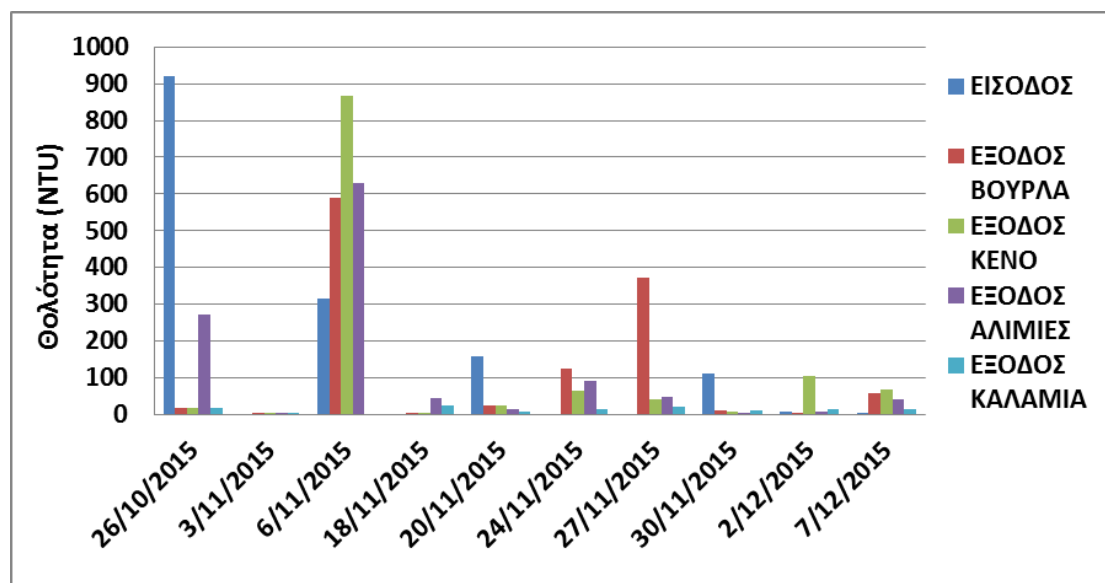


Διάγραμμα 4. Μεταβολή του ολικού αζώτου κατά την διάρκεια λειτουργίας του πειράματος

5.1.6 Αποτελέσματα μέτρησης θολότητας

Όσο αναφορά την θολότητα παρατηρείται διαφορά στην μέση τιμή μεταξύ εισόδου και εξόδων με προεξάρχουσα την μέση τιμή της εξόδου καλάμια.

Η ελάχιστη τιμή είναι στην έξοδο κενό ενώ η μέγιστη στην είσοδο.

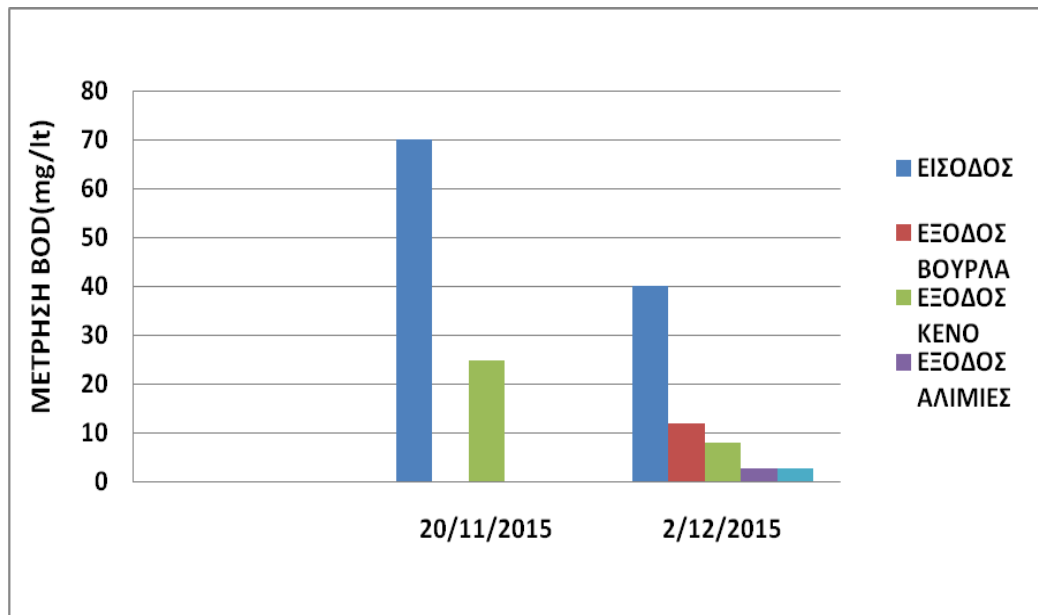


Διάγραμμα 5. Μεταβολή της θολότητας κατά την διάρκεια λειτουργίας του πειράματος

5.1.7 Αποτελέσματα μέτρησης Βιολογικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (BOD)

Στο τελευταίο διάγραμμα παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ της μέσης τιμής της εισόδου με την μέση τιμή των εξόδων .

Η ελάχιστη τιμή είναι στην έξοδο βούρλα-αλιμιά και καλάμια, και η μέγιστη στην είσοδο.



Διάγραμμα 6. Μεταβολή του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου κατά την διάρκεια λειτουργίας του πειράματος

5.1.8 Συνολική Σύγκριση της απόδοσης των συστημάτων

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται συνολικά η απόδοση των τεχνητών υγροβιότοπων στην επεξεργασία των αστικών λυμάτων. Δεν παρατηρούνται διαφορές στη μέση τιμή και στις τιμές της τυπικής απόκλισης του pH. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ελάχιστης και μέγιστης τιμής του. Όσον αφορά την Ηλεκτρική Αγωγιμότητα επίσης δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές, όπως ισχύει και με τις τιμές του pH. Στο Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για ασφαλή στατιστική ανάλυση. Παρατηρείται ωστόσο μεγάλη μείωση της συγκέντρωσης του BOD στην έξοδο των υγροβιότοπων σε σχέση με την είσοδο. Στο Ολικό Άζωτο δεν παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης του αλλά αντίθετα αύξηση. Αυτό πι Το ίδιο παρατηρείται και με το Βιολογικά Απαιτούμενο Οξυγόνο, ενώ τέλος αξιοσημείωτο είναι να αναφερθεί η διαφορά των τιμών που αφορά την Θολερότητα. Η διαφορά των τιμών κατά την είσοδο αλλά και κατά την Έξοδο Βούρλα-Κενό-Αλιμιά είναι σημαντικό να επισημανθούν.

Πίνακας 1. Συνολική απόδοση τεχνητών υγροβιότοπων

Παράμετρος	Είσοδος	Έξοδος			
		Βούρλα	Κενό	Αλιμιά	Καλάμια
<i>pH</i>	7.7 ± 0.3 (7.2-8.1)	7.7 ± 0.5 (7.0-8.4)	7.7 ± 0.4 (6.9-8.2)	7.7 ± 0.3 (7.4-8.3)	7.9 ± 0.5 (7.4-8.7)
<i>EC (mS/cm)</i>	0.8 ± 0.3 (0.4-2.2)	0.8 ± 0.8 (0.4-1.0)	0.8 ± 0.2 (0.4-1.0)	1.0 ± 0.1 (0.6-1.2)	1.0 ± 0.2 (0.6-1.1)
<i>COD (mg/L)</i>	158 ± 122 (6-351)	70 ± 54 (12-172)	58 ± 49 (7-169)	70 ± 46 (19-173)	36 ± 30 (5-87)
<i>TN (mg/L)</i>	60 ± 20 (40-82)	61 ± 17 (33-89)	59 ± 34 (33-125)	61 ± 30 (22-108)	84 ± 25 (48-117)
<i>BOD (mg/L)</i>	55 ± 15 (40-70)	6 ± 6 (0-12)	17 ± 9 (8-25)	2 ± 2 (0-3)	2 ± 2 (0-3)
<i>Θολότητα (NTU)</i>	253 ± 316 (5-920)	121 ± 189 (3-590)	121 ± 251 (2-867)	115 ± 187 (4-628)	14 ± 6 (4-23)

*Μέση τιμή ± τυπική απόκλιση (ελάχιστη τιμή-μέγιστη τιμή)

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι:

- Οι τεχνητοί υγροβιότοποι κάθετης ροής απομακρύνουν ικανοποιητικά τις οργανικές ενώσεις και την θολότητα
- Τα καλύτερα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν στον υγροβιότοπο με τα καλάμια με μέση απομάκρυνση COD περίπου 77% και θολότητας κατά 94%
- Από την άλλη μεριά τα συστήματα δεν επιτυγχάνουν απομάκρυνση του αζώτου σε καμία περίπτωση
- Το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν παρουσιάζουν επίσης καμία αξιολογη μεταβολή αλλά στις συγκεκριμένες τιμές εκροής δεν αποτελούν πρόβλημα για τις καλλιέργειες

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας, “Εκτίμηση και Πρόληψη των επαγγελματικών κινδύνων στις Εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών λυμάτων”, Νοέμβριος 2007.
2. Φουντουλάκης Μ. “Επεξεργασία αστικών λυμάτων με καινοτόμα φυσικά συστήματα για την επαναχρησιμοποίηση τους ως νερό άρδευσης-ΚΥΠΕ 3487/159”, βιβλιογραφική ανασκόπηση, Ηράκλειο, Δεκέμβριος, 2014.
3. Δεληγιάννης Α, “Βιολογική επεξεργασία λυμάτων”. University Studio Press, Θεσσαλονίκη 2009.
4. Τσώνης Σ, «Επεξεργασία λυμάτων», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2004.
5. Βλυσίδης Α., “Τεχνικές επεξεργασίας υγρών αποβλήτων”. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Αθήνα, 2006.
6. Μαρκάκης Σ., “Πτυχιακή εργασία: Χρήση Αλόφυτων για την επεξεργασία Αστικών Λυμάτων σε Τεχνητό Υγροβιότοπο”. Φεβρουάριος, Ηράκλειο Κρήτης, 2014.
7. <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=251>.
8. Ειδική Γραμματεία Υδάτων-Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. “Κείμενο Κατευθυντήριων Γραμμών για τη διαχείριση Λυμάτων Μικρών Οικισμών”, Απρίλιος 2012,σελ. 61-65.
9. Vymazal J, Kröpfelová L., “Types of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment” Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow”, Vol. 14 of the series Environmental Pollution, p 121-202, 2008.
10. Kivaisi Amelia K. “The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review”, Ecological Engineering, 16: (4), February 2001, Pag. 545–560.
11. <http://www.dep.state.fl.us/evergladesforever/about/default.htm>.
12. users.sch.gr/gpantakis/?p=3962.
13. www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/Καλαμιά.

14. www.nhmc.uoc.gr/el/museum/photo.../images/nhmc.image.38858.
15. Manousaki, E. and Kalogerakis, N., (2011). "Halophytes Present New Opportunities in Phytoremediation of Heavy Metals and Saline Soils". *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50, 656-660. <http://dx.doi.org/10.1021/ie100270x>.
16. www.nhmc.uoc.gr/el/museum/photo/images/nhmc.image.59981.
17. Γαλανάκη Κ. "Φυτοεξυγίανση εδάφους από Cd και Pb με τα αλόφυτα: *Halimione portulacoides*(L.) Aellen, *Tamarix parviflora* (DC) και *Limoniasstrum monopetalum* (L.) Boiss". Μεταπτυχιακή Διατριβή: Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική, Χανιά 2011.
18. <https://el.wikipedia.org/wiki/PH>.
19. <http://hannagreece.gr/έλεγχος-θολότητας>.
20. <http://hannagreece.gr>.
21. Φουντουλάκης Μ. "Επεξεργασία αστικών λυμάτων με καινοτόμα φυσικά συστήματα για την επαναχρησιμοποίηση τους ως νερό άρδευσης-ΚΥΠΕ 3487/159", «Σχεδιασμός και κατασκευή Τεχνητών Υγροβιότοπων», Ηράκλειο, Δεκέμβριος, 2014.
22. Nivala, J., Headley, T., Wallace, S., van Afferden, M., Müller, R.A. 2013. Comparative analysis of constructed wetlands: The design and construction of the ecotechnology research facility in Langenreichenbach, Germany. *Ecological Engineering* 61, 527-543.
23. Βαρκάς, Α. "Κατασκευή και λειτουργία συστημάτων τεχνητών υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής πιλοτικής κλίμακας για την επεξεργασία αστικών αποβλήτων". Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, 2007.