

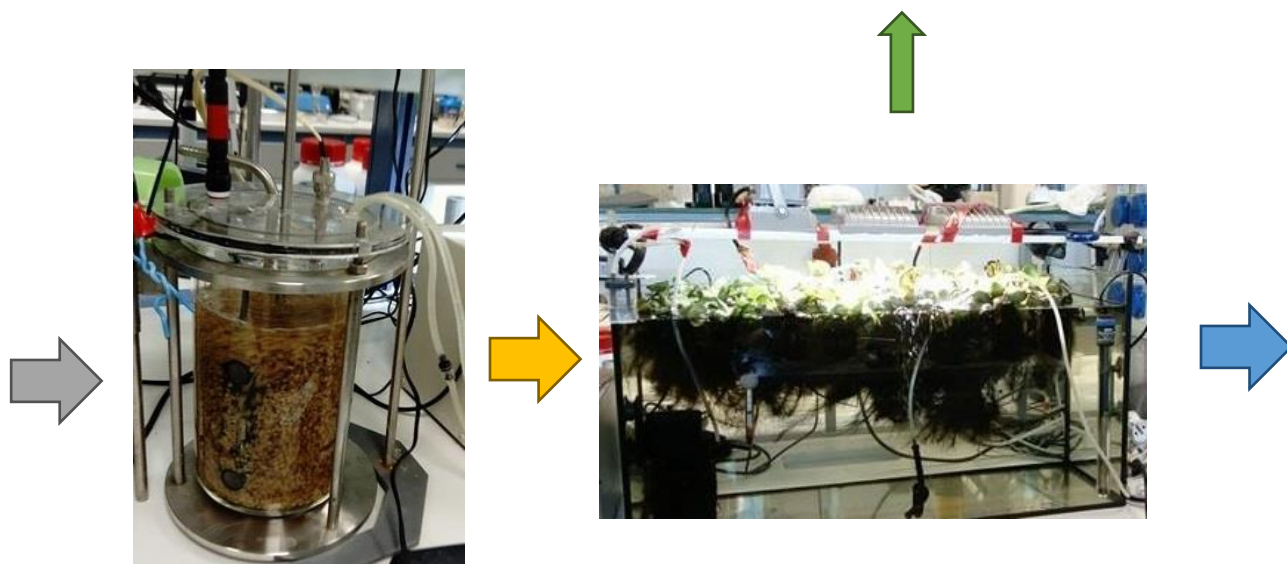


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΝΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΝΘΥΛΑΚΩΜΕΝΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ, ΜΕ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΥΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ»**

**ΓΕΡΩΝΥΜΑΚΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ**



**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΕΤΡΟΣ ΓΚΙΚΑΣ**

**ΧΑΝΙΑ, 2017**

ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Πέτρο Γκίκα, Αναπληρωτή καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η καθοδήγησή του, οι συμβουλές του καθώς και η πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε ήταν καθοριστικές για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τον Μάρακα Χαρίδημο, βοηθό του Εργαστηρίου Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, κυρίως για την υπομονή αλλά και τις συμβουλές που μου παρείχε κατά την διάρκεια της παρούσας εργασίας.

Τέλος ευχαριστώ από καρδιάς τους γονείς μου για την στήριξη, την υπομονή και την βοήθειά τους όλα αυτά τα χρόνια.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### Περίληψη

<b>Κεφάλαιο 1: εισαγωγή</b>	<b>12</b>
<b>Κεφάλαιο 2: Φυτοεξυγίανση</b>	
2.1 ΓΕΝΙΚΑ	15
2.2 ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	19
2.3 ΦΥΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΥΤΑ	26
<b>Κεφάλαιο 3:Ενθυλακωμένοι μικροοργανισμοί</b>	
3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	29
3.2 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΕΝΘΥΛΑΚΩΜΕΝΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ	30
3.3 ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΛΕΝΤΙΚΑΤΣ	30
3.4 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	32
3.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	32
3.6 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΤΙΚΩΝ ΒΙΟΚΑΤΑΛΥΤΩΝ ΛΕΝΤΙΚΑΤΣ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ	33
<b>Κεφάλαιο 4: Υγρά απόβλητα με υψηλή περιεκτικότητα σε αμμωνία</b>	
4.1 ΜΟΡΦΕΣ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	34
4.2 ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ	34
4.3 ΟΥΡΑ	44
4.4 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ	46
<b>Κεφάλαιο 5: Περιγραφή Πειράματος</b>	
5.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	50
5.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	50
5.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	51
<b>Κεφάλαιο 6:Περιγραφή πειραματικών διατάξεων</b>	
6.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	53
6.2ΥΛΙΚΑ-ΟΡΓΑΝΑ	57

6.3 ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΝΤΙΚΑΤΣ ΣΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΔΙΑΛΛΕΙΠΟΝΤΟΣ ΕΡΓΟΥ	58
6.4 ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΜΕ ΤΑ ΦΥΤΑ	61
6.5 ΧΡΗΣΗ ΟΥΡΩΝ ΣΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΛΕΝΤΙΚΑΤΣ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΑΛΛΕΙΠΟΝΤΟΣ ΕΡΓΟΥ	63
6.6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ CSTR ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ-ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ	65
6.7 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΕ ΡΥΘΜΙΣΗ pH ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ-ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ	65
6.8 ΧΡΗΣΗ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΟΥΡΩΝ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΦΥΤΟΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ (BATCH)	66
<b>Κεφάλαιο 7: Πειραματικά Αποτελέσματα</b>	
7.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ BATCH	67
7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ BATCH ΜΕ ΡΥΘΜΙΣΗ pH ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ-ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ	69
7.3 ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΟΥΡΩΝ	71
7.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ CSTR ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ	72
7.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΦΥΤΟΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ(BATCH)	73
7.6 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΦΥΤΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ	75
<b>Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα και παραδείγματα αξιοποίησης συστήματος και παραγόμενης φυτικής βιομάζας-Πρόταση αξιοποίησης συστήματος σε πραγματικές εφαρμογές</b>	
8.1 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	78
8.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΥΤΟΥ ΜΕ ΕΝΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ	83
8.3 ΤΡΟΠΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	88
8.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	92
8.5 ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ	93

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ-ΣΧΗΜΑΤΩΝ

**Σχήμα1** Μηχανισμοί φυτοσταθεροποίησης

([www.bioremediation123.wikispaces.com/Phytostabilization](http://www.bioremediation123.wikispaces.com/Phytostabilization))σελ 16

**Σχήμα2** Βασικές αρχές φυτοεξυγίανσης σελ16

**Σχημα3** Σχηματική απεικόνιση συστήματος βραδείας εφαρμογής α) υδραυλική ροή β) επιφανειακή εφαρμογή και γ) εφαρμογή με καταιονισμό (Aggelakis and Tchobanoglous 1995) σελ. 19

**Σχήμα4** Σχηματική απεικόνιση συστήματος ταχείας διήθησης(SAT):α) Υδραυλική ροή, ανάκτηση με στραγγιστικό δίκτυο και γ) ανάκτηση με γεωτρήσεις (Aggelakis and Tchobanoglous 1995) σελ. 20

**Σχήμα 5** Σχηματική παράσταση των διεργασιών ενός συστήματος επιφανειακής ροής(Aggelakis and Tchobanoglous 1995) σελ. 21

**Σχήμα 6** Έγκαιρα τομή ενός τυπικού SFS συστήματος (Aggelakis and Tchobanoglous 1995) σελ. 23

**Σχημα 7** Σχηματική αναπαράσταση των διεργασιών ενός συστήματος επιφανειακής ροής (Aggelakis and Tchobanoglous 1995) σελ. 23

**Σχήμα8** Σχηματική απεικόνιση συστήματος υδροχαρών φυτών (Aggelakis and Tchobanoglous 1995) σελ. 24

**Σχήμα 9** Επεξήγηση τυπικού συστήματος επεξεργασίας αποβλήτων με επιπλέοντα φυτά (Mark A. Reinsel, [waterworld.com](http://waterworld.com)) σελ. 26

**Σχήμα10** Τομή ενός θύλακα Lentikats (<http://www.lentikats.eu>)σελ 29

**Σχήμα 11** Μορφές αζώτου στα υγρά απόβλητα σελ. 34

**Σχημα 12** Μετατροπή οργανικού αζώτου σε αμμώνιο σελ. 36

**Σχήμα 13** Επίδραση της θερμοκρασίας στα νιτρώδη σελ. 41

**Σχήμα 14** Επίδραση του pH την νιτροποίηση σύμφωνα με την E.P.A. σελ. 42

**Σχήμα 15** Σχέση μεταξύ φόρτισης αζώτου και διαδικασίας νιτροποίησης σελ. 43

**Σχήμα 16** Απλό διάγραμμα ροής πειραματικών διατάξεων 52

**Σχήμα 17** Διάγραμμα συγκεντρώσεων στη δ. Φυτοεξυγίανσης σελ. 74

**Σχήμα 18.** Διάγραμμα ροής CSTR σελ. 82

**Σχήμα 19** Διάγραμμα ροής με pH-regulation σελ. 83

**Σχήμα 20** Χρήσεις ιάκυνθου του νερού σελ. 88

**Σχήμα 21** Ανακύκλωση θρεπτικών σε μια κτηνοτροφική μονάδα σελ. 89

- Εικόνα1** Εικόνα ενός υάκινθου του νερού(<http://www.conservationmagazine.org>) σελ27
- Εικόνα 2** *Salvinia natans* σελ28
- Εικόνα 3** Σύστημα με επιπλέοντα μακρόφυτα επεξεργασίας αποβλήτων από μονάδες εκτροφής πουλερικών (Lu et al., 2008) σελ 28
- Εικόνα 4** Εργαστηριακή διάταξη συστήματος σελ. 59
- Εικόνα 5** Αρχική κατάσταση της δεξαμενής φυτοεξυγίανσης πριν την έναρξη σταθεροποίησης σελ. 61
- Εικόνα 6** Σχήμα διάταξης φυτών στη δεξαμενή Φυτοεξυγίανσης σελ. 62
- Εικόνα 7** *S. natans* και *E. crassipes* στη δεξαμενή Φυτοεξυγίανσης σελ. 62
- Εικόνα8** Συνολικός φωτισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά την συνολική διαδικασία της ενεργοποίησης αλλά και πειραματικής διαδικασίας. σελ. 63
- Εικόνα9** Εργαστηριακή διάταξη βιοαντιδραστήρα και δεξαμενής σταθεροποίησης σε συνεχή λειτουργία σελ. 64
- Εικόνα10** Αποθηκευμένα νιτροποιημένα και μή ούρα στον εργαστηριακό απαγωγό. Σελ. 66
- Εικόνα 11** Φυτά-δείκτες που τυχαία επιλέξαμε διάσπαρτα από την δεξαμενή Φυτοεξυγίανσης σελ. 75
- Εικόνα 12** Περιορισμένη ποσότητα *s.natans* σε πλαστικό δοχείο. Σελ 76
- Εικόνα 13** Συλλογή υάκινθων του νερού για επεξεργασία και παραγωγή κομπόστ σελ90

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 1** Ταξινόμηση μικροοργανισμών σε βιολογικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σελ. 35
- Πίνακας 2** - Μέσες συγκεντρώσεις από αποθηκευμένα και φρέσκα ούρα. *Source:* Udert et al., 2003b σελ. 45
- Πίνακας 3** Τυπικές τιμές εισόδου κτηνοτροφικών μονάδων(Robert L. Knight et al, 2000) σελ. 49
- Πίνακας 4** Χημική σύσταση Standard Solution σελ. 53
- Πίνακας 5** Χημική σύσταση TES σελ. 54
- Πίνακας 6** Καθημερινές μετρήσεις αμμωνίας για την ενεργοποίηση και σταθεροποίηση των βιοκαταλυτών σελ. 60
- Πίνακας 7** Παρακολούθηση βιοαντιδραστήρα με 10% αραίωση ούρων σε λειτουργία batch σελ. 67
- Πίνακας 8** Παρακολούθηση βιοαντιδραστήρα με 5% αραίωση ούρων σε λειτουργία batch σελ. 68
- Πίνακας 9** Μετρήσεις πρώτης μέρας με ρύθμιση pH σελ. 69
- Πίνακας 10** Μετρήσεις δεύτερης μέρας με ρύθμιση pH σελ. 70
- Πίνακας 11** Καθημερινή παρακολούθηση της υδρόλυσης σελ. 71
- Πίνακας 12** Μετρήσεις βιοαντιδραστήρα σε Cstr σελ. 72
- Πίνακας 13** Μετρήσεις συγκεντρώσεων στην δεξαμενή Φυτοεξυγίανσης σελ. 74
- Πίνακας 14** Παρατήρηση και καταγραφή αύξησης βάρους των φυτών-δεικτών σελ. 77
- Πίνακας 15** Πίνακας με τιμές περιορισμένης άρδευσης σύμφωνα με τη νομοθεσία σελ. 79
- Πίνακας 16** Πίνακας με τιμές απεριόριστης άρδευσης σύμφωνα με τη νομοθεσία σελ. 79
- Πίνακας 17** Κοστολόγηση μικρής εγκατάστασης επεξεργασίας αποβλήτων σελ. 84
- Πίνακας 18** Κοστολόγηση μεγάλης εγκατάστασης επεξεργασίας αποβλήτων σελ. 86
- Πίνακας 19** Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα συστήματος σελ. 87

## Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η δημιουργία ενός συστήματος, το οποίο θα επεξεργάζεται υγρά απόβλητα με υψηλή περιεκτικότητα σε αμμωνία, κάνοντας χρήση της επιστήμης και των τεχνικών της φυτοεξυγίανσης αλλά και της διαδικασίας της νιτροποίησης με ενθυλακωμένους βιοκαταλύτες. Παράλληλος στόχος του συστήματος, είναι η ανάκτηση των θρεπτικών συστατικών που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα, μέσω της μετατροπής τους σε φυτική βιομάζα για περαιτέρω επεξεργασία αυτής. Το υγρό απόβλητο θα καθαρίζεται μέσω της κατανάλωσης των θρεπτικών συστατικών από τα φυτά και στη συνέχεια τα ανακτώμενα συστατικά αυτά, υπό τη μορφή φυτικής βιομάζας θα επεξεργάζονται ανάλογα για παραγωγή ζωοτροφής, κομπόστ, βιοντίζελ κ.α.

Στο πειραματικό μέρος της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν ούρα, ως απόβλητο με υψηλή περιεκτικότητα σε αμμωνία (510mg/L). Το σύστημα αυτό αποτελείται από μία δεξαμενή σταθεροποίησης, η οποία λειτουργεί σαν πρώτος χώρος συλλογής του ανεπεξέργαστου αποβλήτου η οποία όμως θα λειτουργεί και σαν δεξαμενή στην οποία θα πραγματοποιείται υδρόλυση της ουρίας, ανάλογα με το απόβλητο, τον διαθέσιμο χώρο και την περιεκτικότητά του. Στη συνέχεια, το υγρό απόβλητο θα οδηγείται σε έναν βιοαντιδραστήρα νιτροποίησης, ο οποίος περιέχει ενθυλακωμένους βιοκαταλύτες Lentikats, με σκοπό την πλήρη νιτροποίηση της αμμωνίας. Έπειτα, το νιτροποιημένο πλέον απόβλητο, θα οδηγείται στην δεξαμενή/λίμνη επιπλεόντων φυτών, η οποία περιέχει φυτά του είδους *E. Crassipes* και *S. Natans*, φυτά γνωστά για τις ιδιότητες να αποσπούν μεγάλο μέρος των θρεπτικών από υδάτινα σώματα και με γρήγορη ανάπτυξη.

Τέλος, μετά τον ανάλογο χρόνο παραμονής στη λίμνη (18days), του νιτροποιημένου αποβλήτου, ο οποίος εξαρτάται από την ποιότητα της εκροής που απαιτείται, το εξυγιασμένο πλέον υγρό απόβλητο θα συλλέγεται για επαναχρησιμοποίηση, διάθεση ή περαιτέρω επεξεργασία. Η φυτική βιομάζα που θα παράγεται (40 gr/(day m<sup>2</sup>)) θα συλλέγεται με αραίωση των πιο μεγάλων ηλικιακά φυτών, και ανάλογα με την εγκατάσταση και το χώρο που βρίσκεται το σύστημά, η παραχθείσα φυτική βιομάζα θα επεξεργάζεται ανάλογα.

Στις πειραματικές διατάξεις, το σύστημα δοκιμάστηκε με δύο τρόπους. Όταν στο απόβλητο υπάρχει μεγάλη ποσότητα ουρίας, η οποία υδρολύεται και παράγει επιπλέον αμμωνία, επιλέγεται, είτε πρώτα να επιτραπεί να λάβει χώρα η υδρόλυση (4days) αυτή και στη συνέχεια να υπάρξει συνεχή παροχή (1,5L/day) και λειτουργία του συστήματος ( $T_{\text{reactor}}=1,6\text{days}$ ), είτε χωρίς να επιτευχθεί υδρόλυση, η ποσότητα του αποβλήτου να εισέρχεται από την δεξαμενή σταθεροποίησης καθορισμένη από τις αυξομειώσεις του pH του βιοαντιδραστήρα (ρύθμιση pH) για να αποφευχθεί συσσώρευση



αμμωνίας στον βιοαντιδραστήρα και πιθανές αστοχίες του συστήματος. Η δεύτερη τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στις δυο περιπτώσεις, είτε με υδρόλυση ουρίας, είτε χωρίς. Η συνεχής λειτουργία όμως, χωρίς αρχική υδρόλυση ουρίας, δεν λειτουργεί σωστά καθώς υπάρχει συσσώρευση αμμωνίας μέσα στον βιοαντιδραστήρα.

Αφού έχει λειτουργήσει και δοκιμάσκει το σύστημα στις διάφορες καταστάσεις, θα καταγραφεί η παραγωγή φυτικής βιομάζας ( $40 \text{ gr}/(\text{day m}^2)$ ), θα προταθούν τρόποι αξιοποίησης αυτής, ανάλογα της τοποθεσίας του συστήματος και το υγρό απόβλητο το οποίο επεξεργάζεται. Θα δημιουργηθούν επίσης διαγράμματα ροής ενός ολοκληρωμένου τέτοιου συστήματος, καθώς και θα αναφερθούν πρακτικά παραδείγματα εφαρμογής τους με κοστολόγιο και εξοπλισμό.

Συμπερασματικά, ολοκληρώνοντας τις πειραματικές διαδικασίες, φαίνεται πόσο οικονομικό, οικολογικό και απλό είναι ένα τέτοιο σύστημα. Είναι ικανό να επεξεργάζεται απόβλητο με υψηλές συγκεντρώσεις σε αμμωνία, δίνοντας μια ποιοτικά ικανοποιητική εκροή. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο του, για επεξεργασία υγρών αποβλήτων με ελάχιστα λειτουργικά κόστη και απαιτήσεις σε προσωπικό, είτε μπορεί να ενσωματωθεί σε μια ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων για επεξεργασία κάποιου ρεύματος. Καθώς ανακτώνται και θρεπτικά στοιχεία από τα απόβλητα, έχει θετική παράμετρο στα οικονομικά της συνολικής επεξεργασίας του εκάστοτε αποβλήτου, παρέχει οικονομικό όφελος από την αξιοποίηση της παραχθείσας φυτικής βιομάζας.

## ABSTRACT

The aim of this thesis is to create a system that will process high ammonia waste liquors, using the science and techniques of phyto-oxygenation and the process of nitrification with encapsulated biocatalysts. Also, the other goal is to recover the nutrients found in the liquid waste by converting it to plant biomass for further processing of it. The liquid waste will be purified by the consumption of nutrients from the plants and then the recovered components, in the form of plant biomass, will be processed accordingly for production of feed, compost, biodiesel etc.

In the experimental part of the work urine was used as waste with high ammonia content (510mg / L). This system consists of a stabilization tank, which acts as the first wastewater collection tank but will also act as a reservoir in which urea hydrolysis will take place, depending on the waste, the available space and its content. Thereafter the liquid waste will be led to a nitrification bioreactor containing encapsulated Lentikats biocatalysts in order to fully nitrate the ammonia. Then, the nitrified waste will be fed to the tank / lake of floating plants, which contains plants such as *E. Crassipes* and *S. Natans*, plants known for their properties to extract much of the body's nutrients and rapid growth.

Finally, after the corresponding 18days spent on the lake, the nitrified waste, which depends on the quality of the effluent required, the liquid waste will be collected for re-use, disposal or further processing. The plant biomass to be produced (40 gr / (day m<sup>2</sup>)) will be harvested by thinning the largest plantations, and depending on the plant and the plant site, the plant biomass produced will be processed accordingly.

In experimental arrangements, the system was tested in two ways. When there is a large amount of urea in the waste, which is hydrolyzed and produces additional ammonia, it is chosen either to first allow hydrolysis to occur (4days) and then to provide a continuous flow (1,5L / day) and system operation ( $T_{\text{reactor}} = 1,7\text{days}$ ), or without hydrolysis, the amount of waste entering the stabilizer tank determined by the bioreactor pH fluctuations (pH adjustment) to avoid ammonia accumulation in the bioreactor and possible system failures.

The second technique can be used in both cases, either by hydrolysis of urea or without. However, continuous operation, without initial hydrolysis of urea, does not work properly as there is ammonia accumulation in the bioreactor. After the system has been operated and tested in the various situations, plant biomass production (40 gr / (day m<sup>2</sup>)) will be recorded and ways of using it will be proposed, depending on the location of the system and the wastewater it processes. Flow charts of such an integrated system will also be created, as well as practical examples of their application with cost and equipment.

In conclusion, completing the experimental procedures, it shows how economical, ecological and simple this system is. It is capable of treating waste with high concentrations of ammonia, giving a satisfactory effluent. It can be used alone for wastewater treatment with minimal operating costs and staffing requirements, or it can be integrated into an existing wastewater treatment plant to process a current. As nutrients recover from the waste, there is a positive parameter in the economics of the overall treatment of the waste and it provides economic benefit from the utilization of the produced plant biomass.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις μέρες μας, η διαχείριση και επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι ένας μεγάλος επιστημονικός κλάδος ο οποίος αυξάνεται συνεχώς και καλείται συνεχώς να αντιμετωπίσει καινούριες προκλήσεις.

Σκοπός της βιώσιμης διαχείρισης υγρών αποβλήτων είναι να παρέχει ένα σύστημα συλλογής, επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης του νερού με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επηρεάζει αρνητικά την υγεία του ανθρώπου ή άλλων οργανισμών, να διατηρεί την ποιότητα του περιβάλλοντος και την ακεραιότητα των οικολογικών συστημάτων, να ανακτά θρεπτικά συστατικά αλλά και να παράγει ενέργεια και να χρησιμοποιεί τους διαθέσιμους πόρους αποτελεσματικά. Η απότομη ανάπτυξη των αστικών περιοχών, τείνει να κάνει τη χρήση της βιώσιμης διαχείρισης επιτακτική. (Aggelakis and Tchobanoglous 1995)

Με δεδομένο ότι η κάλυψη περιοχών με αποχετευτικό δίκτυο, ιδιαίτερα περιοχών με αραιή δόμηση, που είναι υψηλού κόστους, δεν είναι εφικτή στο κοντινό μέλλον και ότι η ζήτηση νερού θα αυξάνεται συνεχώς, η αποκεντρωμένη διαχείριση υγρών αποβλήτων θεωρείται πλέον απαραίτητη, για την ανάπτυξη μιας μακροπρόθεσμης διαχείρισης του περιβάλλοντος. Επιπλέον, η αποκεντρωμένη διαχείριση υγρών αποβλήτων, θα συμβάλει:

- 1) στην βελτίωση της διαχείρισης υπάρχοντων εγκατεστημένων συστημάτων επεξεργασίας αποβλήτων, κυρίως στην αύξηση της απόδοσης τους
- 2) στην εξυπηρέτηση οικισμών ή άλλων εγκαταστάσεων, που βρίσκονται σε απομακρυσμένη θέση
- 3) στη δημιουργία οικολογικών και υψηλά αποδοτικών έργων μεταξύ απομακρυσμένων γειτονικών οικισμών, όπου υπάρχουν προοπτικές επαναχρησιμοποίησης τοπικά των επεξεργασμένων εκροών, καθώς και σε περιοχές που έχουν έλλειψη σε νερό
- 4) στην σωστή διάθεση των επεξεργασμένων εκροών σε υδατικούς αποδέκτες περιοχών, που επιβάλλονται όλο και πιο αυστηρά μέτρα
- 5) στην αποφυγή οικονομικής επιβάρυνσης σε δήμο ή επιχείρηση προκειμένου να επεκταθεί η ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση επεξεργασίας (Αγγελάκης, 2001)

Η εφαρμογή αποκεντρωμένων συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε συνδυασμό με την επαναχρησιμοποίηση των εκροών τους, σε διάφορες χρήσεις όπως η άρδευση και ανάπτυξη πρασίνου ή πυροπροστασίας, έχει εξαπλωθεί τα τελευταία έτη σε πολλές προηγμένες χώρες και ιδιαίτερα στις ΗΠΑ.

Οι περισσότερες από τις μονάδες επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται στα αποκεντρωμένα συστήματα διαχείρισης υγρών αποβλήτων απαιτούν πολύ μικρές λειτουργικές δαπάνες και πολύ σπάνια τυχαίνουν συντήρησης.

**Πλεονεκτήματα αποκεντρωμένης φιλοσοφίας διαχείρισης λυμάτων**(Ζουμπούλης και Κούγκολος 2006):

α) η επεκτασιμότητα του συστήματος, καθώς όταν χρειαστεί μπορεί απλά να προστεθεί ένα επιμέρους σύστημα στη κεντρική μονάδα και να ενταχθεί στη λειτουργία της, χωρίς να χρειάζεται αναβάθμιση και ανασύσταση του ήδη υπάρχοντος συστήματος.

β) η δυνατότητα πραγματοποίησης του συνολικού έργου σταδιακά δηλαδή το κάθε σύστημα που θα δημιουργείτε θα μπορεί να λειτουργεί κανονικά χωρίς να χρειάζεται να ολοκληρωθεί τελείως ολόκληρη η μονάδα

γ) Η αυξημένη κοινωνική αποδοχή, αφού σε αντίθεση με τη φιλοσοφία κεντρικής διαχείρισης, ο κάθε οικισμός χρεώνεται την επεξεργασία των δικών του λυμάτων

δ) Το μειωμένο κόστος κατασκευής, καθώς δεν θα υπάρχουν τεράστια αποχετευτικά δίκτυα μεταφοράς των αποβλήτων, τα οποία και αποτελούν το μεγαλύτερο κόστος σε ένα συμβατικό σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

ε) το μειωμένο κόστος για την απόκτηση της απαιτούμενης έκτασης εφαρμογής, καθώς είναι ευκολότερη η εύρεση εντός μικρού χώρου που απαιτεί η αποκεντρωμένη διαχείριση παρά εντός τεράστιου που απαιτεί η κεντρική.

στ) το μειωμένο λειτουργικό κόστος

ζ) η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης της επεξεργασμένης εκροής για άρδευση σε αγροτικές περιοχές χωρίς το μεγάλο κόστος της μεταφοράς αυτής.

η) Μείωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, καθώς όλες οι δραστηριότητες και εγκαταστάσεις είναι μοκρής κλίμακας και η επεξεργασμένη εκροή διαμοιράζεται σε περισσότερους από έναν αποδέκτες, διατηρώντας έτσι της ποιότητα της κάθε υδάτινης μάζας αλλά και μειώνοντας τις πιθανότητες για περιβαλλοντικές οχλήσεις.

Τα τελευταία έτη έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνολογίες και ειδικότερα μικρά συστήματα επεξεργασίαςτα οποία παράγουν εκροές ιδίας ή και ακόμα καλύτερης ποιότητας από αυτής των συμβατικών συστημάτων. Τέτοιες τεχνολογίες μπορούν να εφαρμοστούν κυρίως σε αγροτικές περιοχές, είτε για επεξεργασία λυμάτων απο κατοικίες και οικισμούς αλλά και για επεξεργασία λυμάτων κτηνοτροφίας, γεωργίας και λοιπών επιβαρυμένων λυμάτων. Παραδείγματα τέτοιων τεχνολογιών περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων εναλλακτικές τεχνολογίες συλλογής και αποχέτευσης αποβλήτων, εκτός απο τα γνωστά συστήματα που

βασίζονται στην ενεργό ιλύ, είναι οι διάφοροι τύποι σηπτικών δεξαμενών, διάφορα φίλτρα, τεχνητοί υγροβιότοποι, λίμνες σταθεροποίησης και συστήματα υδατοκαλλιέργειας.

Συστήματα επεξεργασίας που βασίζονται σε υδροχαρή φυτά, είναι αυτά που χρησιμοποιούν τα πλεονεκτήματα φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον με την αλληλεπίδραση του υπο επεξεργασία υγρού αποβλήτου με το έδαφος, τα φυτά, τον αέρα. Ουσιαστικά, είναι αυτά τα οποία χρησιμοποιούν όλους ή κάποιους από τους μηχανισμούς της φυτοεξυγίανσης για να επεξεργαστούν το υγρό απόβλητο και να το καθαρίσουν.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΥΤΟΕΞΥΓΙΑΝΣΗ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

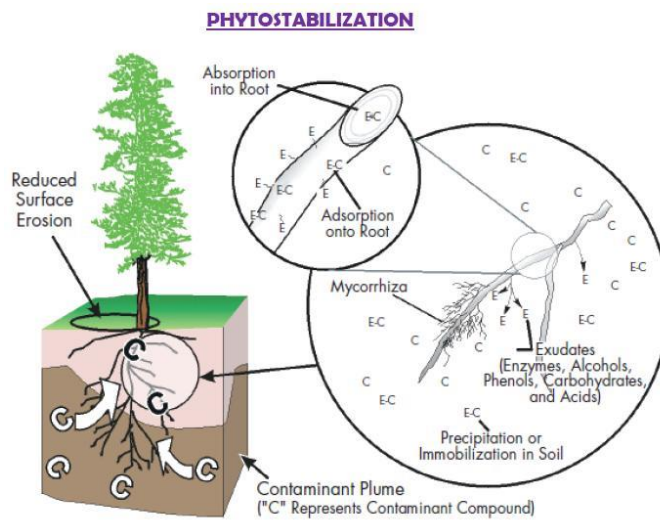
Η χρησιμοποίηση βιολογικών διαδικασιών για την επεξεργασία υδατικών αποβλήτων αποτελεί μια συνήθη πρακτική των τελευταίων 50 ετών (Rulkens et al, 1999) και βάση αυτής δημιουργήθηκε και η μέθοδος της φυτοεξυγίανσης.

Ο όρος φυτοεξυγίανση αναφέρεται σε κάθε σύστημα ή διαδικασία στη οποία χρησιμοποιούνται φυτά, για την *in situ* ή *ex situ* εξυγίανση εδαφών, υλικών και υδάτων, μέσω της απομάκρυνσης, διάσπασης και σταθεροποίησης των ρυπαντών. Βασίζεται στις φυσικές, βιολογικές και χημικές δραστηριότητες και διαδικασίες των φυτών. Η τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση τόσο οργανικών (υδρογονάνθρακες, διαλύτες, εντομοκτόνα) όσο και ανόργανων ρυπαντών.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κατάταξης των τεχνικών της φυτοεξυγίανσης. Συνήθως κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

A) Φυτοεξαγωγή (Phytoextraction/Phytoaccumulation): Η διαδικασία κατά την οποία οι ρίζες των φυτών απορροφούν και απομακρύνουν μέταλλα-ρυπαντές από το έδαφος ή το νερό και τα μεταφέρουν στους ιστούς τους πάνω από το ριζικό σύστημα.

B) Φυτοσταθεροποίηση (Phytostabilization): Είναι η χρήση συγκεκριμένων φυτών τα οποία “ακινητοποιούν” τον ρύπο στο νερό ή στο έδαφος. Οι ρύποι αυτοί, απορροφούνται και συσσωρεύονται στις ρίζες, είτε προσροφούνται στις ρίζες, είτε στεριοποιούνται και προσκολλούνται στη ριζόσφαιρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση ή και κάποιες φορές την αποτροπή της κίνησης του ρύπου βαθύτερα στα υπόγεια ύδατα ή στην ατμόσφαιρα. Η φυτοσταθεροποίηση αποσκοπεί στην μακροχρόνια σταθεροποίηση και ακινητοποίηση του ρύπου και σε αντίθεση με την φυτοεξαγωγή, απομονώνει τον ρύπο γύρω από το ριζικό σύστημα του φυτού και όχι στον κορμό και το φύλλωμα. Έτσι λοιπόν, ο ρύπος γίνεται λιγότερο βιο-διαθέσιμος καθώς δεν προσλαμβάνεται από τα ζώα, την άγρια ζωή και τον άνθρωπο. (Eslamian, 2016) Στο σχήμα 1 επεξηγείται αναλυτικά η διαδικασία αυτή.



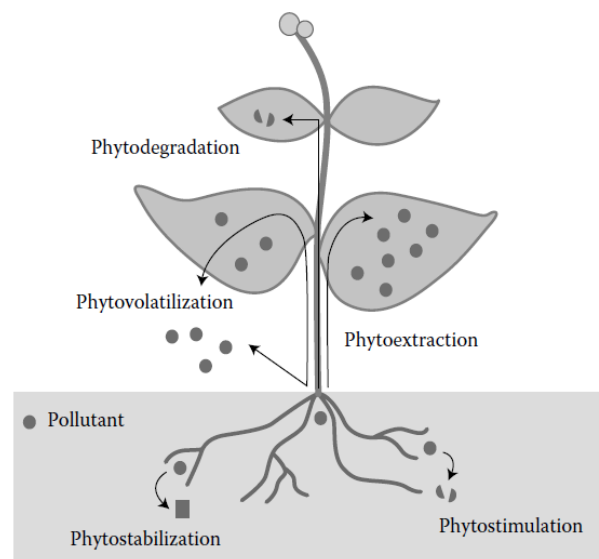
Σχήμα1 Μηχανισμοί φυτοσταθεροποίησης([www. bioremediation123.wikispaces.com/Phytostabilization](http://www.bioremediation123.wikispaces.com/Phytostabilization))

Γ) Φυτοαποδόμηση(Phytodegradation): Είναι η χημική μετατροπή ουσιών ως άμεσο αποτέλεσμα του μεταβολισμού του φυτού, που έχει ως συνέπεια την απενεργοποίηση, αποδεδείμηση ή και ακινητοποίηση της ουσίας αυτής.(πχ κατανάλωση αμμωνίας που βρίσκεται στο νερό, για τον μεταβολισμό και την ανάπτυξη του φυτού)

Δ) Φυτοεξάτμιση(Phytovolatilization): Είναι η διαδικασία κατά την οποία οι ρύποι προσλαμβάνονται απο το έδαφος ή το νερό και απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα της φυτοαποδεδείμησης

Ε) Φυτοδιέγερση(Phytostimulation): Είναι η διάσπαση των οργανικών ρύπων μέσω της μικροβιακής δραστηριότητας η οποία βρίσκεται στη ριζόσφαιρα του φυτού

ΣΤ) Ριζοδιήθηση(Rhizophiltration): Είναι η προσρόφηση και συσσώρευση των ρυπαντών στις ρίζες των φυτών που βρίσκονται σε υδατικά διαλύματα(υδροπονική μέθοδος)



Σχήμα2 βασικές αρχές φυτοεξυγίανσης(Eslamian 2016)



Για να εφαρμοστεί ένα σύστημα φυτοεξυγίανσης, απαραίτητος είναι και ο σωστός σχεδιασμός αυτού. Ο σχεδιασμός αυτός δεν είναι καθορισμένος αλλά διαφέρει ανάλογα με τα φυτά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν, το είδος και τη φύση του ρυπαντή, οι συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον, η τελική συγκέντρωση του ρυπαντή που έχει τεθεί ως στόχος και βέβαια την τεχνική που θα χρησιμοποιηθεί. Επίσης, λαμβάνουν χώρα και απαραίτητες εργαστηριακές μετρήσεις και πειραματισμοί προκειμένου να κριθεί να το σύστημα είναι κατάλληλο προς χρήση και να καθοριστεί το ποσοστό βιοδιαθεσιμότητας των ρυπαντών στο έδαφος αλλά και τα υπόγεια ύδατα, η βιοαποικοδόμηση των ρυπαντών και τέλος να καθοριστούν οι βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης των φυτών.

Παρακάτω παρατίθενται οι βασικοί παράμετροι σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων:

1. Καταγραφή του βαθμού της ρύπανσης, δηλαδή προσδιορισμός του είδους και της φύσης των ρυπαντών, της συγκέντρωσής τους αλλά και στο βάθος που αυτοί εκτείνονται.
2. Επιλογή των φυτών που θα χρησιμοποιηθούν, ανάλογα φυσικά με την επιλεγμένη τεχνική της φυτοεξυγίανσης αλλά και το είδος του ρυπαντή
3. Εργαστηριακός έλεγχος των επιλεγμένων φυτών σε διάφορες συγκεντρώσεις του ρυπαντή.
4. Συντήρηση του συστήματος με άδρευση, λίπανση και φυτοπροστασία.
5. Συγκομιδή του φυτικού υλικού στο οποίο έχει συσσωρευτεί πλέον ο ρυπαντής και μεταφορά στο σημείο όπου θα γίνει η περαιτέρω επεξεργασία του. Για οργανικούς ρυπαντές που διασπώνται σε μη τοξικές ουσίες η περαιτέρω επεξεργασία δεν κρίνεται απαραίτητη, σε αντίθεση με περιπτώσεις όπου υπάρχει σημαντική συσσώρευση στην περιοχή της ρίζας. Στην περαιτέρω επεξεργασία συγκαταλέγονται τεχνικές όπως είναι η κομποστοποίηση, η χρήση για βιοαέριο ή βιοκάυσιμο καθώς και η παραγωγή ζωοτροφών για συγκεκριμένα είδη φυτών (Ζαμπετάκης 2005).

Όσον αφορά τα **πλεονεκτήματα**:

1. Παραγωγή λιγότερων δευτερογενών αποβλήτων σε σύγκριση με άλλες μεθόδους.
2. Οικονομική επεξεργασία, καθώς απομακρύνει μικρές ποσότητες τοξικών ουσιών από μεγάλους όγκους εδαφών και νερών.
3. Επί τόπου εφαρμογή με αποφυγή διατάραξης του φυσικού περιβάλλοντος
4. Μικρός χρόνος αποκατάστασης των εδαφών.
5. Αποτροπή της εξάπλωσης των υπαρχόντων ρύπων και προστασία από τη διάβρωση.

6. Συγκέντρωση τοξικών ουσιών σε μικρούς όγκους.

Τα **μειονεκτήματα** της μεθόδου είναι:

1. Πιθανότητα μετάδοσης των τοξικών ουσιών στην τροφική αλυσίδα.
2. Αποτροπή καλλιέργειας και ανάπτυξης των φυτών λόγω του μικροκλίματος της περιοχής.
3. Πιθανότητα ανικανότητας εφαρμογής σε εδάφη με ανόργανους και οργανικούς ρύπους οι οποίοι συνυπάρχουν καθώς υπάρχει πιθανότητα τοξικής επίπρασης στα φυτά.
4. Πιθανή αύξηση κόστους λόγω της ανάγκης για ειδική επεξεργασία και διάθεση των φυτών.
5. Αργοί ρυθμοί φυτοεξυγίανσης που προκαλούνται από τις συνεχόμενες περιόδους καλλιέργειας των φυτών, που απαιτώνται σε αρκετά ρυπασμένα εδάφη. (Eslamian 2016)

Ο συνδυασμός του χαμηλού κόστους οργάνωσης και λειτουργίας με την δυνατότητα επεξεργασίας ρυπαντών κάνουν την φυτοεξυγίανση μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία. Τα μόνα στοιχεία που υπάρχουν αναφορικά με το κόστος αυτής προέρχονται πο ιδιωτικές εταιρίες (Gabriel 1992). Πιο συγκεκριμένα, η φυτοεξυγίανση εδάφους ρυπασμένο με οργανικές ουσίες κοστίζει 10-200 δολάρια ανά κυβικό μέτρο εδάφους ενώ με συμβατικές τεχνολογίες κοστίζει 350-1000 δολάρια ανά κυβικό μέτρο. (Gabriel 1992). Όσον αφορά τα ρυπασμένα ύδατα, η διαφορά στα κόστη είναι ανάλογη, με 3 – 4 δολάρια ανά κυβικό μέτρο με συμβατικές μεθόδους (άντληση και επεξεργασία, φράγματα σιδήρου) και 0,3-0,8 δολάρια ανά κυβικό μέτρο με τη μέθοδο της φυτοεξυγίανσης.

## 2.2 ΦΥΤΟΕΞΥΓΙΑΝΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η φυτοεξυγίανση, σαν επιστήμη, έχει χρησιμοποιηθεί σε πάρα πολλά φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Τα σημαντικότερα και πιο διαδεδομένα από αυτά, είναι (Αγγελάκης, Tchobanoglous 1995):

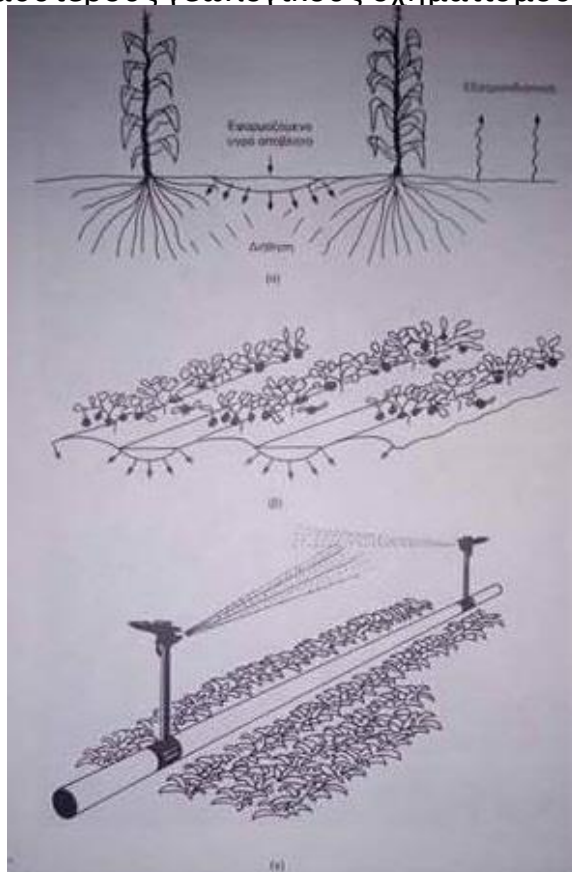
### 1. Απορροφητικά εδαφικά συστήματα

### 2. Τεχνητές λίμνες

### 3. Βασιζόμενα σε εφαρμογή στο έδαφος

α) βραδείας εφαρμογής ( βραδείας διήθησης, ύδρευσης κτλ.)

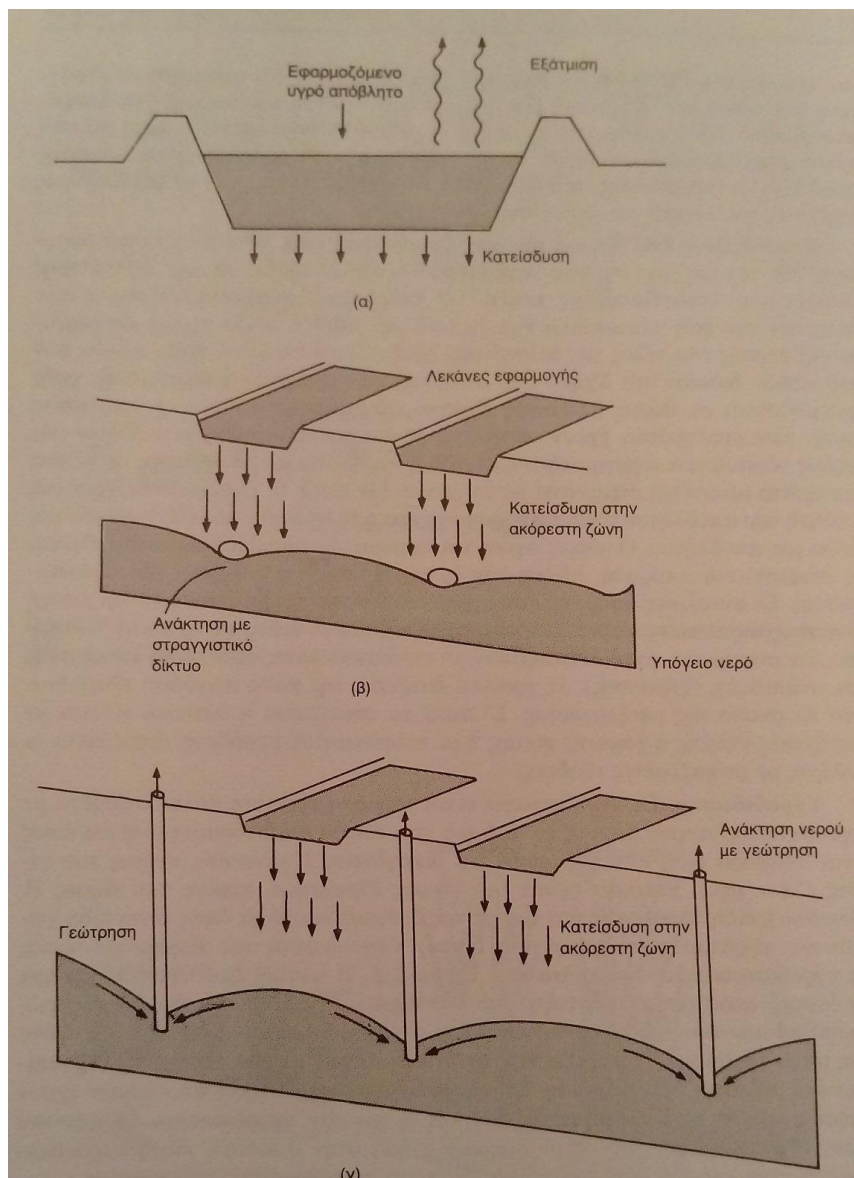
Η βραδεία εφαρμογή είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος φυσικών συστημάτων στην επιστήμη της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Συνοπτικά, είναι η ελεγχόμενη εφαρμογή του προεπεξεργασμένου αποβλήτου στο έδαφος το οποίο έχει και φυτική βλάστηση με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία του και την ικανοποίηση εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών της φυτικής βλάστησης (Αγγελάκης, 1989). Το υγρό απόβλητο είτε χρησιμοποιείται από τα φυτά για τις ανάγκες τους είτε διηθείται στο έδαφος και στους βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς.



Σχημα 3 Σχηματική απεικόνιση συστήματος βραδείας εφαρμογής α) υδραυλική ροή β) επιφανειακή εφαρμογή και γ) εφαρμογή με καταιονισμό (Aggelakis and Tchobanoglous 1995)

## β) Ταχείας διήθησης(SAT)

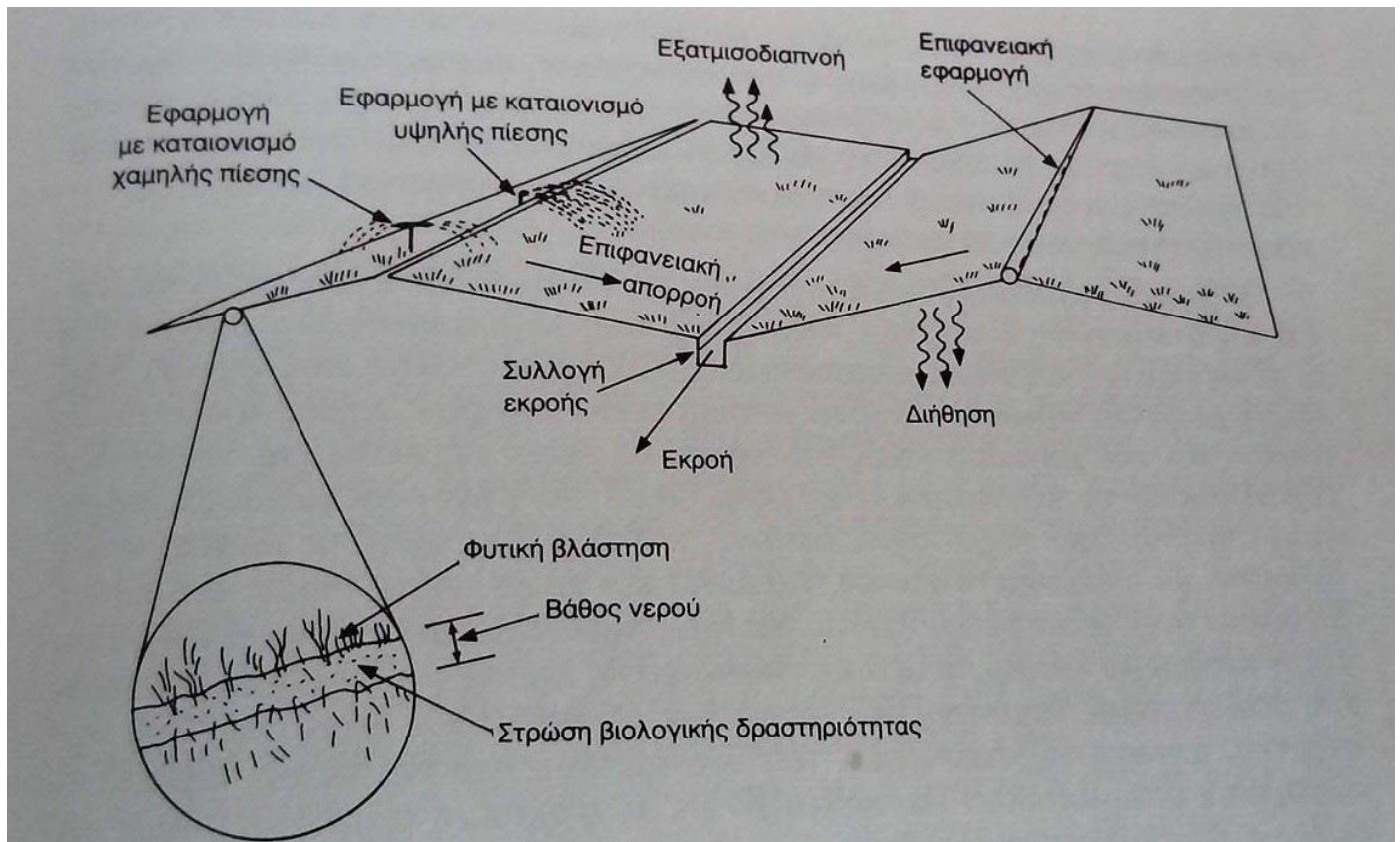
Τα συστήματα αυτά ονομάζονται επίσης SAT(Soil-Aquifer-Treatment, δηλ. Έδαφος-Υδροφορέας-Επεξεργασία). Κατά τα συστήματα αυτά, το υγρό απόβλητο εφαρμόζεται σε λεκάνες διήθησης με πολύ μικρό βάθος και συνεχής κύκλους όπως φαίνεται και στο σχήμα 4. Η εφαρμογή του αποβλήτου είναι δυνατή και με εκτοξευτές υψηλής ταχύτητας. Ως επί το πλείστον, σε τέτοιες περιπτώσεις, η ύπαρξη φυτικής βλάστησης δεν είναι απαραίτητη πέρα από τις περιπτώσεις όπου η εφαρμογή του αποβλήτου στο πεδίο γίνεται με την χρήση εκτοξευτών.Επειδή σε τέτοια συστήματα τα φορτία και οι ταχύτητες εφαρμογής είναι σχετικά υψηλά, υπάρχουν σχετικά μικρές απώλειες από την εξάτμιση με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος του υγρού καταφθάνει στο έδαφος όπου πραγματοποιείται με διάφορους βιολογικούς μηχανισμούς η επεξεργασία του.



Σχήμα4 Σχηματική απεικόνιση συστήματος ταχείας διήθησης(SAT):α) Υδραυλική ροή, ανάκτηση με στραγγιστικό δίκτυο και γ) ανάκτηση με γεωτρήσεις (Aggelakis and Tchobanoglous 1995)

### γ) Επιφανειακής ροής

Κατά τα συστήματα επιφανειακής ροής, το προεπεξεργασμένο απόβλητο εφαρμόζεται κατά μήκος μιας κεκλιμένης διαβαθμισμένης επιφάνειας, η οποία είναι και φυτεμένη, και επιτρέπεται έτσι στη ροή του αποβλήτου σε όλη την έκταση της και τη συλλογή της επεξεργασμένης εκροής κατά το τέλος της κλίσης του. Μια σχηματική απεικόνιση αυτών των διεργασιών δίδεται στο σχήμα 5. Τα συστήματα επιφανειακής ροής εφαρμόζονται σε μέρη όπου τα εδάφη έχουν χαμηλή περατότητα, αν και οι διεργασίες αυτών των συστημάτων έχουν εφαρμογή σε μία ποικιλία εδαφικών τύπων και κυρίως υδραυλικών αγωγιμοτήτων, επειδή κατά την πάροδο του χρόνου, η περατότητα του εδάφους μειώνεται σημαντικά..



Σχήμα 5 Σχηματική παράσταση των διεργασιών ενός συστήματος επιφανειακής ροής (Aggelakis and Tchobanoglous 1995)

### 4) Υγροβιότοποι

Οι υγροβιότοποι είναι τμήματα εδάφους κατακλυζόμενα με νερό συνήθως μικρού βάθους (<0,6m), στα οποία αναπτύσσονται διάφορα υδροχαρή και υδρόβια φυτά. Κάποια από τα πιο διαδεδομένα φυτά που χρησιμοποιούνται σε τέτοια συστήματα φαίνονται

στο σχήμα 6. Η σημαντικότητα της φυτικής βλάστησης είναι μεγάλη, καθώς προσφέρει το βασικό υπόστρωμα στο οποίο αναπτύσσονται οι μικροοργανισμοί, βοηθά στο φιλτράρισμα και τη διήθηση συστατικών του αποβλήτου, παίζει κύριο ρόλο στη μεταφορά οξυγόνου στη μάζα του νερού καθώς και περιορίζει την ανάπτυξη άλγης με τον περιορισμό της προσπίπουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο οι τεχνητοί όσο και οι φυσικοί υδροβιότοποι, με τους δεύτερους όμως να έχουν περιορισμένη χρήση.

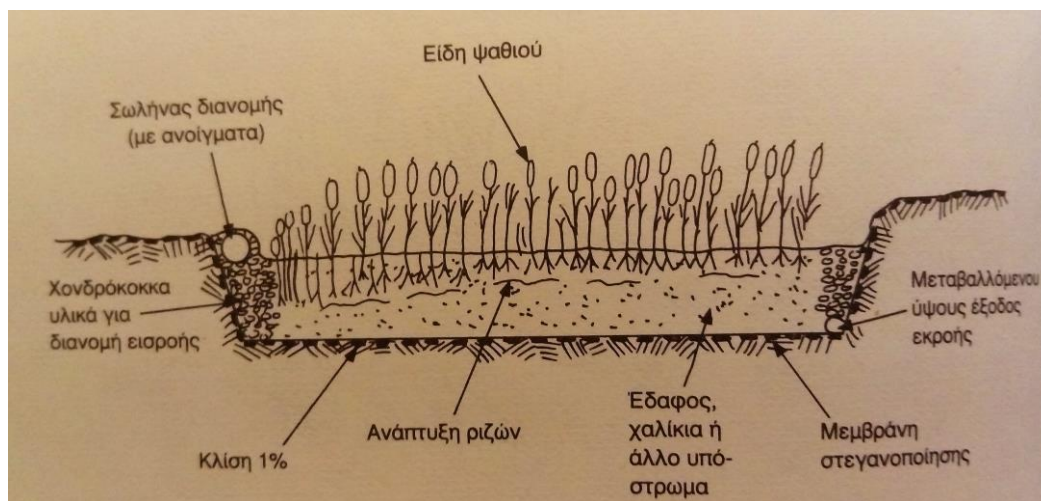
**Φυσικοί Υδροβιότοποι.** Καθώς οι φυσικοί υδροβιότοποι γίνονται αποδέκτες δευτεροβάθμιας ή και τριτοβάθμιας εκροής ενός προεπεξεργασμένου αποβλήτου, υπάρχουν κανόνες οι οποίοι πρέπει να τηρούνται. Επιπλέον, το κύριο αντικείμενο χρήσης φυσικών υδροβιότοπων ως χώρο διάθεσης επεξεργασμένων αποβλήτων, είναι η ενίσχυση προυπάρχοντος εθίμου. Κυριότερα απόλα, οι τεχνητές παρεμβάσεις σε έναν φυσικό υδροβιότοπο προκειμένου να βελτιωθεί η ικανότητα του να δέχεται προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα πρέπει να αη ποφεύγονται καθώς διαταράσσεται η ισορροπία του οικοσυστήματος.

**Τεχνητοί Υδροβιότοποι:** Οι τεχνητοί υδροβιότοποι έχουν όλες τις δυνατότητες των φυσικών υδροβιότοπων, χωρίς όμως τους περιορισμούς αυτών. Για την περαιτέρω επεξεργασία προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με συστήματα τεχνητών υδροβιότοπων έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί δύο τύποι:

α) Ελευθέρας επιφανείας(FWS): Τα συστήματα αυτά αποτελούνται συνήθως από παράλληλες λεκάνες, κανάλια ή τάφρους με αδιαπέραστους πυθμένες με φυτική βλάστηση και μικρό βάθος νερού (0,1-0,6m). Σε τέτοια συστήματα εφαρμόζονται συνεχώς προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα και η περεταίρω επεξεργασία τους πραγματοποιείται, καθώς η εφαρμοσμένη εκροή του ρέει με μικρή ταχύτητα δια μέσου των στελεχών και ριζωμάτων της φυτικής βλάστησης και του υποστρώματος.

β) Υποεπιφανειακής Ροής(SFS): Τα συστήματα αυτά έχουν ως κύριο σκοπό την δευτεροβάθμια επεξεργασία του αποβλήτου. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται επίσης και συστήματα “ριζόσφαιρας” ή “φίλτρων εδάφους-καλαμιών” και αναπτύσσονται μέσα σε κανάλια ή τάφρους με στεγανούς πυθμένες που περιέχουν φυσικά αδρανή υλικά(χαλίκια, άμμο) τα οποία χρησιμοποιούνται από τα φυτά ως μέσο ανάπτυξης του ριζικού τους συστήματος.





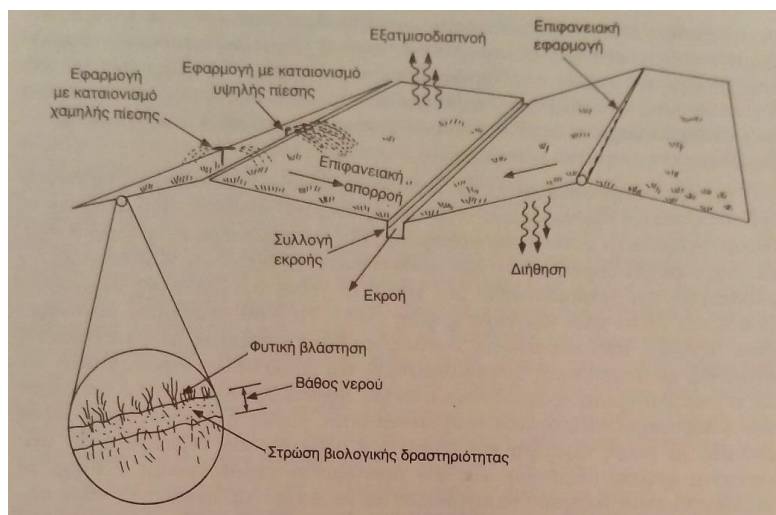
Σχήμα 6 Έγκαρσια τομή ενός τυπικού SFS συστήματος (Aggelakis and Tchobanoglous 1995)

## 5) Υδροχαρών Φυτών

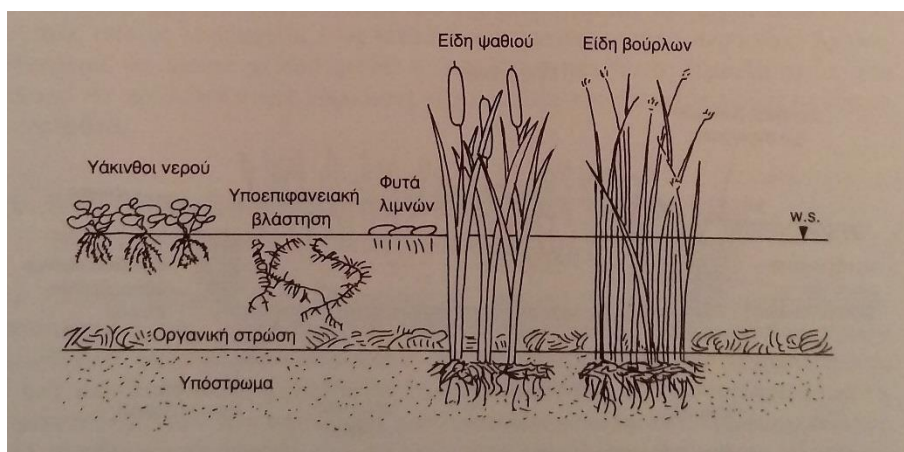
### α) Συστήματα με επιπλέοντα φυτά

Αυτά τα συστήματα, σε γενικές γραμμές μοιάζουν πολύ με αυτά των υγροβιότοπων ελεύθερης επιφάνειας, με τη διαφορά όμως ότι τα φυτά στην προκειμένη περίπτωση αποτελούνται μόνο από επιπλέοντα είδη φυτών.. Το βάθος του νερού είναι αρκετά μεγαλύτερο από ότι σε ένα σύστημα τεχνητού υγροβιότοπου και συνήθως κυμαίνεται από 0,5 έως 1,8 m. Επίσης, σε αυτή τη κατηγορία εφαρμόζεται συνήθως συμπληρωματικός αερισμός προκειμένου να αυξηθεί η ικανότητα επεξεργασίας και για να διατηρηθούν οι αερόβιες συνθήκες αλλά και για την αποφυγή ανάπτυξης κουνουπιών. Τέτοια επιπλέοντα υδροχαρή φυτά, έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση αλγών από εκροές λιμνών σταθεροποίησης. Τα συνήθη υδραυλικά φορτία καθώς και η ειδική έκταση των συστημάτων αυτών, είναι ισοδύναμα των αντίστοιχων συστημάτων τεχνητών υγροβιότοπων.

### β) Συστήματα με βυθισμένα φυτά



Σχήμα 7 Σχηματική αναπαράσταση των διεργασιών ενός συστήματος επιφανειακής ροής (Aggelakis and Tchobanoglous 1995)



Σχήμα8 Σχηματική απεικόνιση συστήματος υδροχαρών φυτών (Aggelakis and Tchobanoglous 1995)

Σε φυσικά βιολογικά συστήματα επεξεργασίας νερών, τα επιπλέοντα μακρόφυτα έχουν χρησιμοποιηθεί σε λίμνες ωρίμανσης με σκοπό την βελτίωση της εκροής των λιμνών σταθεροποίησης και την επίτευξη ποιότητας δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Τα φυτά αυτά έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί σε ευτροφικές λίμνες για καθαρισμό και βελτίωση της ποιότητάς του.

Όσον αφορά την αμμωνία στα υγρά απόβλητα, παρόλο που η αμμωνία λειτουργεί σαν λίπασμα για τα φυτά, σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξική προς αυτά, προκαλώντας καθήλωση της ανάπτυξης του φυτού, μείωση αυτής καθώς ακόμα και νέκρωση. Οι συγκεντρώσεις που έχουν εντοπισθεί για το φαινόμενο αυτό είναι:

1.  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για διάρκεια έκθεσης του φυτού πάνω απο ένα έτος,
2.  $270 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για διάρκεια έκθεσης μεγαλύτερη απο μία ημέρα
3.  $3300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για διάρκεια έκθεσης πάνω απο μία ώρα (Van der Eerden et al., 1998)

Οι οποίες είναι τιμές NOEL, δηλαδή είναι οι ανώτερες τιμές συγκέντρωσης, οι οποίες έχουν βρεθεί πειραματικά και οι οποίες δεν προκαλούν αλλοίωση στην λειτουργία και την ανάπτυξη των φυτών ή θάνατο των φυτών.

Η αμμωνία όμως δεν είναι μόνο τοξική προς τα φυτά όταν βρίσκεται στο χώμα ή στο νερό που έρχεται σε επαφή με τα φυτά. Είναι επίσης τοξική και στην αερίά της μορφή. Έχουν σημειωθεί αρκετές περιπτώσεις καταστροφής των φυτών (Kuhne 1966) σε ακτίνα 50 μέτρων από εγκαταστάσεις εκτροφής πτηνών και χοίρων. Οι τραυματισμοί αυτοί, μετά από μελέτες διαπιστώθηκε ότι οφείλονται από τις εκπομπές αερίων από τις φάρμες, με



κύριο υπαίτιο την αμμωνία και το υδρόθειο και κάποια οργανικά οξέα, σε μικρότερο βαθμό βέβαια από τα αλλά δυο προαναφερθέντα(Ewert 1978). Μετά από πειράματα έκθεσης φυτών σε αμμωνία (Van der Eerden 1982) σε αέρια μορφή, επαληθεύτηκε η τοξικότητά της.

Οι λόγοι για τους οποίους είναι τοξική η αμμωνία σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι οι παρακάτω:

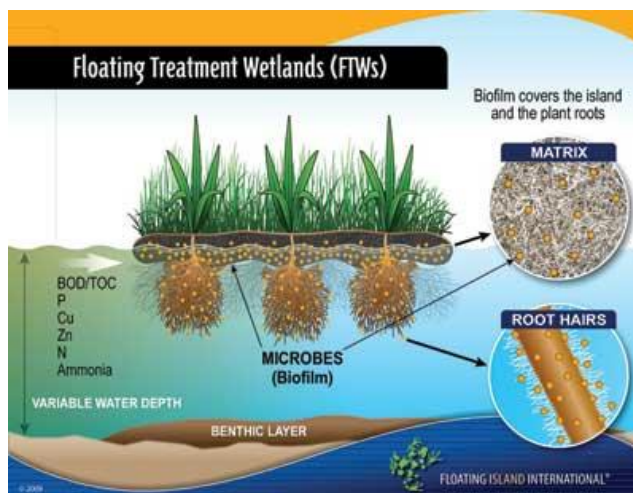
1. Η αμμωνία, στην μή ιοντισμένη της μορφή( $\text{NH}_3$ ), δρά ως ανασταλτικός παράγοντας της φωτοσυνθετικής φωσφορυλίωσης και έτσι μειώνει της παραγωγή υδατανθράκων, άρα και την ανάπτυξη του φυτού.

2. Η αμμωνία στην ιοντισμένη της μορφή( $\text{NH}_4^+$ ), μπορεί να οδηγήσει σε κορεσμό των λιπιδίων της κυτταρικής μεμβράνης με αποτέλεσμα να αυξάνει έτσι την περατότητα της, πράγμα που οδηγεί σε πλασμόλυση και νέκρωση αλλά και μειώνει και την ελαστικότητά της.

Έτσι λοιπόν βλέπουμε ότι υπάρχει αναγκαιότητα προεπεξεργασίας του λύματος πριν έρθει σε επαφή με φυτά κάποιου συστήματος ώστε αυτά να επεξεργαστούν περεταίρω το απόβλητο, είτε μιλάμε για λίμνες φυτοεξυγίανσης με κάποια επιπλέοντα φυτά, είτε για κάποιο σύστημα τεχνητού υγροβιότοπου, επιφανειακής αλλά και υποεπιφανειακής ροής.

### 2.3 ΦΥΤΑ ΦΥΤΟΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΥΤΑ

Τα μακρόφυτα παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξισορρόπηση του οικοσυστήματος μιας λίμνης, είτε πρόκειται για μια φυσική λίμνη είτε για μία τεχνητή λίμνη επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Για πρώτη φορά, είχαν αναγνωρισθεί κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960 και του 1970, η χρήση τους για τη βελτίωση της ποιότητας των υδάτων. Υδατικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με μακρόφυτα είναι μια ανάγκη των αναπτυσσόμενων χωρών, επειδή είναι φθηνότερο να κατασκευαστούν και λιγότερη δεξιότητα απαιτείται για τη λειτουργία αυτών. Βελτιώνουν την ποιότητα του νερού απορροφώντας τα θρεπτικά συστατικά μέσω του ριζικού τους συστήματος. Τα μακρόφυτα όχι μόνο διατηρούν τα θρεπτικά συστατικά από την πρόσληψη της βιομάζας, αλλά και αυξάνουν τη διαδικασία της καθίζησης. Αυτά χρησιμοποιούνται και σε τεχνητούς υγροβιότοπους ή σε λίμνες παραμονής λόγω της ταχείας ρυθμούς ανάπτυξης τους, των μικρών απαιτήσεών τους, και την ικανότητα να συσσωρεύουν βιογενή στοιχεία και τοξικές ουσίες. Τα υδρόβια-υδροχαρή φυτά ομαδοποιούνται σε βυθισμένα, αναδυόμενα και επιπλέοντα. Κατά τη διάρκεια της επιλογής, η παραγωγή βιομάζας, ο ρυθμός ανάπτυξης, και η ευκολία διαχείρισης και συγκομιδής θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Στους υγροβιότοπους, κυριαρχούν κυρίως τα επιπλέοντα υδρόβια μακρόφυτα, τα οποία μπορούν να αναπτυχθούν σε κάθετη όσο και οριζόντια κατεύθυνση, αυξάνοντας έτσι την φωτοσυνθετική επιφάνεια. Αυτοί οι παράγοντες συνολικά κάνουν τα επιπλέοντα υδρόβια φυτά, μία από τις πιο παραγωγικές κοινότητες της γης. Τα πιο κοινά υδρόβια μακρόφυτα, που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των λυμάτων είναι το *Eichornia Crassipes* (υάκινθος του νερού), η οικογένεια *Lemna* (*lemna major*, *lemna minor* κτλ., γνωστό και ως duckweed), η οικογένεια *Salvinia* (*salvinia natans*, *salvinia auriculata* κτλ.) και το *Pistia Stratiotes* (μαρούλι του νερού). Έχουν εντυπωσιακά ποσοστά απομάκρυνσης του αζώτου, του φωσφόρου αλλά και των μετάλλων που βρίσκονται στο νερό ή τα υγρά απόβλητα.



Σχήμα 9 Επεξήγηση τυπικού συστήματος επεξεργασίας αποβλήτων με επιπλέοντα φυτά (Mark A. Reinsel, waterworld.com)

## Υάκινθος του νερού - *Eichhornia crassipes*

Το είδος *Eichhornia Crassipes*, με κοινή ονομασία Υάκινθος του νερού, είναι ένα υδροχαρές φυτό ενδημικό στη λεκάνη του Αμαζονίου. τα επιπλέον φυτό αυτό, είναι από τα λίγα υδρόβια φυτά του οποίου το ριζικό σύστημα δεν έχει καμία επαφή με τον πυθμένα.

Ο υάκινθος του νερού έχει ειδικούς προσαρμογείς, που του επιτρέπουν να αναπτυχθεί και να εξαπλωθεί ταχύτατα σε γλυκά νερά. Γενικά είναι ένα πού ανθεκτικό φυτό, το οποίο αντέχει στην έλλειψη θρεπτικών συστατικών, το επίπεδο του pH και την θερμοκρασία ενώ ακόμα μπορεί και να αναπτυχθεί σε μολυσμένα με τοξικές ουσίες νερά. Η ανάπτυξη του είναι βέτιστη όταν το νερό στο οποίο βρίσκεται είναι ακίνητο ή έχει πολύ χαμηλή ροή.. Οι σπόροι



Εικόνα 1 Εικόνα ενός υάκινθου του νερού(<http://www.conservationmagazine.org>)

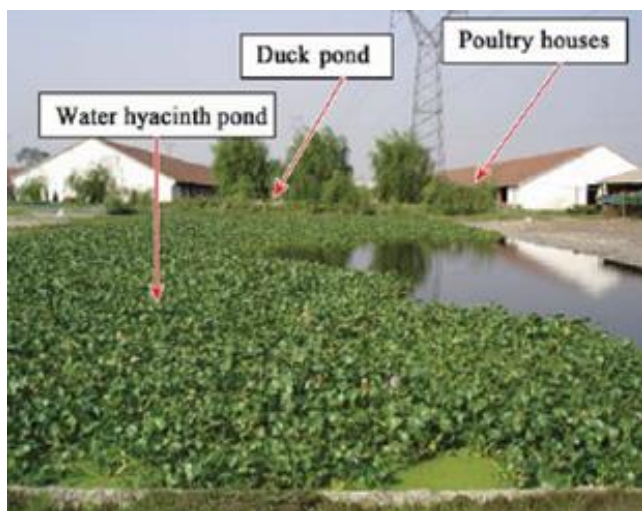
του διασκορπίζονται από τα πουλιά και παραμένουν βιώσιμοι για 15-20 χρόνια, όμως η κύρια μέθοδος αναπαραγωγής του είναι αγενής, μέσω καταβολάδων. Ένα μόνο φυτό, σε ειδικές συνθήκες παράγει 5.000 σπόρους και 250 βλαστούς μέσα σε 50-90 μέρες και μπορεί να καλύψει έκταση 600 τετραγωνικά μέτρα σε ένα χρόνο.

Ευδοκίμει σε πολλές διαφορετικές συνθήκες, από την τροπική έρημο μέχρι τις υποτροπικές ή ζεστές εύκρατες ζώνες, αλλά και στα τροπικά δάση. Ανέχεται ετήσιες βροχοπτώσεις από 8.2 dm μέχρι 27.0 dm, θερμοκρασίες από 21.1°C to 27.2°C και pH από 5,0 μέχρι 7,5. Δεν ευδοκίμει σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 34 ° C και όταν ξεπεραστεί το όριο αυτό το φυτό αρχίζει και μαραίνειτε. Ο παγετός αλλά και το αλμυρό νερό είναι ικανά να μαράνουν τα φύλλα του, γεγονός που το εκμεταλεύονται οι άνθρωποι σε περιοχές που δρά ως ζιζάνιο και δημιουργεί προβλήματα στα οικοσυστήματα. Ο ταχέως αναπτυσσόμενος Υάκινθος του νερού όταν βρεθεί έξω από τον βιότοπό του γίνεται σε μικρό χρονικό διάστημα ένα επιβλαβές ζιζάνιο. Μπορεί να φράξει υδάτινες διόδους εμποδίζοντας το ποτάμιο ταξίδι, αρδευτικά κανάλια, να καταστρέψει καλλιέργειες ρυζιού,

και αλιευτικές περιοχές. Ενας υπερπληθυσμός από το φυτό αυτό σε ένα υδάτινο οικοσύστημα μπορεί να έχει πολλές αρνητικές συνέπειες καθώς και μπορεί να παρομοιαστεί με το φαινόμενο του ευτροφισμού καθώς έχουν τα ίδια συμπτώματα. Τα φυτά σκιάζουν το νερό, αποστερούν στα ενδημικά υδρόβια φυτά το ηλιακό φως και στα υπάρχοντα ζώα το οξυγονωμένο νερό καθώς το πλούσιο ριζικό τους σύστημα καταναλώνει σε μεγάλους και γρήγορους βαθμούς το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο. .Κατά την αποσύνθεσή του παρατηρείται απότομη αύξηση θρεπτικών ουσιών στο νερό το οποίο με τη σειρά του πυροδοτεί την αύξηση των φυκιών και της άλγης γεγονός που μειώνει παραπάνω την ποσότητα του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου. Ο υάκινθος του νερού είναι δύσκολο (αν όχι αδύνατο) να καταστραφεί. Το φυτό αυτό είναι φαγώσιμο και χρησιμοποιείται ως πλούσια πηγή καροτίνης στα πιάτα με λαχανικά στην Ταϊβάν. Στη Σιγκαπούρη, όπως και σε πολλά άλλα μέρη, καλλιεργείται ως τροφή για τους χοίρους. Υπάρχουν αρκετές μελέτες και εύρευνες για την χρήση του εν λόγω φυτού στις τεχνικές της εξυγίανσης λυμάτων. Παράλληλα, αποτελεί και μια εξαιρετική πηγή βιομάζας.

### **Salvinia Natans-Σαλβίνια η πλέουσα**

*Salvinia natans* (κοινώς γνωστό ως πλωτή φτέρη σαλβίνια η πλέουσα) είναι ένα ετήσιο επιπλέον είδος υδρόβιας φτέρης, η οποία μπορεί να φαίνεται παρόμοια με βρύα. Βρίσκεται σε ολόκληρο τον κόσμο, όπου υπάρχει άφθονο στάσιμο γλυκό νερό, φως του ήλιου, και υγρασία, αλλά είναι ιδιαίτερα κοινό στην Αφρική, την Ασία, την Κεντρική Ευρώπη και τη Νότια Αμερική.



Εικόνα 3 Σύστημα με επιπλέοντα μακρόφυτα επεξεργασίας αποβλήτων από μονάδες εκτροφής πουλερικών (Lu et al., 2008)



Εικόνα 2 *Salvinia Natans*



Στην εικόνα 3 βλέπουμε μια τέτοια εφαρμογή ενός συστήματος με επιπλέοντα φυτά (*eichornia crassipes* και *duckweed*). Η λίμνη με τα εν λόγω φυτά δέχεται και επεξεργάζεται υγρά απόβλητα από μία μονάδα εκτροφής πουλερικών της εταιρίας Lihong Poultry Ltd, η οποία βρίσκεται στην Κίνα (Deqing County, Zhejiang Province, China).

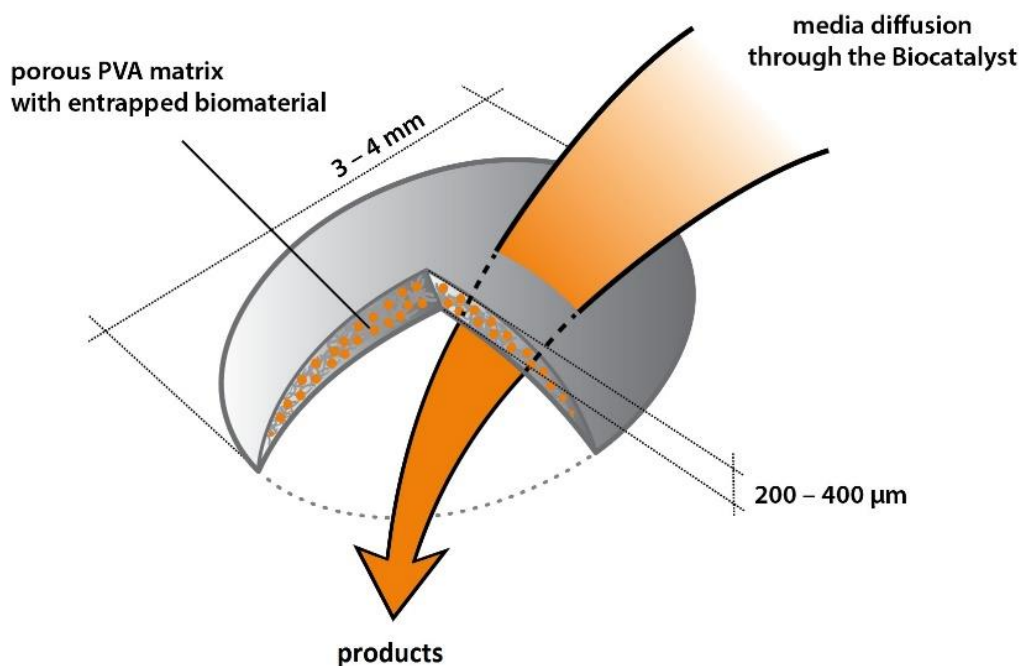
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΝΘΥΛΑΚΩΜΕΝΟΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

### 3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Ενθυλακωμένοι μικροοργανισμοί είναι επιλεγμένα είδη μικροοργανισμών ή ενζύμων τα οποία παγιδεύονται εντός ενός πορώδους φορέα (βιολικό). Γενικά, η αρχή λειτουργίας τους, θυμίζει *fluidized bed* τεχνικές. Η διαφορά τους σε αυτήν την περίπτωση, είναι ότι δεν καλλιεργούμε τους μικροοργανισμούς μας σε αιωρούμενο στον αντιδραστήρα μέσο, αλλά τους παραλαμβάνουμε από την εταιρεία ενεργοποιημένους και ενθυλακωμένους στο μέσο. Η εταιρία αυτή ονομάζεται *Lentikats Biotechnologies*, με έδρα την Τσεχία και κατέχει την παγκόσμια πατέντα ενθυλάκωσης μικροοργανισμών σε βιολικά.

(<http://www.lentikats.eu>)

Η συγκεκριμένη πατέντα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικές εφαρμογές, στην βιομηχανία τροφίμων, στα αποστακτήρια και σαφώς στη επεξεργασία λυμάτων. Όσον αφορά, την επεξεργασία λυμάτων, η βιοτεχνολογία *Lentikats* χρησιμοποιείται στις διεργασίες της νιτροποίησης και απονιτροποίησης τόσο σε αστικά αλλά και βιομηχανικά απόβλητα.



Σχήμα 10 Τομή ενός θύλακα *Lentikats* (<http://www.lentikats.eu>)

Όπως βλέπουμε στο σχήμα 10, το ειδικό υλικό που χρησιμοποιείται για την ενθυλάκωση, επιτρέπει την διάχυση του υγρού δια μέσου του θύλακα. Έτσι, γίνονται οι επιθυμητές βιολογικές διεργασίες, αλλά δεν επιτρέπει στους ενεργούς βιοκαταλύτες να διαφύγουν προς τον χώρο, κρατώντας τους συνέχεια παγιδευμένους μέσα στο θύλακα.

### **3.2 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΕΝΘΥΛΑΚΩΜΕΝΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ**

Για την παρασκευή των ενθυλακωμένων μικροοργανισμών, το προς πολυμερισμό υλικό αναμιγνύεται με την καλλιέργεια των μικροοργανισμών. Έπειτα σταγόνες από το παραπάνω υγρό μείγμα τοποθετούνται σε κατάλληλη επιφάνεια. Όταν αυτές οι σταγόνες εκτεθούν στον αέρα αρχίζουν να εξατμίζονται οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο στην ενίσχυση του σχηματισμού δεσμών υδρογόνου. Όταν το 70% του διαλύματος πολυμερούς-βιοκαταλύτη απομακρυνθεί παραμένει η γέλη η οποία είναι αρκετά σταθερή και μπορεί να ξαναδιογκωθεί σε ένα σταθεροποιημένο διάλυμα πριν δημιουργηθούν τα τελικά Lentikats (Sievers et al., 2002)

Με αυτήν τη διαδικασία σχηματίζονται σωματίδια τα οποία συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των μικρών και μεγάλων σφαιριδίων. Από τη μία έχουν διάμετρο 3-4mm και μπορούν να διατηρηθούν κατά τη διεργασία της εσχάρωσης και της καθίζησης ενώ από την άλλη έχουν πολύ μικρό πάχος 200-400μm με αποτέλεσμα να μην δημιουργούν περιορισμούς στη διάχυση των ενθυλακωμένων βιοκαταλυτών. (Sievers et al., 2002)

Με δεδομένο ότι τα Lentikats έχουν ως βάση το PVA, οι ιδιότητες τους είναι παρόμοιες με τις ιδιότητες των υδροτζέλ από PVA. Κατά συνέπεια κατά την ψύξη τους ενισχύονται οι δεσμοί στη δομή τους και αυξάνεται η σταθερότητα τους. (Sievers et al., 2002)

### **3.3 ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΚΑΤΑΛΥΤΩΝ LENTIKATS**

Μία σύγχρονη λύση για την απομάκρυνση ανόργανων μορφών αζώτου από τα βιομηχανικά και αστικά απόβλητα αποτελεί η βιοτεχνολογία των Lentikats η οποία βασίζεται στην ενθυλάκωση νιτροποιητικών βακτηρίων σε μία πορώδη μήτρα από υδροτζέλ κατασκευασμένη από πολυβινυλική αλκοόλη (PVA). Η γέλη αυτή, χρησιμοποιείται διότι παρουσιάζει τόσο υψηλή δυνατότητα ενθυλάκωσης των μικροοργανισμών μέσα σε αυτό, καθώς και επίσης και φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τα οποία ευθύνονται για την ανθεκτικότητα των βιοκαταλυτών (Schlieker and Vorlop, 2006 Bouskova et al., 2011). Το φακοειδές σχήμα των βιοκαταλυτών διασφαλίζει την διάχυση του υποστρώματος στα ενθυλακωμένα βακτήρια ενώ ταυτόχρονα

διατηρεί ένα συμβατικό μέγεθος που διευκολύνει το διαχωρισμό του βιοκαταλύτη από το υγρό.

Επιπλέον, το PVA αποτελεί ένα βιολογικό, μή διασπώμενο και μή τοξικό, ενώ παράλληλα είναι ένα φθηνό υλικό ενθυλάκωσης χωρίς παράλληλες επιδράσεις στη βιοχημική διαδικασία. Συγκριτικά με τις άλλες τεχνικές ενθυλάκωσης που εφαρμόζονται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων οι οποίες χαρακτηρίζονται από την ανάπτυξη μιας μικτής μικροβιακής κοινότητας στην επιφάνεια ενός στερεού φορέα, οι βιοκαταλύτες Lentikats περιέχουν μεγάλη συγκέντρωση προκαθορισμένης ποσότητας ενθυλακωμένης βιομάζας στο εσωτερικό του φορέα. Κατά συνέπεια με το συγκεκριμένο βιοκαταλύτη διατηρείται η υψηλή του ενεργότητα ανεξάρτητα από την συγκέντρωση των μέσων επεξεργασίας(Bouskova et al., 2011)

Οι ενθυλακωμένοι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται στο εσωτερικό της πολυβινυλικής αλκοόλης αφού τους παρέχεται το απαραίτητο υπόστρωμα αλλά και τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται ώστε να πραγματοποιήσουν τις βιοχημικές αντιδράσεις, να πολλαπλασιαστούν αλλά και να προβούν στη λύση τους. Σημαντική συγκέντρωση των αρχικών ενθυλακωμένων βακτηρίων παραμένουν στους πόρους της πολυβινυλικής αλκοόλης ενώ μικρή ποσότητα από αυτούς μπορεί να μεταναστεύσει έξω από τη γέλη από τους πόρους της μήτρας. Όλος ο κύκλος ζωής των ενθυλακωμένων βακτηρίων πραγματοποιείται στο εσωτερικό της γέλης όμοια με αυτόν που θα πραγματοποιούνταν στο ανάμεικτο υγρό σε ένα συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος. Σύμφωνα με την εταιρία που κατασκευάζει τους ενθυλακωμένους μικροοργανισμούς, η συγκέντρωσή τους εντός της γέλης είναι σχετικά σταθερή όταν το σύστημα λειτουργεί υπό σταθερές συνθήκες. Σε συνθήκες πενίας ο αριθμός τους μειώνεται, ενώ σε αυξημένες συγκεντρώσεις υποστρώματος ο αριθμός τους αυξάνεται με συνέπεια πλεονάζοντες μικροοργανισμοί να ωθούνται εκτός της γέλης. Το εξωτερικό κέλυφος της πορώδους μήτρας προστατεύει την εγκλεισμένη βιομάζα αυξάνοντας την αντοχή της έναντι αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων όπως τα χημικά σοκ ή παρουσία τοξικών ενώσεων(Schlieker and Vorlop, 2006).

Η απομάκρυνση του αζώτου πραγματοποιείται σε δύο διαφορετικά στάδια με τη νιτροποίηση και απονιτροποίηση χρησιμοποιώντας δυο διαφορετικά είδη βιοκαταλυτών Lentikats. Ο βιοκαταλύτης της νιτροποίησης είναι ένα μίγμα από *Nitrosomonas* και *Nitrobacter windradskyi*. Εξαιτίας της φύσης των μικροοργανισμών αυτών, απαιτείται να αποδίδεται συνεχή οξυγόνο για την διαδικασία της νιτροποίησης. Η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί για αρχική συγκέντρωση αμμωνίας από 1-2500mg/L. Οι βιοκαταλύτες Lentikats εφαρμόζονται σε διάφορους τύπους βιομηχανικών λυμάτων, κυρίως χάρη στην ικανότητα του να λειτουργεί σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου. Η

τεχνολογία έχει δοκιμαστεί με επιτυχία για την αφαίρεση του αζώτου από διάφορες βιομηχανίες, σφαγεία, πετροχημικές, συσκευασίες κρεάτων (Schlieker and Vorlop 2006, Bouskova et al., 2011)

### **3.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΒΙΟΚΑΤΑΛΥΤΩΝ LENTIKATS**

Βασικότερο πλεονέκτημα της χρήσης των ενθυλακωμένων μικροοργανισμών είναι ότι διατηρούνται συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί, ενώ στο σύστημα της ενεργού ιλύος μπορεί να υπάρξει ανάπτυξη ανεπιθύμητων μικροοργανισμών οι οποίοι μπορούν να ενεργήσουν αρνητικά και σε βάρος των επιθυμητών. Σε σύγκριση ,επίσης, με άλλες διαθέσιμες τεχνολογίες νιτροποίησης, η βιοτεχνολογία Lentikats παρουσιάζει σταθερή, συμπαγής και αξιόπιστη εναλλακτική λύση, παρέχοντας 98% απόδοση των συστημάτων της (Gikas et al. 2016). Η παρουσία υψηλής συγκέντρωσης των ακινητοποιημένων βακτηρίων οδηγεί σε υψηλά ποσοστά νιτροποίησης, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του υδραυλικού χρόνου παραμονής των προς επεξεργασία ρύπων, εντός του βιοαντιδραστήρα και τη μείωση των απαιτούμενων όγκων αντίδρασης. Επίσης, με τη χρήση των βιοκαταλυτών αυτών, υπάρχει μειωμένη απαίτηση για μεγάλους όγκους αντιδραστήρων κατά τη διαδικασία της νιτροποίησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε μείωση λειτουργικού και επενδυτικού κόστους. (Bouskova et al., 2011)

Επιπλέον πλεονεκτήματα της χρήσης των βιοκαταλυτών Lentikats θεωρούνται οι αυξημένες αποδόσεις του συστήματος σε παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων αζώτου, η ενισχυμένη ευρωστία των ακινητοποιημένων μικροοργανισμών κάτω από ακραίες συνθήκες, ο εύκολος διαχωρισμός τους από το μέσο που βρίσκονται αλλά και ο χρόνος ζωής τους. Ακόμα ένα πλεονέκτημα που προκύπτει κατά τη λειτουργία αυτών των ενθυλακωμένων μικροοργανισμών είναι το γεγονός ότι είναι ικανή η αυτοματοποίηση των διαδικασιών, καθιστώντας με αυτόν τον τρόπο ευκολότερο και σταθερό έλεγχο στη μονάδα. Επιπλέον, συγκριτικά με το παραδοσιακό σύστημα ενεργού ιλύος, παρατηρούμε χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας καθώς και μείωση της παραγόμενης βιομάζας. (Bouskova et al., 2011).

### **3.5 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΒΙΟΚΑΤΑΛΥΤΩΝ LENTIKATS**

Ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα των ενθυλακωμένων μικροοργανισμών Lentikats θεωρείται το κόστος μεταφοράς τους. Οι βιοκαταλύτες θα πρέπει να μεταφέρονται υπό συνθήκες ψύξης. Έτσι, είναι αναγκαία η άμεση παραλαβή τους απο το παραλήπτη, προς αποφυγή λύσης των βακτηρίων. Κάτι τέτοιο καθιστά το κόστος μεταφοράς τους αυξημένο.



Επίσης, έπειτα από την παράδοσή τους στον παραλήπτη οι βιοκαταλύτες δεν είναι έτοιμοι προς χρήση, αφού απαιτείται η ενεργοποίησή τους. Συγκεκριμένα για τους νιτροποιητικούς βιοκαταλύτες απαιτείται χρόνος ενεργοποίησης 10-15 ημερών. Επομένως ο παραλήπτης πρέπει να προβλέψει το χρόνο ενεργοποίησής τους σε περίπτωση που χρειάζεται άμεσα τη χρήση τους.

Τελειώνοντας, αν και ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των βιοκαταλυτών Lentikats θεωρείται η μεγάλη διάρκεια χρόνου ζωής τους, η αντικατάστασή τους είναι αναπόφευκτη με την πάροδο του χρόνου.

### **3.6 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΤΙΚΩΝ ΒΙΟΚΑΤΑΛΥΤΩΝ LENTIKATS ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ**

#### **1. Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Εργοστασίου στην πόλη Tona**

Η συγκεκριμένη εγκατάσταση η οποία τοποθετείται περίπου 30 χιλιόμετρα ανατολικά της Πράγας, είναι εγκατάσταση εργοστασίου και δέχεται τεχνολογικές εκροές αλλά και τις εκροές απο πλυσίματα τεχνολογικών συσκευών. Στη μονάδα αυτή έχουν παρατηρηθεί υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στην εκροή της( 35mg NO<sub>3</sub>-N/L) καθώς επίσης και παραβίαση των ορίων τους. Οι βιοκαταλύτες Lentikats επιλέχθηκαν λόγω του ποσοστού απομάκρυνσης υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικού αζώτου αλλά και λόγω του μικρού διαθέσιμου χώρου της μονάδας. Ο σχεδιασμός αποτελείται από ένα μηχανικώς αναδεδυόμενο αντιδραστήρα που περιέχει απονιτροποιητικούς βιοκαταλύτες Lentikats εφοδιασμένο με ένα εξωτερικό σύστημα δοσομέτρησης οργανικού άνθρακα νιτρικών.

#### **2.Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων της πόλης Litomerice**

Επίσης μια εφαρμογή των βιοκαταλυτών Lentikats σε πλήρη κλίμακα στεγάζεται στην ΕΕΛ της πόλης Litomerice της Τσεχίας με εξυπηρετούμενο πληθυσμό σχεδιασμού στους 40000 ι.κ. Η συγκεκριμένη ΕΕΛ είναι μια μονάδα μηχανικής –βιολογικής επεξεργασίας με εκτεταμένη διαχείριση της ιλύος καθώς εισέρχεται μεγάλο φορτίο από βιομηχανικά απόβλητα, βιομηχανίας τροφίμων. Οι βιοκαταλύτες χρησιμοποιούνται για την μείωση της συγκέντρωσης των νιτρικών(Lentikats Bulletin 2009).

Στη μονάδα αυτή, ο αντιδραστήρας της νιτροποίησης συνδέεται σε σειρά με αυτόν της απονιτροποίησης. Το υπερκείμενο υγρό που προκύπτει απο της αφυδάτωση της αναερόβιας σταθεροποιημένης ιλύος, το οποίο περιέχει μηδενική συγκέντρωση αζώτου εξακολουθεί να εισέρχεται στο στάδιο βιολογικής επεξεργασίας της ΕΕΛ. Τα λύματα που έχουν υποστεί νιτροποίηση εισάγονται στα πρώτα στάδια της υπάρχουσας μονάδας

επεξεργασίας λυμάτων, πριν τη πρωτοβάθμια δεξαμενή καθίζησης επειδή ένα μεγάλο μέρος του αποικοδομήσιμου COD αφαιρείται στην τελευταία δεξαμενή.

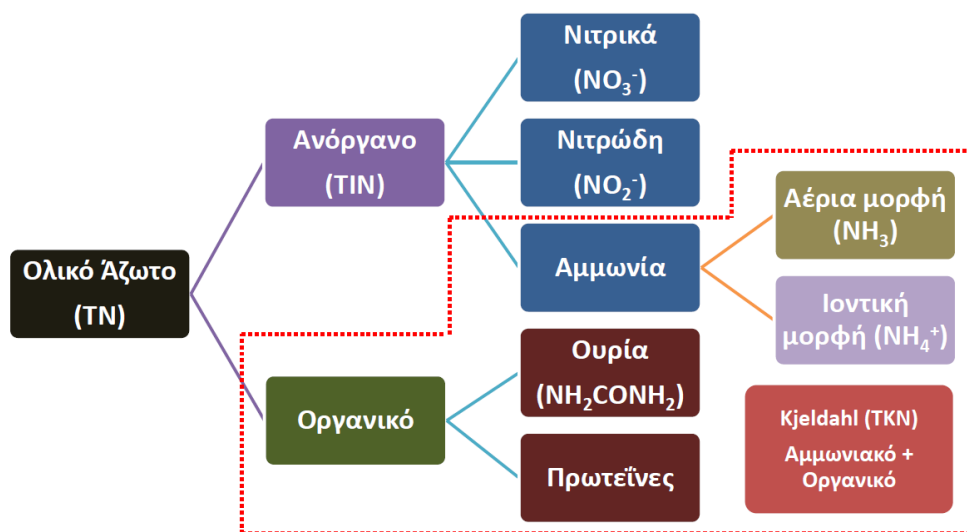
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΜΕ ΥΨΗΛΗ ΠΕΡΙΕΚΤΗΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΑΜΜΩΝΙΑ

Γενικά, απόβλητα με υψηλή περιεκτικότητα σε αμμωνία, μπορούμε να θεωρήσουμε όλα εκείνα τα υγρά απόβλητα τα οποία έχουν συγκέντρωση αμμωνίας υψηλότερη από εκείνη ενός τυπικού αποβλήτου πχ μιάς μονάδας επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Τέτοια παραδείγματα αποβλήτων είναι τα ούρα τα οποία τα εξετάζουμε σαν ξεχωριστό απόβλητο(υπάρχει όμως και σε άλλα προσδίδοντας τους και τις ιδιότητές του), τα υγρά απόβλητα από μονάδες εντατικής κτηνοτροφίας, υγρά απόβλητα από γαλακτοβιομηχανίες, στραγγίδια από ΧΥΤΑ, κτλ.

### 4.1 ΜΟΡΦΕΣ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Οι μορφές του αζώτου που εξετάζονται συνήθως στην επιστήμη της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι το οργανικό άζωτο, η αμμωνία, το ολικό άζωτο(το οποίο είναι το σύνολο του οργανικού και του αμμωνιακού αζώτου) τα νιτρώδη(παράγωγο πρώτου σταδίου της νιτροποίησης) και τα νιτρικά( τελικό προϊόν νιτροποίησης).

Στα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα κύρια πηγή αζώτου είναι συνήθως η αμμωνία και το οργανικό



Σχήμα 11 Μορφές αζώτου στα υγρά απόβλητα(Π. Μελίδης, Δ.Π.Θ)

### 4.2 ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

Η νιτροποίηση, είναι η βιολογική διεργασία μετατροπής του αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικά. Η διεργασία αυτή, είναι αυτότροφη, πράγμα που σημαίνει ότι η ενέργεια που χρειάζονται η μικροοργανισμοί για να την πραγματοποιήσουν λαμβάνεται από την

οξείδωση ανόργανων ενώσεων του αζώτου, ενώ για την σύνθεση νέας κυτταρικής μάζας χρησιμοποιείται ανόργανος άνθρακας. ( E.P.A. 1975)

Αξίζει να αναφερθεί , ότι ενώ το γένος Nitrobacter έχει ερευνηθεί εκτεταμένα, το γένος Nitrospira είναι αυτό που διαδραματίζει το σημαντικότερο ρόλο για την οξείδωση του νιτρώδους ανιόντος σε νιτρικά σε συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και δρα ανταγωνιστικά προς το Nitrobacter. Έρευνες που αφορούν τη χωρική διασπορά των βακτηρίων νιτριοποίησης και νιτρωδοποίησης έδειξαν ότι οι μικροοργανισμοί αυτοί ομαδοποιούνται και αναπτύσσονται σε ξεχωριστές, αλλά σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, αποικίες.

Σύμφωνα με την μικροβιολογία της αφαίρεσης ανθρακικών ενώσεων τα αερόβια βακτήρια κερδίζουν την απαιτούμενη τους ενέργεια από την αντίδραση μεταξύ του υδρογόνου, που προέρχεται από τις οργανικές ενώσεις (δότες H) και του οξυγόνου (αποδέκτης H).

Ομάδες μ/ο	Πηγή C	Δότες e <sup>-</sup>	Δέκτες e <sup>-</sup>	Προϊόντα	Χαρακτηριστικά
Πρωτογενείς αποικοδομητές	Οργ. C (διαλυτός)	Οργ. C			Χημειο-οργανό-ετερότροφα βακτήρια
			O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	- αερόβια βακτήρια
			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	- αναγωγείς NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> και NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N <sub>2</sub>	- απονιτροποιητές
		Οργ. C	Οργ. C	Οργ. C	-αναερόβια βακτήρια
Δευτεροταγείς αποικοδομητές	Οργ. C (σωματηδιακός)	Οργ. C	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Βλεφαριδωτά, μετάζωα
					Χημείο-λιθο-αυτότροφα βακτήρια ειδικά:
Νιτροποιητές	CO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	O <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Οξειδωτές NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
	CO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	O <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Οξειδωτές NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>

Πίνακας 1 ταξινόμηση μικροοργανισμών σε βιολογικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων(Π. Μελίδης, Δ.Π.Θ)

Στην οξείδωση του Αμμώνιου ιόντος προς νιτρικά ιόντα απαιτείται να είναι παρόντα δύο είδη μικροβίων, οι οξειδωτές του Αμμώνιου ιόντος π.χ. nitrosomonas, και οι οξειδωτές των νιτρωδών ιόντων π.χ. nitrobacter. Ακολουθούνται τα επόμενα βήματα αντίδρασης(Metcalf and Eddy, 2003):

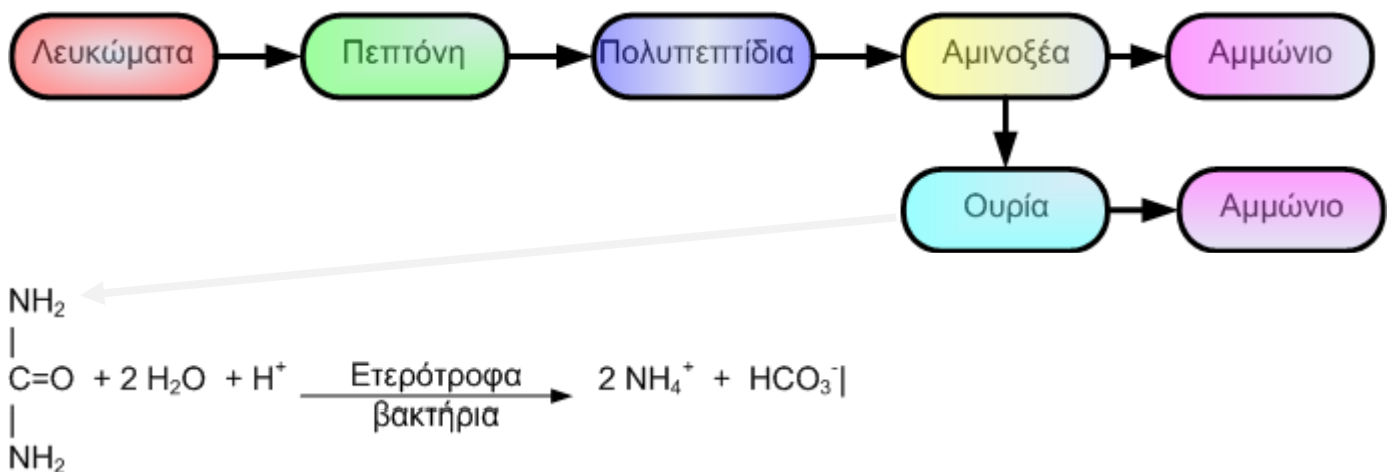
Nitrosomonas:  $\text{NH}_4^+ + 1,5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + 58-84 \text{ kcal}$

Nitrobacter:  $\text{NO}_2^- + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 15-21 \text{ kcal}$

Συνολική Αντίδραση:  $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$

Συνολικά μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι κατά την οξείδωση της αμμωνίας από τις διεργασίες αναπνοής των νιτροποιητών καταναλώνεται οξυγόνο και παράγονται νιτρικά ιόντα, νερό και πρωτόνια, πρωτόνια τα οποία μειώνουν την τιμή του pH στο υγρό απόβλητο. Βέβαια το ενεργειακό κέρδος, από την οξείδωση της αμμωνίας, είναι πολύ μικρό για τους νιτροποιητές και αυτό γίνεται εμφανές στην μικρή παραγωγή κυττάρων ανά μονάδα οξειδούμενης αμμωνίας. Μια στενότερη φυσιολογική σύνδεση των δύο ομάδων βακτηρίων προκύπτει από το δεδομένο ότι υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας ( $\text{NH}_4^+$ ) δρουν τοξικά στα νιτροβακτήρια το οποίο σημαίνει ότι η νιτροζομονάδα πρέπει όχι μόνον να προετοιμάζει τα απαιτούμενα νιτρώδη ιόντα για τα νιτροβακτήρια, αλλά και να μειώνει τις υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας.

### Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού



Σχήμα 12 Μετατροπή οργανικού αζώτου σε αμμώνιο (Π. Μελίδης, Δ.Π.Θ)

### Κινητική της Ανάπτυξης

Σε συστήματα νιτροποίησης που λειτουργούν σε θερμοκρασίες κάτω από τους 28 °C, η κινητική οξείδωσης της αμμωνίας ( $\text{NH}_4^+$ ) είναι περιοριστική του ρυθμού, σε σχέση με την

κινητική οξείδωσης των νιτρωδών ( $\text{NO}_2^-$ ) έτσι ώστε ο σχεδιασμός να βασίζεται σε κινητική κορεσμού για την οξείδωση της αμμωνίας όπως δίνεται παρακάτω, υποθέτοντας ότι υπάρχει περίσσεια DO.

$$\mu_n = \left[ \frac{\mu_{nm}N}{K_n + N} \right] - k_{dn}$$

$\mu_n$ = ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητικών βακτηρίων,

g νέων κυττάρων/gκυττάρων•d

$\mu_{nm}$ = μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητικών βακτηρίων,

g νέων κυττάρων /g κυττάρων\_d

N= συγκέντρωση αζώτου, g/m<sup>3</sup>

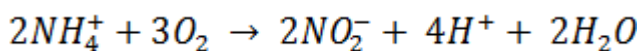
$K_n$  = σταθερά ημιταχύτητας, η συγκέντρωση του υποστρώματος στο 50% του μέγιστου ειδικού ρυθμού κατανάλωσης του υποστρώματος, g/m<sup>3</sup>

$k_{dn}$  = συντελεστής ενδογενούς αποσύνθεσης για νιτροποιητικούς οργανισμούς, g VSS/g VSS\_

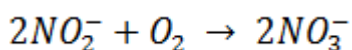
### Στοιχειομετρία της νιτροποίησης

Ενεργειακά η οξείδωση της αμμωνίας προς νιτρικά σε δυο στάδια έχει ως ακολούθως:

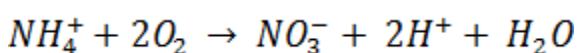
Nitrosomonas:



Nitrobacter:

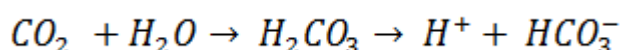


Ολική αντίδραση οξείδωση:

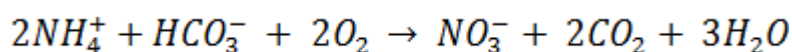


Οι νιτροποιητές μέσω του μεταβολισμού τους κατεβάζουν το pH του διαλείμματος, με αποτέλεσμα να απαιτείται κατανάλωση αλκαλικότητας προκειμένου οι συνθήκες λειτουργίας να είναι βοηθητικές για αυτούς. Συνήθως, λόγω του χαμηλού ρυθμού ανάπτυξης των νιτροποιητών, η αλκαλικότητα που προστίθεται στο διάλυμα μέσω της διάλυσης CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα είναι επαρκής. Ορισμένες φορές παρόλα αυτά απαιτείται η προσθήκη χημικών όπως ανθρακικού νατρίου.

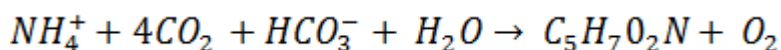
Η προσθήκη αλκαλικότητας στο διάλειμμα περιγράφεται από την παρακάτω χημική αντίδραση:



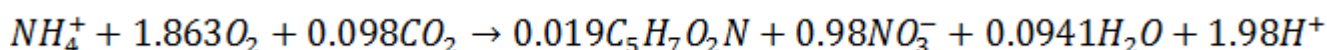
Η αλκαλικότητα που απαιτείται για την παραπάνω αντίδραση μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:



Ενώ η αντίδραση σύνθεσης βιομάζας δίνεται από την εξίσωση 13.:



Η συνολική αντίδραση που λαμβάνει χώρα κατά τη νιτροποίηση είναι η εξής:



Στην εξίσωση 14 οι όροι της εξίσωσης δεν ισοδυναμούν επακριβώς, αλλά το σφάλμα της στρογγυλοποίησης είναι επαρκώς μικρό, ώστε να θεωρηθεί αμελητέο. Από τα παραπάνω μπορεί να εκπονηθεί το συμπέρασμα ότι για κάθε g αμμωνιακού αζώτου (ως N) που μετατρέπεται, καταναλώνονται 4.25 g O<sub>2</sub>, σχηματίζονται 0.16 g νέων κυττάρων, απομακρύνονται 7.07 g αλκαλικότητας ως CaCO<sub>3</sub> και χρησιμοποιούνται 0.08 g ανόργανου άνθρακα για το σχηματισμό νέων κυττάρων. (Tchobanoglous 2006)

## Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

### Διαλυμένο οξυγόνο

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου είναι πάρα πολύ βασική για την νιτροποίηση, καθώς το οξυγόνο είναι πολύ βασικό συστατικό για την κυτταρική αναπνοή. Παρακάτω περιγράφεται η σχέση της ανάπτυξης των μικροοργανισμών με τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, η οποία είναι μια σχέση τύπου Monod. Η σταθερά ημικορεσμού του οξυγόνου ( $K_{DO}$ ) κυμαίνεται σε ένα πολύ ευρύ φάσμα τιμών, σύμφωνα με την EPA (B.L. Mechals 1970) από 0,15 ως 2,0 mg/l. Ένα τόσο μεγάλο εύρος τιμών δημιουργεί αμφιβολίες για το κατά πόσο οποιαδήποτε τιμή μέσα σε αυτό το φάσμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε καθορισμένες συνθήκες. Μια τόσο έντονη διακύμανση των τιμών αποδίδεται στις διαφορετικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της σταθεράς, αλλά και στους περιοριστικούς παράγοντες για τη διάχυση του οξυγόνου, όπως για παράδειγμα στο εσωτερικό των βιοκροκιδωμάτων, και ιδίως σε αυτά που έχουν μεγάλο μέγεθος, τις φορτίσεις σε ουσίες τις οποίες καταναλώνουν άλλα είδη μικροοργανισμών, κ.α.

### Θερμοκρασία

Η βέλτιστη θερμοκρασία βρίσκεται στο εύρος 25 -35°C, ενώ δεν παρατηρείται καμία δραστηριότητα κάτω από 5°C ή πάνω από 35°C για τα *Nitrosomonas*, και κάτω από 5°C ή πάνω από 40°C για τα *Nitrobacter*.

Η θερμοκρασία είναι πλέον σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη των νιτροποιητών, ενώ παίζει καθοριστικό ρόλο και στις τιμές των σταθερών κορεσμού. Από πειράματα που έχουν γίνει, φαίνεται ότι οι βέλτιστη θερμοκρασία για τους νιτροποιητές κυμαίνεται κάπου ανάμεσα στους 28°C και στους 36°C.

Έχει υπολογιστεί πειραματικά ότι ο ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών σε σχέση με τη θερμοκρασία ακολουθεί μια εξίσωση τύπου Arrhenius:

$$\mu_{Tm} = \mu_{15m} \cdot e^{[K \cdot (T-15)]}$$

Όπου

$\mu_{Tm}$  και  $\mu_{15m}$  ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών σε θερμοκρασίες T και 15°C σε d<sup>-1</sup>

K = η σταθερά θερμοκρασίας σε °C<sup>-1</sup>

Η επίδραση της θερμοκρασίας μπορεί να εκφραστεί και με μια άλλη σχέση, το λόγο του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης για μια θερμοκρασία προς το μέγιστο ειδικό ρυθμό ανάπτυξης για 10 °C χαμηλότερα :

$$Q_{10} = \frac{\mu_{(T+10)m}}{\mu_{Tm}}$$

Έχουν υπολογιστεί (Knowles 1965) ότι για το *Nitrosomonas*, σε ποτάμια και καθαρές καλλιέργειες,  $K=0.095\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , με  $T$  ανάμεσα σε 8 °C και 30 °C με  $\mu_{15m}=0,47\text{ d}^{-1}$  και  $Q_{10}=2.59$ . Για την ανάπτυξη σε ενεργό ιλύ υπολογίστηκαν  $K=0.095\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , με  $T$  ανάμεσα σε 8 °C και 30 °C με  $\mu_{15m}=0,18\text{ d}^{-1}$  και  $Q_{10}=3,32$ . Για το *Nitrobacter*, υπολογίστηκε το  $K=0,059\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Βάση του εγχειριδίου Nutrient Control (W.P.F.C. 1983) ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης για θερμοκρασίες 10 °C, 20 °C και 30 °C, είναι 0,30, 0.65, και 1.2  $\text{d}^{-1}$  αντίστοιχα.

Από τη θερμοκρασία εξαρτώνται και οι σταθερές κορεσμού του οξυγόνου, αλλά και της τροφής των μικροοργανισμών. Παρακάτω παρουσιάζονται σχέσεις συνάρτησης σταθερών κορεσμού για το *Nitrosomonas* και το *Nitrobacter*.

*Nitrosomonas*:

$$K_{NS,T} = K_{NS,15} \cdot e^{[0.118 \cdot (T-15)]}$$

$$K_{NS,15} = 0.405$$

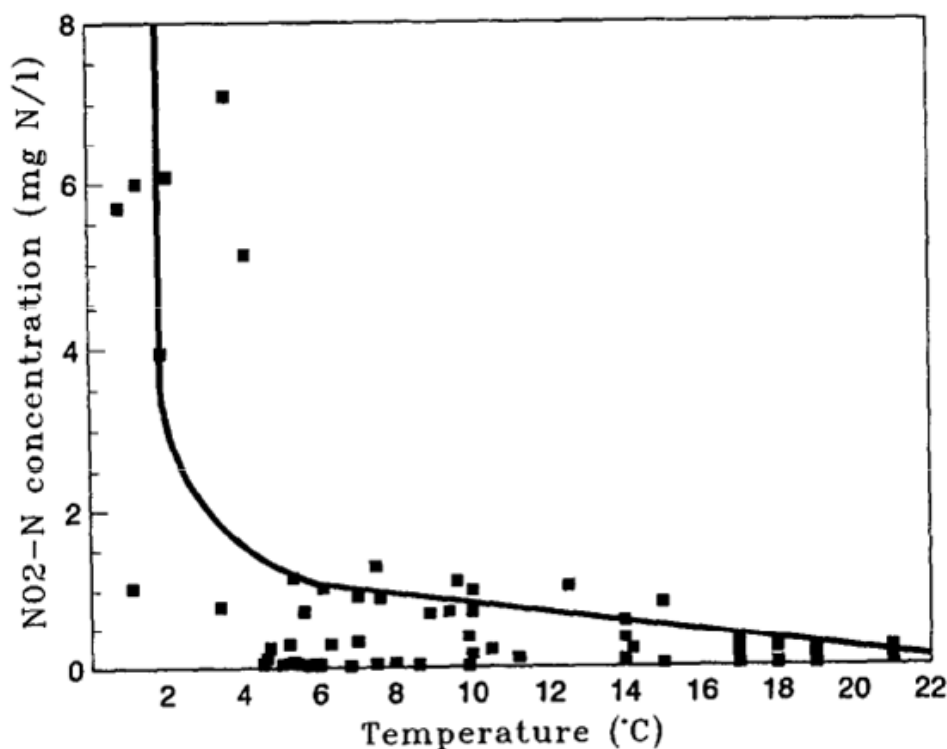
*Nitrobacter*

$$K_{NB,T} = K_{NB,15} \cdot e^{[0.146 \cdot (T-15)]}$$

$$K_{NB,15} = 0.625$$

Οι παραπάνω σχέσεις δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν παρά μόνο για μια θεωρητική εκτίμηση της επίδρασης της θερμοκρασίας, λόγω της ποικίλης σύστασης των αποβλήτων, και των παρεμποδιστικών ουσιών που μπορεί να υπάρχουν στο λύμα, και άρα η πραγματική επίδραση της θερμοκρασίας πρέπει κάθε φορά να υπολογίζεται πειραματικά. Στην πράξη, η επίδραση της θερμοκρασίας εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως για παράδειγμα το pH. Τέλος πρέπει να επισημανθεί ότι η ευαισθησία των νιτροποιητών αυξάνεται όσο η πιο απότομα γίνονται οι αλλαγές. Αυτό σημαίνει ότι ακαριαίες αλλαγές θερμοκρασίας επηρεάζουν περισσότερο τα βακτήρια από σταδιακές αλλαγές.





Σχήμα 13 Επίδραση της θερμοκρασίας στα νιτρώδη(Grady, 1999)

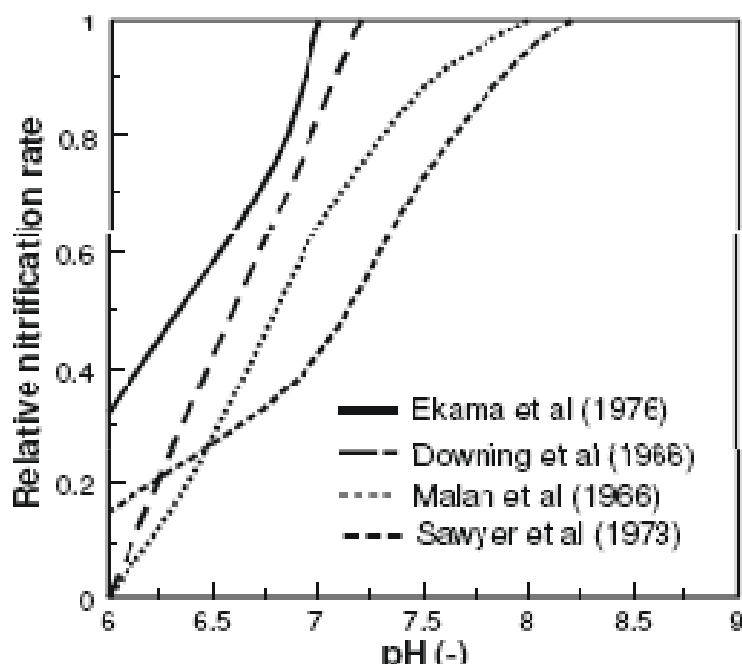
## pH

Ο μέγιστος ρυθμός νιτροποίησης διαπιστώθηκε σε pH 7,8 με την επίδραση του pH να είναι υψηλότερη σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η χαμηλή τιμή του pH στην ουσία δρα ανασταλτικά στη νιτροποίηση και όχι τοξικά, αφού μετά από επαναφορά από την όξινη περιοχή στην ουδέτερη η νιτροποιητική δραστηριότητα ανακάμπτει. Ο μηχανισμός με τον οποίο το pH δρα ανασταλτικά στη διεργασία της νιτροποίησης σχετίζεται με τα φαινόμενα ανάσχεσης από την ελεύθερη αμμωνία (FA) και το ελεύθερο ή μη ιονισμένο νιτρώδες οξύ (FNA) Όταν το ενδοκυτταρικό pH ενός νιτροποιητή είναι μικρότερο του εξωτερικού του περιβάλλοντος, η ελεύθερη αμμωνία  $\text{NH}_3$  διαπερνά την κυτταρική μεμβράνη, ενώ το αμμωνιακό  $\text{NH}_4^+$  παραμένει εκτός. Όμοια, όταν το ενδοκυτταρικό pH ενός νιτροποιητή είναι μεγαλύτερο του εξωτερικού του περιβάλλοντος, το ελεύθερο νιτρώδες οξύ  $\text{HNO}_2$  διαπερνά στο εσωτερικό του κυττάρου, και όχι το νιτρώδες. Συνεπώς, η ελεύθερη αμμωνία και το νιτρώδες οξύ αποτελούν πιο σημαντικούς αναστολείς της νιτροποίησης από τα αμμωνιακά και τα νιτρώδη.

Σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων τα βασικά είδη μικροοργανισμών είναι οι ετερότροφοι μικροοργανισμοί, οι νιτροποιητές και απονιτροποιητές.

Οι ετερότροφοι είναι σχετικά ανθεκτικοί στις μεταβολές του pH εκατέρωθεν της ουδετερότητας ενώ μέσω της κατανάλωσης του οργανικού φορτίου παράγουν CO<sub>2</sub> το οποίο διαλύεται στο νερό σχηματίζοντας H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, το οποίο με τη σειρά του παράγει HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> και αυτό με τη σειρά του CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Οι πιο πάνω ενώσεις δημιουργούν ρυθμιστικό διάλυμα (δηλαδή διάλυμα ανθεκτικό σε μεταβολές του pH), με συνέπεια να διατηρείται το κατάλληλο περιβάλλον για την ανάπτυξη ετερότροφων.

Οι νιτροποιητές, σε αντίθεση με τους ετερότροφους, είναι ευαίσθητοι στις αλλαγές του pH, και δεν έχουν κάποιο μηχανισμό σταθεροποίησης του. Επιπροσθέτως, μέσω του μεταβολισμού τους καταναλώνουν αλκαλικότητα (το συγκεκριμένο θέμα αναλύεται παρακάτω), με αποτέλεσμα το pH να έχει την τάση να κατεβαίνει. Έτσι πρέπει συνήθως να προστίθεται κάποια βασική ουσία, προκειμένου να διατηρήσουμε την απόδοση της νιτροποίησης σε επιθυμητά επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, για pH μικρότερα του 6 και μεγαλύτερα του 9 η νιτροποίηση είναι πρακτικά μηδενική. Από το 6 και μέχρι το 7 περίπου η δραστηριότητα των *Nitrosomonas* παρουσιάζει έντονη αύξηση, από το 7 μέχρι το 8, ελαφριά αύξηση, και από το 8 και προς τα βασικά pH αυτή μειώνεται αισθητά. Τα *Nitrobacter* ανάλογα παρουσιάζουν αύξηση της δραστηριότητας τους από pH 6 ως 7.5, σταθερή δραστηριότητα για pH 7.5 με 8 και μείωση από το 8 και σε πιο αλκαλικά pH.



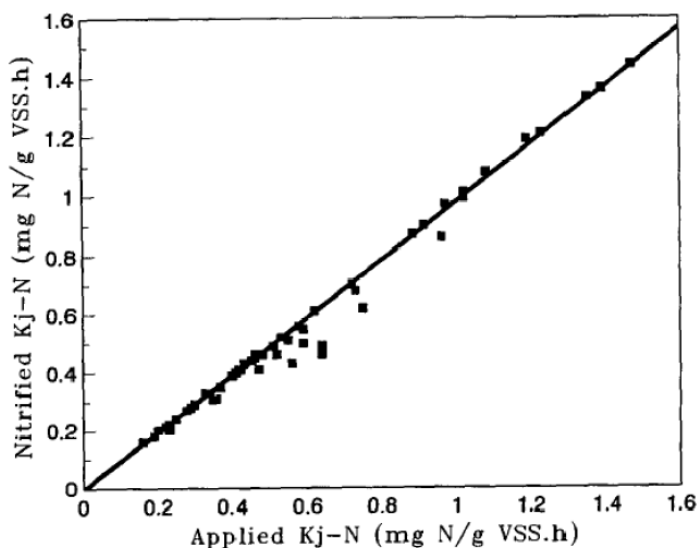
Σχήμα 14 επίδραση του pH την νιτροποίηση σύμφωνα με την Ε.Ρ.Α. (Grady, 1999)

### Συγκέντρωση αμμωνίας και νιτρωδών

Τόσο οι *Nitrosomonas* όσο και οι *Nitrobacter* είναι ευαίσθητοι στο ίδιο τους το υπόστρωμα, αλλά ακόμη περισσότερο ο ένας στο υπόστρωμα του άλλου. Σύμφωνα με τα

παραπάνω, ο βαθμός ευαισθησίας εξαρτάται από την ισορροπία αμμωνίας – αμμωνιακού και νιτρικού οξέος – νιτρωδών. Τέλος, ο ρυθμός νιτροποίησης σε συγκεντρώσεις

$\text{NH}_4^+\text{-N} < 2,5 \text{ mg/L}$  παρουσιάζει απότομη πτώση (Culp et al., 1978).



Σχήμα 15 σχέση μεταξύ φόρτισης αζώτου και διαδικασίας νιτροποίησης (Grady, 1999)

### Λόγος BOD5 / TKN

Το κλάσμα των νιτροποιητών της ενεργού ιλύος έχει βρεθεί ανάλογο του λόγου BOD5/TKN, όπου TKN είναι το ολικό κατά Kjeldahl άζωτο (Total Kjeldahl Nitrogen). Με αυξανόμενες τιμές του λόγου αυτού, το κλάσμα των νιτροποιητών μειώνεται. Μάλιστα για τιμές  $>5$ , η διεργασία της νιτροποίησης θεωρείται ότι συμβαίνει ταυτόχρονα με την οξείδωση των ανθρακούχων συστατικών, ενώ για τιμές  $< 3$ , η διεργασία λαμβάνει χώρα σε ξεχωριστό στάδιο

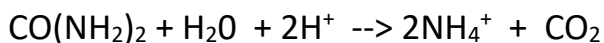
### Τοξικές ουσίες

Χημικές ουσίες, όπως αμίνες, τανίνες, φαινολικές ενώσεις, αλκοόλες, αιθέρες, θειουρία, στρυχνίνη, ανιλίνη, θειοακεταμίδιο κ.α., ή μεγάλες συγκεντρώσεις των απαραίτητων ιχνοστοιχείων (φωσφορικά, μαγνήσιο, σίδηρος, ασβέστιο, χαλκός και βιταμίνες) δρουν ανασταλτικά.

### 4.3 ΟΥΡΑ

Τα ούρα, έχουν υψηλές συγκεντρώσεις συστατικών και είναι επίσης αρκετά ασταθή. Υπάρχουν στα απόβλητα από τουαλέτες τύπου no-mix, είτε αραιωμένα είτε όχι(“ξηρά” ουρητήρια). Η μελέτη και η συμπεριφορά τους στην επεξεργασία έχει σημασία, καθώς είναι σημαντικό κομμάτι σε πολλές κατηγορίες αποβλήτων, όπως είναι τα απόβλητα κτηνοτροφίας, γαλακτοβιομηχανίας κτλ. τα οποία θα δούμε παρακάτω.

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσής τους, η οποία μπορεί να είναι απο μερικές μέρες μέχρι και μερικές εβδομάδες, η ουρία, η οποία περιέχεται σε μεγάλο βαθμό στα ούρα, υδρολύεται σε ιόντα αμμωνίου και διοξείδιο του άνθρακα,



μέσω μίας αντίδρασης η οποία καταλύεται απο το ένζυμο ουρεάση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του pH, η οποία με την σειρά της προκαλεί στερεοποίηση του φωσφορικού ασβεστίου, στρουβίτη και ασβεστίτη. Έτσι, το 90% του ολικού αζώτου μετατρέπεται σε αμμωνία, το pH φθάνει σε μια τιμή γύρω στο 9 και το 30% του φωσφόρου στεριοποιείται. (Udert, 2003)

Μετά την αποθήκευση, τα ούρα περιέχουν μεγάλες ποσότητες αμμωνίας όπως προήπαμε, οι οποίες όμως μπορούν να εξατμιστούν(καθώς η αμμωνία είναι πτητική ουσία) εάν τα ούρα ανακινούνται κατά την μεταφορά τους ή/και την εφαρμογή τους ως λίπασμα.

Η παραπάνω κατάσταση που περιγράψαμε, μας δείχνει ότι η επεξεργασία των ούρων και η ανάκτηση των θρεπτικών απαιτεί ειδική μεθοδολογία και αντιμετώπιση.

Οι λύσεις που υπάρχουν για την αντιμετώπιση του προβλήματος που δημιουργεί η ουρία είναι οι εξής:

- 1) Μεγάλη αραιώση αποβλήτου πριν την νιτροποίηση, έτσι ώστε οι μικροοργανισμοί να προλαβαίνουν να καταναλώνουν την αμμωνία που παράγεται από την υδρόλυση της ουρίας.
- 2) υδρόλυση των ούρων σε μια δεξαμενή σταθεροποίησης πριν την νιτροποίηση, ώστε να μην έχουμε αλλαγές στην συγκέντρωση της αμμωνίας και αυξομειώσεις του pH μέσα στον αντιδραστήρα την νιτροποίησης

3) Χρήση ουσίας η οποία δρά ανασταλτικά για την ουρεάση και έτσι δεν υδρολύεται η ουρία σε αμμωνία (πχ θειοθειικό αμμώνιο, N-βουτυλο θειοφωσφορικό τριαμίδιο (NBTPPT ή NBPT) κ.α. ) (Internation Plant Nutrition Institute, Georgia USA, [www.ipni.net](http://www.ipni.net))

<b>Συστατικό</b>	<b>Φρέσκα ούρα</b>	<b>Υδρολυμένα ούρα</b>
<b>Ολικό άζωτο(<math>mgN\ L^{-1}</math>)</b>	9200	9200
<b>Ολική αμμωνία(<math>mgN\ L^{-1}</math>)</b>	480	8100
<b>Αμμωνία <math>NH_3</math>(<math>mgN\ L^{-1}</math>)</b>	0,3	2700
<b>Ουρία(<math>mgN\ L^{-1}</math>)</b>	20	0
<b>Ολικό φώσφορο(<math>mgP\ L^{-1}</math>)</b>	740	540
<b>COD (<math>mgO_2L^{-1}</math>)</b>	10000	10000
<b>Ασβέστιο(<math>mg\ L^{-1}</math>)</b>	190	0
<b>Μαγνήσιο(<math>mg\ L^{-1}</math>)</b>	100	0
<b>Κάλιο(<math>mg\ L^{-1}</math>)</b>	2200	2200
<b>Ολικά ανθρακικά (<math>mg\ C\ L^{-1}</math>)</b>	0	3200
<b>Θειικό άλας (<math>mgSO_4L^{-1}</math>)</b>	1500	1500
<b>Χλώριο (<math>mg\ L^{-1}</math>)</b>	3800	3800
<b>Νάτριο(<math>mg\ L^{-1}</math>)</b>	2600	2600
<b>Αλκαλικότητα(<math>mM</math>)</b>	22	490
<b>pH</b>	6,2	9,1

Πίνακας 2 Μέσες συγκεντρώσεις από αποθηκευμένα και φρέσκα ούρα. *Source:* Udert et al., 2003b

### 4.3 ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑΣ

Σε μια κτηνοτροφική μονάδα, κατά την διατήρηση των ζώων στους στάβλους, υπάρχει παραγωγή υγρών και στερεών αποβλήτων, τα οποία είναι αποτέλεσμα του μεταβολισμού της τροφής που καταναλώνουν τα ζώα. Επίσης, υπάρχουν και οι διαφυγές κατά την διανομή της τροφής και του νερού, μέσα ή κοντά στους χώτους εκτροφής. Η ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων είναι ανάλογη του βαθμού εντατικοποίησης της εκτροφής και της πυκνότητας των εκτρεφόμενων ζώων. Αποτέλεσμα της παραγωγής αποβλήτων είναι η έκλυση οσμών και η μεταφορά οργανικών και ανόργανων ρύπων στο περιβάλλον τα οποία υποβαθμίζουν τον τελικό εδαφικό ή υδατικό αποδέκτη (Δ. Γεωργακάκης, 1998). Τα κτηνοτροφικά απόβλητα χαρακτηρίζονται από μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανικές ουσίες, ποσοστό μεγαλύτερο του 70% είναι οργανικής σύστασης. Τα οργανικά συστατικά στους ρύπους αυτούς, προέρχονται συνήθως από τροφές οι οποίες δεν αφομοιώθηκαν κατά την πέψη των ζώων και σε μικρότερο ποσοστό από τις ζωοτροφές που παρασύρθηκαν ή διασκορπίστηκαν στα κανάλια της αποχέτευσης (πχ με τα πλυσίματα). Συνέπεια της πρόελευσης αυτής είναι ο εμπλουτισμός τους με μικροοργανισμούς, κύρια μεθανοβακτήρια από το πεπτικό σύστημα των ζώων. Αυτοί οι μικροοργανισμοί βρίσκουν άφθονο οργανικό υπόστρωμα και αναπτύσσονται σε μεγάλο ή μικρό βαθμό ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες του περιβάλλοντος κύρια, θερμοκρασίας και pH. Τα προϊόντα αυτής της ανάπτυξης των μικροοργανισμών είναι το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το υδρόθειο, η αμμωνία και άλλες διάφορες δύσοσμες ουσίες. Η ένταση των οσμών αυτών εξαρτάται από τις συνθήκες διατήρησης των αποβλήτων. Ο δε όγκος των αποβλήτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος, το βάρος και την ηλικία των ζώων, καθώς επίσης και από την διατροφή τους. Ο τελικός όγκος, όμως των αποβλήτων που προκύπτει είναι μεγαλύτερος λόγω της αραίωσης τους με νερό από πλυσίματα των χώρων, βροχοπτώσεις ή και διαρροών καθώς επίσης από την προσθήκη στρωμνής (άχυρο, υπολείμματα ζωοτροφών, τρίχες κλπ). Με βάση τη σχέση νερού και στερεών συστατικών τα κτηνοτροφικά απόβλητα μπορούν να θεωρηθούν στερεής, ημιστερεής, ημίρρευστης και υγρής μορφής.

1) Στερεά: Περιέχουν υγρασία λιγότερη από 80 % ή Ολικά Στερεά περισσότερα από 20%. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται:

- α) Κοπριά αιγοπροβάτων και πτηνών
- β) Βουστασίων και χοιροστασίων αναμιγμένη με στρωμνή
- γ) Στερεά φυγοκεντρικού διαχωρισμού υγρών αποβλήτων χοιροστασίων

2) Ημιστερεά: Με υγρασία 80-85% ή Ολικά Στερεά περισσότερα από 15- 20%. Αυτή τη μορφή έχουν:

- α) Τα στερεά απόβλητα των βουστασίων
- β) Τα στερεά διαχωρισμού (με κόσκινα) υγρών αποβλήτων χοιροστασίων
- γ) Στερεά της προηγούμενης μορφής εμπλουτισμένα με νερό (κύρια βροχής)

3) Ημίρρευστα: Με υγρασία 85-90% ή Ολικά Στερεά (ΟΣ) περισσότερα από 5- 15%. Αυτή τη μορφή έχουν:

- α) Απόβλητα χοιροστασίων και βουστασίων όπως παράγονται από τα ζώα (κοπριά και ούρα)
- β) Απόβλητα χοιροστασίων όπως βγαίνουν από τους στάβλους μετά από την αραίωσή τους με νερά πλύσεως κλπ
- γ) Λάσπες των δεξαμενών συγκέντρωσης, επεξεργασίας και αποθήκευσης

4) Υγρά : Με υγρασία πάνω από 95% ή Ολικά Στερεά (ΟΣ) λιγότερα από 5%. Αυτή τη μορφή έχουν τα:

- α) Τα υγρά απόβλητα των χοιροστασίων όπως βγαίνουν από τους στάβλους (συμπεριλαμβανομένων των νερών πλυσίματος και βροχής).
- β) Τα υγρά που προέρχονται από την στράγγιση των κοπροσωρών (χοιροστασίων και βουστασίων)
- γ) Τα υγρά τα προερχόμενα από τα συστήματα με προορισμό τον τελικό αποδέκτη.

Εάν τα υγρά απόβλητα της κτηνοτροφίας διατίθενται ανεπεξέργαστα στο φυσικό περιβάλλον, μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα στα φυσικά υδάτινα σώματα. Οι επιπτώσεις είναι μεγαλύτερες σε περιπτώσεις όταν ο όγκος και η συχνότητα των φορτίσεων είναι υψηλή. Βέβαια, τα παραπάνω απόβλητα είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν, μετά από ειδικές επεξεργασίες ως λιπάσματα και εδαφοβελτιωτικά. Ωστόσο, αν τα λύματα εφαρμόζονται σε τιμές πέραν του ποσοστού απορρόφησης των καλλιεργειών, η περίσσεια υγρών αποβλήτων θα μπορούσε να τεθεί επιφανειακά και στα υπόγεια ύδατα. Έτσι, είναι σημαντική η προεπεξεργασία των λυμάτων αυτών. Τα λύματα αυτά, χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά, υψηλό COD και BOD και υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο, κυρίως στη μορφή της αμμωνίας.

Ο τρόπος λοιπόν παραγωγής των αποβλήτων επιτρέπει τον χειρισμό τους, ώστε να είναι δυνατή η πλήρης αξιοποίηση τους με ανακύκλωση των τελικών υγρών και στερεών στο έδαφος για λίπανση ή/και άρδευση φυτών μετά από επαρκή επεξεργασία σε ειδικές εγκαταστάσεις. Η χρήση αυτή των λυμάτων μπορεί να δώσει πολλές απαντήσεις στα προβλήματα του σύγχρονου κόσμου, όπως είναι η έλλειψη νερού στην γεωργία, το υψηλό κόστος που απαιτεί η λίπανση αλλά και η αρνητικές επιπτώσεις που έχει η παραγωγή (και υπερβολική χρήση) των λιπασμάτων κ.α. Προϋπόθεση όμως είναι η διαχείριση των αποβλήτων με τέτοιο τρόπο, που να μην προκαλούνται ενοχλήσεις ή αντιαισθητικές καταστάσεις στην περιοχή λειτουργίας των μονάδων αυτών.

#### Επιπτώσεις στο Περιβάλλον από τη Διάθεση των Κτηνοτροφικών Αποβλήτων

Οι ζωντανοί οργανισμοί βρίσκονται σε αλληλεπίδραση με το φυσικό τους περιβάλλον, από το οποίο προσλαμβάνουν τις πρώτες ύλες (τροφές κλπ) και στο οποίο αποδίδουν ότι δεν τους χρειάζεται. Σημαντικό είναι να αναφερθεί, ότι στον όρο περιβάλλον συμπεριλαμβάνονται το σύνολο των φυσικών αλλά και ανθρωπογενών παραγόντων και στοιχείων που βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία.. Τα οικοσυστήματα πλέον δεν είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν την μεγάλη φορτίση από ρύπους που δέχονται μέσω των ομοιοστατικών τους μηχανισμών, καθώς πλέον η κτηνοτροφία έχει εντατικοποιηθεί και η συσσώρευση υγρών και στερεών αποβλήτων είναι τεράστια. Τα τελευταία χρόνια, κατά τα οποία η κτηνοτροφία γίνεται όλο και εντατικότερη, η φύση δεν είναι σε θέση πλέον να αντιμετωπίσει το τεράστιο ρυπαντικό φορτίο που δέχεται ανά μονάδα από τον τεράστιο αριθμό ζώων που βρίσκονται σε πολύ μικρο αναλογικά με τον αριθμό τους χώρο. Το μεγάλο μέγεθος των αποβλήτων ξεπέρασε τις δυνατότητες των οικοσυστημάτων να αντεπεξέλθουν και προκλήθηκε υποβάθμιση του περιβάλλοντος.



<b>Τύπος Υγρού αποβλήτου</b>	<b>Μέσος όρος συγκέντρωσης στην είσοδο (mg/L)</b>
<b>BOD<sub>5</sub></b>	
Τάισμα βοοειδών	137
γαλακτοκομία	442
Πουλερικά	153
χοίροι	104
<b>TSS</b>	
Τάισμα βοοειδών	291
γαλακτοκομία	1111
χοίροι	128
<b>NH<sub>4</sub>-N</b>	
Τάισμα βοοειδών	5,1
γαλακτοκομία	105
Πουλερικά	74
χοίροι	366
<b>TN</b>	
γαλακτοκομία	103
Πουλερικά	89
χοίροι	407

Πίνακας 3 Τυπικές τιμές εισόδου κτηνοτροφικών μονάδων(Robert L. Knight et al, 2000)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ**

### **5.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ**

Διαβάζοντας κάποιος όλα τα παραπάνω, διαπιστώνει ότι καθώς η κεντρική διαχείριση των υγρών αποβλήτων, είναι και ολοένα θα γίνεται, με το πέρασμα του χρόνου, μή βιώσιμη, και παράλληλα ότι τα υγρά απόβλητα τα οποία έχουν μεγάλες συγκεντρώσεις σε αμμωνία χρειάζονται ειδική επεξεργασία και χειρισμό, εντοπίζεται η ανάγκη εύρεσης ενός τέτοιου συστήματος ή τεχνολογίας, η οποία θα είναι πάνω απ' όλα βιώσιμη, οικονομική, εύκολη στην εγκατάσταση.

Το πρόβλημα αυτό έχει δύο ρίζες. Η πρώτη, όπως προαναφέρθηκε είναι η μη βιώσιμη φύση που εμφανίζει η κεντρική διαχείριση των αποβλήτων, με τις τεράστιες μονάδες σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του αποβλήτου, τις πάρα πολύ δαπανηρές σε ενέργεια λειτουργίες των μηχανημάτων αλλά κυρίως το τεράστιο κόστος κατασκευής αποχετευτικού δικτύου κάθε περιοχής για την μεταφορά των υγρών αποβλήτων στην μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της κάθε περιοχής. Όσο μεγαλύτερη περιοχή καλύπτει μια τέτοια μονάδα, τόσο μεγαλύτερο είναι το κόστος κατασκευής και λειτουργίας αυτής.

Η δεύτερη ρίζα του προβλήματος, είναι τα υγρά απόβλητα τα οποία έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε αμμωνία. Αφενός, χρειάζεται ειδική εγκατάσταση για την επεξεργασία αυτών, η οποία είναι αρκετά δαπανηρή και αφετέρου, στην περίπτωση που επιλεγθεί ένα φυσικό σύστημα επεξεργασίας, πάλι υπάρχει πρόβλημα, καθώς τα φυτά είτε το προκείμενο βιοφίλμ ενός εδαφικού συστήματος δεν είναι ικανό να δεχτεί και να λειτουργήσει σταθερά δεχόμενο τεράστιες ποσότητες αμμωνίας.

Αφού αναλύθηκαν υπάρχουσες επιστήμες και τεχνικές επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που ξεφεύγουν από την λογική της κεντρικής διαχείρισης και αγγίζουν φυσικούς τρόπους και τεχνικές και αφού μελετήθηκε και η σύσταση, η προέλευση, τα είδη και η συμπεριφορά αποβλήτων με υψηλή περιεκτικότητα σε αμμωνία έγινε προσπάθεια σχεδιασμού αλλά και εφαρμογής ενός συστήματος που να αντιμετωπίσει τα προαναφερθέντα προβλήματα.

### **5.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ**

Σκοπός λοιπόν του πειράματος μας, είναι να δημιουργήσουμε ένα εν-μέρη φυσικό σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, δομημένο και μελετημένο έτσι ώστε να είναι ικανό να επεξεργαστεί με σταθερότητα υγρά απόβλητα με υψηλή συγκέντρωση σε αμμωνία, αντικείμενο το οποίο αδυνατούν άλλα φυσικά συστήματα να αντιμετωπίσουν.

### 5.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Το προτεινόμενο σύστημα για την διαχείριση υγρών αποβλήτων με μεγάλη περιεκτικότητα σε αμμωνία συνίσταται στα εξής:

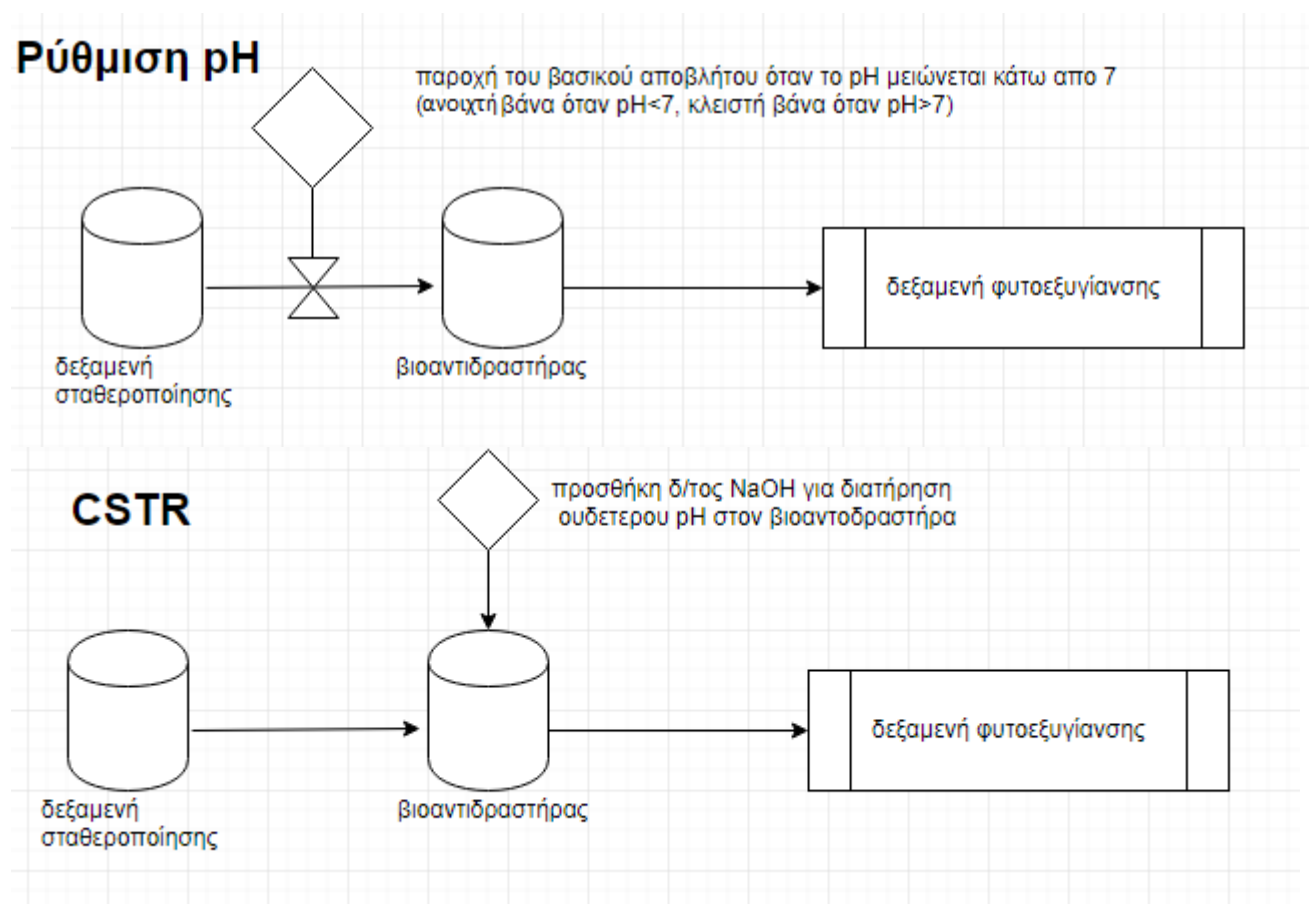
Αρχικά το ανεπεξέργαστο απόβλητο ( το οποίο μπορεί να είναι ούρα από ένα ή περισσότερα ουρητήρια ή τουαλέτες "no-mix", υγρά απόβλητα από κτηνοτροφικές μονάδες ή απο μονάδες γαλακτοβιομηχανίας κ.α.) εισέρχεται στην δεξαμενή σταθεροποίησης. Η δεξαμενή αυτή λειτουργεί σαν ένας χώρος συλλογής και εξισορρόπησης της ροής, καθώς η παροχή εισόδου του ανεπεξέργαστου αποβλήτου στην δεξαμενή αυτή, μπορεί να διαφέρει από την παροχή λειτουργείας του συστήματος. Ο δεύτερος ρόλος της δεξαμενής εξισορρόπησης, είναι η υδρόλυση της ουρίας. Τα απόβλητα με υψηλή αμμωνία συνήθως είναι απόβλητα με υψηλές περιεκτικότητες σε ανθρώπινες ή ζωικές απεκκρίσεις. Οπότε, είτε πρόκειται να επεξεργαστούν ανθρώπινα υγρά απόβλητα με υψηλή συγκέντρωση σε αμμωνία είτε ζωικά, τότε σίγουρα θα υπάρξει ουρία η οποία θα δημιουργεί πρόβλημα στο σύστημα. Από τους διαθέσιμους τρόπους επίλυσης του προβλήματος που προκαλεί η ουρία που προαναφέρθηκε, επιλέχθηκε αυτός της υδρόλυσής της, καθώς είναι ο πιο σίγουρος, σταθερός και οικονομικός τρόπος. Έτσι λοιπόν, η δεξαμενή αυτή, θα είναι σχεδιασμένη να δέχεται την εισροή για μεγάλο χρόνο παραμονής, τόσο όσο με σιγουριά να επιτυγχάνεται η υδρόλυση της ουρίας, δηλ η μετατροπή του οργανικού αζώτου σε αμμωνία. Η υδρόλυση μπορεί επίσης να επιτευχθεί και με αερισμό μέσα στη δεξαμενή μειώνοντας έτσι σημαντικά το χρόνο παραμονής. Επιλέχθηκε να μη χρησιμοποιηθεί η μέθοδος αυτή καθώς χρειάζεται συνεχή παρακολούθηση καθώς υπάρχει κίνδυνος υπερβολικού αφρισμού ανάλογα και με τη σύσταση του αποβλήτου. Επίσης, λόγω του αερισμού, αεριοποιείται σημαντικό τμήμα της αμμωνίας των αποβλήτων, φαινόμενο ανεπιθύμητο.

Στη συνέχεια, το απόβλητο θα εισέρχεται σε έναν αντιδραστήρα νιτροποίησης με βιοκαταλύτες Lentikats, με σκοπό την νιτροποίηση. Εκεί, με συνεχή ανάδευση και αερισμό, η αμμωνία του αποβλήτου θα μετατρέπεται πλήρως σε νιτρικά.

Στον αντιδραστήρα αυτόν θα δοκιμαστεί σταθερή παροχή από την δεξαμενή σταθεροποίησης αλλά και ρύθμιση της εισόδου από το pH . Δηλαδή αντί να υπάρχει ένα διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου να ρυθμίζει το pH, η είσοδος θα είναι από την δεξαμενή σταθεροποίησης η οποία θα περιέχει απόβλητο με υψηλό pH και θα εισέρχεται περιοδικά κάθε φορά θα μειώνεται το pH απο την βιολογική διεργασία της νιτροποίησης της αμμωνίας. Μετά τον βιοαντιδραστήρα το νιτροποιημένο πλέον απόβλητο θα εισέρχεται σε μια δεξαμενή φυτοεξυγίανσης η οποία θα περιέχει τα επιλεγμένα φυτά. Τα φυτά αυτά έχουν επιλεγθεί με σκοπό τη βέλτιστη απομάκρυνση των θρεπτικών ουσιών και των ρύπων για την εξυγίανση του νερού. Τελικά θα υπάρχει μια καθαρή εκροή από την δεξαμενή αυτή η οποία θα είναι και η τελική έξοδος μας. Θα έχει παράλληλα παραχθεί και

μια ποσότητα φυτικής βιομάζας από την ανάκτηση των θρεπτικών των αποβλήτων από τα φυτά, την οποία θα την επεξεργαστούμε κατάλληλα. Η επεξεργασία αυτή, θα είναι ανάλογη της τοποθεσίας και της χρήσης του συνολικού συστήματος(παραγωγή ζωοτροφής αν το σύστημα βρίσκεται σε μια κτηνοτροφική μονάδα και επεξεργάζεται τα απόβλητα αυτής, παραγωγή κομποστ/ εδαφοβελτιωτικού αν επεξεργάζεται ένα απόβλητο σε κάποιο ουρητήριο στην εθνική οδό είτε ξεχωριστά κάποιο ρεύμα ενός βιολογικού καθαρισμού).

Στο σχήμα 16 φαίνονται οι δυο πειραματικές διατάξεις του συστήματος, με βάσει τις οποίες θα γίνουν οι μετρήσεις, παρατηρήσεις και συμπεράσματα στην συνέχεια των πειραματικών διαδικασιών.



Σχήμα 16 Απλό διάγραμμα ροής πειραματικών διατάξεων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

### 6.1 Περιγραφή μεθόδων

#### Παρασκευή Standard Solution

Η παρασκευή του Standard Solution γινόταν με διάλυση των θρεπτικών σε απιονισμένο νερό. Τα θρεπτικά που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και οι συγκεντρώσεις τους, παρουσιάζονται στον πίνακα 4. Το διάλυμα αυτό χρησιμοποιήθηκε για δυο λόγους στο πείραμα. Αρχικά, μέσα σε αυτό ενεργοποιούνται οι μικροοργανισμοί, ενώ κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το Standard Solution ήταν το υγρό στο οποίο διαλύαμε το απόβλητο από το βιολογικό καθαρισμό, μέχρι να προσαρμοστούν σε αυτό οι νιτροποιητές.

<i>Χημική ένωση</i>	<i>Ποσότητα (g/l)</i>
<i><math>K_2HPO_4</math></i>	1.16
<i><math>KH_2PO_4</math></i>	0.23
<i><math>NaHCO_3</math></i>	0.34
<i><math>MgSO_4 \cdot 7 H_2O</math></i>	0.05
<i><math>CaCl_2 \cdot 2 H_2O</math></i>	0.01
<i><math>(NH_4)_2SO_4</math></i>	0.66
<i>TES</i>	1.5 ml/l

Πίνακας 4 Χημική σύσταση Standard Solution

Το TES είναι ένα διάλυμα θρεπτικών, το οποίο προσθέτουμε κατά τη διαδικασία παρασκευής Standard Solution, και τα συστατικά του φαίνονται στον πίνακα 5.

<i>Χημική ένωση</i>	<i>Ποσότητα (g)</i>
<b>Na-EDTA</b>	2.5
<b>FeSO<sub>4</sub> . 7 H<sub>2</sub>O</b>	1.5
<b>Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> . 2 H<sub>2</sub>O</b>	1
<b>CuSO<sub>4</sub> . 5 H<sub>2</sub>O</b>	0.3
<b>MnCl<sub>2</sub> . 4 H<sub>2</sub>O</b>	0.3
<b>ZnSO<sub>4</sub> . 7 H<sub>2</sub>O</b>	0.02
<b>H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub></b>	0.3
<b>HCl</b>	1

Πίνακας 5 Χημική σύσταση TES

### Μέτρηση αμμωνιακών (Μέθοδος Nessler)

#### Αντιδραστήρια

Αντιδραστήριο Nessler Cat. 21194-49, Hach-Lange

Σταθεροποιητής μετάλλων Cat. 21194-49, Hach-Lange

Παράγοντας διασποράς πολυβινυλαλκοόλης Cat. 21194-49, Hach-Lange

#### Πειραματική διαδικασία

Η μέθοδος Nessler μετράει συγκεντρώσεις αμμωνιακών 0,02 μέχρι 2,50 mg/l, επομένως ανάλογα με το αναμενόμενο αποτέλεσμα απαιτείται και η ανάλογη αραίωση. Για τη μέτρηση της συγκέντρωσης των αμμωνιακών της εισόδου στον βιοαντιδραστήρα η αραίωση ήταν 1:25, ενώ για την μέτρηση της συγκέντρωσης στην έξοδο του βιοαντιδραστήρα, η αραίωση ήταν 1:12,5. Για την προετοιμασία του τυφλού διαλύματος, γεμίζεται η ογκομετρική φιάλη των 25 ml με απιονισμένο νερό. Για την είσοδο του βιοαντιδραστήρα, στην ογκομετρική φιάλη προτίθεται 1 ml λύματος και 24 ml απιονισμένου νερού, ενώ για την έξοδο προστίθενται 2 ml λύματος, και 23 ml απιονισμένου νερού. Έπειτα προστίθενται σε κάθε φιαλίδιο τρεις (3) σταγόνες σταθεροποιητή μετάλλων, τα φιαλίδια σφραγίζονται και ανακινούνται. Κατόπιν προστίθενται σε κάθε φιαλίδιο 3 σταγόνες παράγοντα διασποράς πολυβινυλαλκοόλης, και τα φιαλίδια σφραγίζονται και ανακινούνται. Τέλος σε κάθε φιαλίδιο προστίθεται ένα (1) ml

αντιδραστηρίου Nessler και τα φιαλίδια σφραγίζονται και ανακινούνται. Το διάλυμα αφήνεται να αντιδράσει για ένα λεπτό, αλλά όχι παραπάνω από πέντε λεπτά.

Έπειτα επιλέγεται στο φασματοφωτόμετρο DR 2800 της HACH η μέθοδος Nessler, τοποθετείται το τυφλό σε κυψελίδα, και στο φασματοφωτόμετρο, και πατιέται η επιλογή «τυφλό», η οποία μηδενίζει το φασματοφωτόμετρο. Μετά τοποθετούνται με τη σειρά το δείγμα εισόδου και εξόδου, και πατιέται η επιλογή «μέτρηση», και εμφανίζεται η ένδειξη της συγκέντρωσης στο διάλυμα. Τέλος πολλαπλασιάζεται η ένδειξη του φασματοφωτόμετρου με 25 για την είσοδο, και 12,5 για την έξοδο, και υπολογίζεται η συγκέντρωση των αμμωνιακών.

### Μέτρηση COD

Για τη μέτρηση του COD, χρησιμοποιήθηκαν φιαλίδια της σειράς LCK της εταιρίας HACH-LANGE. Στα φιαλίδια αυτά προστίθονταν 2 ml δείγματος, ή 1 ml δείγματος, και 1 ml απιονισμένο νερό, ανάλογα με το ύψος των αναμενόμενων αποτελεσμάτων. Έπειτα, τα φιαλίδια ανακινούνταν, και τοποθετούνταν σε επωαστήρα COD LT-200 σε θερμοκρασία 148°C για 2 ώρες. Τέλος γινόταν αυτόματη μέτρηση την απορρόφησης συγκεκριμένου μήκους κύματος, σε φασματοφωτόμετρο της ίδιας εταιρίας μοντέλου DR2800.

### Μέτρηση νιτρικών

Η μέτρηση της συγκέντρωσης νιτρικών, γινόταν με φιαλίδια της σειράς LCK 339 της εταιρίας HACH-LANGE. Στο φιαλίδιο προστίθονταν 2 ml δείγματος, ή 1 ml δείγματος και 1 ml απιονισμένο νερό, ανάλογα με το ύψος των αναμενόμενων αποτελεσμάτων. Έπειτα προστιθόταν 1 ml του αντιδραστηρίου A, που περιλαμβανόταν στο kit, και γινόταν ανακίνηση. Μετά από 15 λεπτά γινόταν αυτόματη μέτρηση απορρόφησης στο φασματοφωτόμετρο DR2800 της HACH-LANGE.

### Μέτρηση νιτρωδών

Για την μέτρηση των νιτρωδών, χρησιμοποιήσαμε ειδικά αντιδραστήρια σε φακελάκια, της εταιρίας HACH-LANGE, με κωδικό προϊόντος NitriVer3. Σε ειδικό γυάλινο φιαλίδιο για φασματοφωτόμετρο (της ίδιας εταιρίας) Τοποθετούμε 10 ml δείγματος και την σκόνη απο το φακελάκι και ανακινούμε καλά. Μετά την ομογενοποίηση, αφήνουμε το φιαλίδιο για 15 λεπτά και μετά μετράμε. Για να μηδενίσουμε το φασματοφωτόμετρο, βάζουμε σκέτα 10 ml του ιδίου δείγματος σε ένα άλλο φιαλίδιο και το χρησιμοποιούμε ως τυφλό. Στη συνέχεια, τοποθετούμε ομοίως το φιαλίδιο-δείγμα μας στην θύρα και καταγράφουμε την τιμή που θα αναγραφεί στο φασματοφωτόμετρο.

## Μέτρηση BOD

Οι μετρήσεις BOD έγιναν με την παρακάτω διαδικασία.

Σε 3 ειδικά γυάλινα δοχεία για BOD τοποθετήθηκε ένα μίγμα με 750 ml απιονισμένο νερό, 12,5 ml δείγματος, 3 σταγόνες nitrification inhibitor της εταιρίας HACH-LANGE, 1 ml magnesium sulfate solution (22.5 g  $\text{MgSO}_4$  σε 1 L απιονισμένο νερό), 1ml phosphate buffer solution (8.5 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 21.75 g  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 33.4 g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , και 1.7 g  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ισε 1,5L απιονισμένο νερό) και 1 ml calcium chloride solution (27.5 g  $\text{CaCl}_2$  σε 1L απιονισμένο νερό).

Κάναμε ουσιαστικά μία αραίωση 1 προς 60. Αφού γεμίσαμε 3 ειδικά γυάλινα δοχεία, πριν τα σφραγίσουμε, μετρήσαμε το διαλυμένο οξυγόνο τους. Στη συνέχεια, τα ασφαλίσαμε προσεκτικά και τα τοποθετήσαμε για 5 ημέρες σε έναν θάλαμο επώασης ρυθμισμένο στους 20 βαθμούς κελσίου. Μετά από 5 μέρες, μετρήσαμε πάλι το διαλυμένο οξυγόνο από τον πυθμένα κάθε δοχείου και την διαφορά του δ. Οξυγόνου πριν κι μετά την πολλαπλασιάσαμε με 60. Ο μέσος όρος αυτών των τριών φιαλιδίων είναι και το BOD5 του δείγματος μας.

## Μέτρηση φωσφορικών

Η μέτρηση των φωσφορικών έγινε με φιαλίδια-αντιδραστήρια της εταιρίας HACH-LANGE, με αριθμό σειράς LCK349. Αφού πραγματοποιήσαμε πιστά τις αναγραφόμενες διαδικασίες πάνω στην συσκευασία, το φιαλίδιο τοποθετήθηκε στο φασματοφωτόμετρο της ίδιας εταιρίας και καταγράφηκε η αναγραφόμενη τιμή.

## Μέτρηση Ολικού Αζώτου

Η μέτρηση του ολικού αζώτου έγινε με φιαλίδια-αντιδραστήρια της εταιρίας HACH-LANGE, με αριθμό σειράς LCK138. Αφού πραγματοποιήσαμε πιστά τις αναγραφόμενες διαδικασίες πάνω στην συσκευασία, το φιαλίδιο τοποθετήθηκε στο φασματοφωτόμετρο της ίδιας εταιρίας και καταγράφηκε η αναγραφόμενη τιμή.

Στις παραπάνω μετρήσεις, σε περίπτωση αραίωσης γινόταν πολλαπλασιασμός των αποτελεσμάτων με τον κατάλληλο συντελεστή, για αναγωγή της συγκέντρωσης του συμπυκνωμένου αποβλήτου.

## Υπολογισμός της ειδικής ενεργότητας μικροοργανισμών

Η ενεργότητα ( $\text{mg}_{\text{N-NH}_4}\text{kg}^{-1}_{\text{LB}}\text{h}^{-1}$ ) των βιοκαταλυτών υπολογίστηκε μέσω της Εξίσωσης 26



$$activity = \frac{C_{in}(N - NH_4) - C_{out}(N - NH_4)}{m_{LB}} * Q$$

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι όλες οι μετρήσεις που αναφέρονται στην πειραματική διαδικασία σε αμμωνία, νιτρώδη και νιτρικά, είναι οι ενώσεις  $NH_3-N$ ,  $NO_2-N$ ,  $NO_3-N$  αντιστοίχα.

## 6.2 ΥΛΙΚΑ-ΟΡΓΑΝΑ

Υλικά και όργανα για τον βιοαντιδραστήρα με τους ενθυλακωμένους μικροοργανισμούς

1. Γυάλινο δοχείο 2,5 λίτρων αντιδραστήρας
2. Αναδευτήρας Cole-Parmer
3. Αντλία παροχής αέρα aquael
4. Αντλία PWT
5. 2 αντλίες ADTEC
6. Ηλεκτρόδιο pH
7. Πίνακας ελέγχου Paroutsakis (με όργανα τις EUTECH)
8. Φιαλίδια και διαφορά γυάλινα δοχεία της εταιρείας NORMAX
9. Βάση αντιδραστήρα
10. 250 γραμμάρια βιοκαταλύτες Lentikats
11. NaOH για δημιουργία διαλύματος βάσης
12. υποβρύχιος θερμοστάτης 10 Watt της AQUAEL

Υλικά και όργανα για την δεξαμενή φυτοεξυγίανσης

1. Γυάλινο ενυδρείο 110 λίτρων της εταιρείας AQUAEL
2. 2 προβολείς 20 Watt ψυχρού λευκού
3. 1 προβολέας 30 Watt ψυχρού λευκού
4. 3 λάμπες CFL κίτρινου λευκού

5. Φυτά ( *e. crassipes* και *s. natans*)
6. Σειρά λίπανσης SEACHEM FLOURISH
7. εσωτερικό ίλτρο μηχανικό, για ανακυκλοφορία
8. αυτοσχέδιο venturi με bubble counter για αερισμό
- 9.θερμοστάτης 100 Watt EHEIM

Λοιπά υλικά και όργανα που χρησιμοποιήθηκαν

1. μετρητής οξυγόνου και pH της WTW
2. ηλεκτρόδιο για pH SenTix
3. ηλεκτρόδιο για DO WTW FDO-925
4. φασματοφωτόμετρο HACH-LANGE DR2800
- 5.φουρνάκι αντιδραστηρίων HACH-LANGE LT200
6. ειδικά φιαλίδια μέτρησης BOD

### **6.3 ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ LENTIKATS ΣΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΔΙΑΛΛΕΙΠΟΝΤΟΣ ΕΡΓΟΥ**

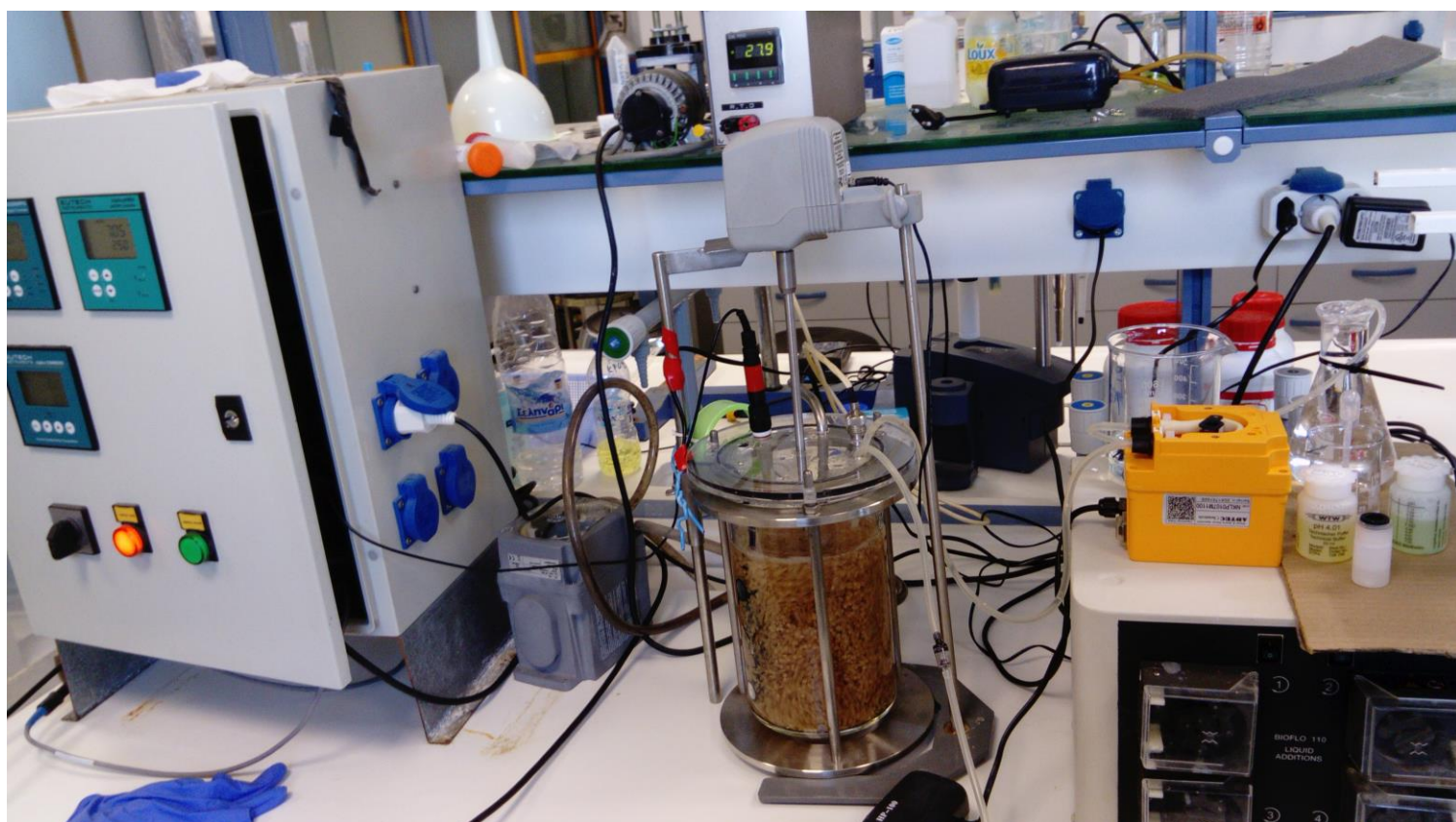
Αρχικά, προτού ξεκινήσουν οι πειραματικές διατάξεις και τις μετρήσεις, πρέπει πρώτα να ενεργοποιηθούν και να σταθεροποιηθούν οι ενθυλακωμένοι βιοκαταλύτες.

Τοποθετούνται 250 γραμμάρια ενθυλακωμένων βιοκαταλυτών Lentikats μαζί με 2 λίτρα Standard Solution στο γυάλινο δοχείο αντιδραστήρα. Τοποθετείται επίσης ένα ηλεκτρόδιο μέτρησης του pH στον βιοαντιδραστήρα το οποίο είναι συνδεδεμένο με έναν πίνακα ελέγχου. Συνδέεται μία δοσομετρική αντλία στον πίνακα ελέγχου η οποία κάθε φορά που το pH θα πέφτει κάτω από 7 λόγω της κατανάλωσης της αμμωνίας, θα προσθέτει διάλυμα

βάσης NaOH 3,3M στον βιοαντιδραστήρα μέχρι το pH να επανέλθει στην προγραμματισμένη τιμή 7.

Καθημερινά μετράται η αμμωνία και τα νιτρικά για την παρακολούθηση της πορείας του βιοαντιδραστήρα. Κάθε 2 μέρες γίνεται αλλαγή του υγρού και προσθήκη νέου standard solution με σκοπό την απομάκρυνση των συσσωρευμένων νιτρικών καθώς μεγάλες συγκεντρώσεις νιτρικών είναι ανασταλτικός παράγοντας της λειτουργίας των νιτροποιητικών μικροοργανισμών.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται καθημερινά έως ότου η ενεργότητα των μικροοργανισμών φτάσει σε μία τιμή πάνω από 200-250. Η βέλτιστη μέτρηση ενεργότητας πραγματοποιείται με διαφορά 2-3 ωρών απο κάθε μέτρηση αμμωνίας.



Εικόνα 4 Εργαστηριακή διάταξη συστήματος

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	ΣΧΟΛΙΑ	NH <sub>3</sub> -N(mg/L)	NO <sub>2</sub> -N(mg/L)	NO <sub>3</sub> -N(mg/L)	ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ(mg/kgLB/h)
23/1/2017	14:00	στίσιμο αντιδραστήρα				
	15:00	προσθηκη (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	284			
	17:00		229			550
	22:00		135			188
24/1/2017	15:00		20	9	810	
	16:00	προσθηκη (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	332			
25/1/2017	13:00		10	14	450	
	18:00	αλλαγη υγρου και προσθηκη(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	245			
	19:00		213			320
26/1/2017	13:30		172	7	390	
	18:30		140		660	320
	19:30	αλλαγη υγρου και προσθηκη(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	206			
27/1/2017	18:00		125			
	18:30	προσθηκη (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	250			
28/1/2017	19:00		115			
	19:30	προσθηκη (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	365			
30/1/2017	9:30		55	9	2330	
	10:00	αλλαγη υγρου και προσθηκη(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	322			
31/1/2017	11:00		10		960	
	11:30	προσθηκη (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	345			
1/2/2017	15:30		8			
	16:00	αλλαγη υγρου και προσθηκη(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	365			
2/2/2017	12:30		0		770	
	13:30	αλλαγη υγρου και προσθηκη(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				
3/2/2017	12:00		365			
4/2/2017	11:30		0			
	12:00	αλλαγη υγρου και προσθηκη(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	385			
6/2/2017	3:30	αλλαγη υγρου και προσθηκη(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	360			
7/2/2017	7:30		0			
	8:00					
8/2/2017	10:30		0			
	11:00	αλλαγη υγρου και προσθηκη(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	395			
9/2/2017	10:30		5		1150	
	11:00	προσθηκη (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	365			
10/2/2017	13:00		1			
	13:30	αλλαγη υγρου και προσθηκη(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	230			
13/2/2017	12:00		15		1600	
	12:30	αλλαγη υγρου και προσθηκη(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	370			
	15:30		295			250
14/2/2017	14:30		3		1460	
	15:00	προσθηκη (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				

Πίνακας 6 Καθημερινές μετρήσεις αμμωνίας για την ενεργοποίηση και σταθεροποίηση των βιοκαταλυτών



#### 6.4 ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΜΕ ΤΑ ΦΥΤΑ

Για την καλύτερη προσομοίωση μιας δεξαμενής ή λίμνης φυτοεξυγίανσης με επιπλέοντα φυτά, χρησιμοποιήθηκε ένα ενυδρείο 110 λίτρων της εταιρίας AQUAEL. Καθώς η περίοδος που διεξήχθη το πείραμα τα φυτά δεν είχαν ανακάμψει ακόμα από τον χειμώνα, έπρεπε πρώτα να ενεργοποιηθούν και να βοηθηθούν να μεγαλώσουν και να πολλαπλασιαστούν ώστε οι μετρήσεις και τα συμπεράσματά να είναι σωστά και αντικειμενικά.

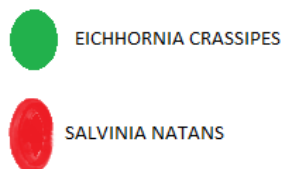
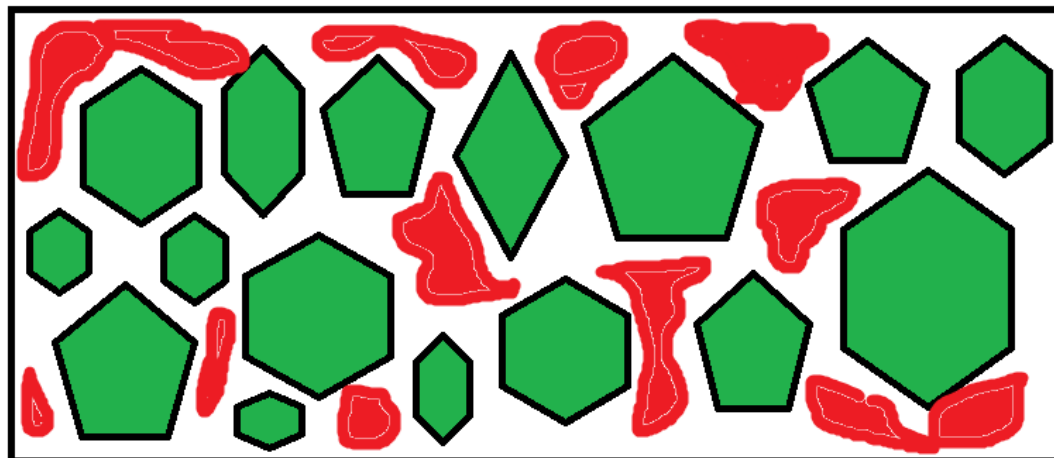
Έτσι προστέθηκε νερό βρύσης και τα φυτά μας (υιόκινθος του νερού και *S. natans*) στο ενυδρείο, μαζί με μία αντλία κυκλοφορίας με ενσωματωμένο στην έξοδό της έναν venturi. Αυτό έγινε προκειμένου να υπάρχει καλή κυκλοφορία νερού μέσα στο ενυδρείο και κυρίως στον πυθμένα για να αποφευχθούν οι αναερόβιες συνθήκες από τα νεκρά τμήματα των φυτών που καθιζάνουν κατά τη πάροδο του χρόνου αλλά και τον παράλληλο αερισμό του νερού, έτσι ώστε να βοηθηθούν τα φυτά, παρέχοντας περισσότερο οξυγόνο στο ριζικό τους σύστημα, να ανακάμψουν από την χειμερινή κατάστασή τους γρηγορότερα.

Επίσης, καθώς τα φυτά ευδοκιμούν σε θερμοκρασίες 25-30°C, τοποθετήθηκε ένας θερμοστάτης 100watt της εταιρίας EHEIM προκειμένου να διατηρεί την θερμοκρασία του νερού σταθερή στους 25 °C.

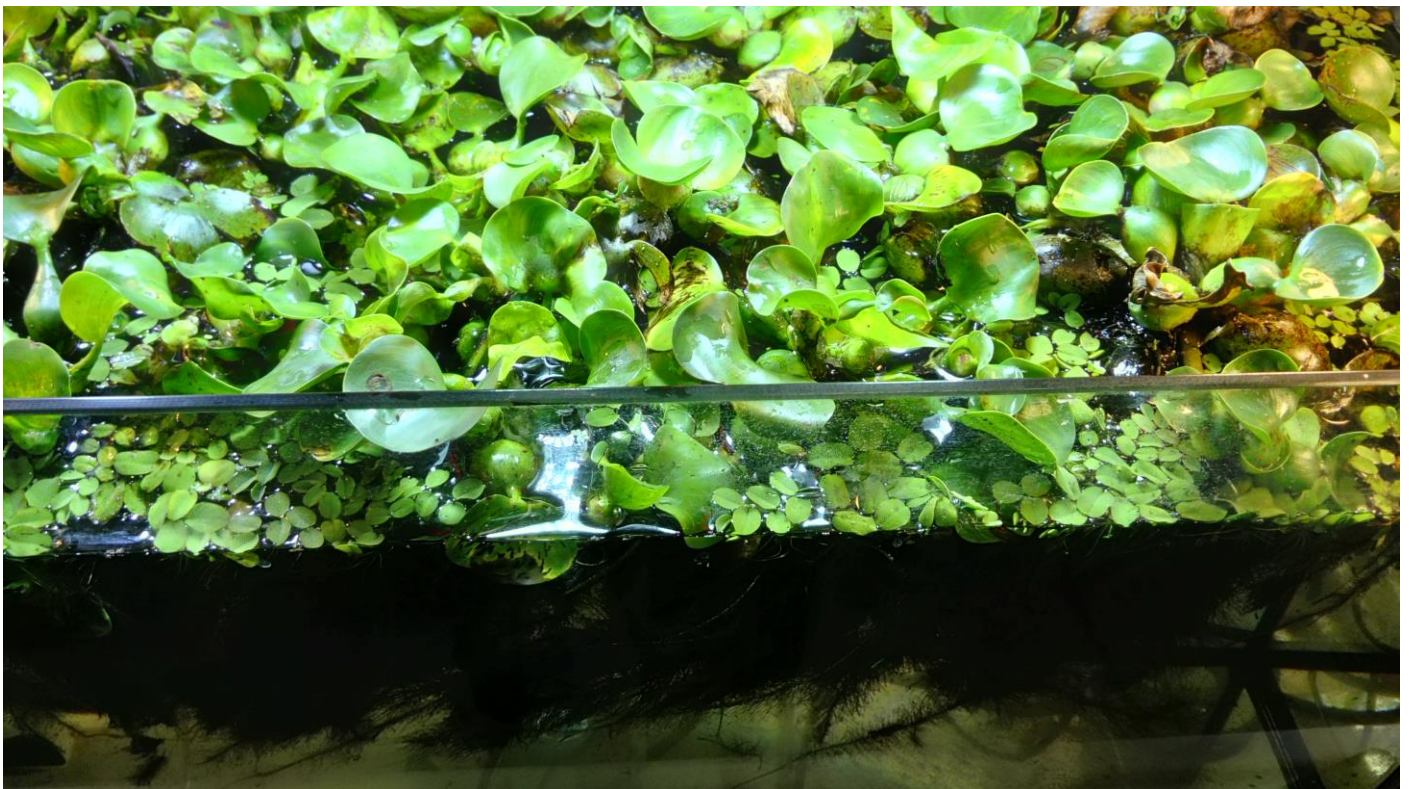


Εικόνα 5 Αρχική κατάσταση της δεξαμενής φυτοεξυγίανσης πριν την έναρξη σταθεροποίησης

Για τη βέλτιστη λειτουργία της δεξαμενής φυτοεξυγίανσης χρησιμοποιήθηκαν 2 είδη φυτών ο υάκινθος του νερού και η σαλβίνια η πλέουσα. Αυτό έγινε για τη βέλτιστη φυτοκάλυψη της επιφάνειας του νερού όπως φαίνεται από τις εικόνες 6 και 7.

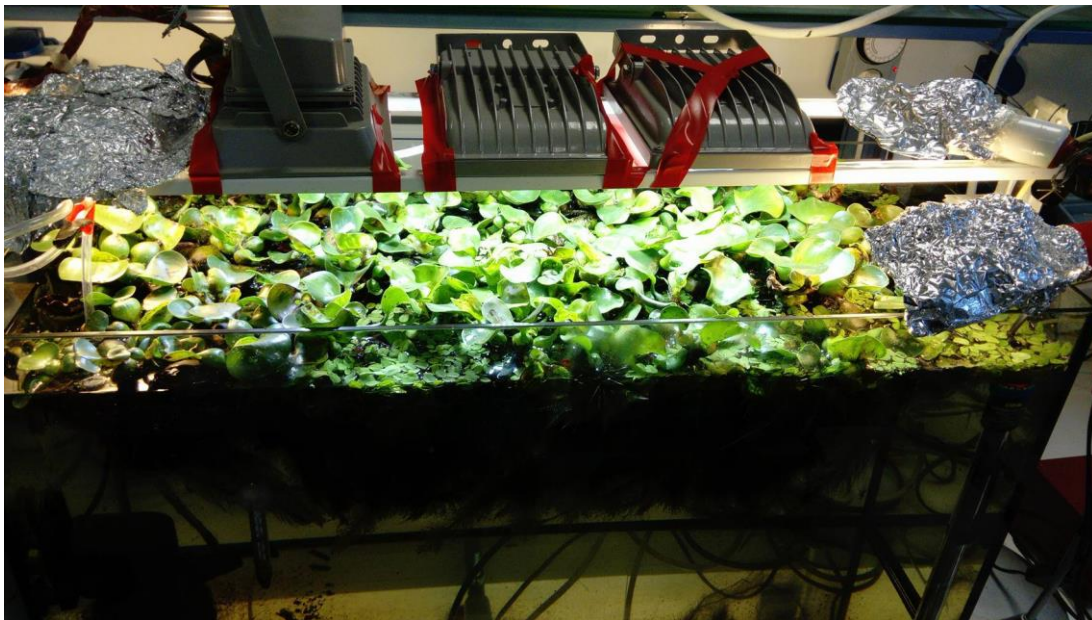


Εικόνα 6 Σχήμα διάταξης φυτών στη δεξαμενή Φυτοεξυγίανσης



Εικόνα 7 *S. natans* και *E. crassipes* στη δεξαμενή φυτοεξυγίανσης





Εικόνα 8 Συνολικός φωτισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά την συνολική διαδικασία της ενεργοποίησης αλλά και πειραματικής διαδικασίας.

## 6.5 ΧΡΗΣΗ ΟΥΡΩΝ ΣΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΛΕΝΤΙΚΑΤΣ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΑΛΛΕΙΠΟΝΤΟΣ ΕΡΓΟΥ

Για να παρατηρηθεί την συμπεριφορά των μικροοργανισμών σε υγρά απόβλητα με υψηλή συγκέντρωση σε αμμωνία, μετά τη σταθεροποίηση του βιοαντιδραστήρα, προστέθηκαν διαφορετικές αραιώσεις ούρων.

Οι αραιώσεις αυτές έγιναν με standard solution διάλυμα. (πχ 5% ούρα και 95% standard solution).

## 6.6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ CSTR ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ-ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

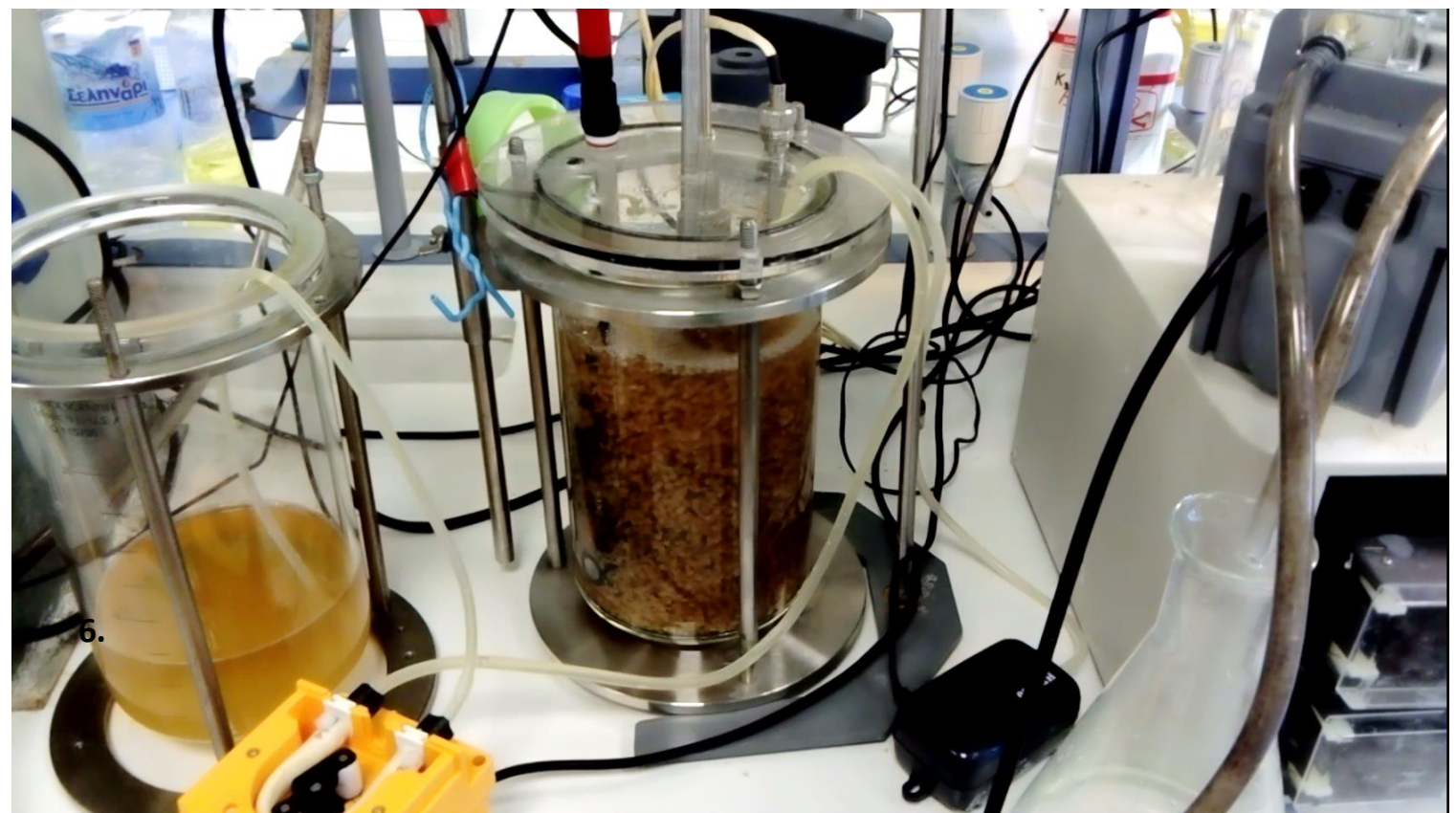
Με τον όρο δεξαμενής σταθεροποίησης εννοείται μία δεξαμενή η οποία θα δέχεται το ανεπεξέργαστο εισερχόμενο υγρό απόβλητο το οποίο θα παραμένει για συγκεκριμένο χρόνο μέσα στη δεξαμενή αυτή.

Για εφαρμογή του συστήματος, προς επεξεργασία ούρων, η δεξαμενή αυτή θα έχει συγκεκριμένο χρόνο παραμονής έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η υδρόλυση της ουρίας και παραγωγή αμμωνίας σε περίπτωση συνεχούς λειτουργίας του συστήματος. Σε περίπτωση που η ροή των αποβλήτων θα καθορίζεται από το pH και δεν θα είναι συνεχής, τότε δεν χρειάζεται η επίτευξη της υδρόλυσης και ο χρόνος παραμονής μπορεί να είναι μικρότερος, βάση πάντα βέβαια με την αρχική παροχή υγρών αποβλήτων που θα έχουμε σε κάθε περίπτωση φυσικά. Άρα λοιπόν, το μέγεθος της δεξαμενής αυτής καθορίζεται από την αρχική παροχή μας και την επίτευξη ή μή της υδρόλυσης της ουρίας.

Για λειτουργία CSTR μεταξύ της δεξαμενής σταθεροποίησης και του βιοαντιδραστήρα χρησιμοποιήθηκαν ούρα τα οποία πρώτα έχουν υδρολυθεί, προκειμένου να μην επιτραπεί η συσώρευση ουρίας και παραγωγή αμμωνίας μέσα στον αντιδραστήρα, πράγμα που θα σήμαινε σχεδόν σίγουρη αστοχία του συστήματος, καθώς οι βιοκαταλύτες δεν προλαβαίνουν να καταναλώνουν και την εισερχόμενη αλλά και την παραγόμενη αμμωνία. Συνεχίζεται επίσης η λειτουργία της δοσομετρικής αντλίας η οποία είναι συνδεδεμένη με τον πίνακα ελέγχου για την διατήρηση σταθερής τιμής pH στο 7 με προσθήκη υδατικού διαλύματος NaOH 3,3M.

Για να εξομοιωθεί η δεξαμενή σταθεροποίησης χρησιμοποιήθηκε ένα γυάλινο δοχείο 3 λίτρων. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης 2 ίδιες αντλίες, όπου η μία εισήγαγε τα ούρα στον βιοαντιδραστήρα και η άλλη αντλούσε μέσα από τον αντιδραστήρα σε ένα δοχείο συλλογής του νιτροποιημένου πλέον αποβλήτου.

Αρχικά, μετρήθηκε το pH, το ολικό άζωτο και η αμμωνία από τα ούρα της δεξαμενής σταθεροποίησης και καθόλη την λειτουργία του CSTR συστήματος αυτού, μετριούνταν η ποιότητα της εκροής του βιοαντιδραστήρα για να ελέγξουμε την βιωσιμότητα και την σταθερότητα του συστήματος αυτού.



Εικόνα 9 Εργαστηριακή διάταξη βιοαντιδραστήρα και δεξαμενής σταθεροποίησης σε συνεχή λειτουργία



## 6.7 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΕ ΡΥΘΜΙΣΗ pH ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ-ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Για να καλυφθούν τα περισσότερα πιθανά σενάρια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με υψηλή συγκέντρωση σε αμμωνία, εφαρμόστηκε, πέρα του CSTR, μια μέθοδο παροχής αποβλήτου η οποία βασίζεται στο pH του αντιδραστήρα και όχι στην συνεχή παροχή.

Αυτό, έγινε με την λογική ότι σε κάποια εγκατάσταση που δεν δύναται, λόγω οικονομικών ή χώρου, να υπάρχει μια αρκετά μεγάλη δεξαμενή σταθεροποίησης για επίτευξη της υδρόλυσης της ουρίας, να μπορεί και πάλι να γίνει το σύστημα εφικτό και λειτουργικό. Σε περίπτωση, όπως προαναφέρθηκε μή υδρόλυσης της ουρίας, ένα CSTR σύστημα δεν μπορεί να δουλέψει. Η συσσώρευση και παραγωγή αμμωνίας μέσα στον αντιδραστήρα με τους βιοκαταλύτες θα σήμαινε σίγουρη αποτυχία. Έτσι λοιπόν, η είσοδος του αποβλήτου στον αντιδραστήρα, δεν γίνεται βάση συνεχής παροχής, αλλά βάση πτώσης του pH.

Συνδέεται η αντλία εισόδου στον πίνακα ελέγχου, και αυτή, ενεργοποιείται κάθε φορά που το pH πέφτει κάτω από 7. Άρα λοιπόν, όταν η υδρόλυση της ουρίας παράγει αμμωνία, το pH αυξάνεται και έτσι η αντλία εισόδου αυτόματα κλείνει. Μόνο όταν ο ρυθμός κατανάλωσης της αμμωνίας από τους βιοκαταλύτες γίνει μεγαλύτερος από τον ρυθμό παραγωγής της θα υπάρξει πάλι πτώση του pH άρα και συνέχιση της εισόδου του αποβλήτου. Έπειτα, όταν το pH πέσει κάτω από 7 και αρχίσει η αντλία να προσθέτει απόβλητο, το pH κάποια στιγμή θα ξανανέβει, καθώς τα ούρα και γενικά τα απόβλητα με υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας έχουν υψηλότερο του 7 pH. Έτσι λοιπόν, αφού το εισερχόμενο “βασικό” απόβλητό εισαχθεί στον βιοαντιδραστήρα και ανεβάσει το pH αρκετά, η αντλία αυτόματα θα σταματήσει, δίνοντας έτσι τον απαραίτητο χρόνο στους μικροοργανισμούς μας να καταναλώσουν της εισερχόμενη αλλά και την παραχθείσα αμμωνία.

Παρατηρείται λοιπόν, πόσο μεγαλύτερη σταθερότητα και σιγουριά προσφέρει ένα σύστημα καθορισμένο από το pH, σε σύγκριση με ένα CSTR, στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων με υψηλή συγκέντρωση σε αμμωνία.

Αφού έγινε η προαναφερθείσα συνδεσμολογία, μετρήθηκε η αρχική σύσταση των ούρων της δεξαμενής σταθεροποίησης και η έξοδος του βιοαντιδραστήρα μετρούνταν συνεχώς, με σκοπό την εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων.

## 6.8 ΧΡΗΣΗ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΟΥΡΩΝ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΦΥΤΟΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ (BATCH)

Μετά το πέρας των παραπάνω πειραματικών διατάξεων και διαδικασιών σε ένα μεγάλο δοχείο αποθηκεύτηκε όλη η νιτροποιημένη έξοδος.

Αφού αποθηκεύτηκε, τοποθετήθηκε στις δεξαμενή με τα επιπλέοντα φυτά, καταγράφηκε η αραίωση που έγινε και έπειτα μετρήθηκαν αμμωνία, νιτρικά, ολικό άζωτο, BOD, COD και φωσφορικά. Καθώς είναι η πρώτη επαφή με τα φυτά, στόχος είναι να παρομοιάσουμε την λειτουργία BATCH ενός αντιδραστήρα και με καθημερινές μετρήσεις να καταγραφεί πώς συμπεριφέρονται τα φυτά και πόσος χρόνος παραμονής του νιτροποιημένου αποβλήτου χρειάζεται ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα της εξόδου ( $>45\text{mg/L}$  ολικού αζώτου σύμφωνα με τη νομοθεσία) αλλά και παράλληλα πόση θα είναι η ανάκτηση των θρεπτικών στο διάστημα αυτό και η αναλογία παραγόμενης βιομάζας και ποσού θρεπτικών που καταναλώθηκαν για αυτήν.

Για βέλτιστη προσομοίωση, θα κλείσει η αντλία κυκλοφορίας με το venturi, καθώς σε μία πραγματική δεξαμενή/λίμνη επιπλεόντων φυτών δεν θα υπάρχει κάποιο σύστημα κυκλοφορίας ή αερισμού. Επίσης, άλλος ένας λόγος είναι ότι θέλουμε να επιτύχουμε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου μέσα στο νερό, με σκοπό να προωθηθεί η εμφάνιση απονιτροποιητικών μικροοργανισμών στην επιφάνεια των ριζών των φυτών.

Οι υάκινθοι του νερού, χαρακτηρίζονται από το τεράστιο, αναλογικά με το σώμα τους, και πολύ πυκνό ριζικό σύστημά τους μέσα στο νερό. Πράγμα που προσφέρει πάρα πολύ μεγάλη επιφάνεια στους απονιτροποιητικούς μικροοργανισμούς να αναπτυχθούν εάν βρουν τις κατάλληλες συνθήκες. Δυστυχώς, δεν είναι δυνατό να μετρηθεί ξεχωριστά το ποσοστό από την συνολική απονιτροποίηση που λαμβάνει χώρα στη ριζόσφαιρα των φυτών για να εκτιμηθεί αναλόγως, όμως αναγνωρίζεται η ύπαρξη τους και η σημαντική συμβολή τους σε τέτοια συστήματα. Πόσο μάλλον για μία λίμνη φυτοεξυγίανσης εκατοντάδων κυβικών με χιλιάδες υάκινθους του νερού μέσα.



Εικόνα10 Αποθηκευμένα νιτροποιημένα και μή ούρα στον εργαστηριακό απαγωγό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 7.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ BATCH

Παρακάτω φαίνονται στον πίνακα τα αποτελέσματα λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα με του μικροοργανισμούς Lentikats σε λειτουργία Batch με αραιώσεις ούρων.

Η αραιώσεις έγιναν με ένα ποσοστό ούρων και το υπόλοιπο ποσοστό από διάλυμα standard solution το οποίο έχουμε περιγράψει παραπάνω.

#### 1) Υδατικό διάλυμα με 10% ούρα

Μετρήσεις αραιώσης:  $\text{NH}_3\text{-N}$  =117mg/L και COD=1750mg/L

Χρόνος (h)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	pH
+1	97		7,14
+2	116		7,19
+3	134	170	7,25
+4	160	270	7,29
+5	200	396	7,35
+6	228	415	7,42

Πίνακας 7 Παρακολούθηση βιοαντιδραστήρα με 10% αραιώση ούρων σε λειτουργία batch

#### Παρατηρήσεις:

Στα ούρα, υπάρχει υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας, αλλά και πολύ υψηλό οργανικό άζωτο, το οποίο στον αντιδραστήρα με την υψηλή ανάδευση και υψηλό αερισμό, μετατρέπεται σε αμμωνία. Βάζοντας αρχικά ούρα 10%, το pH σταδιακά αυξάνεται καθώς υπάρχει παραγωγή αμμωνίας. Απ' ότι φαίνεται ο ρυθμός παραγωγής αμμωνίας απο την υδρόλυση της ουρίας στον βιοαντιδραστήρα είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό κατανάλωσής της. Άρα, η αραιώση πρέπει να είναι μεγαλύτερη.

## 2) Υδατικό διάλυμα με 5% ούρα

Μετρήσεις αραίωσης:  $\text{NH}_3\text{-N}$ =133mg/L και  $\text{COD}$ =1750mg/L(φαίνεται εδώ ότι η αρχική μέτρηση της αμμωνίας σε μεγαλύτερη αραίωση προέκυψε μεγαλύτερη από την προηγούμενη αραίωση, πράγμα που φαίνεται παράλογο. Είναι λογικό όμως, καθώς η αραίωση έγινε με τα ίδια ούρα της προηγούμενης μέρας τα οποία είχαν μείνει για παραπάνω από 24 ώρες μέσα στο δοχείο, πράγμα που επέτρεψε σε ένα μέρος της ουρίας να υδρολυθεί και να προκύψει έτσι μεγαλύτερη συγκέντρωση αμμωνίας, όπως φαίνεται, την επόμενη μέρα)

ώρα	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	pH
+1 hour	35	350	7,11
+2 hour	69	290	7,18
+3 hour	55	220	7,14
+4 hour	50	270	7,10
+5 hour	38	295	7,09

Πίνακας 8 Παρακολούθηση βιοαντιδραστήρα με 5% αραίωση ούρων σε λειτουργία batch

Παρατηρείται ότι μετά από 2-3 ώρες, τελικά το pH σταθεροποιείται σε μία τιμή γύρω στο 7,10 και μετά αρχίζει σιγά και μειώνεται. Αυτό σημαίνει, ότι μετά το πέρας αυτού του χρονικού διαστήματος, ο ρυθμός κατανάλωσης αμμωνίας εξισώνεται και μετά γίνεται μεγαλύτερος από τον ρυθμό παραγωγής αμμωνίας, και πλέον ο αντιδραστήρας μας δουλεύει κανονικά.

Φαίνεται λοιπόν ότι είναι αρκετά δύσκολο να επιτευχθεί ακριβώς η σωστή αραίωση, τέτοια ώστε να δουλέψει σωστά ο αντιδραστήρας, καθώς η σύσταση των ούρων είναι αρκετά ευμετάβλητη και η σύγκριση της αμμωνίας αλλάζει συνεχώς(μεγάλες διαφορές στην αρχική συγκέντρωση, με την πάροδο του χρόνου, πιθανή ανακίνηση κ.α.) Έτσι λοιπόν, είναι αδύνατο να καθοριστεί μια σταθερή αραίωση για κάποιο σύστημα επεξεργασίας ούρων. Επίσης, σημαντικό είναι να αναφέρουμε εδώ, ότι τα ούρα είναι ένα απόβλητο το οποίο έχει τεράστιες διακυμάνσεις στην σύστασή του και, καθώς μιλάμε για τόσο μικρές αραιώσεις θα ήταν λάθος αν λέγαμε ότι μία αραίωση δουλεύει καθώς με την ίδια αραίωση διαφορετικών ούρων ίσως να αντιμετωπίζαμε αστοχία του αντιδραστήρα.

Στο σημείο αυτό, φαίνεται η σημαντικότητα πρώτον της υδρόλυσης της περιεχόμενης ουρίας στα απόβλητα ως απαραίτητο στάδιο προεπεξεργασίας αλλά και την χρήση ενός διαφορετικού τύπου του συστήματος, πέραν από αυτό της κλασσικής συνεχόμενης ροής και λειτουργίας(CSTR), αυτού του καθορισμού της ροής ανάλογα με το pH.

## 7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ BATCH ΜΕ ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ pH ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ - ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Παρακάτω φαίνονται οι μετρήσεις(πίνακας 9 και πίνακας 10) και οι παρατηρήσεις απο την λειτουργία του βιοαντιδραστήρα καθορισμένη απο την αυξομείωση του pH και ανάλογη προσθήκη μη-υδρολυμένων ούρων που περιέχονται στην δεξαμενή σταθεροποίησης

Αρχική μέτρηση ούρων: :  $\text{NH}_3\text{-N}$  =515mg/L και pH=8,5

**1<sup>η</sup> ημέρα**

<i>ώρα</i>	<i><math>\text{NH}_3\text{-N}</math> (mg/L) στην έξοδο</i>	<i><math>\text{NO}_3\text{-N}</math>(mg/L)στην έξοδο</i>
<b>+1 hour</b>	11	260
<b>+2 hour</b>	22	250
<b>+3 hour</b>	15	278
<b>+4 hour</b>	9	285
<b>+5 hour</b>	7	297
<b>+6 hour</b>	5	335
<b>+7 hour</b>	0.8	344
<b>+8 hour</b>	1	337
<b>+9 hour</b>	0.4	349
<b>+10 hour</b>	0.8	355

Πίνακας 9 Μετρήσεις πρώτης μέρας με Ρύθμιση pH

## 2<sup>η</sup> μέρα

ώρα	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L) στην έξοδο	$\text{NO}_3^-$ (mg/L) στην έξοδο
+25 hour	0.5	366
+26 hour	0.9	371
+27 hour	0.2	368

Πίνακας 10 Μετρήσεις δεύτερης μέρας με Ρύθμιση pH

Φαίνεται εδώ, ότι ο βιονατιδραστήρας και οι μικροοργανισμοί χρειάστηκαν κάποια περίοδο ώστε να προσαρμοστούν στο καινούριο περιβάλλον τους. Για το λόγο αυτό, τις πρώτες ώρες παρατηρείται ότι στην έξοδο είχαμε μια συγκέντρωση αμμωνίας αρκετά υψηλή αναλογικά με έξοδο δεξαμενής νιτροποίησης. Όσο περνούσε η ώρα, και οι μικροοργανισμοί συνήθιζαν στις νέες συνθήκες που επικρατούσαν στον αντιδραστήρα, η έξοδος σταδιακά βελτιώνονταν καταφέροντας την δεύτερη μέρα να έχουμε σχεδόν ανύπαρκτη αμμωνία και μία σχετική σταθεροποίηση στην συγκέντρωση των νιτρικών στην έξοδο. Το μόνο πρόβλημα της μεθόδου αυτής, είναι ότι καθώς μιλάμε για αρκετά μεγάλη διαφοροποίηση της σύστασης του αποβλήτου σε κάθε περίπτωση, δεν μπορούμε με ακρίβεια να υπολογίσουμε σχεδιαστικές παροχές, υδραυλικές φορτίσεις και χρόνους παραμονής καθώς αυτά αλλάζουν αρκετά με την περιεκτικότητα του αποβλήτου σε οργανικό άζωτο σε μορφή ουρίας και περιεκτικότητα σε αμμωνία.

### 7.3 ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΟΥΡΩΝ

Για να προχωρήσουμε στην εφαρμογή του αποβλήτου με συνεχή φόρτιση στον βιοαντιδραστήρα, έπρεπε πρώτα να υδρολυθούν τα ούρα αλλά και να υπολογίστουν οι απαραίτητοι χρόνοι παραμονής του αποβλήτου ανάλογα πάντα με τη σύστασή του σε άζωτο στη δεξαμενή σταθεροποίησης.

Όπως προαναφέρθηκε, στην περίπτωση που επιθυμείται η επίτευξη υδρόλυσης των ούρων, η διεργασία αυτή θα λάβει χώρα στην δεξαμενή σταθεροποίησης, στην οποία όμως πρέπει να προστεθεί σταθερή και συνεχή ανάδευση.

Ημέρα	$NH_3-N(mg/L)$	$TKN(mg/L)$
1	510	1515
2	780	1373
3	890	1315
4	996	1276

Πίνακας 11 Καθημερινή παρακολούθηση της υδρόλυσης

Σε ένα γυάλινο δοχείο τοποθετήθηκαν φρέσκα ανεπεξέργαστα ούρα στα οποία παρείχαμε συνεχή ανάδευση 300 RPM με τον ίδιο αναδευτήρα που χρησιμοποιήθηκε στον βιοαντιδραστήρα με τους ενθυλακωμένους βιοκαταλύτες. Όπως φαίνεται απο τον πίνακα 11,ο απαιτούμενος χρόνος παραμονής είναι 4 μέρες για να μετατραπεί το οργανικό άζωτο της ουρίας σε αμμωνία. Επίσης, υπήρξε και κάποια απώλεια αμμωνίας λόγω της πτητικής της φύσης, καθώς υπάρχει διαφορά στην τιμή του ολικού αζώτου την πρώτη μέρα και την τελευταία.

#### 7.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ CSTR ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ-ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Έχοντας πλέον υδρολύσει τα ούρα στο προηγούμενο βήμα, στη δεξαμενή σταθεροποίησης, προχωράμε στην σύνδεση αυτής, σε συνεχή λειτουργία με τον βιοαντιδραστήρα. Προτού γίνει η έναρξη λειτουργίας CSTR υδρολύθηκαν αρκετά ούρα αρχικά, ώστε να υπάρχει διαθέσιμη, μια επαρκής ποσότητα ώστε να δουλέψει το σύστημα για κάποιες ημέρες ώστε να καταγραφούν οι μετρήσεις και να προκύψουν συμπεράσματα. Έγιναν οι απαραίτητες ρυθμίσεις στις όμοιες δοσομετρικές αντλίες ώστε να δουλεύουν και οι δυο με ρυθμό 1,4mL/min, δηλαδή δύο λίτρα την ώρα. Η μία αντλία θα παρέχει στον βιοαντιδραστήρα ούρα και η άλλη θα αντλεί με τον ίδιο ρυθμό υγρό από τον αντιδραστήρα σε ένα άλλο δοχείο το οποίο θα είναι και η έξοδος.

Τα αποτελέσματα της καθημερινής παρακολούθησης φαίνονται στον πίνακα 12:

Ημέρα λειτουργίας		Παροχή(L/day)	Συγκέντρωση NH <sub>3</sub> -N(mg/l)	
			Είσοδος	Έξοδος
1	2		1195	8,3
2	2		1114.5	122.5
3	2		991.5	78.5
4	1.5		982	19.6
5	1.5		955	4.7
6	1.5		951	2.1
7	1.5		1053.5	3.5
8	1.5		1045	2.3
9	1.5		998	0.8
10	1.5		965	0.5

Πίνακας 12 Μετρήσεις βιοαντιδραστήρα σε cstr

Όπως φαίνεται στον πίνακα 12 η παροχή 2 λίτρων τη μέρα με μία τόσο υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας στην είσοδο, δεν μπορούσε να δώσει στους μικροοργανισμούς τον απαιτούμενο χρόνο να μειώσει αρκετά την αμμωνία στην έξοδο. Όπως φαίνεται μετά από την πρώτη μέρα, η απόδοση του αντιδραστήρα είναι περίπου 0,995%, αρκετά ικανοποιητική θα έλεγε κάποιος, όμως δεν είναι αρκετή για να ικανοποιεί την ποιότητα της εξόδου που χρειάζεται, η οποία θα πρέπει να είναι μικρότερη από 5mg/L ώστε τα φυτά στη δεξαμενή να μην έχουν προβλήματα λόγω της συγκέντρωσης της αμμωνίας. . Άρα, αυξήθηκε ο χρόνος παραμονής μειώνοντας την παροχή και έτσι τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά.



Αφού λοιπόν, η παροχή στο 1,5 λίτρο την μέρα είναι λειτουργική και καθώς αναφέρεται ένας αντιδραστήρας όγκου 3 λίτρων (2,5 λίτρα αξιοποιήσιμα) τότε μέσω του τύπου της παροχής  $Q=V/t$  βρίσκεται ο υδραυλικός χρόνος παραμονής του αποβλήτου στον βιοαντιδραστήρα, ο οποίος είναι **1,6 days**.

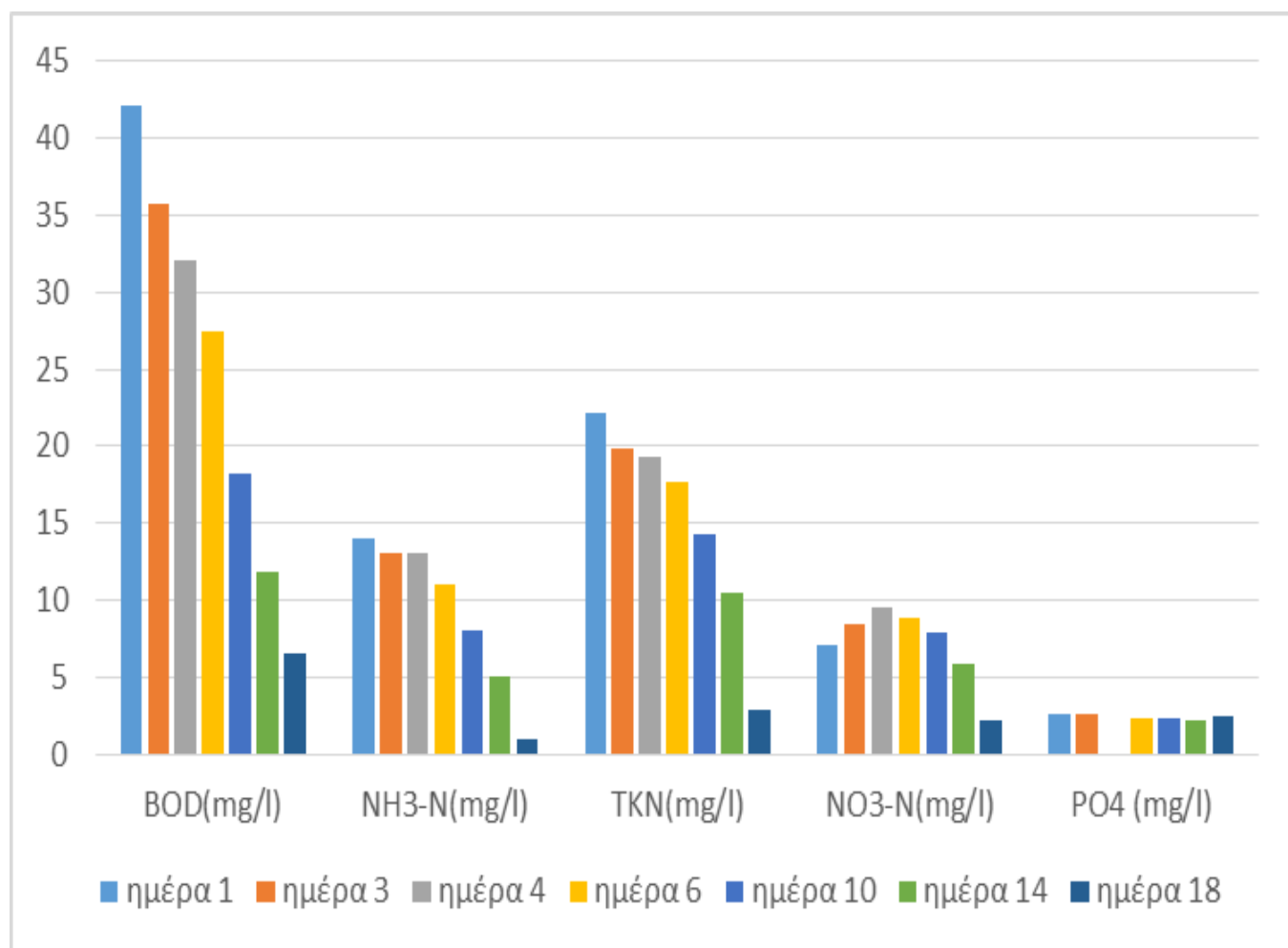
## 7.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΦΥΤΟΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ (BATCH)

Έχοντας συλλέξει αρκετή ποσότητα νιτροποιημένων ούρων, προσθέτονται στην δεξαμενή με τα επιπλέοντα φυτά και γίνονται μετρήσεις καθημερινά, ώστε να βρεθεί ο απαραίτητος χρόνος παραμονής του αποβλήτου στη δεξαμενή αυτή για να επιτευχθεί η απαραίτητη ποιότητα στην εκροή(δηλαδή σχεδόν μηδενική αμμωνία και χαμηλή συγκέντρωση TKN). Καθώς και ο βιοαντιδραστήρας δούλεψε τελικά με παροχή 1,5l/day, και καθώς απώτερος σκοπός είναι να ενωθεί το σύστημα της δεξαμενής σταθεροποίησης-βιοαντηδραστήρα με την δεξαμενή φυτοεξυγίανσης, η ποσότητα νιτροποιημένων ούρων που τοποθετήθηκε για να καταγραφη ο απαραίτητος χρόνος παραμονής ήταν περίπου 2 λίτρα.( παραπάνω απο 1,5 λίτρο δλδ, για μεγαλύτερη ασφάλεια και σιγουριά των αποτελεσμάτων).

Έγιναν μετρήσεις λοιπόν αμέσως μετά την προσθήκη των νιτροποιημένων ούρων και μετά κάθε μέρα σταδιακά( σκόπιμα δεν έγινε αλλαγή του νερού και προσθήκη φρέσκου για αραίωση, για να επιτευχθούν πιο ρεαλιστικές συνθήκες στο πείραμα και έτσι και πιο αξιόπιστες μετρήσεις, καθώς το ήδη υπάρχων νερό είχε αρκετό οργανικό φορτίο από νεκρά τμήματα των φυτών κατά τη διαδικασία ενεργοποίησης. Παράλληλα κλείσαμε και την αντλία κυκλοφορίας μέσα στη δεξαμενή, καθώς σε μία πραγματική λίμνη με επιπλέοντα φυτά υπάρχει ελάχιστη εως και καθόλου κυκλοφορία μέσα στο νερό. Επίσης, δύο εβδομάδες πριν την εφαρμογή του νιτροποιημένου αποβλήτου, σκόπιμα σταμάτησε η εφαρμογή λιπασμάτων για τον λόγο που προαναφέρθηκε)

ημέρα	BOD(mg/l)	NH <sub>3</sub> -N(mg/l)	TKN(mg/l)	NO <sub>3</sub> -N(mg/l)	PO <sub>4</sub> (mg/l)
<b>1</b>	42,2	14	22,1	7,1	2,63
<b>3</b>	35,7	13	19,9	8,4	2,58
<b>4</b>	32,1	13	19,3	9,5	2,46
<b>6</b>	27,5	11	17,7	8,8	2,37
<b>10</b>	18,2	8	14,3	7,9	2,27
<b>14</b>	11,8	5	10,5	5,8	2,15
<b>18</b>	6,5	1	2,9	2,2	2,4

Πίνακας 13 Μετρήσεις συγκεντρώσεων στην δεξαμενή φυτοεξυγίανσης



Σχήμα 17 Διάγραμμα συγκεντρώσεων στη δεξαμενή φυτοεξυγίανσης

## 7.6 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΦΥΤΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ

Πριν την προσθήκη του νιτροποιημένου αποβλήτου στην δεξαμενή, μετρήθηκε το βάρος κάποιων φυτών-δεικτών τα οποία τυχαία επιλέχθηκαν διάσπαρτα απο μέσα από την δεξαμενή και τα οποία μαρκαρήστηκαν με ένα νούμερο το καθένα. Καθώς ήταν αδύνατο να μετρηθεί το ξηρό βάρος τους χωρίς να καταστραφούν τα φυτά, ξεπλύθηκαν καλά τα φυτά για να αφαιρεθούν τυχών νεκρά τμήματα και στεγνώθηκαν για 4-5 λεπτά πάνω σε μία απορροφητική επιφάνεια. Ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθήθηκε σε όλες τις μετρήσεις σε όλες τις φάσεις μετρήσεων προσπαθώντας έτσι να υπάρχουν όσον το δυνατόν καλύτερες μετρήσεις και αποτελέσματα. Καθώς μας ενδιαφέρει να βρεθεί το ποσοστό της αύξησης της φυτικής βιομάζας και όχι οι μεμονωμένες μετρήσεις του βάρους κάθε φυτού επιτεύχθηκαν αντικειμενικά αποτελέσματα χωρίς η μη-ξήρανση των δειγμάτων να αποτελέσει πρόβλημα.










Εικόνα 11 φυτά-δείκτες που τυχαία επιλέξαμε διάσπαρτα από την δεξαμενή φυτοεξυγίανσης

Για να εξασφαλιστεί σωστή μέτρηση της *S. natans*, περιορίστηκε η αρχική ποσότητα που μετρήθηκε σε ένα πλαστικό διάτρητο δοχείο έτσι ώστε να μην μπερδευτεί με τα υπόλοιπα φυτά καθώς μιλάμε για πολύ μικρά μεγέθη φυτών και στην επόμενη μέτρηση θα μετρηθεί μόνο την ανάπτυξη των φυτών που μας ενδιαφέρει.



Εικόνα 12 περιορισμένη ποσότητα *S.natans* σε πλαστικό δοχείο

Φυτό-δείκτης	Βάρος(gr)	Βάρος(gr) ) +18 days	Παραγωγή φ. Βιομάζας(gr)	Αύξηση %
 1	14,880	25,420	10,540	70,8
 2	34,710	41,340	6,630	19,1

		3	18,560	26,470	7,910	42,6
		4	34,560	44,110	9,550	27,6
		5	18,490	29,990	11,500	62,19
		6	50,210	62,580	12,370	24,6
<i>S. natans</i>			1,867	5,215	3,348	179,3
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ				W.h.=9,7 5	S.n.=3,348	Wh=33,94% s.n=179,3%
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (σ) <i>E. crassippes</i>						19,37

Πίνακας 14 Παρατήρηση και καταγραφή αύξησης βάρους των φυτών-δεικτών

Από τον πίνακα 14 φαίνεται λοιπόν, ότι το κάθε φυτό, κατά μέσο όρο, αυξάνει κατά  $33,94 \pm 19,37\%$  το βάρος του σε 18 ημέρες, σε αντίθεση με τη *S. natans*, η οποία σε 18 μέρες αυξήθηκε κατά 179,3 %, γεγονός λογικό, καθώς έχει και αρκετά μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης από την υάκινθο του νερού (Gupta and Roy, 2012).

Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι καθώς στην δεξαμενή μας αρχικά τοποθετήσαμε 25 υάκινθους του νερού και 15 περίπου γραμμάρια *S. Natans*, και ο μέσος όρος του βάρους του κάθε φυτού είναι 28,56 γραμμάρια, σύμφωνα με τα παραπάνω **είχαμε συνολικά παραγωγή 245 γραμμαρίων φυτικής βιομάζας σε 18 ημέρες, στη δεξαμενή με επιφάνεια 0,32 τετραγωνικά μέτρα ( $40 \text{ gr}/(\text{day m}^2)$ ).**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΛΑΟ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

### 8.1 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ολοκληρώνοντας τις μετρήσεις όλων των πειραματικών διατάξεων, καταλήγουμε στην ολοκλήρωση του συστήματος αφού έχουν βρεθεί όλοι οι χρόνοι παραμονής που απαιτούνται για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος. Απαραίτητο κρίνεται βέβαια, πέρα από την εργαστηριακή κλίμακα, να δημιουργηθεί ένα πιλοτικό πείραμα εκτός εργαστηρίου, ώστε να προστεθούν και όλοι οι περιβαλλοντικοί παράμετροι, πριν προβούμε στην δημιουργία του τελικού πραγματικού συστήματος.

Παρατίθενται στον πίνακα 15 οι συγκεντρώσεις που θα πρέπει να έχει η έξοδος για περιορισμένη χρήση μαζί με τις σχετικές σημειώσεις από το ΦΕΚ354B/8.3.2011

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	BOD5(mg/L O <sub>2</sub> )	E.Coli(EC/100ml)	Θολότητα(NTU)	Άζωτο(mg/l)	SS(mg/l)	Κατελαχιστον απαιτούμενη επεξεργασία
1.Περιορισμένη άρδευση(Περιοχές όπου δεν αναμένετε πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών , βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δένδρα)  2.Βιομηχανική ψύξη(νερό ψύξης μίας	25	≤200		≤45	35	Δ.β. επεξεργασία  απολύμανση

χρήσης)						
3. Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων						

Πίνακας 15 πίνακας με τιμές περιορισμένης άρδευσης σύμφωνα με τη νομοθεσία

Επίσης, στον πίνακα 16, σύμφωνα με τη νομοθεσία, παρατίθενται και οι τιμές των συγκεντρώσεων στην έξοδο για απεριόριστη άρδευση μαζί με τις σχετικές σημειώσεις του ΦΕΚ354B/8.3.2011

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	BOD5(mg/L O <sub>2</sub> )	E.Coli(EC/100ml)	Θολότητα (NTU)	Άζωτο(mg/l)	SS( mg /l)	Κατελαχιστον απαιτούμενη επεξεργασία
1.απεριόριστη άρδευση  2.Βιομηχανική ψύξη πλην νερού ψύξης μίας χρήσης	≤10 για το 80% των δειγμάτων	≤5 για το 80% των δειγμάτων Και ≤50 για το 95% των δειγμάτων	≤2 διάμεση τιμή	≤45	≤10 για το 80 % των δειγμάτων	Δ.β. επεξεργασία Τ.β. επεξεργασία  απολύμανση

Πίνακας 16 πίνακας με τιμές απεριόριστης άρδευσης σύμφωνα με τη νομοθεσία

α) Οι προτεινόμενες μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνουν διάφορους τύπους του συστήματος ενεργού ιλύος, βιολογικά φίλτρα και περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Άλλα συστήματα που παράγουν εκροή με ισοδύναμη ποιότητα (BOD5/SS σε συμφωνία με τις απαιτήσεις της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97) είναι αποδεκτά κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης. Οι συγκεντρώσεις αζώτου στην εκροή πρέπει να διατηρούνται χαμηλότερα από 45 mg/l, με εξαίρεση τις περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλης διάρκειας αποθήκευση των υγρών αποβλήτων σε ταμειυτήρες, γίνεται άρδευση ευπρόσβλητων στη νιτρορρύπανση ζωνών ή γίνεται εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα. Στις περιπτώσεις αυτές οι μέσες συγκεντρώσεις αζώτου πρέπει να μην υπερβαίνουν τα 15 mg/l.β) Στην περίπτωση κοινοτικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων οικισμών με πληθυσμό μικρότερο από 2000 ισοδύναμους κατοίκους και οικιακών ιδιωτικών συστημάτων επεξεργασίας επιτρέπονται οι τύποι επαναχρησιμοποίησης του Πίνακα 1 μετά από εφαρμογή μεθόδων επεξεργασίας, που δεν επιτυγχάνουν για τα BOD5/SS τα όρια της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97, με την προϋπόθεση ότι τεκμηριωμένα εξασφαλίζεται η μη επαφή κοινού και γεωργών με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Στις περιπτώσεις των κοινοτικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας ως μέγιστη διάμεση τιμή *Escherichia coli* τίθενται τα 1000 EC/ 100ml. γ)Χλωρίωση, οζόνωση, χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) ή άλλου είδους μέθοδοι καταστροφής ή συγκράτησης παθογόνων, που εξασφαλίζουν στην εκροή την απαιτούμενη διάμεση συγκέντρωση *Escherichia coli*. Σε κάθε περίπτωση και στο βαθμό που η επεξεργασία συνίσταται στην ελάχιστη απαιτούμενη κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης θα εξασφαλίζεται γινόμενο υπολειμματικού χλωρίου επί χρόνο επαφής (C·t) μεγαλύτερο ή ίσο από 30 mg·min/l, εμβολοειδής ροή (λόγος μήκους ροής/πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο από 40) και



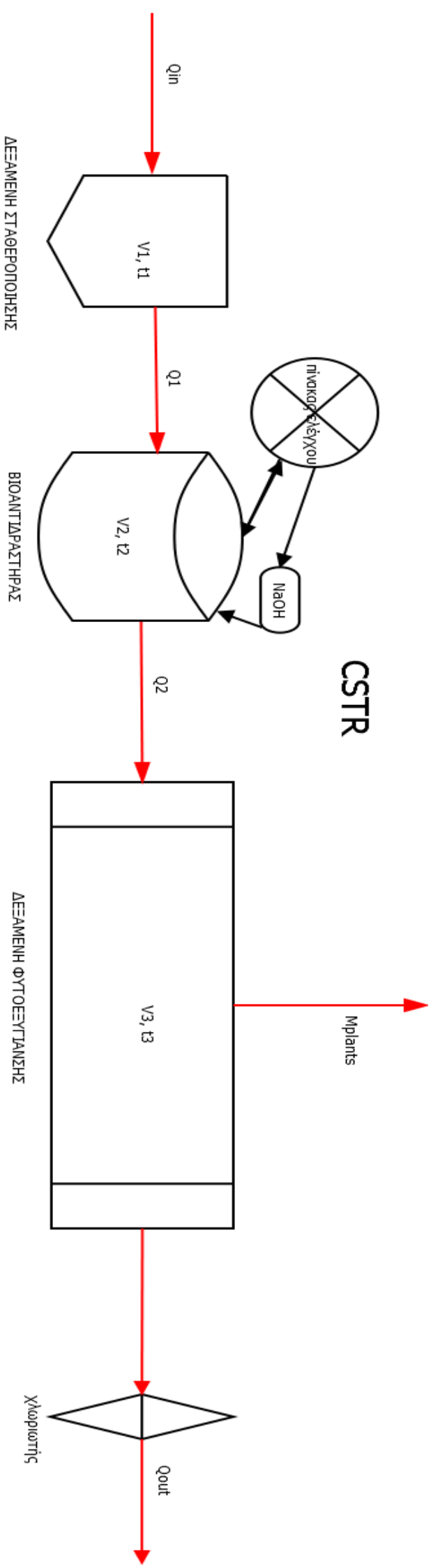
ελάχιστος χρόνος επαφής 30 min, ενώ για απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση 70 mWsec/cm<sup>2</sup> στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 50%. Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη, που συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής να τεκμηριώνεται η επάρκεια, η αποτελεσματικότητα και κυρίως, η ευχέρεια ελέγχου της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης. Δ) Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη να τεκμηριώνεται η επάρκεια του εδαφικού συστήματος να επιτυγχάνει συγκράτηση οργανικών. Ε) Όπως η σημείωση (α) του Πίνακα 16. Στην περίπτωση άρδευσης σε περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί ως ευπρόσβλητες λόγω νιτρορύπανσης απαιτείται απομάκρυνση αζώτου μέσω νιτροποίησης – απονιτροποίησης, ώστε οι συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου και ολικού αζώτου να είναι μικρότερες από 2 mg/l και 15 mg/l αντίστοιχα στ) Κατάλληλο σύστημα που να επιτυγχάνει τα αναφερόμενα στον Πίνακα 16 όρια για το BOD<sub>5</sub>, τα SS και τη θολότητα. Ενδεικτικά, κατ' ελάχιστον προσθήκη κατάλληλου κροκιδωτικού (π.χ.θειικού αργιλίου ) σε δόση μεγαλύτερη από 10 mg/l και απευθείας διύλιση σε διωλιστήριο άμμου με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: βάθος διωλιστικού μέσου (L) ≥ 1,40 m, ενεργή διάμετρο κόκκων άμμου (De) ≈ 1 mm, συντελεστή ομοιομορφίας κόκκων άμμου (u) 1,45–1,60 και επιφανειακή φόρτιση ≤ 8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hr για κανονικές συνθήκες λειτουργίας. ζ) Χλωρίωση, οζόνωση, χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) ή άλλου είδους μέθοδος καταστροφής ή συγκράτησης παθογόνων, που εξασφαλίζουν στην εκροή την απαιτούμενη συγκέντρωση *Escherichia coli* για το 80% των δειγμάτων. Σε κάθε περίπτωση κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης θα εξασφαλίζεται συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου ≥ 2 mg/l, εμβολοειδής ροή (λόγος μήκους ροής/πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο από 40) και ελάχιστος χρόνος επαφής 60 min, ενώ η αναγκαιότητα αποχλωρίωσης πριν από την επαναχρησιμοποίηση θα εξετάζεται κατά περίπτωση. Για απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση 60 mWsec/cm<sup>2</sup> στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 70%. Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη, που συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής να τεκμηριώνεται η επάρκεια, η αποτελεσματικότητα και κυρίως, η ευχέρεια ελέγχου της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης. η) Για νερό βιομηχανικών διεργασιών θα εφαρμόζονται από την ενδιαφερόμενη βιομηχανία τα εκάστοτε απαιτούμενα πρόσθετα προχωρημένα συστήματα επεξεργασίας για απομάκρυνση ιόντων και άλλων διαλυμένων ενώσεων ή/και στοιχείων.

Όπως φαίνεται λοιπόν, η ποιότητα της εκροής συμμορφώνεται πλήρως με τις διατάξεις του νόμου. Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται για κάποιο λόγο(σε εδάφη με νιτρορύπανση) η ποιότητα της εκροής να είναι ακόμη καλύτερη, απλά αυξάνονται οι χρόνοι παραμονής στον βιοαντιδραστήρα και στην δεξαμενή φυτοεξυγίανσης. Επίσης, όπως ο νόμος ορίζει, στο τελικό σύστημα, αναγκαία κρίνεται η χρήση ενός χλωριωτή μετά την δεξαμενή φυτοεξυγίανσης.

Στα σχήματα 18 και 19 λοιπόν, φαίνονται οι δύο πιθανές διατάξεις-τρόποι λειτουργίας του συστήματος αυτού:

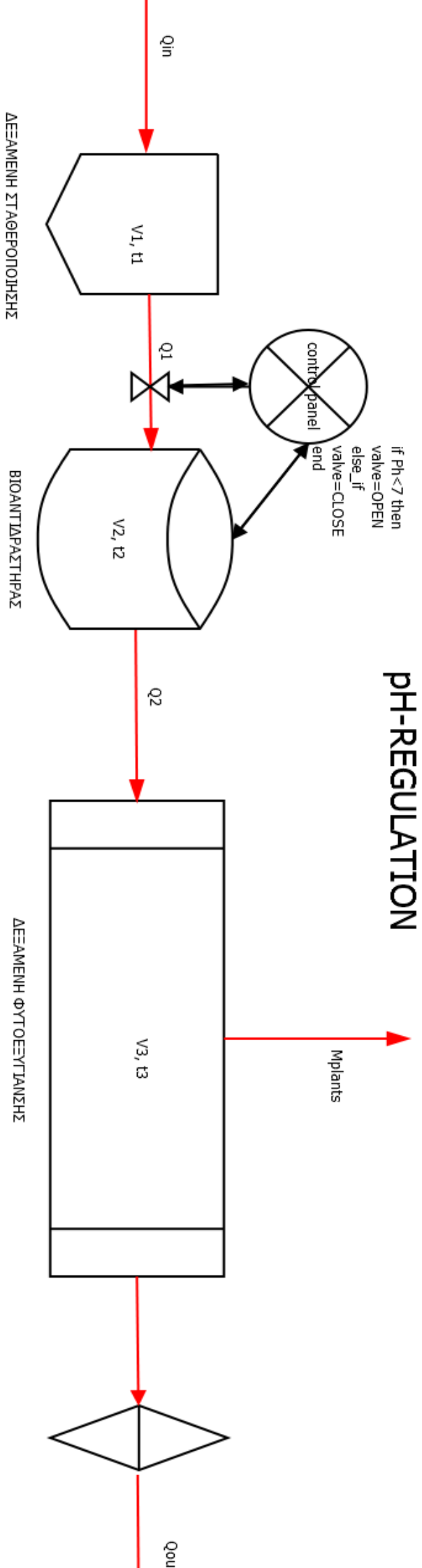


# 1. Σύστημα CSTR



$Q_{in}$  = εισοδος ανεπεξέργαστου αποβλήτου  
 $V_1$  = όγκος δεξαμενής σταθεροποίησης  
 $t_1$  = χρόνος παραμονής=4 days  
 $V_2$  = όγκος βιοαντιδραστήρα  
 $t_2$  = χρόνος παραμονής αποβλήτου στον βιοαντιδραστήρα (εξαρτάται από την συγκέντρωση αμμωνίας στο αποβλήτο)=1.6 days  
 $Q_1$  = παροχή εισόδου βιοαντιδραστήρα  
 $Q_2$  = παροχή εισόδου στην δεξαμενή φυτοεξυγίανσης  
 $V_3$  = όγκος δεξαμενής φυτοεξυγίανσης  
 $t_3$  = χρόνος παραμονής στη δεξαμενή φυτοεξυγίανσης=18 days  
 $Q_{out}$  = παροχή εξόδου επεξεργασμένου αποβλήτου για επαναχρησιμοποίηση  
 $\mu_{plants}$  = παροχόμενη φυτική βιομάζα προς χρήση  
 (η ρύθμιση του pH γίνεται με προσθήκη διαλύματος βάσης  $NaOH$ )

Σχήμα 18 Διάγραμμα ροής CSTR



## 2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΡΥΘΜΙΣΗ pH

$Q_{in}$ = εισοδος ανεπεξέργαστου αποβλήτου  
 $V1$ = όγκος δεξαμενής σταθεροποίησης  
 $t1$ = χρόνος παραμονής=ανάλογος της παροχής  
 $V2$ = όγκος βιοαντιδραστήρα  
 $t2$ =χρόνος παραμονής αποβλήτου στον βιοαντιδραστήρα (εξαρτάται απο την συγκέντρωση αμμωνίας στο αποβλήτο)  
 $Q1$ = παροχή εισόδου βιοαντιδραστήρα η οποία καθορίζεται απο τις διαδικυμάνσεις του pH μέσα στον βιοαντιδραστήρα. Όταν πεφτει κάτω απο 7 τότε ο πίνακας ελέγχου ενεργοποιεί τη βόνα και βασικό αποβλήτο εισρέει στον βιοαντιδραστήρα μέχρι να επανέλθει το pH.  
 $Q2$ =παροχή εισόδου στην δεξαμενή φυτοεξυγίανσης  
 $V3$ =όγκος δεξαμενης φυτοεξυγίανσης  
 $t3$ =χρόνος παραμονής στη δεξαμενή φυτοεξυγίανσης=18 days  
 $Q_{out}$ = παροχή εξόδου επεξεργασμένου αποβλήτου για επαναχρησιμοποίηση  
Mplants= παραγόμενη φυτική βιομάζα προς χρήση  
(η ρύθμιση του pH γίνεται με την βασική φύση του αποβλήτου κατα την διαδικασία και τον τρόπο λήττουργιας του συστήματος)

Σχήμα 19 Διάγραμμα ροής με ρύθμιση pH

## 8.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΥΤΟΥ ΜΕ ΕΝΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ

Αρχικά, για να γίνει μια οικονομική ανάλυση αλλά και για να κατανοηθεί καλύτερα η έκταση που θα απαιτείται στην εφαρμογή του σε πραγματικά γεγονότα, θα εφαρμοστεί το προαναφερθέν σύστημα ως παράδειγμα, σε ένα κτίριο με γραφεία μιας εταιρίας ή σε ένα κτίριο μιας δημόσιας υπηρεσίας, με no-mix τουαλέτες, η οποία έστω ότι έχει 100l/day υγρά απόβλητα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα που συλλέξαμε κατά την εκπόνηση της εργασίας, για μία τέτοια παροχή θα έχουμε τους εξής όγκους δεξαμενών δοχείων:

Για :  $Q=100\text{l/day}$  και σύστημα με CSTR λειτουργία:

1. όγκος δεξαμενής σταθεροποίησης=160 λίτρα

Είναι η δεξαμενή η οποία θα δέχεται όλες τις παροχές των υγρών αποβλήτων από τις διάφορες διαδικασίες και με τον ανάλογο χρόνο παραμονής βρίσκουμε τον απαιτούμενο όγκο. Εδώ, θα χρειαστεί να τοποθετήσουμε κάποια μηχανική προφίλτρανση για αφαίρεση των στερεών για ασφάλεια του συτήματος.

2. όγκος βιοαντιδραστήρα=170 λίτρα

Για να έχουμε τα ίδια επιτυχή αποτελέσματα όπως στο εργαστηριακό βιοαντιδραστήρα, θα τοποθετηθεί η ίδια αναλογία ενθυλακωμένων βιοκαταλυτών, δλδ στην προκειμένη περίπτωση, για 160 λίτρα βιοαντιδραστήρα θα χρειαστούμε 13,3 κιλά ενθυλακωμένων μικροοργανισμών Lentikats.

3. όγκος λίμνης φυτοεξυγίανσης=1800 λίτρα

Αφού θέλουμε να δώσουμε έμφαση στην βέλτιστη φυτοκάλυψη της λίμνης, τότε θα την διαστασιολογήσουμε προσπαθώντας να έχουμε την μεγαλύτερη δυνατή επιφάνεια ώστε να τοποθετήσουμε όσο περισσότερα φυτά μπορούμε όποτε:

Βάθος= 0,3 μέτρα   Μήκος=3μέτρα   Πλάτος=2 μέτρα

## Κοστολόγηση Έργου:

ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ(ευρώ)
Πλαστική δεξαμενή 200 λίτρων	2	150
liner	9 m <sup>2</sup>	10
Αεριστήρας δεξαμενης σταθεροποίησης	1	400
Μηχανικό πρόφιλτρο	1	1000
αντλία	2	200
Πίνακας ελέγχου με ηλεκτρόδιο για pH	1	1500
σωλήνες	20 μέτρα	10
φυτά	270	0,5
Ενθυλακωμένοι βιοκαταλύτες Lentikats	13,3 κιλά	10
χλωριωτής	1	200
Εκσκαφή και εργασίες	-	1000

Πίνακας 17 Κοστολόγηση μικρής εγκατάστασης επεξεργασίας αποβλήτων

## ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ: 5360 ευρώ

Αναλογικά με την παραχθείσα φυτική βιομάζα του εργαστηριακού μας πειράματος, μπορούμε να πούμε ότι το παραπάνω σύστημα θα έχει παραγωγή **7640,5 γραμμάρια φυτικής βιομάζας τον μήνα**. Αυτό βέβαια, είναι αρκετά υποκειμενικό, καθώς τα φυτά στο παραπάνω σύστημα θα είναι σε εξωτερικό χώρο απολαμβάνοντας πλήρως τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, και έτσι τα αποτελέσματα θα είναι και φυσικά πολύ καλύτερα, και στην υγεία των φυτών( συγκριτικά με της λάμπες) αλλά κυρίως στην παραγόμενη προς αξιοποίηση φυτική βιομάζα.

Με την ίδια λογική, αναγράφεται παράδειγμα εφαρμογής του συστήματος σε μία μεγάλη κτηνοτροφική μονάδα χοίρων με παροχή αποβλήτων  $57 \text{ m}^3/\text{day}$  (Γεωργακάκης, Υγρά Γεωργικά Απόβλητα, ΕΑΠ)

1. όγκος δεξαμενής σταθεροποίησης =  $57 \text{ m}^3$

Είναι η δεξαμενή η οποία θα δέχεται όλες τις παροχές των υγρών αποβλήτων από τις διάφορες διαδικασίες και πλυσίματα, και με τον ανάλογο χρόνο παραμονής βρίσκεται ο απαιτούμενος όγκος. Εδώ, αφού αναφέρεται μια κτηνοτροφική μονάδα, θα χρειαστεί να τοποθετηθεί, πέρα από τον αναδευτήρα και τον αεριστήρα, για την επίτευξη της υδρόλυσης της ουρίας, και κάποια μηχανική προφίλτραση για αφαίρεση των στερεών. Καθώς τα κτηνοτροφικά απόβλητα έχουν περίπου  $400 \text{ mg/L}$  συγκέντρωση σε αμμωνία (Γεωργακάκης, ΕΑΠ) ο χρόνος παραμονής θα είναι 1 ημέρα.

2. όγκος βιοαντιδραστήρα =  $74,1 \text{ m}^3$

Για να έχουμε τα ίδια επιτυχή αποτελέσματα όπως στο εργαστηριακό βιοαντιδραστήρα, θα προσθέσουμε την ίδια αναλογία ενθυλακωμένων βιοκαταλυτών, δηλ στην προκειμένη περίπτωση, για 160 λίτρα βιοαντιδραστήρα θα χρειαστούμε 6160 κιλά ενθυλακωμένων μικροοργανισμών Lentikats.

3. όγκος λίμνης φυτοεξυγίανσης =  $846 \text{ m}^3$

Αφού θέλουμε να δώσουμε έμφαση στην βέλτιστη φυτοκάλυψη της λίμνης, τότε θα την διαστασιολογήσουμε προσπαθώντας να έχουμε την μεγαλύτερη δυνατή επιφάνεια ώστε να τοποθετήσουμε όσο περισσότερα φυτά μπορούμε όποτε:

Βάθος = 1 μέτρα    Μήκος = 25 μέτρα    Πλάτος = 35 μέτρα

## Κοστολόγηση Έργου:

ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ μοναδας
Οπλισμένο σκυρόδεμα δεξαμενών	80 m <sup>3</sup>	200
liner	900m <sup>2</sup>	10
Αναδευτήρας δεξαμενής σταθεροποίησης	2	1000
Αεριστήρας δεξαμενής σταθεροποίησης	2	500
Μηχανικό πρόφιλτρο	1	5000
αντλία	3	400
Πίνακας ελέγχου με ηλεκτρόδιο για pH	1	1500
σωλήνες	20 μέτρα	10
φυτά	38000	0,2
Ενθυλακωμένοι βιοκαταλύτες Lentikats	6160 κιλά	10
χλωριωτής	1	1000
Εκσκαφή και εργασίες	-	6000

Πίνακας 18 Κοστολόγηση μεγάλης εγκατάστασης επεξεργασίας αποβλήτων

**ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ: 123.800 ευρώ**

Αναλογικά με την παραχθείσα φυτική βιομάζα του εργαστηριακού μας πειράματος, παρατηρείται ότι το παραπάνω σύστημα θα έχει παραγωγή **3525 κιλά φυτικής βιομάζας τον μήνα.**

Συγκρίνοντας το σύστημα αυτό, με κάποιο άλλο συμβατικό σύστημα, φαίνεται οτι έχει αρκετά μικρότερη τιμή. Κατά την επεξεργασία των ίδιων υγρών αποβλήτων με συμβατικές

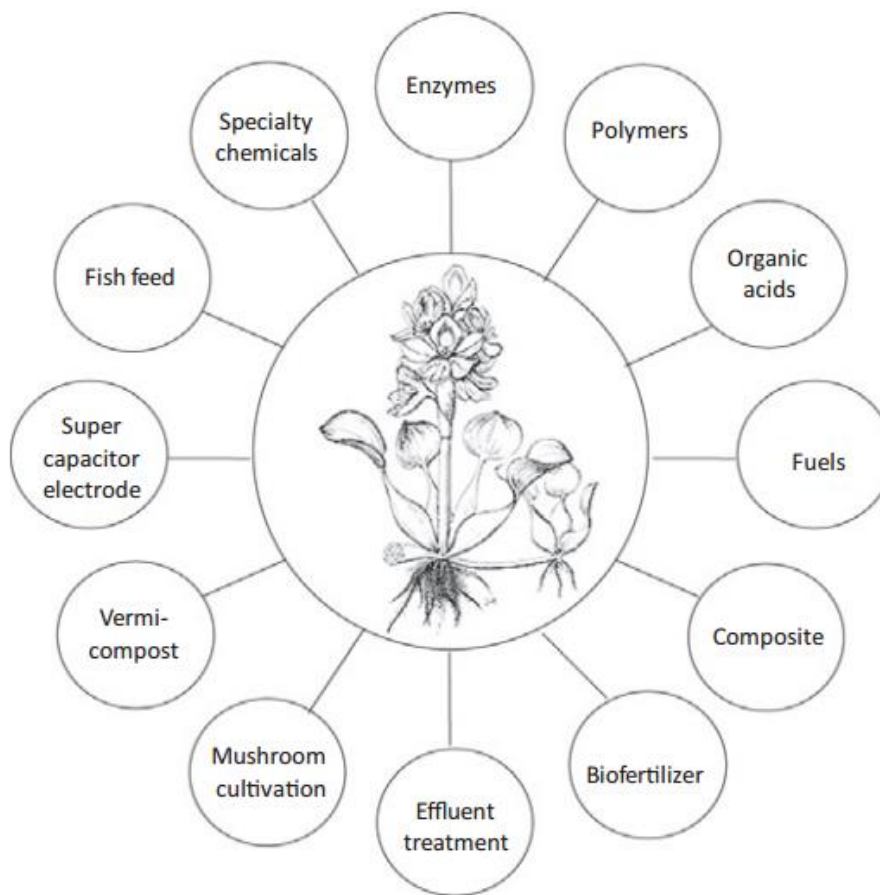
μεθόδους, σε περίπτωση ουρητηρίων θα πρέπει να κατασκευαστούν μεγάλες στεγανές δεξαμενές οι οποίες θα πρέπει να αδειάζονται πολύ συχνά με βυτιοφόρο βοθρολυμάτων το οποίο και έχει πολύ μεγάλο κόστος σε βάθος χρόνου, αλλά και στην περίπτωση κτηνοτροφικής μονάδας απαιτείται ολόκληρη εγκατάσταση μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με τεράστιο κόστος συγκριτικά με το σύστημα με τα επιπλέοντα φυτά. Το μόνο σχετικό μειονέκτημα που έχει είναι ότι χρειάζεται αρκετά μεγαλύτερη έκταση σε σχέση με κάποιο συμβατικό σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, και επίσης ότι χρειάζεται μια πρόβλεψη θερμοκηπιακού τύπου, ανάλογα με την περιοχή βέβαια, τους χειμερινούς μήνες. Έτσι, ολοκληρώνοντας τις πειραματικές διαδικασίες, αναλύσεις και συγκρίσεις, καταλήγουμε στον πίνακα 19, όπου και παρατίθενται τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος

<b>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>	<b>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>
Χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας από ένα συμβατικό σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	Μεγαλύτερη απαίτηση χώρου από ένα συμβατικό σύστημα
Χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις	Ειδικές εγκαταστάσεις σε περιοχές με βαρύ χειμώνα
Αναβάθμιση περιβάλλοντος	
Μικρή απαίτηση σε εργατικό και ειδικευμένο προσωπικό	
Προσφορά κέρδους στις μονάδες που εγκαθίστανται (ζωοτροφές, πότισμα, κομπόστ, βιοαέριο κτλ.)	
Άμεση εφαρμογή και λειτουργία για επεξεργασία εντός ρεύματος σε μια ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	

Πίνακας 19 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα συστήματος

### 8.3 ΤΡΟΠΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Υπάρχουν δεκάδες τρόποι, όπως φαίνεται και στο σχήμα 20, με τους οποίους μπορεί κάποιος να αξιοποιήσει αυτό το ιδιαίτερο φυτό. Παρακάτω, θα παρατεθούν μερικοί από τους πιο γνωστούς και πιο σημαντικούς.



Σχήμα 20 χρήσεις υάκινθου του νερού (Gupta 2012)

Ανάλογα με την τοποθεσία του συστήματός, η παραχθείσα φυτική βιομάζα μπορεί να επεξεργαστεί και να αξιοποιηθεί αναλόγως.



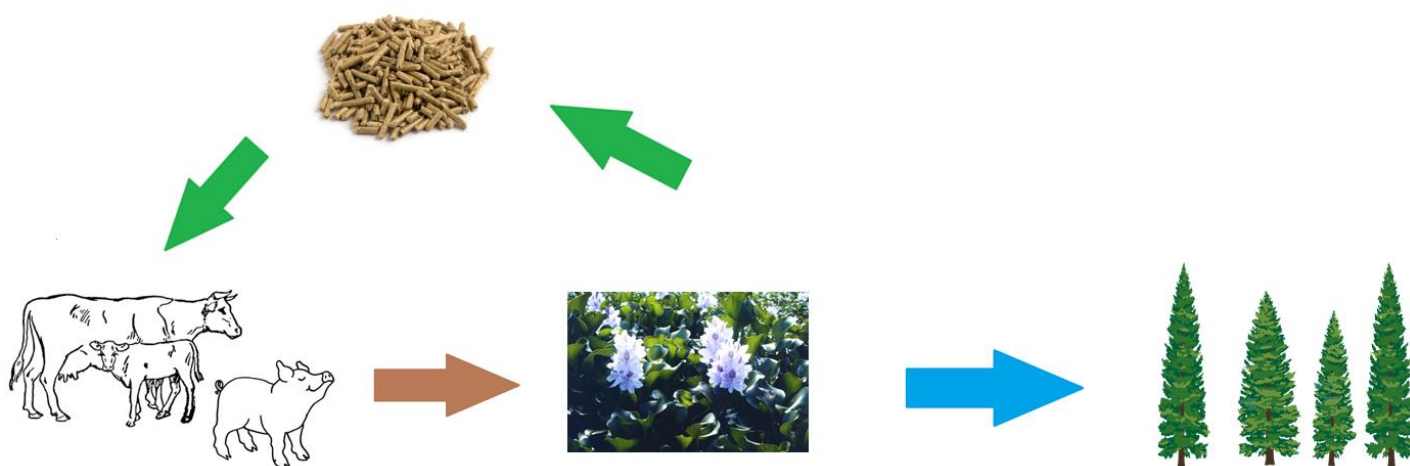
## 1. Επεξεργασία φυτικής βιομάζας για παραγωγή ζωοτροφής

Όταν τοποθετηθεί το σύστημα προκειμένου να επεξεργάζεται υγρά απόβλητα κάποιας κτηνοτροφικής μονάδας, τότε ένας καλός τρόπος ανακύκλωσης των ανακτώμενων θρεπτικών συστατικών είναι η μετατροπή της παραγόμενης φυτικής βιομάζας σε ζωοτροφή (Tham, 2012).

Με μια ειδική αλλά απλή διαδικασία, αφυδατώνονται τα φυτά, και συμπυκνώνονται με ειδικές πρέσες, προσθέτοντας αν χρειάζεται και ανάλογα με τα ζώα, κάποια συμπληρώματα διατροφής, και τα φέρνουμε σε μια τελική μορφή πέλετ.

Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα ανακυκλώνει σε ένα πολύ μεγάλο κομμάτι τα ανακτώμενα θρεπτικά, τα οποία θα έχουν και ένα πολύ καλό κύκλο ζωής, αλλά και το επεξεργασμένο νερό, θα χρησιμοποιείται πλέον για ποτίσματα καλλιεργειών φυτών που αποσκοπούν πάλι στην παραγωγή ζωοτροφών είτε άλλων καλλιεργειών, εκτάσεων κτλ.

Η λογική αυτή, παρουσιάζεται στο σχήμα 21.



Σχήμα 21 Ανακύκλωση θρεπτικών σε μια κτηνοτροφική μονάδα

## 2. Επεξεργασία φυτικής βιομάζας για παραγωγή κομπόστ

Το κομπόστ είναι οργανικό υλικό φυσικής προέλευσης και το οποίο παρέχει ένα ή περισσότερα θρεπτικά συστατικά στα φυτά που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξή τους. Μια από τις περισσότερο διαθέσιμες στρατηγικές για την αποκατάσταση της γονιμότητας του εδάφους είναι η χρήση ζιζανίων. Σε μελέτη που διενεργήθηκε (Vidya and Girish 2014) αποκαλύφθηκε ότι ο υάκινθος του νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό, καθώς όταν ενσωματώνεται στο χώμα αυξάνει την απόδοση του σιταριού. Σε αυτή τη μελέτη της καλλιέργειας σίτου, υποβλήθηκε σε κομποστοποιημένο προϊόν που προέρχεται από υάκινθο του νερού και αφέθηκαν να μεγαλώσουν για 15 ημέρες. Έγιναν και πειράματα ελέγχου σε αντίστοιχη καλλιέργεια χωρίς όμως κομποστοποιημένο υάκινθο. Οι φυσικές και χημικές παράμετροι μετρούνταν συνεχώς. Οι φυσικές παράμετροι όπως η εκατοστιαία βλάστηση, το μήκος ρίζας, το μήκος βλαστών, περιεχόμενο βιομάζας και αναλογίας ρίζα: βλαστός. Χημικές παράμετροι όπως χλωροφύλλη, μείωση Η περιεκτικότητα σε ζάχαρη και πρωτεΐνη αξιολογήθηκε επίσης. Η μελέτη αποκάλυψε ότι τόσο οι φυσικές όσο και οι χημικές παράμετροι είχαν υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με τον ελεγχόμενο. Ο υάκινθος του νερού είναι ένας καλός απορροφητής των N, P και K από το νερό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κομποστοποίησης και τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής, δείχνουν την μεγάλη ικανότητα του ως υλικό κομπόστ.



Εικόνα 13 συλλογή υάκινθων του νερού για επεξεργασία και παραγωγή κομπόστ

### **3. Επεξεργασία φυτικής βιομάζας για παραγωγή βιοαερίου**

Το βιοαέριο είναι μίγμα αερίων που παράγεται από την αναερόβια ζύμωση οργανικών υλικών με μεθανογόνα βακτήρια. Αποτελείται από ένα μείγμα του μεθανίου, του διοξειδίου του άνθρακα, του νερού, του υδρόθειου και της αμμωνίας. Ο υάκινθος του νερού, χρησιμεύει ως πιθανή πηγή για την παραγωγή βιοαερίου. Διάφορες αναφορές είναι διαθέσιμες για το δυναμικό του ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου. Αναερόβια χώνευση του υάκινθου μαζί με κοπριά αγελάδων και χλόη για παραγωγή βιοαερίου. Σε εργαστηριακή κλίμακα, η διαδικασία αυτή αξιολογήθηκε (Okewale 2016) και η μελέτη έδειξε ότι η συγχώνευση του WH και του γρασιδιού (elephant grass) έδωσε υψηλότερη απόδοση παραγωγής βιοαερίου. Οι παράμετροι της διαδικασίας όπως η θερμοκρασία, το pH και ο χρόνος κατακράτησης έχουν σημαντική επίδραση στην απόδοση παραγωγής βιοαερίου. Η υψηλότερη περιεκτικότητα σε μεθάνιο 62% παρατηρήθηκε στον χωνευτήρα που περιείχε υάκινθο του νερού, γρασίδι, κοπριά και νερό Η απόδοση 2,303 L μετά από 60 ημέρες επώασης (Sindhu and Binod 2017). Βλέπουμε λοιπόν, ότι η παραγωγή βιοαερίου, ακόμα και σε μία κτηνοτροφική μονάδα, η οποία διαθέτει αφθονία σε κοπριά μπορεί να γίνει βέλτιστη και το παραγόμενο βιοαέριο να καταναλωθεί για τις ανάγκες της μονάδας ή και να πωληθεί και να βοηθήσει οικονομικά τον ιδιοκτήτη.

### **4. Παραγωγή βιοαιθανόλης**

Η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και η αύξηση της κατανάλωσης της ενέργειας οδηγεί στην αναζήτηση εναλλακτικών στρατηγικών ενέργειας. Η αξιοποίηση του λιγνοκυτταρινικού αποθέματος στην τροφή μπορεί να θεωρηθεί ως κατάλληλη βιομάζα για την παραγωγή ανανεώσιμων βιοκαυσίμων όπως η βιοαιθανόλη. Η παραγωγή των καυσίμων από βιομάζα αποβλήτων, όπως ο υάκινθος του νερού, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε μια αυτοσυντηρούμενη κοινωνία. Η παραγωγή βιοαιθανόλης από το φυτό αυτό, περιλαμβάνει τρία στάδια: προεπεξεργασία, υδρόλυση και ζύμωση. Η βιοαιθανόλη είναι ανανεώσιμο καύσιμο και η σημασία της αυξάνεται αναλογικά με την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, την αύξηση της τιμής του αργού πετρελαίου και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

## 8.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Παρακάτω προτείνονται κάποιοι πιθανοί τομείς και χώροι όπου το σύστημά μας μπορεί να αξιοποιήσει τις δυνατότητες του και να αναδειχθεί, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχουν και άλλοι τρόποι εφαρμογής του επειδή δεν αναγράφονται παρακάτω

1. Εφαρμογή του συστήματος για επεξεργασία κάποιου ρεύματος μιας ήδη υπάρχουσας εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Για παράδειγμα, σε κάποια ήδη υπάρχουσα ΕΕΛ, μπορεί να εγκατασταθεί το σύστημα και να δουλεύει τους καλοκαιρινούς μήνες όπου υπάρχει μεγάλη αύξηση της εισόδου λόγω πχ τουρισμού, επεξεργάζοντας κάποιο ρεύμα της διαδικασίας

2. Εφαρμογή του συστήματος για επεξεργασία υγρού αποβλήτου που προέρχεται από No-mix τουαλέτες.

Είτε σε κάποιο κτίριο πχ κάποιας δημόσιας υπηρεσίας, αλλά είτε μαζί με κάποια άλλη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε κάποιο δίκτυο που έχει διαχωρισμό στην πηγή.

3. Εφαρμογή του συστήματος για επεξεργασία υγρών αποβλήτων από κτηνοτροφικές μονάδες.

Όπως προαναφέρθηκε εκτεταμένα και στα προηγούμενα κεφάλαια.

4. Εφαρμογή του συστήματος για επεξεργασία υγρών αποβλήτων σε μεμονωμένες τουαλέτες ή ουρητήρια τα οποία αδυνατούν να συνδεθούν στο αποχετευτικό δίκτυο( πχ τουαλέτες στην εθνική οδό).

Για να μην υπάρχει κόστος κατασκευής δικτύου για να συνδεθούν οι μεμονωμένες τουαλέτες στο κύριο δίκτυο, μπορεί να εφαρμοστεί το σύστημά ξεχωριστά σε κάθε χώρο που υπάρχει μια τέτοια τουαλέτα(εθνική οδό) και να αποφευχθεί έτσι το μεγάλος κόστος σύνδεσης αλλά και τους υποχρεωτικούς αλλά ανεπιθύμητους βόθρους καθώς επιβαρύνουν και υποβαθμίζουν το περιβάλλον.

## 8.5 ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Κλείνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, μελετήθηκε αλλά και έγιναν πειραματισμοί με ένα σύστημα το οποίο αξιοποιεί την νιτροποίηση με ενθυλακωμένους βιοκαταλύτες σε συνδυασμό με την φυτοεξυγίανση υγρών αποβλήτων με επιπλέοντα φυτά, προκειμένου να αντιμετωπιστούν “δύσκολα” υγρά απόβλητα επιβεβαρημένα με υψηλές συγκεντρώσεις σε αμμωνία και οργανικό άζωτο.

Παρουσιάστηκε η ποσότητα της παραχθείσας φυτικής βιομάζας και τους τρόπους που δύναται σε κάθε περίπτωση να αξιοποιηθεί.

Η όλη παραπάνω διαδικασία ήταν μια πρώτη επαφή με το σύστημα αυτό και τη λογική του και προφανώς χρειάζονται πολλά παραπάνω πειράματα και σε πιλοτική μετέπειτα κλίμακα. Παρατίθενται λοιπόν παρακάτω κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα του συστήματος αυτού:

1. Δημιουργία ενός πιλοτικού συστήματος, προκειμένου να συμπεριληφθούν στις παραμέτρους μας τα φυσικά φαινόμενα, τα προβλήματα που δημιουργούν, τα προτερήματα που έχει η ηλιακή ακτινοβολία και η επίδρασή της πάνω στα φυτά κτλ.
2. Λειτουργία του πιλοτικού συστήματος και με τους δυο τρόπους, και με συνεχή λειτουργία και με ρύθμιση pH.
3. Λειτουργία του συστήματος και με υγρά απόβλητα από κτηνοτροφικές μονάδες
4. Πειραματισμοί για παραγωγή ζωοτροφής με την παραχθείσα φυτική βιομάζα
5. Πειραματισμοί και παραγωγή βιοαερίου από την παραχθείσα φυτική βιομάζα
6. Εφαρμογή του συστήματος σε κάποιο κτίριο του Πολυτεχνείου ή κάποιο δημόσιο κτίριο και έλεγχο και καταγραφή της λειτουργίας του συστήματος για μεγάλο χρονικό διάστημα.
7. Δοκιμές του συστήματος και με άλλες τεχνικές νιτροποίησης του αποβλήτου (wet- dry filter, fluidized bed filter κ.α.) για διεξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων αλλά και για επιπλέον μείωση του κόστους μιας τέτοιας εγκατάστασης.

## Ξένη Βιβλιογραφία

1. P. Gupta, S. Roy, A. Mahindrakar 2012 " Treatment of water using water hyacinth, water lettuce and vetiver grass-a review" Resources and Environment vol.2, iss.5, 202-215
2. K.M. Udert, M. Wachter, 2012 ,"Complete nutrient recovery from source-seperated urine by nitrification and distillation" Water research 46, 453-363
3. A. Fumasoli, E. Morgenroth, 2015, " Modeling the low ph limit of Nitrosomonas eutropha in high-strength nitrogen wastewaters" Water research 83, 161-170
4. A.Fumasoli, B.Etter, 2016 " Operating a pilot-scale nitrification/distillation plant for complete nutrient recovery from urine" Water science and Technology 73.1
5. R. Sindhu, P Binod , 2017, " Water hyacinth a potential source for value addition a review" Bioresource technology 230 ,152-162
6. S. Eslamian, 2016, " Urban Water Reuse Handbook", IWA Publishing
7. H. T. Tham, 2012 " Water Hyacinth(Eichornia Crassipes)-Biomass Production, Ensilability and Feeding Value to growing Cattle" , Doctoral Thesis, Swedish university of Agricultural Sciences, Uppsala
8. R. Knowles 1982 "Denitrification." Microbiological Reviews 46, 43-70
9. Gabriel, P. F. (1992).»Innovative technologies for contaminated soil remediation: focus on bioremediation». In Bioremediation: the state of practise in Hazardous waste remediation operations: AWMA/HWAC)
10. C.P. Leslie Grady, J., Glen T. Daigger, Henry C. Lim 1999, "Biological Wastewater Treatment(second Edition)", Revised and Explained, Marcel Dekker, Inc.
11. George Tsobanoglous, F. L. B., H. David Stensel 2006,"Wastewater Engineering, Treatment and Reuse (fourth edition)", McGraw-Hill Companies Inc.
12. Knowles, G., Downing, A.L. and Barrett, M.J. ,1965, "Determination of Kinetic Constants For Nitrifying Bacteria in Mixed Culture, with the Aid of an Electronic Computer." Journal of General Microbiology 38, 263-278.
13. Metcalf & Eddy 2003, "Wastewater Engineering: treatment and reuse(fourth edition)", revised by Tchobanoglou G., Burton F., Stensel D., McGraw-Hill
14. Wim H, Rulkens, ,1999, " Sustainability criteria as a tool in the development of new sewage treatment methods" , Water Science and technology 5, 243-250

15. L.J.M. van der Eerden, P.H.B. de Visser, 1998, "Risk of damage to crops in the direct neighbourhood of ammonia sources", *Environmental Pollution* 1, 49-53
16. A. Okewale, 2016 "Alternative energy production for environmental sustainability." *British Journal of renewable energy* vol.1, 18 - 22.
17. Raskin, I., Salt, D., Kramer, U., and Schulman, R. 1998, "Phytoremediation: Green and Clean". *Acta Horticulture* 457, 329-331
18. Stowell R, Ludwig R, Colt J, Tchobanoglous G., 1981, "Concepts in aquatic treatment system design", *J Env. Eng. Div.* 107, 19-40
19. Robert L. Knight, Victor W.E. Payne 2000, "Constructed wetlands for livestock wastewater management", *Ecological Engineering* 15, 41-45
21. J. Trogl, A. Bouskova, 2011 "Removal of nitrates from simulated ion-exchange brines with *Paracoccus denitrificans* encapsulated in LentiKats Biocatalyst", *Desalination* 275, 82-86
22. M. Sievers, S. Schafer, U. Jahnz, M. Schlieker, K. Vorlop, 2002, "Significant reduction of energy consumption for sewage treatment by using LentiKat encapsulated nitrifying bacteria", *Landbauforschung Volkenrode Sonderheft* 241, 81-86
23. S. Vidya, L. Girish, 2014, "Water Hyacinth as a green manure for organic farming", *International Journal of Research in applied, natural and social sciences* vol 2 iss.6, 65-72
24. M. Farazaki, H. Marakas and P. Gikas, 2016, "Nitrification-Denitrification of Raw Municipal Wastewater without Recirculation, Using Encapsulated Microbial Systems", 13<sup>th</sup> IWA Specialized Conference on Small Water and Wastewater Systems, 14-17 September, Athens, Greece.
25. A. N. Aggelakis 2001, "Management of wastewater by natural treatment systems with emphasis on land based systems" In *Decentralized Sanitation and Reuse*, ch. 16: 303-333 *Integrated Envir. Tech. Series*, IWA Publishing, London, UK



## Ελληνική Βιβλιογραφία

26. Α. Ζουμπούλης, Α. Κούγκολος, Π. Σαμαράς, Χ. Προχασκά ,” Μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μικρής κλίμακας” Πορταριά 2006 ,εκδόσεις Γράφημα
27. Α.Ν. Αγγελάκης, G. Tchobanoglous,1995, ” Υγρά απόβλητα: Φυσικά συστήματα επεξεργασίας και ανάκτηση, επαναχρησιμοποίηση και διάθεση εκροών” Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτη
28. Δ. Γεωργακάκης ” Υγρά Γεωργικά Απόβλητα””, Διαχείριση υγρών αποβλήτων, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
29. Ζαμπετάκης Α. Λ. Μάνιος Β.Θ, Καρατζάς Γ., 2005 ”Καινοτομικές Μέθοδοι Εξυγίανσης ρυπασμένων εδαφών και υπογείων υδάτων. Η τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης” , Heleco 2005, ΤΕΕ Αθήνα

### Διαδικτυακές Πηγές

1. <http://www.lentikats.eu>
2. <http://www.ipni.nrt>
3. <http://www.waterworld.com>
4. <http://www.conservationmagazine.org>