

ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

*«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ»*

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΡΟΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΠΡΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ**

**ANAEROBIC DIGESTION OF PRELIMINARY
WASTEWATER TREATMENT PRODUCTS FOR
BIOGAS PRODUCTION**

ΓΚΟΤΣΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2020

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η παραγωγή βιοαερίου (Biochemical Methane Potential) κατά την αναερόβια χώνευση προϊόντων πρωτοβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων Θεσσαλονίκης. Τα προϊόντα που αναλύθηκαν ήταν εσχαρίσματα από το στάδιο της εσχάρωσης, λίπος από το στάδιο της λιποσυλλογής και ο συνδυασμός των δύο σε αναλογία 50% w/w. Η διάρκεια της διαδικασίας ήταν 73 ημέρες ενώ το σύνολο των μετρήσεων ήταν 7 (μετά από 6, 12, 19, 27, 35, 40 και 73 ημέρες παραμονής αντίστοιχα). Για τον προσδιορισμό παραγωγής βιοαερίου από τα 3 διαφορετικά δείγματα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης με την χρήση λάσπης από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων Θεσσαλονίκης. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της παραγωγής βιοαερίου ήταν με φιάλη αναερόβιας χώνευσης. Τα δείγματα παραμένουν στην φιάλη με ποσότητα λάσπης για συνολικά 73 ημέρες ενώ οι μετρήσεις της συσσώρευσης του βιοαερίου γίνονται με την συχνότητα που αναφέρθηκε παραπάνω . Στη συγκεκριμένη μελέτη ο προσδιορισμός του βιοαερίου γίνεται από τον υπερκείμενο χώρο της κλειστής φιάλης, με την βοήθεια αεροστεγούς σύριγγας, ενώ ακολουθεί μέτρηση σε αέριο χρωματογράφο (GC). Το χρωματογράφημα συγκρίθηκε με αυτό που προέκυψε από μείγμα αερίων γνωστού όγκου για τον υπολογισμό της ποσότητας του βιοαερίου δείγματος. Η παραγωγή του βιοαερίου και στις 3 περιπτώσεις αποβλήτων παρουσίασε αυξητική γραμμική τάση μέχρι και τις 40 ημέρες παραμονής στην φιάλη. Στη συνέχεια και μέχρι τις 73 μέρες παραμονής η τιμή της συσσώρευσής του βιοαερίου παρουσίασε και στις 3 περιπτώσεις μία μέγιστη τιμή. Η επεξεργασία των δειγμάτων παρουσίασε σημαντική παραγωγή βιοαερίου με την παραγωγή του βιοαερίου από τα εσχαρίσματα ανά γραμμάριο ολικών πτητικών στερεών (Volatile Solids) να ξεχωρίζει.

ABSTRACT

This work studies the Biochemical Methane Potential (BMP) of the anaerobic digestion of primary wastewater treatment products from the municipal wastewater treatment plant of Thessaloniki. Experiments included the analysis of three different samples: screening products, fat and a combination of them at a ratio of 50 % w/w. The duration of the overall procedure was 73 days and measurements were conducted on a regular basis (biogas accumulation was measured after 6, 12, 19, 27, 35, 40 and 73 days). In order to measure biogas production, the anaerobic digestion process was employed using sludge from the municipal wastewater treatment plant of Thessaloniki. Biogas production was determined by means of anaerobic digestion flasks. In the present study, biogas was determined from the upper area of the closed flask followed by Gas Chromatography (GC) measurements. Small volume samples were taken from the flask by means of an airtight syringe and were injected into the gas chromatograph. The amount of biogas was measured by comparing the obtained chromatogram with a standard chromatogram of a gas mixture of known volumes. For all samples, the amount of biogas was linearly increased during the first 40 days. Then, biogas accumulation presented a peak value until the 73rd day. Sample processing showed a significant biogas production, especially when expressed per gram of total volatile solids (TVS).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

I ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	1
1. Εισαγωγή	1
2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων	7
2.1. Φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων	8
2.2. Χημικά (ανόργανα) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων.....	9
2.3. Χημικά (οργανικά) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων	9
2.4. Βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων	10
2.5. Το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD).....	10
2.6. Το άζωτο.....	11
2.7. Ο φώσφορος.....	14
2.8. Οι στερεές ουσίες στα υγρά απόβλητα.....	15
3. Πρωτοβάθμια επεξεργασία αστικών λυμάτων	17
3.1. Γενικά	17
3.2. Εσχάρωση.....	17
3.3. Εξάμμωση και Λιποσυλλογή (Αμμοσυλλέκτες).....	18
3.4. Επεξεργασία εσχαρισμάτων	20
3.5. Εκμετάλλευση των εσχαρισμάτων.....	22
4. Αναερόβια επεξεργασία.....	24
4.1. Περιγραφή αναερόβιας χώνευσης.....	26
4.2. Μικροβιολογία της Αναερόβιας Χώνευσης	28
4.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση - περιβάλλον ανάπτυξης	30
4.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης	33
4.5. Συστήματα αναερόβιας επεξεργασίας.....	35
4.6. Αναερόβια χώνευσης εσχαρισμάτων	36
II. ΣΚΟΠΟΣ	37

III. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	38
5. Υλικά και μέθοδοι.....	38
5.2. Υλικά - Προετοιμασία Δειγμάτων	39
5.3. Προετοιμασία δειγμάτων.....	40
5.4. Διαδικασία μέτρησης	41
6. Αναλυτικοί Προσδιορισμοί.....	43
6.1. Ολικά στερεά (Total Solids, TS).....	43
6.2. Πτητικά στερεά (Volatile Solids, VS).....	43
6.3. Αμμωνιακό Άζωτο (NH ₃).....	43
6.4. Ολικό άζωτο κατά Kjeldhal (Total Kjeldhal Nitrogen, TKN).....	43
6.5. Φώσφορος (Phosphorus)	44
6.6. Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, COD).....	44
6.7. Λίπη και έλαια (Oil and grease).....	44
7.11. Πτητικά λιπαρά οξέα (Volatile fatty acids)	44
IV ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	45
7. Αναλυτικοί προσδιορισμοί.....	45
7.1 Προσδιορισμός Ολικών Στερεών (TS) και Ολικών Πτητικών Στερεών (TVS).....	45
7.2. Προσδιορισμός Λίπους και Χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD).....	47
7.3 Προσδιορισμός Φώσφορου (P) και Αζώτου (N)	49
8. Προσδιορισμός παραγωγής βιοαερίου	51
8.1. Παραγωγή βιοαερίου από δείγματα εσχαρισμάτων	51
8.2. Παραγωγή βιοαερίου από δείγματα Λίπους.....	53
8.3. Παραγωγή βιοαερίου από δείγματα Εσχαρίσματα - Λίπος.....	55
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	58
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59

Ι ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

1. Εισαγωγή

Τα υγρά απόβλητα δεν είναι τίποτα άλλο παρά νερό το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο σε μια πληθώρα εφαρμογών. Οι κύριες πηγές προέλευσής τους είναι οι κατοικίες, τα ιδρύματα και οι διάφορες εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Η έντονη συγκέντρωση πληθυσμών στα αστικά κέντρα και η ραγδαία βιομηχανική ανάπτυξη οδήγησε σε υπερκατανάλωση νερού από τον άνθρωπο και σε ταχεία μετατροπή του πολύτιμου αυτού αγαθού, ίσως του πολυτιμότερου στον πλανήτη, σε «βρώμικο νερό» δηλαδή σε απόβλητο.

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν ρυπαντικές και μολυσματικές ουσίες και η απ' ευθείας διάθεσή τους σε έναν φυσικό, συνήθως υδάτινο αποδέκτη, εγκυμονεί κινδύνους τόσο για τον αποδέκτη όσο και για τα υπόλοιπα έμβια όντα, κυρίως όμως για τον άνθρωπο.

Για την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας είναι απαραίτητες οι θεμελιώδεις γνώσεις των χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων, της επίδρασής τους στο περιβάλλον, των μεθόδων επεξεργασίας που μπορούν να εφαρμοστούν για την απομάκρυνση και την εξουδετέρωση αυτών των συστατικών και των μεθόδων για την αξιοποίηση ή την ασφαλή διάθεση των στερεών που παράγονται κατά την επεξεργασία τους.

Η οδηγία **91/271/ΕΟΚ 21.05.1991**, η οποία εκδόθηκε με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος από τις αρνητικές επιπτώσεις της απόρριψης των υγρών αποβλήτων και αφορά την ολοκληρωμένη διαχείρισή τους, αναφέρει ότι **αστικά λύματα** είναι τα υγρά απόβλητα που προέρχονται κυρίως από χώρους υγιεινής, κουζίνες, πλυντήρια και γενικά από διαδικασίες καθαριότητας κατοικιών, γραφείων, καταστημάτων κ.λπ. Στην κατηγορία των αστικών λυμάτων περιλαμβάνονται και αυτά των εστιατορίων, ξενοδοχείων, δημοσίων υπηρεσιών, καταστημάτων, γραφείων κ.λπ. Συνεπώς τα αστικά λύματα περιέχουν κυρίως υπολείμματα τουαλέτας, απόνερα λουτρού και κουζίνας, απόνερα λάτρας και καθαριότητας κ.λπ. Στα κυριότερα συστατικά τους περιλαμβάνονται οργανικές κυρίως ουσίες σε διάλυση ή αιωρούμενα σωματίδια, λίπη, έλαια, ανόργανες ουσίες και σε ελάχιστες ποσότητες διαλυμένα

αέρια όπως η αμμωνία (NH_3) και το υδρόθειο (H_2S). **Βιομηχανικά απόβλητα** ονομάζονται τα απόβλητα που απορρίπτονται από κτίρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα και τα οποία δεν είναι οικιακά λύματα ή όμβρια ύδατα. Είναι δηλαδή τα υγρά απόβλητα των βιομηχανικών ή βιοτεχνικών εγκαταστάσεων, που δημιουργούνται κατά την παραγωγική διαδικασία και μπορεί να περιέχουν υπολείμματα των υλών που χρησιμοποιούνται. Δεν συμπεριλαμβάνονται τα λύματα του προσωπικού τα οποία κατατάσσονται στα αστικά λύματα.

Η ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει έργα για τη συλλογή, την επεξεργασία και τη διάθεσή τους. Τα υγρά απόβλητα μιας πόλης συλλέγονται με το σύστημα αποχέτευσης, το οποίο είναι δυνατόν να είναι χωριστικό (όταν δεν δέχεται όμβρια ύδατα) ή παντοροϊκό (όταν δέχεται και όμβρια ύδατα) ή και μερικά χωριστικό (όταν μόνο μερικά τμήματα του δικτύου αποχέτευσης δέχονται όμβρια ύδατα και μερικά δεν δέχονται). Πολλές φορές το σύστημα δέχεται και εισροές από υπόγεια ή επιφανειακά νερά. Μπορεί ακόμα και υπό προϋποθέσεις να δέχεται και κάποιες κατηγορίες βιομηχανικών αποβλήτων τα οποία όμως έχουν οπωσδήποτε υποστεί κάποιου είδους προεπεξεργασία. Όλο το δίκτυο του συστήματος αποχέτευσης συμβάλλει σε έναν Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό (Κ.Α.Α.) ο οποίος καταλήγει σε μια **Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.)** όπου τα λύματα υφίστανται επεξεργασία με σκοπό τη δέσμευση και την εξουδετέρωση των ανεπιθύμητων συστατικών τους.

Πολλές φορές στις Ε.Ε.Λ. καταλήγουν και βοθρολύματα με τη βοήθεια βυτιοφόρων οχημάτων, αφού ακόμα και σήμερα ένα σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού σε διάφορες χώρες, αλλά ιδιαίτερα στις λιγότερο αναπτυγμένες, δεν είναι συνδεδεμένο σε κάποιο δίκτυο αποχέτευσης και εξυπηρετείται με σηπτικούς κυρίως βόθρους. Οι σηπτικοί βόθροι είναι στεγανές δεξαμενές όπου οδηγούνται τα λύματα για καθίζηση και κατακράτηση των αιωρούμενων συστατικών καθώς επίσης και μερική αποικοδόμηση του οργανικού φορτίου. Τονίζεται όμως ότι τα βοθρολύματα που προέρχονται από την εκροή μιας σηπτικής δεξαμενής διαφέρουν σημαντικά από τα «φρέσκα» αστικά λύματα και ότι τυγχάνουν ιδιαίτερης φροντίδας.

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων πριν από τη διάθεσή τους αμβλύνει τις δυσμενείς επιπτώσεις στους αποδέκτες, διαφυλάσσει την οικολογική ισορροπία και προστατεύει το περιβάλλον. Οι μέθοδοι επεξεργασίας με φυσικές δυνάμεις είναι γνωστές ως φυσικές

διεργασίες, ενώ οι μέθοδοι κατά τις οποίες η απομάκρυνση των ρυπογόνων ουσιών επιτυγχάνεται με χημικές και βιολογικές αντιδράσεις είναι γνωστές ως χημικές και βιολογικές διεργασίες.

Το βασικό τρίπτυχο που ενδιαφέρει στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι οι μικροοργανισμοί, η περιεχόμενη οργανική ύλη η οποία αποτελεί την τροφή των μικροοργανισμών και το οξυγόνο το οποίο είναι απαραίτητο για την ενέργεια και την επιβίωση των μικροοργανισμών.

Τα κύρια στάδια της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων είναι τα εξής:

Προεπεξεργασία, κατά την οποία απομακρύνονται υλικά όπως πανιά, χαλίκια, άμμος, μικρά τεμάχια ξύλου και πλαστικού, λάδια, λίπη κ.λπ. τα οποία συνήθως προκαλούν ζημιές στο μηχανολογικό εξοπλισμό και προβλήματα στη συντήρηση και τη λειτουργία της Ε.Ε.Α.

Πρωτοβάθμια επεξεργασία, κατά την οποία απομακρύνεται ένα μέρος των αιωρούμενων στερεών και ένα μέρος των οργανικών ουσιών. Αυτό επιτυγχάνεται με το φυσικό φαινόμενο της καθίζησης.

Δευτεροβάθμια επεξεργασία, κατά την οποία απομακρύνονται οι βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες και τα αιωρούμενα στερεά με τη χρήση βιολογικών και χημικών διεργασιών. Σημειώνεται ότι και η απολύμανση περιλαμβάνεται στον τυπικό ορισμό της συμβατικής δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.

Δευτεροβάθμια επεξεργασία με απομάκρυνση των θρεπτικών ουσιών, κατά την οποία απομακρύνονται οι βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες, τα αιωρούμενα στερεά και οι θρεπτικές ουσίες του αζώτου και του φωσφόρου και πάλι με τη χρήση βιολογικών και χημικών διεργασιών.

Τριτοβάθμια επεξεργασία, κατά την οποία απομακρύνονται οι εναπομείνουσες από την δευτεροβάθμια επεξεργασία αιωρούμενες ουσίες, συνήθως με χρήση μέσου διήθησης.

Προχωρημένη επεξεργασία, για την απομάκρυνση των αιωρούμενων αλλά και των διαλυμένων ουσιών που παραμένουν στα απόβλητα μετά τη συνηθισμένη βιολογική επεξεργασία, όταν αυτή απαιτείται σε διάφορες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης του νερού. Η επεξεργασία αυτή επιτυγχάνεται με συνδυασμό φυσικών, βιολογικών και χημικών

διεργασιών και συνήθως περιλαμβάνει διήθηση, χρήση μεμβρανών, αντίστροφη ώσμωση, προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, ιοντοεναλλαγή κ.ά.

Υπάρχουν και διεργασίες επεξεργασίας λυμάτων που στηρίζονται στο έδαφος και ονομάζονται φυσικά συστήματα επεξεργασίας. Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς μηχανισμούς επεξεργασίας και επιτυγχάνουν ικανοποιητική ποιότητα εκροής. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρά συστήματα επεξεργασίας.

Με στόχο λοιπόν την προστασία της υγείας των ανθρώπων μέσω της προστασίας της ποιότητας του νερού (πόσιμο, κολύμβηση, ψάρεμα κ.λπ.) και την αποφυγή μετάδοσης ασθενειών, την αποτροπή δηλητηριάσεων από τοξικές ουσίες, υπολείμματα φαρμάκων και βαριά μέταλλα τα οποία βιοσυσσωρεύονται, την προστασία της ποιότητας των αποδεκτών από την ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου (D.O.) και την αλλοίωση του οικοσυστήματος (αποξυγόνωση), από την αισθητική υποβάθμιση (οσμές, μη διαύγεια, κ.λπ.) και τα φαινόμενα ευτροφισμού (υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων), είναι προφανές ότι όλοι οι ρύποι πρέπει να απομακρυνθούν από τα υγρά απόβλητα στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.) εφαρμόζοντας διάφορες διεργασίες και τεχνικές.

Σύγχρονα δίκτυα αποχέτευσης άρχισαν να κατασκευάζονται στην Ευρώπη πριν από 100 – 120 περίπου χρόνια. Τη δεκαετία του 1930 ξεκίνησε στην Ευρώπη η κατασκευή των πρώτων Ε.Ε.Λ. Σήμερα έχουν κατασκευαστεί σύγχρονες Ε.Ε.Λ. σε όλες σχεδόν τις πόλεις της Ελλάδας, οι οποίες περιλαμβάνουν πολλά στάδια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και κάθε στάδιο επεξεργασίας περιλαμβάνει περισσότερες από μια διεργασίες.



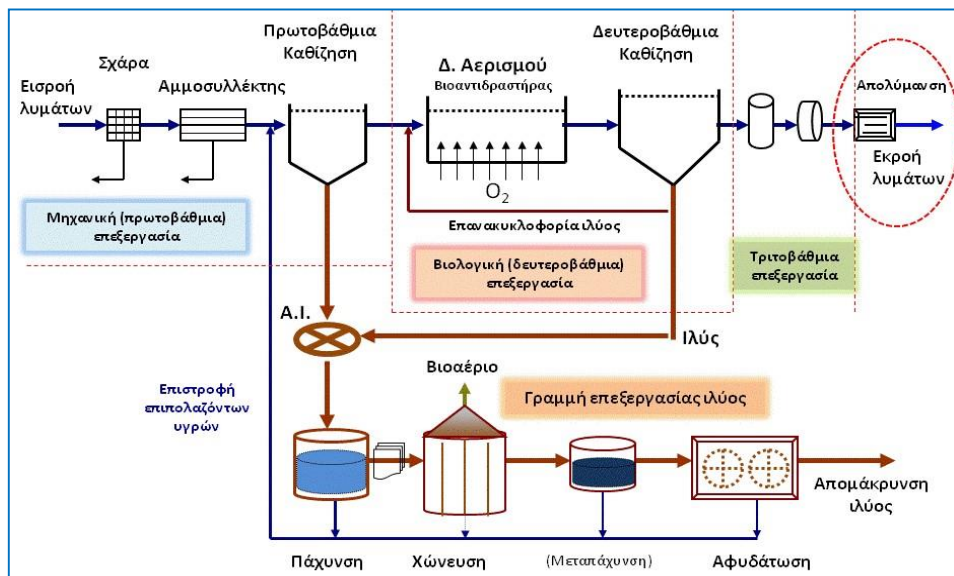
Σχήμα 1: Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (Ψυττάλεια, Θεσσαλονίκη, Πάτρα)

Στις μεγάλες Ε.Ε.Λ. (Σχήμα 1) οι διάφορες διεργασίες γίνονται σε ξεχωριστούς χώρους (δεξαμενές). Στις μικρότερες εγκαταστάσεις κατασκευάζονται όσο το δυνατόν λιγότερες δεξαμενές.

Αντίστοιχα έχουν αναπτυχθεί ξεχωριστές τεχνολογίες για την κατασκευή:

- μικρών εγκαταστάσεων, (για μικρούς οικισμούς),
- μεσαίων εγκαταστάσεων (για χωριά),
- μεγάλων εγκαταστάσεων, (για μικρές πόλεις),
- πολύ μεγάλων εγκαταστάσεων (για μεγάλες πόλεις).

Ένα σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει διάφορα στάδια επεξεργασίας και σχεδιάζεται με σκοπό να δεσμεύσει και να απομακρύνει από τα απόβλητα το οργανικό φορτίο, ανόργανες ουσίες όπως τα θρεπτικά άλατα (N και P), τα αιωρούμενα (SS) και διαλυμένα (DS) στερεά, τους επικίνδυνους μικροοργανισμούς και διάφορους άλλους ρυπαντές. Αυτό επιτυγχάνεται με συνδυασμό φυσικών, χημικών, φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών. Το σύνολο αυτών των διεργασιών αποτελεί τη διαδικασία της επεξεργασίας, κύρια επιδίωξη της οποίας είναι η απαλλαγή της μάζας των αποβλήτων από τους ρύπους και δευτερεύουσα επιδίωξη η εξουδετέρωση των ρύπων. Στο Σχήμα 2 δίνεται ένα απλό σκαρίφημα (διάγραμμα ροής) μιας μεγάλης εγκατάστασης βιολογικής επεξεργασίας αστικών λυμάτων με τη μέθοδο της ενεργού ίλύος.



Σχήμα 2: Τυπικό διάγραμμα ροής Ε.Ε.Α. με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος

Είναι εμφανής η διάκριση μεταξύ της μηχανικής ή πρωτοβάθμιας και της βιολογικής ή δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Διακρίνεται επίσης η τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία, η απολύμανση των λυμάτων και η γραμμή επεξεργασίας της ιλύος.

Οι πιο συνηθισμένες διαδικασίες καθαρισμού που εμφανίζονται είναι η υποδοχή των υγρών αποβλήτων και η αφαίρεση ευμεγεθών στερεών συνήθως με σχάρες ή κόσκινα, η αφαίρεση λιπών και ελαίων (λιποσυλλέκτες) και η αφαίρεση της άμμου (αμμοσυλλέκτες). Ακολουθεί η απομάκρυνση των ουσιών που καθιζάνουν στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης. Σ' αυτό το σημείο ολοκληρώνεται η πρωτοβάθμια επεξεργασία και ακολουθεί η δευτεροβάθμια (βιολογική) επεξεργασία, η οποία περιλαμβάνει τον βιοαντιδραστήρα (δεξαμενή αερισμού) και την δεξαμενή τελικής καθίζησης. Τα λύματα που υπερχειλίζουν από την δεξαμενή τελικής καθίζησης απολυμαίνονται, συνήθως με χλωρίωση (Cl_2) και πιο σπάνια με υπεριώδη ακτινοβολία (UV) ή όζον (O_3) και διατίθενται σε κάποιον αποδέκτη. Σύμφωνα με την οδηγία 98/15/ΕΕ αν ο αποδέκτης των επεξεργασμένων εκροών είναι ευαίσθητος απομακρύνονται από τα απόβλητα και τα άλατα του αζώτου (N) και του φωσφόρου (P). Σε περιπτώσεις πολύ αυστηρών απαιτήσεων για τις εκροές, τα απόβλητα θα πρέπει να υποβληθούν και σε τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία η οποία περιλαμβάνει διήθηση, διεργασίες μεμβρανών, αντίστροφη ώσμωση κ.λπ.

Η ιλύς που προκύπτει από τις δεξαμενές καθίζησης οδηγείται προς πάχυνση (παχυντής), σταθεροποίηση (αερόβια ή αναερόβια) και αφυδάτωση είτε με φυσική ξήρανση (κλίνες

ξήρανσης, χωμάτινες δεξαμενές, ηλιακή ακτινοβολία) είτε με μηχανική αφυδάτωση (ταινιοφιλτρόπρεςες, φυγοκεντρικοί διαχωριστές). Η σταθεροποιημένη και αφυδατωμένη ιλύς διατίθεται σε χώρους που προβλέπει η αρμόδια αρχή.

Διευκρινίζεται ότι σε κάθε περίπτωση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων δεν εφαρμόζονται ταυτόχρονα όλες οι πιο πάνω επεξεργασίες, αλλά ο πιο κατάλληλος για την περίπτωση συνδυασμός, που η εκλογή του γίνεται από τον ειδικό μελετητή με βάση την επαγγελματική του εκτίμηση, την ποιότητα και ποσότητα των αποβλήτων, την αφομοιωτική ικανότητα και τις επιθυμητές χρήσεις του αποδέκτη. Ο καθορισμός της χρήσης του αποδέκτη καθορίζει κατά κανόνα τον τελικό βαθμό καθαρισμού / επεξεργασίας. Διαφορετικός είναι για παράδειγμα ο απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας όταν ο αποδέκτης είναι η θάλασσα και διαφορετικός όταν πρόκειται για ένα ποτάμι ή μια λίμνη. Πολλές φορές μελετάται το σύστημα σε πειραματική μονάδα και διεξάγονται εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό των ειδικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να συνδυάζεται η απαιτούμενη ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων με τη μικρότερη δυνατή δαπάνη κατασκευής και λειτουργίας μιας Ε.Ε.Λ., να διασφαλίζεται η δημόσια υγεία και γενικότερα η προστασία του περιβάλλοντος και η ποιότητα ζωής.

2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

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

Οι ουσίες αυτές χαρακτηρίζονται ως ρυπαντές του νερού και του περιβάλλοντος γενικότερα. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη, επιβάλλεται από τη νομοθεσία (οδηγία 98/15/ΕΕ) και στοχεύει στην εξουδετέρωση και την απομάκρυνση αυτών των ρυπαντών.

Οι βασικές γνώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων και η διάκριση των εννοιών «ρύπανση» και «μόλυνση» του νερού, θεωρούνται απαραίτητα στοιχεία για την κατανόηση των διεργασιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

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

Ένας ρύπος χαρακτηρίζεται **τοξικός** όταν έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει σοβαρή βλάβη ή θάνατο σε ανθρώπους ή ζώα.

Μόλυνση χαρακτηρίζεται η αύξηση του παθογόνου μικροβιακού φορτίου η οποία μπορεί να προκαλέσει επιβλαβείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και κατ' επέκταση σε άνθρωπο ή ζώα.

Οι ρύποι του νερού διακρίνονται σε:

συμβατικούς,
μη συμβατικούς,
θερμικούς και
ρύπους (μολυντές) από μικρόβια.

Στους **συμβατικούς ρύπους** ανήκουν ουσίες που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως οργανική ύλη (οργανικές ουσίες), ενώσεις του αζώτου (αμμωνιακά NH_4^+ , νιτρώδη NO_2^- , νιτρικά άλατα NO_3^-), ενώσεις του φωσφόρου (κυρίως φωσφορικά άλατα PO_4^{3-}).

2.1. Φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

Θερμοκρασία. Σημαντική παράμετρος για το σχεδιασμό και τη λειτουργία των βιολογικών διεργασιών στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

Αγωγιμότητα. Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η ποιότητα της επεξεργασμένης εκροής, ειδικά για γεωργική χρήση.

Θολότητα. Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η ποιότητα της εκροής.

Διαπερατότητα. Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η ποιότητα της εκροής για απολύμανση με UV.

Χρώμα (Ανοιχτό καφέ, γκρι, μαύρο). Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η κατάσταση των λυμάτων, δηλαδή φρέσκα λύματα ή λύματα που έχουν υποστεί σήψη.

Οσμή. Παράμετρος με την οποία καθορίζεται εάν οι οσμές αποτελούν πρόβλημα.

Πυκνότητα.

Στερεές ουσίες (Αιωρούμενες, Επιπλέουσες, Καθιζάνουσες, Αδιάλυτες, Διαλυμένες) και κατανομή μεγέθους σωματιδίων.

2.2. Χημικά (ανόργανα) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

pH (-log[H⁺]). Το μέτρο της οξύτητας ή της αλκαλικότητας των υγρών αποβλήτων.

Αλκαλικότητα ($\Sigma \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^- - \text{H}^+$). Το μέτρο της ρυθμιστικής ικανότητας των υγρών αποβλήτων (της ικανότητάς τους να εξουδετερώνουν οξέα).

Χλωριούχα. Παράμετρος για την εκτίμηση της ποιότητας της επεξεργασμένης εκροής, ειδικά για την επαναχρησιμοποίηση για γεωργική χρήση (άρδευση).

Αζωτούχες ενώσεις. Χρησιμοποιούνται ως μέτρο της παρουσίας θρεπτικών συστατικών καθώς και του βαθμού αποσύνθεσης στα υγρά απόβλητα. Οι οξειδωμένες μορφές μπορούν να ληφθούν ως μέτρο του βαθμού οξείδωσης.

Φωσφορικές ενώσεις. Χρησιμοποιούνται ως μέτρο παρουσίας των θρεπτικών συστατικών στα υγρά απόβλητα. Οι οξειδωμένες μορφές μπορούν να ληφθούν ως μέτρο του βαθμού οξείδωσης

- ο Ανόργανος φώσφορος (Inorg. P)
- ο Οργανικός φώσφορος (Org. P)
- ο Ολικός φώσφορος (TP)

Θειικά (SO₄²⁻). Παράμετρος για την εκτίμηση της πιθανότητας δημιουργίας οσμών. Για την εκτίμηση της «επεξεργασιμότητας» της ύλης.

Μέταλλα (Ca, Mg, K, Na, Cr, Cu, Co, Pb, Cd, Hg, Mo, Ni, Fe, Se, As, Zn). Για την εκτίμηση της καταλληλότητας της εκροής για επαναχρησιμοποίηση. Για την εκτίμηση της τοξικότητας. Ωστόσο ίχνη ορισμένων μετάλλων είναι απαραίτητα για μερικές βιολογικές διεργασίες.

Διάφορα αέρια (O₂, CO₂, NH₃, H₂S, CH₄). Παρουσία / απουσία συγκεκριμένων αερίων.

2.3. Χημικά (οργανικά) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

C-BOD, (Biochemical Oxygen Demand), Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο. Το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιολογική αποικοδόμηση των **ανθρακούχων** οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.

N-BOD, Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο. Το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιολογική αποικοδόμηση των **αζωτούχων** οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.

COD, (Chemical Oxygen Demand), Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο. Το οξυγόνο που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων. Η οξείδωση αφορά το σύνολο των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα δείγμα και μπορούν να οξειδωθούν με

ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο. Σαν τέτοιο οξειδωτικό χρησιμοποιείται το διχρωμικό κάλιο ($K_2Cr_2O_7$) σε όξινο περιβάλλον.

TOC, (Total Organic Carbon), Ολικός Οργανικός Άνθρακας. Χρησιμοποιείται συμπληρωματικά με το BOD, αλλά πολύ σπάνια επειδή αφορά μέτρηση με πολύ μεγάλη ευαισθησία, δηλαδή πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης.

Συγκεκριμένες οργανικές ενώσεις και κατηγορίες ενώσεων. Για τον προσδιορισμό της παρουσίας των συγκεκριμένων οργανικών ενώσεων και για την εκτίμηση των απαραίτητων ειδικών μέτρων που πρέπει να ληφθούν κατά τον σχεδιασμό της ΕΕΛ για την απομάκρυνσή τους

2.4. Βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

Ολικά Κολοβακτηριοειδή, (Total Coliforms, TC) και **Κολοβακτηριοειδή Κοπράνων**, (Fecal Coliforms, FC). Για την εκτίμηση της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών και την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης των υγρών αποβλήτων

Ειδικοί μικροοργανισμοί, (Βακτήρια, Ιοί, Πρωτόζωα, Έλμινθες). Για την εκτίμηση της παρουσίας των συγκεκριμένων μικροοργανισμών που συνδέονται με την λειτουργία της Ε.Ε.Λ. και την επαναχρησιμοποίηση της εκροής.

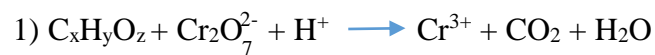
Τοξικότητα, Οξεία (άμεση) Τοξικότητα (TU_A), Χρόνια Τοξικότητα (TU_C). Για την εκτίμηση της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων.

2.5. Το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Με τον όρο COD (Chemical Oxygen Demand) εννοούμε την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την χημική οξείδωση της οργανικής ύλης σε CO_2 και H_2O . Η οξείδωση αφορά το σύνολο των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα δείγμα και μπορούν να οξειδωθούν με ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο (διχρωμικό κάλιο, $K_2Cr_2O_7$) σε όξινο περιβάλλον. Το COD είναι δείκτης του βιοδιασπώμενου αλλά και του μη βιοδιασπώμενου οργανικού φορτίου ενός ρύπου και αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του.

Η οξείδωση του οργανικού φορτίου γίνεται σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και χαμηλού pH παρουσία θειικού αργύρου (Ag_2SO_4) σαν καταλύτη. Η εξουδετέρωση των χλωριούχων ιόντων που συνήθως υπάρχουν στο δείγμα, γίνεται με θειικό υδράργυρο ($HgSO_4$) (Σχήμα 3 τυπικές διατάξεις μέτρησης). Η εξουδετέρωση της περίσσειας των διχρωμικών ($Cr_2O_7^{2-}$) ιόντων γίνεται με διάλυμα θειικού αμμωνιούχου σιδήρου ($FeSO_4(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$) γνωστής

κανονικότητας. Για την ογκομετρική ανάλυση (τιτλοδότηση) χρησιμοποιείται δείκτης Ferroin. Η οξείδωση της οργανικής ύλης μπορεί να παρασταθεί από την εξής στοιχειομετρική εξίσωση:



Σχήμα 3: Τυπικές διατάξεις μέτρησης του COD

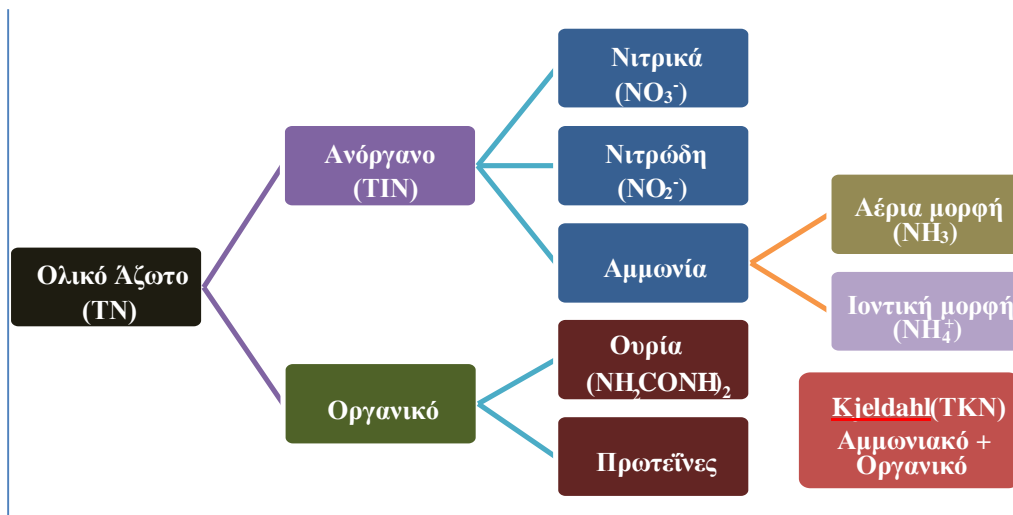
Η μέτρηση του COD χρησιμοποιείται πολλές φορές αντί της μέτρησης του BOD ή συμπληρωματικά. Η ταχύτητα της μέτρησης είναι το μεγάλο πλεονέκτημά της αφού ολοκληρώνεται σε 2-3 ώρες, σε αντίθεση με τη μέτρηση του BOD₅, η οποία διαρκεί 5 ημέρες. Το μειονέκτημα όμως είναι ότι με το COD μετρείται όχι μόνο η βιοδιασπάσιμη αλλά και η μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη. Συνεπώς, η μέτρηση του COD είναι κατά κάποιο τρόπο λιγότερο αντιπροσωπευτική από τη μέτρηση του BOD όταν πρόκειται για προσδιορισμό του οργανικού φορτίου που υπάρχει στα **τυπικά αστικά λύματα**. Το COD των φρέσκων ανεπεξεργαστων αστικών λυμάτων είναι περίπου **500 mg/L O₂** ή **110 g/κατ. ημ.** Κατά κανόνα το COD είναι πάντα μεγαλύτερο από το BOD₅ και για τα αστικά λύματα ο λόγος COD / BOD είναι 1,2 - 1,5.

2.6. Το άζωτο

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

Το ολικό άζωτο (Total Nitrogen, TN) κατανέμεται σε ανόργανο άζωτο (Total Inorganic Nitrogen, TIN) το οποίο περιλαμβάνει τα νιτρώδη (NO₂⁻) και τα νιτρικά (NO₃⁻) άλατα, και σε οργανικό

άζωτο (Total Organic Nitrogen, TON). Στο οργανικό άζωτο ανήκει η αμμωνία στην αέρια μορφή (NH_3) ή στην ιοντική της μορφή (NH_4^+), η ουρία (NH_2CONH_2) και το άζωτο των πρωτεϊνών. Το αμμωνιακό και το οργανικό άζωτο αποτελούν το άζωτο Kjeldahl (TKN). Στο Σχήμα 2 και στον Πίνακα 1 παρέχονται χρήσιμες πληροφορίες για όλους τους συμβολισμούς και τις μορφές του αζώτου.



Σχήμα 4: Μορφές και συμβολισμοί των διαφόρων μορφών του αζώτου

Το οργανικό κλάσμα του αζώτου το οποίο βρίσκεται στα απόβλητα σε διαλυτή ή σωματιδιακή μορφή, αποτελείται κυρίως από αμινοξέα, αμινοσακχαρίτες, πρωτεΐνες και ουρία (NH_2CONH_2). Ανεπαρκής ποσότητα αζώτου στα αστικά λύματα μπορεί πολλές φορές να επιβάλλει την προσθήκη αζώτου προκειμένου να διευκολυνθεί η επεξεργασία τους. Η κατανομή της αμμωνίας και των αμμωνιακών ιόντων στα υγρά απόβλητα εξαρτάται συνήθως από το pH. Σε απόβλητα με χαμηλό pH κυριαρχεί το άζωτο με τη μορφή των αμμωνιακών ιόντων (NH_4^+), ενώ σε υψηλότερες τιμές pH κυριαρχεί η αμμωνία (NH_3). Τα νιτρώδη ιόντα (NO_2^-) τα οποία είναι ιδιαίτερα τοξικά και αποτελούν δείκτη προ υπάρχουσας ρύπανσης στα φυσικά νερά, σπάνια υπάρχουν σε υψηλή συγκέντρωση στα υγρά απόβλητα. Συνήθως οξειδώνονται πολύ γρήγορα σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-). Τα νιτρώδη που τυχόν βρίσκονται στις εκροές των Ε.Ε.Λ. οξειδώνονται από το χλώριο κατά την απολύμανση και αυτό οδηγεί στην αύξηση της δόσης του χλωρίου και επομένως και στο κόστος της απολύμανσης. Η υπερίσχυση των νιτρικών (NO_3^-) ιόντων, τα οποία

αποτελούν τη πιο οξειδωμένη μορφή του αζώτου στα υγρά απόβλητα, υποδηλώνει ότι τα απόβλητα σταθεροποιήθηκαν αναφορικά με τις απαιτήσεις σε οξυγόνο.

Το αζωτούχο (TKN) ρυπαντικό φορτίο των φρέσκων ανεπεξεργαστων αστικών λυμάτων κυμαίνεται από **35 – 100 mg/L** ή **10 g/ κατ. ημ.** Οι ευαίσθητοι φυσικοί αποδέκτες επεξεργασμένων εκροών απαιτούν πάντα την απομάκρυνση του αζώτου από τα υγρά απόβλητα (δηλαδή $N_{Tot} < 3,0 \text{ mg/L}$), επειδή το άζωτο όπως και ο φώσφορος σαν θρεπτικά συστατικά,

προκαλούν το πρόβλημα του ευτροφισμού και τελικά της αποξυγόνωσης των φυσικών νερών. Ο ευτροφισμός συνίσταται στην υπερβολική αύξηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας μιας υδάτινης μάζας, με δυσμενή αποτελέσματα στα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των νερών και της χρήσης της.

Πίνακας 1: Μορφές και συμβολισμοί των διαφόρων μορφών του αζώτου

Μορφή του αζώτου	Συμβολισμός	Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό
Αμμωνία (αέρια μορφή)	NH_3	NH_3
Αμμωνιακά ιόντα	NH_4^+	NH_4^+
Ολικό Αμμωνιακό Άζωτο	TAN	$NH_3 + NH_4^+$
Νιτρώδη ιόντα	NO_2^-	NO_2^-
Νιτρικά ιόντα	NO_3^-	NO_3^-
Ολικό ανόργανο Άζωτο	TIN	$NH_3 + NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^-$
Ολικό Άζωτο Kjeldahl	TKN	$N + NH_3 + NH_4^+$
Οργανικό Άζωτο	N	$TKN - (NH_3 + NH_4^+)$
Ολικό Άζωτο	TN	$N + NH_3 + NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^-$

2.7. Ο φώσφορος

Η παρουσία του φωσφόρου στα απόβλητα είναι σημαντικός δείκτης αποτελεσματικότητας των διεργασιών αποικοδόμησης των αποβλήτων καθώς αποτελεί έναν μη οργανικό ρύπο.

Η συγκέντρωση του φωσφόρου (P) ο οποίος αποτελεί βασικό συστατικό για τη σύνθεση του κυτταρικού ιστού των μικροοργανισμών, στα φρέσκα ανεπεξέργαστα αστικά λύματα κυμαίνεται από 5 – 30 mg/L. Στις οργανικές ενώσεις των λυμάτων ανήκει περίπου το 75 % του συνολικά υπάρχοντος φωσφόρου, ενώ ο υπόλοιπος (25 % περίπου) βρίσκεται στα υγρά απόβλητα κυρίως με τη μορφή των ορθοφωσφορικών (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4) διαλυτών ιόντων από 70 - 90 % και πολυφωσφορικών ($\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$) ιόντων τα οποία είναι περίπλοκα μόρια, αλλά και με τη μορφή άλλων οργανικών φωσφορικών ενώσεων. Ο οργανικά δεσμευμένος φώσφορος δεν έχει ιδιαίτερη σημασία για τα αστικά λύματα, τα δε ορθοφωσφορικά ιόντα χρησιμεύουν για το βιολογικό μεταβολισμό χωρίς να διασπώνται περαιτέρω.

Το φορτίο επιβάρυνσης των λυμάτων με φώσφορο υπολογίζεται συνήθως με τιμές περίπου **2 – 4 g/κατ. ημ.** Ένα ποσοστό της τάξης του 10 % έως 30 % της εισερχόμενης ποσότητας φωσφόρου απομακρύνεται από τους μικροοργανισμούς κατά τη διάρκεια της βιολογικής επεξεργασίας στις δεξαμενές αερισμού, ενώ το σύνολο σχεδόν των φωσφορικών ενώσεων μετατρέπεται σε διαλυτά ορθοφωσφορικά ιόντα.

Λόγω των φαινομένων ευτροφισμού που δημιουργεί ο φώσφορος στα επιφανειακά νερά πρέπει να απομακρυνθεί από τα υγρά απόβλητα. Η συγκέντρωσή του στην εκροή των Ε.Ε.Λ. καθορίζεται από τον χαρακτηρισμό και τις ωφέλιμες χρήσεις του αποδέκτη όπως ισχύει και για τους άλλους ρύπους. Αυτό σημαίνει ότι ο βαθμός απόδοσης του συστήματος και η διαδικασία επεξεργασίας που επιλέγεται είναι άμεσα συνυφασμένη με τον αποδέκτη και τις χρήσεις του. Σε γενικές γραμμές, όταν πρόκειται για ευαίσθητους αποδέκτες, δηλαδή γλυκά επιφανειακά νερά, θεωρείται ικανοποιητική η ποσότητα του φωσφόρου στην απορροή όταν αυτή δεν υπερβαίνει τα **2,0 mg/L** Η πρακτική που ακολουθείται πάντως, εφόσον αποφασίζεται απομάκρυνση του φωσφόρου, αποβλέπει απομάκρυνση της τάξης του 90 έως και 95 %.

2.8. Οι στερεές ουσίες στα υγρά απόβλητα

Οι στερεές ουσίες των υγρών αποβλήτων ανόργανες ή οργανικές, κατατάσσονται σε **αδιάλυτες**, και **διαλυμένες**. Υπάρχουν ακόμα και οι **κολλοειδούς** μορφής ουσίες. Ιδιαίτερο όμως ενδιαφέρον παρουσιάζει η περαιτέρω κατηγοριοποίηση των στερεών σε **αιωρούμενα**, **διαλυμένα**, **καθιζάνοντα**, **πηητικά** κ.λπ.



Σχήμα 5: Ουσίες στο νερό και στα απόβλητα

Η διάκριση αφορά τα Ολικά στερεά - Total Solids (**TS**), τα Ολικά πτητικά στερεά - Total Volatile Solids (**TVS**), το Υπόλειμμα ολικών στερεών - Total Fixed Solids (**TFS**), τα Ολικά αιωρούμενα στερεά - Total Suspended Solids (**TSS**), τα Πτητικά αιωρούμενα στερεά - Volatile Suspended Solids (**VSS**) και το Υπόλειμμα αιωρούμενων στερεών - Fixed Suspended Solids (**FSS**) για την αξιολόγηση - διερεύνηση της πλέον κατάλληλης εφαρμογής - διεργασίας για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

Αφορά ακόμα τα Ολικά διαλυμένα στερεά - Total Dissolved Solids **TDS** (**TS-TSS**), τα Πτητικά διαλυμένα στερεά - Volatile Dissolved Solids (**VDS**) και το Υπόλειμμα διαλυμένων στερεών - Fixed Dissolved Solids (**FDS**), τα οποία χρησιμοποιούνται για να αξιολογηθεί η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων.

Τα καθιζάνοντα στερεά - Settable Solids, χρησιμοποιούνται προκειμένου να προσδιοριστούν τα στερεά που καθιζάνουν με βαρύτητα σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο.

Στους πίνακες 2 και 3 παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά και η σύσταση τυπικών αστικών λυμάτων καθώς και οι παραγόμενες ποσότητες ρύπανσης σε g/κατ. ημ.

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά τυπικών αστικών λυμάτων

<i>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ</i>	<i>ΡΥΠΑΝΣΗ g/κατ. ημ.</i>	<i>ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ mg/L</i>
Ολικά στερεά	100 – 150	680 – 1.000
Πτητικά στερεά	65 – 85	380 – 500
Αιωρούμενα Στερεά	35 – 50	200 – 290
Οργανική ύλη ως BOD	50 – 70	200 – 400
Οργανική ύλη ως COD	115 – 125	680 – 730
Ολικό Άζωτο	6 – 17	35 – 100
Αμμωνία	1 – 3	6 – 18
Νιτρώδη& Νιτρικά	< 1	< 5
Ολικός Φώσφορος	2 – 4	6 – 24
Ολικά κολοβακτηριοειδή	-	10 ¹⁰ - 10 ¹² αποικ./ml
Κολοβακτηριοειδή κοπράνων	-	10 ⁸ - 10 ¹⁰ αποικ./ml

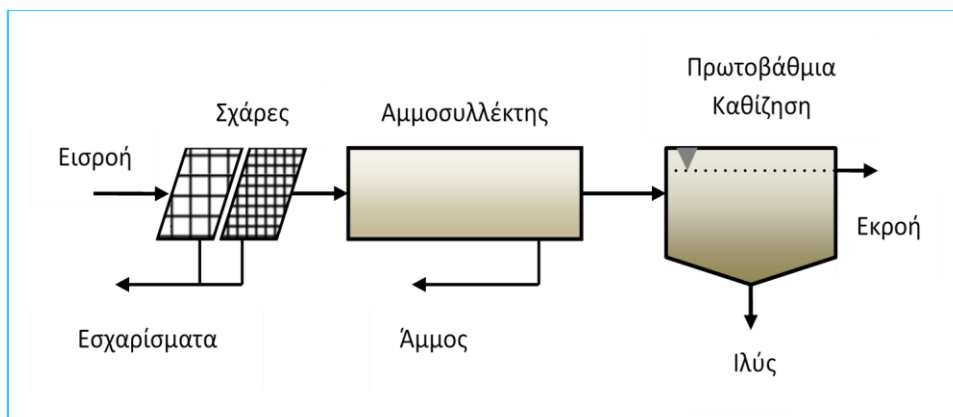
Πίνακας 3: Αστικά λύματα, Συγκέντρωση (mg/L) - Παραγόμενη ρύπανση (g/κατ. ημ)

<i>Είδος</i>	<i>Ανόργανα</i>		<i>Οργανικά</i>		<i>ΣΥΝΟΛΟ</i>		<i>BOD</i>	
	<i>mg/L</i>	<i>g/κατ. ημ</i>	<i>mg/L</i>	<i>g/κατ. ημ</i>	<i>mg/L</i>	<i>g/κατ. ημ</i>	<i>mg/L</i>	<i>g/κατ. ημ</i>
Καθιζάνοντα στερεά	130	20	270	40	400	60	130	21
Αιωρούμενα στερεά	70	10	130	20	200	30	80	14
Διαλυμένες ουσίες	330	50	330	50	660	100	150	25
ΣΥΝΟΛΟ	530	80	730	110	1260	190	360	60

3. Πρωτοβάθμια επεξεργασία αστικών λυμάτων

3.1. Γενικά

Η πρωτοβάθμια ή μηχανική επεξεργασία περιλαμβάνει τον εσχαρισμό, την αμμοσυλλογή, τη λιποσυλλογή και την πρωτοβάθμια καθίζηση (Σχήμα 4). Σ' αυτό το τμήμα της εγκατάστασης απομακρύνονται από τα λύματα όλες οι ανόργανες φερτές ύλες και από τις οργανικές ουσίες αυτές που καθιζάνουν και αυτές που επιπλέουν.



Σχήμα 4: Πρωτοβάθμια ή μηχανική επεξεργασία αστικών λυμάτων

3.2. Εσχάρωση

Η εσχάρωση αποτελεί το πρώτο στάδιο της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας των αστικών λυμάτων όπου πραγματοποιείται η συλλογή των εσχαρισμάτων. Πιο αναλυτικά:

Με την είσοδό τους στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ) τα λύματα διέρχονται από σχάρες όπου συγκρατούνται τα ευμεγέθη στερεά όπως τεμάχια ξύλου, πανιά, γυαλιά, πλαστικά, φλοιοί φρούτων και λαχανικών κ.λπ. (εσχαρίσματα) τα οποία είναι δυνατόν να προκαλέσουν εμφράξεις στις σωληνώσεις και τις αντλίες της εγκατάστασης παρεμποδίζοντας την επεξεργασία των λυμάτων. Μερικές φορές τοποθετούνται στη σειρά διαδοχικά σχάρες με μεγάλο και μετά σχάρες με μικρό άνοιγμα. Ο βαθμός καθαρισμού των λυμάτων (απόδοση) είναι φυσικά διαφορετικός.

Οι σχάρες (Σχήμα 6) είναι διατάξεις οι οποίες κατασκευάζονται συνήθως από κεκλιμένες ράβδους από ανοξείδωτο χάλυβα ορθογώνιας διατομής με στρογγυλεμένες ακμές. Η απόσταση των ράβδων ποικίλει από μερικά χιλιοστά έως μερικά εκατοστά. Υπάρχουν σχάρες με μεγάλο

άνοιγμα (απόσταση ράβδων 40 – 100 mm) οι οποίες καθαρίζονται χειρωνακτικά, σχάρες με μικρό άνοιγμα (απόσταση ράβδων 6 – 40 mm) και σχάρες με πολύ μικρό άνοιγμα (απόσταση ράβδων 3 – 6 mm) οι οποίες καθαρίζονται με μηχανικά μέσα. Οι διατάξεις που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι μηχανικά αυτοκαθαριζόμενες σχάρες. Σχάρες χρησιμοποιούνται όπου αλλού απαιτείται προστασία ευαίσθητων τμημάτων της Ε.Ε.Λ. (π.χ. σίφωνες).



Σχήμα 6: Σχάρες από το στάδιο της εσχάρωσης

Απόδοση εσχάρισμού αποβλήτων (εξαρτάται από το άνοιγμα των σχαρών και την κατά μέγεθος κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων των αποβλήτων):

- Μείωση αιωρούμενων σωματιδίων (TSS) κατά **5 – 10 %**.
- Μείωση οργανικού φορτίου ως **BOD₅** κατά **0 – 10 %**.

Μεγαλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται με πιο λεπτές σχάρες.

3.3. Εξάμμωση και Λιποσυλλογή (Αμμοσυλλέκτες)

Η άμμος που υπάρχει στα λύματα πρέπει να απομακρυνθεί μόλις τα λύματα εισέλθουν στην Ε.Ε.Λ. γιατί δημιουργεί προβλήματα στην λειτουργία της. Κατακάθεται στον πυθμένα των δεξαμενών καθίζησης και φθείρει τον μηχανολογικό εξοπλισμό των δεξαμενών (αναδευτήρες, σαρωτές, αντλίες κ.λπ.). Επίσης αυξάνει τον απαιτούμενο όγκο των δεξαμενών επεξεργασίας ιλύος. Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την εξάμμωση ονομάζονται αμμοσυλλέκτες (Σχήμα 6) και η λειτουργία τους βασίζεται είτε στην επίδραση της βαρύτητας είτε στην επίδραση της φυγόκεντρης δύναμης.

Η διάταξη της εξάμμωσης, δηλαδή ο αμμοσυλλέκτης (Σχήμα 7), είναι στην πραγματικότητα μια δεξαμενή καθίζησης στην οποία τα διακεκριμένα στερεά τα οποία βρίσκονται σε υγρό με μικρότερη πυκνότητα, επιταχύνονται μέχρις ότου φθάσουν να κινούνται με μια τερματική ή οριακή ταχύτητα. Τότε η δύναμη βαρύτητας εξισορροπείται με τη οπισθέλκουσα δύναμη με αποτέλεσμα την καθίζηση των στερεών. Ο στόχος είναι ο διαχωρισμός των κόκκων άμμου, των σωματιδίων αργίλου ή των άλλων αδρανών υψηλής πυκνότητας, με διάμετρο μεγαλύτερη από 200 μm που δεν είναι οργανικά και έχουν ταχύτητες καθίζησης σημαντικά μεγαλύτερες από εκείνες των οργανικών στερεών. Η ταυτόχρονη καθίζηση και μικρής ποσότητας οργανικών ουσιών αντιμετωπίζεται με διατάξεις πλύσης της άμμου οι οποίες τοποθετούνται στους αμμοσυλλέκτες. Οι κόκκοι της άμμου καθιζάνουν με ταχύτητες που εξαρτώνται από τις διαστάσεις και το ειδικό τους βάρος. Στους αμμοσυλλέκτες τα λύματα δεν είναι στάσιμα αλλά βρίσκονται σε συνεχή ροή. Συνεπώς και η ροή (στρωτή ή τυρβώδης) παίζει σημαντικό ρόλο καθώς επίσης και η θερμοκρασία των λυμάτων. Με στρωτή ροή η καθίζηση της άμμου γίνεται ομαλά, με την ίδια ταχύτητα όπως και στα στάσιμα νερά. Όταν όμως η ροή δεν είναι στρωτή η καθίζηση της άμμου επιβραδύνεται και δημιουργούνται προβλήματα στον αμμοσυλλέκτη. Συγκεκριμένα οι υπερβολικά μικρές ταχύτητες οδηγούν στη καθίζηση οργανικών σωματιδίων με επακόλουθο τη σήψη των οργανικών ενώσεων και τις δυσάρεστες οσμές.



Σχήμα 7: Αμμοσυλλέκτης – δεξαμενή καθίζησης

Οι αμμοσυλλέκτες είναι απολύτως απαραίτητοι σε όλες τις Ε.Ε.Λ. ιδιαίτερα όμως σε παντοροϊκά συστήματα αποχέτευσης, επειδή σε περιπτώσεις μεγάλης βροχής συμπαρασύρονται μεγάλες ποσότητες άμμου, οι οποίες λόγω μεγάλου στροβιλισμού παραμένουν σε αιώρηση.

Οι κυριότεροι τύποι αμμοσυλλεκτών είναι οι οριζόντιοι, οι κατακόρυφοι, οι κυκλικοί. Οι αμμοσυλλέκτες μπορεί να είναι αεριζόμενοι ή μη.

Η απομάκρυνση της άμμου γίνεται με το χέρι σε μικρές εγκαταστάσεις και με αντλίες ή ξέστρα που αναρτώνται σε κινούμενες γέφυρες σε μεγάλες εγκαταστάσεις. Η άμμος συνήθως πλένεται αφυδατώνεται και απομακρύνεται.

Τα λίπη και τα έλαια τα οποία υπάρχουν στα υγρά απόβλητα δημιουργούν προβλήματα στο στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας των λυμάτων. Η λιποσυλλογή μπορεί να πραγματοποιηθεί πριν ή και ταυτόχρονα με την αμμοσυλλογή. Συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος της επίπλευσης επειδή τα λίπη έχουν την ικανότητα να επιπλέουν στην επιφάνεια των υγρών αποβλήτων, απ' όπου απομακρύνονται συνήθως με ξέστρα επιφανείας ή με αναρρόφηση.

Τα εσχαρίσματα καθώς και τα λίπη και έλαια που προκύπτουν κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων, αποτελούν ρύπους οι οποίοι δεν προκύπτουν σε τόσο μεγάλο όγκο όσο άλλα παράγωγα επεξεργασίας αποβλήτων (π.χ. λάσπη). Ωστόσο η απόρριψή τους αποτελεί πρόβλημα ενώ λίγες είναι οι προσπάθειες που έχουν γίνει προς την κατεύθυνση της εκμετάλλευσης των συγκεκριμένων ρύπων.

3.4. Επεξεργασία εσχαρισμάτων

Ο τομέας της επεξεργασίας αποβλήτων αντιμετωπίζει την πρόκληση της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας και κατ' επέκταση του αποτυπώματος άνθρακα. Το γεγονός αυτό δημιουργεί την ανάγκη ανάπτυξης καινοτόμων ιδεών και τεχνικών καθώς και μία πιο αποτελεσματική ανασκόπηση των μεθόδων που ήδη χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία αποβλήτων σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας ακόμα και σε απόβλητα που προκύπτουν σε χαμηλότερη κλίμακα.

Μία περίπτωση αποβλήτων, που προκύπτουν σε όχι τόσο μεγάλο όγκο αλλά παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, είναι αυτή των εσχαρισμάτων, ένα στερεό παραπροϊόν της επεξεργασίας των αποβλήτων στο οποίο δεν έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή λόγω της μικρής ποσότητας παραγωγής του. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4 τα εσχαρίσματα παρουσιάζουν μεγάλη ετερογένεια καθώς αποτελούνται από μία μεγάλη ποικιλία διαφόρων υλικών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διαχείριση – απομάκρυνση των εσχαρισμάτων να περιορίζεται σε μεθόδους όπως υγειονομική

ταφή ή ,όταν η παραγωγή των εσχαρισμάτων είναι σε αρκετά μικρή κλίμακα, σε αποτέφρωση (Le Hyaric, 2009). Με την συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού αναμένεται αυξημένη παραγωγή των εσχαρισμάτων με την πάροδο του χρόνου ενώ με την πρόοδο της τεχνολογίας θα προκύπτουν εσχαρίσματα καλύτερης ποιότητας.

Πίνακας 4: Τυπική σύσταση εσχαρισμάτων

Κλάσματα εσχαρισμάτων	Σύνθεση κλασμάτων
Προϊόντα προσωπικής υγιεινής	σερβιέτες, πάνες κ.α.
Κλάσματα < 20mm	τέφρα, άμμος, γυαλί κ.α.
Φυτικά παραπροϊόντα	κομμένο γρασίδι, βότανα, λουλούδια κ.α.
Χαρτί, χαρτόνια	εφημερίδες, χάρτινες συσκευασίες, ρολό χαρτί κ.α.
Πλαστικά	πλαστικές σακούλες, φιλμ, περιέκτες, οδοντόβουρτσες κ.α.
Υφάσματα	φυσικά υφάσματα (βαμβακερά, μάλλινα κ.α.), συνθετικά υφάσματα
Μέταλλα	μεταλλικοί περιέκτες, εργαλεία κ.α.
Συνθετικά υλικά	συσκευασίες που αποτελούνται διαφορετικά υλικά (περιέκτες γάλακτος αποτελούμενοι από πλαστικό χαρτί και αλουμίνιο
Εύφλεκτα υλικά	ξύλα, ξύλινοι περιέκτες, δερμάτινα (τσάντες, παπούτσια), λάστιχα κ.α.
Μη εύφλεκτα υλικά	γυαλί, κεραμικά κ .α.

Παράλληλα η διάθεση εσχαρισμάτων παρουσιάζει αρκετά προβλήματα εξαιτίας του υψηλού ποσοστού υγρασίας και του υψηλού οργανικού φορτίου. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζεται η σύσταση των ρύπων καθώς και η περιεκτικότητά τους σε στερεά (w/w %) σε 4 διαφορετικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Από περιβαλλοντικής πλευράς απόβλητα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά θα πρέπει να απομακρύνονται από χώρους υγειονομικής ταφής καθώς είναι πολύ πιθανό να προκαλέσουν την παραγωγή ‘αερίων του θερμοκηπίου’ (greenhouse gases GHGs) γεγονός που μπορεί να προκαλέσει την απαγόρευση της διάθεσης των εσχαρισμάτων σε

χώρους υγειονομικής ταφής. Παρ' όλα αυτά μέχρι σήμερα δεν έχει βρεθεί κάποιος εναλλακτικός τρόπος διάθεσης των εσχαρισμάτων παρά μόνο με διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής και αποτέφρωση.

Πίνακας 5: Περικτικότητα σε στερεά %w/w κλασμάτων εσχαρισμάτων τυπικής σύστασης από 4 διαφορετικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων

Κλάσματα εσχαρισμάτων	Givors I		Givors II		Bourg-en- Bresse		Annemasse	
	kg	%w/w	kg	%w/w	kg	%w/w	kg	%w/w
Προϊόντα προσωπικής υγιεινής	0,403	74,7	0,399	71,3	0,746	76,1	1.692	67,7
Κλάσματα < 20mm	0,082	15,2	0,109	19,0	0,127	13	1,38	15,2
Φυτικά παραπροϊόντα	0,024	4,4	0,018	3,2	0,019	1,9	0,005	0,2
Χαρτί, χαρτόνια	0,009	1,8	0,007	1,3	0,046	4,7	0,327	13,1
Πλαστικά	0,014	2,6	0,018	3,3	0,020	2,0	0,028	1,1
Υφάσματα	0,002	0,4	0,005	0,9	0,007	0,7	0,005	0,2
Μέταλλα	0,002	0,4	0,001	0,1	0,001	0,1	0,001	0,0
Συνθετικά υλικά	0,001	0,2	0,002	0,3	0,004	0,4	0,004	0,2
Εύφλεκτα υλικά	0,002	0,3	0,004	0,7	0,010	1,0	0,05	2,0
Μη εύφλεκτα υλικά	0,000	0,1	0,000	0,0	0,001	0,1	0,007	0,3
Σύνολο	0,53	100	0,56	100	0,98	100	2,5	100

3.5. Εκμετάλλευση των εσχαρισμάτων

Η αναερόβια χώνευση των εσχαρισμάτων αποτελεί από μόνη της αντικείμενο μελέτης. Σε αντίθεση με άλλου τύπου απόβλητα, όπως απόβλητα που προέρχονται από βιολογικές καλλιέργειες, τα εσχαρίσματα, λόγω της μεγάλης ετερογένειας που παρουσιάζουν, δεν

αποτελούσαν την πρώτη επιλογή εκμετάλλευσης οργανικής ύλης προς παραγωγή ενέργειας γεγονός που φαίνεται να αλλάζει. Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες εκμετάλλευσης του οργανικού φορτίου των εσχαρισμάτων και πιο συγκεκριμένα μέσω της αναερόβιας χώνευσης.

Παράλληλα η ταχύτητα βιοαποικοδόμησης των διαφόρων υποστρωμάτων αποτελεί έναν από τους παράγοντες κλειδί και είναι σημαντικό να αναλυθεί περαιτέρω. Μελέτες έχουν δείξει ότι η ενδεχόμενη παραγωγή βιοαερίου (BMP Biome thane Potential) επηρεάζεται από το μέγεθος των σωματιδίων του υποστρώματος κι ότι ο καθορισμός σταθερού μεγέθους σωματιδίων οδηγεί στην αναπαραγωγικότητα της BMP σε ετερογενή υποστρώματα (Pabon-Pereira *et al.* 2009).

Πρόσφατες μελέτες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον όσον αφορά την διαδικασία επεξεργασίας και εκμετάλλευσης των εσχαρισμάτων (Pascale Naquin *et al.*, 2010) Πιο συγκεκριμένα έγινε ένα πρώτο βήμα προς την κατανόηση και την ταυτοποίηση της σύστασης των εσχαρισμάτων. Στον πίνακα 6 παρουσιάζεται η σύσταση των εσχαρισμάτων από 3 διαφορετικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων (EEA). Ένα πρώτο συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι τα αποτελέσματα και στις 3 εγκαταστάσεις είναι κοινά. Παρατηρείται ότι τα επικρατέστερα υλικά που αποτελούν τα εσχαρίσματα και στις 3 περιπτώσεις είναι τα είδη ατομικής υγιεινής (με ποσοστά από 54,7% έως 72,9%) και τα κλάσματα <20mm με ποσοστά από 17,1% έως 21,8%. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ποιότητα των εσχαρισμάτων δεν διαφέρει ιδιαίτερα από εγκατάσταση σε εγκατάσταση γεγονός που παρουσιάζει ενδιαφέρον με σκοπό την μαζικότερη επεξεργασία των εσχαρισμάτων εφόσον τα εσχαρίσματα είναι δυνατόν να επεξεργαστούν μέσω της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης. Παράλληλα με την σύσταση των εσχαρισμάτων στον Πίνακα 7 φαίνεται πως υπάρχει ενδεχόμενη παραγωγή βιοαερίου.

Πίνακας 6: Σύσταση εσχαρισμάτων τριών διαφορετικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων (EEA)

Κλάσμα	EEA1		EEA2		EEA3	
	kgDSPE ⁻¹ yr ⁻¹	%	kgDSPE ⁻¹ yr ⁻¹	%	kgDSPE ⁻¹ yr ⁻¹	%

Είδη ατομικής υγιεινής	0,142	54,7	0,047	58,3	0,051	72,9
Κλάσματα <20mm	0,057	21,8	0,016	19,6	0,012	17,1
Χαρτί	0,037	14,1	0,005	6,4	0,001	1,4
Ίνες	0,013	5	0,003	3,2	0,003	4,2
Πλαστικό	0,003	1,1	0,003	3,9	0,002	2,9
Άλλα	0,009	3,3	0,007	8,6	0,001	1,5
Σύνολο	0,26	100	0,08	100	0,007	100

DS (Ξηρά στερεά)

PE (Ισοδύναμο πληθυσμού)

Πίνακας 7: Χαρακτηρισμός εσχαρισμάτων

Παράμετρος	Μονάδα	Εσχαρίσματα
Ξηρά Στερεά	%	25,3(±0,9)
Πτητικά Στερεά	%DS	92,9(±0,1)
BMP- Αναλογία CH ₄ /CO ₂	ml biogas/ g VS	458 56,6/42,4

BMP: ενδεχόμενη παραγωγή βιοαερίου

DS (Ξηρά στερεά)

4. Αναερόβια επεξεργασία

Η αναερόβια χώνευση συμπεριλαμβάνεται μεταξύ των παλαιότερων διεργασιών που χρησιμοποιούνται για την σταθεροποίηση των συμπυκνωμένων ιλύων που παράγονται από την

επεξεργασία των αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων. Επιπλέον η αναερόβια χώνευση των αστικών αποβλήτων μπορεί να παράγει επαρκές ποσότητες βιοαερίου που μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές απαιτήσεις μίας εγκατάστασης.

Αναερόβια επεξεργασία, είναι η διεργασία κατά την οποία, πραγματοποιείται αποδόμηση των οργανικών, απουσία οξυγόνου, με δράση αναερόβιων μικροοργανισμών, οι οποίοι απουσία οξυγόνου αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας τις οργανικές ενώσεις ως πηγή ενέργειας. Η παραπάνω διεργασία ονομάζεται ζύμωση (fermentation) και παράγει μια ποικιλία μεταβολικών προϊόντων όπως αλκοόλες, λιπαρά οξέα, μεθάνιο και υδρογόνο, τα οποία εξαρτώνται από τις συνθήκες λειτουργίας, τα χαρακτηριστικά της τροφοδοσίας και τα εμπλεκόμενα είδη μικροοργανισμών. Εφαρμόζεται για την επεξεργασία των βιομηχανικών αποβλήτων που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου (π.χ. βιομηχανίες παραγωγής οινοπνεύματος, τυροκομείων και εκτροφής ζώων κλπ.) και επιτυγχάνει αρκετά υψηλή βιοαποικοδόμηση (ως και 90%) και για την επεξεργασία της παραγόμενης από αερόβιες επεξεργασίες βιομάζας.

Η αναερόβια επεξεργασία πραγματοποιείται είτε σε κλειστές είτε σε ανοιχτές δεξαμενές υπό ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και ανάμιξης. Στις κλειστές δεξαμενές υπάρχει η δυνατότητα συλλογής των παραγόμενων αέριων, τα οποία περιέχουν σημαντική ποσότητα μεθανίου, περίπου 70%, το οποίο με κατάλληλη επεξεργασία μετατρέπεται σε θερμική ηλεκτρική ενέργεια.

Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος της αναερόβιας επεξεργασίας ονομάζεται αναερόβια χώνευση (anaerobic digestion). Η αναερόβια χώνευση, ορίζεται ως η βιολογική διεργασία στην οποία, η οργανική ύλη, απουσία οξυγόνου, μετατρέπεται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα (*Toerien and Hattingh, 1969*). Η αναερόβια χώνευση χρησιμοποιείται για τη σταθεροποίηση στερεών και βιοστερεών, καθώς και σε συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο, με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας υπό μορφή βιοαερίου. Τα τελευταία χρόνια, η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης εφαρμόζεται ως εναλλακτική μέθοδος παραγωγής ενέργειας από φυτική βιομάζα.

Η βιολογική παραγωγή μεθανίου παρατηρήθηκε αρχικά από τον Volta το 1776, ο οποίος περιέγραψε την εκπομπή μεθανίου από ένα βάλτο. Η αναερόβια χώνευση αρχικά χρησιμοποιήθηκε από τον Louis στο τέλος του 19ου αιώνα, για την επεξεργασία δημοτικών αποβλήτων με υψηλή συγκέντρωση σε στερεά και εν συνεχεία, στη πόλη Vesoul της Γαλλίας, ο

Mouras σχεδίασε και κατασκεύασε χωνευτές για την επεξεργασία της παραγόμενης ιλύος λυμάτων. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε, ως ενδιάμεση επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο και εφαρμόστηκε κατά την επεξεργασία αποβλήτων υψηλού οργανικού φορτίου, όπως τα απόβλητα που παράγονται από αγροτικές βιομηχανίες. Είναι η προτεινόμενη μέθοδος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων υψηλού οργανικού φορτίου, λόγω της μικρής παραγωγής βιομάζας συγκριτικά με την αερόβια επεξεργασία.

Η αναερόβια χώνευση πραγματοποιείται επίσης αυθόρμητα στα στερεά απόβλητα κατά την υγειονομική ταφή, ενώ πρόσφατα η αναερόβια χώνευση οργανικού κλάσματος δημοτικών στερεών αποβλήτων κερδίζει περισσότερο έδαφος ως μέθοδο επιλογής στην διαχείριση στερεών αποβλήτων. Τέλος, η αναερόβια χώνευση έχει θεωρηθεί ως μέθοδος για μετατροπή της βιομάζας από ενεργειακή καλλιέργεια (energy crop biomass).

4.1. Περιγραφή αναερόβιας χώνευσης

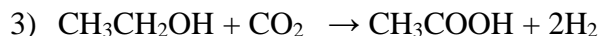
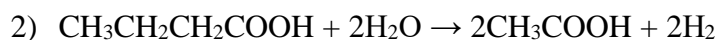
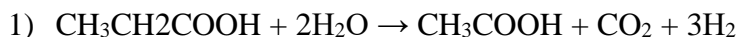
Η μετατροπή του οργανικού υλικού σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, υπό αναερόβιες συνθήκες, διακρίνονται σε τέσσερα στάδια (Σχήμα 8), τα οποία αποτελούνται από μια σειρά συσχετιζόμενων μικροβιακών μεταβολισμών. Τα στάδια της διεργασίας αυτής περιγράφονται παρακάτω αναλυτικά.

• Στάδιο πρώτο - υδρόλυση: Στο πρώτο στάδιο πλήθος αναερόβιων βακτηρίων διασπούν σύνθετα, αδιάλυτα οργανικά μόρια (λιπίδια, πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες, νουκλεϊνικά οξέα) προς τα αντίστοιχα διαλυτά πλέον μονομερή μόρια, δηλαδή λιπαρά οξέα, μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, πουρίνες και πυριμιδίνες και απλές αρωματικές ενώσεις. Ο λόγος είναι, γιατί, οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να μεταβολίσουν απ' ευθείας τις μοριακές οργανικές ουσίες, καθώς η κυτταρική τους μεμβράνη είναι αδιαπέραστη. Επομένως, πρέπει να προηγηθεί διαλυτοποίηση (υδρόλυση) των οργανικών σωματιδίων προς διαλυτά πολυμερή και στην συνέχεια προς διμερή ή μονομερή τα οποία μπορούν να εισαχθούν στο κύτταρο και να μεταβολιστούν. Συνεπώς, στο πρώτο στάδιο, ουσίες υψηλού μοριακού βάρους (οργανικά μακρομόρια όπως πολυμερή λιπίδια, πολυσακχαρίτες, νουκλεϊνικά οξέα και πρωτεΐνες), υδρολύονται με την βοήθεια ενζύμων προς ουσίες χαμηλού μοριακού βάρους (μονομερή όπως λιπαρά οξέα, μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, πουρίνες και πυριδίνες). Οι παραπάνω ενώσεις, είναι στην πλειονότητά τους υδατοδιαλυτές και αποτελούν κατάλληλο υπόστρωμα βιολογικής αύξησης. Η παραδοσιακή σημασία της υδρόλυσης είναι η "χημική αποσύνθεση" κατά την οποία μια ένωση διασπάται σε άλλες ενώσεις με την πρόσληψη

νερού και λαμβάνει χώρα με την δράση ενζύμων, τις υδρολάσες, τα οποία δρουν είτε εξωκυτταρικά στην περίπτωση βιοπολυμερών, είτε ενδοκυτταρικά στην περίπτωση μικρών διμερών (π.χ. λακτόζη).

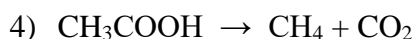
• Στάδιο δεύτερο - Οξεογένεση: Το δεύτερο στάδιο, είναι αυτό της οξεογένεσης, στο οποίο τα παραγόμενα από το προηγούμενο στάδιο, της υδρόλυσης, μονομερή (διαλυτές οργανικές ενώσεις), βιοαποδομούνται με δράση ενός ετερογενούς μικροβιακού πληθυσμού παράγοντας ταυτόχρονα ένα μίγμα πτητικών λιπαρών οξέων (κυρίως οξικού οξέος, προπιονικού, βουτυρικού και ισοβουτυρικού οξέος) σε ανάλογα ποσά που εξαρτώνται από την οργανική σύνθεση, τα διαθέσιμα είδη και τις λειτουργικές παραμέτρους του αντιδραστήρα (pH, θερμοκρασία κ.α). Ο πληθυσμός των οξεογόνων βακτηρίων αποτελεί περίπου το 90% του συνολικού πληθυσμού μικροοργανισμών σε ένα αναερόβιο χωνευτή.

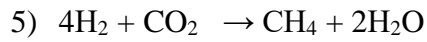
• Στάδιο 3 - Οξικογένεση (Acetogenesis): Στο τρίτο στάδιο τα οξικογόνα βακτήρια μετατρέπουν τα λιπαρά οξέα (όπως προπιονικό και βουτυρικό οξύ) και τις αλκοόλες (όπως αιθανόλη) σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα, σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:



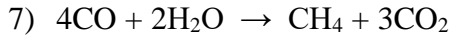
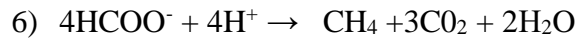
Το οξικό οξύ είναι ένα σημαντικό ενδιάμεσο προϊόν που παράγεται κατά τον αναερόβιο μεταβολισμό των οργανικών ενώσεων και αποτελεί την πρόδρομο ένωση για το σχηματισμό μεθανίου. Υπό συνθήκες σχετικά υψηλής μερικής πίεσης του υδρογόνου, η παραγωγή του οξικού οξέος μειώνεται με αποτέλεσμα τη παρεμπόδιση και μείωση της παραγωγής του μεθανίου. Οι οξικογόνοι και οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί έχουν μεταξύ τους μια συμβιωτική σχέση, αφού οι μεθανογόνοι υδρογονότροφοι βοηθούν στο να επιτευχθεί η απαιτούμενη χαμηλή μερική πίεση υδρογόνου, για τη δράση των οξικογόνων βακτηρίων.

• Στάδιο 4 - Μεθανογένεση (methanogenesis): Κατά το τέταρτο στάδιο, την μεθανογένεση, τα μεθανογόνα βακτήρια παράγουν μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από οξικό οξύ (μεθανογόνους οξικοτρόφους), καθώς και μεθάνιο από υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα (μεθανογόνους υδρογονοτρόφους).

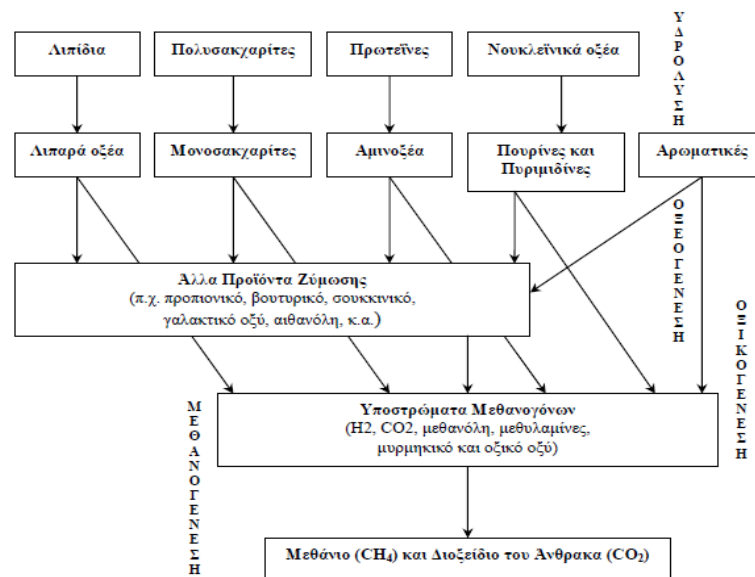




Τα μεθανογόνα βακτήρια είναι αυστηρά αναερόβιοι μικροοργανισμοί και γενικά, οι οργανικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται από αυτούς για την παραγωγή μεθανίου είναι περιορισμένες και συμμετέχουν στις ακόλουθες αντιδράσεις:



Σύμφωνα με Mackie and Bryant, 1981, περίπου, τα δύο τρίτα του παραγόμενου μεθανίου οφείλονται στους οξικότροφους μεθανογόνους, ενώ το υπόλοιπο μέρος σε υδρογονότροφα μεθανογόνα βακτήρια.



Πηγή: McCarty and Smith, 1986.

Σχήμα 8: Στάδια Μετατροπής του Οργανικού Υλικού σε Μεθάνιο και Διοξείδιο του Άνθρακα με τη Διαδικασία της Αναερόβιας Χώνευσης

4.2. Μικροβιολογία της Αναερόβιας Χώνευσης

Πλήθος μικροοργανισμών, εμπλέκονται στη μετατροπή των σύνθετων, υψηλού μοριακού βάρους οργανικών ενώσεων σε μεθάνιο. Στους αναερόβιους χωνευτήρες αν και μπορεί να

συνυπάρχουν βακτήρια, μύκητες και πρωτόζωα, τα βακτήρια είναι αναμφισβήτητα οι κύριοι και επικρατέστεροι μικροοργανισμοί. Η κατηγορία των μη-μεθανογόνων μικροοργανισμών (υδρολυτικοί, οξεογόνοι και οξικογόνοι), αποτελείται από επαμφοτερίζοντα και υποχρεωτικά αναερόβια βακτήρια, τα οποία ανήκουν σε ένα ευρύ φάσμα μικροβιακής φυσιολογίας που περιλαμβάνει χημειολιθότροφα, χημιοργανότροφα και φωτοργανότροφα βακτήρια. Μικροοργανισμοί της κατηγορίας αυτής, που έχουν απομονωθεί από αναερόβιους χωνευτήρες περιλαμβάνουν τα: *Clostridium* spp., *Peptococcus anaerobus*, *Bifidobacterium* spp., *Desulphovibrio* spp., *Corynebacterium* spp., *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Staphylococcus*, *Escherichia coli*, *Syntrophobacter wolinii* και *Syntrophomonas wolfei* (Metcalf and Eddy, 1991; McInernay et al., 1981).

Οι μικροοργανισμοί στους οποίους οφείλεται η παραγωγή μεθανίου ταξινομούνται ως αρχαιοβακτήρια (Σχήμα 9) και είναι αυστηρώς υποχρεωτικά αναερόβιοι (Sahm, 1984). Τα βασικά γένη των μικροοργανισμών, τα οποία έχουν προσδιοριστεί σε μεσοφιλικές συνθήκες, περιλαμβάνουν τα σχήματος ράβδου *Methanobacterium* και *Methanobacillus* και σχήματος κόκκου *Methanococcus*, *Methanothrix* και *Methanosarcina*. Οι *Methanosarcina* και *Methanothrix* είναι οι μόνοι οργανισμοί που μπορούν να παράγουν μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από το οξικό οξύ. Οι υπόλοιποι οργανισμοί οξειδώνουν το υδρογόνο και με το διοξείδιο του άνθρακα ως δέκτη ηλεκτρονίων παράγουν μεθάνιο (Tchobanoglous et al., 2003). Μεθανογόνοι χρήστες του οξικού παρατηρήθηκαν και σε θερμοφιλικούς αναερόβιους αντιδραστήρες, όπου κάποια είδη *Methanosarcina* παρεμποδίστηκαν στη θερμοκρασία των 65 °C, ενώ κάποια άλλα όχι, αλλά καμία παρεμπόδιση δεν υπέστησαν οι *Methanothrix* (van Lier, 1996; Zinder and Koch, 1984; Ahring, 1995). Για τους μεθανογόνους χρήστες του υδρογόνου, σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 60°C, τα *Methanobacteria* ήταν αυτά που βρέθηκαν σε αφθονία.



Σχήμα 9: Μικροοργανισμοί που σχετίζονται με τη λειτουργία της Ε.Ε.Λ

Η μικροβιολογία της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη, ελλιπώς χαρακτηρισμένη και εξαρτώμενη σημαντικά από τις συγκεκριμένες συνθήκες που επικρατούν.

4.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση - περιβάλλον ανάπτυξης

Κατά την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, παίζουν σημαντικό ρόλο πολλές ομάδες μικροοργανισμών, οι οποίοι λόγω της διαφορετικής φυσιολογίας τους κατά την ανάπτυξη τους και την δράση τους είναι ευαίσθητοι σε πολλούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, το pH, η σύσταση του οργανικού υποστρώματος παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, το pH, η σύσταση του οργανικού υποστρώματος τροφοδοσίας, τα θρεπτικά συστατικά και οι τοξικές ουσίες. Επομένως, ο έλεγχος των παραγόντων αυτών είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την σωστή λειτουργία ενός χωνευτή. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται αναλυτικά οι προαναφερθέντες παράγοντες.

• **Θερμοκρασία:** Η παραγωγή μεθανίου αλλά και η σημαντική μείωση του οργανικού φορτίου που επιτυγχάνεται κατά την μεθανογένεση, την καθιστούν ως το σπουδαιότερο στάδιο της διεργασίας. Τα μεθανογόνα βακτήρια είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στις μεταβολές της θερμοκρασίας, συνεπώς οι συνθήκες στις οποίες λαμβάνει χώρα η διεργασία πρέπει να είναι οι βέλτιστες για την ανάπτυξη τους. Οι μικροοργανισμοί με βάση την θερμοκρασιακή περιοχή που αναπτύσσονται διακρίνονται σε τρεις κύριες ομάδες,:

1. θερμοφιλοι (θερμοκρασιακή περιοχή άνω των 50°C),
2. μεσόφιλοι (θερμοκρασιακή περιοχή 30-40°C)
3. ψυχρόφιλοι (θερμοκρασιακή περιοχή κάτω των 20 °C).

Επίσης υπάρχουν βακτήρια που μπορούν να αναπτυχθούν σε περισσότερες από μια θερμοκρασιακές περιοχές. Η έρευνα πάνω στην επίδραση της θερμοκρασίας στην παραγωγή μεθανίου κατά την αναερόβια επεξεργασία οργανικού υλικού, έχει δείξει, ότι ο ρυθμός παραγωγής του μεθανίου αυξάνει με την θερμοκρασία, ειδικότερα η παραγωγή μεθανίου είναι κατά 25% μικρότερη στους 25°C σε σχέση με αυτή που επιτυγχάνεται στους 60°C (Fair and Moor ,1937 Maly and Fadrus, 1971). Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι, κατά την θερμοφιλή αναερόβια χώνευση

επιτυγχάνονται αυξημένοι ρυθμοί αντίδρασης και συνεπώς μεγαλύτερο ποσοστό αποδόμησης οργανικών στερεών, καλύτερος διαχωρισμός υγρής-στερεάς φάσης και καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών. Όμως, για να επιτευχθούν αυτές οι υψηλές θερμοκρασίες χρειάζεται κατανάλωση ενέργειας, η οποία σε συνδυασμό με την μεγάλη ευαισθησία σε τοξικές ουσίες καθιστούν την θερμόφιλη αναερόβια χώνευση οικονομικά ασύμφορη και δύσκολα εφαρμόσιμη. Επομένως, η προσπάθεια εύρεσης της ιδανικής θερμοκρασίας για την λειτουργία των αναερόβιων βιο-αντιδραστήρων έχει απασχολήσει αρκετούς ερευνητές. Όμως τα συμπεράσματα σχετικά με τους ρυθμούς ανάπτυξης των μικροοργανισμών σε αναερόβιους χωνευτές συναρτήσει της θερμοκρασίας, είναι αντικρουόμενα. Αυτό αποδίδεται στα διαφορετικά είδη μικροοργανισμών, τα οποία επικρατούν σε κάθε αναερόβιο βιοαντιδραστήρα ανάλογα με τον τύπο του, τον υδραυλικό χρόνο παραμονής των στερεών και την τροφοδοσία την οποία δέχεται.

• **Χρόνος παραμονής και υδραυλικός χρόνος παραμονής:** Η επίτευξη ικανοποιητικών χρόνων παραμονής, σε καλά αναδεδυμένους αντιδραστήρες αναερόβια χώνευσης, εξασφαλίζουν ένα σημαντικό ποσοστό διάσπασης των πτητικών αιωρούμενων στερεών (VSS). Ο χρόνος παραμονής των στερεών (SRT) παίζει σημαντικό ρόλο στον τύπο μικροοργανισμών που θα επικρατήσουν (υδρολυτικοί, οξεογόνοι- οξικογόνοι και μεθανογόνοι), καθώς και στην έκταση με την οποία θα λάβουν χώρα οι διάφορες αντιδράσεις (Grady et al., 1999). Γενικά, για αποτελεσματική αναερόβια επεξεργασία στερεών, στους 30 °C, απαιτείται SRT μεγαλύτερος των 15 ημερών, ενώ όσο μειώνεται η θερμοκρασία απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι παραμονής των στερεών. (Tchobanoglous et al., 2003) Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (HRT), είναι ο μέσος χρόνος παραμονής, του υγρού στη διεργασία της χώνευσης. Τα αναερόβια συστήματα που στηρίζονται στην ανάπτυξη μικροοργανισμών προσκολλημένων σε στερεή επιφάνεια (ταχύρρυθμα), έχουν χαμηλότερο HRT (1-10 ημέρες) από τα συμβατικά όπου αναπτύσσονται αιωρούμενοι μικροοργανισμοί (10-60 ημέρες) (Polprasert, 1989). Επίσης, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής που επιλέγεται εξαρτάται και από τη θερμοκρασία. Για συστήματα χώνευσης σε αιώρηση, δηλαδή χωρίς κάποιο υλικό προσκόλλησης της βιομάζας και χωρίς ανακυκλοφορία, ισχύει SRT=HRT. Οι χρόνοι παραμονής καθορίζουν και το μέγεθος του αντιδραστήρα, γι' αυτό και αποτελούν σημαντικά κριτήρια στο σχεδιάσμα των αναερόβιων χωνευτών.

• **pH:** Στις περισσότερες περιπτώσεις η μετατροπή του οργανικού υλικού επιτυγχάνεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή τιμών pH (pH=7.0-7.2). Όμως πολλά είδη βακτηρίων μπορούν να αναπτυχθούν ικανοποιητικά σε τιμές pH που κυμαίνονται σε μία περιοχή μεταξύ 6.0 και 9.0. Για

την αναερόβια ζύμωση οι τιμές του pH κυμαίνονται από 6.8 έως 8.0. Οξύτητα υψηλότερη ή χαμηλότερη από αυτή την περιοχή του pH παρεμποδίζει την ζύμωση.

- **Αλκαλικότητα:** Η Αλκαλικότητα οφείλεται κυρίως στα ιόντα HCO_3 τα οποία προέρχονται από την παραγωγή CO_2 κατά την αποδόμηση των οργανικών ενώσεων. Τα λιπαρά οξέα τα οποία παράγονται κατά την οξεογένεση, τείνουν να μειώσουν την τιμή του pH του βιοαντιδραστήρα, όμως υπό ομαλές συνθήκες, αυτή η μείωση ρυθμίζεται με τα ιόντα HCO και την κατανάλωση οξέων κατά τα στάδια της οξικογένεσης και μεθανογένεσης.

- **Χημική σύσταση τροφοδοσίας:** Τα βακτήρια εκτός από άνθρακα (C), χρειάζονται και άλλα στοιχεία προκειμένου να ικανοποιήσουν τις βιοσυνθετικές τους ανάγκες, όπως το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), το θείο (S) καθώς τα απαραίτητα ιχνοστοιχεία που είναι ο σίδηρος (Fe), το κοβάλτιο (Co), το μολυβδαίνιο (Mo), το νικέλιο (Ni), το μαγνήσιο (Mg), το ασβέστιο (Ca), το νάτριο (Na), το βάριο (Ba), το σελήνιο (Se) και ο ψευδάργυρος (Zn). Έτσι η τροφοδοσία θα πρέπει να είναι ισορροπημένη σε θρεπτικά συστατικά για την επίτευξη επαρκούς αναερόβιας χώνευσης. Σύμφωνα με τον Sahm, (1984), ο λόγος C:N:P για τα αναερόβια βακτήρια είναι 700:5:1, ενώ οι Sanders και Bloobgood, (1965), έκριναν απαραίτητη μια αναλογία C:N ίση με 16:1.

- **Τοξικότητα:** Οι αναερόβιοι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι σε αρκετές ουσίες. Η παρεμπόδιση τους, έχει ως αποτέλεσμα την μειωμένη παραγωγή μεθανίου και την αύξηση της συγκέντρωσης των πτητικών οξέων. Ορισμένες από τις ενώσεις που παρεμποδίζουν ή και ακόμη σταματούν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών παρουσιάζονται παρακάτω:

-**Οξυγόνο:** Οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί είναι αυστηρά αναερόβιοι και συνεπώς επηρεάζονται αρνητικά ακόμα και από ίχνη οξυγόνου. Επομένως κατά την λειτουργία των αντιδραστήρων απαιτείται η εξασφάλιση ερμητικά κλειστών καλυμμάτων που κρατούν τον αέρα έξω.

-**Αμμωνία:** Είναι αρκετά τοξική για τα μεθανογόνα βακτήρια ιδιαίτερα σε συγκεντρώσεις των 1500 mg/l έως 3500 mg/l και τιμές pH > 7,4, ενώ για συγκεντρώσεις πάνω από 3000 mg/l είναι τοξική για κάθε τιμή του pH.

-**Νιτρώδη και Νιτρικά:** Είναι ενώσεις που αναστέλλουν την αναερόβια χώνευση, γι' αυτό πρέπει οι τιμές τους να μειώνονται πριν πραγματοποιηθεί το στάδιο της μεθανογένεσης.

-*Ανώτερα Λιπαρά Οξέα*: Είναι οξέα όπως το καπρυλικό, καπρικό, λαουρικό, μυριστικό και ολεϊκό, τα οποία παρεμποδίζουν τη δραστηριότητα των οξικοχρηστικών μεθανογόνων βακτηρίων με αποτέλεσμα τον μειωμένο ρυθμό παραγωγής μεθανίου.

- *Βαρέα μέταλλα*: Τα βαρέα μέταλλα, όπως Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{6+} , που περιέχονται κυρίως στα βιομηχανικά απόβλητα, παρεμποδίζουν την αναερόβια χώνευση όταν παρουσιάζονται σε υψηλές συγκεντρώσεις, ενώ σε πολλές περιπτώσεις απαιτούνται από την διεργασία ως θρεπτικές ουσίες αλλά σε μικρές συγκεντρώσεις. Η ακολουθία των βαρέων μετάλλων ως προς το βαθμό της παρεμπόδισης που προκαλούν είναι η εξής: $\text{Ni} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Cr} > \text{Pb}$. Η τοξικότητα των μετάλλων μειώνεται όταν ακολουθεί αντίδραση με υδρόθειο (H_2S) που οδηγεί στο σχηματισμό αδιάλυτων θειούχων ιζημάτων. Ωστόσο, κάποια μέταλλα της κατηγορίας αυτής, όπως Ni, Co και Mo είναι απαραίτητα σε ίχνη για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

-*Τα σουλφίδια*: είναι από τους ισχυρότερους παρεμποδιστές της αναερόβιας χώνευσης και η τοξικότητά τους έρχεται σε συνάρτηση με το pH. Η τοξικότητα των σουλφιδίων στα μεθαγόνα βακτήρια συναντάται σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 150 mg/l.

-*Χλωριωμένοι Υδρογονάνθρακες*: Οι χλωριωμένοι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες είναι τοξικοί για τους μεθανογόνους μικροοργανισμούς. Ειδικά το χλωροφόρμιο (CHCl_3) είναι πολύ τοξικό και οδηγεί σε πλήρη παρεμπόδιση του μεταβολισμού των μεθανογόνων βακτηρίων όταν η συγκέντρωση του υπερβεί την τιμή 1 mg/l.

-*Φορμαλδεΰδη*: Η συγκέντρωση φορμαλδεΰδης (HCHO) σε επίπεδα πάνω από 100 mg/l, έχει σαν αποτέλεσμα την παρεμπόδιση των μεθανογόνων βακτηρίων.

- *Θειούχα Ανιόντα (S^{2-} , HS^-)*: Το υδρόθειο και γενικότερα τα θειούχα ανιόντα, είναι από τους πιο ισχυρούς παρεμποδιστές της αναερόβιας επεξεργασίας και ιδιαίτερα όταν η συγκέντρωση του είναι μεγαλύτερη από 150-200 mg/l.

4.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης

Τα πλεονεκτήματα της αναερόβιας επεξεργασίας είναι τα εξής:

- Κατά την αναερόβια επεξεργασία δεν υπάρχει περιορισμός στη συγκέντρωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων, σε αντίθεση με την αερόβια επεξεργασία, όπου εφαρμόζονται

περιορισμοί για την ικανοποίηση της απαίτησης σε οξυγόνο. Επίσης, με την μέθοδο αυτή μπορεί να γίνει επεξεργασία υγρών βιομηχανικών απόβλητων υψηλού οργανικού φορτίου, υλικά που δεν βιοαποδομούνται με αερόβιες διεργασίες (όπως κυτταρίνη) καθώς και υλικά που προκαλούν προβλήματα (όπως λιπαρές ουσίες).

- Η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την αναερόβια επεξεργασία σε σχέση με την αερόβια είναι πολύ μικρότερη, κυρίως για θέρμανση, η οποία εφαρμόζεται για να επιτευχθεί μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών. Επομένως, το κόστος λειτουργίας είναι πολύ μικρότερο και επί πλέον παράγεται μεθάνιο που χρησιμοποιείται ως καύσιμο. Επίσης η επεξεργασία μπορεί να λειτουργήσει με ταυτόχρονη παραγωγή διαφόρων μορφών ενέργειας (θερμικής, ηλεκτρικής και καύσιμα).

- Παραγωγή βιοαερίου. Ταυτόχρονα με την διεργασία της χώνευσης πραγματοποιείται και παραγωγή διαφόρων μορφών ενέργειας με την μορφή βιοαερίου (το βιοαέριο χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας και ένα μέρος αυτής της ενέργειας μπορεί να καταναλωθεί από την εγκατάσταση της επεξεργασίας).

- Η παραγόμενη ιλύς που παράγεται από την διεργασία αυτή, μπορεί να διατεθεί ως εδαφοβελτιωτικό, διότι περιέχει N, P και άλλα θρεπτικά καθώς και οργανική ύλη που βελτιώνουν την γονιμότητα και την δομή του εδάφους.

- Μικρές απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά (όπως N και P) κατά την διεργασία.

- Η επεξεργασία πραγματοποιείται σε τελείως κλειστά δοχεία για αποκλεισμό της επαφής του αέρα με τα απόβλητα, επομένως, δεν παρουσιάζονται προβλήματα όχλησης στην περιοχή εφαρμογής (όπως οσμές, έντομα, καταιονισμός σταγόνων, θόρυβος κ), τα οποία είναι συναφή με τις αερόβιες μεθόδους επεξεργασίας.

- Τέλος οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί, σε αντίθεση με τους αερόβιους, είναι πιο ανθεκτικοί, αφού μπορούν να διατηρούνται χωρίς τροφή για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, χωρίς να σημειώνεται καμία σημαντική μείωση στην ενεργότητάς τους. Στον αντίποδα, τα μειονεκτήματα της αναερόβιας επεξεργασίας ως μεθόδου επεξεργασίας αποβλήτων είναι τα ακόλουθα:

- Κατά την αναερόβια βιοαποδόμηση απαιτούνται μεγάλες δεξαμενές μιας και ο χρόνος παραμονής είναι μεγάλος, ενώ επίσης αυτές, πρέπει να είναι κλειστές για αποκλεισμό του αέρα.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το κόστος κατασκευής των μονάδων αυτών να είναι μεγάλο σε σύγκριση με το αντίστοιχο κόστος των αερόβιων.

- Δυστυχώς, οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί έχουν μεγάλη ευαισθησία σε πλήθος τοξικών ενώσεων.
- Η σχετικά χαμηλή ευστάθεια των αναερόβιων συστημάτων επεξεργασίας, η οποία όμως τείνει να εξαλειφθεί με την ολοκληρωμένη γνώση των βασικών αρχών της διεργασίας.
- Για την εκκίνηση της διεργασίας απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα (από 8 έως και 12 εβδομάδες).
- Το αναερόβιο περιβάλλον ευνοεί την αύξηση μικροοργανισμών που ανάγουν το θείο και συνεπώς την παραγωγή υδρόθειου. Η παραγωγή θειούχων ανιόντων έχει μεν ευνοϊκή επίδραση στην καθίζηση των μετάλλων (ως θειούχα άλατα που έχουν πολύ μικρή διαλυτότητα), συγχρόνως όμως μειώνει το pH και επηρεάζει αρνητικά την αύξηση των μικροοργανισμών.
- Πολλές φορές στην πράξη, επειδή η συγκέντρωση των οργανικών κατά την έξοδο της αναερόβιας διεργασίας δεν είναι αποδεκτή από την νομοθεσία για την διάθεση στο περιβάλλον, η αναερόβια επεξεργασία πρέπει να συμπληρώνεται και με μια αερόβια.
- Η αναερόβια χώνευση είναι ευαίσθητη στις μεταβολές του pH και παρεμποδίζεται από μια σειρά ουσιών που περιέχονται στα βιομηχανικά απόβλητα και την ιλύ (όπως μέταλλα, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, ανιοντικά απορρυπαντικά και θειούχα ανιόντα).

4.5. Συστήματα αναερόβιας επεξεργασίας

Στα τελευταία χρόνια διάφοροι τύποι χωνευτών έχουν αναπτυχθεί και κάθε τύπος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η επιλογή κατάλληλου αντιδραστήρα είναι πολύ σημαντική για την ανάπτυξη αποτελεσματικών αναερόβιων βιοδιεργασιών και εξαρτάται από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του αποβλήτου. Για ένα αποτελεσματικό αναερόβιο σύστημα σύμφωνα με τον Lettinga G, 1979, πρέπει να πληρούνται πέντε βασικές συνθήκες:

1. μεγάλος χρόνος παραμονής της βιομάζας,
2. καλή επαφή βιομάζας και υποστρώματος,

3. υψηλά ποσοστά αντίδρασης,
4. ικανότητα εγκλιματισμού της βιομάζας σε διάφορους τύπους αποβλήτων και
5. επικράτηση ευνοϊκών περιβαλλοντικών συνθηκών για όλους τους μικροοργανισμούς κατά τη διάρκεια διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας.

Αναφορικά η αναερόβια χώνευση πραγματοποιείται σε μια ποικιλία εγκαταστάσεων που περιλαμβάνει:

- συμβατικούς χωνευτές (χωρίς ανάδευση και συνήθως χωρίς θέρμανση),
- χωνευτές χαμηλής ταχύτητας μιας βαθμίδας (όπου πραγματοποιείται ανάδευση και θέρμανση),
- χωνευτές υψηλής ταχύτητας δυο βαθμίδων,
- χωνευτές με ανακυκλοφορία ιλύος για αύξηση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών,
- χωνευτές ανοδικής ροής με αιωρούμενη ή προσκολλημένη βιομάζα και
- τα βιολογικά αναερόβια φίλτρα.

4.6. Αναερόβια χώνευσης εσχαρισμάτων

Το υψηλό οργανικό φορτίο που περιέχεται στα εσχαρίσματα είναι δυνατόν να παρέχει μεγάλα ποσά ενέργειας μέσω της εύρεσης μιας κατάλληλης μεθόδου επεξεργασίας των εσχαρισμάτων. Μία τέτοια μέθοδος ικανή να εκμεταλλευτεί αυτό το υψηλό οργανικό φορτίο αλλά και να σταθεροποιήσει την τελική ποσότητα των αποβλήτων προς διάθεση είναι η αναερόβια χώνευση. Παρ' όλο που τα εσχαρίσματα παρουσιάζουν μεγάλη ετερογένεια σαν απόβλητα καθώς περιέχουν υλικά τα οποία διασπώνται εύκολα αλλά και υλικά που είναι δύσκολο να διασπαστούν, η αναερόβια χώνευση υψηλής απόδοσης είναι ικανή να επεξεργαστεί τέτοιου είδους υλικά.

Τα εσχαρίσματα είναι δυνατόν να υποστούν επεξεργασία και με αερόβιες διεργασίες οι οποίες όμως δεν παρουσιάζουν τόσα πλεονεκτήματα όσα παρουσιάζονται με την αναερόβια χώνευση. Η αναερόβια χώνευση πλεονεκτεί έναντι των αερόβιων διεργασιών ως προς το καθαρό ποσοστό της ανανεώσιμης ενέργειας καθώς και τις εκπομπές GHGs με την προϋπόθεση ότι το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται. Επιπρόσθετα πέραν της παραγωγής του μεθανίου, κατά την αναερόβια χώνευση παράγονται κι άλλα πολύτιμα παραπροϊόντα όπως διαλύτες και πτητικά

λιπαρά οξέα Volatile Fatty Acids, VFAs). Δεδομένου αυτών των πλεονεκτημάτων αξίζει να αναφερθεί ότι η αναερόβια χώνευση στην επεξεργασία των εσχαρισμάτων αποτελεί μία αρκετά καλή λύση για την αποφυγή των προβλημάτων που αναφέρθηκαν αλλά και μία πηγή ανανεώσιμης ενέργειας.

Η αναερόβια χώνευσης αποτελείται από 4 στάδια: την υδρόλυση, την οξεογένεση, την ακετογένεση και την μεθανογένεση. Η επιτυχία της διεργασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον συγχρονισμό όλων των σταδίων. Πιο συγκεκριμένα μεγάλης σημασία είναι ο συγχρονισμός του βαθμού υδρόλυσης με τον βαθμό της μεθανογένεσης καθώς τα μεθανογόνα βακτήρια παρουσιάζουν ιδιαίτερη ευαισθησία στην συσσώρευση των VFAs. Σε περίπτωση που ο βαθμός της υδρόλυσης είναι μεγαλύτερος από τον βαθμό της μεθανογένεσης, η συσσώρευση των VFAs καθώς και η παραγωγή υδρογόνου μπορεί να οδηγήσουν σε μη αναστρέψιμη οξίνιση του χωνευτή. (Pavlostathis and Giraldo-Gomez, 1991).

Στη προσπάθεια να εκτιμηθεί η σκοπιμότητα αλλά και να διασφαλιστεί η επιτυχημένη εκτέλεση της αναερόβιας χώνευσης των μη συμβατικών στερεών αποβλήτων, κατηγορία στην οποία ανήκουν τα εσχαρίσματα, είναι σημαντικό να αναπτυχθεί επαρκής γνώση γύρω από την αναερόβια αποικοδόμηση καθώς και από κάθε βιοχημικό βήμα που αποτελεί ολόκληρη τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης.

II. ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι:

α) Χαρακτηρισμός εσχαρισμάτων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ). Πιο συγκεκριμένα μετρήθηκαν οι βασικές παράμετροι ταυτοποίησης των εσχαρισμάτων (ολικά στερεά, πτητικά στερεά, pH, άζωτο, φώσφορος κ.α.)

β) Η παραγωγή βιοαερίου κατά την αναερόβια χώνευση τριών διαφορετικών δειγμάτων, εσχαρισμάτων, λίπους και των συνδυασμό των δύο.

γ) Η σύγκριση των αποτελεσμάτων με παρόμοιες μελέτες πάνω στην εκμετάλλευση των εσχαρισμάτων.

δ) Η παρακολούθηση, η μέτρηση και η καταγραφή της συσσώρευσης της παραγωγής βιοαερίου των τριών δειγμάτων με την πάροδο του χρόνου, καθώς και το αν η ποσότητα παραγωγής κυμαίνεται σε αξιόλογα επίπεδα.

ε) Πρόταση για περαιτέρω μελέτη.

III. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

5. Υλικά και μέθοδοι

5.1. Προκατεργασία Δειγμάτων

Η παραλαβή των αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκαν για την προετοιμασία των δειγμάτων έγινε από 2 στάδια πρωτοβάθμιας επεξεργασίας αποβλήτων των εγκαταστάσεων της Ε.Ε.Λ.Θ., την Εσχάρωση και την Αμμολιποσυλλογή. Από το στάδιο της Εσχάρωσης συλλέχθηκαν 5kg εσχαρισμάτων και από το στάδιο της Αμμολιποσυλλογής συλλέχθηκαν 5kg λίπους. Οι ποσότητες αυτές των αποβλήτων συγκεντρώθηκαν και αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασία 7°C σε θάλαμο συντήρησης στις εγκαταστάσεις του Βιομηχανικού Εργαστηρίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΑΤΕΙΘ.

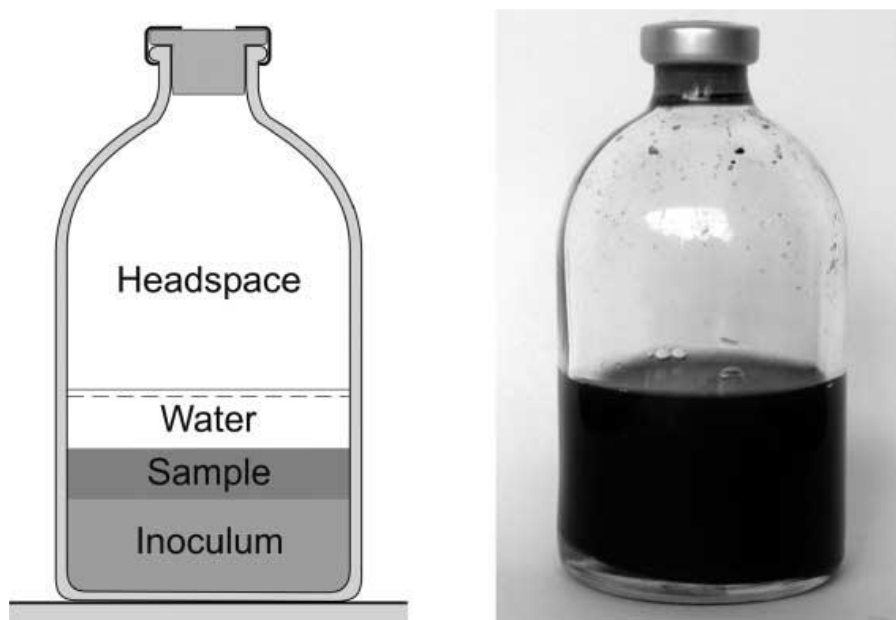
Ως πηγή μικροοργανισμών οι οποίοι θα είναι υπεύθυνοι για την αναερόβια χώνευση χρησιμοποιήθηκε λάσπη (ιλύς) από τις εγκαταστάσεις της Ε.Ε.Λ.Θ. Πιο συγκεκριμένα παραλήφθηκαν 5kg λάσπης από τις εγκαταστάσεις της επεξεργασίας της ιλύος η οποία και αποθηκεύεται σε θάλαμο συντήρησης στους 7°C.

5.2. Υλικά - Προετοιμασία Δειγμάτων

Για την παρούσα μελέτη απαραίτητη ήταν η επεξεργασία των αποβλήτων προς την προετοιμασία των δειγμάτων. Τα δείγματα που προετοιμάστηκαν ήταν 3 ενώ σε κάθε δείγμα αντιστοιχούν 2 επαναλήψεις. Από τα απόβλητα που παραλήφθηκαν από τις εγκαταστάσεις της Ε.Ε.Λ.Θ. αυτά που απαιτήθηκε να επεξεργαστούν ήταν τα εσχαρίσματα. Για την καλύτερη κατανομή της οργανικής ύλης αλλά και για την διευκόλυνση της διαχείρισης των δειγμάτων, τα εσχαρίσματα ήταν απαραίτητο να τεμαχιστούν και στη συνέχεια να ομογενοποιηθούν.

Ο τεμαχισμός και η ομογενοποίηση των εσχαρισμάτων έγινε με την βοήθεια συμβατικού τεμαχιστή – αναδευτήρα στις εγκαταστάσεις του Βιομηχανικού Εργαστηρίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΑΤΕΙΘ. Η συνολική ποσότητα των 5kg μετά την ομογενοποίηση διαχωρίστηκε σε 5 τμήματα του ενός κιλού και αποθηκεύτηκε στη συντήρηση στους 7°C.

Τα δείγματα προετοιμάζονται σε φιάλες των 610ml (Σχήμα 10).



Σχήμα 10: Φιάλη αναερόβιας χώνευσης – κατανομή μετά τον ενοφθαλμισμό

5.3. Προετοιμασία δειγμάτων

Η προετοιμασία των δειγμάτων έγινε στο Τμήμα Γεωπονίας του ΑΠΘ. Για την προετοιμασία των δειγμάτων χρειάστηκαν 6 φιάλες αναερόβιας χώνευσης ενώ για κάθε δείγμα η διαδικασία ολοκληρώθηκε σε 2 επαναλήψεις.

i) Το πρώτο δείγμα που αναλύθηκε για ενδεχόμενη παραγωγή βιοαερίου (BMP) αποτελείται από τα **εσχαρίσματα (SSL)** που προέρχονται από το στάδιο της Εσχάρωσης και προετοιμάζεται ως εξής:

Σε φιάλη αναερόβιας χώνευσης των 610ml προστίθενται 25g εσχαρισμάτων αφού προηγουμένως έχουν τεμαχιστεί και ομογενοποιηθεί. Στη συνέχεια προστίθεται στη φιάλη ποσότητα λάσπης μέχρι ο συνολικός όγκος που περιέχεται σε αυτή να φτάσει τα 300ml. Για την καλύτερη κατανομή της λάσπης αλλά και την ομογενοποίηση του μίγματος λάσπης-εσχαρισμάτων η φιάλη αναδεύεται και στη συνέχεια τοποθετείται σε κλίβανο σε σταθερή θερμοκρασία 38°C όπου και παραμένει καθ' όλη την διάρκεια ης πειραματικής διαδικασίας. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται ακόμη μία φορά προς την ετοιμασία της δεύτερης επανάληψης του πρώτου δείγματος.

ii) Το δεύτερο δείγμα που αναλύθηκε για ενδεχόμενη παραγωγή βιοαερίου (BMP) αποτελείται από το **λίπος (F)** που προέρχεται από το στάδιο της Αμμοосуλλογής και προετοιμάζεται ως εξής:

Σε φιάλη αναερόβιας χώνευσης των 610ml προστίθενται 25g λίπους. Στη συνέχεια προστίθεται στη φιάλη ποσότητα λάσπης μέχρι ο συνολικός όγκος που περιέχεται σε αυτή να φτάσει τα 300ml. Για την καλύτερη κατανομή της λάσπης αλλά και την ομογενοποίηση του μίγματος λάσπης-λίπους η φιάλη αναδεύεται και στη συνέχεια τοποθετείται σε κλίβανο σε σταθερή θερμοκρασία 38°C όπου και παραμένει καθ' όλη την διάρκεια ης πειραματικής διαδικασίας. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται ακόμη μία φορά προς την ετοιμασία της δεύτερης επανάληψης του δεύτερου δείγματος.

iii) Το τρίτο δείγμα που αναλύθηκε για ενδεχόμενη παραγωγή βιοαερίου (BMP) είναι ο συνδυασμός των δύο παραπάνω **εσχαρίσματα + λίπος (FS)** και προετοιμάζεται ως εξής:

Σε φιάλη αναερόβιας χώνευσης των 610ml προστίθενται 12,5g εσχαρισμάτων και 12,5g λίπους. Στη συνέχεια προστίθεται στη φιάλη ποσότητα λάσπης μέχρι ο συνολικός όγκος που περιέχεται σε αυτή να φτάσει τα 300ml. Για την καλύτερη κατανομή της λάσπης αλλά και την ομογενοποίηση

του μίγματος λάσπης-εσχαρισμάτων-λίπους η φιάλη αναδεύεται και στη συνέχεια τοποθετείται σε κλίβανο σε σταθερή θερμοκρασία 38°C όπου και παραμένει καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται ακόμη μία φορά προς την ετοιμασία της δεύτερης επανάληψης του δεύτερου δείγματος.

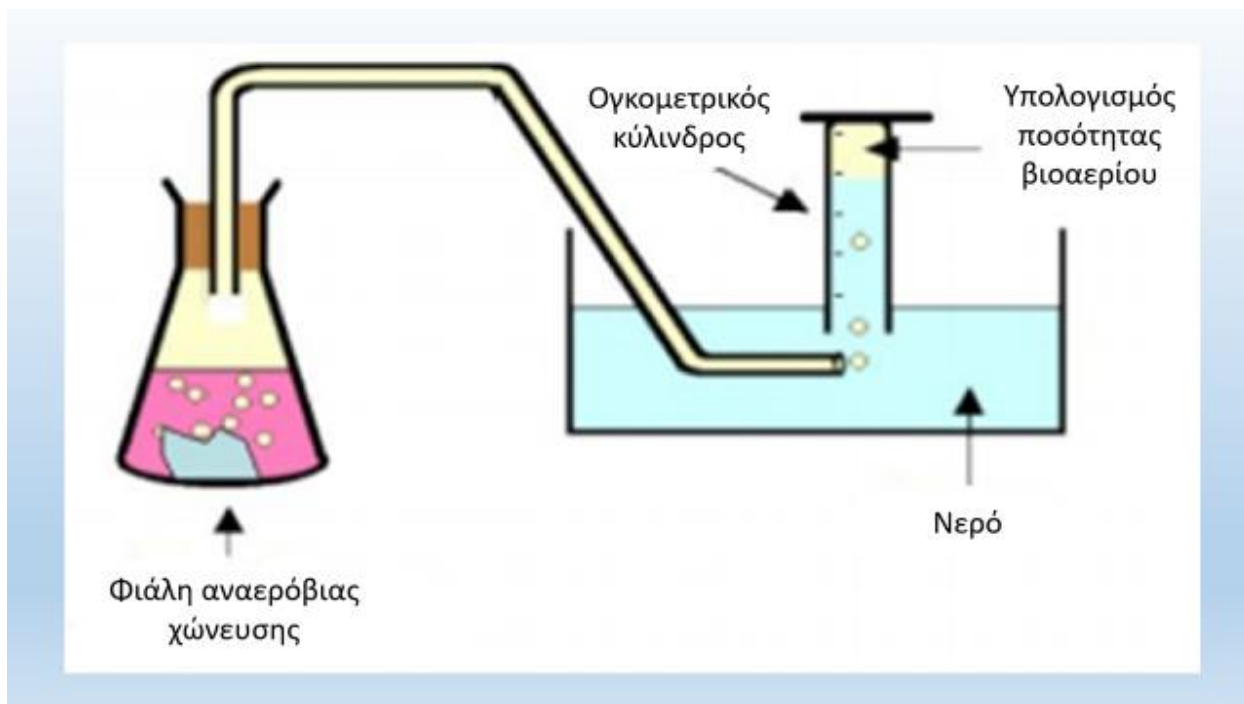
5.4. Διαδικασία μέτρησης

Οι φιάλες αναερόβιας χώνευσης πρέπει να εκ πλυθούν αρχικά με μείγμα αερίων N₂/CO₂ (80/20 κατ' όγκο) πριν την οποιαδήποτε προσθήκη υποστρώματος και ενοφθαλμίσματος καθώς πρέπει να επικρατούν αναερόβιες συνθήκες κατά την διαδικασία της προσθήκης των υλικών. Το ίδιο μείγμα αερίων ψεκάζεται και στον υπερκείμενο χώρο μέσα στην φιάλη και μετά την προσθήκη του δείγματος προκειμένου να επιτευχθούν αναερόβιες συνθήκες ενώ παράλληλα διατηρείται το pH σε ουδέτερο επίπεδο μέσα στην φιάλη η οποία και κλείνει με λαστιχένιο πώμα που εξυπηρετεί τον ίδιο σκοπό.

Το αποτέλεσμα ενός τεστ BMP είναι ο προσδιορισμός του μεθανίου (ή του βιοαερίου) που παράγεται από μία συγκεκριμένη ποσότητα υποστρώματος όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση τα υποστρώματα είναι τα εσχαρίσματα, το λίπος και ο συνδυασμός αυτών. Στη συγκεκριμένη μελέτη γίνεται ο προσδιορισμός του βιοαερίου από τον υπερκείμενο χώρο της κλειστής φιάλης και ακολουθεί μέτρηση σε αέριο χρωματογράφο (GC) . Για αυτόν τον σκοπό, ένα δείγμα μικρού όγκου παραλαμβάνεται από τον υπερκείμενο χώρο με την βοήθεια αεροστεγούς σύριγγας και εγχέεται στον αέριο χρωματογράφο. Το χρωματογράφημα που θα προκύψει συγκρίνεται με αυτό που προκύπτει από μείγμα αερίων γνωστού όγκου προκειμένου να υπολογιστεί η ποσότητα του βιοαερίου που προέκυψε από το δείγμα.

Το μείγμα αερίων πρέπει να εγχέεται στη φιάλη σε ατμοσφαιρική πίεση καθώς λόγω της διαφοράς πίεσης κατά τον υπολογισμό του βιοαερίου η ποσότητά του θα ξεπερνάει το 100% του υπερκείμενου χώρου. Σε αυτή τη περίπτωση γίνονται οι απαραίτητες διορθώσεις προκειμένου ο όγκος του βιοαερίου που υπολογίζεται να μη φαίνεται πάνω από το 100% .

Παράλληλα ο υπολογισμός του όγκου του παραγόμενου βιοαερίου επαληθεύτηκε με την μέθοδο της ανεστραμμένης φιάλης. Η παροχή του παραγόμενου βιοαερίου οδηγείται σε διάταξη ανεστραμμένης φιάλης εντός δοχείου με νερό. Ο υπολογισμός προκύπτει από την διαφορά του όγκου λόγω της άνωσης



Σχήμα 11: Διάταξη ανεστραμμένης φιάλης

Ο αριθμός των μετρήσεων ήταν ο ίδιος και στις τρεις περιπτώσεις του πειραματικού σχεδιασμού και πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τον πίνακα 8.

Πίνακας 8 : Χρονοδιάγραμμα μετρήσεων

A/A	t(d)
1	6
2	12
3	19
4	27
5	35
6	40
7	73

6. Αναλυτικοί Προσδιορισμοί

6.1. Ολικά στερεά (Total Solids, TS)

Πραγματοποιείται, σύμφωνα με την τυπική μέθοδο No. 2540 (B. Total Solids Dried at 103–105°C), της αμερικάνικης εταιρείας δημόσιας υγείας (American Public Health Association, APHA). Η μέθοδος περιλαμβάνει ξήρανση του δείγματος στους 103-105 °C, έως ότου σταθεροποιηθεί το βάρος του (Le Hyaric et al., 2010; Wid and Horan, 2016).

6.2. Πτητικά στερεά (Volatile Solids, VS)

Πραγματοποιείται, σύμφωνα με την τυπική μέθοδο No. 2540 (E. Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C) της APHA. Η μέθοδος περιλαμβάνει θέρμανση του δείγματος στους 550 °C, έως ότου σταθεροποιηθεί το βάρος του (Le Hyaric et al., 2010; Wid and Horan, 2016).

6.3. Αμμωνιακό Άζωτο (NH₃)

Πραγματοποιείται, σύμφωνα με την τυπική μέθοδο No. 4500-NH₃ της APHA (Cadavid-Rodríguez and Horan, 2014). Η μέθοδος περιλαμβάνει αρχικά ρύθμιση του pH στην τιμή των 9.5, χρησιμοποιώντας ρυθμιστικό διάλυμα βόρακα/βορικού οξέος. Στη συνέχεια, το δείγμα αποστάζεται και συμπυκνώνεται εντός όξινου διαλύματος, ενώ η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων προσδιορίζεται στα συμπυκνώματα, είτε ογκομετρικά, είτε χρησιμοποιώντας εκλεκτικό ηλεκτρόδιο.

6.4. Ολικό άζωτο κατά Kjeldhal (Total Kjeldhal Nitrogen, TKN)

Πραγματοποιείται, σύμφωνα με την τυπική μέθοδο No. 4500-NH₃ της APHA (Cadavid-Rodríguez and Horan, 2014). Η μέθοδος περιλαμβάνει αρχικά θέρμανση του δείγματος, μέσα σε ειδική φιάλη (Kjeldahl) με πυκνόθειικό οξύ, παρουσία θειικού χαλκού (CuSO₄·5H₂O) και θειικού καλίου. Έπειτα από τη χώνευση, στο δείγμα, προστίθεται πυκνό διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου, για την απελευθέρωση της δεσμευμένης αμμωνίας, η οποία παραλαμβάνεται ποσοτικά με απόσταξη μέσα σε διάλυμα βορικού οξέος. Το σχηματιζόμενο δισόξινο βορικό αμμώνιο τιτλοδοτείται στο τέλος της απόσταξης, χρησιμοποιώντας διάλυμα θειικού ή υδροχλωρικού οξέος.

6.5. Φώσφορος (Phosphorus)

Πραγματοποιείται, σύμφωνα με την τυπική μέθοδο No. 4500-P, της APHA (Cadavid-Rodríguez and Horan, 2014). Η μέθοδος περιλαμβάνει αρχικά χώνευση του δείγματος, με τη χρήση διαλύματος ισχυρών οξέων, για τη λήψη όλου του διαθέσιμου φώσφορου, υπό την μορφή των ορθοφωσφορικών. Στη συνέχεια, προστίθεται, στο διάλυμα, μολυβδαινικό αμμώνιο το οποίο, παρουσία βαναδίου, οδηγεί στο σχηματισμό του (κίτρινου) βαναδο-μολυβδαινο-φωσφορικού οξέος. Το τελευταίο προσδιορίζεται χρωματομετρικά, με τη χρήση φασματοφωτόμετρου (400-490 nm).

6.6. Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, COD)

Πραγματοποιείται, σύμφωνα με την τυπική μέθοδο No. 5220, της APHA (Kaless et al., 2017). Η μέθοδος περιλαμβάνει αρχικά χώνευση του δείγματος σε διάλυμα ισχυρών οξέων, στο οποίο προστίθεται και συγκεκριμένη ποσότητα διχρωμικού καλίου ($K_2Cr_2O_7$). Η χώνευση πραγματοποιείται με απόσταξη και επανναροή (reflux), για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 2h, ενώ η περίσσεια $K_2Cr_2O_7$ τιτλοδοτείται, μετά το τέλος της απόσταξης, χρησιμοποιώντας διάλυμα $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$.

6.7. Λίπη και έλαια (Oil and grease)

Πραγματοποιείται, σύμφωνα με την τυπική μέθοδο No. 5520 (D. Soxhlet Extraction Method), της APHA. Για τον προσδιορισμό των λιπαρών ουσιών, το δείγμα εκχυλίζεται με οργανικό διαλύτη σε συσκευή Soxhlet, για χρονικό διάστημα 16-18 ωρών. Στη συνέχεια ο διαλύτης αποστάζεται και το υπόλειμμα ξηραίνεται και ζυγίζεται.

7.11. Πτητικά λιπαρά οξέα (Volatile fatty acids)

Σύμφωνα με την τυπική μέθοδο No. 5560, της APHA, ο προσδιορισμός των ολικών πτητικών λιπαρών οξέων περιλαμβάνει τιτλοδότηση των δειγμάτων σε δύο στάδια, χρησιμοποιώντας κανονικό διάλυμα (1 N) υδροχλωρικού οξέος. Η συγκέντρωση των ολικών λιπαρών οξέων προσδιορίζεται κατά το δεύτερο στάδιο της τιτλοδότησης, με βάση την ποσότητα διαλύματος HCl που καταναλώνεται για την πτώση του pH, από την τιμή των 5.0 στην τιμή των 4.4.

Ο προσδιορισμός μεμονωμένων πτητικών λιπαρών οξέων (οξικού, προπιονικού, ισοβουτυρικού, βουτυρικού, πεντανικού, κ.α.) επιτυγχάνεται με τη χρήση αέριας χρωματογραφίας

(Gas Chromatography, GC), σε συνδυασμό με ανιχνευτή ιονισμού φλόγας (Flame Ionization Detector, FID).

IV ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

7. Αναλυτικοί προσδιορισμοί

7.1 Προσδιορισμός Ολικών Στερεών (TS) και Ολικών Πτητικών Στερεών (TVS)

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζεται η επί της εκατό περιεκτικότητα σε ολικά στερεά τριών διαφορετικών δειγμάτων (εσχαρίσματα, λίπος και ο συνδυασμός τους 50% w.w). Το ποσοστό των ολικών στερεών στο δείγμα λίπους μετρήθηκε στο 32,8% ενώ ο συνδυασμός των δύο φτάνει στο 48,3%. Παρατηρείται ότι τα εσχαρίσματα παρουσιάζουν το υψηλότερο ποσοστό ολικών στερεών σε σχέση με το λίπος αλλά και με τον συνδυασμό των 2.

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα σε πτητικά στερεά επί ξηρής βάσης. Το δείγμα που παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή ολικών πτητικών στερεών είναι το δείγμα του λίπους με ποσοστό πτητικών της τάξεως του 79,8%. Το ποσοστό των ολικών πτητικών στην περίπτωση των εσχαρισμάτων φτάνει το 29,5% ενώ ο συνδυασμός των 2 σε αναλογία 50%w/w κυμαίνεται στο 65,4%.

Πίνακας 9: Προσδιορισμός Ολικών Στερεών(%TS) εσχαρισμάτων και λίους

ΔΕΙΓΜΑ	ΝΩΠΟ				%TS
	ΒΑΡΟΣ ΔΙΣΚΙΟΥ (g)			%TS	
	Άδειο	Γεμάτο			
		Υγρό	Ξηρό (103-105 °C)		
1η Ζύγιση (24 h)			2η Ζύγιση (48 h)		
Εσχαρίσματα	47,7319	91,4159	62,1051	62,0390	53,2
Λίπος	51,1968	100,7905	77,6279	77,5890	32,8
Εσχαρίσματα και Λίπος 50%w/w	54,4886	118,1644	85,7434	85,2579	48,3

Πίνακας 10: Προσδιορισμός Πτητικών Στερεών (%VS) εσχαρισμάτων και λίους

ΔΕΙΓΜΑ	ΑΕΡΟΞΗΡΑΘΕΝ				%TS	%VS (επί ξηράς βάσεως)
	ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ (g)			%TS		
	Άδειο	Γεμάτο				
		Υγρό	Ξηρό (103-105 °C)			
1η Ζύγιση (24 h)			1η Ζύγιση (24 h)			
Εσχαρίσματα	30,9490	31,9847	31,9246	31,1463	94,2	29,5
Λίπος	31,8438	33,8952	33,8136	33,2325	96,0	79,8
Εσχαρίσματα και Λίπος (50%w/w)	28,5749	30,6053	30,5311	29,2521	96,3	65,4

7.2. Προσδιορισμός Λίπους και Χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD)

Στον Πίνακα 11 παρουσιάζεται η επί της εκατό περιεκτικότητα σε λίπος δύο διαφορετικών προκατεργασμένων δειγμάτων εσχαρισμάτων. Η προκατεργασία που έχει γίνει και στις 2 περιπτώσεις των δειγμάτων είναι η άλεση.

Το πρώτο δείγμα δίνει ένα ποσοστό λίπους επί ξηρής βάσης της τάξεως του 23,9% ποσοστό που και σε αυτή την περίπτωση δεν παρουσιάζει απόκλιση από το ποσοστό λίπους του δεύτερου δείγματος που είναι της τάξης του 28,7%. Και στις 2 περιπτώσεις το ποσοστό του λίπους είναι σε αρκετά υψηλό επίπεδο.

Στον Πίνακα 12 παρουσιάζεται η επί της εκατό περιεκτικότητα σε χημικά απαιτούμενο οξυγόνο των εσχαρισμάτων, του λίπους και του συνδυασμού τους σε αναλογία 50% w/w. Στην περίπτωση του λίπους παρατηρείται ότι η περιεκτικότητα σε COD είναι μειωμένη κατά 50% σε σχέση με τα άλλα 2 δείγματα ενώ στην περίπτωση του δείγματος 3 η περιεκτικότητα του λίπους δεν φαίνεται να επηρεάζει το COD λόγω της παρουσίας των εσχαρισμάτων.

Πίνακας 11 : Προσδιορισμός Λίπους (%) εσχαρισμάτων και λίπους

ΔΕΙΓΜΑ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ	ΒΑΡΗ (g)				% ΛΙΠΟΣ (επί ξηράς βάσεως)
		ΦΥΣΙΓΓΙΟ		ΣΦΑΙΡΙΚΗ ΦΙΑΛΗ		
		ΑΔΕΙΑ	ΓΕΜΙΣΜΑ	ΑΔΕΙΑ	ΓΕΜΑΤΗ	
Εσχαρίσματα	Αλεσμένο	5,8671	5,1280	107,9492	109,1047	23,9
Εσχαρίσματα	Αλεσμένο	5,5836	5,0170	104,7376	106,1237	28,7

Πίνακας 12 : Προσδιορισμός χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) (%) εσχαρισμάτων και λίπους

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΟΥ (g)	ΟΓΚΟΣ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΑΡΑΙΩΣΗΣ (l)	ΕΝΔΕΙΞΗ ΦΩΤΟΜΕΤΡΟΥ (mg O ₂ /l)	COD (g O ₂ ανά g ξηρού στερεού)
Εσχαρίσματα	0,1578	0,5	293	0,99
Λίπος	0,5060	0,5	502	0,52
Εσχαρίσματα και Λίπος (50%w/w)	0,1510	0,5	309	1,06

7.3 Προσδιορισμός Φώσφορου (P) και Αζώτου (N)

Στον Πίνακα 13 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα των εσχαρισμάτων, του λίπους και του συνδυασμού τους (50%w/w) σε Φώσφορο μετρούμενη σε mg ανά g ξηρού στερεού. Το λίπος φαίνεται να παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή περιεκτικότητας σε φώσφορο σε σχέση με τα εσχαρίσματα. Ο συνδυασμός των δύο σε αναλογία 50%w/w παρουσιάζει μία μειωμένη τιμή περιεκτικότητας σε φώσφορο γεγονός που δείχνει ότι η παρουσία των εσχαρισμάτων αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην περιεκτικότητα σε φώσφορο.

Στον Πίνακα 14 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε Na. Πιο συγκεκριμένα τα εσχαρίσματα παρουσιάζουν χαμηλή περιεκτικότητα σε Na. Στη συνέχεια το δείγμα του λίπους φαίνεται να περιέχει ελάχιστη μη στατιστικά σημαντική ποσότητα Na. Όμοια είναι και τα αποτελέσματα της μέτρησης του συνδυασμού εσχαρισμάτων και λίπους σε αναλογία 50% w/w με το ποσοστό να μη ξεπερνά το 0,045%.

Πίνακας 13 : Προσδιορισμός Φωσφόρου δειγμάτων εσχαρισμάτων και λίπους

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΟΥ (g)	ΟΓΚΟΣ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΑΡΑΙΩΣΗΣ (L)	ΕΝΔΕΙΞΗ ΦΩΤΟΜΕΤΡΟΥ (mg P/L)	mg P ανά g ξηρού στερεού
Εσχαρίσματα	0,5048	0,5	2,67	2,808
Λίπος	0,2534	0,5	2,26	4,645
Εσχαρίσματα και Λίπος (50%w/w)	0,5222	0,5	1,03	1,024

Πίνακας 14 : Προσδιορισμός Αζώτου προκατεργασμένων δειγμάτων εσχαρισμάτων

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΟΥ (g)	ΟΓΚΟΣ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΑΡΑΙΩΣΗΣ (L)	ΕΝΔΕΙΞΗ ΦΩΤΟΜΕΤΡΟΥ (mg N/L)	mg N ανά g ξηρού στερεού
Εσχαρίσματα	1,0095	0,1	0,443	0,047
Λίπος	5,0698	0,102	0,269	0,043
Εσχαρίσματα και Λίπος (50%w/w)	0,5067	0,5	0,142	0,045

8. Προσδιορισμός παραγωγής βιοαερίου

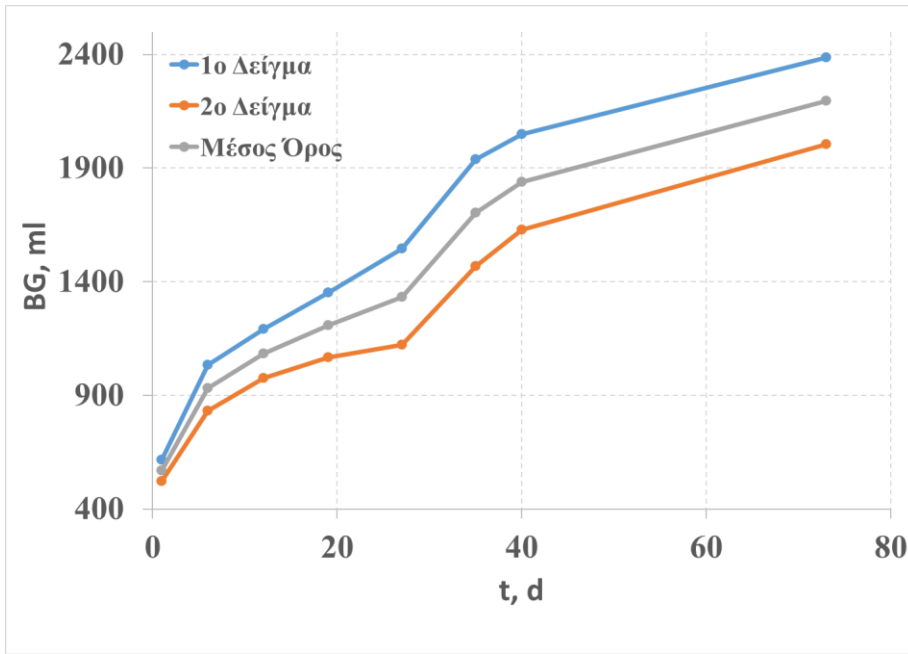
8.1. Παραγωγή βιοαερίου από δείγματα εσχαρισμάτων

Μετά το τέλος της πειραματικής διαδικασίας αλλά και των μετρήσεων που έλαβαν χώρα στα δείγματα των εσχαρισμάτων προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα. Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται η συσσώρευση του βιοαερίου σε συνάρτηση με τον χρόνο. Τα 2 δείγματα παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά όσον αφορά την παραγωγή βιοαερίου καθώς και στις 2 περιπτώσεις η παραγωγή βιοαερίου παράγεται εκθετικά.

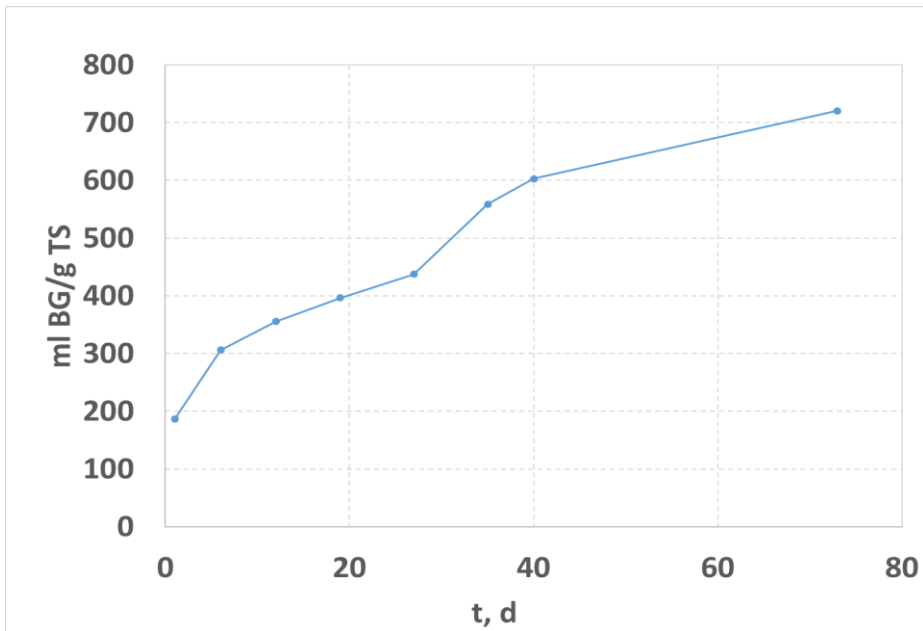
Πιο συγκεκριμένα τις πρώτες 5 μέρες παρατηρείται απότομη αύξηση της παραγωγής του βιοαερίου ενώ από την 6^η, όπου πραγματοποιείται και η πρώτη μέτρηση, έως και την 4^η μέτρηση της παραγωγής βιοαερίου (27 ημέρες) παρατηρείται μία μείωση της παραγωγής η οποία είναι στατιστικά σημαντική. Η επόμενη μέτρηση, μετά από 35 ημέρες παραμονής σε συνθήκες 38°C, δείχνει ότι η παραγωγή του βιοαερίου συνεχίζεται γραμμικά καθώς η συσσώρευση του βιοαερίου φαίνεται να έχει αυξηθεί σημαντικά, ενώ όμοια είναι και τα αποτελέσματα κατά την μέτρηση της παραγωγής βιοαερίου μετά από 40 ημέρες παραμονής. Τέλος η τελευταία μέτρηση μετά την πάροδο 73 ημερών δείχνει την συνεχόμενη αύξηση της συσσώρευσης του παραγόμενου βιοαερίου, γεγονός που φαίνεται από το σύνολο του Σχήματος 9 καθώς η παραγωγή του βιοαερίου αυξάνεται εκθετικά με την συνολική συσσώρευση του βιοαερίου να φτάνει τα 2196ml.

Στο Σχήμα 12 παρουσιάζεται η συσσώρευση του βιοαερίου ανά γραμμάριο TS. Τα αποτελέσματα έχουν την ίδια αυξητική τάση με την τιμή του βιοαερίου να ξεκινάει μετά από μία ημέρα στα 200ml. Μέχρι τις 40 μέρες παραμονής παρατηρείται μία συνεχόμενη αύξηση, σχεδόν γραμμική, ενώ μετά τις 40 μέρες και μέχρι τις 73 μέρες φαίνεται η παραγωγή του βιοαερίου να φτάνει σε μέγιστο με τιμή άνω των 700ml.

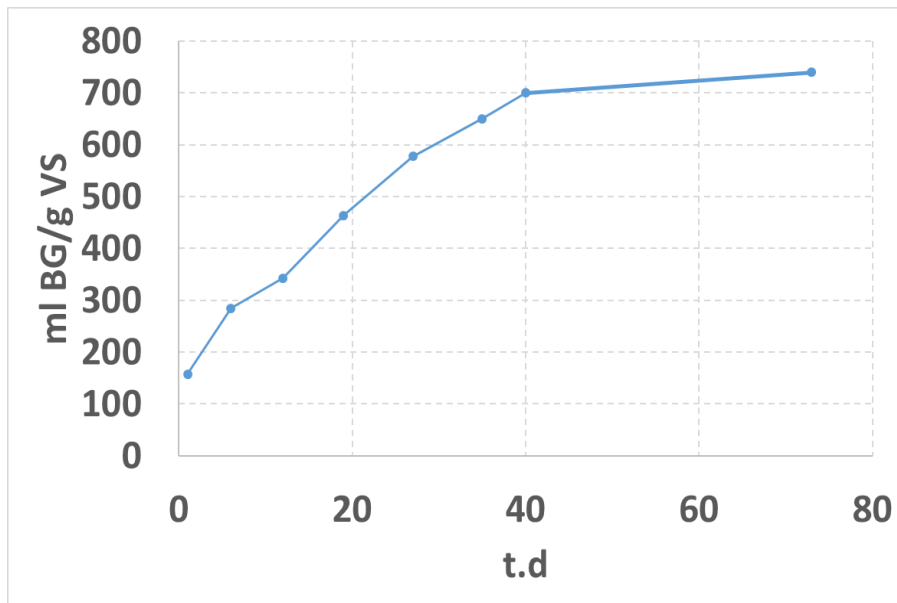
Στο Σχήμα 13 παρουσιάζεται η συσσώρευση του βιοαερίου ανά γραμμάριο VS. Τα αποτελέσματα είναι όμοια με αυτά του σχήματος 10 με την μέγιστη τιμή να φτάνει τα 730 ml ανά γραμμάριο VS.



Σχήμα 11 : Συσσωρευση βιοαερίου σε δείγμα εσχαρισμάτων σε συνάρτηση με τον χρόνο



Σχήμα 12 : Συσσωρευση βιοαερίου σε δείγμα εσχαρισμάτων ανά γραμμάριο TS σε συνάρτηση με τον χρόνο



Σχήμα 13 : Συσσώρευση βιοαερίου σε δείγμα εσχαρισμάτων ανά γραμμάριο VS σε συνάρτηση με τον χρόνο

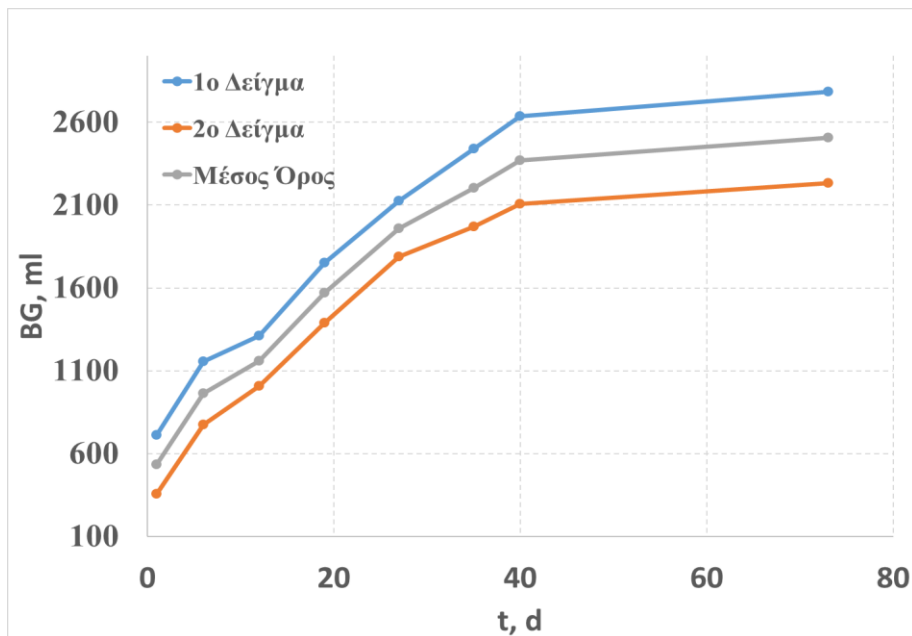
8.2. Παραγωγή βιοαερίου από δείγματα Λίπους

Παρόμοια με τα αποτελέσματα της διάσπασης των εσχαρισμάτων προς παραγωγή βιοαερίου είναι και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την διάσπαση δειγμάτων λίπους (Σχήμα 14).

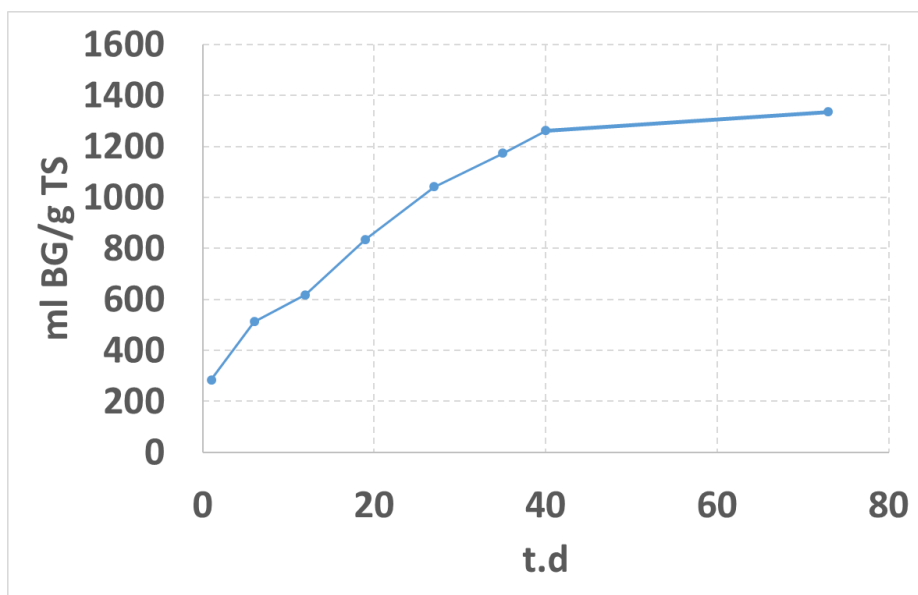
Πιο συγκεκριμένα μετά από 5 μέρες αναερόβιας χώνευσης του δείγματος λίπους στην φιάλη αναερόβιας χώνευσης παρατηρείται απότομη παραγωγή του βιοαερίου μέχρι και την τιμή των 430ml. Στη συνέχεια και μέχρι και τις 40 ημέρες αναερόβιας χώνευσης η παραγωγή του βιοαερίου αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με έναν ρυθμό συσσώρευσης 400ml ανά μέτρηση ειδικά μεταξύ των μετρήσεων που μεσολαβούν από τις 12 έως και τις 35 μέρες.

Πιο συγκεκριμένα κατά την δεύτερη μέτρηση (12 μέρες) φαίνεται να μειώνεται η παραγωγή του βιοαερίου σε σχέση με την απότομη αύξηση της παραγωγής του τις πρώτες 5 μέρες χώνευσης και στη συνέχεια παρατηρείται η συνεχόμενη και σταθερή αύξηση της παραγωγής μέχρι και την 6^η μέτρηση (40 μέρες). Τέλος η 7^η μέτρηση μετά από 73 μέρες δείχνει ότι η παραγωγή του βιοαερίου έχει αρχίσει να μειώνεται καθώς για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα 33 ημερών μεταξύ τις 6^{ης} και 7^{ης} μέτρησης η συσσώρευση του βιοαερίου φαίνεται να μην παρουσιάζει αξιόλογη μεταβολή καθώς έχουν παραχθεί μόνο 137ml γεγονός που δείχνει ότι η παραγωγή του βιοαερίου κατά την διάσπαση των δειγμάτων λίπους φαίνεται να αυξάνεται εκθετικά.

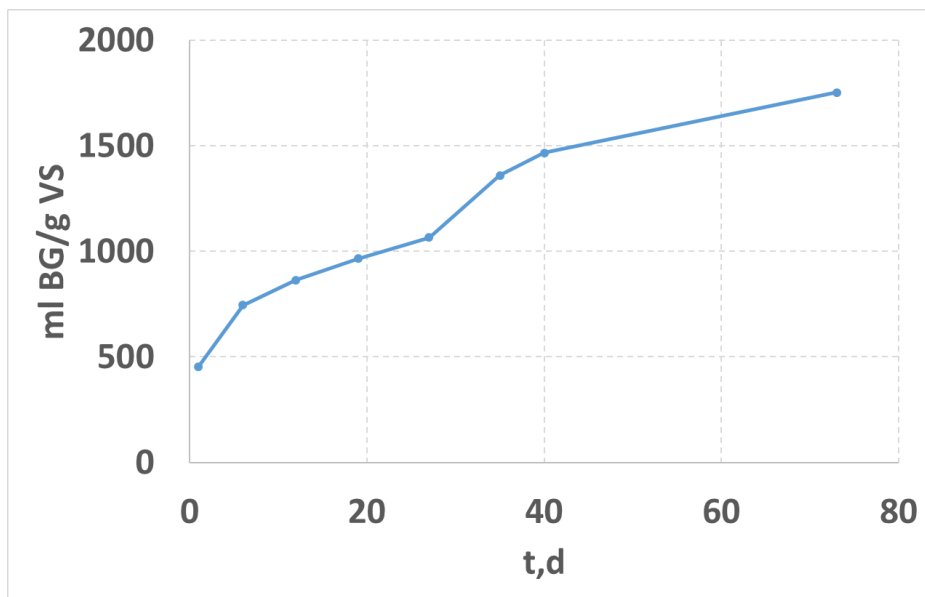
Στο Σχήμα 15 παρουσιάζεται η συσσώρευση του βιοαερίου ανά γραμμάριο TS. Τα αποτελέσματα ακολουθούν την ίδια αυξητική τάση με την μέγιστη τιμή παραγωγής μετά από 73 μέρες να βρίσκεται στα 1300ml. Ομοίως στο Σχήμα 16 παρουσιάζεται η συσσώρευση του βιοαερίου ανά γραμμάριο VS με την μέγιστή τιμή μετά από 73 ημέρες να είναι στα 1380ml.



Σχήμα 14 : Συσσώρευση βιοαερίου σε δείγμα λίπους σε συνάρτηση με τον χρόνο



Σχήμα 15 : Συσσώρευση βιοαερίου σε δείγμα λίπους ανά γραμμάριο TS σε συνάρτηση με τον χρόνο



Σχήμα 16 : Συσσώρευση βιοαερίου σε δείγμα λίπους ανά γραμμάριο VS σε συνάρτηση με τον χρόνο

8.3. Παραγωγή βιοαερίου από δείγματα Εσχαρίσματα - Λίπος

Αναμενόμενα είναι και τα αποτελέσματα της διάσπασης δειγμάτων συνδυασμού ποσότητας εσχαρισμάτων και λίπους προς παραγωγή βιοαερίου (Σχήμα 17) μετά την μελέτη των αποτελεσμάτων των δύο συστατικών μεμονωμένα.

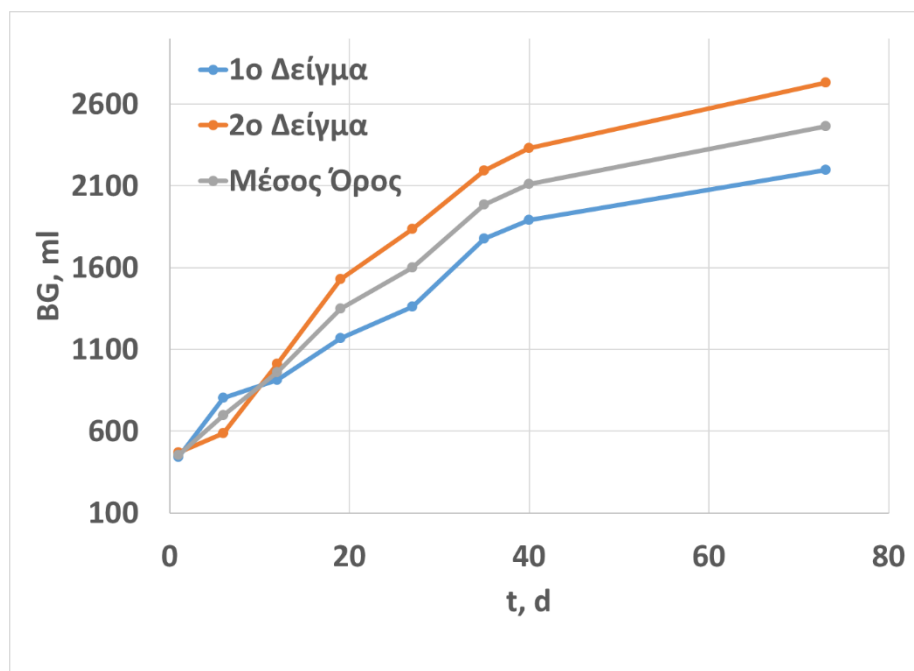
Πιο συγκεκριμένα μετά από 5 ημέρες παραμονής των δειγμάτων σε συνθήκες 38°C παρατηρείται μία παραγωγή βιοαερίου της τάξης των 242ml. Στη συνέχεια η παραγωγή του βιοαερίου συνεχίζεται όπου και κατά την διαδικασία της επόμενης μέτρησης (μετά από 12 ημέρες παραμονής σε συνθήκες 38°C) η παραγωγή του βιοαερίου είναι 264ml. Η παραγωγή του βιοαερίου για τις πρώτες 12 μέρες όπου λαμβάνει χώρα η δεύτερη μέτρηση φαίνεται να αυξάνεται σταθερά. Κατά την τέταρτη μέτρηση, μετά την πάροδο 19 ημερών συνολικά, η παραγωγή του βιοαερίου που μετρήθηκε αντιστοιχεί σε 388ml, μέτρηση που δείχνει ότι η παραγωγή του βιοαερίου φαίνεται να αυξάνεται εκθετικά και με την συνολική ποσότητα συσσώρευσης να έχει φτάσει τα 1350ml.

Στη συνέχεια η επόμενη μέτρηση πραγματοποιείται μετά 27 ημέρες παραμονής στον κλίβανο (38°C) από την αρχή της πειραματικής διαδικασίας. Η παραγωγή βιοαερίου μεταξύ τρίτης και τέταρτης μέτρησης, μετά δηλαδή την πάροδο 8 ημερών αντιστοιχεί σε 280ml, τιμή που δείχνει τον εκθετικό χαρακτήρα της καμπύλης της συσσώρευσης του βιοαερίου. Όμοια είναι και

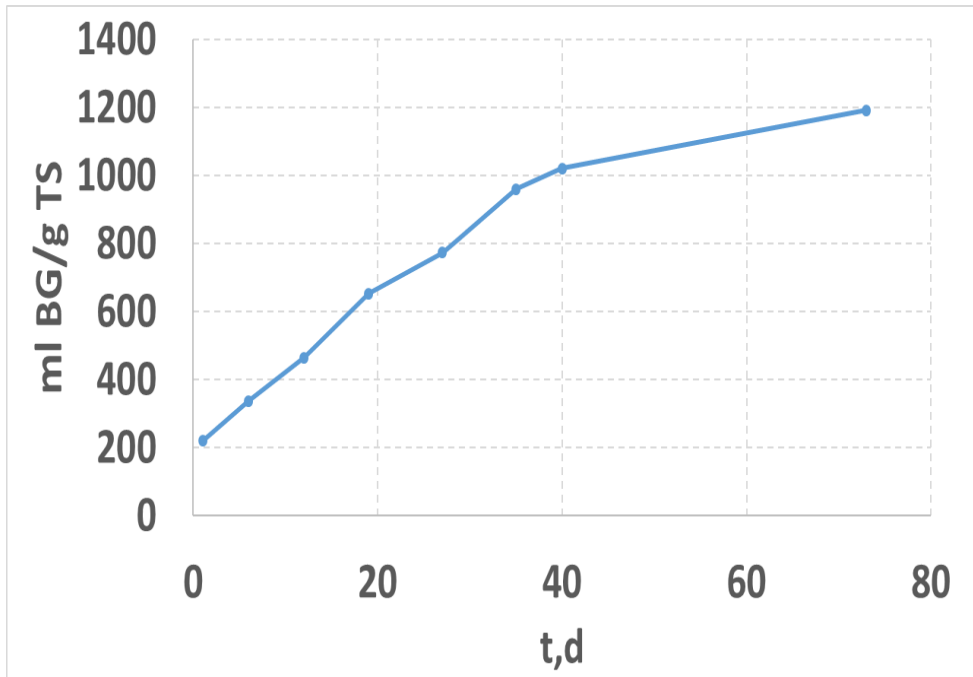
τα αποτελέσματα που προκύπτουν κατά την πέμπτη μέτρηση, μετά δηλαδή την πάροδο 8 ημερών μεταξύ τέταρτης και πέμπτης μέτρησης με παραγωγή που αντιστοιχεί σε 386ml ενώ μικρή είναι και η παραγωγή μετά από 40 ημέρες όπου και πραγματοποιείται η έκτη μέτρηση με παραγωγή 126ml που αντιστοιχεί σε 5 ημέρες παραμονής στους 38°C.

Τέλος η τελευταία μέτρηση γίνεται μετά από συνολική παραμονή του δείγματος στους 38°C για 73 ημέρες. Η συνολική παραγωγή του βιοαερίου είναι 2465,05ml ενώ η παραγωγή που προκύπτει μεταξύ έκτης και έβδομης μέτρησης και για 33 ημέρες αντιστοιχεί σε μόλις 354ml γεγονός που επιβεβαιώνει την εκθετική πορεία της παραγωγής του βιοαερίου.

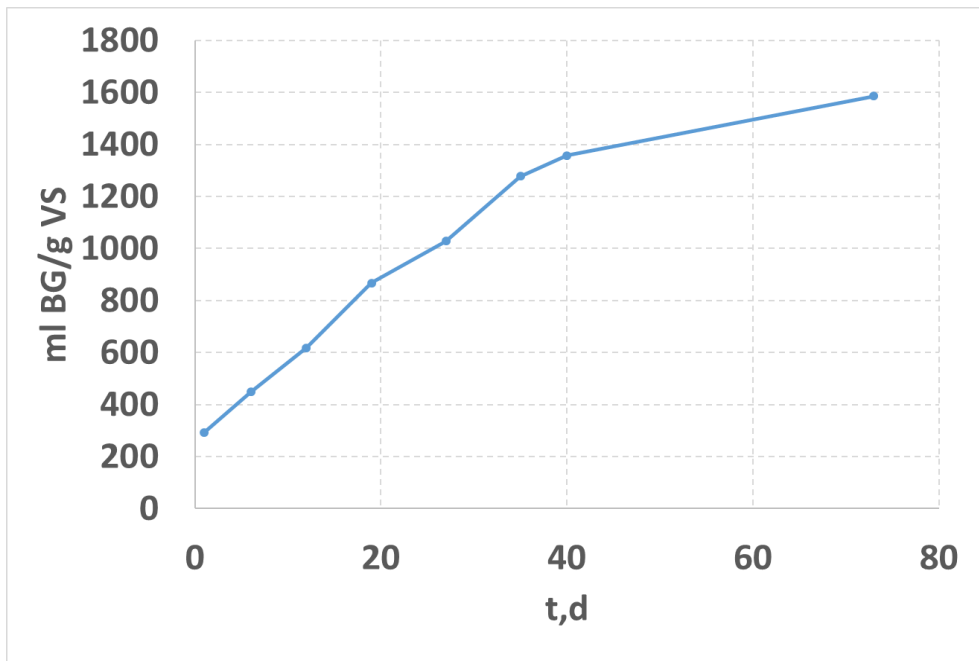
Στο Σχήμα 18 παρουσιάζεται η συσσώρευση του βιοαερίου ανά γραμμάριο TS. Τα αποτελέσματα ακολουθούν την αυξητική τάση της συσσώρευσης του βιοαερίου (Σχήμα 15) με την μέγιστη τιμή μετά από 73 ημέρες να είναι στα 1200ml/g. Ομοίως στο Σχήμα 19 παρουσιάζεται η συσσώρευση του βιοαερίου ανά γραμμάριο VS με την μέγιστη τιμή να φτάνει τα 1200ml/g.



Σχήμα 17 : Συσσώρευση βιοαερίου σε δείγμα εσχαρισμάτων και λίπους σε συνάρτηση με τον χρόνο



Σχήμα 18 : Συσσώρευση βιοαερίου σε δείγμα εσχαρισμάτων και λίπους ανά γραμμάριο TS σε συνάρτηση με τον χρόνο



Σχήμα 19 : Συσσώρευση βιοαερίου σε δείγμα εσχαρισμάτων και λίπους ανά γραμμάριο VS σε συνάρτηση με τον χρόνο

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η παραγωγή βιοαερίου κατά την επεξεργασία των εσχαρισμάτων αλλά και του λίπους ήταν σημαντική με συνεχόμενη αυξητική τάση μέχρι και για 73 ημέρες παραμονής. Η παραγωγή του βιοαερίου φαίνεται να είναι πιο σημαντική κατά την επεξεργασία του δείγματος λίπους..
- Η παρουσία του λίπους δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την παραγωγή του βιοαερίου κατά την επεξεργασία του μεικτού δείγματος καθώς οι τιμές που προέκυψαν φαίνεται να είναι υψηλότερες από αυτές της επεξεργασίας των εσχαρισμάτων αλλά μικρότερες από αυτές της επεξεργασίας του λίπους.
- Η παραγωγή βιοαερίου κατά την επεξεργασία των εσχαρισμάτων παρουσίασαν μεγαλύτερη συσσώρευση βιοαερίου ανά γραμμάριο VS σε σχέση με αυτή της επεξεργασίας του λίπους γεγονός που οφείλεται στην ετερογένεια των εσχαρισμάτων.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Παπαδομυελάκης Γ. , 2013. Εργαστηριακές ασκήσεις βρωματολογίας. Χημικές αναλύσεις ζωοτροφών. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα επιστήμης ζωϊκής παραγωγής και υδατοκαλλιεργιών. Εργαστήριο φυσιολογίας θρέψεως και διατροφής.

Ευθύμιος Νταρακάς. Επ. Καθηγητής. 2010. Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων – Ευθ. Νταρακάς – Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος. – Α.Π.Θ. Θεωρητικές Σημειώσεις

Κωνσταντίνος Γ. Δραβίλλας, 2007. Ανάπτυξη διβάθμιου συστήματος παραγωγής βιοαερίου από στερεά απόβλητα και βιομάζα. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Χημικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πάτρας.

Αλέξανδρος Χλέτσης, 2005. Παραγωγή βιοαερίου από αστικά απόβλητα και στερεά απορρίμματα. Μεταπτυχιακή εργασία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.

http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/EKDHLVSEIS/EKDHLWSEIS_2007_2009/THERMAIKOS_H_THALASSA_DIPLA/Tab2/thermaikos_skodras.pdf

ΔΙΕΘΝΗΣ

APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Water Pollution Control Federation, Washington, DC.

Cadavid-Rodríguez L. S., Horan N., 2011. Reducing the environmental footprint of wastewater screenings through anaerobic digestion with resource recovery. Water and Environment Journal 26 (2012) 301–307.

Cadavid-Rodríguez L. S., Horan N., 2013. Methane production and hydrolysis kinetics in the anaerobic degradation of wastewater screenings. Water Science and Technology. DOI: 10.2166/wst.2013.267

Cadavid-Rodríguez L. S., Horan N., 2014. Production of volatile fatty acids from wastewater screenings using a leach-bed reactor. Water Research 60, 242-249.

- Dong L., Zhenhong Y., Yongming S., 2010. Semi-dry mesophilic anaerobic digestion of water sorted organic fraction of municipal solid waste (WS-OFMSW). *Bioresource Technology* 101, 2722–2728.
- Gidarakos E., Havas G., Ntzamilis P., 2006. Municipal solid waste composition determination supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete. *Waste Management* 26, 668–679.
- Le Hyaric R., Canler J.-P., Barillon B., Naquin P., Gourdon R., 2009. Characterization of screenings from three municipal wastewater treatment plants in the Region Rhone-Alpes. *Water Science and Technology*. DOI: 10.2166/wst.2009.391
- Le Hyaric R., Canler J.-P., Barillon B., Naquin P., Gourdon R., 2010. Pilot-scale anaerobic digestion of screenings from wastewater treatment plants. *Bioresource Technology* 101, 9006–9011.
- Kaless M., Palmowski L., Pinnekamp J., 2017. Carbon recovery from screenings for an energy efficient wastewater treatment. *Water Science and Technology*. DOI: 10.2166/wst.2017.497.
- Wid N., Horan N.J., 2017. Anaerobic digestion of wastewater screenings for resource recovery and waste reduction. *International Conference on Chemical Engineering and Bioprocess Engineering*. DOI: 10.1088/1755-1315/36/1/012017.
- Pascale N., Gourdon R., 2010. Pilot – scale anaerobic digestion of screenings from wastewater treatment plants. *Bioresource Technology*. DOI: 10.1016/j.biotech.2010.06.150
- Liuz S. Cadavid – Rodriguez and Nigel J. Horan, 2013. Methane production and hydrolysis kinetic in anaerobic degradation of wastewater screenings. *Water Science Technology* (2013) 68 (2):413-418
- I. Angelidaki, M. Alves, D. Bolzonella, L. Borzacconi, J. L. Campos, A. J. Guwy, S. Kalyuzhnyi, P. Jenicek and J. B. van Lier, 2009. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water Science Technology* (2009) 59 (5): 927-934