ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΒΙΟΑΠΟΔΟΜΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ"

ΜΟΥΡΤΖΑΝΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Μαντζαβίνος Διονύσιος

Χανιά, Μάρτιος 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διαπιστώσει κατά πόσο τα υγρά απόβλητα ελαιουργείου είναι αναερόβια βιοαποδομήσημα, και αν είναι σε ποιο βαθμό. Αν είναι δηλαδή εφικτό ένα τόσο δύσχρηστο και ρυπογόνο υγρό απόβλητο της αγροτικής βιομηχανίας να υποστεί επεξεργασία σύμφωνα με τις αρχές της αναερόβιας αποδόμησης. Το όφελος από τον παραπάνω συνδυασμό είναι πολλαπλό και προφανές. Πρώτον αποφεύγεται η επιβάρυνση του εκάστου αποδέκτη στον όποιο θα απορριπτόταν το εν λόγω υγρό απόβλητο. Δεύτερον καρπωνόμαστε ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της αναερόβιας αποδόμησης που είναι η παραγωγή βιοαερίου και κατά επέκταση μεθανίου το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας. Προκειμένου να επιτευχτεί ο παραπάνω σκοπός επιλέχτηκε μια τυπική πειραματική διάταξη αναερόβιας αποδόμησης, η οποία μας δίνει την δυνατότητα να ελέγξουμε την αποδομησιμότητα κάποιας ουσίας κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Επίσης, κρίθηκε σκόπιμο προτού εξεταστεί η αποδομησιμότητα των υγρών αποβλήτων ελαιουργείου, να εξεταστεί μεμονωμένα η αποδομησιμότητα κάποιων από τα φαινολικά οξέα τα οποία υπάρχουν στα υγρά απόβλητα ελαιουργείου όπως το βενζοϊκό, το 4-υδροξυβενζοϊκό, το καφεϊκό και το 4-κουμαρικό οξύ. Αυτό συνέβη γιατί τα φαινολικά οξέα έχουν αντιβακτηριδιακή δράση με αποτέλεσμα να είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες παρεμπόδισης των μικροοργανισμών της αναερόβιας αποδόμησης στην προσπάθεια τους να αποδομήσουν τα υγρά απόβλητα ελαιουργείου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

1 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Αναερόβια αποδόμηση ονομάζουμε τις διεργασίες ζύμωσης και οξείδωσης οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε κάποιο φυσικό ή τεχνητό περιβάλλον απουσία οξυγόνου και έχουν ως αποτέλεσμα την μετατροπή της υπάρχουσας οργανικής ύλης σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Οι εν λόγω διεργασίες αναερόβιας αποδόμησης χρησιμοποιούνται κυρίως για την επεξεργασία ιλύος και γενικά αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο. Παρ' όλα αυτά παρατηρείται μια συνεχώς αυξανομένη τάση οι προαναφερθείσες αναερόβιες διεργασίες αποδόμησης να χρησιμοποιούνται και για την επεξεργασία αραιωμένων υγρών αποβλήτων. Η παραπάνω αυξανόμενη τάση οφείλεται στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι αναερόβιες διεργασίες αποδόμησης έναντι των άλλων μεθόδων επεξεργασίας αποβλήτων.

Τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αναερόβιας αποδόμησης είναι τα εξής:

- **Πλεονεκτήματα**
  - Παραγωγή βιοαερίου το οποίο μπορεί να υποστεί επεξεργασία και να επαναχρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας μειώνοντας αισθητά το κόστος επεξεργασίας.
  - Μικρές ενεργειακές απαιτήσεις σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους.
  - Παραγωγή μικρότερων ποσοτήτων βιομάζας.
  - Επιτυγχάνεται υψηλή απομάκρυνση οργανικού φορτίου.
  - Η διεργασία είναι κατάλληλη για ισχυρά υγρά απόβλητα.
  - Οι αντιδραστήρες μπορούν να επανεκκινήσουν την λειτουργία τους αρκετά εύκολα ακόμα και μετά από μεγάλα διαστήματα αδράνειας.
- **Μειονεκτήματα**
  - Χρονοβόρα διεργασία (Μεγάλοι υδραυλικοί χρόνοι παραμονής, HRT)
  - Ευαίσθητη διεργασία (Γενικά σε αυξομειώσεις της θερμοκρασίας, του οργανικού φορτίου, του pH, της τοξικότητας, κ.α.).
  - Περαιτέρω επεξεργασία των εκροών κρίνεται απαραίτητη.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η αναερόβια αποικοδόμηση είναι μια σχετικά χρονοβόρα και ευαίσθητη διεργασία επεξεργασίας αποβλήτων, η οποία όμως μας δίνει την δυνατότητα να επεξεργαστούμε απόβλητα με μεγάλο οργανικό φορτίο κρατώντας το κόστος σε χαμηλά επίπεδα.

Τέλος τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά της αναερόβιας αποδόμησης την καθιστούν μια άκρως ελκυστική μέθοδο επεξεργασίας αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων. Αυτό οφείλεται κυρίως στην εποχική φύση και το μεγάλο οργανικό φορτίο των εν λόγω αποβλήτων. Παρακάτω βλέπουμε κάποιους τυπικούς αναερόβιους χωνευτές που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία αποβλήτων (Εικόνα 1-1, Εικόνα 1-2).

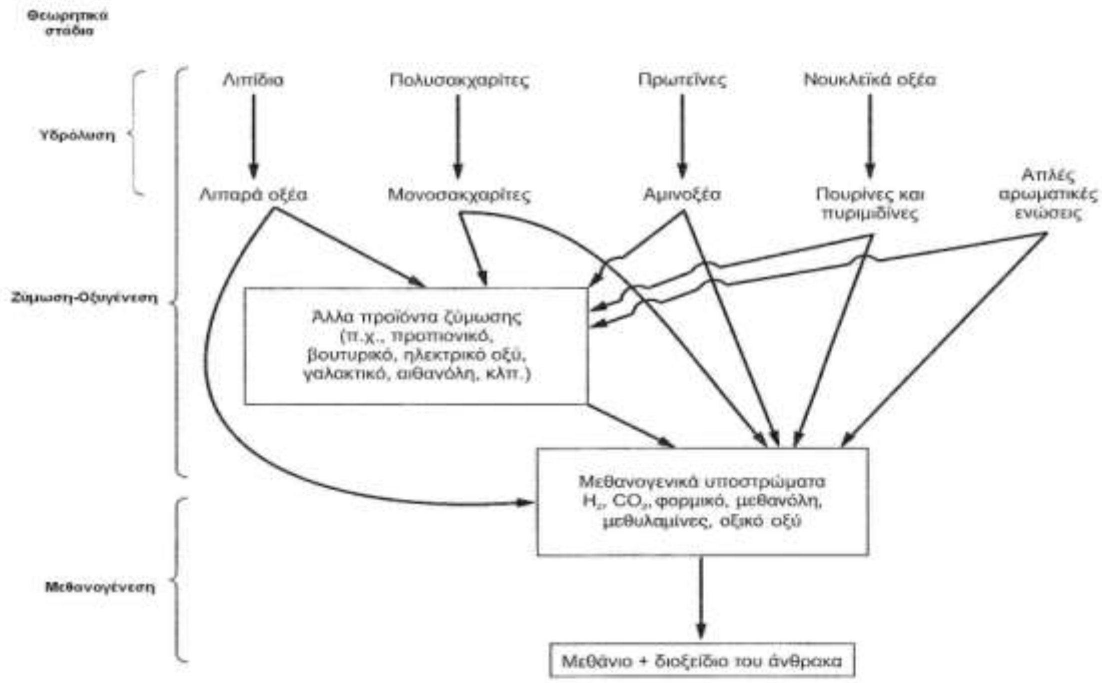
Εικόνα 1-1: Αναερόβιος χωνευτής μονάδας επεξεργασίας αστικών λυμάτων Δήμου Χανιών.

Εικόνα 1-2: Αναερόβιος χωνευτής γαλακτοκομικού αγροκτήματος στο Dumfries & Galloway της Σκωτίας.

1.2 Βασικα Σταδια

Κατά την διάρκεια της αναερόβιας αποδόμησης αποβλήτων συντελούνται τα παρακάτω τρία βασικά στάδια (Εικόνα 1-3):

- Υδρόλυση
- Ζύμωση
- Μεθανιογένεση



Εικόνα 1-3: Σχηματική απεικόνιση των βασικών σταδίων της αναερόβιας αποικοδόμησης (ΠΗΓΗ: METCALF & EDDY, 2006).

1.2.1 Υδρόλυση

Το πρώτο στάδιο των περισσοτέρων διεργασιών ζύμωσης στις οποίες το σωματιδιακό υλικό μετατρέπεται σε διαλυτές ενώσεις ονομάζεται υδρόλυση. Οι διαλυτές ενώσεις μπορούν έπειτα να υδρολυθούν περαιτέρω σε απλούστερα μονομερή που χρησιμοποιούνται από τα βακτήρια που επιτελούν τη ζύμωση. Για μερικά βιομηχανικά υγρά απόβλητα η ζύμωση μπορεί να είναι το πρώτο στάδιο της αναερόβιας αποδόμησης.

1.2.2 Ζύμωση

Το δεύτερο στάδιο της αναερόβιας αποδόμησης είναι η ζύμωση, ή αλλιώς οξυγένεση. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας της ζύμωσης διασπώνται τα αμινοξέα, τα σάκχαρα καθώς και κάποια λιπαρά οξέα (βλ. Εικόνα 1-3). Παράλληλα τα οργανικά υποστρώματα χρησιμεύουν ως δότες και δέκτες ηλεκτρονίων. Τα κυριότερα προϊόντα της ζύμωσης είναι το οξικό οξύ, το υδρογόνο, το διοξείδιο του άνθρακα, το προπιονικό και το βουτυρικό οξύ. Με περαιτέρω ζύμωση του προπιονικού και του βουτυρικού οξέος παράγεται υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και οξικό οξύ. Έτσι τα τελικά προϊόντα της ζύμωσης είναι υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και οξικό οξύ, τα οποία αποτελούν τις πρόδρομες ενώσεις για τον σχηματισμό του μεθανίου που θα λάβει χώρα στο στάδιο της μεθανιογένεσης.

1.2.3 Μεθανιογένεση

Το τρίτο και τελευταίο στάδιο της αναερόβιας αποδόμησης είναι η μεθανιογένεση. Αυτή η διεργασία πραγματοποιείται από ένα σύνολο οργανισμών οι οποίοι καλούνται μεθανιογενετικοί. Οι παραπάνω μεθανιογενετικοί οργανισμοί χωρίζονται σε δυο ομάδες. Η πρώτη ομάδα είναι οι μεθανιογενετικοί οξυκλάστες, οι οποίοι διασπούν το οξικό οξύ σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Η δεύτερη ομάδα είναι οι μεθανιογενετικοί υδρογονοχρήστες, οι οποίοι χρησιμοποιούν το υδρογόνο ως δότη ηλεκτρονίων και το διοξείδιο του άνθρακα ως δέκτη ηλεκτρονίων προκειμένου να παράξουν μεθάνιο. Τέλος τα βακτήρια στις αναερόβιες διεργασίες ονομάζονται οξυγενετικά και είναι ικανά να χρησιμοποιήσουν το διοξείδιο του άνθρακα για την οξείδωση του υδρογόνου με σκοπό την παραγωγή οξικού οξέος. Το οξικό οξύ κατόπιν θα μετατραπεί σε μεθάνιο μέσω του μηχανισμού που περιγράψαμε παραπάνω με αποτέλεσμα η επίδραση της εν λόγω αντίδρασης να θεωρείται αμελητέα.

1.3 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

Η ομάδα των μη μεθανιογενετικών μικροοργανισμών που είναι υπεύθυνοι για την υδρόλυση και τη ζύμωση αποτελείται από αυστηρά αναερόβια βακτήρια. Μερικοί από του οργανισμούς που απομονώνονται από αναερόβιους χωνευτές είναι οι παρακάτω:

- Clostridium spp.
- Peptococcus anaerobes
- Bifidobacterium spp.
- Desulphovibrio spp.
- Corynebacterium spp.

- Lactobacillus
- Actinomyces
- Staphylococcus
- Escherichia coli

Άλλες φυσιολογικές ομάδες που είναι παρούσες περιλαμβάνουν τους οργανισμούς που αναλαμβάνουν την παραγωγή πρωτεολυτικών, λιπολυτικών, ουρεολυτικών ή κυτταρολυτικών ενζύμων.

Οι μεθανιογενετικοί μικροοργανισμοί ταξινομούνται στα Αρχαειδή και είναι αυστηρά αναερόβιοι οργανισμοί. Πολλοί από τους μεθανιογενετικούς οργανισμούς που εντοπίζονται στους αναερόβιους χωνευτές είναι παρόμοιοι με εκείνους που βρίσκονται στα στομάχια των μηρυκαστικών ζωών και στα οργανικά ιζήματα που λαμβάνονται από λίμνες και ποταμούς. Τα κυριότερα γένη των μικροοργανισμών που έχουν προσδιοριστεί σε μεσόφιλες συνθήκες περιλαμβάνουν τους βακίλους Methanobacterium, Methanobacillus και τα σφαιροειδή Methanococcus, Methanothrix και Methanosarcina.

Τα Methanothrix και Methanosarcina που λέγονται επίσης και Methanosaeta είναι οι μοναδικοί οργανισμοί που έχουν την δυνατότητα να παράγουν μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από το οξικό οξύ. Οι υπόλοιποι οργανισμοί οξειδώνουν το υδρογόνο με το διοξείδιο του άνθρακα ως δέκτη ηλεκτρονίων για να παράγουν μεθάνιο. Οι μεθανιογενετικοί οργανισμοί που χρησιμοποιούν οξικό οξύ έχουν βρεθεί και σε θερμόφιλους αντιδραστήρες. Κάποια είδη Methanosarcina επηρεάστηκαν αρνητικά από την θερμοκρασία στους 65^0C, σε αντίθεση με άλλα είδη που δεν αντιμετώπισαν κάποιο πρόβλημα όπως για παράδειγμα το Methanothrix. Στον αντίποδα από τα μεθανιογενετικά που χρησιμοποιούν υδρογόνο, σε θερμοκρασίες πάνω από 60^0C το Methanobacterium βρέθηκε σε μεγάλη αφθονία.

Οι μεθανιογενετικοί και οι οξυγενετικοί οργανισμοί συμβιώνουν άριστα. Αυτό συμβαίνει για τον απλούστατο λόγο ότι οι μεθανιογενετικοί οργανισμοί μετατρέπουν το υδρογόνο, το μυρμηκικό οξύ, το οξικό οξύ καθώς και τα άλλα προϊόντα των οξυγενετικών οργανισμών σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Οι μεθανιογενετικοί οργανισμοί έχουν την ικανότητα να διατηρήσουν την μερική πίεση του υδρογόνου σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα, με αποτέλεσμα η ισορροπία των αντιδράσεων ζύμωσης να μετατοπίζεται προς τον σχηματισμό περισσοτέρων οξειδωμένων τελικών προϊόντων όπως το μυρμηκικό και οξικό οξύ. Η κατανάλωση του υδρογόνου που παράγεται από τους οξυγενετικούς και τους άλλους αναερόβιους οργανισμούς ονομάζεται *μεταφορά υδρογόνου μέσω των ειδών.* Στην πραγματικότητα οι μεθανιογενετικοί οργανισμοί δρουν σαν μια δεξαμενή υδρογόνου, δεξαμενή η οποία φροντίζει την ομαλή διεξαγωγή των αντιδράσεων της ζύμωσης. Εάν οι μεθανιογενετικοί οργανισμοί λόγω κάποιας δυσλειτουργίας της μεθανιογένεσης αποτύχουν στο να καταναλώσουν εγκαίρως το παραγόμενο υδρογόνο η ζύμωση των προπιονικών και βουτυρικών οξέων θα επιβραδυνθεί με αποτέλεσμα τη συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων στον αναερόβιο αντιδραστήρα καθώς και την μείωση της τιμής του pH.

Σε αντίθεση με τους παραπάνω οργανισμούς, η παρουσία βακτηρίων αναγωγής θειικών σε έναν αναερόβιο αντιδραστήρα σε συνδυασμό με υψηλές συγκεντρώσεις θειικών στο προς επεξεργασία απόβλητο μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στην διαδικασία της αναερόβιας αποδόμησης. Οι εν λόγω οργανισμοί ανάγουν τα θειικά σε θειώδη, τα οποία σε υψηλές συγκεντρώσεις έχουν τοξικές επιδράσεις στους μεθανιογενετικούς οργανισμούς. Προκειμένου να αποφευχθούν οι παραπάνω αρνητικές επιδράσεις των υψηλών συγκεντρώσεων θειωδών μια προτεινόμενη λύση είναι η ελεγχόμενη προσθήκη σιδήρου με απώτερο στόχο τον σχηματισμό ιζήματος θειώδους σιδήρου. Τα βακτήρια αναγωγής θειικών είναι αναερόβιοι οργανισμοί με διαφορετικά μορφολογικά χαρακτηριστικά αλλά με κοινό χαρακτηριστικό την χρήση θειικών ως δέκτη ηλεκτρονίων. Οι παραπάνω οργανισμοί διακρίνονται σε δυο ομάδες ανάλογα με το αν παράγουν λιπαρά οξέα ή χρησιμοποιούν οξικό οξύ. Η πρώτη ομάδα αναγωγέων θειικών μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα μεγάλο αριθμό οργανικών ενώσεων ως δότη ηλεκτρονίων, με αποτέλεσμα την οξείδωση τους προς οξικό οξύ και την αναγωγη των θειικών σε θειώδη. Το πιο κοινό γένος που εμφανίζεται στους αναερόβιους αντιδραστήρες είναι το Desulfovibrio. Η δεύτερη ομάδα αναγωγέων θειικών οξειδώνουν τα λιπαρά οξέα και ιδιαιτέρως το οξικό οξύ προς διοξείδιο του άνθρακα καθώς ανάγουν τα θειικά σε θειώδη. Τα πιο συνηθισμένα βακτήρια αυτής της ομάδας ανήκουν στο γένος Desulfobacter.

1.4 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Η αναερόβια αποδόμηση είναι μια σύνθετη βιολογική διεργασία. Η πολυπλοκότητα αυτή οφείλεται στην αλληλεξάρτηση των μικροοργανισμών και στους παράγοντες που τους επηρεάζουν.

1.4.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί τον κύριο περιβαλλοντικό παράγοντα που επηρεάζει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Διακρίνουμε πέντε θερμοκρασιακές περιοχές για τη βέλτιστη ανάπτυξη των μικροοργανισμών (Καραγκούνη-Κύρτσου, 1999):

- Υπερθερμόφιλοι $T>80\ ^oC$
- Θερμόφιλοι 65-75 ^oC
- Μεσόφιλοι 30-40 ^oC

- Ψυχροανθεκτικοί 20-30 ^{o}C
- Ψυχρόφιλοι 10-20 ^{o}C

Η επεξεργασία των αποβλήτων στην αναερόβια αποδόμηση γίνεται κυρίως σε μεσόφιλες και σε θερμόφιλες συνθήκες λόγω της υψηλής απόδοσής τους. Ακόμα και μικρές θερμοκρασιακές αλλαγές κατά τη λειτουργία ενός συστήματος αναερόβιας αποδόμησης μπορεί να αποβούν μοιραίες και αυτό γιατί οι μεθανιογόνοι κυρίως μικροοργανισμοί που είναι και η ποιο ευαίσθητοι της διεργασίας εισέρχονται σε λανθάνουσα φάση ώστε να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες. Συνολικά η θερμόφιλη αναερόβια αποδόμηση φαίνεται να υπερτερεί της μεσόφιλης, αφού παρουσιάζει πλεονεκτήματα όπως:

- Μικρότερο όγκο εγκαταστάσεων.
- Μεγαλύτερο ποσοστό αποδόμησης των οργανικών και ως εκ τούτου αύξηση του ρυθμού παραγωγή βιοαερίου.
- Ταχύτερη υδρόλυση.
- Καταστροφή παθογόνων μικροοργανισμών.

Οι υψηλές όμως απαιτήσεις σε ενέργεια, σε συνδυασμό με τη μεγαλύτερη ευαισθησία σε τοξικές ενώσεις, καθώς και με τη μειωμένη ευστάθεια των συστημάτων αυτών καθιστούν συνήθως την θερμόφιλη αναερόβια αποδόμηση οικονομικά ασύμφορη και δύσκολα εφαρμόσιμη (Ward, 2008, Κάλφας, 2007).

1.4.2 pH

Η διεργασία της αναερόβιας αποδόμησης επηρεάζεται σε ένα μεγάλο βαθμό από το pH. Οι ζυμωτικοί οργανισμοί έχουν ικανοποιητική λειτουργία ακόμα και σε τιμές pH 5, κάτι που δεν ισχύει για τους μεθανιογενετικούς οι οποίοι αναπτύσσονται με πολύ αργούς ρυθμούς σε τιμές pH κάτω του 6.6 (Angelidaki, et al., 2003). Οι περισσότεροι μεθανιογενετικοί οργανισμοί αναπτύσσονται και λειτουργούν χωρίς προβλήματα, για pH μεταξύ 6.8 και 7.4. Κατά την αναερόβια αποδόμηση δύνανται να παρατηρηθούν διαφοροποιήσεις από αυτή την περιοχή λόγω της συσσώρευσης όξινων ή βασικών μεταβολικών προϊόντων όπως είναι τα πτητικά λιπαρά οξέα ή η αμμωνία, αντίστοιχα. Η αύξηση της συγκέντρωσης των πτητικών λιπαρών οξέων όπως είδαμε και παραπάνω είναι από τα πιο κοινά προβλήματα των αναερόβιων συστημάτων.

Συνηθέστερα χημικά που προσθέτονται για την ρύθμιση της αλκαλικότητας είναι τα παρακάτω:

- Ασβέστης [$Ca(OH)_2$]
- Υδροξείδιο του νατρίου [NaOH]
- Όξινο ανθρακικό νάτριο [$NaHCO_3$]
- Άνυδρη αμμωνία [NH_3]
- Όξινο ανθρακικό αμμώνιο [$NH_4(HCO_3)$]
- Όξινο ανθρακικό κάλιο [$KHCO_3$]

1.4.3 Χημική σύσταση του υποστρώματος

Η χημική σύσταση του υποστρώματος είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες που διαμορφώνουν τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού των οργανισμών που αναπτύσσονται σε ένα αναερόβιο αντιδραστήρα. Επικρατούν οι οργανισμοί εκείνοι που μπορούν να μεταβολίσουν τα ανόργανα και οργανικά συστατικά της τροφοδοσίας. Κάποια συστατικά πολυσύνθετων υποστρωμάτων μπορεί να είναι μη βιοαποδομήσιμα, οπότε δεν έχουμε πλήρη απομάκρυνση του οργανικού υλικού. Το προς επεξεργασία απόβλητο πρέπει να έχει επαρκείς ποσότητες σε άζωτο και φώσφορο (θρεπτικά). Αν το απόβλητο δεν περιέχει τις απαιτούμενες ποσότητες, η εξισορρόπηση με τη προσθήκη θρεπτικών είναι αναγκαία.

Οι μεθανιογενετικοί οργανισμοί λόγω του περίπλοκου ενζυμικού συστήματος τους και για τη σωστή τους λειτουργία έχουν απαιτήσεις σε ιχνοστοιχεία όπως τα παρακάτω:

- Σίδηρος [Fe]
- Κοβάλτιο [Co]
- Μολυβδαίνιο [Mo]
- Νικέλιο [Ni]
- Μαγνήσιο [Mg]
- Ασβέστιο [Ca]
- Νάτριο [Na]
- Χαλκός [Cu]
- Βάριο [Ba]
- Σελήνιο [Se]

- Ψευδάργυρος [Zn]

Ο ρόλος όλων των ιχνοστοιχείων είναι πολύ σημαντικός για την σωστή ενζυμική λειτουργία και ιδιαίτερα για τη μετατροπή του οξικού οξέος σε μεθάνιο (Gerardi, 2003).

1.4.4 Οργανικό φορτίο και υδραυλικός χρόνος παραμονής

Ως υδραυλικό χρόνος παραμονής (Hydraylic Retention Time, HRT) ορίζεται το χρονικό διάστημα, κατά το οποίο το διαθέσιμο προς χώνευση υλικό παραμένει στον αντιδραστήρα και δίνεται από τη σχέση: HRT = VR/Fw όπου VR είναι ο όγκος του αντιδραστήρα και Fw η ημερήσια ογκομετρική παροχή απόβλητου. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής ενός αντιδραστήρα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος ώστε να επιτρέπει στους αναερόβιους οργανισμούς να ολοκληρώσουν το κυτταρικό τους κύκλο. Τέλος το υψηλό οργανικό φορτίο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα όπως τη συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων και άλλων αναστολέων με αποτέλεσμα την δυσλειτουργία της διεργασίας. Ο ρυθμός λοιπόν με τον οποίο το οργανικό φορτίο παρέχεται σε ένα σύστημα αναερόβιας αποδόμησης, είναι καθοριστικής σημασίας για τη σταθερότητα της διεργασίας.

1.4.5 Τοξικότητα

Πολλές ενώσεις και στοιχεία είναι τοξικά για κάποιους οργανισμούς στην αναερόβια αποδόμηση. Η τοξικότητα μιας ουσίας μπορεί να εμφανιστεί γρήγορα ή με πιο αργούς ρυθμούς και αυτό εξαρτάται από το είδος της τοξικής ουσίας, τη συγκέντρωσή της, την ύπαρξη άλλης παρεμποδιστικής ουσίας όπου δρουν συνεργατικά και την προσαρμοστικότητα των οργανισμών. Συνήθως οι μεθανιογενετικοί οργανισμοί (ως οι πιο ευαίσθητοι) είναι αυτοί που παρεμποδίζονται λόγω τοξικότητας. Παρεμπόδιση που οδηγεί στη μείωση της παραγωγής μεθανίου και στη συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων. Μερικές από τις κυριότερες ουσίες οι οποίες δρουν τοξικά στην αναερόβια αποδόμηση είναι οι παρακάτω:

- Οξυγόνο
- Αμμωνία
- Θειούχα και θειικά ανιόντα
- Βαρέα μέταλλα
- Χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες
- Αρωματικές ενώσεις
- Ανώτερα λιπαρά οξέα και πτητικά λιπαρά οξέα

2 Υγρα Αποβλητα Ελαιοτριβειου

2.1 Γενικα

Η ελιά ανήκει στην οικογένεια Oleaceae και το γένος Olea περιλαμβάνει πάνω από 30 είδη. Αυτά είναι διασκορπισμένα σ' όλο το πλανήτη, όμως το 97% της παγκόσμιας παραγωγής ελαιολάδου συγκεντρώνεται στη περιοχή της Μεσογείου. Οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή είναι η Ισπανία, η Ιταλία και η Ελλάδα παράγοντας το 80% της παγκόσμιας παραγωγής.

Στην Ελλάδα η ελιά είχε από την αρχαιότητα ξεχωριστή θέση και είχε συνδεθεί με την διατροφή, τη θρησκεία, την υγεία και την τέχνη. Σήμερα είναι η πρώτη σε σπουδαιότητα δενδρώδης καλλιέργεια στη χώρα μας, αφού καταλαμβάνει σε έκταση το 15% περίπου της καλλιεργούμενης γης και το 75% των εκτάσεων που είναι φυτεμένες με δέντρα. Υπολογίζεται ότι υπάρχουν γύρω στα 130 εκατομμύρια ελαιόδεντρα, 2800 ελαιοτριβεία, 500 συσκευαστήρια – ραφιναριστήρια - πυρηνελαιουργεία και 80 εργοστάσια επεξεργασίας επιτραπέζιας ελιάς (Ποντίκης, Α.Κ., 2000, Award et al., 2006).

Εικόνα 2-1: Τυπικός μεσογειακός ελαιώνας.

2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ - ΤΥΠΟΙ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ

Η εξαγωγή του ελαιολάδου σήμερα γίνεται κυρίως με δύο τρόπους:

- Με τη κλασική μέθοδο (πίεση του ελαιοπολτού σε υδραυλικό πιεστήριο)
- Με φυγοκεντρικά συστήματα (συνεχή συστήματα)
  - τριών φάσεων (τριφασικά ελαιοτριβεία)
  - δύο φάσεων (διφασικά ελαιοτριβεία)

Τα δυο πρώτα στάδια στην διαδικασία επεξεργασίας ελαιοκάρπου είναι κοινά και στους τρεις προαναφερθέντες τύπους ελαιοτριβείου. Αυτά είναι το αποφυλλωτήριο-πλυντήριο και ο σπαστήρας-μαλακτήρας.

2.2.1 Αποφυλλωτήριο – Πλυντήριο

Αφού οι ελιές ζυγιστούν και τοποθετηθούν στη χοάνη υποδοχής, περνάνε από το α-ποφυλλωτήριο όπου αφαιρούνται φύλλα και άλλες ξένες ύλες τα οποία μπορούν να υποβαθ-μίσουν την ποιότητα του ελαιολάδου και να φθείρουν τα μηχανήματα.

Έπειτα προωθούνται στο πλυντήριο γίνεται το πλύσιμο του ελαιοκάρπου και η απο-μάκρυνση όλων των ξένων υλών που δεν απομακρύνθηκαν στο αποφυλλωτήριο, π.χ χώμα προσκολλημένο στο καρπό.

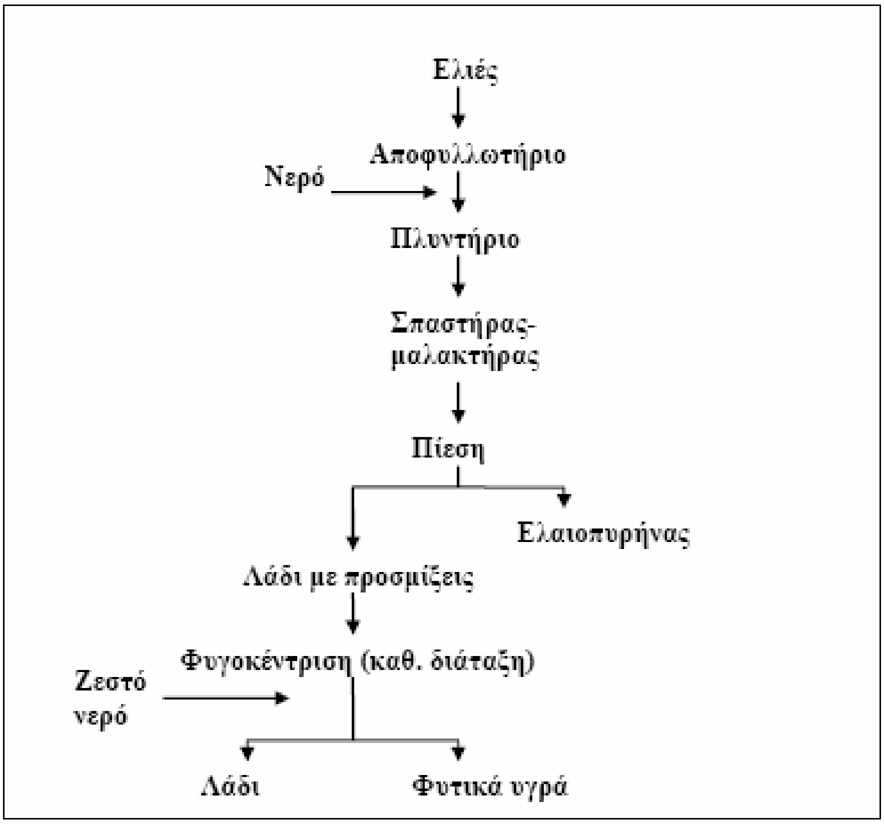
2.2.2 Σπαστήρας – Μαλακτήρας

Με την άλεση ο ελαιόκαρπος μετατρέπεται σε ομοιογενή πούλπα και επιτυγχάνεται η αποδιοργάνωση των ιστών του μεσοκαρπίου, το σπάσιμο των χυμοτοπίων που περιέχουν τα σταγονίδια του λαδιού, η συσσωμάτωση των σταγονιδίων σε μεγάλες σταγόνες λαδιού ώστε να γίνει πιο εύκολος στη συνέχεια ο διαχωρισμός του.

Στο μαλακτήρα γίνεται η μάλαξη της πούλπας και τα σταγονίδια του λαδιού που εί-χαν αρχίσει να δημιουργούνται με την άλεση στο σπαστήρα γίνονται ακόμα μεγαλύτερα. Η μάλαξη γίνεται πιο αποτελεσματική όταν η ελαιομάζα θερμανθεί μέχρι 30-35 oC.

2.2.3 Κλασική μέθοδος

Στη παραδοσιακή μέθοδο εξαγωγής του ελαιολάδου, η ελαιομάζα τοποθετείται σε ελαιόπανα και οδηγείται στο υδραυλικό πιεστήριο. Εκεί με την άσκηση πίεσης γίνεται ο δια-χωρισμός της στερεής από την υγρή φάση. Η υγρή φάση που διέρχεται μέσα από τα ελαιόπα-να οδηγείται στο διαχωριστήρα όπου γίνεται η παραλαβή του ελαιολάδου. Η παραδοσιακή μέθοδος είναι ασυνεχής διαδικασία και αυτός ήταν ο κύριος λόγος εγκατάλειψης της. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ένα διάγραμμα ροής ενός κλασικού τύπου ελαιοτριβείου (Εικόνα 2-2).



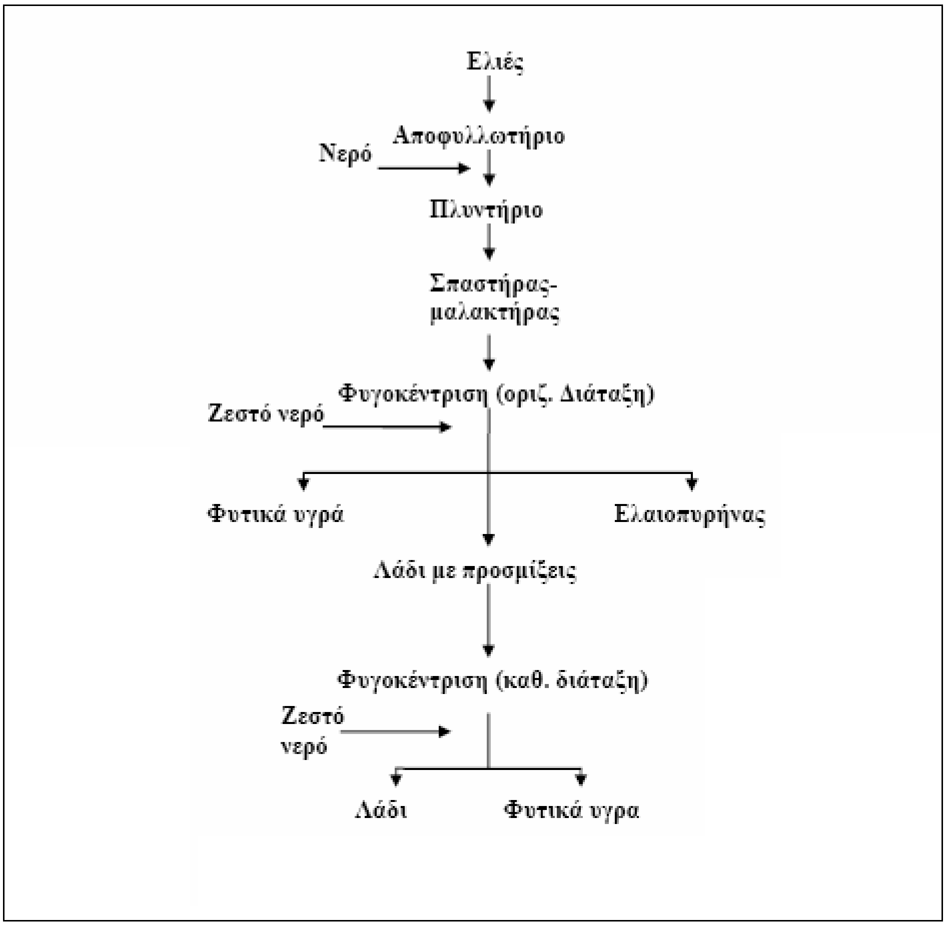
Εικόνα 2-2: Διάγραμμα ροής κλασικού τύπου ελαιοτριβείου.

2.2.4 Φυγοκεντρικά συστήματα

Η ασυνεχής λειτουργία των κλασικών ελαιοτριβείων και η εκβιομηχάνιση της γεωργίας οδήγησαν στα μέσα της δεκαετίας του 1970 στη δημιουργία συνεχών διατάξεων.

2.2.4.1 Φυγοκεντρικού τύπου τριών φάσεων

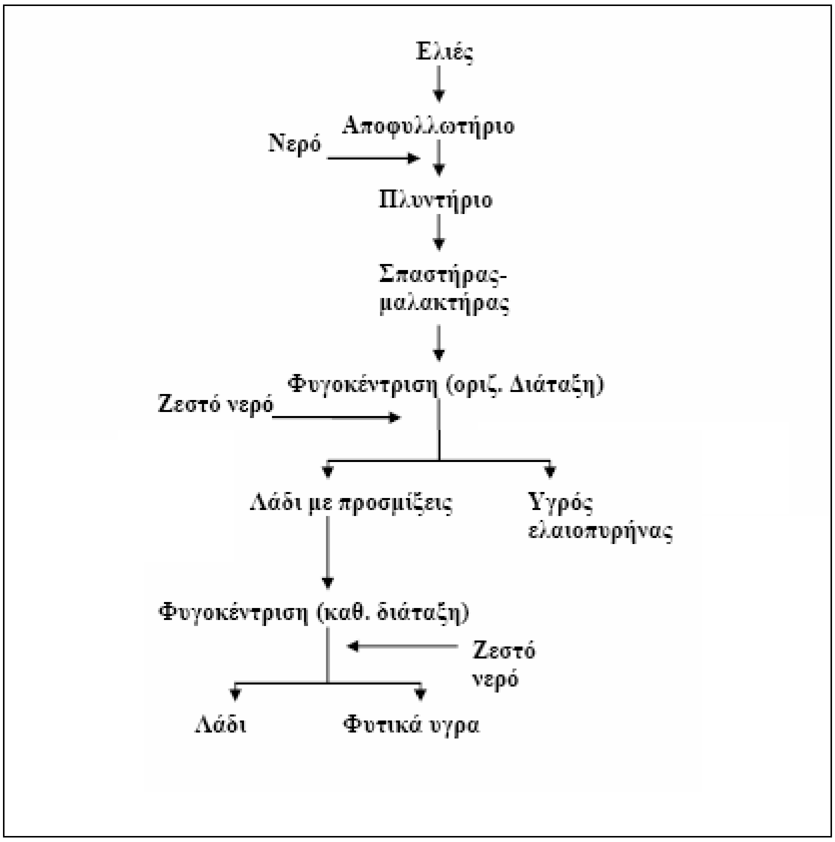
Η ελαιόμαζα μετά τη μάλαξη και αφού αραιωθεί με ζεστό νερό εισάγεται από το ένα άκρο του τριφασικού φυγοκεντρικού διαχωριστήρα (decanter) και στην έξοδο παραλαμβάνεται λάδι με προσμίξεις, φυτικά υγρά (κατσίγαρος), και ελαιοπυρήνας. Στη συνέχεια το λάδι οδηγείται για τελικό διαχωρισμό σε κάθετη διάταξη φυγοκέντρισης. Οι μεγάλοι όγκοι φυτικών υγρών είναι το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ένα διάγραμμα ροής ενός φυγοκεντρικού συστήματος τριών φάσεων (Εικόνα 2-3).



Εικόνα 2-3: Διάγραμμα ροής φυγοκεντρικού συστήματος τριών φάσεων.

2.2.4.2 Φυγοκεντρικού τύπου δύο φάσεων

Λύση στο πρόβλημα των φυτικών υγρών που προέκυπταν με το τριφασικό σύστημα, επιχειρήθηκε να δοθεί με τη κατασκευή του φυγοκεντρικού διαχωριστήρα δύο φάσεων. Ωστόσο το πρόβλημα διογκώθηκε με τη δημιουργία ενός δύσχρηστου παραπροϊόντος (υγρός ελαιοπυρήνας). Ο διαχωρισμός σε λάδι με προσμίξεις και υγρό ελαιοπυρήνα, στα ελαιοτριβεία δύο φάσεων γίνεται εφικτός, λόγω της μικρότερης ταχύτητας περιστροφής και της διαφορετικής κατασκευής του ρότορα (*Petrakis,* 2006). Στη συνέχεια το λάδι οδηγείται για τελικό διαχωρισμό. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ένα διάγραμμα ροής ενός φυγοκεντρικού συστήματος δυο φάσεων (Εικόνα 2-4).



Εικόνα 2-4: Διάγραμμα ροής φυγοκεντρικού συστήματος δυο φάσεων.

Εκτός από διαφορές στο τελικό προϊόν, με τα παραδοσιακού τύπου ελαιοτριβεία να παράγουν καλύτερης ποιότητας λάδι, κάτι που οφείλεται στην επικράτηση χαμηλών θερμοκρασιών στο σύνολο της διεργασίας (Petrakis, 2006), διαφέρουν και όσο αναφορά τη σύσταση και τον όγκο των παραγόμενων παραπροϊόντων. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκριτικά στοιχεία όσον αφορά τις ποσότητες των εκροών ανάλογα με τον κάθε τύπο ελαιοτριβείου (Πινάκας 2-1).

Πίνακας 2-1: Σύγκριση εκροών των τριών τύπων ελαιοτριβείου (Azbar et al., 2004).

Τύπος ελαιοτριβείου	**Είσοδος**	**Αποτέλεσμα**	**Έξοδος**	**Αποτέλεσμα**
Κλασικού τύπου	Ελιές Νερό πλυσίματος Ενέργεια	1 τόνος 0.1-0.12 m^3 40-63 kWh	Λάδι Ελαιοπυρήνα (25% νερο + 6% λάδι) Φυτικά υγρά (88% νερό + στερεά + λάδι)	~200 ~400 ~600
Φυγοκεντρικού τύπου τριών φάσεων	Ελιές Νερό πλυσίματος Νερό για Φυγοκέντριση (decanter) Νερό για το διαχωρισμό λαδιού με προσμίξεις Ενέργεια	1 τόνος 0.1-0.12 m^3 0.5-1 m^3 ~10 l 90-117 kWh	Λάδι Ελαιοπυρήνα (50% νερο + 4% λάδι) Φυτικά υγρά (94% νερό + 1% λάδι)	200 500-600 1000-1200
Φυγοκεντρικού τύπου δύο φάσεων	Ελιές Νερό πλυσίματος Ενέργεια	1 τόνος 0.1-0.12 m^3 > 90-117 kWh	Λάδι Υγρός ελαιοπυρήνας (60% νερό + 3% λάδι)	200 800-950

Όπως βλέπουμε στον παραπάνω πίνακα το διφασικό σύστημα δημιουργεί μεγαλύτερες ποσότητες στερεού υπολείμματος, παράγει όμως πολύ μικρότερους όγκους υγρών αποβλήτων σε σύγκριση με τους άλλους δυο τύπους. Το τριφασικό σύστημα από την άλλη παράγει με διαφορά τον μεγαλύτερο όγκο υγρών αποβλήτων σε σύγκριση με τους άλλους δυο τύπους ελαιοτριβείων. Είναι χαρακτηριστικό, ότι η περιεκτικότητα του αποβλήτου σε πολυφαινόλες είναι μικρότερη στο τριφασικό σύστημα, κάτι που οφείλεται στην επιπλέον προσθήκη νερού. Ενώ στην Ισπανία η πλειονότητα των ελαιοτριβείων είναι διφασικά (Tsagarakis et al., 2006), στην Ελλάδα τα περισσότερα ελαιοτριβεία είναι φυγοκεντρικά τριών φάσεων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι ο υγρός ελαιοπυρήνας (σχετικής υγρασίας 55-75%) που παράγουν τα ελαιοτριβεία δύο φάσεων δεν είναι επεξεργάσιμος στα περισσότερα πυρηνελαιουργεία που λειτουργούν.

2.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ

Τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα ρύπανσης και ένα δυσεπίλυτο πρόβλημα στο χώρο των γεωργικών βιομηχανιών.

Χαρακτηρίζονται από ιδιότητες όπως:

- Σκούρο καφέ χρώμα
- Χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή
- Υψηλό οργανικό φορτίο
- Όξινο pH
- Υψηλή περιεκτικότητα πολυφαινολών
- Υψηλή περιεκτικότητα σε στερεό υλικό

Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τη διαχείριση τους ένα εξαιρετικά δύσκολο και ένα από τα πιο ρυπαντικά απόβλητα του αγροτοβιομηχανικού τομέα.

Η σύνθεση των αποβλήτων ελαιοτριβείου δεν είναι σταθερή και σύμφωνα με (Niaounnakis and Halvadakis, 2006) εξαρτάται από:

- Τη σύσταση των αποβλήτων, η οποία ποικίλει σύμφωνα με:
    - Την ποικιλία της ελιάς
    - Την ωριμότητα του καρπού
    - Την ώρα συγκομιδής του καρπού
    - Τη περιεκτικότητα του καρπού σε νερό
    - Τις εδαφοκλιματικές συνθήκες
    - Την παρουσία φυτοπροστατευτικών προϊόντων και λιπασμάτων
- Τη μέθοδος εξαγωγής ελαιολάδου
    - Κάθε τύπος ελαιοτριβείου, έχει και διαφορετικές απαιτήσεις σε επιπλέον νερό κατά τη διεργασία. Ως αποτέλεσμα αυτού, τα φυτικά υγρά που παράγονται από τα ελαιοτριβεία τριών φάσεων, όπου και χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες ποσότητες νερού, να υφίστανται κάποια αραίωση.
- Το χρόνο αποθήκευσης

- Η αποθήκευση μπορεί να αλλάξει τα βιολογικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του αποβλήτου, καθώς παρατηρείται έντονη βιολογική δραστηριότητα (αύξηση της οξύτητας), καθώς επίσης και φυσικοχημικές μεταβολές όπως η καθίζηση των στερεών.

Στον παρακάτω πινάκα παρουσιάζεται το τυπικό εύρος τιμών των διαφόρων χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου (Πίνακας 2-2).

Πίνακας 2-2: Τυπικό εύρος τιμών των χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου (Sierra et al., 2001).

Παράμετρος	**Τιμή**
pH	4,50 - 6
COD (g/l)	35 - 100
BOD5 (g/l)	40 - 220
TOC (g/l)	22 - 64
Λίπη (g/l)	0,30 - 23
Ανόργανα στοιχειά (g/l)	5 - 14
Πολυφαινόλες (g/l)	3 - 24
N (g/l)	5 - 15
P (g/l)	0,30 - 1,10
K (g/l)	2,70 - 7,20
Ca (g/l)	0,12 - 0,75
Mg (g/l)	0,10 - 0,40
Na (g/l)	0,04 - 0,90
Στερεά (%)	5,50 - 17,60

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα καταλήγουμε στο προφανές συμπέρασμα ότι τα εν λόγω υγρά απόβλητα έχουν πολύ υψηλό ρυπαντικό φορτίο με αποτέλεσμα να χρειάζονται εκτεταμένη επεξεργασία προτού διατεθούν, προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν επιπτώσεις στο περιβάλλον.

2.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η απευθείας διάθεση των αποβλήτων ελαιοτριβείου στο υπάρχον αποχετευτικό δίκτυο είναι απαγορευμένη, καθώς δημιουργεί πολλά προβλήματα. Επίσης σε όλες τις ελαιοπαραγωγές χώρες, υπάρχει αυστηρή νομοθεσία για την ανεξέλεγκτη διάθεση των αποβλήτων ελαιοτριβείων στους φυσικού αποδέκτες.

Γενικά η ανεξέλεγκτη διάθεση των αποβλήτων μπορεί να καταστρέψει την ικανότητα αυτοκαθαρισμού των συστημάτων στα οποία θα καταλήξουν και να δημιουργήσει μια σειρά από προβλήματα όπως τα παρακάτω:

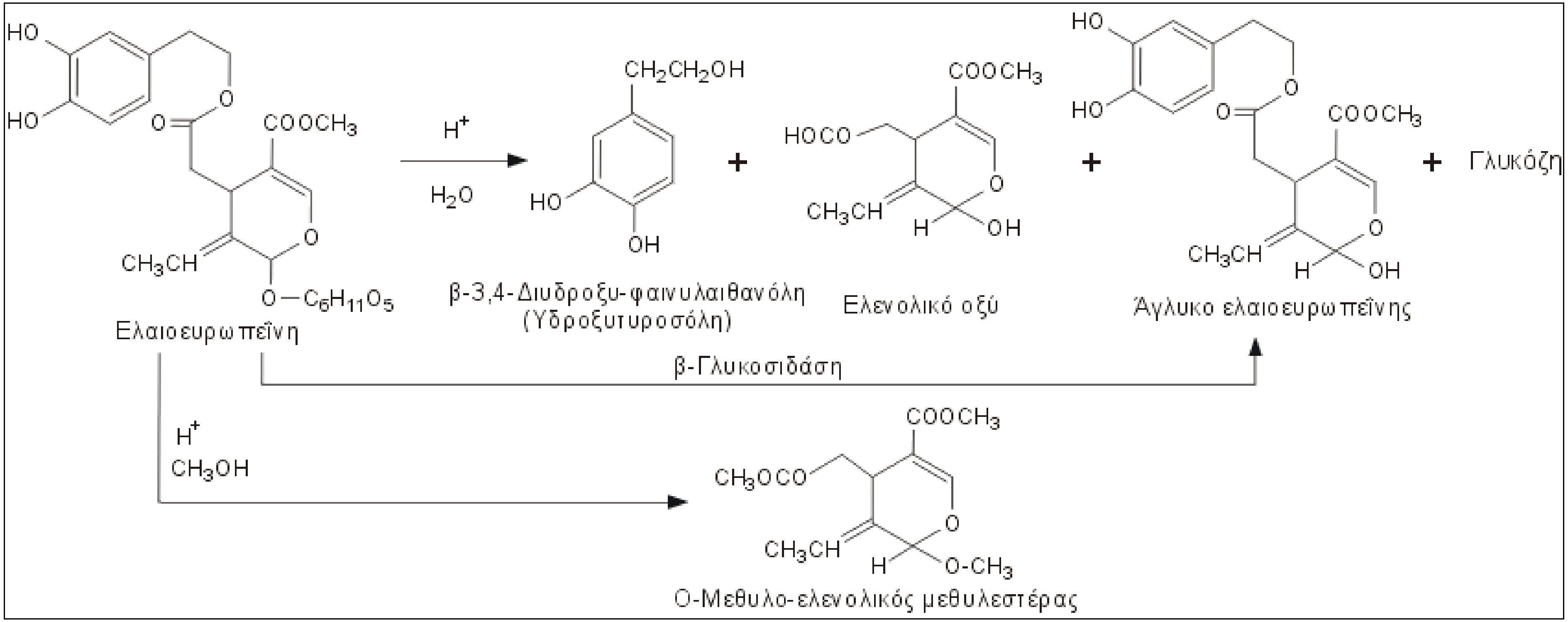
- Οπτική ρύπανση και προβλήματα δυσοσμίας.
- Επιπτώσεις στα ύδατα και τους υδρόβιους οργανισμούς.
  - Προβλήματα ευτροφισμού.
  - Δημιουργία ανοξικών συνθηκών.
  - Αδιαπέρατο φιλμ (συσσωρευμένα λίπη στην επιφάνεια των υδάτων που εμποδίζουν τις ακτίνες του ήλιου να εισχωρήσουν στην υδάτινη στήλη) (Kapellakis et al., 2007).
  - Χρωματισμό φυσικών υδάτων (λόγω της οξείδωσης και του πολυμερισμού των τανινών) (Kapellakis et al., 2007).
- Επιπτώσεις στο έδαφος
  - Αλλαγές στο πορώδες του εδάφους (Niaounnakis and Halvadakis, 2006).
  - Μικροβιοστατική και μικροβιοκτόνο δράση (Kotsou et al., 2003).
  - Φυτοτοξική δράση.
    - Ύπαρξη πολυφαινολών.
    - Αύξηση αλάτων.
    - Παρουσία οργανικών οξέων (πχ οξικό και φορμικό οξύ) (D’Annibale et al., 2003).

Ιδιαίτερη αναφορά σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει στο περιεχόμενο των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου σε φαινολικές ενώσεις.

2.4.1 Φαινολικές ενώσεις

Οι φαινολικές ενώσεις είναι παράγωγα του βενζολίου και έχουν μία ή περισσότερες υδροξυλομάδες συνδεδεμένες με έναν ή περισσότερους βενζολικούς δακτυλίους. Βρίσκονται στα φυτά και είναι μέρος του αμυντικού τους μηχανισμού, για την προστασία τους, από την υπεριώδη ακτινοβολία, την αυξημένη θερμοκρασία και παθογόνους μικροοργανισμούς. Η ποσότητά τους στον ελαιόκαρπο εξαρτάται κυρίως από τις εδαφολογικές και κλιματικές συνθήκες καθώς και το στάδιο ωριμότητάς τους. Άγουρες ελιές έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ελαιοευρωπεΐνη (η οποία είναι το κύριο φαινολικό συστατικό της ελιάς) (Ποντίκης, 2000).

Οι φαινόλες είναι υδατοδιαλυτές ενώσεις και κατά τη παραγωγή του ελαιολάδου μεταφέρονται κυρίως στην υδάτινη φάση. Η ελαιοευρωπεΐνη βρίσκεται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στα απόβλητα, κάτι που οφείλεται στην υδρόλυση που υφίσταται προς υδροξυτυροσόλη και ελενολικό οξύ κατά τη παραγωγική διαδικασία (Εικόνα 2-5).



Εικόνα 2-5: Δομή ελαιοευρωπεΐνης και προϊόντα υδρόλυσής (Niaounnakis and Halvadakis, 2006).

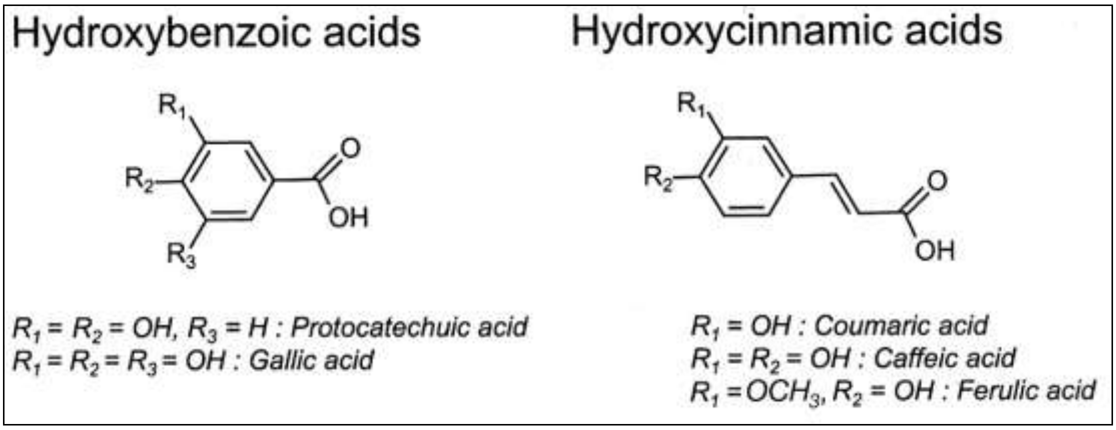
Οι φαινολικές ενώσεις διακρίνονται στις δυο παρακάτω κατηγορίες:

- Απλές φαινόλες, που περιλαμβάνουν φαινολικά οξέα και άλλες απλές φαινολικές ενώσεις.

- Πολυφαινόλες, που περιλαμβάνουν φλαβονοειδή και τανίνες (σκούρου χρώματος πολυμερή που προκύπτουν σαν αποτέλεσμα του πολυμερισμού και της οξείδωσης των απλών φαινολικών ενώσεων) (Hamdi, 1992).

2.4.2 Φαινολικά οξέα

Τα φαινολικά οξέα αποτελούν την δεύτερη πιο διαδεδομένη κατηγορία των φαινολικών ενώσεων, τα οποία ανευρίσκονται σχεδόν σε όλα τα φυτικά τρόφιμα. Στην τάξη αυτή ανήκουν τα υδροξυ-παράγωγα του βενζοϊκού οξέος, του φαινυλοξικού οξέος και του κιναμμικού οξέος. Κυριότερος εκπρόσωπος των παραγώγων αυτών είναι το καφεϊκό οξύ, που βρίσκεται στα φυτικά τρόφιμα με την εστεροποιημένη του μορφή (χλωρογενικό οξύ). Ευρέως διαδεδομένα φαινολικά οξέα είναι και το κουμαρικό οξύ, το φερουλικό οξύ, το γαλλικό οξύ, το βανιλικό οξύ και το σιναπτικό οξύ. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τη δομή δυο υποκατηγοριών των φαινολικών οξέων (Εικόνα 2-6).



Εικόνα 2-6: Δομή υδροξυ-παράγωγων βενζοϊκού και κινναμωνικού οξέος.

2.4.3 Φλαβονοειδή

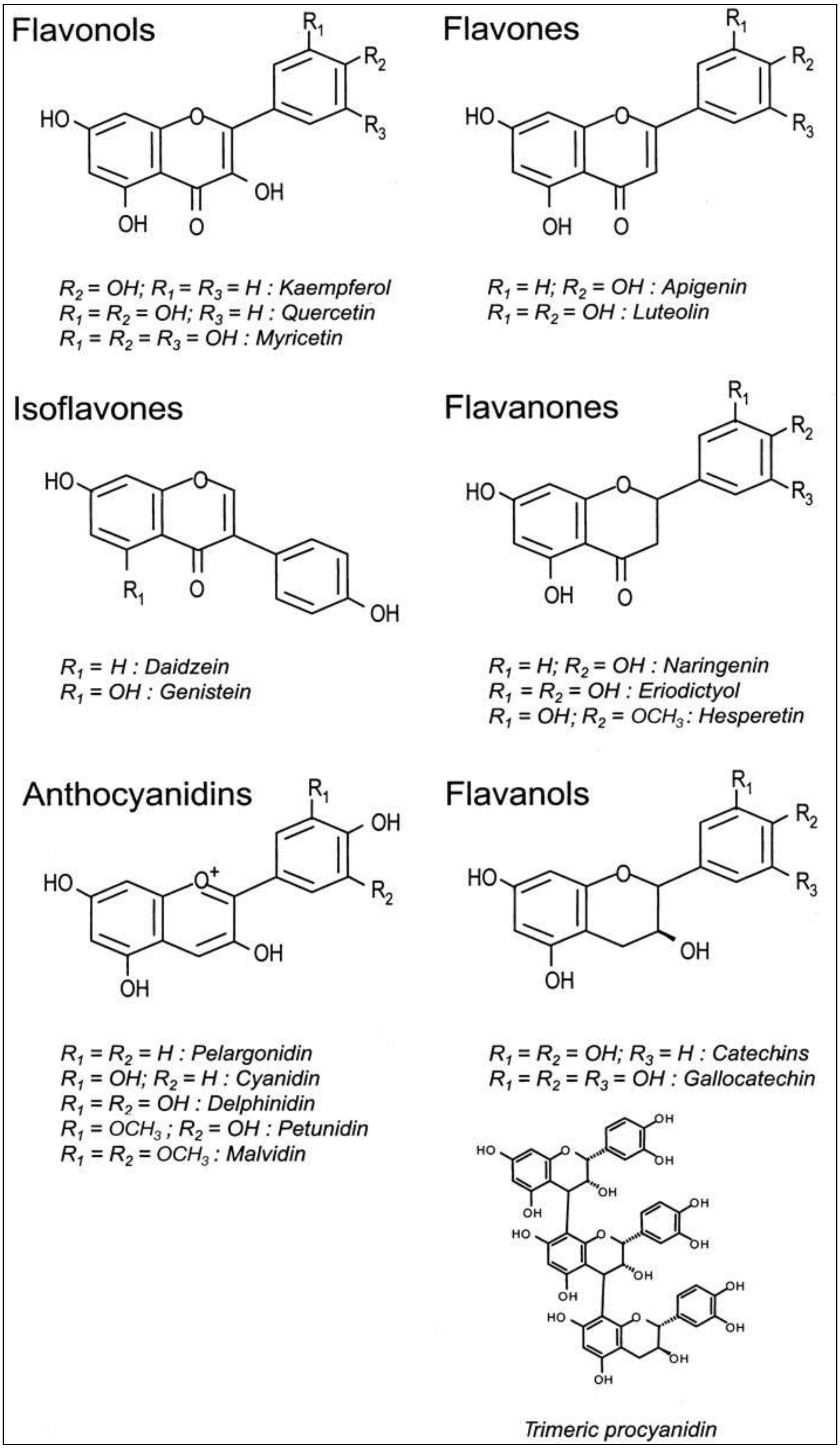
Τα φλαβονοειδή αποτελούν τη μεγαλύτερη τάξη των φαινολικών ενώσεων. Είναι μια υποκατηγορία των πολυφαινολών όπως είδαμε και παραπάνω με δομή C6-C3-C6. Ανάλογα με τον βαθμό οξείδωσης του οξυγόνου του ετεροκυκλικού δακτυλίου χωρίζονται στις παρακάτω υποκατηγορίες:

- Φλαβόνες

- Ισοφλαβόνες

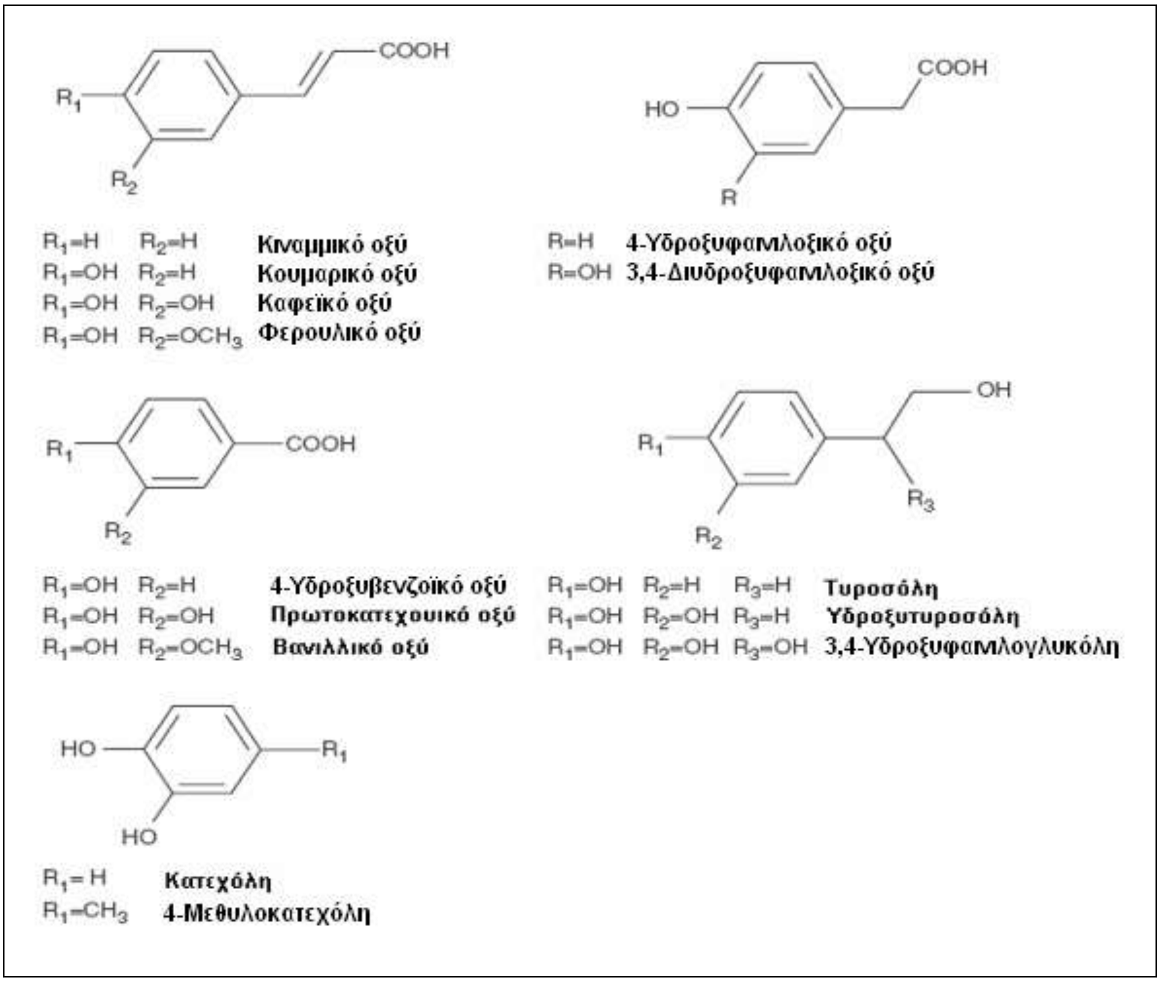
- Φλαβονόλες
- Φλαβανόλες
- Φλαβανόνες
- Ανθοκυανίνες
- Προανθοκυανιδίνες

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τη δομή των υποκατηγοριών των φλαβονοειδών (Εικονα 2-7).



Εικόνα 2-7: Δομή των υποκατηγοριών των φλαβονοειδών.

Στα απόβλητα ελαιοτριβείου έχουν ανιχνευτεί πάνω από τριάντα φαινολικές ενώσεις οι κυριότερες εκ των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 2-8)



Εικόνα 2-8: Κυριότερες φαινολικές ενώσεις που συναντώνται στα απόβλητα ελαιοτριβείων.

Η παρουσία των φαινολικών ενώσεων στα απόβλητα ελαιοτριβείου είναι ίσως το σημαντικότερο εμπόδιο για την αποτοξικοποίηση του αποβλήτου. Ωστόσο πολλές επιστημονικές εργασίες αποδεικνύουν την χρησιμότητα αυτών των ενώσεων στην ανθρώπινη υγεία, αφού παρουσιάζουν αντιοξειδωτική, αντικαρκινική και καρδιοπροστατευτική δράση και θα μπορούσαν κάλλιστα να χρησιμοποιηθούν στις βιομηχανίες τροφίμων, φαρμάκων και καλλυντικών.

2.5 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ

Τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων ελαιοτριβείου και η αναγκαιότητα μιας βιώσιμης λύσης για την επεξεργασία και διάθεσή τους, οδήγησε στην ανάπτυξη πληθώρας τεχνολογιών. Οι τεχνολογίες αυτές διακρίνονται σε φυσικοχημικές και βιολογικές.

2.5.1 Φυσικοχημικές μέθοδοι

Οι κυριότερες φυσικοχημικές μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αποτοξικοποίηση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου είναι:

- Εξουδετέρωση, καθίζηση: Προσθήκη χημικών με σκοπό τη δημιουργία στερεού κλάσματος. Με την αφαίρεσή του επιτυγχάνεται μείωση του Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου των λιπών και των αιωρούμενων στερεών (Tsagaraki et al., 2006).
- Οξείδωση: Κυρίως με τη χρήση όζοντος και υπεροξειδίου του υδρογόνου, καθώς επιτυγχάνεται υψηλός βαθμός οξείδωσης σε ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία περιβάλλοντος (Paraskeva and Diamadopoulos, 2006).
- Θερμικές μέθοδοι: Η εφαρμογή τους γίνεται είτε με τεχνητά μέσα, με σημαντικότερες μεθόδους την αεριοποίηση, τη καύση και τη πυρόλυση, είτε με φυσικό τρόπο (αέρα, ήλιο) σε λίμνες εξάτμισης (Paraskeva and Diamadopoulos, 2006).
- Χρήση επιλεγμένων μεμβρανών: Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται βάση του διαφορετικού ρυθμού ροής κάθε είδους μέσα από την μεμβράνη (Paraskeva et al., 2006).
- Φυγοκέντρηση: Διαχωρισμός σε φάσεις και ανάκτηση λαδιού (Mitrakas et al., 1996).
- Φωτοκατάλυση: Δράση κυρίως υδροξυλίων που παράγονται κατά τη διεργασία, με αποτέλεσμα οξείδωση της οργανικής ύλης και καταστροφή των κυτταρικών μεμβρανών (Azabou et al., 2007).

2.5.2 Βιολογικές μέθοδοι

Με τις βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας και με τη δράση μικροοργανισμών είναι εφικτή η αποδόμηση της οργανικής ύλης και η απομάκρυνση ανόργανων ουσιών.

Σημαντικό ενδιαφέρον στην βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου έχει ο παρεμποδισμός και η εκτροπή βιολογικών διεργασιών, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης των αποβλήτων σε βιολογικούς παρεμποδιστές όπως οι φαινολικές ενώσεις.

Οι μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας διακρίνονται σε:

- Αερόβια επεξεργασία: Χρήση αερόβιων μικροοργανισμών και μυκήτων [π.χ. *Pleurotus ostreatus* (Fountoulakis et al., 2002)] για την αποδόμηση της οργανικής ύλης.
- Αναερόβια επεξεργασία: Αποδόμηση της οργανικής ύλης με παραγωγή βιοαερίου, από μικτό αναερόβιο μικροβιακό πληθυσμό (βλ. κεφάλαιο 1).

Πολλές από τις παραπάνω τεχνολογίες δεν είναι εφικτό να επιφέρουν μια βιώσιμη λύση, είτε από άποψη κόστους, είτε από άποψη αποτελέσματος ανεξαρτήτως κόστους.

Μία πολύ χαμηλού κόστους μέθοδος, για τη διάθεση των αποβλήτων ελαιοτριβείου, είναι η απευθείας διάθεσή τους σε εδάφη φτωχά σε οργανική σύσταση. Αυτό αξιοποιεί το γεγονός ότι το απόβλητο είναι πλούσιο σε οργανικά και ανόργανα στοιχεία και μπορεί να εμπλουτίσει το έδαφος με θρεπτικά (Di Giovacchino et al., 2002). Ωστόσο, για την ολοκληρωμένη και ορθολογική διαχείριση των αποβλήτων, ο συνδυασμός τεχνολογιών είναι απαραίτητος μιας και η απευθείας διάθεση στο έδαφος χωρίς προβλήματα έχει αρκετούς περιορισμούς (όπως είδαμε παραπάνω οι επιπτώσεις στο έδαφος είναι πάρα πολλές και σημαντικές).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τεχνολογίες ανάκτησης και παραγωγής προϊόντων από τα απόβλητα, επιτυγχάνοντας συνδυασμό της προστασίας του περιβάλλοντος και του οικονομικού οφέλους για την βιομηχανία. Μερικες από αυτές είναι οι εξής:

- Η δημιουργία οργανικών λιπασμάτων έπειτα από αερόβια βιοσταθεροποίηση και η χρήση τους στη γεωργία.
- Η καύση του βιοαερίου που παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση με σκοπό τη παραγωγή ενέργειας.
- Η παραγωγή βιοπολυμερών με επιλεγμένους μικροοργανισμούς (Dionisi et al., 2005).
- Η χρήση του ελαιοπυρήνα για παραγωγή ζωοτροφών (Molina Alcaide and Nefzaoui, 1996).
- Η ανάκτηση φυσικών αντιοξειδωτικών όπως οι πολυφαινόλες και το φαινολικά οξέα με εξειδικευμένες προσροφητικές ρητίνες (Agalias et al., 2007).
- Η κλασματοποίηση των υγρών αποβλήτων και η ανάκτηση καθαρού νερού με τεχνολογία μεμβρανών (Paraskeva et al., 2006)

Οι παραπάνω τεχνολογίες εκτός του ότι δίνουν λύση στο πρόβλημα της διαχείρισης των αποβλήτων, αποφέρουν και σημαντικό όφελος στη αγροτική και μη βιομηχανία. Γίνεται σαφές λοιπόν ότι αντιμετωπίζοντας το παραπάνω πρόβλημα διαχείρισης με αυτήν τη φιλοσοφία μετατρέπουμε τα απόβλητα ελαιοτριβείου, από ένα δυσεπίλυτο πρόβλημα, σε ένα ιδιαίτερα σημαντικό παραπροϊόν της γεωργικής παραγωγής με αναπτυξιακή προοπτική.

3 ΣΚΟΠΟΣ & ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Διαβάζοντας κανείς τα δυο προηγούμενα κεφάλαια είναι λογικό να αναρωτηθεί αν είναι εφικτό να συνδυαστούν τα περιεχόμενα τους. Αν είναι δηλαδή εφικτό ένα τόσο δύσχρηστο και ρυπογόνο υγρό απόβλητο της αγροτικής βιομηχανίας να υποστεί επεξεργασία σύμφωνα με τις αρχές της αναερόβιας αποδόμησης. Το όφελος από τον παραπάνω συνδυασμό είναι πολλαπλό και προφανές. Πρώτον αποφεύγεται η επιβάρυνση του εκάστου αποδέκτη στον όποιο θα απορριπτόταν το εν λόγω υγρό απόβλητο. Δεύτερον καρπωνόμαστε ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της αναερόβιας αποδόμησης που είναι η παραγωγή βιοαερίου και κατά επέκταση μεθανίου το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας.

Σκοπός λοιπόν του εν λόγω πειράματος και παράλληλα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διαπιστώσει κατά πόσο είναι εφικτός ο παραπάνω συνδυασμός. Αν δηλαδή τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου είναι αναερόβια βιοαποδομήσιμα, και αν είναι σε ποιο βαθμό.

Προκειμένου να επιτευχτεί ο παραπάνω σκοπός επιλέχτηκε μια τυπική πειραματική διάταξη αναερόβιας αποδόμησης, η οποία μας δίνει την δυνατότητα να ελέγξουμε την αποδομησιμότητα κάποιας ουσίας κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Επίσης, κρίθηκε σκόπιμο προτού εξεταστεί η αποδομησιμότητα των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου, να εξεταστεί μεμονωμένα η αποδομησιμότητα κάποιων από τα φαινολικά οξέα τα οποία υπάρχουν στα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου όπως το βενζοϊκό, το 4-υδροξυβενζοϊκό, το καφεϊκό και το 4-κουμαρικό οξύ. Αυτό συνέβη γιατί όπως είδαμε και στο κεφάλαιο 2 τα φαινολικά οξέα έχουν αντιβακτηριδιακή δράση με αποτέλεσμα να είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες παρεμπόδισης των μικροοργανισμών της αναερόβιας αποδόμησης στην προσπάθεια τους να αποδομήσουν τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου.

3.2 ΑΡΧΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Το πείραμα βασίζεται στις βασικές αρχές της αναερόβιας αποδόμησης όπως αυτές αναλύθηκαν εκτενέστατα στο κεφάλαιο 1. Προκειμένου λοιπόν να αποφανθούμε για την αναερόβια αποδομησιμότητα κάποιας ουσίας η αποβλήτου ακολουθούμε τα εξής βήματα:

- Παρασκευάζουμε ένα χημικά προσδιορισμένο αναερόβιο υγρό μέσο (περιβάλλον) το οποίο περιέχει ρεσαζουρίνη (δείκτης επίτευξης αναερόβιων συνθηκών) και 10% λάσπη από κάποιο αναερόβιο χωνευτή (συνήθως από κάποια εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού).

- Τοποθετούμε σε επιλεγμένα φιαλίδια την προς επεξεργασία ουσία σε κάποια γνωστή συγκέντρωση, προσθέτουμε 100 ml από το παραπάνω υγρό μέσο και σφραγίζουμε τα φιαλίδια.
- Παρακολουθούμε την διαδικασία αποδόμησης μετρώντας την παραγωγή βιοαερίου για πενήντα έξι ημέρες.

3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

3.3.1 Προαπαιτούμενα

Είναι απαραίτητο να μετρηθεί ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) της προς επεξεργασία ουσίας ή αποβλήτου, προκειμένου να μπορέσουμε να υπολογίσουμε την θεωρητική ποσότητα βιοαερίου που θα παραχθεί αν η εν λόγω ουσία ή απόβλητο αποδομηθεί πλήρως. Επίσης κρίνεται σκόπιμο να συλλεχτούν όσο το δυνατό περισσότερες πληροφορίες όσον αφορά στην εκάστοτε ουσία ή απόβλητο που θα επεξεργαστούμε, προκειμένου να έχουμε όσο το δυνατό πληρέστερη άποψη και να είμαστε προετοιμασμένοι για την εικόνα που θα παρουσιάσει η διαδικασία αποδόμησης. Για παράδειγμα, αν είναι γνωστό εκ των προτέρων ότι μια ουσία παρουσιάζει τοξική δράση πάνω στους μικροοργανισμούς της αναερόβιας αποδόμησης είναι ευκολότερο να εξηγηθεί η χαμηλή παραγωγή βιοαερίου από την διαδικασία αποδόμησής της. Τέλος πρέπει να επιλεχθεί μια ουσία για την αποδομησιμότητα της οποίας να υπάρχει πλήρης εικόνα, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως δείγμα ελέγχου (control) της σωστής λειτουργίας του πειράματος.

3.3.2 Παρασκευή χημικά προσδιορισμένου αναερόβιου υγρού μέσου (περιβάλλοντος)

Προκειμένου να φτιάξουμε το παραπάνω υγρό μέσο χρειαζόμαστε, πέντε διαλύματα θρεπτικών τα οποία θα παρέχουν στο μέσο μας τα απαραίτητα ιχνοστοιχεία για την επιβίωση και αναπαραγωγή των αναερόβιων μικροοργανισμών, μια ποσότητα λάσπης από κάποιον αναερόβιο χωνευτή καθώς επίσης και διττανθρακικό νάτριο [$NaHCO_3$].

Το πρώτο διάλυμα (S-1) περιέχει τις εξής ουσίες στις παρακάτω συγκεντρώσεις:

- Resazurin : 0.50 g/l

Παρασκευάζουμε το παραπάνω διάλυμα διαλύοντας στην επιθυμητή ποσότητα απιονισμένου νερού τις αντίστοιχες ποσότητες ουσιών.

Το δεύτερο διάλυμα (S-2) περιέχει τις εξής ουσίες στις παρακάτω συγκεντρώσεις:

- $[(NH_4)_2HPO_4]$: 20 g/l
- $[NH_4Cl]$: 100 g/l

Παρασκευάζουμε το παραπάνω διάλυμα διαλύοντας στην επιθυμητή ποσότητα απιονισμένου νερού τις αντίστοιχες ποσότητες ουσιών.

Το τρίτο διάλυμα (S-3) περιέχει τις εξής ουσίες στις παρακάτω συγκεντρώσει:

- $[CaCl_2]$: 18 g/l
- $[MgCl_2\,(H_2O)_6]$:180 g/l
- [KCl] : 130 g/l
- $[MnCl_2(H_2O)_4]$: 2 g/l
- $[CoCl_2(H_2O)_4$: 3 g/l
- $[H_3BO_3]$: 0.60 g/l
- $[CuCl_2]$: 0.23 g/l
- $[Na_2MoO_4(H_2O)_2]$: 1 g/l
- $[ZnCl_2]$: 0.20 g/l

Παρασκευάζουμε το παραπάνω διάλυμα διαλύοντας στην επιθυμητή ποσότητα απιονισμένου νερού τις αντίστοιχες ποσότητες ουσιών.

Το τέταρτο διάλυμα (S-4) περιέχει τις εξής ουσίες στις παρακάτω συγκεντρώσει:

- $[FeCl_2(H_2O)_4]$: 368 g/l

Παρασκευάζουμε το παραπάνω διάλυμα διαλύοντας στην επιθυμητή ποσότητα απιονισμένου νερού τις αντίστοιχες ποσότητες ουσιών.

Το πέμπτο διάλυμα (S-5) περιέχει τις εξής ουσίες στις παρακάτω συγκεντρώσει:

- $[Na_2S(H_2O)]$: 50 g/l

Παρασκευάζουμε το παραπάνω διάλυμα διαλύοντας στην επιθυμητή ποσότητα απιονισμένου νερού τις αντίστοιχες ποσότητες ουσιών.

Η απαιτούμενη ποσότητα λάσπης συνήθως λαμβάνεται από κάποιον αναερόβιο χωνευτή προσπαθώντας παράλληλα να ελαχιστοποιήσουμε την επαφή της με το οξυγόνο. Προτείνεται το δείγμα λάσπης να είναι από καλά αναμεμιγμένη ποσότητα λάσπης αναερόβιου χωνευτή, με χρόνο παραμονής περίπου εικοσιπέντε μέρες. Η παραπάνω ποσότητα λάσπης πρέπει να περαστεί από σήτα (σουρωτήρι) με άνοιγμα οπής 2mm και κατόπιν μπορεί να φυλαχθεί για ένα διάστημα μιας με δυο εβδομάδων σε θερμοκρασία 4^oC, προτού χρησιμοποιηθεί. Όπως είναι λογικό είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί άμεσα. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας πάρθηκαν δείγματα λάσπης από τους αναερόβιους χωνευτές που λειτουργούν στην μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων δήμου Χανίων, τα εν λόγω δείγματα χρησιμοποιήθηκαν άμεσα.

Αφότου φτιάξουμε τα παραπάνω διαλύματα και προμηθευτούμε την απαραίτητη ποσότητα λάσπης μπορούμε να μπούμε στο τελευταίο στάδιο της παρασκευής του υγρού μέσου που θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω.

Αυτό το τελευταίο στάδιο της παρασκευής του υγρού μέσου αποτελείται από τα τρία παρακάτω βήματα:

- Βήμα πρώτο:
  - Τοποθετούμε σε ένα πυρίμαχο σκεύος με μικρή ελεύθερη επιφάνια (στόμιο) τα παρακάτω:
    - Απιονισμένο νερό : 875 ml/l
    - Διάλυμα πρώτο (S-1) : 2 ml/l
    - Διάλυμα δεύτερο (S-2) : 2 ml/l
    - Διάλυμα τρίτο (S-3) : 10 ml/l
  - Κατόπιν θερμαίνουμε το διάλυμα μέχρι να φτάσει σε βρασμό, ενώ παράλληλα αναδεύεται και αερίζεται με αέριο άζωτο συνεχώς.
- Βήμα δεύτερο:
  - Όταν το διάλυμα φτάσει σε βρασμό αποσύρουμε το σκεύος και το τοποθετούμε σε κρύο υδατόλουτρο αλλάζοντας παράλληλα την παροχή αερίου από αέριο άζωτο σε αέριο μείγμα αζώτου/διοξειδίου του άνθρακα 70% προ 30% σε αναλογία όγκων.

- Βήμα τρίτο:
  - Όταν τα διάλυμα φτάσει στους 35°C αποσύρουμε το σκεύος από το κρύο υδατόλουτρο και προσθέτουμε στο διάλυμα τα παρακάτω:
    - Διάλυμα τέταρτο (S-4) : 1 ml/l
    - Διάλυμα πέμπτο (S-5) : 10 ml/l
    - Διττανθρακικό νάτριο [$NaHCO_3$]: 2.64 g/l
    - Λάσπη από αναερόβιο χωνευτή : 100 ml/l
  - Η παροχή αερίου μείγματος αζώτου/διοξειδίου του άνθρακα 70% προ 30% σε αναλογία όγκων παραμένει σταθερή.

Σε αυτό το σημείο η διαδικασίας παρασκευής του υγρού μέσου έχει ολοκληρωθεί και μπορούμε να περάσουμε στο επόμενο στάδιο του πειράματος.

3.3.3 Γέμισμα φιαλιδίων πειράματος

Σε αυτό το στάδιο θα χρησιμοποιήσουμε το είδη παρασκευασμένο υγρό μέσο το οποίο εξακολουθούμε να αερίζουμε με αέριο μείγμα αζώτου/διοξειδίου του άνθρακα, γυάλινα φιαλίδια τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε ως μικρούς αναερόβιους αντιδραστήρες και τις προς επεξεργασία ουσίες ή απόβλητα.

Σε κάθε ένα από τα γυάλινα φιαλίδια τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε ως αναερόβιους ασυνεχείς αντιδραστήρες (batch) τοποθετούμε την ποσότητα που θέλουμε από την εκάστοτε ουσία ή απόβλητο και 100 ml από το υγρό μέσο το οποίο παρασκευάσαμε προηγουμένως. Η παραπάνω διαδικασία φροντίζουμε να γίνει κάτω από όσο το δυνατόν πιο αναερόβιες συνθήκες προκειμένου να αποφύγουμε δυσμενείς επιπτώσεις στους αναερόβιους μικροοργανισμούς του υγρού μέσου. Έπειτα αερίζουμε για περίπου πέντε λεπτά το φιαλίδιο με το ίδιο μείγμα αερίου με το οποίο αερίζουμε το υγρό μέσο. Σκοπός αυτού του αερισμού είναι να απομακρυνθεί το εναπομείναν οξυγόνο από το φιαλίδιο προτού αυτό σφραγιστεί. Κατόπιν το φιαλίδιο σφραγίζεται με ένα καπάκι βουτυλίου το οποίο μας δίνει την δυνατότητα να παίρνουμε μετρήσεις του παραγόμενου βιοαερίου χωρίς να χρειαστεί να αποσφραγιστεί το φιαλίδιο, εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο τις αναερόβιες συνθήκες εντώς του αντιδραστήρα. Τέλος τοποθετούμε τα φιαλίδια σε υδατόλουτρο το οποίο λειτουργεί στους 35°C.

Για κάθε ουσία που θέλουμε να επεξεργαστούμε γεμίζουμε τρία φιαλίδια. Αν θέλουμε να επεξεργαστούμε παραπάνω από μια συγκέντρωση για κάποια ουσία γεμίζουμε τρία φιαλίδια για κάθε συγκέντρωση. Επίσης γεμίζουμε ένα φιαλίδιο μόνο με υγρό μέσο (τυφλό), το οποίο θα μας δείξει ποια ποσότητα από το παραγόμενο βιοαέριο οφείλεται στην αποδόμηση του υγρού μέσου. Τέλος γεμίζουμε ένα φιαλίδιο με υγρό μέσο και κάποια επιλεγμένη ουσία η αποδομησιμότητα της οποίας είναι γνωστή, προκειμένου να βεβαιωθούμε ότι το πείραμα μας έχει στηθεί σωστά.

3.3.4 Επώαση

Όπως είδαμε παραπάνω αφότου σφραγιστούν τα φιαλίδια τοποθετούνται σε ένα υδατόλουτρο προκειμένου να διατηρούνται σε σταθερή θερμοκρασία 35^{o}C μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία αναερόβιας αποδόμησης. Σε περίπτωση που παρατηρηθεί ροζ χρωματισμός είτε στο υπερκείμενο υγρό μέσα σε κάποιο φιαλίδιο είτε στην διεπιφάνια μεταξύ υπερκείμενου υγρού και ιζήματος το φιαλίδιο θα πρέπει να απομακρυνθεί. Αυτό συμβαίνει γιατί η παρουσία ροζ χρωματισμού είναι ένδειξη αερόβιων συνθηκών εντός του φιαλιδίου πράγμα που καθιστά τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από αυτό αναξιόπιστα. Τα φιαλίδια θα παραμείνουν μέσα στο υδατόλουτρο για 56 ημέρες (8 εβδομάδες) ή έως ότου ολοκληρωθεί η διαδικασία αναερόβιας αποδόμησης.

3.3.5 Μετρήσεις παραγωγής βιοαερίου

Όπως είδαμε παραπάνω το καπάκι βουτυλίου με το οποίο σφραγίσαμε τα φιαλίδια μας δίνει την δυνατότητα να παίρνουμε μετρήσεις της παραγόμενης ποσότητα βιοαερίου. Αυτό γίνεται με την βοήθεια μιας γυάλινης σύριγγας των 10ml με την οποία διαμέσω του καπακιού (τρυπώντας το καπάκι) αποκτούμε πρόσβαση στο εσωτερικό του φιαλιδίου. Η αυξημένη πίεση στο εσωτερικό του φιαλιδίου εκτοπίζει το εμβολο της σύριγγας. Με τον παραπάνω τρόπο παίρνουμε ποσότητες βιοαερίου από το εσωτερικό του φιαλιδίου έως ότου η πίεση επανέλθει στα φυσιολογικά επίπεδα. Το άθροισμα των παραπάνω ποσοτήτων βιοαερίου ισούται με την ποσότητα του βιοαερίου που έχει παραχθεί. Κατά την διάρκεια της αποδόμησης παίρνουμε μετρήσεις του παραγόμενου βιοαερίου σε εβδομαδιαία βάση. Από τις παραπάνω μετρήσεις αφαιρούμε τη μέτρηση του τυφλού και έχουμε την ποσότητα του βιοαερίου που έχει παραχθεί από την αποδόμηση της εκάστοτε ουσίας.

3.3.6 Μετρήσεις παραγωγής μεθανίου

Προκειμένου να υπολογίσουμε το ποσοστό του μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο που μετρήσαμε παραπάνω εφαρμόζουμε την παρακάτω μέθοδο. Με την ίδια διαδικασία που ακολουθήσαμε για το γέμισμα των φιαλιδίων, γεμίζουμε ένα φιαλίδιο με διάλυμα απιονισμένου νερού και υδροξειδίου του νατρίου [NaOH], το αερίζουμε με το ίδιο μείγμα αερίου που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω προκειμένου να απομακρύνουμε το οξυγόνο και το σφραγίζουμε με καπάκι βουτυλίου. Έπειτα κάθε φορά που παίρνουμε μια ποσότητα βιοαερίου από κάποιο φιαλίδιο δεν το εκτονώνουμε στον αέρα αλλά το τοποθετούμε μέσω του καπακιού μέσα στο φιαλίδιο με το διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου, το αναδεύουμε καλά και περιμένουμε περίπου πέντε λεπτά. Το παραπάνω διάλυμα έχει την ικανότητα να κατακρατά το διοξείδιο του άνθρακα από το βιοαέριο με αποτέλεσμα μετά από τα πέντε λεπτά μέσα στο φιαλίδιο να υπάρχει μόνο το μεθάνιο από το βιοαέριο που είχαμε βάλει. Ακολουθώντας λοιπόν την ίδια διαδικασία που ακολουθήσαμε για να μετρήσουμε την παραγωγή βιοαερίου μπορούμε τώρα να μετρήσουμε το ποσοστό του μεθανίου σε αυτό. Το διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου που χρησιμοποιούμε έχει μια πεπερασμένη ικανότητα απορρόφησης διοξειδίου του άνθρακα, άρα κρίνεται απαραίτητο να ανανεώνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

3.4 ΜΕΤΡΗΣΗ COD

Το COD χρησιμοποιείται για την μέτρηση της οργανικής ισχύος των εκάστοτε δειγμάτων που πρόκειται να υποστούν επεξεργασία και αντιστοιχεί στη συνολική ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη οξείδωση του άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό και βασίζεται στο γεγονός ότι όλες οι οργανικές ενώσεις εκτός κάποιων εξαιρέσεων, μπορούν να οξειδωθούν με τη δράση κάποιου ισχυρά οξειδωτικού μέσου σε όξινο περιβάλλον.

Στην παρούσα σειρά πειραμάτων πάρθηκαν μετρήσεις COD για κάθε ουσία προτού και αφότου είχε υποστεί επεξεργασία. Σκοπός των παραπάνω μετρήσεων ήταν η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τον βαθμό αποδόμησης της κάθε ουσίας.

Η διαδικασία μέτρησης COD έχει ως εξής:

- Τοποθετούμε 2ml από την ουσία που πρόκειται να υποστεί επεξεργασία μέσα σε ένα φιαλίδιο μέτρησης COD (το οποίο προμηθευόμαστε έτοιμο).
- Τοποθετούμε το φιαλίδιο σε ένα αντιδραστήρα ο οποίος αναλαμβάνει την θέρμανση του φιαλιδίου για δυο ώρες στους 150^{o}C.
- Τέλος αφότου το φιαλίδιο επανέλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μετράμε το COD φωτομετρώντας το φιαλίδιο στο αντίστοιχο μήκος κύματος χρησιμοποιώντας την κατάλληλη συσκευή φωτομέτρησης ανάλογα με τον τύπο του φιαλιδίου που έχουμε χρησιμοποιήσει.

3.5 ΜΕΤΡΗΣΗ TOC

Ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) μετράται με την χρήση κατάλληλης συσκευής. Στην παρούσα σειρά πειραμάτων δεν ήταν εφικτή η χρήση της εν λόγω συσκευής με αποτέλεσμα η τιμές του TOC για της μεν πρότυπες ουσίες (φαινολικά οξέα) να υπολογιστεί από τον μοριακό τύπο της ουσίας με την χρήση του μοριακού βάρους της, για τα υγρά απόβλητα ελαιουργείου δε το TOC απολογήθηκε σαν αναλογία με βάση την τιμή του COD.

3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΜΕΘΑΝΙΟΥ

Προκειμένου να υπολογιστούν οι θεωρητικές ποσότητες βιοαερίου και μεθανίου που θα παραχθούν από τη αναερόβια αποδόμηση της εκάστοτε ουσίας που πρόκειται να υποστεί επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε η στοιχειομετρία της εξίσωσης σύμφωνα με την οποία θα υποδομηθεί, σε συνδυασμό με τον νόμο τέλειων αερίων.

Παραδείγματος χάριν:

- Το βενζοϊκό οξύ αποδομείτε σύμφωνα με την εξής εξίσωση: $C_7H_6O_2 + 4.5\ H_2O \longrightarrow 3.75\ CH_4 + 3.25\ CO_2$.
- Τα 50 ppm βενζοϊκού οξέος σε 100 ml υγρών του αντιδραστήρα αντιστοιχούν σε 5 μg βενζοϊκό οξύ.
- Τα 5 μg βενζοϊκό οξύ αντιστοιχούν σε 0.0409 mmol.
- Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση τα 0.0409 mmol βενζοϊκό οξύ αντιστοιχούν σε:
    - 0.0409 * 3.75= 0.1533 mmol CH_4.
    - 0.0409 * 3.25= 0.1329 mmol CO_2.
- Σύμφωνα με τον νόμο των τέλειων αερίων 1 mol αερίου στους 35^oC έχει όγκο 25.25 l.
- Άρα από την αποδόμηση των 50 ppm βενζοϊκού οξέος θα παραχθούν οι εξής ποσότητες βιοαερίου και μεθανίου:
    - 0.1533 mmol*25.25=3.88ml CH_4.
    - 0.1329 mmol*25.25=3.36ml CO_2.

4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

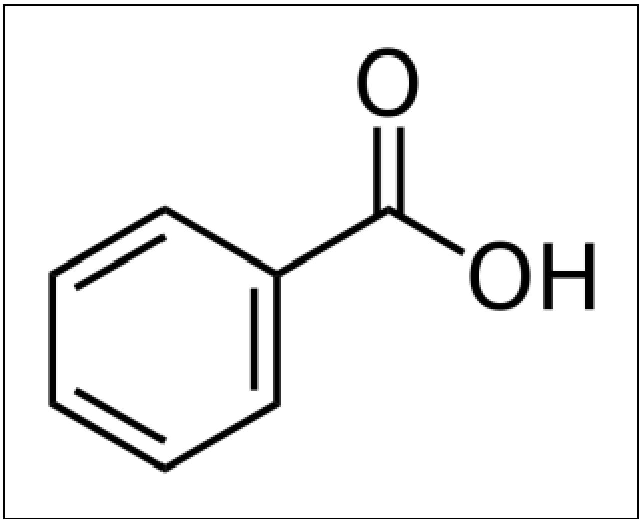
4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τα πειραματικά αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τους ελέγχους αναερόβιας αποδομησιμότητας που διενεργήθηκαν για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο επιλέξαμε να ελέγξουμε την αποδομησιμότητα τεσσάρων φαινολικών οξέων (τα οποία περιέχονται στα υγρά απόβλητα ελαιουργείου) καθώς επίσης και υγρά απόβλητα ελαιουργείου. Τα φαινολικα οξέα που επιλέχτηκαν είναι το βενζοϊκό, το 4-υδροξυβενζοϊκό, το καφεϊκό και το 4-κουμαρικό οξύ.

4.2 ΒΕΝΖΟΪΚΟ ΟΞΥ

Το βενζοϊκό οξύ [$C_7H_6O_2$] είναι το απλούστερο φαινολικό οξύ. Το συναντάμε στην φύση σε ένα μεγάλο εύρος φυτών ως αντιοξειδωτικό. Επίσης χρησιμοποιείται στην χημική βιομηχανία για την παρασκευή διαφόρων ουσιών όπως η φαινόλη, και στην βιομηχανία τροφίμων ως συντηρητικό. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η χημική δομή του (Εικόνα 4-1).



Εικόνα 4-1: Χημική δομή βενζοϊκού οξέος.

Το βενζοϊκό οξύ αποδομείται αναερόβια σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

- $C_7H_6O_2 + 4.5\ H_2O \longrightarrow 3.75\ CH_4 + 3.25\ CO_2$

Προκειμένου να αποκτήσουμε μια αρκετά πλήρη εικόνα όσον αφορά στην αποδομησιμότητα του βενζοϊκού οξέος κρίθηκε σκόπιμο να υποστεί επεξεργασία σε συγκεντρώσεις των 50, 100 και 200 ppm βενζοϊκού οξέος στον αντιδραστήρα.

4.2.1 50ppm Βενζοϊκού οξέος

Τα 50 ppm βενζοϊκού οξέος πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 34.4 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).
- 100 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το οργανικό φορτίο και με την χρήση της παραπάνω εξίσωσης (βλ. κεφάλαιο 3) μπορούμε πολύ εύκολα να υπολογίσουμε τις θεωρητικές ποσότητες βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που θα παραχθούν από την αποδόμηση των 50 ppm βενζοϊκού οξέος. Οι παραπάνω ποσότητες είναι οι εξής:

- 7.24 ml βιοαερίου.
- 3.88 ml CH_4.
- 3.36 ml CO_2.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση του βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 50 ppm (Πίνακας 4-1).

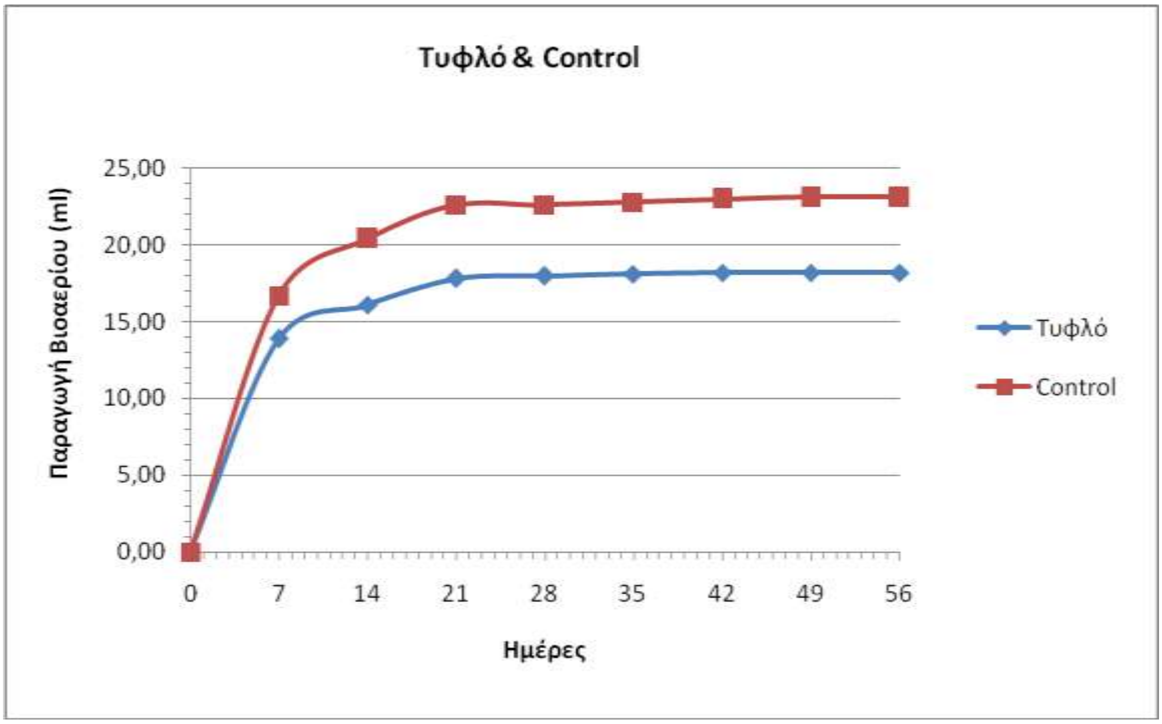
Πίνακας 4-1: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης βενζοϊκού οξέος 50 ppm.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
Βενζοϊκό Οξύ 50 ppm										
Ημέρα	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	16,70	16,70	13,90	13,90	17,10	17,50	16,40	17,00	0,56	17,00
14	3,70	20,40	2,20	16,10	5,10	5,20	5,10	5,13	0,06	22,13
21	2,20	22,60	1,70	17,80	1,50	1,80	1,40	1,57	0,21	23,70
28	0,00	22,60	0,20	18,00	0,80	1,10	0,50	0,80	0,30	24,50
35	0,20	22,80	0,10	18,10	0,50	0,60	0,30	0,47	0,15	24,97
42	0,20	23,00	0,10	18,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	25,17
49	0,10	23,10	0,00	18,20	0,20	0,40	0,40	0,33	0,12	25,50
56	0,00	23,10	0,00	18,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,50

Ο παραπάνω πίνακας (πίνακας 4-1) περιλαμβάνει τα εξής:

- Αριθμός ημέρας δειγματοληψίας.
- Ποσότητα βιοαερίου που παράχθηκε από το δείγμα ελέγχου (control) την αντίστοιχη ημέρα δειγματοληψίας.
- Αθροιστική συχνότητα της ποσότητας βιοαερίου που έχει παραχθεί από το δείγμα ελέγχου μέχρι και την αντίστοιχη ημέρα δειγματοληψίας.
- Ποσότητα βιοαερίου που παράχθηκε από το τυφλό δείγμα την αντίστοιχη ημέρα δειγματοληψίας.
- Αθροιστική συχνότητα της ποσότητας βιοαερίου που έχει παραχθεί από το τυφλό δείγμα μέχρι και την αντίστοιχη ημέρα δειγματοληψίας.
- Ποσότητα βιοαερίου που παράχθηκε από τα τρία δείγματα με συγκέντρωση 50 ppm βενζοϊκού οξέος την αντίστοιχη ημέρα δειγματοληψίας.
- Μέσος όρος των τριών παραπάνω τιμών.
- Τυπική απόκλιση των τριών παραπάνω τιμών.
- Αθροιστική συχνότητα της ποσότητας βιοαερίου που έχει παραχθεί από τα τρία δείγματα με συγκέντρωση 50 ppm βενζοϊκού οξέος μέχρι και την αντίστοιχη ημέρα δειγματοληψίας.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-2).



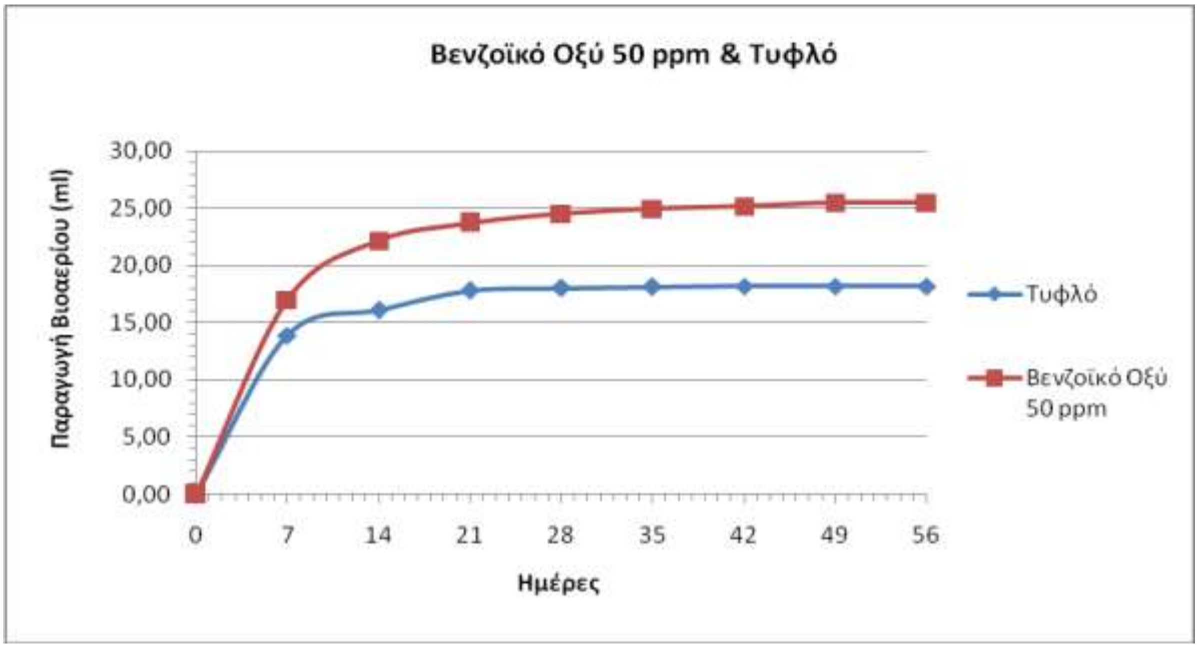
Εικόνα 4-2: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα.

Στο μεν τυφλό οι μικροοργανισμοί κατανάλωσαν απρόσκοπτα το εναπομείναν οργανικό φορτίο της λάσπης ολοκληρώνονταν κατά ένα συντριπτικό ποσοστό την διεργασία στις πρώτες τρεις εβδομάδες. Αυτό είναι απόλυτα λογικό γιατί στο φιαλίδιο του τυφλού δεν είχε προστεθεί καμία ουσία η οποία θα μπορούσε να επηρεάσει τους μικροοργανισμούς, άρα οι μικροοργανισμοί θα έπρεπε να δράσουν απρόσκοπτα, όπως και έκαναν.

Στο δε δείγμα ελέγχου είχε προστεθεί γλυκόζη σε συγκέντρωση 50 ppm. Αυτό έγινε με σκοπό να επιβεβαιώσουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης λειτουργεί, από την στιγμή που η γλυκόζη είναι πλήρως βιοαποδομήσιμη υπό αναερόβιες συνθήκες, θα έπρεπε να αποδομηθεί γρήγορα και χωρίς καμία επίπτωση στους μικροοργανισμούς. Όπως βλέπουμε και στο παραπάνω γράφημα η γλυκόζη δεν δημιούργησε κανένα πρόβλημα στην διαδικασία και η αποδόμηση της πρακτικά ολοκληρώθηκε την τρίτη εβδομάδα. Αυτό μας επιβεβαιώνει ότι η όλη διάταξη αναερόβιας αποικοδόμησης έχει “στηθεί” επιτυχώς, άρα τυχόν αποτελέσματα μερικής η αδύνατης αποδόμησης θα οφείλονται στην ουσία που επεξεργαζόμαστε και όχι στην πειραματική διαδικασία.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 50 ppm βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-3).



Εικόνα 4-3: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 50ppm βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Το παραπάνω γράφημα μας δίνει την δυνατότητα να συγκρίνουμε την πορεία της αποικοδόμησης των 50 ppm βενζοϊκού οξέος σε σχέση με αυτή του τυφλού. Όπως βλεπουμε τα 50 ppm βενζοϊκού οξέος δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποικοδόμησης. Η αποικοδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποδόμηση του βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 50 ppm (Πίνακας 4-2).

Πίνακας 4-2: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής βιοαερίου από την αποδόμηση βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 50 ppm

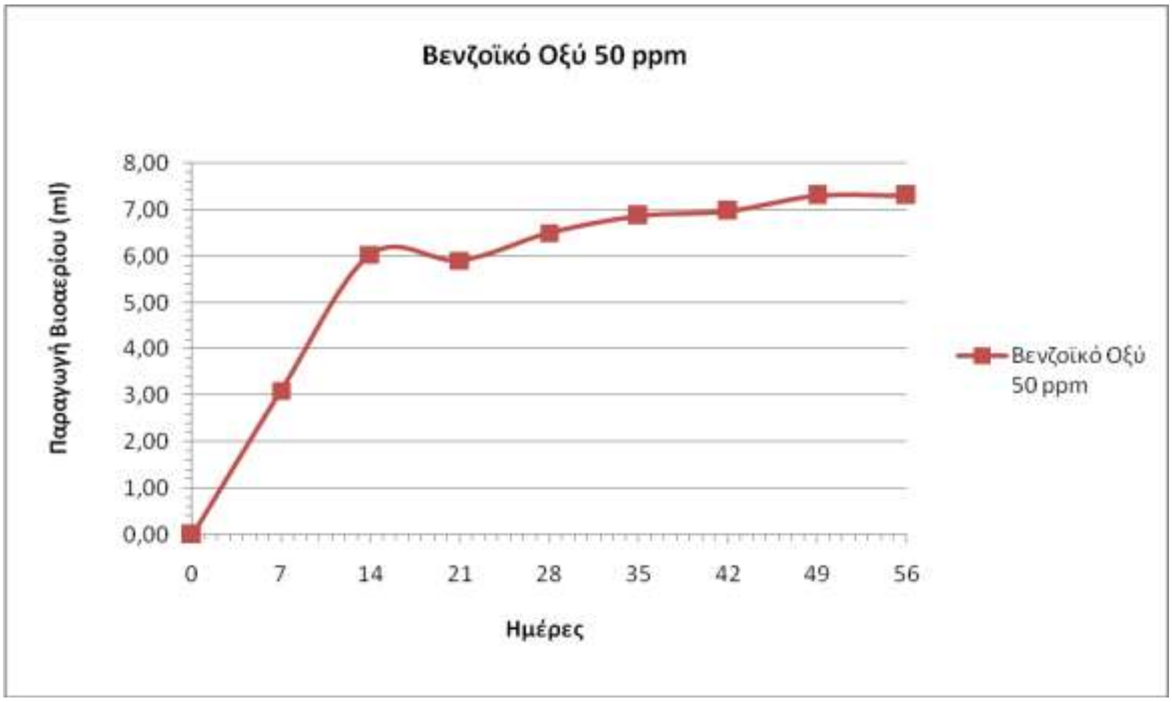
Παραγωγή Βιοαερίου (ml)						
Βενζοϊκό Οξύ 50 ppm						
Ημέρες	Νο 1	Νο 2	Νο 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	3,20	3,60	2,50	3,10	0,56	3,10
14	2,90	3,00	2,90	2,93	0,06	6,03
21	-0,20	0,10	-0,30	-0,13	0,21	5,90
28	0,60	0,90	0,30	0,60	0,30	6,50
35	0,40	0,50	0,20	0,37	0,15	6,87
42	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	6,97
49	0,20	0,40	0,40	0,33	0,12	7,30
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,30

.

Ο παραπάνω πίνακας (πίνακας 4-2) περιλαμβάνει τα εξής:

- Αριθμός ημέρας δειγματοληψίας.
- Ποσότητα βιοαερίου που παράχθηκε από τα τρία δείγματα με συγκέντρωση 50 ppm βενζοϊκού οξέος την αντίστοιχη ημέρα δειγματοληψίας και οφείλεται στα 50 ppm βενζοϊκού οξέος (έχει αφαιρεθεί η ποσότητα που οφείλεται στο τυφλό).
- Μέσος όρος των τριών παραπάνω τιμών.
- Τυπική απόκλιση των τριών παραπάνω τιμών.
- Αθροιστική συχνότητα της ποσότητας βιοαερίου που έχει παραχθεί από τα τρία δείγματα με συγκέντρωση 50 ppm βενζοϊκού οξέος μέχρι και την αντίστοιχη ημέρα δειγματοληψίας και οφείλεται στα 50 ppm βενζοϊκού οξέος (έχει αφαιρεθεί η ποσότητα που οφείλεται στο τυφλό).

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 50 ppm βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-4).



Εικόνα 4-4: Παραγωγή βιοαερίου από τα 50ppm βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Όπως βλέπουμε από το παραπάνω γράφημα η απεικόνιση της παράγωγης βιοαερίου που οφείλεται αποκλειστικά στα 50 ppm βενζοϊκού οξέος μας δίνει μια πιο λεπτομερής εικόνα για την πορεία της αποδόμησης τους. Όπως βλέπουμε η αποδόμηση τις δυο πρώτες εβδομάδες κύλησε απρόσκοπτα φτάνοντας μάλιστα πάνω από το 80% της συνολικής αποδόμησης. Αυτή η πορεία διακόπηκε την τρίτη εβδομάδα για να συνεχιστεί ομαλά από την τέταρτη εβδομάδα μέχρι το πέρας της αποδόμησης. Η παραπάνω ανωμαλία στην διαδικασία αποδόμησης κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται σε κάποιο τυχαίο γεγονός (πρόσκαιρη πτώση της θερμοκρασίας στο υδατόλουτρο) και όχι στα 50 ppm βενζοϊκού οξέος γιατί αν οφειλόταν σε αυτά το πιο πιθανό είναι να εμφανιζόταν στην αρχή της διαδικασίας, πράγμα το οποίο δεν συνέβη. Επίσης αν η εν λόγω δυσλειτουργία οφειλόταν στα 50 ppm βενζοϊκού οξέος η αποδόμηση δεν θα συνεχιζόταν ομαλά από την τέταρτη εβδομάδα και μετά και φυσικά δεν θα ολοκληρωνόταν.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής μεθανίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποδόμηση του βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 50 ppm (Πίνακας 4-3).

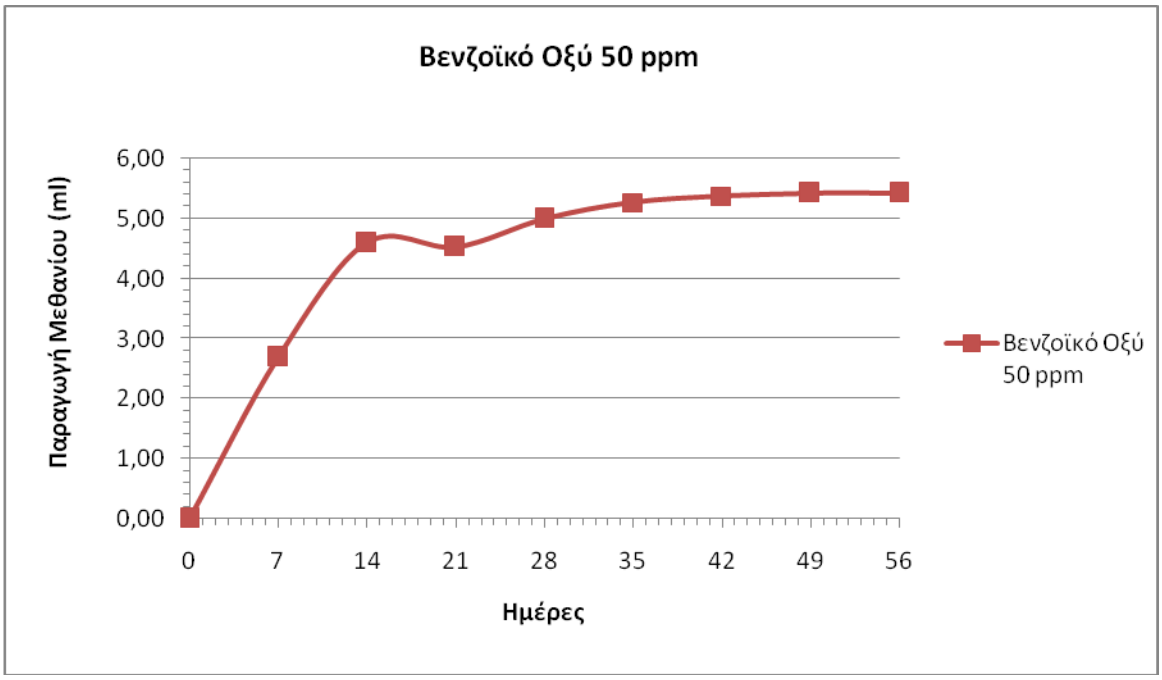
Πίνακας 4-3: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής μεθανίου από την αποδόμηση βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 50 ppm.

Παραγωγή Μεθανίου (ml)						
Βενζοϊκό Οξύ 50 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	3,00	3,40	1,70	2,70	0,89	2,70
14	1,90	2,00	1,80	1,90	0,10	4,60
21	-0,10	0,00	-0,10	-0,07	0,06	4,53
28	0,50	0,60	0,30	0,47	0,15	5,00
35	0,30	0,40	0,10	0,27	0,15	5,27
42	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	5,37
49	0,00	0,10	0,10	0,07	0,06	5,43
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,43

Ο παραπάνω πίνακας (πίνακας 4-3) περιλαμβάνει τα εξής:

- Αριθμός ημέρας δειγματοληψίας.
- Ποσότητα μεθανίου που παράχθηκε από τα τρία δείγματα με συγκέντρωση 50 ppm βενζοϊκού οξέος την αντίστοιχη ημέρα δειγματοληψίας και οφείλεται στα 50 ppm βενζοϊκού οξέος (έχει αφαιρεθεί η ποσότητα που οφείλεται στο τυφλό).
- Μέσος όρος των τριών παραπάνω τιμών.
- Τυπική απόκλιση των τριών παραπάνω τιμών.
- Αθροιστική συχνότητα της ποσότητας μεθανίου που έχει παραχθεί από τα τρία δείγματα με συγκέντρωση 50 ppm βενζοϊκού οξέος μέχρι και την αντίστοιχη ημέρα δειγματοληψίας και οφείλεται στα 50 ppm βενζοϊκού οξέος (έχει αφαιρεθεί η ποσότητα που οφείλεται στο τυφλό).

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή μεθανίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 50 ppm βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-5).



Εικόνα 4-5: Παραγωγή μεθανίου από τα 50ppm βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Όπως βλέπουμε παραπάνω η παραγωγή μεθανίου όπως ήταν λογικό κύλησε ομαλά με μονή ανωμαλία την δυσλειτουργία της τρίτης εβδομάδας η οποία όπως εξηγήσαμε και παραπάνω οφείλεται σε κάποιον τυχαίο παράγοντα. Η παραγωγή μεθανίου κινήθηκε σε πολύ υψηλά επίπεδα φθάνοντας σε ποσοστό 74% της παραγωγής βιοαερίου. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι συνθήκες αποδόμησης (παρά την δυσλειτουργία της τρίτης εβδομάδας) ήταν αν μη τι άλλο ιδανικές.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD η οποία για το δείγμα των 50 ppm βενζοϊκού οξέος ήταν 0 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι τα 50 ppm βενζοϊκού οξέος αποδομήθηκαν πλήρως.

Σε αυτό το σημείο θέλω να υπογραμμίσω ότι για λόγους ευχρηστίας οι επεξηγήσεις των περιεχόμενων των στηλών των πινάκων στο υπόλοιπο του παρόντος κεφαλαίου θα παραληφθούν γιατί οι πίνακες όπως φαίνεται και παραπάνω διαφοροποιούνται μόνο από πλευράς τιμών και όχι από πλευράς περιεχομένου στηλών.

4.2.2 100ppm Βενζοϊκού οξέος

Τα 100 ppm βενζοϊκού οξέος πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 68.8 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).
- 200 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

Όπως και παραπάνω υπολογίσουμε τις θεωρητικές ποσότητες βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που θα παραχθούν από την αποδόμηση των 100 ppm βενζοϊκού οξέος. Οι παραπάνω ποσότητες είναι οι εξής:

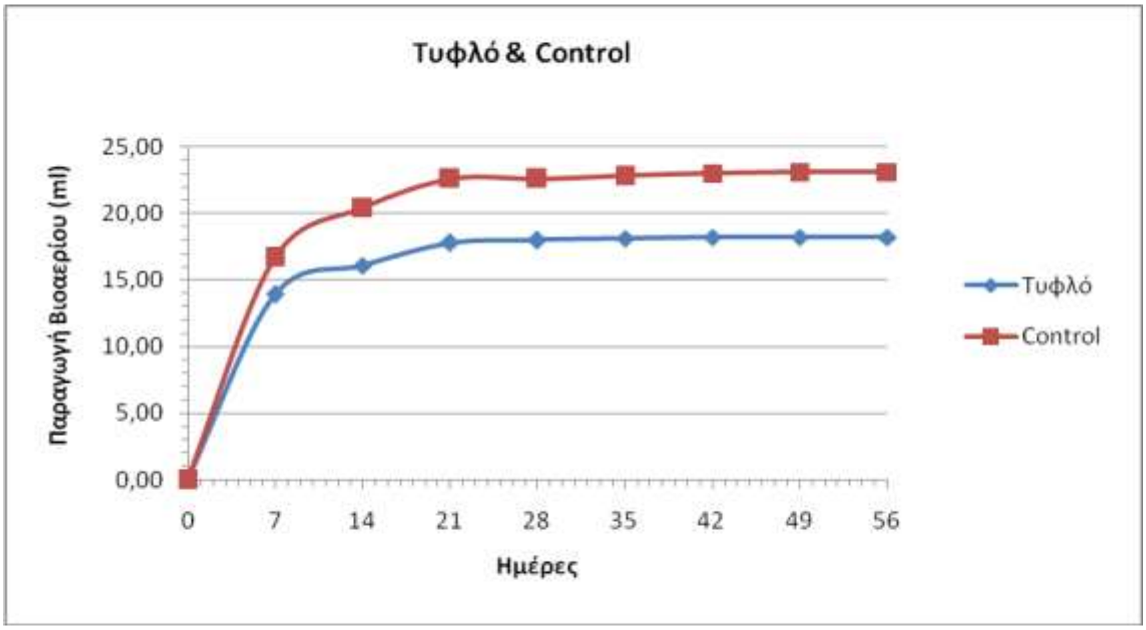
- 14.48 ml βιοαερίου.
- 7.76 ml CH_4.
- 6.72 ml CO_2.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση του βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 100 ppm (Πίνακας 4-4).

Πίνακας 4-4: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 100 ppm.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
Βενζοϊκό Οξύ 100 ppm										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	16,70	16,70	13,90	13,90	18,10	20,00	17,90	18,67	1,16	18,67
14	3,70	20,40	2,20	16,10	8,70	9,30	7,90	8,63	0,70	27,30
21	2,20	22,60	1,70	17,80	1,60	2,30	2,00	1,97	0,35	29,27
28	0,00	22,60	0,20	18,00	0,70	0,90	0,80	0,80	0,10	30,07
35	0,20	22,80	0,10	18,10	0,70	0,60	0,70	0,67	0,06	30,73
42	0,20	23,00	0,10	18,20	0,40	0,30	0,10	0,27	0,15	31,00
49	0,10	23,10	0,00	18,20	0,60	0,40	0,30	0,43	0,15	31,43
56	0,00	23,10	0,00	18,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,43

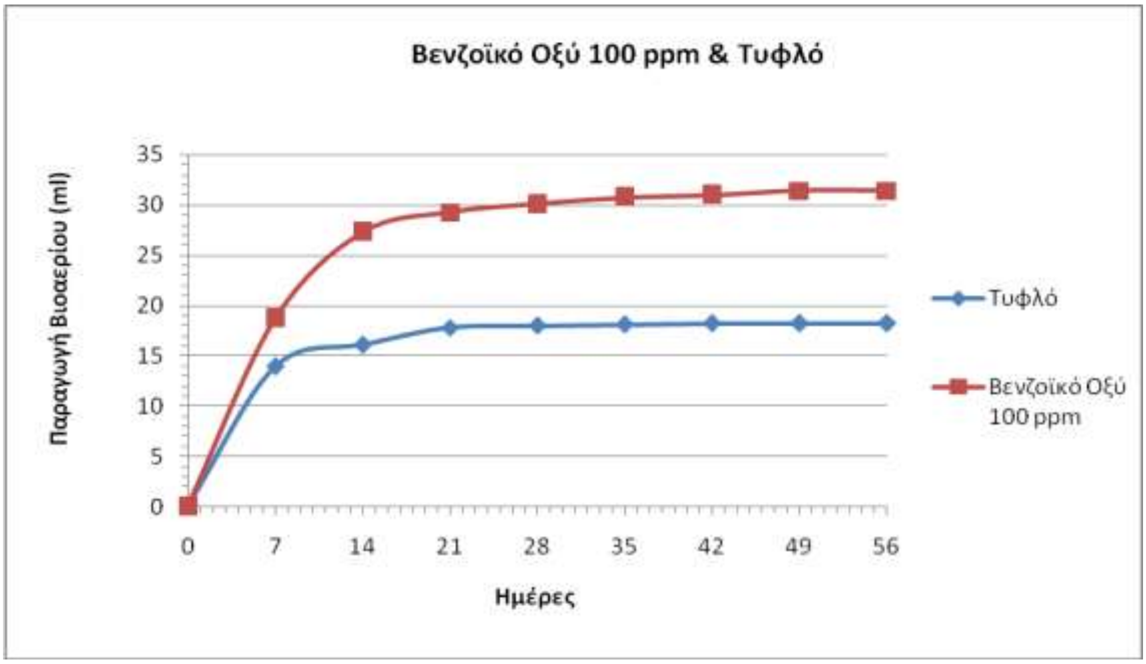
Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-6).



Εικόνα 4-6: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα όπως ακριβώς και στην προηγούμενη συγκέντρωση (50ppm βενζοϊκού οξέος).

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 100 ppm βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-7).



Εικόνα 4-7: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 100ppm βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

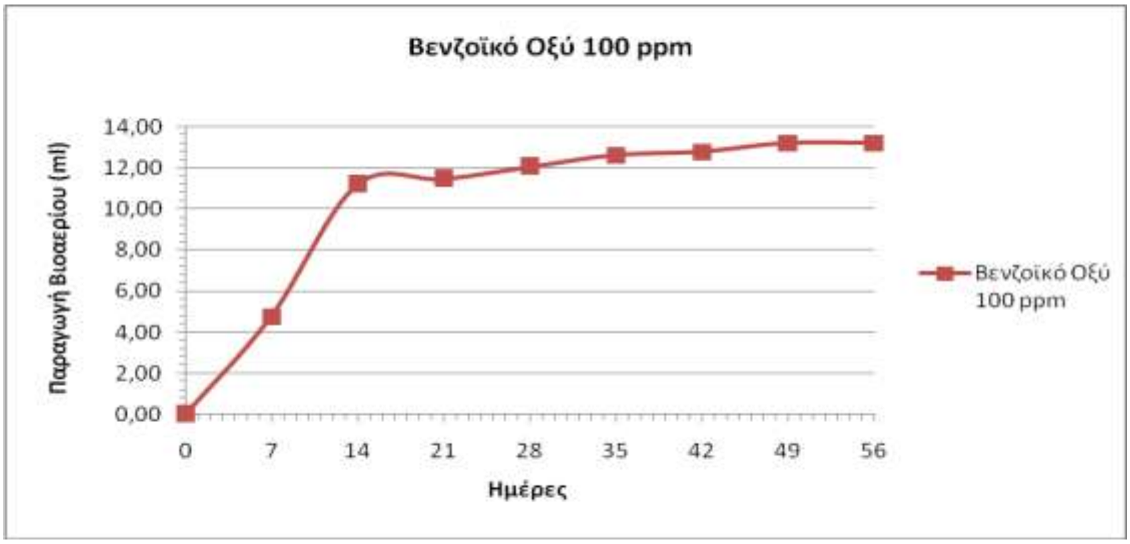
Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι τα 100 ppm βενζοϊκού οξέος δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποικοδόμηση του βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 100 ppm (Πίνακας 4-5).

Πίνακας 4-5: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής βιοαερίου από την αποδόμηση βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 100 ppm.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)						
Βενζοϊκό Οξύ 100 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	4,20	6,10	4,00	4,77	1,16	4,77
14	6,50	7,10	5,70	6,43	0,70	11,20
21	-0,10	0,60	0,30	0,27	0,35	11,47
28	0,50	0,70	0,60	0,60	0,10	12,07
35	0,60	0,50	0,60	0,57	0,06	12,63
42	0,30	0,20	0,00	0,17	0,15	12,80
49	0,60	0,40	0,30	0,43	0,15	13,23
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,23

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 100 ppm βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4.08).



Εικόνα 4-8: Παραγωγή βιοαερίου από τα 100ppm βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

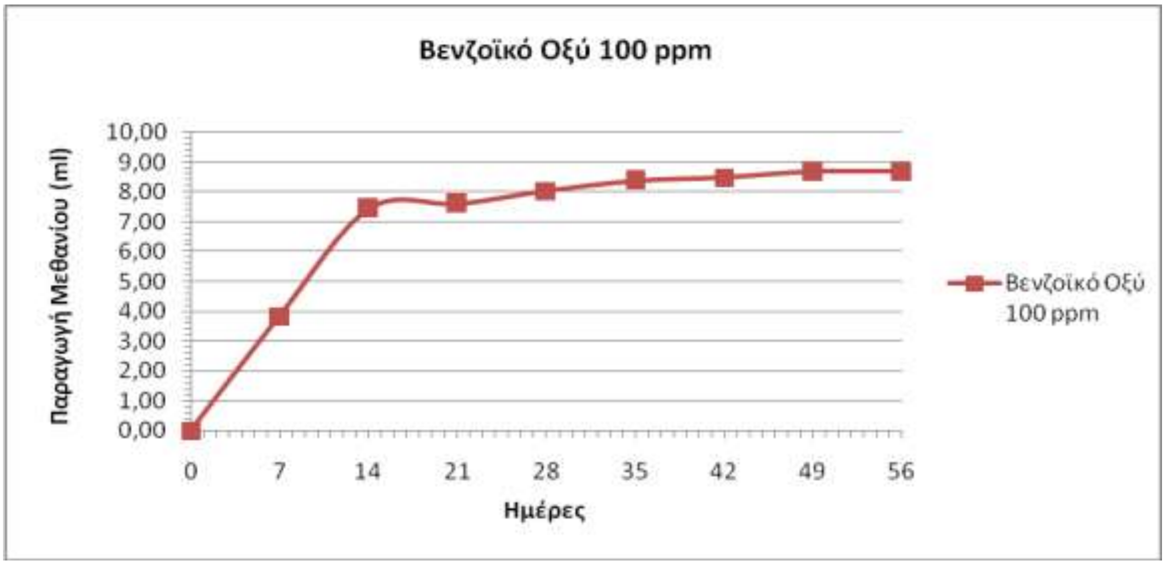
Όπως βλέπουμε στο παραπάνω γράφημα η συγκέντρωση των 100 ppm βενζοϊκού οξέος όπως και αυτή των 50 ppm βενζοϊκού οξέος που είδαμε παραπάνω παρουσίασε μια ανωμαλία στην διαδικασία αποδόμησης της την τρίτη εβδομάδα, γεγονός που επιβεβαιώνει για άλλη μια φορά ότι η εν λόγω ανωμαλία οφείλετε σε τυχαίο γεγονός. Κατά τα άλλα η αποικοδόμηση εξελίχτηκε απόλυτα ομαλά.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής μεθανίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποικοδόμηση του βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 100 ppm (Πίνακας 4-6).

Πίνακας 4-6: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής μεθανίου από την αποδόμηση βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 100 ppm.

Παραγωγή Μεθανίου (ml)						
Βενζοϊκό Οξύ 100 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	M.O.	T.A.	A.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	2,90	4,90	3,70	3,83	1,01	3,83
14	3,60	4,00	3,20	3,60	0,40	7,43
21	0,00	0,30	0,20	0,17	0,15	7,60
28	0,40	0,50	0,40	0,43	0,06	8,03
35	0,30	0,30	0,40	0,33	0,06	8,37
42	0,10	0,20	0,00	0,10	0,10	8,47
49	0,40	0,10	0,10	0,20	0,17	8,67
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,67

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή μεθανίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 100 ppm βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4.09).



Εικόνα 4-9: Παραγωγή μεθανίου από τα 100ppm βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Όπως βλέπουμε παραπάνω η παραγωγή μεθανίου όπως ήταν λογικό κύλησε ομαλά με μονή ανωμαλία την δυσλειτουργία της τρίτης εβδομάδας η οποία όπως εξηγήσαμε και παραπάνω οφείλεται σε κάποιον τυχαίο παράγοντα. Η παραγωγή μεθανίου έφτασε σε ποσοστό 65% της παραγωγής βιοαερίου, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι συνθήκες αποδόμησης ήταν πάρα πολύ καλές.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD η οποία για το δείγμα των 100 ppm βενζοϊκού οξέος ήταν 0 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι τα 100 ppm βενζοϊκού οξέος αποδομήθηκαν πλήρως.

4.2.3 200ppm Βενζοϊκού οξέος

Τα 200 ppm βενζοϊκού οξέος πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 137.6 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).
- 400 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

Όπως και παραπάνω υπολογίσουμε τις θεωρητικές ποσότητες βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που θα παραχθούν από την αποδόμηση των 200 ppm βενζοϊκού οξέος. Οι παραπάνω ποσότητες είναι οι εξής:

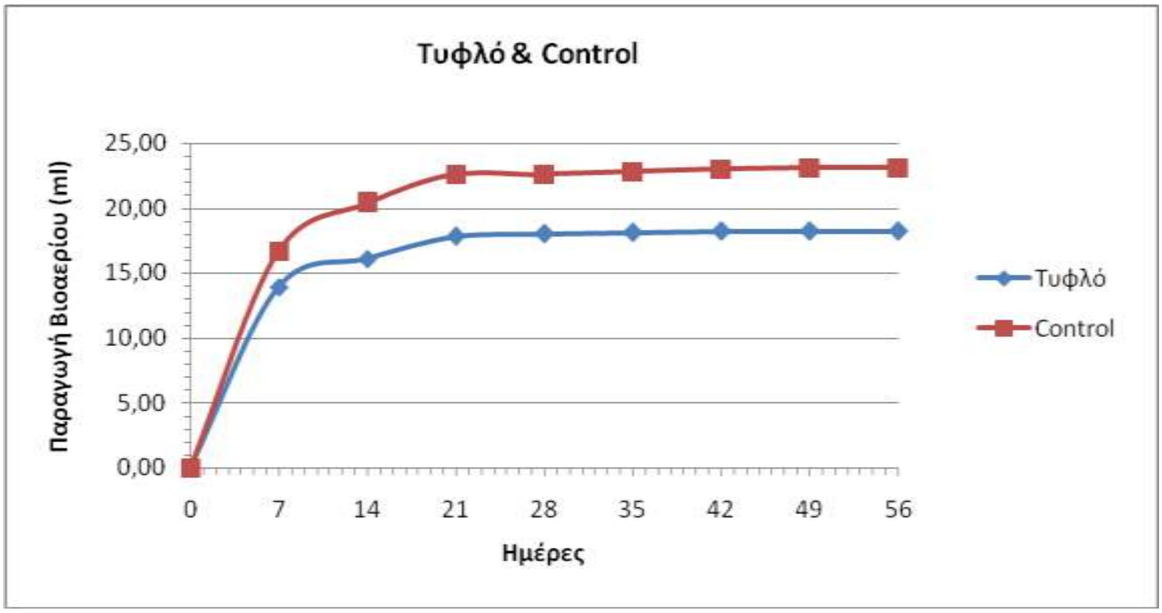
- 28.97 ml βιοαερίου.
- 15.52 ml CH_4.
- 13.45 ml CO_2.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση του βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 200 ppm (Πίνακας 4-7).

Πίνακας 4-7: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 200 ppm.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
Βενζοϊκό Οξύ 200 ppm										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	No 1	No 2	No 3	M.O.	T.A.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	16,70	16,70	13,90	13,90	18,90	20,70	22,10	20,57	1,60	20,57
14	3,70	20,40	2,20	16,10	16,80	16,60	17,90	17,10	0,70	37,67
21	2,20	22,60	1,70	17,80	3,10	3,30	3,50	3,30	0,20	40,97
28	0,00	22,60	0,20	18,00	0,70	0,80	0,80	0,77	0,06	41,73
35	0,20	22,80	0,10	18,10	0,90	1,10	1,00	1,00	0,10	42,73
42	0,20	23,00	0,10	18,20	0,60	0,20	0,80	0,53	0,31	43,27
49	0,10	23,10	0,00	18,20	0,30	0,60	0,00	0,30	0,30	43,57
56	0,00	23,10	0,00	18,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,57

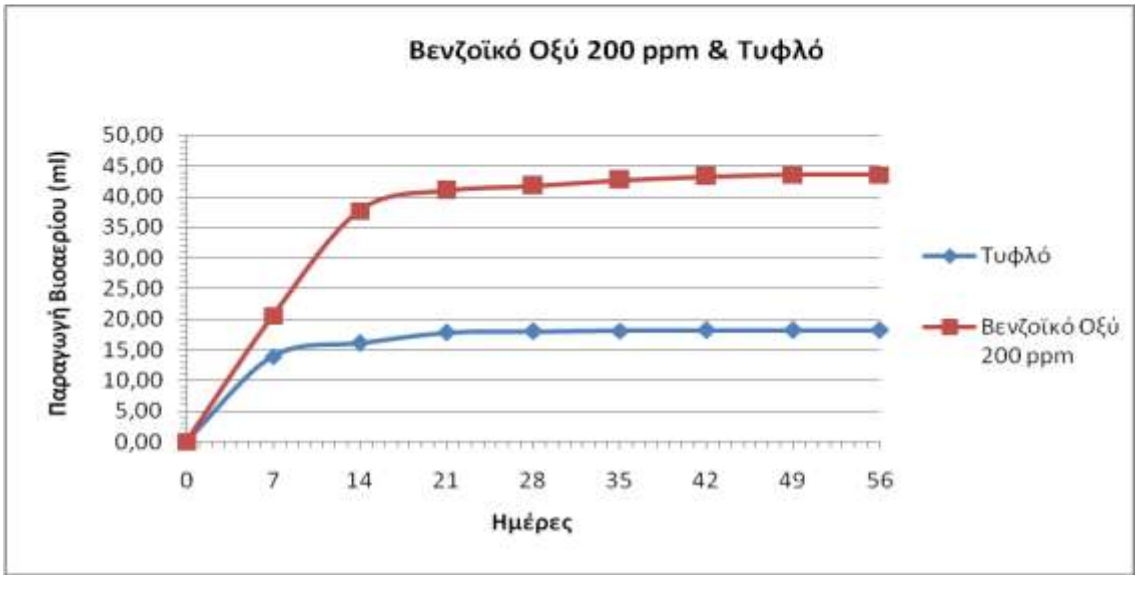
Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4.010).



Εικόνα 4-10: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα όπως ακριβώς και στις προηγούμενες συγκεντρώσεις.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 200 ppm βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-11).



Εικόνα 4-11: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 200 ppm βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

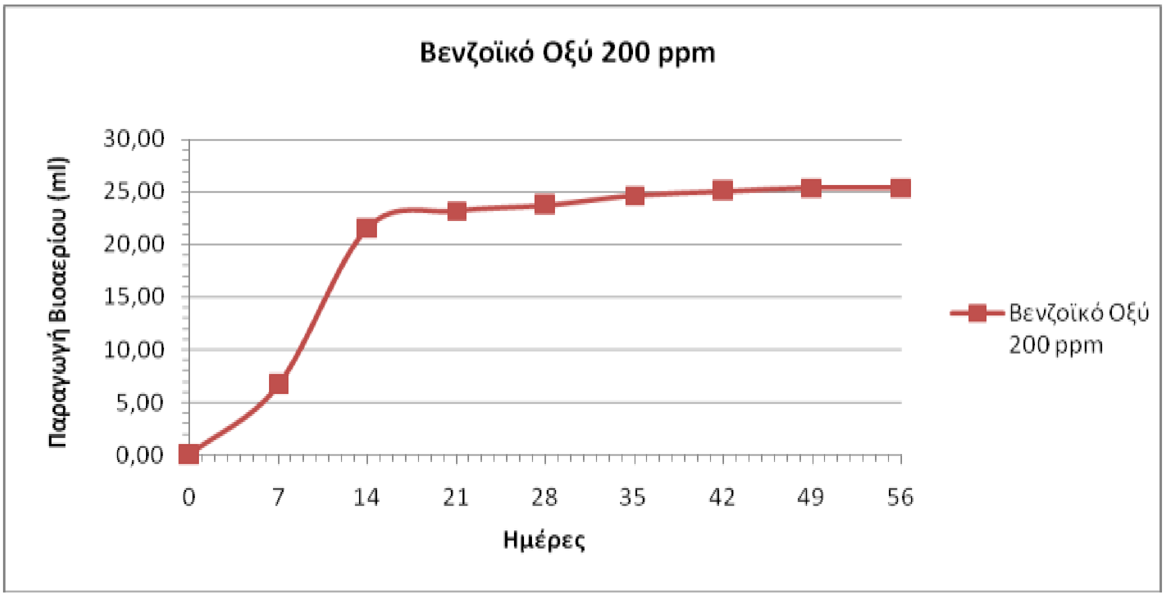
Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι και τα 200 ppm βενζοϊκού οξέος όπως και οι άλλες δυο συγκεντρώσεις δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποδόμηση του βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 200 ppm (Πίνακας 4-8).

Πίνακας 4-8: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής βιοαερίου από την αποδόμηση βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 200 ppm.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)						
Βενζοϊκό Οξύ 200 ppm						
Ημέρες	Νο 1	Νο 2	Νο 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	5,00	6,80	8,20	6,67	1,60	6,67
14	14,60	14,40	15,70	14,90	0,70	21,57
21	1,40	1,60	1,80	1,60	0,20	23,17
28	0,50	0,60	0,60	0,57	0,06	23,73
35	0,80	1,00	0,90	0,90	0,10	24,63
42	0,50	0,10	0,70	0,43	0,31	25,07
49	0,30	0,60	0,00	0,30	0,30	25,37
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,37

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 200 ppm βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-12).



Εικόνα 4-12: Παραγωγή βιοαερίου από τα 200ppm βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

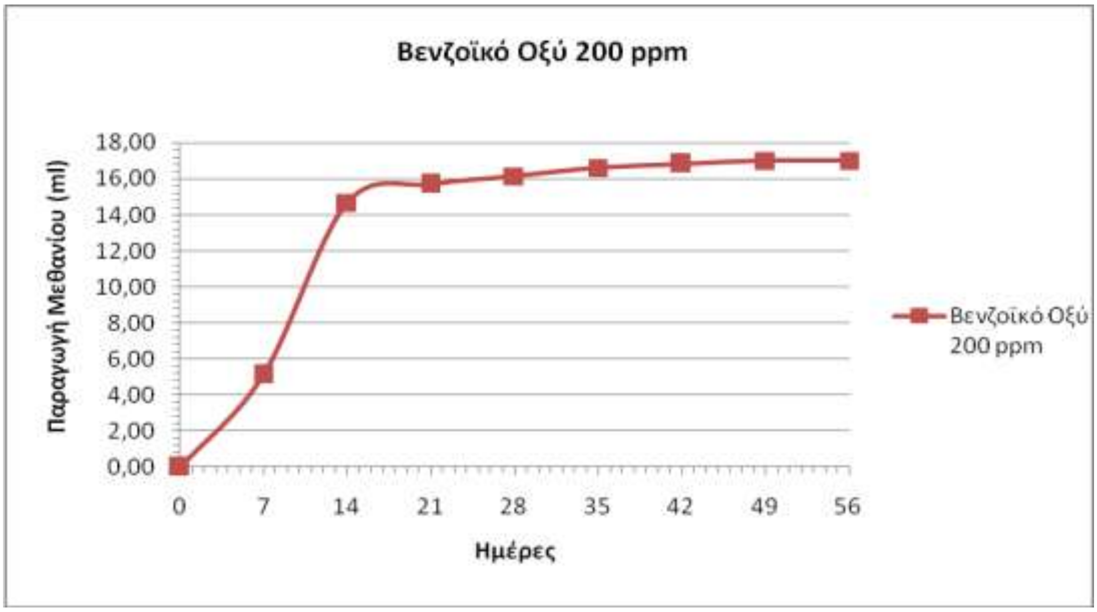
Όπως βλέπουμε στο παραπάνω γράφημα η συγκέντρωση των 200 ppm βενζοϊκού οξέος όπως και οι δυο προηγούμενες παρουσιάζει μια μικρή ανωμαλία στη τρίτη εβδομάδα της αποικοδόμησης αλλά αυτό το γεγονός δεν εμπόδισε σε τίποτα την περαιτέρω εξέλιξη της διαδικασίας.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής μεθανίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποικοδόμηση του βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 200 ppm (Πίνακας 4-9).

Πίνακας 4-9: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής μεθανίου από την αποδόμηση βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 200 ppm.

Παραγωγή Μεθανίου (ml)						
Βενζοϊκό Οξύ 200 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	4,10	5,60	5,70	5,13	0,90	5,13
14	9,30	9,20	10,10	9,53	0,49	14,67
21	0,90	1,10	1,10	1,03	0,12	15,70
28	0,40	0,40	0,50	0,43	0,06	16,13
35	0,40	0,50	0,50	0,47	0,06	16,60
42	0,20	0,00	0,50	0,23	0,25	16,83
49	0,20	0,30	0,00	0,17	0,15	17,00
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή μεθανίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλετε αποκλειστικά στα 200 ppm βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-13).



Εικόνα 4-13: Παραγωγή μεθανίου από τα 200ppm βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

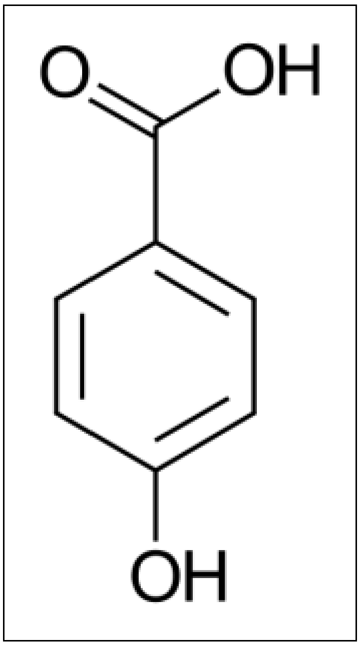
Όπως βλέπουμε παραπάνω η παραγωγή μεθανίου όπως ήταν λογικό κύλησε ομαλά με και έφτασε σε ποσοστό 67% της παραγωγής βιοαερίου, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι συνθήκες αποδόμησης ήταν πάρα πολύ καλές.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο) η οποία για το δείγμα των 200 ppm βενζοϊκού οξέος ήταν 2 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι τα 200 ppm βενζοϊκού οξέος αποδομήθηκαν σχεδόν πλήρως (99%).

Συνοψίζοντας τώρα όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το βενζοϊκό οξύ σε καμία από τις συγκεντρώσεις που εξετάσαμε δεν δημιούργησε κανένα πρόβλημα στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία της αναερόβιας αποδόμησης του, αποδομήθηκε πλήρως και σε ένα σχετικά γρήγορο χρονικό διάστημα.

4.3 4-ΥΔΡΟΞΥ-ΒΕΝΖΟΪΚΟ ΟΞΥ

Το 4-ύδροξυ-βενζοϊκό οξύ [$C_7H_6O_3$] είναι ένα φαινολικό οξύ το οποίο ανήκει στην υποκατηγορία των βενζοϊκών οξέων. Το συναντάμε στην φύση σε ένα μεγάλο εύρος φυτών ως αντιοξειδωτικό. Επίσης χρησιμοποιείται στην χημική βιομηχανία καθώς επίσης και στην βιομηχανία τροφίμων όπως και το βενζοϊκό οξύ. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η χημική δομή του (Εικόνα 4.014).



Εικόνα 4-14: Χημική δομή 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος.

Το 4-ύδροξυ-βενζοϊκό οξύ αποικοδομείται αναερόβια σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

- $C_7H_6O_3 + 4\ H_2O \longrightarrow 3.5\ CH_4 + 3.5\ CO_2$

Προκειμένου να αποκτήσουμε μια αρκετά πλήρη εικόνα όσον αφορά στην αποδομησιμότητα του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος κρίθηκε σκόπιμο να υποστεί επεξεργασία σε συγκεντρώσεις των 50, 100 και 200 ppm στον αντιδραστήρα.

4.3.1 50ppm 4-Ύδροξυ-Βενζοϊκού οξέος

Τα 50 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 30.4 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).
- 90 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το οργανικό φορτίο και με την χρήση της παραπάνω εξίσωσης (βλ. κεφάλαιο 3) μπορούμε πολύ εύκολα να υπολογίσουμε τις θεωρητικές ποσότητες βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που θα παραχθούν από την αποδόμηση των 50 ppm 4-υδροξυ-βενζοϊκού οξέος. Οι παραπάνω ποσότητες είναι οι εξής:

- 6.4 ml βιοαερίου.
- 3.2 ml CH_4.

- 3.2 ml CO_2.

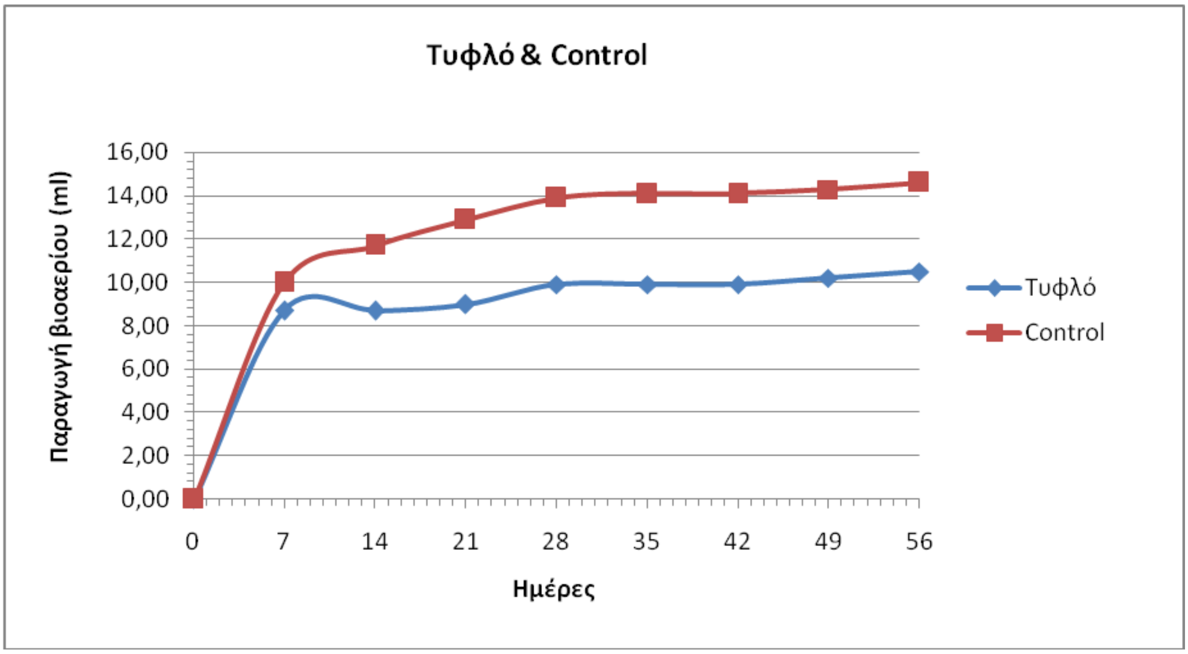
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 50 ppm (Πίνακας 4-10).

Πίνακας 4-10: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης 4-υδροξυ-βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 50 ppm.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
4-Ύδροξυ-Βενζοϊκό Οξύ 50 ppm										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	10,00	10,00	8,70	8,70	7,70	8,60	11,90	10,25	2,33	10,25
14	1,70	11,70	0,00	8,70	0,00	2,80	3,30	3,05	0,35	13,30
21	1,20	12,90	0,30	9,00	0,00	0,20	0,80	0,50	0,42	13,80
28	1,00	13,90	0,90	9,90	0,00	1,30	1,40	1,35	0,07	15,15
35	0,20	14,10	0,00	9,90	0,00	0,00	0,30	0,15	0,21	15,30
42	0,00	14,10	0,00	9,90	0,00	0,30	0,50	0,40	0,14	15,70
49	0,20	14,30	0,30	10,20	0,00	0,30	0,50	0,40	0,14	16,10
56	0,30	14,60	0,30	10,50	0,00	0,60	0,50	0,55	0,07	16,65

Παρατηρούμε ότι η στήλη με τις μετρήσεις παραγωγής βιοαερίου από το φιαλίδιο No1 των 50 ppm του 4-ύδροξυ-βενζόικού οξέος έχουν χρωματιστεί με διαφορετικό χρώμα από ότι οι άλλες (ροζ). Αυτό συμβαίνει γιατί κατά την έναρξη της διαδικασίας το εν λόγω φιαλίδιο παρουσίασε ροζ χρωματισμό στο υπερκείμενο υγρό καθώς επίσης και στην διεπιφάνεια μεταξύ υπερκείμενου υγρού και ιζήματος. Ο χρωματισμός αυτός δηλώνει ύπαρξη αερόβιων συνθηκών μέσα στο φιαλίδιο. Πράγματι στο φιαλίδιο παρατηρήθηκε παραγωγή βιοαερίου κατά την πρώτη εβδομάδα και έπειτα η διαδικασία αποδόμησης (άρα και παραγωγής βιοαερίου) σταμάτησε. Αυτό προφανώς συνέβη γιατί το οξυγόνο ως τοξική ουσία για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς δεν τους επέτρεψε να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν. Το παραπάνω πρόβλημα οφείλεται σε ελλιπή αερισμό του φιαλιδίου πριν την σφράγιση του (βλ. κεφάλαιο 3). Είναι προφανές λοιπόν ότι τα αποτελέσματα του φιαλιδίου No1 δεν θα ληφθούν υπόψη στην μετέπειτα ανάλυση.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-15).



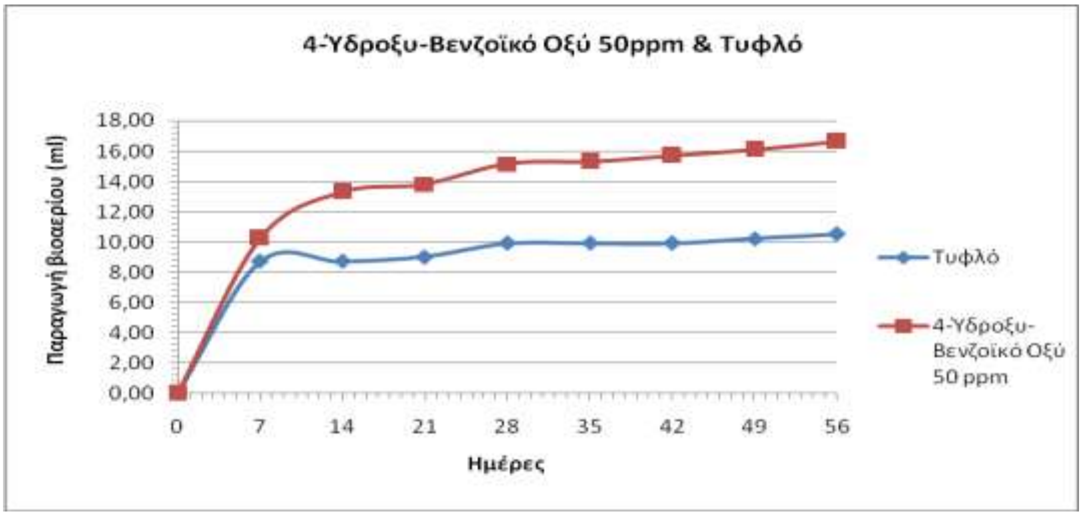
Εικόνα 4-15: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα.

Στο μεν τυφλό οι μικροοργανισμοί κατανάλωσαν απρόσκοπτα το εναπομείναν οργανικό φορτίο της λάσπης ολοκληρώνονταν κατά ένα συντριπτικό ποσοστό την πρώτη κιόλας εβδομάδα.

Στο δε δείγμα ελέγχου είχε προστεθεί γλυκόζη σε συγκέντρωση 50 ppm. Όπως βλέπουμε και στο παραπάνω γράφημα η γλυκόζη δεν δημιούργησε κανένα πρόβλημα στην διαδικασία και η αποδόμηση της πρακτικά ολοκληρώθηκε την τέταρτη εβδομάδα. Αυτό μας επιβεβαιώνει ότι η όλη διάταξη αναερόβιας αποικοδόμησης έχει “στηθεί” επιτυχώς.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 50 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-16).



Εικόνα 4-16: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 50ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

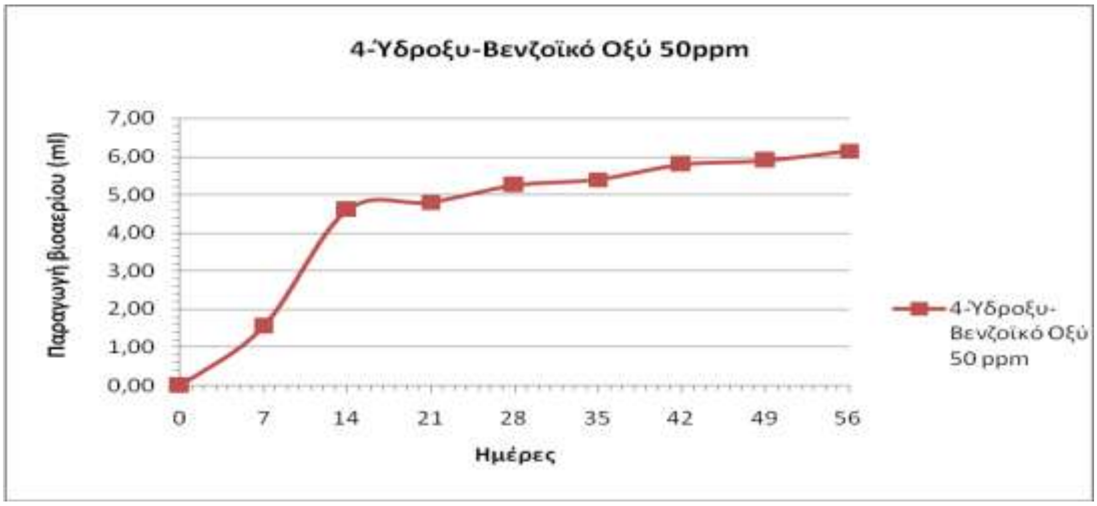
Όπως βλεπουμε τα 50 ppm βενζοϊκού οξέος δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποικοδόμηση του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 50 ppm (Πίνακας 4-11).

Πίνακας 4-11: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής βιοαερίου από την αποδόμηση 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 50 ppm.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)						
4-Ύδροξυ-Βενζοϊκό Οξύ 50 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	-1,00	-0,10	3,20	1,55	2,33	1,55
14	0,00	2,80	3,30	3,05	0,35	4,60
21	-0,30	-0,10	0,50	0,20	0,42	4,80
28	-0,90	0,40	0,50	0,45	0,07	5,25
35	0,00	0,00	0,30	0,15	0,21	5,40
42	0,00	0,30	0,50	0,40	0,14	5,80
49	-0,30	0,00	0,20	0,10	0,14	5,90
56	-0,30	0,30	0,20	0,25	0,07	6,15

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 50ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-17).



Εικόνα 4-17: Παραγωγή βιοαερίου από τα 50ppm βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

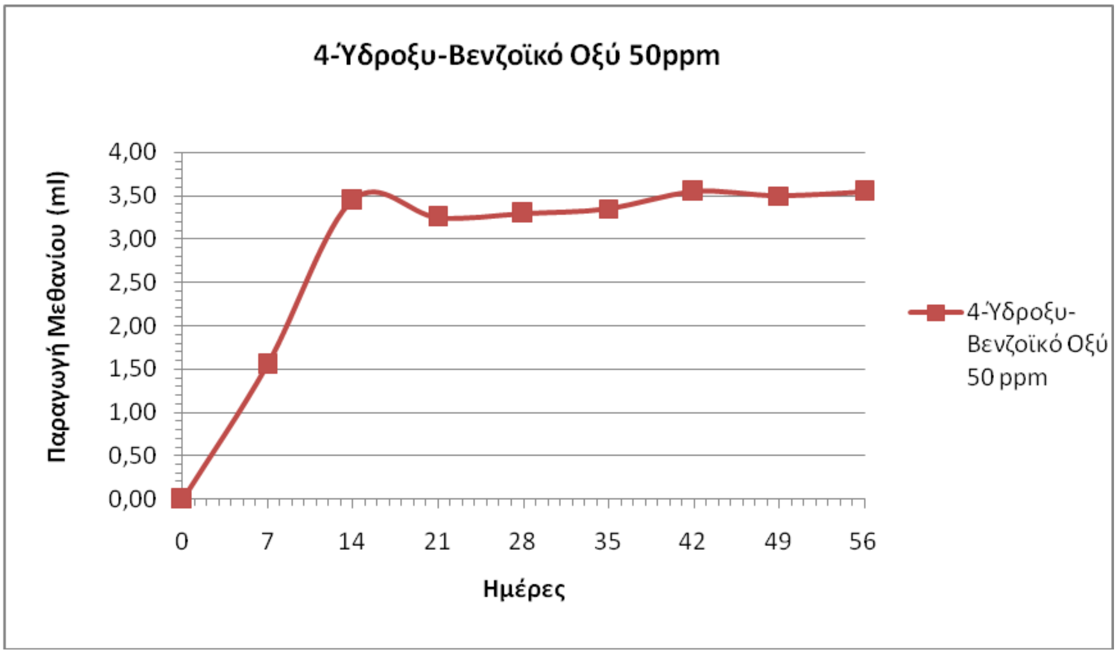
Όπως βλέπουμε η αποδόμηση κύλησε χωρίς κάποιο εμφανές πρόβλημα φτάνοντας στην δεύτερη κιόλας εβδομάδα σχεδόν στο πέρας της αποδόμησης.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής μεθανίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποδόμηση του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 50 ppm (Πίνακας 4-12).

Πίνακας 4-12: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής μεθανίου από την αποδόμηση 4-υδροξυ-βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 50 ppm.

Παραγωγή Μεθανίου (ml)						
4-Ύδροξυ-Βενζοϊκό Οξύ 50 ppm						
Ημέρες	Νο 1	Νο 2	Νο 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,80	0,20	2,90	1,55	1,91	1,55
14	0,00	1,80	2,00	1,90	0,14	3,45
21	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	0,00	3,25
28	-0,50	0,00	0,10	0,05	0,07	3,30
35	0,00	0,00	0,10	0,05	0,07	3,35
42	0,00	0,10	0,30	0,20	0,14	3,55
49	-0,20	-0,10	0,00	-0,05	0,07	3,50
56	-0,20	0,10	0,00	0,05	0,07	3,55

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή μεθανίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 50 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-18).



Εικόνα 4-18: Παραγωγή μεθανίου από τα 50ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Όπως βλέπουμε παραπάνω η παραγωγή μεθανίου όπως ήταν λογικό κύλησε ομαλά φθάνοντας σχεδόν στο μέγιστο την δεύτερη εβδομάδα. Μετά την δεύτερη εβδομάδα στο γράφημα παρουσιάζονται κάποιες αυξομειώσεις οι οποίες οφείλονται στο γεγονός ότι η παραγωγή ήταν πολύ μικρή άρα και επιρρεπής σε σφάλματα από την αντίστοιχη παραγωγή του τυφλού. Η παραγωγή μεθανίου κινήθηκε σε ικανοποιητικά επίπεδα φθάνοντας σε ποσοστό 58% της παραγωγής βιοαερίου.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο) η οποία για το δείγμα των 50 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος ήταν 0 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι αποδομήθηκαν πλήρως. Όσον αφορά το φιαλίδιο No1 η μέτρηση του ήταν 95 ppm COD, πράγμα που επαληθεύει το ότι σε αυτό το φιαλίδιο η αποδόμηση απέτυχε λόγω παρουσίας οξυγόνου.

4.3.2 100ppm 4-Ύδροξυ-Βενζοϊκού οξέος

Τα 100 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 60.8 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).

- 180 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

Όπως και παραπάνω υπολογίσουμε τις θεωρητικές ποσότητες βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που θα παραχθούν από την αποδόμηση των 100 ppm βενζοϊκού οξέος. Οι παραπάνω ποσότητες είναι οι εξής:

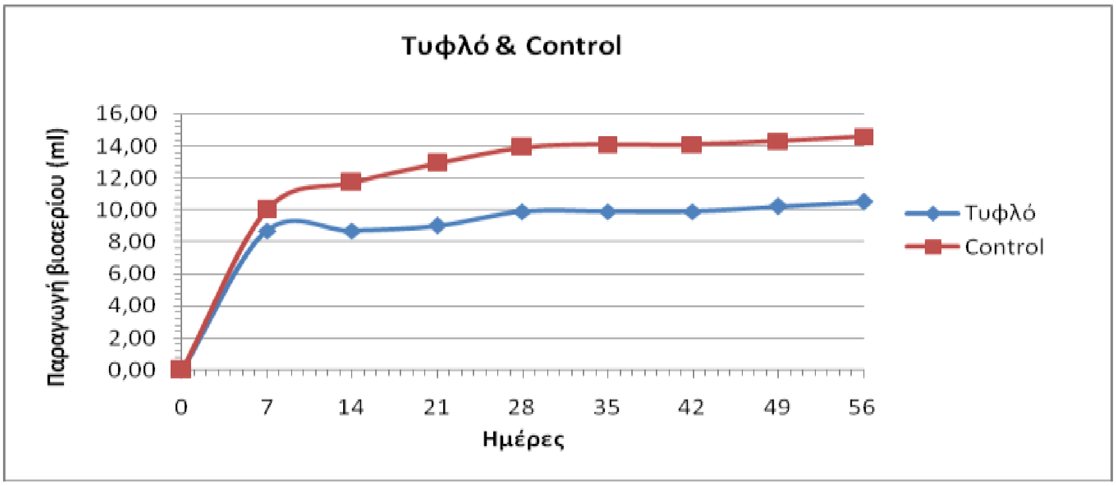
- 12.8 ml βιοαερίου.
- 6.4 ml CH_4.
- 6.4 ml CO_2.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 100 ppm (Πίνακας 4-13).

Πίνακας 4-13: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 100 ppm

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
4-Ύδροξυ-Βενζοϊκό Οξύ 100 ppm										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	10,00	10,00	8,70	8,70	10,30	12,00	12,50	11,60	1,15	11,60
14	1,70	11,70	0,00	8,70	6,40	4,20	9,90	6,83	2,87	18,43
21	1,20	12,90	0,30	9,00	0,20	0,50	0,50	0,40	0,17	18,83
28	1,00	13,90	0,90	9,90	1,50	1,30	1,90	1,57	0,31	20,40
35	0,20	14,10	0,00	9,90	0,00	0,50	0,90	0,47	0,45	20,87
42	0,00	14,10	0,00	9,90	0,60	0,90	0,50	0,67	0,21	21,53
49	0,20	14,30	0,30	10,20	0,40	0,50	0,40	0,43	0,06	21,97
56	0,30	14,60	0,30	10,50	0,60	0,70	0,40	0,57	0,15	22,53

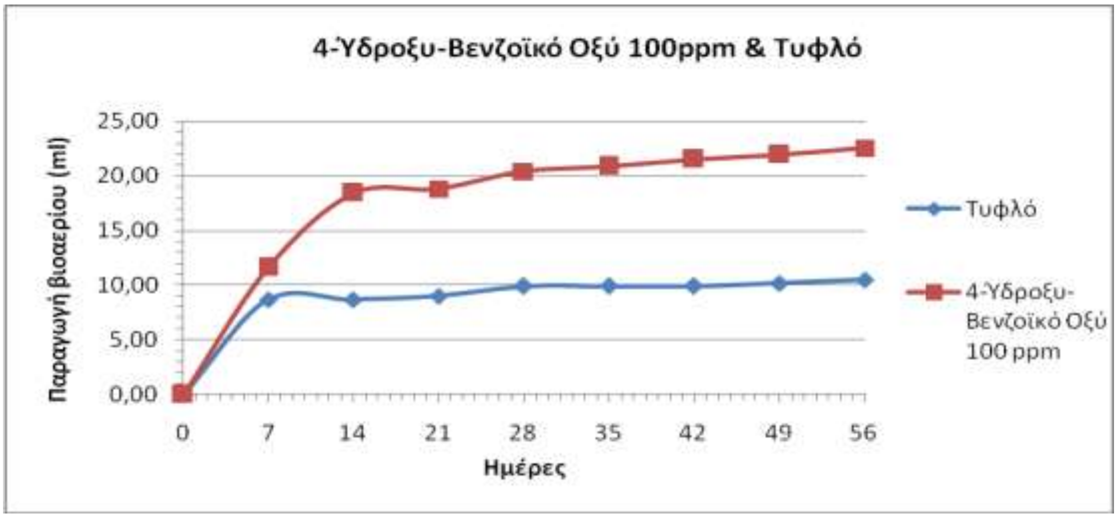
Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-19).



Εικόνα 4-19: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα όπως ακριβώς και στην προηγούμενη συγκέντρωση.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 100 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-20).



Εικόνα 4-20: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 100ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

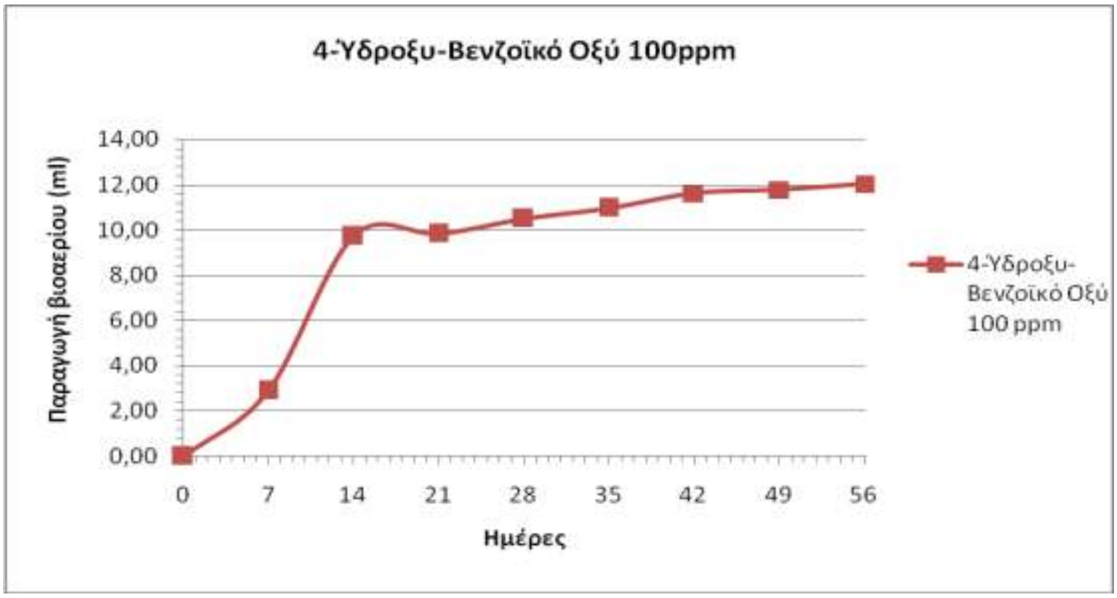
Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι τα 100 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποδόμηση του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 100 ppm (Πίνακας 4-14).

Πίνακας 4-14: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής βιοαερίου της αποδόμησης 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 100 ppm.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)						
4-Ύδροξυ-Βενζοϊκό Οξύ 100 ppm						
Ημέρες	Νο 1	Νο 2	Νο 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	1,60	3,30	3,80	2,90	1,15	2,90
14	6,40	4,20	9,90	6,83	2,87	9,73
21	-0,10	0,20	0,20	0,10	0,17	9,83
28	0,60	0,40	1,00	0,67	0,31	10,50
35	0,00	0,50	0,90	0,47	0,45	10,97
42	0,60	0,90	0,50	0,67	0,21	11,63
49	0,10	0,20	0,10	0,13	0,06	11,77
56	0,30	0,40	0,10	0,27	0,15	12,03

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 100 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-21).



Εικόνα 4-21: Παραγωγή βιοαερίου από τα 100ppm 4-υδροξυ-βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

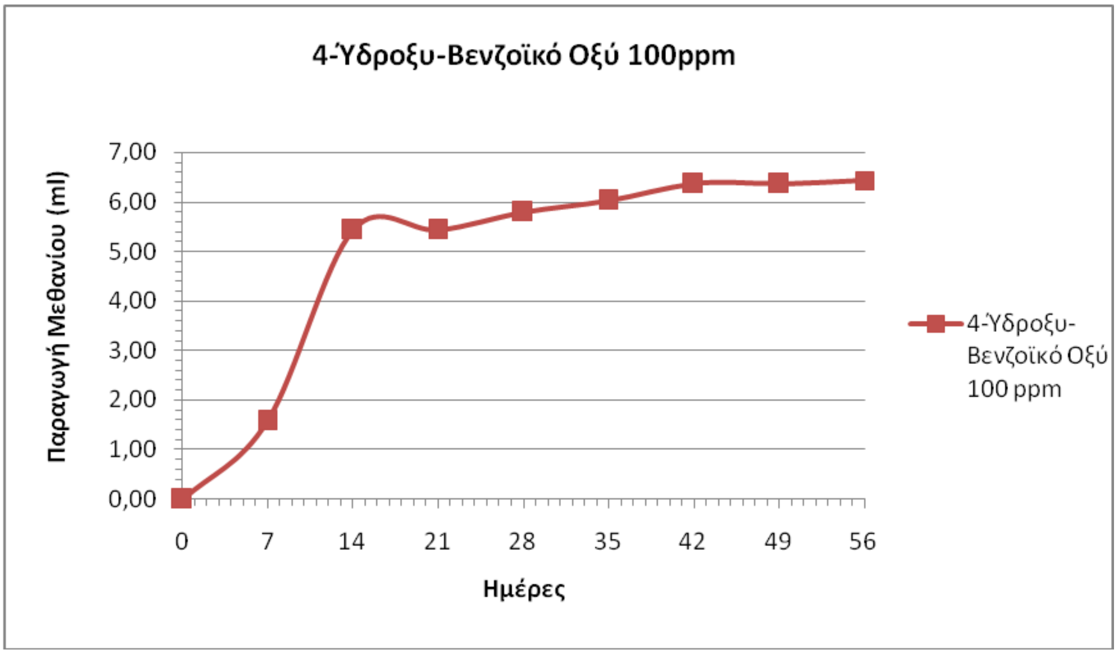
Όπως βλέπουμε στο παραπάνω γράφημα η αποδόμηση των 100 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος εξελίχτηκε απόλυτα ομαλά έχοντας φτάσει στο 80% της την δεύτερη εβδομάδα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής μεθανίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποδόμηση του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 100 ppm (Πίνακας 4-15).

Πίνακας 4-15: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής μεθανίου από την αποδόμηση 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 100 ppm.

Παραγωγή Μεθανίου (ml)						
4-Ύδροξυ-Βενζοϊκό Οξύ 100 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	M.O.	T.A.	A.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,70	1,90	2,10	1,57	0,76	1,57
14	3,60	2,40	5,60	3,87	1,62	5,43
21	-0,10	0,10	0,00	0,00	0,10	5,43
28	0,30	0,20	0,60	0,37	0,21	5,80
35	0,00	0,20	0,50	0,23	0,25	6,03
42	0,30	0,50	0,20	0,33	0,15	6,37
49	0,00	0,10	-0,10	0,00	0,10	6,37
56	0,00	0,20	0,00	0,07	0,12	6,43

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή μεθανίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 100 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-22).



Εικόνα 4-22: Παραγωγή μεθανίου από τα 100ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Όπως βλέπουμε παραπάνω η παραγωγή μεθανίου όπως ήταν λογικό κύλησε ομαλά και έφτασε σε ποσοστό 53% της παραγωγής βιοαερίου.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD η οποία για το δείγμα των 100 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος ήταν 0 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι τα 100 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος αποικοδομήθηκαν πλήρως.

4.3.3 200ppm 4-Ύδροξυ-Βενζοϊκού οξέος

Τα 200 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 121.6 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).
- 360 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

Όπως και παραπάνω υπολογίσουμε τις θεωρητικές ποσότητες βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που θα παραχθούν από την αποδόμηση των 200 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος. Οι παραπάνω ποσότητες είναι οι εξής:

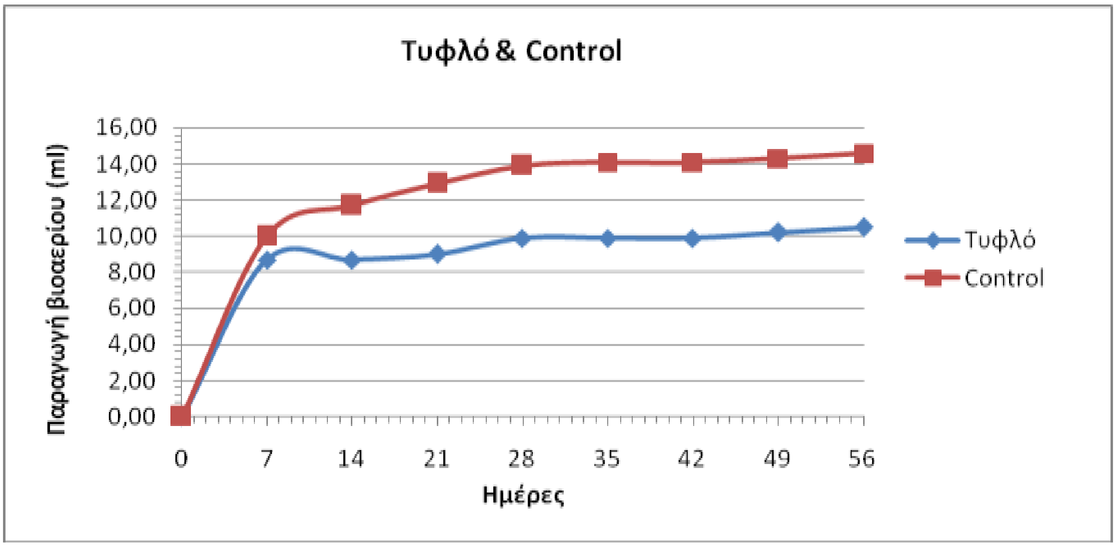
- 25.6 ml βιοαερίου.
- 12.8 ml CH_4.
- 12.8 ml CO_2.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος, συγκέντρωσης 200 ppm (Πίνακας 4-16).

Πίνακας 4-16: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 200 ppm.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
4-Ύδροξυ-Βενζοϊκό Οξύ 200 ppm										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	10,00	10,00	8,70	8,70	12,40	11,90	16,10	13,47	2,29	13,47
14	1,70	11,70	0,00	8,70	16,30	13,70	17,90	15,97	2,12	29,43
21	1,20	12,90	0,30	9,00	0,70	0,00	0,20	0,30	0,36	29,73
28	1,00	13,90	0,90	9,90	2,20	1,20	2,60	2,00	0,72	31,73
35	0,20	14,10	0,00	9,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,73
42	0,00	14,10	0,00	9,90	0,90	1,10	1,20	1,07	0,15	32,80
49	0,20	14,30	0,30	10,20	0,30	0,20	0,50	0,33	0,15	33,13
56	0,30	14,60	0,30	10,50	0,30	0,60	1,20	0,70	0,46	33,83

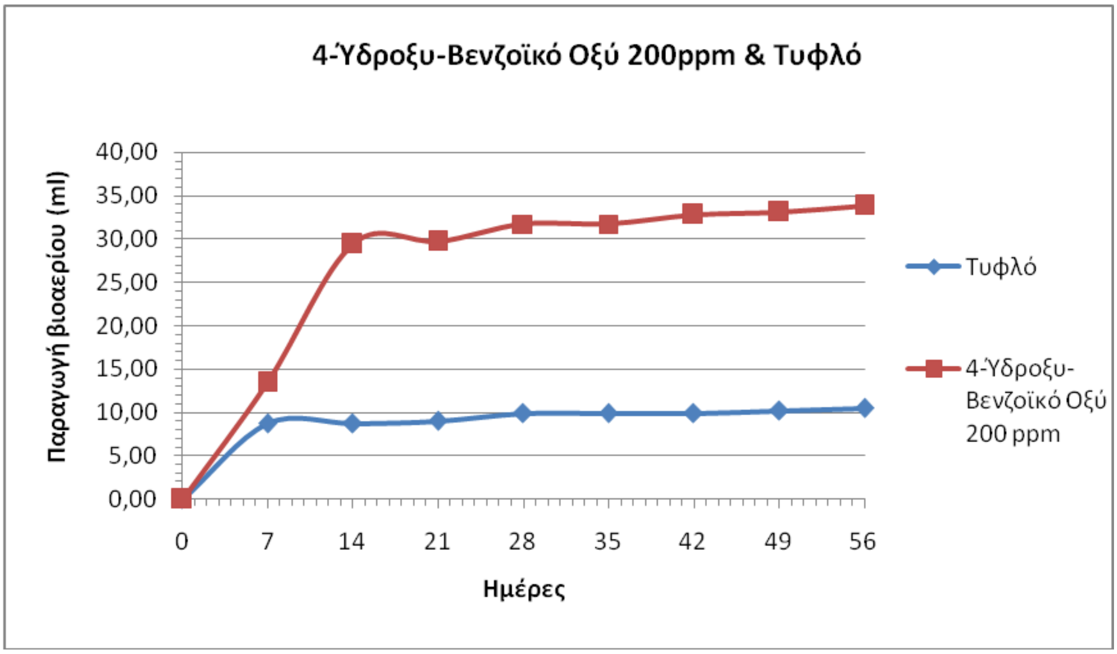
Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-23).



Εικόνα 4-23: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα όπως ακριβώς και στην προηγούμενες συγκεντρώσεις.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 200 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-24).



Εικόνα 4-24: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 200 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

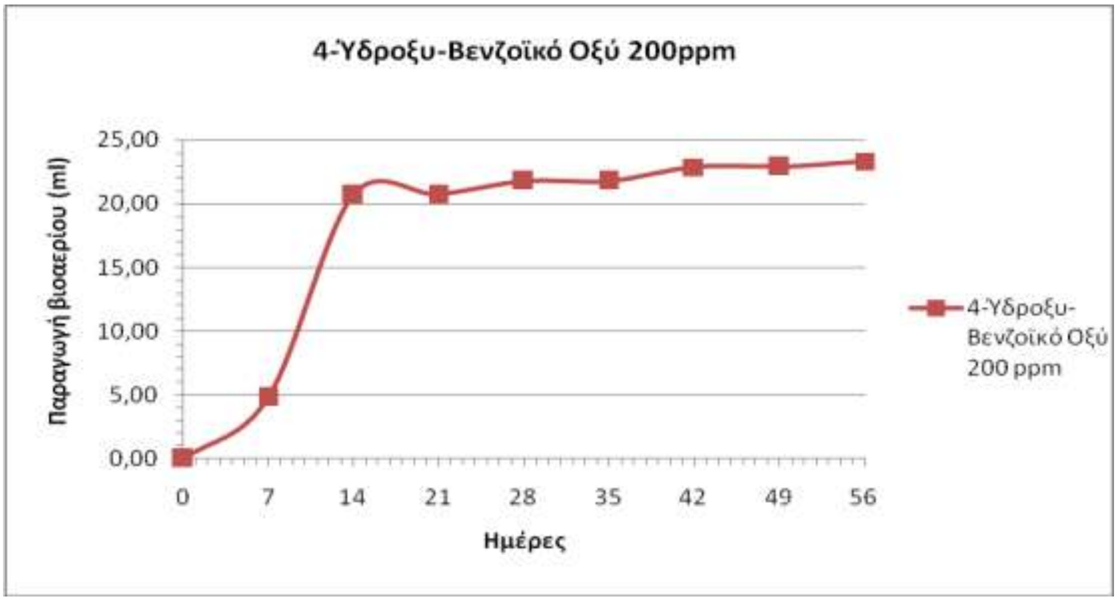
Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι και τα 200 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος όπως και οι άλλες δυο συγκεντρώσεις δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποδόμηση του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 200 ppm (Πίνακας 4-17).

Πίνακας 4-17: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής βιοαερίου από την αποδόμηση 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 200 ppm.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)						
4-Ύδροξυ-Βενζοϊκό Οξύ 200 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	3,70	3,20	7,40	4,77	2,29	4,77
14	16,30	13,70	17,90	15,97	2,12	20,73
21	0,40	-0,30	-0,10	0,00	0,36	20,73
28	1,30	0,30	1,70	1,10	0,72	21,83
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,83
42	0,90	1,10	1,20	1,07	0,15	22,90
49	0,00	-0,10	0,20	0,03	0,15	22,93
56	0,00	0,30	0,90	0,40	0,46	23,33

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 200 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-25).



Εικόνα 4-25: Παραγωγή βιοαερίου από τα 200ppm 4-υδροξυ-βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

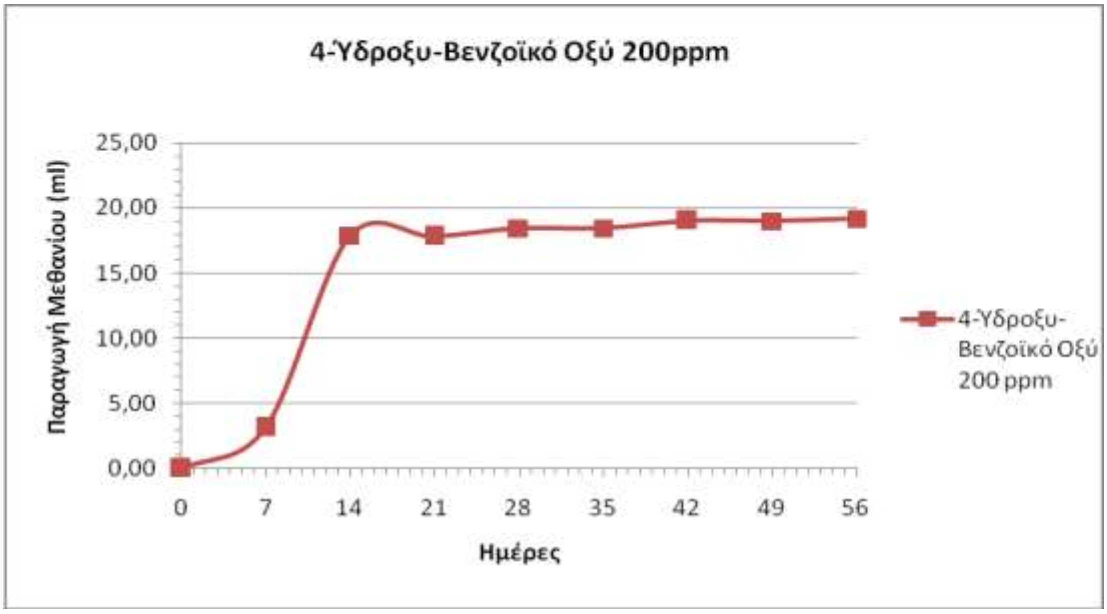
Όπως βλέπουμε στο παραπάνω γράφημα η αποικοδόμηση των 200 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος όπως και των δυο προηγούμενων συγκεντρώσεων εξελίχτηκε απόλυτα ομαλά φτάνοντας στη 89% στην δεύτερη εβδομάδα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής μεθανίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποδόμηση του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 200 ppm (Πίνακας 4-18).

Πίνακας 4-18: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής μεθανίου από την αποδόμηση 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος συγκέντρωσης 200 ppm.

Παραγωγή Μεθανίου (ml)						
4-Ύδροξυ-Βενζοϊκό Οξύ 200 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	2,40	2,00	5,00	3,13	1,63	3,13
14	15,60	12,40	16,30	14,77	2,08	17,90
21	0,10	-0,20	-0,10	-0,07	0,15	17,83
28	0,70	0,20	0,90	0,60	0,36	18,43
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,43
42	0,50	0,60	0,70	0,60	0,10	19,03
49	-0,10	-0,10	0,10	-0,03	0,12	19,00
56	-0,10	0,10	0,50	0,17	0,31	19,17

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή μεθανίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 200 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος (Εικόνα 4-26).



Εικόνα 4-26: Παραγωγή μεθανίου από τα 200ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

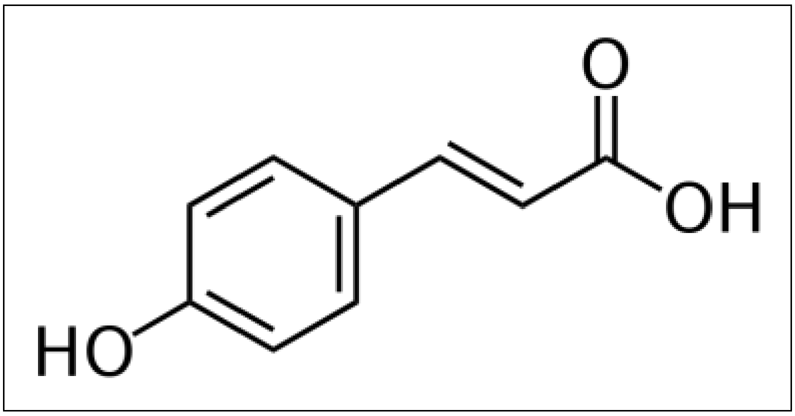
Όπως βλέπουμε παραπάνω η παραγωγή μεθανίου όπως ήταν λογικό κύλησε ομαλά με και έφτασε σε ποσοστό 80% της παραγωγής βιοαερίου.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD η οποία για το δείγμα των 200 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος ήταν 0 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι τα 200 ppm 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος αποικοδομήθηκαν πλήρως.

Συνοψίζοντας τώρα όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το 4-ύδροξυ-βενζοϊκό οξύ σε καμία από τις συγκεντρώσεις που εξετάσαμε δεν δημιούργησε κανένα πρόβλημα στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία της αναερόβιας αποδόμησης του, αποδομήθηκε πλήρως και σε γρήγορο χρονικό διάστημα.

4.4 4-ΚΟΥΜΑΡΙΚΟ ΟΞΥ

Το 4-κουμαρικό οξύ [$C_9H_8O_3$] είναι ένα φαινολικό οξύ το όποιο ανήκει στην υποκατηγορία των κιναμμικών οξέων. Το συναντάμε στην φύση σε ένα μεγάλο εύρος φυτών ως αντιοξειδωτικό. Επίσης χρησιμοποιείται στην χημική βιομηχανία καθώς επίσης και στην βιομηχανία τροφίμων όπως και το βενζοϊκό οξύ. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η χημική δομή του (Εικόνα 4-27).



Εικόνα 4-27: Χημική δομή 4-κουμαρικού οξέος.

Το 4-κουμαρικό οξύ αποδομείται αναερόβια σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

- $C_9H_8O_3 + 5.5\ H_2O \longrightarrow 4.75\ CH_4 + 4.25\ CO_2$

Όπως και τα προηγούμενα φαινολικά οξέα έτσι και το 4-κουμαρικό οξύ κρίθηκε σκόπιμο να υποστεί επεξεργασία σε συγκεντρώσεις των 50, 100 και 200 ppm στον αντιδραστήρα.

4.4.1 50ppm 4-Κουμαρικού οξέος

Τα 50 ppm 4-κουμαρικού οξέος πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 32.9 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).
- 90 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το οργανικό φορτίο και με την χρήση της παραπάνω εξίσωσης (βλ. κεφάλαιο 3) μπορούμε πολύ εύκολα να υπολογίσουμε τις θεωρητικές ποσότητες βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που θα παραχθούν από την αποδόμηση των 50 ppm 4-κουμαρικού οξέος. Οι παραπάνω ποσότητες είναι οι εξής:

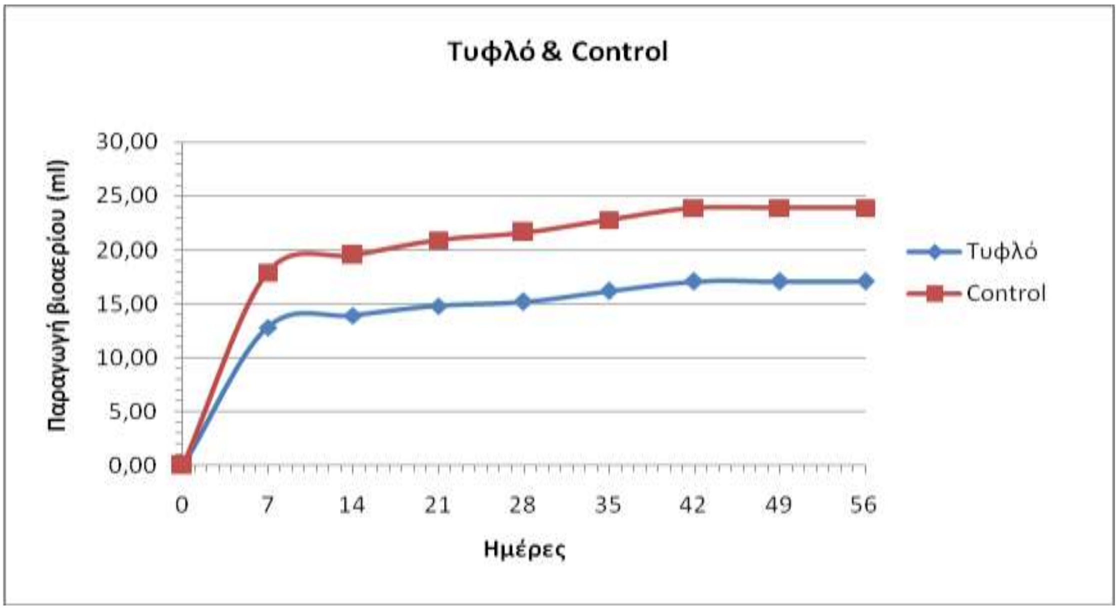
- 6.93 ml βιοαερίου.
- 3.66 ml CH_4.
- 3.27 ml CO_2.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση των 50 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Πίνακας 4-19).

Πίνακας 4-19: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης των 50 ppm 4-κουμαρικού οξέος.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
4-Κουμαρικό Οξύ 50 ppm										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	Νο 1	Νο 2	Νο 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	17,90	17,90	12,80	12,80	14,30	16,10	16,10	15,50	1,04	15,50
14	1,60	19,50	1,10	13,90	3,40	3,10	3,70	3,40	0,30	18,90
21	1,40	20,90	0,90	14,80	2,50	2,40	2,90	2,60	0,26	21,50
28	0,70	21,60	0,40	15,20	0,80	0,70	0,80	0,77	0,06	22,27
35	1,20	22,80	1,00	16,20	1,10	1,00	0,80	0,97	0,15	23,23
42	1,10	23,90	0,90	17,10	0,30	0,70	0,60	0,53	0,21	23,77
49	0,00	23,90	0,00	17,10	0,20	0,10	0,10	0,13	0,06	23,90
56	0,00	23,90	0,00	17,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,90

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-28).

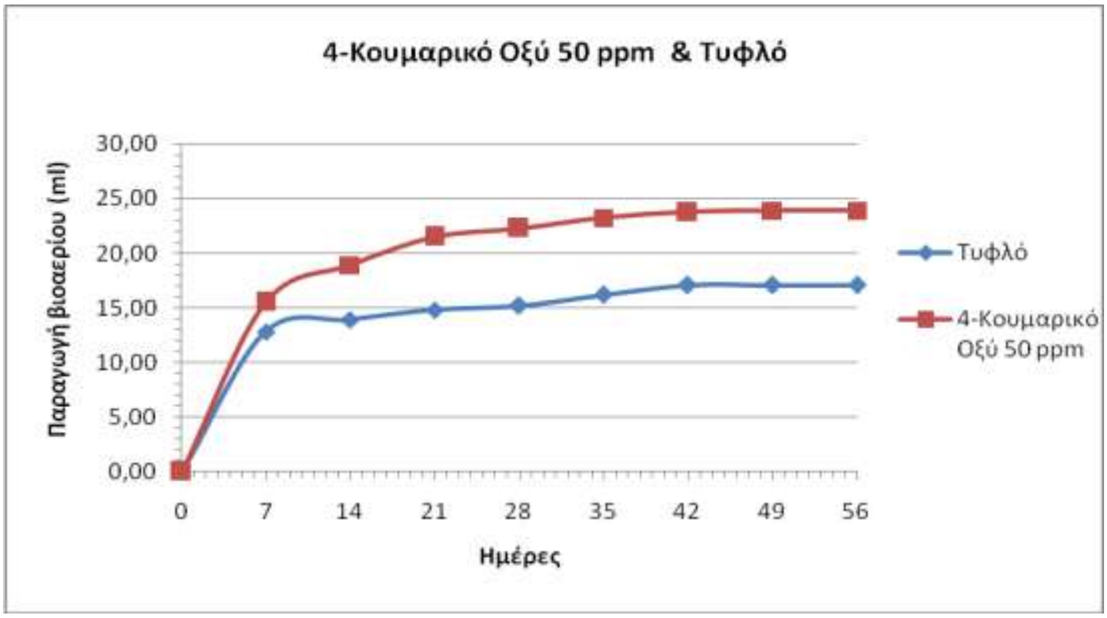


Εικόνα 4-28: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα.

Στο δείγμα ελέγχου είχε προστεθεί γλυκόζη σε συγκέντρωση 50 ppm. Όπως βλέπουμε και στο παραπάνω γράφημα η γλυκόζη δεν δημιούργησε κανένα πρόβλημα στην διαδικασία. Αυτό μας επιβεβαιώνει ότι η όλη διάταξη αναερόβιας αποικοδόμησης έχει "στηθεί" επιτυχώς.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 50 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Εικόνα 4-29).



Εικόνα 4-29: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 50ppm 4-κουμαρικού οξέος ως προς τον χρόνο.

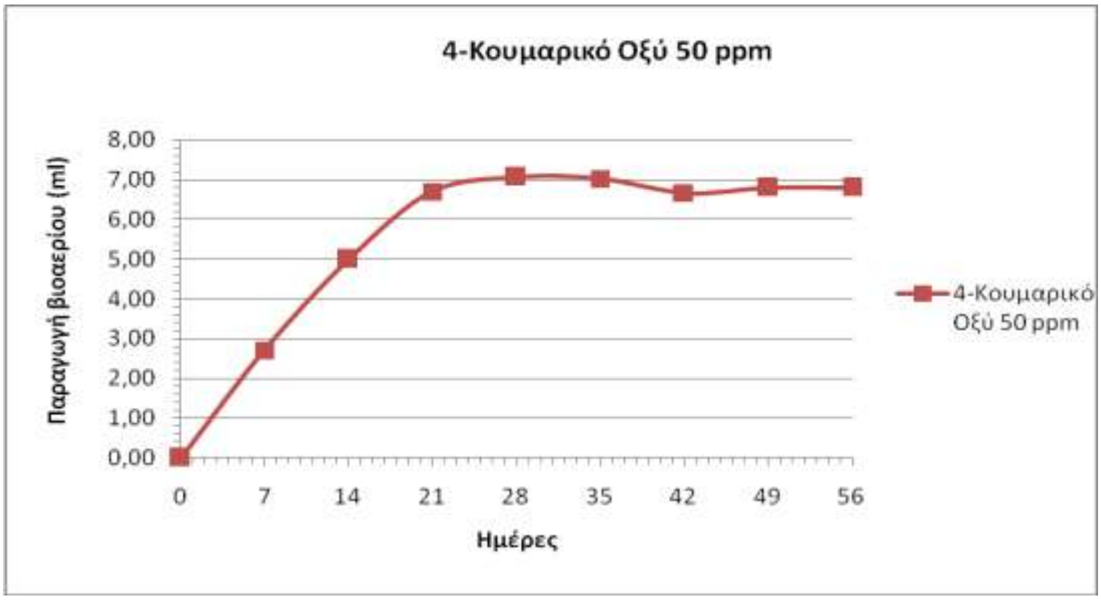
Όπως βλέπουμε τα 50 ppm 4-κουμαρικού οξέος δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποδόμηση των 50 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Πίνακας 4-20).

Πίνακας 4-20: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής βιοαερίου από την αποδόμηση των 50 ppm 4-κουμαρικού οξέος.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)						
4-Κουμαρικό Οξύ 50 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	1,50	3,30	3,30	2,70	1,04	2,70
14	2,30	2,00	2,60	2,30	0,30	5,00
21	1,60	1,50	2,00	1,70	0,26	6,70
28	0,40	0,30	0,40	0,37	0,06	7,07
35	0,10	0,00	-0,20	-0,03	0,15	7,03
42	-0,60	-0,20	-0,30	-0,37	0,21	6,67
49	0,20	0,10	0,10	0,13	0,06	6,80
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,80

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 50 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Εικόνα 4-30).



Εικόνα 4-30: Παραγωγή βιοαερίου από τα 50ppm 4-κουμαρικού οξέος ως προς τον χρόνο.

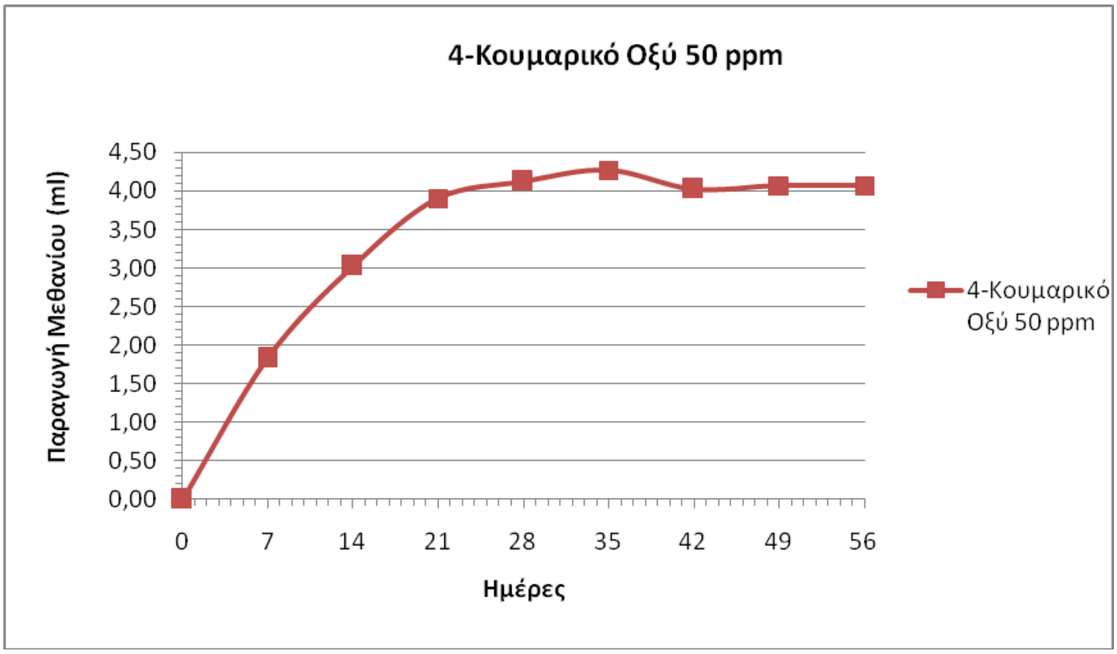
Όπως βλέπουμε η αποδόμηση κύλησε χωρίς κάποιο εμφανές πρόβλημα φτάνοντας στην τέταρτη εβδομάδα στο πέρας της. Η κάμψη που παρατηρείται μετά την τέταρτη εβδομάδα οφείλεται στο ότι η παραγωγή του τυφλού κράτησε μέχρι την έκτη εβδομάδα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής μεθανίου που οφείλετε αποκλειστικά στην αποδόμηση των 50 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Πίνακας 4-21).

Πίνακας 4-21: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής μεθανίου από την αποδόμηση των 50 ppm 4-κουμαρικού οξέος.

Παραγωγή Μεθανίου (ml)						
4-Κουμαρικό Οξύ 50 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	1,00	2,20	2,30	1,83	0,72	1,83
14	1,20	1,00	1,40	1,20	0,20	3,03
21	0,80	0,80	1,00	0,87	0,12	3,90
28	0,30	0,20	0,20	0,23	0,06	4,13
35	0,20	0,10	0,10	0,13	0,06	4,27
42	-0,30	-0,20	-0,20	-0,23	0,06	4,03
49	0,00	0,00	0,10	0,03	0,06	4,07
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,07

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή μεθανίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 50 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Εικόνα 4-31).



Εικόνα 4-31: Παραγωγή μεθανίου από τα 50ppm 4-κουμαρικού οξέος ως προς τον χρόνο.

Όπως βλέπουμε παραπάνω η παραγωγή μεθανίου όπως ήταν λογικό κύλησε ομαλά φθάνοντας στο μέγιστο την τέταρτη εβδομάδα. Η μείωση που παρουσιάζεται μετά την τέταρτη εβδομάδα οφείλεται όπως και παραπάνω στην παραγωγή του τυφλού την έκτη εβδομάδα. Η παραγωγή μεθανίου κινήθηκε σε ικανοποιητικά επίπεδα φθάνοντας σε ποσοστό 60% της παραγωγής βιοαερίου.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD η οποία για το δείγμα των 50 ppm 4-κουμαρικού οξέος ήταν 0 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι αποδομήθηκαν πλήρως.

4.4.2 100ppm 4-Κουμαρικού οξέος

Τα 100 ppm 4-κουμαρικού οξέος πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 65.8 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).
- 180 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

Όπως και παραπάνω υπολογίσουμε τις θεωρητικές ποσότητες βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που θα παραχθούν από την αποδόμηση των 100 ppm 4-κουμαρικού οξέος. Οι παραπάνω ποσότητες είναι οι εξής:

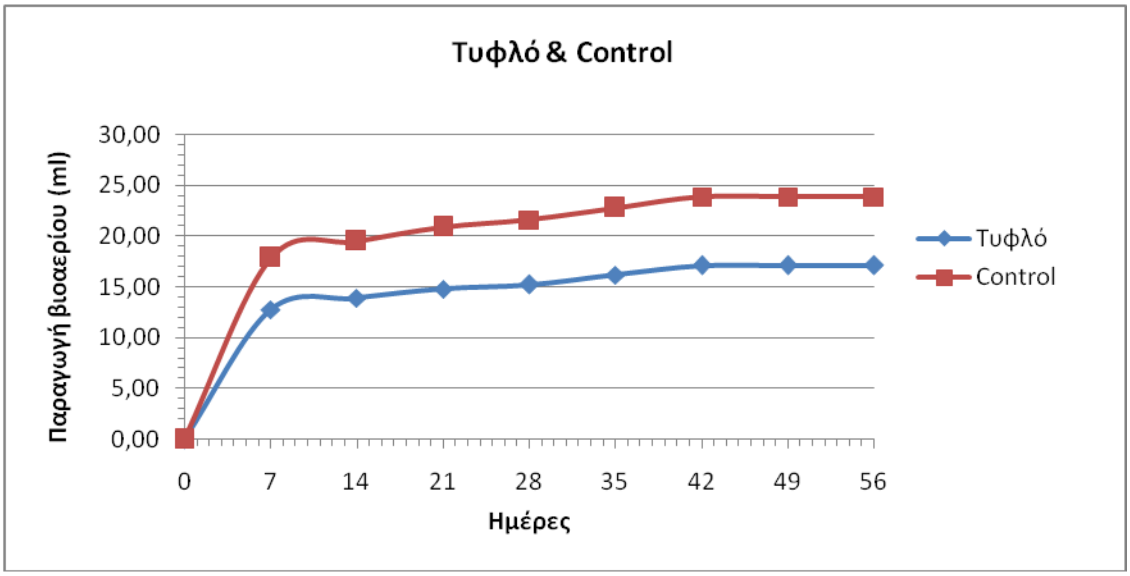
- 13.85 ml βιοαερίου.
- 7.31 ml CH_4.
- 6.54 ml CO_2.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση των 100 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Πίνακας 4-22).

Πίνακας 4-22: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης των 100 ppm 4-κουμαρικού οξέος.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
4-Κουμαρικό Οξύ 100 ppm										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	17,90	17,90	12,80	12,80	14,30	15,30	16,10	15,23	0,90	15,23
14	1,60	19,50	1,10	13,90	7,20	7,80	7,10	7,37	0,38	22,60
21	1,40	20,90	0,90	14,80	4,30	3,30	3,60	3,73	0,51	26,33
28	0,70	21,60	0,40	15,20	0,50	0,90	0,80	0,73	0,21	27,07
35	1,20	22,80	1,00	16,20	1,00	1,30	1,40	1,23	0,21	28,30
42	1,10	23,90	0,90	17,10	0,90	1,10	1,60	1,20	0,36	29,50
49	0,00	23,90	0,00	17,10	0,20	0,40	0,30	0,30	0,10	29,80
56	0,00	23,90	0,00	17,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,80

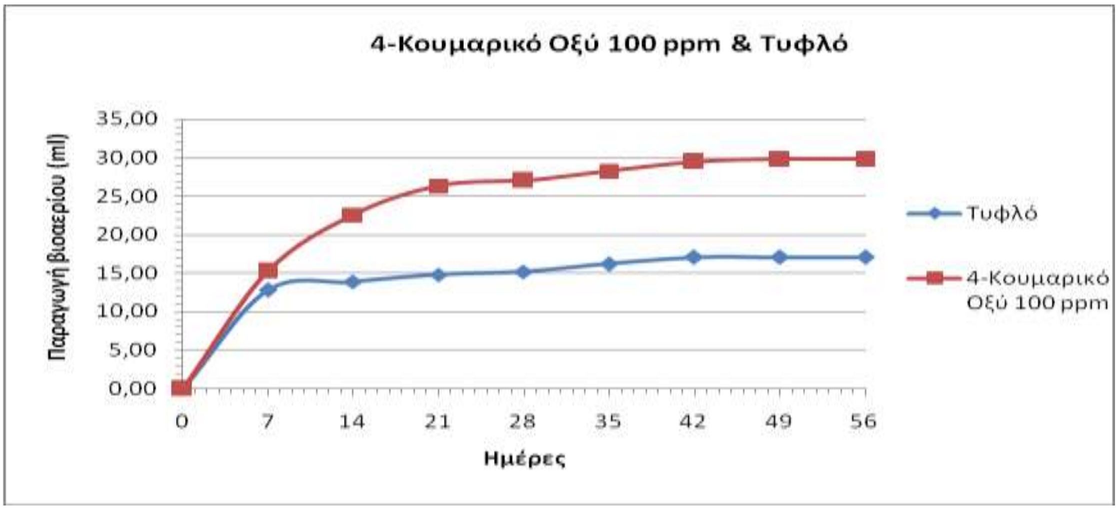
Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-32).



Εικόνα 4-32: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα όπως ακριβώς και στην προηγούμενη συγκέντρωση.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 100 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Εικόνα 4-33).



Εικόνα 4-33: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 100ppm 4-κουμαρικού οξέος ως προς τον χρόνο.

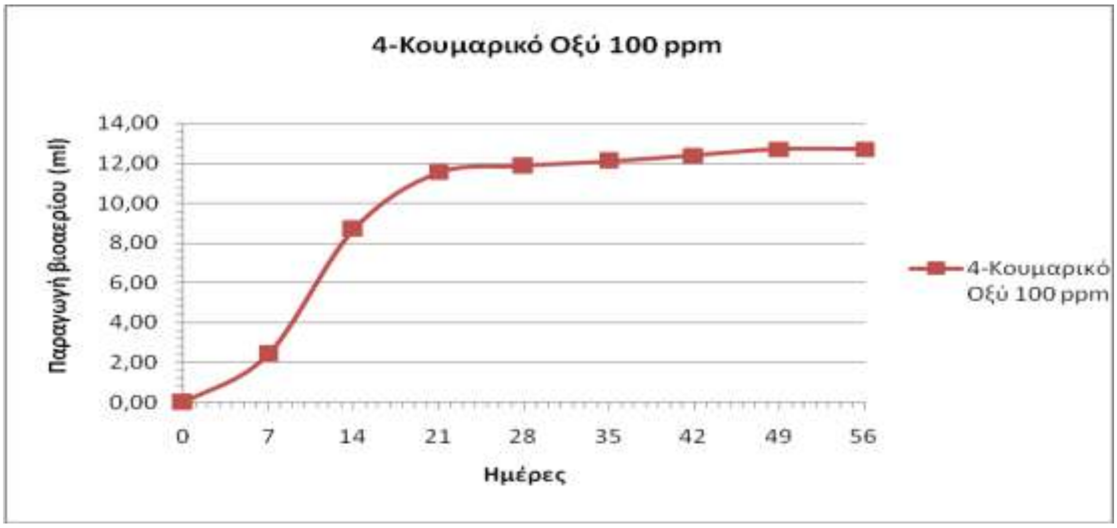
Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι τα 100 ppm 4-κουμαρικού οξέος δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποικοδόμηση των 100 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Πίνακας 4-23).

Πίνακας 4-23: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής βιοαερίου της αποδόμησης των 100ppm 4-κουμαρικού οξέος.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)						
4-Κουμαρικό Οξύ 100 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	1,50	2,50	3,30	2,43	0,90	2,43
14	6,10	6,70	6,00	6,27	0,38	8,70
21	3,40	2,40	2,70	2,83	0,51	11,53
28	0,10	0,50	0,40	0,33	0,21	11,87
35	0,00	0,30	0,40	0,23	0,21	12,10
42	0,00	0,20	0,70	0,30	0,36	12,40
49	0,20	0,40	0,30	0,30	0,10	12,70
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,70

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 100 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Εικόνα 4-34).



Εικόνα 4-34: Παραγωγή βιοαερίου από τα 100ppm 4-κουμαρικού οξέος ως προς τον χρόνο.

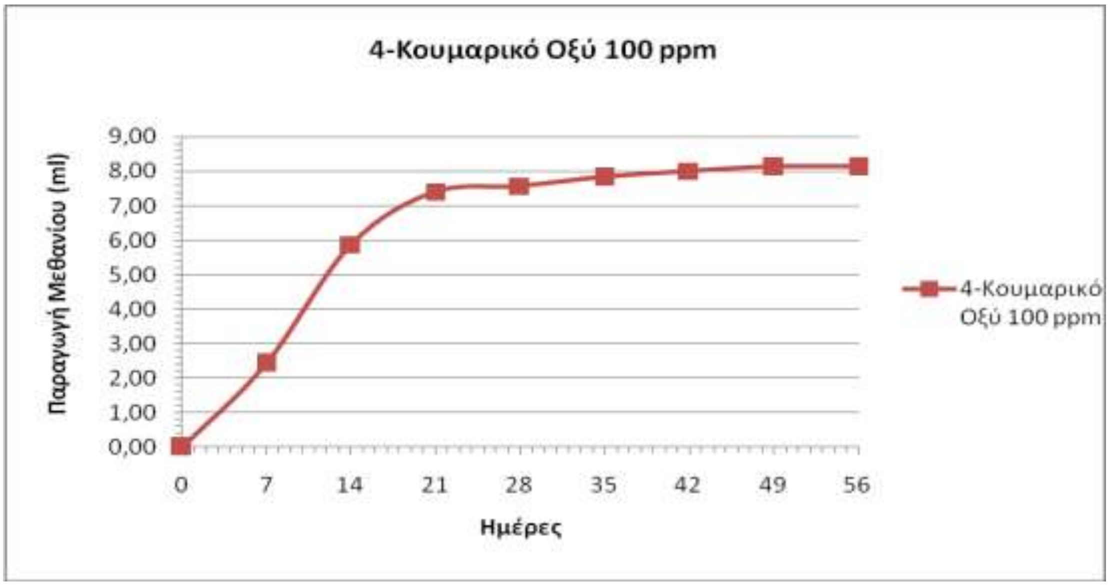
Όπως βλέπουμε στο παραπάνω γράφημα η αποδόμηση των 100 ppm 4-κουμαρικού οξέος εξελίχτηκε απόλυτα ομαλά έχοντας φτάσει σχεδόν στο τέλος της την τέταρτη εβδομάδα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής μεθανίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποικοδόμηση των 100 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Πίνακας 4-24).

Πίνακας 4-24: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής μεθανίου από την αποδόμηση των 100ppm 4-κουμαρικού οξέος.

Παραγωγή Μεθανίου (ml)						
4-Κουμαρικό Οξύ 100 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	1,80	1,80	3,70	2,43	1,10	2,43
14	3,30	3,70	3,30	3,43	0,23	5,87
21	1,80	1,30	1,50	1,53	0,25	7,40
28	0,00	0,30	0,20	0,17	0,15	7,57
35	0,20	0,30	0,30	0,27	0,06	7,83
42	-0,10	0,20	0,40	0,17	0,25	8,00
49	0,00	0,30	0,10	0,13	0,15	8,13
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,13

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή μεθανίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 100 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Εικόνα 4-35).



Εικόνα 4-35: Παραγωγή μεθανίου από τα 100ppm 4-κουμαρικού οξέος ως προς τον χρόνο.

Όπως βλέπουμε παραπάνω η παραγωγή μεθανίου όπως ήταν λογικό κύλησε ομαλά και έφτασε σε ποσοστό 64% της παραγωγής βιοαερίου.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD η οποία για το δείγμα των 100 ppm 4-κουμαρικού οξέος ήταν 0 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι τα 100 ppm 4-κουμαρικού οξέος αποδομήθηκαν πλήρως.

4.4.3 200ppm 4-Κουμαρικού οξέος

Τα 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 131.7 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).
- 360 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

Όπως και παραπάνω υπολογίσουμε τις θεωρητικές ποσότητες βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που θα παραχθούν από την αποικοδόμηση των 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος. Οι παραπάνω ποσότητες είναι οι εξής:

- 27.71 ml βιοαερίου.
- 14.62 ml CH_4.

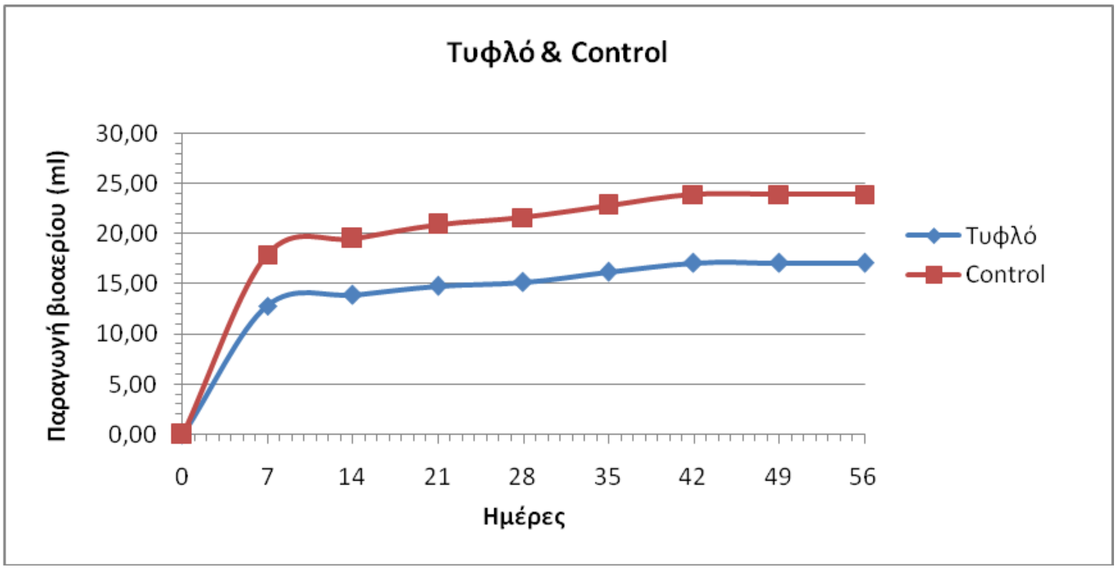
- 13.09 ml CO_2.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποικοδόμηση των 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Πίνακας 4-25).

Πίνακας 4-25: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης των 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
4-Κουμαρικό Οξύ 200 ppm										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	Νο 1	Νο 2	Νο 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	17,90	17,90	12,80	12,80	15,60	16,00	16,50	16,03	0,45	16,03
14	1,60	19,50	1,10	13,90	16,10	17,20	16,90	16,73	0,57	32,77
21	1,40	20,90	0,90	14,80	4,40	4,50	4,70	4,53	0,15	37,30
28	0,70	21,60	0,40	15,20	1,50	1,80	1,90	1,73	0,21	39,03
35	1,20	22,80	1,00	16,20	1,40	1,70	1,30	1,47	0,21	40,50
42	1,10	23,90	0,90	17,10	1,00	1,10	1,40	1,17	0,21	41,67
49	0,00	23,90	0,00	17,10	0,30	0,20	0,30	0,27	0,06	41,93
56	0,00	23,90	0,00	17,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,93

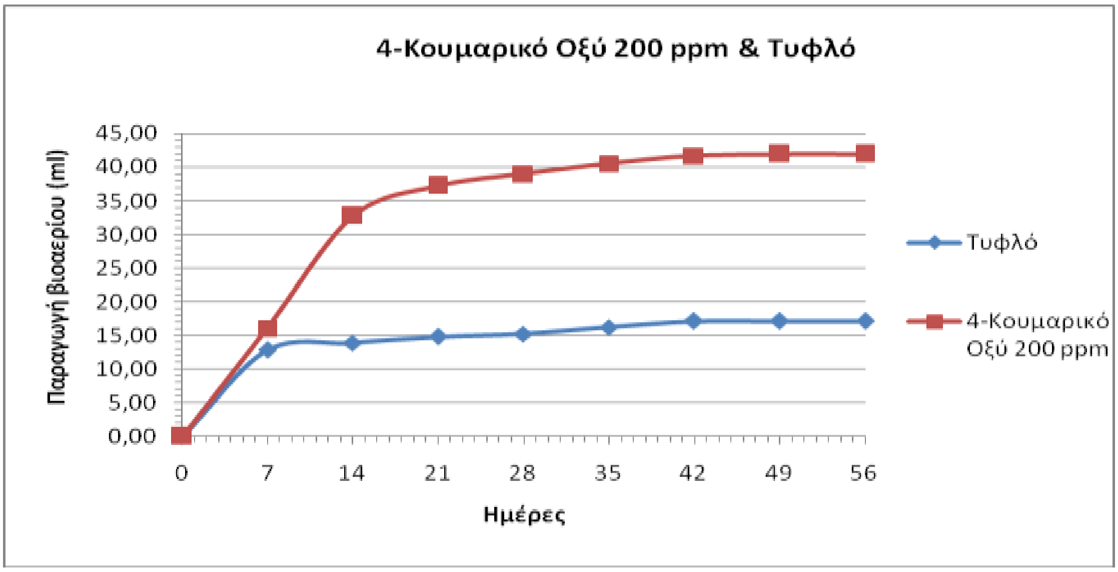
Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-36).



Εικόνα 4-36: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλισε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα όπως ακριβώς και στην προηγούμενες συγκεντρώσεις.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Εικόνα 4-37).



Εικόνα 4-37: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος ως προς τον χρόνο.

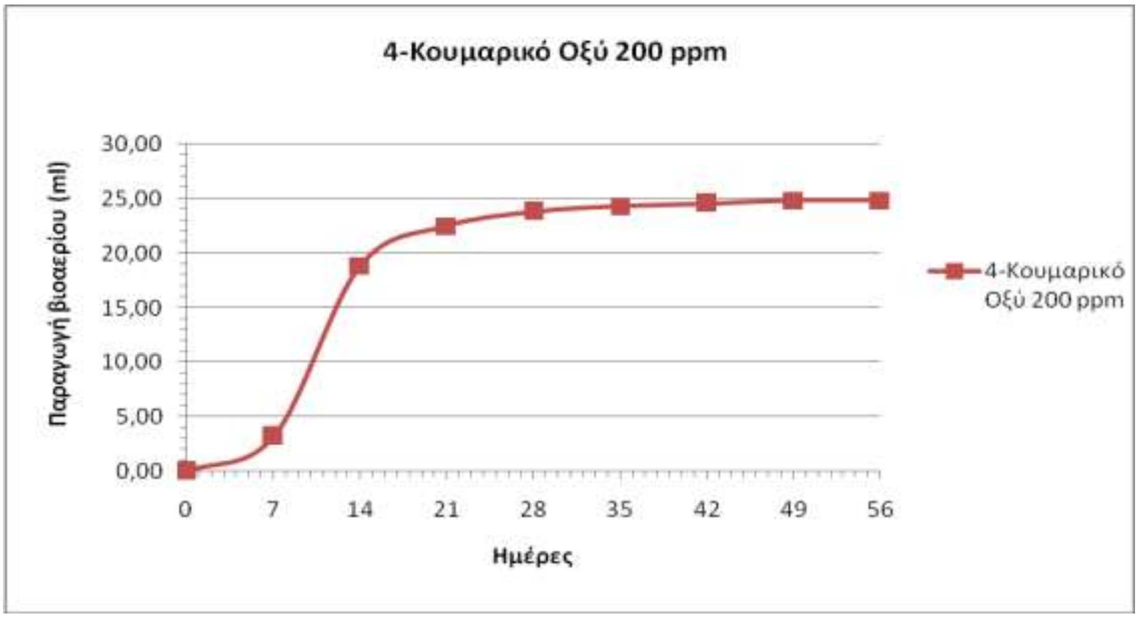
Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι και τα 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος όπως και οι άλλες δυο συγκεντρώσεις δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποδόμηση των 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Πίνακας 4-26).

Πίνακας 4-26: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής βιοαερίου από την αποδόμηση των 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)						
4-Κουμαρικό Οξύ 200 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	2,80	3,20	3,70	3,23	0,45	3,23
14	15,00	16,10	15,80	15,63	0,57	18,87
21	3,50	3,60	3,80	3,63	0,15	22,50
28	1,10	1,40	1,50	1,33	0,21	23,83
35	0,40	0,70	0,30	0,47	0,21	24,30
42	0,10	0,20	0,50	0,27	0,21	24,57
49	0,30	0,20	0,30	0,27	0,06	24,83
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,83

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Εικόνα 4-38).



Εικόνα 4-38: Παραγωγή βιοαερίου από τα 200ppm 4-κουμαρικού οξέος ως προς τον χρόνο.

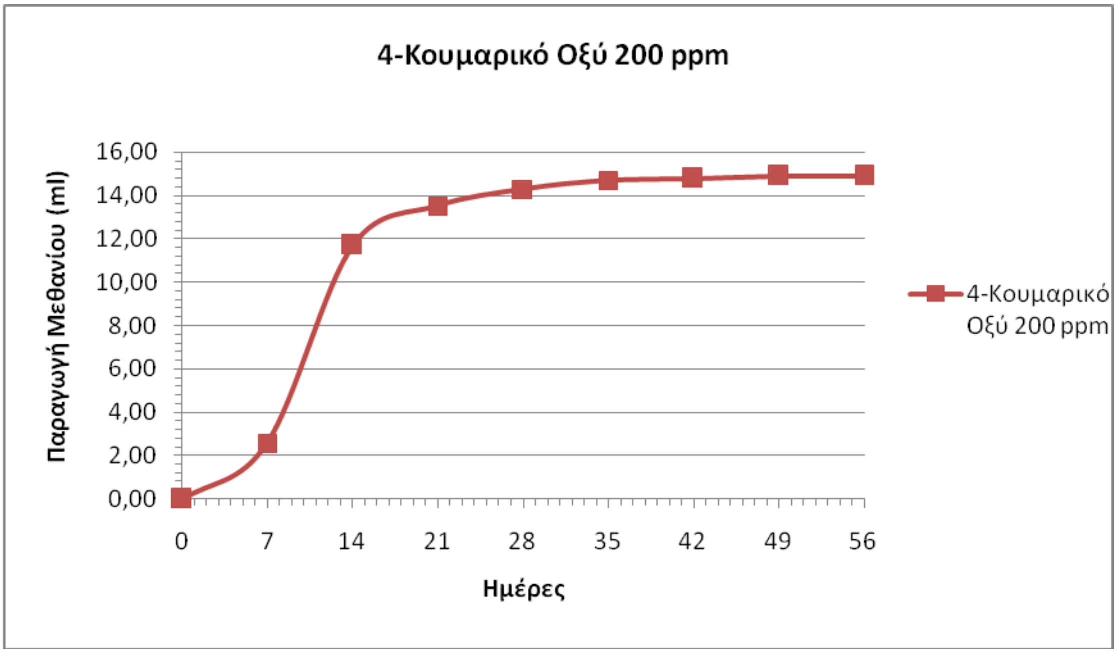
Όπως βλέπουμε στο παραπάνω γράφημα η αποδόμηση των 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος όπως και των δυο προηγούμενων συγκεντρώσεων εξελίχτηκε απόλυτα ομαλά φτάνοντας στην τέταρτη εβδομάδα σχεδόν στο τέλος.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής μεθανίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποδόμηση των 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Πίνακας 4-27).

Πίνακας 4-27: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής μεθανίου από την αποδόμηση των 200ppm 4-κουμαρικού οξέος.

Παραγωγή Μεθανίου (ml)						
4-Κουμαρικό Οξύ 200 ppm						
Ημέρες	Νο 1	Νο 2	Νο 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	2,50	2,50	2,70	2,57	0,12	2,57
14	8,80	9,40	9,20	9,13	0,31	11,70
21	1,80	1,80	1,90	1,83	0,06	13,53
28	0,60	0,80	0,90	0,77	0,15	14,30
35	0,30	0,50	0,40	0,40	0,10	14,70
42	0,00	0,00	0,30	0,10	0,17	14,80
49	0,20	0,00	0,10	0,10	0,10	14,90
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,90

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή μεθανίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος (Εικόνα 4-39).



Εικόνα 4-39: Παραγωγή μεθανίου από τα 200ppm 4-κουμαρικού οξέος ως προς τον χρόνο.

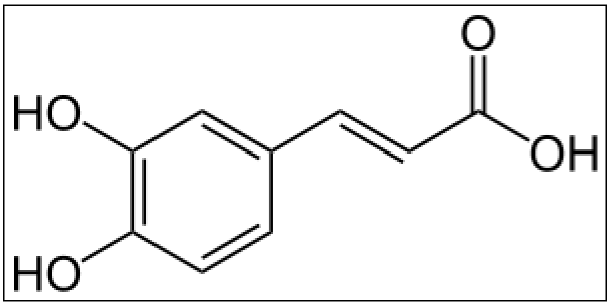
Όπως βλέπουμε παραπάνω η παραγωγή μεθανίου όπως ήταν λογικό κύλησε ομαλά με και έφτασε σε ποσοστό 60% της παραγωγής βιοαερίου.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD η οποία για το δείγμα των 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος ήταν 0 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι τα 200 ppm 4-κουμαρικού οξέος αποδομήθηκαν πλήρως.

Συνοψίζοντας τώρα όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το 4-κουμαρικό οξύ σε καμία από τις συγκεντρώσεις που εξετάσαμε δεν δημιούργησε κανένα πρόβλημα στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία της αναερόβιας αποικοδόμησης του, αποδομήθηκε πλήρως και σε γρήγορο χρονικό διάστημα.

4.5 ΚΑΦΕΪΚΟ ΟΞΥ

Το καφεϊκό οξύ [$C_9H_8O_4$] είναι ένα φαινολικό οξύ το όποιο ανήκει στην υποκατηγορία των κιναμμικών οξέων. Το συναντάμε στην φύση σε ένα μεγάλο εύρος φυτών σαν αντιοξειδωτικό. Επίσης χρησιμοποιείται στην χημική βιομηχανία καθώς επίσης και στην βιομηχανία τροφίμων όπως και το βενζοϊκό οξύ. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η χημική δομή του (Εικόνα 4-40).



Εικόνα 4-40: Χημική δομή καφεϊκού οξέος.

Το καφεϊκό οξύ αποδομείται αναερόβια σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

- $C_9H_8O_4 + 5\ H_2O \longrightarrow 4.5\ CH_4 + 4.5\ CO_2$

Όπως και τα προηγούμενα φαινολικά οξέα έτσι και το καφεϊκό οξύ κρίθηκε σκόπιμο να υποστεί επεξεργασία σε συγκεντρώσεις των 50, 100 και 200 ppm στον αντιδραστήρα.

4.5.1 50ppm Καφεϊκού οξέος

Τα 50 ppm καφεϊκού οξέος πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 30 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).

- 90 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το οργανικό φορτίο και με την χρήση της παραπάνω εξίσωσης (βλ. κεφάλαιο 3) μπορούμε πολύ εύκολα να υπολογίσουμε τις θεωρητικές ποσότητες βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που θα παραχθούν από την αποικοδόμηση των 50 ppm καφεϊκού οξέος. Οι παραπάνω ποσότητες είναι οι εξής:

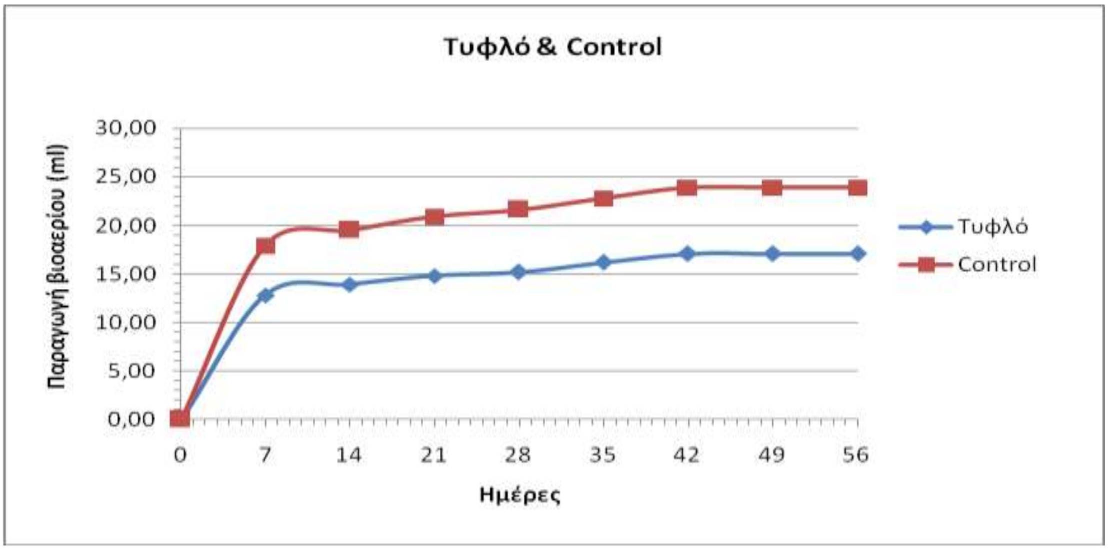
- 6.3 ml βιοαερίου.
- 3.15 ml CH_4.
- 3.15 ml CO_2.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση των 50 ppm καφεϊκού οξέος (Πίνακας 4-28).

Πίνακας 4-28: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης των 50 ppm καφεϊκού οξέος.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
Καφεϊκό Οξύ 50 ppm										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	17,90	17,90	12,80	12,80	13,50	15,30	15,60	14,80	1,14	14,80
14	1,60	19,50	1,10	13,90	3,60	4,50	3,90	4,00	0,46	18,80
21	1,40	20,90	0,90	14,80	2,40	2,60	2,90	2,63	0,25	21,43
28	0,70	21,60	0,40	15,20	0,80	1,00	0,70	0,83	0,15	22,27
35	1,20	22,80	1,00	16,20	1,10	1,20	1,10	1,13	0,06	23,40
42	1,10	23,90	0,90	17,10	1,00	0,90	0,80	0,90	0,10	24,30
49	0,00	23,90	0,00	17,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,30
56	0,00	23,90	0,00	17,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,30

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-41).

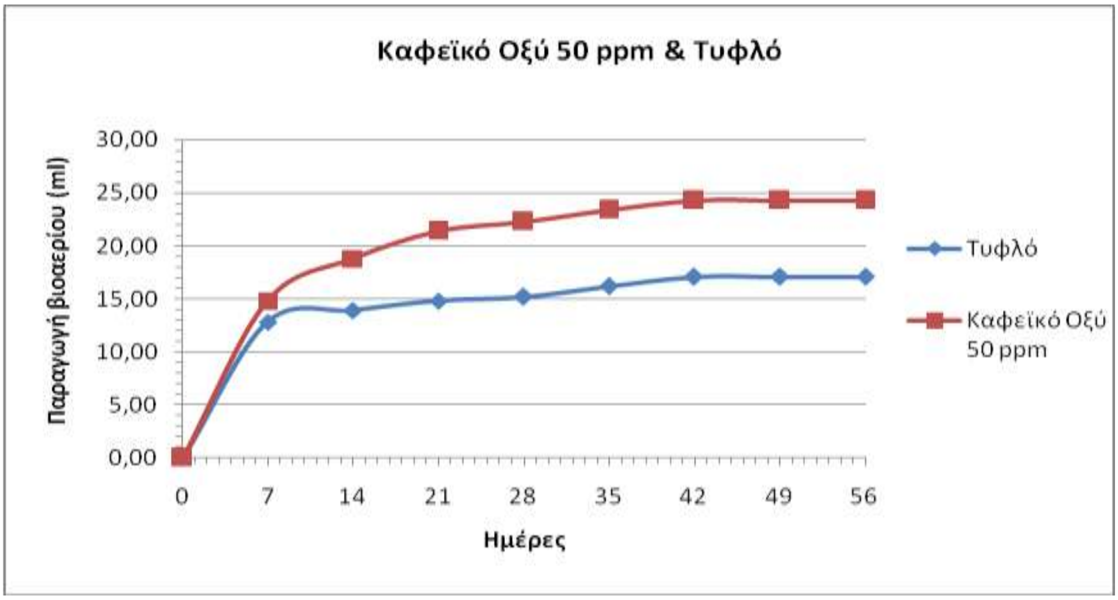


Εικόνα 4-41: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα.

Στο δείγμα ελέγχου είχε προστεθεί γλυκόζη σε συγκέντρωση 50 ppm. Όπως βλέπουμε και στο παραπάνω γράφημα η γλυκόζη δεν δημιούργησε κανένα πρόβλημα στην διαδικασία. Αυτό μας επιβεβαιώνει ότι η όλη διάταξη αναερόβιας αποδόμησης έχει "στηθεί" επιτυχώς.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 50 ppm καφεϊκού οξέος (Εικόνα 4-42).



Εικόνα 4-42: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 50ppm καφεϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

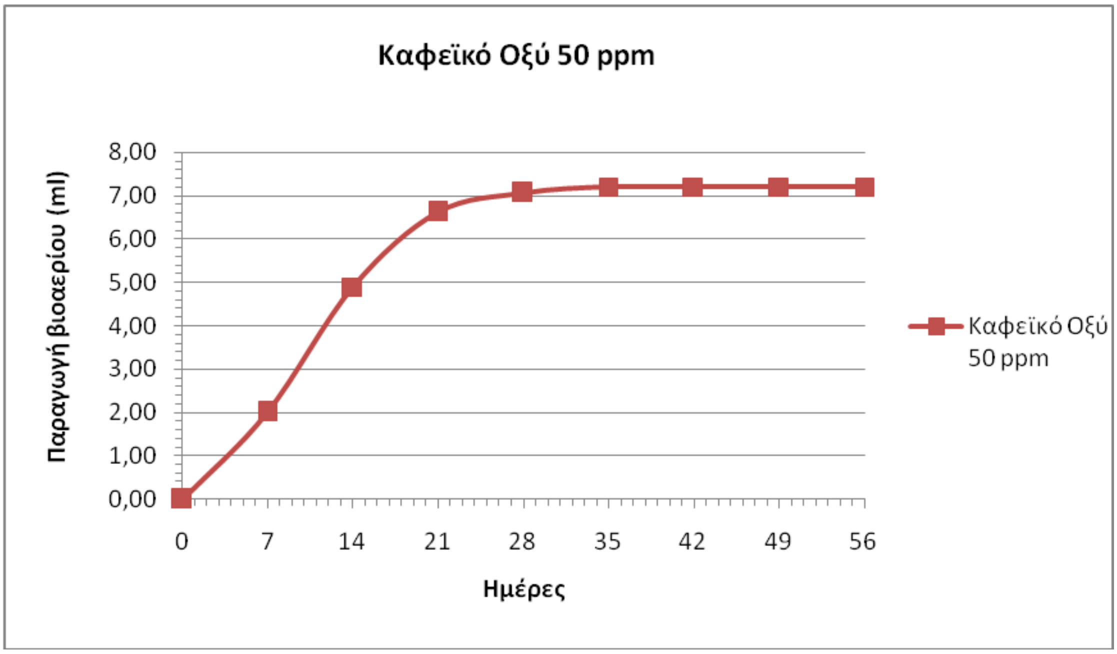
Όπως βλέπουμε τα 50 ppm καφεϊκού οξέος δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποδόμηση των 50 ppm καφεϊκού οξέος (Πίνακας 4-29).

Πίνακας 4-29: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής βιοαερίου από την αποδόμηση των 50 ppm καφεϊκού οξέος.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)						
Καφεϊκό Οξύ 50 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,70	2,50	2,80	2,00	1,14	2,00
14	2,50	3,40	2,80	2,90	0,46	4,90
21	1,50	1,70	2,00	1,73	0,25	6,63
28	0,40	0,60	0,30	0,43	0,15	7,07
35	0,10	0,20	0,10	0,13	0,06	7,20
42	0,10	0,00	-0,10	0,00	0,10	7,20
49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,20
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,20

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 50 ppm καφεϊκού οξέος (Εικόνα 4-43).



Εικόνα 4-43: Παραγωγή βιοαερίου από τα 50ppm καφεϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

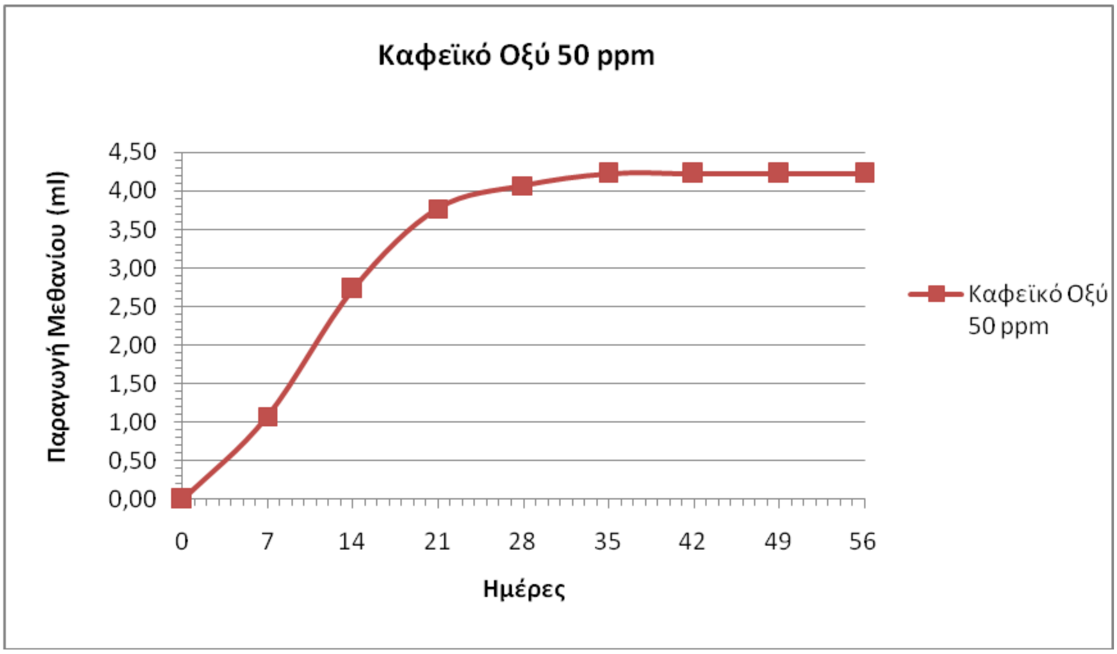
Όπως βλέπουμε η αποδόμηση κύλησε χωρίς κάποιο εμφανές πρόβλημα φτάνοντας στην τέταρτη εβδομάδα στο πέρας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής μεθανίου που οφείλετε αποκλειστικά στην αποικοδόμηση των 50 ppm καφεϊκού οξέος (Πίνακας 4-30).

Πίνακας 4-30: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής μεθανίου από την αποδόμηση των 50 ppm καφεϊκού οξέος.

Παραγωγή Μεθανίου (ml)						
Καφεϊκό Οξύ 50 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,40	0,90	1,90	1,07	0,76	1,07
14	1,40	2,00	1,60	1,67	0,31	2,73
21	0,90	1,00	1,20	1,03	0,15	3,77
28	0,30	0,40	0,20	0,30	0,10	4,07
35	0,20	0,20	0,10	0,17	0,06	4,23
42	0,10	-0,10	0,00	0,00	0,10	4,23
49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,23
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,23

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή μεθανίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 50 ppm καφεϊκού οξέος (Εικόνα 4-44).



Εικόνα 4-44: Παραγωγή μεθανίου από τα 50ppm καφεϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Όπως βλέπουμε παραπάνω η παραγωγή μεθανίου όπως ήταν λογικό κύλησε ομαλά. Η παραγωγή μεθανίου κινήθηκε σε ικανοποιητικά επίπεδα φθάνοντας σε ποσοστό 59% της παραγωγής βιοαερίου.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD η οποία για το δείγμα των 50 ppm καφεϊκού οξέος ήταν 0 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι αποδομήθηκαν πλήρως.

4.5.2 100ppm Καφεϊκού οξέος

Τα 100 ppm καφεϊκού οξέος πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 60 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).
- 180 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

Όπως και παραπάνω υπολογίσουμε τις θεωρητικές ποσότητες βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που θα παραχθούν από την αποδόμηση των 100 ppm καφεϊκού οξέος. Οι παραπάνω ποσότητες είναι οι εξής:

- 12.62 ml βιοαερίου.

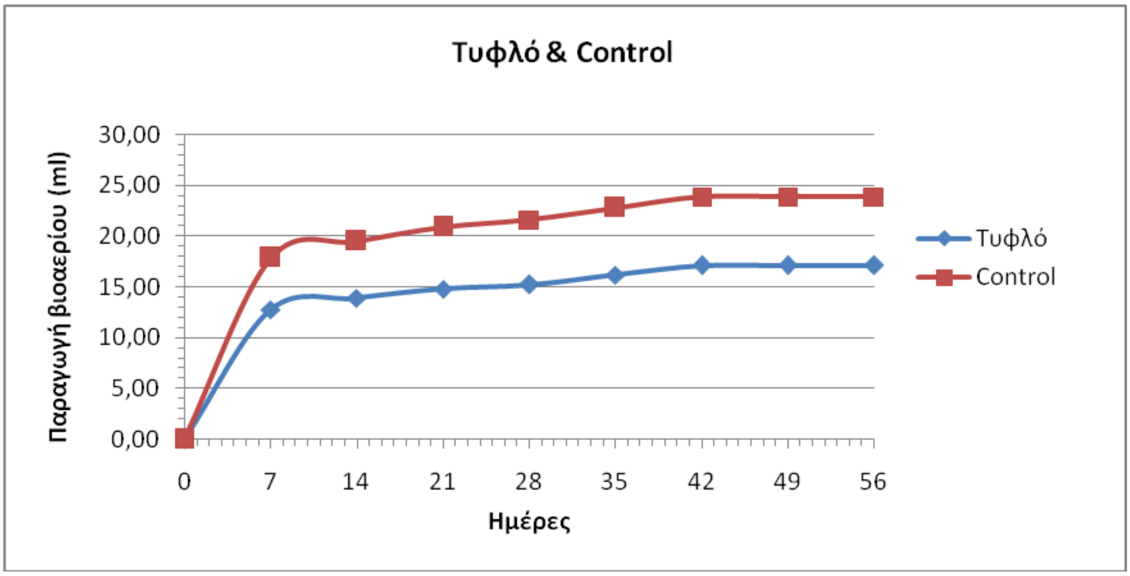
- 6.31 ml CH_4.
- 6.31 ml CO_2.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση των 100 ppm καφεϊκού οξέος (Πίνακας 4-31).

Πίνακας 4-31: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης των 100 ppm καφεϊκού οξέος.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
Καφεϊκό Οξύ 100 ppm										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	17,90	17,90	12,80	12,80	15,50	13,00	16,90	15,13	1,98	15,13
14	1,60	19,50	1,10	13,90	5,80	7,50	7,40	6,90	0,95	22,03
21	1,40	20,90	0,90	14,80	3,80	3,70	3,10	3,53	0,38	25,57
28	0,70	21,60	0,40	15,20	1,40	1,30	1,70	1,47	0,21	27,03
35	1,20	22,80	1,00	16,20	1,50	1,20	1,20	1,30	0,17	28,33
42	1,10	23,90	0,90	17,10	1,20	1,50	1,10	1,27	0,21	29,60
49	0,00	23,90	0,00	17,10	0,10	0,20	0,20	0,17	0,06	29,77
56	0,00	23,90	0,00	17,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,77

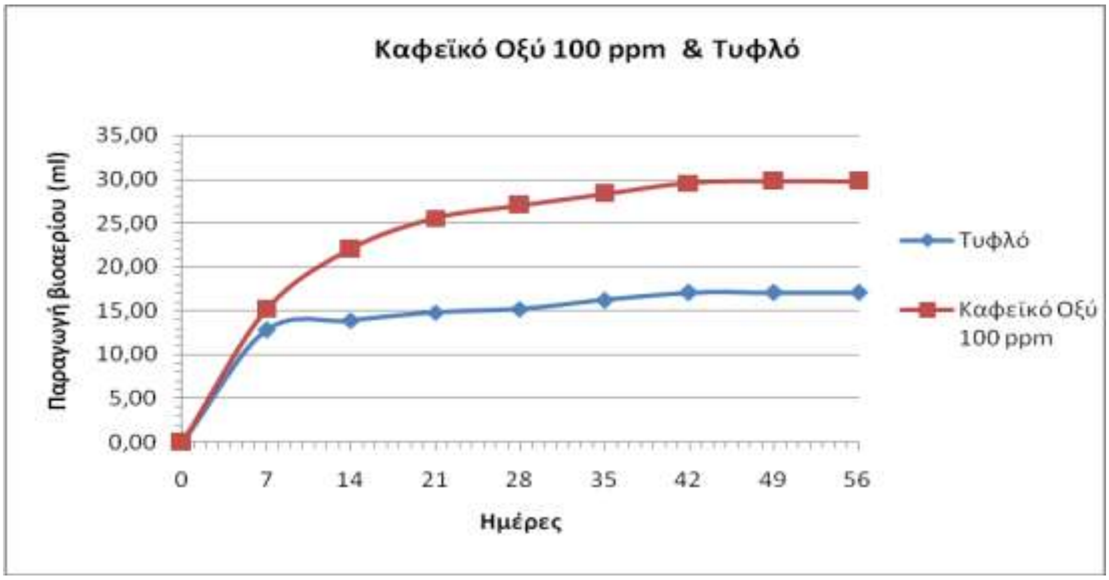
Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-45).



Εικόνα 4-45: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα όπως ακριβώς και στην προηγούμενη συγκέντρωση.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 100 ppm καφεϊκού οξέος (Εικόνα 4-46).



Εικόνα 4-46: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 100ppm καφεϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

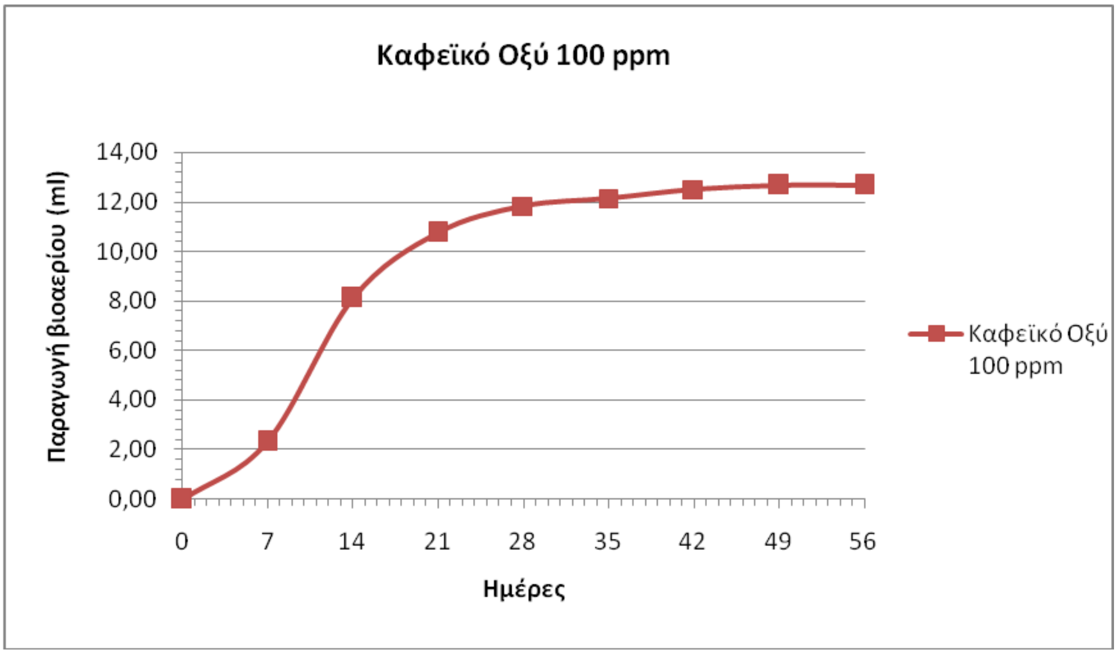
Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι τα 100 ppm καφεϊκού οξέος δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου που οφείλετε αποκλειστικά στην αποικοδόμηση των 100 ppm καφεϊκού οξέος (Πίνακας 4-32).

Πίνακας 4-32: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής βιοαερίου της αποδόμησης των 100ppm καφεϊκού οξέος.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)						
Καφεϊκό Οξύ 100 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	M.O.	T.A.	A.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	2,70	0,20	4,10	2,33	1,98	2,33
14	4,70	6,40	6,30	5,80	0,95	8,13
21	2,90	2,80	2,20	2,63	0,38	10,77
28	1,00	0,90	1,30	1,07	0,21	11,83
35	0,50	0,20	0,20	0,30	0,17	12,13
42	0,30	0,60	0,20	0,37	0,21	12,50
49	0,10	0,20	0,20	0,17	0,06	12,67
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,67

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 100 ppm καφεϊκού οξέος (Εικόνα 4-47).



Εικόνα 4-47: Παραγωγή βιοαερίου από τα 100ppm καφεϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

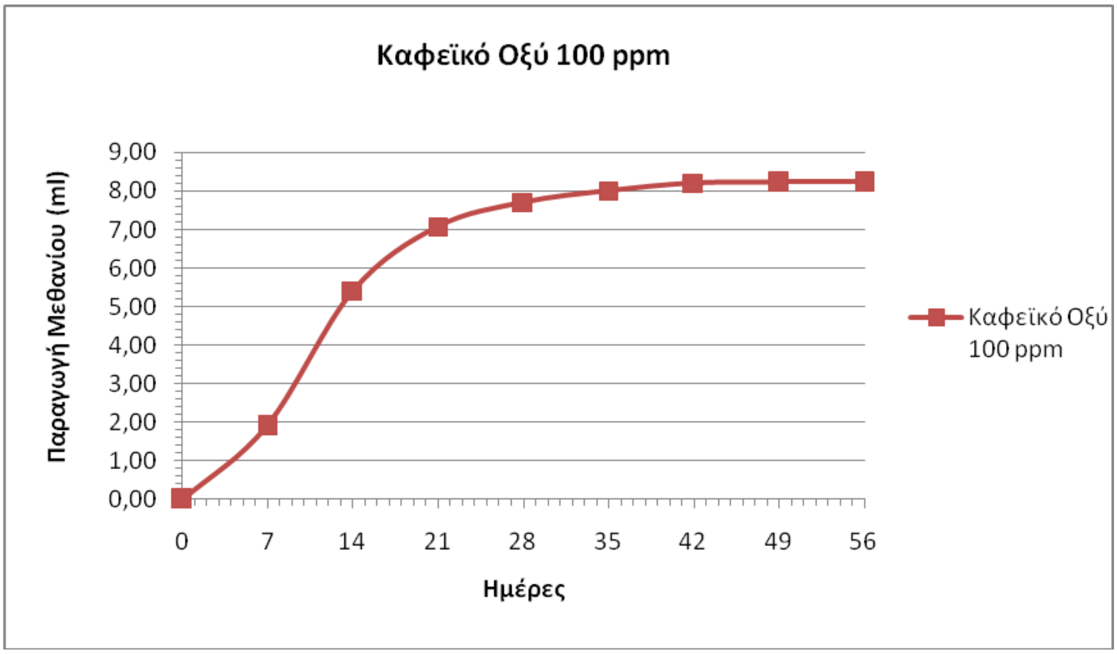
Όπως βλέπουμε στο παραπάνω γράφημα η αποδόμηση των 100 ppm καφεϊκού οξέος εξελίχτηκε απόλυτα ομαλά έχοντας φτάσει σχεδόν στο τέλος της την τέταρτη εβδομάδα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής μεθανίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποικοδόμηση των 100 ppm καφεϊκού οξέος (Πίνακας 4-33).

Πίνακας 4-33: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής μεθανίου από την αποδόμηση των 100ppm καφεϊκού οξέος.

Παραγωγή Μεθανίου (ml)						
Καφεϊκό Οξύ 100 ppm						
Ημέρες	Νο 1	Νο 2	Νο 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	1,80	0,90	3,00	1,90	1,05	1,90
14	2,80	3,80	3,90	3,50	0,61	5,40
21	1,80	1,80	1,40	1,67	0,23	7,07
28	0,60	0,50	0,80	0,63	0,15	7,70
35	0,40	0,20	0,30	0,30	0,10	8,00
42	0,20	0,30	0,10	0,20	0,10	8,20
49	0,00	0,00	0,10	0,03	0,06	8,23
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,23

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή μεθανίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 100 ppm καφεϊκού οξέος (Εικόνα 4-48).



Εικόνα 4-48: Παραγωγή μεθανίου από τα 100ppm καφεϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Όπως βλέπουμε παραπάνω η παραγωγή μεθανίου όπως ήταν λογικό κύλησε ομαλά και έφτασε σε ποσοστό 65% της παραγωγής βιοαερίου.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD η οποία για το δείγμα των 100 ppm καφεϊκού οξέος ήταν 0 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι αποδομήθηκαν πλήρως.

4.5.3 200ppm Καφεϊκού οξέος

Τα 200 ppm καφεϊκού οξέος πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 120 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).
- 360 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

Όπως και παραπάνω υπολογίσουμε τις θεωρητικές ποσότητες βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που θα παραχθούν από την αποδόμηση των 200 ppm καφεϊκού οξέος. Οι παραπάνω ποσότητες είναι οι εξής:

- 25.24 ml βιοαερίου.
- 12.62 ml CH_4.

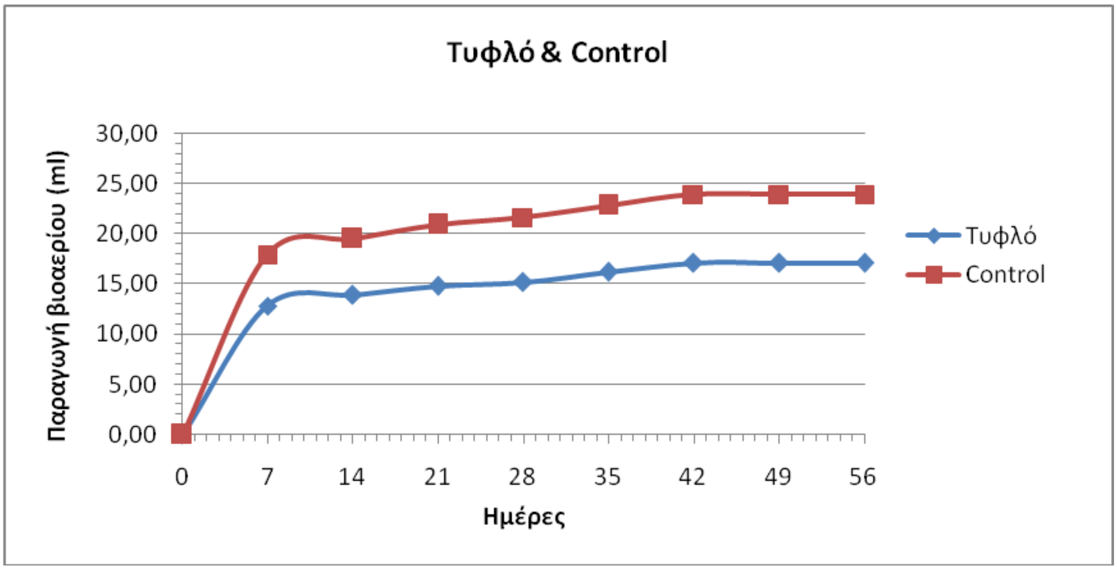
- 12.62 ml CO_2.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση των 200 ppm καφεϊκού οξέος (Πίνακας 4-34).

Πίνακας 4-34: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης των 200 ppm καφεϊκού οξέος.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
Καφεϊκό Οξύ 200 ppm										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	17,90	17,90	12,80	12,80	15,90	16,60	21,40	17,97	2,99	17,97
14	1,60	19,50	1,10	13,90	10,60	9,20	9,40	9,73	0,76	27,70
21	1,40	20,90	0,90	14,80	8,20	9,70	10,60	9,50	1,21	37,20
28	0,70	21,60	0,40	15,20	2,50	2,70	2,80	2,67	0,15	39,87
35	1,20	22,80	1,00	16,20	1,70	1,30	1,40	1,47	0,21	41,33
42	1,10	23,90	0,90	17,10	1,30	1,60	1,90	1,60	0,30	42,93
49	0,00	23,90	0,00	17,10	0,30	0,20	0,40	0,30	0,10	43,23
56	0,00	23,90	0,00	17,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,23

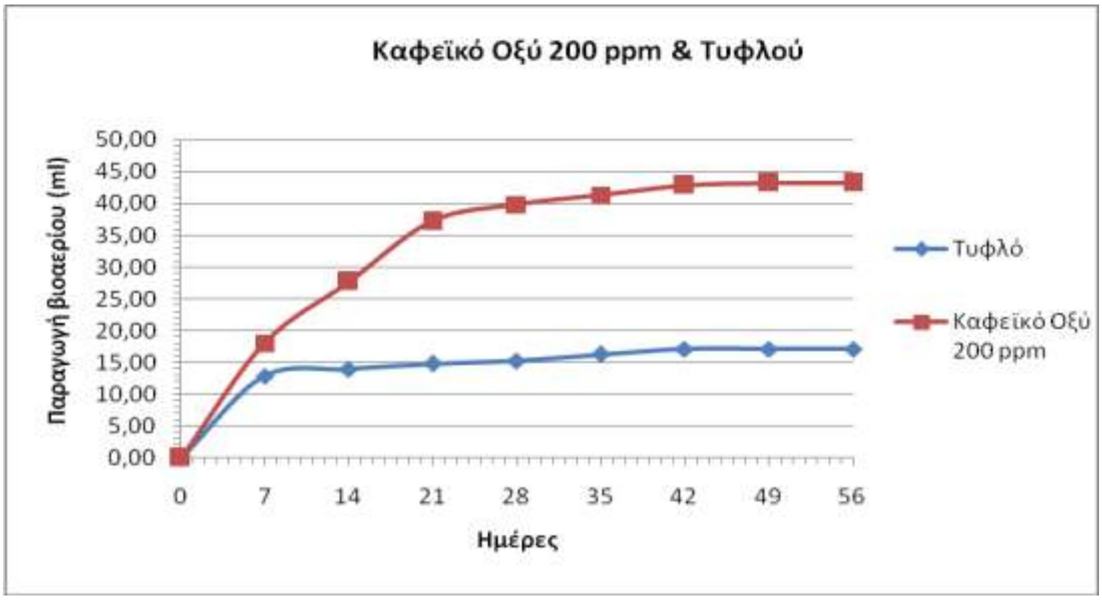
Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-49).



Εικόνα 4-49: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα όπως ακριβώς και στην προηγούμενες συγκεντρώσεις.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 200 ppm καφεϊκού οξέος (Εικόνα 4-50).



Εικόνα 4-50: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 200 ppm καφεϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

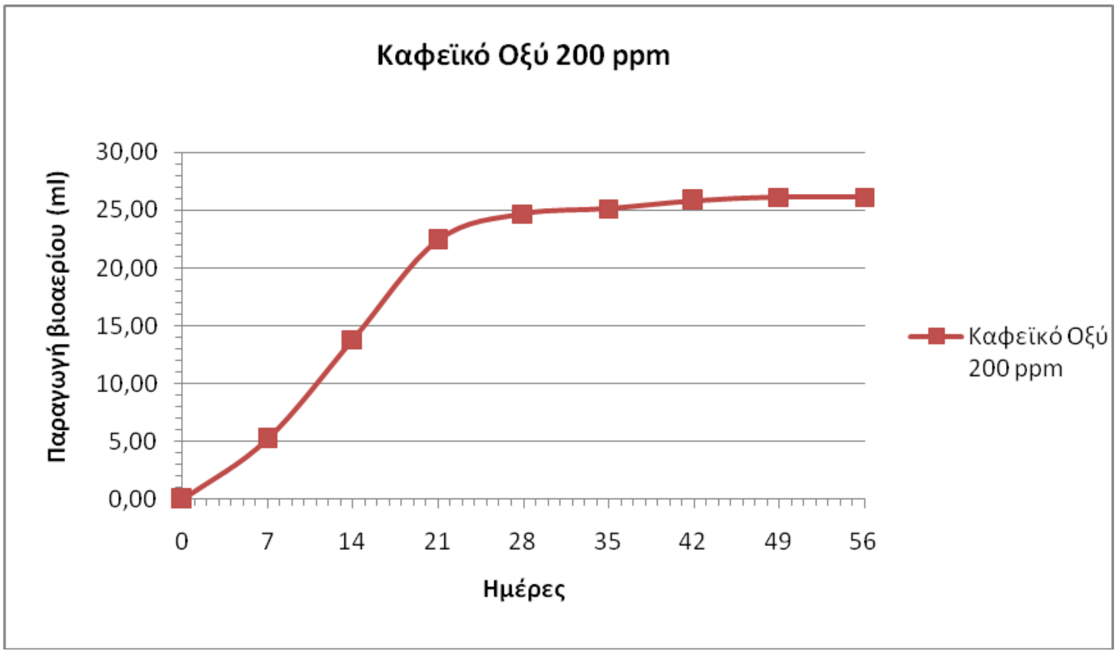
Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι και τα 200 ppm καφεϊκού οξέος όπως και οι άλλες δυο συγκεντρώσεις δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποδόμηση των 200 ppm καφεϊκού οξέος (Πίνακας 4-35).

Πίνακας 4-35: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής βιοαερίου από την αποδόμηση των 200 ppm καφεϊκού οξέος.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)						
Καφεϊκό Οξύ 200 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	M.O.	T.A.	A.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	3,10	3,80	8,60	5,17	2,99	5,17
14	9,50	8,10	8,30	8,63	0,76	13,80
21	7,30	8,80	9,70	8,60	1,21	22,40
28	2,10	2,30	2,40	2,27	0,15	24,67
35	0,70	0,30	0,40	0,47	0,21	25,13
42	0,40	0,70	1,00	0,70	0,30	25,83
49	0,30	0,20	0,40	0,30	0,10	26,13
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,13

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 200 ppm καφεϊκού οξέος (Εικόνα 4-51).



Εικόνα 4-51: Παραγωγή βιοαερίου από τα 200ppm καφεϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

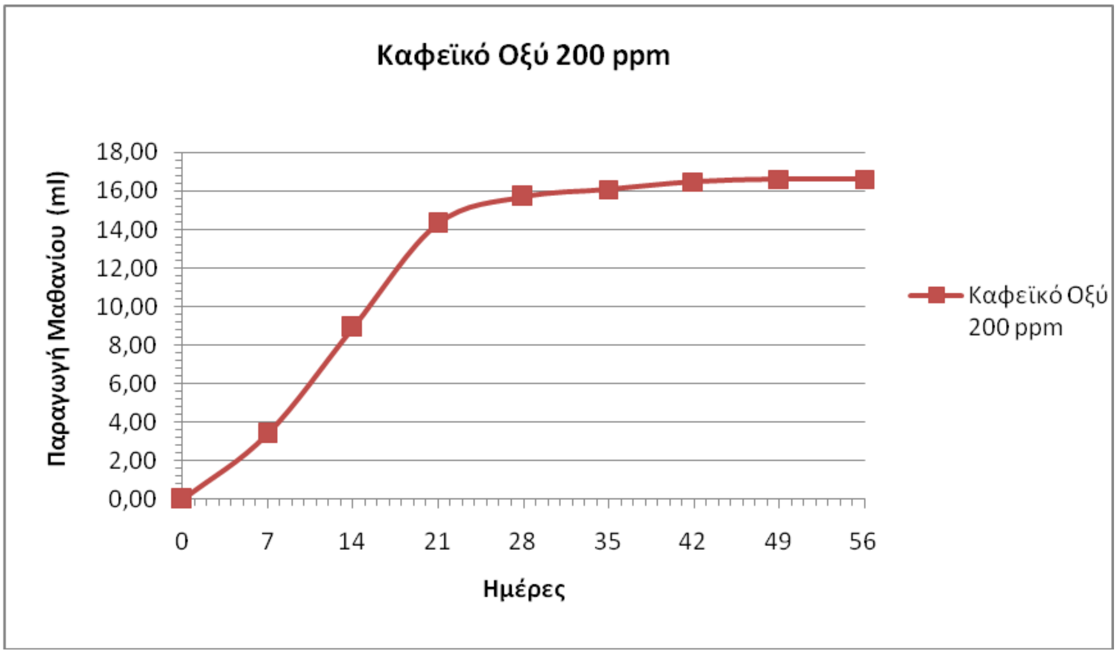
Όπως βλέπουμε στο παραπάνω γράφημα η αποδόμηση των 200 ppm καφεϊκού οξέος όπως και των δυο προηγούμενων συγκεντρώσεων εξελίχτηκε απόλυτα ομαλά φτάνοντας στην τέταρτη εβδομάδα σχεδόν στο τέλος.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής μεθανίου που οφείλετε αποκλειστικά στην αποδόμηση των 200 ppm καφεϊκού οξέος (Πίνακας 4-36).

Πίνακας 4-36: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής μεθανίου από την αποδόμηση των 200ppm καφεϊκού οξέος.

Παραγωγή Μεθανίου (ml)						
Καφεϊκό Οξύ 200 ppm						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	M.O.	T.A.	A.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	1,80	2,50	5,80	3,37	2,14	3,37
14	6,10	5,20	5,30	5,53	0,49	8,90
21	4,60	5,50	6,10	5,40	0,75	14,30
28	1,30	1,40	1,50	1,40	0,10	15,70
35	0,50	0,30	0,30	0,37	0,12	16,07
42	0,20	0,40	0,60	0,40	0,20	16,47
49	0,20	0,00	0,20	0,13	0,12	16,60
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,60

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή μεθανίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στα 200 ppm καφεϊκού οξέος (Εικόνα 4-52).



Εικόνα 4-52: Παραγωγή μεθανίου από τα 200ppm καφεϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Όπως βλέπουμε παραπάνω η παραγωγή μεθανίου όπως ήταν λογικό κύλησε ομαλά με και έφτασε σε ποσοστό 64% της παραγωγής βιοαερίου.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD η οποία για το δείγμα των 200 ppm καφεϊκού οξέος ήταν 0 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι τα 200 ppm καφεϊκού οξέος αποδομήθηκαν πλήρως.

Συνοψίζοντας τώρα όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το καφεϊκό οξύ σε καμία από τις συγκεντρώσεις που εξετάσαμε δεν δημιούργησε κανένα πρόβλημα στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία της αναερόβιας αποδόμησης του, αποδομήθηκε πλήρως και σε γρήγορο χρονικό διάστημα.

4.6 Υγρα αποβλητα ελαιουργειου (Κατσιγαρος)

Σε αυτό το κεφάλαιο δεν θα αναφερθούμε στα χαρακτηριστικά του κατσίγαρου μιας και έχουμε αναφερθεί εκτενώς παραπάνω (βλ. κεφάλαιο 2). Θα ασχοληθούμε μόνο με τα αποτελέσματα της αποδόμησης του. Το δείγμα κατσίγαρου που επεξεργαστήκαμε πάρθηκε από το τριφασικού τύπου ελαιουργείο Μανουσογιωργάκη, το οποίο εδρεύει στις Βρύσες νομού Χανιών. Το παραπάνω δείγμα είχε 77000 ppm COD και περίπου 25500 ppm TOC. Προκειμένου να υπάρχει λογική συνέχεια με τα προηγούμενα αποφασίστηκε το παραπάνω δείγμα να υποστεί επεξεργασία σε συγκεντρώσεις 50, 100 και 200 ppm καθώς επίσης και σε συγκέντρωση 1%. Οι τρεις πρώτες συγκεντρώσεις όπως προαναφέρθηκε επιλέχτηκαν προκειμένου να υπάρχει άμεση σύνδεση με τα προηγούμενα, ενώ η τέταρτη συγκέντρωση επιλέχτηκε με σκοπό να δούμε την αποδόμηση ενός δείγματος κατσίγαρου με υψηλό φορτίο.

4.6.1 50ppm Κατσίγαρου

Τα 50 ppm κατσίγαρου πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα μας το εξής οργανικό φορτίο:

- 1 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).
- 3.85 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

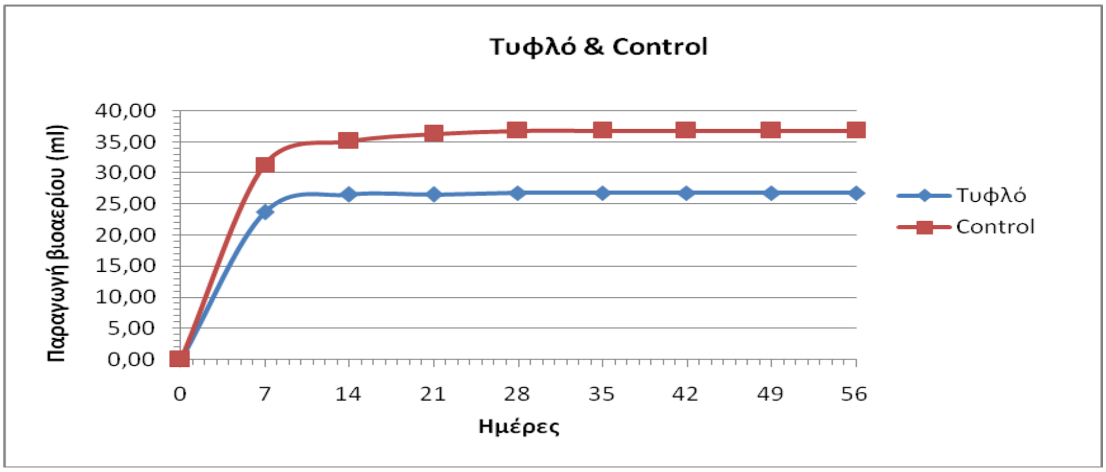
Όπως βλέπουμε το οργανικό φορτίο που προστέθηκε στο δείγμα μας είναι πολύ μικρό άρα και η παραγωγή που θα οφείλετε σε αυτό θα είναι αμελητέα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση των 50 ppm κατσίγαρου (Πίνακας 4-37).

Πίνακας 4-37: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης των 50 ppm κατσίγαρου.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
Κατσίγαρος 50 ppm										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	31,30	31,30	23,70	23,70	23,80	23,40	23,80	23,67	0,23	23,67
14	3,80	35,10	2,80	26,50	3,10	2,90	3,20	3,07	0,15	26,73
21	1,20	36,30	0,00	26,50	0,10	0,00	0,30	0,13	0,15	26,87
28	0,50	36,80	0,30	26,80	0,20	0,00	0,20	0,13	0,12	27,00
35	0,00	36,80	0,00	26,80	0,20	0,00	0,00	0,07	0,12	27,07
42	0,00	36,80	0,00	26,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,07
49	0,00	36,80	0,00	26,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,07
56	0,00	36,80	0,00	26,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,07

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-53).

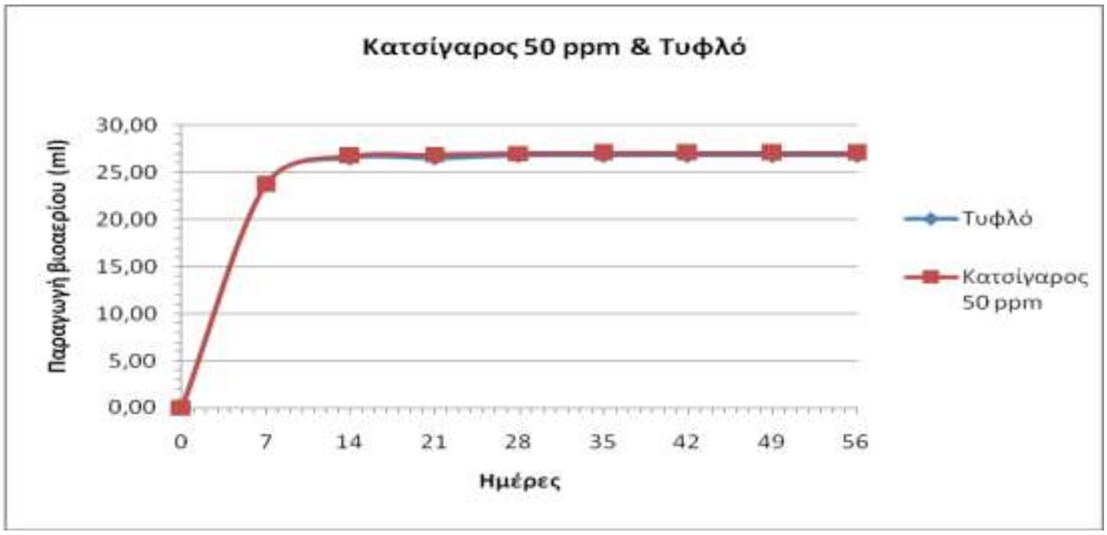


Εικόνα 4-53: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα.

Στο δείγμα ελέγχου είχε προστεθεί γλυκόζη σε συγκέντρωση 100 ppm. Όπως βλέπουμε και στο παραπάνω γράφημα η γλυκόζη δεν δημιούργησε κανένα πρόβλημα στην διαδικασία. Αυτό μας επιβεβαιώνει ότι η όλη διάταξη αναερόβιας αποικοδόμησης έχει "στηθεί" επιτυχώς.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 50 ppm κατσίγαρου (Εικόνα 4-54).



Εικόνα 4-54: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 50ppm κατσίγαρου ως προς τον χρόνο.

Όπως βλέπουμε τα 50 ppm κατσίγαρου δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποικοδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της. Όπως αναφέραμε παραπάνω και βλέπουμε και στο γράφημα η διαφοροποίηση των δυο καμπυλών είναι πρακτικά ανύπαρκτη, πράγμα που οφείλεται στο ελάχιστο οργανικό φορτίο που είχε το δείγμα μας. Για αυτό το λόγο κρίνεται περιττό να παρουσιαστούν δεδομένα για την παραγωγή βιοαερίου που οφείλεται στο οργανικό φορτίο των 50 ppm κατσίγαρου.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD η οποία για το δείγμα των 50 ppm κατσίγαρου ήταν 0 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι αποδομήθηκαν πλήρως.

4.6.2 100ppm Κατσίγαρου

Τα 100 ppm κατσίγαρου πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 2 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).
- 7.7 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

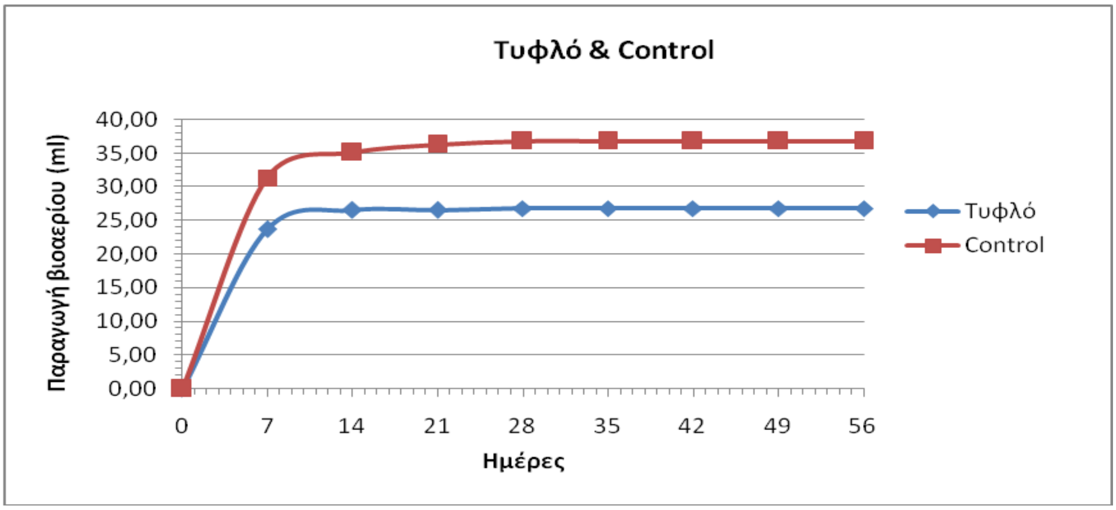
Όπως βλέπουμε (όπως και στα 50 ppm κατσίγαρου) το οργανικό φορτίο που προστέθηκε στο δείγμα μας είναι πολύ μικρό άρα και η παραγωγή που θα οφείλετε σε αυτό θα είναι αμελητέα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση των 100 ppm κατσίγαρου (Πίνακας 4-38).

Πίνακας 4-38: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης των 100 ppm κατσίγαρου.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
Κατσίγαρος 100 ppm										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	Νο 1	Νο 2	Νο 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	31,30	31,30	23,70	23,70	23,00	24,10	23,80	23,63	0,57	23,63
14	3,80	35,10	2,80	26,50	2,90	3,10	3,40	3,13	0,25	26,77
21	1,20	36,30	0,00	26,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,77
28	0,50	36,80	0,30	26,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,77
35	0,00	36,80	0,00	26,80	0,20	0,10	0,10	0,13	0,06	26,90
42	0,00	36,80	0,00	26,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,90
49	0,00	36,80	0,00	26,80	0,30	0,20	0,40	0,30	0,10	27,20
56	0,00	36,80	0,00	26,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,20

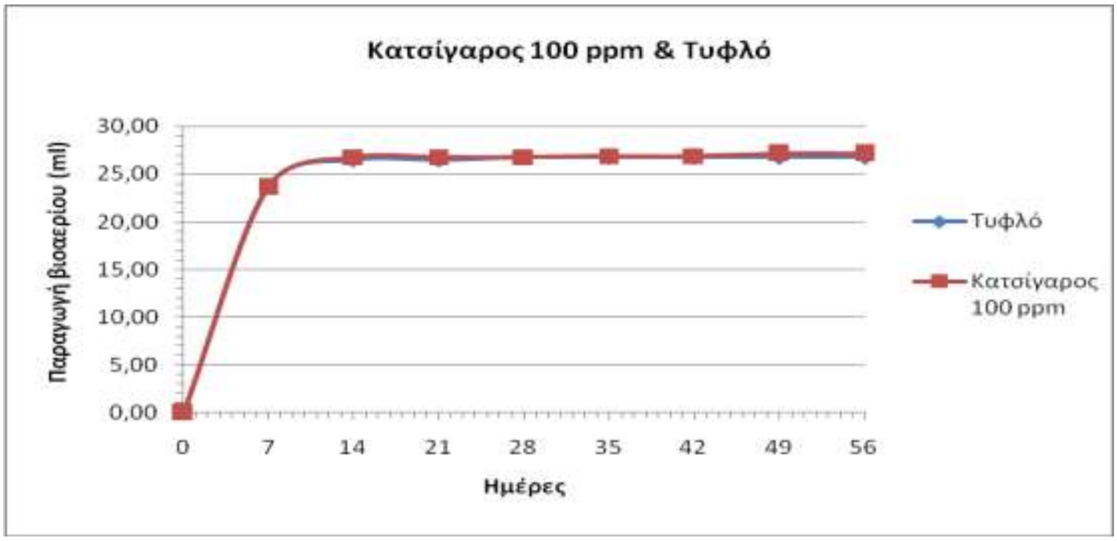
Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-55).



Εικόνα 4-55: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα όπως ακριβώς και στην προηγούμενη συγκέντρωση.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 100 ppm κατσίγαρου (Εικόνα 4-56).



Εικόνα 4-56: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 100ppm κατσίγαρου ως προς τον χρόνο.

Όπως βλέπουμε τα 100 ppm κατσίγαρου δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποικοδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της. Όπως αναφέραμε παραπάνω και βλέπουμε και στο γράφημα η διαφοροποίηση των δυο καμπυλών είναι πρακτικά ανύπαρκτη, πράγμα που οφείλεται στο ελάχιστο οργανικό φορτίο που είχε το δείγμα μας. Για αυτό το λόγο κρίνεται περιττό να παρουσιαστούν δεδομένα για την παραγωγή βιοαερίου που οφείλεται στο οργανικό φορτίο των 100 ppm κατσίγαρου.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD η οποία για το δείγμα των 100 ppm κατσίγαρου ήταν 0 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι αποδομήθηκαν πλήρως.

4.6.3 200ppm Κατσίγαρου

Τα 200 ppm κατσίγαρου πρόσθεσαν στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 4 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).
- 15.4 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

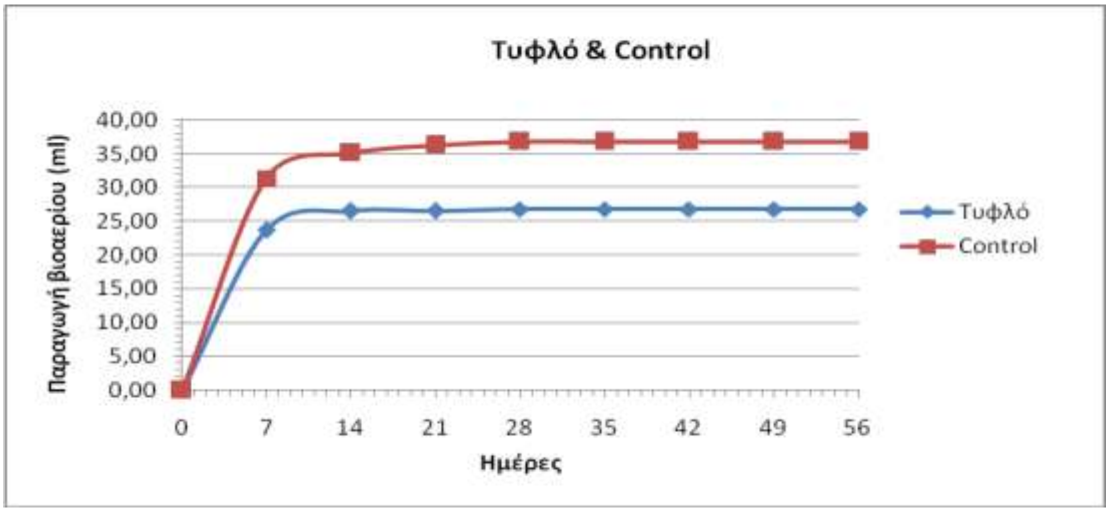
Όπως βλέπουμε (όπως και στα 50 ppm και 100 ppm κατσίγαρου) το οργανικό φορτίο που προστέθηκε στο δείγμα μας είναι πολύ μικρό άρα και η παραγωγή που θα οφείλετε σε αυτό θα είναι αμελητέα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση των 200 ppm κατσίγαρου (Πίνακας 4-39).

Πίνακας 4-39: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης των 200 ppm κατσίγαρου.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
Κατσίγαρος 200 ppm										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	31,30	31,30	23,70	23,70	24,00	23,70	23,60	23,77	0,21	23,77
14	3,80	35,10	2,80	26,50	3,30	3,20	3,00	3,17	0,15	26,93
21	1,20	36,30	0,00	26,50	0,10	0,30	0,20	0,20	0,10	27,13
28	0,50	36,80	0,30	26,80	0,40	0,40	0,50	0,43	0,06	27,57
35	0,00	36,80	0,00	26,80	0,40	0,20	0,10	0,23	0,15	27,80
42	0,00	36,80	0,00	26,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,80
49	0,00	36,80	0,00	26,80	0,00	0,20	0,00	0,07	0,12	27,87
56	0,00	36,80	0,00	26,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,87

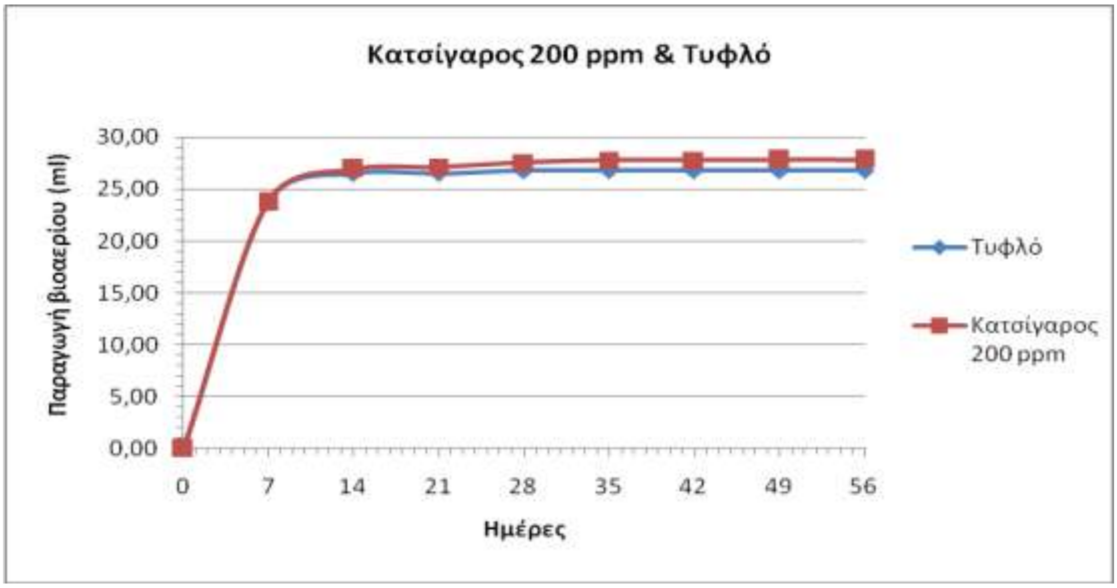
Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-57).



Εικόνα 4-57: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα όπως ακριβώς και στις προηγούμενες συγκεντρώσεις.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και των 200 ppm κατσίγαρου (Εικόνα 4-58).



Εικόνα 4-58: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και των 200ppm κατσίγαρου ως προς τον χρόνο.

Όπως βλέπουμε τα 200 ppm κατσίγαρου δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποικοδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της. Όπως αναφέραμε παραπάνω και βλέπουμε και στο γράφημα η διαφοροποίηση των δυο καμπυλών είναι πάρα πολύ μικρή και γίνετε αντιληπτή μετά την τέταρτη εβδομάδα, πράγμα που οφείλετε στο πολύ μικρό οργανικό φορτίο που είχε το δείγμα μας. Επειδή λοιπόν η παραγωγή βιοαερίου που οφείλετε στα 200 ppm κατσίγαρου είναι πολύ μικρή (3% της παραγωγής που οφείλετε στο τυφλό) δεν θα παραθέσουμε δεδομένα για αυτήν.

Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD η οποία για το δείγμα των 200 ppm κατσίγαρου ήταν 0 ppm COD, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει ότι αποδομήθηκαν πλήρως.

4.6.4 1% Κατσίγαρου

Το 1% κατσίγαρου πρόσθεσε στον αντιδραστήρα το εξής οργανικό φορτίο:

- 260 ppm TOC (ολικός οργανικός άνθρακας).
- 770 ppm COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

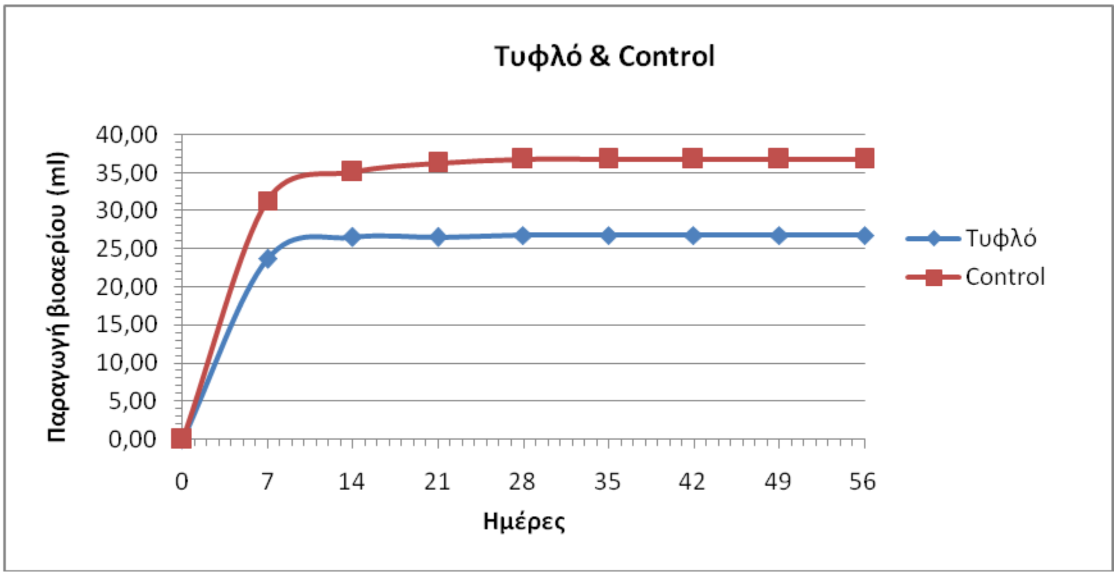
Με βάση το παραπάνω οργανικό φορτίο αναμένεται να παραχθούν περίπου 54 ml βιοαερίου από την αποδόμηση του 1% κατσίγαρου.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση του 1% κατσίγαρου (Πίνακας 4-40).

Πίνακας 4-40: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα αποδόμησης του 1% κατσίγαρου.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)										
Κατσίγαρος 1%										
Ημέρες	Control	Α.Σ.	Τυφλό	Α.Σ.	No 1	No 2	No 3	Μ.Ο.	Τ.Α.	Α.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	31,30	31,30	23,70	23,70	37,40	37,80	39,30	38,17	1,00	38,17
14	3,80	35,10	2,80	26,50	15,80	14,60	16,70	15,70	1,05	53,87
21	1,20	36,30	0,00	26,50	4,90	5,50	5,10	5,17	0,31	59,03
28	0,50	36,80	0,30	26,80	2,10	2,70	3,10	2,63	0,50	61,67
35	0,00	36,80	0,00	26,80	0,60	1,50	1,30	1,13	0,47	62,80
42	0,00	36,80	0,00	26,80	0,60	0,50	0,80	0,63	0,15	63,43
49	0,00	36,80	0,00	26,80	0,20	0,40	0,20	0,27	0,12	63,70
56	0,00	36,80	0,00	26,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	63,70

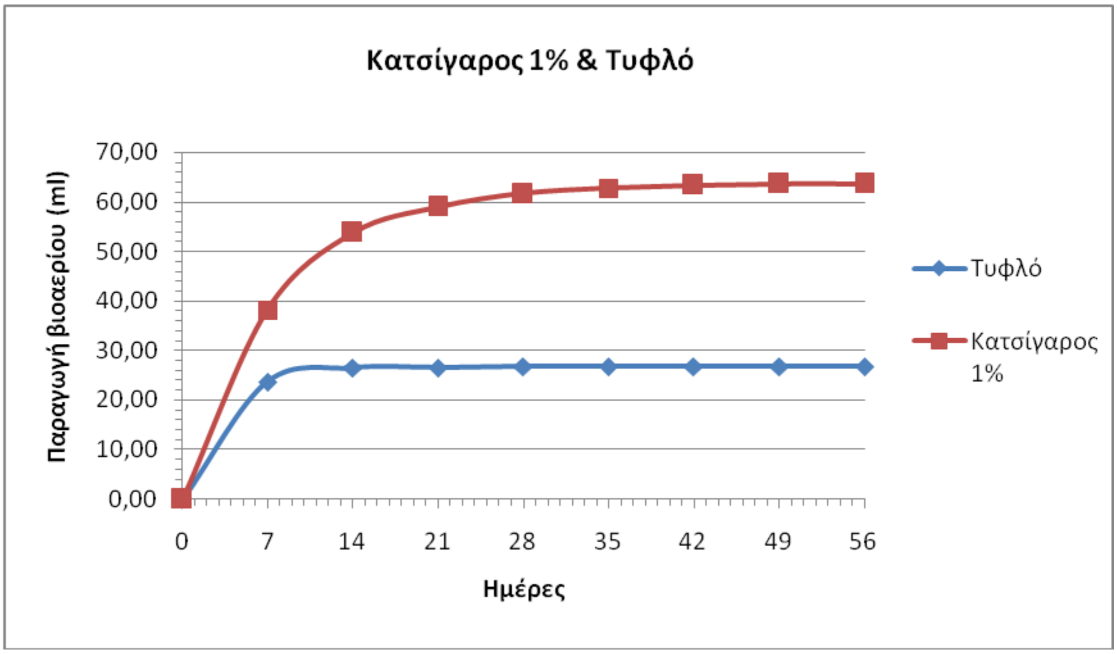
Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου (Εικόνα 4-59).



Εικόνα 4-59: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του ελέγχου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία αποδόμησης κύλησε χωρίς κανένα πρόβλημα και για τα δυο δείγματα όπως ακριβώς και στην προηγούμενες συγκεντρώσεις.

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) από το δείγμα του τυφλού και του 1% κατσίγαρου (Εικόνα 4-60).



Εικόνα 4-60: Παραγωγή βιοαερίου από το δείγμα του τυφλού και του 1% κατσίγαρου ως προς τον χρόνο.

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι και το 1% κατσίγαρου όπως και οι άλλες δυο συγκεντρώσεις δεν είχαν καμία αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία αποδόμησης. Η αποδόμηση και στα δυο δείγματα ξεκίνησε αμέσως και δεν παρουσίασε κανένα εμφανές πρόβλημα μέχρι το πέρας της.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής βιοαερίου που οφείλεται αποκλειστικά στην αποδόμηση του 1% κατσίγαρου (Πίνακας 4-41).

Πίνακας 4-41: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής βιοαερίου από την αποδόμηση του 1% κατσίγαρου.

Παραγωγή Βιοαερίου (ml)						
Κατσίγαρος 1%						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	M.O.	T.A.	A.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	13,70	14,10	15,60	14,47	1,00	14,47
14	13,00	11,80	13,90	12,90	1,05	27,37
21	4,90	5,50	5,10	5,17	0,31	32,53
28	1,80	2,40	2,80	2,33	0,50	34,87
35	0,60	1,50	1,30	1,13	0,47	36,00
42	0,60	0,50	0,80	0,63	0,15	36,63
49	0,20	0,40	0,20	0,27	0,12	36,90
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,90

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή βιοαερίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στο 1% κατσίγαρου (Εικόνα 4-61).

Εικόνα 4-61: Παραγωγή βιοαερίου από το 1% κατσίγαρου ως προς τον χρόνο.

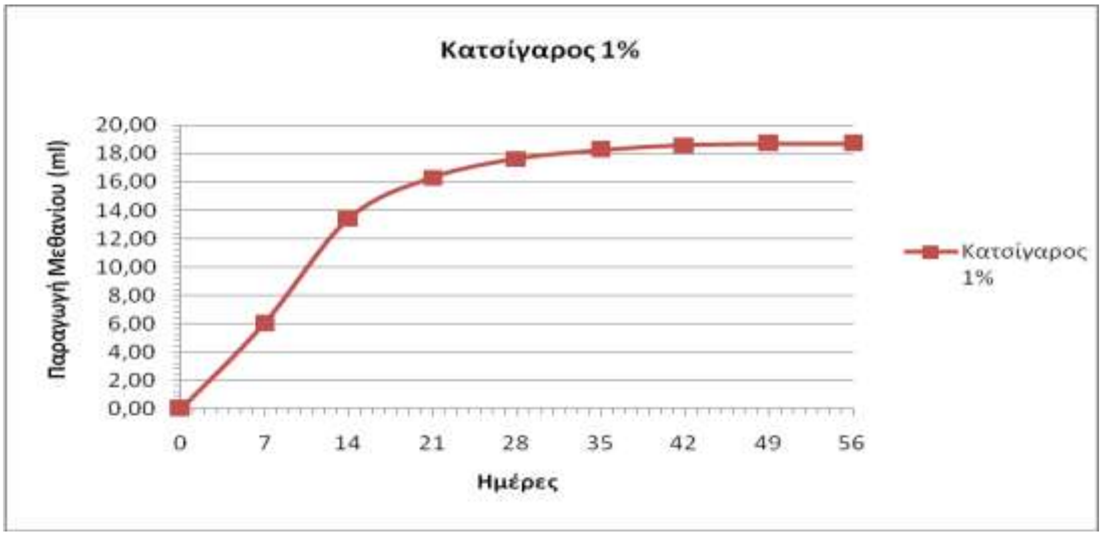
Όπως βλέπουμε στο παραπάνω γράφημα η αποικοδόμηση του 1% κατσίγαρου εξελίχτηκε απόλυτα ομαλά μέχρι το τέλος της. Μοναδικό μείον είναι ότι η παραγωγή του βιοαερίου έφτασε το 68% του θεωρητικού, γεγονός το οποίο θα σχολιαστεί παρακάτω που θα έχουμε πληρέστερη εικόνα της αποδόμησης.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγωγής μεθανίου που οφείλετε αποκλειστικά στην αποδόμηση του 1% κατσίγαρου (Πίνακας 4-42).

Πίνακας 4-42: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα παραγωγής μεθανίου από την αποδόμηση του 1% κατσίγαρου.

Παραγωγή Μεθανίου (ml)						
Κατσίγαρος 1%						
Ημέρες	No 1	No 2	No 3	M.O.	T.A.	A.Σ.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	5,40	5,80	6,80	6,00	0,72	6,00
14	7,40	6,80	8,00	7,40	0,60	13,40
21	2,70	3,10	2,90	2,90	0,20	16,30
28	1,10	1,30	1,60	1,33	0,25	17,63
35	0,40	0,80	0,70	0,63	0,21	18,27
42	0,30	0,20	0,50	0,33	0,15	18,60
49	0,00	0,20	0,10	0,10	0,10	18,70
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,70

Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει την παραγωγή μεθανίου ως προς τον χρόνο (ημέρες) η οποία οφείλεται αποκλειστικά στο 1% κατσίγαρου (Εικόνα 4-62).



Εικόνα 4-62: Παραγωγή μεθανίου από το 1% κατσίγαρου ως προς τον χρόνο.

Όπως βλέπουμε παραπάνω η παραγωγή μεθανίου κύλησε αρκετά ομαλά και έφτασε σε ποσοστό 51% της παραγωγής βιοαερίου.

Τέλος προκειμένου να διαπιστώσουμε τον βαθμό στον οποίο αποδομήθηκε το δείγμα μας πήραμε μια μέτρηση COD η οποία για το δείγμα του 1% κατσίγαρου ήταν 254 ppm COD. Αυτή η μέτρηση μας δείχνει ότι το 1% του κατσίγαρου αποδομήθηκε μερικώς και πιο συγκεκριμένα η αποδόμηση έφτασε στο 67%. Το παραπάνω γεγονός έρχεται σε επιβεβαίωση της χαμηλότερης του αναμενόμενου παραγωγής βιοαερίου (68% της θεωρητικής ποσότητας).

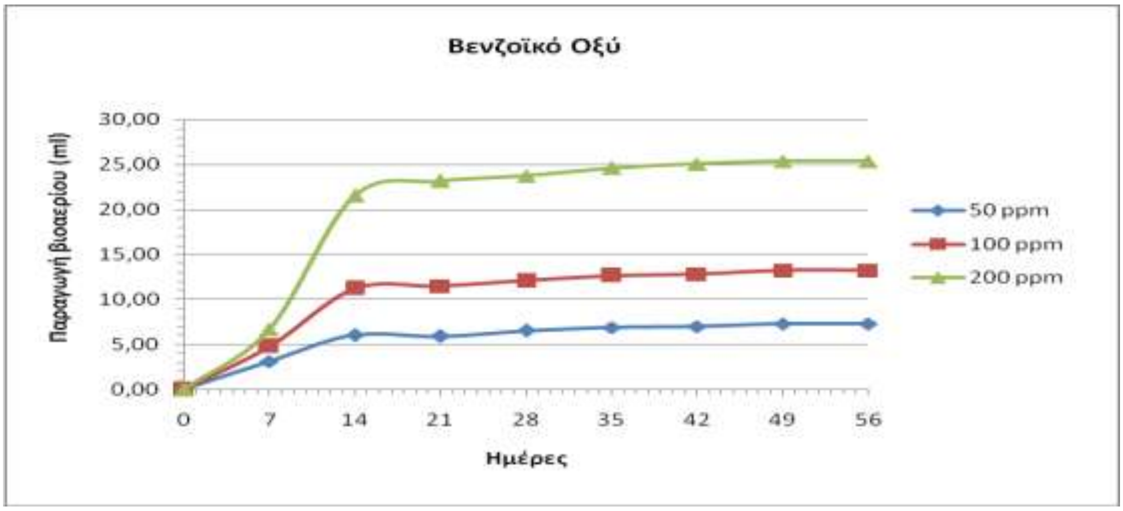
Συνοψίζοντας τώρα όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο κατσίγαρος στις χαμηλές συγκεντρώσεις (50, 100 και 200 ppm) που εξετάσαμε δεν δημιούργησε κανένα πρόβλημα στους μικροοργανισμούς και γενικά στην διαδικασία της αναερόβιας αποδόμησης του. Αντίθετα στην υψηλή συγκέντρωση (1%) η αποδόμηση του κατσίγαρου ήταν εκτεταμένη μεν (67% αποδόμηση) αλλά όχι πλήρης. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες οι οποίοι χαρακτηρίζουν τον κατσίγαρο (βλ. κεφάλαιο 2), τα παραπάνω δεδομένα όμως μας ωθούν στο συμπέρασμα ότι ο παράγοντας που επηρέασε την διαδικασία μας είναι η μείωση του pH μέσα στα φιαλίδια. Αυτό συμβαίνει γιατί η μείωση του pH οδηγεί στην αρχή σε αναστολή των μεθανιογόνων μικροοργανισμών (μειωμένη παραγωγή μεθανίου) και έπειτα στην πλήρη αναστολή της διεργασίας (μερική αποδόμηση), γεγονότα τα οποία συνέβησαν και στην διαδικασία αποδόμησης του 1% κατσιγαρου όπως φαίνεται από τα παραπάνω δεδομένα.

4.7 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα παράγραφο θα παρουσιάσουμε συγκεντρωμένα τα παραπάνω αποτελέσματα από τους ελέγχους αναερόβιας αποδομησιμότητα που διεξήγαμε.

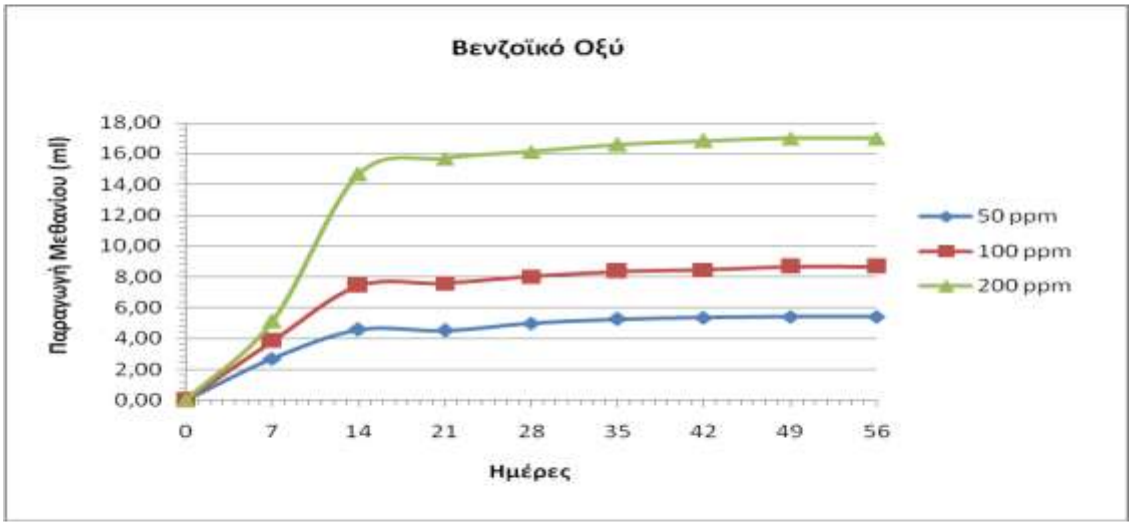
4.7.1 Βενζοϊκό οξύ

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η παραγωγή βιοαερίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο (Εικόνα 4-63).



Εικόνα 4-63: Παράγωγη βιοαερίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η παράγωγη μεθανίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο (Εικόνα 4-64).

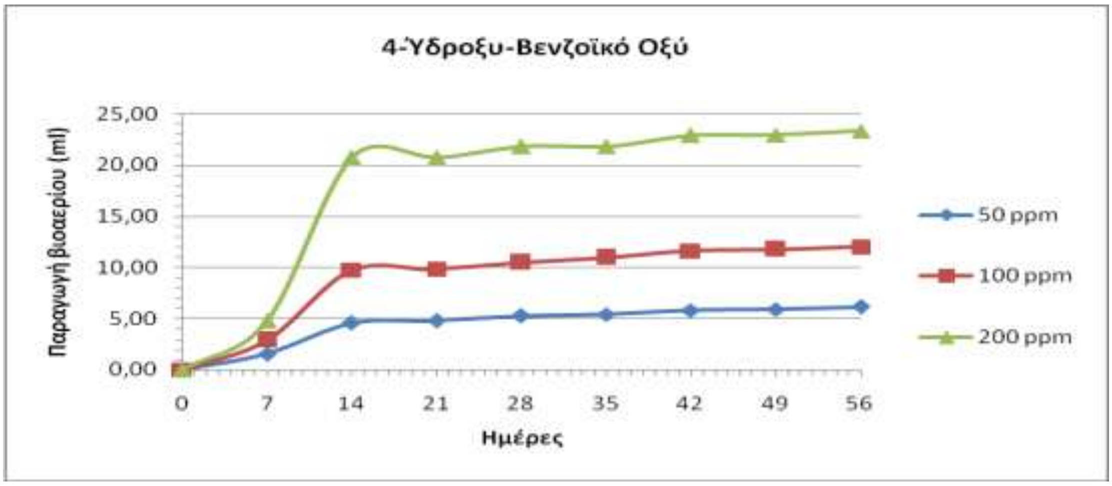


Εικόνα 4-64: Παράγωγη μεθανίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Στα παραπάνω γραφήματα μας δίνεται η δυνατότητα να δούμε συγκεντρωμένες της καμπύλες παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου από την αναερόβια αποδόμηση του βενζοϊκού οξέος. Όπως είδαμε και στην αντίστοιχη παράγραφο αναλυτικά, είναι εμφανές ότι η αποδομησιμότητα του βενζοϊκού οξέος είναι πλήρης και χωρίς να παρουσιάσει κανένα πρόβλημα στην παραγωγή μεθανίου.

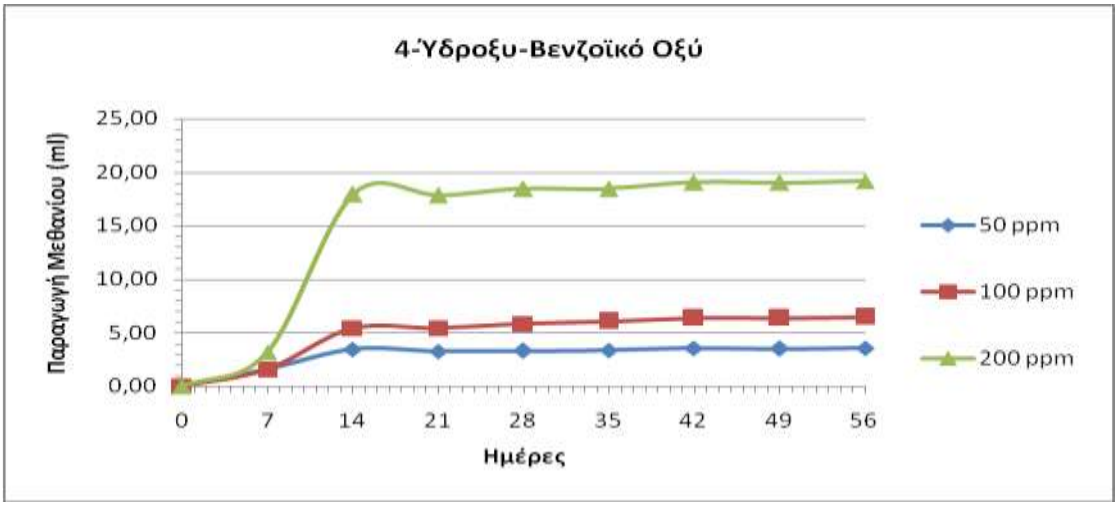
4.7.2 4-Υδροξυ-Βενζοϊκό οξύ

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η παράγωγη βιοαερίου από την αποικοδόμηση των συγκεντρώσεων του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο (Εικόνα 4-65).



Εικόνα 4-65: Παράγωγη βιοαερίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η παράγωγη μεθανίου από την αποικοδόμηση των συγκεντρώσεων του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο (Εικόνα 4-66).

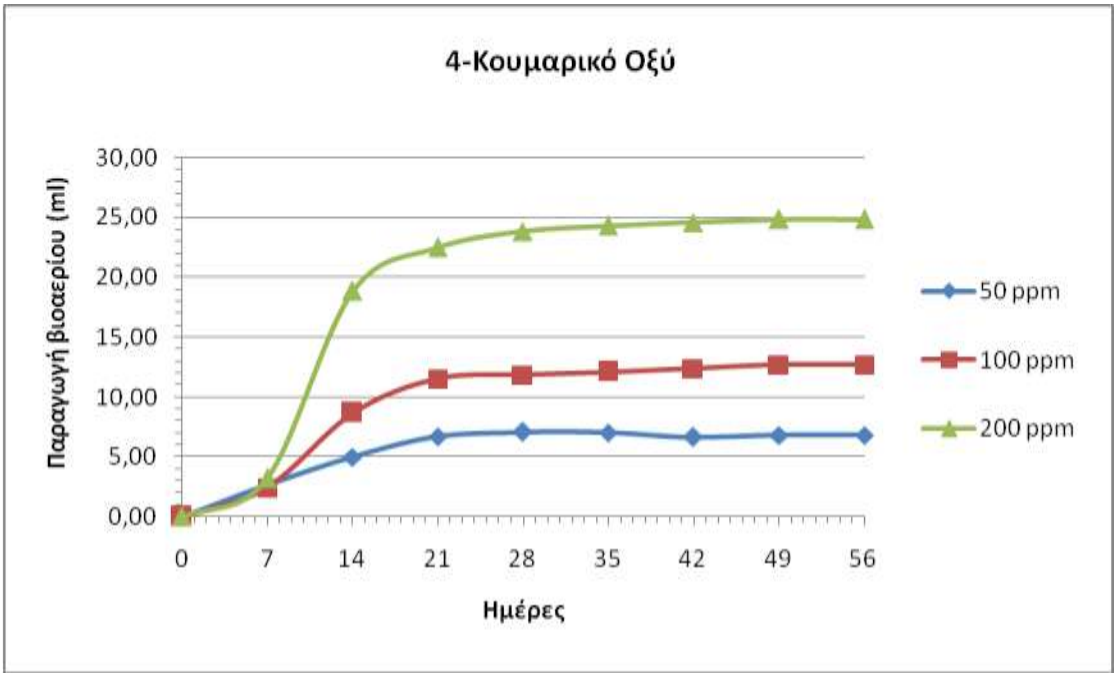


Εικόνα 4-66: Παράγωγη μεθανίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Στα παραπάνω γραφήματα μας δίνετε η δυνατότητα να δούμε συγκεντρωμένες της καμπύλες παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου από την αναερόβια αποικοδόμηση του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος. Όπως είδαμε και στην αντίστοιχη παράγραφο αναλυτικά, είναι εμφανές ότι η αποδομησιμότητα του 4-ύδροξυ-βενζοϊκου οξέος είναι πλήρης και χωρίς να παρουσιάσει κανένα πρόβλημα στην παραγωγή μεθανίου. Αυτό που φαίνετε ξεκάθαρα στο παραπάνω γράφημα και χρήζει ιδιαίτερης μνείας είναι η ιδιαίτερα μεγάλη παραγωγή μεθανίου από τα 200 ppm του 4-ύδροξυ-βενζοϊκού οξέος, γεγονός το οποίο μάλλον οφείλετε στις ιδιαίτερα καλές συνθήκες που διαμορφώθηκαν στα αντίστοιχα φιαλίδια.

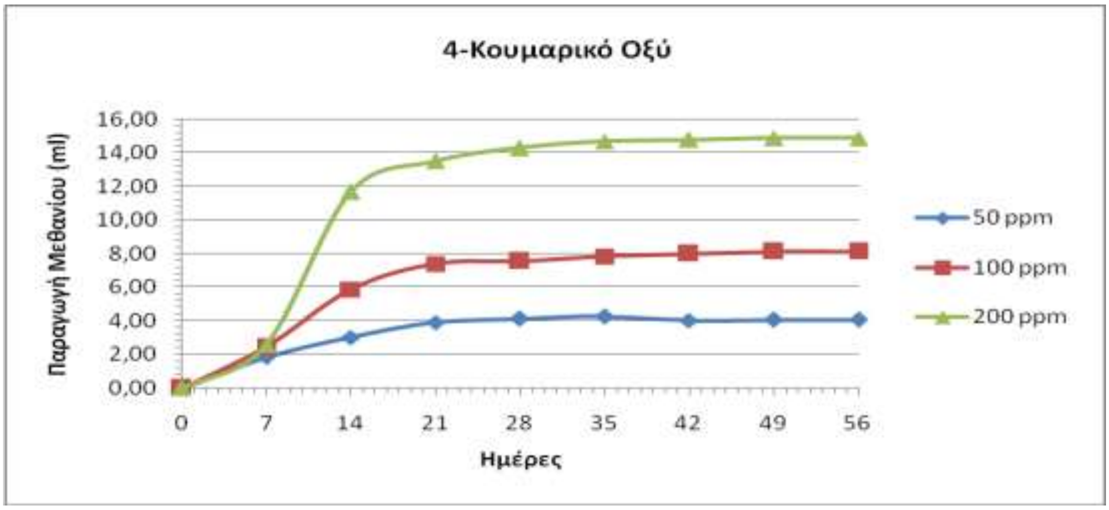
4.7.3 4-Κουμαρικό οξύ

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η παράγωγη βιοαερίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του 4-κουμαρικού οξέος ως προς τον χρόνο (Εικόνα 4-67).



Εικόνα 4-67: Παράγωγη βιοαερίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του 4-κουμαρικού οξέος ως προς τον χρόνο.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η παράγωγη μεθανίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του 4-κουμαρικού οξέος ως προς τον χρόνο (Εικόνα 4-68).

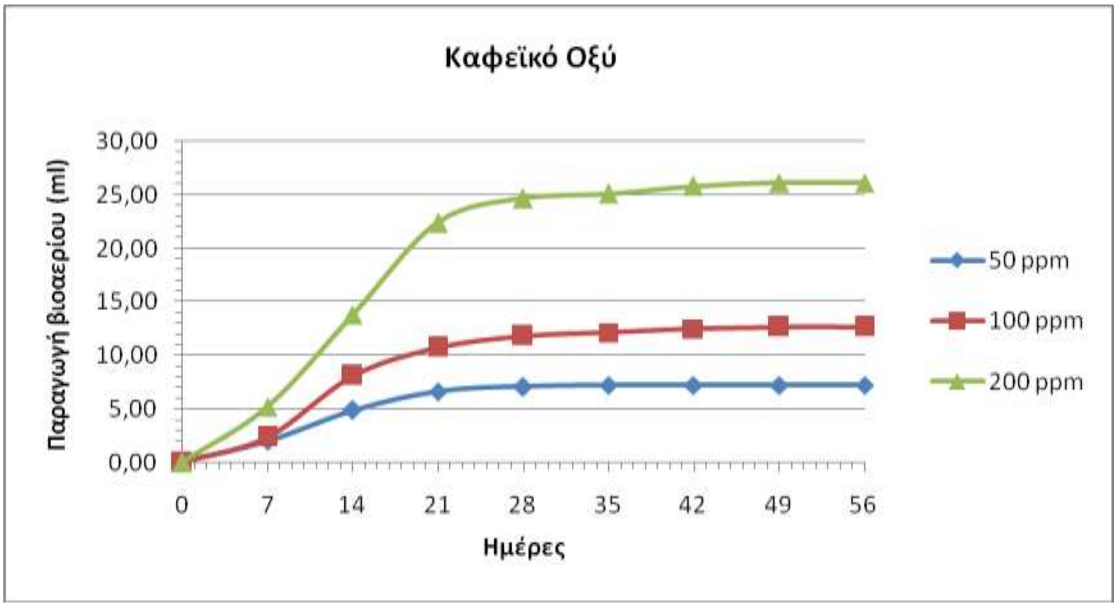


Εικόνα 4-68: Παράγωγη μεθανίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του 4-κουμαρικού οξέος ως προς τον χρόνο.

Στα παραπάνω γραφήματα μας δίνεται η δυνατότητα να δούμε συγκεντρωμένες της καμπύλες παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου από την αναερόβια αποδόμηση του 4-κουμαρικού οξέος. Όπως είδαμε και στην αντίστοιχη παράγραφο αναλυτικά, είναι εμφανές ότι η αποδομησιμότητα του 4-κουμαρικού οξέος είναι πλήρης και χωρίς να παρουσιάσει κανένα πρόβλημα στην παραγωγή μεθανίου.

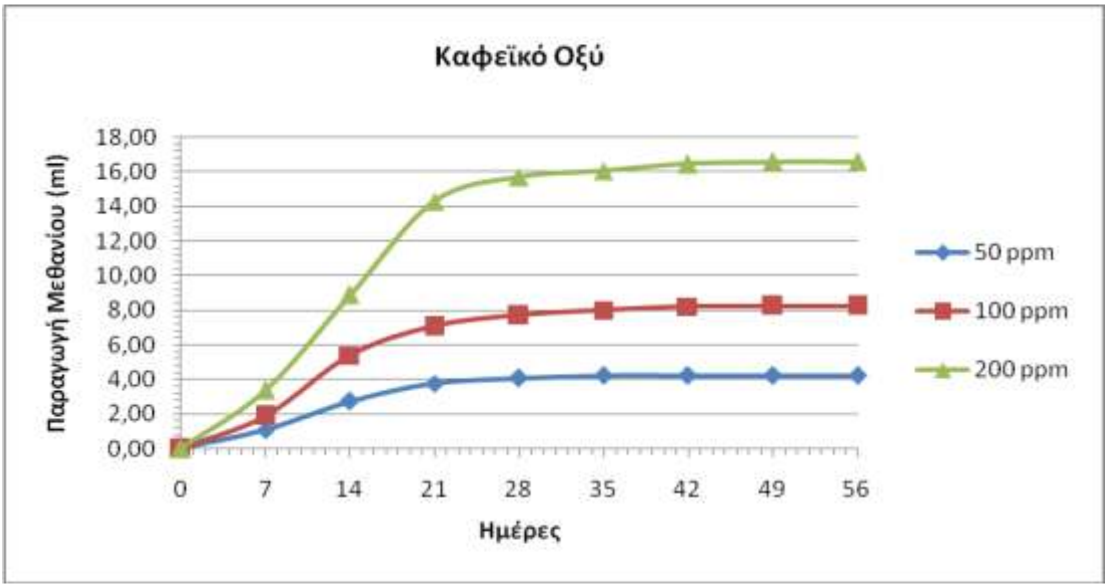
4.7.4 Καφεϊκό οξύ

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η παράγωγη βιοαερίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του καφεϊκού οξέος ως προς τον χρόνο (Εικόνα 4-69).



Εικόνα 4-69: Παράγωγη βιοαερίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του καφεϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η παράγωγη μεθανίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του καφεϊκού οξέος ως προς τον χρόνο (Εικόνα 4-70).

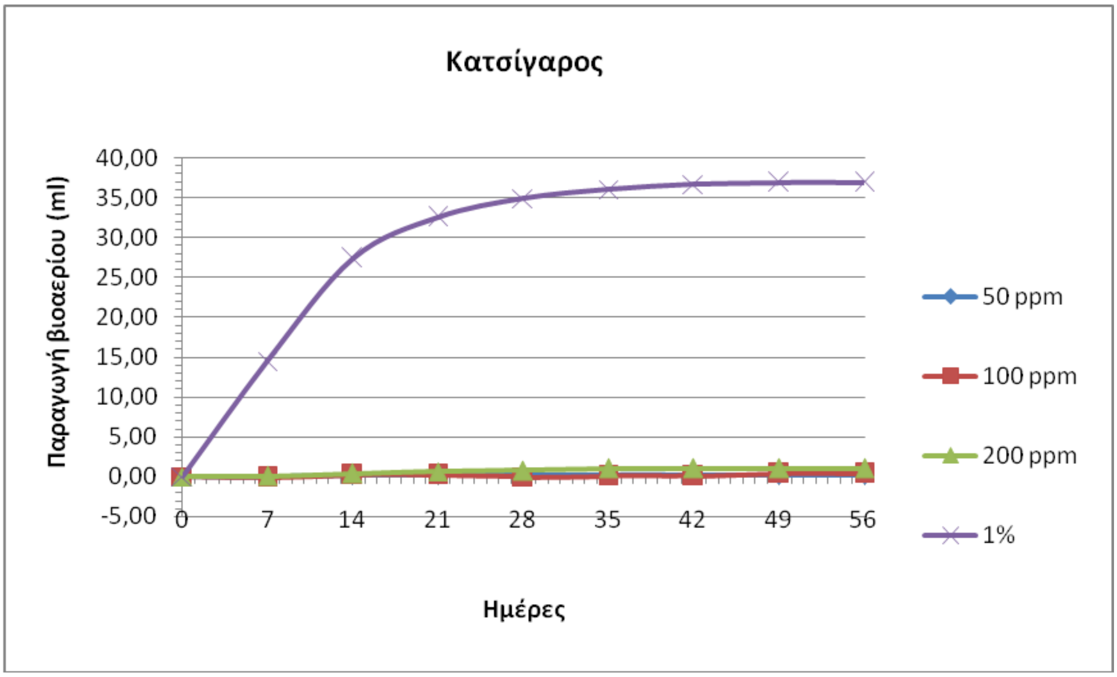


Εικόνα 4-70: Παράγωγη μεθανίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του καφεϊκού οξέος ως προς τον χρόνο.

Στα παραπάνω γραφήματα μας δίνεται η δυνατότητα να δούμε συγκεντρωμένες της καμπύλες παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου από την αναερόβια αποδόμηση του καφεϊκού οξέος. Όπως είδαμε και στην αντίστοιχη παράγραφο αναλυτικά, είναι εμφανές ότι η αποδομησιμότητα του καφεϊκού οξέος είναι πλήρης και χωρίς να παρουσιάσει κανένα πρόβλημα στην παραγωγή μεθανίου.

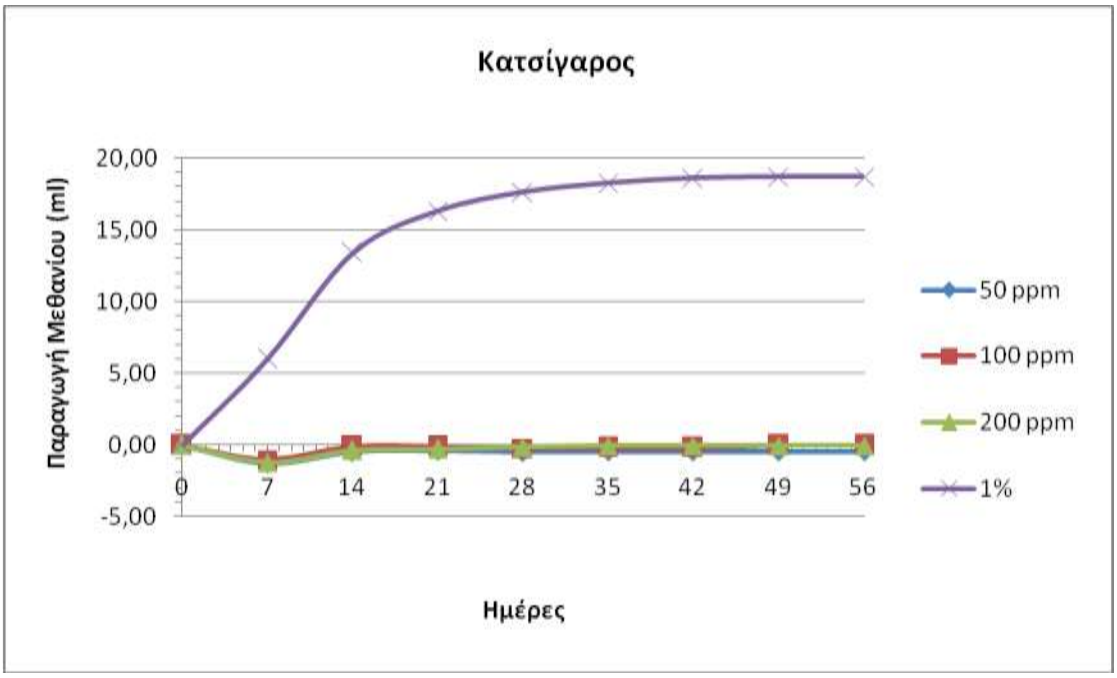
4.7.5 Κατσίγαρος

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η παράγωγη βιοαερίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του κατσίγαρου ως προς τον χρόνο (Εικόνα 4-71).



Εικόνα 4-71: Παράγωγη βιοαερίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του κατσίγαρου ως προς τον χρόνο.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η παράγωγη μεθανίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του κατσίγαρου ως προς τον χρόνο (Εικόνα 4-72).



Εικόνα 4-72: Παράγωγη μεθανίου από την αποδόμηση των συγκεντρώσεων του κατσίγαρου ως προς τον χρόνο.

Στα παραπάνω γραφήματα μας δίνεται η δυνατότητα να δούμε συγκεντρωμένες της καμπύλες παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου από την αναερόβια αποδόμηση του κατσίγαρου. Στην παραπάνω παράγραφο όπου είχαμε παρουσιάσει αναλυτικά τα αποτελέσματα της αποικοδόμησης του κατσίγαρου δεν είχαμε παρουσιάσει δεδομένα και γραφήματα για την παραγωγή βιοαερίου και μεθανίου που οφειλόταν αποκλειστικά στις χαμηλές συγκεντρώσεις κατσίγαρου γιατί δεν θα μας έδιναν κάποια χρήσιμη πληροφορία λόγω της αναμενόμενα πολύ χαμηλής παραγωγής. Στην παρούσα όμως παράγραφο που οι εν λόγω καμπύλες παραγωγής παρουσιάζονται συγκεντρωμένες όλες σε ένα γράφημα μπορούν να μας δώσουν αρκετές πληροφορίες. Όσον αφορά στην παραγωγή βιοαερίου οι καμπύλες μας επιβεβαιώνουν ότι κύλησε ομαλά σε όλη την διάρκεια της αποικοδόμησης. Όσον αφορά την παραγωγή μεθανίου όμως τα πράγματα διαφοροποιούνται επιβεβαιώνοντας την υπόθεση που κάναμε για το λόγο στον οποίο οφείλεται η μερική αποδόμηση του 1% κατσίγαρου (αποδομήθηκε κατά 67%). Όπως βλέπουμε στο συγκεντρωτικό γράφημα της παραγωγής μεθανίου οι μικρές συγκεντρώσεις κατσίγαρου τις δυο πρώτες εβδομάδες παρουσιάζουν μια σημαντική υστέρηση στη παραγωγή μεθανίου η οποία μετά την δεύτερη εβδομάδα ξεπερνιέται και η παραγωγή επανέρχεται στα αναμενόμενα επίπεδα. Το παραπάνω γεγονός επαληθεύει την υπόθεση ότι κατά πάσα πιθανότητα οι διάφορες συγκεντρώσεις του κατσίγαρου επηρέασαν λίγο η πολύ (ανάλογα με την συγκέντρωση) το pH στα φιαλίδια με αποτέλεσμα την διαταραχή της παραγωγής μεθανίου και κατά συνέπεια την ελλιπή αποδόμηση του 1% κατσίγαρου.

Τέλος στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα παρουσιάζονται όλες οι θεωρητικές τιμές βιοαερίου και μεθανίου που αναμενόταν να παραχθούν από την αποδόμηση των ουσιών που υπέστησαν επεξεργασία καθώς και οι τιμές βιοαερίου και μεθανίου που μετρήσαμε (πινάκας 4-43).

Πίνακας 4-43: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου από την αποδόμηση όλων των ουσιών.

Ουσία	Θεωρητική τιμή βιοαερίου (ml)	Παραχθείσα τιμή βιοαερίου (ml)	Ποσοστό (%)	Θεωρητική τιμή μεθανίου (ml)	Παραχθείσα τιμή μεθανίου (ml)	Ποσοστό (%)	Ποσοστό (%) μεθανίου στο βιοαέριο
50 ppm βενζοϊκού οξέος	7,24	7,30	100,83	3,88	5,43	139,95	74,38
100 ppm βενζοϊκού οξέος	14,48	13,23	91,37	7,76	8,67	111,73	65,53
200 ppm βενζοϊκού οξέος	28,97	25,37	87,57	15,52	17,00	109,54	67,01
50 ppm 4-υδροξυ-βενζοϊκού οξέος	6,40	6,15	96,09	3,20	3,55	110,94	57,72
100 ppm 4-υδροξυ-βενζοϊκού οξέος	12,80	12,03	93,98	6,40	6,43	100,47	53,45
200 ppm 4-υδροξυ-βενζοϊκού οξέος	25,60	23,33	91,13	12,80	19,17	149,77	82,17
50 ppm 4-κουμαρικού οξέος	6,93	6,80	98,12	3,66	4,07	111,20	59,85
100 ppm 4-κουμαρικού οξέος	13,85	12,70	91,70	7,31	8,13	111,22	64,02
200 ppm 4-κουμαρικού οξέος	27,71	24,83	89,61	14,62	14,90	101,92	60,01
50 ppm καφεϊκού οξέος	6,30	7,20	114,29	3,15	4,23	134,29	58,75
100 ppm καφεϊκού οξέος	12,62	12,67	100,40	6,31	8,23	130,43	64,96
200 ppm καφεϊκού οξέος	25,24	26,13	103,53	12,62	16,60	131,54	63,53
50 ppm κατσίγαρου	0,21	0,27	-	-	-0,43	-	-
100 ppm κατσίγαρου	0,42	0,40	-	-	0,00	-	-
200 ppm κατσίγαρου	0,84	1,07	-	-	-0,03	-	-
1% κατσίγαρου	54	36,90	68,33	-	18,7	-	50,68

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας όλα όσα έχουμε δει στα παραπάνω κεφάλαια καταλήγουμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Φαινολικά οξέα:
  - Τα τέσσερα φαινολικά οξέα τα οποία υπέστησαν επεξεργασία αποδείχτηκαν εύκολα και πλήρως βιοαποδομήσημα κάτω από αναερόβιες συνθήκες.
  - Η διαδικασία βιοαποδόμησης και στα τέσσερα είχε πρακτικά ολοκληρωθεί μέσα στις πρώτες τέσσερις εβδομάδες.
  - Η παραγωγή βιοαερίου από την βιοαποδόμηση έφτασε και στα τέσσερα το επίπεδο της θεωρητικής παραγωγής αν συνυπολογίσουμε το γεγονός ότι μια μικρή ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου δεν καταφέραμε να την μετρήσουμε γιατί ήταν διαλυμένη στην υγρή φάση των δειγμάτων.
  - Η παραγωγή μεθανίου με την σειρά της κινήθηκε και αυτή σε ψηλά επίπεδα φτάνοντας σε μερικές περιπτώσεις και πάνω από την θεωρητική τιμή. Αυτό δείχνει ότι οι συνθήκες εντός των φιαλιδίων (αντιδραστήρων) ήταν σχεδόν ιδανικές όσον αφορά στην ανάπτυξη των μεθανιογενετικών μικροοργανισμών.
  - Τα παραπάνω χαρακτηριστικά της βιοαποδόμησης των φαινολικών οξέων τα οποία υπέστησαν επεξεργασία οφείλονται κατά πάσα πιθανότητα στο γεγονός ότι και τα τέσσερα χρησιμοποιούνται από την βιομηχανία τροφίμων ως συντηρητικά. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι ότι η συγκέντρωση τους στα αστικά λύματα να είναι σε σεβαστά επίπεδα και κατά συνέπεια οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιήσαμε (χρησιμοποιήθηκε λάσπη από τον αναερόβιο χωνευτή μονάδας επεξεργασίας αστικών λυμάτων) να έχουν εγκλιματιστεί και βελτιώσει παράλληλα την ικανότητα τους να αποδομούν τις εν λόγω ουσίες.
- Υγρά απόβλητα ελαιουργείου (κατσίγαρος):
  - Τα υγρά απόβλητα ελαιουργείου όπως ήταν αναμενόμενο, λόγω της φύσης τους δεν αποδείχτηκαν τόσο εύκολα βιοαποδομήσημα όσο τα φαινολικά οξέα.
  - Στις μικρές συγκεντρώσεις που υπέστησαν επεξεργασία αποδομήθηκαν πλήρως.
  - Η αποδόμηση σχεδόν ολοκληρώθηκε μέσα στις πρώτες τέσσερις εβδομάδες.

- Η παραγωγή βιοαερίου δεν παρουσίασε κάποιο πρόβλημα.
- Η παραγωγή μεθανίου παρουσιάστηκε μειωμένη τις δυο πρώτες εβδομάδες, έπειτα όμως επανήλθε στα κανονικά επίπεδα.
- Στην υψηλή συγκέντρωση δημιούργησε πρόβλημα στους μικροοργανισμούς κατά την διάρκεια της αποδόμησης της, γεγονός το οποίο μαρτυρά η μερική μόνο αποδόμηση της (67% αποδόμηση).
- Η παραγωγή βιοαερίου δεν παρουσίασε κάποιο πρόβλημα, αλλά όπως είναι λογικό δεν έφτασε στο θεωρητικό επίπεδο (68% του θεωρητικού).
- Τέλος ούτε η παραγωγή μεθανίου παρουσίασε κάποιο εμφανές πρόβλημα αλλά ήταν σχετικά χαμηλή σε σχέση με αυτή του βιοαερίου (50% μεθανίου στη παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου).
- Η παραπάνω δυσλειτουργία στην αποδόμηση των υγρών αποβλήτων ελαιουργείου οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα σε πτώση του pH η οποία προκλήθηκε από τα υγρά απόβλητα ελαιουργείου και είχε σαν συνέπεια την παρεμπόδιση της διαδικασίας της μεθανιογένεσης και κατά επέκταση της όλης διαδικασίας αποδόμησης.

5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Εν κατακλείδι και λαμβάνοντας υπόψη όλα όσα προηγήθηκαν μπορούμε να προτείνουμε τα εξής:

- Τα υγρά απόβλητα ελαιουργείου τόσο από περιβαλλοντικής άποψης (ρυπογόνος χαρακτήρας) όσο και από οικονομικής χρήζουν περαιτέρω εκτενής έρευνας.
- Η αναερόβια αποδόμηση θα μπορούσε να συνεισφέρει στην παραπάνω έρευνα κινούμενη προς τις εξής κατευθύνσεις:
    - Έλεγχος αποδομησιμότητας με την χρήση εναλλακτικής πειραματικής διάταξης (αντιδραστήρας, κτλ) η οποία θα παρέχει την δυνατότητα έλεγχου των συνθηκών που επικρατούν μέσα στον αντιδραστήρα (τιμή pH), καθώς επίσης και την δυνατότητα λεπτομερέστερης ανάλυσης του παραγόμενου βιοαερίου (ποσοστό υδρόθειου, κτλ).
    - Έλεγχος αποδομησιμότητας στο θερμοκρασιακό εύρος των θερμόφιλων οργανισμών.
    - Έλεγχος αποδομησιμότητας με χρήση επιλεγμένων μικροοργανισμών.
    - Έλεγχος αποδομησιμότητας με χρήση εγκλιματισμένων μικροοργανισμών
    - Έλεγχος αποδομησιμότητας προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ελαιουργείου.

- Έλεγχος αποδομησιμότητας μειγμάτων υγρών αποβλήτων ελαιουργείου με άλλα α-γροτοβιομηχανικά ή μη απόβλητα.

- Τέλος κρίνεται ενδιαφέρουσα η επέκταση της έρευνας της χρήσης της αναερόβιας απο-δόμησης σαν μορφή διαχείρισης και σε άλλα αγροτοβιομηχανικά απόβλητα.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- United States Environmental Protection Agency, Fate, Transport and Transformation Test Guidelines, OPPTS 835.3400, Anaerobic Biodegradability of Organic Chemicals, EPA 712–C–96–090, 1996

- Eleni Kouroutzidou, Irini Georgaki, Dionissios Mantzavinos and Thrassyvoulos Manios, Anaerobic biodegradability of gallic acid found in olive mill wastewaters, *J Chem Technol Biotechnol* 81:1594–1599 (2006)

- Petros Karageorgos, Alberto Coz, Magdalini Charalabaki, Nicolas Kalogerakis, Nikolaos P Xekoukoulotakis and Dionissios Mantzavinos, Ozonation of weathered olive mill wastewaters, *J Chem Technol Biotechnol* **81**:1570–1576 (2006)

- Dionissios Mantzavinos, Nicolas Kalogerakis,Treatment of olive mill effluents Part I. Organic matter degradation by chemical and biological processes :an overview , Environment International 31 289– 295 (2005)

- Καραγκούνη-Κύρτσου, Α., Γενική Μικροβιολογία, *Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης* Αθήνα, 1999.

- Κάλφας, Χ., “Παραγωγή Βιοαερίου από Αναερόβια Χώνευση Προεπεξεργασμένου και μη Ελαιοπολτού”, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2007.

- Ward, J.A., Hobbs, J.P., Holliman, J.P., Jones, L.D., Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources, *Bioresource Technology* 99, 7928–7940, 2008.

- Angelidaki, I., Ellegaard, L., Ahring, K.B., Applications of the Anaerobic

- Digestion Process, In: *Biomethanation, Volume II*, Ed. Ahring K.B., Springer, 2003.

- Gerardi, H. Michael, Microbiology of Anaerobic Digesters, John Wiley & Sons, 2003.

- Award, A., Salman., H., Hung, T.Y., Chapter 5, Olive Oil Waste Treatment,

- In: *Waste Treatment in the Food Processing Industry*, Ed. Wang, K.L., Hung, T.Y., Lo, H.H., Yapijakis, C., Taylor & Francis Group, 2006.

- Ποντίκης, Α.Κ., Ειδική Δενδροκομία Ελαιοκομία, Τρίτος Τόμος, *Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης* Αθήνα, 2000.

- Petrakakis, C., Chapter 9, *Olive Oil Extraction.* In *Olive Oil Chemistry and Technology*, Ed. Boskou, D., Second Edition, AOCS press, 2006.
- Hamdi, M., Toxicity and Biodegradability of Olive Mill Wastewater in Batch Anaerobic Digestion, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 37, 155-163, 1992.
- Metcalf & Eddy, Μηχανική Υγρών Αποβλήτων Επεξεργασία & Επαναχρησιμοποίηση, Τόμος Α & Β, Εκδόσεις Τζιόλα, 2006.
- Azbar, N., Bayram, A., Filibeli, A., Muezzinoglu, A., Sengul, F., Ozer, A., A Review of Waste Management Options in Olive Oil Production, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34, 209–247, 2004.
- Tsagaraki E., Lazarides N.H., Petrotos B.K., Chapter 8, *Olive Mill Wastewater Treatment*. In: *Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry,* Ed. Oreopoulou, V., Russ, W., Springer, 2007.
- Niaounakis, M. and Halvadakis C.P., Olive Processing Waste Management - Literature Review and Patent Survey, Second Edition, Elsevier, 2006.
- Sierra, J., Marti, E., Montserrat, G., Cruanas, R., Garau, M.A., Characterisation and evolution of a soil affected by olive oil mill wastewater disposal, *The Science of the Total Environment*, 279, 207-214, 2001.
- Kappelakis, E.I., Tsagarakis, P.K., Crowther, C.J., Olive oil history, production and by-product management, Review *Environmental Science Biotechnology*,7, 1–26, 2007.
- Kotsou, M., Mari, I., Lasaridi, K., Chatzipavlidis, I., Balis, C., Kyriacou, A., The effect of olive oil mill wastewater (OMW) on soil microbial communities and suppressiveness against *Rhizoctonia solani*, *Applied Soil Ecology* 26, 113–121, 2003.
- D’Annibale, A., Casa, R., Pieruccetti, F., Ricci, M., Marabottini, R., Lentinula edodes removes phenols from olive-mill wastewater: impact on durum wheat (Triticum durum Desf.) germinability, Chemosphere 54, 887–894, 2004.
- Paraskeva, P. and Diamadopoulos, E., Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment: a review**,** *J. Chemical Technology and Biotechnology*, 81, 1475- 1485, 2006.
- Mitrakas, M., Papageorgiou, G., Docoslis, A., Sakellaropoulos, G., Evaluation of various pretreatment methods for olive oil mill wastewaters, *European Water Pollution Control*, 6 (6), 10-16, 1996.

- Azabou, S., Najjar, W., Gargoubi A., Ghorbel A., Sayadi, S., Catalytic wet peroxide photo-oxidation of phenolic olive oil mill wastewater contaminants, Part II. Degradation and detoxification of low-molecular mass phenolic compounds in model and real effluent, *Applied Catalysis B: Environmental* 77, 166–174, 2007.

- Fountoulakis, M.S., Dokianakis, S.N., Kornaros, M.E., Aggelis, G.G., Lyberatos, G., Removal of phenolics in olive mill wastewaters using the white-rot fungus Pleurotus ostreatus, *Water Research*, 36 (19), 4735-4744, 2002.

- Di Giovacchino, L., Basti, C., Constantini, N., Surricchio, G., Ferrante, M., Lombardi, D., Effects of Spreading Olive Vegetable Water on Soil Cultivated with Maize and Gravevine, *Olivae*,91, 37-43, 2002.

- Dionisi, D., Caruccia G., Petrangeli M.P., Riccardi, C., Majone, M., Carrasco, F., Olive oil mill effluents as a feedstock for production of biodegradable polymers *Water Research*, 39, 2076–2084, 2005.

- Molina Alcaide, E. and Nefzaoui, A. Recycling of Olive Oil By-Products: Possibilities of Utilization in Animal Nutrition, *International Biodeterioration and Biodegradation*,Volume 38, Issue 3-4, 227-235, 1996.

- Agalias, A., Magiatis, P., Skaltsounis, L.A., Mikros, E., Tsarbopoulos, A., Gikas, E., Spanos, I., Manios, T., A New Process for the Management of Olive Oil Mill Waste Water and Recovery of Natural Antioxidants, J. Agricultural and. *Food Chemistry*, 55, 2671-2676, 2007.

- Paraskeva, A.C., Papadakis, G.V., Kanellopoulou, G.D., Koutsoukos, P.G., Angelopoulos, C.K., *Water Environment Research*, 79, 421-429, 2007.

- Paraskeva, A.C., Papadakis, G.V., Tsarouchi, E., Kanellopoulou, G.D., Koutsoukos, P.G., *Desalination*, 213, 218-229, 2007.