

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ SEWPER RX ΣΤΗ
ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ ΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΓΡΟΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΑΛΕΥΡΑ ΜΑΡΙΑΝΘΗ
Επιβλέπων Καθηγητής: Γκίκας Πέτρος

Χανιά, Σεπτέμβριος 2015

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Πέτρο Γκίκα για την επίβλεψη της διπλωματικής μου εργασίας, τις πολύτιμες συμβουλές του, και την όμορφη συνεργασία μας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εργαστηριακό βοηθό Χαρίδημο Μάρακα, για την βοήθεια του κατά την διάρκεια του πειραματικού μέρους της εργασίας μου, και την προθυμία του.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές Τρύφων Δάρα και Δανάη Βενιέρη για τις συμβουλές τους πάνω σε ζητήματα της εργασίας, και την εργαστηριακή βοήθό Ροίκα Σαρίκα για την παραχώρηση της πιλοτικής μονάδας.

Ευχαριστώ τον Ανδρέα Γκίνο από την εταιρία Χατζόπουλος Α.Ε. για την παραχώρηση των μικροοργανισμών Sewper Rx.

Τέλος, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, για την υποστήριξη τους σε κάθε μου βήμα.

Αφιερώνω την εργασία μου στην αδερφή μου, Ηράκλεια.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της πτυχιακής μου εργασίας, στο Τμήμα των Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Σκοπός της εργασίας είναι να εξεταστεί πως επιδρά η χρήση μικροοργανισμών Sewper Rx στην διεργασία της ενεργού ιλύος, σε ότι αφορά την απόδοση και την παραγωγή ιλύος. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής μελετήθηκε η επίδραση που έχει η προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx σε μια πιλοτική μονάδα ενεργού ιλύος με όγκο δεξαμενής αερισμού και καθίζησης 5.9 L και 5.85 L αντίστοιχα. Απόβλητα οινοποιείου, αραιωμένα κατάλληλα ώστε να προσομοιάζουν με αστικά υγρά απόβλητα, χρησιμοποιούνται ως υπόστρωμα με και χωρίς την χρήση Sewper Rx, σε διάφορες υδραυλικές φορτίσεις. Το ποσοστό μείωσης της παραγόμενης λάσπης, του BOD, COD, TOC, VSS, TSS, των νιτρικών, αμμωνιακών, και των ορθοφωσφωρικών μελετώνται. Για έχουμε ολοκληρωμένη εικόνα της επεξεργασία των υγρών απόβλητων έγινε οπτική παρατήρηση της παραγόμενης λάσπης καθώς και των υγρών αποβλήτων από κάθε διεργασία, με την χρήση μικροσκοπίου. Η παρατήρηση έγινε πριν και μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx.

Τα πειράματα χωρίστηκαν σε δύο φάσεις λειτουργίας. Κατά την πρώτη φάση μελετήθηκε η συμβατική λειτουργία της πιλοτικής μονάδας ενεργού ιλύος ως προς τα χαρακτηριστικά της εισροής, της εκροής και της παραγωγής της ιλύος για δύο διαφορετικούς χρόνους παραμονής. Στην δεύτερη φάση των πειραμάτων έγινε προσθήκη μικρής ποσότητας από τους μικροοργανισμούς Sewper Rx, και μελετήθηκε εκ νέου η συμπεριφορά του συστήματος. Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν τρεις κύκλοι πειραμάτων. Κατά τον πρώτο διατηρήθηκαν σταθερές τις αρχικές συνθήκες ώστε να μελετηθεί η απόδοση της εγκατάστασης πριν και μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών. Στην συνέχεια διπλασιάστηκε η παροχή τόσο στην είσοδο όσο και στο ρεύμα ανακυκλοφορίας της λάσπης ώστε να δοκιμαστεί η αποδοτικότητα του συστήματος σε μικρούς χρόνους παραμονής του απόβλητου. Κατά την τρίτη δοκιμή πενταπλασιάστηκε η συγκέντρωση του αποβλήτου στην παροχή εισόδου, ώστε να ελεγχθεί η αποδοτικότητα των μικροοργανισμών Sewper Rx σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Το απόβλητο μας αραιώνονταν πριν την επεξεργασία του καθώς το φορτίο και η θολερότητα του ήταν πολύ υψηλή για να μπορέσουμε να μελετήσουμε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Η αραιώση που εφαρμόστηκε ήταν η προσθήκη 150ml απόβλητου σε 43 λίτρα νερού. Το φορτίο του διαλύματος μας προσομοιάζονταν με αυτό ενός τυπικού αστικού υγρού απόβλητου.

Τα αποτελέσματα μας ήταν ενθαρρυντικά καθώς από την τρίτη μέρα μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx είχαμε οπτική διαφορά στην θολερότητα του απόβλητου. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της εξόδου βελτιώθηκαν σημαντικά και η ημερήσια παραγωγή λάσπης μηδενίστηκε μέσα σε 7 ημέρες. Επίσης η απόδοση της πυκνής φόρτισης ήταν υψηλότερη από την χαμηλή στα περισσότερα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν και αυτό μας δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε τους μικροοργανισμούς σε απόβλητα με

πολύ υψηλά φορτία. Κατά την λειτουργία της πυκνής φότισης η απομάκρυνση του BOD και του COD έφτασε το 90%.

Abstract

This paper was produced as part of my thesis, Department of Environmental Engineering of the University of Crete.

Aim of this study is to examine how the use affects microorganisms Sewper Rx in the process of activated sludge, in terms of performance and sludge production. As part of this work we studied the effect of the addition of Sewper Rx microorganisms in a pilot activated sludge plant with volume aeration tank 5.9 L and settling tank 5.85 L. Waste winery, diluted appropriately to simulate urban waste, used as a substrate without the use Sewper Rx, in various hydraulic loads. The rate of reduction of sludge produced, of BOD, COD, TOC, VSS, TSS, nitrate, ammonium, and phosphates were studied. To have a complete picture of the treatment of liquid waste we used a microscope to observe the produced sludge and wastewater from each process. The observation was made before and after the addition of Sewper Rx microorganisms.

The experiments were divided into two operating phases. During the first phase the conventional operation of the pilot plant was studied for the characteristics of the inflow, outflow and production of sludge for two different retention times. In the second phase of the experiments a small quantity of microorganisms Sewper Rx was added, and we studied again the system behavior. At this stage, three rounds of experiments were examined.

During the first stage after the addition of Sewper Rx constant initial conditions were kept in order to study the efficiency of these microorganisms. Then the flow was doubled both at the entrance and the recycle sludge stream in order to test the efficiency of the system in short retention times of the waste. During the third stage 750 ml from the waste water were added in the inflow tank in order to test the efficiency of Sewper Rx microorganisms at high concentrations.

Our waste is diluted before processing because the organic load and turbidity was too high to be able to study the quality characteristics. The dilution applied was the addition of 150 ml to 43 liters of waste water. The load of our solution was similar to a typical urban wastewater.

Our results were encouraging and from the third day after the addition of Sewper Rx microorganisms we had visual difference in the turbidity of the wastewater in the aeration tank and the outflow. The quality characteristics of the output significantly improved and the daily sludge production was reset within 7 days from the addition of Sewper Rx. Sewper Rx had the best performance in the fifth operation (at high concentrations) of the pilot plant and this enables us to use microorganisms in wastewater with very high organic loads. In the fifth operation removal of BOD and the COD was 90%.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1ο - Θεωρητικό μέρος 9

1.1. Εισαγωγή	9
1.2 Υγρά απόβλητα και μέθοδοι Επεξεργασίας.....	10
1.2.1. Γενικά.....	10
1.2.2. Κατηγοριοποίηση Υγρών απόβλητων	10
1.2.3. Συστατικά υγρών αποβλήτων	11
1.2.3.1. Φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων.....	11
1.2.3.2. Ανόργανα χημικά συστατικά των υγρών αποβλήτων.....	11
1.2.3.3. Οργανικά χημικά συστατικά των υγρών αποβλήτων	12
1.2.3.4. Βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων	12
1.2.4. Επεξήγηση και ανάλυση σημαντικότερων δεικτών	13
1.2.5. Βιομηχανικά Απόβλητα	21
1.2.6. Καλλιέργεια αμπελιών	21
1.2.7. Παραγωγική διαδικασία κρασιού και παραγωγή αποβλήτων	22
1.3. Μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.....	26
1.3.1. Συλλογή των υγρών απόβλητων	26
1.3.2. Βασικά στάδια μίας εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	26
1.4. Απαιτήσεις ενέργειας συστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.....	33
1.5. Συστήματα ενεργού ιλύος πλήρους μίξης	35
1.5.1. Ιστορική αναδρομή συστημάτων Ε.Ι.....	35
1.5.2. Είδη και διαφοροποιήσεις συστημάτων ενεργού ιλύος.....	38
1.5.3. Κριτήρια σχεδιασμού ενός συστήματος Ε.Ι.	40
1.5.4. Κινητική των μικροοργανισμών στα συστήματα Ε.Ι.	41
1.5.5. Σχεδιασμός συστημάτων Ε.Ι.....	43
1.5.6. Δεξαμενή αερισμού.....	43
1.5.6.1. Μέθοδοι αερισμού	44
1.5.7. Δεξαμενή καθίζησης.....	47
1.6. Διαχείριση ιλύος.....	48
1.6.1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά της ιλύος	49
1.7. Μικροοργανισμοί του βιολογικού	50

1.7.1. Μικροοργανισμοί στην δεξαμενή αερισμού	54
1.7.2. Βιολογική νιτροποίηση.....	55
1.7.3. Βιολογική απονιτροποίηση	56
1.8. Μικροοργανισμοί Sewper RX.....	57
Κεφάλαιο 2^ο –Σκοπός και περιγραφή του πειράματος	58
2.1. Σκοπός της παρούσας εργασίας	58
2.2. Δεξαμενή αερισμού και δεξαμενή καθίζησης	60
2.2.1 Δημιουργία βιομάζας και διατήρηση σταθερών συνθηκών.....	63
2.2.2. Σύστημα άντλησης αποβλήτων.....	63
2.2.3. Σύστημα αερισμού	63
2.2.4. Σύστημα άντλησης ιλύος.....	64
2.2.5. Σύστημα αποστράγγισης εκρεόντων	64
Κεφάλαιο 3^ο-Πειραματική μέθοδος και επεξεργασία αποβλήτων	64
3.1. Πειραματική μέθοδος	64
3.2. Επεξεργασία αποβλήτων	65
Κεφάλαιο 4^ο -.....	67
Υλικά και Μέθοδοι ανάλυσης.....	67
4.1. Υλικά	67
4.2. Εξοπλισμός	68
4.3. Μέθοδοι Ανάλυσης	69
4.3.1. Βιοχημικά Απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)	69
4.3.2. Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)	71
4.3.3. Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	72
4.3.4. Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS).....	72
4.3.5. Πτητικά αιωρούμενα στερεά (VSS)	73
4.3.6. Νιτρικά (NO ₃ -N)	74
4.3.7. Αμμωνιακά (NH ₃ -N)	74
4.3.8. Ορθοφωσφορικά (PO ₄ ³⁻ P _{ΤΟΤ}).....	75
4.4.9. DO και pH	75
Κεφάλαιο 5^ο.....	75
5.1. Αποτελέσματα και συζήτηση	75
5.2. Χαρακτηρισμός σκέτου απόβλητου	76
5.3. Λειτουργία χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx.....	76

5.3.1. Πρώτη συνθήκη λειτουργίας.....	76
5.3.1.1. Αποτελέσματα TOC	76
5.3.1.2. Αποτελέσματα BOD.....	77
5.3.1.3. Αποτελέσματα COD.....	78
5.3.1.4. Αποτελέσματα NO ₃ -N.....	79
5.3.1.5. Αποτελέσματα NH ₃ -N.....	80
5.3.1.6. Αποτελέσματα PO ₄ -P.....	81
5.3.1.7. Αποτελέσματα VSS	83
5.3.1.8 Αποτελέσματα TSS	83
5.3.1.9. Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης ιλύος	84
5.3.2. Δεύτερη συνθήκη λειτουργίας.....	85
5.3.2.1. Αποτελέσματα BOD.....	85
5.3.2.2. Αποτελέσματα COD.....	86
5.3.2.3. Αποτελέσματα NO ₃ -N.....	87
5.3.2.4. Αποτελέσματα NH ₃ -N.....	88
5.3.2.5. Αποτελέσματα PO ₄ -P.....	89
5.3.2.6. Αποτελέσματα VSS	90
5.3.2.7. Αποτελέσματα TSS	91
5.3.2.8. Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης ιλύος	92
5.4. Λειτουργία με την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx	92
5.4.1. Τρίτη συνθήκη λειτουργίας.....	92
5.4.1.1. Αποτελέσματα BOD.....	93
5.4.1.2. Αποτελέσματα COD.....	94
5.4.1.3. Αποτελέσματα NO ₃ -N.....	95
5.4.1.4. Αποτελέσματα NH ₃ -N.....	96
5.4.1.5. Αποτελέσματα PO ₄ -P.....	97
5.4.1.6. Αποτελέσματα VSS	98
5.4.1.7. Αποτελέσματα TSS	98
5.4.1.8. Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης ιλύος	99
5.4.2. Τέταρτη συνθήκη λειτουργίας	100
5.4.2.1. Αποτελέσματα BOD.....	100
5.4.2.2. Αποτελέσματα COD.....	101
5.4.2.3. Αποτελέσματα NO ₃ -N.....	102
5.4.2.4. Αποτελέσματα NH ₃ -N.....	103

5.4.2.5. Αποτελέσματα $\text{PO}_4\text{-P}$	104
5.4.2.6. Αποτελέσματα VSS	105
5.4.2.7. Αποτελέσματα TSS	106
5.4.2.8. Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης ιλύος	107
5.4.3. Πέμπτη συνθήκη λειτουργίας	107
5.4.3.1. Αποτελέσματα BOD.....	108
5.4.3.2. Αποτελέσματα COD.....	109
5.4.3.3. Αποτελέσματα $\text{NO}_3\text{-N}$	110
5.4.3.4. Αποτελέσματα $\text{NH}_3\text{-N}$	111
5.4.3.5. Αποτελέσματα $\text{PO}_4\text{-P}$	112
5.4.3.6. Αποτελέσματα VSS	113
5.4.3.7. Αποτελέσματα TSS	113
5.4.3.8. Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης ιλύος	114
5.5. Αποτελέσματα μικροσκοπίου	115
5.5.1. Παρατήρηση μικροοργανισμών πριν την προσθήκη των Sewper Rx.....	115
5.5.2. Παρατήρηση μικροοργανισμών μετά την προσθήκη των Sewper Rx	118
5.6. Σύγκριση αποτελεσμάτων και συζήτηση	120
5.6.1. Σύγκριση BOD	120
5.6.2. COD.....	121
5.6.3. $\text{NO}_3\text{-N}$	123
5.6.4. $\text{NH}_3\text{-N}$	124
5.6.5. $\text{PO}_4\text{-P}$	126
5.6.6. TSS	127
5.6.7. VSS.....	129
5.6.8. Ημερήσια παραγόμενη ποσότητα ιλύος.....	130
Κεφάλαιο 6^ο-Συμπεράσματα και προτάσεις.....	131
6.1. Συμπεράσματα	131
6.2. Προτάσεις.....	133
Βιβλιογραφία	133
Ελληνική βιβλιογραφία	133
Διεθνής βιβλιογραφία.....	134

Κεφάλαιο 1ο - Θεωρητικό μέρος

1.1. Εισαγωγή

Τα υγρά_απόβλητα προκύπτουν από τις παραγωγικές δραστηριότητες του ανθρώπου. Με τον όρο δραστηριότητες αναφερόμαστε σε οικιακές, εμπορικές βιομηχανικές κ.α. Η έντονη αστικοποίηση σε συνδυασμό με την τεχνολογική πρόοδο και την ανάπτυξη της βιομηχανίας οδήγησε στην αύξηση των παραγόμενων υγρών απόβλητων. Έτσι δημιουργήθηκε και η ανάγκη για την επεξεργασία των υγρών απόβλητων ώστε να μην κινδυνεύει η δημόσια υγεία και να μην επιβαρύνονται τα οικοσυστήματα από την αλόγιστη απόρριψη των αποβλήτων.

Τα αγροτοβιομηχανικά απόβλητα έχουν ιδιάζοντα χαρακτήρα και η επεξεργασία τους είναι πολύ πιο δύσκολη συγκριτικά με τα αστικά απόβλητα. Για την επεξεργασία τους χρησιμοποιούνται βιολογικές μέθοδοι. Στις βιολογικές μεθόδους τον κυριότερο ρόλο έχουν οι μικροοργανισμοί του συστήματος. Οι μικροοργανισμοί που συναντώνται σε βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας είναι βακτήρια, μύκητες και πρωτόζωα. Τα βακτήρια έχουν τον κυριότερο ρόλο στην επεξεργασία.

Το πλέον διαδεδομένο σύστημα για την βιολογική εξεργασία των υγρών απόβλητων είναι το σύστημα ενεργού ιλύος πλήρους μίξης. Όπως θα αναφερθεί και στην συνέχεια αν και η επεξεργασία με συστήματα Ε.Ι. παρέχει ποιοτική εκροή, τα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνονται για την λειτουργία της μονάδας και αναλυτικότερα για την λειτουργία της Δ.Α. και των διεργασιών επεξεργασίας τη ιλύος είναι πολύ μεγάλα.

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με συστήματα Ε.Ι. έχει οδηγήσει στην κατανάλωση μεγάλων ποσών ενέργειας και αυτό οδηγεί σε υψηλό κόστος. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ανάπτυξη εναλλακτικών τεχνολογιών που στοχεύει στην μείωση του λειτουργικού κόστους των μονάδων Ε.Ι. και στην μείωση της παραγόμενης ιλύος ώστε να το κόστος για την επεξεργασία της να μειωθεί.

Μία από τις εναλλακτικές τεχνολογίες είναι η προσθήκη εξειδικευμένων μικροοργανισμών σε διάφορες διεργασίες ώστε να αυξηθεί η απόδοση της επεξεργασίας. Οι μικροοργανισμοί Sewper Rx είναι ένα μίγμα βακτηρίων που προστίθενται στην δεξαμενή αερισμού και κυρίαρχο ρόλο έχουν την διάσπαση της λάσπης. Με την προσθήκη των μικροοργανισμών αυτών μειώνεται ο χρόνος παραμονής των υγρών αποβλήτων στις δεξαμενές αερισμού. Επίσης λόγω της μείωσης του όγκου των αποβλήτων από την διάσπαση της ιλύος, οι εγκαταστάσεις μπορούν να δεχθούν μεγαλύτερες ημερήσιες παροχές. Η επεξεργασία της ιλύος είναι ευκολότερη λόγω της βελτιωμένης ποιότητας της ιλύος και οικονομικότερη λόγω της μειωμένης ποσότητας. Η εκροή εκροή από τα συστήματα επεξεργασίας είναι σημαντικά βελτιωμένη καθώς οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν άζωτο και φώσφορο. Τέλος η ποσότητα της παραγόμενης λάσπης μειώνεται σημαντική από τις πρώτες μέρες μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx και σταδιακά μηδενίζεται.

1.2 Υγρά απόβλητα και μέθοδοι Επεξεργασίας

1.2.1. Γενικά

Ως υγρά απόβλητα ορίζουμε το σύνολο των υγρών απορροών ή των ρύπων που μεταφέρονται σε υγρή φάση και απομακρύνονται από κατοικίες, ιδρύματα, εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, μαζί με τα υπόγεια ύδατα, επιφανειακά νερά και όμβρια ύδατα που πιθανώς να υπάρχουν στην περιοχή (Metclaf and Eddy, Κεφ 2, 2003). Η αλόγιστη απόρριψη των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων οδηγεί στην παραγωγή δυσάρεστων οσμών, αισθητική όχληση, υποβάθμιση του περιβάλλοντος, και κινδύνους για την δημόσια υγεία. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας κατασκευάστηκαν μονάδες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, οι οποίες έχουν τόσο υψηλές αποδόσεις ώστε τα επεξεργασμένα απόβλητα να μπορούν να επιστρέψουν στους υδάτινους αποδέκτες από όπου παρελήφθησαν αρχικά ή στο έδαφος ή να επαναχρησιμοποιηθούν δίχως να προκαλούν επιβάρυνση στο περιβάλλον ή στον άνθρωπο.

1.2.2. Κατηγοριοποίηση Υγρών αποβλήτων

Η Οδηγία 91/271/ΕΟΚ 21.05.1991. διαχωρίζει τα υγρά απόβλητα σε τρεις βασικές κατηγορίες με βάση την προέλευση τους. Η κατηγοριοποίηση των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη μέθοδος για την επεξεργασία τους.

Οι κατηγορίες που ορίζονται στην οδηγία είναι οι ακόλουθες:

1. «Αστικά λύματα»
2. «Οικιακά λύματα»
3. «Βιομηχανικά λύματα»

Ως «Αστικά λύματα» ορίζονται τα οικιακά λύματα ή το μίγμα οικιακών με βιομηχανικά λύματα ή/και όμβρια ύδατα.

Ως «Οικιακά λύματα» ορίζονται τα λύματα από περιοχές κατοικίας και υπηρεσιών που προέρχονται κυρίως από τον ανθρώπινο μεταβολισμό και τις εμπορικές δραστηριότητες.

Ως «Βιομηχανικά λύματα» ορίζονται οποιαδήποτε λύματα που απορρίπτονται από κτίρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα, και τα οποία δεν είναι οικιακά λύματα ή όμβρια ύδατα (Οδηγία 91/271/ΕΟΚ 21.05.1991.).

Στον πίνακα 1 παρατίθενται τα χαρακτηριστικά των τυπικών αστικών λυμάτων (Νταρακάς, 2006).

Παράμετρος	Ποσότητα (gr/κατ.ημ)	Συγκέντρωση (mg/L)
Ολικά στερεά	115-170	680-1000
Πτητικά στερεά	68-85	380-500
Αιωρούμενα στερεά	35-50	200-290
BOD ₅	50-70	290-410
COD	115-125	680-730
TN	6-17	35-100
Αμμωνία	1-3	6-8
Νιτρώδη και νιτρικά	<1	<5
Ολικός φώσφορος	1-4	6-24
Ολικά κολοβακτηριοειδή	-	10 ¹⁰ -10 ¹² αποικίες/ml

Κολοβακτηριοειδή κοπράνων	-	10^8 - 10^{10} αποικίες/ml
---------------------------	---	--------------------------------

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Τυπικών Αστικών Λυμάτων

1.2.3. Συστατικά υγρών αποβλήτων

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται τα φυσικά, χημικά (οργανικά ή ανόργανα) και βιολογικά συστατικά των υγρών αποβλήτων. Λόγω του πλήθους των χαρακτηριστικών έχει καθιερωθεί η εξέταση του άνθρακα, του αζώτου, του φωσφόρου, των στερεών ουσιών (αδιάλυτων, διαλυμένων, κολλοειδών, επιπλεόντων, αιωρούμενων, καθιζανόντων), και των μικροοργανισμών για να ελεγχθεί η επεξεργασία και η ποιότητα της εκροής των υγρών αποβλήτων (Metcalf & Eddy Inc, Κεφ 2,2003).

1.2.3.1. Φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

- **Θερμοκρασία** –Παράμετρος για τον σχεδιασμό και τη λειτουργία των βιολογικών διεργασιών στις Ε.Ε.Λ. Η θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων είναι μεγαλύτερη από αυτή του πόσιμου νερού εξαιτίας των προσθηκών ζεστού νερού από οικιακές και βιομηχανικές χρήσεις.
- **Αγωγιμότητα**- Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η ποιότητα της εκροής, ειδικά σε περίπτωση που αυτή χρησιμοποιείται για άρδευση
- **Θολρότητα**- Μέτρο της ικανότητας του νερού για εκπομπή φωτός, και σχετίζεται κυρίως με τα κολλοειδή υλικά και τα υπολείμματα των αιωρούμενων υλικών. Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η ποιότητα της εκροής
- **Διαπερατότητα**- Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η ποιότητα της εκροής για απολύμανση με χρήση UV
- **Πυκνότητα**- Εξαιτίας της πυκνότητας έχουμε σχηματισμό ρευμάτων πυκνότητας στις δεξαμενές καθίζησης, χλωρίωσης και σε άλλες μονάδες επεξεργασίας.
- **Οσμή**- Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η ποιότητα της εκροής, και κρίνεται αν θα δημιουργηθούν οχλήσεις. Η οσμή των αποβλήτων που έχουν υποστεί σήψη οφείλεται κυρίως στο υδρόθειο το οποίο παράγεται από αναερόβιους μικροοργανισμούς που μετατρέπουν τα θειικά σε σουλφίδια.
- **Στερεές ουσίες**
- **Χρώμα**- Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η κατάσταση της εισροής και η ποιότητα της εκροής. Το χρώμα των αποβλήτων αλλάζει όσο αυξάνει ο χρόνος μεταφοράς στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, και όταν αποκτήσουν μαύρο χρώμα θεωρείται ότι έχουν υποστεί σήψη.

1.2.3.2. Ανόργανα χημικά συστατικά των υγρών αποβλήτων

- **pH**- Ορίζεται ως το μέτρο της οξύτητας ή της αλκαλικότητας των υγρών αποβλήτων. Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί που συμμετέχουν στις βιολογικές διεργασίες έχουν εύρος pH 6-9. Για τα επεξεργασμένα απόβλητα που διατίθενται στο περιβάλλον το εύρος του pH πρέπει να είναι 6,5-8,5.

- **Χλωριούχα** – Παράμετρος για την εκτίμηση της ποιότητας της εκροής, και η συγκέντρωση τους στην εκροή μπορεί να επηρεάσουν τις τελικές χρήσεις των επεξεργασμένων απόβλητων.
- **Αζωτούχες ενώσεις (NO_3 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , **Org.N**, **TKN**)**- Παράμετρος που αποτιμά τον βαθμό αποσύνθεσης των υγρών αποβλήτων και την παρουσία θρεπτικών συστατικών.
- **Αλκαλικότητα**- Ορίζεται ως το μέτρο της ρυθμιστικότητας των υγρών αποβλήτων. Τα υγρά απόβλητα είναι συνήθως αλκαλικά, λόγω του πόσιμου νερού, του υπόγειου νερού και των υλικών που προστίθενται λόγω οικιακής χρήσης.
- **Θειικά (SO_4^{2-})**- Παράμετρος που εκτιμά την δημιουργία δυσάρεστων οσμών. Το θείο είναι απαραίτητο για την σύνθεση των πρωτεϊνών και απελευθερώνεται κατά την αποικοδόμηση τους. τα θειικά διασπώνται βιολογικά κάτω από αναερόβιες συνθήκες σε θειούχα, τα οποία αντιδρούν με το υδρογόνο και σχηματίζουν το υδρόθειο.
 - **Φωσφορικές ενώσεις (Inorg. P, Org. P, TP)**- Το μέτρο παρουσίας θρεπτικών συστατικών στα υγρά απόβλητα
 - **Μέταλλα (Ca, Mg, Na, Cr, Cu, Co, Pb, Cd, Hg, Mo, Ni, Fe, Se, As, Zn)**- Παράμετρος για την εκτίμηση της τοξικότητας της εκροής, και για την καταλληλότητα της για επαναχρησιμοποίηση του νερού. Είναι απαραίτητη η μέτρηση για εκροές που προορίζονται για άρδευση.
 - **Διάφορα αέρια (O_2 , CO_2 , NH_3 , H_2S , CH_4)**- Παρουσία ή απουσία τους από τα υγρά απόβλητα

1.2.3.3. Οργανικά χημικά συστατικά των υγρών αποβλήτων

- **C-BOD** (Carbonaceous Biochemical Oxygen Demand)- Το οξυγόνο που απαιτείται για την βιολογική αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στα υγρά απόβλητα, στην περίπτωση που αναστείλουμε την διεργασία της νιτροποίησης. Η αναστολή επιτυγχάνεται με την μείωση του πληθυσμού των αζωτοποιητικών βακτηρίων .
- **N-BOD** -(Nitrogenous biochemical oxygen demand) Το οξυγόνο που απαιτείται για την βιολογική αποικοδόμηση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων που περιέχονται στα υγρά απόβλητα.
- **COD** (Chemical Oxygen Demand) - Το οξυγόνο που απαιτείται για την χημική οξείδωση των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στα υγρά απόβλητα.
- **TOC** (Total Organic Carbon) – Χρησιμοποιείται συμπληρωματικά με το BOD
- **Συγκεκριμένες οργανικές ενώσεις και κατηγορίες ενώσεων** – Προσδιορισμός των ανεπιθύμητων ενώσεων και σχεδιασμός κατάλληλων εγκαταστάσεων για την απομάκρυνση τους.

1.2.3.4. Βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

- **Ολικά κολοβακτηριοειδή** (Total Coliforms, TC) και τα **κολοβακτηριοειδή κοπράνων** (Fecal Coliforms, FC)- Δείκτης για την εκτίμηση της ποιότητας της εκροής και την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης των υγρών αποβλήτων.
- **Ειδικοί μικροοργανισμοί** (Βακτήρια, Ιοί, Πρωτόζωα)- Για την εκτίμηση της λειτουργίας της Ε.Ε.Λ. ,την ποιότητα της εκροής, και την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων αποβλήτων
- **Τοξικότητα** (Οξεία (TU_A), Χρόνια (TU_C))

1.2.4. Επεξήγηση και ανάλυση σημαντικότερων δεικτών

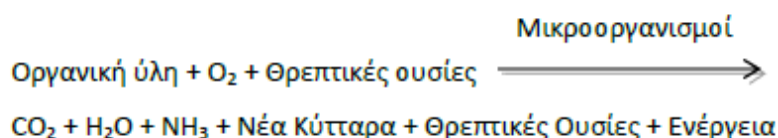
Στην παράγραφο αυτή θα αναλυθούν οι βασικότεροι δείκτες για την ποιότητα των υγρών αποβλήτων. Η μελέτη των δεικτών αυτών είναι απαραίτητη για την επιλογή των μεθόδων που θα χρησιμοποιήσουμε για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Επίσης κατά την λειτουργία της Ε.Ε.Λ. η παρακολούθηση των δεικτών μας δείχνει την απόδοση της εγκατάστασης και την ποιότητα της εκροής. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία η παρακολούθηση των δεικτών είναι απαραίτητη για τον έλεγχο της εκροής πριν την απόρριψη στους αποδέκτες.

Οι δείκτες που θα αναλυθούν είναι οι εξής:

1. BOD₅
2. TOC
3. COD
4. DO
5. Στερεές Ουσίες
6. TSS
7. Άζωτο και Αζωτούχες ενώσεις
8. Φώσφορος
9. Μικροοργανισμοί
10. Ph

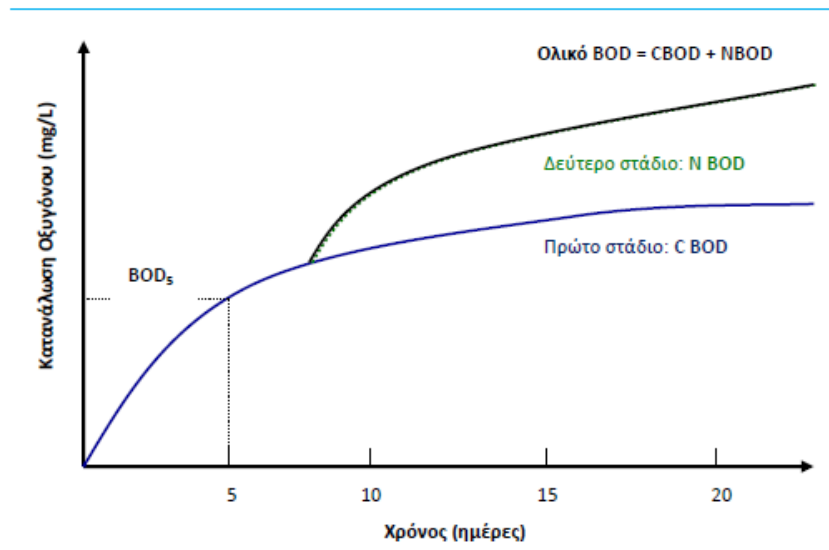
• BOD₅ (Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο)

Ως βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο ορίζουμε το μέτρο της ποσότητας του διαλυμένου οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την πλήρη βιοχημική οξείδωση των περιεχόμενων οργανικών ουσιών στα υγρά απόβλητα. Η μέτρηση του BOD αφορά τις οργανικές ενώσεις (CBOD) και τις αζωτούχες ενώσεις (NBOD) και η ταχύτητα της βιολογικής οξείδωσης εξαρτάται από το είδος της οργανικής ύλης του εξεταζόμενου δείγματος. Το CBOD είναι το BOD που προκύπτει στην περίπτωση που ανασταλεί η διεργασία της νιτροποίησης. Το UBOD χρησιμοποιείται για να περιγράψει το τελικό BOD. Η αερόβια διάσπαση της οργανικής ύλης παρίσταται στην εικόνα 1:



Εικόνα 1: Αντίδραση αερόβιας διάσπασης της οργανικής ύλης

Οι ενώσεις του άνθρακα οξειδώνονται ταχύτερα από τις ενώσεις του αζώτου όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 1.



Διάγραμμα 1: Οξείδωση των ενώσεων του άνθρακα σε συνάρτηση με το χρόνο

Όπως παρατηρούμε για θερμοκρασία 20⁰ C, έχουμε αρχικά την διάσπαση των ευκολότερα βιοαποδομίσιμων ουσιών και μετά από 10-15 ημέρες ξεκινά η αποικοδόμηση των ενώσεων του αζώτου. Το πρώτο στάδιο ξεκινά αμέσως και ολοκληρώνεται μέσα σε 20 ημέρες ενώ το δεύτερο διαρκεί πολύ περισσότερες ημέρες. Για σταθερή θερμοκρασία στους 20⁰C απαιτούνται 20 ημέρες για να ικανοποιηθεί το 99% του ολικού BOD. Επειδή η μέτρηση του BOD δεν μπορεί να είναι τόσο χρονοβόρα έχει καθιερωθεί να μετράται το BOD₅ που αντιστοιχεί στο BOD των 5 ημερών. Για τα αστικά απόβλητα το BOD₅ είναι συνήθως 65-75% του ολικού BOD. Αξίζει να αναφερθεί ότι η θερμοκρασία επηρεάζει πολύ την κατανάλωση του οξυγόνου, και πιο συγκεκριμένα όσο αυξάνουμε την θερμοκρασία τόσο αυξάνεται και η ταχύτητα της αποικοδόμησης.

Η μέτρηση του BOD₅ χρησιμοποιείται για:

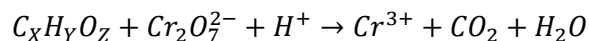
- Την μέτρηση της αποδοτικότητας των διεργασιών της Ε.Ε.Λ.
- Τη διαστασιολόγηση των εγκαταστάσεων
- Τον έλεγχο για το αν η εκροή από την Ε.Ε.Λ. βρίσκεται εντός των νομοθετικών ορίων

- **TOC (Ολικός οργανικός άνθρακας)**

Εκφράζει την ολική συγκέντρωση των οργανικών ενώσεων άνθρακα σε ένα δείγμα υγρού απόβλητου. Με την χρήση του αυτόματου αναλυτή TOC μπορούμε να υπολογίσουμε γρήγορα και άμεσα ακόμα και πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης από τα εξεταζόμενα δείγματα. Η μέτρηση μπορεί να γίνει και με πολύ μικρή ποσότητα υγρού δείγματος το οποίο εισάγεται στον αναλυτή και καίγεται σε υψηλή θερμοκρασία προς διοξείδιο του άνθρακα. Η ουσιαστική διαφορά στην μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα σε σχέση με την μέτρηση του BOD και του COD είναι ότι έχουμε πλήρη οξείδωση της οργανικής ύλης(Ψυλλάκη, Κεφ 2,2013).

- **COD (Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο)**

Ως χημικά απαιτούμενο οξυγόνο ορίζουμε την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την χημική οξείδωση της οργανικής ύλης σε διοξειδίου του άνθρακα και νερό. Η χημική οξείδωση αφορά όλες τις οργανικές ενώσεις του δείγματος που μπορούν να οξειδωθούν με ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο. Το πλέον χρησιμοποιούμενο μέσο για την μέτρηση του COD είναι το διχρωμικό κάλιο ($K_2Cr_2O_7$) σε όξινο περιβάλλον. Η οξείδωση της οργανικής ύλης περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση 1 :



Εξίσωση 1: Εξίσωση αντίδρασης της οργανικής ύλης

Η μέτρηση του COD γίνεται συμπληρωματικά με την μέτρηση του BOD₅, ή πολλές φορές αντικαθιστά την μέτρηση του λόγω της ταχύτητας της (συνολική διάρκεια 2,5 ώρες) σε σχέση με το BOD₅ που απαιτεί 5 ημέρες. Σε περιπτώσεις όμως που θέλουμε να ελέγξουμε με ακρίβεια τα ποιοτικά χαρακτηριστικά ενός λύματος πρέπει να εφαρμόζουμε και τις δύο μεθόδους καθώς το COD μετρά βιοδιασπάσιμη και μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (Ψυλλάκη, Κεφ 2, 2013).

Συσχέτιση BOD, COD, TOC

Όπως είναι προφανές το COD έχει πάντα μεγαλύτερη τιμή από το BOD₅ και ο λόγος $\frac{COD}{BOD_5}$ για τα αστικά λύματα έχει εύρος τιμών από 1,2 έως 1,5. Αντίστοιχα ο λόγος $\frac{BOD_5}{TOC}$ για τα αστικά λύματα έχει εύρος τιμών από 1,2 έως 2,0. Στις περιπτώσεις που ο λόγος $\frac{BOD_5}{COD}$ είναι μεγαλύτερος από 0,5 τότε τα απόβλητα είναι εύκολα επεξεργάσιμα με βιολογικές μεθόδους. Στις περιπτώσεις που ο λόγος είναι μικρότερος από 0,3 μπορεί να περιέχουν τοξικά στοιχεία και κρίνεται απαραίτητη η προσθήκη μικροοργανισμών για την επεξεργασία τους. Στον πίνακα 2 παρατίθενται οι συσχετίσεις μεταξύ του BOD, COD, TOC για τα αστικά λύματα(Βλησίδης,2006).

Είδος αποβλήτων	BOD: COD	BOD: TOC
Ανεπεξέργαστα Αστικά Λύματα	0.3-0.8	1.2-2.0
Λύματα μετά από πρωτοβάθμια επεξεργασία	0.4-0.6	0.8-1.2
Εκροή Λυμάτων	0.1-0.3	0.2-0.5

Πίνακας 2: Συσχέτιση BOD, TOC, COD για υγρά αστικά απόβλητα

Αξίζει να αναφερθεί ότι στις περιπτώσεις που ο λόγος COD/BOD είναι μεγαλύτερος του 2.5 μπορεί να εξεταστεί η επεξεργασία με χημική οξείδωση (Βλησίδης, 2006). Η χημική οξείδωση έχει πολύ υψηλό κόστος και χρησιμοποιείται μόνο όταν κρίνεται αναγκαίο και μόνο μέχρι να μπορέσουμε να τα επεξεργαστούμε με βιολογική οξείδωση (Νταρακάς, 2014).

- **DO (Διαλυμένο οξυγόνο)**

Είναι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου εντός του υγρού απόβλητου. Η μέτρηση του είναι απαραίτητη για την παρακολούθηση των βιολογικών διεργασιών καθώς είναι απαραίτητο για την επεξεργασία των υγρών απόβλητων, την αναερόβια ανάπτυξη των μικροοργανισμών και την κατανάλωση της οργανικής ύλης.

Για την μέτρηση του γίνεται χρήση ηλεκτροχημικών μεθόδων και πιο σπάνια φασματοφωτόμετρο το οποίο μπορεί να προσδιορίσει το διαλυμένο οξυγόνο με την χρήση αντιδραστηρίων. Η μέτρηση με το φασματοφωτόμετρο είναι χρονοβόρα και ακριβή σε σχέση με την ηλεκτροχημική και γι αυτό δεν χρησιμοποιείται ευρέως. Το κάθε υγρό έχει διαφορετική τιμή κορεσμού και αυτή εξαρτάται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η συγκέντρωση άλλων ενώσεων στο διάλυμα ή στον αέρα. Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση της συγκέντρωσης κορεσμού σε οξυγόνο και γι αυτό όλες οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται στην ίδια θερμοκρασία (Νταρακάς, 2014).

- **Στερεές ουσίες**

Οι στερεές ουσίες (οργανικές και ανόργανες) που υπάρχουν σε ένα δείγμα υγρού απόβλητου χωρίζονται σε αδιάλυτες, κolloειδείς και διαλυμένες. Οι διαλυμένες στερεές ουσίες είναι μη διαχωρίσιμες με διήθηση. Οι αδιάλυτες ουσίες κατατάσσονται σε επιπλέουσες, αιωρούμενες και καθιζάνουσες. Οι καθιζάνουσες ουσίες βρίσκονται στον πυθμένα του δοχείου λόγω βαρύτητας. Οι αιωρούμενες σχηματίζουν μίγμα με το υγρό δείγμα και δεν καθιζάνουν με την πάροδο του χρόνου και οι επιπλέουσες επιπλέουν (Ψυλλάκη, Κεφ, 2, 2013).

- **TSS (Ολικά αιωρούμενα στερεά)**

Τα ολικά στερεά είναι το σύνολο των διαλυμένων, των αιωρούμενων και των καθιζάνοντων στερεών. Τα ολικά αιωρούμενα στερεά έχουν μέγεθος 10^{-3} mm και αποτελούνται τόσο από οργανικές όσο και ανόργανες ενώσεις. Τα στερεά προσδίδουν στο υγρό θολερότητα (Νταρακάς,2014).

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό χρησιμοποιείται η μέθοδος ζύγισης και διήθησης η οποία θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

- **Άζωτο και αζωτούχες ενώσεις**

Το ολικό άζωτο (TN) μπορεί να διαχωριστεί σε οργανικό και ανόργανο και οι μικροοργανισμοί το χρησιμοποιούν για να συνθέσουν τις απαραίτητες πρωτεΐνες και άλλα βιομόρια. Στο οργανικό άζωτο (TON) η ουρία (NH_2CONH_2), καθώς και το άζωτο των πρωτεϊνών. Στο ανόργανο άζωτο (TIN) ανήκουν τα νιτρώδη (NO_2^-) άλατα, τα νιτρικά (NO_3^-) άλατα. Για την σωστή αξιολόγηση της απόδοσης της Ε.Ε.Λ. είναι απαραίτητη η γνώση τόσο της μορφής του αζώτου όσο και της συγκέντρωσης σε κάθε μορφή. Το αμμωνιακό και το οργανικό άζωτο αποτελούν το άζωτο Kjeldahl (TKN) και η τιμή του για φρέσκα ανεπεξέργαστα λύματα κυμαίνεται από 35 έως 100 mg/L. Στα υγρά απόβλητα το οργανικό κλάσμα συναντάται συνήθως υπό την μορφή αμινοξέων, αμινοσακχαριτών, πρωτεϊνών και ουρίας. Επίσης πρέπει να αναφέρουμε ότι πολλές φορές γίνεται προσθήκη αζώτου στα υγρά απόβλητα ώστε να μπορέσουμε να τα επεξεργαστούμε καλύτερα. Η έλλειψη αζώτου είναι περιοριστικός παράγοντας για την αύξηση, και την μικροβιακή κυτταρική σύνθεση. Το πρόβλημα αυτό συναντάται κυρίως σε απόβλητα από διεργασίες τροφίμων και σε απόβλητα με πολύ υψηλό οργανικό περιεχόμενο (Ψυλλάκη, Κεφ 3,2013;Metcalf and Eddy,Κεφ 7,2003).

Η μέτρηση του pH μπορεί να μας βοηθήσει να προσδιορίσουμε την κατανομή της αμμωνίας και των αμμωνιακών ιόντων. Αναλυτικότερα σε απόβλητα με υψηλό pH κυριαρχεί η αμμωνία, ενώ σε αυτά με χαμηλό pH τα αμμωνιακά ιόντα. Αν και η παρουσία νιτρωδών ιόντων στα φυσικά νερά δηλώνει ρύπανση, η συγκέντρωσή τους στα αστικά απόβλητα είναι πολύ μικρή καθώς οξειδώνονται γρήγορα σε νιτρικά ιόντα.

Για την απομάκρυνση του αζώτου χρησιμοποιείται η μέθοδος της βιολογικής νιτροποίησης και απονιτροποίησης του υγρού απόβλητου. Για να επιτευχθεί η απονιτροποίηση είναι απαραίτητο να υπάρχουν κατάλληλες συγκεντρώσεις βιοαποικοδομίσιμου οργανικού άνθρακα στο απόβλητο, και απουσία διαλυμένου οξυγόνου (Noyes,1991).

Το άζωτο είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του ευτροφισμού που προκαλεί έλλειψη οξυγόνου στα φυσικά νερά. Για τους ευαίσθητους αποδέκτες επεξεργασμένων εκροών η ολική τιμή του αζώτου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 3 mg/L(Metcalf &Eddy Inc, Κεφ 2,2003).

- **Φώσφορος**

Ο φώσφορος είναι βασικό συστατικό για την σύνθεση του κυτταρικού ιστού των μικροοργανισμών και η ποσότητα του στα φρέσκα ανεπεξέργαστα αστικά λύματα κυμαίνεται από 5 έως 30 mg/L. Από την συνολική εισερχόμενη ποσότητα φωσφόρου που υπάρχει στα υγρά απόβλητα, το μεγαλύτερο μέρος (75%) απαντάται στις οργανικές ενώσεις των λυμάτων, ενώ το υπόλοιπο μέρος βρίσκεται με την μορφή των ορθοφωσφορικών διαλυτών ιόντων και πολυφωσφορικών ιόντων. Για τα αστικά λύματα μας ενδιαφέρουν κυρίως τα ορθοφωσφορικά ιόντα τα οποία χρησιμεύουν για το βιολογικό μεταβολισμό.

Η ημερήσια επιβάρυνση των λυμάτων με φώσφορο είναι 2-4 gr/κάτ.ημέρα. Στην δεξαμενή αερισμού έχουμε από 10-30% απομάκρυνση του φωσφόρου από μικροοργανισμούς, και το σύνολο του φωσφόρου μετατρέπεται σε διαλυτά ορθοφωσφορικά ιόντα (Τσώνης, 2004).

Η απομάκρυνση του φωσφόρου, γίνεται με τη βιολογική ενσωμάτωση του στη βιομάζα που αναπτύσσεται κατά τη βιολογική οξείδωση του BOD αλλά και στη χημική κατακρήμνιση του με τη χρήση ασβεστίου ή τρισθενούς σιδήρου. Ένα μέρος του οργανικού αζώτου ενσωματώνεται στη βιομάζα που παράγεται κατά τη βιολογική οξείδωση. Μία εναλλακτική μέθοδος απορρύπανσης αζώτου και φωσφόρου είναι η χρήση υδροπονικών καλλιεργειών [Noyes, 1991].

Στις Ε.Ε.Λ. που η διάθεση των εκροών γίνεται σε υδάτινους αποδέκτες πρέπει να εφαρμόζεται απομάκρυνση του φωσφόρου ώστε να μην έχουμε φαινόμενα ευτροφισμού. Για τα γλυκά νερά (ευαίσθητοι αποδέκτες) η ποσότητα του φωσφόρου στην εκροή δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2 mg/L (Metcalf & Eddy, κεφ 2, 2003).

- **Μικροοργανισμοί**

Στα υγρά απόβλητα συναντάμε βακτήρια, πρωτόζωα, ιούς, μύκητες. Για τον έλεγχο της επεξεργασίας και την ποιότητα την εκροής είναι απαραίτητο να μελετάμε την ύπαρξη και την ποσότητα των μικροοργανισμών. Οι μικροοργανισμοί είναι απαραίτητοι για όλες τις βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε μία Ε.Ε.Λ., όμως στα υγρά απόβλητα συναντάμε και παθογόνους μικροοργανισμούς.

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί στα υγρά απόβλητα προέρχονται από απεκκρίσεις ανθρώπων ή ζώων που έχουν προσβληθεί από μία μολυσματική ασθένεια ή είναι φορείς αυτής (Metcalf & Eddy, Κεφ 2, 2003).

Η κατάταξη τους γίνεται σε 4 βασικές κατηγορίες:

- **Βακτήρια**

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν πολλά παθογόνα και μη παθογόνα βακτήρια τα οποία έχουν προέλθει από απεκκρίσεις των οργανισμών. Ένα από τα συνηθέστερα είδη είναι αυτά που ανήκουν στο είδος *Salmonella* και μπορούν να μολύνουν ανθρώπους και ζώα προκαλώντας τροφική δηλητηρίαση. Το είδος *Salmonella typhi* προκαλεί τυφοειδή πυρετό. Το βακτήριο *Shigella* προκαλεί συγκέλωση αλλά συναντάται σπανιότερα. Άλλα

είδη που συναντάμε είναι *Vibrio*, *Mycobacteria*, *Clostridium*, *Leptospira*, *Yersinia*. Το *Vibrio* προκαλεί χολέρα. Μερικά στελέχη *Pseudomonas* και η εντερογενής *Escherichia coli* προκαλούν γαστρεντερίτιδες. (Crook, 1998 Maier et al.,2000)

Έχουν γίνει αναφορές για επιδημικές εκρήξεις από σιγκέλωση και από το *Mycobacterium tuberculosis* σε νερά κολύμβησης και σε φρεάτια που παρείχαν πόσιμο νερό και είχαν μολυνθεί από αστικά απόβλητα. (Crook, 1998; Maier et al.,2000) Επίσης το βακτήριο *Campylobacter jejuni* είναι η αιτία πρόκλησης βακτηριακής διάρροιας στους ανθρώπους και πρόκλησης ασθενειών στα ζώα. Το *Campylobacter jejuni* έχει αναφερθεί ως αιτία για επιδημικές εξάρσεις μολύνσεων που διαδόθηκαν από την χρήση νερού (Crook, 1998).

ο Πρωτόζωα

Τα πρωτόζωα που προκαλούν τις μεγαλύτερες ανησυχίες όταν συναντηθούν στα υγρά απόβλητα είναι τα *Cryptosporidium parvum*, *Cyclospora* και *Giardia lamblia*. Στο περιβάλλον υπάρχουν πολλές μη ανθρωπογενείς πηγές του *Cryptosporidium parvum* και του *Giardia lamblia*. Τα πρωτόζωα αυτά έχουν σημαντική επίδραση κυρίως σε ηλικιωμένους, σε άτομα με χαμηλό ανοσοποιητικό σύστημα, και σε ασθενείς.

Ο ανθρώπινος οργανισμός παρουσιάζει λοίμωξη όταν καταναλώσει μολυσμένο νερό με κύστες ή ωκύστες. Οι κύστες και οι ωκύστες όμως δεν είναι πάντα παθογενείς και είναι πολύ ανθεκτικές. Συναντώνται σχεδόν σε όλα τα υγρά απόβλητα και τα συνήθη μέσα απολύμανσης δεν είναι αποτελεσματικά για την καταστροφή ή την απενεργοποίηση τους. Το αποτελεσματικότερο μέσο για την απενεργοποίηση είναι η απολύμανση με UV.

Επιδημία από παθογόνα πρωτόζωα παρουσιάστηκε το 1993 στο Milwaukee, όπου η έξαρση κρυπτοσπορίασης προκάλεσε λοίμωξη 400.000 ατόμων. Τα πειράματα που έγιναν για την θεραπεία της κρυπτοσπορίασης τόσο σε ζώα όσο και σε ανθρώπους ήταν αποτυχημένα. Τα παθογόνα πρωτόζωα μπορεί να προκαλέσουν βαριάς μορφής διάρροια, στομαχικούς σπασμούς, ναυτία. (Roberts and Janory, 1996).

ο Έλμινθες

Ο όρος αυτός αναφέρεται γενικά στους σκώληκες. Αν και στις αναπτυγμένες χώρες έχουν καταφέρει να τους περιορίσουν στο ελάχιστο, συχνά εμφανίζονται αυγά σκωλήκων στα υγρά απόβλητα λόγω της μετανάστευσης ατόμων από περιοχές που οι σκώληκες είναι ενδημικοί. Μικροί μη παρασιτικοί νηματώδεις υπάρχουν παγκοσμίως ακόμα και στο νερό της βρύσης (Cooper, 2001). Οι σκώληκες προκαλούν πολλές νόσους στον ανθρώπινο οργανισμό και έχει υπολογιστεί ότι οι λοιμώξεις από τους έλμινθες είναι περίπου 4.5 δις (Roberts and Janory, 1996).

Οι έλμινθες χωρίζονται σε 3 οικογένειες *Nematoda* (Ασκαρίδες), *Platyhelminths* (Πλατυέλμινθες) και *Annelida* (Ανέλιδα). Οι πρώτες δύο κατηγορίες προκαλούν λοιμώξεις στον άνθρωπο ενώ στην Τρίτη τα είδη είναι εξωπαρασιτικά (όπως οι βδέλλες).

Η οικογένεια των Ασκάριδες είναι η πιο διαδεδομένη ζωική οικογένεια, τα περισσότερα μέλη της οποίας δεν είναι επιβλαβή για τον άνθρωπο. Οι περισσότερες λοιμώξεις προκαλούνται από το σκώληκα *Ascaris lumbricoides* και υπολογίζεται ότι πάνω από 1,5 δις ανθρώπων έχουν μολυνθεί από τέτοιες λοιμώξεις (Crampton, 1999; Maier et al., 2000; Roberts and Janory, 1996).

Η οικογένεια των πλατυελμίνθων περιλαμβάνει το είδος *Taenia sagita* που είναι το συνηθέστερο είδος ταινίας που μπορεί να ανιχνευθεί στον ανθρώπινο οργανισμό. Οι τρηματοειδείς *Schistosoma mansoni*, *S. haematobius* και *S. Japonicum*, πλήττουν τον άνθρωπο και είναι υπεύθυνοι για την εκδήλωση πάνω από 200 εκατομμυρίων λοιμώξεων παγκοσμίως (West and Olds, 1992).

Στα υγρά απόβλητα συναντάμε κυρίως αυγά των έλμινθων και απομακρύνονται με καθίζηση, διήθηση και δεξαμενές σταθεροποίησης. Τα αυγά μερικών ελμίνθων είναι πολύ ανθεκτικά και μπορούν να επιβιώσουν από τις διεργασίες της χλωρίωσης. Επίσης τα αυγά δεν μπορούν να απενεργοποιηθούν από διεργασίες όπως η χλωρίωση και η μεσόφιλη αναερόβια χώνευση (Nelson, 2001).

○ **Ιοί**

Καθημερινά απεκκρίνονται από τον άνθρωπο περισσότερα από 100 είδη εντερικών ιών που μπορούν να προκαλέσουν λοιμώξεις ή ασθένειες. Οι εντερικοί ιοί πολλαπλασιάζονται στο εσωτερικό του γαστρεντερικού σωλήνα και απελευθερώνονται στις απεκκρίσεις του ασθενούς. Από τους ιοί που προκαλούν διάρροια μόνο οι ιοί Rota και Norwalk μπορούν να θεωρηθούν παθογόνοι του νερού. Οι RNA- ιοί και οι αδενοιοί απαντώνται στα υγρά απόβλητα και προκαλούν ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος, γαστρεντερίτιδες και μολύνσεις των ματιών. (Crook, 1998 Madigan et al, 2000; Rose and Gerba, 1991).

• **pH**

Το pH είναι ο αρνητικό δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των κατιόντων υδρογόνου. Το pH επηρεάζει όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας, και μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στον μηχανολογικό εξοπλισμό και να προκαλέσει φθορά στους αγωγούς. Η μέτρηση του είναι λοιπόν απαραίτητη για να ελέγξουμε την απόδοση της Ε.Ε.Λ. Η μέτρηση του γίνεται με χρήση πεχαμετρικών χαρτιών και με ηλεκτρόδια.

Το pH των υγρών αποβλήτων είναι αλκαλικό και αυτό οφείλεται στην παρουσία ιόντων (HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^-) που βρίσκονται ενωμένα με τα Ca, Mg, Na, K. Το κατάλληλο pH για την διατήρηση των περισσότερων μικροοργανισμών είναι 6 με 9. Τα απόβλητα με πολύ υψηλές τιμές pH δεν μπορούν να υποστούν βιολογική επεξεργασία και είναι απαραίτητη η ρύθμιση τους ώστε μπορέσουμε να τα επεξεργαστούμε αλλά και να διαθέσουμε την εκροή τους χωρίς να επηρεάσουμε την αντίστοιχη συγκέντρωση του αποδέκτη. Το επιτρεπτό εύρος pH για τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα που διατίθενται στο περιβάλλον είναι 6,5 έως 8,5 (Τσώνης, 2004).

1.2.5. Βιομηχανικά Απόβλητα

Σύμφωνα με την οδηγία 96/616ΕΚ/24.9.96 οι βιομηχανίες είναι υποχρεωμένες να επεξεργάζονται ή να διαθέτουν για επεξεργασία τα απόβλητα τους ώστε να σταματήσει η αλόγιστη απόρριψη η οποία υποβαθμίζει τους αποδέκτες.

Τα βιομηχανικά απόβλητα προέρχονται από την παραγωγική διαδικασία και περιέχουν υπολείμματα υλών οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασία ή παράγονται από τη βιοτεχνία ή τη βιομηχανία. Η ποσότητα των βιομηχανικών αποβλήτων διαφέρει ανάλογα την βιομηχανία, ακόμα και ανάμεσα σε ομοειδείς βιομηχανίες. Αυτό είναι συνάρτηση της δυναμικότητας του εργοστασίου και οφείλεται στον τρόπο παραγωγικής διαδικασίας, στην ποιότητα της πρώτης ύλης και στο είδος του τελικού προϊόντος. Η παραγωγή των αποβλήτων μπορεί να είναι συνεχής ή διακεκομμένη κατά το χρόνο λειτουργίας του εργοστασίου, επίσης μπορεί να περιορίζεται μόνο σε συγκεκριμένες εποχές του χρόνου, όπως συμβαίνει και με την βιομηχανία κρασιού. Για τα βιομηχανικά απόβλητα δεν είναι δυνατόν να δοθούν συγκεκριμένες τιμές ποσότητας, σε αντίθεση με τα αστικά λύματα, όπου η διακύμανση είναι σχετικά μικρή.

Η σύσταση των βιομηχανικών απόβλητων εξαρτάται από την φύση του απόβλητου και οι ρυπαντικές ουσίες που περιέχονται αλλοιώνουν τα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού. Για την ορθή επεξεργασία των βιομηχανικών αποβλήτων πρέπει να γνωρίζουμε τις ρυπαντικές ουσίες που περιέχονται σε αυτό. Το απόβλητο που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα είχε μεγάλη θολερότητα η οποία οφείλεται σε φυσικό ρυπαντή.

1.2.6. Καλλιέργεια αμπελιών

Η καλλιέργεια αμπελιών για την παραγωγή κρασιού είναι από τις κυριότερες αγροτοβιομηχανίες στην Ελλάδα. Η συνολική έκταση των αμπελώνων στην Ελλάδα είναι 171 χιλιάδες εκτάρια, ποσοστό που καλύπτει το 4,9% της συνολικής καλλιεργήσιμης έκτασης της χώρας. Η ετήσια παραγωγή σταφυλιών είναι 1,6 εκατομμύρια τόνοι και η παραγωγή κρασιού είναι περίπου 5 εκατομμύρια εκατόλιτρα, εκ των οποίων 40% είναι λευκό κρασί και 60% κόκκινο. Η ποσότητα αυτή αντιπροσωπεύει το 1,8% της παγκόσμιας παραγωγής κρασιού και 3,35% της Ευρωπαϊκής. Μόνο το 35% της αυτής της παραγωγής παρασκευάζεται από τους παραγωγούς για την προσωπική κατανάλωση, ενώ το 65% του οίνου παρασκευάζεται σε οργανωμένα οινοποιεία και στην συνέχεια προωθείται στα καταστήματα. Τα οργανωμένα οινοποιεία της χώρας μας είναι 320 εκ των οποίων τα 250 είναι ιδιωτικά και τα υπόλοιπα 70 είναι συνεταιρισμοί. Οι συνολική χωρητικότητα των δεξαμενών ανέρχεται σε 680.000 m³.

Από την ετήσια παραγωγή του κρασιού μόνο το 5,4% οδηγείται σε αποστακτήρια για την παραγωγή αιθυλικής αλκοόλης καθώς η μεγαλύτερη ποσότητα της παράγεται με την διαδικασία ζύμωσης. Τα αποστακτήρια στην Ελλάδα χρησιμοποιούν ως πρώτες ύλες διάφορα γεωργικά ή αγροτοβιομηχανικά προϊόντα ή παραπροϊόντα. Οι πρώτες ύλες για την διαδικασία αυτή στην Ελλάδα είναι μελάσα, κυρίως από τεύτλα (περίπου 64%), αλλά και από ζαχαροκάλαμο (περίπου 9%), από τις σταφίδες (περίπου 14%), από τα σύκα (περίπου 4%), από κρασιά (4%) και από οινολάσπες (5%) (Δανηλάτος, 1986).

Στον πίνακα 3 παρατίθενται οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αιθανόλης (A.G. Vlyssides, 2005).

	Πρώτη ύλη	Κατανάλωση	Παραγωγή αλκοόλης	Παραγωγή βινάσσας
1	Κρασί (10 ³ τόνοι)	27,08	2,14	21,67
2	Οινολάσπη (10 ³ τόνοι)	45,50	2,75	48,73

Πίνακας 3: πρώτες ύλες για την παραγωγή αιθανόλης

Η Ελλάδα έχει συνολικά 8 αποστακτήρια τα οποία παράγουν συνολικά από 5.9 έως 6.2 *10⁵ άνυδρα εκατόλιτρα. Από αυτή την παραγωγή μπορούμε να υπολογίσουμε με καλή προσέγγιση ότι παράγονται 6.8 – 7.2*10⁶ m³ υγρών αποβλήτων. Αυτά τα απόβλητα ονομάζονται βινάσσες και απαιτούν περίπου 3.2*10⁶ m³ νερού για ψύξη. Οι βινάσσες υφίστανται συμπύκνωση και διατίθενται σαν εδαφοβελτιωτικό (Νταρακάς, 2006)

1.2.7. Παραγωγική διαδικασία κρασιού και παραγωγή αποβλήτων

Τα βασικά στάδια της διαδικασίας παραγωγής του οινοποιείου είναι οι εξής.

1. Υποδοχή Σταφυλιών: Η διαδικασία ξεκινά στο τέλος του Αυγούστου και ολοκληρώνεται στην αρχή του Οκτωβρίου. Τα παραγόμενα υγρά απόβλητα από το στάδιο αυτό προέρχονται από τις πλύσεις του μηχανολογικού εξοπλισμού και των δαπέδων.

2. Παραγωγή μούστου: Τα σταφύλια περνούν από το πιεστήριο και έχουμε την παραγωγή του μούστου και τα στερεά υπολείμματα. Η παραγόμενη ποσότητα του γλεύκου είναι περίπου 80 λίτρα ανά 100 κιλά σταφυλιών. Τα υγρά απόβλητα του σταδίου αυτού προέρχονται από το πλύσιμο του μηχανολογικού εξοπλισμού, το πλύσιμο του δωματίου, το πλύσιμο των δοχείων ζύμωσης και τις απώλειες του μούστου λόγω της μεταφορά του στα δοχεία ζύμωσης. Η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται για την καθαρισμό των δοχείων ζύμωσης και των δεξαμενών αποθήκευσης του κρασιού εξαρτάται από το μέγεθος των δεξαμενών και των δοχείων.

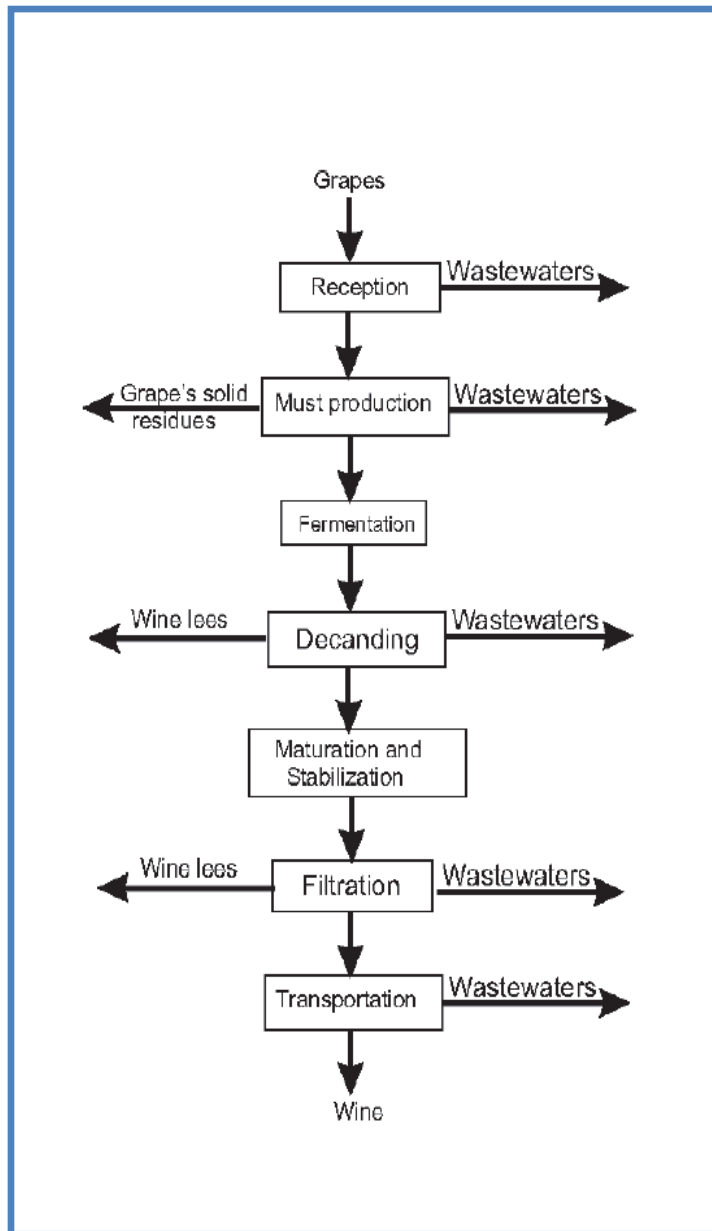
3. Ζύμωση: Λαμβάνει χώρα στα δοχεία ζύμωσης και έχει διάρκεια περίπου 15 ημέρες για κάθε δεξαμενή κρασιού. Τα δοχεία ζύμωσης γεμίζονται με 80% γλεύκου. Από αυτό το στάδιο, δεν έχουμε παραγωγή λυμάτων.

4. Καθίζηση: Για την παραγωγή κόκκινου κρασιού το στάδιο αυτό διαρκεί δύο ημέρες και γίνεται στις αρχές Σεπτεμβρίου. Για την παραγωγή του λευκού κρασιού η διάρκεια είναι περίπου 5 ημέρες, στις αρχές του Οκτωβρίου. Κατά τη διάρκεια της καθίζησης, το υπερκείμενο κρασί διαχωρίζεται από το παραγόμενες οινολάσπες και τροφοδοτείται μέσω αντλιών στις άδειες δεξαμενές που γεμίζουν πλήρως με το κρασί για περαιτέρω σταθεροποίηση. Οι οινολάσπες έχουν 5% ν / ν, και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αλκοόλης. Τα παραγόμενα λύματα από το στάδιο αυτό προέρχονται από την πλύση των δεξαμενών, από το αρχικό πλύσιμο των δεξαμενών σταθεροποίησης, από τον καθαρισμό της αντλίας που μεταφέρει το κρασί στις δεξαμενές, από το πλύσιμο του δωματίου παραγωγής, καθώς και από τις απώλειες κρασιού που έχουμε κατά την διάρκεια της διαδικασίας.

5. **Ωρίμανση-σταθεροποίηση:** Λαμβάνει χώρα στις δεξαμενές και διαρκεί περίπου 15 ημέρες για κάθε δεξαμενή από την ημέρα που γεμίζεται πλήρως με κρασί. Από αυτό το στάδιο, δεν υπάρχει παραγωγή υγρών αποβλήτων.

6. **Διήθηση:** Το παραγόμενο κρασί φιλτράρεται προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα του. Η διήθηση πραγματοποιείται μέσω ενός φίλτρου με χρήση ειδικής σκόνης και το φιλτραρισμένο κρασί μεταγγίζεται σε κενές δεξαμενές. Αυτό το στάδιο διαρκεί δέκα ημέρες, στις αρχές του Δεκεμβρίου. Τα παραγόμενα λύματα προέρχονται από την πλύση των δεξαμενών, από την αρχική πλύση των δεξαμενών αποθήκευσης, από τον καθαρισμό των φίλτρων, από την αντλία μεταφοράς, από το πλύσιμο του δωματίου που γίνεται η διήθηση, καθώς και οι πιθανές απώλειες κατά τη μεταφορά του οίνου. Η ειδική σκόνη φιλτραρίσματος, μετά το τέλος της διήθησης, συλλέγεται και συνήθως είναι λιπασματοποιείται μαζί με τα στερεά υπολείμματα και πωλείται ως λίπασμα.

7. **Μεταφορά-διάθεση:** Το κρασί που παράγεται πωλείται είτε χύμα είτε ως εμφιαλωμένο. Το στάδιο αυτό διαρκεί περίπου ένα εξάμηνο, από το τέλος Ιανουαρίου μέχρι το τέλος του Ιουλίου. Τα παραγόμενα λυμάτων προέρχονται από την πλύση των δεξαμενών, το πλύσιμο της αντλίας μεταφοράς του κρασιού και την πλύση του δωματίου συσκευασίας.

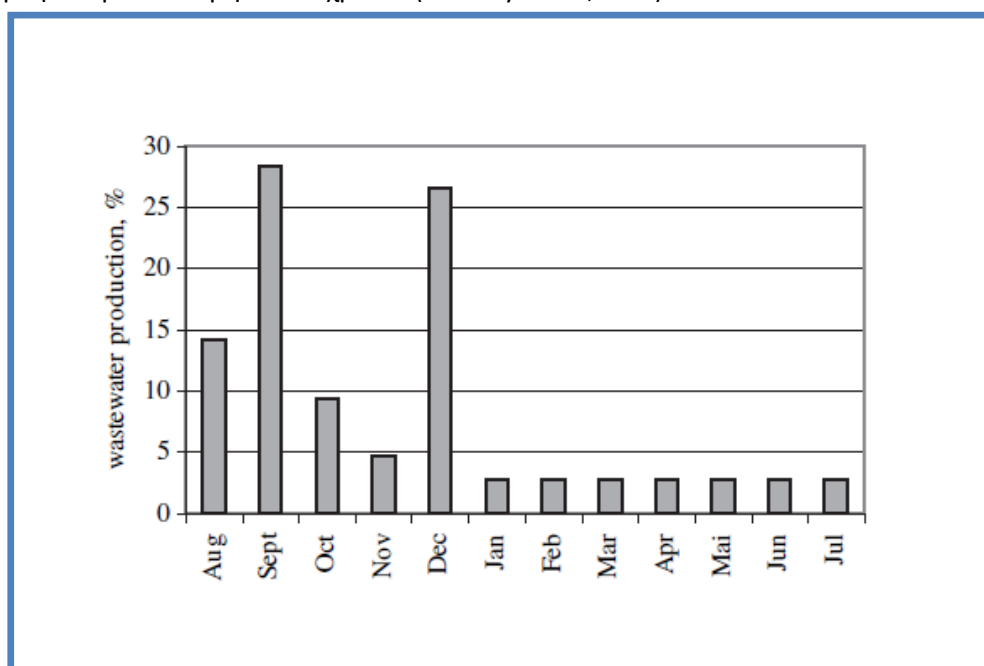


Διάγραμμα 2: Παραγωγική διαδικασία κρασιού, προέλευσης υγρών αποβλήτων και παραπροϊόντων

Φορτίο απόβλητων

Τα υγρά απόβλητα από την διεργασία της ζύμωσης, τις μεταγγίσεις, τις διαρροές, την συμπύκνωση του γλεύκους και οι οινολάσπες έχουν πολύ υψηλό βιολογικό φορτίο. Από μεταγγίσεις ο όγκος των αποβλήτων είναι της τάξης των $0,003-0,0053\text{m}^3$ απόβλητα/ m^3 παραγόμενου κρασιού με οργανικό φορτίο της τάξης των $45-105\text{ kg BOD/m}^3$ αποβλήτων, όταν γίνεται κατακράτηση των οινολασπών. Όταν δεν κατακρατούνται οι οινολάσπες ο όγκος των αποβλήτων είναι μεγαλύτερος (της τάξης των $0,016-0,0024\text{ m}^3$ απόβλητα/ m^3 παραγόμενου κρασιού) με οργανικό φορτίο της τάξης των $45-85\text{kg BOD/m}^3$ αποβλήτου(Νταρακάς,2006).

Στην συνέχεια θα παραθέσουμε ένα διάγραμμα 3 με την επί τις 100 παραγωγή υγρών αποβλήτων για κάθε μήνα του χρόνου(A.G. Vlyssides,2005).



Διάγραμμα 3: επί τις 100% παραγωγή αποβλήτων για κάθε μήνα του χρόνου

Από την μελέτη κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας από δέκα Ελληνικά οινοποιεία για χρονικό διάστημα 5 ετών προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 4 για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων(A.G. Vlyssides,2005).

Παράμετρος	Λευκό κρασί	Κόκκινο κρασί
pH	6,0	6,2
Total Solids (mg/L)	3900	4100
Total volatile solids (mg/L)	3400	3750
Suspended solids (mg/L)	140	220
Suspended volatile solids (mg/L)	128	200
BOD ₅ at 20 ⁰ C (mg/L)	1740	1970
COD (mg/L)	3112	3997
Total Kjeldahl nitrogen (mg/L)	67	71
Total phosphorous	7	8,5

(mg/L)		
Fats and oils (mg/L)	27	25
Total phenolic compounds (mg/L)	280	1450

Πίνακας 4: ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Απόβλητων Κρασιού

1.3. Μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Από τα προαναφερθέντα είναι κατανοητό ότι είναι απαραίτητη η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η υγιεινή των ανθρώπων της περιοχής, και να εξασφαλίζεται η αειφορία του περιβάλλοντος. Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα παραθέσουμε αναλυτικά τα συστήματα διαχείρισης που χρησιμοποιούνται για την ολοκληρωμένη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ώστε οι εκροές να μην επιβαρύνουν τους αποδέκτες και να μην δημιουργούνται οχλήσεις. Επίσης θα αναλυθούν εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης των υγρών αποβλήτων οι οποίοι έχουν ως στόχο να βελτιστοποιήσουν τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις.

1.3.1. Συλλογή των υγρών απόβλητων

Τα συστήματα αποχέτευσης χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα με την προέλευση των υγρών αποβλήτων. Τα παντορροικά συστήματα αποχέτευσης συλλέγουν πέρα από τα οικιακά λύματα και τα όμβρια ύδατα. Στα χωριστικά συστήματα έχουμε απουσία όμβριων υδάτων, ενώ στα μερικά χωριστικά έχουμε συλλογή όμβριων υδάτων μόνο σε κάποια σημεία. Επίσης σε κάποια συστήματα έχουμε εισροή επιφανειακών ή και υπόγειων υδάτων, αλλά και προεπεξεργασμένων βιομηχανικών αποβλήτων (Τσάνης,2009).

Μία εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων δέχεται απόβλητα από συστήματα αποχέτευσης μέσω ενός κεντρικού αποχετευτικού αγωγού, και βοθρολυμάτων από σηπτικούς βόθρους τα οποία μεταφέρονται μέσω βυτιοφόρων.

1.3.2. Βασικά στάδια μίας εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Μία Ε.Ε.Λ. αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια επεξεργασίας:

1. Προεπεξεργασία
2. Πρωτοβάθμια επεξεργασία
3. Δευτεροβάθμια επεξεργασία
4. Τριτοβάθμια επεξεργασία

Στην συνέχεια θα παρατεθούν στοιχεία για το κάθε στάδιο επεξεργασίας και θα γίνει αναφορά στα παραπροϊόντα που προκύπτουν από το κάθε στάδιο.

- **Προεπεξεργασία:**

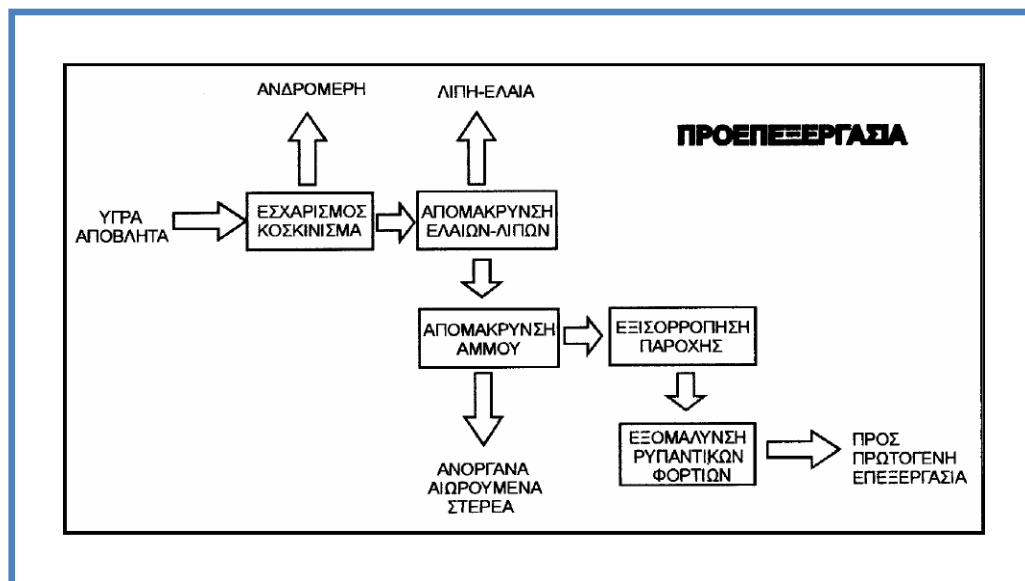
Στόχος της προεπεξεργασίας είναι η προετοιμασία του αποβλήτου για τις κύρια επεξεργασία του. Περιλαμβάνει φυσικές διεργασίες και είναι το στάδιο στο οποίο αντιμετωπίζονται οι οσμές κυρίως λόγω των λυμάτων που έχουν μετατραπεί σε σηπτικά.

Η προεπεξεργασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1. **Εσχάρωση:** αφαίρεση ευμεγέθους αιωρούμενου υλικού
2. **Εξάμμωση:** απομάκρυνση άμμου και αντιμετώπιση λιπών, λαδιών.
3. **Εξισορρόπηση παροχής:** για την βελτίωση των συνθηκών των επόμενων σταδίων
4. **Εξομάλυνση ρυπαντικών**

Η προεπεξεργασία έχει παραπροϊόντα όπως ευμεγέθη ανόργανα στερεά (φύλλα μικρά κλαδιά) τα οποία διατίθενται κυρίως σε ΧΥΤΑ για περαιτέρω επεξεργασία. Επίσης έχουμε λίπη, έλαια που ανακυκλώνονται ή καίγονται σε κλιβάνους και ανδρομερή στερεά (Metcalf & Eddy, Κεφ 5, 2003).

Στην εικόνα 2 παραθέτουμε το διάγραμμα ροής από το στάδιο της προεπεξεργασίας (Βλησίδης, 2006).

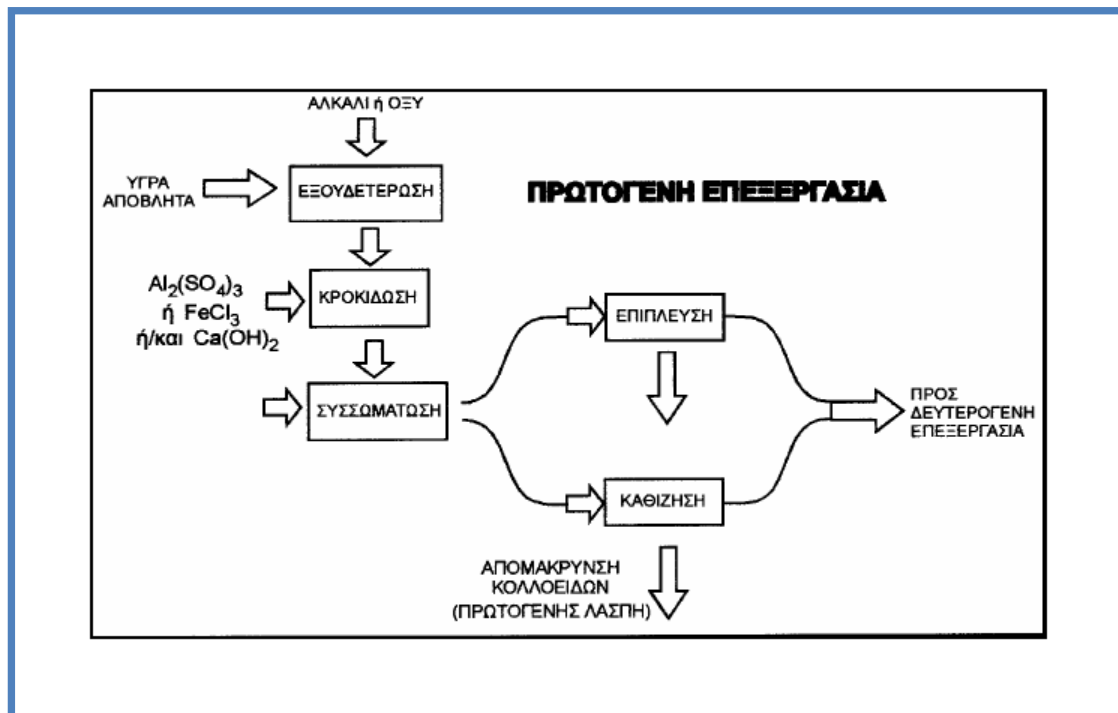


Εικόνα 2: Διάγραμμα ροής Προεπεξεργασίας

- **Πρωτοβάθμια επεξεργασία:**

Στόχος της πρωτογενούς επεξεργασίας είναι η εξουδετέρωση των αποβλήτων και η απομάκρυνση των κολλοειδών. Με την απομάκρυνση των κολλοειδών έχουμε μείωση του οργανικού φορτίου και απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου (Metcalf & Eddy Inc, 2003).

Στην εικόνα 3 θα παρατεθεί το διάγραμμα ροής της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας (Βλησίδης, 2006).



Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής Πρωτοβάθμιας επεξεργασίας

Οι διεργασίες που περιλαμβάνει η πρωτοβάθμια επεξεργασία είναι:

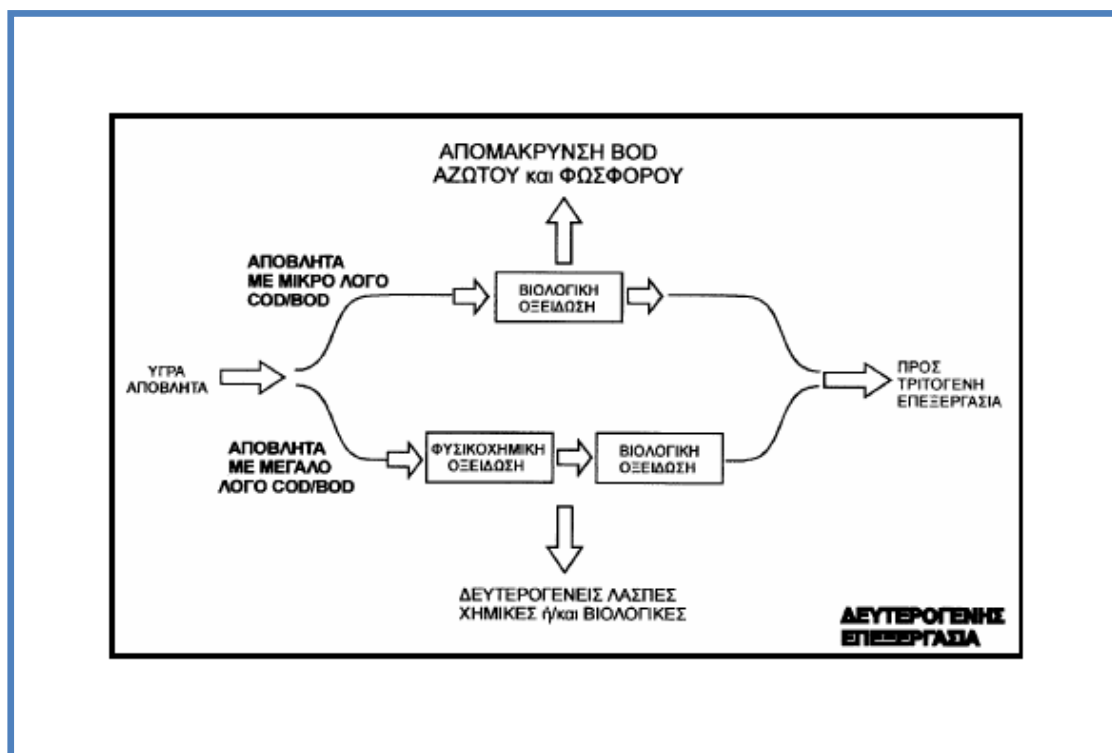
- **Εξουδετέρωση των αποβλήτων :** Μέσω της ανάμιξης με οξύ ή βάση
- **Κροκίδωση:** Ταχεία ανάμιξη με κροκιδωτικά μέσα (όπως FeCl_3 , $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$). Στο στάδιο αυτό έχουμε και εξουδετέρωση των ηλεκτροστατικών φορτίων των κολλοειδών.
- **Συσσωμάτωση των κροκιδωμένων κολλοειδών:** προσθήκη ιζωδών πολυηλεκτρολυτών, για την συνένωση των κροκιδωμένων κροκίδων
- **Απομάκρυνση κροκιδωμάτων:** Με τεχνικές καθίζησης ή επίπλευσης με DAF

Το κυριότερο παραπροϊόν της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η πρωτογενής ιλύς η οποία οδηγείται στην πάχυνση για την περαιτέρω επεξεργασία και την σταθεροποίηση της. Στην περίπτωση που η Ε.Ε.Λ. διαθέτει τις απαραίτητες εγκαταστάσεις μπορεί να έχουμε την ενεργειακή αξιοποίηση της για την παραγωγή βιοαερίου (Στάμος, 2004). Τέλος, στην περίπτωση που δεν υπάρχουν οι εγκαταστάσεις μπορεί να διατεθεί σε ΧΥΤΑ μόνο στην περίπτωση που είναι απαλλαγμένη από τοξικές ουσίες (WWPCF, 1977), (Jorgensen et. al., 1989).

- **Δευτεροβάθμια επεξεργασία:**

Στο στάδιο αυτό έχουμε την κύρια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων που οδηγεί στην σταθεροποίηση τους και γίνεται απομάκρυνση του μεγαλύτερου μέρους του BOD, COD και των θρεπτικών (αζώτου και φωσφόρου). Το στάδιο περιλαμβάνει τεχνικές ταχείας οξείδωσης και η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από την φύση του απόβλητου και την περιεκτικότητά του σε τοξικές ουσίες (Βλησίδης, 2006). Στα αστικά υγρά απόβλητα η ακολουθούμενη μέθοδος είναι αυτή της βιολογική οξείδωσης (Metcalf & Eddy Inc, Κεφ 7, 2003).

Στην εικόνα 4 παρατίθεται το διάγραμμα ροής της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας (χημική και βιολογική) ανάλογα με το περιεχόμενο του υγρού απόβλητου (Βλησίδης, 2006).

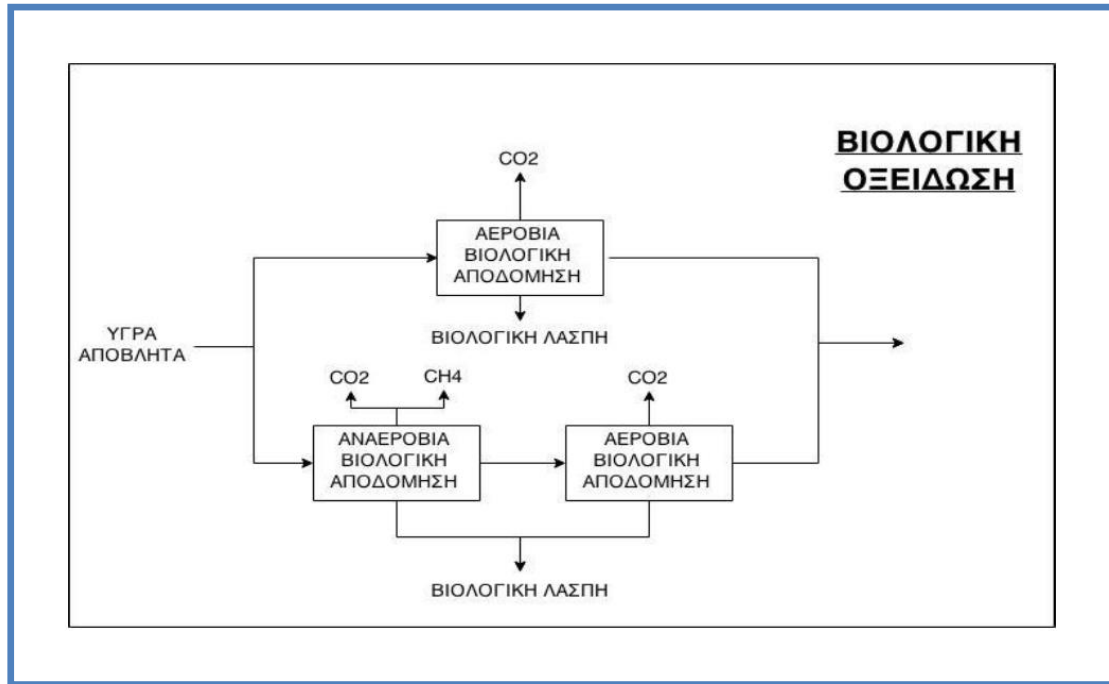


Εικόνα 4: Διάγραμμα ροής Δευτεροβάθμιας Επεξεργασίας

Η **χημική οξείδωση** βασίζεται στην παραγωγή ριζών υδροξυλίου (OH^\cdot) περιλαμβάνει τεχνικές:

1. Φωτοκαταλυτικής οξείδωσης
2. Οξείδωσης με αντιδράσεις fenton
3. Οξείδωσης με UV σε συνδυασμό με H_2O_2 ή O_3
4. Οξείδωσης με χρήση υπέρηχων
5. Ηλεκτρολυτική οξείδωσης

Η **βιολογική οξείδωση** βασίζεται στην κατανάλωση του οργανικού ρυπαντικού φορτίου από βακτήρια. Το οργανικό ρυπαντικό φορτίου αποτελεί το θρεπτικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη των βακτηρίων. Η βιολογική οξείδωση μπορεί να είναι είτε αερόβια είτε αναερόβια ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν (εικόνα 5). Η επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας εξαρτάται και πάλι από την ποιότητα της εισροής των υγρών αποβλήτων.



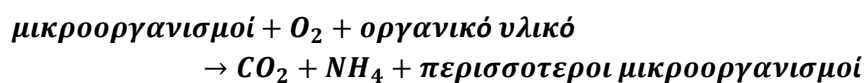
Εικόνα 5: Διάγραμμα ροής Βιολογικής Οξείδωσης

Κατά την **αερόβια βιολογική οξείδωση**, η παρουσία του οξυγόνου εννοεί τα βακτήρια που αποδομούν το BOD. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η δευτερογενής λάσπη που παράγεται να αποτελεί μεγάλο μέρος του BOD (στην αερόβια βιολογική επεξεργασία με την τεχνική της ενεργού ιλύος έχουμε περίπου 60%).

Οι τεχνικές της αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας είναι:

1. **Ενεργός ιλύς (ενός ή δύο σταδίων)**
2. **Βιολογικά φίλτρα (ενός ή δύο σταδίων)**
3. **Βιολογικοί δίσκοι**
4. **Αεριζόμενες λιμνοδεξαμενές**
5. **Αντιδραστήρες σταθερής κλίνης**
6. **Υβριδικές διεργασίες όπως τα βιολογικά φίλτρα/ενεργός ιλύος**

Η βασική αντίδραση που έχουμε στην αερόβια επεξεργασία παρατίθεται στην εξίσωση 1.



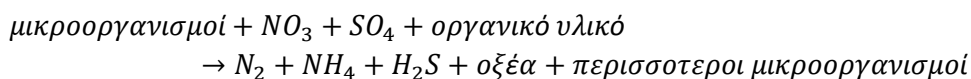
Εικόνα 6: Αντίδραση αερόβιας επεξεργασίας

Κατά την **αναερόβια βιολογική αποδόμηση** οι αναερόβιες συνθήκες αναγκάζουν τους μικροοργανισμούς να καταναλώνουν μεγάλο τμήμα του υποστρώματος για τις ενεργειακές τους ανάγκες με αποτέλεσμα η παραγόμενη δευτερογενής βιολογική λάσπη να αποτελεί μικρό μέρος του αρχικού BOD. Η αναερόβια αποικοδόμηση εφαρμόζεται κυρίως σε υγρά απόβλητα με υψηλό ρυπαντικό φορτίο και χαμηλή τοξικότητα.

Οι τεχνικές της αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας είναι:

1. **Σύστημα ενεργού ιλύος πλήρους αναμίξεως** (ενός ή δύο σταδίων)
2. **Αναερόβια Βιολογικά φίλτρα**
3. **Αντιδραστήρες UASB** (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

Η βασική αντίδραση που έχουμε στην αναερόβια επεξεργασία παρατίθεται στην εξίσωση 2.



Εικόνα 7: Αντίδραση αναερόβιας επεξεργασίας

Το παραπροϊόν της αναερόβιας χώνευσης είναι το **βιοαέριο**, η περιεκτικότητά του οποίου σε CH₄ φτάνει μέχρι και 75%. Η παραγωγή του βιοαερίου είναι μία πολύ σημαντική διεργασία καθώς εάν η Ε.Ε.Λ. διαθέτει σύστημα συλλογής και επεξεργασίας για το βιοαέριο, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους η αναερόβια χώνευση έχει το πλεονέκτημα της παραγωγής ενέργειας όμως σαν διεργασία είναι ασταθής και δύσκολα ελεγχόμενη. Αυτό συμβαίνει διότι λόγω της έλλειψης οξυγόνου η αναερόβια χώνευση αναπτύσσεται σε φτωχά ενεργειακά υποστρώματα και δημιουργούνται ανταγωνιστικές συνθήκες μεταξύ των βακτηρίων. Η αερόβια επεξεργασία έχει το πλεονέκτημα της σταθερότητας, τον άμεσο έλεγχο και την ευελιξία στην ρύθμιση ανάλογα με την φύση του υγρού απόβλητου. Το μέγιστο ποσοστό απομάκρυνσης του BOD στην αναερόβια επεξεργασία είναι 80%, ενώ στην αερόβια 97%. Η αερόβια επεξεργασία έχει και το πλεονέκτημα της απομάκρυνσης του οργανικού αζώτου (με διεργασίες νιτροποίησης και απονιτροποίησης) και την βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου με ενσωμάτωση του στην παραγόμενη δευτερογενή βιομάζα. Το παραπροϊόν της βιολογικής επεξεργασίας είναι μία **βιομάζα** υπό την μορφή υδαρούς βιολογικής λάσπης. Η δευτερογενής λάσπη υπόκειται σε πάχυνση και οδηγείται σε μονάδες είτε αερόβιας είτε αναερόβιας σταθεροποίησης. Όπως έχουμε προαναφέρει στην περίπτωση της αναερόβιας επεξεργασίας έχουμε και την ενεργειακή αξιοποίηση της για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει την αφυδάτωση της λάσπης με τεχνικές διήθησης (κλίνες ξήρανσης, φιλτρόπρεσες, ταινιοφιλτρόπρεσες) ή τεχνικές φυγοκέντρισης. Έπειτα γίνεται έλεγχος της τοξικότητας της λάσπης και όταν είναι απαλλαγμένη από τοξικά οδηγείται σε ΧΥΤΑ ή σε μονάδες κομποστοποίησης. Τέλος πρέπει

να αναφερθεί ότι η παραγόμενη λάσπη από το πρωτογενές στάδιο επεξεργάζεται μαζί με την δευτερογενή λάσπη (Στάμος.2004; Metcalf & Eddy ,2003;WPCF,1977;Noyes,1991).

Η κομποστοποίηση είναι μία μέθοδος για την σταθεροποίηση των βιοστερεών των υγρών αποβλήτων. Είναι μία οικονομική διεργασία η οποία αποτελεί μία βιώσιμη επιλογή για την διαχείριση της ιλύος. Η κομποστοποίηση είναι μία βιολογική διεργασία κατά την οποία η οργανική ύλη μετατρέπεται σε ένα σταθερό τελικό προϊόν, το χούμο. Το 20 με 30% των πτητικών στερεών μετατρέπονται σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Η κομποστοποίηση των βιοστερεών που προέρχονται από αστικά υγρά απόβλητα είναι μία κυρίως αερόβια διεργασία κατά την οποία καταστρέφονται οι παθογόνοι λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και εξαλείφονται οι οσμές(Metcalf & Eddy ,2003).

- **Τριτοβάθμια επεξεργασία:**

Αποτελεί το τελικό στάδιο στην επεξεργασία των υγρών απόβλητων και διασφαλίζει την ασφαλή διάθεση του στο περιβάλλον σύμφωνα με την ισχύουσα Νομοθεσία. Η τριτογενής επεξεργασία έχει τα ακόλουθα αποτελέσματα:

1. **Απομάκρυνση των υπολειμματικών θρεπτικών:**

- με συστήματα υδρόβιων και υδρόχαρων φυτών
- ή με συστήματα χημικής κατακρήμνισης του φωσφόρου και αέριας απογύμνωσης της αμμωνίας και του υδρόθειου

2. **Διήθηση των αιωρούμενων στερεών**

- Διήθηση με φίλτρα άμμου (βαρυτικά ή πιεστικά)
- Διήθηση με μεμβράνες

3. **Απολύμανση**

- Χλωρίωση
- Οζόνωση
- Υπεριώδης ακτινοβολία

4. **Απομάκρυνση ιόντων**

- με ιοντοανταλλαγή
- ή με υπερδιήθηση με μεμβράνες

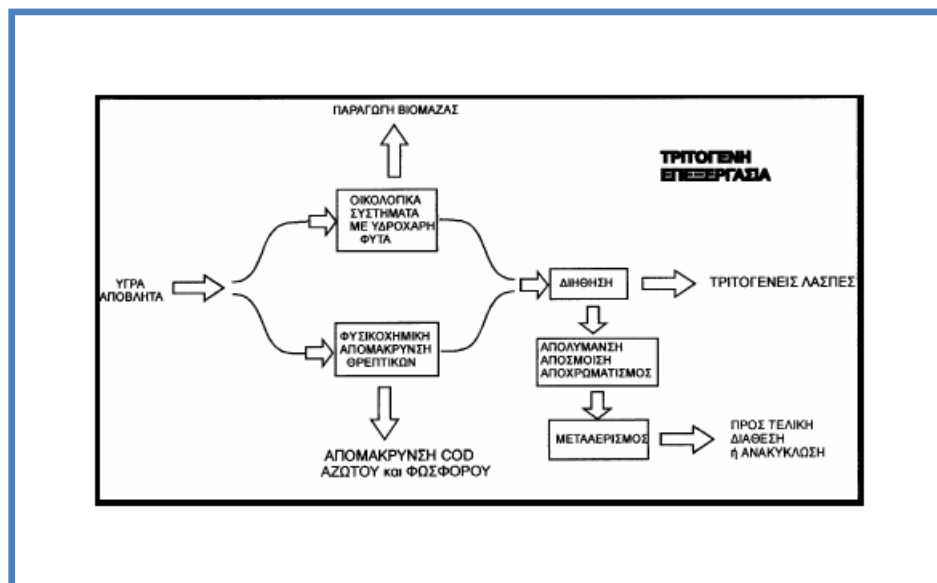
5. **Απόσπηση και αποχρωματισμό**

- με προσρόφηση (π.χ. με ενεργό άνθρακα)
- οξείδωση με χλώριο ή όζον

6. **Μετααερισμό**

- Διάχυση αέρα στην μάζα του υγρού
- ή με ελεύθερη πτώση επεξεργασμένου απόβλητου

Η εικόνα 6 περιγράφει το διάγραμμα ροής της τριτοβάθμιας επεξεργασίας.



Εικόνα 6: Διάγραμμα ροής Τριτοβάθμιας Επεξεργασίας

Το παραπροϊόν από την τριτοβάθμια επεξεργασία είναι ανόργανη λάσπη από την διεργασία διήθησης και η παραγωγή βιομάζας από τις υδροπονικές καλλιέργειες των υδροχαρών φυτών. Πρέπει να γίνει έλεγχος της ποιότητας της λάσπης και στην περίπτωση που είναι απαλλαγμένη από βαρέα μέταλλα μπορεί να διατεθεί σε ΧΥΤΑ για την αποικοδόμηση της και η βιομάζα μπορεί να οδηγηθεί για ενεργειακή αξιοποίηση ώστε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Πρέπει να αναφέρουμε στο σημείο αυτό ότι οι περισσότερες Ε.Ε.Λ. δεν διαθέτουν συστήματα φυτοεξυγίανσης. (Noyes,1991; Στάμος,2004;Metcalf & Eddy,2003; WPCF,1977; Noyes,1991).

1.4. Απαιτήσεις ενέργειας συστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι αυτή των συστημάτων ενεργού ιλύος. Οι μονάδες επεξεργασίας ενεργού ιλύος έχουν το πλεονέκτημα του εύκολου σχεδιασμού και παρακολούθησης της λειτουργίας της Ε.Ε.Λ., έχουν εκροές οι οποίες βρίσκονται εντός των νομοθετικών ορίων οι οποίες δεν διαταράσσουν τους φυσικούς αποδέκτες, ούτε εγκυμονούν κινδύνους για την ασφάλεια των πολιτών. Όπως προαναφέρθηκε η χρήση χημικής επεξεργασίας αυξάνει το κόστος για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Επίσης η αποδοτικότητα του συστήματος είναι πολύ υψηλή τόσο λόγω των διεργασιών, αλλά και της εμπειρίας που έχει αποκτηθεί από την εκτεταμένη χρήση του συστήματος.

Όταν εξετάζονται τα πλεονεκτήματα μίας μονάδας επεξεργασίας όμως πρέπει να συμπεριλαμβάνεται και ο οικονομικός παράγοντας. Αν και τα συστήματα ενεργού ιλύος δεν

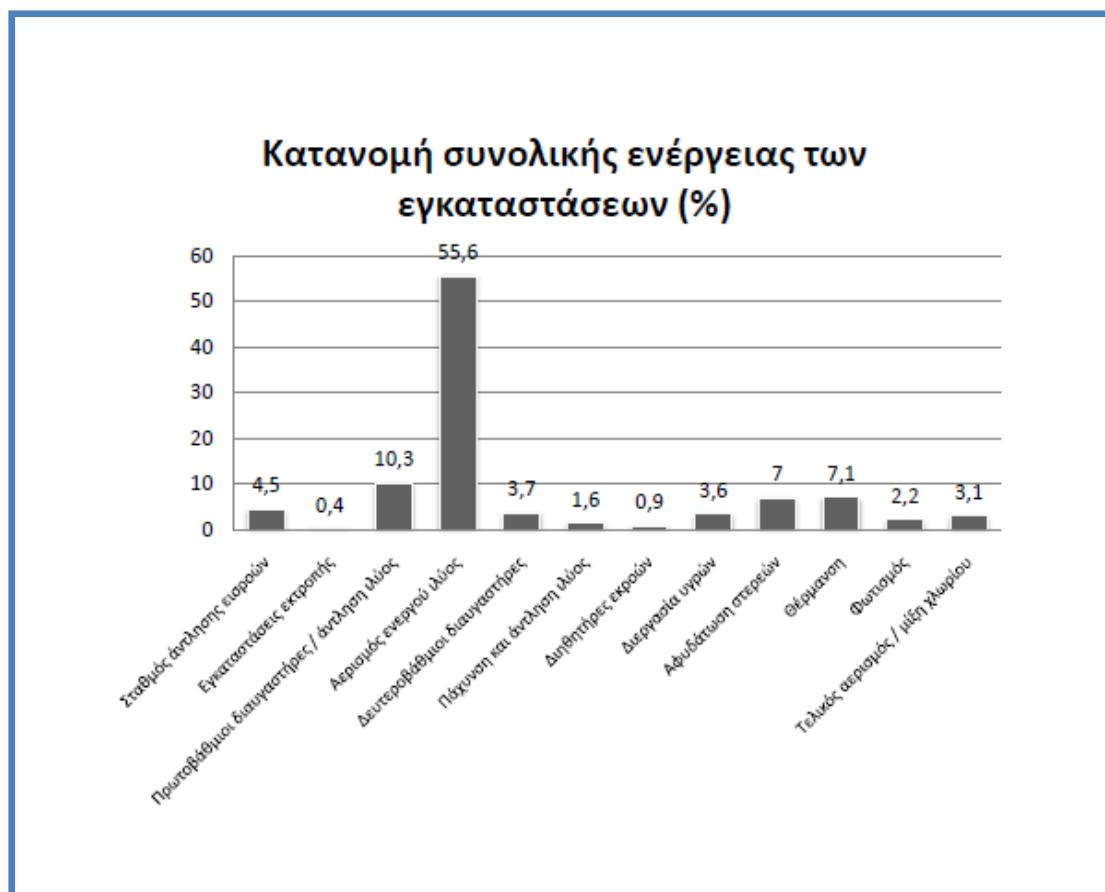
χρησιμοποιούν ευρέως χημικά ώστε να αυξάνουν το κόστος λειτουργίας, απαιτούν πολύ μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργίας τους. Όπως θα αναλυθεί και στην συνέχεια η κατανάλωση ρεύματος διαφέρει από διεργασία σε διεργασία. Επίσης τα συστήματα αυτά έχουν την δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας από την επεξεργασία των υγρών απόβλητων που μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρικής ενέργεια.

Κατά τον σχεδιασμό μίας Ε.Ε.Λ. λαμβάνεται υπόψη τόσο το κόστος ανέγερσης όσο και το κόστος λειτουργίας της ώστε να βρεθεί η βέλτιστη οικονομικά λύση. Στις ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις, οι οποίες αποτελούνται κατά την πλειοψηφία τους από συστήματα ενεργού ιλύος πλήρους μίξης, όμως πρέπει να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές τεχνολογίες για την μείωση του κόστους λειτουργίας. Στο κόστος λειτουργίας μία Ε.Ε.Λ. πρέπει να συμπεριλαμβάνεται και η διαχείριση της ιλύος. Το κόστος για την διαχείριση της λάσπης αφορά τόσο την λειτουργία για την επεξεργασία της εντός του βιολογικού καθαρισμού, όσο και για την μεταφορά και τη διαχείριση της σε ΧΥΤΑ στην περίπτωση που δεν υπάρχουν οι κατάλληλες εγκαταστάσεις στον βιολογικό. Αυτός είναι και ο σκοπός της παρούσας μελέτης, η οποία προτείνει την χρήση εξειδικευμένων μικροοργανισμών που διασπούν την παραγόμενη λάσπη που προκύπτει από την επεξεργασία των υγρών απόβλητων, και αυξάνουν την απόδοση της επεξεργασίας προσφέροντας ποιοτικότερη εκροή.

Οι απαιτήσεις μίας Ε.Ε.Λ. σε ηλεκτρική ενέργεια εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Οι κυριότεροι είναι το φορτίο που δέχεται τόσο κατά την διάρκεια της ημέρας αλλά και την διάρκεια του χρόνου και τρόπος λειτουργία των συστημάτων. Οι τουριστικές περιοχές δέχονται διαφορετική ποσότητα υγρών αποβλήτων κατά την διάρκεια του χρόνου. Έτσι πολλές φορές το σύστημα υπολειτουργεί λόγω χαμηλών παροχών και άλλες τα φορτία είναι τόσο υψηλά που η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται δραματικά και σε μερικές περιπτώσεις η ποιότητα των εκροών είναι χαμηλή. Επίσης κατά τις μεσημβρινές ώρες τα φορτία που δέχεται ένας βιολογικός καθαρισμός αυξάνονται και οι ενεργειακές απαιτήσεις μεγαλώνουν. Τα συστήματα ενεργού ιλύος έχουν στάδιο στο οποίο γίνεται η εξισορρόπηση της παροχής για να βελτιωθεί η λειτουργία τους. Επίσης πολλές Ε.Ε.Λ. χρησιμοποιούν προσαρμοσμένες εγκαταστάσεις και δεν λειτουργούν συνεχώς σε πλήρη λειτουργία για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της διακύμανσης της ωριαίας παροχής (Metcalf & Eddy, Κεφ.15,2003).

Η δημοτικότητα των συστημάτων ενεργού ιλύος και οι υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις τους, έχουν οδηγήσει στην εκπόνηση πολλών μελετών για την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας, στο σύνολο του συστήματος και σε κάθε διεργασία ξεχωριστά. Αναλυτικότερα σε μία συμβατική μονάδα επεξεργασίας με σύστημα ενεργού ιλύος η ανάγκη σε ηλεκτρική ενέργεια είναι κυμαίνεται από $317 \text{ kWh}/1000\text{m}_3$ έως $600 \text{ kWh}/1000\text{m}_3$. Επίσης την μεγαλύτερη απαίτηση σε ενέργεια έχει η δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών απόβλητων (Metcalf & Eddy Inc,Κεφ.15,2003).

Στο διάγραμμα 4 παρουσιάζεται η κατανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε στάδιο επεξεργασίας σε ένα τυπικό σύστημα ενεργού ιλύος(EPRI,1994)



Διάγραμμα 4: Επί τις % κατανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε στάδιο επεξεργασίας

Όπως φαίνεται και από το γράφημα τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ενέργεια έχει με διαφορά ο αερισμός της ενεργού ιλύος. Για τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας θα πρέπει λοιπόν να εφαρμοστούν εναλλακτικές τεχνολογίες στην επεξεργασία των υγρών απόβλητων για τις νέες εγκαταστάσεις. Για τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις θα πρέπει να γίνεται συστηματικός έλεγχος των απαιτήσεων σε αέρα την δεξαμενή αερισμού ώστε να μην γίνεται άσκοπη χρήση, και να εφαρμοστούν εναλλακτικές τεχνολογίες για την μείωση του χρόνου παραμονής του υγρού απόβλητου στην δεξαμενή αερισμού ώστε να έχουμε και λιγότερη κατανάλωση ενέργειας.

1.5. Συστήματα ενεργού ιλύος πλήρους μίξης

1.5.1. Ιστορική αναδρομή συστημάτων Ε.Ι.

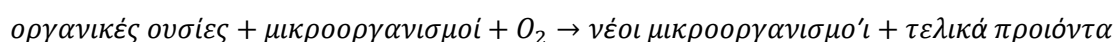
Η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την επεξεργασία τόσο των υγρών όσο και των αγροτοβιομηχανικών υγρών αποβλήτων είναι αυτή της ενεργού ιλύος. Η μέθοδος επινοήθηκε το 1914 από τους E. Arden και W. Lockett στην Αγγλία. Το πρώτο σύστημα ενεργού ιλύος με συνεχή τροφοδότηση τέθηκε σε λειτουργία το 1917 στο Manchester της Αγγλίας με παροχή $945 \text{ m}^3/\text{day}$. Αξίζει να αναφερθεί ότι την ίδια χρονιά ξεκίνησε την

λειτουργία του η πρώτη μονάδα μεγάλη δυναμικότητας στην Αμερική, η ημερήσια παροχή της οποίας ήταν 36000 m³/ day.

Τα πρώτα συστήματα ενεργού ιλύος ήταν διαλείπουσας λειτουργίας με επαναλαμβανόμενους κύκλους αερισμού και καθίζησης. Στα συστήματα αυτά είχαμε συνεχή αύξηση της ποσότητας των αιωρούμενων στερεών μικρού υγρού, άρα και αύξηση των ζώντων μικροοργανισμών στο σύστημα που οδηγούσε στην καλύτερη αφαίρεση οργανικού υλικού. Το όνομα ενεργός ιλύος (activated sludge) προέκυψε από την λάθος παραδοχή των ερευνητών της εποχής ότι γινόταν ενεργοποίηση των στερεών του μικτού υγρού με την πάροδο του χρόνου. Τα συστήματα αυτά μπορεί να μην χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων την εποχή εκείνη, λόγω της δύσκολης παρακολούθησης που απαιτούσαν, όμως με την χρήση των σημερινών συστημάτων παρακολούθησης μπορούν να επιτύχουν πολύ καλές απομακρύνσεις (Τσώνης, 2004).

Ένα τυπικό σύστημα ενεργού ιλύος αποτελείται από μία δεξαμενή αερισμού και μία δεξαμενή καθίζησης. Στην δεξαμενή αερισμού έχουμε την είσοδο των αποβλήτων και την ανάμιξη τους με το μικτό υγρό που περιέχει. Ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής για μία δεξαμενή αερισμού είναι κάποιες ώρες και στο χρονικό αυτό διάστημα έχουμε αιωρούμενους μικροοργανισμούς (κυρίως βακτήρια) που καταναλώνουν το διαλυτό οργανικό υλικό που είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη τους και παράλληλα οξειδώνουν οργανικό υλικό προς CO₂ και νερό για να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες. Το υγρό εκρέει από την δεξαμενή αερισμού και εισρέει στην δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης όπου πραγματοποιείται η κατακράτηση των αιωρούμενων στερεών μικτού υγρού και υπερχειλίζει η διαυγασμένη εκροή. Τα υγρά απόβλητα της εκροής είναι απαλλαγμένα από μικροοργανισμούς ενώ διαθέτουν μικρές ποσότητες διαλυμένων οργανικών ουσιών. Τα αιωρούμενα σωματίδια καθιζάνουν στον πυθμένα της δεξαμενής και ένα μέρος τους ανακυκλοφορείται προς την δεξαμενή αερισμού ώστε η συγκέντρωσή των μικροοργανισμών στην Δ.Α. να παραμένει σταθερή, ενώ άλλο μέρος τους αφαιρείται από το σύστημα (Στάμος, 1994).

Όπως προαναφέρθηκε βασική βιολογική διαδικασία σε ένα σύστημα Ε.Ι. μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση 3:

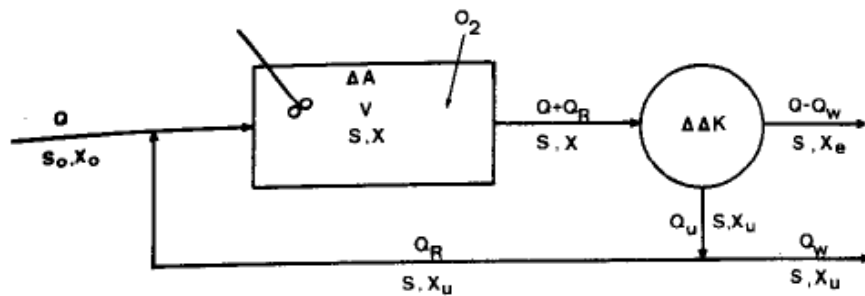


Εξίσωση 3: Βασική βιολογική διαδικασία σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος

Τα τελικά προϊόντα είναι: CO₂, NO₃⁻, H₂O, NO₂⁻, SO₄⁻

Το μεγαλύτερο μέρος από τις οργανικές ουσίες χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς για την αναπαραγωγή τους και ένα μικρό ποσοστό για ενέργεια και τελικά προϊόντα. Στην περίπτωση που έχουμε μείωση ή απουσία των οργανικών ουσιών οι μικροοργανισμοί παίρνουν τις ζητούμενες ουσίες για την συντήρησή τους από άλλους μικροοργανισμούς ή αυτοκαταναλώνονται. Το βασικότερο είδος μικροοργανισμών στα συστήματα Ε.Ι. είναι τα ετεροτροφικά βακτηρίδια ενώ συμμετέχουν και μύκητες, άλγη, πρωτόζωα κ.α.

Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα συστήματα είναι αυτή της πλήρους μίξης. Το διάγραμμα ροής της εικόνας 7 περιγράφει μία τυπική διάταξη Ε.Ι. (πλήρους μίξης).



Εικόνα 7: Διάγραμμα ροής τυπικής διάταξης Ε.Ι. (Πλήρους Μίξης)

Όπου:

- ΔΑ: Δεξαμενή αερισμού
- ΔΔΚ: Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης
- Q: Παροχή εισροής, m^3/d
- S_0 : Συνολικό BOD εισροής, mg/L
- X_0 : Στερεά εισροής, mg/L
- V: όγκος ΔΑ, m^3
- X: Στερεά ΔΑ (MLSS), mg/L
- S: διαλυμένο BOD εισροής, mg/L
- X_e : Στερεά εκροής, mg/L
- Q_u : Παροχή λάσπης που απομακρύνεται από την ΔΔΚ, m^3/d ($Q_R + Q_w$)
- Q_R : Παροχή επανακυκλοφορίας, m^3/d
- Q_w : Παροχή απομακρυνόμενης από το σύστημα περίσσιας λάσπης, m^3/d
- X_u : Στερεά στον πυθμένα της ΔΔΚ, mg/L

1.5.2. Είδη και διαφοροποιήσεις συστημάτων ενεργού ιλύος

Η κύρια ταξινόμηση των συστημάτων τύπου ενεργού ιλύος παρατίθεται στον πίνακα 5. Τα συστήματα που αναφέρονται είναι ουσιαστικά παραλλαγές του βασικού συστήματος ενεργού ιλύος, που προέκυψαν από τις προσπάθειες των ερευνητών να επιλύσουν τα λειτουργικά προβλήματα που προέκυπταν από την λειτουργία τους(Τσώνης, ,2004).

A. Διαφοροποίηση με βάση την διαμόρφωση
1. Εμβολικής ροής (συμβατικό ή κλασικό) 2. Βηματικής τροφοδότησης 3. Πλήρους αναμιξης 4. Επαφής- Σταθεροποίησης 5. Ενεργού ιλύος με επιλογές
B. Διαμόρφωση με βάση τον αερισμό
1. Συμβατικό 2. Με σταδιακά μειούμενο αερισμό 3. Με καθαρό οξυγόνο
Γ. Διαφοροποίηση με βάση την οργανική φόρτιση
1. Συμβατικό 2. Τροποποιημένου αερισμού 3. Ταχύρυθμο 4. Παρατεταμένου αερισμού

Πίνακας 5: Διαφοροποιήσεις συστημάτων Ε.Ι.

Διαφοροποίηση με βάση την διαμόρφωση

1. Το **συμβατικό ή αλλιώς κλασικό σύστημα** περιλαμβάνει μία μακρόστενη δεξαμενή αερισμού, συνεχούς τροφοδότησης, εμβολικής ροής ακολουθούμενη από μία δεξαμενή καθίζησης με ανακυκλοφορία ιλύος. Στην δεξαμενή αερισμού έχουμε ομοιόμορφη κατανομή του αέρα, η ζήτηση του οποίου είναι μέγιστη στην αρχή της δεξαμενής και μειώνεται σταδιακά προς την έξοδο της. Αυτό όπως είναι προφανές οδηγεί σε ενεργειακή σπατάλη και στην θέση του αναπτύχθηκε το σύστημα με σταδιακά μειούμενο αερισμό.
2. Το **σύστημα ενεργού ιλύος με βηματική τροφοδότηση(step- feed aeration)** τροφοδοτεί την λάσπη στο άκρο της εισόδου της μακρόστενης δεξαμενής αερισμού και παρέχει βηματικά αέρα κατά το μήκος της. Με την μέθοδο αυτή έχουμε εξομάλυνση της ζήτησης σε οξυγόνο στο μεγαλύτερο μέρος του μήκους της δεξαμενής.
3. Τα συστήματα ενεργού ιλύος πλήρους ανάμιξης (complete- mix activated sludge systems) είναι τα πιο διαδεδομένα συστήματα επεξεργασίας καθώς μπορούν να επεξεργαστούν αστικά αλλά και βιομηχανικά απόβλητα. Τα συμβατικά συστήματα όπως παρατηρήθηκε από τους ερευνητές δεν μπορούσαν να επεξεργαστούν απόβλητα με υψηλά οργανικά φορτία ή τοξικές ουσίες καθώς παρατηρούνταν λειτουργικά προβλήματα στα αρχικά τμήματα της δεξαμενής αερισμού λόγω του

φορτίου του αποβλήτου. Η μετατροπή των συμβατικών συστημάτων σε συστήματα πλήρους ανάμιξης έγινε ώστε να έχουμε ομοιόμορφη οργανική φόρτιση σε όλο το τμήμα της δεξαμενής αερισμού και έκθεση της βιομάζας σε σημαντικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις τοξικών παραγόντων. Στα συστήματα πλήρους ανάμιξης η δεξαμενή δεν είναι μακρόστενη, και ο λόγος του μήκους/ πλάτους είναι μικρός. Ο αερισμός επιτυγχάνεται με την χρήση μηχανικών αεριστήρων ή με εμφύσηση αέρα. Η εισροή και η εκροή γίνεται είτε σημειακά στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται μηχανικοί αεριστήρες, είτε από πολλαπλά σημεία όταν ο αερισμός επιτυγχάνεται με πορώδη διάχυση. Στην δεύτερη περίπτωση η εκροή παραλαμβάνεται και από τις δύο πλευρές της δεξαμενής αερισμού.

4. Το σύστημα ενεργού ιλύος με ανοξικό επιλογέα διαθέτουν πριν την δεξαμενή αερισμού ένα πλήθος από μικρές αναδευόμενες ανοξικές δεξαμενές. Στα συστήματα αυτά η ανακυκλοφορία της ιλύος γίνεται στον ανοξικό επιλογέα όπου τροφοδοτούνται και τα υγρά απόβλητα. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στον επιλογέα δεν ξεπερνά τα 30 λεπτά ώστε να μην έχουμε πλήρη οξείδωση του διαλυτού υποστρώματος που τροφοδοτείται σε αυτόν. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην ανοξική δεξαμενή είναι ζυμώσεις που μετατρέπουν τους υδατάνθρακες και το πρωτεϊνικό υλικό σε λιπαρά οξέα που αποθηκεύονται στο κυτταρόπλασμα μερικών οργανισμών. Οι μικροοργανισμοί αυτοί όταν εισέρχονται στην δεξαμενή αερισμού, το περιβάλλον της οποίας είναι ολιγοτροφικό, αναπτύσσονται ταχύτερα και ανταγωνίζονται τους άλλους μικροοργανισμούς. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι μικροοργανισμοί οι οποίοι έχουν την ιδιότητα της αποθήκευσης των λιπαρών οξέων έχουν και πολύ καλά χαρακτηριστικά καθίζησης και αυτός είναι και ο κυριότερος παράγοντας που συντέλεσε στην ανάπτυξη αυτών των συστημάτων.
5. Τα συστήματα τύπου επαφής σταθεροποίησης χρησιμοποιούν σημαντικά μικρότερο όγκο αερισμού για την αφαίρεση του οργανικού υλικού σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει μία δεξαμενή επαφής, μία δεξαμενή σταθεροποίησης και μία δεξαμενή καθίζησης. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στην δεξαμενή επαφής δεν ξεπερνά την μία ώρα και σε αυτή τα απόβλητα αναμιγνύονται με την ιλύ που εισέρχεται από το ρεύμα ανακυκλοφορίας. Το χρονικό αυτό διάστημα απαιτείται για την οξείδωση ή την ενδοκυτταρική αποθήκευση του οργανικά εύκολα αποικοδομούμενου διαλυτού οργανικού υλικού των αποβλήτων. Επίσης στη δεξαμενή επαφής το αιωρούμενο υλικό των υγρών αποβλήτων εμπλέκεται και σχηματίζει συσσωματώματα με τους θρόμβους του μικτού υγρού της δεξαμενής. Τα εκρεόμενα απόβλητα από την δεξαμενή επαφής εισέρχονται στην δευτεροβάθμια δεξαμενή όπου πραγματοποιείται ο διαχωρισμός του υγρού τμήματος των υγρών αποβλήτων και η καθίζηση της ιλύος. Η ανακυκλοφορούμενη ιλύς εισέρχεται στην δεξαμενή σταθεροποίησης όπου παραμένει μέχρι να πραγματοποιηθεί οξείδωση του αποθηκευμένου και επιρροφημένου οργανικού υλικού.
6. Τα συστήματα παρατεταμένου αερισμού χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που οι παροχές των υγρών αποβλήτων είναι μικρές, όμως έχουν μεγάλους υδραυλικούς χρόνους παραμονής. Στα συστήματα αυτά αν και δεν προβλέπεται επιμελημένη παρακολούθηση της λειτουργιάς, χρειάζονται εξειδικευμένο προσωπικό ώστε να

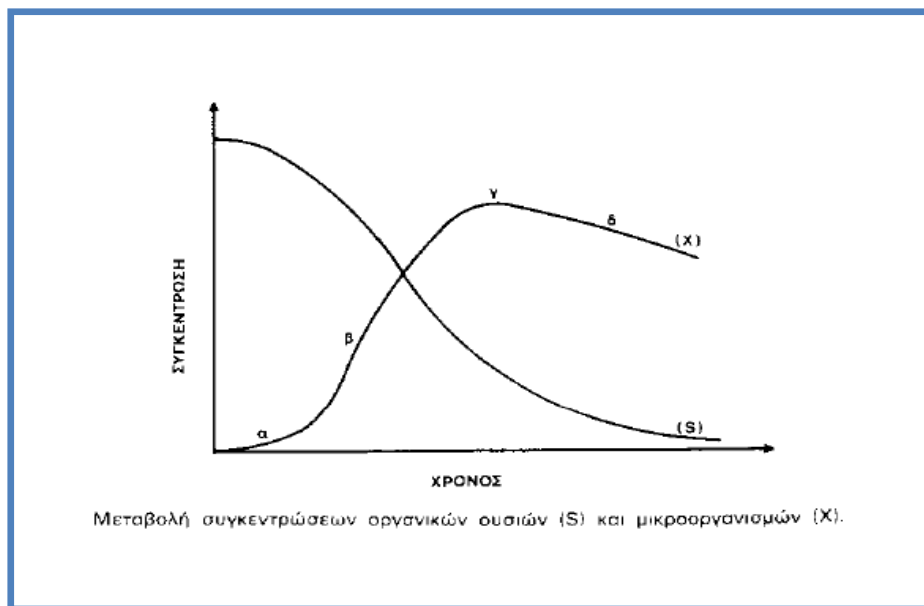
παρακολουθούν τις παραμέτρους και να ρυθμίζουν κατάλληλα το σύστημα. Η μικρή οργανική φόρτιση των δεξαμενών οδηγεί σε ικανοποιητική αφαίρεση του οργανικού υλικού. Το σύστημα αποτελείται από μία δακτυλιοειδή δεξαμενή αερισμού και μία δεξαμενή καθίζησης.

7. Τα συστήματα με καθαρό οξυγόνο χρησιμοποιούν μόνο οξυγόνο και διαφέρουν από τα άλλα συστήματα που παρέχουν στις δεξαμενές ατμοσφαιρικό αέρα. Όπως είναι προφανές η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο απόβλητο είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα. Αν και τα συστήματα αυτά έχουν πολύ καλή απόδοση, έχουν πολύ υψηλό κόστος λόγω του καθαρού οξυγόνου και για αυτό δεν χρησιμοποιούνται ευρέως. Η τροφοδότηση του οξυγόνου γίνεται με την χρήση διαχυτήρων, είναι όμως απαραίτητη και η μηχανική ανάδευση ώστε να βρίσκονται σε αιώρηση τα αιωρούμενα στερεά του μικτού υγρού. Στα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται κλειστές δεξαμενές οι οποίες χωρίζονται σε διαμερίσματα τοποθετημένα σε σειρά όπου διαβιβάζεται το O_2 . Οι κλειστές δεξαμενές είναι απαραίτητες καθώς δημιουργείται μία υπερκείμενη ατμόσφαιρα οξυγόνου πάνω από τη στάθμη του υγρού στις δεξαμενές. Οι υψηλές συγκεντρώσεις του οξυγόνου στα μικτά υγρά, δημιουργούν μεγαλύτερη συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών μικτού υγρού, η λάσπη αποκτά καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης, και έχουμε μεγαλύτερες φορτίσεις του συστήματος με οργανικό υλικό.

1.5.3. Κριτήρια σχεδιασμού ενός συστήματος Ε.Ι.

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος βασίζεται στα ακόλουθα κριτήρια:

- a. Η μεταβολή της μάζας των οργανικών ουσιών από την κατανάλωση τους από τους μικροοργανισμούς
 - b. Η μεταβολή της μάζας των μικροοργανισμών
 - c. Οι απαίτηση του οξυγόνου για τις παραπάνω διαδικασίες
- Η μεταβολή της μάζας των οργανικών ουσιών από την κατανάλωση τους από τους μικροοργανισμούς σε περιοριστικές συνθήκες περιβάλλοντος περιγράφεται στο διάγραμμα 5.



Διάγραμμα 5: Μεταβολή συγκεντρώσεων οργανικών ουσιών και μικροοργανισμών

Στην φάση (α) οι μικροοργανισμοί προσαρμόζονται στο συγκεκριμένο περιβάλλον και η μεταβολή της μάζας τους δεν είναι σημαντική. Κατά το στάδιο αυτοί οι μικροοργανισμοί παράγουν ένζυμα ώστε να μεταβολίσουν τις οργανικές ουσίες και εγκλιματίζονται σε μεταβολές στην θερμοκρασία και στο pH. Στην φάση (β) οι μικροοργανισμοί έχουν μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης λόγω άφθονης τροφής και θρεπτικών. Στην φάση (γ) το υπόστρωμα μειώνεται σημαντικά ή υπάρχει παρουσία υψηλής συγκέντρωσης ενός αναστολέα/ παρεμποδιστή, και παρουσιάζεται στασιμότητα στην μεταβολή της μάζας των μικροοργανισμών. Η βακτηριακή αύξηση δεν είναι πια εκθετική και το ποσοστό της αύξησης αντισταθμίζεται με το θάνατο των κυττάρων. Στη φάση (δ) ο ρυθμός ανάπτυξης γίνεται αρνητικός. Έχουμε μείωση της μάζας των μικροοργανισμών λόγω της απουσίας τροφής, και οι ικανότεροι μικροοργανισμοί επιβιώνουν καταναλώνοντας τους υπόλοιπους σαν τροφή ή αυτοκαταναλώνονται (ενδογενής μεταβολισμός).

Ένα σύστημα E.I. υψηλής φόρτισης λειτουργεί στην φάση (β), η συμβατική στην φάση (γ), και ο παρατεταμένος αερισμός στην φάση (δ).

1.5.4. Κινητική των μικροοργανισμών στα συστήματα E.I.

Ο ρυθμός κατανάλωσης των οργανικών ουσιών από μικροοργανισμούς (r_s) είναι ανάλογος της συγκέντρωσης των οργανικών ουσιών που απομένουν (S) και της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών (X_v) (Στάμος, 1994). Αυτό μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση 4:


$$r_s = -kX_v S$$

Εξίσωση 4: Εξίσωση ρυθμού κατανάλωσης των οργανικών ουσιών

Όπου:

- r_s : η μεταβολή της συγκέντρωσης των οργανικών ουσιών/ μονάδα χρόνου

- k : σταθερά (συγκέντρωση * χρόνος)⁻¹
- S : η συγκέντρωση των οργανικών ουσιών που απομένουν
- X_v : η συγκέντρωση των μ/ο

 Το αρνητικό πρόσημο εκφράζει τη μείωση των οργανικών ουσιών

Η μεταβολή της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών r_x οφείλεται, στη σύνθεση νέων μικροοργανισμών από την κατανάλωση των οργανικών ουσιών, που θεωρείται ανάλογη του ρυθμού κατανάλωσης, αλλά και στην μείωση των μικροοργανισμών λόγω του ενδογενούς μεταβολισμού, που θεωρείται ανάλογη της συγκέντρωσης τους (Στάμος, 1994). Αυτό περιγράφεται από την εξίσωση 5:

$$r_x = -Y(r_s) - X_v K_d$$

Εξίσωση 5: Εξίσωση συγκέντρωσης των μικροοργανισμών

Όπου:

- r_x : η μεταβολή της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών/ μονάδα χρόνου
- Y : σταθερά σύνθεσης μάζας παραγόμενων μικροοργανισμών / μάζα καταναλούμενων οργανικών ουσιών
- K_d : σταθερά αποσύνθεσης, μάζα μικροοργανισμών που καταστρέφονται / συνολική μάζα μ/ο και μονάδα χρόνου

Το οξυγόνο χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς για την σύνθεση νέων κυττάρων και τον ενδογενή μεταβολισμό τους. Ο ρυθμός κατανάλωσης του οξυγόνου είναι ανάλογος της ποσότητας των οργανικών ουσιών που καταναλώνονται, ενώ για τον ενδογενή μεταβολισμό είναι ανάλογος της μάζας των μικροοργανισμών όπως περιγράφεται και στην εξίσωση 6 (Στάμος, 1994).

$$\frac{\text{Μάζα του } O_2 \text{ που καταναλώνεται}}{\text{μονάδα χρόνου}} = \alpha' * \frac{\text{Μάζα ουσιών που καταναλώνονται}}{\text{μονάδα χρόνου}} + \beta * \text{μάζα μ/ο}$$

Εξίσωση 6: Εξίσωση του ρυθμού κατανάλωσης του οξυγόνου

Όπου:

- α' : Σταθερά, μάζα οξυγόνου/ μάζα καταναλούμενων οργανικών ουσιών
- β : Σταθερά, μάζα οξυγόνου/συνολική μάζα μ/ο και μονάδα χρόνου

1.5.5. Σχεδιασμός συστημάτων Ε.Ι.

Οι δύο βασικότερες παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για τον σχεδιασμό και την λειτουργία των συστημάτων Ε.Ι. είναι η ηλικία της λάσπης θ_c και το F/M (food/microorganisms). Στον πίνακα 6 θα παρατεθούν οι τυπικές τιμές ανάλογα με την φόρτιση:

Τύπος	F/M Kg BOD ₅ / Kg SS.d	Φορτίο BOD (C _v) Kg BOD ₅ / m ³ .d	Ηλικία λάσπης (ημέρες)	Αφαίρεση BOD (%)
Χαμηλή φόρτιση	F/M<0.15	C _v <0,4	10-30	≥90% δυνατή η νιτροποίηση
	F/M<0.07 (Π.Α)			
Μέση φόρτιση	0,15< F/M<0.4	0,5<C _v <1,5	4-10	80- 90% δυνατή η νιτροποίηση σε υψηλές θερμοκρασίες
Υψηλή φόρτιση	0,4 <F/M<1,2	1,5<C _v <3	1,5-4	<80%

Πίνακας 6: Τυπικές τιμές ανάλογα με την φόρτιση

1.5.6. Δεξαμενή αερισμού

Αρχικά πρέπει να αναφερθεί ότι ο αερισμός στην Δ.Α. γίνεται ώστε να παρέχεται επαρκής ποσότητα οξυγόνου στους μικροοργανισμούς για την κατανάλωση των οργανικών ουσιών, να υπάρχει ανάμιξη στην Δ.Α. ώστε οι μικροοργανισμοί να μην καθιζάνουν στον πυθμένα και να υπάρχει ομοιόμορφη συγκέντρωση των μικροοργανισμών, του O₂ και των οργανικών ουσιών σε όλο τον όγκο της Δ.Α..

Η κύρια διεργασία στην δεξαμενή αερισμού είναι η μεταφορά του οξυγόνου από τον αέρα στο λύμα. Η μεταφορά θεωρείται ότι γίνεται μέσα από μία διαχωριστική επιφάνεια, μεταξύ του αερίου και του υγρού. Κατά το πρώτο στάδιο της διεργασίας έχουμε διαρκή εμπλουτισμό της επιφάνειας με οξυγόνο, και στην συνέχεια το οξυγόνο μεταφέρεται από την κορεσμένη επιφάνεια στο υγρό με μοριακή διάχυση. Στο τρίτο στάδιο, που είναι και το τελευταίο το οξυγόνο διασπείρεται σε όλο τον όγκο του υγρού απόβλητου. Ο ρυθμός μεταφοράς δίνεται από την εξίσωση 7 (Στάμος, 1994):

$$\frac{dM}{dt} = K_L A (C_S - C_L)$$

Εξίσωση 7: εξίσωση του ρυθμού μεταφοράς του οξυγόνου

Όπου:

- $\frac{dM}{dt}$ = μάζα μεταφερόμενου οξυγόνου/ μονάδα χρόνου
- K_L = σταθερά, χαρακτηριστική της διαχωριστικής επιφάνειας
- A = εμβαδόν της διαχωριστικής επιφάνειας
- C_L = συγκέντρωση οξυγόνου στο υγρό
- C_S = συγκέντρωση κορεσμού οξυγόνου στο νερό

1.5.6.1. Μέθοδοι αερισμού

Οι βασικές μέθοδοι αερισμού είναι:

- Με την διοχέτευση φυσαλίδων αέρα στα απόβλητα, μέσω των οποίων το οξυγόνο μεταφέρεται στα απόβλητα. Η παροχέτευση οξυγόνου γίνεται με την χρήση διαχυτήρων.
- Με την ανάδευση των αποβλήτων με μηχανικά μέσα και την μεταφορά οξυγόνου από την ατμόσφαιρα στα απόβλητα μέσω της τύρβης που δημιουργείται. Η παροχέτευση οξυγόνου γίνεται με την χρήση επιφανειακών-μηχανικών αεριστήρων.
- Η τρίτη μέθοδος συνδυάζει τις δύο προηγούμενες και απαιτεί την χρήση διαχυτήρων και επιφανειακών-μηχανικών αεριστήρων.

Συστήματα με χρήση διαχυτήρων

Οι διαχυτήρες τοποθετούνται κοντά στον πυθμένα της Δ.Α., και απελευθερώνουν φυσαλίδες αέρα, που κινούνται προς της επιφάνεια. Η ανοδική αυτή κίνηση των φυσαλίδων τροφοδοτεί την μάζα του απόβλητου με οξυγόνο. Η μεταφορά του οξυγόνου γίνεται κυρίως κατά τον σχηματισμό της φυσαλίδας και λίγο μετά την απελευθέρωση της από τον διαχυτήρα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της μεταφοράς του οξυγόνου είναι η γεωμετρία της Δ.Α., το μέγεθος των φυσαλίδων, και η διάταξη των διαχυτήρων στην δεξαμενή. Επίσης, όσο μειώνεται το μέγεθος των φυσαλίδων τόσο αυξάνεται η απόδοση της μεταφοράς οξυγόνου, λόγω της αύξησης του εμβαδού της διαχωριστικής επιφάνειας αέρα- απόβλητου για ένα δεδομένο τύπο απόβλητου. (American Society of Civil Engineers, 1977).

Οι διαχυτήρες χωρίζονται σε πορώδεις και μη- πορώδεις. Οι πορώδεις παράγουν λεπτές-μέσες φυσαλίδες με την διαβίβαση αέρα μέσα από ένα πορώδες μέσο. Το σχήμα τους είναι σωλήνα, πλάκας ή θόλου. Οι διαχυτήρες με σχήμα σωλήνα τοποθετούνται κάθετα στο τοίχωμα της Δ.Α. κατά το μήκος της μίας πλευράς και δημιουργούν σπειροειδή ροή για να επιτευχθεί η ζητούμενη ανάμιξη, ενώ οι διαχυτήρες με σχήμα πλάκας ή θόλου τοποθετούνται σε όλη την επιφάνεια του πυθμένα της δεξαμενής αερισμού. Οι μη-πορώδεις διαχυτήρες παράγουν χονδρές φυσαλίδες από στόμια. Η τοποθέτησή τους είναι ίδια με αυτή των πορώδων με σχήμα σωλήνα. Η χρήση των διαχυτήρων (πορώδων και μη-

πορώδων) γίνεται στις δεξαμενές αερισμού συμβατικών εγκαταστάσεων Ε.Ι., παρατεταμένου αερισμού, επαφής- σταθεροποίησης, αερισμού κατά βαθμίδων και υψηλής φόρτισης.

Οι πορώδεις διαχυτήρες επιτυγχάνουν καλή ανάμιξη, διατηρούν σταθερή τη θερμοκρασία στην δεξαμενή αερισμού, και παρέχουν την δυνατότητα ρύθμισης της παροχής αέρα-οξυγόνου. Το βασικά τους μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος αγοράς, το υψηλό κόστος συντήρησης, απαίτηση φίλτρων αέρα ώστε να αποφεύγεται η έμφραξη, και ο περιορισμός στην γεωμετρία της δεξαμενής αερισμού στην περίπτωση χρήσης των διαχυτήρων σχήματος σωλήνα.

Οι μη- πορώδεις διαχυτήρες έχουν το πλεονέκτημα να μην φράζουν, διατηρούν σταθερή την θερμοκρασία στην Δ.Α. και έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης. Στα μειονεκτήματα τους έχουν το υψηλό κόστος απόκτησης, το οποίο είναι όμως μικρότερο από αυτό των πορώδων, η μειωμένη απόδοση σε σχέση με τους πορώδεις και η μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία τους.

Οι βασικότεροι παράγοντες για την απόδοση των διαχυτήρων είναι η ικανότητα μεταφοράς μάζας οξυγόνου για διάφορες παροχές αέρα και η απόδοση μεταφοράς οξυγόνου ε%.

Οι τυπικές τιμές των παροχών αέρα είναι 0,1-0,2 stm^3/min για τους λεπτής και 0,1-0,45 stm^3/min για τους χονδρής φυσαλίδας διαχυτήρες.

Η ε% εξαρτάται από το βάθος της δεξαμενής και ορίζεται από την εξίσωση 8:

$$\varepsilon = \frac{\text{μάζα απορροφούμενου από τα απόβλητα οξυγόνου} / \text{μονάδα χρόνου}}{\text{μάζα περιεχόμενου οξυγόνου στα απόβλητα} / \text{μονάδα χρόνου}}$$

Εξίσωση 8: Εξίσωση απόδοσης μεταφοράς οξυγόνου

Για λεπτές φυσαλίδες (πορώδεις διαχυτήρες) έχει τιμή 10-30%, για μέσες (πορώδεις διαχυτήρες) 6-15% και για χονδρές 4-6%(Metcalf and Eddy Inc, 2003), (Ramalho R.S, N. York,1977).

Συστήματα με την χρήση αεριστήρων

Κατά την διεργασία του αερισμού με επιφανειακούς αεριστήρων η μεταφορά οξυγόνου γίνεται από την ατμόσφαιρα στα απόβλητα μέσω της τυρβώδους επιφάνειας που δημιουργείται από την ανάδευση τους. οι επιφανειακοί αεριστήρες αποτελούν σημειακή πηγή οξυγόνου για την Δ.Α. Τα απόβλητα μέσω της ανάδευσης απομακρύνονται ακτινικά από την αεριστήρα με ταχύτητα συνεχώς μειούμενη και η μεταφορά οξυγόνου είναι μέγιστη στην φτερωτή του αεριστήρα και μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από αυτήν (Ramalho R.S,1977).

Οι τύποι των αεριστήρων είναι η υψηλής ταχύτητας (αξονικής ροής), χαμηλής ταχύτητας (ακτινικής ροής), και οι οριζόντιοι περιστρεφόμενοι αεριστήρες (βούρτσες) (Metcalf and Eddy, 2003).

Οι χαμηλής ταχύτητας επιφανειακοί αεριστήρες είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι καθώς έχουν σχετικά υψηλή απόδοση μεταφοράς οξυγόνου ($1,2-2,7 \text{ kg O}_2/\text{KWh}$), και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε Δ.Α. με διάφορες γεωμετρίες. Στην περίπτωση που η δεξαμενή αερισμού έχει μεγάλο βάθος τοποθετείται ένας αναρροφητήρας, και στην περίπτωση που η ανάμιξη δεν είναι επαρκής μία βοηθητική φτερωτή κάτω από την θέση της κύριας. Η ταχύτητα περιστροφής τους είναι $20-100 \text{ rpm}$, και η διάμετρος της φτερωτής φτάνει και τα $3,6$ μέτρα. Επίσης διαχωρίζονται σε επιπλέοντες και σταθερούς αεριστήρες. Οι σταθεροί είναι στερεωμένοι σε πλατφόρμες ή γέφυρες οι οποίες είναι σχεδιασμένες για να αντέχουν τις εισερχόμενες φορτίσεις και ροπές από την λειτουργία τους. Η φτερωτή τοποθετείται σε απόσταση από τον πυθμένα $0,5-0,7$ φορές τη διάμετρο της και το βύθισμα της μπορεί να μεταβληθεί με κατάλληλες διατάξεις ώστε να ρυθμίζεται η ισχύς της ανάμιξης και η μεταφερόμενη ποσότητα οξυγόνου (American Society of Civil Engineers, 1977).

Τα πλεονεκτήματα των αεριστήρων χαμηλής ταχύτητας είναι η μεγάλη ικανότητα ανάμιξης και η ευελιξία στην διαστασιολόγηση της δεξαμενής αερισμού. Σε αντίθεση με τους διαχυτήρες οι αεριστήρες δεν μπορούν να διατηρήσουν σταθερή την θερμοκρασία στην Δ.Α. και συχνά παρατηρείται η δημιουργία πάγου όταν η ατμόσφαιρα είναι ψυχρή. Επίσης οικονομικά είναι ασύμφοροι σε σχέση με τους διαχυτήρες υψηλής ταχύτητας (Metcalf and Eddy, 2003).

Οι αεριστήρες υψηλής ταχύτητας επιφανειακοί αεριστήρες χρησιμοποιούνται κυρίως για αεριζόμενες λίμνες, λόγω της υψηλής ταχύτητας περιστροφής τους η οποία κυμαίνεται από 300 μέχρι 1200 rpm . Αναλυτικότερα η χρήση τους περιορίζεται στις λίμνες διότι η υψηλή ταχύτητα περιστροφής τους διασπά τα στερεά και αυτό δημιουργεί προβλήματα καθίζησης στην Δ.Δ.Κ. Επίσης έχουν περιορισμένο βάθος ανάμιξης και μειωμένη μεταφορά οξυγόνου ($1,2-1,5 \text{ kg O}_2/\text{KWh}$) και γι αυτό χρησιμοποιούνται σε συστήματα με μεγάλους χρόνους παραμονής. Οι υψηλής ταχύτητας επιφανειακοί αεριστήρες είναι επιπλέοντες με μικρή διάμετρο φτερωτής. Η φτερωτή στην συγκεκριμένη περίπτωση τοποθετείται σε απόσταση από τον πυθμένα $0,6-0,65$ φορές την διάμετρο της (Metcalf and Eddy, 2003).

Τα πλεονεκτήματα των υψηλής ταχύτητας επιφανειακών αεριστήρων είναι το χαμηλό κόστος για την αγορά τους και η ευελιξία λειτουργίας τους. Όπως και οι χαμηλής ταχύτητας έχουν το μειονέκτημα της μείωσης της θερμοκρασίας των αποβλήτων στην περίπτωση ψύχους, η μικρή ικανότητα ανάμιξης και η δυσκολία στην συντήρησή τους (Στάμος, 1994).

Τέλος οι οριζόντιοι περιστρεφόμενοι αεριστήρες (βούρτσες) έχουν πολύ χαμηλή ταχύτητα περιστροφής (70 rpm) μεταφέρουν το οξυγόνο μέσω της διατάραξης της επιφάνειας των αποβλήτων, και κινούν τα απόβλητα σε οριζόντια κατεύθυνση. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε οξειδωτικές τάφρους, και σπανιότατα σε σωληνοειδούς ροής. Το μέγιστο μήκος τους είναι $7,5$ μέτρα και η μεταφορά οξυγόνου που παρέχουν κυμαίνεται από $1,5$ έως $2,1 \text{ kg O}_2/\text{KWh}$. Το κόστος για την απόκτησή τους είναι χαμηλό, έχουν εύκολη πρόσβαση για

συντήρηση, όμως η απόδοση τους δεν είναι σταθερή για όλες τις συνθήκες λειτουργίας και χρησιμοποιούνται μόνο σε συγκεκριμένης γεωμετρίας Δ.Α (Στάμος, 1994).

1.5.7. Δεξαμενή καθίζησης

Η Δ.Κ. χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών του ανάμικτου υγρού που εισέρχεται από την δεξαμενή αερισμού ώστε η εκροή από την Ε.Ε.Λ. να έχει χαμηλό οργανικό φορτίο, και την πύκνωση των στερεών ώστε παρέχεται στην Δ.Α. μέσω της ανακυκλοφορίας της ιλύος σταθερή συγκέντρωση MLSS. Επίσης μέσω της πύκνωσης των στερεών έχουμε μικρότερη ποσότητα ιλύος προς επεξεργασία άρα και μικρότερο κόστος λειτουργίας στην μονάδα.

Η απόδοση της καθίζησης εξαρτάται από παράγοντες που οφείλονται σε συνθήκες που επικρατούν στην δεξαμενή καθίζησης αλλά και σε συνθήκες που επικρατούν στην δεξαμενή αερισμού. Οι βασικότεροι είναι η συγκέντρωση των MLSS, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, το είδος του αερισμού, το βάθος, η επιφανειακή φόρτιση της Δ.Δ.Κ. και η παροχή ανακυκλοφορίας της ιλύος. Για να αυξήσουμε την απόδοση στην Δ.Δ.Κ. χρησιμοποιούμε διαχυτήρες στην Δ.Α. ώστε η συσσωμάτωση των MLSS να περιορίζεται ώστε να μην καθιζάνουν εύκολα στην Δ.Δ.Κ. Η απόδοση της Δ.Δ.Κ. είναι καλύτερη όταν οι υδραυλικοί χρόνοι παραμονής στην Δ.Α. είναι μεγάλοι, το βάθος της Δ.Δ.Κ. είναι μεγάλο, οι φορτίσεις στην Δ.Δ.Κ. είναι μικρές και οι παροχές ανακυκλοφορίας μεγάλες (Στάμος, 1994).

Το σχήμα των δεξαμενών καθίζησης μπορεί να είναι κυκλικό, ορθογωνικό, ή τετράγωνο. Η διάμετρος των κυκλικών δεξαμενών είναι συνήθως 10 -30 μέτρα (και δεν πρέπει να υπερβαίνει 10 φορές το βάθος τους), και το μήκος των ορθογωνικών δεν πρέπει να υπερβαίνει 10 φορές το βάθος τους. Οι ορθογωνικές και οι τετραγωνικές αν και έχουν ευκολία στην κατασκευή δεν χρησιμοποιούνται συχνά. Στις κυκλικές καθίζησης η εισροή γίνεται είτε κεντρικά με την αντίστοιχη εκροή να γίνεται από την περιφέρεια, είτε περιφερειακά με την αντίστοιχη εκροή επίσης περιφερειακά. Στις κυκλικές Δ.Δ.Κ. κεντρικής εισροής η επιφάνεια καλύπτει 3-6 % της συνολικής επιφάνειας της δεξαμενής και η ταχύτητα των αποβλήτων δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,05 m/sec. Γύρω από τη διάταξη εισροής είναι δυνατόν να υπάρχει διάταξη συσσωμάτωσης που δίνει την δυνατότητα καλύτερης συσσωμάτωσης των MLSS, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση της Δ.Δ.Κ. Η βέλτιστη θέση για την τοποθέτηση του υπερχειλιστή στις κυκλικές δεξαμενές κυκλικής εισροής είναι στα 0,67-0,75 της ακτίνας της δεξαμενής. Ο υπερχειλιστής πρέπει να προστατεύεται με κόφτρες επιπλεόντων, που εκτείνονται 20-30 cm κάτω από την επιφάνεια. Οι δεξαμενές καθίζησης με κεντρική εισροή είναι ευρέως χρησιμοποιούμενες λόγω του χαμηλού κόστους κατασκευής σε σχέση με αυτές της περιφερειακής εισροής, όμως οι δεξαμενές περιφερειακής εκροής έχουν το πλεονέκτημα της ευκολίας στην συλλογή των επιπλεόντων (TASK Committee on final Clarification, 1979).

Στην περίπτωση του χρησιμοποιούνται πολλές δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης στην σειρά πρέπει να διασφαλίζεται ομοιομορφία κατανομής παροχής και φορτίου στερεών

μεταξύ των δεξαμενών. Επίσης πρέπει να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή της ανακυκλοφορίας της λάσπης με την χρήση ξεχωριστών αντλιών επανακυκλοφορίας για κάθε δεξαμενή. Η επιλογή του αριθμού των αντλιών που θα τοποθετηθούν εξαρτάται από την διάταξη των Δ.Α., και το κόστος.

Το βάθος στην περιφέρεια της Δ.Δ.Κ. πρέπει να είναι αρκετό ώστε να μην έχουμε διαφυγή στερεών στην εκροή από την λάσπη που καθιζάνει στον πυθμένα. Το βάθος της δεξαμενής κυμαίνεται από 3 έως 5 μέτρα. Το βάθος κάτω από τον υπερχειλιστή πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,1 μέτρα για συγκέντρωση MLSS 2000 mg/L, το οποίο αυξάνεται 0,3 μέτρα για αντίστοιχη αύξηση 1000 mg/L. Στον πίνακα 7 παρατίθενται τα τυπικά βάθη των Δ.Δ.Κ (Στάμος, 1994).

Διάμετρος (m)	Ελάχιστο βάθος (m)	Βάθος σχεδιασμού (m)
<12	3,0	3,4
12-21	3,4	3,7
21-30	3,7	4,0
30-43	4,0	4,3
>43	4,3	4,6

Πίνακας 7; Τυπικά βάθη δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης.

Κατά τις περιόδους αιχμής ενός βιολογικού καθορισμού έχουμε αυξημένη παραγωγή VSS στην δεξαμενή αερισμού και απαιτείται βραχυπρόθεσμη αποθήκευση των στερεών στην δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης. Όταν οι δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης δεν είναι σχεδιασμένες για την παροχή αιχμής είναι δυνατόν να προστίθεται βάθος για το στρώμα λάσπης που θα αποθηκευτεί. Σημαντικό όμως είναι να εξετάζεται αν η δεξαμενή αερισμού έχει την ιδιότητα νιτροποίηση καθώς τα στερεά στην Δ.Δ.Κ. θα επιπλέουν και θα απελευθερώνεται αέριο άζωτο στην δεξαμενή (λόγω της απονιτροποίησης που λαμβάνει χώρα).

Το βάθος του στρώματος της λάσπης πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,2 – 1,5 μέτρα κάτω από τον υπερχειλιστή, ενώ το πάχος του στρώματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,9-1,2 μέτρα (US Environmental Protection Agency , 1977).

1.6. Διαχείριση ιλύος

Η ιλύς που αποβάλλεται από τις δεξαμενές καθίζησης έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό και παθογόνους μικροοργανισμούς. Η ακατέργαστη ιλύς η οποία περιέχει 70% οργανικά συστατικά και 30% ανόργανα συστατικά υποβάλλεται σε διεργασίες ώστε να αποκτήσει κατάλληλη ποιότητα για τελική διάθεση, η οποία δεν προκαλεί προβλήματα ρύπανσης. Η επεξεργασία της ιλύος γίνεται ώστε να μειωθεί ο όγκος της, να αφυδατωθεί και να αδρανοποιηθούν οι οργανικές ουσίες που περιέχει. Μετά την αδρανοποίηση η ιλύς αποτελείται από 45% οργανικά και 55% ανόργανα συστατικά.

Με βάση την περιεκτικότητα σε νερό η ιλύς χαρακτηρίζεται ως πολύ ρευστή (>85%), ξηρή (10-15%), κοκκώδης (35-45%) , σχετικά στερεή (60-65%), και πλαστική ή χυλώδης (65-75%). Από την συνολική ποσότητα του νερού που περιέχεται στην ιλύ το 70% είναι νερό πλήρωσης των κενών χώρων και απομακρύνεται με πάχυνση και φυγοκέντρωση, το 22%

είναι το προσκολλημένο νερό και το νερό των τριχοειδών φαινομένων το οποίο για να διαχωριστεί πρέπει να ασκηθούν μηχανικές δυνάμεις. Το υπόλοιπο 8% είναι το εσωτερικό νερό και το νερό που είναι προσροφημένο στις επιφάνειες των θρόμβων και των σωματιδίων που δεν διαχωρίζεται εύκολα και απαιτείται θέρμανση για την αφαίρεσή του. Το νερό των δύο τελευταίων κατηγοριών που προαναφέρθηκαν απαιτεί για την απομάκρυνση του διεργασίες αφυδάτωσης, αδρανοποίησης και θέρμανσης.

1.6.1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά της ιλύος

- **Χρώμα:** Η ακατέργαστη ιλύς έχει γκρίζο έως κιτρινωπό χρώμα. Η αδρανοποιηθείσα αναερόβια ιλύς έχει χρώμα μαύρο κυρίως λόγω της παρουσίας θειικού σιδήρου. Η αδρανοποιημένη ιλύς έχει καφέ χρώμα.
- **Οσμή:** Η ακατέργαστη ιλύς είναι πολύ δύσοσμη. Η αδρανοποιηθείσα αναερόβια ιλύς έχει οσμή πύσσας, ενώ η αδρανοποιηθείσα αερόβια έχει οσμή χώματος.
- **pH :** Το pH είναι χαρακτηριστική παράμετρος για τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την ζύμωση της ιλύος. Η πρώτη φάση της ζύμωσης, κατά την οποία γίνεται διάσπαση των σακχάρων και των λιπών σε οργανικά οξέα ονομάζεται όξινη ζύμωση. Η τελευταία φάση της ζύμωσης, στην οποία τα οργανικά οξέα και το CO₂ μετατρέπονται σε μεθάνιο, ονομάζεται αλκαλική ζύμωση. Οι δύο αυτές φάσεις της ζύμωσης πρέπει να βρίσκονται μεταξύ τους σε ισορροπία. Αυτό συμβαίνει όταν το pH στις δεξαμενές ζύμωσης είναι 7-7,5. Στην περίπτωση που έχουμε περίσσεια τροφής στον αντιδραστήρα ή παρατηρηθεί πτώση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του, η όξινη ζύμωση υπερισχύει της αλκαλικής και το pH μειώνεται στο 5-6. Στην περίπτωση αυτή η αλκαλική ζύμωση εμποδίζεται με αποτέλεσμα την μειωμένη παραγωγή μεθανίου, την αυξημένη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, και την πτώση της ποιότητας του εξερχόμενου προϊόντος.
- **Πτητικά οξέα:** Τα πτητικά οξέα είναι τα μικρομοριακά και άλλα οξέα τα οποία έχουν χαμηλό σημείο ζέσεως και είναι εύκολο να διαχωριστούν με απόσταξη. Χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί αν η ζύμωση είναι όξινη, κανονική ή αλκαλική.
- **Οργανικός άνθρακας, οργανική ύλη:** Από κάθε γραμμάριο άνθρακα των οργανικών ενώσεων της ιλύος μπορούν να παραχθούν 1,86 λίτρα βιοαερίου, και από κάθε γραμμάριο οργανικής ύλης παράγεται 1 λίτρο βιοαερίου.
- **Υπόλειμμα καύσης:** Με την παράμετρο αυτή προσδιορίζεται το ποσοστό των ανόργανων συστατικών της ιλύος. Η ξηρά ιλύς καίγεται στους 550°C σε χρόνο 30 λεπτών. Το υπόλειμμα καύσης ουσιαστικά είναι η απώλεια βάρους του δείγματος μετά την καύση, και εκφράζει την ποσότητα των οργανικών που κάηκαν κατά την καύση.
- **Υγρασία:** Η υγρασία προσδιορίζεται με την μέτρηση της απώλειας του βάρους της ιλύος μετά από ξήρανση στους 105 °C.
- **Θερμαντική ικανότητα:** Από την καύση της ιλύος παράγεται θερμότητα η οποία πρέπει να συνυπολογιστεί στις εγκαταστάσεις καύσης. Κατά μέσο όρο από κάθε γραμμάριο απώλειας καύσης παράγεται θερμότητα ίση με 26 kJ.
- **Ικανότητα αφυδάτωσης:** Είναι ο παράγοντας που προσδιορίζει την ευχέρεια αφυδάτωσης της ιλύος. Για τον υπολογισμό της υπολογίζεται το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την στερεοποίηση μία συγκεκριμένης ποσότητας ιλύος η οποία έχει διαστρωθεί πάνω σε ένα στρώμα άμμου.

- **Ικανότητα βιοαποδόμησης:** Είναι ο παράγοντας που προσδιορίζει την ταχύτητα με την οποία αποδομούνται οι οργανικές ουσίες της ιλύος. Για την παρακολούθηση των βιολογικών διεργασιών μετράται η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου συναρτήσει του χρόνου και της θερμοκρασίας. Ανάλογα με τα αποτελέσματα η ιλύς χαρακτηρίζεται ως καλώς, κακώς ή τυπικά βιοαποικοδομήσιμη.
- **Υδραυλικά χαρακτηριστικά :** Οι απώλειες των τριβών υπολογίζονται όπως και στα λύματα και στην συνέχεια πολλαπλασιάζεται η τιμή επί τρία.
- **Παθογόνοι και παρασιτικοί οργανισμοί:** Η ακατέργαστη ιλύς έχει πλήθος παθογόνων μικροοργανισμών. Κατά την διάρκεια της αλκαλικής ζύμωσης έχουμε την καταστροφή των περισσότερων παθογόνων μικροοργανισμών και των ωαρίων των παρασιτικών μικροοργανισμών. Για την χρήση του τελικού προϊόντος στην γεωργία είναι απαραίτητη η παστερίωση στους 70°C ή η ξήρανση του στους 100°C.
- **Αναλογία C:N:P:** Οι μικροοργανισμοί χρειάζονται συγκεκριμένη αναλογία θρεπτικών ώστε να έχουμε βέλτιστη βιολογική επεξεργασία. Στους αντιδραστήρες ζύμωσης πρέπει C:N=1:17 και N:P=1:7.

1.7. Μικροοργανισμοί του βιολογικού

Η βιολογικές διεργασίες για την επεξεργασία των υγρών απόβλητων αποτελούνται από μικτές κοινωνίες μίας μεγάλης ποικιλίας μικροοργανισμών, με κυριότερα τα βακτήρια, τα πρωτόζωα, τους μύκητες, τα τροχόζωα και σε μερικές περιπτώσεις τα φύκη. Οι προκαρυωτικοί οργανισμοί, έχουν το κυριότερο ρόλο στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Για τα υπάρχει αύξηση του μικροβιακού πληθυσμού στα απόβλητα πρέπει να υπάρχουν τα κατάλληλα θρεπτικά υλικά. Από την σύσταση του μικροβιακού κυττάρου μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες για τα θρεπτικά που απαιτούνται για την αύξηση του. Οι προκαρυώτες αποτελούνται από 80% νερό και 20% ξηρού υλικού, από το οποίο το 90% είναι οργανικό. Στον πίνακα 8 αναφέρονται οι τυπικές τιμές για την σύσταση των προκαρυωτικών κυττάρων (Madigal et al., 2000).

Συστατικό ή στοιχείο	% επί ξηρού βάρους
Κύριο κυτταρικό υλικό	
Πρωτεΐνες	55
Πολυσακχαρίτες	5,0
Λιπίδια	9,1
DNA	3,1
RNA	20,5
Άλλα (σάκχαρα, αμινοξέα)	6,3
Ανόργανα ιόντα	1,0

Ως κυτταρικά στοιχεία	
Άνθρακας	50,0
Οξυγόνο	22,0
Άζωτο	12,0
Υδρογόνο	9,0
Φώσφορος	2,0
Θείο	1,0
Κάλιο	1,0
Νάτριο	1,0
Ασβέστιο	0,5
Μαγνήσιο	0,5
Χλωριούχα	0,5
Σίδηρος	0,2
Άλλα ιχνοστοιχεία	0,3

Πίνακας 8: Τυπική σύσταση των βακτηριακών κυττάρων

Οι Hoover and Porges το 1952 πρότειναν ένα εμπειρικό τύπο για το οργανικό κλάσμα. Ο τύπος του είναι $C_5H_7O_2N$ και στην περίπτωση που θέλουμε να συνυπολογίσουμε το φώσφορο χρησιμοποιείται ο τύπος $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$.

Η επιβίωση και η αύξηση των μικροοργανισμών επηρεάζεται και από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, και το pH. Ο κάθε μικροοργανισμός έχει βέλτιστη ανάπτυξη σε μία περιορισμένου εύρους τιμή θερμοκρασίας και pH. Ανάλογα με την θερμοκρασιακή περιοχή στην οποία παρουσιάζουν καλύτερη λειτουργία, οι μικροοργανισμοί κατατάσσονται σε ψυχρόφιλους, μεσόφιλους και θερμόφιλους. Στον πίνακα 9 παρουσιάζονται οι θερμοκρασιακές περιοχές για κάθε μία κατηγορία (Madigan et al., 1997).

Τύπος	Θερμοκρασιακή περιοχή, °C	Βέλτιστη λειτουργίας, °C περιοχή
Ψυχρόφιλοι	10-30	12-18
Μεσόφιλοι	20-50	25-40
Θερμόφιλοι	35-75	55-65

Πίνακας 9: Θερμοκρασιακή κατάταξη των μικροοργανισμών

Το εύρος των τιμών pH στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν τα βακτήρια είναι 4-9,5, και το pH για την βέλτιστη αύξηση είναι μεταξύ του 6,5 και 7,5. Διάφορα αρχαιδιή μπορούν να

αναπτυχθούν σε θερμοφιλικές ή υπερθερμοφιλικές θερμοκρασίες (60-80 °C), σε υπερβολικά χαμηλό pH και σε υψηλή αλατότητα (Metcalf and Eddy,2003).

Για τον ορθό σχεδιασμό μία βιολογικής διεργασίας ή για την επιλογή της βιολογικής διεργασίας που θα χρησιμοποιηθεί είναι απαραίτητη η γνώση των βιοχημικών δραστηριοτήτων των μικροοργανισμών. Η κατάταξη των μικροοργανισμών ως προς τον δότη ηλεκτρονίων, το δέκτη ηλεκτρονίων, τις πηγές του κυτταρικού άνθρακα και τα τελικά προϊόντα περιγράφεται στον πίνακα 10 (Metcalf and Eddy,2003).

Τύπος βακτηρίων	Τυπική ονομασία της αντίδρασης	Πηγή άνθρακα	Δότης ηλεκτρονίων (οξειδωμένο υπόστρωμα)	Δέκτης ηλεκτρονίων	Προϊόντα
Αερόβια ετερότροφα	Αερόβια οξείδωση	Οργανικές ενώσεις	Οργανικές ενώσεις	O ₂	CO ₂ , H ₂ O
Αερόβια αυτότροφα	Νιτροποίηση	CO ₂	NH ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻	O ₂	NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻
	Οξείδωση σιδήρου	CO ₂	Fe(II)	O ₂	Fe(III)
	Οξείδωση θείου	CO ₂	H ₂ S, S ⁰ , S ₂ O ₃ ²⁻	O ₂	SO ₄ ²⁻
Προαιρετικά αυτότροφα	Απονιτροποίηση ανοξική αντίδραση	Οργανικές ενώσεις	Οργανικές ενώσεις	NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻	N ₂ , CO ₂ , H ₂ O
Αναερόβια ετερότροφα	Ζύμωση οξέων	Οργανικές ενώσεις	Οργανικές ενώσεις	Οργανικές ενώσεις	Πτητικά λιπαρά οξέα
		Οργανικές ενώσεις	Οργανικές ενώσεις	Fe(III)	Fe (II), CO ₂ , H ₂ O
	Αναγωγή θεικών	Οργανικές ενώσεις	Οργανικές ενώσεις	SO ₄	H ₂ S, CO ₂ , H ₂ O
	Μεθανιογένεση	Οργανικές ενώσεις	Πτητικά λιπαρά οξέα (VFAs)	CO ₂	Μεθάνιο

Πίνακας 10: κατάταξη των μικροοργανισμών ως προς τον δότη ηλεκτρονίων, το δέκτη ηλεκτρονίων, τις πηγές του κυτταρικού άνθρακα και τα τελικά προϊόντα

Πηγές άνθρακα

Οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν άνθρακα είτε από την οργανική ύλη είτε από το διοξείδιο του άνθρακα για την ανάπτυξη των κυττάρων. Αυτότροφοι ονομάζονται οι

μικροοργανισμοί που παράγουν κυτταρικό άνθρακα από το CO₂ , ενώ ετερότροφοι ονομάζονται οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούν οργανικό άνθρακα για το σχηματισμό της νέας βιομάζας. Για την μετατροπή του CO₂ σε ενώσεις κυτταρικού άνθρακα απαιτεί μία αναγωγική διαδικασία για την οποία είναι απαραίτητη καθαρή εισροή ενέργειας. Η ενεργειακή αυτή σπατάλη των αυτότροφων οργανισμών έχει ως αποτέλεσμα να έχουν χαμηλότερη απόδοση σε βιομάζα και σε ρυθμούς ανάπτυξης συγκρινόμενοι με τους ετερότροφους.

Πηγές ενέργειας

Η ενέργεια που απαιτείται για την κυτταρική σύνθεση προέρχεται είτε από φως είτε από αντιδράσεις χημικής οξείδωσης. Τα βακτήρια ανακτούν την απαιτούμενη ενέργεια από την οξείδωση οργανικών ή ανόργανων ενώσεων. οι οργανισμοί που χρησιμοποιούν το φως ως πηγή ενέργειας ονομάζονται **φωτότροφοι**, και διακρίνονται σε αυτότροφους (φύκη και φωτοσυνθετικά βακτήρια) και ετερότροφους (ορισμένα βακτήρια αναγωγής του θείου) . Οι μικροοργανισμοί που αντλούν την ενέργεια από χημικές αντιδράσεις **χημειότροφοι** και διακρίνονται σε αυτότροφους (βακτήρια νιτροποίησης) και ετερότροφους (πρωτόζωα, μύκητες και τα περισσότερα βακτήρια).

Οι χημικές αντιδράσεις με τις οποίες οι χημειότροφοι παράγουν ενέργεια είναι με τις οποίες οι χημειότροφοι παράγουν ενέργεια είναι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις που περιλαμβάνουν τη μεταφορά ηλεκτρονίων από ένα δότη ηλεκτρονίων σε ένα δέκτη ηλεκτρονίων. Στην περίπτωση που το οξυγόνο είναι ο δέκτης ηλεκτρονίων η αντίδραση καλείται **αερόβια** ενώ στις αντιδράσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται άλλοι δέκτες ηλεκτρονίων θεωρούνται **αναερόβιες**. Ο όρος ανοξικές αντιδράσεις χρησιμοποιείται για να διαχωριστεί η χρήση νιτρικών ή νιτρώδων ιόντων σε δέκτες ηλεκτρονίων, από την χρήση άλλων δεκτών κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Αναλυτικότερα σε ανοξικές συνθήκες έχουμε την αναγωγή των νιτρώδων ή των νιτρικών ιόντων σε αέριο άζωτο και αυτή η αντίδραση αναφέρεται ως βιολογική απονιτροποίηση.

Ένας ακόμα διαχωρισμός των μικροοργανισμών γίνεται με βάση το οξυγόνο. Οι μικροοργανισμοί οι οποίοι μπορούν να ικανοποιήσουν τις ενεργειακές του ανάγκες μόνο με οξυγόνο ονομάζονται υποχρεωτικά αερόβιοι. Μερικά βακτήρια μπορούν να χρησιμοποιήσουν οξυγόνο ή νιτρώδη/νιτρικά ιόντα ως δέκτες ηλεκτρονίων όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο οξυγόνο. Τα βακτήρια αυτά καλούνται προαιρετικά αερόβια βακτήρια.

Οι υποχρεωτικά αναερόβιοι μικροοργανισμοί παράγουν ενέργεια με ζύμωση και το οξυγόνο είναι τοξικό για αυτούς. Οι προαιρετικά αναερόβιοι έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται με την παρουσία ή την απουσία οξυγόνου. Οι πραγματικοί προαιρετικά αναερόβιοι οργανισμοί μπορούν να αλλάξουν από μεταβολισμό ζύμωσης σε αερόβιο αναπνευστικό μεταβολισμό ανάλογα με την παρουσία ή την απουσία μοριακού οξυγόνου. Οι αερανεκτικοί αναερόβιοι έχουν αυστηρά μεταβολισμό ζύμωσης αλλά είναι σχετικά μη ευαίσθητοι στην παρουσία μοριακού οξυγόνου.

Απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά και σε παράγοντες αύξησης

Τα περιοριστικά συστατικά μπορεί να είναι κάποιες φορές περιοριστικοί παράγοντες για μικροβιακή κυτταρική σύνθεση και αύξηση. Τα κυριότερα οργανικά θρεπτικά χαρακτηριστικά (παράγοντες αύξησης) είναι ενώσεις τις οποίες χρειάζεται ένας οργανισμός ως πρόδρομες ενώσεις ή ως συστατικά του οργανικού κυτταρικού υλικού, οι οποίες δεν μπορούν να συντεθούν από άλλες πηγές άνθρακα. Τα κυριότερα ανόργανα θρεπτικά συστατικά που απαιτούνται από τους μικροοργανισμούς είναι τα K, S, N, P, Mg, Fe, Ca, Na και Cl (Madigan et al, 2000).

Οι κυριότεροι παράγοντες ανάπτυξης είναι τα αμινοξέα, οι βάσεις αζώτου και οι βιταμίνες. Κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων κάποιες φορές απαιτείται η προσθήκη θρεπτικών στις διεργασίες βιολογικής επεξεργασίας. Οι πιο συνηθισμένες περιπτώσεις έλλειψης είναι αζώτου και φωσφόρου και τις συναντάμε σε βιομηχανικά απόβλητα από διεργασίες τροφίμων ή αποβλήτων με πολύ υψηλό οργανικό περιεχόμενο (Metcalf and Eddy, 2003).

Βακτηριακή ανάπτυξη

Στις εφαρμογές επεξεργασίας υγρών αποβλήτων παράγεται συνεχώς βιομάζα καθώς το υπόστρωμα των υγρών αποβλήτων καταναλώνεται και βιοαποικοδομείται.

Τα βακτήρια μπορούν να αναπαραχθούν με διαίρεση, αγενώς ή με εκβλάστηση. Κατά την διαίρεση το αρχικό κύτταρο μετατρέπεται σε δύο νέους οργανισμούς. Ο χρόνος που απαιτείται για κάθε διαίρεση ξεκινά από 20 λεπτά και φτάνει έως και μερικές ημέρες. Στα συστήματα βιολογικής επεξεργασίας τα βακτήρια λόγω περιβαλλοντικών περιορισμών δεν διαιρούνται συνεχώς. Επίσης η κυτταρική διαίρεση συμβαίνει παράλληλα με την οξείδωση οργανικών ή ανόργανων ενώσεων.

1.7.1. Μικροοργανισμοί στην δεξαμενή αερισμού

Στις αερόβιες διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας, οι οποίες όπως προαναφέραμε χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του οργανικού υλικού, αναπτύσσεται μία ποικιλία μικροοργανισμών. Τα αερόβια ετερότροφα βακτήρια που βρίσκονται στις διεργασίες αυτές, μπορούν να παράγουν εξωκυτταρικά πολυμερή που έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό βιολογικών συσσωματωμάτων. Τα συσσωματώματα αυτά μπορούν να διαχωριστούν από το επεξεργασμένο υγρό με καθίζηση με βαρύτητα. Το επεξεργασμένο υγρό έχει χαμηλές τιμές βακτηρίων και αιωρούμενων στερεών. Τα πρωτόζωα που βρίσκονται στις δεξαμενές αερισμού, βοηθούν στην διαύγαση των εκροών καθώς καταναλώνουν τα ελεύθερα βακτήρια και τα κολλοειδή σωματίδια. Τα πρωτόζωα απαιτούν ένα μεγαλύτερο χρόνο παραμονής των στερεών (SRT), από αυτό των ετερότροφων βακτηρίων, είναι ευαίσθητα σε τοξικές ουσίες και αναπτύσσονται καλύτερα σε συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου μεγαλύτερες από 1 mg/L. Οι ιδιαιτερότητες του αυτές τους καθιστούν καλό δείκτη σταθερής λειτουργίας. Σε διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας συναντώνται και τροχόζωα, νηματωδείς και άλλοι πολυκύτταροι οργανισμοί.

Οι οργανισμοί όμως προκαλούν και προβλήματα στις διεργασίες με κυριότερο αυτό της διόγκωσης της ιλύος, όπου τα βιολογικά συσσωματώματα παρουσιάζουν ανεπαρκείς

ιδιότητες καθίζησης. Σε ακραίες περιπτώσεις διόγκωσης, η εκροή έχει υψηλή συγκέντρωση σε στερεά και η απόδοση της επεξεργασίας μειώνεται. Έχουν παρατηρηθεί δύο τύποι διόγκωσης, η παχύρρευστη και αυτή που οφείλεται στους νηματοειδείς.

Η παχύρρευστη διόγκωση, προκαλείται από μία υπερβολική ποσότητα εξωκυτταρικών πολυμερών, που παράγουν ιλύ γλοιώδους υφής, με μία σύσταση ζελατινοειδή (Wanner,1994). Τα πολυμερή σε αυτή την περίπτωση είναι υδρόφιλα και η ενεργός ιλύς συγκρατεί μεγάλες ποσότητες ύδατος με αποτέλεσμα την υδαρή διόγκωση. Η παραγόμενη ιλύς έχει χαμηλή πυκνότητα με χαμηλή ταχύτητα καθίζησης και φτωχή συμπύκνωση. Στα συστήματα με περιορισμένα θρεπτικά ή σε συστήματα με υψηλά φορτία υγρών αποβλήτων που έχουν ένα υψηλό ποσό εύκολα αποικοδομίσιμου COD παρατηρείται παχύρρευστη διόγκωση.

Η διόγκωση λόγω των νηματοειδών προκαλείται από την ανάπτυξη των νηματοειδών οργανισμών ή από οργανισμούς που μπορούν να αναπτυχθούν σε μία νηματοειδή μορφή κάτω από δυσμενείς συνθήκες και να είναι η μορφή που κυριαρχεί όταν εμφανίζεται διόγκωση. Η συνηθέστερη μορφή διόγκωσης είναι αυτή των οργανισμών που αναπτύσσονται σε νηματοειδή μορφή, και σε αυτή τα βακτήρια προσκολλούνται με τη μορφή νηματοειδών μονοκύτταρων μικροοργανισμών από άκρη σε άκρη και οι νηματοειδείς προεξέχουν από τα συσσωματώματα της ιλύος. Αυτή η δομή οδηγεί σε φτωχή καθίζηση λόγω αυξημένης επιφάνειας ως προς την μάζα.

Επίσης πρόβλημα αποτελεί ο αφρισμός που έχει συσχετιστεί με την ανάπτυξη των βακτηρίων του γένους *Nocardia* και *Microthrix* (Pitt and Jenkins,1990), τα οποία έχουν υδρόφοβες κυτταρικές επιφάνειες και προσκολλώνται στις επιφάνειες των φυσαλίδων του αέρα, σταθεροποιώντας τις φυσαλίδες προς σχηματισμό αφρού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τις υψηλές συγκεντρώσεις μικροοργανισμών στον αφρό πάνω στο μικτό υγρό. Το *Nocardia* έχει νηματοειδή δομή με αποτέλεσμα να εμπεριέχεται μέσα στα σωματίδια των συσσωματωμάτων. Το *Microthrix parvicella* έχει λεπτές ίνες που εκτείνονται από τα συσσωματώματα. Ο σχηματιζόμενος αφρός έχει μεγάλη πυκνότητα, το χρώμα του είναι καφέ και μπορεί να συσσωρευτεί σε πάχος από 0,5 έως 1 μέτρο. Σε εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν διαχυτήρες με υψηλή παροχή αέρα έχουμε συχνότερο σχηματισμό του αφρού. Ο αφρισμός των δεξαμενών αερισμού μπορεί να οδηγήσει και σε αφρισμό στους χωνευτήρες. Η συχνότερη αιτία εμφάνισης των δύο βακτηρίων είναι τα λίπη και τα έλαια στα υγρά απόβλητα.

1.7.2. Βιολογική νιτροποίηση

Η νιτροποίηση περιγράφει την βιολογική επεξεργασία δύο σταδίων κατά την οποία η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρώδη τα οποία οξειδώνονται σε νιτρικά ιόντα. Στις διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας η νιτροποίηση γίνεται παράλληλα με την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου στην ίδια διεργασία. Η διεργασία αποτελείται από μία δεξαμενή αερισμού, μία δεξαμενή καθίζησης και ένα ρεύμα ανακυκλοφορίας της ιλύος. Επειδή τα βακτήρια που είναι υπεύθυνα για την νιτροποίηση έχουν πολύ μικρότερους ρυθμούς ανάπτυξης από τα βακτήρια που καταναλώνουν το οργανικό φορτίο (ετερότροφα βακτήρια), οι δεξαμενές που σχεδιάζονται για νιτροποίηση έχουν πολύ μεγαλύτερους

χρόνους παραμονής, και υδραυλικούς χρόνους παραμονής σε σχέση με τα συστήματα που απομακρύνουν μόνο το BOD. Τα βακτήρια νιτροποίησης είναι αερόβια αυτότροφα και χωρίζονται σε δύο ομάδες. Στο πρώτο στάδιο της νιτροποίησης αυτότροφα βακτήρια οξειδώνουν την αμμωνία σε νιτρώδη. Στο δεύτερο στάδιο νιτροποίησης άλλη ομάδα από αυτότροφα βακτήρια οξειδώνει τα νιτρώδη προς νιτρικά ιόντα.

Ο Winogradsky (1891) μετά από πειράματα στην νιτροποίηση κατέληξε ότι τα γένη των βακτηρίων που παρατηρούνται στην νιτροποίηση είναι τα αυτότροφα βακτήρια *Nitrosomonas* και *Nitrobacter*. Τα πρώτα δρουν στο πρώτο στάδιο και τα δεύτερα στο δεύτερο. Άλλα γένη αυτότροφων βακτηρίων που οξειδώνουν την αμμωνία σε νιτρώδη είναι τα *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus*, *Nitrosorobrio* (Painter, 1970). Αντίστοιχα εκτός από τα *Nitrobacter* άλλα είδη του γένους Nitro είναι τα *Nitrococcus*, *Nitrospira*, *Nitrospina*, και *Nitroeystis*.

1.7.3. Βιολογική απονιτροποίηση

Κατά την διεργασία της βιολογικής απονιτροποίησης έχουμε την αναγωγή των νιτρικών οξείδια του αζώτου, υπεροξείδια του αζώτου και αέριο άζωτο. Η βιολογική απομάκρυνση του αζώτου περιλαμβάνει την νιτροποίηση και την απονιτροποίηση. Η απονιτροποίηση γίνεται από αυτότροφα και ετερότροφα βακτήρια.

Οι ετερότροφοι οργανισμοί περιλαμβάνουν τα γένη *Achromobacter*, *Ancientobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Chromobacterium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Hypomicrobium*, *Moraxella*, *Neisseria*, *Paracoccus*, *Propionibacterium*, *Rhizobium*, *Rhodopseudomonas*, *Spirillum* και *Vibrio* (Payne, 1981). Τα πιο συνηθισμένα είναι τα είδη του *Pseudomonas* καθώς χρησιμοποιούν μία μεγάλη ποικιλία οργανικών ενώσεων όπου συμπεριλαμβάνονται το οξυγόνο, το υδρογόνο, η μεθανόλη, οι υδατάνθρακες τα οργανικά οξέα, οι αλκοόλες, τα βενζοϊκά άλατα και άλλες αρωματικές ενώσεις (Payne, 1981). Τα περισσότερα από αυτά τα βακτήρια είναι υποχρεωτικά αερόβιοι μικροοργανισμοί με την ικανότητα να χρησιμοποιούν το O₂ καθώς και τα νιτρικά και τα νιτρώδη, ενώ μερικά μπορούν να πραγματοποιήσουν ζύμωση απουσία του οξυγόνου και των νιτρικών. Τα αυτότροφα βακτήρια που συμμετέχουν στην απονιτροποίηση χρησιμοποιούν υδρογόνο και ανοιγμένες θεικές ενώσεις ως δότες ηλεκτρονίων κατά την διάρκεια της διεργασίας. Οι δύο ομάδες μπορούν να αναπτυχθούν ετεροτροφικά αν είναι παρούσα μία πηγή άνθρακα (Gayle, 1989).

Η απομάκρυνση του αζώτου μπορεί να επιτευχθεί επίσης από ετερότροφα και αυτότροφα νιτροποιητικά βακτήρια κάτω από ορισμένες συνθήκες και από ένα μοναδικό βακτήριο που σχετίζεται με την διαδικασία Αναπνοή. Η απονιτροποίηση μπορεί να συμβεί κάτω από αερόβιες συνθήκες από ετερότροφα νιτροποιητικά βακτήρια (Robertson and Kuenen, 1990), έτσι ώστε να υπάρχει ταυτόχρονη νιτροποίηση και απονιτροποίηση με την μετατροπή της αμμωνίας σε αέριο άζωτο. Τα ετερότροφα βακτήρια *Paracoccus pantotrophus* επιτελούν ταυτόχρονη οξείδωση αμμωνίας και αναγωγή νιτρικών σε αερόβιες συνθήκες με εύκολα διαθέσιμο υπόστρωμα άνθρακα. Επειδή η παροχή του άνθρακα είναι περιοριστική σε αερόβια συστήματα ενεργού ιλύος, ανάπτυξη των ετερότροφων νιτροποιητών είναι μικρή (van Loosdrecht and Jetten, 1998).

Αυτότροφα νιτροποιητικά βακτήρια (όπως το *Nitrosomonas europaea*), μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα νιτρώδη ώστε να οξειδώσουν την αμμωνία και να παράγουν αέριο άζωτο στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει διαλυμένο οξυγόνο (Bock et al, 1995). Σε αερόβιες συνθήκες τα βακτήρια αυτά μπορούν να οξειδώσουν την αμμωνία με οξυγόνο ως δέκτη ηλεκτρονίων.

Στην διεργασία Αναπνοή έχουμε οξείδωση της αμμωνίας με αναγωγή των νιτρώδων για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 20 °C (Strous et al, 1997). Τα βακτήρια της διεργασίας αυτής δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν οξυγόνο για την οξείδωση της αμμωνίας. Το βακτήριο ανήκει στην τάξη *Planctomycetales*.

1.8. Μικροοργανισμοί Sewper RX

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την αστικοποίηση, η ατομική ημερήσια κατανάλωση νερού έχει αυξηθεί. Επίσης η ανάπτυξη των βιομηχανιών έχει οδηγήσει στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων που απαιτούν επεξεργασία πριν την διάθεση τους στους αποδέκτες. Όπως προαναφέρθηκε τα συστήματα ενεργού ιλύος πλήρους μίξης είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα για την επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων. Οι μονάδες αυτές έχουν πολλά πλεονεκτήματα όπως ο εύκολος σχεδιασμός, η εύκολη παρακολούθηση της λειτουργίας της Ε.Ε.Λ., και εκροές οι οποίες βρίσκονται εντός των νομοθετικών ορίων. Επίσης η αποδοτικότητα του συστήματος είναι πολύ υψηλή τόσο λόγω των διεργασιών, αλλά και της εμπειρίας που έχει αποκτηθεί από την εκτεταμένη χρήση αυτών των συστημάτων.

Όταν εξετάζονται τα πλεονεκτήματα μίας μονάδας επεξεργασίας όμως πρέπει να συμπεριλαμβάνεται και ο οικονομικός παράγοντας. Αν και τα συστήματα ενεργού ιλύος δεν χρησιμοποιούν ευρέως χημικά ώστε να αυξάνουν το κόστος λειτουργίας, απαιτούν πολύ μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία τους. Πιο συγκεκριμένα η λειτουργία των διαυγαστήρων στην δεξαμενή αερισμού καταναλώνει το μεγαλύτερο ποσοστό του ρεύματος που χρειάζεται ένας βιολογικός για την λειτουργία του. Επίσης πολύ υψηλό κόστος έχει η διαχείριση της παραγόμενης ιλύος, είτε αυτή γίνεται με βιολογικές διεργασίες εντός της Ε.Ε.Λ. είτε προωθείται σε ΧΥΤΑ.

Είναι λοιπόν αναγκαίο να εφαρμοστούν νέες τεχνολογίες για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Στις περιπτώσεις που η Ε.Ε.Λ. βρίσκεται στην φάση ης ανέγερσης μπορούμε να εφαρμόσουμε εναλλακτικές τεχνολογίες που αντικαθιστούν την δεξαμενή αερισμού όπως για παράδειγμα τα βιολογικά φίλτρα. Τα βιολογικά φίλτρα είναι μία διεργασία προσκολλημένης βιομάζας, και η λειτουργία τους στηρίζεται στον σχηματισμό ενός βιοφίλμ στο εσωτερικό των δεξαμενών στο οποίο συναντάμε πλήθος μικροοργανισμών που καταναλώνουν λάσπη. Επίσης σε μικρούς οικισμούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεξαμενές σταθεροποίησης.

Στις εγκαταστάσεις όμως που είναι στο στάδιο της λειτουργίας η αντικατάσταση των συστημάτων είναι οικονομικά ασύμφορη διαδικασία. Οι τεχνολογίες λοιπόν που θα πρέπει να εφαρμοστούν ουσιαστικά πρέπει να μειώσουν το κόστος λειτουργίας της δεξαμενής αερισμού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μειώνοντας το χρόνο παραμονής των υγρών

απόβλητων σε αυτή ή μειώνοντας τον όγκο τους ώστε να επεξεργάζεται στον ίδιο χρόνο μεγαλύτερη ποσότητα λύματος.

Οι εναλλακτικές τεχνολογίες για την επεξεργασία της ιλύος πρέπει να περιλαμβάνουν τεχνικές που να στοχεύουν στην μείωση της ποσότητας της παραγόμενης λάσπης, ώστε να έχουμε και μειωμένο κόστος κατά την επεξεργασία της.

Αυτός είναι και ο σκοπός της παρούσας μελέτης, η οποία εξετάζει την αποδοτικότητα που έχει η χρήση των εξειδικευμένων μικροοργανισμών Sewper Rx στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Η χρήση εξειδικευμένων μικροοργανισμών μειώνει τον όγκο των αποβλήτων λόγω της κατανάλωσης της ιλύος, μειώνει τον χρόνο παραμονής των αποβλήτων και προσφέρει και μία ποιοτικότερη εκροή. Από την μείωση της ποσότητας της παραγόμενης ιλύος έχουμε και μείωση του κόστους για την μετέπειτα επεξεργασία της. Επίσης το κόστος για την απόληψη των μικροοργανισμών είναι πολύ μηδαμινό συγκρινόμενο με αυτό που προκύπτει από την αντικατάσταση της δεξαμενής αερισμού.

Πιο αναλυτικά έχουμε χρησιμοποιήσει ένα μίγμα μικροοργανισμών, θρεπτικών συστατικών και ενζύμων που έχει εμπορική ονομασία Sewper Rx, της εταιρίας Reliant Water Technologies. Επειδή η χρήση του Sewper Rx είναι εμπορική και αποτελεί πατέντα της εταιρίας οι γνώσεις μας για την σύσταση του μίγματος δεν είναι πολλές. Το μίγμα έχει μορφή κόκκων και οι μικροοργανισμοί που περιέχει είναι βακτήρια. Τα βακτήρια που περιέχει είναι μη παθογόνα, μη τοξικά και φιλικά προς το περιβάλλον. Το μίγμα μπορεί να διατηρηθεί και σε συνθήκες δωματίου για διάστημα ενός χρόνου χωρίς να χάσει τις ιδιότητές του.

Η προσθήκη του μίγματος γίνεται απευθείας στην δεξαμενή αερισμού (χωρίς καλλιέργεια), και χωρίς ειδικό εξοπλισμό. Οι μικροοργανισμοί Sewper Rx έχουν την ιδιότητα να διασπούν οργανική λάσπη, λίπη τα έλαια, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και κυτταρίνη. Η μείωση της λάσπης σύμφωνα με τα στοιχεία της εταιρίας είναι πάνω από 80%(από τον πρώτο μήνα) και σε μικρό χρονικό διάστημα δεν έχουμε καθόλου παραγόμενη λάσπη. Από την πρώτη κιάλας εβδομάδα χρήσης του μίγματος έχουμε και απομάκρυνση φωσφόρου, και απονιτροποίηση χωρίς της ανάγκη για πρόσθετη επεξεργασία και αυτό ουσιαστικά εξαλείφει τις επιβλαβείς οσμές. Επίσης από την διαδικασία αυτή έχουμε μόνα υποπροϊόντα το νερό το διοξείδιο του άνθρακα, μερικά υπόλοιπα ανόργανα στερεά.

Κεφάλαιο 2^ο –Σκοπός και περιγραφή του πειράματος

2.1. Σκοπός της παρούσας εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη επίδρασης των μικροοργανισμών Sewper Rx σε πιλοτική εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με την μέθοδο της στην ενεργού ιλύος. Για την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν αγροτοβιομηχανικά απόβλητα και πιο αναλυτικά, απόβλητα από οينوποιείο που εδρεύει στα Χανιά. Το απόβλητο που επιλέχθηκε είχε παρά πολύ υψηλό οργανικό φορτίο και κατ'επέκταση μεγάλη θολερότητα, και για να είναι δυνατή η επεξεργασία του, εφαρμόσαμε αραίωση στην δεξαμενή εισόδου, έτσι ώστε να προσομοιάζει στα χαρακτηριστικά των αστικών υγρών αποβλήτων

Τα πειράματα χωρίστηκαν σε δύο φάσεις λειτουργίας. Αρχικά μελετήθηκε η λειτουργία της πιλοτικής μονάδας ενεργού ιλύος (χαρακτηριστικά της εισροής, της εκροής της εγκατάστασης και η παραγωγή ιλύος) στην οποία η βιομάζα αναπτύσσονταν με τον συμβατικό τρόπο, σε δύο χρόνους παραμονής.

Στην δεύτερη φάση των πειραμάτων έγινε προσθήκη μικρής ποσότητας μικροοργανισμών Sewper Rx, στην δεξαμενή αερισμού, και αφού αναπτύχθηκαν, μελετήθηκε η εκ νέου η συμπεριφορά του συστήματος. Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν τρεις κύκλοι πειραμάτων. Κατά τον πρώτο διατηρηθήκαν σταθερές τις αρχικές συνθήκες ώστε να μελετηθεί η απόδοση της εγκατάστασης πριν και μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών. Στην συνέχεια διπλασιάστηκε η παροχή τόσο στην είσοδο όσο και στο ρεύμα ανακυκλοφορίας της λάσπης ώστε να δοκιμαστεί η αποδοτικότητα του συστήματος σε μικρούς χρόνους παραμονής του αποβλήτου. Κατά την τρίτη δοκιμή πενταπλασιάστηκε η συγκέντρωση του αποβλήτου στην παροχή εισόδου, ώστε να ελεγχθεί η αποδοτικότητα των μικροοργανισμών Sewper Rx σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Για να έχουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα για την λειτουργία της πιλοτικής μονάδας και την απόδοση των μικροοργανισμών, εξετάστηκε οπτικά η μικροβιακή σύνθεση της παραγόμενης λάσπης καθώς και των υγρών αποβλήτων από κάθε διεργασία, με την χρήση μικροσκοπίου. Η παρατήρηση έγινε πριν και μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx.

Για να μπορέσουμε να έχουμε άμεση σύγκριση της αρχικής λειτουργίας και της λειτουργίας μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών, προσπαθήσαμε να διατηρήσουμε σταθερές συνθήκες λειτουργίας οι οποίες περιλάμβαναν:

- Ίδιο δείγμα εισόδου καθημερινά
- Ίδιες δεξαμενές
- Σταθερή παροχή αέρα στην δεξαμενή αερισμού
- Ίδιες μεθόδους μέτρησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων από το κάθε στάδιο της εγκατάστασης
- Διατήρηση σταθερής ποσότητας λάσπης στην δεξαμενή καθίζησης
- Σταθερή θερμοκρασία στους 20 °C καθ όλη την διάρκεια των πειραμάτων

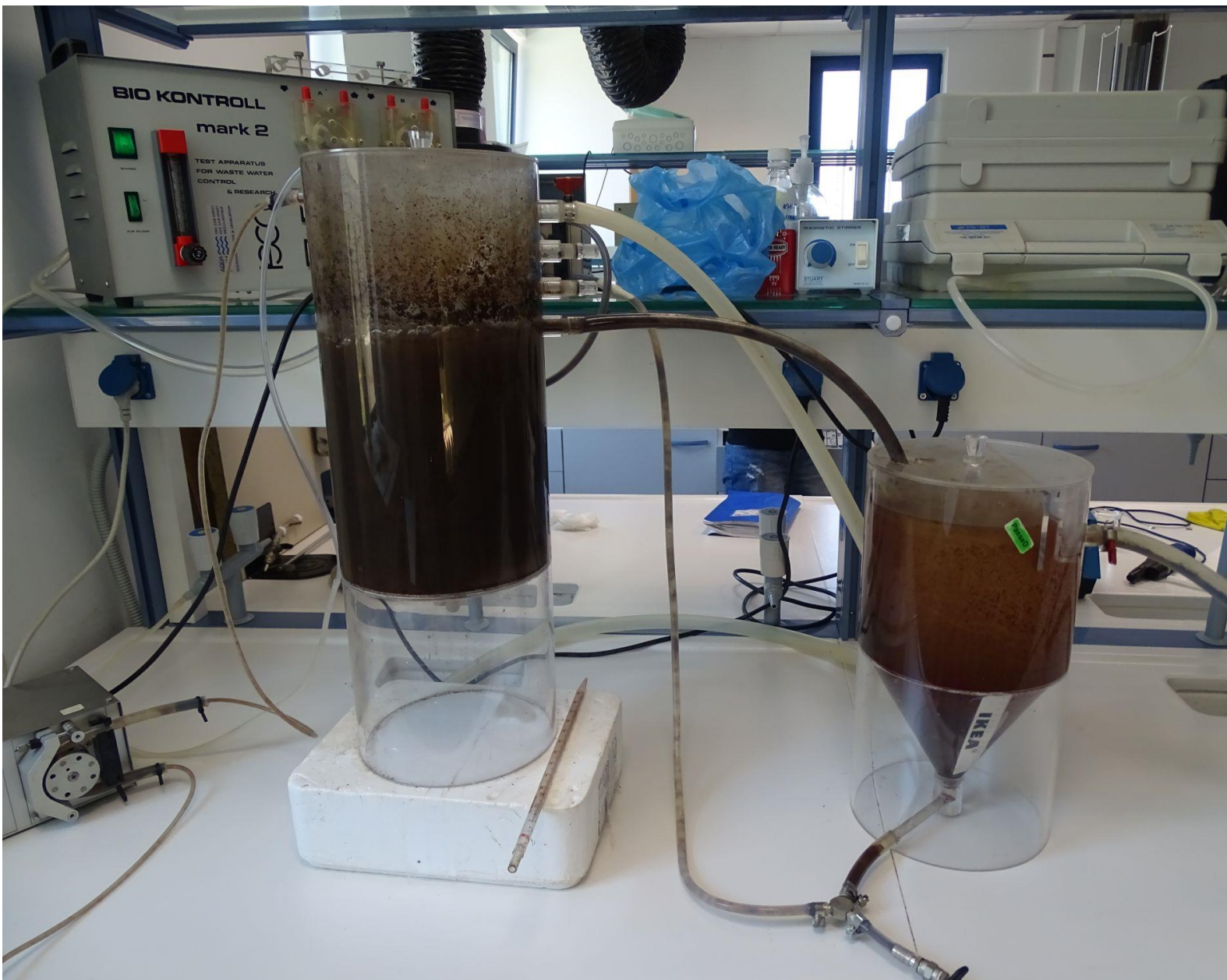
Η πιλοτική μονάδα τέθηκε σε λειτουργία 2 εβδομάδες πριν την έναρξη των πειραμάτων και στο χρονικό αυτό διάστημα, δημιουργήθηκε επαρκής ποσότητα βιομάζας και σταθερές συνθήκες λειτουργίας για την έναρξη της μελέτης μας. Η διάρκεια των πειραμάτων ήταν 3 μήνες και σε αυτό το διάστημα ελέγχαμε καθημερινά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της εισροής και της εκροής. Στα παρακάτω κεφάλαια θα γίνει εκτενέστερη ανάλυση όσων προαναφέρθηκαν.

2.2. Δεξαμενή αερισμού και δεξαμενή καθίζησης

Η πιλοτική μονάδα αποτελείται από μία δεξαμενή αερισμού και μία δεξαμενή καθίζησης συνδεδεμένες σε σειρά. Η δεξαμενή καθίζησης έχει ρεύμα για την ανακυκλοφορία της υλούς που περιγράφεται στην συνέχεια. Οι δεξαμενές ήταν κατασκευασμένες από υλικό Plexiglas. Η δεξαμενή αερισμού είχε όγκο 5,9 λίτρα και η δεξαμενή καθίζησης 5,85 λίτρα. Στις εικόνες 8,9 παρατίθεται η πειραματική διάταξη:



Εικόνα 8: Πειραματική διάταξη



Εικόνα 9: Πειραματική διάταξη

Η δεξαμενή αερισμού είχε σχήμα κυλινδρικό και το πάνω μέρος της είχε αποσπώμενο καπάκι. Η είσοδος του υγρού απόβλητου γινόταν μέσω οπής στο πλάγιο μέρος της δεξαμενής. Το κάτω μέρος της δεξαμενής ήταν κλειστό και είχε μία οπή από την οποία διοχετεύονταν ο αέρας. Στο πλάγιο μέρος της δεξαμενής υπήρχε προσαρμοσμένος ένας μικρός κύλινδρος στον οποίο εισέρχονταν η ιλύς από το ρεύμα ανακυκλοφορίας. Η είσοδος της ιλύος γίνονταν στον πάτο της δεξαμενής από κυκλική οπή. Η έξοδος της δεξαμενής βρισκόταν στο πλάγιο μέρος της. Τέλος στο άνω μέρος της δεξαμενής υπήρχε οπή ώστε να εκρέουν τα απόβλητα στην περίπτωση που έχουμε έμφραξη της δεξαμενής, ώστε να αποφύγουμε την υπερχειλίση.

Οι διαστάσεις της δεξαμενής αερισμού ήταν:

- Συνολικός Ύψος δεξαμενής= 56 cm
- Ύψος του υγρού στην δεξαμενή= 21 cm
- Ωφέλιμο ύψος του αντιδραστήρα= 37 cm
- Εσωτερική διάμετρος= 19 cm
- Εξωτερική διάμετρος= 20 cm
- Διάμετρος οπής αερισμού= 1 cm
- Διάμετρος οπής ανακυκλοφορίας ιλύος= 1 cm
- Διάμετρος οπής εισόδου του λύματος= 1 cm
- Διάμετρος οπής εξόδου του λύματος= 1 cm

Η δεξαμενή καθίζησης είχε σχήμα κυλινδρικό στο πάνω μέρος της, και κωνικό στο κάτω μέρος όπου συσσωρεύονταν η ιλύς. Το επάνω μέρος της δεξαμενής είχε ένα αποσπώμενο καπάκι και το κάτω είχε μία κυκλική οπή. Από την οπή αυτή είχαμε έξοδο της λάσπης. Η έξοδος χωρίζονταν σε δύο μέρη, αυτό της ανακυκλοφορίας της λάσπης, που επέστρεφε την ιλύ στην δεξαμενή αερισμού και αυτό της περισσειας της λάσπης από το οποίο αντλούσαμε την ημερήσια παραγόμενη ποσότητα της ιλύος. Η ανακυκλοφορία της ιλύος γινόταν με περισταλτική αντλία. Η είσοδος του απόβλητου στην δεξαμενή καθίζησης γινόταν μέσω σωλήνα που είχαμε προσαρμόσει στο άνω μέρος της δεξαμενής. Η έξοδος γινόταν μέσω υπερχειλίσης από το πλάγιο τμήμα της δεξαμενής.

Οι διαστάσεις της δεξαμενής καθίζησης ήταν:

- Συνολικό ύψος δεξαμενής= 38 cm
- Διάμετρος οπής εισόδου του λύματος= 2,5 cm

Κυλινδρικό τμήμα:

- Ωφέλιμο Ύψος κυλινδρικού τμήματος= 21 cm
- Ύψος του υγρού στην δεξαμενή= 15 cm
- Εσωτερική διάμετρος= 19 cm
- Εξωτερική διάμετρος= 20 cm

Κωνικό τμήμα:

- Ωφέλιμο Ύψος κωνικού τμήματος= 17 cm
- Μέγιστη Εσωτερική διάμετρος= 19 cm
- Μέγιστη Εξωτερική διάμετρος= 20 cm
- Διάμετρος οπής ιλύος= 1,5 cm

2.2.1 Δημιουργία βιομάζας και διατήρηση σταθερών συνθηκών

Η πιλοτική μονάδα τέθηκε σε λειτουργία για 2 εβδομάδες πριν την έναρξη των πειραμάτων. Το υγρό απόβλητο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ίδιο απόβλητο οиноποιείου που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα της εργασίας. Η λειτουργία αυτή ήταν απαραίτητη καθώς έπρεπε να παραχθεί επαρκής ποσότητα λάσπης στην δεξαμενή καθίζησης. Με την ανάπτυξη της βιομάζας το σύστημα είχε μετά από κάποιο χρονικό διάστημα σταθερές συνθήκες λειτουργίας ώστε να γίνει η έναρξη των πειραμάτων.

Το απόβλητο του οиноποιείου που χρησιμοποιήθηκε έχει πολύ υψηλό φορτίο και για την επεξεργασία του ήταν απαραίτητη η αραίωση. Η αραίωση έγινε με σκοπό να μειώσει την θολερότητα του δείγματος ώστε να μελετηθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του, και να προσομοιάζει στα χαρακτηριστικά των υγρών αστικών αποβλήτων. Η αραίωση που επιλέξαμε ήταν η προσθήκη σε 43 λίτρα νερού 150 ml απόβλητου. Με την αραίωση αυτή 'προσεγγίσαμε' και τις τυπικές τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών από υγρά αστικά απόβλητα.

Για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων κατά την μέτρηση της συγκέντρωσης των αμμωνιακών, των νιτρικών και των ορθοφωσφορικών, φιλτράραμε τα δείγματα πριν την ανάλυση (ώστε να απομακρυνθούν τυχόν συσσωματώματα).

2.2.2. Σύστημα άντλησης αποβλήτων

Καθημερινά παρασκευάζονταν το διάλυμα του απόβλητου σε μία δεξαμενή χωρητικότητας 50 λίτρων. Αναλυτικότερα, γινόταν προσθήκη 150 ml από το υγρό απόβλητο του οиноποιείου σε 43 λίτρα νερού βρύσης. Για τον περιορισμό των σφαλμάτων που ενδεχομένως προέκυπταν λόγω κακής ανάμιξης, είχε τοποθετηθεί μία συσκευή ανάδευσης (EURO- STD, EUROSTAR της εταιρίας IKA) στην δεξαμενή αποθήκευσης ώστε να αναδεύεται το μίγμα καθ όλη την διάρκεια της ημέρας. Μέσω της ανάδευσης περιορίστηκε ο σχηματισμός των συσσωματωμάτων, και αποφεύχθηκε η καθίζηση του απόβλητου στον πάτο της δεξαμενής λόγω μεγάλης πυκνότητας του απόβλητου σε σχέση με αυτή του νερού. Ο αναδευτήρας ήταν σταθερά ρυθμισμένος στις 800 στροφές/min.

Η δεξαμενή ήταν τοποθετημένη στο έδαφος και για την άντληση του απόβλητου στην κορυφή της δεξαμενής αερισμού χρησιμοποιήθηκε μία περισταλτική αντλία (ALITEA- XV). Η αντλία είχε ρυθμιστεί ώστε να λειτουργεί με σταθερή παροχή ανάλογα με τη φάση λειτουργίας του πειράματος μας. Οι παροχές για την κάθε συνθήκη λειτουργίας θα παρατεθούν στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων.

2.2.3. Σύστημα αερισμού

Η δεξαμενή αερισμού όπως προανέφερα είχε μία κυκλική οπή στο κάτω μέρος της ώστε να διοχετεύεται αέρας. Στην οπή ήταν προσαρμοσμένος ένας σωλήνας ώστε να παρέχεται σταθερή ποσότητα αέρα από την αντλία BIO KONTROLL Mark 2 της εταιρίας ISCO. Η συσκευή ήταν ρυθμισμένη ώστε να διοχετεύει 0,3 m³ αέρα./hr Μετά από μετρήσεις με την χρήση του οξυγονόμετρου HQ 40d της εταιρίας Hack αναγκαία η τοποθέτηση διαχυτήρα,

ώστε να επιτευχθεί καλύτερος αερισμός στην δεξαμενή αερισμού. Ο διαχυτήρας ήταν συνδεδεμένος με μία αντλία κενού που διαθέτει το εργαστήριο. Η παροχή από τον διαχυτήρα ήταν $0,3 \text{ m}^3 \text{ αέρα /hr}$.

2.2.4. Σύστημα άντλησης ιλύος

Η ιλύς καθιζάνει λόγω της βαρύτητας στην δεξαμενή καθίζησης. Στο κάτω μέρος της δεξαμενής υπάρχει κυκλική οπή ώστε να εκρέει η λάσπη. Η ανακυκλοφορία της λάσπης γίνεται μέσω της περισταλτικής αντλίας ALITEA-XV. Η αντλία είχε ρυθμιστεί ώστε να λειτουργεί με σταθερή παροχή ανάλογα με τη συνθήκη λειτουργίας που βρισκόταν υπό μελέτη,. Στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων θα παρατεθούν αναλυτικά οι 5 συνθήκες λειτουργίας που μελετήθηκαν . Μέσω ενός σωλήνα και με την χρήση της αντλίας η ιλύς μεταφέρεται από την δεξαμενή καθίζησης στον κύλινδρο που υπάρχει στο πλάγιο μέρος της δεξαμενής αερισμού. Η είσοδος της λάσπης της ανακυκλοφορίας γίνεται από τον πάτο της δεξαμενής αερισμού.

2.2.5. Σύστημα αποστράγγισης εκρεόντων

Το απόβλητο εισέρχεται στην δεξαμενή αερισμού και μετά από την επεξεργασία του εξέρχεται προς την δεξαμενή καθίζησης. Στην δεξαμενή καθίζησης όπως προαναφέρθηκε υπάρχει καθίζηση της λάσπης λόγω βαρύτητας, και υπερχειλίση του διαυγασμένου υγρού το οποίο εξέρχεται της πιλοτικής διάταξης. Η υπερχειλίση δεν απαιτεί χρήση αντλίας καθώς έχουμε φυσική ροή λόγω βαρύτητας. Η απόρριψη της εκροής γίνεται στην αποχέτευση του εργαστηρίου.

Κεφάλαιο 3ο-Πειραματική μέθοδος και επεξεργασία αποβλήτων

3.1. Πειραματική μέθοδος

Καθημερινά παρασκευάζονταν αραιωμένο διάλυμα του απόβλητου, δηλαδή προσθέταμε 150 ml από το απόβλητο σε 43 λίτρα νερού βρύσης. Το απόβλητο αυτό εισέρχονταν στην μονάδα μέσω περισταλτικής αντλίας ώστε να επεξεργαστεί. Η πειραματική μέθοδος περιλάμβανε την λήψη δείγματος από την είσοδο του συστήματος, την έξοδο του αερισμού, την έξοδο της καθίζησης και από την έξοδο της περίσσειας της ιλύος.

Στα δείγματα από την έξοδο του αερισμού, την εκροή, και την έξοδο της περίσσειας της ιλύος γινόταν μέτρηση των TSS και των VSS. Στα δείγματα από την είσοδο του συστήματος και την εκροή γινόταν μετρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών του απόβλητου, ώστε να ελεγχθεί η απόδοση του συστήματος. Οι μετρήσεις του BOD και του COD γινόταν χωρίς πρόσθετη επεξεργασία του δείγματος. Αντίθετα για τις μετρήσεις των νιτρικών, ορθοφωσφορικών και αμμωνιακών φιλτράραμε το δείγμα πριν την ανάλυση. Για το φιλτράρισμα χρησιμοποιήθηκαν ειδικά διηθητικά φίλτρα .

Για να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την λειτουργία της πιλοτικής μονάδας, και την απόδοση των μικροοργανισμών του συστήματος έγινε οπτική παρατήρηση της μικροβιακής σύνθεσης της ιλύος και των υγρών από κάθε στάδιο επεξεργασίας με την

χρήση μικροσκοπίου. Η παρατήρηση έγινε πριν και μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx.

3.2. Επεξεργασία αποβλήτων

Τα πειράματα χωρίστηκαν σε δύο φάσεις λειτουργίας. Αρχικά μελετήθηκε η λειτουργία της εγκατάστασης στην επεξεργασία των αγροτοβιομηχανικών υγρών απόβλητων χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx στην δεξαμενή αερισμού. Σε αυτή την φάση λειτουργία της βιομάζα αναπτύσσονταν με τον συμβατικό τρόπο σε δύο διαφορετικούς χρόνους παραμονής. Στην δεύτερη φάση λειτουργίας μελετήθηκε η λειτουργία της πιλοτικής μονάδας, δηλαδή τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της εισροής της εκροής και η παραγωγή ιλύος, έχοντας προσθέσει τους μικροοργανισμούς Sewper Rx στην δεξαμενή αερισμού. Κατά την δεύτερη φάση λειτουργίας έχουμε τρεις κύκλους πειραμάτων.

Η πρώτη φάση των πειραμάτων, στην οποία μελετήθηκε η συμβατική ανάπτυξη της βιομάζας, περιλάμβανε την πρώτη και την δεύτερη συνθήκη λειτουργίας. Η παροχή τροφοδοσίας που επιλέχθηκε στην πρώτη συνθήκη λειτουργίας ήταν $Q = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{d}$ και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής των υγρών απόβλητων ήταν 2,9 days. Ο μέσος χρόνος υδραυλικής παραμονής στην δεξαμενή αερισμού ήταν 1,5 days. Για την ανακυκλοφορία της ιλύος η παροχή τροφοδοσίας που επιλέχθηκε ήταν $Q = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{d}$ και ο μέσος χρόνος παραμονής των στερεών ήταν 4,5hrs. Οι χρόνοι παραμονής των υγρών απόβλητων σε αυτή την συνθήκη ήταν πολύ μεγάλοι, και γι αυτό στην δεύτερη επιλέχθηκε η ρύθμιση της παροχής τροφοδοσίας σε $Q = 16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{d}$. Ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής των υγρών απόβλητων ήταν 17,5 hrs και ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής στην δεξαμενή αερισμού ήταν 8,9 hrs. Για την ανακυκλοφορία της ιλύος η παροχή τροφοδοσίας που επιλέχθηκε ήταν $Q = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{d}$. Ο μέσος χρόνος παραμονής των στερεών ήταν 2,2 hrs.

Στην τρίτη συνθήκη λειτουργίας προστέθηκαν οι μικροοργανισμοί Sewper Rx και διατηρήθηκαν ίδιες οι συνθήκες με αυτές της δεύτερης συνθήκης λειτουργίας ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση της απόδοσης του συστήματος πριν και μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx. Η παροχή παρέμεινε $Q = 16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{d}$, και ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής των αποβλήτων ήταν 17,5hrs και ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής στην δεξαμενή αερισμού ήταν 8,9 hrs. Για την ανακυκλοφορία της ιλύος η παροχή τροφοδοσίας που παρέμεινε $Q = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{d}$, με μέσο χρόνο παραμονής των στερεών 1hrs.

Στην τέταρτη συνθήκη λειτουργίας αυξήθηκε η ροή ώστε να δοκιμαστεί η αποδοτικότητα του συστήματος σε μικρούς χρόνους παραμονής του υγρού απόβλητου. Η παροχή τροφοδοσίας που επιλέχθηκε ήταν $Q = 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{d}$, με μέσο υδραυλικό χρόνο παραμονής των αποβλήτων 8,8 hrs, και μέσο υδραυλικό χρόνο παραμονής στην δεξαμενή αερισμού 4,4hrs. Για την ανακυκλοφορία της ιλύος η παροχή τροφοδοσίας που επιλέχθηκε ήταν $Q = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{d}$, με μέσο χρόνο παραμονής των στερεών 2,4 hrs.

Στην πέμπτη συνθήκη λειτουργίας πενταπλασιάστηκε η προστιθέμενη ποσότητα αποβλήτου στο μίγμα της εισροής ώστε να μελετηθεί η απόδοση της προσθήκης των μικροοργανισμών Sewper Rx στην επεξεργασία πυκνών απόβλητων. Η παροχή τροφοδοσίας που επιλέχθηκε ήταν $Q = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{d}$ με μέσο υδραυλικό χρόνο παραμονής

των αποβλήτων 2,9 days, και μέσο υδραυλικό χρόνο παραμονής στην δεξαμενή αερισμού 1,5 days. Για την ανακυκλοφορία της λύσης η παροχή τροφοδοσίας που επιλέχθηκε ήταν $Q=1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{d}$ και ο μέσος χρόνος παραμονής των στερεών ήταν 9 hrs.

Τα επεξεργασμένα απόβλητα από την εκροή της καθίζησης, δεν ξαναχρησιμοποιούνταν και απορρίπτονταν στην αποχέτευση. Οι μικροοργανισμοί Sewper Rx δεν είναι βλαβεροί για το περιβάλλον, και δεν περιέχουν παθογόνους γι αυτό η εκροή απορρίφτηκε στην αποχέτευση.

Οι χρόνοι παραμονής για την κάθε συνθήκη λειτουργίας παρατίθενται στον πίνακα 11:

Συνθήκη λειτουργίας	Χρόνος παραμονής (τ)	Χρονική διάρκεια συνθήκης
Πριν την προσθήκη μικροοργανισμών		
1^η ($Q_{IN}= 4 \text{ L/d}$, $Q_{IL}= 1.3 \text{ L/d}$)	$\tau_{\text{αποβ}}= 2,9\text{d}$, $\tau_{\text{αερ}}= 1,5\text{d}$, SRT= 4.5 hrs	13 Μαΐου – 1 Ιουλίου
2^η ($Q_{IN}= 16 \text{ L/d}$, $Q_{IL}= 3 \text{ L/d}$)	$\tau_{\text{αποβ}}= 17,5 \text{ hrs}$, $\tau_{\text{αερ}} = 8,9 \text{ hrs}$, SRT= 2.2 hrs	2 Ιουλίου – 16 Ιουλίου
Μετά την προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx		
3^η ($Q_{IN}= 16 \text{ L/d}$, $Q_{IL}= 3 \text{ L/d}$)	$\tau_{\text{αποβ}}= 17.5\text{hrs}$, $\tau_{\text{αερ}} = 8,9 \text{ hrs}$, SRT= 1 hrs	17 Ιουλίου – 24 Ιουλίου
4^η ($Q_{IN}= 32 \text{ L/d}$, $Q_{IL}= 5 \text{ L/d}$)	$\tau_{\text{αποβ}}= 8.8 \text{ hrs}$, $\tau_{\text{αερ}} = 4,4 \text{ hrs}$, SRT= 2.4 hrs	25 Ιουλίου – 28 Ιουλίου
5^η ($Q_{IN}= 4 \text{ L/d}$, $Q_{IL}= 1.3 \text{ L/d}$)	$\tau_{\text{αποβ}}= 2,9\text{d}$, $\tau_{\text{αερ}} = 1,5 \text{ d}$, SRT= 9 hrs	29 Ιουλίου – 2 Αυγούστου

Πίνακας 11 : Χρόνος παραμονής για κάθε συνθήκη λειτουργίας

Υπολογισμός υδραυλικών χρόνων παραμονής

Ο μέσος χρόνος υδραυλικής παραμονής υπολογίστηκε από την εξίσωση 9:

$$\theta_s = \frac{V + V_S}{Q}$$

Όπου:

- V : ο όγκος του νερού στην δεξαμενή αερισμού
- V_S : ο όγκος του νερού στην δεξαμενή καθίζησης
- Q : ο ρυθμός παροχής

Ο μέσος χρόνος υδραυλικής παραμονής στην δεξαμενή αερισμού υπολογίστηκε από την εξίσωση 10:

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

Όπου:

- V: ο όγκος του νερού στην δεξαμενή αερισμού
- Q: ο ρυθμός παροχής

Ο μέσος χρόνος παραμονής των στερεών (SRT) ή η ηλικία της λάσπης υπολογίστηκε από την εξίσωση 11:

$$\theta_c = \frac{Vx}{Q_w x_u}$$

Όπου:

- V: ο όγκος του νερού στην δεξαμενή αερισμού
- X: η συγκέντρωση της βιομάζας στην δεξαμενή αερισμού
- Q: η παροχή ανακυκλοφορίας
- x_u : η συγκέντρωση της βιομάζας στον βυθό της δεξαμενής καθίζησης

Κεφάλαιο 4^ο - Υλικά και Μέθοδοι ανάλυσης

4.1. Υλικά

- LCK 339 της HACK (για την μέτρηση των νιτρικών)
- LCK 349 της HACK (για την μέτρηση των φωσφορικών)
- LCK 014 της HACK (για την μέτρηση COD)
- LCK 514 της HACK (για την μέτρηση COD)
- LCK 314 της HACK (για την μέτρηση COD)
- Φωσφορικό διάλυμα (το οποίο περιέχει σε 1 λίτρο νερού 8,5 gr KH_2PO_4 , 21,7 gr K_2HPO_4 , και 1,7 gr NH_4CL)
- Διάλυμα θειικού μαγνησίου (το οποίο περιέχει σε 1 λίτρο νερού 22,5 gr 1 ml $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- Διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου (το οποίο περιέχει σε 1 λίτρο νερού 27,5 gr CaCl_2)
- Nessler Kit της εταιρίας HACH
- Μικροοργανισμοί Sewper Rx από την εταιρία *RELIANT Water Technologies* (προμηθευτής Χατζόπουλος Α.Ε.)
- Θειικό οξύ (H_2SO_4)
- Αζίδιο του νατρίου (NaN_3)

4.2. Εξοπλισμός

- Γυάλινη Κωνική φιάλη 500 ml
- Γυάλινη Κωνική φιάλη των 4 L
- Γυάλινα Ποτηράκια ζέσεως των 500 ml
- Γυάλινα Ποτηράκια ζέσεως των 50 ml
- Γυάλινες Κυψελίδες των 25 ml της εταιρίας HACK
- Γυάλινες Ογκομετρικές φιάλες των 25 ml
- Γυάλινος Ογκομετρικός κύλινδρος 500 ml
- Γυάλινες Κωνικές φιάλες των 250 ml
- Αλουμινόχαρτο
- Πλαστική Σύριγγα ακριβείας των 10 ml
- Πιπέτα SILOGEX του ενός ml
- Οξυγονόμετρο HQ40d της εταιρίας HACK
- Γυάλινα Μπουκάλια Rodotic χωρητικότητας 300 ml
- Επωαστικός θάλαμος της εταιρίας WTV BOD
- Φούρνος Memmert UL30
- Φασματοφωτόμετρο DR2800 της εταιρίας HACK
- Θολερόμετρο RATIO TURBIDIMETER 18900 της εταιρίας HACK
- Κλίβανος VSS, MF100 της F.Ili G. ALLI Gi & P.
- pH-μετρο Multi 3410 της εταιρίας WTW
- Αντλία αέρα BIO KONTROLL Mark2. της εταιρίας ISCO
- Περισταλτικές αντλίες (2) ALITEA –XV
- Ζυγαριά ακριβείας J=NM/ABS-N της εταιρίας Kern & Sohn GmbH
- Υδατόλουτρο memmert
- Συσκευή ανάδευσης καλλιιεργειών Laboshake της εταιρίας Gerhardt
- Φίλτρα διήθησης Nitrocellulose, της Whatman (0,2μm πορώδες, διάμετρος 0.47μm)
- Φίλτρα διήθησης Startorius Minisart (διάμετρος 0,45 μm)
- Φίλτρα διήθησης Glass microfiber filters, της Whatman (διάμετρος 0.47μm)
- Γυάλινος αφυγραντήρας που περιείχε silicagel
- Συσκευή ανάδευσης EUROSTAR, EUROST-D, της IKA
- Αναλυτής TOC -5000A της εταιρίας Shimadzu
- Μικροσκόπιο
- Αντλία για διήθηση TSS, VSS

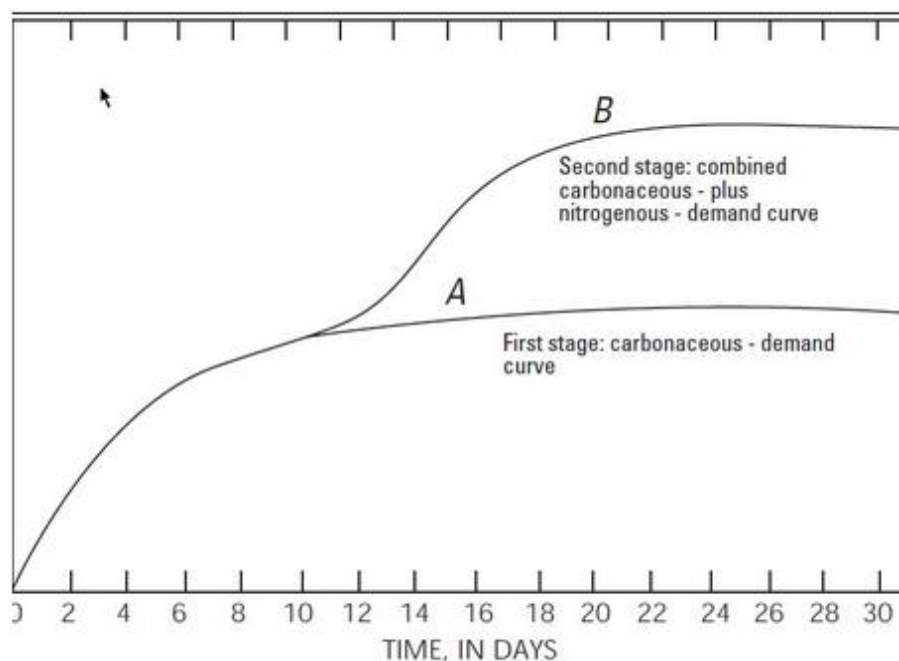
4.3. Μέθοδοι Ανάλυσης

4.3.1. Βιοχημικά Απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) είναι η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την πλήρη βιοχημική οξείδωση των περιεχόμενων οργανικών ουσιών στα υγρά απόβλητα. Η ταχύτητα της βιολογικής αυτής οξείδωσης εξαρτάται από το είδος και την συγκέντρωση της οργανικής ύλης που περιέχεται στο προς εξέταση δείγμα. Υπάρχουν οργανικές ουσίες που οξειδώνονται ή αποδομούνται βιολογικά σχετικά εύκολα, αλλά υπάρχουν και αυτές που δεν οξειδώνονται βιολογικά ή οξειδώνονται με βραδείς ρυθμούς.

Η βιολογική αποδόμηση των ανθρακούχων και των αζωτούχων ενώσεων περιγράφεται στο διάγραμμα

6.



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα βιολογικής αποδόμησης των ανθρακούχων και αζωτούχων ενώσεων συναρτήσει του χρόνου

Όπως είναι εμφανές αρχικά αποδομούνται οι ενώσεις του άνθρακα και στην συνέχεια οι ενώσεις του αζώτου. Το πρώτο στάδιο έχει διάρκεια περίπου 20 ημερών για θερμοκρασία 20 °C, και το δεύτερο ξεκινά μετά από 10 με 15 ημέρες και διαρκεί πολύ περισσότερο. Επειδή η μέτρηση αυτή είναι πολύ χρονοβόρα έχει καθιερωθεί να προσδιορίζεται ο παράγοντας BOD₅, δηλαδή το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο των 5 ημερών.

Το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο μπορεί να προσδιοριστεί με την μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου στις φιάλες του BOD, με την χρήση οξυγονόμετρου, και με την ιωδομετρική μέθοδο. Επίσης στην περίπτωση που το απόβλητο έχει χαμηλή συγκέντρωση μικροοργανισμών πρέπει να προστεθεί εμβόλιο με μικροοργανισμούς.

Στα βιομηχανικά απόβλητα η παρουσία τοξικών ενώσεων, το pH, η θερμοκρασία και άλλοι παράγοντες, παρεμποδίζουν ή επιβραδύνουν την αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων. Για να αρθούν οι ανασταλτικοί παράγοντες ανάπτυξης των μικροοργανισμών απαιτούν ξεχωριστή φορά προετοιμασία για την σωστή μέτρηση του BOD (Ζανάκη, 2001).

Ένα μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μαζί με την ανθρακούχα απαίτηση οξυγόνου μετράται και η αζωτούχα απαίτηση οξυγόνου (δηλ. η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου για την οξείδωση των αμμωνιακών προς νιτρώδη και εν συνεχεία σε νιτρικά).

Μέθοδος

Για την μέτρηση του βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD) ακολουθήθηκε η διαδικασία σύμφωνα με τα Standard Methods. Πιο αναλυτικά, έγινε λήψη του προς εξέταση δείγματος, και εφαρμόστηκε η εκάστωτε αραιώση χρησιμοποιώντας απιονισμένο νερό. Το αραιωμένο διάλυμα (το οποίο είχε συνολικό όγκο 750 ml) τοποθετούνταν σε κωνική φιάλη των 1000 ml και εισάγονταν το ακροφύσιο που διοχέτευε αέρα με σκοπό τη δημιουργία ενός διαλύματος κορεσμένο σε οξυγόνο. Η παροχή του αέρα γίνονταν από το δίκτυο που υπάρχει εγκατεστημένο στο εργαστήριο. Ο χρόνος παραμονής του διαλύματος ήταν περίπου 10 λεπτά. Κατά την διάρκεια της οξυγόνωσης του δείγματος γινόταν προσθήκη θρεπτικών στο δείγμα μας, απαραίτητων για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

Τα θρεπτικά που προστέθηκαν είναι:

- 1 ml φωσφορικού διαλύματος (το οποίο περιέχει σε 1 λίτρο νερού 8,5 gr KH_2PO_4 , 21,7 gr K_2HPO_4 , και 1,7 gr NH_4Cl)
- 1 ml διαλύματος θειικού μαγνησίου (το οποίο περιέχει σε 1 λίτρο νερού 22,5 gr 1 ml $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- 1 ml διαλύματος χλωριούχου ασβεστίου (το οποίο περιέχει σε 1 λίτρο νερού 27,5 gr CaCl_2)

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας του αερισμού το δείγμα τοποθετούνταν σε δύο γυάλινα μπουκάλια Robotic χωρητικότητας 300 ml. Η διπλή μέτρηση του BOD κρίθηκε αναγκαία για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων κατά την πειραματική διαδικασία, καθώς η ακρίβεια της μεθόδου δεν είναι υψηλή, και η τελική τιμή που προέκυπτε αποτελούσε ουσιαστικά ένα μέσο όρο των δύο αποτελεσμάτων. Για την μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου γινόταν χρήση του οξυγονόμετρου HQ 40d της εταιρίας HACK. Έπειτα τα μπουκάλια σφραγίζονταν ερμητικά με το ειδικό γυάλινο πώμα και τοποθετούνταν για 5 εικοσιτετράωρα στον ειδικό επωαστικό θάλαμο της εταιρίας WTV BOD σε σταθερή θερμοκρασία $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

Μετά το πέρας των 120 ωρών τα μπουκάλια λαμβάνονταν από τον θερμοθάλαμο και πραγματοποιούνταν ξανά μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου (DO). Η τελική τιμή του διαλυμένου οξυγόνου προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο της εξίσωσης 12.

$$BOD_5 = \frac{(DO_0 - DO_5)_{1^{ου} \DeltaΕΙΓΜΑΤΟΣ} * ΑΡΑΙΩΣΗ + (DO_0 - DO_5)_{2^{ου} \DeltaΕΙΓΜΑΤΟΣ} * ΑΡΑΙΩΣΗ}{2}$$

Εξίσωση 12 : Σχέση υπολογισμού του BOD₅

4.3.2. Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Το COD είναι η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου για την χημική οξείδωση των οργανικών ουσιών ενός αποβλήτου σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό από ισχυρό οξειδωτικό μέσο (διχρωμικό κάλιο) και σε όξινες συνθήκες. Κατά τον προσδιορισμό του COD έχουμε οξείδωση όλων των οργανικών ουσιών, βιοδιασπώμενων ή μη.

Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα περιγράφεται στην εξίσωση 13:



Εξίσωση 23: Αντίδραση οξείδωσης

Όπου

$$d = \frac{2n}{3} + \frac{a}{6} - \frac{c}{2} - \frac{b}{3}$$

Εξίσωση 14: Σχέση υπολογισμού του συντελεστή d

Παρεμποδιστικές ουσίες

- Πριν από κάθε χρήση, ελέγχονταν τα καπάκια των φιαλιδίων για τυχόν ρωγμές και σκουπίζονταν για την απομάκρυνση αποτυπωμάτων (HACK Handbook).
- Η παρουσία νιτρώδων ιόντων, επηρεάζει τη μέτρηση του COD, κατά 1,1 mg O₂/mg NO₂. Επειδή οι συγκεντρώσεις νιτρώδων σπάνια ξεπερνούν τα 1-2 mg/L, η παρεμποδιστική δράση των νιτρώδων θεωρείται αμελητέα (Ζανάκη, 2001).

Μέθοδος

Για την μέτρηση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD), ακολούθηκε η πλήρης μέθοδος της εταιρίας Hack. Η μέθοδος αυτή περιλάμβανε αντιδραστήρια, χρήση φούρνου όπου τοποθετούνταν τα φιαλίδια και τελική μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο.

Αναλυτικότερα χρησιμοποιήθηκαν 3 αντιδραστήρια της εταιρίας, οι κωδικές ονομασίες των οποίων ήταν LCK 514 (605nm), LCK 314 (448nm) και LCK 114 (605nm), ανάλογα με το φορτίο του προς εξέταση δείγματος. Αρχικά αναδεύονταν χειρονακτικά η φιάλη και γινόταν προσθήκη 2 ml από το εξεταζόμενο δείγμα. Στην συνέχεια η φιάλη τοποθετούνταν στο φούρνο Hack Lange LT2000 σε θερμοκρασία 150 °C για 2 ώρες. Μετά το πέρας των 2 ωρών τα φιαλίδια αφήνονταν να κρυώσουν έως ότου φτάσει η θερμοκρασία τους στους 18

°C και στην συνέχεια αφού τα ξαναανάδευονταν χειροκίνητα και καθαρίζονταν η εξωτερική επιφάνεια του φιαλιδίου, τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο DR2800 της εταιρίας HACK. Το φασματοφωτόμετρο αναγνώριζε το barcode του φιαλιδίου και αφού ρύθμιζε το μήκος κύματος, εμφάνιζε το αποτέλεσμα της μέτρησης του COD.

4.3.3. Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)

Ο άνθρακας αποτελεί απαραίτητο χημικό στοιχείο για την σύνθεση των οργανικών ουσιών. Στα απόβλητα συναντάται με την μορφή των οργανικών ενώσεων (Total organic carbon, TOC) αλλά και με την μορφή ανόργανων χημικών ενώσεων (Total Inorganic Carbon, TIC). Ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) που μετρήθηκε και στο εργαστήριο βρίσκεται στα απόβλητα διαλυμένος (Dissolved Organic Carbon, DOC), σε σωματιδιακή μορφή (Particulate Organic Carbon, POC), ή σε μορφή πτητικών ενώσεων (Volatile Organic Carbon, VOC). Όσον αφορά το DOC, επιτυχής διαχωρισμός μεταξύ διαλυμένου και σωματιδιακού απαιτεί διήθηση του δείγματος με χρήση φίλτρων με μέγεθος πόρων 0.45 μm.

Ο προσδιορισμός του ολικού οργανικού άνθρακα έγινε με την χρήση αυτόματου αναλυτή TOC. Το προς εξέταση δείγμα εισάγονταν σε ειδική στήλη με καταλύτη, η οποία βρίσκεται στο εσωτερικό τμήμα της συσκευής, όπου καίγονταν σε υψηλή θερμοκρασίας προς διοξείδιο του άνθρακα. Τα αποτελέσματα εκφράζονταν σε mg/L TOC.

Χρησιμοποιώντας μία σύριγγα λαμβάναμε 3 ml από το δείγμα, προσαρμόζαμε στην άκρη της ένα φίλτρο διήθησης Startorius Minisart (με διάμετρο πόρων 0,45 μm) και το διηθημένο δείγμα τοποθετούνταν σε γυάλινο φιαλίδιο. Στην συνέχεια αναλύαμε το δείγμα με την βοήθεια του αυτόματου αναλυτή Shimadzu TOC-5000A. Στο φιαλίδιο του δείγματος τοποθετούνταν το σωληνάκι δειγματοληψίας του οργάνου και το όργανο πραγματοποιούσε 3 αναλύσεις. Το αποτέλεσμα της μέτρησης προέκυπτε από τη μέση τιμή των τριών μετρήσεων.

4.3.4. Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS)

Η συνολική ποσότητα των στερεών που υπάρχει σε ένα απόβλητο αποτελεί τα ολικά στερεά (Total Solids, TS). Τα ολικά στερεά χωρίζονται στα ολικά αιωρούμενα (Total Suspended Solids, TSS) και τα διαλυμένα στερεά (Total Dissolved Solids=TDS). Κατά την διάρκεια του πειράματος μελετήθηκαν τα ολικά αιωρούμενα στερεά (Total Suspended Solids, TSS). Τα ολικά αιωρούμενα στερεά αποτελούν το τμήμα των ολικών στερεών που παραμένουν σε φίλτρο από ίνες γυαλιού με πόρους από 0,45 μέχρι 2 μm. Αντίστοιχα τα ολικά διαλυμένα στερεά είναι αυτά που κατά την διαδικασία της διήθησης περνάνε από του πόρους του φίλτρου.

Στην εξίσωση 15 εκφράζεται η συσχέτιση των τριών παραμέτρων.

$$TS = TSS + TDS$$

Εξίσωση 15: Σχέση TS, TSS, TDS

Για τον προσδιορισμό των ολικών αιωρούμενων στερεών (Total Suspended Solids, TSS) εφαρμόστηκε η μέθοδος της διήθησης και ζύγισης των φίλτρων, μετά από αφύγρανση. Για την διήθηση χρησιμοποιήθηκαν τα φίλτρα Whatman, GlassMicrofiberFilters 934-AH (με διάμετρο πόρων 0,45μm). Αρχικά γινόταν τοποθέτηση των φίλτρων για 45 λεπτά στο

φούρνο Memmert UL30 σε θερμοκρασία 105°C ώστε να ξεραθούν, έπειτα τοποθετούνταν στον αφυγραντήρα για 15 λεπτά και στη συνέχεια ζυγίζονταν σε ζυγαριά ακριβείας της εταιρίας Kern& Sohn ABJ-NM/ABS-N.

Τα προς εξέταση δείγματα ήταν 3, η έξοδος του αερισμού, η έξοδος της καθίζησης και η έξοδος της περίσσειας της ιλύος. Από τα πρώτα δύο δείγματα διηθούνταν 50 ml και από την περίσσεια της λάσπης διηθούνταν 2,5-5 ml ανάλογα με την ποιότητα του δείγματος.

Μετά την διήθηση του δείγματος, γινόταν προσθήκη μίας μικρής ποσότητας απιονισμένου νερού ώστε να γίνει έκπλυση των αλάτων και τα φίλτρα τοποθετούνταν ξανά τον φούρνο για 2,5 ώρες στους 105 °C. Μετά την ξήρανση τα φίλτρα τοποθετούνταν σε αφυγραντήρα ο οποίος περιείχε silicagel για χρονικό διάστημα 15 λεπτών και στην συνέχεια ζυγίζοντας ξανά στην ζυγαριά ακριβείας. Από την διαφορά του βάρους του φίλτρου προεκύπτει η τιμή των TSS σε mg/L.

Ο υπολογισμός του TSS γίνονταν από την χρήση του τύπου της εξίσωσης 16:

$$TSS\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(A - B) * 1000ml/l}{C ml}$$

Εξίσωση 16: Σχέση υπολογισμού ολικών αιωρούμενων στερεών

Όπου:

- A= Μικτό βάρος μετά τη ξήρανση (mg) (Βάρος ξηρού υπολείμματος + βάρος φίλτρου μετά από 2.5 ώρες στους 105 °C),
- B =Αρχικό βάρος φίλτρου (mg)
- C = Όγκος δείγματος (mL).

4.3.5. Πτητικά αιωρούμενα στερεά (VSS)

Για τον προσδιορισμό των πτητικών αιωρούμενων στερεών (volatile suspended solids, VSS) εφαρμόστηκε η μέθοδος της διήθησης και ζύγισης των φίλτρων. Για την διήθηση χρησιμοποιήθηκαν τα φίλτρα Nitrocellulose Filters (με διάμετρο πόρων 0.47μm και πορώδες 0,2 μm). Τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν δεν απαιτούσαν ζύγιση πριν την καύση τους, καθώς δεν είχαν υπόλειμμα τέφρας.

Το δείγμα που εξετάστηκε λαμβάνονταν από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης. Καθημερινά διηθούνταν 2,5 ml από το εξεταζόμενο δείγμα. Μετά την διήθηση του δείγματος, γινόταν προσθήκη μίας μικρής ποσότητας απιονισμένου νερού ώστε να γίνει έκπλυση των αλάτων.

Για την καύση των φίλτρων στον κλίβανο, γινόταν χρήση ειδικών πορσελάνινων σκεύων. Αρχικά τοποθετούνταν τα πορσελάνινα ποτηράκια στον κλίβανο ώστε να καεί κάθε υπόλειμμα που ενδέχεται να περιείχαν και να αφαιρεθεί όλη η υγρασία. Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας, τα σκεύη εξάγονταν από τον κλίβανο με χρήση ειδικής λαβίδας. Τα σκεύη τοποθετούνταν στον αφυγραντήρα που περιείχε silicagel, ώσπου να πέσει η θερμοκρασία τους, και στην συνέχεια εισάγονταν το φίλτρο το οποίο είχαμε

χρησιμοποιήσει για την διήθηση του δείγματος και τα σκεύη ζυγίζονταν σε ζυγαριά ακριβείας. Για την ζύγιση χρησιμοποιήθηκε ζυγαριά ακριβείας της εταιρίας της εταιρίας Kern&Sohn ABJ-NM/ABS-N.

Μετά την ζύγιση το ποτήρι με το φίλτρο τοποθετούνταν στον ειδικό κλίβανο για 3 ώρες στους 600 °C. Μετά την καύση, με την χρήση ειδική λαβίδας εξάγονταν το σκεύος και το τοποθετούνταν στον αφυγραντήρα έως ότου πέσει η θερμοκρασία του. Το σκεύος ζυγίζονταν στον ζυγό ακριβείας το σκεύος με την τέφρα που προέκυπτε και από την διαφορά του βάρους υπολογίζονταν η ποσότητα των VSS σε mg/ L.

Ο υπολογισμός του SS έγινε από την χρήση του τύπου της εξίσωσης 17:

$$VSS\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(A - B) * 1000ml/l}{C ml}$$

Εξίσωση 17: Σχέση υπολογισμού πτητικών αιωρούμενων στερεών

Όπου:

- A= Μικτό βάρος μετά τη καύση (mg) (Βάρος σκεύους + βάρος τέφρας μετά από 3 ώρες στους 600 °C),
- B = Βάρος σκεύους+ βάρος φίλτρου (mg)
- C = Όγκος δείγματος (mL).

4.3.6. Νιτρικά (NO₃-N)

Για την μέτρηση των νιτρικών (NO₃-N), ακολούθηκε η πλήρης μέθοδος της εταιρίας Hack. Η μέθοδος αυτή είναι φασματοφωτομετρική.

Πιο αναλυτικά χρησιμοποιήθηκαν αντιδραστήρια της εταιρίας HACK, οι κωδικές ονομασίες των οποίων ήταν LCK 339. Αρχικά γινόταν προθήκη 1ml από το εξεταζόμενο δείγμα στο φιαλίδιο, και 0,2 ml από το αντιδραστήριο του πακέτου μέτρησης και το φυαλίδιο αναδεύονταν χειροκίνητα. Το φιαλίδιο παρέμενε σε όρθια θέση χωρίς ανάδευση για χρονικό διάστημα 10 λεπτών και στην συνέχεια το τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο DR2800 της εταιρίας HACK έχοντας καθαρίσει πρώτα την εξωτερική επιφάνεια του φιαλιδίου.

Το φασματοφωτόμετρο αναγνώριζε το barcode του φιαλιδίου και αφού ρύθμιζε το μήκος κύματος, εμφάνιζε το αποτέλεσμα της μέτρησης. Η αναγραφόμενη τιμή ήταν σε mg/L NO₃-N.

4.3.7. Αμμωνιακά (NH₃-N)

Για την μέτρηση των αμμωνιακών ιόντων χρησιμοποιήθηκε ένα πλήρες σετ της HACH, με ονομασία HACH Nessler Kit και το φασματοφωτόμετρο HACH DR2800.

Αρχικά κατασκευάζονταν ένα τυφλό διάλυμα το οποίο χρησιμοποιούνταν για την βαθμονόμηση του φασματοφωτόμετρου. Το διάλυμα αυτό περιείχε απιονισμένο νερό και

τα αντιδραστήρια του kit. Στην συνέχεια κατασκευάζονταν τα διαλύματα που περιείχαν το προς εξέταση δείγμα και γινόταν προσθήκη των αντίστοιχων αντιδραστηρίων. Όλη η διαδικασία πραγματοποιούνταν σε επαγωγό ώστε να τηρούνται οι κανόνες ασφαλείας του εργαστηρίου. Τέλος τα δείγματα τοποθετούνταν σε κυψελίδες και γινόταν μέτρηση με την χρήση του φασματοφωτόμετρου. Στο φασματοφωτόμετρο επέλεγονταν το πρόγραμμα για την μέτρηση των αμμωνιακών και το μήκος κύματος ορίζονταν αυτόματα από το όργανο. Τα υγρά απόβλητα από την μέτρηση των αμμωνιακών φυλάσσονταν σε κλειστά δοχεία καθώς καθώς απαιτείται ειδική επεξεργασία.

4.3.8. Ορθοφωσφορικά ($\text{PO}_4^{3-}\text{P}_{\text{TOT}}$)

Για την μέτρηση των ορθοφωσφορικών ($\text{PO}_4^{3-}\text{P}_{\text{TOT}}$), ακολουθήθηκε η πλήρης μέθοδος της εταιρίας Hack. Η μέθοδος αυτή περιλάμβανε αντιδραστήρια, χρήση φούρνου, όπου τοποθετούνταν τα φιαλίδια και τελική μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο.

Πιο αναλυτικά χρησιμοποιήθηκαν αντιδραστήρια της εταιρίας HACK, οι κωδικές ονομασίες των οποίων ήταν LCK 349. Αρχικά γινόταν προσθήκη 2 ml από το φιλτραρισμένο εξεταζόμενο δείγμα στο φιαλίδιο, αναδεύονταν χειροκίνητα και το φιαλίδιο τοποθετούνταν στο φούρνο. Ο φούρνος που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο Hack LANGE LT2000 σε θερμοκρασία 104°C για 1 ώρα. Μετά το πέρας της μίας ώρας το φιαλίδιο αφήνονταν να κρυώσει έως ότου φτάσει η θερμοκρασία τους στους 18°C , γινόταν προσθήκη 0,2 ml από το αντιδραστήριο του πακέτου, σφραγίζονταν με το πώμα που περιείχε το δείκτη χρώματος και ξανααναδεύονταν χειροκίνητα. Το αντιδραστήριο απαιτούσε 10 λεπτά παραμονής για να προσδώσει το χρώμα στο υγρό και έπειτα το τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο DR2800 της εταιρίας HACK έχοντας καθαρίσει την εξωτερική επιφάνεια του φιαλιδίου. Το φασματοφωτόμετρο αναγνώριζε το barcode του φιαλιδίου και αφού ρύθμιζε το μήκος κύματος, εμφάνιζε το αποτέλεσμα της μέτρησης. Η αναγράφομενη τιμή ήταν σε $\text{mg/L PO}_4^{3-}\text{P}_{\text{TOT}}$.

4.4.9. DO και pH

Για την μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου χρησιμοποιήθηκε η συσκευή HQ 40d της εταιρίας HACK. Για την μέτρηση του pH χρησιμοποιήθηκε η συσκευή μέτρησης WTW Multi 3410. Για την μέτρηση του pH γινόταν προσαρμογή των αντίστοιχων ηλεκτοδίων.

Κεφάλαιο 5^ο

5.1. Αποτελέσματα και συζήτηση

Όπως αναλύθηκε και στο κεφάλαιο 3 τα πειράματα χωρίστηκαν σε δύο φάσεις λειτουργίας. Κατά την 1^η φάση πειραμάτων οι δεξαμενές επεξεργάζονταν τα απόβλητα χωρίς την προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx στην δεξαμενή αερισμού, και κατά την 2^η φάση πειραμάτων είχαμε επεξεργασία με προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx στην δεξαμενή αερισμού. Αναλυτικότερα, ο πρώτος κύκλος πειραμάτων επαναλήφθηκε για δύο διαφορετικές παροχές και ο δεύτερος κύκλος πειραμάτων περιλάμβανε τρεις συνθήκες λειτουργίας.

Στο κεφάλαιο αυτό θα παραθέσουμε αναλυτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων για κάθε φάση λειτουργίας. Επιπλέον θα γίνουν όλες οι απαραίτητες συγκρίσεις των συνθηκών λειτουργίας.

5.2. Χαρακτηρισμός σκέτου απόβλητου

Πριν την έναρξη των πειραμάτων μελετήθηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του σκέτου απόβλητου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρατίθενται στον πίνακα 12:

Μέτρηση	Τιμή
BOD	95.000 mg/L
COD	297.000 mg/L
TOC	69.900 mg/L
TN	15900 mg/L
PO ₄ -P	1905 mg/L
NH ₃ -N	350 mg/L
NO ₃ -N	151 mg/L
Θολρότητα	14000 NTU

Πίνακας 12: χαρακτηρισμός σκέτου απόβλητου

5.3. Λειτουργία χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx

5.3.1. Πρώτη συνθήκη λειτουργίας

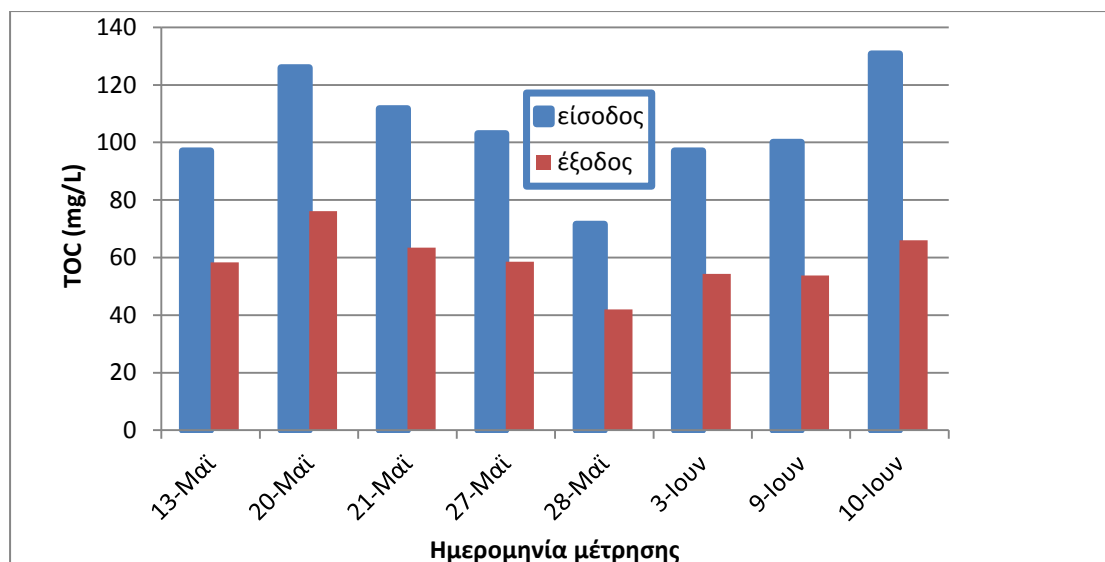
Παροχή τροφοδοσίας $Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$ για λειτουργία χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx

Η χρονική περίοδος λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας σε αυτές τις συνθήκες ήταν από 13 Μαΐου έως και 1 Ιουλίου 2015. Κατά την περίοδο αυτή πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του TOC, BOD, COD, TSS, VSS, αμμωνιακών, νιτρικών, και των ορθοφωσφορικών. Η ημερήσια ποσότητα της παραγόμενης ιλύος στην δεξαμενή καθίζησης κυμαίνονταν από 120 έως 150 ml.

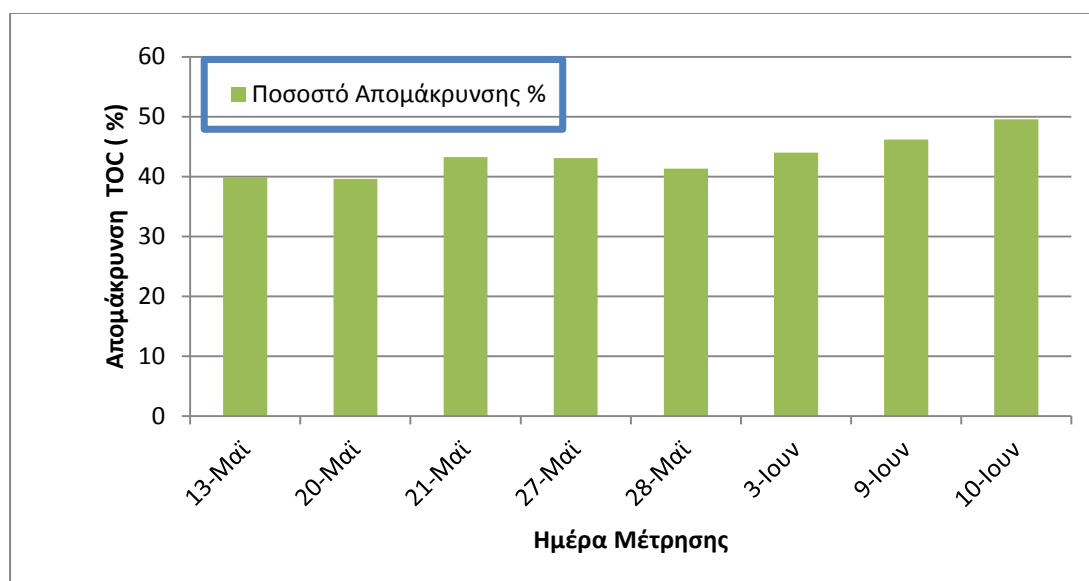
Ο όρος αραιό απόβλητο αναφέρεται στην αναλογία νερού και αγροτοβιομηχανικού απόβλητου που εισήχθηκε στην δεξαμενή εισόδου. Αναλυτικότερα στο στάδιο αυτό προστέθηκαν σε 43 λίτρα νερού 150 ml από το αγροτοβιομηχανικό απόβλητο.

5.3.1.1. Αποτελέσματα TOC

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 8 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 7 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου του TOC, και στο διάγραμμα 8 την απομάκρυνση που προκύπτει.



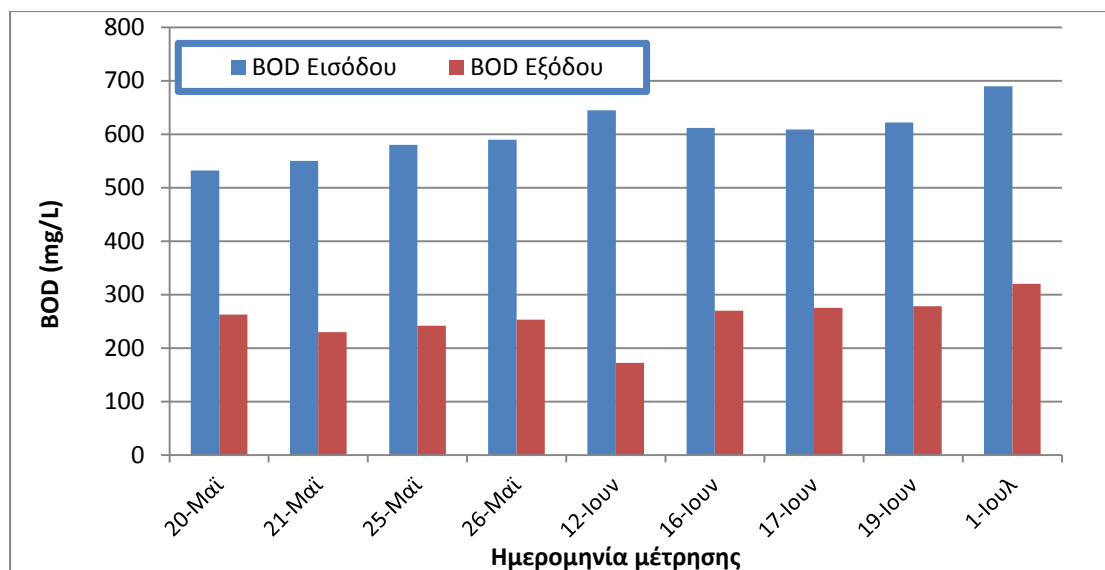
Διάγραμμα 7: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του TOC για πρώτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



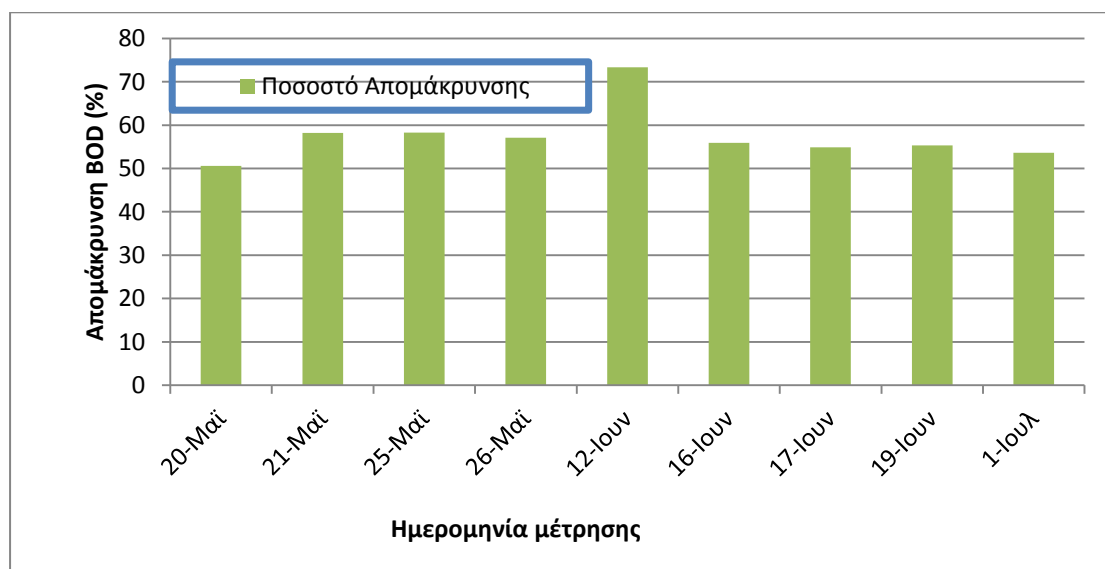
Διάγραμμα 8: Απομάκρυνση TOC (%) για πρώτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.1.2. Αποτελέσματα BOD

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 9 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 9 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 10 την απομάκρυνση που προκύπτει.



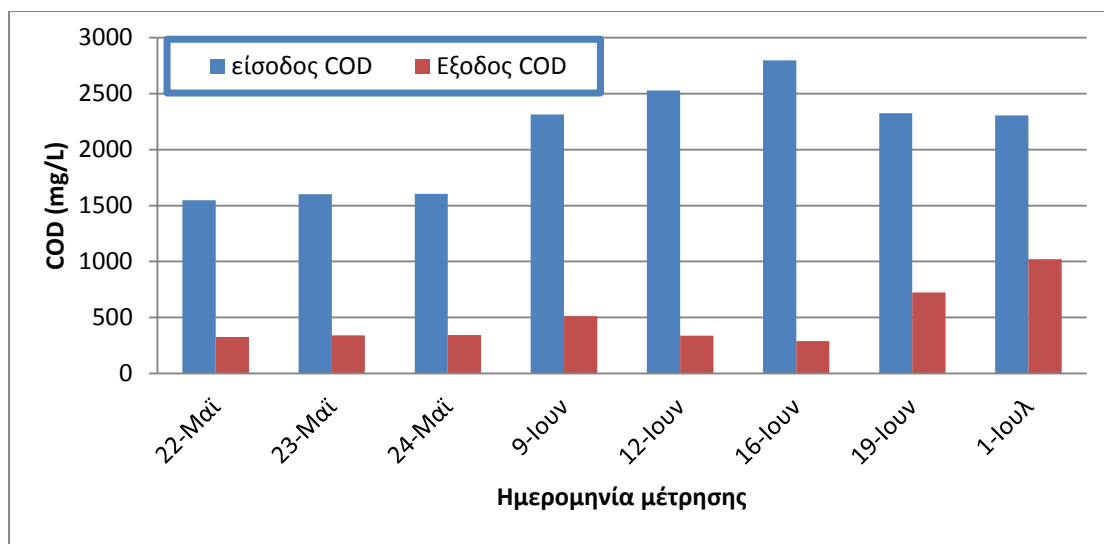
Διάγραμμα 9: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του BOD για πρώτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



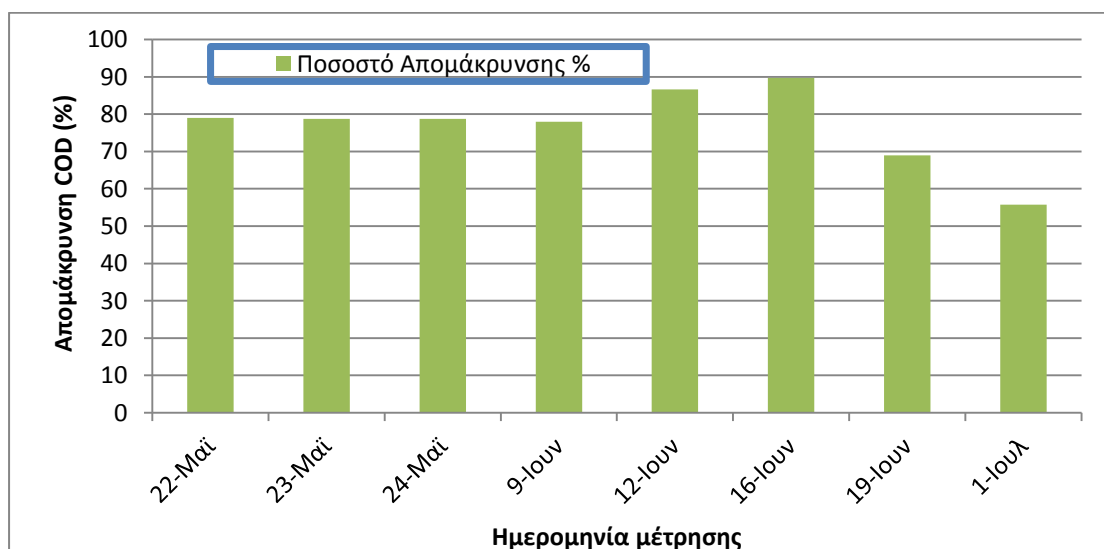
Διάγραμμα 10: Απομάκρυνση BOD (%) για πρώτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.1.3. Αποτελέσματα COD

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 8 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 11 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 12 την απομάκρυνση που προκύπτει.



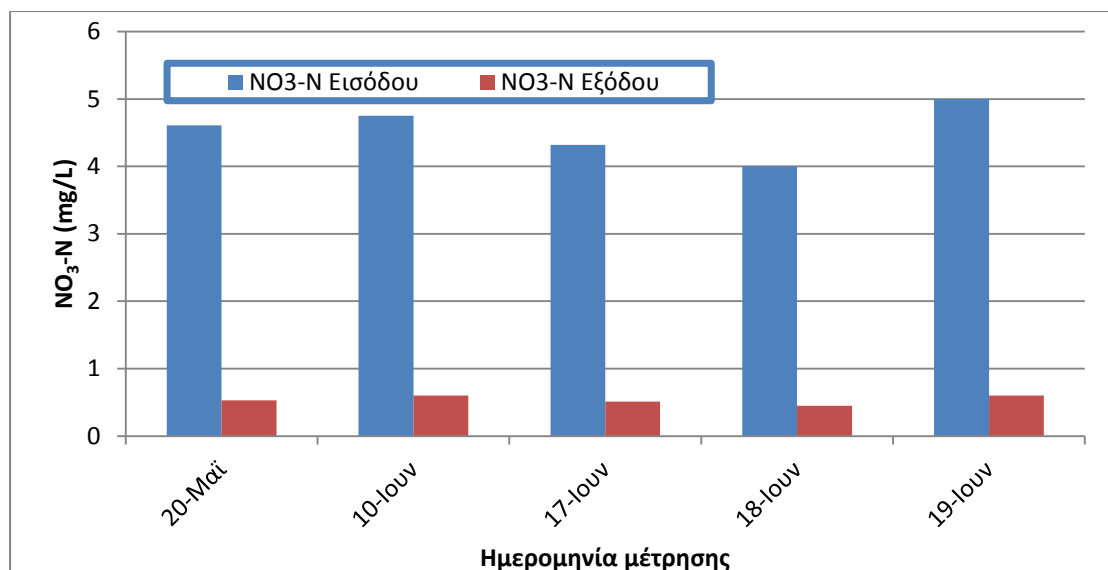
Διάγραμμα 11: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του COD για πρώτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



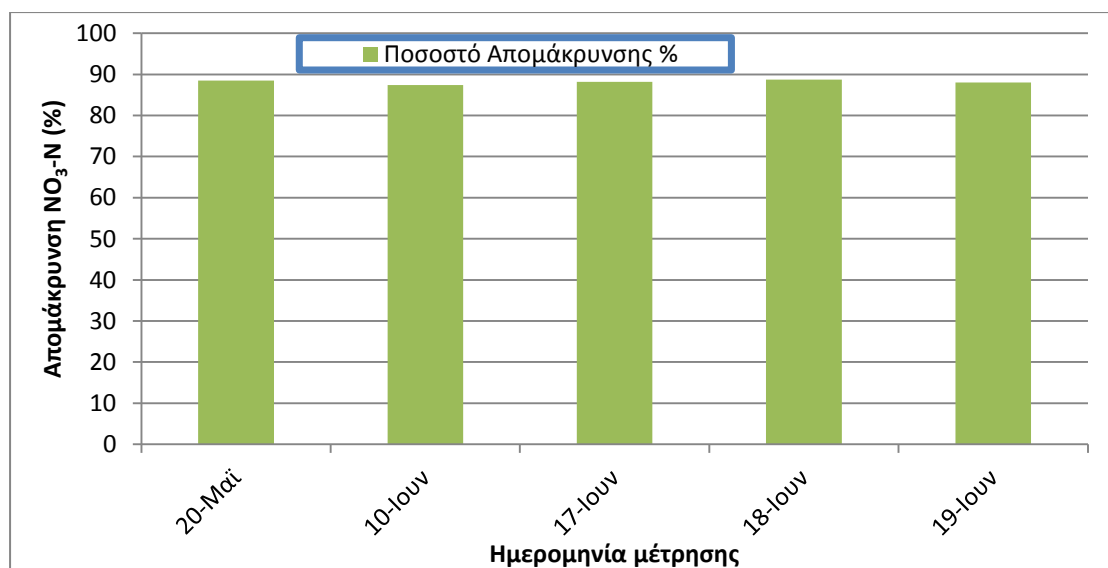
Διάγραμμα 12: Απομάκρυνση COD (%) για πρώτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.1.4. Αποτελέσματα $\text{NO}_3\text{-N}$

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 5 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 13 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 14 την απομάκρυνση που προκύπτει.



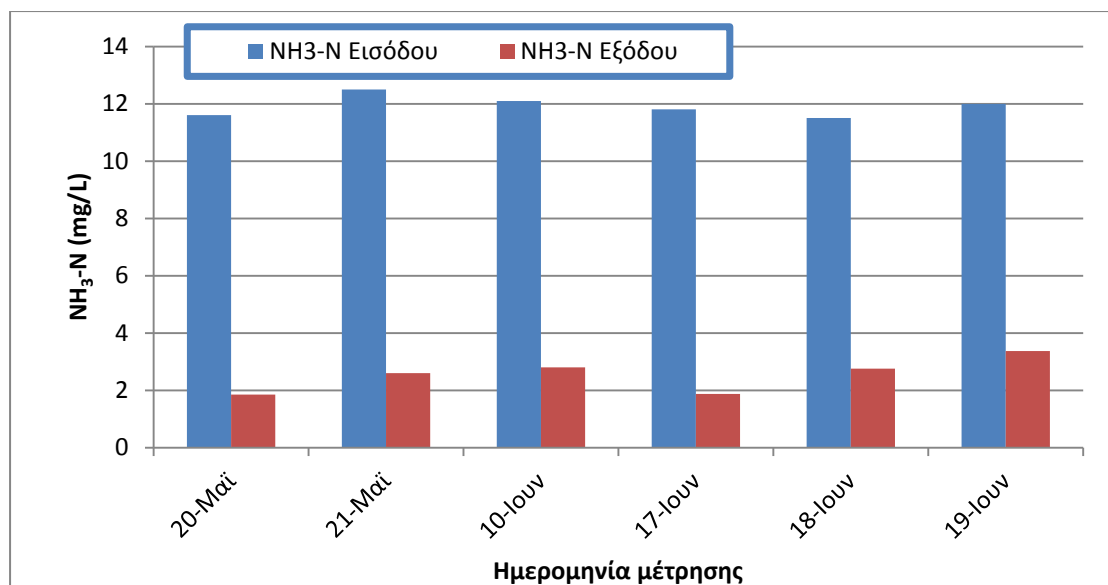
Διάγραμμα 13: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του NO₃-N για πρώτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



Διάγραμμα 14: Απομάκρυνση NO₃-N (%) για πρώτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.1.5. Αποτελέσματα NH₃-N

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 6 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 15 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 16 την απομάκρυνση που προκύπτει.



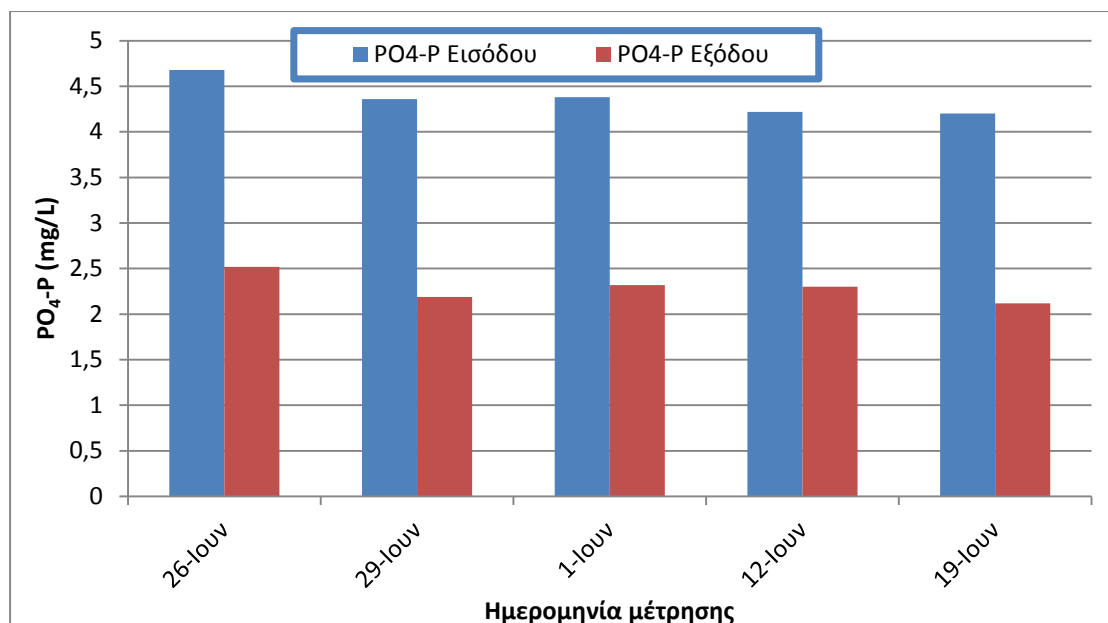
Διάγραμμα 15: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του NH₃-N για πρώτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



Διάγραμμα 16: Απομάκρυνση NH₃-N (%) για πρώτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.1.6. Αποτελέσματα PO₄-P

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 5 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 17 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 18 την απομάκρυνση που προκύπτει.



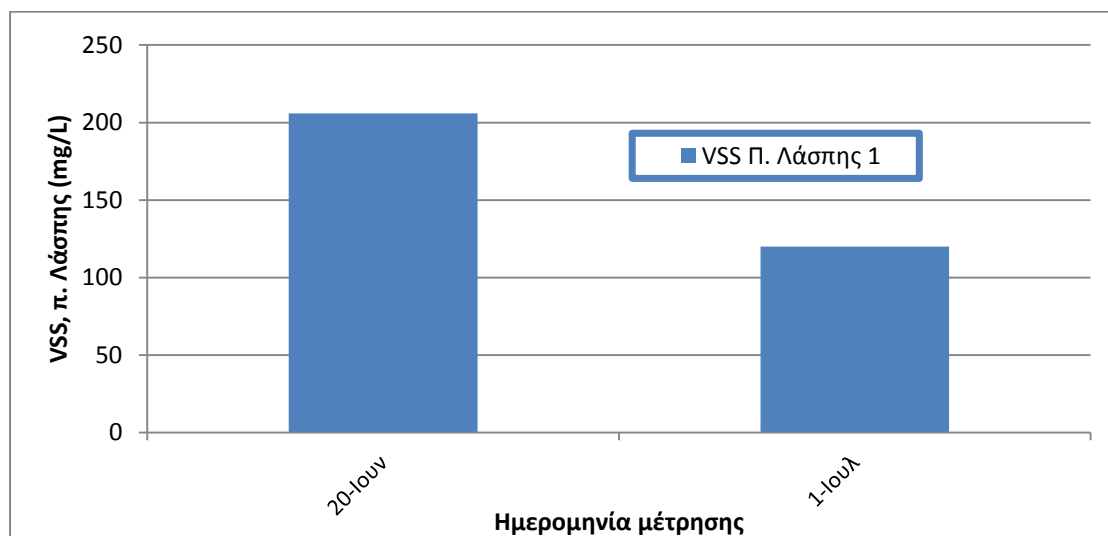
Διάγραμμα 17: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του PO₄-P για πρώτη συνθήκη λειτουργίας (Q=4 m³/day, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



Διάγραμμα 18: Απομάκρυνση PO₄-P (%) για πρώτη συνθήκη λειτουργίας (Q=4 m³/day, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.1.7. Αποτελέσματα VSS

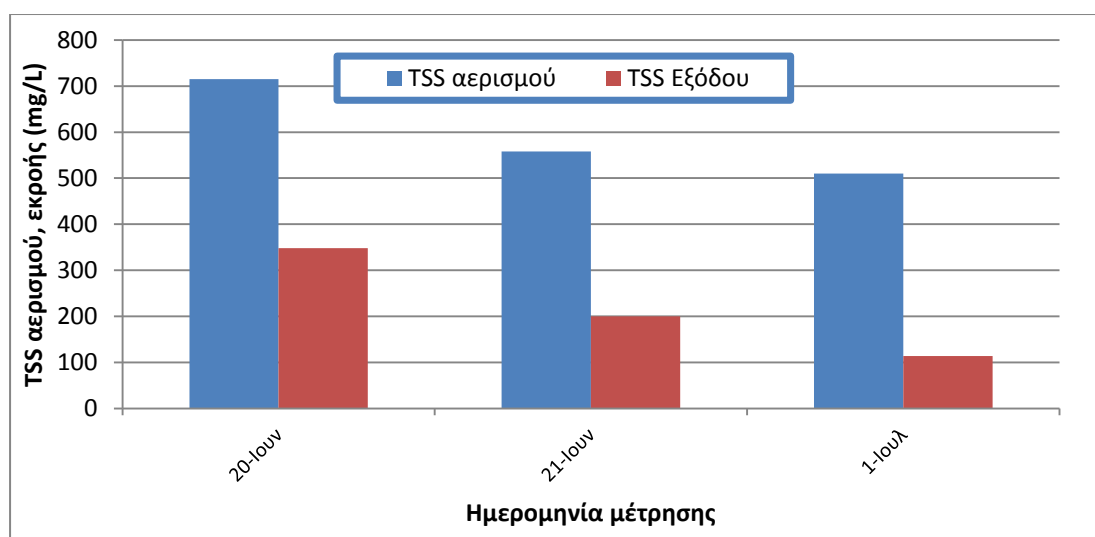
Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 2 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 19 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης.



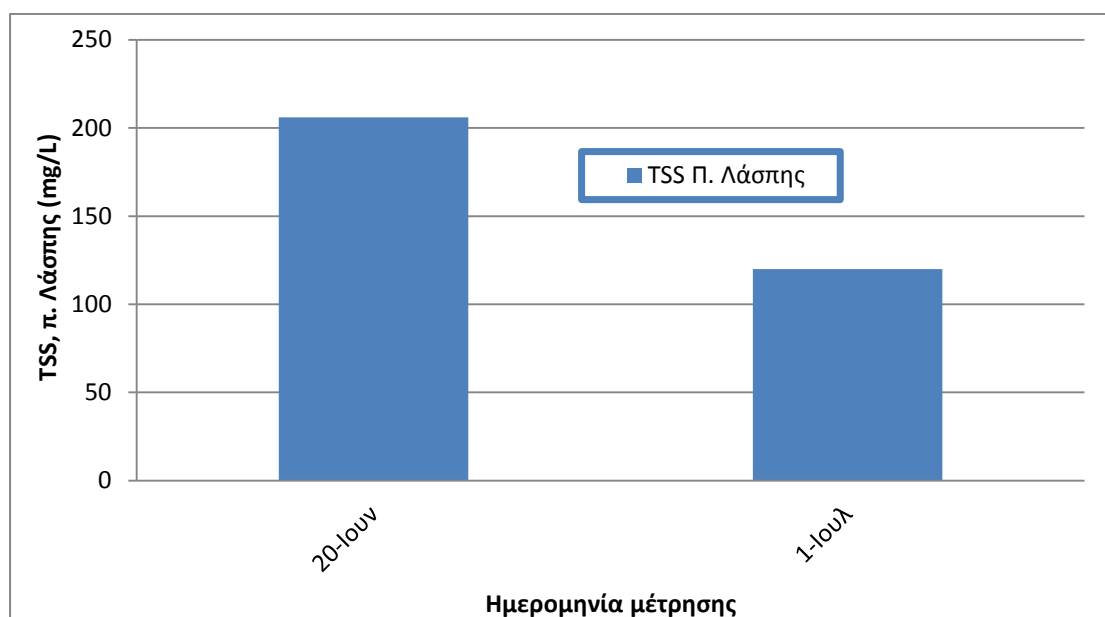
Διάγραμμα 19: Μετρήσεις VSS στην περίσσεια λάσπης για πρώτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.1.8 Αποτελέσματα TSS

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 3 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 20 έχουμε την γραφική απεικόνιση των μετρήσεων από την έξοδο του αερισμού και την εκροή του συστήματος και στο διάγραμμα 20 τις τιμές από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης.



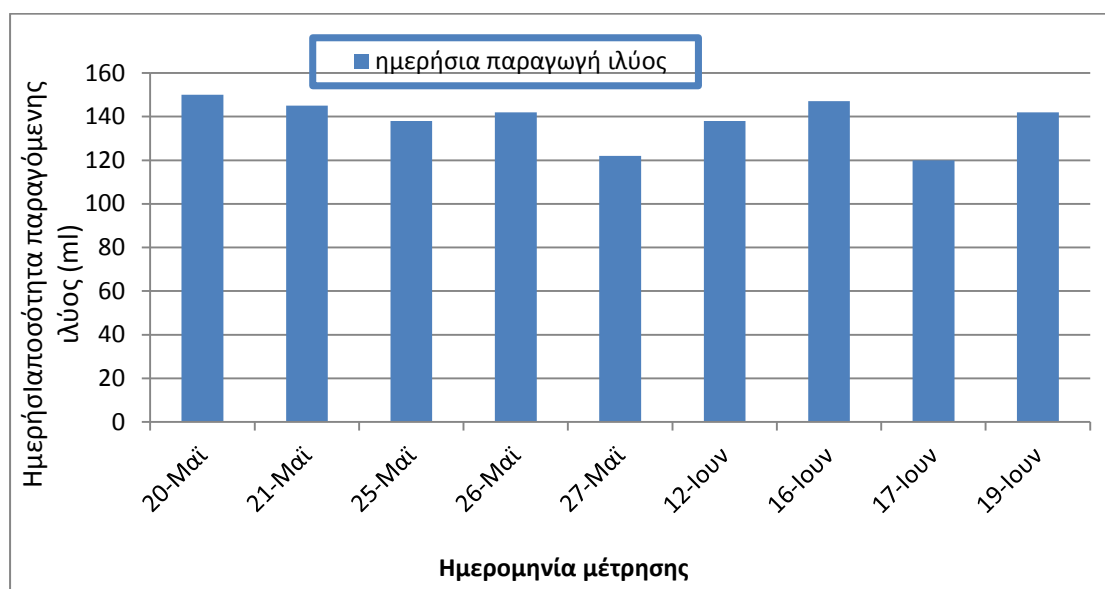
Διάγραμμα 20: Μετρήσεις TSS στην έξοδο του αερισμού και στην εκροή για πρώτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



Διάγραμμα 21: Μετρήσεις TSS στην περίσσεια λάσπης για πρώτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.1.9. Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης ιλύος

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 9 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 22 έχουμε την γραφική απεικόνιση της ημερήσιας ποσότητας της ιλύος που παράγονταν στο σύστημά μας. Η ποσότητα της ιλύος στο στάδιο αυτό κυμαίνονταν από 120 έως 150 ml.



Διάγραμμα 22: Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης ιλύος για πρώτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.2. Δεύτερη συνθήκη λειτουργίας

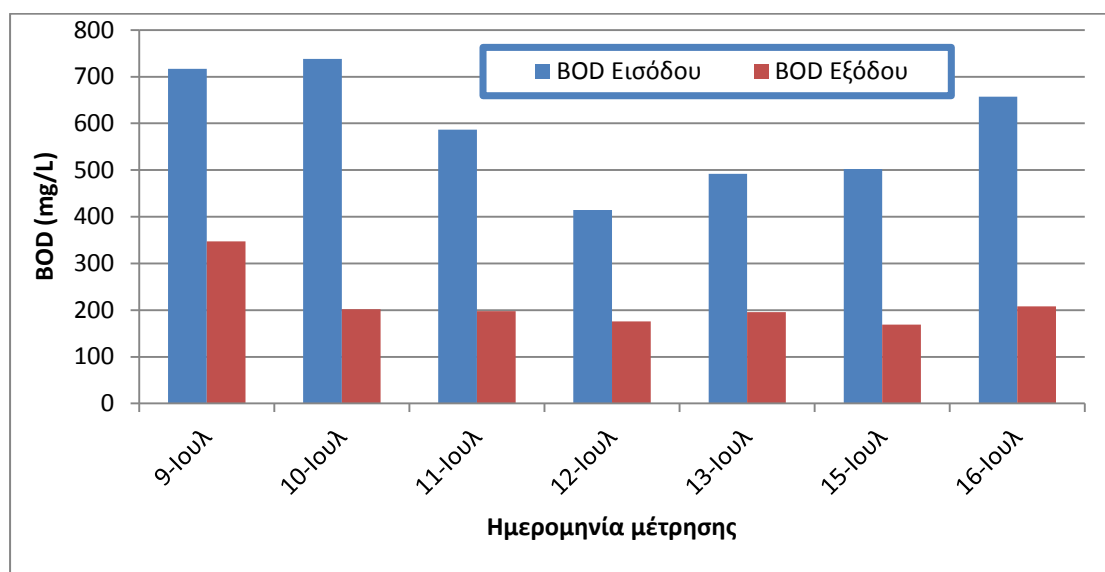
Παροχή τροφοδοσίας $Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$ για λειτουργία χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx

Η χρονική περίοδος λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας σε αυτές τις συνθήκες ξεκίνησε στις 2 Ιουλίου και ολοκληρώθηκε στις 16 Ιουλίου. Κατά την περίοδο αυτή πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του BOD, COD, TSS, VSS, αμμωνιακών, νιτρικών, και των ορθοφωσφορικών. Η ημερήσια ποσότητα της παραγόμενης ιλύος στην δεξαμενή καθίζησης κυμαίνονταν από 120 έως 150 ml.

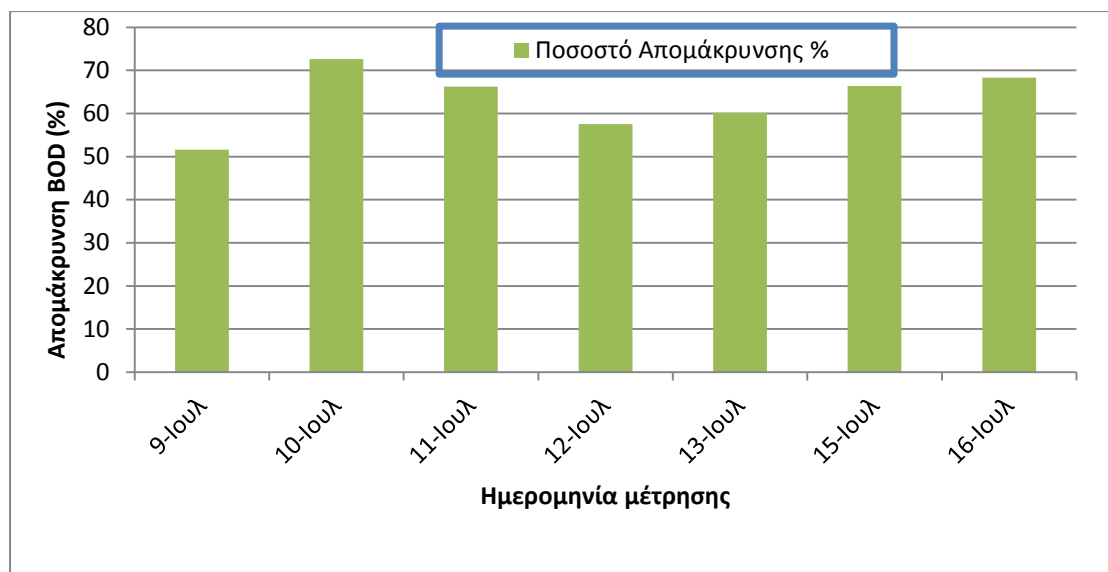
Σε αυτό το στάδιο λειτουργίας δεν έχουμε αποτελέσματα TOC καθώς ο αναλυτής τέθηκε εκτός λειτουργίας λόγω βλάβης. Ο όρος αραιό απόβλητο αναφέρεται στην αναλογία νερού και αγροτοβιομηχανικού απόβλητου που εισήχθη στην δεξαμενή εισόδου. Αναλυτικότερα στο στάδιο αυτό προστέθηκαν σε 43 λίτρα νερού 150 ml από το αγροτοβιομηχανικό απόβλητο.

5.3.2.1. Αποτελέσματα BOD

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 7 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 23 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 24 την απομάκρυνση που προκύπτει.



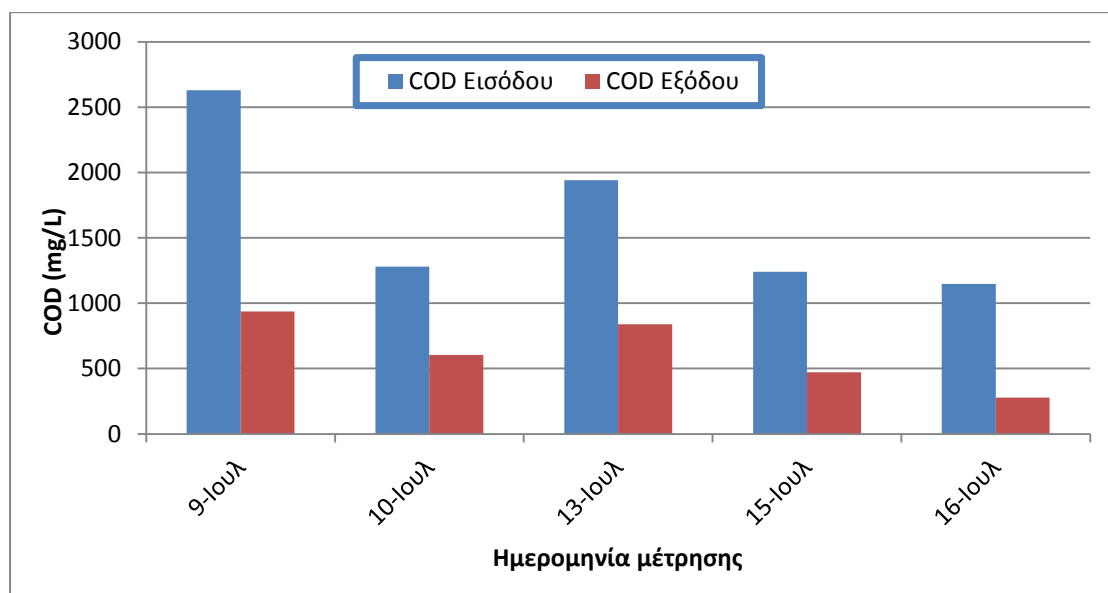
Διάγραμμα 23: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του $\text{PO}_4\text{-P}$ για δεύτερη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



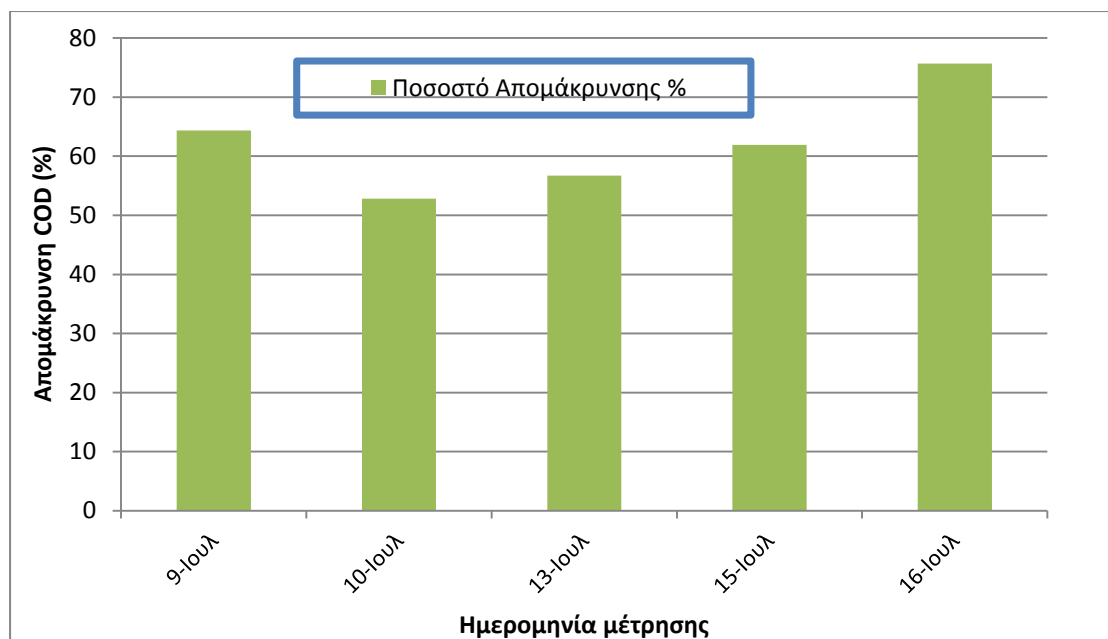
Διάγραμμα 24: Απομάκρυνση BOD (%) για δεύτερη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.2.2. Αποτελέσματα COD

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 5 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 25 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 26 την απομάκρυνση που προκύπτει.



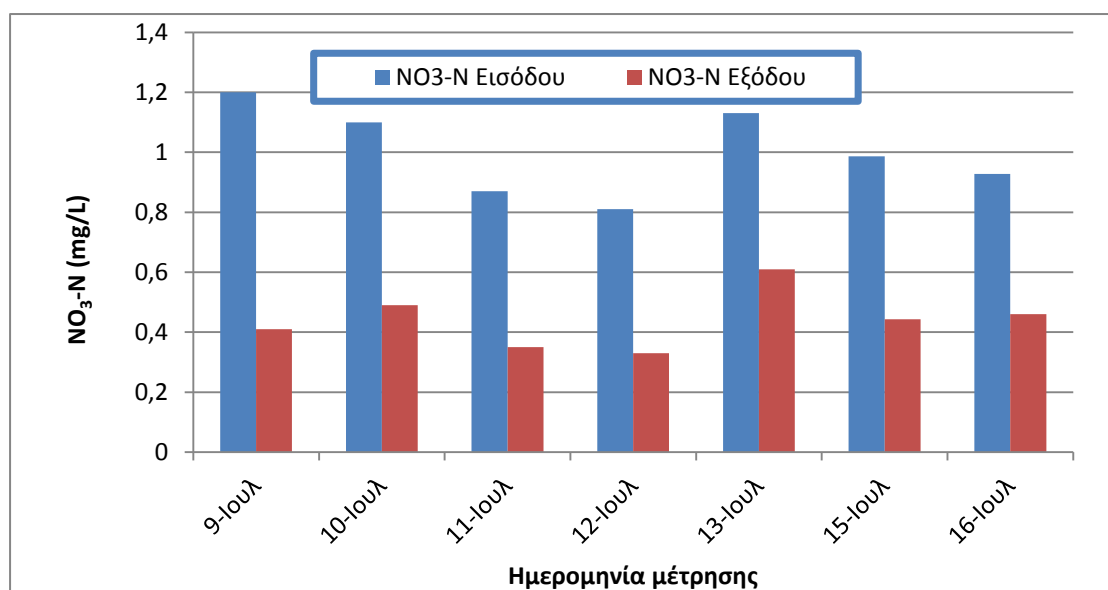
Διάγραμμα 25: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του COD για δεύτερη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



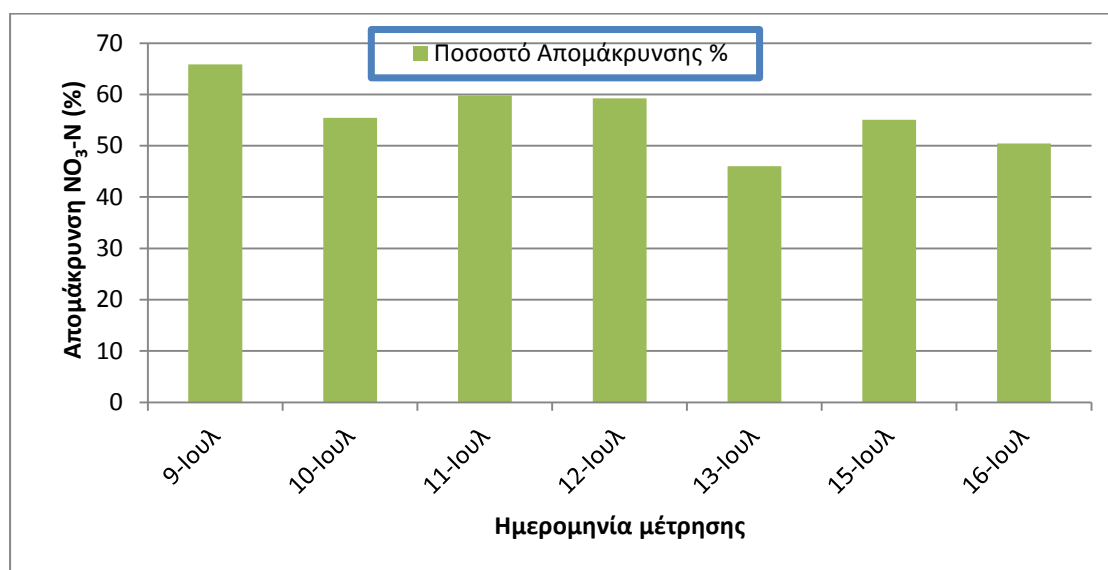
Διάγραμμα 26: Απομάκρυνση COD (%) για δεύτερη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.2.3. Αποτελέσματα $\text{NO}_3\text{-N}$

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 7 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 27 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 28 την απομάκρυνση που προκύπτει.



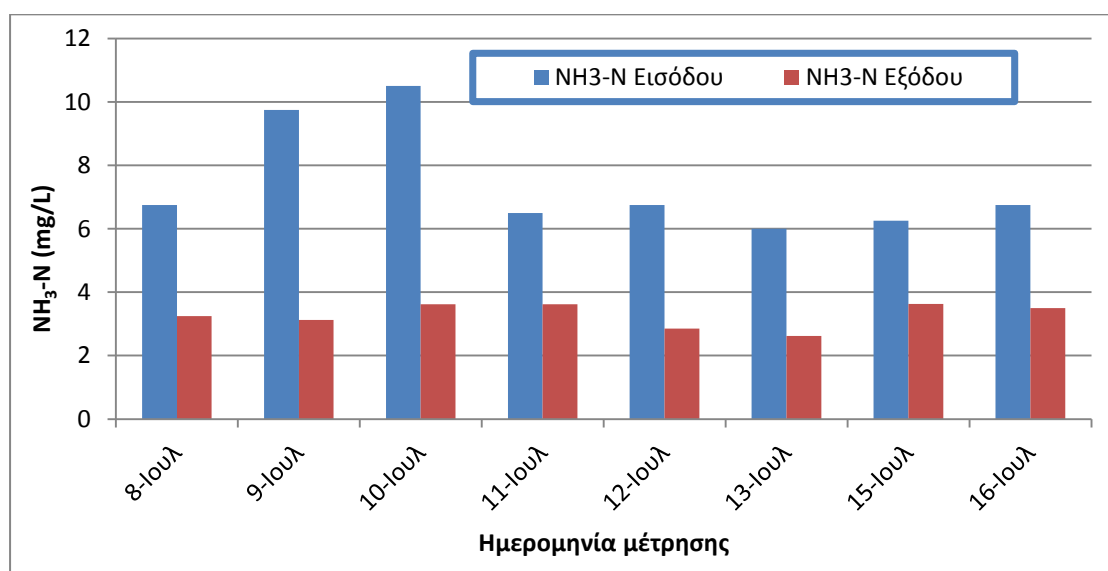
Διάγραμμα 27: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του $\text{NO}_3\text{-N}$ για δεύτερη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



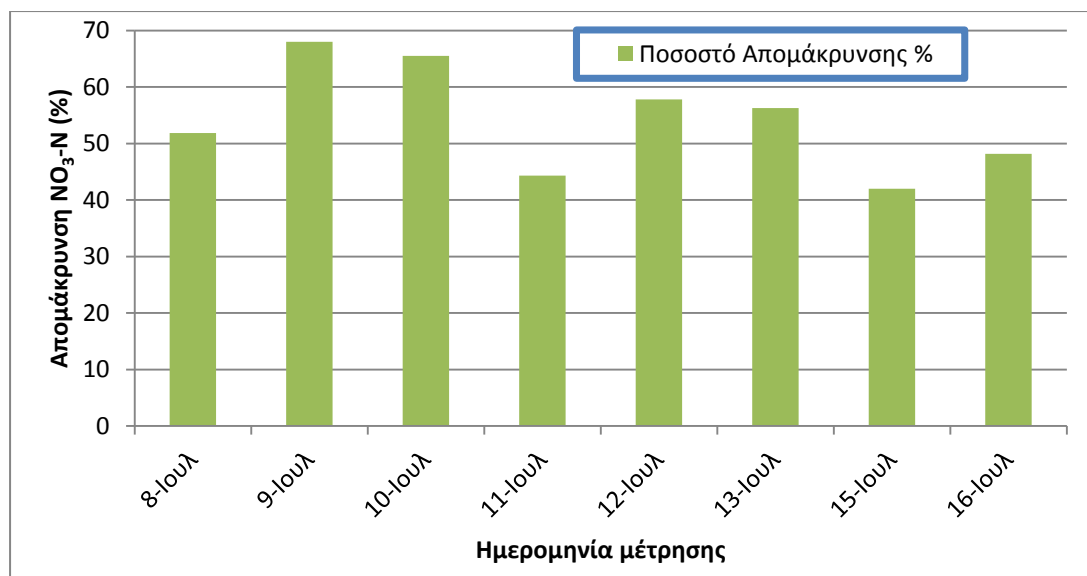
Διάγραμμα 28: Απομάκρυνση $\text{NO}_3\text{-N}$ (%) για δεύτερη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.2.4. Αποτελέσματα $\text{NH}_3\text{-N}$

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 8 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 29 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 30 την απομάκρυνση που προκύπτει.



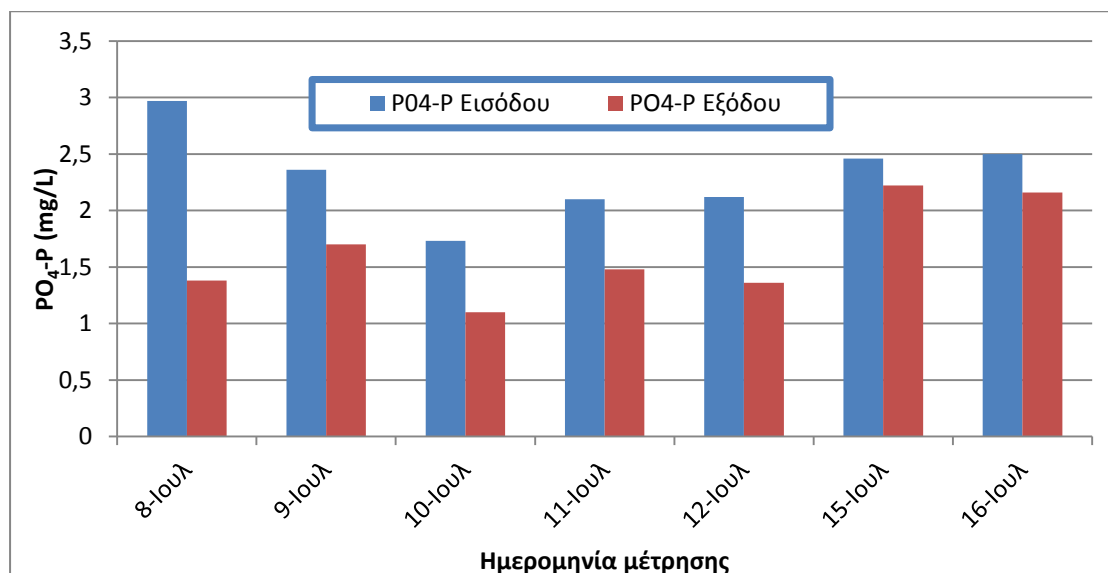
Διάγραμμα 29: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του $\text{NH}_3\text{-N}$ για δεύτερη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



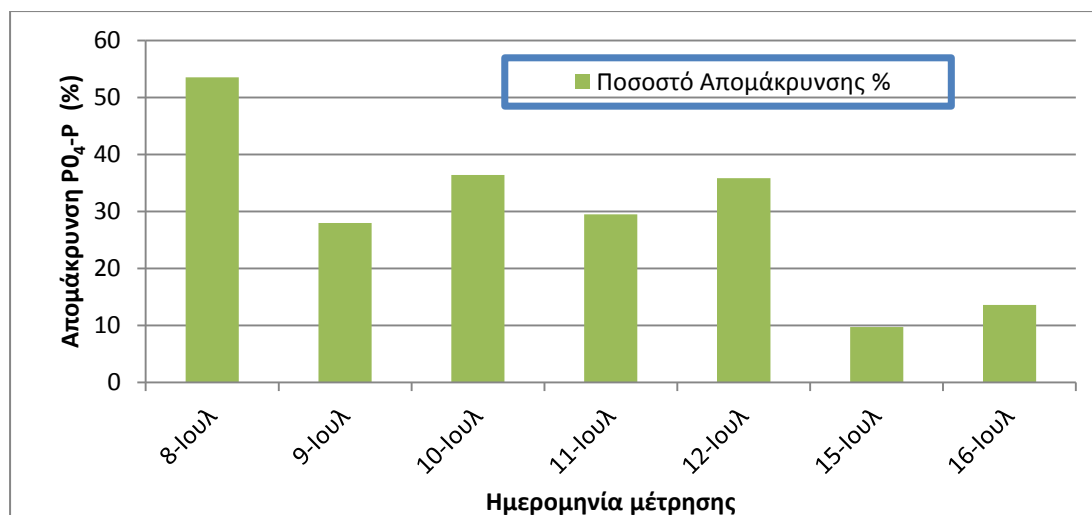
Διάγραμμα 30: Απομάκρυνση $\text{NH}_3\text{-N}$ (%) για δεύτερη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.2.5. Αποτελέσματα $\text{PO}_4\text{-P}$

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 7 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 31 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 32 την απομάκρυνση που προκύπτει.



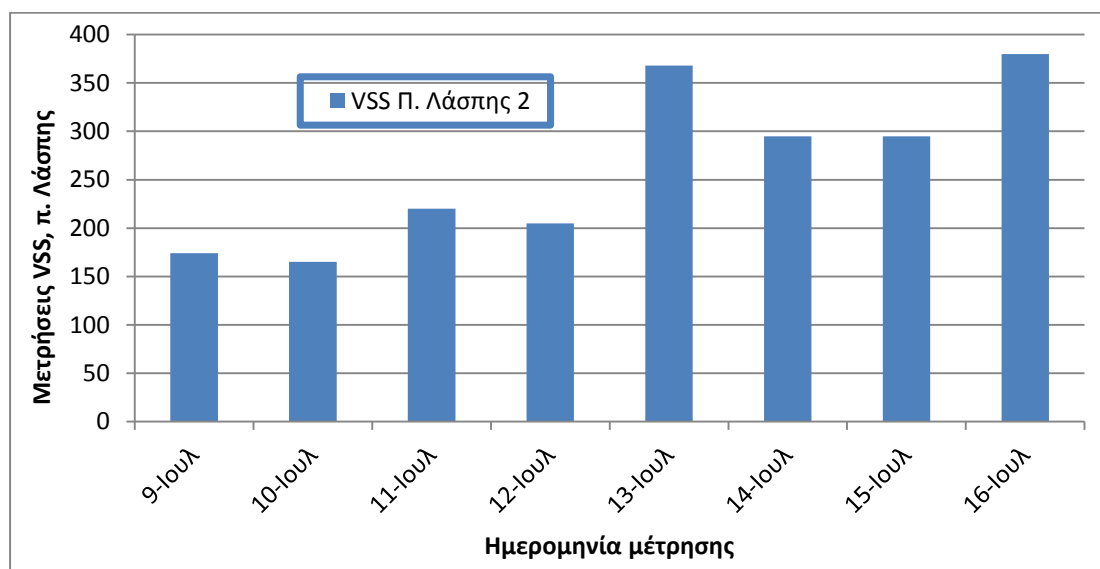
Διάγραμμα 31: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του $\text{PO}_4\text{-P}$ για δεύτερη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



Διάγραμμα 32: Απομάκρυνση PO_4-P (%) για δεύτερη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.2.6. Αποτελέσματα VSS

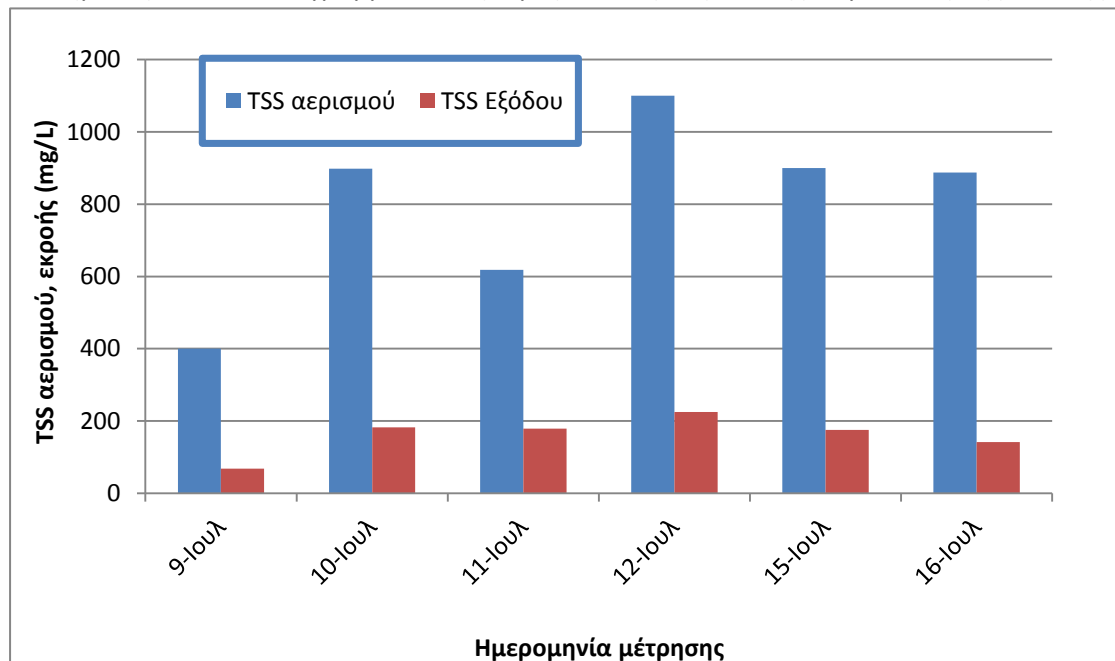
Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 8 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 33 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης.



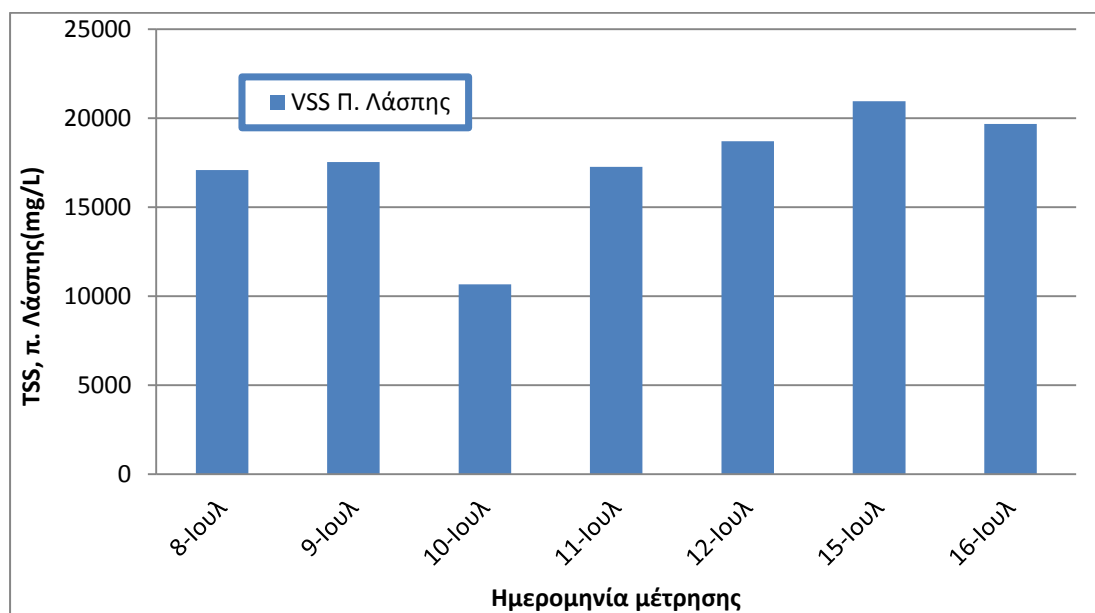
Διάγραμμα 33: Μετρήσεις VSS στην περίσσεια λάσπης για δεύτερη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.2.7. Αποτελέσματα TSS

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 6 μετρήσεις TSS στην έξοδο του αερισμού και την εκροή, και 7 μετρήσεις TSS στην περίσσεια της λάσπης. Στο διάγραμμα 34 έχουμε την γραφική απεικόνιση των μετρήσεων από την έξοδο του αερισμού και την εκροή του συστήματος και στο διάγραμμα 35 τις τιμές από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης.



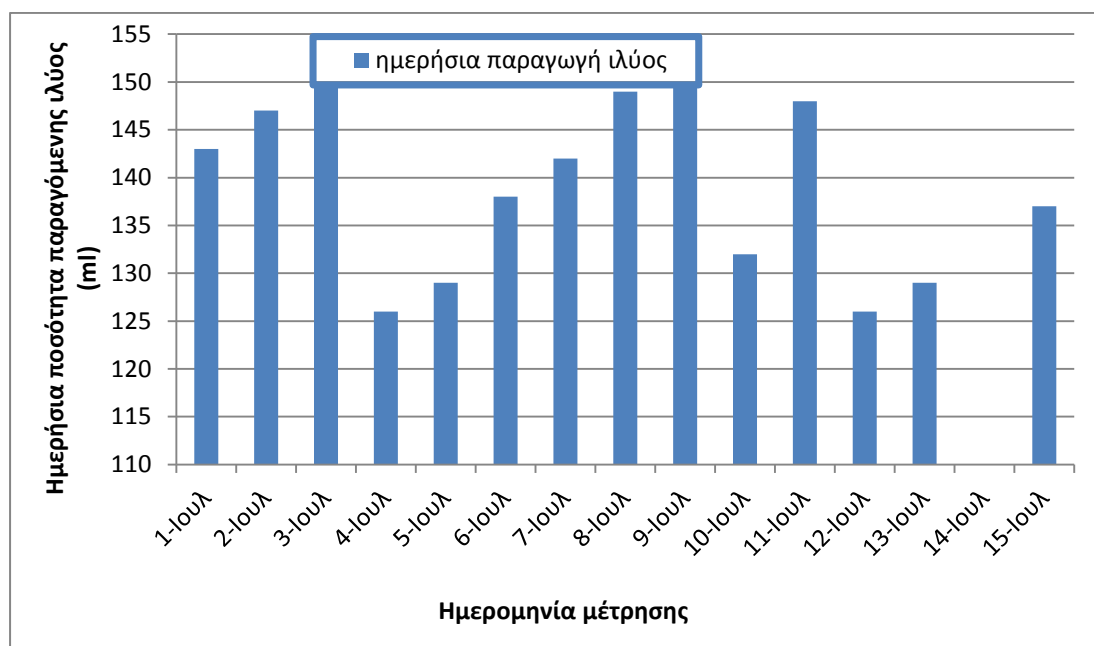
Διάγραμμα 34: Μετρήσεις TSS στην έξοδο του αερισμού και στην εκροή για δεύτερη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



Διάγραμμα 35: Μετρήσεις TSS στην περίσσεια της λάσπης για δεύτερη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.3.2.8. Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης λύος

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 9 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 36 έχουμε την γραφική απεικόνιση της ημερήσιας ποσότητας της λύος που παράγονταν στο σύστημά μας. Η ποσότητα της λύος στο στάδιο αυτό κυμαίνονταν από 120 έως 150 ml.



Διάγραμμα 36: Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης λύος για δεύτερη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4. Λειτουργία με την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx

5.4.1. Τρίτη συνθήκη λειτουργίας

Παροχή τροφοδοσίας $Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$ για λειτουργία με την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx

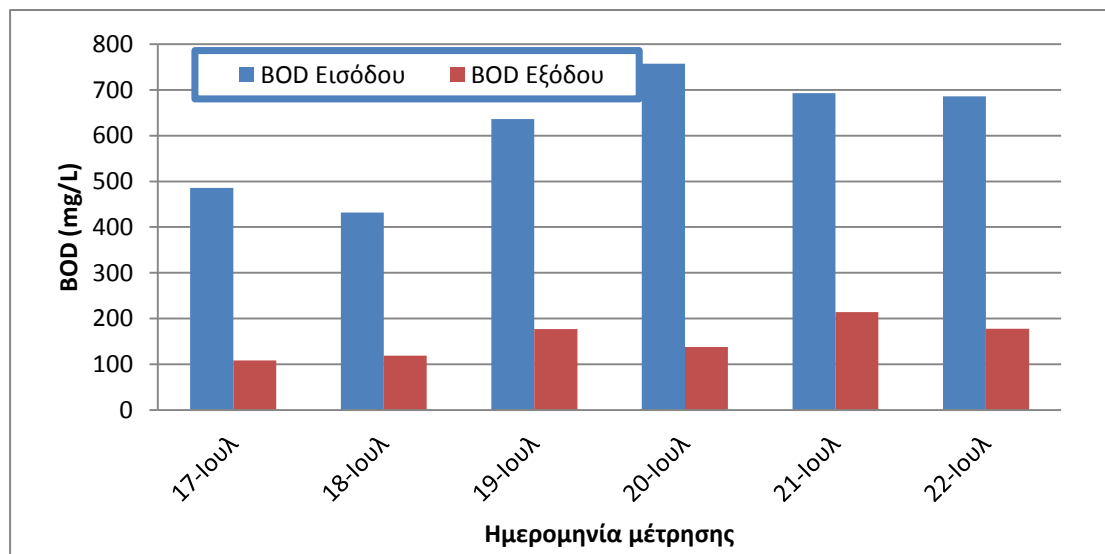
Η χρονική περίοδος λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας σε αυτές τις συνθήκες ξεκίνησε στις 17 Ιουλίου και ολοκληρώθηκε στις 24 Ιουλίου. Κατά την περίοδο αυτή πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του BOD, COD, TSS, VSS, αμμωνιακών, νιτρικών, και των ορθοφωσφορικών. Την ημέρα έναρξης των πειραμάτων αυτής της συνθήκης η ημερήσια ποσότητα της παραγόμενης λύος στην δεξαμενή καθίζησης ήταν 150 ml. Από την 3^η ημέρα λειτουργίας έχουμε σημαντική μείωση της ποσότητας και την 7^η ημέρα λειτουργίας η παραγόμενη ποσότητα είναι μηδενική.

Σε αυτό το στάδιο λειτουργίας δεν έχουμε αποτελέσματα TOC καθώς ο αναλυτής τέθηκε εκτός λειτουργίας λόγω βλάβης. Ο όρος αραιό απόβλητο αναφέρεται στην αναλογία νερού

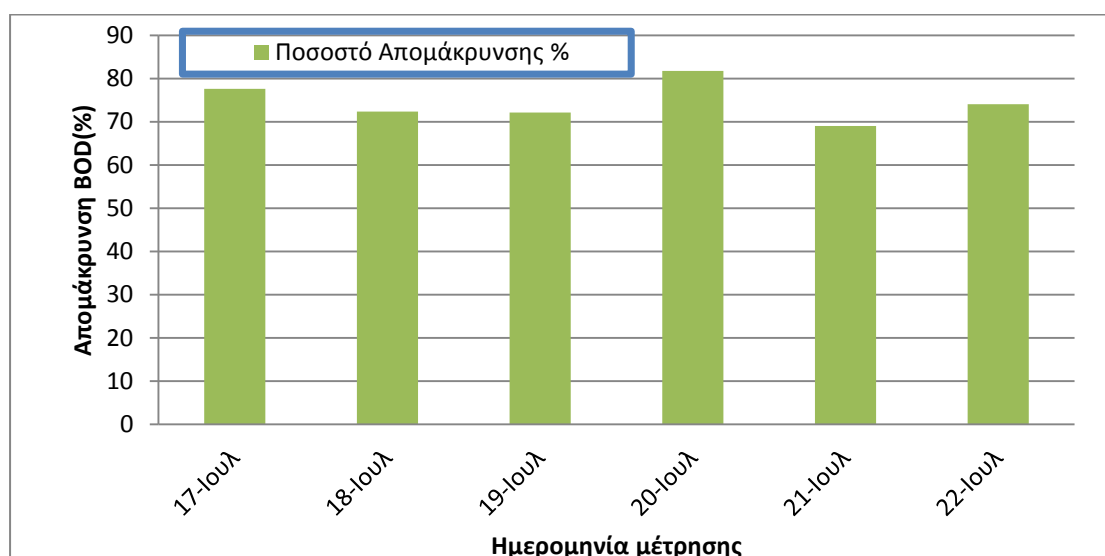
και αγροτοβιομηχανικού απόβλητου που εισήχθηκε στην δεξαμενή εισόδου. Αναλυτικότερα στο στάδιο αυτό προστέθηκαν σε 43 λίτρα νερού 150 ml από το αγροτοβιομηχανικό απόβλητο.

5.4.1.1. Αποτελέσματα BOD

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 6 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 37 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 38 την απομάκρυνση που προκύπτει.



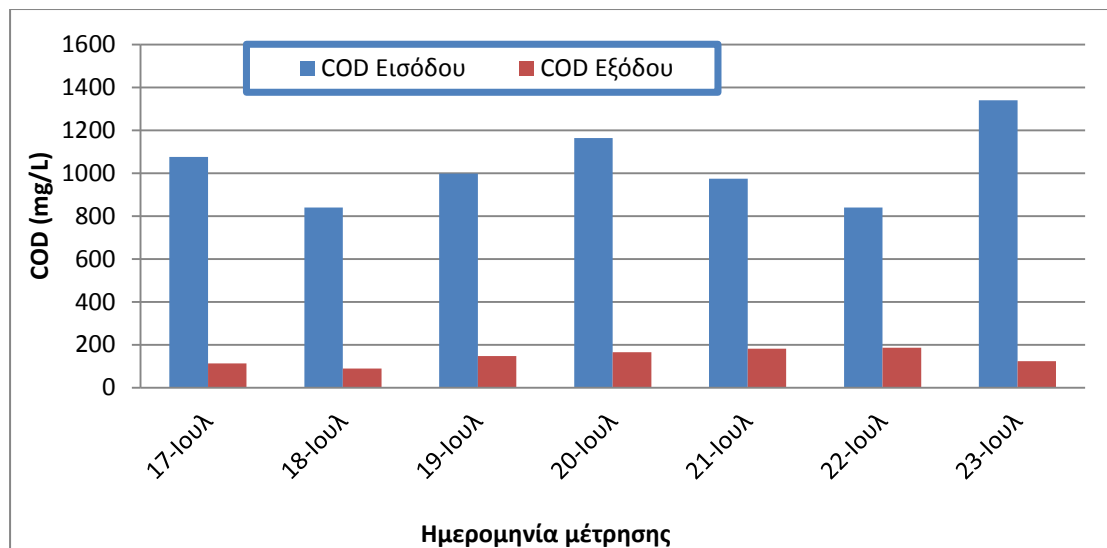
Διάγραμμα 37: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του BOD για τρίτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



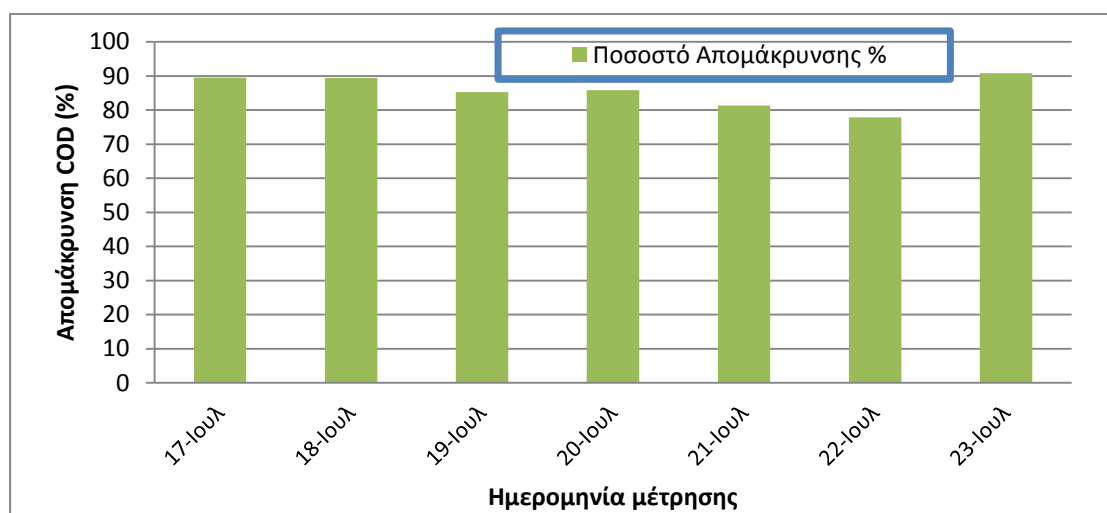
Διάγραμμα 38: Απομάκρυνση BOD (%) για τρίτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.1.2. Αποτελέσματα COD

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 7 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 39 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 40 την απομάκρυνση που προκύπτει.



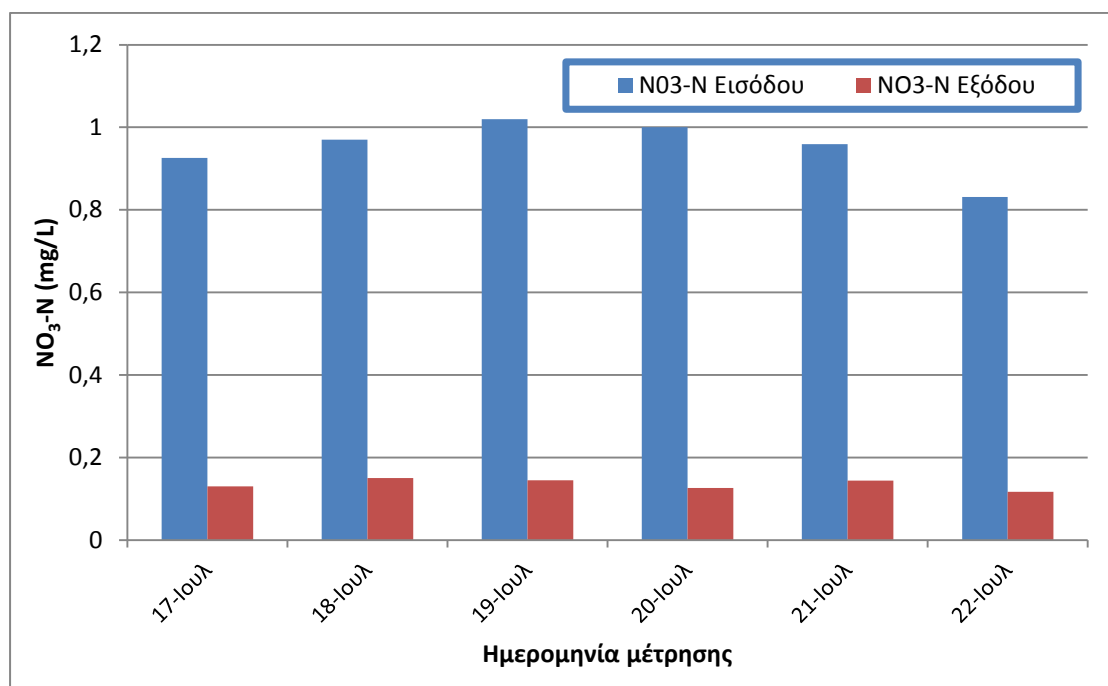
Διάγραμμα 39: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του COD για τρίτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



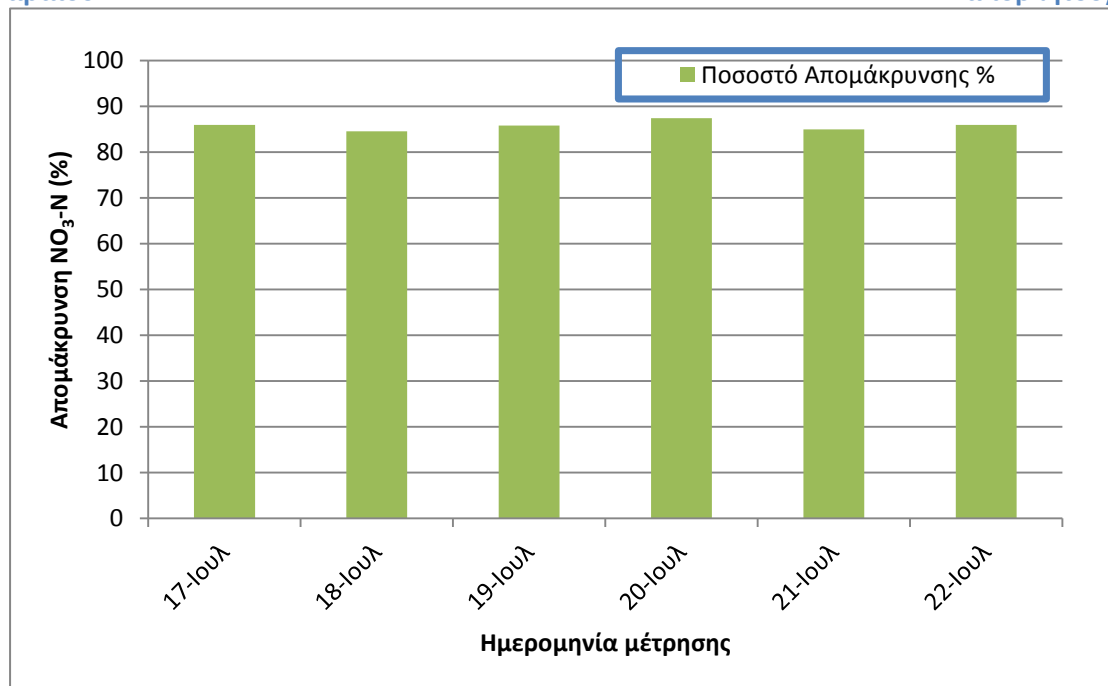
Διάγραμμα 40: Απομάκρυνση COD (%) για τρίτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.1.3. Αποτελέσματα $\text{NO}_3\text{-N}$

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 6 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 41 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 42 την απομάκρυνση που προκύπτει.



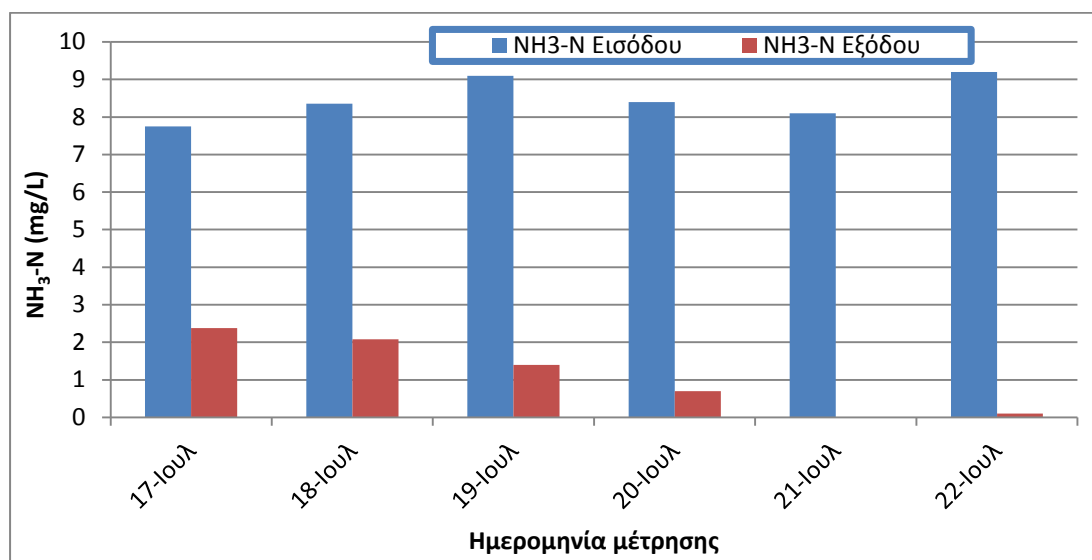
Διάγραμμα 41: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του $\text{NO}_3\text{-N}$ για τρίτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



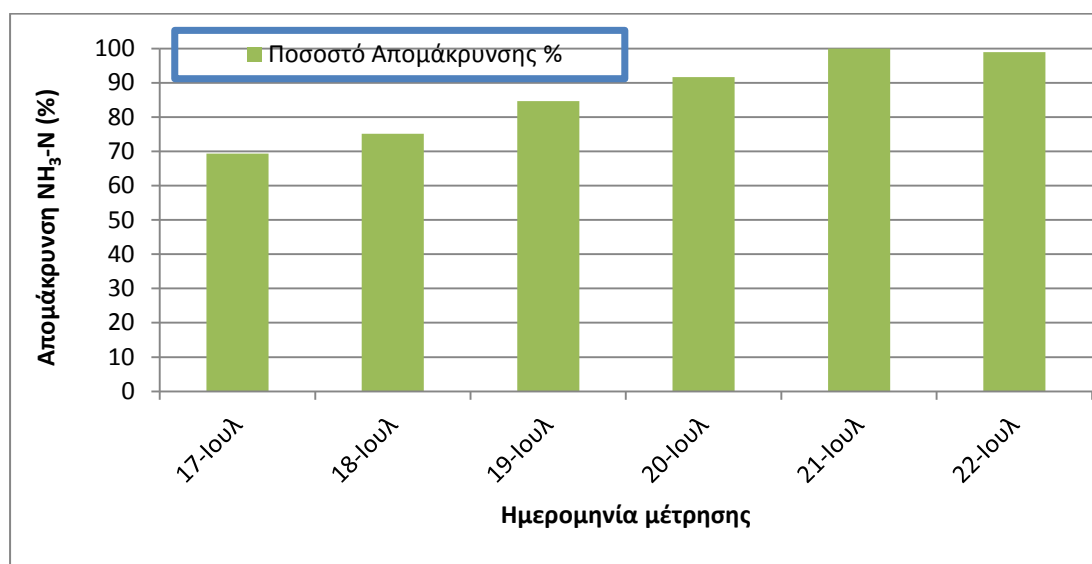
Διάγραμμα 42: Απομάκρυνση $\text{NO}_3\text{-N}$ (%) για τρίτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.1.4. Αποτελέσματα $\text{NH}_3\text{-N}$

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 6 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 43 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 44 την απομάκρυνση που προκύπτει.



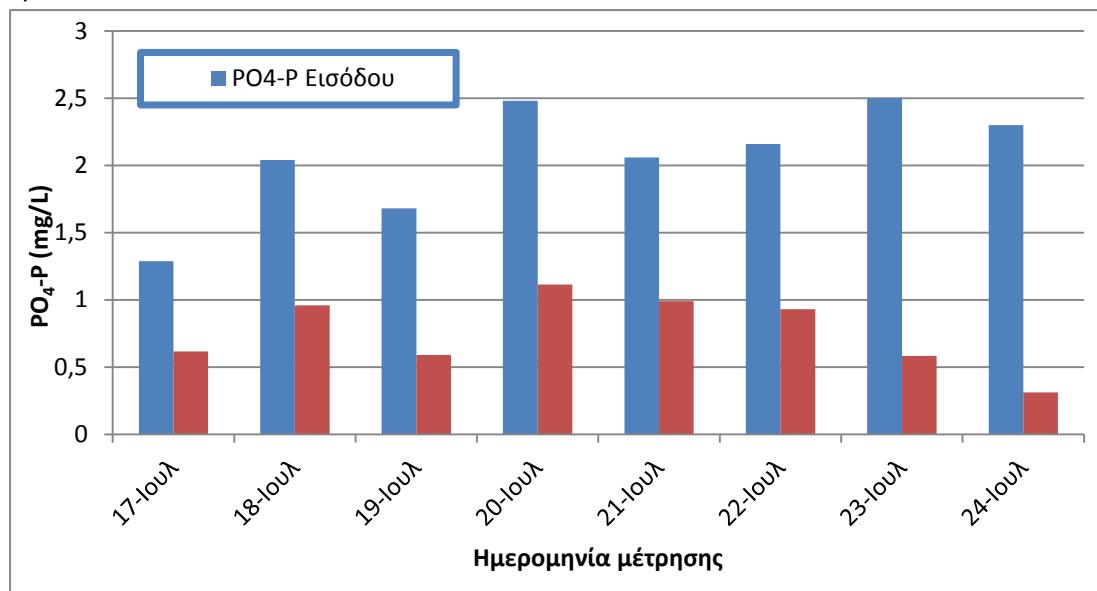
Διάγραμμα 43: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του $\text{NH}_3\text{-N}$ για τρίτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



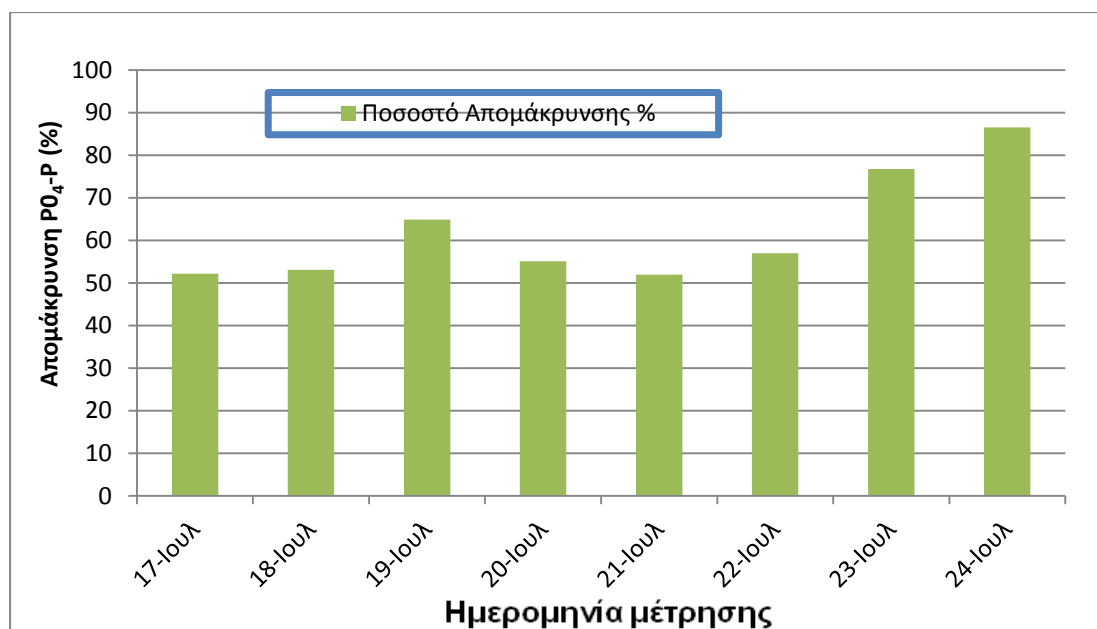
Διάγραμμα 44: Απομάκρυνση $\text{NH}_3\text{-N}$ (%) για τρίτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.1.5. Αποτελέσματα $PO_4\text{-P}$

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 8 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 45 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 46 την απομάκρυνση που προκύπτει.



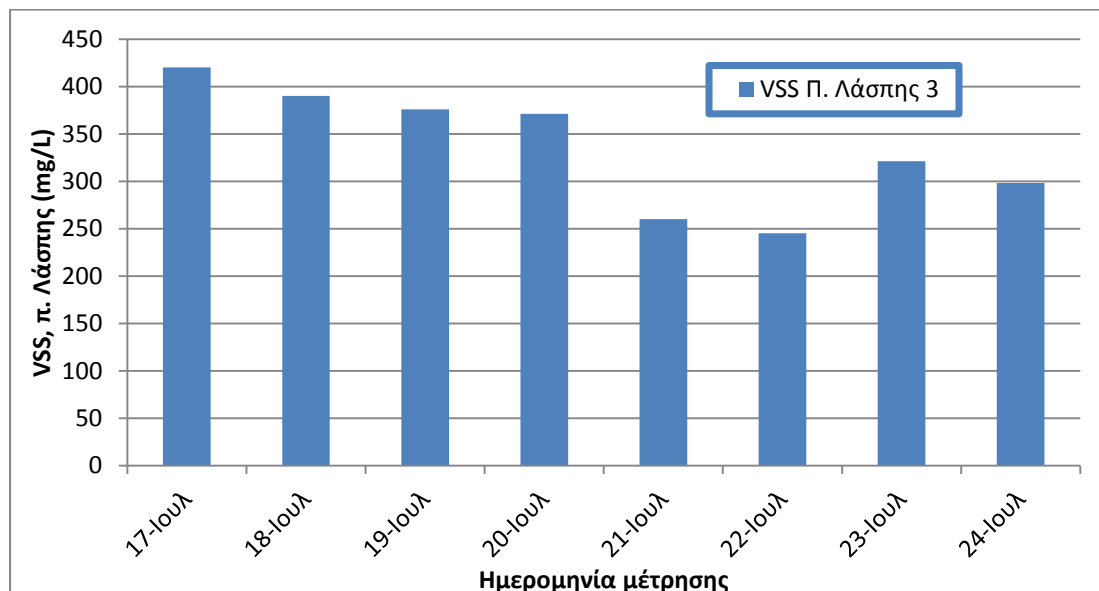
Διάγραμμα 45: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του $PO_4\text{-P}$ για τρίτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



Διάγραμμα 46: Απομάκρυνση $PO_4\text{-P}$ (%) για τρίτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.1.6. Αποτελέσματα VSS

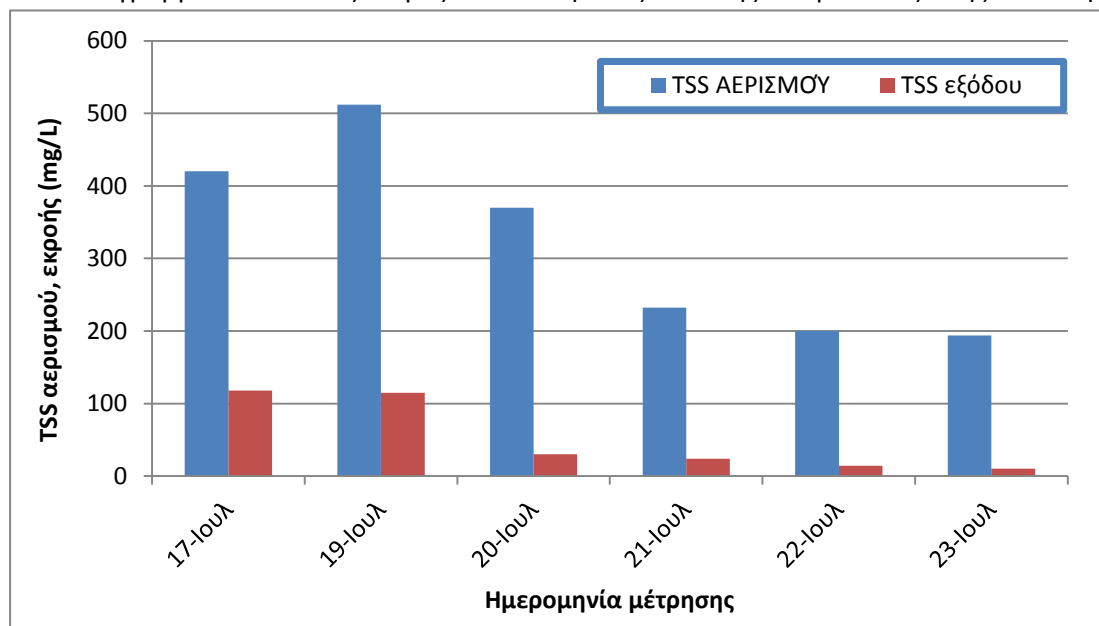
Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 8 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 47 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης.



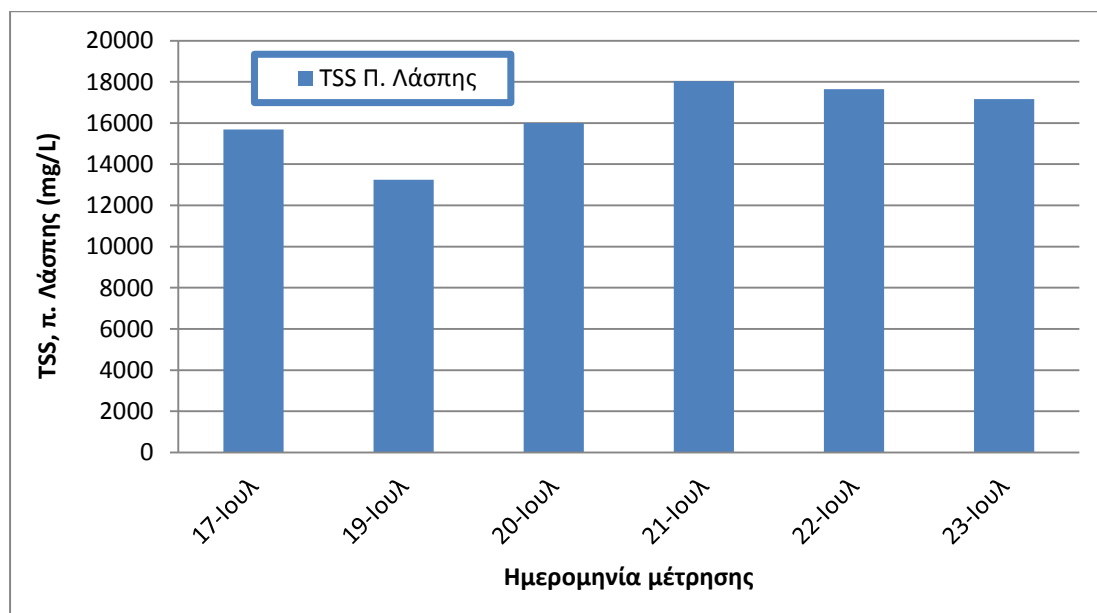
Διάγραμμα 47: Μέτρηση VSS στην περίσσεια της λάσπης για τρίτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.1.7. Αποτελέσματα TSS

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 6 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 48 έχουμε την γραφική απεικόνιση των μετρήσεων από την έξοδο του αερισμού και την εκροή του συστήματος και στο διάγραμμα 49 τις τιμές από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης.



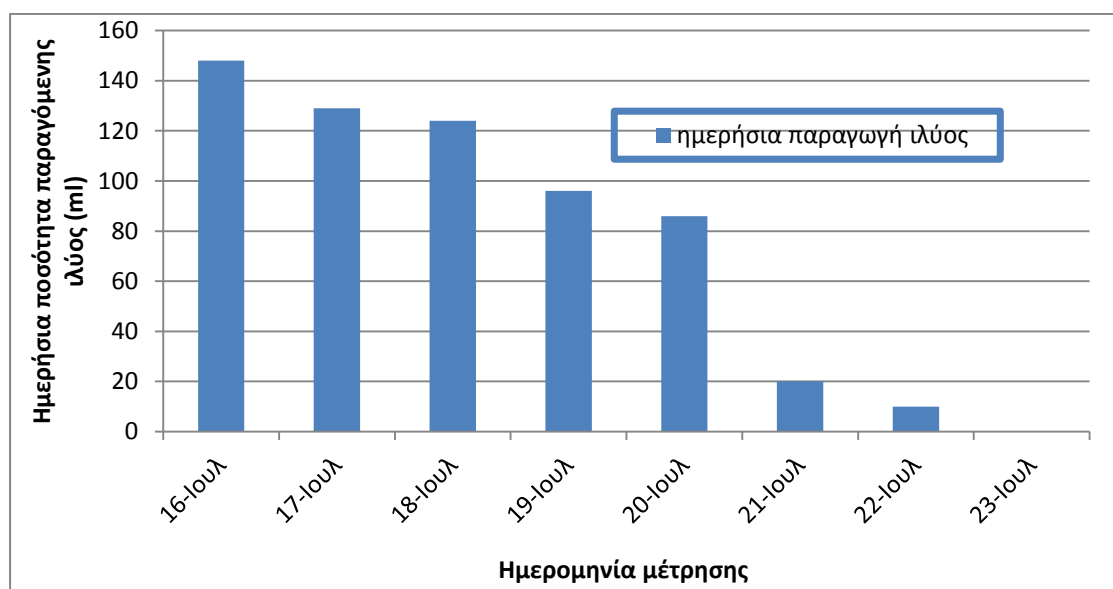
Διάγραμμα 48: Μέτρηση TSS στην έξοδο του αερισμού και στην εκροή για τρίτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



Διάγραμμα 49: Μέτρηση TSS στην περίσσεια της λάσπης για τρίτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.1.8. Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης ιλύος

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 7 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 50 έχουμε την γραφική απεικόνιση της ημερήσιας ποσότητας της ιλύος που παράγονταν στο σύστημά μας. Η ποσότητα της ιλύος στο στάδιο αυτό κυμαίνονταν από 120 έως 150 ml.



Διάγραμμα 50: Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης υλός για τρίτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.2. Τέταρτη συνθήκη λειτουργίας

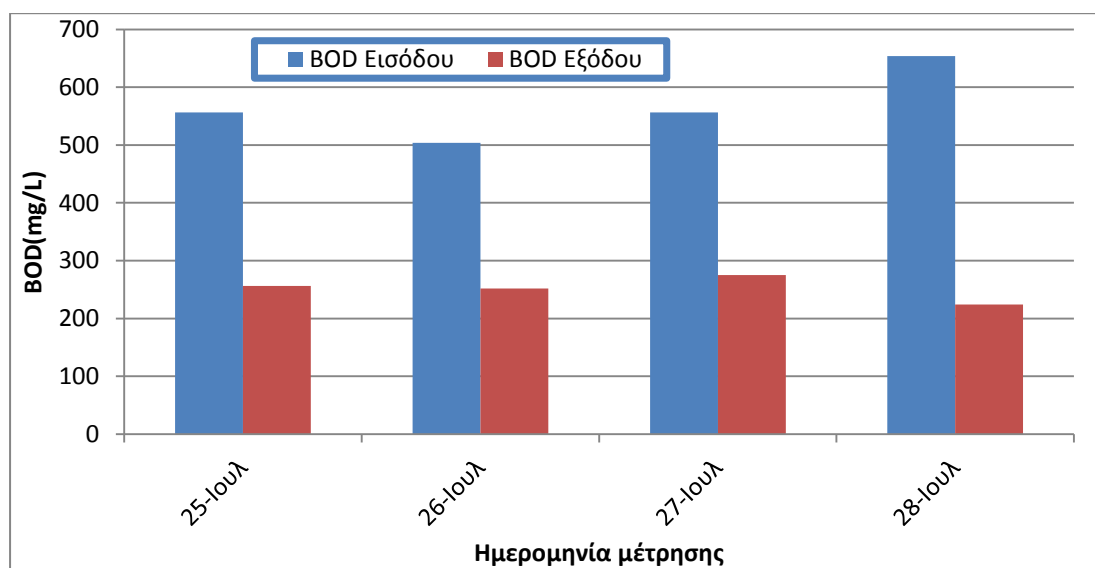
Παροχή τροφοδοσίας $Q= 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$ για λειτουργία με την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx

Η χρονική περίοδος λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας σε αυτές τις συνθήκες ξεκίνησε στις 25 Ιουλίου και ολοκληρώθηκε στις 28 Ιουλίου. Κατά την περίοδο αυτή πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του BOD, COD, TSS, VSS, αμμωνιακών, νιτρικών, και των ορθοφωσφορικών. Η ημερήσια ποσότητα της παραγόμενης υλός στην δεξαμενή καθίζησης κυμαίνονταν από 30 έως 50 ml.

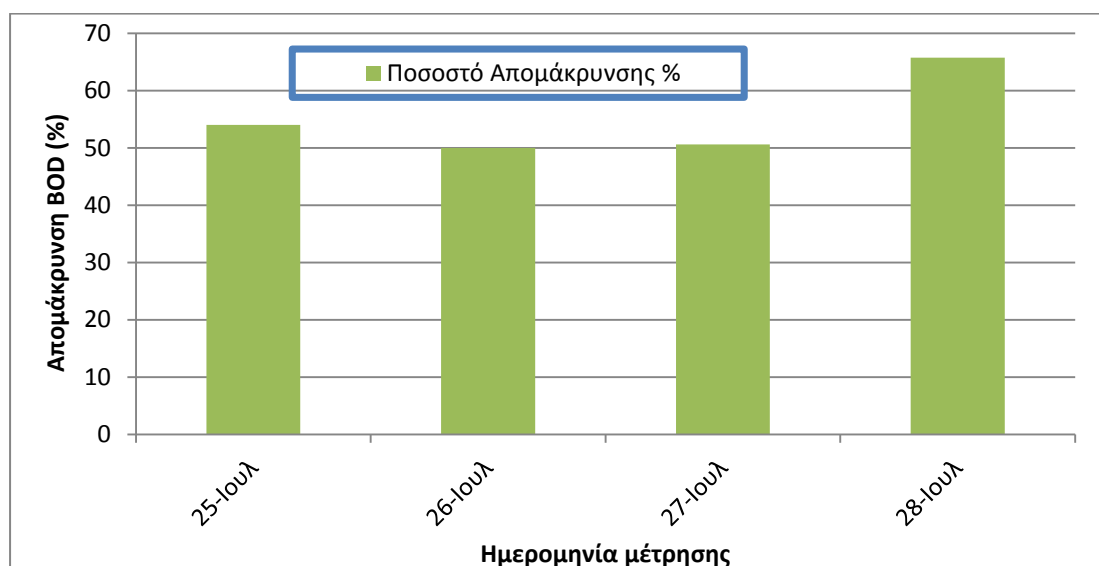
Σε αυτό το στάδιο λειτουργίας δεν έχουμε αποτελέσματα TOC καθώς ο αναλυτής τέθηκε εκτός λειτουργίας λόγω βλάβης. Ο όρος αραιό απόβλητο αναφέρεται στην αναλογία νερού και αγροτοβιομηχανικού απόβλητου που εισήχθηκε στην δεξαμενή εισόδου. Αναλυτικότερα στο στάδιο αυτό προστέθηκαν σε 43 λίτρα νερού 150 ml από το αγροτοβιομηχανικό απόβλητο.

5.4.2.1. Αποτελέσματα BOD

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 51 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 52 την απομάκρυνση που προκύπτει.



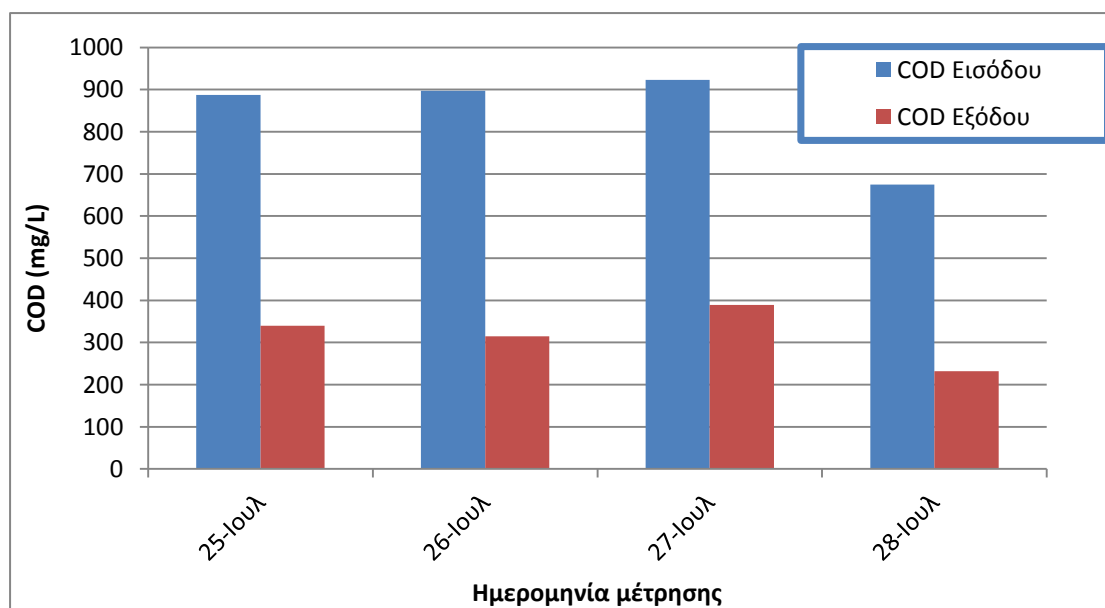
Διάγραμμα 51: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του BOD για τέταρτη συνθήκη λειτουργίας ($Q= 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



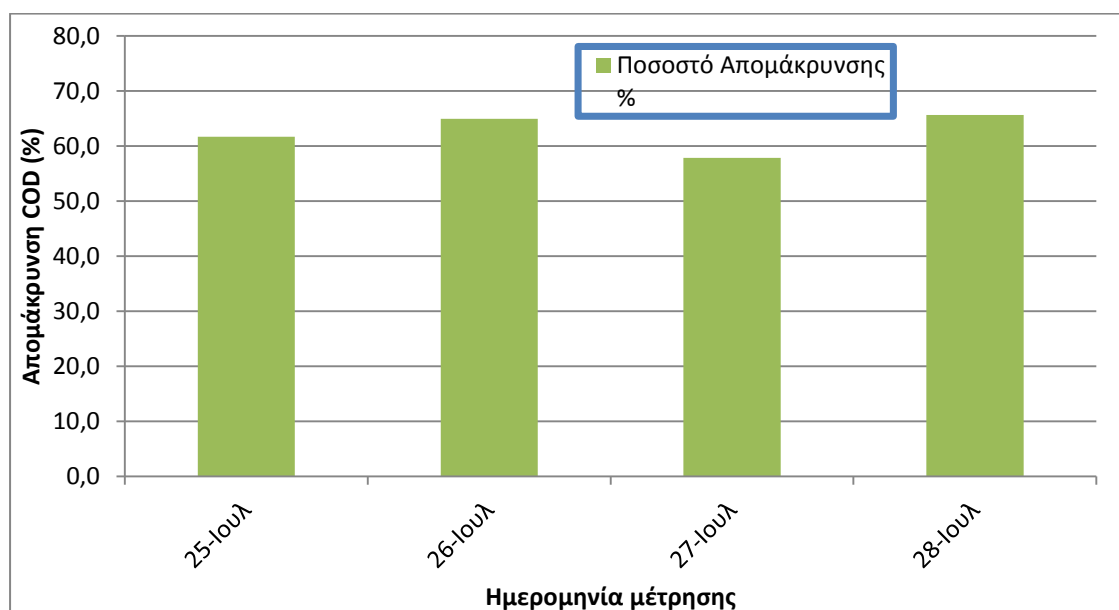
Διάγραμμα 52: Απομάκρυνση BOD (%) για τέταρτη συνθήκη λειτουργίας ($Q = 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.2.2. Αποτελέσματα COD

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 53 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 54 την απομάκρυνση που προκύπτει.



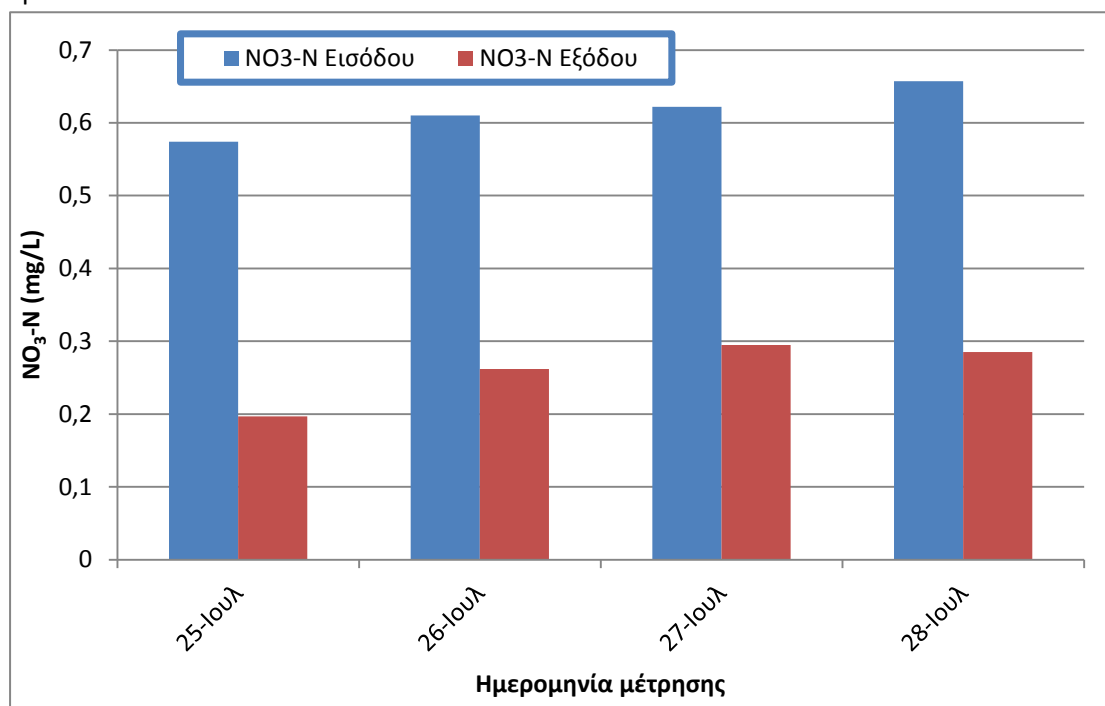
Διάγραμμα 53: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του COD για τέταρτη συνθήκη λειτουργίας ($Q = 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



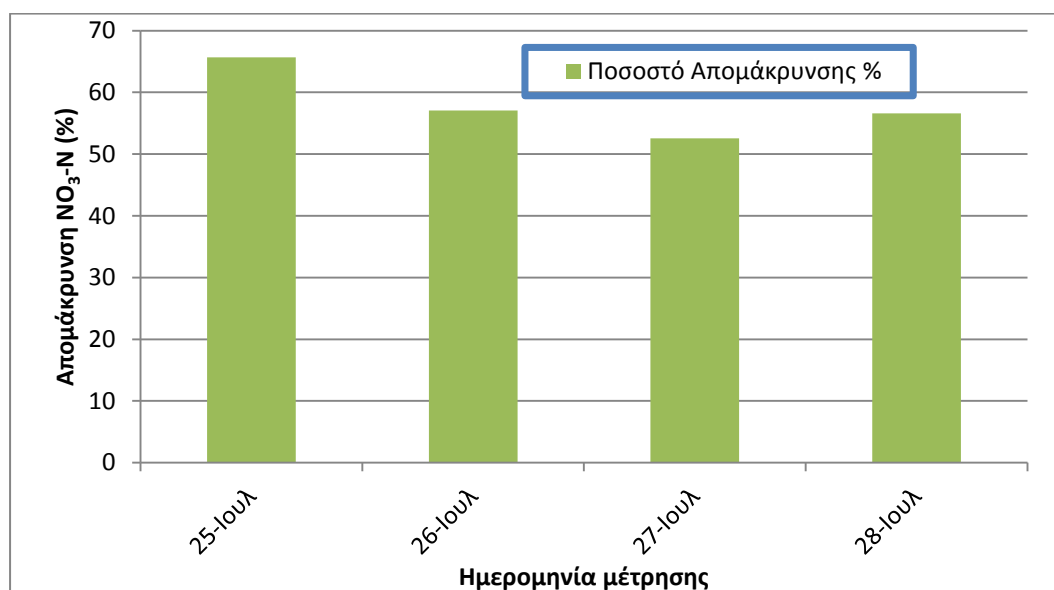
Διάγραμμα 54: Απομάκρυνση COD (%) για τέταρτη συνθήκη λειτουργίας ($Q= 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.2.3. Αποτελέσματα $\text{NO}_3\text{-N}$

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 55 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 56 την απομάκρυνση που προκύπτει.



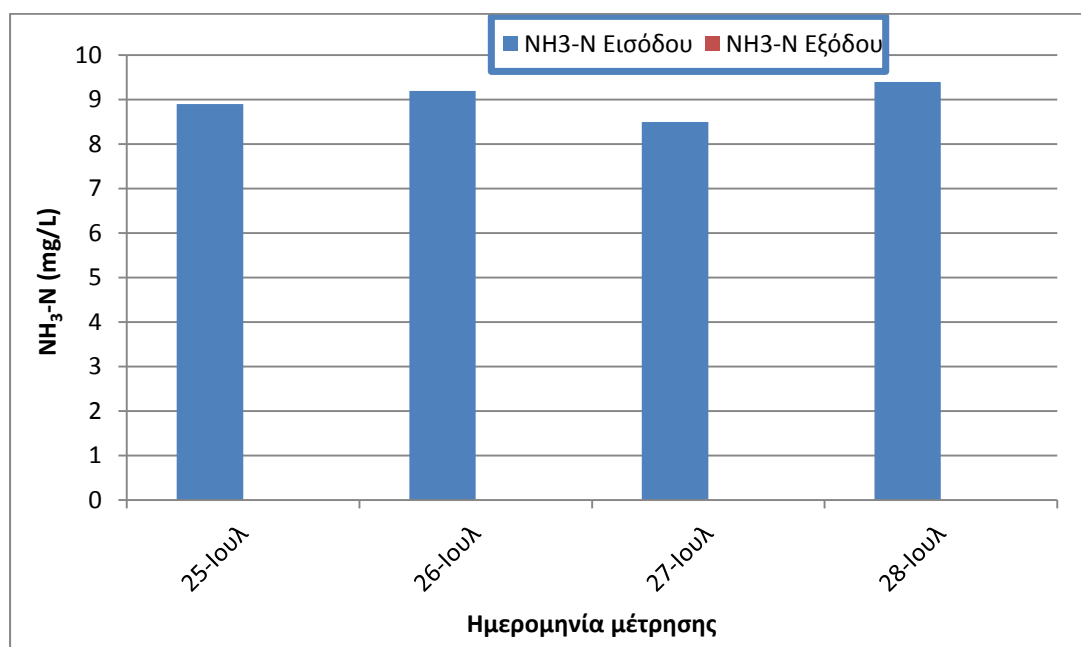
Διάγραμμα 55: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του $\text{NO}_3\text{-N}$ για τέταρτη συνθήκη λειτουργίας ($Q= 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



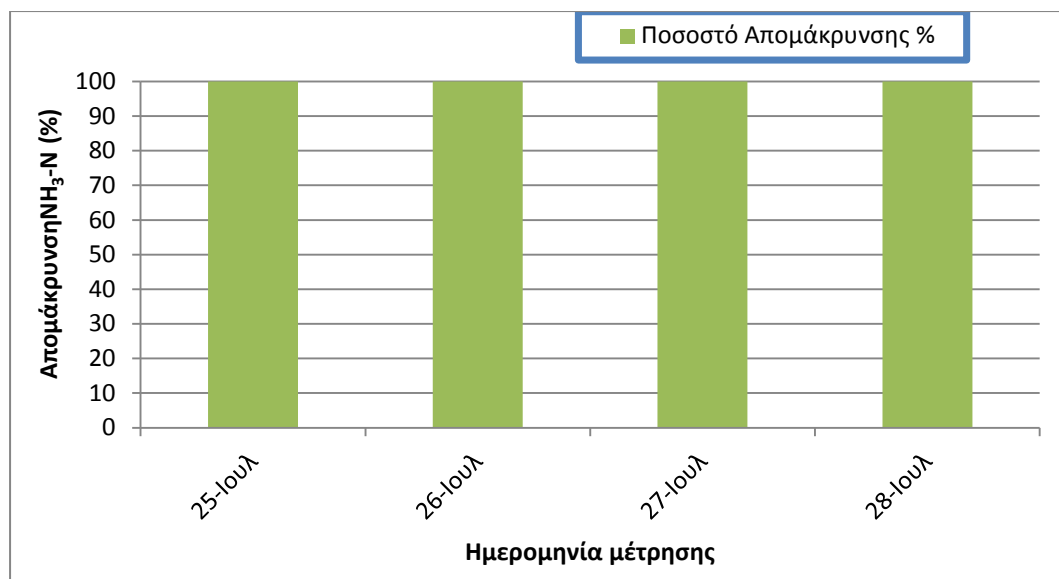
Διάγραμμα 56: Απομάκρυνση $\text{NO}_3\text{-N}$ (%) για τέταρτη συνθήκη λειτουργίας ($Q= 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.2.4. Αποτελέσματα $\text{NH}_3\text{-N}$

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 57 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 58 την απομάκρυνση που προκύπτει.



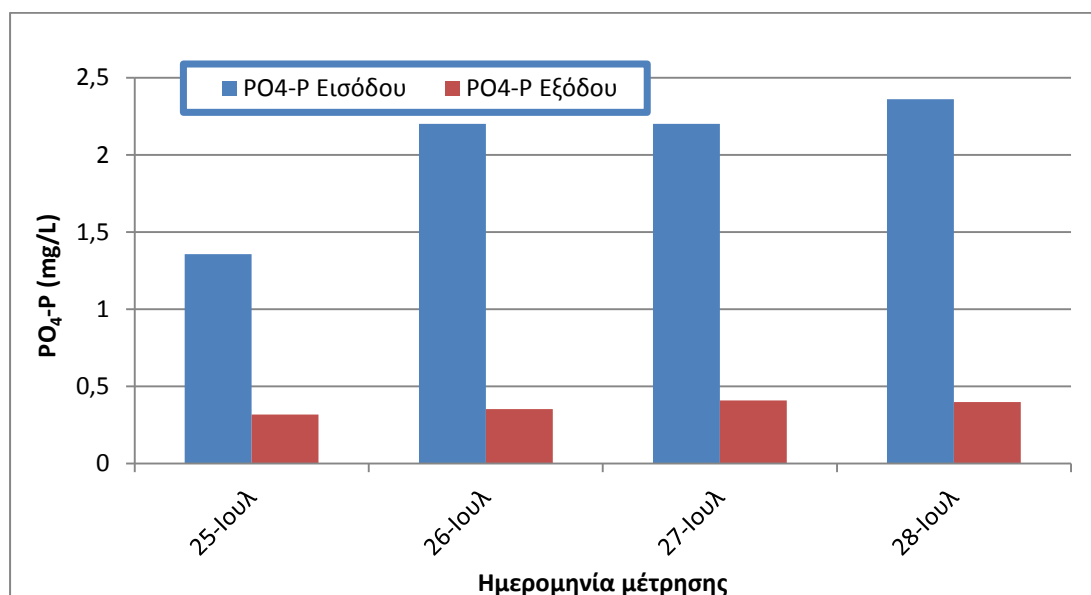
Διάγραμμα 57: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του $\text{NH}_3\text{-N}$ για τέταρτη συνθήκη λειτουργίας ($Q= 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



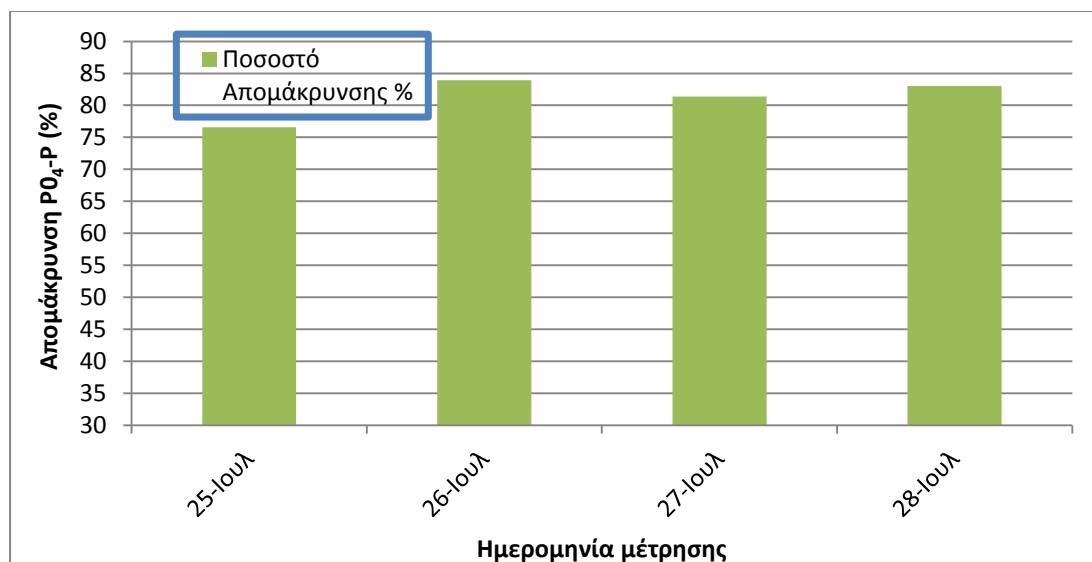
Διάγραμμα 58: Απομάκρυνση $\text{NH}_3\text{-N}$ (%) για τέταρτη συνθήκη λειτουργίας ($Q = 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.2.5. Αποτελέσματα $\text{PO}_4\text{-P}$

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 59 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 60 την απομάκρυνση που προκύπτει.



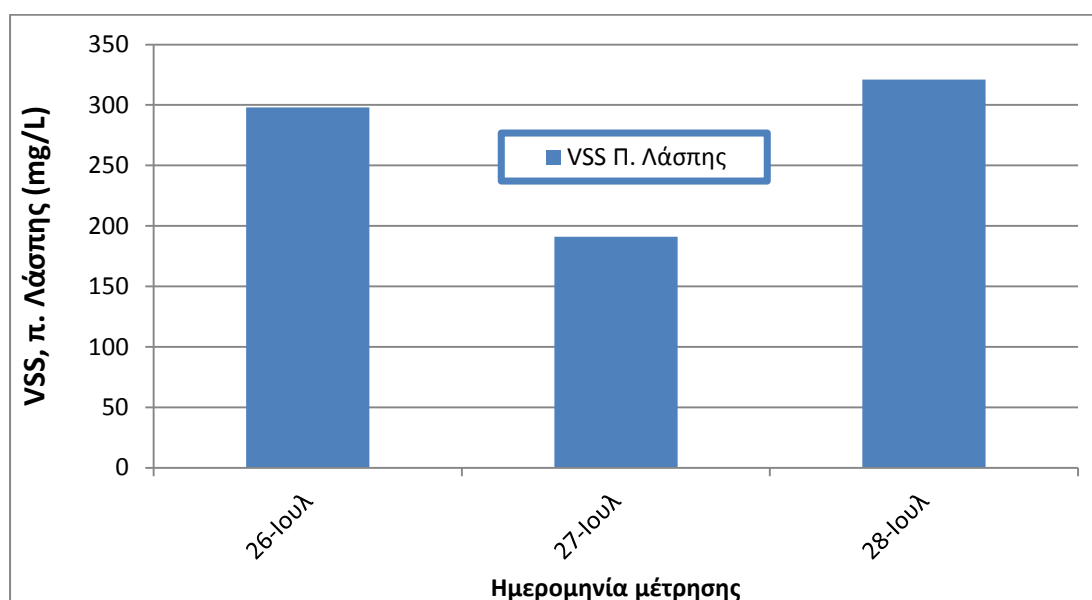
Διάγραμμα 59: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του $\text{PO}_4\text{-P}$ για τέταρτη συνθήκη λειτουργίας ($Q = 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



Διάγραμμα 60: Απομάκρυνση $\text{PO}_4\text{-P}$ (%) για τέταρτη συνθήκη λειτουργίας ($Q = 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.2.6. Αποτελέσματα VSS

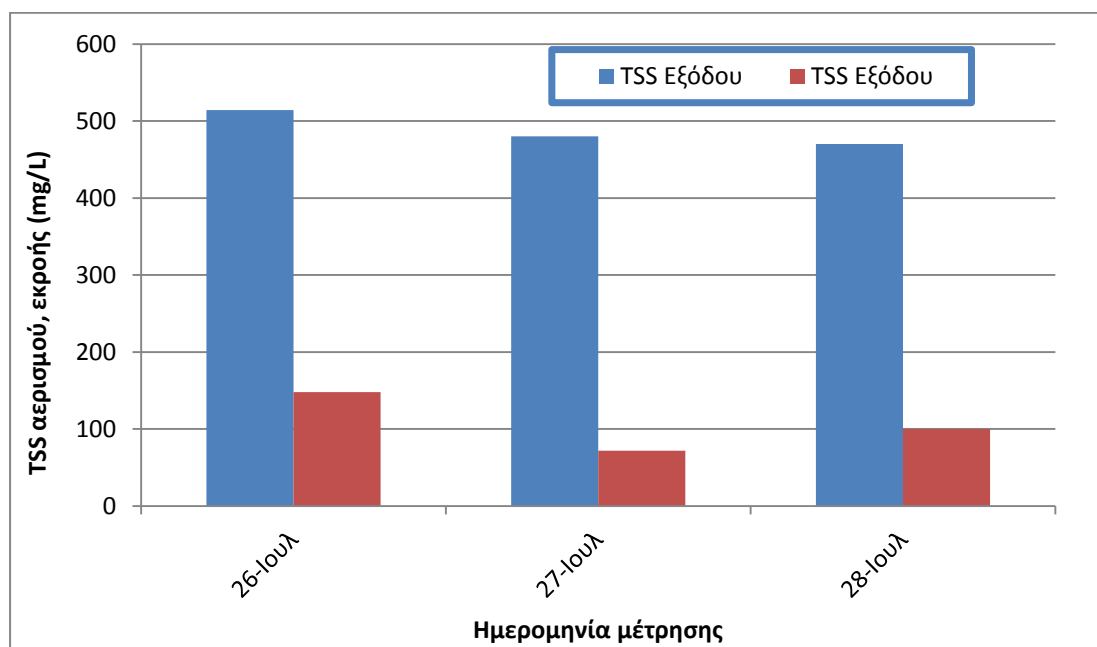
Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 3 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 61 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης.



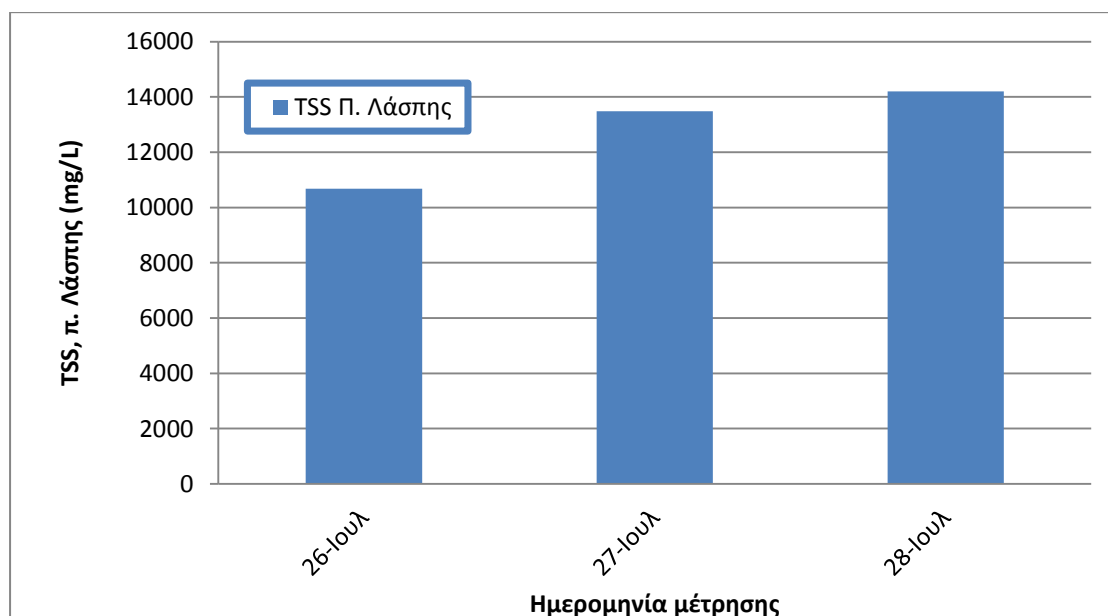
Διάγραμμα 61: Μετρήσεις VSS στην περίσσεια λάσπης για τέταρτη συνθήκη λειτουργίας ($Q = 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.2.7. Αποτελέσματα TSS

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 3 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 62 έχουμε την γραφική απεικόνιση των μετρήσεων από την έξοδο του αερισμού και την εκροή του συστήματος και στο διάγραμμα 63 τις τιμές από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης.



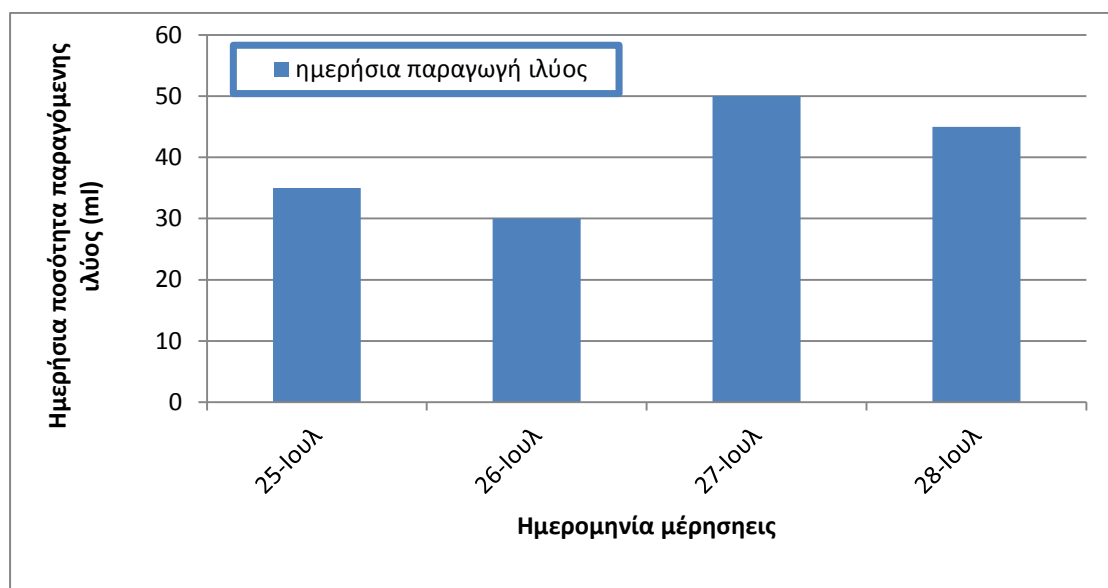
Διάγραμμα 62: Μετρήσεις TSS στην έξοδο του αερισμού, και στην εκροή για τέταρτη συνθήκη λειτουργίας ($Q = 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)



Διάγραμμα 63: Μετρήσεις TSS στην περίσσεια λάσπης για τέταρτη συνθήκη λειτουργίας ($Q = 32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραιού απόβλητου)

5.4.2.8. Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης ιλύος

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 7 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 50 έχουμε την γραφική απεικόνιση της ημερήσιας ποσότητας της ιλύος που παράγονταν στο σύστημά μας. Η ποσότητα της ιλύος στο στάδιο αυτό κυμαίνονταν από 120 έως 150 ml.



Διάγραμμα 64: Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης ιλύος για τέταρτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία αραίου απόβλητου)

5.4.3. Πέμπτη συνθήκη λειτουργίας

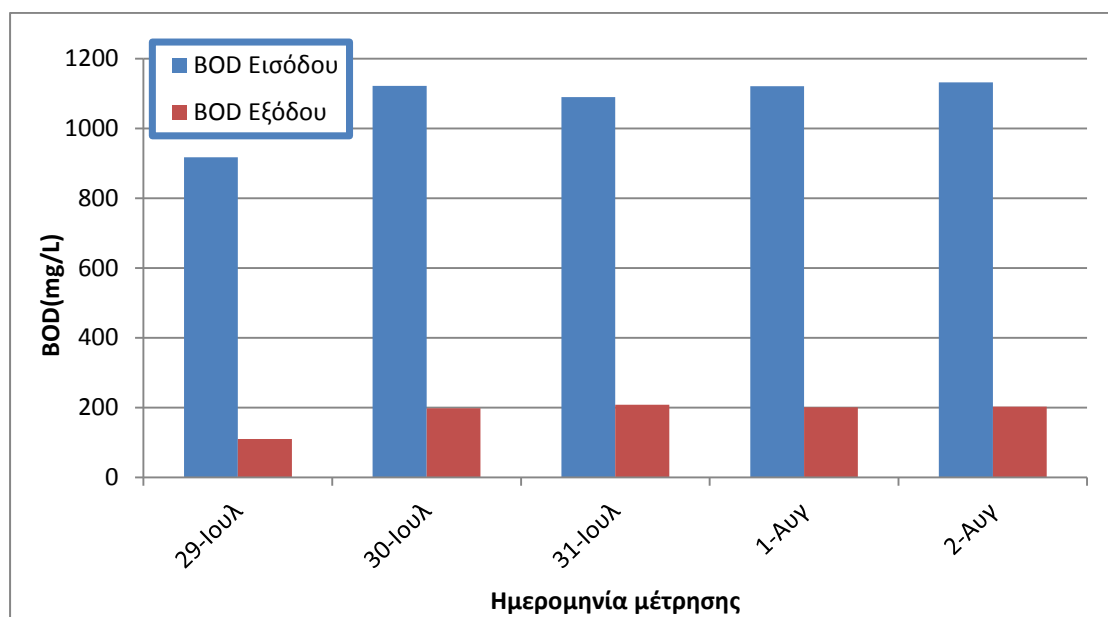
Παροχή τροφοδοσίας $Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$ για λειτουργία με την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx

Η χρονική περίοδος λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας σε αυτές τις συνθήκες ξεκίνησε στις 29 Ιουλίου και ολοκληρώθηκε στις 2 Αυγούστου. Κατά την περίοδο αυτή πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του BOD, COD, TSS, VSS, αμμωνιακών, νιτρικών, και των ορθοφωσφορικών. Η ημερήσια ποσότητα της παραγόμενης ιλύος στην δεξαμενή καθίζησης κυμαίνονταν από 30 έως 50 ml.

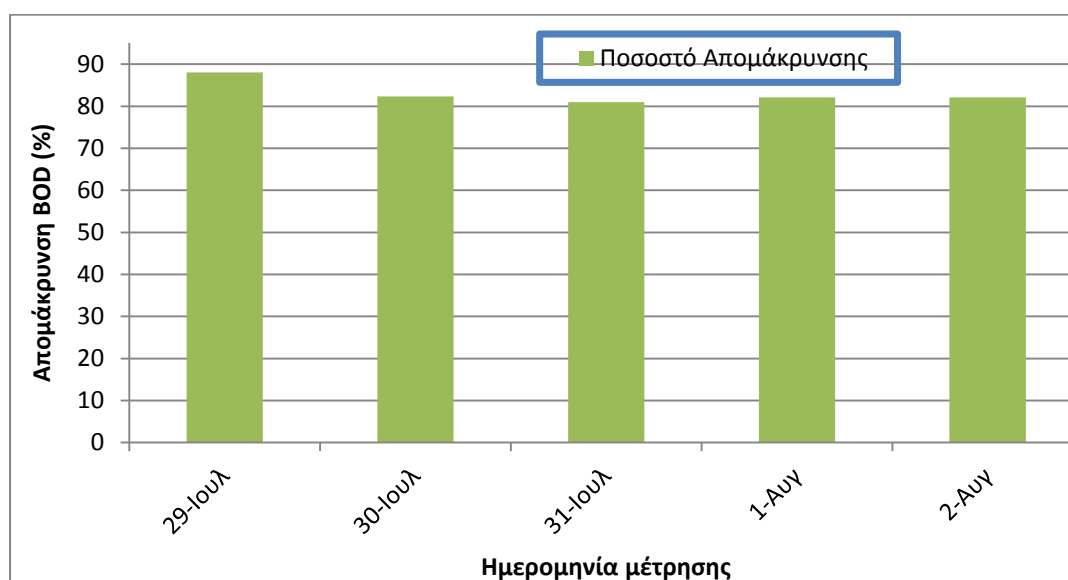
Σε αυτό το στάδιο λειτουργίας δεν έχουμε αποτελέσματα TOC καθώς ο αναλυτής τέθηκε εκτός λειτουργίας λόγω βλάβης. Ο όρος πυκνό απόβλητο αναφέρεται στην αναλογία νερού και αγροτοβιομηχανικού απόβλητου που εισήχθη στην δεξαμενή εισόδου. Αναλυτικότερα στο στάδιο αυτό προστέθηκαν σε 43 λίτρα νερού 750 ml από το αγροτοβιομηχανικό απόβλητο.

5.4.3.1. Αποτελέσματα BOD

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 5 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 65 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 66 την απομάκρυνση που προκύπτει.



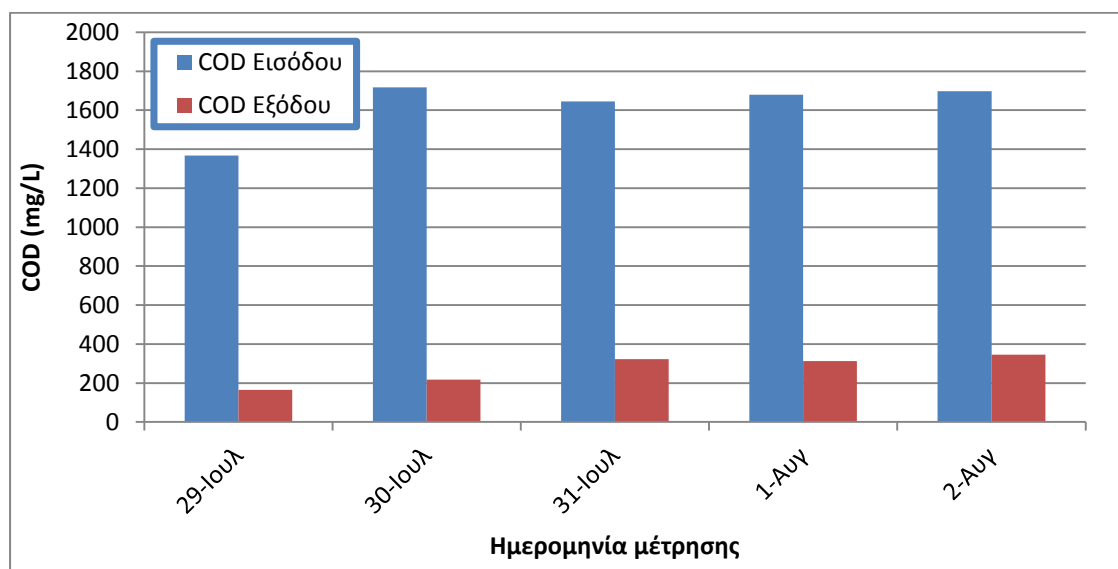
Διάγραμμα 65: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του BOD για πέμπτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία πυκνού απόβλητου)



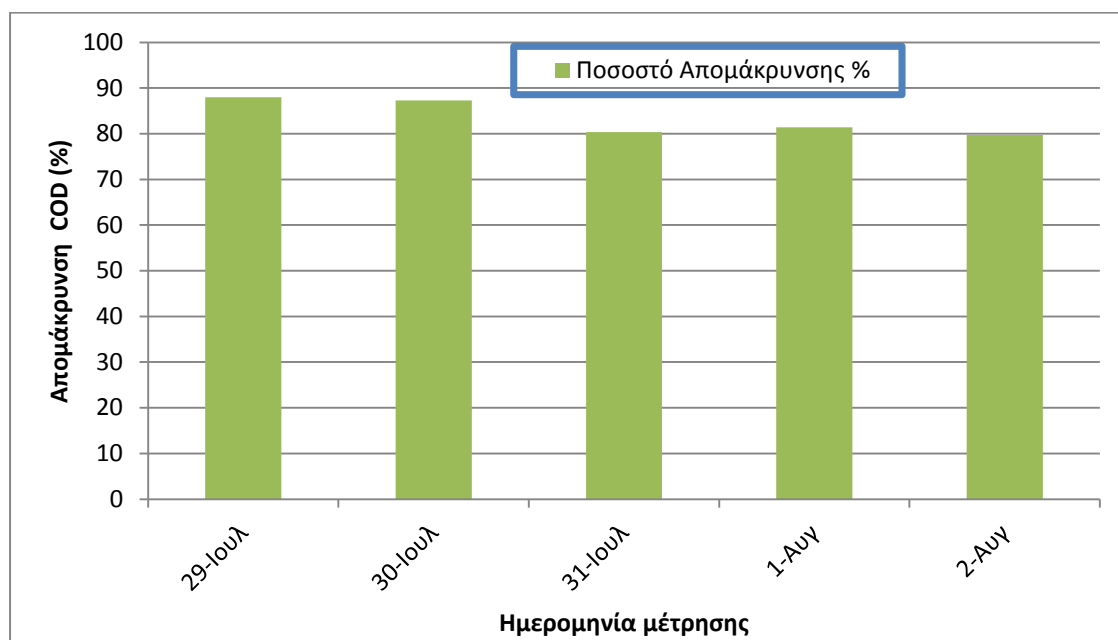
Διάγραμμα 66: Απομάκρυνση BOD (%) για πέμπτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία πυκνού απόβλητου)

5.4.3.2. Αποτελέσματα COD

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 5 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 67 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 68 την απομάκρυνση που προκύπτει.



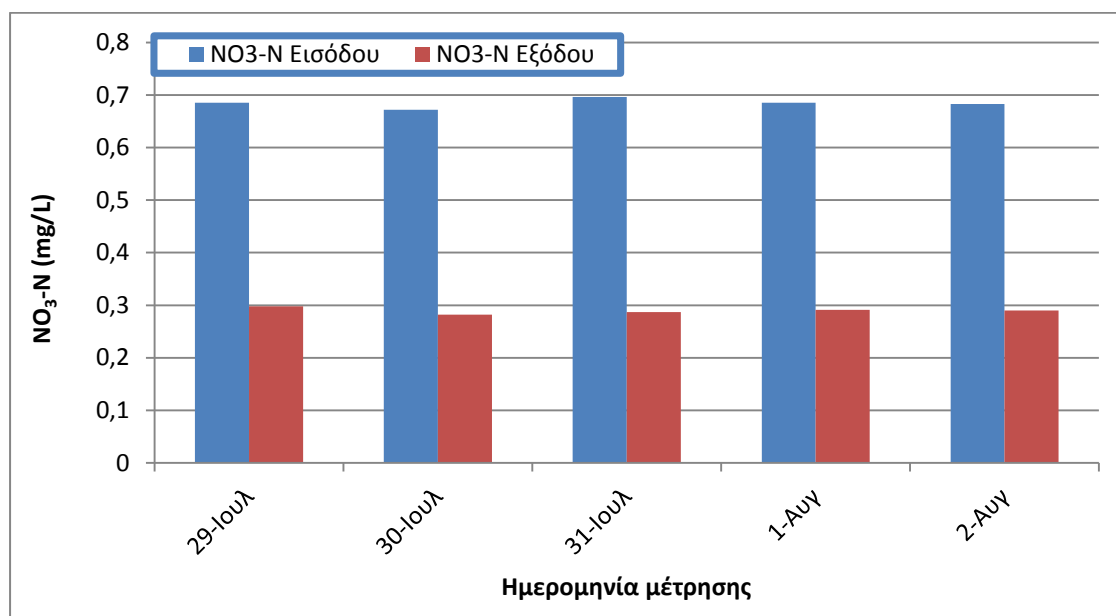
Διάγραμμα 67: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του COD για πέμπτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία πυκνού απόβλητου)



Διάγραμμα 68: Απομάκρυνση COD (%) για πέμπτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία πυκνού απόβλητου)

5.4.3.3. Αποτελέσματα $\text{NO}_3\text{-N}$

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 5 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 69 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 70 την απομάκρυνση που προκύπτει.



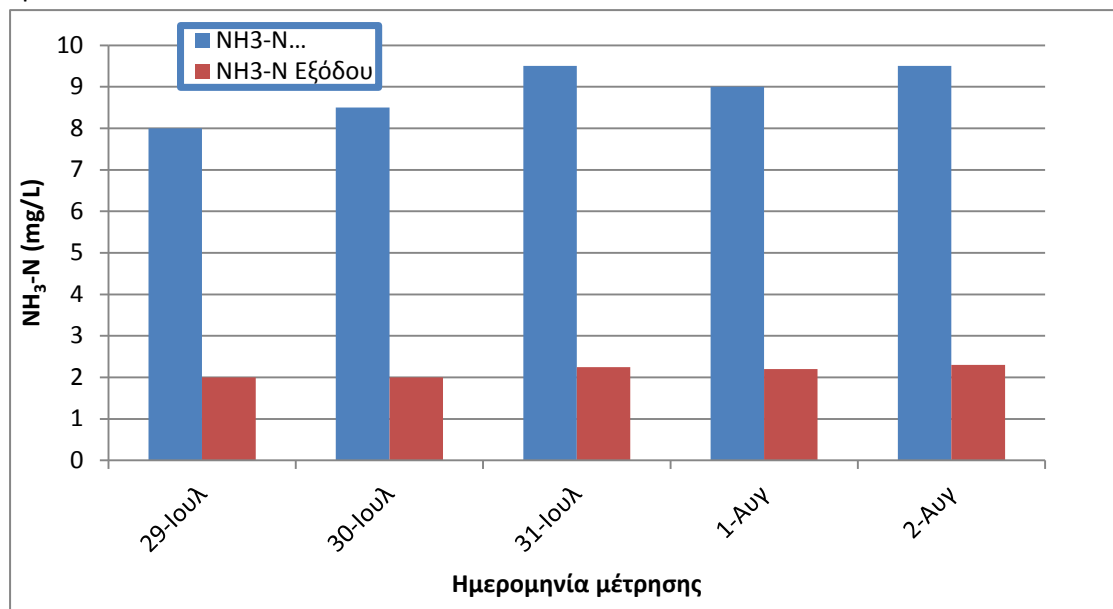
Διάγραμμα 69: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του $\text{NO}_3\text{-N}$ για πέμπτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία πυκνού απόβλητου)



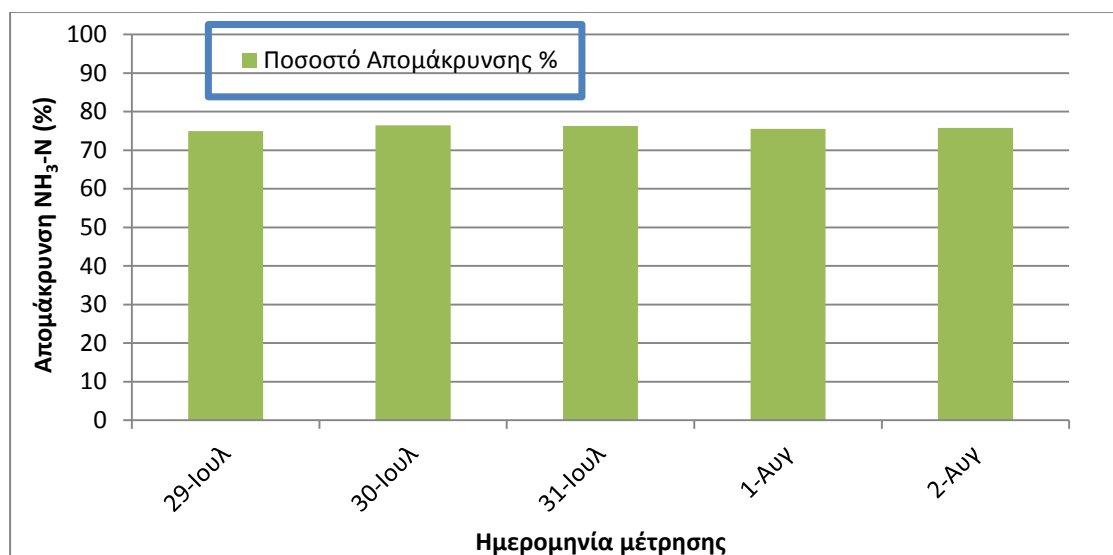
Διάγραμμα 70: Απομάκρυνση $\text{NO}_3\text{-N}$ (%) για πέμπτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία πυκνού απόβλητου)

5.4.3.4. Αποτελέσματα $\text{NH}_3\text{-N}$

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 5 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 71 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 72 την απομάκρυνση που προκύπτει.



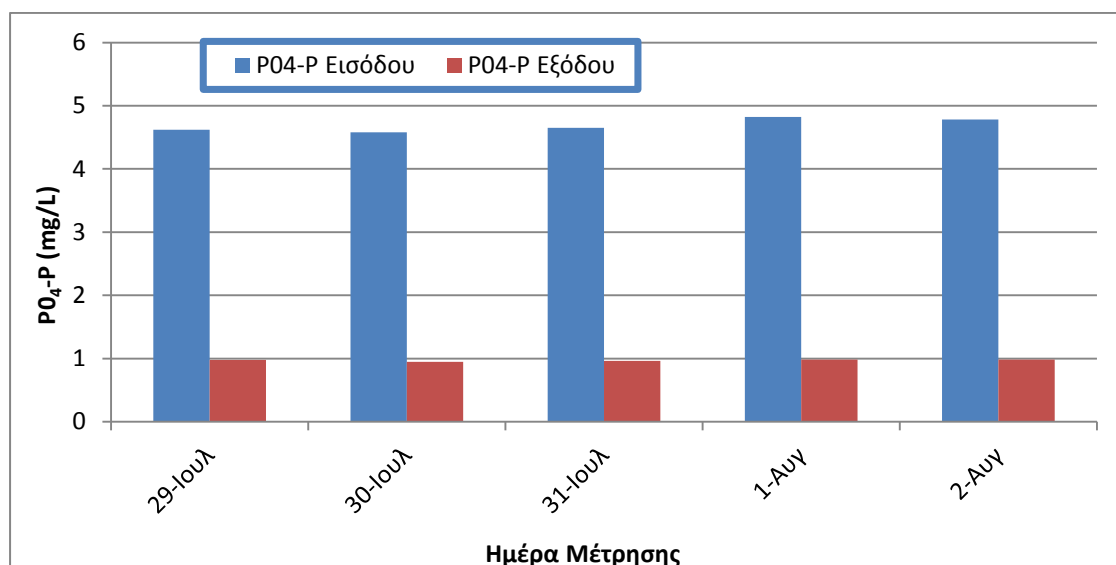
Διάγραμμα 71: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του $\text{NH}_3\text{-N}$ για πέμπτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία πυκνού απόβλητου)



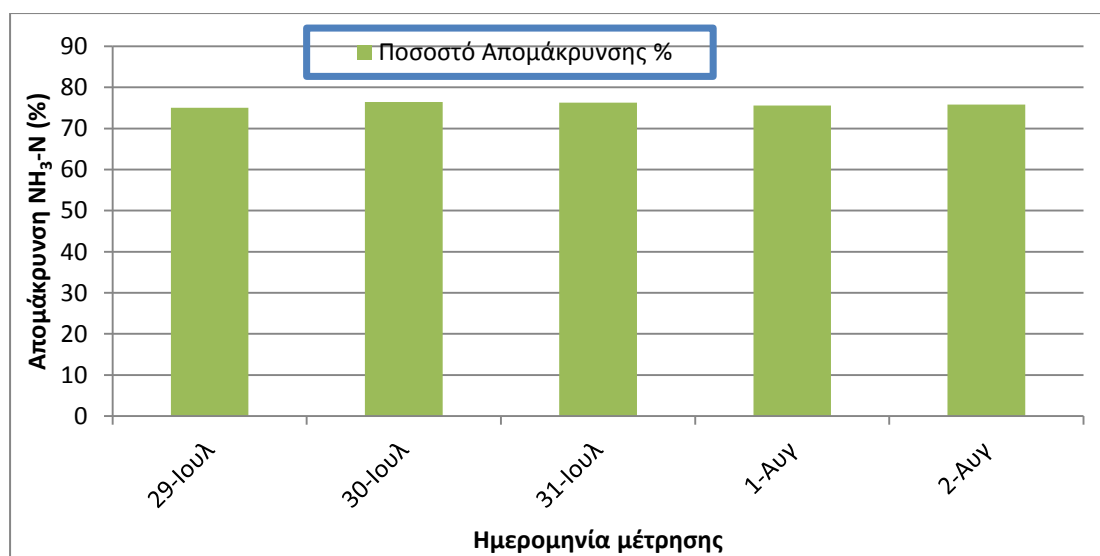
Διάγραμμα 72: Απομάκρυνση $\text{NH}_3\text{-N}$ (%) για πέμπτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία πυκνού απόβλητου)

5.4.3.5. Αποτελέσματα PO_4-P

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 5 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 73 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών εισόδου, εξόδου και στο διάγραμμα 74 την απομάκρυνση που προκύπτει.



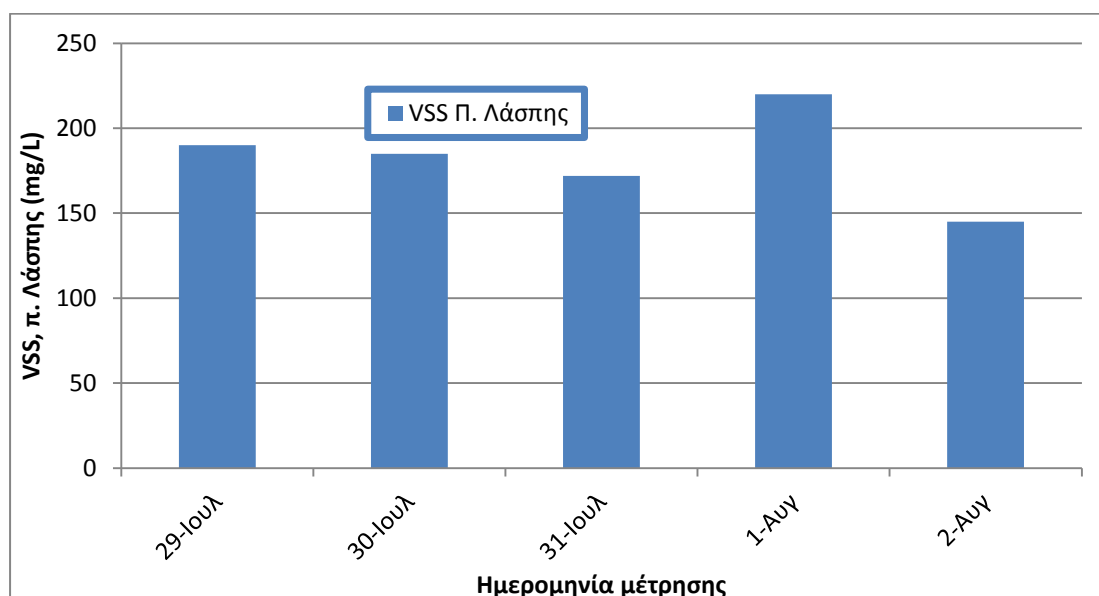
Διάγραμμα 73: Μετρήσεις εισόδου, εξόδου του PO_4-P για πέμπτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία πυκνού απόβλητου)



Διάγραμμα 74: Απομάκρυνση PO_4-P (%) για πέμπτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία πυκνού απόβλητου)

5.4.3.6. Αποτελέσματα VSS

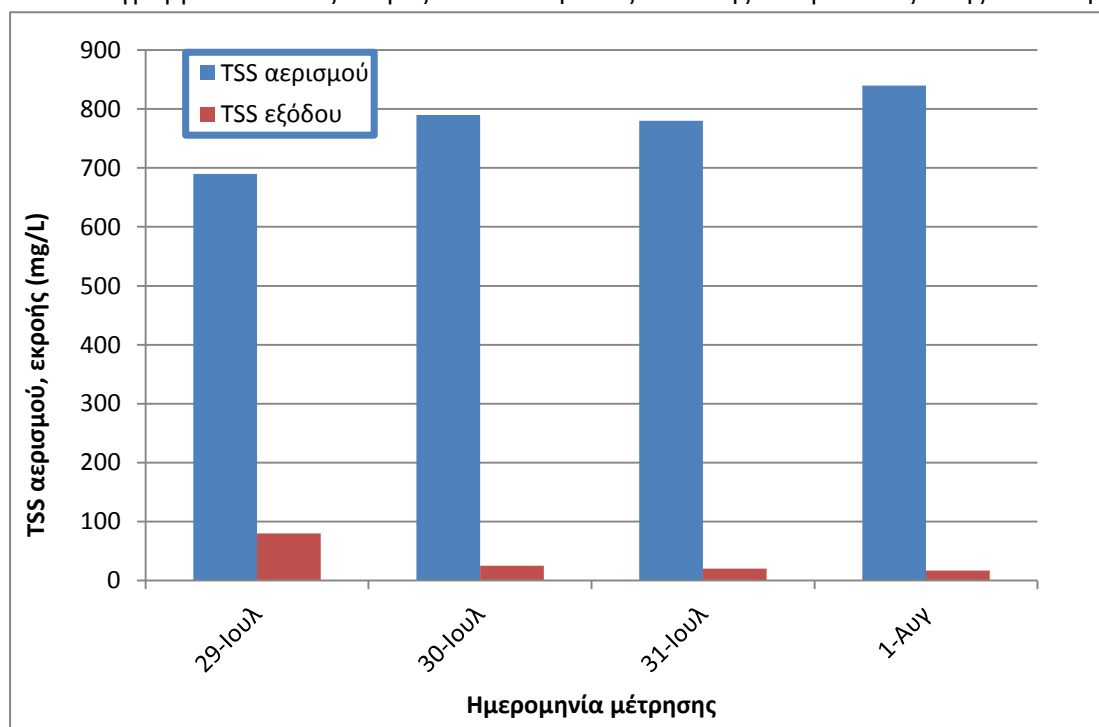
Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 5 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 75 έχουμε την γραφική απεικόνιση των τιμών από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης.



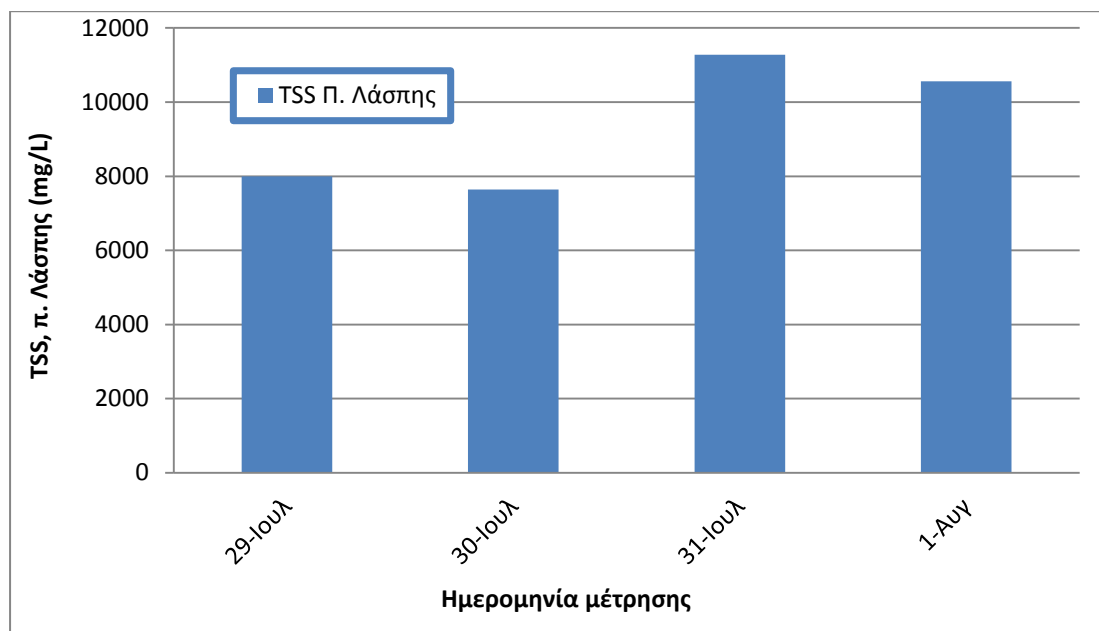
Διάγραμμα 75: Μετρήσεις VSS στην περίσσεια λάσπης για πέμπτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία πυκνού απόβλητου)

5.4.3.7. Αποτελέσματα TSS

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 76 έχουμε την γραφική απεικόνιση των μετρήσεων από την έξοδο του αερισμού και την εκροή του συστήματος και στο διάγραμμα 77 τις τιμές από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης.



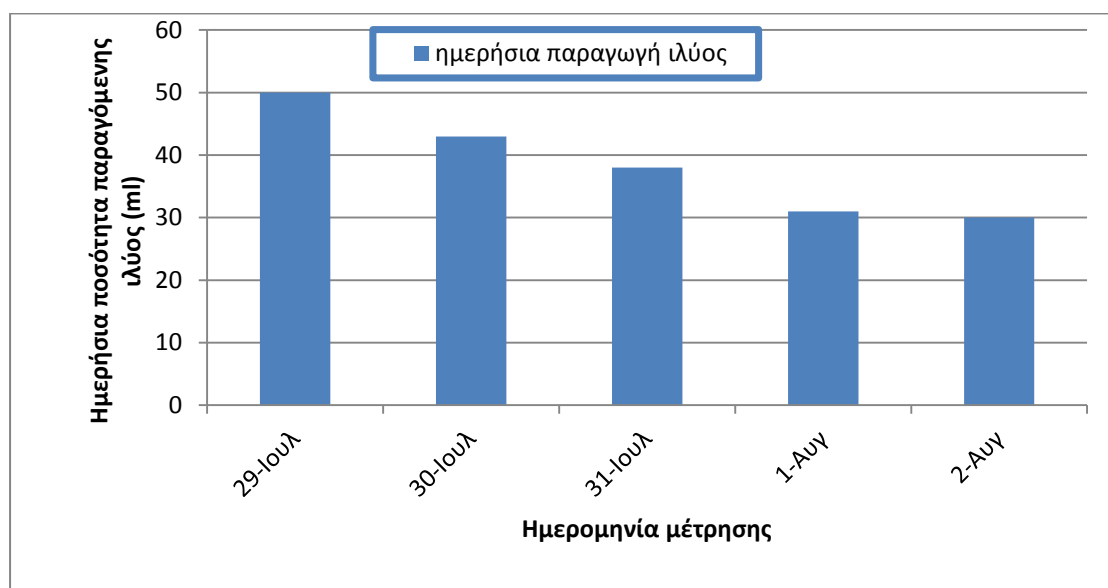
Διάγραμμα 76: Μετρήσεις TSS στην έξοδο του αερισμού, και στην εκροή για πέμπτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία πυκνού απόβλητου)



Διάγραμμα 77: Μετρήσεις TSS στην περίσσεια λάσπης για πέμπτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία πυκνού απόβλητου)

5.4.3.8. Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης ιλύος

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 9 μετρήσεις. Στο διάγραμμα 78 έχουμε την γραφική απεικόνιση της ημερήσιας ποσότητας της ιλύος που παράγονταν στο σύστημά μας. Η ποσότητα της ιλύος στο στάδιο αυτό κυμαίνονταν από 120 έως 150 ml.

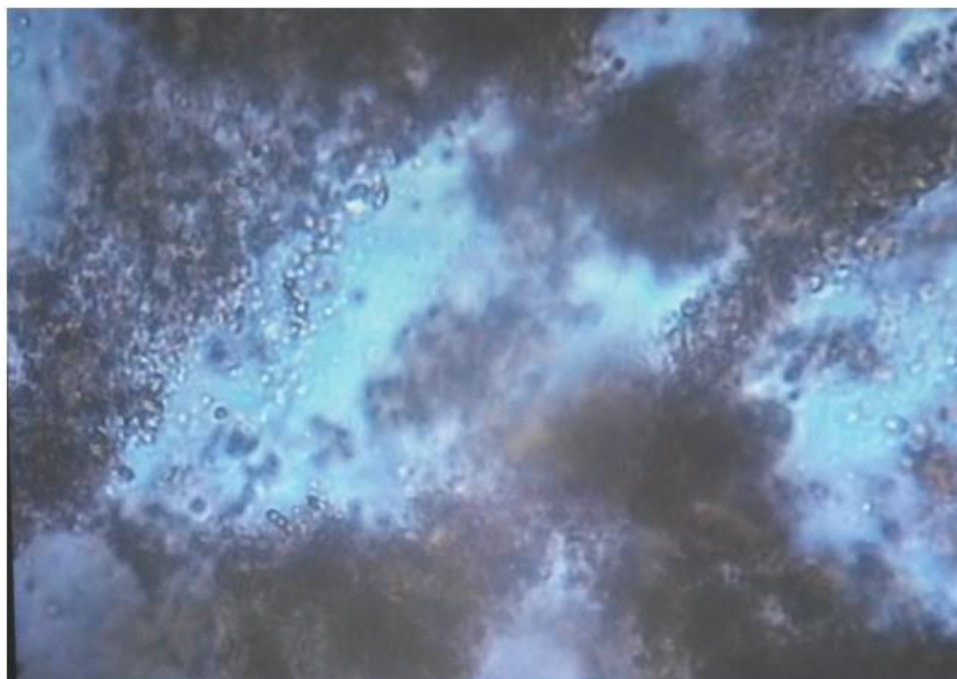


Διάγραμμα 78: Ημερήσια ποσότητα παραγόμενης ιλύος για πέμπτη συνθήκη λειτουργίας ($Q=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$, με προσθήκη μικροοργανισμών Sewper Rx, για την επεξεργασία πυκνού απόβλητου)

5.5. Αποτελέσματα μικροσκοπίου

Όπως προαναφέρθηκε για να ελεγχθεί η λειτουργία της μονάδας και η απόδοση των μικροοργανισμών του συστήματος έγινε οπτική παρατήρηση της μικροβιακής σύνθεσης της λάσπης και των υγρών από κάθε στάδιο επεξεργασίας με την χρήση μικροσκοπίου. Η οπτική παρατήρηση έγινε πριν την προσθήκη των εξειδικευμένων μικροοργανισμών Sewper Rx ώστε να μελετηθούν οι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται στο σύστημα μας, αλλά και μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx. Αρχικά οι μικροοργανισμοί που παρατηρήθηκαν ήταν κυρίως αμοιβάδες και βακτήρια, ενώ μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών είχαμε αύξηση του πλήθους των βακτηρίων και το δείγμα μας έγινε πιο διαυγές. Στην συνέχεια θα παρατεθούν φωτογραφίες από την παρατήρηση.

5.5.1. Παρατήρηση μικροοργανισμών πριν την προσθήκη των Sewper Rx



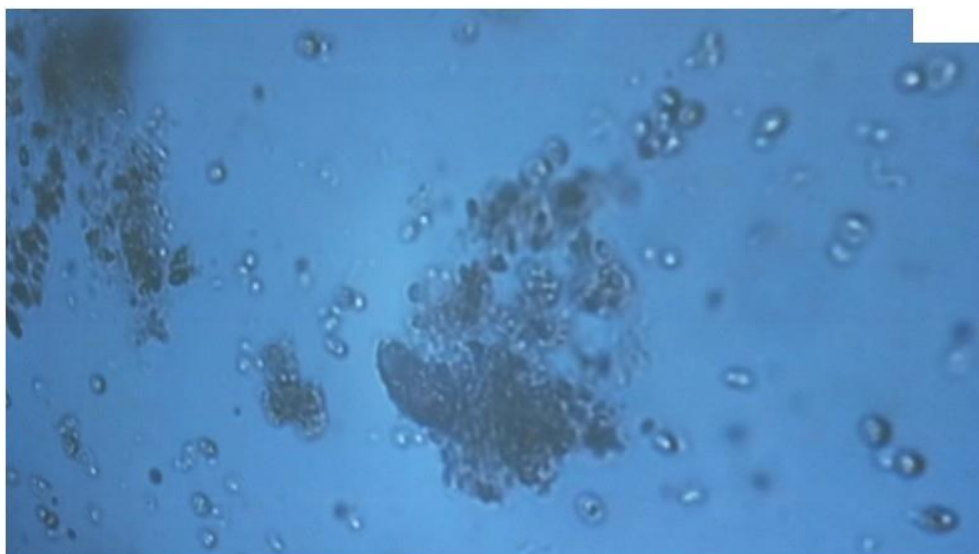
Εικόνα 12: Παρατήρηση μικροοργανισμών σε δείγμα ιλύος πριν την προσθήκη των Sewper Rx



Εικόνα 13: Παρατήρηση μικροοργανισμών σε δείγμα ιλύος πριν την προσθήκη των Sewper Rx

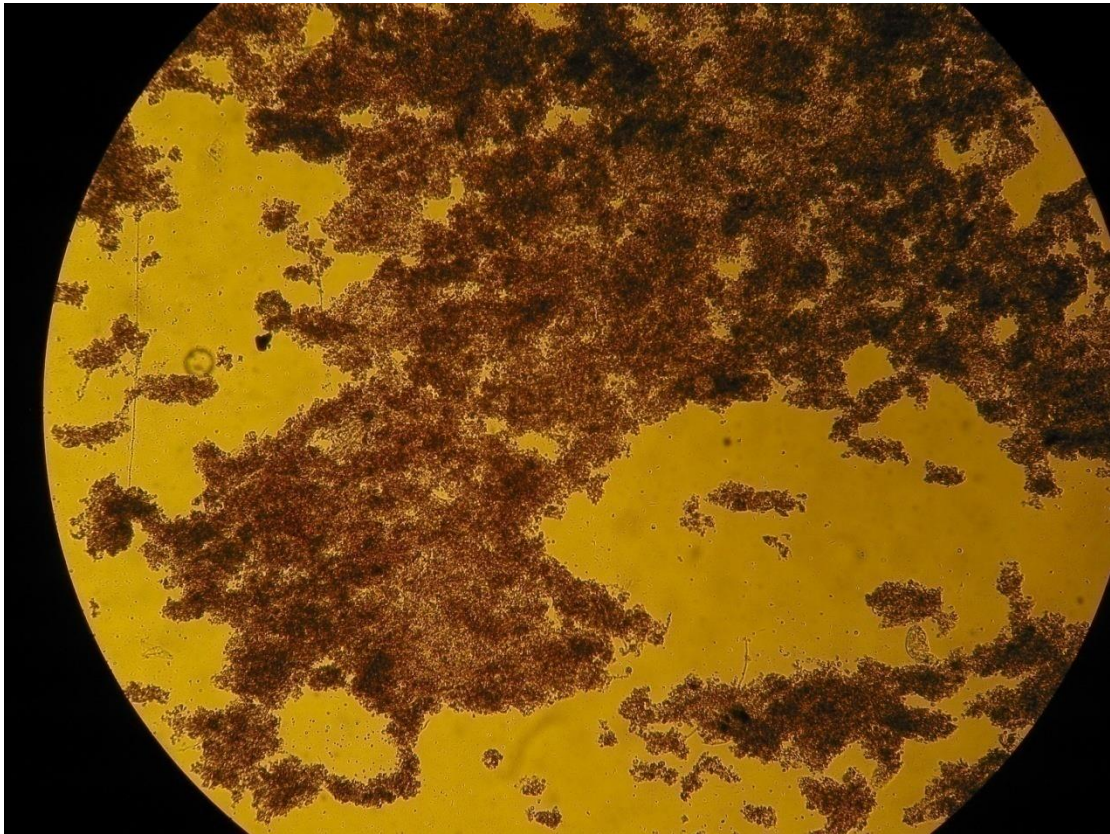


Εικόνα 14: Παρατήρηση μικροοργανισμών σε δείγμα από την έξοδο του αερισμού πριν την προσθήκη των Sewper Rx



Εικόνα 15: Παρατήρηση μικροοργανισμών σε δείγμα από την εκροή πριν την προσθήκη των Sewper Rx

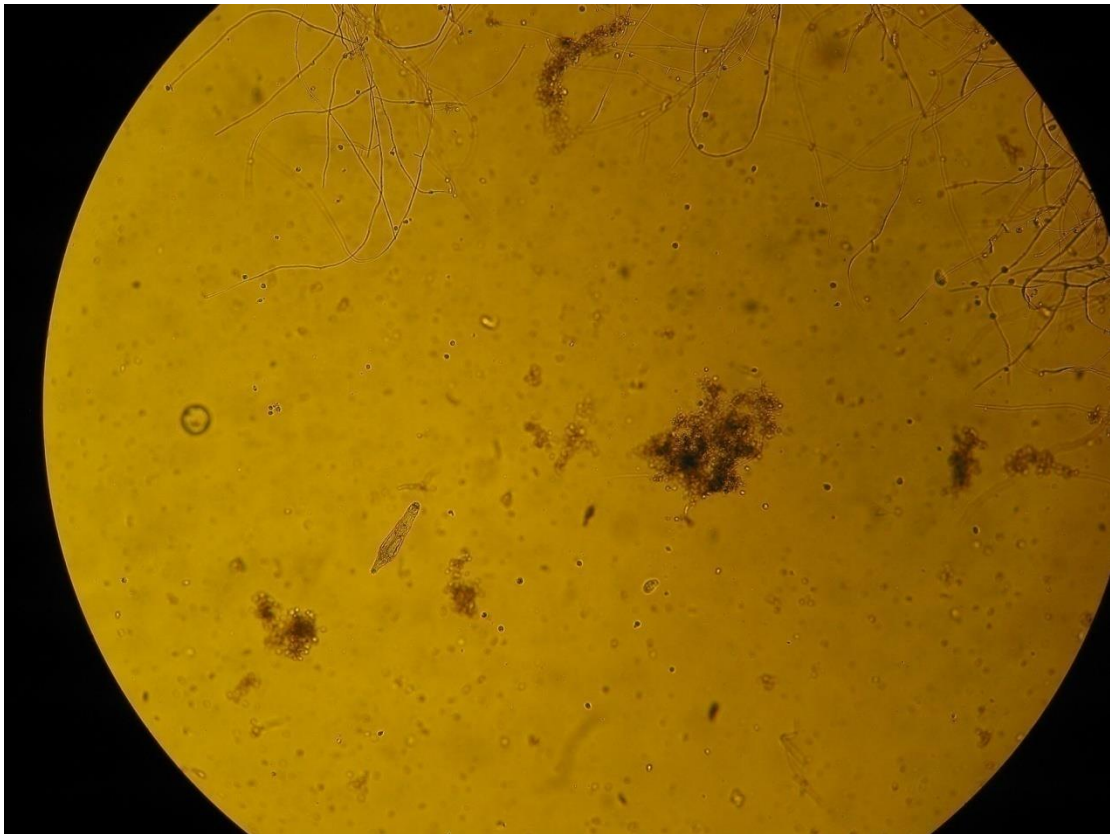
5.5.2. Παρατήρηση μικροοργανισμών μετά την προσθήκη των Sewper Rx



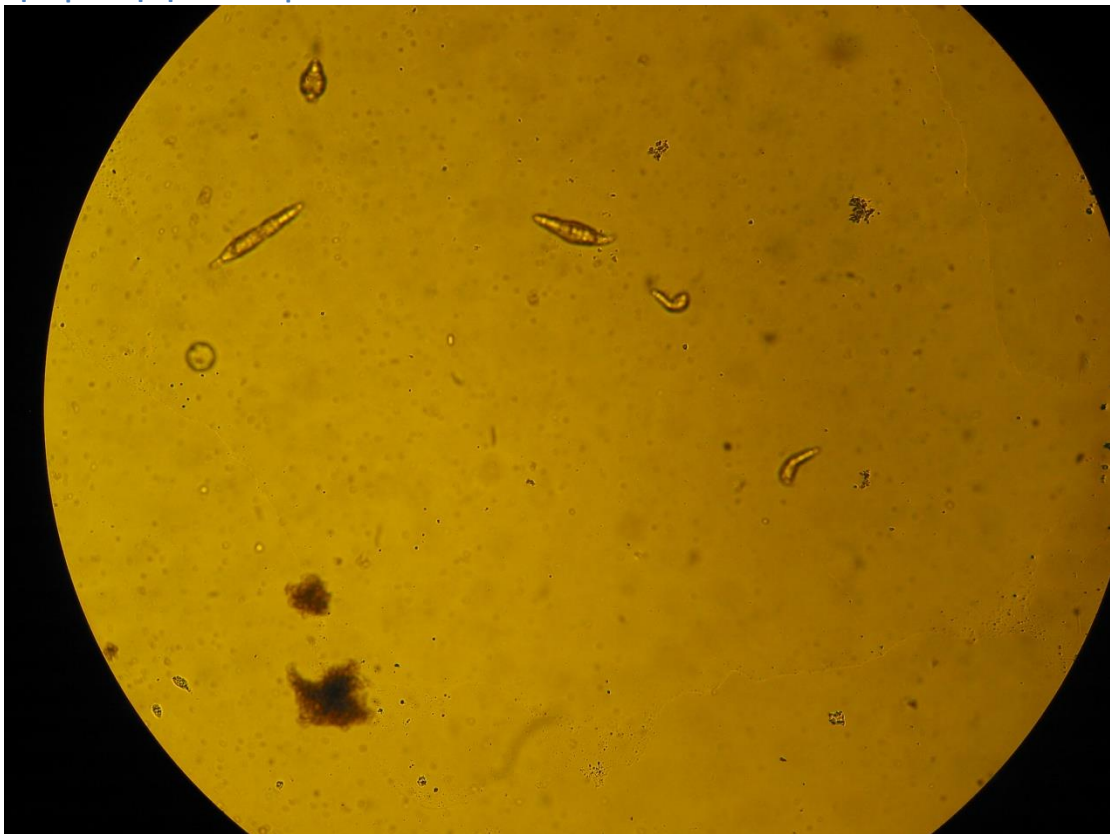
Εικόνα 16: Παρατήρηση μικροοργανισμών σε δείγμα ιλύος μετά την προσθήκη των Sewper Rx



Εικόνα 17: Παρατήρηση μικροοργανισμών σε δείγμα ιλύος μετά την προσθήκη των Sewper Rx



Εικόνα 18: Παρατήρηση μικροοργανισμών σε δείγμα από την έξοδο του αερισμού μετά την προσθήκη των Sewper Rx.



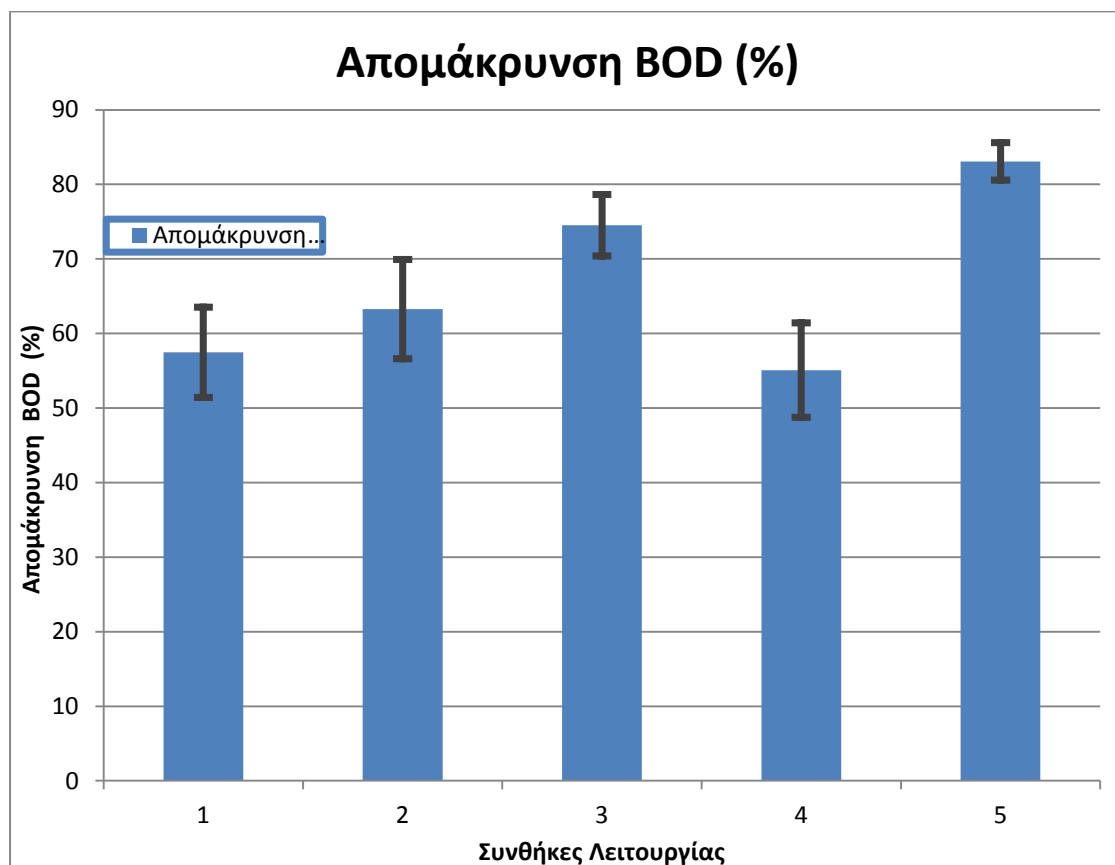
Εικόνα 19: Παρατήρηση μικροοργανισμών σε δείγμα από την εκροή μετά την προσθήκη των Sewper Rx

5.6. Σύγκριση αποτελεσμάτων και συζήτηση

Για να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα μας επιλέξαμε να μελετήσουμε την ποσοστιαία απομάκρυνση. Παράλληλα με την ποσοστιαία απομάκρυνση υπολογίστηκε και η τυπική απόκλιση της απομάκρυνσης του κάθε ποιοτικού χαρακτηριστικού, για κάθε στάδιο λειτουργίας. Η τυπική απόκλιση υπολογίστηκε στο 68%. Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα παρατεθούν πίνακες με τα ποσοστά απομάκρυνσης του κάθε ποιοτικού χαρακτηριστικού για όλες τις συνθήκες λειτουργίας.

5.6.1. Σύγκριση BOD

Στο διάγραμμα 79 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των ποσοστών απομάκρυνσης του BOD για κάθε μία από τις 5 συνθήκες λειτουργίας.



Διάγραμμα 79: Σύγκριση ποσοστών απομάκρυνσης BOD για κάθε συνθήκη λειτουργίας,

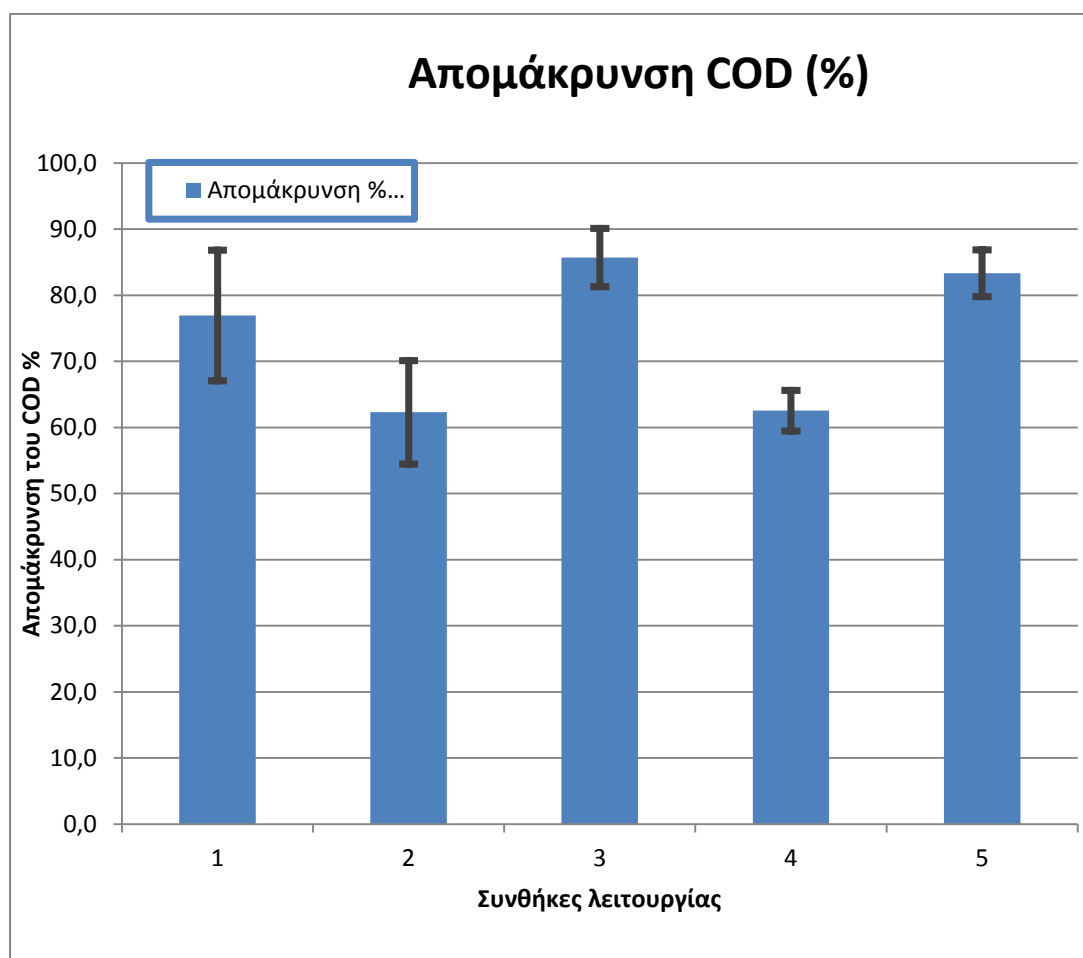
Παρατηρείται πως τα μέγιστα ποσοστά απομάκρυνσης, (81-86%) επιτεύχθηκαν κατά την 5^η συνθήκη λειτουργίας. Η 5^η συνθήκη λειτουργίας έχει παροχή τροφοδοσίας 4 L/day και παροχή ανακυκλοφορίας της ιλύος 1,3 L/day. Επίσης η προστιθέμενη ποσότητα αποβλήτου είναι 750 ml σε 43 λίτρα νερού. Η επίδραση των μικροοργανισμών SewperRx σε συνδυασμό με την προσθήκη πενταπλάσιας ποσότητας αποβλήτου στο μίγμα της εισροής οδήγησαν στην αύξηση της απόδοσης του συστήματος. Αναλυτικότερα η αύξηση της προστιθέμενης ποσότητας του αγροτοβιομηχανικού αποβλήτου ουσιαστικά παρείχε στους μικροοργανισμούς περισσότερη 'τροφή', με αποτέλεσμα την περαιτέρω ανάπτυξη τους. Η αύξηση αυτή του υποστρώματος οδήγησε σε ταχύτερη κατανάλωση του οργανικού φορτίου του απόβλητου άρα και την μεγαλύτερη απομάκρυνση του BOD.

Συγκρίνοντας το πρώτο και το δεύτερο στάδιο λειτουργίας παρατηρούμε ότι η αύξηση της παροχής βελτίωσε πολύ λίγο την απόδοση του συστήματος στην απομάκρυνση του BOD. Συγκρίνοντας το 2^ο με το 3^ο στάδιο λειτουργίας μεγάλη βελτίωση παρατηρείται μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών στο 3^ο στάδιο λειτουργίας. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν το BOD για τις μεταβολικές τους λειτουργίες, και η αύξηση του πλήθους των μικροοργανισμών οδήγησε στην περαιτέρω κατανάλωση του οργανικού φορτίου. Στο 4^ο στάδιο έχουμε μείωση της απόδοσης η οποία οφείλεται στην μείωση του υδραυλικού χρόνου παραμονής λόγω της αύξησης της παροχής στο ρεύμα εισόδου και στο ρεύμα ανακυκλοφορίας. Με την μείωση του χρόνου παραμονής των αποβλήτων οι μικροοργανισμοί δεν έχουν τον απαραίτητο χρόνο ώστε να καταναλώσουν το οργανικό φορτίο και γι αυτό έχουμε μειωμένη απόδοση.

Συνοψίζοντας η αποδοτικότητα του συστήματος ως προς την απομάκρυνση του BOD αυξάνεται σημαντικά μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx. Μέγιστη αποδοτικότητα ως προς την απομάκρυνση του BOD μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών SewperRx έχουμε σε συνθήκες παροχής τροφοδοσίας 4 L/day και παροχή ανακυκλοφορίας της ιλύος 1,3 L/day (5^η συνθήκη). Επίσης η απόδοση είναι μέγιστη με την προσθήκη μεγάλης ποσότητας απόβλητου στο μίγμα εισόδου. Η μεγάλη αύξηση της παροχής μειώνει μεν την απόδοση των μικροοργανισμών καθώς δεν προλαβαίνουν καταναλώσουν ένα μέρος του οργανικού φορτίου αλλά παραμένει σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα. Αυτό δείχνει ότι έχουμε ικανοποιητική απομάκρυνση του BOD με την χρήση των μικροοργανισμών SewperRx σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας που δοκιμάστηκαν.

5.6.2. COD

Στο διάγραμμα 80 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των ποσοστών απομάκρυνσης του COD για κάθε μία από τις 5 συνθήκες λειτουργίας.



Διάγραμμα 80: Σύγκριση ποσοστών απομάκρυνσης COD για κάθε συνθήκη λειτουργίας

Στην περίπτωση του COD τα μέγιστα ποσοστά απομάκρυνσης επιτεύχθηκαν κατά την 3^η (81-90%) και την 5^η συνθήκη λειτουργίας (80-87%). Η 3^η συνθήκη λειτουργίας έχει ελάχιστα μεγαλύτερη απομάκρυνση όμως συμπεριλαμβάνοντας και την τυπική απόκλιση θεωρούμε ότι η απόδοση του συστήματος είναι η ίδια. Η δράση των μικροοργανισμών αυξάνει κατά πολύ την απόδοση του συστήματος επεξεργασίας. Επίσης ο πενταπλασιασμός της συγκέντρωσης δεν μειώνει την απόδοση του συστήματος,

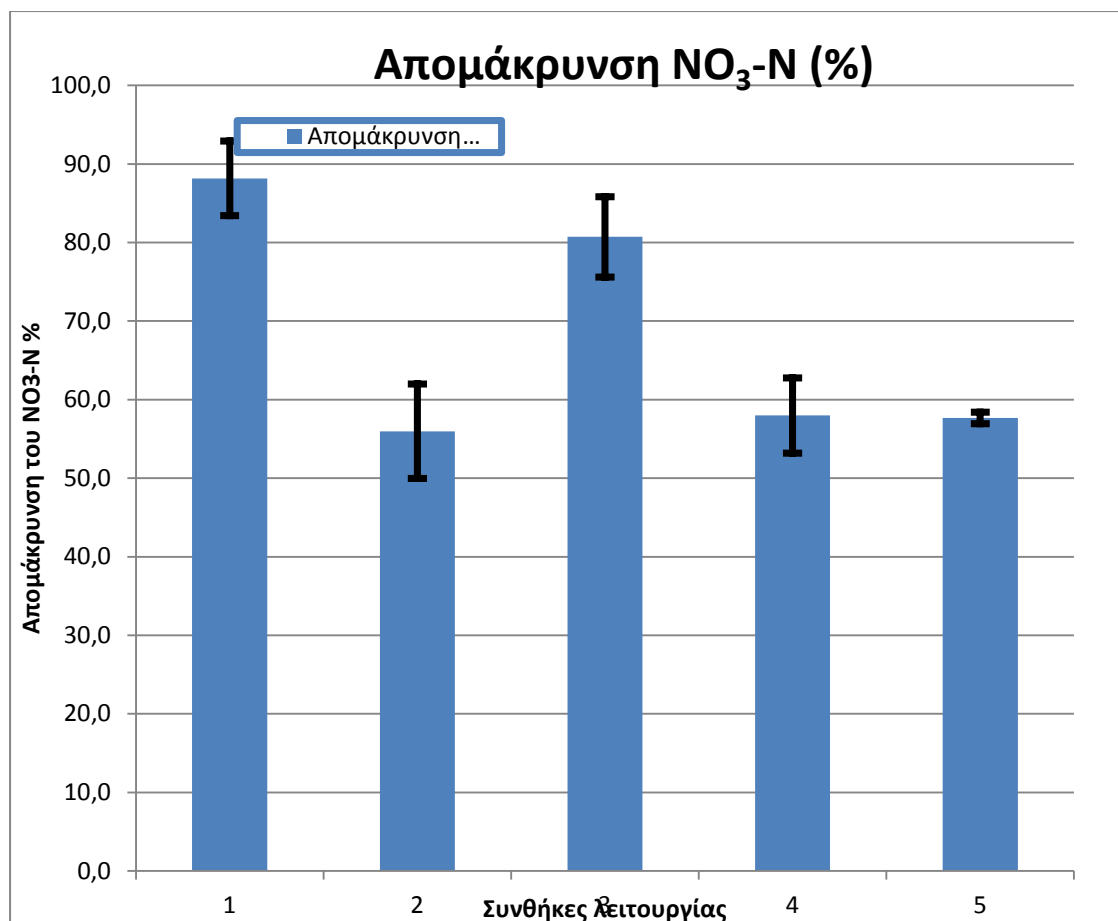
Συγκρίνοντας το πρώτο και το δεύτερο στάδιο λειτουργίας παρατηρούμε ότι ο διπλασιασμός της παροχής τροφοδοσίας και της παροχής ανακυκλοφορίας μείωσε την απόδοση του συστήματος στην απομάκρυνση του COD. Πρέπει να τονίσουμε όμως ότι λόγω της μεγάλης απόκλισης του 1^{ου} σταδίου, σε σχέση με αυτή του 2^{ου}, η μείωση αυτή δεν είναι μεγάλη. Συγκρίνοντας το 2^ο με το 3^ο στάδιο λειτουργίας μεγάλη βελτίωση παρατηρείται μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών στο 3^ο στάδιο λειτουργίας. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν το οργανικό φορτίο για τις μεταβολικές τους λειτουργίες. Η αύξηση του πλήθους των μικροοργανισμών μετά την προσθήκη των Sewper Rx οδήγησε σε περαιτέρω κατανάλωση του οργανικού φορτίου και η απόδοση του συστήματος μας αυξήθηκε. Στο 4^ο στάδιο έχουμε μείωση της απόδοσης η

οποία οφείλεται στην μείωση του υδραυλικού χρόνου παραμονής λόγω της αύξησης της παροχής στο ρεύμα εισόδου και στο ρεύμα ανακυκλοφορίας. Με την μείωση του χρόνου παραμονής των αποβλήτων οι μικροοργανισμοί δεν έχουν τον απαραίτητο χρόνο ώστε να καταναλώσουν το οργανικό φορτίο και γι αυτό έχουμε μειωμένη απόδοση. Στο 5^ο στάδιο λειτουργίας η απόδοση του συστήματος μας παραμένει σταθερή σε σχέση με το 3^ο στάδιο, παρόλο που έχουμε πενταπλάσια προστιθέμενη ποσότητα αποβλήτου. Η αύξηση του υποστρώματος στο 5^ο στάδιο οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των μικροοργανισμών και γι αυτό η απόδοση του συστήματος παραμένει σταθερή.

Συνοψίζοντας η λειτουργία μας είναι μέγιστη ως προς την απομάκρυνση του COD μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx. Η απόδοση του συστήματος δεν μειώνεται στην περίπτωση που πενταπλασιάζουμε την προστιθέμενη ποσότητα του απόβλητου στο μίγμα εισόδου.

5.6.3. NO₃-N

Στο διάγραμμα 81 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των ποσοστών απομάκρυνσης του NO₃-N για κάθε μία από τις 5 συνθήκες λειτουργίας.

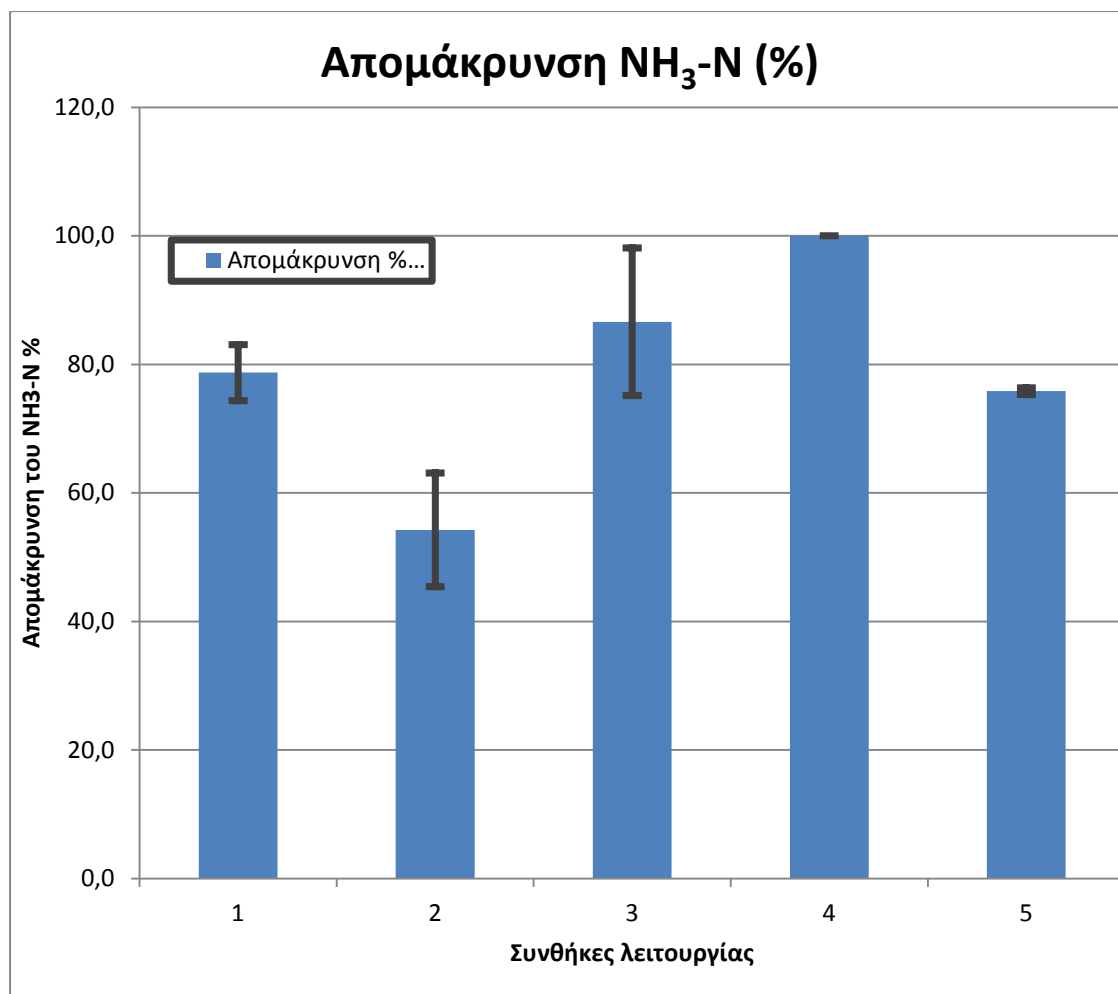


Διάγραμμα 81: Σύγκριση ποσοστών απομάκρυνσης των NO₃-N για κάθε συνθήκη λειτουργίας

Μέγιστη απομάκρυνση των νιτρικών έχουμε κατά την διάρκεια του 3^ο σταδίου λειτουργίας (76-86%). Η μείωση των νιτρικών κατά το 2^ο το 4^ο και το 5^ο στάδιο δείχνει ότι έχουμε απονιτροποίηση στο σύστημα μας. Στο δεύτερο στάδιο θεωρούμε ότι γίνεται από τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στην δεξαμενή καθίζησης. Μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών στο φαινόμενο συμβάλλουν και οι μικροοργανισμοί Sewper Rx.

5.6.4. NH₃-N

Στο διάγραμμα 82 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των ποσοστών απομάκρυνσης του NH₃-N για κάθε μία από τις 5 συνθήκες λειτουργίας.



Διάγραμμα 82: Σύγκριση ποσοστών απομάκρυνσης NH₃-N για κάθε συνθήκη λειτουργίας

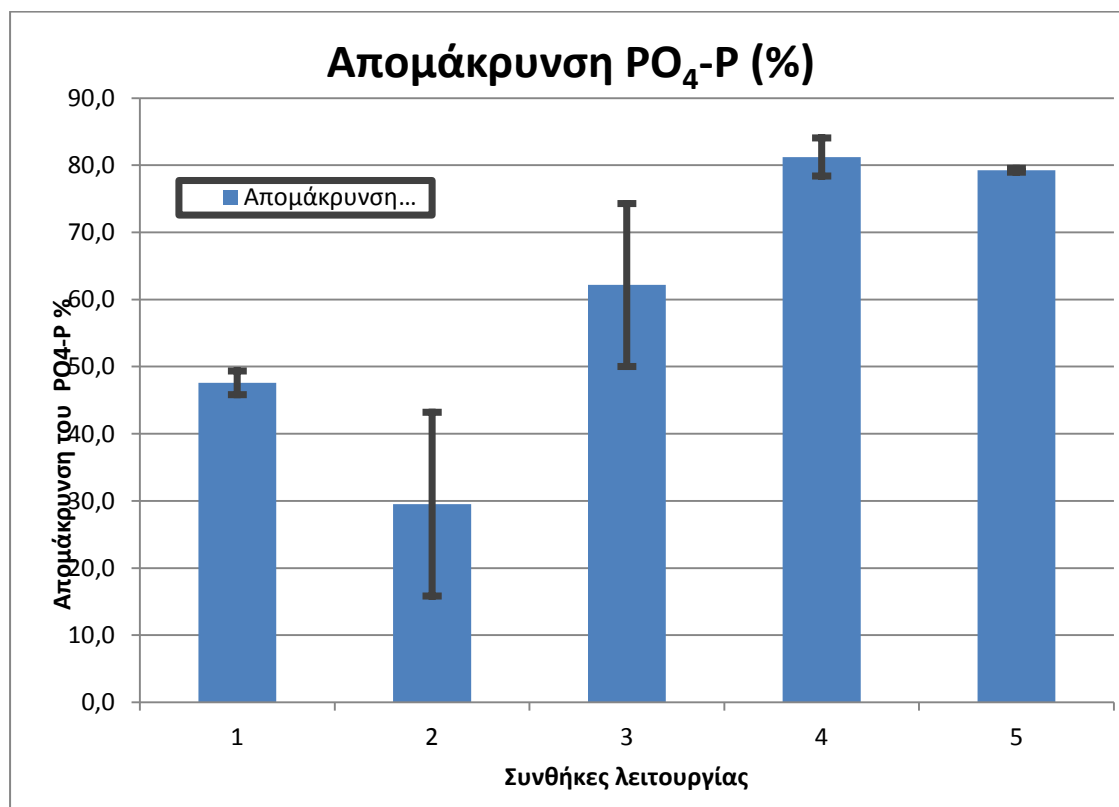
Η απομάκρυνση των αμμωνιακών είναι άμεση μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών στο 3^ο στάδιο λειτουργίας και από την τέταρτη μέρα μέτρηση έχουμε μηδενική ποσότητα στην εκροή. Αυτό δείχνει ότι στο σύστημα μας έχουμε νιτροποίηση. Μέγιστη απόδοση έχουμε όμως στην 4^η συνθήκη λειτουργίας όπου η απομάκρυνση είναι 100%. Στο τελευταίο στάδιο του συστήματος η πυκνή φόρτιση μειώνει λίγο την απόδοση του συστήματος.

Συγκρίνοντας το πρώτο και το δεύτερο στάδιο λειτουργίας παρατηρούμε ότι ο διπλασιασμός της παροχής τροφοδοσίας και της παροχής ανακυκλοφορίας μείωσε την απόδοση του συστήματος στην απομάκρυνση των αμμωνιακών.

Συνοψίζοντας η λειτουργία μας είναι μέγιστη ως προς την απομάκρυνση των αμμωνιακών μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών SewperRx. Η απόδοση του συστήματος μάλιστα αυξάνεται με την μείωση του χρόνου παραμονής. Συνοψίζοντας, οι μικροοργανισμοί SewperRx περιέχουν νιτροποιητικά και απονιτροποιητικά βακτήρια τα οποία δρουν από την πρώτη εβδομάδα μετά την προσθήκη.

5.6.5. PO₄-P

Στο διάγραμμα 83 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των ποσοστών απομάκρυνσης του PO₄-P για κάθε μία από τις 5 συνθήκες λειτουργίας.



Διάγραμμα 83: Σύγκριση ποσοστών απομάκρυνσης PO₄-P για κάθε συνθήκη λειτουργίας

Στην περίπτωση του PO₄-P τα μέγιστα ποσοστά απομάκρυνσης επιτεύχθηκαν κατά την 4^η (78-84%) και την 5^η συνθήκη λειτουργίας (79-80%). Η 4^η συνθήκη λειτουργίας έχει ελάχιστα μεγαλύτερη απομάκρυνση όμως συμπεριλαμβάνοντας και την τυπική απόκλιση θεωρούμε ότι η απόδοση του συστήματος είναι η ίδια. Η δράση των μικροοργανισμών αυξάνει κατά πολύ την απόδοση του συστήματος επεξεργασίας. Επίσης ο πενταπλασιασμός της συγκέντρωσης δεν μειώνει την απόδοση του συστήματος,

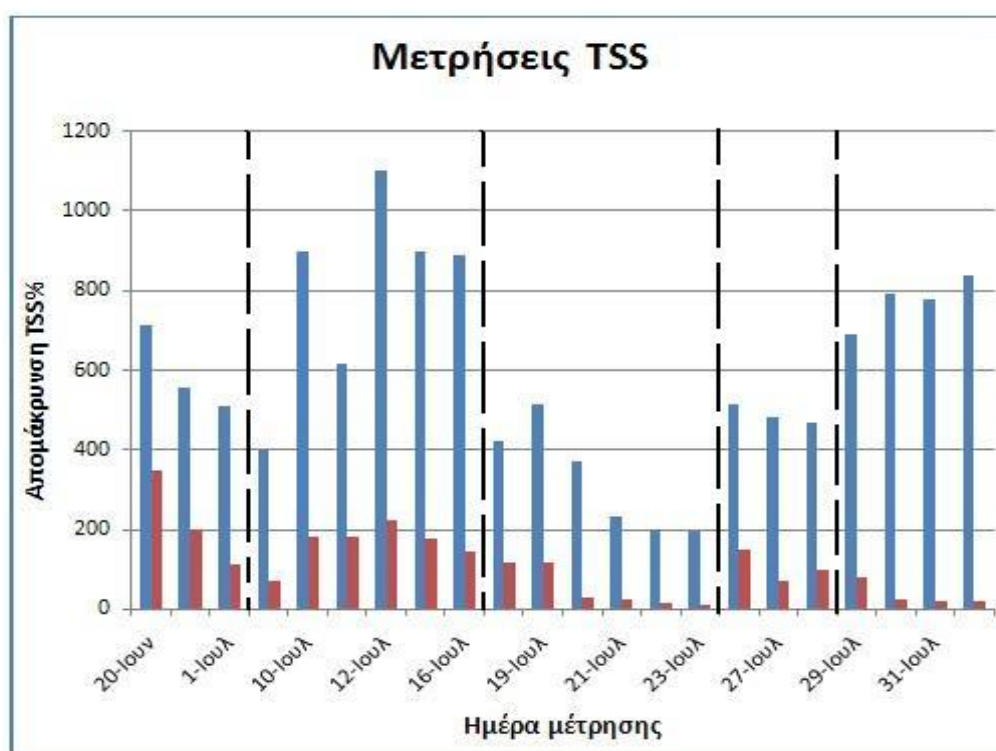
Συγκρίνοντας την πρώτη και την δεύτερη συνθήκη λειτουργίας παρατηρούμε ότι ο διπλασιασμός της παροχής τροφοδοσίας και της παροχής ανακυκλοφορίας μείωσε την απόδοση του συστήματος στην απομάκρυνση του PO₄-P. Συγκρίνοντας το 2^η με το 3^η συνθήκη λειτουργίας μεγάλη βελτίωση παρατηρείται μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών στην 3^η συνθήκη λειτουργίας. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς οι μικροοργανισμοί SewperRx καταναλώνουν φώσφορο όπως έχουμε προαναφέρει. Επίσης η πιλοτική μονάδα μας δεν περιλαμβάνει διεργασία απομάκρυνσης φωσφόρου και η απομάκρυνση φωσφόρου γίνεται κυρίως από την κατανάλωση του από τους μικροοργανισμούς του συστήματος μας, αλλά και μικρής ποσότητας που απομακρύνεται

από την λάσπη. Στην 4^η συνθήκη έχουμε αύξηση της απόδοσης η οποία παραμένει σταθερή και κατά την διάρκεια του 5^{ης} φάσης λειτουργίας.

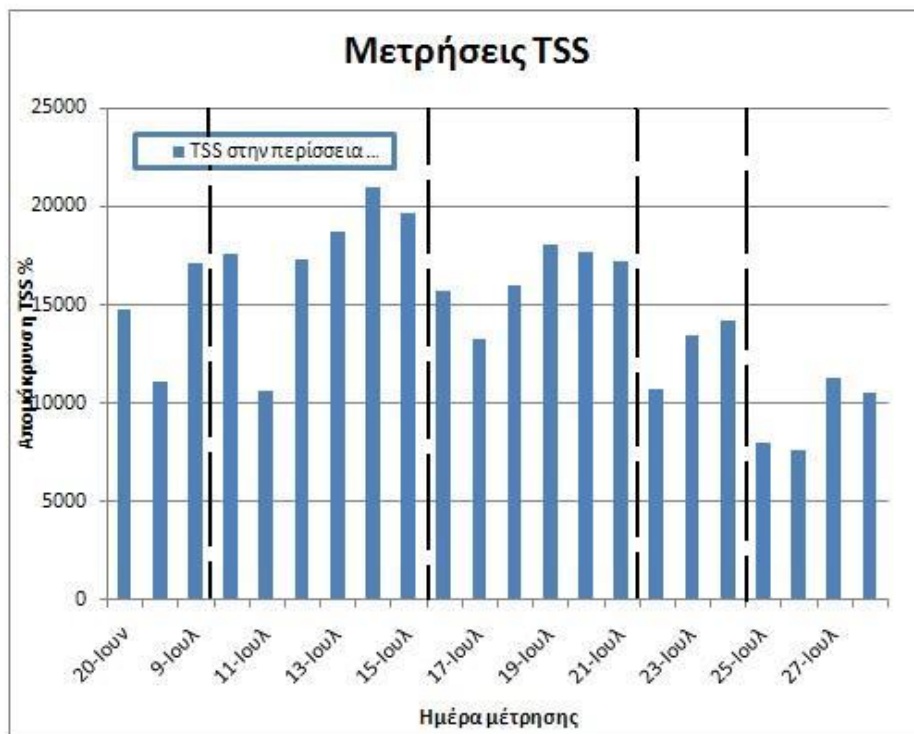
Συνοψίζοντας η λειτουργία μας είναι μέγιστη ως προς την απομάκρυνση του PO₄-P μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών SewperRx. Η απόδοση του συστήματος δεν μειώνεται στην περίπτωση που πενταπλασιάζουμε την προστιθέμενη ποσότητα του απόβλητου στο μίγμα εισόδου (5^η συνθήκη), ή στην περίπτωση που αυξήσουμε την παροχή (4^η συνθήκη).

5.6.6. TSS

Στο διάγραμμα 84 παρουσιάζονται οι μετρήσεις των TSS από την έξοδο της δεξαμενής αερισμού και από την έξοδο του συστήματος (εκροή) για κάθε μία από τις 5 συνθήκες λειτουργίας. Στο διάγραμμα 85 παρουσιάζονται οι μετρήσεις των TSS από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης για κάθε μία από τις 5 συνθήκες λειτουργίας. Στις μετρήσεις των TSS δεν θα υπολογίσουμε τυπική απόκλιση και ο σχολιασμός θα γίνει με από το συνολικό διάγραμμα των μετρήσεων μας.



Διάγραμμα 84: Μετρήσεις των TSS από την έξοδο της δεξαμενής αερισμού και από την έξοδο του συστήματος (εκροή) για κάθε συνθήκη λειτουργίας.



Διάγραμμα 85: Μετρήσεις των TSS από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης για κάθε συνθήκη λειτουργίας.

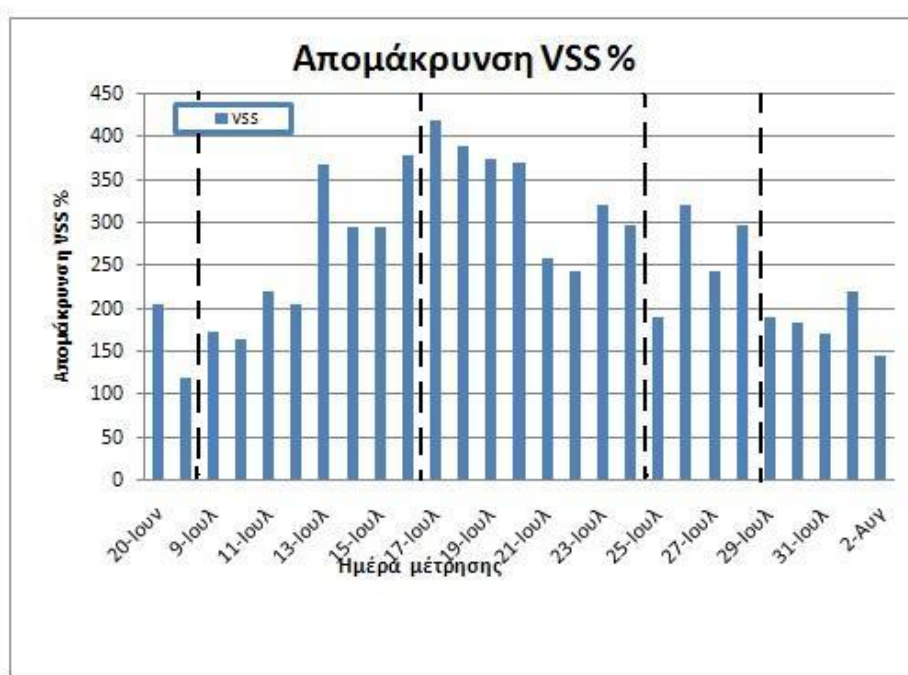
Από τον διάγραμμα 84 με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματά μας παρατηρείται ότι η ποσότητα των TSS στην εκροή μειώνεται μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx και πιο συγκεκριμένα μετά τις 23 Ιουλίου η ποσότητα της παραγόμενης λάσπης είναι μηδενική.. Στην έξοδο της δεξαμενής αερισμού η ποσότητα μειώνεται σταδιακά. Με την έναρξη της 4^{ης} συνθήκης λειτουργίας (25 Ιουλίου με 28 Ιουλίου) έχουμε ξανά παραγωγή λάσπης σε μικρή ποσότητα. Αυτό οφείλεται στον μικρό χρόνο παραμονής που έχει το στάδιο αυτό, και το απόβλητο δεν προλαβαίνει ουσιαστικά να επεξεργαστεί πλήρως. Στην τελευταία συνθήκη λειτουργίας που ο χρόνος παραμονής αυξάνεται έχουμε μείωση της ποσότητας στην έξοδο, και η ποσότητα των TSS στο ρεύμα της εκροής προς το μηδέν. Οι μικροοργανισμοί στην 5^η συνθήκη λειτουργίας δρουν πολύ αποδοτικά καθώς η προστιθέμενη ποσότητα του υγρού απόβλητου στο μίγμα εισροής είναι πενταπλάσια.

Η ποσότητα των TSS στο ρεύμα ανακυκλοφορίας της ιλύος παρουσιάζει διακυμάνσεις που οφείλονται στην διαφορετική ποιότητα της λάσπης από μέρα σε μέρα. Μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών η σύσταση της λάσπης έγινε πιο αραιή οπότε τα αποτελέσματα έχουν καλύτερη κατανομή. Επίσης τα TSS μειώθηκαν μετά την προσθήκη. Η ποσότητα των

TSS της λάσπης μειώνεται τόσο κατά την 4^η συνθήκη όπου έχουμε μικρότερο χρόνο παραμονής, όσο και στην 5^η συνθήκη. Οι μικρότερες μετρήσεις καταγράφηκαν κατά την 5^η συνθήκη λειτουργίας.

5.6.7. VSS

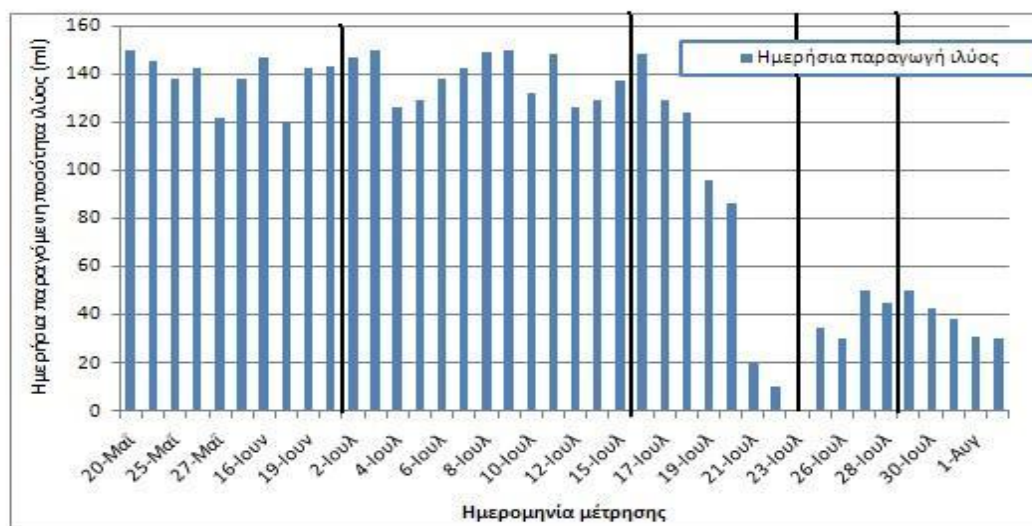
Στο διάγραμμα 86 παρουσιάζονται οι μετρήσεις των VSS από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης για κάθε μία από τις 5 συνθήκες λειτουργίας. Στις μετρήσεις των VSS δεν θα υπολογίσουμε τυπική απόκλιση και ο σχολιασμός θα γίνει με από το συνολικό διάγραμμα των μετρήσεων μας.



Διάγραμμα 86: Μετρήσεις των VSS από την έξοδο της περίσσειας της λάσπης για κάθε συνθήκη λειτουργίας.

Η ποσότητα των VSS στο ρεύμα ανακυκλοφορίας της ιλύος παρουσιάζει διακυμάνσεις που οφείλονται στην διαφορετική ποιότητα της λάσπης από μέρα σε μέρα. Μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών η σύσταση της λάσπης έγινε πιο αραιή οπότε τα αποτελέσματα έχουν καλύτερη κατανομή. Επίσης τα VSS μειώθηκαν μετά την προσθήκη. Η ποσότητα των VSS της λάσπης μειώνεται τόσο κατά την 4^η συνθήκη όπου έχουμε μικρότερο χρόνο παραμονής, όσο και στην 5^η συνθήκη. Οι μικρότερες μετρήσεις καταγράφηκαν κατά το τελευταίο στάδιο λειτουργίας.

5.6.8. Ημερήσια παραγόμενη ποσότητα ιλύος



Διάγραμμα 86: Ημερήσια ποσότητα της παραγόμενης ιλύος για κάθε συνθήκη λειτουργίας.

Από το διάγραμμα 86 είναι φανερό ότι η προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx έχει αυξήσει την αποδοτικότητα της επεξεργασίας ως προς την ημερήσια παραγωγή ιλύος. αναλυτικότερα πριν την προσθήκη των μικροοργανισμών το σύστημα μας παρήγαγε καθημερινά 120 με 150 ml λάσπης. Μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx (3η συνθήκη) η ποσότητα αυτή μειώνεται από την 3^η ημέρα λειτουργίας και μέσα σε 7 ημέρες έχουμε μηδενική ποσότητα παραγόμενης ιλύος στο ρεύμα της περίσσειας της ιλύος. η θολερότητα του πειράματος στο στάδιο αυτό έχει μειωθεί σημαντικά και η ποιότητα της ιλύος που παράγεται έχει καλύτερη σύσταση. Έχοντας επιτύχει τον στόχο του πειράματος που είναι η μηδενική παραγωγή ιλύος μετά από 7 ημέρες σταματάμε το στάδιο αυτό των πειραμάτων και ξεκινά η μελέτη του συστήματος για μικρούς υδραυλικούς χρόνους παραμονής (4^η συνθήκη). Κατά την 4^η συνθήκη η ημερήσια παραγόμενη ποσότητα ιλύος κυμαίνεται από 50 έως 30 ml, καθώς οι μικροοργανισμοί Sewper Rx δεν έχουν στην διάθεση τους αρκετό χρόνο ώστε να καταναλώσουν το οργανικό υλικό. Στο στάδιο αυτό αν και υπάρχει ποσότητα ιλύος που παράγεται η δράση των μικροοργανισμών είναι πολύ αποδοτική. Στην 5^η συνθήκη λειτουργίας δοκιμάστηκε η αποδοτικότητα του συστήματος στην επεξεργασία πυκνών απόβλητων και εφαρμόστηκε η προσθήκη πενταπλάσιας συγκέντρωσης υγρού απόβλητου. Η ημερήσια ποσότητα της παραγόμενης ιλύος στο στάδιο αυτό κυμαίνεται από 50 έως 30 ml. η δράση των μικροοργανισμών Serwper Rx είναι πολύ αποδοτική καθώς η ποσότητα της ιλύος μειώνεται καθημερινά .

Συνοψίζοντας οι μικροοργανισμοί Sewper Rx δρουν πολύ αποδοτικά στην κατανάλωση της παραγόμενης ιλύος. Επίσης η απόδοση τους δεν μειώνεται στην περίπτωση της 4^{ης} και της 5^{ης} συνθήκης λειτουργίας.

Κεφάλαιο 6^ο-Συμπεράσματα και προτάσεις

6.1. Συμπεράσματα

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης των μικροοργανισμών Sewper Rx στην επεξεργασία συστήματος Ε.Ι. χρησιμοποιώντας αγροτοβιομηχανικό απόβλητο. Η επεξεργασία του απόβλητου γινόταν σε πιλοτική μονάδα του εργαστηρίου, η οποία αποτελούνταν από μία δεξαμενή αερισμού όγκου 5,9 λίτρων και μία δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης όγκου 5,85 λίτρων συνδεδεμένες σε σειρά. Η μονάδα είχε ρεύμα ανακυκλοφορίας της λάσπης από την δεξαμενή καθίζησης προς την δεξαμενή αερισμού. Αρχικά η πιλοτική μονάδα μελετήθηκε ως προς την ικανότητα απομάκρυνσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών χωρίς την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx για δύο διαφορετικές υδραυλικές φορτίσεις. Στην συνέχεια προσθέσαμε μικρή ποσότητα από τους μικροοργανισμούς στην δεξαμενή του αερισμού και μελετήσαμε εκ νέου τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του συστήματος μας. Αναλυτικότερα, μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper RX, κατά την τρίτη σε σειρά συνθήκη λειτουργίας η φόρτιση παρέμεινε σταθερή ώστε να μελετηθεί η απόδοση της εγκατάστασης πριν και μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών. Στην επόμενη συνθήκη (4^η) διπλασιάστηκε η παροχή τόσο στην είσοδο, όσο και στο ρεύμα ανακυκλοφορίας της ιλύος ώστε να δοκιμαστεί η απόδοση του συστήματος σε μικρούς χρόνους παραμονής του απόβλητου. Στην πέμπτη κατά σειρά συνθήκη λειτουργίας πενταπλασιάστηκε η συγκέντρωση του απόβλητου στην παροχή εισόδου, ώστε να ελεγχθεί η αποδοτικότητα των μικροοργανισμών Sewper Rx σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Το υγρό απόβλητο προέρχονταν από υγρά απόβλητα οиноποιείου της περιοχής και για την επεξεργασία του αραιώθηκε ώστε να προσομοιάζει στα χαρακτηριστικά του ένα τυπικό υγρό αστικό απόβλητο. Η αραιώση που εφαρμόστηκε ήταν προσθήκη σε 43 λίτρα νερού βρύσης, 150 ml από το απόβλητο. Η αραιώση γινόταν στην δεξαμενή εισροής.

Από την σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων η απόδοση του συστήματος αυξάνεται πολύ μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx. Στον πίνακα 13 παρατίθενται οι τιμές των ποσοστών απομάκρυνσης του κάθε ποιοτικού χαρακτηριστικού για κάθε συνθήκη λειτουργίας. Τα ποσοστά απομάκρυνσης προκύπτουν από την προσθαφαίρεση της διακύμανσης από την μέση τιμή.

	Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)				
	Λειτουργία πριν την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx		Λειτουργία μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx		
	1 ^η Συνθήκη Λειτουργίας	2 ^η Συνθήκη Λειτουργίας	3 ^η Συνθήκη Λειτουργίας	4 ^η Συνθήκη Λειτουργίας	5 ^η Συνθήκη Λειτουργίας
BOD	51-64 %	57-70 %	70-79 %	49-61 %	81-86 %
COD	67-87 %	54-70 %	81-90 %	59-66 %	80-87 %
NH₃-N	74-83 %	45-63 %	75-98 %	100 %	75-76 %
NO₃-N	83-93 %	50-62 %	76-86 %	53-63 %	57-58 %
PO₄-P	46-49 %	16-43 %	50-74 %	78-84 %	79-80 %

Πίνακας 13: Συγκεντρωτικά ποσοστά απομάκρυνσης

Η προσθήκη των μικροοργανισμών έχει συντελέσει σε σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας της μονάδας μας. Η θολερότητα στην δεξαμενή αερισμού και στην δεξαμενή καθίζησης μειώθηκε σημαντικά μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx λόγω της κατανάλωσης του οργανικού φορτίου. Σε όλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά έχουμε πολύ μεγάλη απομάκρυνση, η οποία φτάνει και το 100% στη περίπτωση των αμμωνιακών. Η ποσότητα των TSS στην έξοδο μηδενίζεται στο 3^ο στάδιο λειτουργίας και τείνει να μηδενιστεί στο 5^ο. Επίσης η ποσότητα των VSS στο ρεύμα ανακυκλοφορίας της λάσπης μειώνεται μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx.

Η ημερήσια ποσότητα της παραγόμενης λάσπης μειώνεται μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών Sewper Rx. Αναλυτικότερα κατά την 1^η και την 2^η συνθήκη λειτουργίας έχουμε 120-150 ml λάσπης που παράγεται καθημερινά από το σύστημα μας, ενώ από την 3^η ημέρα μετά την προσθήκη των μικροοργανισμών (3^η συνθήκη λειτουργίας) έχουμε μείωση της ιλύος. Η ποσότητα της παραγόμενης λάσπης μηδενίζεται από την πρώτη εβδομάδα κατά την 3^η συνθήκη λειτουργίας. Έχοντας επιτύχει μηδενική παραγωγή ιλύος κατά την 3^η συνθήκη λειτουργίας, ελέγξαμε την αποδοτικότητα του συστήματος για μικρούς χρόνους παραμονής (4^η συνθήκη) και για επεξεργασία πυκνού απόβλητου (5^η συνθήκη). Κατά την 4^η συνθήκη λειτουργίας είχαμε 30-50 ml παραγόμενης ιλύος καθημερινά και κατά την 5^η συνθήκη λειτουργίας, όπου προσθέσαμε πενταπλάσια ποσότητα από το αγροτοβιομηχανικό απόβλητο στην δεξαμενή, η ημερήσια ποσότητα της παραγόμενης λάσπης παρέμεινε σταθερή.

Τα αποτελέσματα για την ποσότητα της ημερήσιας παραγόμενης ιλύος είναι πολύ ενθαρρυντικά καθώς οι μικροοργανισμοί Sewper Rx δρουν πολύ αποτελεσματικά στην μείωση της ιλύος σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας που δοκιμάστηκαν. Παράλληλα η δράση των εξειδικευμένων αυτών μικροοργανισμών σε όλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν είναι πολύ αποδοτική, καθώς μπορούν να προσφέρουν μία σημαντικά βελτιωμένη εκροή σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας που δοκιμάστηκαν.

6.2. Προτάσεις

Οι προτάσεις ώστε να αυξηθεί η αποδοτικότητα από την χρήση των μικροοργανισμών Sewper Rx:

- Αύξηση της συγκέντρωσης του υγρού απόβλητου στο μίγμα εισόδου.
- Χρήση των μικροοργανισμών σε μεγαλύτερη εγκατάσταση
- Μέτρηση των βαρέων μετάλλων και παρεμποδιστικών ουσιών που συναντώνται σε βιομηχανικά απόβλητα και μπορούν να μειώσουν την απόδοση του συστήματος .
- Μέτρηση των νιτρωδών ώστε έχουμε καλύτερη παρατήρηση για την διεργασία της απονιτροποίησης.

Προτάσεις για την περεταίρω διερεύνηση της απόδοσης των μικροοργανισμών Sewper Rx:

- Χρήση των μικροοργανισμών σε διάφορες κατηγορίες υγρών απόβλητων
- Η δοκιμή προσθήκης διαφορετικών ποσοτήτων από το μίγμα των μικροοργανισμών.
- Προκαλλιέργεια των μικροοργανισμών ώστε να χρησιμοποιηθεί μικρότερη ποσότητα από το μίγμα. Σύγκριση των ρυθμών ανάπτυξης σε πειράματα που έχει γίνει προκαλλιέργεια και σε πειράματα απλής προσθήκης.
- Χρήση των μικροοργανισμών σε απόβλητα με έλαια και λίπη ώστε να μελετηθεί η απόδοσή τους

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

- Νταρακάς Ε.,(2006),”Επεξεργασία Βιομηχανικών Αποβλήτων” Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος
- Νταρακάς Ε.,(2014),” Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Τεχνική Περιβάλλοντος)”, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος
- Βλυσίδης Α. (2006) “Τεχνικές Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων”, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Στάμος Α.Ι.(2004),”Βιολογικός Καθαρισμός Αστικών Αποβλήτων)”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων
- Στάμος Α.Ι.(1994),”Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων
- Έλεγχος ρύπανσης Νερών, Πολυτεχνείο Κρήτης (2013), Σημειώσεις μαθήματος
- Τσώνης Σ.Π., 2004, “Επεξεργασία Λυμάτων, Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Πολιτικών μηχανικών
- «Οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 1991 για την επεξεργασία των αστικών αποβλήτων»

- <<Οδηγία 96/616ΕΚ του συμβουλίου της 2^{4ης} Σεπτεμβρίου 1996 για την διαχείριση των βιομηχανικών αποβλήτων>>

Διεθνής βιβλιογραφία

- Metcalf and Eddy Inc,(2003), Revised by Tchobanoglous G. et. Al. *“Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Edition”*
- Noyes R. (1991), *“Handbook of pollution control processes”*, Noyes Publications, New Jersey
- Crook J, (1998), *Wastewater Reclamation and Reuse*, Technomic Publishing Co., Ltd. London
- Maier. R. M.,I. L. Pepper and C.P. Gerba,(2000), *Environmental Microbiology*, Academic Press, A. Harcourt Science and Technology Company, San Diego, CA
- Roberts, L.S., and J. Janory, Jr.,(1996) *Foundation of Parasitology*, 5th ed., WCB,WM.C. Brown Publishers, Dubuque, IA
- Cooper, R.C.(2001) Personal Communication, Bio Vir Laboratories, Benicia, CA
- Crompton, D. W. T. (1999) How much human helminthiasis is there in the world?, *Journal of Parasitology*, vol. 85,pp. 379-403
- West, P. M., and F.R. Olds, (1992), *Clinical Schistosomiasis*, R.I. Medical Journal, vol 75,p.179
- Nelson, K. (2001) Personal communication, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California at Davis, Davis, CA
- Madigan, M. T. J. M. Martinko, and J. Parker (2000) *Brock Biology of Microorganisms*, 9th Ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ
- Rose, J. B., and C.P. Gerba, (1991).”Assessing Potential Health Risks from Viruses and Parasites in Reclaimed Water in Arizona and Florida, U.S.A.” *Water Science Technology*, vol. 23,pp. 2091-2098
- WPCF (1977) *Manual of practice No 8 “Wastewater treatment plant design, 2nd edn.”*, Lancaster Press, Inc., Lancaster
- Jorgensen E. S. and Johnsen I. (1989), *“Principles of environmental science and technology”*, Elsevier, Amsterdam
- EPRI (1994), Encor-America, Inc. *“Heat-rate improvement conference: Volumes 1-4”*, California
- (American Society of Civil Engineers,<Wastewater Treatment Plant Designs, Manuals and Reports on Practice- No 36, N. York, 1977>).
- (Ramalho R.S. <Introduction to Wastewater treatment Process> Academic Press, N. York,1977).
- (TASK Committee on final Clarification, ASCE,<Final Clarifiers for Activated Sludge Plants>J. Env. Eng. Div. ASCE, 105, 1979).
- US Environmental Protection Agency, <Process Design Manual for WASTEWATER Treatment Facilities for Sewer Small Communities> Technology Transfer, EPA 62571-77-009, 1977.
- Madigan , M.T.,J. M. Martinko, and J. Parker (1997) *Brock Biology of Microorganisms*, 8th Ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ

- Wanner, J.(1994) Activated Sludge Bulking and Foaming Control, Technologic Publishing, Lancadter, PA.
- Pitt, P., and D. Jenkins,(1990), "Cause and Control of Nocardia in Activated Sludge," Journal Water Pollution Control Federation, Vol 62,pp 143-150
- Painter, H. A . (1970). "A Review of Literature on Inorganic Nitrogen Metabolism I Microorganisms", Water Research, vol, 4., p 393
- Payne, W. J. (1981) Denitrification, Wiley, New York
- Gayle, B. P. (1989), "Biological Denitrification of Water," Journal Environmental Engineering, vol 115, p 130
- Robertson , L. A., and J.G. Kuenen, (1990), "Combined Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification in Thiosphaera pantotropha and other Bacteria," Antonie Van Leeuwenhoek, vol 56, pp.289- 299
- van Loosdrecht M. C. M.,and M. S. Jetten, (1998), "Microbiological Conversions in Nitrogen Removal," International Conference Preprint Book 1, Nutrient Removal
- Bock, E., I., Schmidt, R Stuenkel, and D. Zart, (1995) "Nitrogen Loss Caused by Denitrifying Nitromonas Cells Using Ammonium or Hydrogen as Electron Donors and Nitrite as Electron Acceptor", Archive Microbiology, vol. 163, pp.16-20
- Strous, M., E. van Gerven, P. Zheng, J.G. Kuenen, and M. S. M. Jetten, (1997)" Ammonium Removal From Concentrated Waste Streams with the Aerobic Ammonium Oxidation (AVAMMOX) Process in Different Reactor Configurations," Water Research, vol. 31, pp.1955-1962