



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Διπλωματική Εργασία**

**Τίτλος:** «Αποτελεσματικότητα εργοστασιακού συστήματος  
επεξεργασίας υγρών αποβλήτων γαλακτοβιομηχανίας.»

**Όνομα:** Ιωάννης

**Επώνυμο:** Γιάτσιος

**Αριθμός Μητρώου:** 2008050029

**Τριμελής επιτροπή:** N. Καλογεράκης (επιβλέπων)

Π. Γκίκας

Π. Παναγιωτοπούλου

Ε. Αντωνίου (αναπληρωματικός)

Χανιά, Ιούλιος 2021

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής, συνεπάγεται και η ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης, στο τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές που απαρτίζουν και την επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστήριες θα ήθελα να αποδώσω στον κύριο Νικόλαο Καλογεράκη, επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας, ο οποίος ήταν πολύτιμη η βοήθεια του όσον αφορά την εύρεση του θέματος καθώς και την αμέριστη στήριξη του παρά το φόρτο των υποχρεώσεων του.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους γονείς μου Βασίλη και Αλεξάνδρα, την αδερφή μου Ηλιάνα καθώς και τον παππού μου Γρηγόρη και την γιαγιά μου Σωτηρία. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την αρραβωνιαστικιά μου, Αναστασία καθώς με στήριξε και με βοήθησε με όποιον τρόπο μπορούσε ιδιαίτερα κατά την διάρκεια σύνταξης της παρούσας εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστήριες στην οικογένεια των κυρίων Μιχάλη και Δημήτρη Σαράντη που μου επέτρεψαν να εργαστώ στην υπό μελέτη εγκατάσταση καθώς και να χρησιμοποιήσω όλα τα δεδομένα.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ:**

Το γάλα είναι ένα πλούσιο σε βιταμίνες και στοιχεία τρόφιμο και αποτελεί το βασικό συστατικό για μια από τις πλέον επικερδείς επιχειρηματικές δραστηριότητες, τη γαλακτοβιομηχανία.

Από την στιγμή της γέννησης του κάθε θηλαστικό θα τραφεί αποκλειστικά με γάλα για κάποια περίοδο. Αυτό σημαίνει ότι για τα πρώτα αναπτυξιακά του βήματα, το γάλα αποτελεί το μόνο και συνάμα το πιο πολύτιμο στοιχείο. Ο άνθρωπος από την αρχαιότητα έχει αντιληφθεί την σημασία του γάλακτος και για αυτό εξημέρωσε κατά την διάρκεια της εξέλιξης του τα ζώα που θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί για να καλύψει αυτήν την ανάγκη του. Στην πορεία αντιλήφθηκε πως από το γάλα μπορεί να παρασκευάσει διάφορα προϊόντα, ιδιαίτερα θρεπτικά, τα οποία μάλιστα διαφέρουν όσον αφορά την μορφή και την γεύση τους ανάλογα με το είδος της πρώτης ύλης καθώς και της τεχνικής που χρησιμοποιείται. Έτσι φτάσαμε στο σήμερα να έχουμε τόσα πολλά προϊόντα με βάση το γάλα.

Η παραγωγή των πολύτιμων προϊόντων του γάλακτος ωστόσο είχε και έχει πολύ βαρύ αντίκτυπο στο περιβάλλον. Με τα χρόνια ο άνθρωπος έχει καταλήξει πως το περιβάλλον του είναι πολύ σημαντικό καθώς και η διατήρηση του για τις επόμενες γενιές.

Με βάση την γνώση, την τεχνολογία και την συνθετική σκέψη με τα χρόνια κατέληξε στην διαχείριση των υγρών αποβλήτων με χρήση συστημάτων που αποτελούνται από φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες. Για να μπορέσει να προχωρήσει την έρευνα και ταυτόχρονα να εξετάσει την αποτελεσματικότητα της αναγκάστηκε να βρει τρόπους που μπορούσαν να μελετήσουν τα αποτελέσματα των συστημάτων αυτών. Έτσι καταλήγουμε στο σκοπό αυτής της διπλωματικής εργασίας, η οποία είναι η ποσοτικοποίηση της αποτελεσματικότητας όσον αφορά την διαχείριση των υγρών αποβλήτων της γαλακτοβιομηχανίας. Συγκεκριμένα, εξετάζουμε μια εγκατάσταση υπαρκτή η οποία βρίσκεται και λειτουργεί εδώ και περίπου δέκα χρόνια στην πλέον πετυχημένη ελληνική γαλακτοβιομηχανία ΤΥΡ.Α.Σ Α.Ε. .

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:**

Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Τι είναι το γάλα και πως φτάνει στον καταναλωτή.

1.1 Ορισμός του όρου «γάλα».....	σελίδα 1
1.2 Σύσταση του γάλακτος.....	σελίδα 1
1.3 Το μονοπάτι του γάλακτος.....	σελίδα 1

Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Γαλακτοβιομηχανία

2.1 Λίγα λόγια για την γαλακτοβιομηχανία.....	σελίδα 3
2.2 Ιστορική Αναδρομή.....	σελίδα 3
2.3 Ο κατάλογος των προϊόντων της εταιρείας.....	σελίδα 3
2.4 Εταιρική ευθύνη.....	σελίδα 4

Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Διαχείριση υγρών αποβλήτων

3.1 Φυσικά, χημικά και βιολογικά ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά..	σελίδα 5
3.2 Εισαγωγή στην ανάλυση και επιλογή διεργασιών.....	σελίδα 8
3.3 Φυσικές διεργασίες.....	σελίδα 10
3.4 Χημικές διεργασίες.....	σελίδα 17
3.5 Βιολογικές διεργασίες.....	σελίδα 19

Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Συστήματα βιολογικής επεξεργασίας αποβλήτων

4.1 Αναερόβια ζύμωση και οξείδωση.....	σελίδα 24
4.2 Συστατικά κλειδιά των υγρών αποβλήτων για το σχεδιασμό.....	σελίδα 25
4.3 Αναερόβια και αερόβια βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων.....	σελίδα 28
4.4 Επεξεργασία, επαναχρησιμοποίηση & διάθεση στερεών & βιοστερεών.....	σελίδα 35

Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Παρουσίαση και διάγραμμα ροής της υπό μελέτης εγκατάστασης

5.1 Διάγραμμα ροής της εγκατάστασης.....	σελίδα 42
5.2 Παρουσίαση της εγκατάστασης.....	σελίδα 59
5.3 Ανάλυση αντιδραστήρων συστημάτων.....	σελίδα 61

Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Αποτελεσματικότητα και συμπεράσματα

6.1 Ανάλυση της ιδέας της ποσοτικοποίησης.....	σελίδα 64
6.2 Συμπεράσματα βάσει εκτίμησης δεδομένων.....	σελίδα 72
6.3 Διαγράμματα παρουσίασης αποτελεσματικότητας.....	σελίδα 74
6.4 Τελικό συμπέρασμα.....	σελίδα 79

Βιβλιογραφία.....	σελίδα 79
-------------------	-----------

## Ευρετήριο Πινάκων

**Πίνακας 1.** Κατάταξη μικροοργανισμών..... σελίδα 21

**Πίνακας 2.** Μετρήσεις κατά μήκος της εγκατάστασης στη διάρκεια του έτους..... σελίδα 65

## Ευρετήριο Διαγραμμάτων

**Διάγραμμα 1.** Μείωση της συγκέντρωσης COD (mg/L) για μέγιστη φόρτιση του Buffer 1 κατά τη διάρκεια του έτους..... σελίδα 74

**Διάγραμμα 2.** Μείωση της συγκέντρωσης COD (mg/L) για ελάχιστη φόρτιση του Buffer 1 κατά τη διάρκεια του έτους..... σελίδα 75

**Διάγραμμα 3.** Μείωση της συγκέντρωσης COD (%) για μέγιστη φόρτιση του Buffer 1 κατά τη διάρκεια του έτους..... σελίδα 75

**Διάγραμμα 4.** Μείωση της συγκέντρωσης COD (%) για ελάχιστη φόρτιση του Buffer 1 κατά τη διάρκεια του έτους..... σελίδα 76

**Διάγραμμα 5.** Box Chart για εύρος τιμών της συγκέντρωσης COD (mg/L) για Buffer 1 κατά τη διάρκεια του έτους..... σελίδα 76

**Διάγραμμα 6.** Box Chart για εύρος τιμών της συγκέντρωσης COD (mg/L) για D.A.F. 1 κατά τη διάρκεια του έτους..... σελίδα 77

**Διάγραμμα 7.** Box Chart για εύρος τιμών της συγκέντρωσης COD (mg/L) για Buffer 2 κατά τη διάρκεια του έτους..... σελίδα 77

**Διάγραμμα 8.** Box Chart για εύρος τιμών της συγκέντρωσης COD (mg/L) για ECSB κατά τη διάρκεια του έτους..... σελίδα 78

**Διάγραμμα 9.** Box Chart για εύρος τιμών της συγκέντρωσης COD (mg/L) για την έξοδο της εγκατάστασης κατά τη διάρκεια του έτους..... σελίδα 78

## Ευρετήριο Εικόνων

<b>Εικόνα 1.</b> Σχηματική απεικόνιση UASB βιοαντιδραστήρα.....	σελίδα 32
<b>Εικόνα 2.</b> Κεντρικό Φρεάτιο Συλλογής υγρών αποβλήτων.....	σελίδα 42
<b>Εικόνα 3.</b> Combi: Σχάρες.....	σελίδα 43
<b>Εικόνα 4.</b> Combi: Διάταξη λιποσυλλογής.....	σελίδα 43
<b>Εικόνα 5.</b> Buffer 1_A.....	σελίδα 44
<b>Εικόνα 6.</b> Buffer 1_B.....	σελίδα 44
<b>Εικόνα 7.</b> Πλήρες σύστημα διαύγασης D.A.F. ....	σελίδα 45
<b>Εικόνα 8.</b> Στατικός αναμίκτης.....	σελίδα 45
<b>Εικόνα 9.</b> Κελί αποσυμπίεσης και βάνες ρύθμισης ροής.....	σελίδα 45
<b>Εικόνα 10.</b> Φρεάτιο απομάκρυνσης κροκιδωμένου υλικού.....	σελίδα 46
<b>Εικόνα 11.</b> Φρεάτιο υπερχειλίσσης διαυγασμένης εξόδου.....	σελίδα 46
<b>Εικόνα 12.</b> Buffer 2.....	σελίδα 47
<b>Εικόνα 13.</b> Neutralization Tank – ECSB βιοαντιδραστήρας.....	σελίδα 48
<b>Εικόνα 14.</b> Καθίζηση με επιφάνειες τύπου Lamella εξόδου ECSB.....	σελίδα 49
<b>Εικόνα 15.</b> Καθίζηση με επιφάνειες τύπου Lamella εξόδου CSTR.....	σελίδα 49
<b>Εικόνα 16.</b> Sludge Tank.....	σελίδα 50
<b>Εικόνα 17.</b> Preparation Tank.....	σελίδα 51
<b>Εικόνα 18.</b> CSTR βιοαντιδραστήρας.....	σελίδα 52
<b>Εικόνα 19.</b> Δεξαμενή Αερισμού Α.....	σελίδα 53
<b>Εικόνα 20.</b> Δεξαμενή Αερισμού Β.....	σελίδα 53
<b>Εικόνα 21.</b> Δεξαμενή Αναγέννησης.....	σελίδα 54
<b>Εικόνα 22.</b> Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης.....	σελίδα 54
<b>Εικόνα 23.</b> Κυκλικοί παχυντές αποθήκευσης περίσσειας ιλύος.....	σελίδα 55
<b>Εικόνα 24.</b> Διάταξη φυγοκέντρισης Decanter.....	σελίδα 56
<b>Εικόνα 25.</b> Χοάνη αποθήκευσης φυγοκεντριμένης ιλύος.....	σελίδα 56
<b>Εικόνα 26.</b> Θάλαμος αποτέφρωσης με πολλαπλές εστίες.....	σελίδα 57
<b>Εικόνα 27.</b> Διάταξη ξήρανσης ιλύος.....	σελίδα 57
<b>Εικόνα 28.</b> Σύστημα διαχείρισης απαερίων αποτέφρωσης.....	σελίδα 58
<b>Εικόνα 29.</b> Τέφρα, χοάνη τελικής απόθεσης.....	σελίδα 58

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

## Τι είναι το γάλα και πως φτάνει στον καταναλωτή

### **1.1 Ορισμός του όρου «Γάλα»:**

Γάλα ονομάζουμε το λευκό ή υποκίτρινο υγρό, το οποίο παράγεται στο μαστό των θηλέων θηλαστικών ζώων μετά τον τοκετό τους. Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία «Γάλα είναι το απαλλαγμένο από πρωτόγαλα προϊόν του ολοσχερούς, χωρίς διακοπή, αρμέγματος υγιούς γαλακτοφόρου ζώου, που ζει και τρέφεται υπό υγιεινούς όρους και που δεν βρίσκεται σε κατάσταση υπερκόπωσης». Η νομοθεσία ορίζει πως : «Με τον όρο γάλα απλά, χωρίς να συνοδεύεται από κάποιο επίθετο, νοείται αποκλειστικά και μόνο το γάλα που:

- A)προέρχεται από αγελάδα
- B)είναι νωπό
- Γ)είναι πλήρες
- Δ)δεν έχει υποστεί αφυδάτωση ή συμπύκνωση
- Ε)δεν περιέχει ύλες που να έχουν προστεθεί από τρίτους»

Επειδή το γάλα αποτελεί την πρώτη ύλη για την παραγωγή όλων των γαλακτοκομικών προϊόντων, κρίνεται απαραίτητο να αναφέρουμε κυρίως την σύσταση του (Κυριακόπουλος,1995).

### **1.2 Σύσταση του γάλακτος:**

Το γάλα αποτελείται κυρίως από νερό (σε ποσοστό περίπου 88%), λίπος (σε ποσοστό περίπου 3,7%), πρωτεΐνες (σε ποσοστό περίπου 3,2%), υδατάνθρακες (σε ποσοστό περίπου 4,7%) και σε ανόργανα άλατα (σε ποσοστό περίπου 0,75%). Από τα παραπάνω ιδιαίτερο ενδιαφέρον, για την εργασία μας, παρουσιάζουν οι πρωτεΐνες ορού (μέρος του ποσοστού πρωτεϊνών που αναφέραμε νωρίτερα) καθώς και τα ανόργανα άλατα που περιέχει το γάλα (τα πλέον άξια αναφοράς είναι τα φωσφορικά, θειϊκά, χλωριούχα, κιτρικά καθώς και τα ανθρακικά) (Κυριακόπουλος,1995).

### **1.3 Το μονοπάτι του γάλακτος**

«Δρόμος» του γάλακτος από την παραγωγή ως την βιομηχανία:

- 1)Μαστός του ζώου.
- 2)Παγολεκάνη παραγωγού.
- 3)Ειδικό φορτηγό βυτίο (για υγρά τρόφιμα) παραλαβής και μεταφοράς της πρώτης ύλης ως την βιομηχανία.

Στη συνέχεια θα δούμε τον αντίστοιχο «δρόμο» από το ειδικό φορτηγό βυτίο ως τα στάδια επεξεργασίας του γάλακτος εντός μίας βιομηχανίας γαλακτοκομικών προϊόντων

«Δρόμος» εντός της εταιρίας:

1)Παραλαβή βυτίου από εξειδικευμένο προσωπικό (γίνεται δειγματοληψία για μέτρηση παραμέτρων της πρώτης ύλης ώστε να γνωμοδοτήσει το χημείο και συγκεκριμένα το τμήμα του ποιοτικού ελέγχου εάν πληρούνται οι προδιαγραφές που έχουν θεσπιστεί από την εταιρία στα πλαίσια της νομοθεσίας για την πρώτη ύλη της).

2)Παραλαβή νωπού γάλακτος και προσωρινή αποθήκευση του σε ειδικά για υγρά τρόφιμα σιλό αποθήκευσης. Να σημειωθεί πως η πρώτη ύλη σε αυτό το στάδιο υπόκειται σε ψύξη.

3)Μέσω ειδικού συστήματος βαλβίδων ακολουθεί το στάδιο της προεπεξεργασίας της πρώτης ύλης. Συγκεκριμένα, το γάλα περνά από διατάξεις αποκορύφωσης (μηχανικές διατάξεις που βασίζονται στην θεωρία της φυγοκέντρισης) με σκοπό την απομάκρυνση οσμών καθώς και ανεπιθύμητων προσμίξεων στο γάλα. Ακολουθεί η ομογενοποίηση του γάλακτος (μηχανική διάταξη εμβόλων σπάει τα λιποσφαιρίδια του γάλακτος ώστε να έχουμε την επιθυμητή υφή και ομοιογένεια). Στη συνέχεια, το γάλα μας περνά από διατάξεις παστερίωσης (θερμική επεξεργασία που περιλαμβάνει την θέρμανση του γάλακτος και την ροή του μέσω δικτύου σωληνώσεων ώστε να επιτευχθεί μικροβιοκτονία και η σταθεροποίηση του γάλακτος). Τέλος, το παστεριωμένο πλέον γάλα οδηγείτε σε σιλό προσωρινής αποθήκευσης ώστε να διοχετευθεί στα παραγωγικά τμήματα.

Το παραπάνω «μονοπάτι» του γάλακτος ακολουθείται στην εταιρία Ελληνικά Γαλακτοκομεία, συγκεκριμένα στο εργοστάσιο «ΤΥΡ.Α.Σ.»

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

### Γαλακτοβιομηχανία

#### **2.1 Λίγα λόγια για την εταιρία:**

Η «Ελληνικά Γαλακτοκομεία Α. Ε.» είναι μια οικογενειακή επιχείρηση 3<sup>ης</sup> γενιάς που δραστηριοποιείται στον τομέα των τροφίμων, συνεχίζοντας την αδιάκοπη λειτουργία της με προσφορά στην ελληνική κοινωνία και στην πρωτογενή παραγωγή. Αναπτύσσεται δυναμικά με τρία εμπορικά σήματα, τόσο στην Ελληνική αγορά όσο και σε 47 χώρες στην Ευρώπη, Αμερική, Αφρική, Ασία και Αυστραλία.

#### **2.2 Ιστορική αναδρομή:**

Η ιστορία της εταιρείας ξεκινά το έτος 1985 με την ίδρυση της από τον «πατριάρχη» της οικογένειας Στέργιο Σαράντη με τους δύο γιους του και τωρινούς ισχυρούς άνδρες της εταιρίας Δημήτριο και Μιχάλη Σαράντη. Το πρώτο εργοστάσιο ονομάζεται τυροκομία Αδελφών Σαράντη, «ΤΥΡΑΣ». Το 1999 επιλέγεται η Ρουμανία για τη δημιουργία του πρώτου εργοστασίου εκτός Ελλάδας. Το έτος 2000 εξαγοράζεται η γαλακτοβιομηχανία «Όλυμπος». Το 2004 η Βουλγαρία επιλέγεται για το δεύτερο εργοστάσιο παραγωγής του ομίλου. Το 2005 η εταιρία ξεκινά το λανσάρισμα προϊόντων χυμού από 100% ελληνικά φρέσκα φρούτα. Το 2008 η γαλακτοβιομηχανία «Ροδόπη» γίνεται μέλος της οικογένειας «ΤΥΡΑΣ». Το 2012 ξεκινά το λανσάρισμα προϊόντων Freelact από 100% Ελληνικό γάλα. Το έτος 2013 η εταιρία ιδρύει την πρώτη εμπορική εταιρεία της στην Ιταλία. Ακολουθούν τα επόμενα χρόνια ανάλογες εταιρείες σε Γερμανία, Αγγλία και Σουηδία. Το 2017 γίνεται η είσοδος της εταιρείας στην κατηγορία των φυτικών ροφημάτων με τα πρώτα και μοναδικά ελληνικά φυτικά ροφήματα αμυγδάλου, φιστικιού και καρυδιού αποκλειστικά από Ελληνικούς καρπούς.

#### **2.3 Ο κατάλογος των προϊόντων της εταιρείας περιλαμβάνει:**

- 1)Φρέσκο και μακράς διάρκειας γάλα
- 2)Γιαούρτια, ευρωπαϊκού, παραδοσιακού τύπου καθώς και με φρούτα.
- 3)Τυριά, κίτρινα, λευκά καθώς και π. ο. π. τυριά
- 4)Βούτυρο καθώς και προϊόντα κρέμας γάλακτος
- 5)Φρέσκους χυμούς
- 6)Τσάι
- 7)Προϊόντα με βάση φυτικές πρωτεΐνες
- 8)Προϊόντα παιδικής διατροφής

Στην παραγωγική μονάδα της ΤΥΡΑΣ που εδρεύει στα Τρίκαλα Θεσσαλίας και στην οποία εργάζομαι λαμβάνει χώρα η παραγωγή των προϊόντων των εξής κατηγοριών:  
2, 3. Κατά συνέπεια, η εγκατάσταση διαχείρισης των υγρών αποβλήτων της εταιρείας έχει εισροές από τα αντίστοιχα παραγωγικά τμήματα και έχει σχεδιασθεί με γνώμονα τα παραπροϊόντα των διαδικασιών.

## **2.4 Η εταιρική κοινωνική ευθύνη:**

Αποτελεί κομμάτι μιας μακροχρόνιας στρατηγικής του ομίλου «Ελληνικά Γαλακτοκομεία Α. Ε.». Είναι δε χαρακτηριστικό ότι είναι η πρώτη γαλακτοκομική εταιρεία στη νοτιοανατολική Ευρώπη που εγκατέστησε ολοκληρωμένο συγκρότημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με παράλληλη παραγωγή βιοαερίου, πράγμα που αποτελεί και το κεντρικό θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αναλυτικότερα, η εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου από την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων της εταιρείας αποτελεί καινοτόμα επένδυση, η οποία ανέρχεται στο ύψος των 10 εκατομμυρίων ευρώ. Σκοπός της εγκατάστασης είναι η προστασία του περιβάλλοντος και η εξοικονόμηση των φυσικών πόρων του πλανήτη μας. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για την αποτελεσματική επεξεργασία όλων των υγρών αποβλήτων που προκύπτουν από τις παραγωγικές δραστηριότητες του εργοστασίου.

Τα οφέλη από το έργο είναι:

- 1)Μείωση έκλυσης διοξειδίου του άνθρακα κατά 60%
- 2)Μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
- 3)Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- 4)Μηδενισμός των οργανικών αποβλήτων
- 5)Μείωση χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 70% έναντι της επεξεργασίας με αερόβια τεχνολογία.
- 6)Εξάλειψη πιθανότητας επιμόλυνσης μέσω της καύσης της παραγόμενης ιλύος
- 7)Οριστική λύση στη διαχείριση του παραγόμενου τυρογάλακτος (υπόλειμμα της παραγωγικής διαδικασίας) (<https://www.hellenicdairies.com/el/social-responsibility-2019/>).

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε πως το μεγαλύτερο «πρόβλημα» της εταιρείας και κάθε γαλακτοκομικής παραγωγικής διαδικασίας είναι η επεξεργασία του «τυρογάλακτος» που είναι και το βασικό υγρό απόβλητο με το υψηλότερο μικροβιακό φορτίο

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### Διαχείριση υγρών αποβλήτων

Τα απόβλητα από την λειτουργία της γαλακτοβιομηχανίας μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες. Συγκεκριμένα, μπορούμε να πούμε πως μιλάμε για 3 ξεχωριστά ρεύματα. Το πρώτο απαρτίζεται από τα νερά των συστημάτων πλύσεων ή από τα φρεάτια πλύσης των επιφανειών. Το δεύτερο αφορά τα υγρά από την πλύση των παραγωγικών τμημάτων καθώς και του τμήματος παραλαβής. Τέλος, το τρίτο ρεύμα παράγεται από τα προϊόντα που επιστρέφονται καθώς έχει παρέλθει η ημερομηνία λήξης και κατά συνέπεια πρέπει να καταστραφούν. Όλα τα προηγούμενα θα πρέπει να είναι σε θέση να τα διαχειριστεί μια βιομηχανία. Συνδυασμοί συστημάτων που θα επεξεργάζονται τμήματα των ρευμάτων ή και όλα τα ρεύματα που δημιουργούνται είναι απαραίτητοι και νομοθετημένοι ως προαπαιτούμενα για την βιομηχανία.

Ανάλογα με την ποσότητα και την ποιότητα των υγρών αποβλήτων λοιπόν η βιομηχανία καταρτίζει συστήματα διαχείρισης τους. Οι σημαντικότερες παράμετροι ο οποίοι καθορίζουν την λειτουργία και κατ' επέκταση την αποτελεσματικότητα ενός συστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μπορούν να χωριστούν σε φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς. Στην συνέχεια θα αναλύσουμε την κάθε κατηγορία καθώς και κάθε μία παράμετρο όσον αφορά τον τρόπο που επηρεάζει την λειτουργία του συστήματος μας.

#### **3.1 Φυσικά, Χημικά και βιολογικά ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά**

-Φυσικά χαρακτηριστικά:

Τα πιο σημαντικά φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων είναι η περιεκτικότητα τους σε ολικά στερεά (total solids), τη θερμοκρασία (temperature).

1>Στερεά:

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν μια ποικιλία στερεών υλικών από διάφορα κουρέλια έως κολλοειδή υλικά. Η πρότυπη ανάλυση για τα καθιζάνοντα στερεά προϋποθέτει την εισαγωγή δείγματος αποβλήτων σε ένα κώνο Imhoff 1L και την εύρεση του όγκου των στερεών, τα οποία καθιζάνουν μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (1 ώρα), σε millimeters. Τυπικά γύρω στο 60% των αιωρούμενων στερεών σε αστικά υγρά απόβλητα καθιζάνουν.

2>Θερμοκρασία :

Η θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων είναι συνήθως μεγαλύτερη από αυτή του πόσιμου νερού εξαιτίας της προσθήκης ζεστού νερού από τις οικιακές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Όσο η θερμότητα του νερού είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτή του αέρα, η παρατηρούμενη θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων θα είναι μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος, με εξαίρεση τους ζεστούς μήνες του καλοκαιριού. Ανάλογα με την τοποθεσία και την χρονική περίοδο, η θερμοκρασίες των εκρών μπορεί να είναι είτε μεγαλύτερες είτε μικρότερες από τις αντίστοιχες των εισροών (Metcalf & Eddy, 2006).

-Χημικά χαρακτηριστικά:

Αντίστοιχα με τα φυσικά χαρακτηριστικά, τα οποία αναφέραμε πιο πάνω, υπάρχουν και χημικά χαρακτηριστικά ιδιαίτερου ενδιαφέροντος. Συγκεκριμένα, μας ενδιαφέρουν ιδιαίτερα τα οργανικά και τα ανόργανα, αμέταλλα συστατικά των αποβλήτων μας, το pH, η αλκαλικότητα, τα χημικά στοιχεία αζώτου, φωσφόρου και θείου.

1>Μεταλλικά συστατικά:

Ίχνη πολλών μετάλλων, όπως το κάδμιο (Cd), το χρώμιο (Cr), ο χαλκός (Cu), ο σίδηρος (Fe), ο μόλυβδος (Pb), το μαγγάνιο (Mn), ο υδράργυρος (Hg), το νικέλιο (Ni) και ο ψευδάργυρος (Zn) αποτελούν σημαντικά συστατικά στα περισσότερα νερά.

Όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί απαιτούν ποικίλες ποσότητες (μάκρο- και μικρο-) μεταλλικών συστατικών, όπως ο σίδηρος, το χρώμιο, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος και το κοβάλτιο, προκειμένου να αναπτυχθούν κανονικά. Αν και μακροστοιχεία ή ιχνοστοιχεία μετάλλων απαιτούνται για την κανονική ανάπτυξη όλων των οργανισμών, τα ίδια μέταλλα μπορεί να είναι τοξικά σε μεγάλες συγκεντρώσεις.

2> Ανόργανα αμέταλλα συστατικά:

Τα χημικά συστατικά των υγρών αποβλήτων ταξινομούνται κυρίως ως ανόργανα και οργανικά. Τα ανόργανα χημικά συστατικά περιλαμβάνουν τα θρεπτικά συστατικά, τα αμέταλλα συστατικά, τα μέταλλα και τα αέρια. Τα οργανικά συστατικά των υγρών αποβλήτων ταξινομούνται ως συσσωματωμένα (aggregate) και ως μεμονωμένα (individual) συστατικά. Τα συσσωματωμένα οργανικά συστατικά αποτελούνται από έναν αριθμό μεμονωμένων συστατικών τα οποία δεν μπορούν να διαχωριστούν. Τόσο τα συσσωματωμένα, όσο και τα μεμονωμένα οργανικά συστατικά έχουν εξαιρετική σημασία για τις διαδικασίες επεξεργασίας, διάθεσης και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων.

3>pH:

Η συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου είναι μία σημαντική ποιοτική παράμετρος που χαρακτηρίζει τόσο τα φυσικά νερά, όσο και τα υγρά απόβλητα. Η συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου εκφράζεται συνήθως ως pH, το οποίο ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου.

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$$

Το εύρος του pH που είναι κατάλληλο για την διατήρηση των περισσότερων μικροοργανισμών είναι πολύ μικρό (κυρίως από 6-9). Για επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, τα οποία διατίθενται στο περιβάλλον το επιτρεπτό εύρος pH κυμαίνεται από 6,5-8,5.

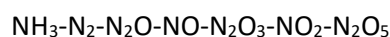
4>Αλκαλικότητα:

Η αλκαλικότητα (Alkalinity) των υγρών αποβλήτων οφείλεται στην παρουσία υδροξειδίων  $[\text{OH}^-]$ , ανθρακικών ιόντων  $[\text{CO}_3^{2-}]$  και όξινων ανθρακικών ιόντων  $[\text{HCO}_3^-]$  στοιχείων όπως το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το νάτριο και το κάλιο. Οφείλεται επίσης και στην ύπαρξη αμμωνίας. Από τις ανωτέρω ενώσεις, το όξινο ανθρακικό ασβέστιο και το όξινο ανθρακικό μαγνήσιο είναι τα πιο κοινά. Τα άλατα του βορικού οξέος, του πυριτικού οξέος και τα φωσφορικά συνεισφέρουν επίσης στην αλκαλικότητα. Η αλκαλικότητα στα υγρά απόβλητα συνεισφέρει στην αντίσταση ενάντια στις αλλαγές του pH που προκαλούνται από την προσθήκη οξέων. Για την εύρεση της αλκαλικότητας ενός διαλύματος χρησιμοποιείται τιτλοδότηση με οξύ γνωστής συγκέντρωσης.

#### 5>Άζωτο:

Επειδή το άζωτο είναι βασικό συστατικό στη σύνθεση πρωτεϊνών, είναι απαραίτητα η συλλογή δεδομένων που αφορούν τις συγκεντρώσεις αζώτου, για τη διαδικασία αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των βιολογικών διεργασιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Μορφές του Αζώτου:

Η χημεία του αζώτου είναι περίπλοκη εξαιτίας των πολλών σταδίων οξείδωσης του αζώτου και του γεγονότος ότι αλλαγές της οξειδωτικής κατάστασης μπορούν να προέλθουν μόνο από ζωντανούς οργανισμούς. Για να περιπλέξουμε τα πράγματα ακόμη περισσότερο, οι αλλαγές της οξειδωτικής κατάστασης που προκαλούνται από βακτήρια μπορούν να είναι είτε θετικές είτε αρνητικές ανάλογα με την ύπαρξης αερόβιων ή αναερόβιων συνθηκών. Τα οξειδωτικά στάδια του αζώτου συνοψίζονται στη συνέχεια:



$\text{NH}_3$ : αέρια αμμωνία

$\text{NH}_4^+$ : αμμώνιο

$\text{NO}_2^-$ : νιτρώδη

$\text{NO}_3^-$ : νιτρικά

$\text{TN}^a$ : ολικό άζωτο

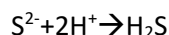
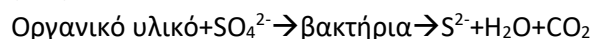
Οι πλέον κοινές και σημαντικές μορφές του αζώτου στα υγρά απόβλητα και στις αντίστοιχες οξειδωτικές τους μορφές στο υδάτινο ή χερσαίο περιβάλλον είναι η αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ), το αμμώνιο ( $\text{NH}_4^+$ ), το αέριο άζωτο ( $\text{N}_2$ ), τα νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) και τα νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ). Η περισσότερη κοινή οξειδωτική μορφή του αζώτου στα περισσότερα οργανικά συστατικά είναι η αμμωνία ή το αμμώνιο.

#### 6>Φώσφορος:

Οι συνήθεις μορφές του φωσφόρου που συναντώνται σε υδατικά διαλύματα περιλαμβάνουν τα ορθοφωσφορικά, τα πολυφωσφορικά και τα οργανικά φωσφορικά. Τα ορθοφωσφορικά, για παράδειγμα  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  χρησιμεύουν για το βιολογικό μεταβολισμό χωρίς να διασπώνται παραπέρα. Τα πολυφωσφορικά περιλαμβάνουν εκείνα τα μόρια με 2 ή παραπάνω άτομα φωσφόρου, άτομα οξυγόνου και, σε ορισμένες περιπτώσεις και άτομα υδρογόνου συνδυασμένα σε ένα περίπλοκο μόριο. Τα πολυφωσφορικά υφίστανται υδρόλυση σε υδατικά διαλύματα και επανέρχονται στην ορθοφωσφορική μορφή.

#### 7>Θείο:

Το θείο είναι απαραίτητο στη σύνθεση των πρωτεϊνών και απελευθερώνεται κατά την αποικοδόμηση τους. Τα θειικά διασπώνται βιολογικά, κάτω από αναερόβιες συνθήκες σε θειούχα, τα οποία, με τη σειρά τους αντιδρούν με υδρογόνο και σχηματίζουν υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ).



-Ένα από τα βασικά προϊόντα της αναερόβιας διεργασίας είναι η παραγωγή του βιοαερίου. Το βιοαέριο αποτελεί ένα μείγμα με συστατικά όπως το υδρόθειο, το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν το υδρόθειο και το μεθάνιο.

1>Υδρόθειο:

Το υδρόθειο σχηματίζεται από την αναερόβια αποσύνθεση οργανικού υλικού που περιέχει θείο και από την αποδόμηση των θειωδών και θειικών ορυκτών. Η δημιουργία μαύρου χρώματος στα υγρά απόβλητα και τη λάσπη συχνά οφείλεται στη δημιουργία υδρόθειου που έχει αντιδράσει με τον υπάρχοντα σίδηρο για να σχηματίσει σουλφίδιο του σιδήρου (FeS).

2>Μεθάνιο:

Το βασικό υποπροϊόν της αναερόβιας αποσύνθεσης οργανικού υλικού στα υγρά απόβλητα είναι το αέριο μεθάνιο. Το μεθάνιο είναι άχρωμο, άοσμο, εύφλεκτο με μεγάλη θερμογόνο δύναμη (Metcalf & Eddy, 2006).

-Βιολογικά Χαρακτηριστικά:

Η αναγνώριση των βιολογικών χαρακτηριστικών (μικροοργανισμών) των υγρών αποβλήτων είναι αναγκαία για 2 λόγους. Ο πρώτος λόγος συνίσταται στην προστασία τόσο των μονάδων επεξεργασίας όσο και των ανθρώπων από παθογόνους μικροοργανισμούς ανθρώπινης προέλευσης. Ο δεύτερος λόγος αφορά τη μεγάλη σημασία των βακτηρίων και άλλων μικροοργανισμών στην αποικοδόμηση και σταθεροποίηση της οργανικής ύλης (Metcalf & Eddy, 2006).

### **3.2 Εισαγωγή στην ανάλυση και επιλογή διεργασιών:**

Τα διάφορα συστατικά που περιέχονται στα υγρά απόβλητα μπορούν να απομακρυνθούν με φυσικές, χημικές και βιολογικές μεθόδους. Οι επιμέρους μέθοδοι συνήθως κατηγοριοποιούνται ως φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες. Παραδείγματα των φυσικών διεργασιών περιλαμβάνουν την εσχάρωση, την ανάμιξη και την καθίζηση. Παραδείγματα των χημικών διεργασιών περιλαμβάνουν την οξείδωση και την κατακρήμνιση. Παραδείγματα των βιολογικών διεργασιών περιλαμβάνουν την ενεργό ιλύ. Οι φυσικές, οι χημικές και οι βιολογικές διεργασίες συναντώνται με ένα μεγάλο αριθμό συνδυασμών στα διαγράμματα ροής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Η ταχύτητα με την οποία λαμβάνουν χώρα οι αντιδράσεις και οι μετατροπές αλλά και ο βαθμός ολοκλήρωσης τους, εξαρτώνται γενικά από τα περιεχόμενα συστατικά, τη θερμοκρασία και τον τύπο του αντιδραστήρα (δηλαδή τη δεξαμενή όπου λαμβάνουν χώρα οι αντιδράσεις). Ως εκ τούτου, η επίδραση της θερμοκρασίας και ο τύπος του αντιδραστήρα είναι σημαντικοί παράγοντες στην επιλογή διεργασιών επεξεργασίας. Επιπλέον, κατά την επιλογή των διεργασιών επεξεργασίας θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ένας αριθμός περιβαλλοντικών και άλλων φυσικών περιορισμών (Metcalf & Eddy, 2006).

-Αντιδραστήρες που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων:

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες λαμβάνει χώρα σε δοχεία ή δεξαμενές που ονομάζονται συνήθως «αντιδραστήρες» (Metcalf & Eddy, 2006).

-Τύποι αντιδραστήρων:

Οι βασικοί τύποι αντιδραστήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι :

1>ο αντιδραστήρας ασυνεχούς λειτουργίας (Batch Reactor)

2>ο αντιδραστήρας πλήρους ανάμιξης [γνωστός επίσης στη βιβλιογραφία της χημικής μηχανικής ως αντιδραστήρας συνεχούς ροής πλήρους ανάμιξης (Continuous-Flow Stirred-Tank Reactor, CFSTR)]

3>ο αντιδραστήρας εμβολικής ροής (plug-flow)(γνωστός επίσης ως αντιδραστήρας αυλωτής ροής)

4>οι αντιδραστήρες πλήρους ανάμιξης σε σειρά

5>ο αντιδραστήρας με πληρωτικό υλικό(packed-bed)

6>ο αντιδραστήρας ρευστοστερεάς κλίνης (fluidized-bed).

Όσον αφορά την υπό μελέτη εγκατάσταση οι αντιδραστήρες που χρησιμοποιούνται ανήκουν στις ομάδες 2 και 6 (Metcalf & Eddy,2006).

-Αντιδράσεις, ταχύτητες αντιδράσεων και συντελεστές ταχύτητας αντίδρασης:

Όσον αφορά την επιλογή και τον σχεδιασμό μιας διεργασίας, η ελέγχουσα στοιχειομετρία και η ταχύτητα της αντίδρασης αποτελούν θεμελιώδεις παράγοντες. Η στοιχειομετρία της αντίδρασης αφορά τον προσδιορισμό των ποσοτήτων των χημικών ενώσεων που εμπλέκονται σε μία αντίδραση. Η ταχύτητα με την οποία ένα συστατικό εξαφανίζεται ή σχηματίζεται σε μία οποιαδήποτε στοιχειομετρική αντίδραση ορίζεται ως η ταχύτητα της αντίδρασης (Metcalf & Eddy,2006).

-Τύποι αντιδράσεων:

Οι δύο βασικοί τύποι των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ταξινομούνται σε ομογενείς και ετερογενείς ( μη- ομογενείς).

i) Ομογενείς αντιδράσεις:

Στις ομογενείς αντιδράσεις, τα αντιδρώντα κατανέμονται ομοιόμορφα στο ρευστό με αποτέλεσμα η πιθανότητα για αντίδραση σε οποιοδήποτε σημείο μέσα στο ρευστό να είναι ίδια. Οι ομογενείς αντιδράσεις μπορεί να είναι αντιστρεπτές ή μη αντιστρεπτές.

Η ταχύτητα της αντίδρασης είναι μία σημαντική παράμετρος για το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων επεξεργασίας όπου λαμβάνουν χώρα είτε μη αντιστρεπτές είτε αντιστρεπτές αντιδράσεις. Ειδική προσοχή θα πρέπει να δοθεί στο σχεδιασμό των εγκαταστάσεων ανάμιξης, ειδικότερα για αντιδράσεις στις οποίες οι ταχύτητες είναι μεγάλες.

ii) Ετερογενείς αντιδράσεις

Οι ετερογενείς αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα ανάμεσα σε ένα ή περισσότερα συστατικά τα οποία μπορούν να συσχετιστούν με ορισμένες θέσεις.

Οι αντιδράσεις στις οποίες απαιτείται η παρουσία ενός καταλύτη στερεής φάσης ταξινομούνται επίσης ως ετερογενείς. Οι ετερογενείς αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα συνήθως σε αντιδραστήρες με πληρωτικό υλικό και σε αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης. Αυτές οι αντιδράσεις είναι πιο δύσκολο να μελετηθούν διότι μπορεί να εμπλέκεται ένας αριθμός αλληλοεξαρτώμενων σταδίων (Metcalf & Eddy,2006).

-Ταχύτητα αντίδρασης:

Η ταχύτητα της αντίδρασης είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη

μεταβολή (αύξηση ή μείωση) στον αριθμό των γραμμομορίων ενός δραστικού συστατικού ανά μονάδα όγκου και ανά μονάδα χρόνου (για ομογενείς αντιδράσεις), ή ανά μονάδα επιφάνειας ή μάζα ανά μονάδα χρόνου ( για ετερογενείς αντιδράσεις ) (Denbigh and Turner,1965).

Επιλογή διεργασιών μπορεί να γίνει με βάση την κινητική της αντίδρασης. Όταν η επιλογή και η διαστασιολόγηση μιας διεργασίας βασίζεται στην κινητική της αντίδρασης, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στον προσδιορισμό της φύσης των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στη διεργασία, στις κατάλληλες τιμές των κινητικών συντελεστών και στην επιλογή του τύπου του αντιδραστήρα. Όταν δεν μπορούν να αναπτυχθούν οι κατάλληλες εξισώσεις ταχύτητας αντίδρασης και/ή οι συντελεστές μεταφοράς μάζας, χρησιμοποιούνται συχνά γενικευμένα κριτήρια φόρτισης. Εκτός από την επιλογή διεργασίας που βασίζεται στην κινητική της αντίδρασης και τα κριτήρια φόρτισης, ένας μεγάλος αριθμός διεργασιών επεξεργασίας θα βασιστεί σε παραμέτρους μεταφοράς μάζας. Τέλος, το βασικότερο κριτήριο που θα ληφθεί υπόψη σε κάθε περίπτωση είναι η δυνατότητα εφαρμογής της οποιαδήποτε διεργασίας επιλέξουμε. Για να προσδιορίζουμε την δυνατότητα εφαρμογής υπάρχουν διαθέσιμες αρκετές πηγές, οι οποίες περιλαμβάνουν δεδομένα αποδόσεις από εγκαταστάσεις παρόμοιες που βρίσκονται σε λειτουργία, δημοσιευμένες πληροφορίες σε περιοδικά, πρακτικά εγχειρίδια που δημοσιεύονται από επίσημους φορείς του χώρου που χαίρουν παγκόσμιας αναγνώρισης και φυσικά από την προηγούμενη εμπειρία που διαθέτει ο εκάστοτε μηχανικός (Metcalf & Eddy,2006).

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε κάποια πράγματα που αφορούν τα είδη των διεργασιών σύμφωνα με τον διαχωρισμό τους ανάμεσα σε φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες μέσα στο σύστημα μελέτης.

### **3.3 Φυσικές διεργασίες:**

Οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στις οποίες η μεταβολή λαμβάνει χώρα με την εφαρμογή φυσικών δυνάμεων είναι γνωστές ως φυσικές διεργασίες (physical unit operations). Επειδή οι φυσικές διεργασίες προήλθαν αρχικά από παρατηρήσεις στον φυσικό κόσμο, ήταν οι πρώτες μέθοδοι επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν. Σήμερα οι φυσικές διεργασίες, αποτελούν σημαντικό κομμάτι των περισσότερων συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται πιο συχνά στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν:

- 1>Εσχάρωση
- 2>Ελάττωση των χονδρών στερεών (τεμαχισμός, θραύση, άλεση εσχαρισμάτων )
- 3>Εξισορρόπηση ροής
- 4>Ανάμιξη και συσσωμάτωση
- 5>Καθίζηση
- 6>Επίπλευση
- 7>Αερισμός

-Εσχάρωση:

Η πρώτη φυσική διεργασία που γενικά συναντάται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών

αποβλήτων είναι η εσχάρωση. Η σχάρα είναι μια διάταξη με ανοίγματα, συνήθως με ομοιόμορφο μέγεθος, που έχει ως σκοπό την κατακράτηση των στερεών που υπάρχουν στα εισερχόμενα υγρά απόβλητα στην εγκατάσταση επεξεργασίας ή στην υπερχειλίση κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Ο κύριος ρόλος της εσχάρωσης είναι:

1>η προστασία του εξοπλισμού της εγκατάστασης

2>η απομάκρυνση των υλικών που θα μπορούσαν να παρεμποδίσουν την επαναχρησιμοποίηση των στερεών.

-Θραυστήρες:

Οι θραυστήρες (macerators) είναι μύλοι χαμηλής ταχύτητας οι οποίοι αποτελούνται από δύο σειρές περιστρεφόμενων συστημάτων με λεπίδες που περιστρέφονται αντίστροφα. Το σύστημα τοποθετείται κάθετα στο κανάλι ροής. Οι λεπίδες ή τα δόντια στο σύστημα περιστροφής έχουν μία μικρή ανοχή έτσι ώστε να τεμαχίζονται αποτελεσματικά τα υλικά καθώς περνούν από τη μονάδα. Οι θραυστήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δίκτυα αγωγών για να τεμαχίζουν στερεά, ιδιαίτερα μπροστά από αντλίες υγρών αποβλήτων ή λάσπης, ή σε κανάλια σε μικρότερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

-Εξισορρόπηση Ροής:

Η εξισορρόπηση ροής (flow equalization) είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για να αντιμετωπίσει τα προβλήματα λειτουργίας που προκαλούνται από τις διακυμάνσεις στην παροχή, για να βελτιωθεί η απόδοση των κατάντη διεργασιών και για να μειωθεί το μέγεθος και το κόστος των κατάντη διατάξεων επεξεργασίας.

Τα κυριότερα οφέλη από την εφαρμογή της εξισορρόπησης ροής είναι:

1>Η βιολογική επεξεργασία βελτιώνεται, επειδή τα φορτία αιχμής περιορίζονται ή ελαχιστοποιούνται, οι παρεμποδιστικές ουσίες αραιώνονται και το pH σταθεροποιείται  
2>Στη χημική επεξεργασία, η εξομάλυνση της φόρτισης μάζας βελτιώνει τον έλεγχο της τροφοδοσίας χημικών και την αξιοπιστία της διεργασίας.

Εκτός από την βελτίωση της απόδοσης των περισσότερων διεργασιών, η εξισορρόπηση ροής είναι μία ελκυστική επιλογή για την αναβάθμιση της απόδοσης εγκαταστάσεων επεξεργασίας με υπερφόρτιση. Τα μειονεκτήματα από την εξισορρόπηση ροής περιλαμβάνουν:

1>Την απαίτηση για σχετικά μεγάλες επιφάνειες γης

2>Οι εγκαταστάσεις εξισορρόπησης απαιτείται να καλύπτονται για έλεγχο των οσμών όταν βρίσκονται κοντά σε κατοικημένες περιοχές

3>Απαιτείται επιπρόσθετη λειτουργία και συντήρηση

4>Το κόστος επένδυσης αυξάνεται .

(Metcalf & Eddy,2006)

-Ανάμιξη και συσσωμάτωση:

Η ανάμιξη είναι μία σημαντική φυσική διεργασία σε πολλές φάσεις της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και περιλαμβάνει:

1>Την πλήρη ανάμιξη μιας ουσίας με μία άλλη

2>Την ανάδευση αναμίξιμων υγρών

3>Τη συσσωμάτωση σωματιδίων στα υγρά απόβλητα

4>Τη συνεχή ανάμιξη υγρών αιωρημάτων

#### 5>Τη μεταφορά θερμότητας

Οι περισσότερες διεργασίες ανάμιξης σε υγρά απόβλητα μπορούν να ταξινομηθούν ως συνεχής-ταχείες ( λιγότερο από 30s ) ή συνεχείς (δηλαδή τρέχουσες) (Metcalf & Eddy,2006).

-Συνεχής ταχεία ανάμιξη στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων:

Η συνεχής ταχεία ανάμιξη χρησιμοποιείται συνήθως όταν μία ουσία πρόκειται να αναμιχθεί με μία άλλη. Οι κύριες εφαρμογές της συνεχούς ταχείας ανάμιξης είναι στην:

1>Ανάμιξη χημικών με υγρά απόβλητα ( π.χ. η προσθήκη αλάτων αργιλίου ή σιδήρου πριν την συσσωμάτωση και καθίζηση ή για τη διασπορά χλωρίου και υποχλωριώδους άλατος στα υγρά απόβλητα και απολύμανση)

2>Ανάδευση αναμίξιμων υγρών

3>Προσθήκη χημικών στη λάσπη και τα βιοστερεά για να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά αφυδάτωσης τους (Metcalf & Eddy,2006).

-Συνεχής ανάμιξη στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων:

Η συνεχής ανάμιξη χρησιμοποιείται όταν το περιεχόμενο ενός αντιδραστήρα ή μιας δεξαμενής παραμονής ή μιας δεξαμενής πρέπει να διατηρείται σε αιώρηση όπως στις δεξαμενές εξισορρόπησης, στις δεξαμενές συσσωμάτωσης, στις διεργασίες επεξεργασίας αιωρούμενης βιομάζας (Metcalf & Eddy,2006).

-Συσσωμάτωση στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων:

Σκοπός της συσσωμάτωσης των υγρών αποβλήτων είναι να σχηματιστούν συσσωματώματα ή κρωκίδες από λεπτά διαμερισμένα σωματίδια και από χημικά αποσταθεροποιημένα σωματίδια. Η συσσωμάτωση είναι ένα μεταβατικό στάδιο όπου προκαλούνται συγκρούσεις μεταξύ των αποσταθεροποιημένων σωματιδίων με αποτέλεσμα να σχηματιστούν μεγαλύτερα σωματίδια τα οποία μπορούν να απομακρυνθούν εύκολα με καθίζηση ή διήθηση. Αν και δεν χρησιμοποιείται τακτικά η συσσωμάτωση των υγρών αποβλήτων με μηχανική ανάδευση ή ανάδευση με αέρα μπορεί να εφαρμοστεί για:

1>Αύξηση της απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών και του BOD σε διατάξεις πρωτοβάθμιας καθίζησης

2>Σταθεροποίηση των υγρών αποβλήτων που περιέχουν συγκεκριμένα βιομηχανικά απόβλητα

Όταν χρησιμοποιείται, η συσσωμάτωση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ξεχωριστές δεξαμενές ειδικά σχεδιασμένες για τον σκοπό αυτό, σε εντός γραμμής διατάξεις όπως σε αγωγούς που συνδέουν τις μονάδες επεξεργασίας ή σε συνδυασμό με δεξαμενές κρωκίδωσης-καθίζησης (Metcalf & Eddy,2006).

-Θεωρία διαχωρισμού με βαρύτητα:

Η απομάκρυνση των αιωρούμενων και κolloειδών σωματιδίων από τα υγρά απόβλητα με διαχωρισμό με βαρύτητα (gravity separation) είναι μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες διεργασίες στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Η καθίζηση είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό αιωρούμενων σωματιδίων που είναι βαρύτερα από το νερό με τη δράση της βαρύτητας.

Περιγραφή:

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο πρωταρχικός σκοπός είναι η παραγωγή μιας διαυγασμένης εκροής, ενώ είναι επίσης σημαντικό να παραχθεί λάσπη με μία συγκέντρωση

στερεών που να μπορεί να διαχειριστεί και να επεξεργαστεί εύκολα. Με βάση τη συγκέντρωση και την τάση των σωματιδίων να αλληλεπιδρούν, υπάρχουν 4 τύποι καθίζησης με βαρύτητα:

1>Διακεκριμένων σωματιδίων

2>Συσσωμάτωσης

3>Παρεμποδισμένη ( επίσης καλείται ζώνης)

4>Με συμπίεση

(Metcalf & Eddy, 2006)

-Καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων:

Στο σχεδιασμό των δεξαμενών καθίζησης, η συνηθισμένη διαδικασία είναι να επιλέγεται ένα σωματίδιο με μία τελική ταχύτητα  $u_c$  και να σχεδιάζεται η δεξαμενή έτσι ώστε να απομακρύνονται όλα τα σωματίδια που έχουν μια τελική ταχύτητα ίση ή μεγαλύτερη από  $u_c$ . Έτσι, η κρίσιμη ταχύτητα είναι ισοδύναμη με την ταχύτητα υπερχειλίσης ή με την ταχύτητα επιφανειακής φόρτισης. Στο σχεδιασμό της καθίζησης διακεκριμένων σωματιδίων η απόδοση της δεξαμενής είναι ανεξάρτητη από το βάθος.

Για καθίζηση με συνεχή ροή, το μήκος της δεξαμενής και ο χρόνος του μοναδιαίου όγκου στη δεξαμενή του νερού (χρόνος παραμονής) πρέπει να είναι τέτοια ώστε όλα τα σωματίδια με ταχύτητα σχεδιασμού  $u_c$  να καθιζάνουν στον πυθμένα της δεξαμενής. Πρακτικά, οι παράμετροι σχεδιασμού πρέπει να προσαρμόζονται έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του τυρβώδους στην είσοδο και έξοδο, οι βραχυκυκλώσεις της ροής, η αποθήκευση της λάσπης και η κλίσεις της ταχύτητας που οφείλονται στη λειτουργία της διάταξης για την απομάκρυνση της λάσπης.

Περιγραφή:

Όλες σχεδόν οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας χρησιμοποιούν μηχανικά καθαριζόμενες κυκλικές ή ορθογώνιες δεξαμενές καθίζησης. Η επιλογή του τύπου της μονάδας καθίζησης για μία δεδομένη εφαρμογή καθορίζεται από το μέγεθος της εγκατάστασης, από τους κανονισμούς και τις διατάξεις των τοπικών αρχών, από τις τοπικές συνθήκες και από την εμπειρία και κρίση του μηχανικού. Πρέπει να υπάρχουν δύο ή περισσότερες δεξαμενές έτσι ώστε η διεργασία να μπορεί να παραμένει σε λειτουργία όταν η μία δεξαμενή είναι εκτός λειτουργίας για συντήρηση και επιδιόρθωση. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις, ο αριθμός των δεξαμενών προσδιορίζεται από τους περιορισμούς στο μέγεθος.

Ορθογώνιες δεξαμενές:

Οι ορθογώνιες δεξαμενές καθίζησης μπορούν να χρησιμοποιούν συλλέκτες στερεών τύπου αλυσίδας-ξέστρου ή μετακινούμενης γέφυρας. Ο εξοπλισμός για την απομάκρυνση των στερεών που έχουν καθιζάνει αποτελείται γενικά από ένα ζεύγος ατέρμονης αλυσίδας, κατασκευασμένο από κράματα χάλυβα, χυτοσίδηρο ή θερμοπλαστικό. Στις αλυσίδες υπάρχουν στερεωμένα πτερύγια ξέστρων σε διαστήματα περίπου 3m, κατασκευασμένα από ξύλο ή fiberglass, που εκτίνονται σε όλο το πλάτος της δεξαμενής.

Επειδή η κατανομή της ροής στις ορθογώνιες δεξαμενές είναι κρίσιμη, συνίσταται να χρησιμοποιείται μία από τις παρακάτω διατάξεις εισόδου:

1>Κανάλια εισόδου με πλάτος ισοδύναμο με το πλάτος των υπερχειλιστών εισόδου

2>Κανάλια εισόδου με βυθισμένες θυρίδες ή στόμια

3>Κανάλια εισόδου με ευρείες θύρες και αντίστοιχους ανακλαστήρες.

Οι υπερχειλιστές εισόδου είναι αποτελεσματικοί για την κατανομή της παροχής σε όλο το

πλάτος της δεξαμενής αλλά εισάγουν μία συνιστώσα κάθετης ταχύτητας μέσα στη χοάνη στερεών που μπορεί να προκαλέσει επαναιώριση των σωματιδίων των στερεών. Οι ανακλαστές εισόδου είναι αποτελεσματικοί στη μείωση των υψηλών αρχικών ταχυτήτων και κατανέμουν την παροχή στην ευρύτερη δυνατή εγκάρσια διατομή. Πολλαπλές ορθογώνιες δεξαμενές απαιτούν λιγότερη επιφάνεια από τις πολλαπλές κυκλικές δεξαμενές και βρίσκουν εφαρμογή όπου η αξία γης είναι υψηλή (Metcalf & Eddy,2006).

-Καθίζηση υψηλού ρυθμού:

Στην καθίζηση υψηλού ρυθμού εφαρμόζονται φυσικές/ χημικές διεργασίες και χρησιμοποιούνται ειδικά συστήματα κρωκίδωσης και καθίζησης έτσι ώστε να λαμβάνει χώρα ταχεία καθίζηση. Τα κύρια χαρακτηριστικά της καθίζησης υψηλού ρυθμού είναι η ενίσχυση του διαχωρισμού των σωματιδίων καθώς και η χρήση διατάξεων με κεκλιμένα επίπεδα ή σωλήνες. Τα πλεονεκτήματα της καθίζησης υψηλού ρυθμού είναι:

1> Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται είναι συνεπτιγμένες και μειώνεται έτσι η απαίτηση σε χώρο.

2> Ο χρόνος εκκίνησης είναι πολύ μικρός ( συνήθως μικρότερος από 30 λεπτά) προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση.

3> Παράγεται υψηλού βαθμού διαυγασμένη εκροή.

(Metcalf & Eddy,2006)

-Επίπλευση:

Η επίπλευση είναι μία διεργασία που χρησιμοποιείται για να διαχωριστούν στερεά ή υγρά σωματίδια από μία υγρή φάση. Ο διαχωρισμός προκαλείται από την εισαγωγή αερίων φυσαλίδων (συνήθως αέρα) μέσα στην υγρή φάση. Οι φυσαλίδες προσκολλώνται στη σωματιδιακή ύλη και η άνωση των συνδυασμένων σωματιδίων και αερίων φυσαλίδων είναι αρκετή για να προκαλέσει την άνοδο του σωματιδίου στην επιφάνεια. Έτσι μπορούν να ανυψωθούν τα σωματίδια που έχουν υψηλότερη πυκνότητα από το υγρό. Μπορεί επίσης να διευκολυνθεί η άνοδος των σωματιδίων με μικρότερη πυκνότητα από το υγρό.

Στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, η επίπλευση χρησιμοποιείται κυρίως για να απομακρυνθούν αιωρούμενα υλικά και για την συμπύκνωση των βιοστερεών. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της επίπλευσης ως προς την καθίζηση είναι ότι τα πολύ μικρά ή ελαφρά σωματίδια που καθιζάνουν αργά μπορούν να απομακρυνθούν πλήρως σε μικρό χρονικό διάστημα (Metcalf & Eddy,2006).

-Περιγραφή:

Η σημερινή πρακτική της επίπλευσης όπως εφαρμόζεται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, περιορίζεται στη χρήση αέρα ως μέσου επίπλευσης. Οι φυσαλίδες αέρα προστίθενται ή σχηματίζονται με:

1> εισαγωγή αέρα ενώ το υγρό είναι υπό πίεση και ακόλουθη εκτόνωση της πίεσης (επίπλευση διαλυμένου αέρα – dissolved air flotation)

2> αερισμό σε ατμοσφαιρική πίεση ( επίπλευση με διασπειρόμενο αέρα- dispersed air flotation)

(Metcalf & Eddy,2006)

-Επίπλευση με διαλυμένο αέρα:

Στα συστήματα επίπλευσης με διαλυμένο αέρα (dissolved air flotation, DAF), ο αέρας διαλύεται στα υγρά απόβλητα υπό πίεση μερικών ατμοσφαιρών, με ακόλουθη εκτόνωση της πίεσης στο επίπεδο της ατμοσφαιρικής. Στα συστήματα χαμηλής πίεσης, ολόκληρη η παροχή μπορεί να συμπιέζεται με μία αντλία σε πίεση 275-350 kPa με πεπιεσμένο αέρα που προστίθεται στην αναρρόφηση της αντλίας. Ολόκληρη η παροχή διατηρείται σε μία δεξαμενή παραμονής υπό πίεση για μερικά λεπτά έτσι ώστε να διαλυθεί ο αέρας. Στη συνέχεια, εισάγεται από μία βαλβίδα εκτόνωσης στην δεξαμενή επίπλευσης όπου ο αέρας εισέρχεται στο διάλυμα ως λεπτόκοκκες φυσαλίδες. Οι μονάδες συμπίεσης χρησιμοποιούνται κυρίως για την επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων και για την πύκνωση στερεών (Metcalf & Eddy, 2006).

-Επίπλευση με διασπειρόμενο αέρα:

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος επίπλευσης με διασπειρόμενο αέρα είναι:

- 1> Το συνεπτυγμένο μέγεθος
- 2> Το χαμηλό κόστος επένδυσης
- 3> Η ικανότητα να απομακρύνονται έλαια και αιωρούμενα στερεά.

(Metcalf & Eddy, 2006)

-Χημικά πρόσθετα:

Τα χημικά χρησιμοποιούνται συνήθως για να υποβοηθήσουν τη διεργασία της επίπλευσης. Τα χημικά στο μεγαλύτερο μέρος λειτουργούν έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια επιφάνεια ή μια δομή που να μπορεί εύκολα να απορροφήσει ή να παγιδεύσει φυσαλίδες αέρα. Ανόργανα χημικά, όπως άλατα του αργιλίου και του σιδήρου καθώς και ενεργοποιημένο οξείδιο του πυριτίου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δεσμεύσουν τα σωματίδια μεταξύ τους και με τον τρόπο αυτό να δημιουργηθούν φυσαλίδες αέρα. Διάφορα οργανικά πολυμερή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αλλάξουν τη φύση της διεπιφάνειας αερίου-υγρού ή τη διεπιφάνεια στερεού-υγρού ή και τα δύο (Metcalf & Eddy, 2006).

-Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά σε συστήματα επίπλευσης διαλυμένου αέρα:

Η λειτουργία του συστήματος επίπλευσης διαλυμένου αέρα εξαρτάται κυρίως από το λόγο του όγκου του αέρα προς τη μάζα των στερεών που απαιτείται ώστε να επιτευχθεί ένας ορισμένος βαθμός καθίζησης. Η απαιτούμενη επιφάνεια του παχυντή καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη την ταχύτητα ανύψωσης των στερεών ανάλογα με την συγκέντρωση των στερεών, τον βαθμό πάχυνσης που επιτυγχάνεται και από το ρυθμό φόρτισης των στερεών (Metcalf & Eddy, 2006).

-Μεταφορά οξυγόνου:

Η μεταφορά οξυγόνου, η διεργασία με την οποία το οξυγόνο μεταφέρεται από την αέρια στην υγρή φάση, αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα σε ένα μεγάλο αριθμό διεργασιών επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Η λειτουργικότητα της αερόβιας διεργασίας όπως η ενεργός ίλος, η βιολογική διήθηση και η αερόβια χώνευση, εξαρτώνται από τη διαθεσιμότητα επαρκούς ποσότητας οξυγόνου.

Περιγραφή

Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή της μεταφοράς του οξυγόνου είναι η βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Εξαιτίας της χαμηλής διαλυτότητας του οξυγόνου και του

αντίστοιχου χαμηλού ρυθμού μεταφοράς του οξυγόνου, δεν εισάγεται στο νερό επαρκής ποσότητα οξυγόνου για την αερόβια επεξεργασία των αποβλήτων διαμέσου κανονικής διεπιφάνειας νερού-αέρα. Το οξυγόνο μπορεί να τροφοδοτηθεί με φυσαλίδες αέρα ή καθαρού οξυγόνου που εισάγονται στο νερό ώστε να δημιουργηθούν οι επιπλέον διεπιφάνειες υγρού-αερίου. Στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων, ο αερισμός φυσαλίδων επιτυγχάνεται με διάχυση φυσαλίδων αέρα στο υγρό (Metcalf & Eddy,2006).

-Συστήματα αερισμού:

Υπάρχουν διάφορα είδη συστημάτων αερισμού που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Η χρήση τους εξαρτάται από την λειτουργία που πρέπει να λάβει χώρα, τον τύπο και τη γεωμετρία του αντιδραστήρα και το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος (Metcalf & Eddy,2006).

Αερισμός με διάχυση αέρα:

Οι δύο βασικές μέθοδοι για τον αερισμό των αποβλήτων είναι:

- 1> η εισαγωγή αέρα ή καθαρού οξυγόνου στα απόβλητα με εμβυθισμένα συστήματα διάχυσης ή άλλες διατάξεις αερισμού
- 2> η μηχανική ανάδευση των αποβλήτων έτσι ώστε να ενισχυθεί η διάλυση του αέρα από την ατμόσφαιρα.

Ένα σύστημα διάχυσης αέρα αποτελείται από τους διαχυτήρες που είναι βυθισμένοι στα απόβλητα, τους σωλήνες των κεφαλών, τους αγωγούς του αέρα και τους φυσητήρες και τις διατάξεις από όπου διέρχεται ο αέρας (Metcalf & Eddy,2006).

-Διαχυτήρες:

Σήμερα εφαρμόζεται η ταξινόμηση των συστημάτων αερισμού με διάχυση με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού. Οι κατηγορίες είναι:

- 1>πορώδεις διαχυτήρες ή διαχυτήρες λεπτών πόρων
  - 2>μη πορώδεις διαχυτήρες
  - 3>άλλες διατάξεις διάχυσης όπως αεροπροωθητήρες, αεριστήρες απορρόφησης και αεριστήρες σωλήνα U.
- (Metcalf & Eddy,2006)

-Μη πορώδεις διαχυτήρες:

Αρκετά είδη μη πορώδων διαχυτήρων διατίθενται σήμερα. Οι μη πορώδεις διαχυτήρες παράγουν μεγαλύτερες φυσαλίδες σε σχέση με τους πορώδεις διαχυτήρες και συνεπώς έχουν μικρότερη ικανότητα αερισμού αλλά τα πλεονεκτήματα του χαμηλού κόστους, της χαμηλής συντήρησης και οι απαιτήσεις σε αέρα περιορισμένης καθαρότητας αντισταθμίζουν τη χαμηλή ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου και το κόστος της ενέργειας. Στον αεριστήρα στατικού σωλήνα, ο αέρας εισάγεται στον πυθμένα του κυκλικού σωλήνα του οποίου το ύψος κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 1,25m. Η ανάμιξη πραγματοποιείται επειδή ο αγωγός αερισμού δρα ως μια αεραντλία (Metcalf & Eddy,2006).

-Λειτουργία διαχυτήρων:

Η απόδοση της μεταφοράς οξυγόνου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το είδος, το μέγεθος και το σχήμα του διαχυτήρα, την παροχή του αέρα, το βάθος εμβάπτισης, τη γεωμετρία της δεξαμενής όπου συμπεριλαμβάνεται και η θέση της κεφαλής και του διαχυτήρα και τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων (Metcalf & Eddy,2006).

### 3.4 Χημικές διεργασίες:

Οι διεργασίες εκείνες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και στις οποίες η μετατροπή συντελείται μέσω χημικών αντιδράσεων, είναι γνωστές ως χημικές διεργασίες. Στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, για την εκπλήρωση συγκεκριμένων κριτηρίων επεξεργασίας, οι χημικές διεργασίες χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνδυασμό με τις φυσικές διεργασίες και με τις βιολογικές διεργασίες (Metcalf & Eddy, 2006).

-Ο ρόλος των χημικών διεργασιών στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων:

Οι βασικές χημικές διεργασίες που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των αποβλήτων περιλαμβάνουν:

- 1> τη χημική κροκίδωση
  - 2> τη χημική κατακρήμνιση
  - 3> τη χημική απολύμανση
- (Metcalf & Eddy, 2006)

-Εφαρμογές των χημικών διεργασιών:

Σήμερα, οι πιο σημαντικές εφαρμογές των χημικών διεργασιών στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν:

- 1> την απολύμανση των υγρών αποβλήτων
  - 2> την κατακρήμνιση του φωσφόρου
  - 3> την κροκίδωση της συσσωρευμένης ύλης που βρίσκεται στα υγρά απόβλητα σε διάφορα στάδια της επεξεργασίας.
- (Metcalf & Eddy, 2006)

-Βασικές αρχές της χημικής κροκίδωσης:

Η κροκίδωση είναι μια διεργασία αποσταθεροποίησης των κολλοειδών σωματιδίων έτσι ώστε να λαμβάνει χώρα αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων ως αποτέλεσμα των συγκρούσεων των σωματιδίων.

Βασικοί ορισμοί:

Ο όρος «χημική κροκίδωση» (chemical coagulation), περιλαμβάνει όλες τις αντιδράσεις και τους μηχανισμούς που εμπλέκονται στη χημική αποσταθεροποίηση των σωματιδίων και στο σχηματισμό μεγαλύτερων σωματιδίων μέσω της περικινητικής συσσωμάτωσης.

Κροκιδωτικό (coagulant) και αντιδραστήριο συσσωμάτωσης (flocculent) είναι επίσης όροι που συναντώνται στη βιβλιογραφία που αφορά την κροκίδωση. Γενικά, κροκιδωτικό είναι το χημικό αντιδραστήριο το οποίο προστίθεται για την αποσταθεροποίηση των κολλοειδών σωματιδίων στα υγρά απόβλητα, έτσι ώστε να προκύψει ο σχηματισμός κροκίδων.

Αντιδραστήριο συσσωμάτωσης είναι ένα χημικό αντιδραστήριο, συνήθως οργανικό, που προστίθεται για την ενίσχυση της διεργασίας συσσωμάτωσης (Metcalf & Eddy, 2006).

-Χημικές αντιδράσεις σε εφαρμογές κατακρήμνισης υγρών αποβλήτων:

Με το πέρασμα των χρόνων διάφορες ουσίες χρησιμοποιήθηκαν ως μέσα κατακρήμνισης. Ο βαθμός της διαύγασης που επιτυγχάνεται εξαρτάται από την ποσότητα των χημικών που χρησιμοποιούνται και από το βαθμό ελέγχου και ρύθμισης της διεργασίας. Είναι πιθανόν με τη χημική κατακρήμνιση να προκύψει μια διαυγής εκροή, απαλλαγμένη από

αιωρούμενα ή κolloειδή σωματίδια. Τα χημικά που προστίθενται στο υγρό απόβλητο αλληλεπιδρούν με ουσίες που είτε υπάρχουν στα υγρά απόβλητα είτε προστίθενται για το σκοπό αυτό. Ένα από τα πιο συνηθισμένα χημικά είναι και ο τριχλωριούχος σίδηρος (Metcalf & Eddy,2006).

-Τριχλωριούχος σίδηρος:

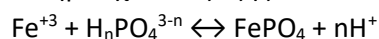
Εξαιτίας των πολλών προβλημάτων που συνδέονται με τη χρήση του διθειικού σιδήρου, ο τριχλωριούχος σίδηρος είναι το άλας του σιδήρου που χρησιμοποιείται συχνότερα σε εφαρμογές κατακρήμνισης (Metcalf & Eddy,2006).

-Απομάκρυνση φωσφόρου με χημική κατακρήμνιση:

Η απομάκρυνση φωσφόρου από τα υγρά απόβλητα περιλαμβάνει την ενσωμάτωση των φωσφορικών στα ολικά αιωρούμενα στερεά και στη συνέχεια την απομάκρυνση των στερεών αυτών. Ο φώσφορος μπορεί να ενσωματωθεί είτε σε βιολογικά στερεά (π.χ. σε μικροοργανισμούς) είτε σε χημικά ιζήματα (Metcalf & Eddy,2006).

-Κατακρήμνιση φωσφόρου με σίδηρο:

Οι βασικές αντιδράσεις που περιλαμβάνονται στην κατακρήμνιση του φωσφόρου με σίδηρο έχουν ως εξής:



Εξαιτίας των πολλών ανταγωνιστικών αντιδράσεων, η παραπάνω εξίσωση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για τον υπολογισμό της απαιτούμενης δόσης χημικών. Έτσι, οι δόσεις υπολογίζονται γενικά από εργαστηριακές δοκιμές και μερικές φορές από δοκιμές πλήρους κλίμακας, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται πολυμερή (Metcalf & Eddy,2006).

-Στρατηγικές για την απομάκρυνση φωσφόρου:

Η κατακρήμνιση του φωσφόρου από τα υγρά απόβλητα μπορεί να συμβεί σε διάφορες θέσεις ενός διαγράμματος ροής της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Οι γενικές θέσεις όπου μπορεί να λάβει χώρα η χημική κατακρήμνιση του φωσφόρου ταξινομούνται ως 1> προ-κατακρήμνιση: η προσθήκη χημικών στα ακατέργαστα υγρά απόβλητα για την κατακρήμνιση του φωσφόρου σε εγκαταστάσεις πρωτοβάθμιας καθίζησης, τα καθιζάνοντα φωσφορικά απομακρύνονται μαζί με την πρωτοβάθμια λάσπη.

2>συν-κατακρήμνιση: η προσθήκη χημικών για το σχηματισμό ιζημάτων που απομακρύνονται μαζί με την απορριπτόμενη βιολογική λάσπη αποκαλείται «συν-κατακρήμνιση», η οποία συμβαίνει και στην υπό μελέτη εγκατάσταση (Metcalf & Eddy,2006).

-Οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις:

Οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής (γνωστές ως redox : reduction-oxidation) λαμβάνουν χώρα μεταξύ ενός οξειδωτικού μέσου και ενός αναγωγικού μέσου. Στις αντιδράσεις οξείδωσης-αναγωγής ανταλλάσσονται ηλεκτρόνια ανάλογα με τις οξειδωτικές βαθμίδες των συστατικών που συμμετέχουν στην αντίδραση. Στην υπό μελέτη εγκατάσταση, οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις που συμβαίνουν για τον μεταβολισμό των αζωτούχων ενώσεων ρυθμίζουν τον αερισμό στις δεξαμενές αερισμού. Αυτό συμβαίνει με αισθητήριο μέτρησης των μεταβολών που συμβαίνουν στην τάση του διαλύματος κατά την εξέλιξη τους, θέτοντας τιμές που θέλουμε να επιτύχουμε (Metcalf & Eddy,2006).

-Ρύθμιση του pH:

Σε ένα πλήθος διεργασιών επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, απαιτείται συχνά η ρύθμιση της τιμής του pH. Εξαιτίας του μεγάλου αριθμού χημικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, η επιλογή θα εξαρτάται από την καταλληλότητα ενός συγκεκριμένου χημικού για τη συγκεκριμένη εφαρμογή και από το οικονομικό κόστος. Το υδροξείδιο του νατρίου (NaOH, γνωστό επίσης και ως καυστική σόδα) χρησιμοποιείται ευρέως σε μονάδες επεξεργασίας ή όπου απαιτείται προσθήκη κατάλληλων ποσοτήτων (Metcalf & Eddy,2006).

### **3.5 Βιολογικές διεργασίες:**

Όλα σχεδόν τα υγρά απόβλητα που περιέχουν βιοαποικοδομήσιμα συστατικά μπορούν να υποστούν βιολογική επεξεργασία με κατάλληλη ανάλυση και περιβαλλοντικό έλεγχο.

Επομένως, είναι απαραίτητο ο μηχανικός περιβάλλοντος να κατανοήσει τα χαρακτηριστικά κάθε βιολογικής διαδικασίας, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι το κατάλληλο περιβάλλον αναπτύσσεται και ελέγχεται αποτελεσματικά. Οι γενικές κατηγορίες βιολογικών διεργασιών που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν:

- 1)αερόβια οξείδωση
  - 2)βιολογική νιτροποίηση
  - 3)βιολογική απονιτροποίηση
  - 4)βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου
  - 5)αναερόβια οξείδωση
- (Metcalf & Eddy,2006)

-Στόχοι της βιολογικής επεξεργασίας:

Οι γενικοί στόχοι της βιολογικής επεξεργασίας των αστικών λυμάτων είναι:

- 1)να μετατρέψει (δηλαδή να οξειδώσει) διαλυμένα και σωματιδιακά βιοαποικοδομήσιμα συστατικά σε αποδεκτά τελικά προϊόντα.
- 2)να συλλέξει και να ενσωματώσει αιωρούμενα και μη καθιζάνοντα κολλοειδή στερεά σε ένα βιολογικό συσσωμάτωμα ή βιοφίλμ
- 3)να μετατρέψει ή να απομακρύνει θρεπτικά, όπως άζωτο και φώσφορο
- 4)σε μερικές περιπτώσεις, να απομακρύνει συγκεκριμένα ίχνη οργανικών συστατικών και ενώσεων.

Όσον αφορά τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα, ο στόχος είναι να απομακρυνθεί ή να ελαττωθεί η συγκέντρωση οργανικών και ανόργανων ενώσεων (Metcalf & Eddy,2006).

-Ο ρόλος των μικροοργανισμών στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων:

Οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούνται για να οξειδώσουν (δηλαδή να μετατρέψουν) την διαλυμένη και σωματιδιακή ανθρακική οργανική ύλη σε απλά τελικά προϊόντα και επιπρόσθετη βιομάζα. Μικροοργανισμοί επίσης χρησιμοποιούνται για να αφαιρέσουν το άζωτο στις διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Ειδικά βακτήρια είναι ικανά να οξειδώσουν την αμμωνία ( νιτροποίηση ) σε νιτρώδη και νιτρικά, ενώ άλλα βακτήρια μπορούν να ανάγουν το οξειδωμένο άζωτο σε αέριο άζωτο. Επειδή η βιομάζα έχει σχετική πυκνότητα ελαφρώς μεγαλύτερη από αυτή του νερού, η βιομάζα μπορεί να απομακρυνθεί από το επεξεργασμένο υγρό με καθίζηση με βαρύτητα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η βιομάζα που παράγεται από την οργανική ύλη πρέπει να απομακρύνεται περιοδικά.

Ορισμοί της τυπικής ορολογίας που χρησιμοποιείται στη βιολογική επεξεργασία υγρών

αποβλήτων ( Crites and Tchobanoglous, 1998):

α)μεταβολική λειτουργία

1>αερόβιες (οξικές ) διεργασίες = διεργασίες βιολογικής επεξεργασίας που λαμβάνουν χώρα παρουσία οξυγόνου

2>αναερόβιες διεργασίες = διεργασίες βιολογικής επεξεργασίας που λαμβάνουν χώρα απουσίας οξυγόνου

3>ανοξικές διεργασίες = η διεργασία με την οποία το άζωτο των νιτρικών μετατρέπεται βιολογικά σε αέριο άζωτο απουσία οξυγόνου. Αυτή η διεργασία είναι επίσης γνωστή και ως απονιτροποίηση

β)λειτουργίες επεξεργασιών

1>νιτροποίηση = η βιολογική διεργασία δύο σταδίων κατά την οποία η αμμωνία μετατρέπεται πρώτα σε νιτρώδη και έπειτα σε νιτρικά ιόντα.

2>απονιτροποίηση = η βιολογική διεργασία κατά την οποία τα νιτρικά ανάγονται σε άζωτο και άλλα αέρια τελικά προϊόντα.

(Metcalf & Eddy,2006)

-Τύποι βιολογικών διεργασιών που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων:

Οι κύριες βιολογικές διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

1>τις διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας

2>τις διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας.

(Metcalf & Eddy,2006)

Στην υπό μελέτη εγκατάσταση οι διεργασίες μας αφορούν την κατηγορία 1.

-Διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας:

Στις διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας, οι μικροοργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την επεξεργασία διατηρούνται σε υγρό εναιώρημα με κατάλληλες μεθόδους ανάμιξης. Πολλές διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων λειτουργούν με μια θετική συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (αερόβιες διαδικασίες), αλλά υπάρχουν εφαρμογές όπου χρησιμοποιούνται αναερόβιοι αντιδραστήρες αιωρούμενης βιομάζας (απουσία οξυγόνου), όπως σε βιομηχανικά υγρά απόβλητα με υψηλή συγκέντρωση οργανικών και οργανικής λάσπης. Η πιο κοινή διεργασία αιωρούμενης βιομάζας που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων, είναι η διαδικασία ενεργού ιλύος. Η διεργασία ενεργού ιλύος ονομάστηκε έτσι διότι περιλαμβάνει την παραγωγή μιας ενεργοποιημένης μάζας μικροοργανισμών ικανών να σταθεροποιούν ένα απόβλητο κάτω από αερόβιες συνθήκες. Μηχανικός εξοπλισμός χρησιμοποιείται για να παρέχει ανάμιξη και μεταφορά του οξυγόνου στη διαδικασία. Το ανάμικτο υγρό στη συνέχεια οδηγείται σε μια δεξαμενή καθίζησης όπου το μικροβιακό εναιώρημα καθιζάνει και υφίσταται πάχυνση. Η βιομάζα που καθιζάνει, η οποία περιγράφεται ως ενεργός ιλύς εξ αιτίας της παρουσίας ενεργών μικροοργανισμών, επιστρέφει στη δεξαμενή αερισμού προκειμένου να συνεχιστεί η αποικοδόμηση του οργανικού υλικού της εισροής (Metcalf & Eddy,2006).

-Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη μικροβιακή δραστηριότητα:

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες θερμοκρασίας και pH έχουν σημαντική επίδραση στην επιλογή, την επιβίωση και την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Γενικά η βέλτιστη ανάπτυξη

για έναν συγκεκριμένο μικροοργανισμό λαμβάνει χώρα μέσα σε αρκετά στενά όρια θερμοκρασίας και pH, αν και οι περισσότεροι μικροοργανισμοί μπορούν να επιζήσουν και μέσα σε πολύ ευρύτερα όρια. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό εύρος στο οποίο επιδεικνύουν την καλύτερη λειτουργία, τα βακτήρια μπορούν να ταξινομηθούν ως:

1>ψυχρόφιλα: θερμοκρασιακή περιοχή (°C)->10-30 με βέλτιστη περιοχή(°C)->12-18  
2>μεσόφιλα: θερμοκρασιακή περιοχή (°C)->20-50 με βέλτιστη περιοχή(°C)->25-40  
3>θερμόφιλα: θερμοκρασιακή περιοχή (°C)->35-75 με βέλτιστη περιοχή (°C)->55-65

Το pH του περιβάλλοντος είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας για την αύξηση των μικροοργανισμών. Τα περισσότερα βακτήρια δε μπορούν να ανεχθούν επίπεδα pH πάνω από 9,5 ή κάτω από 4,0. Γενικά, το βέλτιστο pH για τη βακτηριακή αύξηση βρίσκεται μεταξύ 6,5 και 7,5 (Metcalf & Eddy,2006).

-Εισαγωγή στο μικροβιακό μεταβολισμό:

Η κατανόηση των βιοχημικών δραστηριοτήτων των μικροοργανισμών είναι βασική για το σχεδιασμό μιας βιολογικής διεργασίας ή για την επιλογή του είδους της βιολογικής διεργασίας που πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Η κατάταξη των μικροοργανισμών γίνεται συνήθως ανάλογα με την πηγή του κυτταρικού άνθρακα, ανάλογα με τους δότες και τους δέκτες ηλεκτρονίων και τελικά προϊόντα. Διαφορετικοί μικροοργανισμοί μπορεί να χρησιμοποιούν μια μεγάλη ποικιλία δεκτών ηλεκτρονίων, όπως το οξυγόνο, τα νιτρώδη, τα νιτρικά, ο τρισθενής σίδηρος, τα θειικά, οι οργανικές ενώσεις και το διοξείδιο του άνθρακα.

Πίνακας 1.

Τύπος Βακτηρίων	Τυπική ονομασία της αντίδρασης	Πηγή άνθρακα	Δότης ηλεκτρονίων (οξειδωμένο υπόστρωμα)	Δέκτης ηλεκτρονίων	Προϊόντα
Αερόβια αυτότροφα	Νιτροποίηση	CO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	O <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Προαιρετικά ετερότροφα	Απονιτροποίηση ανοξική αντίδραση	Οργανικές ενώσεις	Οργανικές ενώσεις	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
Αναερόβια ετερότροφα	Ζύμωση οξέων	Οργανικές ενώσεις	Οργανικές ενώσεις	Οργανικές ενώσεις	Πτητικά λιπαρά οξέα (VFAs) (οξικό, προπιονικό, βουτυρικό)
Αναερόβια ετερότροφα	μεθανογένεση	Οργανικές ενώσεις	Πτητικά λιπαρά οξέα (VFAs)	CO <sub>2</sub>	Μεθάνιο

(Metcalf & Eddy,2006)

-Πηγές άνθρακα και ενέργειας για μικροβιακή αύξηση:

Ένας οργανισμός προκειμένου να συνεχίσει να αναπαράγεται και να λειτουργεί κανονικά πρέπει να έχει πηγές ενέργειας, άνθρακα για τη σύνθεση καινούριου κυτταρικού υλικού και ανόργανων στοιχείων (θρεπτικά) όπως το άζωτο, ο φώσφορος, το θείο, το κάλιο, το ασβέστιο και το μαγνήσιο. Τα οργανικά θρεπτικά συστατικά (αυξητικοί παράγοντες) μπορεί επίσης να απαιτούνται για κυτταρική σύνθεση (Metcalf & Eddy, 2006).

-Πηγές ενέργειας:

Η ενέργεια που απαιτείται για κυτταρική σύνθεση μπορεί να προέλθει από το φως ή από αντιδράσεις χημικής οξείδωσης. Τα βακτήρια μπορούν να οξειδώσουν οργανικές ή ανόργανες ενώσεις προκειμένου να ανακτήσουν ενέργεια. Οι οργανισμοί που μπορούν να χρησιμοποιήσουν το φως ως πηγή ενέργειας καλούνται φωτότροφοι (phototrophs). Οι φωτότροφοι οργανισμοί μπορεί να είναι ετερότροφοι (ορισμένα βακτήρια αναγωγής του θείου) ή αυτότροφοι (φύκη και φωτοσυνθετικά βακτήρια). Οι οργανισμοί που αντλούν την ενέργεια τους από χημικές αντιδράσεις είναι γνωστοί ως χημειότροφοι (chemotrophs). Οι χημικές αντιδράσεις με τις οποίες οι χημειότροφοι παράγουν ενέργεια είναι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις που περιλαμβάνουν τη μεταφορά ηλεκτρονίων από ένα δότη ηλεκτρονίων σε ένα δέκτη ηλεκτρονίων. Οι δότες και οι δέκτες ηλεκτρονίων μπορεί να είναι οργανικές ή ανόργανες ενώσεις, ανάλογα με τον μικροοργανισμό. Ο δέκτης ηλεκτρονίων μπορεί να είναι διαθέσιμος μέσα στο κύτταρο κατά το μεταβολισμό (ενδογενής) ή μπορεί να λαμβάνεται από το εξωτερικό περιβάλλον του κυττάρου (δηλαδή διαλυμένο οξυγόνο) (εξωγενής). Όταν χρησιμοποιείται το οξυγόνο ως δέκτης ηλεκτρονίων η αντίδραση καλείται αερόβια (aerobic) ενώ αντιδράσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται άλλοι δέκτες ηλεκτρονίων θεωρούνται αναερόβιες (anaerobic). Οι οργανισμοί οι οποίοι παράγουν ενέργεια με ζύμωση και οι οποίοι μπορούν να υπάρχουν μόνο σε περιβάλλον όπου δεν υπάρχει οξυγόνο είναι υποχρεωτικά αναερόβιοι (obligate anaerobes) (Metcalf & Eddy, 2006).

-Απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά και σε παράγοντες αύξησης:

Τα θρεπτικά συστατικά, περισσότερο από τις πηγές άνθρακα ή ενέργειας, μπορούν κάποιες φορές να είναι οι περιοριστικοί παράγοντες για τη μικροβιακή κυτταρική σύνθεση και αύξηση. Τα κύρια ανόργανα θρεπτικά που απαιτούνται από τους μικροοργανισμούς είναι τα N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na και Cl. Τα απαιτούμενα οργανικά θρεπτικά, γνωστά ως πρόδρομες ενώσεις ή ως συστατικά του οργανικού κυτταρικού υλικού, οι οποίες δε μπορούν να συντεθούν από άλλες πηγές άνθρακα (Metcalf & Eddy, 2006).

-Βακτηριακή ανάπτυξη και απόδοση βιομάζας:

Σε διεργασίες βιολογικής επεξεργασίας, η κυτταρική ανάπτυξη συμβαίνει παράλληλα με την οξείδωση οργανικών ή ανόργανων ενώσεων. Ο λόγος της ποσότητας της βιομάζας, που παράγεται προς την ποσότητα του υποστρώματος που καταναλώνεται ορίζεται ως απόδοση βιομάζας και συνήθως προσδιορίζεται σε σχέση με το δότη ηλεκτρονίων που χρησιμοποιείται (Metcalf & Eddy, 2006).

-Μέτρηση της ανάπτυξης της βιομάζας:

Επειδή η βιομάζα είναι κυρίως οργανικό υλικό, μια αύξηση στη βιομάζα μπορεί να μετρηθεί ως πτητικά αιωρούμενα στερεά (volatile suspended solids, VSS) ή ως σωματιδιακό COD (ολικό COD μείον το διαλυμένο COD) (Metcalf & Eddy,2006).

-Επίδραση της θερμοκρασίας:

Η θερμοκρασιακή εξάρτηση των σταθερών ταχύτητας στις βιολογικές αντιδράσεις είναι πολύ σημαντική για την αξιολόγηση της συνολικής απόδοσης μιας βιολογικής διεργασίας. Η θερμοκρασία όχι μόνο επηρεάζει τις μεταβολικές δραστηριότητες του μικροβιακού πληθυσμού αλλά έχει επίσης σημαντικές επιπτώσεις σε παράγοντες όπως ο ρυθμός μεταφοράς των αερίων και τα χαρακτηριστικά καθίζησης των βιολογικών στερεών (Metcalf & Eddy,2006).

-Περιβαλλοντικοί παράγοντες:

Στα βιομηχανικά απόβλητα πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι είναι διαθέσιμα αρκετά θρεπτικά (N και P) για την ποσότητα του bsCOD που θα υποστεί επεξεργασία. Τα ετερότροφα βακτήρια που είναι υπεύθυνα για την απομάκρυνση του BOD μπορούν να επιβιώσουν σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τοξικών ουσιών σε σύγκριση με τα βακτήρια που είναι υπεύθυνα για την οξείδωση της αμμωνίας ή την παραγωγή μεθανίου (Metcalf & Eddy,2006).

-Βιολογική νιτροποίηση:

Η νιτροποίηση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη βιολογική διεργασία δύο σταδίων κατά την οποία η αμμωνία ( $\text{NH}_4 - \text{N}$ ) οξειδώνεται σε νιτρώδη ( $\text{NO}_2 - \text{N}$ ) και τα νιτρώδη οξειδώνονται σε νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3 - \text{N}$ ) (Metcalf & Eddy,2006) .

-Βιολογική απονιτροποίηση:

Η βιολογική αναγωγή των νιτρικών σε οξείδια του αζώτου, υποοξείδια του αζώτου και αέριο άζωτο καλείται απονιτροποίηση. Η βιολογική απονιτροποίηση είναι αναπόσπαστο τμήμα της βιολογικής απομάκρυνσης αζώτου, η οποία περιλαμβάνει νιτροποίηση και απονιτροποίηση (Metcalf & Eddy,2006).

-Βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου:

Η απομάκρυνση του φωσφόρου με βιολογικά μέσα ονομάζονται βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου. Γενικά, η απομάκρυνση του φωσφόρου γίνεται για τον έλεγχο του ευτροφισμού αφού ο φώσφορος είναι ένα περιοριστικό θρεπτικό συστατικό στα περισσότερα υδατικά συστήματα. Η χημική επεξεργασία όπου χρησιμοποιεί θειικό αργίλιο ή άλατα σιδήρου είναι η πιο διαδεδομένη τεχνολογία για την απομάκρυνση του φωσφόρου, αλλά η επιτυχία των μονάδων βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου σε πλήρη κλίμακα από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, ενθάρρυνε την περαιτέρω ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου είναι οι μειωμένες δαπάνες σε χημικά και η μικρότερη παραγωγή ιλύος, συγκριτικά με την χημική καθίζηση (Metcalf & Eddy,2006).

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### Σύστημα διαχείρισης υγρών αποβλήτων

Το σύνολο των διεργασιών που αναλύθηκαν παραπάνω συνδυάζονται στην υπό μελέτη εγκατάσταση ώστε να συσταθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης των υγρών αποβλήτων που διαχειρίζεται και τα 3 ρεύματα που προαναφέραμε. Ακολουθεί η θεωρητική ανάλυση των διεργασιών που έχουν επιλεγεί για την αποτελεσματική διαχείριση των υγρών αποβλήτων.

#### **4.1 Αναερόβια ζύμωση και οξείδωση:**

Οι αναερόβιες διεργασίες ζύμωσης και οξείδωσης χρησιμοποιούνται κυρίως για την επεξεργασία της απορριπτόμενης ιλύος και των αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο. Ωστόσο, έχουν επίσης αναφερθεί εφαρμογές για τα αραιωμένα υγρά απόβλητα που γίνονται όλο και πιο συχνές. Οι αναερόβιες διεργασίες ζύμωσης παρουσιάζουν πλεονεκτήματα λόγω της χαμηλότερης παραγωγής βιομάζας και επειδή η ενέργεια, υπό μορφή μεθανίου, μπορεί να ανακτηθεί από τη βιολογική μετατροπή των οργανικών υποστρωμάτων. Οι περισσότερες διαδικασίες ζύμωσης λειτουργούν στο θερμοκρασιακό εύρος των μεσόφιλων οργανισμών (30 έως 35°C).

Για την επεξεργασία βιομηχανικών υγρών αποβλήτων υψηλού φορτίου, η αναερόβια επεξεργασία είναι μια φτηνή εναλλακτική λύση από τις αερόβιες διεργασίες με λιγότερες απαιτήσεις σε ενέργεια, προσθήκη θρεπτικών και όγκο του αντιδραστήρα. Επειδή η ποιότητα της εκροής δεν είναι τόσο καλή όσο αυτή που προκύπτει από την αερόβια επεξεργασία, η αναερόβια επεξεργασία χρησιμοποιείται συνήθως ως ένα βήμα προεπεξεργασίας, πριν από την διάθεση σε ένα σύστημα αποχέτευσης αστικών αποβλήτων ή ακολουθείται από μια αερόβια διεργασία, όπως συμβαίνει και στην εγκατάσταση που μελετούμε.

Περιγραφή διαδικασίας:

Στην αναερόβια οξείδωση αποβλήτων διακρίνονται τρία βασικά στάδια:

- i) υδρόλυση
- ii) ζύμωση (λέγεται επίσης και οξυγένεση)
- iii) μεθανογένεση

i) Υδρόλυση:

Το πρώτο στάδιο για τις περισσότερες διαδικασίες ζύμωσης, στις οποίες το σωματιδιακό υλικό μετατρέπεται σε διαλυτές ενώσεις, καλείται υδρόλυση. Οι διαλυτές ενώσεις μπορούν έπειτα να υδρολυθούν περαιτέρω σε απλούστερα μονομερή που χρησιμοποιούνται από τα βακτήρια που επιτελούν τη ζύμωση.

ii) Ζύμωση:

Το δεύτερο στάδιο είναι η ζύμωση (αλλιώς και οξυγένεση). Στη διεργασία της ζύμωσης διασπώνται τα αμινοξέα, σάκχαρα και μερικά λιπαρά οξέα. Τα οργανικά υποστρώματα χρησιμεύουν ως δότες και ως δέκτες ηλεκτρονίων. Τα κυριότερα προϊόντα της ζύμωσης είναι το οξικό οξύ, το υδρογόνο, το CO<sub>2</sub>, προπιονικό και βουτυρικό οξύ. Με περαιτέρω

ζύμωση του προπιονικού και βουτυρικού οξέος παράγεται υδρογόνο, CO<sub>2</sub> και οξικό οξύ. Έτσι, τα τελικά προϊόντα της ζύμωσης (οξικό οξύ, υδρογόνο και CO<sub>2</sub>) είναι οι πρόδρομες ενώσεις για το σχηματισμό μεθανίου (μεθανογένεση).

### iii) Μεθανογένεση:

Το τρίτο στάδιο, η μεθανογένεση, πραγματοποιείται από μια ομάδα οργανισμών που είναι γνωστοί ως μεθανογενετικοί. Δύο ομάδες μεθανογενετικών οργανισμών εμπλέκονται στην παραγωγή μεθανίου. Η μια ομάδα, που καλούνται μεθανογενετικοί οξυκλάστες, διασπούν το οξικό οξύ σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Η δεύτερη ομάδα οργανισμών, που καλούνται μεθανογενετικοί υδρογονο-χρήστες, χρησιμοποιούν το υδρογόνο ως δότη ηλεκτρονίων και το CO<sub>2</sub> ως δέκτη ηλεκτρονίων για την παραγωγή μεθανίου. Τα βακτήρια στις αναερόβιες διεργασίες ονομάζονται οξυγενετικά και είναι επίσης ικανά να χρησιμοποιήσουν το CO<sub>2</sub> για την οξείδωση του υδρογόνου προς το σχηματισμό οξικού οξέος.

### Κινητική της ανάπτυξης:

Στις αναερόβιες διεργασίες είναι σημαντικοί δύο περιοριστικοί παράγοντες του ρυθμού:

1>ο ρυθμός της υδρολυτικής μετατροπής

2>ο ρυθμός κατανάλωσης του διαλυτού υποστρώματος για τη ζύμωση και τη μεθανογένεση.

Η κινητική της κατανάλωσης διαλυτού υποστρώματος έχει μεγάλη σημασία για την ανάπτυξη μιας σταθερής αναερόβιας διεργασίας.

Η διεργασία είναι πιο σταθερή όταν οι συγκεντρώσεις των πτητικών λιπαρών οξέων (Volatile Fatty Acid, VFA) πλησιάζουν σε ένα ελάχιστο επίπεδο, το οποίο μπορεί να ληφθεί ως ένδειξη ότι υπάρχει ένας ικανοποιητικός μεθανογενετικός πληθυσμός και είναι διαθέσιμος αρκετός χρόνος για την ελαχιστοποίηση των συγκεντρώσεων του υδρογόνου και των VFA.

### Περιβαλλοντικοί παράγοντες:

Οι αναερόβιες διεργασίες είναι ευαίσθητες στο pH και σε ανασταλτικές ουσίες. Τιμές του pH κοντά στο ουδέτερο είναι επιθυμητές, ενώ σε τιμές κάτω του 6,8 αναστέλλεται η μεθανογενετική δραστηριότητα. Εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> στα αέρια που παράγονται σε αναερόβιες διεργασίες (30 με 35% CO<sub>2</sub>), απαιτείται υψηλή αλκαλικότητα για να εξασφαλιστεί ουδέτερο pH. Σε εφαρμογές με βιομηχανικά απόβλητα, ειδικά σε απόβλητα που περιέχουν υδρογονάνθρακες, είναι απαραίτητο να προστίθεται αλκαλικότητα για τη ρύθμιση του pH (Metcalf & Eddy, 2006).

## **4.2 Συστατικά κλειδιά των υγρών αποβλήτων για τη διαδικασία του σχεδιασμού:**

Τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων που έχουν σημασία στο σχεδιασμό της μεθόδου της ενεργού ιλύος μπορούν να ομαδοποιηθούν στις επόμενες κατηγορίες:

1>ενώσεις οργανικού άνθρακα

2>αζωτούχες ενώσεις

3>φωσφορικές ενώσεις

4>ολικά και αιωρούμενα στερεά (TSS και VSS)

5>αλκαλικότητα

(Metcalf & Eddy, 2006)

-Οργανικά συστατικά:

Τα οργανικά συστατικά μετρώνται με την ανάλυση του BOD ή του COD, αναλύσεις που είναι κρίσιμες στο σχεδιασμό της διεργασίας της ενεργού ιλύος. Ενώ το BOD είναι μια συνηθισμένη παράμετρος για το χαρακτηρισμό των οργανικών υλικών των υγρών αποβλήτων, το COD χρησιμοποιείται όλο και πιο πολύ και είναι η κύρια παράμετρος που χρησιμοποιείται από τα περισσότερα σύγχρονα μοντέλα σχεδιασμού-προσομοίωσης. Σε αντίθεση με το BOD, ένα ποσοστό του COD δεν είναι βιοαποικοδομήσιμο, έτσι το COD χωρίζεται σε βιοαποικοδομήσιμο και μη βιοαποικοδομήσιμο. Το μη βιοαποικοδομήσιμο διαλυτό COD που θα βρεθεί στην εκροή της ενεργού ιλύος και τα μη-βιοαποικοδομήσιμα σωματίδια θα συνεισφέρουν στην ολική παραγωγή ιλύος. Για το βιοαποικοδομήσιμο COD, η κατανόηση των παραμέτρων που μετρώνται ως διαλυτό, εύκολα βιοαποικοδομήσιμο διαλυτό COD και σωματιδιακό είναι εξαιρετικά σημαντική για το σχεδιασμό της διεργασίας της ενεργού ιλύος. Το τμήμα του εύκολα βιοαποικοδομήσιμου COD έχει μια απευθείας επίδραση στις βιολογικές κινητικές της ενεργού ιλύος και στην απόδοση της διεργασίας. Όσο πιο μεγάλο είναι το ποσό του εύκολα βιοαποικοδομήσιμου COD, τόσο γρηγορότερος θα είναι ο ρυθμός της μείωσης των νιτρικών.

Το εύκολα βιοαποικοδομήσιμο COD αποτελείται από σύνθετο διαλυτό COD που μπορεί με τη ζύμωση να γίνει πτητικά λιπαρά οξέα (volatile fatty acids, VFA) στην εισροή των υγρών αποβλήτων (Metcalf & Eddy,2006).

-Χρόνος παραμονής των στερεών:

Το SRT, αντιπροσωπεύει τη μέση χρονική περίοδο κατά τη διάρκεια της οποίας η ιλύς παραμένει μέσα στο σύστημα. Το SRT είναι η πιο κρίσιμη παράμετρος για το σχεδιασμό της ενεργού ιλύος καθώς το SRT επηρεάζει την απόδοση των διεργασιών επεξεργασίας.

-Αναερόβιες διεργασίες επεξεργασίας αιωρούμενης και προσκολλημένης βιομάζας:

Οι αναερόβιες διεργασίες περιλαμβάνουν την επεξεργασία με αναερόβια αιωρούμενη βιομάζα, την αναερόβια προσκολλημένη βιομάζα ανοδικής και καθοδικής ροής, την προσκολλημένη βιομάζα ρευστοποιημένης κλίνης, το αναερόβιο στρώμα ιλύος ανοδικής ροής (upflow anaerobic sludge blanket, UASB), τις αναερόβιες λίμνες και τις αναερόβιες διεργασίες με μεμβράνες διαχωρισμού (membrane separation anaerobic processes) (Metcalf & Eddy,2006).

-Πλεονεκτήματα των διεργασιών αναερόβιας επεξεργασίας:

Βασικά πλεονεκτήματα της αναερόβιας διεργασίας:

- i) Μικρότερη ενεργειακές απαιτήσεις
- ii) Μικρότερη παραγωγή βιολογικής ιλύος
- iii) Μικρότερη απαίτηση σε θρεπτικά συστατικά
- iv) Παραγωγή μεθανίου, ως πηγή ενέργειας
- v) Μικρότερες απαιτήσεις όγκου αντιδραστήρα
- vi) Με εγκληματισμό, οι περισσότερες οργανικές ενώσεις μπορούν να επεξεργασθούν
- vii) Γρήγορη απόκριση στην προσθήκη υποστρώματος μετά από μακρά περίοδο χωρίς τροφοδοσίας

(Metcalf & Eddy,2006)

-Ενεργειακές απαιτήσεις:

Οι αναερόβιες διεργασίες μπορούν να θεωρηθούν ως διεργασίες παραγωγής ενέργειας σε αντίθεση με τις αερόβιες διεργασίες που απαιτούν κατανάλωση ενέργειας. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σύγκριση του ενεργειακού ισοζυγίου για απόβλητα υψηλής ισχύος στους 20°C (Metcalf & Eddy,2006).

-Μικρότερη απόδοση βιομάζας:

Εξαιτίας της ενεργητικής των αναερόβιων διεργασιών, η παραγωγή της βιομάζας είναι μικρότερη κατά 6-8 φορές και το κόστος επεξεργασίας και διάθεσης της ιλύος μειώνεται σημαντικά. Το γεγονός ότι στην αναερόβια επεξεργασία παράγεται λιγότερη ιλύς αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα έναντι της αερόβιας επεξεργασίας (Metcalf & Eddy,2006).

-Μικρότερη απαίτηση σε θρεπτικά συστατικά:

Αρκετά βιομηχανικά απόβλητα στερούνται των απαραίτητων θρεπτικών συστατικών για την ανάπτυξη της αερόβιας βιομάζας. Το κόστος προσθήκης των θρεπτικών συστατικών είναι πολύ μικρότερο για την αναερόβια διεργασία επειδή παράγεται λιγότερη βιομάζα (Metcalf & Eddy,2006).

-Υψηλότερες ογκομετρικές φορτίσεις:

Οι αναερόβιες διεργασίες γενικά έχουν υψηλότερες ογκομετρικές φορτίσεις οργανικών από τις αερόβιες και συνεπώς μπορεί να απαιτούνται για την επεξεργασία μικρότεροι όγκοι αντιδραστήρων και γενικά λιγότερος χώρος. Ο ρυθμός φόρτισης οργανικών για την αναερόβια από 0,5-3,2 kg COD/m<sup>3</sup>\*d (Speece,1996).

-Μειονεκτήματα των διεργασιών αναερόβιας επεξεργασίας:

- i) Μεγαλύτερος χρόνος εκκίνησης για την ανάπτυξη του απαραίτητου αποθέματος βιομάζας.
  - ii) Πιθανή απαίτηση σε αλκαλικότητα με προσθήκη συγκεκριμένων ιόντων.
  - iii) Πιθανή απαίτηση για περαιτέρω επεξεργασία με αερόβια διεργασία, έτσι ώστε να επιτευχθούν οι απαιτήσεις απόρριψης της εκροής.
  - iv) Δεν είναι εφικτή η βιολογική απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου.
  - v) Μεγαλύτερη ευαισθησία στη δυσμενή επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών στην ταχύτητα της αντίδρασης.
  - vi) Μπορεί να είναι περισσότερο ευαίσθητες σε διαταραχές λόγω της παρουσίας τοξικών ουσιών.
  - vii) Πιθανή παραγωγή οσμών και διαβρωτικών αερίων.
- (Metcalf & Eddy,2006)

-Λειτουργικοί παράγοντες:

Τα σημαντικότερα προβλήματα των αναερόβιων διεργασιών είναι : ο μεγαλύτερος χρόνος εκκίνησης (μήνες για τις αναερόβιες διεργασίες, μέρες για τις αερόβιες), η ευαισθησία σε πιθανές τοξικές ενώσεις, η λειτουργική σταθερότητα, η πιθανή δημιουργία οσμών και η διαβρωτικότητα του αερίου χώνευσης. Ωστόσο, με τον κατάλληλο χαρακτηρισμό του αποβλήτου και τον ορθό σχεδιασμό της διεργασίας, τα προβλήματα αυτά μπορούν να αποφευχθούν ή να αντιμετωπιστούν (Metcalf & Eddy,2006).

-Απαίτηση για προσθήκη αλκαλικότητας:

Ο κυριότερος αρνητικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει οικονομικά την αναερόβια διεργασία σε σχέση με την αερόβια, είναι η πιθανή απαίτηση για προσθήκη αλκαλικότητας. Στις αναερόβιες διεργασίες μπορεί να απαιτούνται συγκεντρώσεις αλκαλικότητας για τη διατήρηση μιας αποδεκτής τιμής pH στο υγρό σε συνδυασμό με την υψηλή συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στην αέρια φάση. Όταν η αλκαλικότητα δεν είναι διαθέσιμη στην εισροή ή δεν μπορεί να παραχθεί κατά την αποικοδόμηση των πρωτεϊνών και των αμινοξέων, τότε μπορεί να απαιτηθεί σημαντικός κόστος για την παροχή της αλκαλικότητας, το οποίο επηρεάζει το ολικό κόστος της διεργασίας (Metcalf & Eddy, 2006).

-Απαίτηση για περαιτέρω επεξεργασία:

Οι αναερόβιες διεργασίες μπορούν να ακολουθούνται από αερόβιες για περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας της εκροής χρησιμοποιώντας έτσι τα πλεονεκτήματα και των δύο διεργασιών. Διατάξεις αντιδραστήρων αναερόβιων-αερόβιων διεργασιών έχουν επιδείξει αποδοτικές για την επεξεργασία αστικών λυμάτων σε θερμότερα κλίματα, που έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις καθώς και μειωμένη παραγωγή υλός (Goncalves and Avaujo, 1999, Garuti et al., 1992).

### **4.3 Αναερόβια και αερόβια βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων:**

-Περίληπτική αποτίμηση:

Γενικά, οι αερόβιες διεργασίες είναι προτιμότερες για αστικά απόβλητα με χαμηλές συγκεντρώσεις βιοαποικοδομήσιμου COD, σε χαμηλές θερμοκρασίες, για υψηλής ποιότητας εκροή και για απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών. Για βιομηχανικά απόβλητα με πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βιοαποικοδομήσιμου COD σε υψηλότερες θερμοκρασίες, οι αναερόβιες διεργασίες είναι πιο οικονομικές. Μελλοντικά όσο περισσότερο μελετώνται οι διεργασίες αναερόβιας επεξεργασίας, αναμένεται ότι θα εξαπλωθούν ευρέως σε ποικιλία εφαρμογών (Metcalf & Eddy, 2006).

-Γενικοί παράγοντες σχεδιασμού για τις διεργασίες αναερόβιας επεξεργασίας:

Ο τύπος των υγρών αποβλήτων και τα χαρακτηριστικά τους είναι σημαντικά για την αξιολόγηση και το σχεδιασμό των αναερόβιων διεργασιών. Τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται παρακάτω, έχουν εφαρμογή σε αναερόβιες διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας, στρώματος υλός, προσκολλημένης βιομάζας. Οι σημαντικότεροι παράγοντες και τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην αξιολόγηση των αναερόβιων διεργασιών για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, αναλύονται παρακάτω (Metcalf & Eddy, 2006).

-Χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων:

Οι αναερόβιες διεργασίες είναι ελκυστικές κυρίως σε περιπτώσεις υγρών αποβλήτων υψηλής ισχύος ή υγρών αποβλήτων με υψηλές θερμοκρασίες για τους εξής λόγους:

1>ο αερισμός δεν είναι απαραίτητος, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση σε κόστος ενέργειας.

2>τα στερεά παράγονται σε μικρές ποσότητες.

Τα απόβλητα από διεργασίες επεξεργασίας τροφίμων και απόσταξης για παράδειγμα, μπορούν να έχουν συγκεντρώσεις COD που κυμαίνονται μεταξύ 300-30000 mg/L. Άλλοι

παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι η ενδεχόμενη παρουσία τοξικών ρευμάτων, οι μεταβολές στην παροχή, η συγκέντρωση σε ανόργανες ουσίες και οι εποχιακές μεταβολές της φόρτισης. Οι αναερόβιες διεργασίες έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται γρήγορα σε τροφοδοσία υγρών αποβλήτων μετά από μεγάλες χρονικές περιόδους χωρίς την προσθήκη υποστρώματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις σε θερμά κλίματα, η αναερόβια διεργασία έχει επίσης εξετασθεί για την επεξεργασία αστικών λυμάτων (Metcalf & Eddy, 2006).

-Μεταβολές παροχής και φόρτισης:

Ποικίλες μεταβολές στην παροχή εισροής και στη φόρτιση των οργανικών μπορούν να ανατρέψουν την ισορροπία ανάμεσα στην όξινη ζύμωση οξέος και στη μεθανογένεση στις αναερόβιες διεργασίες. Για διαλυτά εύκολα αποικοδομήσιμα υποστρώματα όπως τα σάκχαρα και τα διαλυτά άμυλα, οι αντιδράσεις οξυγένεσης μπορεί να είναι πολύ ταχύτερες σε υψηλές φορτίσεις, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι συγκεντρώσεις σε πτητικά λιπαρά οξέα και υδρογόνο στον αντιδραστήρα και να μειώνεται η τιμή του pH. Υψηλότερες συγκεντρώσεις υδρογόνου μπορεί να παρεμποδίσουν τη μετατροπή του προπιονικού και του βουτυρικού οξέος. Σε χαμηλότερη τιμή pH μπορεί να παρεμποδιστεί η μεθανογένεση. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι συνθήκες υψηλών παροχών και φορτίσεων απαιτείται εξισορρόπηση της ροής ή επιπλέον δυναμικότητα (Metcalf & Eddy, 2006).

-Συγκέντρωση οργανικών και θερμοκρασία:

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η ισχύς του αποβλήτου και η θερμοκρασία επηρεάζουν σημαντικά την οικονομικότητα και την αποδοτικότητα της αναερόβιας διεργασίας. Θερμοκρασίες αντιδραστήρα της τάξης των 25-35°C γενικά προτιμώνται για να επιτευχθούν βέλτιστες ταχύτητες βιολογικών αντιδράσεων και επιπλέον να εξασφαλισθεί πιο σταθερή επεξεργασία. Γενικότερα, απαιτούνται συγκεντρώσεις COD υψηλότερες των 1500-2000 mg/L για την παραγωγή επαρκών ποσοτήτων μεθανίου που θα χρησιμοποιηθούν στη θέρμανση των αποβλήτων χωρίς τη χρήση εξωτερική πηγής καυσίμου.

Σε περιπτώσεις όπου απαιτούνται υψηλότεροι SRT, η απώλεια στερεών στον αναερόβιο αντιδραστήρα μπορεί να αποτελέσει τον κρίσιμο περιοριστικό παράγοντα. Οι αναερόβιοι αντιδραστήρες γενικότερα παράγουν περισσότερα διασπαρμένα και με μικρότερη ικανότητα κροκίδωσης στερεά σε σύγκριση με τα αερόβια συστήματα, με συγκεντρώσεις TSS στην εκροή που κυμαίνονται μεταξύ 100 και 200 mg/L για τις διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας. Για αιωρούμενα απόβλητα, η συγκέντρωση των TSS στην εκροή θα περιορίσει το SRT της διεργασίας αλλά και την απόδοση επεξεργασίας. Σε αυτήν την περίπτωση λαμβάνει χώρα μικρότερη απόδοση επεξεργασίας ή ο αντιδραστήρας είναι απαραίτητο να λειτουργεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Έτσι η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την συγκράτηση των στερεών στον αναερόβιο αντιδραστήρα είναι σημαντική για τον ολικό σχεδιασμό και την απόδοση της διεργασίας (Metcalf & Eddy, 2006).

-Κλάσμα της μη διαλυμένης οργανικής ύλης:

Η σύσταση των αποβλήτων όσο αφορά τα κλάσματα των αιωρούμενων και διαλυτών συστατικών, επηρεάζει τον τύπο του αναερόβιου αντιδραστήρα που θα επιλεγεί και τον σχεδιασμό του. Απόβλητα με υψηλή συγκέντρωση σε στερεά επεξεργάζονται καταλληλότερα σε αντιδραστήρες αιωρούμενης βιομάζας από διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας με ανοδική ροή. Όταν απαιτείται μεγαλύτερη μετατροπή του αιωρούμενου

οργανικού υλικού, μπορεί να χρειάζονται μεγαλύτερες τιμές SRT αν η υδρόλυση των στερεών είναι το περιοριστικό στάδιο, σε σύγκριση με τη ζύμωση του οξέος ή τη μεθανογένεση στην αναερόβια επεξεργασία (Metcalf & Eddy, 2006).

-Θρεπτικά συστατικά:

Μολονότι στις αναερόβιες διεργασίες παράγεται λιγότερη ιλύς και συνεπώς απαιτείται λιγότερο άζωτο και φώσφορος για την ανάπτυξη της βιομάζας, αρκετά βιομηχανικά απόβλητα πιθανόν να μην περιέχουν επαρκείς ποσότητες θρεπτικών συστατικών. Επομένως, είναι πιθανόν να απαιτείται η προσθήκη αζώτου ή και φωσφόρου. Επιπλέον, για τη διατήρηση της μεθανογενετικής δραστηριότητας στο μέγιστο βαθμό, είναι επιθυμητό οι συγκεντρώσεις του αζώτου, του φωσφόρου και του θείου στην υγρή φάση να λαμβάνουν τιμές 50, 10 και 5 mg/L αντίστοιχα (Speece, 1996).

-Μικροθρεπτικά συστατικά:

Η σπουδαιότητα ιχνοστοιχείων μετάλλων για την ενεργοποίηση της λειτουργίας της μεθανογένεσης, έχει παρατηρηθεί και μελετηθεί από τον Speece (1996). Παραδείγματα με αυξημένη αναερόβια δραστηριότητα παρατηρήθηκαν μετά την προσθήκη ιχνών σιδήρου, νικελίου ή κοβαλτίου. Τα ακριβή ποσά των ιχνοστοιχείων θρεπτικών συστατικών που απαιτούνται μπορούν να ποικίλλουν για διαφορετικά απόβλητα και έτσι χρησιμοποιούνται δοκιμαστικές προσεγγίσεις έτσι ώστε να εκτιμηθεί η συνεισφορά τους σε αναερόβιες διεργασίες με υψηλή συγκέντρωση VFA (Metcalf & Eddy, 2006).

-Χρόνος παραμονής στερεών:

Ο χρόνος παραμονής των στερεών αποτελεί βασική παράμετρο σχεδιασμού και λειτουργίας των αναερόβιων διεργασιών. Γενικότερα, για αποδοτική επεξεργασία, για τις αναερόβιες διεργασίες στους 30°C απαιτούνται τιμές SRT μεγαλύτερες των 20 d, και πολύ υψηλότερες τιμές SRT σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (Metcalf & Eddy, 2006).

-Εκτίμηση της παραγωγής μεθανίου:

Τα απόβλητα μεγάλης ισχύος θα παράγουν μια σημαντική ποσότητα μεθανίου ανά όγκο επεξεργασμένου υγρού, για την παροχή μιας σχετικά υψηλής ποσότητας ενέργειας προς αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού, αν αυτό είναι απαραίτητο. Η ποσότητα του μεθανίου (CH<sub>4</sub>) που παράγεται ανά μονάδα COD που μετατρέπεται υπό αναερόβιες συνθήκες, είναι ίση με 0,35 L CH<sub>4</sub>/ g COD σε κανονικές συνθήκες (0°C και 1atm). Η ποσότητα του μεθανίου σε άλλες συνθήκες εκτός των κανονικών, προσδιορίζεται με τη χρήση του νόμου των αερίων για να προσδιοριστεί ο όγκος του αερίου που καταλαμβάνεται από 1 mole CH<sub>4</sub> στη ζητούμενη θερμοκρασία (Metcalf & Eddy, 2006).

-Απαιτούμενη απόδοση επεξεργασίας:

Οι αναερόβιες διεργασίες έχουν την ικανότητα να προσφέρουν υψηλή απόδοση μετατροπής του COD σε μεθάνιο, με ελάχιστη παραγωγή βιομάζας. Για τιμές SRT μεγαλύτερες από 20-50 d, μπορεί να επιτευχθεί η μέγιστη μετατροπή των στερεών σε θερμοκρασίες πάνω από 25°C. Ωστόσο, η υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στην εκροή (50-200mg/L) είναι συνηθισμένη στις αναερόβιες διεργασίες. Χωρίς μελέτες σε πιλοτικές μονάδες και τελικές μεθόδους για τον έλεγχο της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών στην εκροή όπως η χημική κροκίδωση, οι αναερόβιες διεργασίες από μόνες τους δεν μπορούν να πετύχουν ποιότητα εκροής δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.

Αερόβια διεργασία κάποιας μορφής, προσκολλημένης ή αιωρούμενης βιομάζας, είναι απαραίτητη για τη παροχή αποδεκτής εκροής. Για απόβλητα υψηλής ισχύος, ο συνδυασμός αναερόβιας και αερόβιας επεξεργασίας μπορεί να είναι αρκετά οικονομικός (Obayashi et al., 1981).

-Διαχωρισμός υγρού-στερεού:

Ο αποτελεσματικός διαχωρισμός υγρού στερεών μπορεί να αυξήσει την απόδοση των αναερόβιων διεργασιών. Εξαιτίας του χαμηλού συντελεστή απόδοσης στερεών που ισχύει στην αναερόβια επεξεργασία, τα περισσότερα στερεά απορρίπτονται μέσω της επεξεργασμένης εκροής και επομένως ο βαθμός συγκράτησης των στερεών επηρεάζει την τιμή SRT. Η ικανοποιητική κατακράτηση των στερεών βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα εκροής ως προς τη συγκέντρωση TSS και μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μεγαλύτερες τιμές SRT στον αναερόβιο αντιδραστήρα ώστε να αυξηθεί το επίπεδο μετατροπής του COD (Metcalf & Eddy, 2006).

-Διεργασίες πλήρους ανάμιξης:

Για τον αναερόβιο χωνευτή πλήρους ανάμειξης, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής και ο χρόνος παραμονής των στερεών είναι ίσοι ( $\tau = \text{SRT}$ ). Ο χρόνος  $\tau$  του αντιδραστήρα μπορεί να κυμαίνεται από 15 έως 30d, έτσι ώστε να εξασφαλιστούν οι παράγοντες ασφάλειας σε ικανοποιητικό βαθμό για τη λειτουργία και τη σταθερότητα της διεργασίας (Parking and Owen, 1986). Ο χωνευτής πλήρους ανάμειξης χωρίς ανακύκλωση ιλύος, είναι καταλληλότερος για απόβλητα με υψηλή συγκέντρωση στερεών ή υπερβολικά υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων οργανικών, όπου η πύκνωση των στερεών στην εκροή είναι δύσκολη, με αποτέλεσμα να είναι πιο πρακτική η λειτουργία με τα ίσα του SRT (Metcalf & Eddy, 2006).

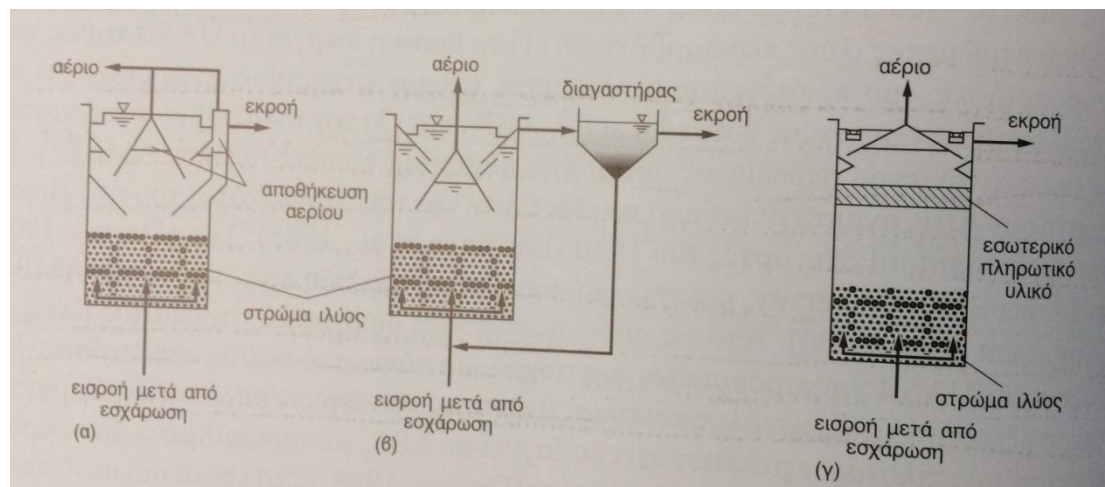
-Αναερόβιες διεργασίες στρώματος ιλύος:

Μια από τις αξιοσημείωτες εξελίξεις στην τεχνολογία της αναερόβιας επεξεργασίας, ήταν ο αντιδραστήρας ανοδικής ροής αναερόβιου στρώματος ιλύος (UASB) στα τέλη του 1970 στην Ολλανδία από τον Lettinga και τους συνεργάτες του (Lettinga and Vicken, 1980, Lettinga et al., 1980). Οι κυριότεροι τύποι των διεργασιών αναερόβιου στρώματος ιλύος περιλαμβάνουν:

1>τη βασική διεργασία UASB καθώς και τροποποιήσεις του πρωτότυπου σχεδιασμού  
2>τον αναερόβιο αντιδραστήρα με ανακλαστήρες (anaerobic baffled reactor, ABR)  
3>τον αναερόβιο αντιδραστήρα μετακινούμενου στρώματος (anaerobic migrating blanket reactor, AMBR). Η διεργασία ABR αναπτύχθηκε από τον McCarty και τους συνεργάτες του στο Πανεπιστήμιο Stanford στις αρχές του 1980 (Bachman et al., 1985). Στα τέλη του 1990 στο Iowa State University, μελέτες οδήγησαν στην εξέλιξη της διεργασίας AMBR (Angenent et al., 2000). Από τις προαναφερθέντες διεργασίες στρώματος ιλύος, η διεργασία UASB χρησιμοποιείται πιο συχνά, με πάνω από 500 εγκαταστάσεις για την επεξεργασία μιας μεγάλης ποικιλίας βιομηχανικών υγρών αποβλήτων.  
(Metcalf & Eddy, 2006)

-Διεργασία ανοδικής ροής στρώματος ιλύος:  
Ο βασικός UASB αντιδραστήρας παρουσιάζεται:

Εικόνα 1.



Όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα, τα εισερχόμενα απόβλητα διανέμονται στον πυθμένα του UASB αντιδραστήρα και μετακινούνται με ανοδική ροή μέσω του στρώματος ιλύος. Τα κρίσιμα στοιχεία στο σχεδιασμό του αντιδραστήρα UASB είναι το σύστημα διανομής της εισροής, ο διαχωριστής αερίου-στερεών, και ο σχεδιασμός απόρριψης της εκροής. Οι τροποποιήσεις στο βασικό σχεδιασμό του αντιδραστήρα UASB, περιλαμβάνουν την προσθήκη δεξαμενής καθίζησης ή τη χρήση πληρωτικού υλικού στην κορυφή του αντιδραστήρα. Και οι δύο τροποποιήσεις έχουν σκοπό να εξασφαλίσουν την καλύτερη συγκράτηση των στερεών στο σύστημα, αλλά και να αποτρέψουν την απώλεια της διεργασίας ή αλλαγών στην πυκνότητα και στα χαρακτηριστικά του στρώματος ιλύος στον UASB. Η χρήση ενός εξωτερικού συστήματος κατακράτησης στερεών για να αποτραπεί η απώλεια βιομάζας από το σύστημα, προτείνεται από τον Sreece (1996).

Το χαρακτηριστικό μέγεθος της διεργασίας UASB, το οποίο επιτρέπει τη χρήση υψηλών ογκομετρικών φορτίσεων COD σε σύγκριση με άλλες αναερόβιες διεργασίες, είναι η ανάπτυξη πυκνής λάσπης σε μορφή κόκκων. Λόγω του σχηματισμού κροκίδων ιλύος με μορφή κόκκων, η συγκέντρωση των στερεών μπορεί να κυμαίνεται από 50-100 g/L στον πυθμένα του αντιδραστήρα και 5-40 g/L σε μια περισσότερο διάχυτη ζώνη στην κορυφή του στρώματος ιλύος του UASB. Τα σωματίδια της κοκκώδους λάσπης έχουν ένα μέγεθος που κυμαίνεται μεταξύ 1,0 και 3,0 mm. Είναι πιθανό να απαιτούνται αρκετοί μήνες για την ανάπτυξη κοκκώδους ιλύος και συχνά η αρχική λάσπη τροφοδοτείται από άλλες εγκαταστάσεις για να επιταχυνθεί η εκκίνηση του συστήματος.

Η ανάπτυξη της κοκκώδους ιλύος επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων. Η δημιουργία κόκκων είναι πολύ ικανοποιητική με απόβλητα υψηλών υδατανθράκων και σακχάρων αλλά λιγότερο ικανοποιητική με απόβλητα υψηλά σε πρωτεΐνη, με αποτέλεσμα το σχηματισμό πιο ελαφρών και διογκωμένων κροκίδων (Thaveesri et al., 1994). Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη της ιλύος σε μορφή κόκκων είναι η τιμή του pH, η ταχύτητα ανόδου και η προσθήκη θρεπτικών συστατικών (annachhatre, 1996). Η τιμή του pH πρέπει να διατηρείται κοντά στο 7,0 και ένας προτεινόμενος λόγος COD:N:P κατά τη διάρκεια της εκκίνησης είναι 300:5:1, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας χαμηλότερος λόγος 600:5:1 κατά τη λειτουργία σε σταθερές συνθήκες. Κατά τη διάρκεια εκκίνησης προτείνεται ο έλεγχος της ταχύτητας ανόδου και η

ρύθμιση της σε επαρκή υψηλή τιμή για την απομάκρυνση της μη κροκιδωμένης ιλύος.

Η παρουσία άλλων αιωρούμενων στερεών στο στρώμα ιλύος μπορεί επίσης να αναστείλει το σχηματισμό πυκνής κοκκώδους ιλύος (Letting and Hulstoft,1991). Μια εξήγηση των βασικών μεταβολικών συνθηκών που σχετίζονται με το σχηματισμό κοκκώδους ιλύος δίνεται από τον Sreece (1996) ο οποίος βασίστηκε στις εργασίες των Palns et al. (1987, 1990). Η εξήγηση είναι η ακόλουθη: ο σχηματισμός πυκνών κροκιδών ιλύος με μορφή κόκκων ευνοείται σε συνθήκες ουδέτερου pH, σε συνθήκες εμβολικής υδραυλικής ροής, σε ζώνη με υψηλή μερική πίεση υδρογόνου, σε απεριόριστη παροχή  $\text{NH}_4\text{-N}$  και σε περιορισμένη ποσότητα του αμινοξέος κυστεΐνη (Metcalf & Eddy,2006).

-Παράγοντες σχεδιασμού για τη διεργασία UASB:

Μια συνοπτική ανασκόπηση των παραγόντων σχεδιασμού για τους αντιδραστήρες UASB δίνεται στο Letting and Hulshoff (1991). Οι σημαντικοί παράγοντες σχεδιασμού είναι:

1>τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων όσον αφορά τη σύνθεση και το περιεχόμενο σε στερεά.

2>η ογκομετρική φόρτιση οργανικών.

3>η ταχύτητα ανόδου.

4>ο όγκος του αντιδραστήρα.

5>τα φυσικά χαρακτηριστικά συμπεριλαμβανομένου του συστήματος διανομής της εισροής.

6>το σύστημα συλλογής του αερίου.

(Metcalf & Eddy,2006)

-Χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων:

Σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα απόβλητα που περιέχουν ουσίες οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς τη δημιουργία κόκκων ιλύος, να προκαλέσουν αφρισμό ή το σχηματισμό στερεών που επιπλέουν (scum). Απόβλητα με μεγαλύτερη συγκέντρωση σε πρωτεΐνες ή/ και λίπη, τείνουν να δημιουργήσουν προβλήματα όπως αυτά που προαναφέρθηκαν. Το κλάσμα του αιωρούμενου ως προς το διαλυτό COD είναι σημαντικό για τον προσδιορισμό των φορτίσεων στο σχεδιασμό αντιδραστήρων UASB και για τον προσδιορισμό της δυνατότητας εφαρμογής της διεργασίας. Όταν το κλάσμα των στερεών στα απόβλητα αυξάνεται, η ικανότητα σχηματισμού πυκνής κοκκώδους ιλύος μειώνεται (Metcalf & Eddy,2006).

-Ογκομετρικές φορτίσεις οργανικών:

Με την χρήση αντιδραστήρων UASB έχουν επιτευχθεί αποδόσεις απομάκρυνσης COD της τάξης του 90-95%, για διάφορα απόβλητα στους 30-35°C και για φορτίσεις COD που κυμαινόταν μεταξύ 12 και 20 kg COD/m<sup>3</sup>\*d. Οι τιμές του τ σε απόβλητα υψηλής ισχύος ήταν χαμηλές της τάξης των 4-8h για τις συγκεκριμένες φορτίσεις. Όταν είναι αποδεκτές υψηλότερες συγκεντρώσεις εκροής TSS και απομακρύνσεις COD μικρότερες του 90% μπορούν να χρησιμοποιηθούν υψηλότερες ταχύτητες ανόδου, οι οποίες θα αναπτύξουν μια περισσότερο πυκνή κοκκώδη ιλύ παρασύροντας τα άλλα στερεά. Επομένως, σε αυτές τις συνθήκες εμφανίζονται οι υψηλότερες ογκομετρικές φορτίσεις COD. Η υψηλότερη φόρτιση που προτείνεται για απόβλητα που περιέχουν κυρίως πτητικά λιπαρά οξέα (VFA), βασίζεται στην πιθανότητα να ληφθεί μια περισσότερο πυκνή κοκκώδης ιλύς (Metcalf & Eddy,2006).

#### -Ταχύτητα ανόδου:

Η ταχύτητα ανόδου, η οποία βασίζεται στην παροχή και την επιφάνεια του αντιδραστήρα, αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρο σχεδιασμού. Προσωρινές επιφανειακές ταχύτητες αιχμής της τάξης των 6m/h και 2m/h επιτρέπονται για διαλυτά και μερικώς διαλυτά απόβλητα, αντίστοιχα. Για ασθενέστερα απόβλητα, η επιτρεπτή ταχύτητα και το ύψος του αντιδραστήρα θα καθορίσουν τον όγκο του UASB αντιδραστήρα ενώ για πιο ισχυρά απόβλητα θα καθοριστεί από την ογκομετρική φόρτιση COD. Η ταχύτητα ανόδου ισούται με τον ρυθμό τροφοδοσίας προς την επιφάνεια εγκάρσιας διατομής του αντιδραστήρα με τη σχέση:  $u=Q/A$  (Metcalf & Eddy, 2006).

#### -Όγκος αντιδραστήρα και διαστάσεις:

Για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου όγκου αντιδραστήρα και των διαστάσεων του, πρέπει να ληφθούν υπόψη η ογκομετρική φόρτιση, η επιφανειακή ταχύτητα και ο ωφέλιμος όγκος επεξεργασίας. Ο ωφέλιμος όγκος επεξεργασίας είναι ο όγκος που καταλαμβάνεται από το στρώμα ιλύος και την ενεργή βιομάζα. Ένας επιπλέον όγκος υπάρχει μεταξύ του ωφέλιμου όγκου και της μονάδας συλλογής αερίου, όπου επιτυγχάνεται ένας επιπρόσθετος διαχωρισμός στερεών και αραιώνεται η βιομάζα. Ο ονομαστικός υγρός όγκος του αντιδραστήρα που βασίζεται στη χρήση μιας αποδεκτής φόρτισης οργανικών, δίνεται από:  $V_n=QS_o/L_{org}$ .

Για τον προσδιορισμό του ολικού υγρού όγκου κάτω από τους συλλέκτες αερίου, χρησιμοποιείται ένας συντελεστής αποδοτικότητας, ο οποίος είναι το κλάσμα που καταλαμβάνεται από το στρώμα ιλύος. Λαμβάνοντας υπόψη τον συντελεστή αποδοτικότητας ο οποίος μπορεί να κυμαίνεται από 0,8-0,9, ο απαιτούμενος ολικός όγκος του υγρού αντιδραστήρα, εξαιρούμενης της επιφάνειας αποθήκευσης του αερίου, δίνεται από τη σχέση:  $V_l=V_n/E$ .

Αναδιατάσσοντας την εξίσωση υπολογισμού της ταχύτητας ανόδου καταλήγουμε στην εξίσωση υπολογισμού της επιφάνειας του αντιδραστήρα:

$$A=Q/u$$

Το ύψος του υγρού του αντιδραστήρα προσδιορίζεται με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης:  $H_l=V_l/A$ .

Ο όγκος συλλογής αερίου είναι επιπλέον του όγκου του αντιδραστήρα και προσδίδει ένα επιπρόσθετο ύψος 2,5-3 m. Έτσι, το ολικό ύψος του αντιδραστήρα είναι :

$$H_T=H_l + H_G$$

(Metcalf & Eddy, 2006)

#### -Φυσικά χαρακτηριστικά:

Τα κυριότερα φυσικά χαρακτηριστικά που απαιτούν προσεκτική μελέτη, είναι η διάταξη εισόδου της τροφοδοσίας, ο διαχωρισμός αερίου, η συλλογή αερίου και η διάταξη εξόδου της εκροής. Ο σχεδιασμός της διάταξης εισόδου της τροφοδοσίας και του διαχωρισμού του αερίου είναι μοναδικός στον αντιδραστήρα UASB. Η διάταξη εισόδου της τροφοδοσίας πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να εξασφαλιστεί ομοιόμορφη κατανομή αλλά και να αποφευχθεί ο σχηματισμός καναλιών ή ο σχηματισμός νεκρών ζωνών. Η αποφυγή του σχηματισμού καναλιών είναι κρίσιμότερη για τα ασθενέστερα απόβλητα, καθώς σε αυτή την περίπτωση θα ήταν μικρότερη παραγωγή του αερίου η οποία υποβοηθά την ανάμιξη του στρώματος ιλύος. Χρησιμοποιείται ένας αριθμός σωλήνων εισόδου της τροφοδοσίας από μία κοινή πηγή τροφοδοσίας για να κατευθύνει τη ροή σε διαφορετικές περιοχές του

πυθμένα του αντιδραστήρα UASB. Πρέπει να εξασφαλίζεται πρόσβαση για τον καθαρισμό των σωλήνων σε περίπτωση έμφραξης τους (Metcalf & Eddy, 2006).

-Συλλογή αερίου και διαχωρισμός στερεών:

Ο διαχωριστής αερίου- στερεών (Gas Solids Separator, GSS) σχεδιάζεται για να συλλέγει το βιοαέριο, να μην επιτρέπει την παράσυρση των στερεών, να προωθεί διαχωρισμό των στερεών σωματιδίων και του αερίου, να επιτρέπει την επιστροφή των στερεών μέσα στη ζώνη του στρώματος ιλύος και να βοηθά στη βελτίωση της απομάκρυνσης των στερεών από το ρεύμα εκροής. Μια σειρά από ανεστραμμένους ανακλαστήρες σχήματος V, χρησιμοποιούνται δίπλα από τους υπερχειλιστές εκροής, ώστε να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι (Metcalf & Eddy, 2006).

#### **4.4 Επεξεργασία, επαναχρησιμοποίηση και διάθεση των στερεών και βιοστερεών:**

Τα συστατικά που απομακρύνονται από τις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν εσχαρίσματα, άμμο, επιπλέοντα, στερεά και βιοστερεά. Τα στερεά και τα βιοστερεά (παλιότερα ονομάζονταν με μια λέξη ιλύς), που προέρχονται από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων έχουν συνήθως τη μορφή υγρού ή ημιστερεού υγρού, το οποίο περιέχει συνήθως από 0,25 μέχρι 12% στερεά κατά βάρος, ανάλογα με τις διεργασίες που χρησιμοποιούνται. Ο όρος ιλύς ή λάσπη (sludge) χρησιμοποιείται πριν επιτευχθούν τα κριτήρια ωφέλιμης χρήσης. Ο όρος ιλύς χρησιμοποιείται συνήθως κατά την περιγραφή μιας διαδικασίας, όπως για παράδειγμα πρωτοβάθμια ιλύς, απομακρυνόμενη ιλύς και δευτεροβάθμια ιλύς. Όταν υπάρχει αμφιβολία για το αν έχουν επιτευχθεί ή όχι τα κριτήρια ωφέλιμης χρήσης, χρησιμοποιείται ο όρος στερεά (Metcalf & Eddy, 2006).

-Προέλευση στερεών, χαρακτηριστικά και ποσότητες:

Για να σχεδιαστούν κατάλληλα οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας και διάθεσης στερεών θα πρέπει να είναι γνωστή η προέλευση, τα χαρακτηριστικά και οι ποσότητες των στερεών (Metcalf & Eddy, 2006).

-Προέλευση:

Η προέλευση των στερεών σε μια μονάδα επεξεργασίας διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της μονάδας και τον τρόπο λειτουργίας. Για παράδειγμα, αν κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας ενεργού ιλύος πλήρους ανάμιξης η απομάκρυνση των στερεών γίνεται από ρεύμα μικτού υγρού ή από δεξαμενή αερισμού, η δεξαμενή καθίζησης της ενεργού ιλύος δεν αποτελεί πηγή στερεών. Όταν όμως η απομάκρυνση της ιλύος γίνεται από ρεύμα ανακυκλοφορίας ενεργού ιλύος η δεξαμενή καθίζησης ενεργού ιλύος αποτελεί πηγή στερεών (Metcalf & Eddy, 2006).

-Διακυμάνσεις ποσότητας:

Η ποσότητα των στερεών που εισέρχονται καθημερινά στη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αναμένεται να έχει μεγάλο εύρος διακύμανσης. Για να αντιμετωπιστούν οι διακυμάνσεις της ποσότητας των στερεών θα πρέπει κατά τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων να λαμβάνονται υπόψη:

1>ο μέσος και ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής στερεών.

2>η δυνητική αποθηκευτική ικανότητα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας.  
(Metcalf & Eddy,2006)

-Σχέση όγκου-μάζας:

Ο όγκος της ιλύος εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα της σε νερό και λιγότερο από το είδος της στερεάς ουσίας. Για παράδειγμα ιλύς 10% περιέχει 90% νερό κατά βάρος. Έτσι, εάν το ένα τρίτο των στερεών της ιλύος που περιέχει 90% νερό είναι σταθερά ανόργανα στερεά με σχετική πυκνότητα 2,5 και τα 2/3 είναι πτητικά στερεά με σχετική πυκνότητα 1,0, τότε η σχετική πυκνότητα του μίγματος των στερεών  $S_s$  είναι ίσο με 1,25. Εάν η σχετική πυκνότητα του νερού είναι 1,0 τότε η σχετική πυκνότητα της ιλύος  $S_{s1}$  είναι 1,02. Ο όγκος της ιλύος δίνεται από την σχέση:

$V = M_s / \rho_w S_{s1} P_s$ , όπου:

$V$ =όγκος,  $m^3$

$M_s$ =μάζα ξηρών στερεών, kg

$\rho_w$ =ειδικό βάρος νερού,  $10^3 \text{ kg/m}^3$

$S_{s1}$ =σχετική πυκνότητα ιλύος

$P_s$ =ποσοστό στερεών εκφρασμένο ως δεκαδικός

(Metcalf & Eddy,2006)

-Αποτέφρωση:

Οι κανονισμοί 40 CFR Part 503 θέτουν απαιτήσεις για τους αποτεφρωτήρες μόνο βιοστερεών των υγρών αποβλήτων. Οι απαιτήσεις αφορούν τα στερεά που τροφοδοτούν τον αποτεφρωτήρα και τον ίδιο τον κλίβανο, τη λειτουργία του κλιβάνου και τα αέρια που εκλύονται από την καμινάδα. Οι κανονισμοί περιορίζουν έμμεσα εκπομπές βαρέων μετάλλων και άμεσα εκπομπές υδρογονανθράκων από την καμινάδα. Για τα στερεά που τροφοδοτούν τον αποτεφρωτή καθορίζονται όρια ρυπαντών. Απαιτείται επίσης έλεγχος, παρακολούθηση και καταγραφή (Metcalf & Eddy,2006).

-Εφαρμογή:

Η μείωση του όγκου της ιλύος με την πάχυνση είναι ωφέλιμη για διεργασίες που ακολουθούν όπως η χώνευση, η αφυδάτωση, η ξήρανση και η καύση αν πάρουμε υπόψη μας τα εξής:

1>τη χωρητικότητα των δεξαμενών και του απαραίτητου εξοπλισμού.

2>την ποσότητα των χημικών που χρειάζονται για τη βελτίωση της ιλύος.

3>την ποσότητα της θερμότητας που χρειάζεται από τους χωνευτές και την ποσότητα των βοηθητικών καυσίμων που χρειάζονται για την θερμική ξήρανση ή την αποτέφρωση ή και για τα δύο.

(Metcalf & Eddy,2006)

-Πάχυνση με φυγόκεντρο:

Οι διατάξεις φυγοκέντρωσης χρησιμοποιούνται τόσο για την πάχυνση όσο και για την αφυδάτωση της ιλύος. Η χρήση τους για πάχυνση περιορίζεται συνήθως στην απομακρυνόμενη ιλύ. Η πάχυνση με φυγοκέντρωση περιλαμβάνει την καθίζηση των σωματιδίων ιλύος υπό την επίδραση φυγόκεντρων δυνάμεων. Ο βασικός τύπος διάταξης φυγοκέντρωσης που χρησιμοποιείται για πάχυνση ιλύος είναι η διάταξη φυγοκέντρωσης με περιστρεφόμενο κύλινδρο.

Η διάταξη φυγοκέντρωσης με περιστρεφόμενο κύλινδρο αποτελείται από μακρύ κύλινδρο, που λεπταίνει στην άκρη και τοποθετείται συνήθως οριζόντια. Η ιλύς εισρέει συνεχώς στη μονάδα και τα στερεά συγκεντρώνονται στην περιφέρεια. Στο εσωτερικό υπάρχει ένας ελικοειδής μεταφορέας που περιστρέφεται με μικρή διαφορά ταχύτητας και μεταφέρει τα συγκεντρωμένα στερεά προς την λεπτυσμένη άκρη, όπου συμβαίνει επιπλέον συγκέντρωση στερεών και η παχυμένη ιλύς εκκενώνεται.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η πάχυνση μπορεί να επιτευχθεί με φυγοκέντρωση χωρίς πρόσθετα πολυμερή. Η συντήρηση και τα ενεργειακά έξοδα μπορεί να είναι σημαντικά. Για το λόγο αυτό, η διεργασία είναι ελκυστική μόνο για εγκαταστάσεις μεγαλύτερες από  $0,2\text{m}^3/\text{s}$ , όπου ο χώρος είναι περιορισμένος και υπάρχουν κατάλληλα εκπαιδευμένοι χειριστές ή για ιλύ που είναι δύσκολο να υποστεί πάχυνση με πιο συμβατικά μέσα. Πολλά συστήματα φυγοκέντρωσης σχεδιάζονται με συστήματα πολυμερών που βρίσκονται σε ετοιμότητα για χρήση όταν πρέπει να βελτιωθεί η απόδοση του συστήματος. Η δόση των πολυμερών για πάχυνση απομακρυνόμενης ιλύος κυμαίνεται από 0 μέχρι 4 kg ξηρών πολυμερών ανά Mg ξηρών στερεών.

Η απόδοση των διατάξεων φυγοκέντρωσης ποσοτικοποιείται από τη συγκέντρωση που επιτυγχάνεται στα παραγόμενα στερεά και από την ανάκτηση των TSS (που ονομάζεται και «σύλληψη»).

Για σταθερή συγκέντρωση τροφοδοσίας, το ποσοστό ανάκτησης αυξάνει καθώς μειώνεται η συγκέντρωση των στερεών στο προϊόν φυγοκέντρωσης. Για τη συγκέντρωση στερεών ιλύος η ανάκτηση είναι σημαντική γιατί υψηλή ανάκτηση σημαίνει ότι μικρότερη ποσότητα βιοαποικοδομήσιμων στερεών ανακυκλοφορούνται στη διεργασία επεξεργασίας.

Οι κύριες λειτουργικές μεταβλητές περιλαμβάνουν:

- 1>χαρακτηριστικά της ιλύος τροφοδοσίας (η δομή κατακράτησης νερού που έχει και ο δείκτης όγκου ιλύος).
- 2>ταχύτητα περιστροφής.
- 3>ρυθμό υδραυλικού φορτίου.
- 4>βάθος στρώματος υγρού στον κύλινδρο.
- 5>διαφορική ταχύτητα του κοχλιόδρομου.
- 6>ανάγκη πολυμερών για βελτίωση της απόδοσης.

Λόγω της διαφορετικής αλληλοσυσχέτισης αυτών των μεταβλητών σε κάθε τοποθεσία, δεν υπάρχουν διαθέσιμες προτάσεις ειδικού σχεδιασμού. Στην πραγματικότητα συνιστάται να γίνουν δοκιμές εργαστηριακής κλίμακας ή πιλοτικές δοκιμές (Metcalf & Eddy, 2006).

-Τύμπανα φυγοκέντρωσης στερεών:

Στο τύμπανο των στερεών, η ιλύς τροφοδοτείται με μια σταθερή παροχή σε ένα περιστρεφόμενο τύμπανο, όπου ξεχωρίζει σε μια πυκνή αφυδατωμένη ιλύ που περιέχει τα στερεά και σε ένα διαλυτό ρεύμα που καλείται προϊόν φυγοκέντρωσης. Η αφυδατωμένη ιλύς, που περιέχει περίπου 79 έως 80% υγρασία, αποβάλλεται από το τύμπανο διαμέσου ενός βυδωτού τροφοδότη σε μια χοάνη ή σε μια ταινία μεταφοράς. Βάσει του τύπου της ιλύος, η συγκέντρωση των στερεών στην αφυδατωμένη ιλύ ποικίλλει γενικά σε ένα εύρος από 10 έως 30%. Συγκεντρώσεις της αφυδατωμένης ιλύος επάνω από 25% είναι επιθυμητές για τη διάθεση σε αποτέφρωση ή τη μεταφορά σε ένα χώρο υγειονομικής ταφής.

Τα τύμπανα φυγοκέντρωσης των στερεών είναι κατάλληλα γενικά για μια ποικιλία εφαρμογών αφυδάτωσης. Οι μονάδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αφυδατώσουν

ιλύ και βιοστερεά χωρίς προηγούμενη χημική βελτίωση, αλλά η παγίδευση των στερεών και η ποιότητα του προϊόντος της φυγοκέντρωσης βελτιώνονται σημαντικά όταν τα στερεά βελτιώνονται με πολυμερή. Τα χημικά για τη βελτίωση προστίθενται στη γραμμή τροφοδοσίας της ιλύος ή στην ιλύ εντός του τυμπάνου της φυγοκέντρωσης. Οι ρυθμοί δοσολογίας για τη βελτίωση με πολυμερή ποικίλλουν από 1,0 έως 7,5 kg/10<sup>3</sup>kg της ιλύος σε (ξηρή βάση) (Metcalf & Eddy,2006).

-Στοιχεία για το σχεδιασμό:

Οι δύο βασικοί τύποι των σχεδιασμών των φυγοκεντρητών που χρησιμοποιούνται είναι:

1>αντίστροφης ροής.

2>ομόρροης ροής.

Η κύρια διαφορά στους σχεδιασμούς είναι η τοποθεσία των θυρών τροφοδοσίας της ιλύος, η απομάκρυνση του προϊόντος της φυγοκέντρωσης, και των προτύπων εσωτερικής ροής των υγρών και στερεών φάσεων. Στο σχεδιασμό αντίστροφης ροής η τροφοδοσία της ιλύος γίνεται στην ένωση της κυλινδρικής κωνικής τομής τα στερεά ταξιδεύουν στο τέλος του κώνου ενώ η υγρή φάση κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Στο σχεδιασμό ομόρροης, η στερεή φάση μετακινείται σε όλο το μήκος του τυμπάνου όπως κάνει η υγρή φάση (WEF,1998).

Οι μεταβλητές της διεργασίας που επηρεάζουν την απόδοση της φυγοκέντρωσης, όπως μετράται με τα στερεά της αφυδατωμένης ιλύος και την ανάκτηση των TSS, περιλαμβάνουν την παροχή τροφοδοσίας, την ταχύτητα περιστροφής, τη διαφορική ταχύτητα του σπινάλ, το βάθος της ζώνης καθίζησης, τη χρήση χημικών και τις φυσικοχημικές ιδιότητες των αιωρούμενων στερεών και του αιωρούμενου υγρού. Σημαντικές ιδιότητες είναι το μέγεθος του σωματιδίου και το σχήμα, η πυκνότητα των σωματιδίων, η θερμοκρασία και το ιξώδες του υγρού. Η επιλογή των μονάδων του σχεδιασμού της εγκατάστασης εξαρτάται από τα δεδομένα απόδοσης και τη βαθμονόμηση του κατασκευαστή. Οι ιλύες των υγρών αποβλήτων από θεωρητικά παρόμοιες διεργασίες επεξεργασίας αλλά από διαφορετικές τοποθεσίες μπορεί να διαφέρουν αξιοσημείωτα μεταξύ τους. Για αυτό το λόγο, θα πρέπει να γίνονται πιλοτικές δοκιμές των εγκαταστάσεων εφόσον είναι δυνατό πριν από τη λήψη των τελικών αποφάσεων.

Η επιφάνεια που απαιτείται για μια εγκατάσταση φυγοκέντρωση είναι λιγότερη από αυτή που απαιτείται από άλλες συσκευές αφυδάτωσης ίδιας ικανότητας και το αρχικό κόστος είναι χαμηλότερο. Τα υψηλά κόστη ισχύος θα επιβαρύνουν μερικώς το αρχικό χαμηλό κόστος. Ειδική προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην παροχή γερών θεμελίων και ηχομόνωσης λόγω της δόνησης και του θορύβου που είναι αποτέλεσμα της λειτουργίας της φυγοκέντρωσης. Απαιτείται μια πηγή επαρκούς ηλεκτρικής ισχύος για τις μεγάλες μηχανές που χρησιμοποιούνται.

Επειδή οι μηχανές φυγοκέντρωσης είναι κλειστές, ο περιορισμός της παραγωγής των οσμών είναι καλύτερος σε σύγκριση με τους άλλους τύπους των συστημάτων αφυδάτωσης. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να παρέχεται εξαερισμός στη διάταξη της φυγοκέντρωσης για τον έλεγχο των οσμών και τη συσσώρευση της υγρασίας (Metcalf & Eddy,2006).

-Ξήρανση με θερμότητα:

Η ξήρανση με θερμότητα περιλαμβάνει την εφαρμογή θερμότητας για την εξάτμιση του νερού και τη μείωση της περιεχόμενης υγρασίας των βιοστερεών κάτω από αυτή που επιτυγχάνεται με τις συμβατικές μεθόδους αφυδάτωσης. Τα πλεονεκτήματα της ξήρανσης

με θερμότητα περιλαμβάνουν το μειωμένο κόστος μεταφοράς, την περαιτέρω μείωση των παθογόνων, τη βελτιωμένη ικανότητα αποθήκευσης και την εμπορευσιμότητα (WEF,1998)

-Μέθοδοι μεταφοράς θερμότητας:

Η ταξινόμηση των ξηραντήρων βασίζεται στην κυρίαρχη μέθοδο μεταφοράς θερμότητας στα υγρά στερεά. Οι μέθοδοι είναι με μεταφορά, με αγωγή και με ακτινοβολία ή με συνδυασμό αυτών. Οι ξηραντήρες που χρησιμοποιούν υπέρυθρη ακτινοβολία είναι σχετικά καινούργιοι και έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως για δοκιμές επίδειξης. Στην εγκατάσταση μελέτης μας χρησιμοποιείται ξηραντήρας μεταφοράς θερμότητας με αγωγή με χρήση διαθερμικού λαδιού (Metcalf & Eddy,2006).

-Αγωγή:

Στα συστήματα ξήρανσης με αγωγή (έμμεση), ένας τοίχος παρακράτησης των στερεών ξεχωρίζει την υγρή ιλύ από το μέσο μεταφοράς θερμότητας, συνήθως ατμό ή κάποιο άλλο ζεστό ρευστό. Η μεταφορά θερμότητας για την αγωγή προσδιορίζεται από την επόμενη εξίσωση (Αμερικάνικο EPA, 1979 WEF, 1998):

$q_{conv}=h_{conv}A(T_m-T_s)$ , όπου:

$q_{conv}$ =ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με αγωγή, (kJ/h).

$h_{conv}$ =ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με αγωγή, (kJ/m<sup>2</sup>h °C).

$A$ =η περιοχή της υγρής επιφάνειας που είναι εκτεθειμένη στο αέριο, (m<sup>2</sup>).

$T_m$ =η θερμοκρασία του μέσου θέρμανσης, (°C).

$T_s$ = η θερμοκρασία της ιλύος στην επιφάνεια ξήρανσης, (°C).

-Περιγραφή της διεργασίας:

Οι ξηραντήρες με θερμότητα ταξινομούνται ως ακολούθως: άμεσοι, έμμεσοι, συνδυασμένοι άμεσοι-έμμεσοι και υπέρυθροι. Κάρβουνο, λάδι, αέριο και υπέρυθρη ακτινοβολία ή ιλύς που έχει υποστεί ξήρανση μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσα για την παροχή ενέργειας για τη ξήρανση με θερμότητα (Metcalf & Eddy,2006).

-Άμεσοι ξηραντήρες:

Οι άμεσοι ξηραντήρες (με μεταφορά) που έχουν χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση της ιλύος των αστικών υγρών αποβλήτων είναι ο άμεσος ξηραντήρας, ο περιστρεφόμενος ξηραντήρας και ο ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης. Οι περιστρεφόμενοι ξηραντήρες χρησιμοποιούνται για μια ποικιλία βιομηχανικών εφαρμογών και για μια πιο περιορισμένη εφαρμογή σε ιλύες από αστικά υγρά απόβλητα (Metcalf & Eddy,2006).

-Περιστρεφόμενος ξηραντήρας:

Οι περιστρεφόμενοι ξηραντήρες έχουν χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση της ανεπεξέργαστης πρωτοβάθμιας ιλύος, την περίσσεια της ενεργού ιλύος και των χωνεμένων πρωτοβάθμιων βιοστερεών. Ένας περιστρεφόμενος ξηραντήρας αποτελείται από ένα κυλινδρικό ατσάλινο κέλυφος που περιστρέφεται σε έδρανα και συνήθως είναι τοποθετημένος με τους άξονες του με μια ελαφριά κλίση από το οριζόντιο επίπεδο. Η τροφοδοτούμενη ιλύς αναμιγνύεται με αφυδατωμένη ιλύ που έχει υποστεί ξήρανση προηγουμένως σε ένα αναδευτήρα που είναι τοποθετημένος πριν από τον ξηραντήρα. Η αναμιγμένη τροφοδοσία της ιλύος έχει μια περιεχόμενη υγρασία περίπου 65% που βελτιώνει την ικανότητα της να μετακινηθεί διαμέσου του ξηραντήρα χωρίς να κολλάει. Το

μίγμα και τα ζεστά αέρια μεταφέρονται στην αποβολή του ξηραντήρα. Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς αξονικά πτερύγια κατά μήκος των εσωτερικών τοιχίων του περιστρεφόμενου κελύφους παραλαμβάνουν και ρίχνουν την ιλύ διαμέσου του ξηραντήρα. Το προϊόν που έχει ξηρανθεί είναι εύκολο στο χειρισμό, την αποθήκευση και την πώληση ως λίπασμα ή εδαφοβελτιωτικό (Metcalf & Eddy, 2006).

-Μεταφορά και αποθήκευση του προϊόντος:

Παρόλο που το κοκκώδες υλικό από την ξήρανση με θερμότητα είναι αρκετά ανθεκτικό, θα πρέπει να αποφεύγονται οι μακριοί μεταφορείς που δημιουργούν μια λειαντική δράση όπως βιδωτοί και οι συρόμενοι μεταφορείς. Επίσης, η χρήση των πνευματικών και οι πυκνής-φάσης πνευματικοί μεταφορείς μπορεί να είναι πολύ τραχείς και να προκαλέσουν θρυμματισμό και σχηματισμό σκόνης. Οι προτιμώμενες επιλογές μπορεί να είναι ανοικτού τύπου ή οι μεταφορείς που διπλώνονται. Στην έξοδο του ξηραντήρα, τα ζεστά βιοστερεά θα πρέπει να ψύχονται κάτω από τους 50 °C πριν από την τοποθέτηση σε σιλό ή σε δοχεία αποθήκευσης (Metcalf & Eddy, 2006).

-Αποτέφρωση:

Η αποτέφρωση της ιλύος περιλαμβάνει την ολική μετατροπή των οργανικών στερεών σε οξειδωμένα τελικά προϊόντα, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, νερό και τέφρα. Τα κύρια πλεονεκτήματα της αποτέφρωσης είναι:

1>η μέγιστη μείωση του όγκου και συνεπώς η μείωση των απαιτήσεων διάθεσης.

2>η καταστροφή των παθογόνων και των τοξικών ενώσεων.

3>το δυναμικό ανάκτησης ενέργειας (αμερικάνικο EPA, 1985a).

Τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν:

1>το υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας.

2>το υψηλά απαιτούμενο εξειδικευμένο προσωπικό λειτουργίας και συντήρησης.

3>τα υπολείμματα που παράγονται (αέριας εκπομπές και τέφρα) μπορεί να έχουν δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

4>τη διάθεση των υπολειμμάτων, τα οποία μπορούν να ταξινομηθούν ως τοξικά απόβλητα, εάν υπερβαίνουν τις προδιαγραφμένες μέγιστες συγκεντρώσεις ρυπαντών.

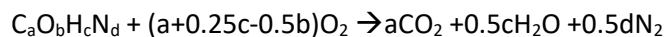
Η αποτέφρωση χρησιμοποιείται συνήθως από εγκαταστάσεις μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους με περιορισμένες επιλογές διάθεσης.

Οι ιλύες που παράγονται από την αποτέφρωση είναι συνήθως αποτεφρωμένες, ανεπεξέργαστες ιλύες. Κανονικά είναι μη αναγκαία η σταθεροποίηση της ιλύος πριν από την αποτέφρωση. Ουσιαστικά, μια τέτοια πρακτική θα μπορούσε να είναι καταστρεπτική επειδή η σταθεροποίηση, ειδικά η αερόβια και αναερόβια χώνευση, μειώνει το περιεχόμενο των πτητικών της ιλύος και συνεπώς αυξάνει την απαίτηση ενός βοηθητικού καυσίμου. Οι ιλύες μπορούν να αποτεφρωθούν χωριστά ή σε συνδυασμό με τα αστικά στερεά απόβλητα (Metcalf & Eddy, 2006).

-Θεμελιώδη στοιχεία της πλήρους καύσης:

Η καύση είναι η γρήγορη εξώθερμη οξείδωση των εύφλεκτων στοιχείων του καυσίμου. Η αποτέφρωση είναι η πλήρης καύση. Τα κυρίαρχα στοιχεία στους υδρογονάνθρακες, στα λίπη και στις πρωτεΐνες που αποτελούν την οργανική ύλη της ιλύος είναι ο άνθρακας, το οξυγόνο, το υδρογόνο και το άζωτο (C-O-H-N). Τα ποσοστά αυτών μπορούν να προσδιοριστούν στο εργαστήριο με μια τεχνική που είναι γνωστή ως τελική ανάλυση.

Οι απαιτήσεις σε οξυγόνο για την πλήρη καύση ενός υλικού μπορούν να προσδιοριστούν από τη γνώση των συστατικών του, υποθέτοντας ότι ο άνθρακας και το υδρογόνο οξειδώνονται στα τελικά προϊόντα CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O. Ο τύπος γίνεται:



Η θεωρητική ποσότητα του απαιτούμενου αέρα θα είναι 4,35 φορές της υπολογισμένης ποσότητας του οξυγόνου, επειδή ο αέρας αποτελείται από 23% οξυγόνο σε επίπεδο μάζας. Για να διασφαλισθεί η πλήρη καύση, θα απαιτηθεί επιπλέον αέρας σε 50% του θεωρητικού ποσού. Θα πρέπει να γίνει ισοζύγιο των υλικών που θα περιλαμβάνει τις ανωτέρω ενώσεις και τις ανόργανες ουσίες της ιλύος, όπως τα αδρανή υλικά και η υγρασία του αέρα. Η ειδική υγρασία αυτών των ουσιών και των προϊόντων της καύσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον προσδιορισμό της απαιτούμενης θερμότητας για τη διεργασία της αποτέφρωσης.

Η μείωση της περιεχόμενης υγρασίας της ιλύος είναι ο κύριος τρόπος για τη μείωση των απαιτήσεων θερμότητας και η περιεχόμενη υγρασία μπορεί να προσδιορίσει εάν χρειασθεί επιπρόσθετο καύσιμο για να υποστηριχθεί η καύση (Metcalf & Eddy, 2006).

-Αποτέφρωση με πολλαπλές εστίες:

Η αποτέφρωση με πολλαπλές εστίες χρησιμοποιείται για να μετατρέψει την αφυδατωμένη ιλύ σε αδρανή τέφρα. Επειδή η διεργασία είναι περίπλοκη και απαιτεί ειδικά εκπαιδευμένους χειριστές, συνήθως οι κλίβανοι με πολλαπλές εστίες χρησιμοποιούνται μόνο στις μεγάλες εγκαταστάσεις. Η αποτέφρωση με πολλαπλές εστίες έχει χρησιμοποιηθεί και σε μικρότερες διατάξεις όπου είναι περιορισμένη η γη για τη διάθεση της ιλύος.

Σε τέτοιες εγκαταστάσεις η διεργασία εξελίσσεται ως εξής: η αποτεφρωμένη ιλύς τροφοδοτείται από την κορυφή της εστίας και μετακινείται αργά προς το κέντρο. Από το κέντρο, η αφυδατωμένη ιλύς πέφτει σε μια δεύτερη εστία, όπου η κλίση την μετακινεί στην περίμετρο. Η αφυδατωμένη ιλύς τότε πέφτει στην Τρίτη εστία και ξανά με την κλίση μετακινείται προς το κέντρο. Οι ζεστότερες θερμοκρασίες είναι στις μεσαίες εστίες, όπου καίγεται η ιλύς και καίγεται επίσης και το βοηθητικό καύσιμο για να προθερμανθεί ο κλίβανος και να διατηρηθεί η καύση. Ο προθερμασμένος αέρας εισάγεται στη χαμηλότερη εστία και θερμαίνεται περαιτέρω από την ιλύ καθώς ο αέρας ανέρχεται και περνάει από τις μεσαίες εστίες όπου συμβαίνει η καύση. Ο αέρας τότε ψύχεται καθώς δίνει τη θερμότητα του για να ξηράνει της εισερχόμενη ιλύ στην κορυφή των εστιών. Η υψηλότερη περιεχόμενη υγρασία του αερίου της καμινάδας βρίσκεται στην κορυφή των εστιών όπου η ιλύς με την υψηλότερη υγρασία θερμαίνεται και εξατμίζεται ορισμένο νερό. Αρχικά εισάγεται αέρας ψύξης στην κεντρική στήλη και σε κενούς άξονες όχλησης για να μην υπερθερμανθούν. Ένα μεγάλο τμήμα αυτού του αέρα, αφού περάσει από την κεντρική στήλη στην κορυφή, ανακυκλοφορείται στην χαμηλότερη εστία ως προθερμασμένος αέρας καύσης.

Η τροφοδοσία της ιλύος θα πρέπει να περιέχει περισσότερο από 15% στερεά λόγω των περιορισμών για τη μέγιστη ικανότητα εξάτμισης του κλιβάνου. Βοηθητικό καύσιμο απαιτείται συνήθως όταν η τροφοδοσία της ιλύος περιέχει 15 έως 30% στερεά. Η τροφοδοσία της ιλύος που περιέχει περισσότερα από 50% στερεά μπορεί να δημιουργήσει υπερβολικές θερμοκρασίες στο πυρίμαχο υλικό και τα όρια των μετάλλων για τους τυπικούς κλιβάνους (Metcalf & Eddy, 2006).

## Κεφάλαιο 5°

### Διάγραμμα ροής και παρουσίαση της υπό μελέτης εγκατάστασης

#### 5.1 Παρουσίαση της εγκατάστασης:

Η υπό μελέτη εγκατάσταση αποτελείται από τα εξής συστήματα:

1>Αναερόβιας επεξεργασίας, το οποίο χωρίζεται σε δύο συστήματα:

α> Το «γρήγορο» σύστημα, χαμηλής φόρτισης.

β> Το «αργό» σύστημα, υψηλής φόρτισης.

2>Το αερόβιο σύστημα επεξεργασίας.

3>Σύστημα ξήρανσης και τελικής αποτέφρωσης της περίσσειας ιλύος από τα προηγούμενα δύο συστήματα.

Οι χαρακτηρισμοί «γρήγορο» και «αργό» αφορούν τους χρόνους παραμονής του αποβλήτου. Ουσιαστικά αφορούν τον χρόνο που απαιτείται για τον μεταβολισμό του περιεχόμενου του αντιδραστήρα.

Θα πρέπει να αναφέρουμε σε αυτό το σημείο ότι υπάρχουν δύο στάδια στην αρχή της εγκατάστασης τα οποία δεν αναφέραμε:

1>Το κεντρικό φρεάτιο συλλογής λυμάτων

2>Μηχανισμός λιποσυλλογής και εσχάρωσης, Combi

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή κάθε σταδίου ξεχωριστά για λεπτομερέστερη ανάλυση.

-Κεντρικό φρεάτιο συλλογής:

Αποτελείται από ένα φρεάτιο στο οποίο καταλήγουν όλα τα λύματα του εργοστασίου. Το φρεάτιο είναι εφοδιασμένο με τρεις βυθισμένες αντλίες υποβρύχιου τύπου μέγιστης δυναμικότητας 80m<sup>3</sup>/h, 50m<sup>3</sup>/h και 60m<sup>3</sup>/h. Οι αντλίες αυτές είναι ρυθμισμένες να λειτουργούν με βάση τη στάθμη του φρεατίου με μηχανισμό τύπου floater. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι εντός του φρεατίου και συγκεκριμένα στην είσοδο του υπάρχει παγίδα για ογκώδη αντικείμενα. Συγκεκριμένα, κλουβί κατασκευασμένο ώστε να επιτρέπει την διέλευση των λυμάτων αλλά να παρακρατά τα ογκώδη αντικείμενα. Να σημειώσουμε ότι είναι το μόνο μέρος το οποίο απαιτεί τακτική συντήρηση-καθαρισμό οποίος γίνεται μια φορά την εβδομάδα.



Εικόνα 2.

-Combi:

Ο μηχανισμός αυτός αποτελεί το πρώτο στάδιο της επεξεργασίας και συγκεκριμένα, εξυπηρετεί στην απομάκρυνση με εσχάρωση αντικειμένων που θα μπορούσαν να «βουλώσουν» και να προξενήσουν μεγάλα προβλήματα στο σύστημα σωληνώσεων της εγκατάστασής μας. Το Combi εξυπηρετεί και την απομάκρυνση των λιπών καθώς αποτελείται από δεξαμενή αιώρησης όπου τα λίπη ανεβαίνουν στην επιφάνεια και με ξέστρο επιφανείας απομακρύνονται ώστε να μην περάσουν στο σύστημα μας καθώς θα προκαλέσουν πρόβλημα στους βιοαντιδραστήρες που ακολουθούν.



Εικόνα 3.



Εικόνα 4

#### -Buffer Tank 1/ 1b

Δεξαμενές χωρητικότητας ( $871 \text{ m}^3$ ) και ( $752 \text{ m}^3$ ) στις οποίες διαμοιράζεται το λίμα μας προς υδρόλυση αφού περάσει από το Combi. Να σημειωθεί πως στις εν λόγω δεξαμενές υπάρχουν συστήματα συνεχούς ανάδευσης ώστε να εξασφαλίζεται η ομοιομορφία της διεργασίας και να μην έχουμε «τυφλά» σημεία όπου δεν έχουμε ανάμιξη και υδρόλυση. Η διαφορά ανάμεσα στα δύο Buffer είναι πως το ένα παροχετεύει λίμα προς το «γρήγορο» σύστημα μας, ενώ το δεύτερο παροχετεύει το λίμα προς την αερόβια επεξεργασία. Και στις δύο περιπτώσεις το λίμα περνάει από σύστημα DAF προς διαύγαση και μετά συνεχίζει την προαναφερθείσα πορεία του. Οι δεξαμενές αυτές εξυπηρετούν και προς εξισορρόπηση της ροής. Στο Buffer 1 το μεγάλο έχουμε και την παροχή της λακτόζης που αποτελεί και το λόγω δημιουργίας του συστήματος. Η λακτόζη και το τυρόγαλο αποθηκεύονται σε τέσσερα σιλό χωρητικότητας  $125 \text{ m}^3$  το καθένα ώστε να υπάρχει ρύθμιση-εξισορρόπηση τα ροής.



Εικόνα 5.



Εικόνα 6.

#### -Σύστημα Difussed Air Flocculation (σύστημα “DAF”)

Στην εγκατάσταση μας υπάρχουν δύο διατάξεις τύπου διάχυσης αέρα. Απαρτίζονται από τρία τμήματα:

1)Τα συστήματα παροχής χημικών:

Στις διατάξεις αυτές παροχετεύεται διάλυμα  $\text{FeCl}_3$  προς ενεργοποίηση της κροκίδωσης καθώς και σύστημα διάλυσης και παροχής πολυηλεκτρολύτη που αποσκοπεί στην συσσωμάτωση.

2)Ο στατικός αναμίκτης:

Είναι μία διάταξη σωλήνων σε σπειροειδή διάταξη ώστε με την κίνηση του λύματος μέσω των σωλήνων να εξυπηρετείται και η ανάμιξη. Στον στατικό αναμίκτη υπάρχουν σημεία στα

οποία «πέφτουν» τα χημικά που βοηθούν την διεργασία.

3) Η διάταξη DAF, αποτελείται από μία κατασκευή όπου αντλίες διαλύουν και πρεσάρουν αέρα με μορφή φυσαλίδων και παροχή του λύματος σε δεξαμενή ώστε να εκτονωθεί η πίεση και αφού έχει σχηματιστεί το στρώμα του συσσωματώματος ένα ξέστρο επιφανείας απομακρύνει το συσσωμάτωμα προς το πίσω μέρος της κατασκευής. Το διαυγασμένο νερό μετά περνάει από το κανάλι υπερχείλισης σε σωληνώσεις ώστε να συνεχίσει την πορεία του στο σύστημα. Το συσσωμάτωμα απομακρύνεται και αποθηκεύεται σε δεξαμενή προς επεξεργασία.



Εικόνα 7.



Εικόνα 8.



Εικόνα 9.



Εικόνα 10.



Εικόνα 11.

#### -Buffer Tank 2

Εξυπηρετεί ως δεξαμενή εξισορρόπησης της ροής καθώς και περαιτέρω ανάμιξη και ομοιομορφία του διαυγασμένου λύματος. Συνεχίζεται μέρος της υδρόλυσης καθώς επίσης και το μεγαλύτερο μέρος της οξεογένεσης καθώς στο σύστημα μας δεν είναι αυστηρά όρια ανάμεσα στα στάδια της αναερόβιας χώνευσης.



Εικόνα 12.

**-Neutralization Tank:**

Η δεξαμενή προετοιμασία εξυπηρετεί την προετοιμασία του λύματος για την βιομετατροπή του στον αντιδραστήρα ECSB. Στην δεξαμενή αυτή ρυθμίζεται η θερμοκρασία καθώς και το pH του λύματος ώστε να πετύχουμε τις βέλτιστες συνθήκες για την επεξεργασία του. Επίσης, στην κορυφή της δεξαμενής υπάρχει δεξαμενή νερού από όπου περνάει το βιοαέριο που παράγεται από την διεργασία ώστε μέσω του σχηματισμού φυσαλίδων απομακρύνεται το μεγαλύτερο αν όχι όλο το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα που περιέχεται μέσα στο βιοαέριο μας. Τέλος να αναφέρουμε πως είναι συγκοινωνούν δοχείο με τον αντιδραστήρα μας ECSB μιας και αποτελούν μαζί πατενταρισμένο σύστημα βιομετατροπής από την εταιρεία Hydrothane.

**-Αντιδραστήρας τύπου ECSB (External Circulation Sludge Bed)**

Αποτελεί πατενταρισμένο τύπο αναερόβιου βιοαντιδραστήρα της εταιρείας Hydrothane μαζί με την neutralization tank(NT). Από την NT και αφού επιτευχθούν οι βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας και pH παροχετεύεται το λύμα μας προς χώνευση στον αντιδραστήρα ECSB. Ο αντιδραστήρας είναι μια δεξαμενή χωρητικότητας 1000 m<sup>3</sup> με χρόνο παραμονής μικρότερο από 24 h.



Εικόνα 13

-Διάταξη καθίζησης τύπου Lamella:

Το λύμα μας αφού έχει υποστεί βιομετατροπή στον αντιδραστήρα μας ECSB παροχετεύεται με φυσική ροή σε μία διάταξη degasser ώστε να απομονωθεί το βιοαέριο που μπορεί να διαφύγει με το λύμα και τελικά οδηγείται σε μία διάταξη καθίζησης τύπου Lamella ώστε να καθιζάνει οποιαδήποτε ποσότητα μικροοργανισμού έχει διαφύγει από τον αντιδραστήρα. Μετά την καθίζηση έχουμε τον σχηματισμό δύο ρευμάτων, ενός ρευστού που αποτελείται από το τμήμα του λύματος που έχει καθιζάνει και ένα διαυγασμένο τμήμα που οδηγείται στην αερόβια επεξεργασία. Να αναφέρουμε εδώ πως διάταξη καθίζησης με επιφάνειες τύπου Lamella ακολουθεί και τους «αργούς» βιοαντιδραστή



Εικόνα 14.



Εικόνα 15.

-Δεξαμενή λάσπης (sludge tank)

Είναι μία δεξαμενή χωρητικότητας  $12\text{m}^3$  όπου οδηγούνται τα πυκνά ρεύματα που σχηματίζονται στα Lamella του ECSB καθώς και στα DAF. Αυτό το πυκνό ρεύμα που δημιουργείται βρίσκεται σε συνεχή ανάμιξη μέσω αναδευτήρων. Στη συνέχεια το ρεύμα αυτό παροχετεύεται στην δεξαμενή προετοιμασίας.



Εικόνα 16.

#### -Δεξαμενή Προετοιμασίας

Η δεξαμενή προετοιμασίας είναι μια δεξαμενή χωρητικότητας 60 m<sup>3</sup> στην οποία οδηγείται το πυκνό ρεύμα από την sludge tank καθώς και ο ορός των προϊόντων από τις επιστροφές της αγοράς. Συγκεκριμένα, οι επιστροφές από την αγορά περνάνε από ειδικές διατάξεις καταστροφής της συσκευασίας τους και αφού συγκεντρωθούν σε μια δεξαμενή για ομογενοποίηση παροχετεύονται στην δεξαμενή προετοιμασίας. Την δεξαμενή προετοιμασίας ακολουθεί μια διάταξη τεμαχισμού, ώστε να καταστραφεί οτιδήποτε έχει ξεφύγει από τις διατάξεις καταστροφής του τμήματος επιστροφών. Από εκεί οδηγείται στους βιοαντιδραστήρες τύπου CSTR για την βιομετατροπή του.



Εικόνα 17.

#### -Αντιδραστήρες τύπου CSTR

Υπάρχουν 4 βιοαντιδραστήρες τύπου CSTR στην εγκατάσταση μας όπου οδηγείται το πυκνό ρεύμα που αναφέραμε από την δεξαμενή προετοιμασίας. Οι τρεις πρώτοι είναι χωρητικότητας  $800 \text{ m}^3$  ο καθένας και ο τέταρτος είναι μεγαλύτερος με χωρητικότητα είναι  $4500 \text{ m}^3$ . Ο χρόνος παραμονής του λύματος στους βιοαντιδραστήρες αυτούς, τους «αργούς», είναι περίπου 20-25 d. Το λύμα μας βρίσκεται εντός των βιοαντιδραστήρων σε αιώρηση με ανάμιξη. Οι τέσσερις βιοαντιδραστήρες τύπου CSTR λειτουργούν παράλληλα. Τροφοδοτούνται εκ παραδρομής και για συγκεκριμένο διάστημα, συνθήκες που ελέγχονται μέσω του κεντρικού υπολογιστή ελέγχου. Το σύστημα είναι προγραμματισμένο ώστε να δέχεται είσοδο και να κάνει ανάλογη ποσότητα έξοδο.



Εικόνα 18.

#### -Αερόβια επεξεργασία

Το λύμα μας αφού έχει υποστεί βιομετατροπή στις διατάξεις αναερόβιας επεξεργασίας οδηγείται σε αερόβιο σύστημα επεξεργασίας. Το κοινό των δεξαμενών είναι το ορθογώνιο σχήμα τους. Το αερόβιο σύστημα αποτελείται από 3 τμήματα:

1>2 δεξαμενές αερισμού

2>1 δεξαμενή αναγέννησης

3>1 δεξαμενή τελικής καθίζησης

#### -Δεξαμενές αερισμού

Στις δεξαμενές αερισμού το λύμα μας υπόκειται σε αερόβιες διεργασίες οξειδοαναγωγής όπως νιτροποίηση-απονιτροποίηση καθώς και βιολογική αποφωσφόριση. Ο αερισμός τους ρυθμίζεται από συσκευή Redox η οποία με βάση το οξειδοαναγωγικό δυναμικό δίνει εντολή στους φυσητήρες για τον αερισμό του λύματος. Το σύστημα αερισμού απαρτίζεται από σύστημα φυσητήρων με σωληνώσεις παροχής του αέρα στο λύμα μας.



Εικόνα 19.



Εικόνα 20.

#### -Δεξαμενή αναγέννησης

Στη δεξαμενή αναγέννησης επιστρέφει η ιλύς μας μετά την καθίζηση ώστε να παραμείνει σε αιώρηση και να ενεργοποιηθεί ώστε να επιστρέψει στις δεξαμενές αερισμού για να ανακυκλωθεί



Εικόνα 21.

#### -Δεξαμενές τελικής καθίζησης

Αποτελείται από ένα διανομέα όπου μοιράζει το λύμα στις δύο δεξαμενές. Από το διανομέα το λύμα μας μπαίνει σε ανακλαστήρες ώστε να χαμηλώσει την ταχύτητα του λύματος ώστε να περάσει μετά στο κύριο μέρος της δεξαμενής και να επέλθει η καθίζηση με βαρύτητα ώστε να υπερχειλίσει διαυγασμένο, καθαρό νερό. Η ιλύς που καθιζάνει μεταφέρεται από ξέστρα πυθμένα σε ειδικές διατάξεις από όπου μεταφέρεται στη δεξαμενή αναγέννησης με σκοπό την ανακυκλοφορία της. Να αναφέρουμε πως από τον σωλήνα ανακυκλοφορίας της ιλύος υπάρχει διακλάδωση η οποία εξυπηρετεί στην απομάκρυνση της περίσσειας ιλύος από την εγκατάσταση μας και αποθήκευση της σε κυκλικό παχυντή.



Εικόνα 22.



Εικόνα 23.

-Σύστημα αποτέφρωσης:

Το σύστημα τελικής επεξεργασίας της περίσσειας ιλύος, που δημιουργείται στο σύστημα μας και αποθηκεύεται σε κυκλικούς παχυντές, οδηγείται σε σύστημα αποτέφρωσης. Το σύστημα μας αποτελείται από 2 υπό-συστήματα:

1>Ένα σύστημα φυγοκέντρωσης της εισερχόμενης ιλύος.

2>Από σύστημα αποτέφρωσης.

-Φυγοκέντρωση ιλύος:

Έχει γίνει μελέτη για την αγορά κυλινδρικού φυγοκεντριτή. Η μελέτη αφορά την σύσταση του μίγματος ιλύος. Συγκεκριμένα, ο φυγοκεντριτής έχει μελετηθεί ώστε να δέχεται μίγμα 50% από ιλύ του αερόβιου συστήματος και 50% ιλύ από το αναερόβιο σύστημα. Το μίγμα μας εμπλουτίζεται με πολυμερή ώστε να βοηθηθεί η συσσωμάτωση των αιρούμενων σωματιδίων πριν περάσει από την διάταξη φυγοκέντρωσης. Το αποτέλεσμα της φυγοκέντρωσης είναι η δημιουργία δύο ρευμάτων, ενός ρεύματος παχυμένης και αφυδατωμένης ιλύος που αποθηκεύεται σε χοάνη και ένα ρεύμα υγρού-στραγγιδίων που οδηγείται πίσω στο κεντρικό φρεάτιο συλλογής των λυμάτων.



Εικόνα 24.



Εικόνα 25.

-Σύστημα αποτέφρωσης:

Το σύστημα αποτέφρωσης της αφυδατωμένης και φυγοκετριμένης ιλύος αποτελείται από κυλινδρικό τύμπανο ξήρανσης της ιλύος με σκοπό της περαιτέρω απομάκρυνση της υγρασίας από το υλικό μας. Το υλικό μας θερμαίνεται με αγωγή μέσω θερμικού λαδιού το οποίο θερμαίνεται περνώντας μέσα από τον κλίβανο. Στη συνέχεια, το υλικό μας οδηγείται, με κοχλίες, σε κλίβανο με πολλαπλές εστίες όπου αποτεφρώνεται. Να αναφέρουμε πως το σύστημα μας διαθέτει σακκόφιλτρα για τα απαέρια της διεργασίας ώστε να μην έχουμε διαφυγή ρύπων που μπορεί να σχηματίζονται μέσω της θερμικής επεξεργασίας καθώς και ειδικούς κάδους αποθήκευσης της τέφρας που αποτελεί το τελικό προϊόν της διεργασίας.



Εικόνα 26.



Εικόνα 27.



Εικόνα 28.



Εικόνα 29.

## 5.2 Ανάλυση αντιδραστήρων συστήματος:

-Αντιδραστήρας ECSB (External Circulation Sludge Bed)

Ο βιοαντιδραστήρας τύπου ECSB είναι πατενταρισμένο σύστημα αναερόβιας επεξεργασίας που αναπτύχθηκε από την εταιρεία Hydrothane βασισμένο σε 35 χρόνια έρευνας, πιλοτικών δοκιμών, ανάπτυξης μονάδων και πρακτικής εφαρμογής πάνω στην επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων.

Ο αντιδραστήρας ECSB είναι μία αναερόβια επεξεργασία υψηλού ρυθμού που γίνεται σε δύο στάδια και το οποίο έχει αποδείξει την αποτελεσματικότητα του σε επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων εδώ και χρόνια ανά τον κόσμο.

Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά του ενός αντιδραστήρα ECSB είναι:

1>Εξαιτίας του σχεδιασμού της διεργασίας ECSB συνολικά υπό πίεση, δεν είναι απαραίτητη η αποθήκευση του βιοαερίου.

2>Καμία ανάγκη εγκατάστασης φίλτρου βιοκομποστό ή άλλου εφόσον όλες οι οσμές ενσωματώνονται στο κλειστό υπό πίεση κύκλωμα του βιοαερίου.

3>Ο υπό πίεση σχεδιασμός εμποδίζει την είσοδο αέρα/οξυγόνου, επομένως η διάβρωση δεν είναι εφικτή.

4>Το σύστημα δεν περιέχει καθόλου σύνθετα εσωτερικά στοιχεία ή περιστρεφόμενο εξοπλισμό(δεν χρειάζεται συντήρηση το εσωτερικό του αντιδραστήρα).

5>Τα δύο στρώματα διαχωρισμού φάσεων δημιουργούν μέγιστη σταθερότητα της διαδικασίας και της δυναμικότητας.

6>Έχουμε πλήρως ελεγχόμενη υδραυλική ανάμιξη λόγω εξωτερικής ανακυκλοφορίας

Τέλος να προσθέσουμε πως οι τυπικές φορτίσεις για έναν αντιδραστήρα τύπου ECSB ανέρχονται σε 15-35 kg COD/m<sup>3</sup>/day (<https://www.hydrothane-stp.com/gr/hydrothane-ecsb> ).

-Διεργασία τύπουSWD (Solid Waste Digestion):

Η διεργασία τύπου SWD βασίζεται σε αντιδραστήρα τύπου CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor). Η διεργασία SWD χρησιμοποιείται κατά κόρων για επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων με πολύ υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών με στόχο τη σταθεροποίηση τους και την παραγωγή πράσινης ενέργειας με τη μορφή του βιοαερίου.

Αποτελείται από έναν αντιδραστήρα τύπου πλήρους ανάμιξης που μπορεί να είναι εφοδιασμένος με εξοπλισμό διαχωρισμού ιλύος (ανακυκλοφορία ιλύος) ή χωρίς αυτό.

Μέσα στον αντιδραστήρα μας η ενεργός αναερόβια βιομάζα διατηρείται σε αιώρηση, με μηχανική ανάμιξη και η πλειοψηφία του διαλυτού και αδιάλυτου COD μετατρέπεται σε βιοαέριο. Το παραγόμενο βιοαέριο συγκεντρώνεται στο πάνω μέρος του αντιδραστήρα SWD.

Η διεργασία SWD χρησιμοποιείται τυπικά για ροές αποβλήτων με:

1>Υψηλή συγκέντρωση στερεών

2>Υψηλές συγκεντρώσεις FOG (Λίπη, Έλαια, Λιπαντικά)

3>Υπερβολικά υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου, Ca<sup>+2</sup>

4>Υψηλό περιεχόμενο αμμωνίας

Να αναφέρουμε σε αυτό το σημείο ότι τυπικές φορτίσεις, βάσει σχεδιασμού, για τη διεργασία SWD είναι μεταξύ 1-7 kgCOD/m<sup>3</sup>/day.

(<https://www.hydrothane-stp.com/gr/hydrothane-swd> )

-Αντιδραστήρας τύπου συνεχούς λειτουργίας (CSTR, "Chemostat):

Η λειτουργία αυτού του αντιδραστήρα γίνεται υπό στατικές συνθήκες (steady-state) και είναι πολύ καλά αναμεμειγμένος (continuous-stirred tank reactor) και επομένως η θερμοκρασία και η συγκέντρωση είναι παντού ίδια μέσα στον αντιδραστήρα.

Συμπερασματικά έχουμε:

Λόγω τέλειας ανάμιξης:

$$n_i = C_i V$$

$$C_{out,i} = C_i$$

$$R_i = r_i V$$

Το ισοζύγιο μάζας γίνεται:

$$d(n_i)/dt = F_{in,i} - F_{out,i} + R_i$$

$$d(C_i V)/dt = Q C_{in,i} - Q C_{out,i} + r_i V$$

Εάν υποθέσουμε ότι  $V = \text{σταθερό}$ , έχουμε:

$$d(C_i)/dt = (Q/V) C_{in,i} - (Q/V) C_{out,i} + r_i$$

$Q$  είναι η ογκομετρική παροχή [ $\text{m}^3/\text{sec}$ ] των εισερχόμενων και εξερχόμενων χημικών ενώσεων (δηλαδή θεωρήσαμε ότι  $Q = Q_{in} = Q_{out}$  όπου αν η πυκνότητα παραμένει σταθερή συνεπάγεται αμέσως ότι  $V = \text{constant}$ ).

Η παραπάνω διαφορική εξίσωση περιγράφει την δυναμική συμπεριφορά του αντιδραστήρα και είναι πολύ σημαντική για τη μελέτη της σταθερότητας λειτουργίας του.

Συνήθως η λειτουργία ενός CSTR γίνεται υπό μόνιμες συνθήκες και επομένως:

$$d(n_i) / dt = d(C_i) / dt = 0$$

Η εξίσωση σχεδιασμού (υπολογισμού του μεγέθους του αντιδραστήρα) απλοποιείται ως εξής:

$$V = Q (C_i - C_{in,i}) / r_i \rightarrow V = [Q C_{i0} X_i] / (-r_i)$$

όπου ο υπολογισμός του  $r_i$  γίνεται στις συνθήκες εξόδου

-Εφαρμογές σε αντίδραση 1<sup>ης</sup> τάξης:

$A \rightarrow \text{προϊόντα}$

$$r_A = -k C_A = -k C_{A0} (1 - X_A)$$

Αντικαθιστώντας στην σχεδιαστική εξίσωση:

$$V = [Q C_{A0} X_A] / [k C_{A0} (1 - X_A)] \rightarrow V = [Q X_A] / [k (1 - X_A)] \text{ ή } \tau = [X_A] / [k (1 - X_A)], \text{ όπου:}$$

$\tau = V / Q$  είναι ο μέσος χρόνος παραμονής εντός του αντιδραστήρα.

-Εφαρμογή σε αντίδραση 2<sup>ης</sup> τάξης:

$A \rightarrow \text{προϊόντα}$

$$r_A = -k(C_A)^2 = -k(C_{A0})^2(1 - X_A)^2$$

Αντικαθιστώντας στη σχεδιαστική εξίσωση:

$$V = [Q C_{A0} r_A] / [k C_{A0}^2 (1 - X_A)^2] \rightarrow V = [Q X_A] / [k C_{A0} (1 - X_A)^2] \text{ ή } \tau = [X_A] / [k C_{A0} (1 - X_A)^2], \text{ όπου:}$$

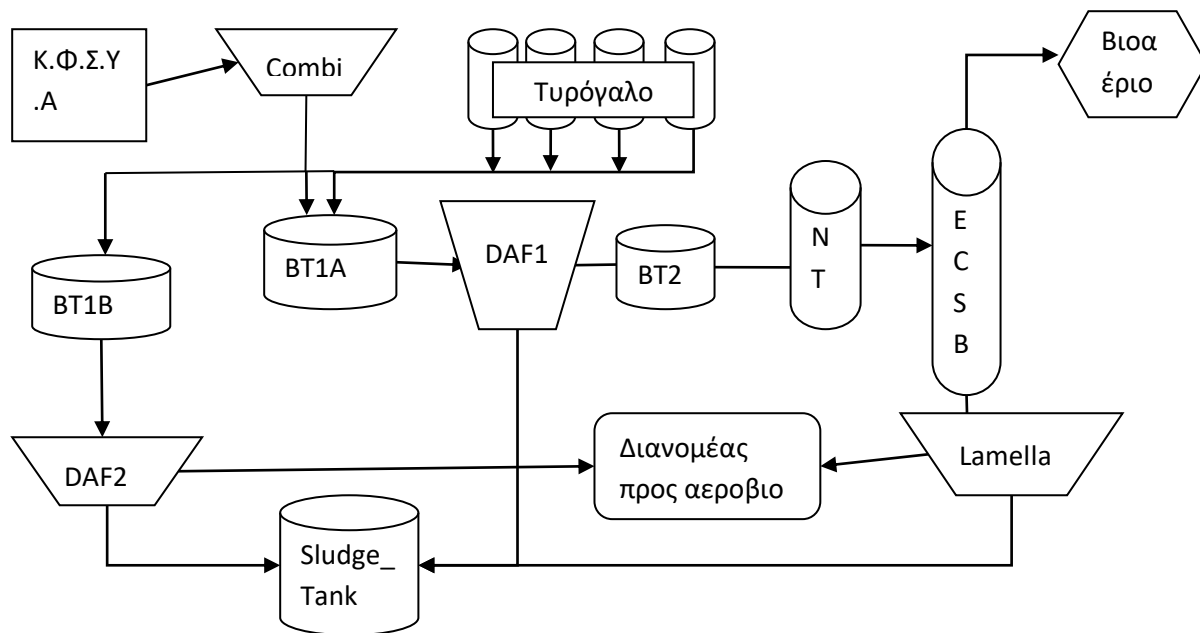
$\tau = V / Q$  είναι ο μέσος χρόνος παραμονής εντός του αντιδραστήρα.

(Καλογεράκης, 2014)

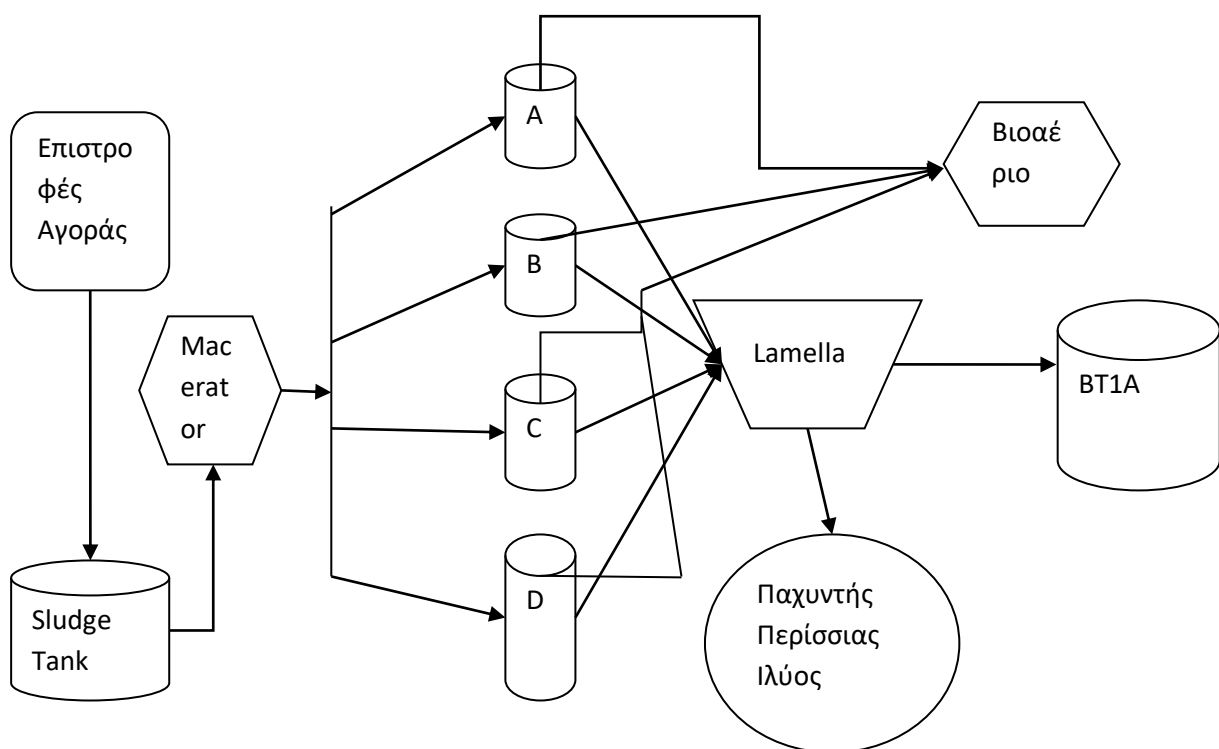
### 5.3 Διάγραμμα ροής των συστημάτων της εγκατάστασης

Όπως αναφέραμε προηγουμένως η εγκατάσταση μας μπορεί να διαχωριστεί σε 3 συστήματα. Στην συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα ροής του κάθε συστήματος.

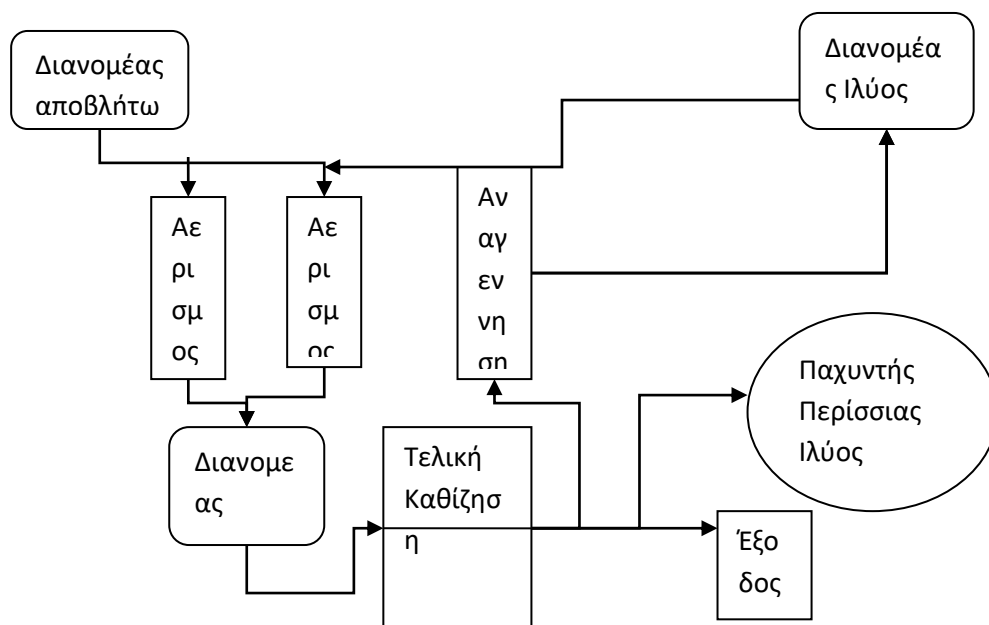
Α)Αναερόβια επεξεργασία με αντιδραστήρα ECSB ( «γρήγορο» σύστημα ):



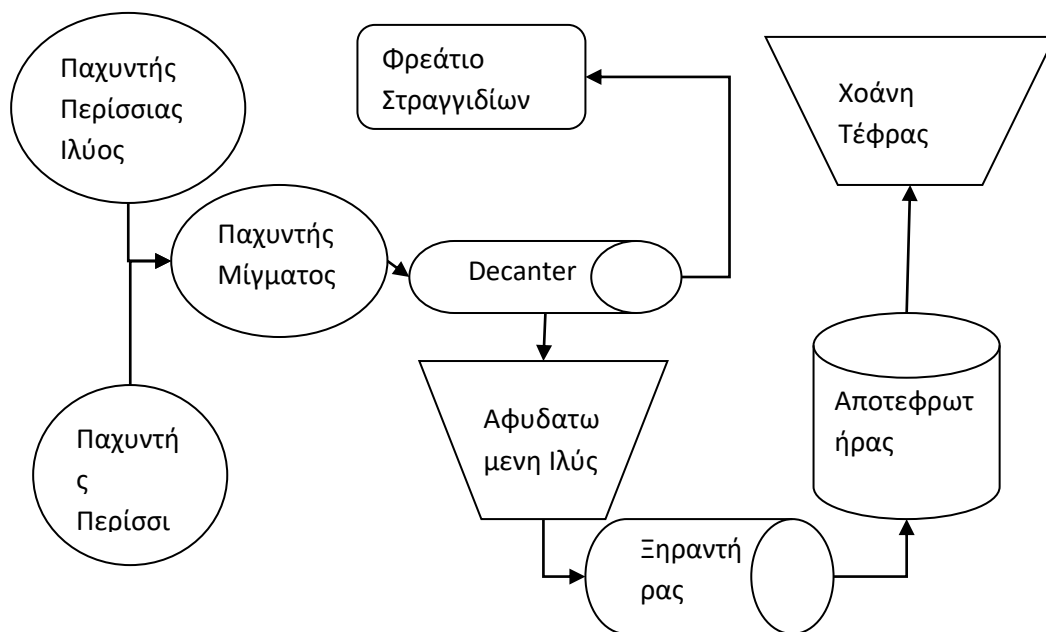
Β)Αναερόβια επεξεργασία με αντιδραστήρες CSTR ( «αργό» σύστημα):



Γ)Αερόβιο Σύστημα Ενεργούς Ιλύος



Δ) Σύστημα επεξεργασίας περίσσιας ιλύος των συστημάτων (Αποτέφρωση)



## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

### Αποτελεσματικότητα και συμπεράσματα

#### **6.1 Ανάλυση της ιδέας της ποσοτικοποίησης:**

Με τον όρο ποσοτικοποίηση αναφερόμαστε στη διαδικασία κατά την οποία ερμηνεύεται με αριθμητικούς υπολογισμούς μία έννοια πιο αφηρημένη. Στην περίπτωση μας, η ποσοτικοποίηση έχει σκοπό να υπολογίσει την αποτελεσματικότητα του συνόλου των συστημάτων διεργασιών το οποίο λειτουργεί με σκοπό την διαχείριση των υγρών αποβλήτων της βιομηχανίας γάλακτος «Τ.Υ.Ρ.Α.Σ. Α.Ε» που εδρεύει στο 5<sup>ο</sup> χιλιόμετρο της εθνικής οδού Τρικάλων-Πύλης. Σκοπός της ποσοτικοποίησης της αποτελεσματικότητας είναι να εξετάσει με δείκτες-νούμερα και συγκεκριμένα στην εργασία μας ως ποσοστά τοις εκατό, τα οποία έχουν επιλεγεί ως αντιπροσωπευτικά για να ερμηνευτεί η λειτουργία των επί μέρους συστημάτων και διατάξεων που απαρτίζουν το υπό μελέτη σύστημα μας καθώς και τα τελικά προϊόντα του συστήματος καθώς αυτά αποθέτονται σε τοπικό ποταμό. Όπως μπορεί να γίνει κατανοητό από την ανάλυση των συστημάτων-διατάξεων το σύστημα μας μπορεί να διαχειριστεί ένα απόβλητο τόσο σοβαρό όπως τα υγρά απόβλητα τυροκομείου.

Το κύριο πρόβλημα των αποβλήτων τυροκομείων είναι το τυρόγαλο. Το τυρόγαλο, ή αλλιώς ο ορός γάλακτος, είναι το υγρό που προκύπτει κατά την διάρκεια της παραγωγής προϊόντων γάλακτος.

Το παραπροϊόν αυτό, για την γαλακτοβιομηχανία αντιπροσωπεύει το 80-90% περίπου του όγκου του γάλακτος και περιέχει το 50% των θρεπτικών του συστατικών αν και ενδέχεται να μεταβληθούν αυτά τα ποσοστά ανάλογα με το είδος του προϊόντος που παράγεται καθώς και με βάση την τεχνολογία και την τεχνογνωσία που εφαρμόζεται.

Η περιεκτικότητα του σε οργανική ύλη είναι πολύ υψηλή και παρουσιάζει τιμές COD που κυμαίνονται μεταξύ 60.000-80.000 (mg/L). Για να γίνει πιο εύκολα αντιληπτό το μέγεθος του προβλήματος για την γαλακτοβιομηχανία αρκεί να λάβει υπόψη του κάποιος πως για την Παρασκευή ενός κιλού τυριού, παράγονται περίπου 9 κιλά τυρογάλακτος. Όσον αφορά τα στερεά συστατικά μπορεί να κυμαίνεται από 6-8%. Περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό της λακτόζης, το σύνολο των οροπρωτεϊνών του γάλακτος καθώς και μέταλλα. Τέλος, στο τυρόγαλο βρίσκονται διαλυτά άλατα, υδατοδιαλυτές βιταμίνες καθώς και μικρή ποσότητα λίπους η οποία μπορεί να αυξηθεί σε περίπτωση περαιτέρω θέρμανσης του.

Συνοψίζοντας λοιπόν μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα πως είναι ένα πολύ «βαρύ» και «πλούσιο» υγρό απόβλητο και το κύριο πρόβλημα για την γαλακτοβιομηχανία καθώς όπως μεγαλώνει ο κύκλος εργασιών μεγαλώνει και η παραγωγή των υγρών αποβλήτων κατά συνέπεια. Έτσι προκύπτει η ανάγκη για έρευνα και μελέτη της αποτελεσματικότητας των τρόπων διαχείρισης του ώστε να εξάγουμε τα κατάλληλα συμπεράσματα που θα καθορίσουν την κατεύθυνση της έρευνας που αφορά την διαχείριση και επεξεργασία του τυρογάλακτος.

Το σύστημα μας μπορεί λοιπόν να διαχειριστεί ένα τόσο «βαρύ» απόβλητο και μάλιστα με τρόπο ολοκληρωμένο, δηλαδή «μπαίνουν» τα απόβλητα μας στο σύστημα ως πρώτη ύλη και καταλήγουν σε διαφορετικά ρεύματα τα οποία έχουν πετύχει μετατροπή του

αποβλήτου σε μορφή περιβαλλοντικά διαχειρίσιμη και αποδεκτή. Πάνω στο τελευταίο βασίζεται η ιδέα της ποσοτικοποίησης της απόδοσης του συστήματος. Η βασική ιδέα είναι με τις αναλύσεις που γίνονται σε καθημερινή βάση στην εγκατάσταση μας μπορούμε να ποσοτικοποιήσουμε την μετατροπή αυτή που περιγράψαμε παραπάνω. Ωστόσο, επειδή το σύστημα μας είναι περίπλοκο θα πρέπει να επιλέξουμε προσεκτικά τους δείκτες που θα μελετήσουμε. Στην παρούσα εργασία, κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούμε την μέτρηση του COD.

Ακολουθούν τα αριθμητικά δεδομένα, σε μορφή πίνακα. Στον πίνακα που ακολουθεί έχουμε δεδομένα που αφορούν χρόνο καθώς και τις αντίστοιχες μετρήσεις. Επιπλέον, αναφέρονται τα δεδομένα με μορφή ποσοστού που αντιστοιχούν στην απόδοση του συστήματος με βάση την απομάκρυνση-βιομετατροπή του COD που μετρήθηκε.

Πίνακας 2.

Ημέρες	Μέση ωριαία παραγωγή λακτόζης (m <sup>3</sup> /h)	Συνολική ημερήσια βιοπαραγωγή (m <sup>3</sup> /d)	Μέτρηση COD B1 (mg/l)	Μέτρηση COD D1 (mg/l)	Μέτρηση COD B2 (mg/l)	Μέτρηση COD ECSB (mg/l)	Μέτρηση COD Εξόδου Αερόβιων επεξεργασίας (mg/l)	Ποσοστιαία μείωση COD B1-D1 (%)	Ποσοστιαία μείωση COD B2-ECSB (%)	Ποσοστιαία μείωση COD ECSB-Εξόδου αερόβιου (%)
14-Ιαν	1796,42	4888,01	7845,00	5902,00	5867,00	819,00	37,70	24,77	86,04	95,40
15-Ιαν	1796,46	4112,83	6677,00	4750,00	5008,00	824,00	35,40	28,86	83,55	95,70
16-Ιαν	1796,50	4248,58	7263,00	5054,00	4967,00	906,00	20,90	30,41	81,76	97,69
17-Ιαν	1796,54	3590,86	6487,00	4795,00	4818,00	887,00	44,30	26,08	81,59	95,01
18-Ιαν	1796,58	3965,03	6475,00	4463,00	4268,00	739,00	53,20	31,07	82,69	92,80
19-Ιαν	1796,63	2798,83	6230,00	4508,00	4612,00	888,00	54,70	27,64	80,75	93,84
20-Ιαν	1796,67	2833,36	7366,00	5441,00	5029,00	783,00	47,70	26,13	84,43	93,91
21-Ιαν	1796,71	2457,66	4139,00	2491,00	2890,00	537,00	37,00	39,82	81,42	93,11
22-Ιαν	1796,75	3403,79	6353,00	4699,00	4074,00	888,00	38,10	26,03	78,20	95,71
23-Ιαν	1796	3677,69	6889	4440	4783	939	34,40	35,55	80,37	96,34

	,79		,00	,00	,00	00				
24-lav	1796,83	3641,53	7453,00	5277,00	4819,00	801,00	35,50	29,20	83,38	95,57
25-lav	1796,88	3862,44	7380,00	5200,00	5020,00	808,00	33,00	29,54	83,90	95,92
26-lav	1796,92	4255,07	7420,00	5150,00	5345,00	1150,00	32,40	30,59	78,48	97,18
27-lav	1796,96	4122,80	8054,00	5591,00	5778,00	1041,00	42,10	30,58	81,98	95,96
11-Φεβ	1797,58	4158,64	7321,00	4998,00	5532,00	787,00	29,90	31,73	85,77	96,20
12-Φεβ	1797,63	3859,51	7050,00	3980,00	4937,00	800,00	38,80	43,55	83,80	95,15
13-Φεβ	1797,67	4330,95	7902,00	6115,00	5189,00	810,00	22,70	22,61	84,39	97,20
14-Φεβ	1797,71	4882,54	7751,00	5669,00	6429,00	1632,00	26,70	26,86	74,62	98,36
15-Φεβ	1797,75	4435,25	7386,00	4607,00	5284,00	1043,00	24,70	37,63	80,26	97,63
16-Φεβ	1797,79	4473,92	7025,00	4400,00	5527,00	1000,00	29,40	37,37	81,91	97,06
17-Φεβ	1797,83	4546,98	6796,00	4420,00	6254,00	1450,00	22,20	34,96	76,81	98,47
18-Φεβ	1797,88	4381,98	7411,00	5133,00	5405,00	918,00	21,70	30,74	83,02	97,64
19-Φεβ	1797,92	5022,52	8647,00	6166,00	5607,00	825,00	31,20	28,69	85,29	96,22
20-Φεβ	1797,96	3955,91	6760,00	4443,00	4806,00	1026,00	23,70	34,28	78,65	97,69
21-Φεβ	1798,00	4711,50	7260,00	4633,00	4064,00	959,00	19,60	36,18	76,40	97,96
22-Φεβ	1798,04	5622,55	8442,00	7257,00	6435,00	1279,00	26,00	14,04	80,12	97,97
23-Φεβ	1798,08	4703,19	7683,00	5006,00	5207,00	977,00	40,10	34,84	81,24	95,90
24-Φεβ	1798,13	5404,56	6880,00	3370,00	5877,00	1020,00	42,70	51,02	82,64	95,81
11-Μαρ	1798,75	5761,11	9044,00	6921,00	6810,00	1089,00	30,60	23,47	84,01	97,19
12-Μαρ	1798,79	6120,72	9009,00	7424,00	7085,00	1350,00	24,00	17,59	80,95	98,22
13-Μαρ	1798,83	6976,34	8860,00	7227,00	6946,00	1197,00	23,50	18,43	82,77	98,04
14-Μαρ	1798,88	7711,64	10676,00	8602,00	7695,00	1257,00	23,50	19,43	83,66	98,13
15-Μαρ	1798,92	7308,49	9804,00	7815,00	8361,00	1321,00	27,60	20,29	84,20	97,91

16- Μα ρ	1798 ,96	6138,23	9226 ,00	7173 ,00	7429 ,00	1374 ,00	20,60	22,25	81,50	98,50
17- Μα ρ	1799 ,00	6262,52	1029 0,00	7926 ,00	6963 ,00	1375 ,00	22,30	22,97	80,25	98,38
18- Μα ρ	1799 ,04	5777,21	8373 ,00	7107 ,00	7335 ,00	1243 ,00	19,20	15,12	83,05	98,46
19- Μα ρ	1799 ,08	5560,99	6756 ,00	6041 ,00	7069 ,00	908, 00	18,60	10,58	87,16	97,95
20- Μα ρ	1799 ,13	5241,89	8303 ,00	7317 ,00	7179 ,00	1369 ,00	22,70	11,88	80,93	98,34
21- Μα ρ	1799 ,17	5440,57	6885 ,00	6122 ,00	6676 ,00	1222 ,00	22,60	11,08	81,70	98,15
22- Μα ρ	1799 ,21	5785,48	7990 ,00	7397 ,00	7092 ,00	1154 ,00	26,20	7,42	83,73	97,73
23- Μα ρ	1799 ,25	5551,63	8664 ,00	6304 ,00	6889 ,00	1237 ,00	30,60	27,24	82,04	97,53
24- Μα ρ	1799 ,29	5425,89	8887 ,00	6331 ,00	6463 ,00	1190 ,00	36,80	28,76	81,59	96,91
1- Απ ρ	1799 ,63	5108,26	8331 ,00	6560 ,00	7049 ,00	1423 ,00	15,40	21,26	79,81	98,92
2- Απ ρ	1799 ,67	5358,55	8930 ,00	6238 ,00	6002 ,00	1097 ,00	17,80	30,15	81,72	98,38
3- Απ ρ	1799 ,71	5929,18	9824 ,00	7453 ,00	6781 ,00	927, 00	15,00	24,13	86,33	98,38
4- Απ ρ	1799 ,75	5399,02	9250 ,00	6930 ,00	6881 ,00	1304 ,00	22,60	25,08	81,05	98,27
5- Απ ρ	1799 ,79	5541,75	9702 ,00	7053 ,00	7053 ,00	886, 00	30,90	27,30	87,44	96,51
6- Απ ρ	1799 ,83	5849,06	8490 ,00	7840 ,00	7695 ,00	1249 ,00	25,50	7,66	83,77	97,96
7- Απ ρ	1799 ,88	5593,48	9295 ,00	7797 ,00	8031 ,00	1810 ,00	38,20	16,12	77,46	97,89
8- Απ ρ	1799 ,92	5316,85	9180 ,00	7849 ,00	7988 ,00	1221 ,00	45,50	14,50	84,71	96,27
9- Απ ρ	1799 ,96	5686,29	9260 ,00	6692 ,00	6772 ,00	1051 ,00	37,20	27,73	84,48	96,46
10- Απ ρ	1800 ,00	5608,45	8478 ,00	6108 ,00	7123 ,00	1639 ,00	29,90	27,95	76,99	98,18
11- Απ ρ	1800 ,04	5541,15	9339 ,00	6897 ,00	6711 ,00	1453 ,00	43,20	26,15	78,35	97,03

$\rho$										
12- Απ $\rho$	1800 ,08	5840,08	8609 ,00	6129 ,00	6246 ,00	1141 ,00	40,00	28,81	81,73	96,49
13- Απ $\rho$	1800 ,13	6137,77	9339 ,00	7057 ,00	7342 ,00	1234 ,00	36,00	24,44	83,19	97,08
14- Απ $\rho$	1800 ,17	6745,23	9252 ,00	7580 ,00	7335 ,00	942, 00	42,00	18,07	87,16	95,54
13- Μαϊ	1801 ,38	7100,24	9570 ,00	6597 ,00	8882 ,00	2199 ,00	21,70	31,07	75,24	99,01
14- Μαϊ	1801 ,42	7022,41	1066 1,00	8215 ,00	8253 ,00	1357 ,00	15,50	22,94	83,56	98,86
15- Μαϊ	1801 ,46	7268,05	1088 7,00	8577 ,00	8126 ,00	1083 ,00	17,30	21,22	86,67	98,40
16- Μαϊ	1801 ,50	7141,12	8760 ,00	7703 ,00	7914 ,00	1335 ,00	16,10	12,07	83,13	98,79
17- Μαϊ	1801 ,54	7216,43	1089 4,00	1013 2,00	9085 ,00	1755 ,00	16,70	6,99	80,68	99,05
18- Μαϊ	1801 ,58	5722,87	1028 7,00	7739 ,00	8875 ,00	2368 ,00	21,50	24,77	73,32	99,09
19- Μαϊ	1801 ,63	5704,66	9565 ,00	7461 ,00	7883 ,00	1924 ,00	34,80	22,00	75,59	98,19
20- Μαϊ	1801 ,67	6606,28	1073 3,00	1019 5,00	9243 ,00	1963 ,00	18,20	5,01	78,76	99,07
21- Μαϊ	1801 ,71	6254,54	8620 ,00	8008 ,00	7865 ,00	1559 ,00	17,20	7,10	80,18	98,90
22- Μαϊ	1801 ,75	6686,61	1035 5,00	7500 ,00	7618 ,00	1617 ,00	15,10	27,57	78,77	99,07
23- Μαϊ	1801 ,79	6716,85	1043 4,00	7454 ,00	7046 ,00	1164 ,00	18,20	28,56	83,48	98,44
24- Μαϊ	1801 ,83	6638,41	9424 ,00	6907 ,00	6740 ,00	986, 00	16,10	26,71	85,37	98,37
25- Μαϊ	1801 ,88	6024,23	7510 ,00	6636 ,00	7040 ,00	1158 ,00	15,70	11,64	83,55	98,64
26- Μαϊ	1801 ,92	5712,62	1009 7,00	7532 ,00	7425 ,00	1390 ,00	41,60	25,40	81,28	97,01
10- Iouv	9,52	6166,81	1045 6,00	7381 ,00	6785 ,00	469, 00	17,70	29,41	93,09	96,23
11- Iouv	10,0 1	6089,33	9440 ,00	6601 ,00	6230 ,00	475, 00	24,50	30,07	92,38	94,84
12- Iouv	8,37	5987,13	9471 ,00	7169 ,00	6809 ,00	739, 00	22,70	24,31	89,15	96,93
13- Iouv	7,46	5547,04	8293 ,00	5984 ,00	6160 ,00	566, 00	31,20	27,84	90,81	94,49
14- Iouv	7,78	5033,25	7516 ,00	5263 ,00	5393 ,00	354, 00	28,50	29,98	93,44	91,95
15- Iouv	8,91	5224,46	9909 ,00	8130 ,00	5279 ,00	876, 00	12,80	17,95	83,41	98,54
16- Iouv	7,48	5232,55	1002 8,00	7397 ,00	6343 ,00	633, 00	22,50	26,24	90,02	96,45

24- louν	8,98	4289,11	7181 ,00	4361 ,00	4692 ,00	703, 00	12,80	39,27	85,02	98,18
25- louν	8,41	4648,48	6459 ,00	4909 ,00	4925 ,00	695, 00	12,40	24,00	85,89	98,22
26- louν	7,28	4618,57	7695 ,00	5890 ,00	6008 ,00	1090 ,00	16,50	23,46	81,86	98,49
27- louν	7,61	4330,43	8977 ,00	5581 ,00	5398 ,00	880, 00	12,80	37,83	83,70	98,55
28- louν	8,24	4841,33	6494 ,00	5136 ,00	5191 ,00	913, 00	11,40	20,91	82,41	98,75
29- louν	7,72	4983,56	8675 ,00	6564 ,00	6009 ,00	1215 ,00	15,00	24,33	79,78	98,77
30- louν	7,77	4373,95	8846 ,00	7535 ,00	5224 ,00	903, 00	10,20	14,82	82,71	98,87
8- louλ	6,60	4196,42	7733 ,00	4762 ,00	5667 ,00	1181 ,00	35,60	38,42	79,16	96,99
9- louλ	6,90	4219,43	8276 ,00	5297 ,00	5034 ,00	922, 00	44,25	36,00	81,68	95,20
10- louλ	6,58	4244,37	7130 ,00	4842 ,00	5065 ,00	836, 00	53,10	32,09	83,49	93,65
11- louλ	7,29	4091,09	7314 ,00	4698 ,00	4488 ,00	701, 00	46,50	35,77	84,38	93,37
12- louλ	7,93	4185,26	8217 ,00	5408 ,00	5241 ,00	1211 ,00	52,90	34,19	76,89	95,63
13- louλ	9,04	4752,75	7540 ,00	4800 ,00	5117 ,00	1006 ,00	62,70	36,34	80,34	93,77
14- louλ	7,66	4465,97	8975 ,00	5814 ,00	5942 ,00	1277 ,00	53,50	35,22	78,51	95,81
22- louλ	7,87	4069,09	8326 ,00	5957 ,00	6300 ,00	1211 ,00	23,10	28,45	80,78	98,09
23- louλ	8,79	4449,64	8709 ,00	6045 ,00	5493 ,00	1133 ,00	21,20	30,59	79,37	98,13
24- louλ	9,58	5406,88	9211 ,00	6153 ,00	6542 ,00	1190 ,00	18,90	33,20	81,81	98,41
25- louλ	8,99	5354,38	8894 ,00	6787 ,00	7075 ,00	1465 ,00	22,50	23,69	79,29	98,46
26- louλ	9,60	5431,86	8984 ,00	7481 ,00	6837 ,00	1475 ,00	24,70	16,73	78,43	98,33
27- louλ	9,02	5571,08	9266 ,00	6465 ,00	7124 ,00	1556 ,00	22,30	30,23	78,16	98,57
28- louλ	8,63	5043,66	8546 ,00	4974 ,00	6884 ,00	884, 00	31,10	41,80	87,16	96,48
5- Auy	8,63	5527,35	8171 ,00	6618 ,00	7850 ,00	2033 ,00	13,50	19,01	74,10	99,34
6- Auy	8,88	5628,70	7789 ,00	6441 ,00	5993 ,00	1071 ,00	24,60	17,31	82,13	97,70
7- Auy	9,88	6192,33	7735 ,00	6664 ,00	6029 ,00	638, 00	26,30	13,85	89,42	95,88
8- Auy	9,75	6733,50	8446 ,00	7698 ,00	6967 ,00	1301 ,00	27,50	8,86	81,33	97,89

9- Αυγ	9,57	6336,50	8262 ,00	7223 ,00	6571 ,00	661, 00	27,60	12,58	89,94	95,82
10- Αυγ	9,86	7015,00	9015 ,00	7884 ,00	6455 ,00	1124 ,00	19,90	12,55	82,59	98,23
11- Αυγ	8,13	6762,50	8590 ,00	7203 ,00	7679 ,00	985, 00	29,50	16,15	87,17	97,01
19- Αυγ	7,08	3860,78	5590 ,00	4694 ,00	4896 ,00	1220 ,00	19,20	16,03	75,08	98,43
20- Αυγ	8,04	4938,65	7175 ,00	5386 ,00	4730 ,00	670, 00	18,40	24,93	85,84	97,25
21- Αυγ	7,86	5456,97	7635 ,00	6064 ,00	5404 ,00	378, 00	22,50	20,58	93,01	94,05
22- Αυγ	6,98	5182,02	7531 ,00	5965 ,00	5564 ,00	469, 00	28,10	20,79	91,57	94,01
23- Αυγ	7,07	4740,61	5365 ,00	3806 ,00	4324 ,00	378, 00	28,80	29,06	91,26	92,38
24- Αυγ	6,59	4851,02	8552 ,00	7143 ,00	4757 ,00	297, 00	31,70	16,48	93,76	89,33
25- Αυγ	4,25	3806,35	8329 ,00	6681 ,00	4966 ,00	368, 00	38,80	19,79	92,59	89,46
9- Σεπ	1806 ,33	4543,87	4765 ,00	2807 ,00	3615 ,00	447, 00	27,50	41,09	87,63	93,85
10- Σεπ	1806 ,38	4267,55	4700 ,00	2766 ,00	3390 ,00	625, 00	33,80	41,15	81,56	94,59
11- Σεπ	1806 ,42	4000,19	4304 ,00	2726 ,00	3060 ,00	528, 00	40,60	36,66	82,75	92,31
12- Σεπ	1806 ,46	4003,39	4336 ,00	2699 ,00	3148 ,00	605, 00	40,20	37,75	80,78	93,36
13- Σεπ	1806 ,50	4458,52	5375 ,00	3607 ,00	3425 ,00	803, 00	43,10	32,89	76,55	94,63
14- Σεπ	1806 ,54	4941,69	4367 ,00	3076 ,00	3534 ,00	591, 00	50,00	29,56	83,28	91,54
15- Σεπ	1806 ,58	4343,73	4199 ,00	3847 ,00	3962 ,00	667, 00	28,80	8,38	83,17	95,68
16- Σεπ	1806 ,63	4362,60	5753 ,00	3010 ,00	3606 ,00	559, 00	48,10	47,68	84,50	91,40
17- Σεπ	1806 ,67	4756,44	4947 ,00	3179 ,00	3131 ,00	496, 00	41,20	35,74	84,16	91,69
18- Σεπ	1806 ,71	4676,90	4662 ,00	2387 ,00	2991 ,00	875, 00	38,50	48,80	70,75	95,60
19- Σεπ	1806 ,75	4691,76	5643 ,00	4071 ,00	3966 ,00	725, 00	41,30	27,86	81,72	94,30
20- Σεπ	1806 ,79	4192,98	3848 ,00	2675 ,00	3439 ,00	862, 00	27,30	30,48	74,93	96,83
21- Σεπ	1806 ,83	4945,07	5908 ,00	3997 ,00	3461 ,00	556, 00	47,00	32,35	83,94	91,55
22- Σεπ	1806 ,88	4493,88	5045 ,00	3885 ,00	4236 ,00	533, 00	49,60	22,99	87,42	90,69
7- Οκτ	1807 ,50	3994,41	4543 ,00	4392 ,00	5479 ,00	976, 00	39,10	3,32	82,19	95,99

8- ΟΚΤ	1807 ,54	4132,43	7120 ,00	4937 ,00	4822 ,00	676, 00	29,50	30,66	85,98	95,64
9- ΟΚΤ	1807 ,58	4182,17	4644 ,00	2934 ,00	2701 ,00	511, 00	39,10	36,82	81,08	92,35
10- ΟΚΤ	1807 ,63	4059,79	3999 ,00	2339 ,00	2468 ,00	503, 00	35,40	41,51	79,62	92,96
11- ΟΚΤ	1807 ,67	4218,32	7341 ,00	4754 ,00	4831 ,00	368, 00	38,40	35,24	92,38	89,57
12- ΟΚΤ	1807 ,71	4212,72	5068 ,00	4118 ,00	4283 ,00	269, 00	40,20	18,75	93,72	85,06
13- ΟΚΤ	1807 ,75	3845,76	5444 ,00	2859 ,00	4582 ,00	281, 00	45,10	47,48	93,87	83,95
14- ΟΚΤ	1807 ,79	4201,99	4919 ,00	3230 ,00	2625 ,00	370, 00	35,70	34,34	85,90	90,35
15- ΟΚΤ	1807 ,83	4051,29	4915 ,00	2469 ,00	2435 ,00	376, 00	35,10	49,77	84,56	90,66
16- ΟΚΤ	1807 ,88	3800,90	3759 ,00	1985 ,00	2540 ,00	345, 00	41,80	47,19	86,42	87,88
17- ΟΚΤ	1807 ,92	3799,30	3940 ,00	2200 ,00	2431 ,00	388, 00	48,90	44,16	84,04	87,40
18- ΟΚΤ	1807 ,96	3486,93	4442 ,00	2396 ,00	2674 ,00	376, 00	54,30	46,06	85,94	85,56
19- ΟΚΤ	1808 ,00	3196,85	4918 ,00	2729 ,00	2754 ,00	394, 00	52,40	44,51	85,69	86,70
20- ΟΚΤ	1808 ,04	2902,80	6572 ,00	4260 ,00	2620 ,00	366, 00	34,10	35,18	86,03	90,68
11- Νοε	1808 ,96	0,00	2588 ,00	1097 ,00	1350 ,00	435, 00	29,40	57,61	67,78	93,24
12- Νοε	1809 ,00	1539,56	3011 ,00	1319 ,00	3424 ,00	337, 00	27,80	56,19	90,16	91,75
13- Νοε	1809 ,04	3281,84	6380 ,00	4358 ,00	3406 ,00	483, 00	34,10	31,69	85,82	92,94
14- Νοε	1809 ,08	3858,36	6430 ,00	5055 ,00	4864 ,00	257, 00	30,80	21,38	94,72	88,02
15- Νοε	1809 ,13	3716,22	7415 ,00	4902 ,00	4910 ,00	292, 00	29,10	33,89	94,05	90,03
16- Νοε	1809 ,17	2049,62	4577 ,00	2329 ,00	3162 ,00	279, 00	33,90	49,12	91,18	87,85
17- Νοε	1809 ,21	1137,25	7326 ,00	5194 ,00	2069 ,00	1932 ,00	40,10	29,10	6,62	97,92
18- Νοε	1809 ,25	2016,43	5367 ,00	2854 ,00	2188 ,00	787, 00	39,40	46,82	64,03	94,99
19- Νοε	1809 ,29	2812,45	5716 ,00	3649 ,00	2822 ,00	379, 00	33,50	36,16	86,57	91,16
20- Νοε	1809 ,33	3301,21	6718 ,00	4216 ,00	3904 ,00	480, 00	38,40	37,24	87,70	92,00
21- Νοε	1809 ,38	4177,82	7478 ,00	5059 ,00	4501 ,00	534, 00	35,90	32,35	88,14	93,28
22- Νοε	1809 ,42	4221,62	6942 ,00	4770 ,00	4816 ,00	705, 00	38,20	31,29	85,36	94,58

23- Νοε	1809 ,46	4006,20	6989 ,00	4577 ,00	4621 ,00	772, 00	33,90	34,51	83,29	95,61
24- Νοε	1809 ,50	3538,20	7393 ,00	3028 ,00	4774 ,00	635, 00	32,40	59,04	86,70	94,90
9- Δεκ	1810 ,13	4085,94	8510 ,00	6253 ,00	5196 ,00	723, 00	45,50	26,52	86,09	93,71
10- Δεκ	1810 ,17	4233,84	7098 ,00	6316 ,00	4338 ,00	481, 00	51,10	11,02	88,91	89,38
11- Δεκ	1810 ,21	4327,03	6243 ,00	4217 ,00	4442 ,00	636, 00	41,80	32,45	85,68	93,43
12- Δεκ	1810 ,25	4752,72	8195 ,00	6322 ,00	4483 ,00	454, 00	37,00	22,86	89,87	91,85
13- Δεκ	1810 ,29	5758,06	8728 ,00	6443 ,00	5963 ,00	1166 ,00	18,70	26,18	80,45	98,40
14- Δεκ	1810 ,33	5067,66	7255 ,00	5256 ,00	5613 ,00	485, 00	29,60	27,55	91,36	93,90
15- Δεκ	1810 ,38	5314,41	7098 ,00	6316 ,00	6433 ,00	502, 00	28,80	11,02	92,20	94,26
16- Δεκ	1810 ,42	4756,85	7146 ,00	5022 ,00	5259 ,00	637, 00	29,10	29,72	87,89	95,43
17- Δεκ	1810 ,46	4657,48	8294 ,00	6156 ,00	5107 ,00	466, 00	33,50	25,78	90,88	92,81
18- Δεκ	1810 ,50	4395,40	9479 ,00	6809 ,00	5246 ,00	913, 00	31,70	28,17	82,60	96,53
19- Δεκ	1810 ,54	4785,91	7656 ,00	5013 ,00	5025 ,00	1347 ,00	30,90	34,52	73,19	97,71
20- Δεκ	1810 ,58	5480,34	8195 ,00	6322 ,00	6142 ,00	521, 00	26,80	22,86	91,52	94,86
21- Δεκ	1810 ,63	5451,36	8294 ,00	6156 ,00	5941 ,00	361, 00	25,40	25,78	93,92	92,96
22- Δεκ	1810 ,67	5388,20	7050 ,00	6253 ,00	6250 ,00	333, 00	24,90	11,30	94,67	92,52

## 6.2 Συμπεράσματα βάσει εκτίμησης των αριθμητικών δεδομένων

1)Μας ενδιαφέρουν τα ποσοστά βιομετατροπής που έχει επιτύχει ο ECSB αντιδραστήρας. Συγκεκριμένα, θα ανατρέξουμε στον πίνακα μας και θα βρούμε το ελάχιστο, το μέγιστο και τον μέσο όρο. Ξεκινάμε λοιπόν με την ελάχιστη μετατροπή % που έχει επιτύχει ο βιοαντιδραστήρας μας ECSB. Ανατρέχοντας στα δεδομένα μας λοιπόν βλέπουμε πως το ελάχιστο ποσοστό βιομετατροπής που έχουμε επιτύχει αντιστοιχεί σε 67,77 %. Το μέγιστο ποσοστό της βιομετατροπής αντίστοιχα είναι 94,71%. Και ο μέσος όρος βάσει των μετρήσεων μας είναι 83,15%.

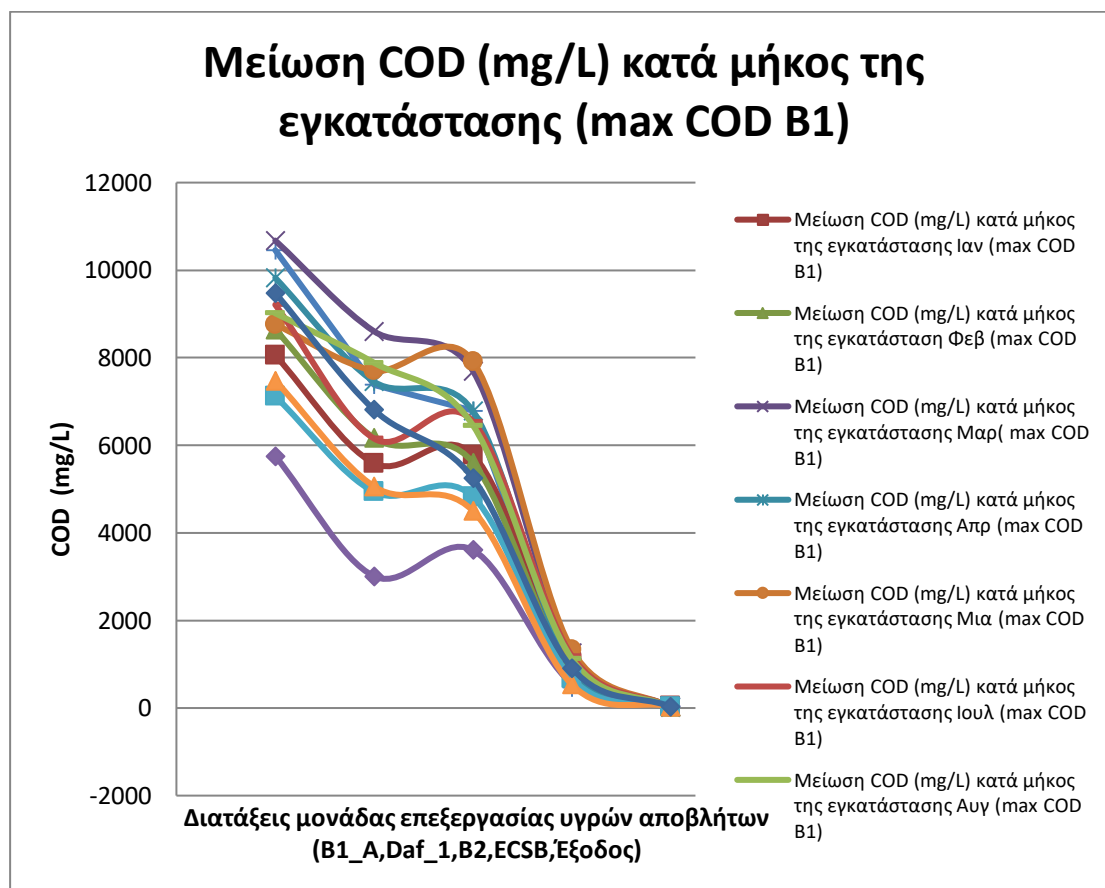
2)Τεράστιο ενδιαφέρον έχει η βιομετατροπή που θα επιτύχει ο βιοαντιδραστήρας μας όσον αφορά την φόρτιση που θα δεχθεί βάσει μετρήσεων μας. Συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή του COD που μετρήθηκε στο Buffer 2 είναι 9243 (mg/L). Με βάσει τους υπολογισμούς μας έχουμε βιομετατροπή κατά ποσοστό 78,76%. Αντίστοιχα, η ελάχιστη τιμή φόρτισης του Buffer 2, η οποία είναι 1350 mg/L, με το ποσοστό βιομετατροπής να είναι ίσο με 67,77%.

3)Στη συνέχεια θα δούμε συνολικά την βιομετατροπή που πετυχαίνει ο συνδυασμός των συστημάτων της εγκατάστασης μας. Δηλαδή, θα εξετάσουμε όπως και προηγουμένως τις μετρήσεις, απλά σε αυτήν την περίπτωση θα εξετάσουμε και την συμβολή του αερόβιου. Συγκεκριμένα, η ελάχιστη φόρτιση που έχει δεχτεί το αερόβιο σύστημα μας είναι 257 mg/L και στην έξοδο της εγκατάστασης μας αντίστοιχα είναι 30,8 mg/L που αντιστοιχεί σε ποσοστό βιομετατροπής 84,89%. Όσον αφορά τη μέγιστη φόρτιση που δέχεται το αερόβιο κομμάτι της εγκατάστασης μας, είναι 2368 mg/L και καταλήγει στην έξοδο σε μέτρηση 21,5 mg/L. Η βιομετατροπή που έχει συμβεί, αντιστοιχεί σε ποσοστό 98,86%.

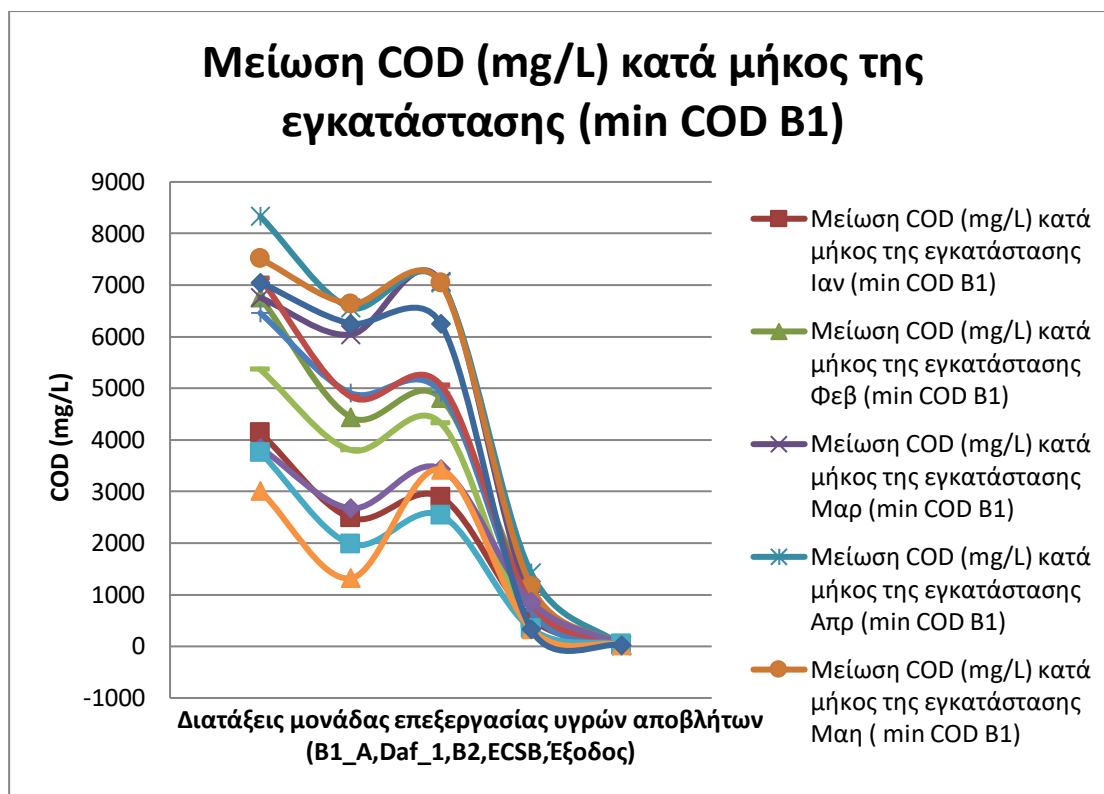
4)Επίσης πολύ σημαντικό δεδομένο είναι ότι το τυρόγαλο που επεξεργάστηκε η εγκατάσταση μέσα σε έναν χρόνο είναι αθροιστικά 30658,19 m<sup>3</sup>, παράλληλα με το τυρόγαλο η εγκατάσταση δέχτηκε και επεξεργάστηκε 375.576 m<sup>3</sup> υγρών αποβλήτων από την παραγωγική μονάδα

### 6.3 Διαγράμματα παρουσίασης αποτελεσματικότητας:

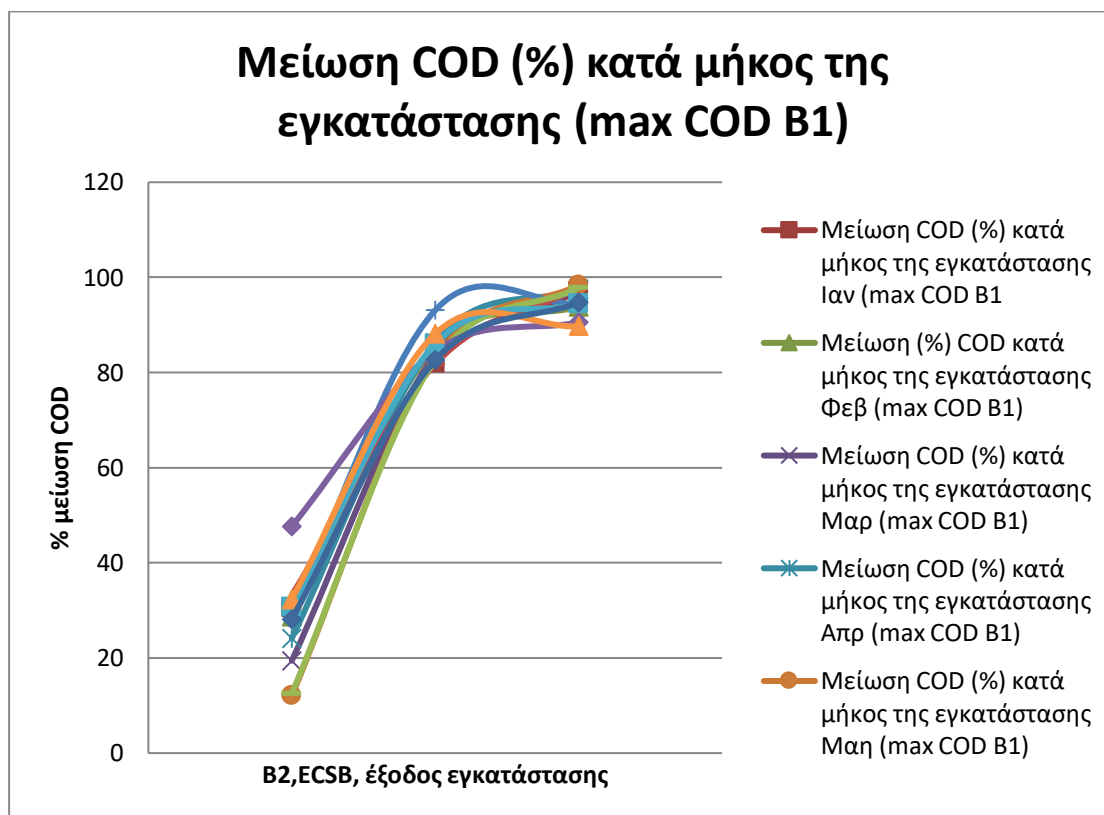
Ακολουθούν διαγράμματα που αντιστοιχούν στην μείωση του φορτίου που σημειώνεται κατά τα διάφορα στάδια της εγκατάστασης. Λόγω της πληθώρας των δεδομένων, κάναμε μια σειρά επιλογών, συγκεκριμένα επιλέξαμε τις τιμές που αντιστοιχούν στη μέγιστη και ελάχιστη φόρτιση του Buffer Tank 1 ανά μήνα, κατά την διάρκεια ενός έτους (οι κουκκίδες αντιστοιχούν σε κάθε στάδιο όσον αφορά τα διαγράμματα COD (mg/L) ενώ στα διαγράμματα COD (%) εξετάζουμε τα σημεία που αποτελούν «θεωρητικά» τα βήματα της αναερόβιας χώνευσης)



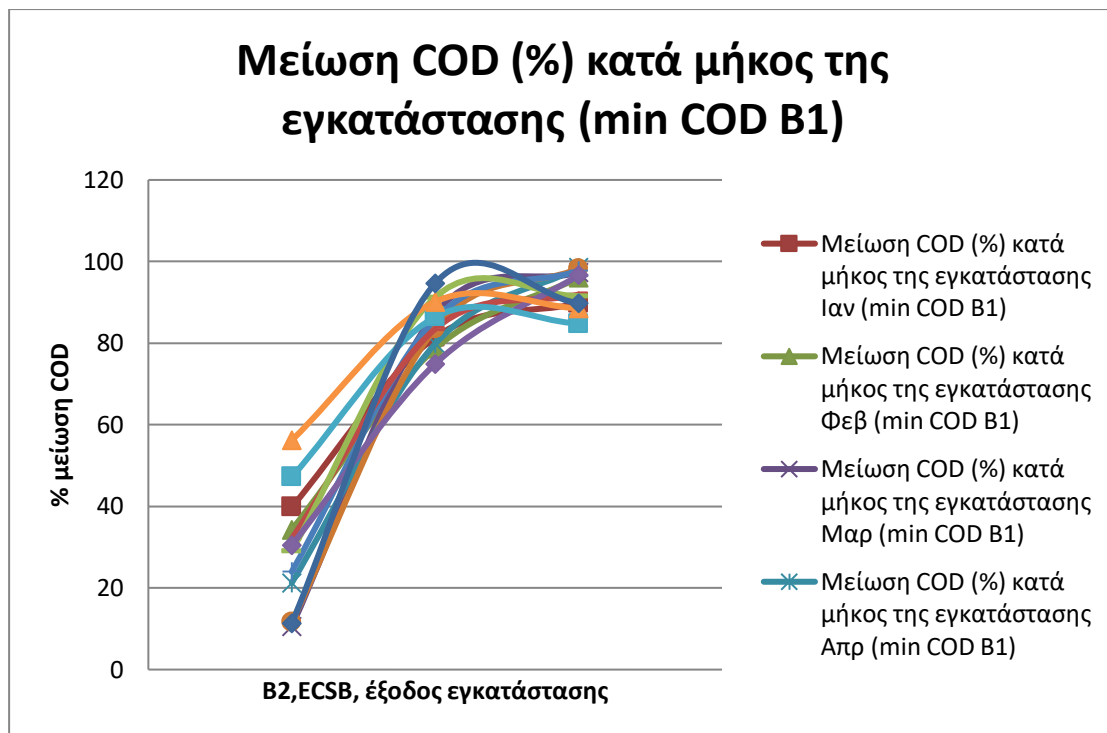
Διάγραμμα 1.



Διάγραμμα 2.

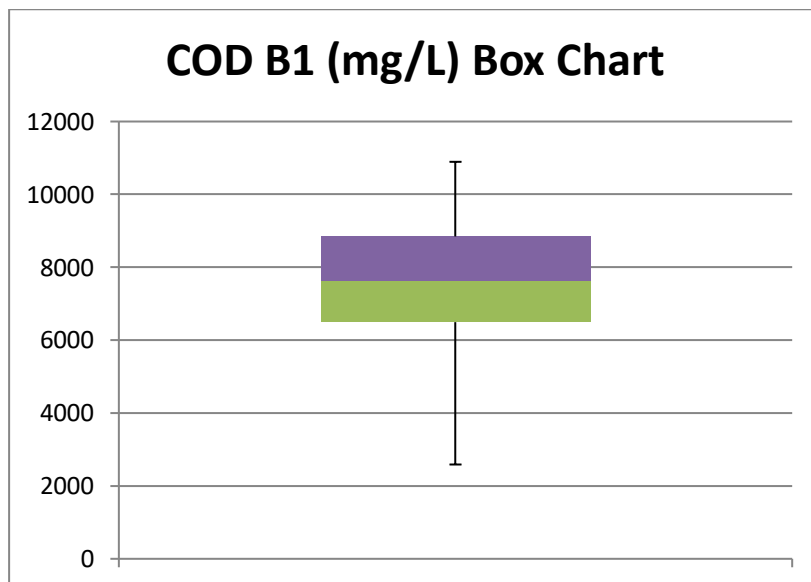


Διάγραμμα 3.

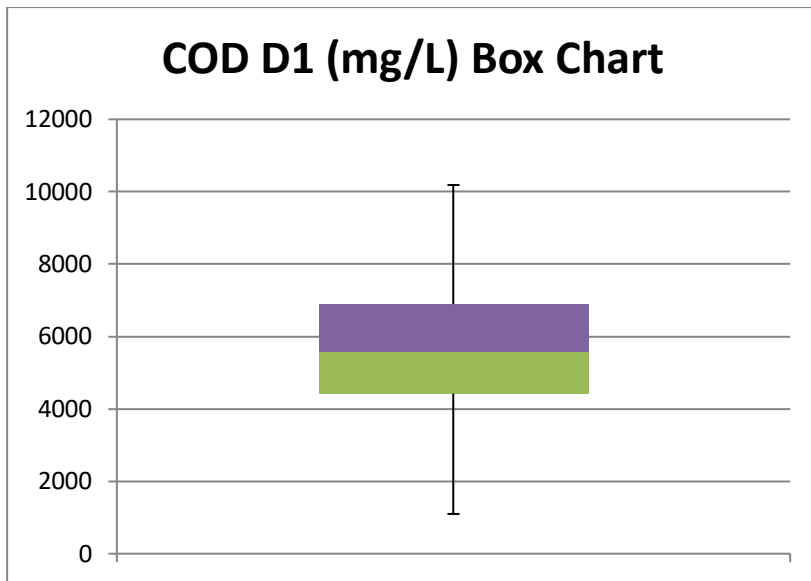


Διάγραμμα 4.

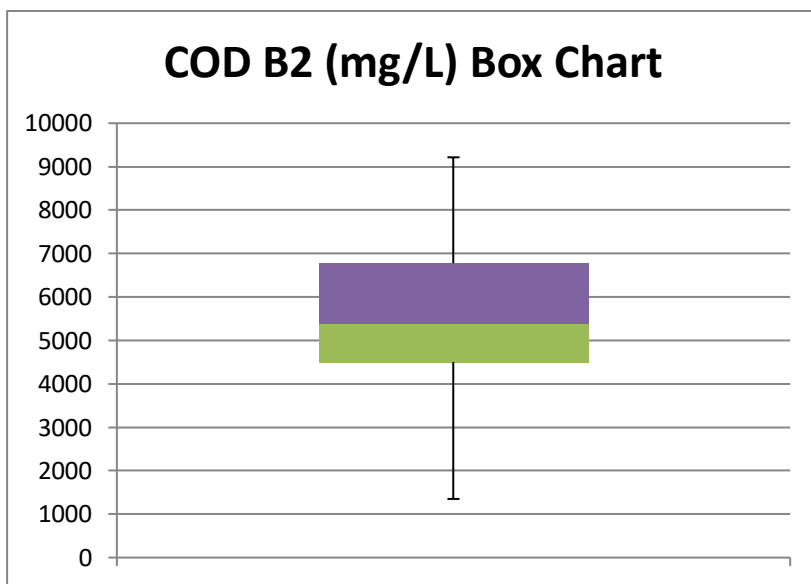
Όπως αναφέραμε και παραπάνω τα δεδομένα μας είναι πολλά. Θα πρέπει όμως να τα αποδώσουμε κάπως, διαγραμματικά. Έγινε επιλογή του τρόπου box chart ώστε να είναι εύκολα αντιληπτό το εύρος των τιμών των μετρήσεων μας. Ακολουθούν τα box chart:



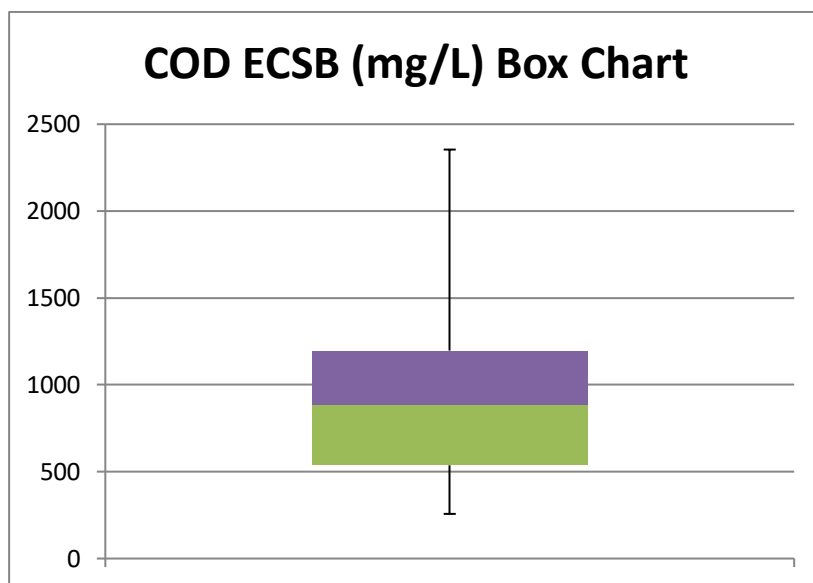
Διάγραμμα 5.



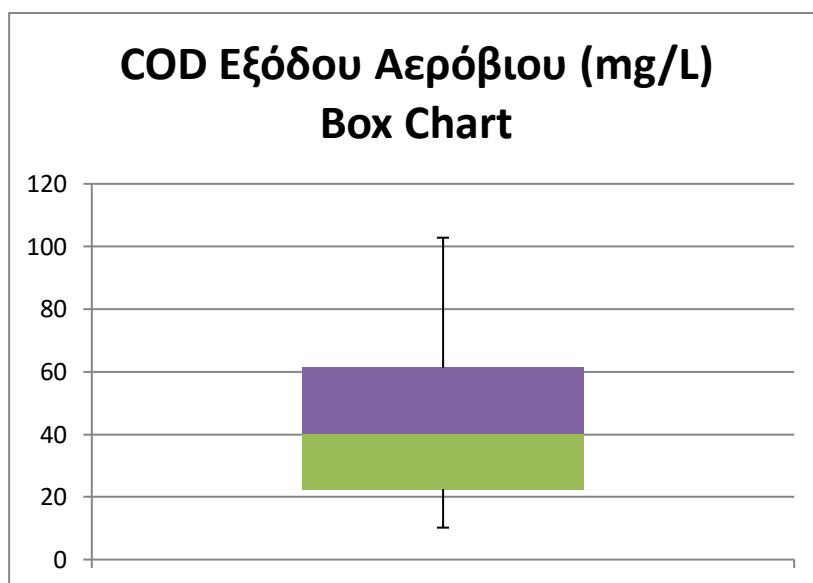
Διάγραμμα 6.



Διάγραμμα 7.



Διάγραμμα 8.



Διάγραμμα 9.

#### **6.4 Τελικό Συμπέρασμα:**

Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό από τα παραπάνω διαγράμματα, το σύστημα διαχείρισης των υγρών αποβλήτων της γλακτοβιομηχανίας « ΤΥΡ.Α.Σ», σημειώνει αποτελεσματικότητα όσον αφορά την μείωση του φορτίου των αποβλήτων κατά μέσο όρο σε ποσοστό 83,15 % για την αναερόβια διεργασία η οποία αναλαμβάνει και την διαχείριση του τυρογάλου. Λαμβάνοντας και την αερόβια εγκατάσταση που ακολουθεί σημειώνεται αποτελεσματικότητα 94,26 % κατά μέσο όρο. Επιπλέον εάν κάποιος εξετάσει όλες τις τιμές οι οποίες παρατήθενται στο παράρτημα θα δει πως η έξοδος της εγκατάστασης είχε μέγιστη μέτρηση 62,7 (mg/L) και ελάχιστη 10,2 (mg/L) στην διάρκεια του έτους. Καταλήγουμε λοιπόν στο αβίαστο συμπέρασμα πως η εγκατάσταση λειτουργεί άριστ βάσει του ποσοστού μείωσης που σημειώνεται από την είσοδο μέχρι την έξοδο της. Τέλος υπάρχει και η βιοπαραγωγή η οποία συμβάλει στην μείωση των καταναλώσεων ενεργειακά, της εγκατάστασης σε πρώτο επίπεδο και της εταιρείας σε επόμενο επίπεδο. Μπορούμε να πούμε πως ίσως θα έπρεπε να υιοθετηθεί από τις περισσότερες αν όχι από όλες τις εταιρίες του είδους καθώς έχουν διπλό όφελος:

- 1) διαχείριση του πλέον δύσκολου στη διαχείριση αποβλήτου της παραγωγικής διαδικασίας τους (το τυρόγαλο).
- 2) μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση καθώς έχεις παραγωγή βιοαερίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λέβητες για παραγωγή ατμού και εξυπηρέτηση των αναγκών των εταιριών του κλάδου σε θερμότητα.

Το περιβάλλον είναι ο πραγματικός «νικητής» μιας και δέχεται εισροές εύκολα διαχειρίσιμες από το ίδιο και «δίνει» λιγότερα!

#### **Βιβλιογραφία:**

- ❖ Κυριακόπουλος, Παν. Ι. (1995). *Η τυροκομία στην πράξη: εφαρμοσμένη τεχνολογία τυριών, κρέμας, βουτύρου παραδοσιακή και σύγχρονη*. Αθήνα. Τρίαινα εκδοτική.
- ❖ Metcalf and Eddy (2007). *Μηχανική υγρών αποβλήτων: επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση*, τόμος Α και Β, 4<sup>η</sup> έκδοση. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Τζιώλα.

#### **-Ηλεκτρονικές πηγές:**

- ❖ Hydrothane, hydrithane-stp.com (χ.χ.) . Διαθέσιμο στο <https://www.hydrothane-stp.com/> [ ημερομηνία πρόσβασης 16/6/21].
- ❖ Ελληνικά Γαλακτοκομεία Α. Ε. (2004), hellenicdairies.com. Διαθέσιμο στο <https://www.hellenicdairies.com/> [hmeromhnia pr;osbashw 16/6/21].
- ❖ Χρήστου Ι. (2011) *Διαχείριση αποβλήτων βιομηχανίας τυροκομείων*. Μη εκδοθείσα διπλωματική εργασία. Ελληνικό ανοικτό πανεπιστήμιο θετικών επιστημών & τεχνολογίας.