

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΑΧΕΙΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΤΗ
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΣΥΝ-ΧΩΝΕΥΣΗΣ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΠΛΥΣΗ ΠΑΤΑΤΑΣ

ΠΑΦΙΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΔΡ. ΔΙΟΝΥΣΗΣ ΜΑΝΤΖΑΒΙΝΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
ΔΡ ΔΕΣΠΩ ΚΑΣΙΝΟΥ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΚΠΑΙΡΕΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΜΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΘΕΩΡΩ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΝΑ ΠΡΟΒΩ ΣΤΙΣ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ ΤΩΝ **ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ ΔΡ. ΔΙΟΝΥΣΗ ΜΑΝΤΖΑΒΙΝΟ ΚΑΙ ΔΡ. ΔΕΣΠΩ ΚΑΣΙΝΟΥ** ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΜΕ ΤΙΣ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΣ ΜΕ ΒΟΗΘΗΣΑΝ ΝΑ ΤΕΛΕΙΩΣΩ ΑΥΤΗ ΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ. ΕΠΙΣΗΣ ΘΕΛΩ ΝΑ ΜΕΤΑΦΕΡΩ ΤΙΣ ΕΙΛΙΚΡΙΝΕΙΣ ΜΟΥ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ ΣΤΙΣ **ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ ΚΥΘΡΑΙΩΤΟΥ (ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΟΥ) ΚΑΙ ΜΑΡΙΑ ΜΟΝΟΥ (ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ)** ΟΙ ΟΠΟΙΕΣ ΜΕΤΑΦΕΡΟΝΤΑΣ ΜΟΥ ΤΙΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΜΕ ΒΟΗΘΗΣΑΝ Η ΚΑΘΕ ΜΙΑ ΜΕ ΔΙΚΟ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟ ΝΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΩ ΤΗΝ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΜΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑ.

ΕΙΝΑΙ ΠΡΕΠΟΝ ΝΑ ΠΩ ΕΝΑ ΜΕΓΑΛΟ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΣΤΟ **ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΑΙΑ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΚΥΠΡΟΥ** ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΧΗ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΠΕΡΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΟΥ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική έγινε μια σειρά πειραμάτων που αφορούσε την αναερόβια χώνευση/συν-χώνευση αγροβιομηχανικών αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα έγινε έλεγχος για τη βελτιστοποίηση της αναερόβιας συν-χώνευσης υγρών αποβλήτων από πλύσιμο πατάτας. Τα δείγματα που εξετάστηκαν ήταν απόβλητα από εκτροφείο αγελάδων, χοιροστασίου και σφαγείου συν-χωνευμένα με απόβλητα πατάτας. Για την τροφοδοσία μικροοργανισμών (seed inoculum) χρησιμοποιήθηκε υγρό απόβλητα από την είσοδο και έξοδο αναερόβιου χωνευτή από εγκατάσταση παραγωγής μπύρας.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος μετρούσαμε pH για να δούμε κατά πόσο λειτουργούσαν σωστά οι χωνευτήρες. Επίσης μετρήθηκαν οι παράμετροι ολικά και πτητικά στερεά. Τα πτητικά υπολογίστηκαν ως ποσοστό των ολικών στερεών. Μια άλλοι σημαντικοί παράμετρος που μας δείχνει αν διενέργεια της αναερόβιας συν-χώνευσης είχε επιτυχία είναι το ποσοστό του μεθανίου στο μίγμα του αερίου που παράχθηκε. Κατά το στάδιο του εγκλιματισμού γινόταν αντικατάσταση παλιού δείγματος με καινούργιο για περίπου 5 ημέρες.

Μετά από περίπου 666 ώρες πειράματος στο συνδυασμό με απόβλητα από εκτροφείο αγελάδων είχαμε παραγωγή όγκου αερίου μίγματος 3058,5 ml και μέγιστο ποσοστό μεθανίου μέσα σ' αυτό το 60%. Ελάχιστη παραγωγή αερίου μίγματος είχε η αναερόβια συν-χώνευση αποβλήτου από σφαγείου με την πατάτα. Αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η αγελάδα μπορεί να είναι καλό συστατικό για την αναερόβια συν-χώνευση ενώ το σφαγείο συστατικό το οποίο παρεμποδίζει την λειτουργία της αναερόβιας συν-χώνευσης. Τέλος η πατάτα από μόνη της θεωρείται συστατικό το οποίο λόγω των χαρακτηριστικών της δεν μπορεί να χωνευθεί εύκολα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	7
1.1 Εισαγωγή	7
1.2 Χρονική διάρκεια αναερόβιας χώνευσης	9
1.3 Αναερόβιοι μικροοργανισμοί	9
1.4 Βιοχημεία αναερόβιας χώνευσης	9
1.5 Υδρόλυση	11
1.6 Ζύμωση	11
1.7 Ομολακτική Ζύμωση.....	11
1.8 Αλκοολική Ζύμωση.....	12
1.9 Οξυγένεση	12
1.10 Μεθανογένεση	12
1.11 Χημικές Αντιδράσεις	12
1.12 Παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση.....	13
1.13 Θερμοκρασία	13
1.14 pH.....	14
1.15 Τοξικότητα	15
1.16 Έλεγχος αφρισμού	16
1.17 Υψηλό οργανικό φορτίο.....	16
1.18 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης αποβλήτων ...	17
1.19 Αναερόβια συν-χώνευση	17
1.20 Πλεονεκτήματα αναερόβιας συν-χώνευσης.....	18
2. ΑΝΑΕΡΟΒΙΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ	20
2.1 Τύποι αναερόβιων αντιδραστήρων	20
2.2 Αναερόβιοι χωνευτήρες συνεχούς ροής	21
2.3 Αναερόβιοι χωνευτήρες διαλείποντος έργου (batch).....	22
2.4 Παράμετροι παρακολούθησης αναερόβιας χώνευσης/συν-χώνευσης	22

2.5	Μέτρηση των παραμέτρων παρακολούθησης	23
2.6	Βιοαέριο.....	24
2.7	Μεθάνιο	25
2.8	Διοξείδιο του άνθρακα	25
2.9	Υδρογόνο	25
2.10	Αέρια φάση.....	26
2.11	Υγρή φάση.....	26
2.12	Υδροθείο.....	26
2.13	Αλκαλικότητα	26
2.14	Οργανικά Στερεά	27
2.15	Παράμετροι ελέγχου χώνευσης	28
3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΑΠΟ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ / ΣΥΝ-ΧΩΝΕΥΣΗ		29
3.1	Χαρακτηριστικά μεθανίου	29
3.2	Παραγωγή μεθανίου από αναερόβια χώνευση/ συν-χώνευση	30
3.3	Τεχνικές αξιολόγησης δυναμικού παραγωγής μεθανίου αποβλήτων.....	31
4. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ		32
4.1	Χοιροστάσια	32
4.2	Εκτροφείο αγελάδων	32
4.3	Απόβλητα από σφαγείο.....	32
4.4	Απόβλητα από παραγωγή προϊόντων πατάτας	33
5. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ		34
6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....		35
6.1	Χαρακτηριστικά των αποβλήτων	35
6.2	Υλικά και συσκευές.....	36
6.3	Μέθοδοι	36
6.3.1	Μέτρηση pH.....	36

6.3.2	Σύστημα εκτοπισμού του νερού για τον υπολογισμό του όγκου του παραγόμενου βιοαερίου.....	37
6.3.3	Μέθοδος ολικών και πτητικών στερεών.....	38
6.3.4	Γενικά	39
7.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	40
7.1	Όγκος παραγόμενου αερίου και παραγωγή μεθανίου.....	40
7.2	pH.....	44
7.3	Ολικά στερεά και πτητικά στερεά.....	45
8.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	50
9.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	51

1. ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η αναερόβια χώνευση αποτελεί πλέον μία διαδεδομένη μέθοδο επεξεργασίας αποβλήτων. Η επιτυχία της μεθόδου πηγάζει από το συνδυασμό αποτελεσμάτων που μπορεί να αποφέρει εκτός από τη μείωση των αποβλήτων, όπως μείωση της οσμής, των παθογόνων μικροοργανισμών, τη διατήρηση των θρεπτικών στοιχείων στις (στερεές ή και υγρές) εκροές, και τη μείωση εκπομπών αέριων του θερμοκηπίου. Καθώς κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες η μέθοδος αποτελεί κλειστό κύκλο άνθρακα [Wilkie, 2005], δε συνεισφέρει στις εκπομπές διοξειδίου στην ατμόσφαιρα. Η αναερόβια χώνευση πλέον, δεν είναι μόνο μία μέθοδος επεξεργασίας αποβλήτων, αλλά συνεισφέρει στην ποιότητα του περιβάλλοντος και στην αειφόρο ανάπτυξη.

1.1 Εισαγωγή

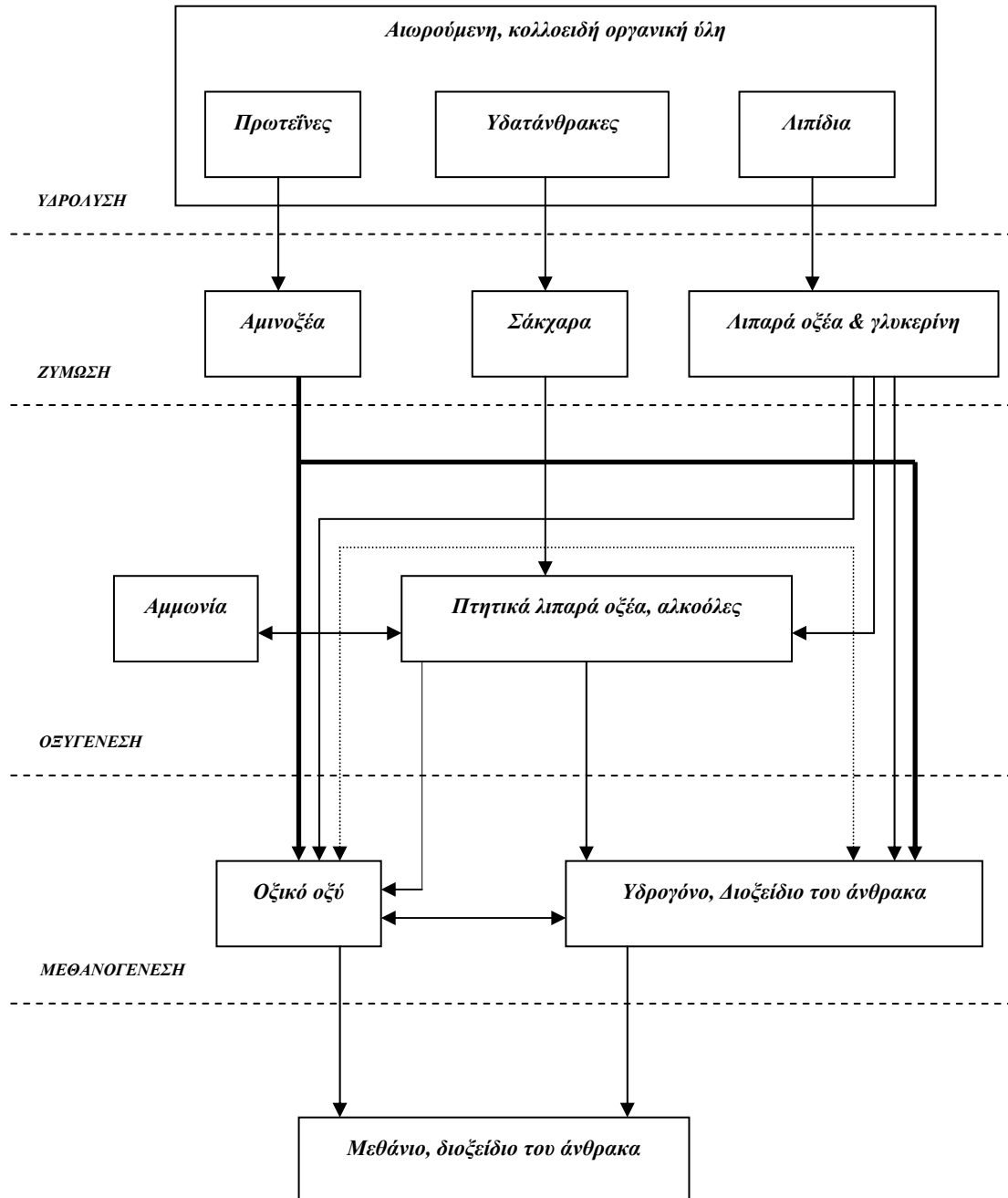
Η αναερόβια χώνευση αποτελείται από τέσσερα στάδια:

- την υδρόλυση,
- τη ζύμωση,
- την οξυγένεση και
- τη μεθανογένεση

όπως φαίνονται στο Σχήμα 1.1. Η πραγματοποίηση των 4 σταδίων γίνεται από τη συμβιωτική λειτουργία ενός μίγματος μικροοργανισμών. Η μικροβιολογία της αναερόβιας χώνευσης αποτελεί ένα πολύπλοκο σύστημα. Το μίγμα του βιοαερίου αποτελείται από περίπου 50-60% μεθάνιο, 38-48% διοξείδιο του άνθρακα και περίπου 2% άλλα αέρια [Caine, 2000]. Η μετατροπή της οργανικής λειτουργίας σε βιοαέριο γίνεται μέσα από τη συμβιωτική λειτουργία των μικροοργανισμών. Μέσα από τη διεργασία της μετατροπής σε βιοαέριο, έχουμε σταθεροποίηση μέχρι και 90% του οργανικού φορτίου [Lester and Birkett, 1999]. Η παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου ποικίλλει μεταξύ άλλων ανάλογα με την ποσότητα και είδος του οργανικού φορτίου και τις επιδράσεις της θερμοκρασίας στο ρυθμό αποσύνθεσης και επομένως την παραγωγή βιοαερίου.

Στο πρώτο στάδιο δηλαδή την υδρόλυση, τα αδιάλυτα βιο-πολυμερή μετατρέπονται σε διαλυτές οργανικές ενώσεις και στη συνέχεια, στο δεύτερο στάδιο τη ζύμωση οι διαλυτές οργανικές ενώσεις μετατρέπονται σε πτηνικά λιπαρά οξέα και διοξείδιο του άνθρακα. Κατά το τρίτο στάδιο την οξυγένεση τα λιπαρά οξέα μετατρέπονται σε οξικά

άλατα και υδρογόνο. Τέλος έχουμε μετατροπή του υδρογόνου και των οξικών αλάτων σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα δηλαδή έχουμε τη μεθανογένεση [Lettinga et al., 1999]. Στο καθένα από τα πιο πάνω στάδια, δραστηριοποιούνται και οι αναγκαίοι μικροοργανισμοί για τη μεταβολή των ενώσεων.



ΣΧΗΜΑ 1.1: ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ [LETTINGA ET AL., 1999]

1.2 Χρονική διάρκεια αναερόβιας χώνευσης

Ο χρόνος ο οποίος χρειάζεται για να ολοκληρωθούν οι διεργασίες της αναερόβιας χώνευσης, μπορεί να κυμανθεί από δευτερόλεπτα σε μερικές μέρες. Ο χρόνος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων ως προς το περιεχόμενο σε οργανικά πολυμερή και τη αποικοδόμηση τους. Επίσης, σημαντικό ρόλο έχει και η παρουσία ή απουσία συγκεκριμένων μικροοργανισμών, καθώς και η συμπεριφορά των μικροοργανισμών που είναι παρόντες [Pind et al., 2003].

1.3 Αναερόβιοι μικροοργανισμοί

Αναερόβιος οργανισμός ονομάζεται οποιοσδήποτε οργανισμός ο οποίος δεν χρειάζεται οξυγόνο για την επιβίωσή του [Lowrie and Wells, 1994]. Αυτού του τύπου οργανισμοί χωρίζονται σε υποδιαιρέσεις.

- Αυστηρά αναερόβιοι (obligate anaerobes), είναι αυτοί που θα πεθάνουν σε περίπτωση που εκτεθούν σε ατμοσφαιρικά επίπεδα οξυγόνου, ενώ
- προαιρετικά αερόβιοι/αναερόβιοι (facultative anaerobes), είναι οργανισμοί οι οποίοι χρησιμοποιούν οξυγόνο όταν υπάρχει.
- Μικροοργανισμοί οι οποίοι δεν χρειάζονται οξυγόνο για να επιβιώσουν, αλλά η έκθεσή τους στον αέρα δε θα επηρεάσει τη λειτουργία τους είναι γνωστοί ως aerotolerant.

Υπάρχουν επίσης οργανισμοί ο οποίοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν οξυγόνο αλλά μόνο σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (επίπεδα micromolar), ενώ η ανάπτυξή τους περιορίζεται σε κανονικές συγκεντρώσεις οξυγόνου (περίπου 200 micromolar). Αυτοί είναι γνωστοί ως microaerophiles.

Παρομοίως, οργανισμοί δεν μπορούν να επιβιώσουν σε micromolar επίπεδα, αλλά χρειάζονται nanomolar συγκεντρώσεις οξυγόνου (nanaerobes). Οι δεσμευμένοι αναερόβιοι οργανισμοί επιβιώνουν μέσω της ζύμωσης ή αναερόβιας αναπνοής.

1.4 Βιοχημεία αναερόβιας χώνευσης

Υπάρχουν 3 είδη μικροοργανισμών οι οποίοι δραστηριοποιούνται κατά τη διάρκεια των βιοχημικών αντιδράσεων της αναερόβιας χώνευσης. Αυτοί οι μικροοργανισμοί είναι:

- υδρολυτικοί και ζυμωτικοί μικροοργανισμοί οι οποίοι ευθύνονται για την αρχική υδρόλυση των οργανικών πολυμερών και των λιπιδίων προς απλούστερες χημικές ενώσεις

- οξυγενή βακτήρια τα οποία διασπούν τις ουσίες αυτές σε απλά οργανικά οξέα
- αυστηρά αναερόβια μεθανογόνα βακτήρια τα οποία μετατρέπουν το υδρογόνο και το οξικό οξύ σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Μια διεργασία αναερόβιας χώνευσης η οποία είναι σε καλή λειτουργία γίνεται από συνδυασμό μικροοργανισμών που είναι ζυμωτικοί και μεθανογενείς. Επιτρέπουν μόνο το 30% του άνθρακα να μετατραπεί σε άλλες ενώσεις [Mackie and Bryant, 1981]

Για τη διατήρηση ισορροπίας κατά την αναερόβια χώνευση, απαιτείται τα παραγόμενα από τις πρώτες δύο ομάδες μικροοργανισμών (υδρόλυσης και ζύμωσης, και παραγωγοί υδρογόνου) οξικά άλατα και υδρογόνο, να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα για την παραγωγή μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα. Οι μικροοργανισμοί υδρόλυσης και ζύμωσης μπορούν να επιβιώσουν και στην απουσία των μεθανογόνων μικροοργανισμών. Στην περίπτωση αυτή θα παραχθούν αυξημένες συγκεντρώσεις ενδιάμεσων ενώσεων όπως πτητικά λιπαρά οξέα.

Αντιθέτως, η ομάδα μικροοργανισμών που παράγουν υδρογόνο, στηρίζονται στην δραστηριότητα των μεθανογόνων μικροοργανισμών. Οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί, χρησιμοποιούν το παραγμένο υδρογόνο επιτρέποντας τη σωστή λειτουργία των μικροοργανισμών που μπορούν να παράγουν υδρογόνο μόνο όταν αυτό είναι κάτω από κάποια συγκέντρωση [Mackie and Bryant, 1981].

Στις περιπτώσεις που οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί απουσιάζουν λόγω υψηλών συγκεντρώσεων υδρόθειου ή/και αμμωνίας, οι συντροφικές σχέσεις φαίνεται πως είναι μεγάλης σημασίας [Schneider, 1994, 1999]. Κάτω από αυτές τις συνθήκες οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί που εκμεταλλεύονται τα οξικά άλατα εμποδίζονται, και αντικαθίστανται από άλλες ομάδες μικροοργανισμών, οξειδώνοντας τα οξικά άλατα σε υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Οι διεργασίες αυτές προχωρούν καλύτερα σε πιο υψηλές θερμοκρασίες, λόγω θερμοδυναμικών περιορισμών. Αυτές είναι οι διεργασίες μετατροπής των οξικών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 60°C, κοντά στην ανώτατη θερμοκρασία που μπορούν να λειτουργήσουν οι θερμοφιλοί μεθανογόνοι μικροοργανισμοί οι οποίοι εκμεταλλεύονται τα οξικά άλατα [Zinder and Koch, 1984, Lee and Zinder, 1988].

1.5 Υδρόλυση

Κατά την υδρόλυση, ένας μικρός αριθμός μικροοργανισμών φαίνεται ότι είναι σε θέση να παράγει τα αναγκαία ένζυμα για τη διάσπαση των πολύ μεγάλων ενώσεων, ενώ καθώς μικραίνουν τα μόρια, όλο και περισσότεροι μικροοργανισμοί είναι σε θέση να τα διασπάσουν. Τα περισσότερα μόρια του ένζυμου λιπάσης κατά την αναερόβια χώνευση, φαίνεται να παράγονται από τα είδη clostridia και micrococci. Αυτό το ένζυμο, κατά την αναερόβια χώνευση «επιτίθεται» στα τριγλυκερίδια για να παραχθούν λιπαρά οξέα και γλυκερίνη. Στην αναερόβια χώνευση, παρατηρείται ιδιαίτερα μεγάλη ποικιλία πρωτεαλυτικών ενζύμων, από τα οποία ορισμένα είναι πολύ εξειδικευμένα. Τα πρωτεαλυτικά ένζυμα μπορούν να δράσουν σε ένα μεγάλο φάσμα pH (5-11) [Lester and Birkett, 1999].

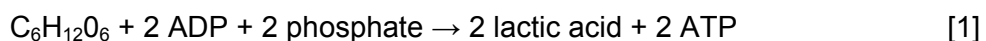
Σημαντικά παραδείγματα πολυσακχάρων στην αναερόβια χώνευση, είναι η κυτταρίνη, ημι-κυτταρίνη (hemicellulose) και το άμυλο. Κατά την υδρόλυση, οι συγκεκριμένες ενώσεις διασπώνται αρχικά από εξωκυτταρικά υδρολυτικά τα οποία παράγονται από διάφορα γένη βακτηρίων [Lester and Birkett, 1999].

1.6 Ζύμωση

Το πιο εύκολο υπόστρωμα για ζύμωση είναι τα αμινοξέα και τα σάκχαρα. Ενώ τα σάκχαρα συχνά ζυμώνονται σε αλκοόλες, το πιο σημαντικό προϊόν από τη ζύμωση των αμινοξέων, είναι τα πυροσταφυλικά. Η ζύμωση μπορεί να είναι ομολακτική, ή αλκοολική και μπορεί να γίνει με στερεό ή υγρό υπόστρωμα [Lowrie and Wells, 1994].

1.7 Ομολακτική Ζύμωση

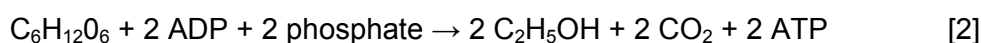
Το ένζυμο lactate dehydrogenase είναι το γλυκολυτικό ένζυμο που είναι υπεύθυνο για τη μετατροπή των πυροσταφυλικών ενώσεων σε εστέρες γαλακτικού οξέος ενώ οξειδώνει το NADH σε NAD κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Σε αυτή την αντίδραση, το υδρογόνο από το μόριου του NADH μεταφέρεται στις πυροσταφυλικές ενώσεις, με αποτέλεσμα η διπλή ένωση άνθρακα οξυγόνου να αναχθεί σε μονή ένωση με την προσθήκη ενός ατόμου υδρογόνου. Η ομολακτική ζύμωση χρησιμοποιείται κυρίως από μικροοργανισμούς. Η αντίδραση από τη γλυκόζη μέχρι τα προϊόντα της ζύμωσης έχει ως ακολούθως:



όπου η ενέργεια που απελευθερώνεται είναι περίπου 150 kJ ανά mole, η οποία διατηρείται στο σύστημα για τη δημιουργία των δύο ATP.

1.8 Αλκοολική Ζύμωση

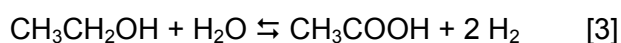
Με τη δράση του ενζύμου πυροσταφυλικής δεκαρποξυλάσης (pyruvate decarboxylase), ένα μόριο διοξειδίου του άνθρακα αφαιρείται από την ένωση πυροσταφυλικού, δίνοντας ένα μόριο ακεταλδεΐδης. Το τελευταίο ανάγεται από το ένζυμο alcohol dehydrogenase το οποίο μεταφέρει το υδρογόνο από το NADH στην ακεταλδεΐδη για τη δημιουργία NAD και αιθανόλης. Τα φυτά και οι μύκητες (π.χ. μαγιά) γενικά χρησιμοποιούν τη ζύμωση αλκοολών (αιθανόλης) όταν το οξυγόνο περιορίζεται:



Σε αυτή την περίπτωση η ενέργεια που απελευθερώνεται είναι περίπου 180 kJ/mole, η οποία και πάλι διατηρείται στο σύστημα για τη δημιουργία των δύο ATP.

1.9 Οξυγένεση

Κατά τη φάση της οξυγένεσης, τα παράγωγα της ζύμωσης μετατρέπονται σε οξικά άλατα και υδρογόνο:



Η μετατροπή αυτή πραγματοποιείται από μικροοργανισμούς οι οποίοι είναι γνωστοί ως παράγωγοι υδρογόνου οξυγενή βακτήρια.

1.10 Μεθανογένεση

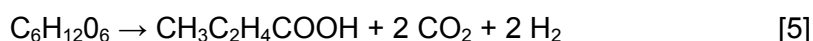
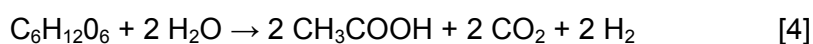
Στο τελευταίο στάδιο της μεθανογένεσης, οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν το υδρογόνο και το διοξείδιο του άνθρακα αλλά και ουσίες όπως το μυρμηκικό οξύ, μεθανόλη κ.λ.π, για την παραγωγή μεθανίου.

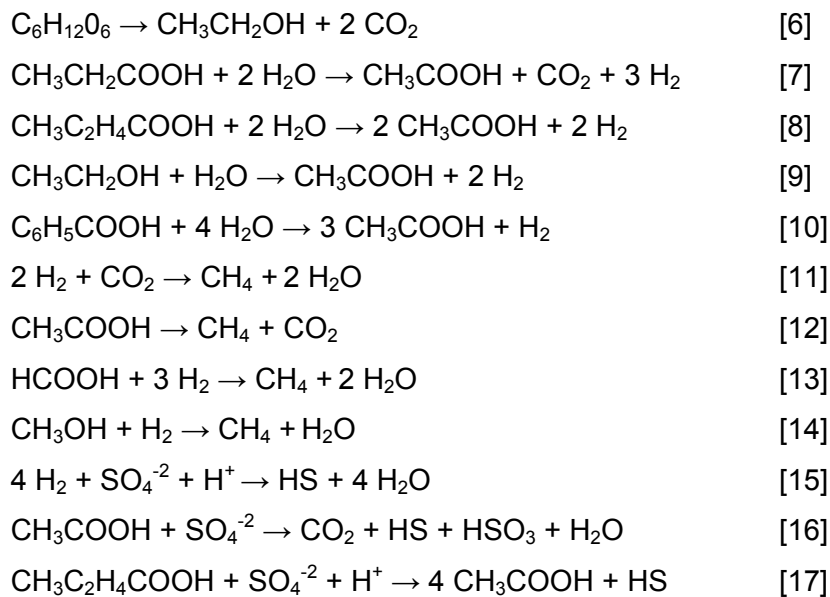
Τα κύρια γένη που έχουν προσδιορισθεί για μεθανογένεση είναι τα εξής βακτήρια:

- Methanobacterium,
- Methanobacter
- οι κόκκοι Methanococcus και Methanosarcina.

1.11 Χημικές Αντιδράσεις

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την αναερόβια χώνευση μπορούν να απλοποιηθούν στις πιο κάτω χημικές εξισώσεις [Φάττα, 1998]:





1.12 Παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση

Κάτω από ασταθείς συνθήκες, μπορούν να παραχθούν ενδιάμεσες ενώσεις όπως τα πτητικά λιπαρά οξέα και αλκοόλες, ουσίες που μπορεί να προκαλέσουν περεταίρω αστάθεια. Ως αποτέλεσμα, επηρεάζεται και η ποσότητα του παραγομένου μεθανίου. Οι πιο σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν την ισορροπία του συστήματος είναι:

- η θερμοκρασία,
- το pH,
- η δομή
- σύσταση του υποστρώματος και
- οι τοξικές ουσίες.

1.13 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν τη μικροβιακή ανάπτυξη. Οι ρυθμοί ανάπτυξης συχνά αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας ως κάποιο σημείο. Σε περίπτωση που η θερμοκρασία αυξηθεί περισσότερο, παρατηρείται ραγδαία μείωση του ρυθμού ανάπτυξης καθώς πλησιάζει τη μέγιστη θερμοκρασία επιβίωσης των βακτηρίων. Η θερμοκρασία επηρεάζει επίσης σημαντικά και τη φυσική κατάσταση του συστήματος: το ιξώδες, την επιφανειακή τάση και τις ιδιότητες μεταφοράς μάζας. Μικρές διακυμάνσεις στη θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσουν μείωση της αποδοτικότητας μέχρι την αναπροσαρμογή του συστήματος.

Οι μικροοργανισμοί χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τις θερμοκρασίες που μπορούν να επιβιώσουν, αλλά και να είναι πιο δραστήριοι. Η πιο ευνοϊκή θερμοκρασία για τους θερμόφιλους μικροοργανισμούς είναι μεγαλύτερη των 40 °C, 20-40 °C για τους μεσόφιλους και μικρότερες θερμοκρασίες από 20 °C για τους ψυχρόφιλους μικροοργανισμούς [Lowrie and Wells, 1994].

Καθώς η θερμοκρασία αυξάνει το ρυθμό χώνευσης, σημαίνει ότι αυξάνεται και ο παραγόμενος όγκος μεθανίου. Οι Casali και Senior [1989] υποστηρίζουν πως η παραγωγή μεθανίου αυξάνεται κατά 2,6 φορές με αύξηση της θερμοκρασίας από θερμοκρασία περιβάλλοντος σε 30°C, ενώ αυξάνεται κατά 3 φορές όταν η θερμοκρασία αυξάνεται από 30 σε 40°C. Εντούτοις, μεγαλύτερη αύξηση θερμοκρασίας δεν αυξάνει την παραγωγή μεθανίου, καθώς η μέγιστη παραγωγή μεθανίου παρατηρείται στους 30 με 60 °C [Angelidaki et al., 2003]. Η επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό ανάπτυξης, μπορεί να γίνει προφανής μόνο όταν ο ρυθμός εισαγωγής οργανικού φορτίου είναι ψηλός ή οι χρόνοι κράτησης μικροί. Η μεθανογένεση είναι πραγματοποιήσιμη και σε ψυχρόφιλες θερμοκρασίες (<25 °C) και ακραίες θερμόφιλες (>70 °C) αλλά σε χαμηλότερους ρυθμούς, καθώς υπάρχουν αναερόβια βακτήρια που μπορούν να προσαρμοστούν στις συνθήκες [van Lier, 1996].

Κατά την αλλαγή από μεσοφιλικές σε θερμοφιλικές θερμοκρασίες, βρέθηκε ότι οι πληθυσμοί των μικροοργανισμών παραμένουν σταθεροί, πράγμα που υποδεικνύει πως δραστηριοποιούνται περισσότεροι μικροοργανισμοί οι οποίοι είναι ανθεκτικοί στο κρύο, παρά ψυχρόφιλοι [Angelidaki et al., 2003].

1.14 pH

Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται σε pH μεταξύ 6 και 8, με ευνοϊκότερο το pH 7. Πολύ μικρός αριθμός μικροοργανισμών μπορεί να επιβιώσει σε pH κάτω από 4. Το ιδανικό pH για την αναερόβια χώνευση κυμαίνεται μεταξύ 6,0 με 8,5, καθώς pH μικρότερο ή μεγαλύτερο, μπορεί να προκαλέσει αποσταθεροποίηση του συστήματος [Lowrie and Wells, 1994]. Το κάθε είδος μικροοργανισμού που συμμετέχει στην αναερόβια χώνευση έχει το δικό του ευνοϊκότερο pH, και μπορεί να αναπτυχθεί μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος pH. Ενώ τα πρώτα στάδια της διεργασίας, μπορούν να γίνουν σε ένα φάσμα pH [de Mes et al., 2003], η μεθανογένεση μπορεί να προχωρήσει μόνο σε pH κοντά στο 7 [Lettinga and

Haandel, 1993]. Σε pH μικρότερα του 6,5 ή μεγαλύτερα του 7,5 η παραγωγή μεθανίου μειώνεται σημαντικά [de Mes et al., 2003].

Σε περίπτωση αστάθειας σε ένα αναερόβιο αντιδραστήρα έχει αποδειχθεί ότι παράγονται πτητικά λιπαρά οξέα, που μπορούν να χαμηλώσουν το pH [Lettinga et al., 1999]. Κατά τη χώνευση ορισμένων αποβλήτων όπως κοπριά, παρατηρείται ότι το pH δε χαμηλώνει, αλλά υπάρχει μία ουδέτερη ζώνη η οποία επιτρέπει μέχρι κάποιο σημείο τη διατήρηση του pH σε σταθερά επίπεδα.

Το pH του αντιδραστήρα μπορεί να επηρεαστεί και από άλλες συνθήκες: το διοξείδιο του άνθρακα και τα οργανικά οξέα χαμηλώνουν το pH, ενώ η αμμωνία το αυξάνει. Αντίθετα, το υδροθείο και τα φωσφορικά μπορούν να συνεισφέρουν στη ρυθμιστική ικανότητα του αντιδραστήρα [Angelidaki et al., 2003].

Η πτώση του pH αποτελεί ένδειξη προβληματικής λειτουργίας ενός χωνευτήρα και όχι αιτία της μη ικανοποιητικής λειτουργίας. Άλλες ενδείξεις είναι η ελάττωση της αλκαλικότητας, του ρυθμού παραγωγής βιοαερίου, καθώς και η αύξηση της συγκέντρωσης των πτητικών οξέων και του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα στο βιοαέριο.

Οι λύσεις που προτείνονται για αύξηση του pH περιλαμβάνουν την προσθήκη ουσιών για αύξηση της αλκαλικότητας, μεταβολή στη συχνότητα και τον τρόπο τροφοδοσίας καθώς και απομάκρυνση των τοξικών ουσιών.

1.15 Τοξικότητα

Οι πιο ευαίσθητοι μικροοργανισμοί στην τοξικότητα κατά την αναερόβια χώνευση θεωρούνται οι μεθανογενείς, αλλά μπορούν να εγκλιματιστούν σε τυχόν αλλαγές εάν τους δοθεί χρόνος προσαρμογής [Lettinga et al., 1999]. Ο πιο κοινός παρεμποδιστής κατά την αναερόβια χώνευση είναι η αμμωνία. Η αμμωνία στην αναερόβια χώνευση προέρχεται από τη διαλυμένη αμμωνία στις εισροές, από τη χημική αποδόμηση των πρωτεϊνών και άλλων ουσιών όπως την ουρία. Σημαντικές συγκεντρώσεις αμμωνίας συνήθως περιέχονται σε απόβλητα τα οποία περιέχουν ουσίες όπως περιττώματα χοίρων και πουλερικών, απόβλητα σφαγείων, πατάτα και χυμούς. Η ποσότητα που μπορεί να περιέχουν σε αμμωνιακό άζωτο επηρεάζεται από το pH, τη θερμοκρασία και την προσαρμογή της τροφοδοσίας του χωνευτήρα (inocula).

Άλλες ουσίες που μπορεί να είναι τοξικές για την αναερόβια χώνευση είναι τα πτητικά λιπαρά οξέα, κατιόντα όπως του νατρίου, καλίου και ασβέστη, βαρέα μέταλλα, σουλφίδια και ξενοβιοτικές ενώσεις [de Mes et al., 2003].

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΜΜΩΝΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Συγκέντρωση Αμμωνίας mg NH ₃ /l	Επίδραση
50-200	Θετικά
200-1000	Όχι αρνητική δράση
1500-3000	παρεμποδιστική σε pH 7,4-7,6
Πάνω από 3000	τοξική

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Κατιόν	Συγκέντρωση mg/l		
	Θετική	Μετρίως παρεμποδιστική	Ισχυρώς παρεμποδιστική
Ασβέστιο	100-200	2500-4500	8000
Μαγνήσιο	75-150	1000-4500	3000
Κάλιο	200-400	2500-4500	12000
Νάτριο	100-200	2300-5500	8000

1.16 Έλεγχος αφρισμού

Οι σημαντικότεροι λόγοι για τη δημιουργία αφρού στους χωνευτές αναφέρονται πιο κάτω:

- Υψηλή συγκέντρωση λιπών
- Ανεπαρκής ανάδευση ή πολύ έντονη ανάδευση
- Υψηλό ποσοστό ενεργού ιλύος στην τροφοδοσία
- Συμπύκνωση ιλύος με επίπλευση
- Μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας
- Υψηλή παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα
- Υψηλή αλκαλικότητα

1.17 Υψηλό οργανικό φορτίο

Είναι επίσης συχνή η δημιουργία στερεοποιημένου αφρού (scum), που μπορεί να δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα, όπως την παρεμπόδιση της διαφυγής του

παραγόμενου βιοαερίου. Χαρακτηριστικό του αφρού είναι η υπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων νηματοειδών μικροοργανισμών του είδους *Nocardia*. Έλεγχος του αφρισμού μπορεί να επιτευχθεί με:

- Προσαρμογή του τρόπου και ρυθμού ανάδευσης. Προτιμητέα η συνεχής ανάδευση
- Κατάλληλη ρύθμιση του συστήματος θέρμανσης για αποφυγή διακυμάνσεων της θερμοκρασίας

1.18 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης αποβλήτων

Με τη σωστή αξιοποίηση του μεθανίου, η αναερόβια χώνευση μπορεί να αποτελέσει σημαντική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Ακόμα, η διεργασία καταναλώνει λίγη ενέργεια (0,05 – 0,1 kWh/m³ σε κανονικές θερμοκρασίες), η οποία εξαρτάται από την ανάγκη για κυκλοφορία και ανακύκλωση. Με την αναερόβια χώνευση η συγκέντρωση των υπολοίπων στερεών από τη διεργασία είναι αρκετά χαμηλή ενώ η παραγωγή λάσπης σε σύγκριση με την αερόβια χώνευση είναι επίσης αρκετά λιγότερη. Επίσης, υπάρχει σημαντική μείωση των οσμών και θρεπτικών στοιχείων (όπως άζωτο και κάλιο). Σύγχρονες μονάδες αναερόβιας χώνευσης, μπορούν να ανταπεξέλθουν σε πολύ ψηλά οργανικά φορτία (>30gr. COD /l /μέρα σε θερμοκρασία 30°C και μέχρι 50gr. COD /l /μέρα σε θερμοκρασία 40°C). Παράλληλα, τα κόστη κατασκευής είναι σχετικά χαμηλά, ενώ η ανάγκη σε χώρο επίσης αρκετά χαμηλή σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα διαχείρισης αποβλήτων [Gerbens and Zeeman, 1999].

Τα μειονεκτήματα της διεργασίας σχετίζονται με την ευαισθησία των μεθανογόνων μικροοργανισμών. Η αρχή της λειτουργίας μιας εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης μπορεί να πάρει αρκετό χρόνο, λόγω της αργής ανάπτυξης των αναερόβιων μικροοργανισμών [de Mes et al., 2003]. Τέλος, σε περίπτωση που η επεξεργασία εφαρμόζεται σε απόβλητα που περιέχουν θειούχες ενώσεις, αυτό μπορεί να έχει αποτέλεσμα την παραγωγή οσμών, λόγω της δημιουργίας σουλφιδίων. Σε αυτή την περίπτωση χρειάζεται επιπλέον επεξεργασία για τη μετατροπή των σουλφιδίων σε θείο.

1.19 Αναερόβια συν-χώνευση

Πολλές φορές η αναερόβια χώνευση δεν είναι οικονομικά βιώσιμη

- λόγω της χαμηλής ποιότητας του παραγόμενου βιοαερίου [Campos et al., 2000]

- λόγω του χαμηλού ποσοστού βιοαποδόμησης συγκεκριμένων αποβλήτων όπως η λάσπη [Hansen et al., 1998].

Οι παράγοντες αυτοί, επηρεάζονται σημαντικά από τα είδη αποβλήτων που χωνεύονται [Ahning et al., 1992]. Βάσει της εμπειρίας των τελευταίων χρόνων [Angelidaki et al., 1997a], τα αγροβιομηχανικά απόβλητα αποτελούν πολύ καλό υπόστρωμα για συν-χώνευση, λόγω της ψηλής περιεκτικότητας

- υγρασίας
- θρεπτικών στοιχείων
- αλκαλικότητας

Πολύ σημαντικά αποτελέσματα είχαμε από την αναερόβια συν-χώνευση αποβλήτων από μονάδες εκτροφής αγελάδων με μπετονίτη σε σχέση με το παραγόμενο βιοαέριο [Ahning et al. 1992]. Η δυναμική παραγωγή μεθανίου σε αγροβιομηχανικά απόβλητα είναι το αποτέλεσμα της ψηλής συγκέντρωσης σε λιπίδια. Υπάρχει όμως η πιθανότητα να εμποδίζεται από τις μεγάλες αλυσίδες των λιπαρών οξέων υπό συγκεκριμένες συνθήκες [Angelidaki et al., 1992].

1.20 Πλεονεκτήματα αναερόβιας συν-χώνευσης

Η διαθέσιμη βιβλιογραφία αναερόβιας συν-χώνευσης, δείχνει ότι η παραγωγή βιοαερίου και συγκεκριμένα μεθανίου, είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με χώνευση ενός μόνο είδους αποβλήτου [Campos et al., 2000· Kararaju and Rintala, 2004].

Σημαντικό είναι και το γεγονός ότι μία μονάδα συν-χώνευσης θα εκμεταλλεύεται περισσότερες από μία ροή αποβλήτων. Ακόμα, σε περίπτωση που η μονάδα χωνεύει αγροτικά απόβλητα, που συνήθως συνδέονται με εποχιακές διακυμάνσεις, θα μπορεί να λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια της χρονιάς με τη συν-χώνευση, κάνοντας τη μονάδα οικονομικά βιώσιμη.

Η αναερόβια συν-χώνευση μπορεί να δράσει και ως μεταβλητή ελέγχου της χώνευσης καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει τα προβλήματα που προκαλούν ενώσεις όπως η αμμωνία και οι ξενοβιοτικές ενώσεις [Angelidaki and Ahning, 1994]. Σε συστήματα υψηλού ρυθμού, η συν-χώνευση είναι η μόνη μέθοδος η οποία μπορεί να διασφαλίσει ικανοποιητικά τα επίπεδα των θρεπτικών στοιχείων που απαιτούνται για σωστή χώνευση [Pind et al., 2003].

Πρόσφατα πειράματα των Kararaju και Rintala [2004] αλλά και των Hartmann και Ahning [2005], έχουν δείξει ότι η παρουσία αμμωνίας δε φαίνεται να δρα ως

παρεμποδιστής σε συστήματα συν-χώνευσης αποβλήτων κτηνοτροφικών μονάδων, πιθανή ένδειξη πως το σύστημα γίνεται πιο ανθεκτικό στην τοξικότητα διαφόρων ουσιών.

2. ΑΝΑΕΡΟΒΙΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ

2.1 Τύποι αναερόβιων αντιδραστήρων

Οι αντιδραστήρες αναερόβιας χώνευσης (χωνευτές, digesters) είναι συνήθως κυλινδρικές δεξαμενές, σταθερής η κινητής οροφής διαμέτρου 6-35 m και ύψους 14 m. Ο πυθμένας είναι συνήθως κεκλιμένος προς το κέντρο με κλίση 1 κάθετο μήκος προς 4-6 οριζόντια μήκη. Οι αντιδραστήρες μπορεί να είναι συνεχείς και διαλείποντος έργου ενώ πέραν από αυτές τις μορφές και με τη βοήθεια κάποιων μετατροπών έχουν δημιουργηθεί και άλλοι τύποι αντιδραστήρων όπως :

- plug-flow,
- πλήρους μίξης,
- πληρωμένη κλίνη (packed bed) ή ρευστοποιημένης κλίνης.

Οι τύποι αντιδραστήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αναερόβια χώνευση σε πειραματική ή πραγματική κλίμακα, είναι οι ίδιοι όπως κάθε άλλη χημική διεργασία. Οι αντιδραστήρες που χρησιμοποιούνται για αναερόβια χώνευση μπορούν να ονομαστούν και χωνευτήρες, καθώς χρησιμοποιούνται για τη χώνευση του οργανικού φορτίου. Επίσης, μπορούν να ονομαστούν και βιο-αντιδραστήρες ή βιο-χωνευτήρες, καθώς η χώνευση του οργανικού φορτίου γίνεται με τη δράση μικροοργανισμών. Οι αναερόβιοι αντιδραστήρες, μπορούν να χωριστούν περαιτέρω σε αυτούς που έχουν υδραυλικό χρόνο κράτησης μικρότερο από 5 μέρες (high-rate, υψηλού ρυθμού) και αυτούς που έχουν υδραυλικό χρόνο κράτησης μεγαλύτερο από 5 μέρες (low-rate, χαμηλού ρυθμού). Στις περισσότερες περιπτώσεις οι χαμηλού ρυθμού χωνευτήρες έχουν υδραυλικό χρόνο κράτησης περισσότερο από 10 μέρες.

Μερικοί από τους τύπους αντιδραστήρων που χρησιμοποιήθηκαν για πειράματα αναερόβιας συν-χώνευσης παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 2.1). Όπως φαίνεται, χρησιμοποιούνται πιο συχνά οι ασυνεχείς και οι ημι-συνεχείς αντιδραστήρες σε σύγκριση με τους συνεχείς. Ο τύπος χωνευτήρα που χρησιμοποιείται, εξαρτάται κυρίως από τα απόβλητα που θα χωνευτούν [Pind et al., 2003].

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ ΣΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΣΥΝΧΩΝΕΥΣΗΣ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Βιβλιογραφική Αναφορά	Τύπος χωνευτήρα	Υπόστρωμα
Angelidaki I και Ahring BK. 1997b	Διαλείποντος έργου	Υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων με κοπριά ή οργανικό κλάσμα απορριμμάτων ή λάσπη από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων
Campos et al. 1999	Διαλείποντος έργου	Λάσπη χοιροστασιών με οργανικά απόβλητα βιομηχανίας τροφίμων
Campos et al. 2000	Συνεχούς ροής Διαλείποντος έργου	Λάσπη χοιροστασιών με olive bleaching earth
Stroot et al. 2001	Ημι-συνεχή	Οργανικό κλάσμα απορριμμάτων και βιοστερεά με λάσπη από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων
Intrachandra et al. 2002	Διαλείποντος έργου	Συνδυασμός αποβλήτων μονάδων εκτροφής πουλερικών, λάσπης χοιροστασιών, απόβλητων σφαγείου, λάσπη από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων
Kaprajou και Rintala. 2004	Ημι-συνεχή	Tuber πατάτας και βιομηχανικά παραπροϊόντα με κοπριά χοιροστασιών
Parawira et al. 2004	Διαλείποντος έργου	Στερεά απόβλητα από πλύσιμο πατάτας και με φύλλα ζαχαροκάλαμου
Neves et al. 2005	Ημι-συνεχή	Απόβλητα καφέ με λάσπη από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων
Fernández et al.	Ημι-συνεχή	Οργανικό κλάσμα απορριμμάτων με βιομηχανικά λίπη

2.2 Αναερόβιοι χωνευτήρες συνεχούς ροής

Η συνεχής χώνευση μπορεί να θεωρηθεί ανοικτό σύστημα, καθώς τα περιεχόμενα μπορούν να τροποποιηθούν καθ' όλη τη διάρκεια της χώνευσης. Οι τροποποιήσεις περιλαμβάνουν προσθαφαιρέσεις οργανικής ύλης, που μπορούν να γίνουν σε σταθερές χρονικές περιόδους. Αυτή η λειτουργία, επιτρέπει τους μικροοργανισμούς

να διατηρούνται σε εκθετική ανάπτυξη. Βασικό κριτήριο για τη σωστή λειτουργία του χωνευτήρα, είναι η διατήρηση των αναγκαίων περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών (pH, θερμοκρασία κλπ) [Lowrie and Wells, 1994]. Ως αποτέλεσμα των πιο πάνω, η διεργασία είναι πιο αποδοτική. Οι χωνευτήρες δεν χρειάζεται να είναι μεγάλοι και γενικά η χώνευση είναι πιο οικονομικά συμφέρουσα από τη χώνευση διαλείποντος έργου. Ωστόσο, πρακτικά είναι πολύ δύσκολο να παρακολουθηθούν και να διατηρηθούν όλοι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται η χώνευση στα σωστά επίπεδα [Lowrie and Wells, 1994].

2.3 Αναερόβιοι χωνευτήρες διαλείποντος έργου (batch)

Στη χρήση αντιδραστήρων διαλείποντος έργου, ο αντιδραστήρας τίθεται σε λειτουργία, αφού τροφοδοτηθεί η επιθυμητή ποσότητα υποστρώματος και μικροοργανισμών. Το παραγμένο προϊόν απομακρύνεται από τον αντιδραστήρα. Κατά τη διάρκεια της διεργασίας δεν υπάρχουν καθόλου παρεμβολές, προσθήκες, ή αφαιρέσεις εκτός από το προϊόν. Όπως είναι αναμενόμενο, λόγω της χώνευσης οι συνθήκες στο χωνευτήρα μεταβάλλονται συνεχώς [Lowrie and Wells, 1994]. Μία παραλλαγή του ασυνεχές χωνευτήρα, είναι οι fed-batch χωνευτήρες, όπου επιπλέον οργανική ύλη ή θρεπτικά συστατικά προστίθενται στο σύστημα κατά τη λειτουργία του.

Ο αντιδραστήρας διαλείποντος έργου σε σύγκριση με τους αντιδραστήρες συνεχόμενης λειτουργίας είναι ευκολότερος στο σχεδιασμό και στην εγκατάσταση, αλλά και στον έλεγχο των περιβαλλοντικών παραμέτρων. Ως αποτέλεσμα, σε περίπτωση που κάτι δεν λειτουργεί όπως είχε προβλεφθεί, μπορούν να γίνουν αλλαγές ούτως ώστε να βελτιωθεί η λειτουργία του αντιδραστήρα [Lowrie and Wells, 1994].

2.4 Παράμετροι παρακολούθησης αναερόβιας χώνευσης/συν-χώνευσης

Η παρακολούθηση της αναερόβιας χώνευσης είναι αναγκαία για την επίτευξη της καλύτερης δυνατής χώνευσης ή παραγωγής βιοαερίου/μεθανίου. Για την παρακολούθηση της αναερόβιας διεργασίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν παθητικές μέθοδοι, όπως παρακολούθηση του ρυθμού παραγωγής βιοαερίου [Gujer and Zehnder, 1983].

Ορισμένες από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες παραμέτρους για παρακολούθηση της αναερόβιας χώνευσης, περιλαμβάνουν αλκαλικότητα, pH, ρυθμός παραγωγής αερίου και ποσότητες μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα στο παραγόμενο αέριο [Ahrling et al. 1995]. Η δυνατότητα μίας παραμέτρου να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση του συστήματος, πηγάζει από τη σύνθεση της διεργασίας και τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων [Björson et al. 2000].

Έρευνα των Björson et al. (2000), που έγινε με σκοπό την αξιολόγηση παραμέτρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της αναερόβιας συν-χώνευσης, έδειξε ότι παράμετροι της αέριας φάσης, ανταποκρίνονται καθυστερημένα σε αλλαγή του οργανικού φορτίου, ενώ τα πτητικά λιπαρά οξέα είναι καλύτερα για την ένδειξη υπερφόρτωσης του μικροβιακού συστήματος. Η αλκαλικότητα και το pH, θεωρούνται ως κατάλληλες παράμετροι για την γενική παρακολούθηση της διεργασίας. Ωστόσο, το pH εξαρτάται σημαντικά από τη ρυθμιστική ικανότητα (buffer capacity) που περιέχεται στο σύστημα, η οποία είναι χαρακτηριστικό των αποβλήτων.

Κατά το σχεδιασμό πειραμάτων αναερόβιας χώνευσης (ή μονάδα αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων), πρέπει να σχεδιαστεί και το σύστημα παρακολούθησης της διεργασίας. Η πρώτη και βασική ερώτηση που πρέπει να απαντηθεί είναι 'ποιος είναι ο λόγος που γίνεται η αναερόβια χώνευση;'. Αυτό θα δώσει μια κατεύθυνση για τις παραμέτρους που πρέπει να παρακολουθούνται κατά τη διεργασία. Μεταξύ άλλων θα πρέπει να αποφασισθούν οι εισροές στο σύστημα και ποιες από αυτές μπορούν να τροποποιηθούν, ποιοι παράγοντες αναμένονται να επηρεάσουν τη λειτουργία του συστήματος, ποιες οι εκροές από το σύστημα που μπορούν να μετρηθούν και ποιες όχι, καθώς και άλλες παράμετροι που χρειάζονται για τον έλεγχο της διεργασίας.

Ο έλεγχος του αναερόβιου χωνευτήρα, μπορεί να γίνει με την τροποποίηση διαφόρων παραμέτρων. Στη δημοσίευση των Pind et al. [2003] δίνεται μία αναλυτική περιγραφή των διαφόρων παραμέτρων που μπορούν να αλλάξουν με στόχο τον έλεγχο της χώνευσης.

2.5 Μέτρηση των παραμέτρων παρακολούθησης

Για την αξιολόγηση των παραμέτρων που παρακολουθούνται κατά τη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης, μπορεί να γίνει με μία σειρά αναλυτικών μεθόδων.

2.6 Βιοαέριο

Ο παραγόμενος όγκος βιοαερίου, αντιπροσωπεύει την κατάσταση στον αναερόβιο αντιδραστήρα: εάν η μεθανογένεση εμποδιστεί ή υπερφορτωθεί, θα δημιουργηθεί αύξηση στην παραγωγή ενδιάμεσων ενώσεων και μείωση στην παραγωγή βιοαερίου. Η σύγκριση του αναμενόμενου όγκου βιοαερίου με την πραγματική, μπορεί να οδηγήσει στην αξιολόγηση της λειτουργίας του χωνευτήρα. Η πιο κοινή εργαστηριακή μέθοδος μέτρησης του όγκου βιοαερίου από αναερόβια χώνευση, είναι η χρήση ογκομετρικών οργάνων για τον προσδιορισμό της εκτόπισης του νερού από το αέριο (displacement) [Björson et al., 2000· Pind et al., 2003]. Οι συγκεκριμένες συσκευές μπορούν να μετρήσουν, με την κατάλληλη διαβάθμιση και την αρχική μέτρηση, όγκους μέχρι ορισμένα χιλιόλιτρα ανά ώρα [Pind et al., 2003].

Οι μετρητές παραγωγής μεθανίου από αναερόβια χώνευση, μπορούν να είναι συνεχείς, ασυνεχείς και ήμι-συνεχείς. Ο πρώτος τύπος, χρησιμοποιείται συχνά σε βιομηχανική κλίμακα και έχει τα ελαττώματα ψηλού κόστους και χαμηλής ευαισθησίας σε χαμηλές ροές. Επίσης, οι μετρητές αυτοί διαθέτουν μεταλλικά μέρη τα οποία είναι ευάλωτα στην διάβρωση από το υγραμένο βιοαέριο με κάποιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και υδρόθειου [Veiga et al. 1990].

Οι ασυνεχείς μετρήσεις, γίνονται με τη συμβατική μέθοδο αντικατάστασης υγρού (liquid displacement). Απαιτείται η περιοδική επαναφορά των αρχικών συνθηκών (reset) και χωρίζονται σε δύο τύπους [Stafford et al, 1980]. Με τον πρώτο τύπο, χρειάζεται περιοδική καταγραφή του όγκου υγρού που έχει αντικατασταθεί από το αέριο. Το υγρό το οποίο θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι όξινο, ώστε να μην επιτραπεί η διάλυση του διοξειδίου του άνθρακα. Η πίεση στην επιφάνεια του υγρού πρέπει να είναι διορθωμένη σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία. Η μέθοδος είναι κατάλληλη για απλά και σύντομα πειράματα.

Το δεύτερο είδος ασυνεχών μετρήσεων, στηρίζεται στη χρήση των δοχείων Mariotte, όπου η ποσότητα του αερίου ορίζεται από την ποσότητα υγρού που αφαιρέθηκε από το δοχείο. Το υγρό πρέπει να γεμίζεται ξανά κατά διαστήματα. Το υγρό μπορεί να είναι όξινο ή αλκαλικό. Κατά τη δεύτερη περίπτωση, μετριέται η παραγόμενη ποσότητα του μεθανίου και όχι το βιοαέριο (τα υπόλοιπα αέρια στο βιοαέριο αντιδρούν με το αλκαλικό διάλυμα). Ο συγκεκριμένος τύπος μετρητή, βρέθηκε ιδιαίτερα χρήσιμος στα πειράματα μεθανογενούς δραστηριότητας [de Zeew, 1984], καθώς και στη μηχανοποιημένη μέτρηση αθροιστικής παραγωγής αερίου.

Οι ημι-συνεχείς μετρητές είναι πιο μηχανοποιημένοι. Η λειτουργία τους στηρίζεται σε καταγραφή αυτόματου σήματος το οποίο ορίζεται από τον όγκο αερίου που παράγεται στο χωνευτήρα.

2.7 Μεθάνιο

Διοχετεύοντας το βιοαέριο μέσα από μία στήλη ή στρώμα άσβεστου ανθρακικού νατρίου (lime sodium carbonate), το διοξείδιο του άνθρακα και οι υπόλοιπες όξινες ενώσεις μπορούν να αφαιρεθούν (scrubbed off) και το μεθάνιο μπορεί να μετρηθεί με απλές ογκομετρικές μεθόδους. Το ποσοστό μεθανίου στο βιοαέριο, μπορεί επίσης να μετρηθεί με μεθόδους αέριας χρωματογραφίας ή υπεριώδους ακτινοβολίας [Pind et al., 2003].

Εάν ο στόχος των πειραμάτων όμως, είναι η παρακολούθηση παραγωγής μεθανίου, η οποία εξαρτάται από τη δραστηριότητα των μεθανογόνων μικροοργανισμών και ως αποτέλεσμα απαιτείται η παρακολούθηση της δραστηριότητας αυτής, η άποψη των Rozzi et al. (1983) είναι πως η καλύτερη παράμετρος παρακολούθησης είναι η παραγωγή μεθανίου αυτή καθαυτή.

2.8 Διοξείδιο του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα στο βιοαέριο, μπορεί να μετρηθεί με Detection tube, καταλυτική καύση (catalytic combustion), φασματοφωτομετρία υπεριώδους ακτινοβολίας (infrared spectrophotometry), αέρια χρωματογραφία (gas chromatography), ειδική βαρύτητα (specific gravity) και ηλεκτρόδιο διοξειδίου του άνθρακα (carbon dioxide specific electrode)[Rozzi et al., 1983].

Βάσει της βιβλιογραφίας, οι πιο κοινές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η μέτρηση του δισανθρακικού σε υγρή μορφή, αφού αφαιρεθεί το διοξείδιο του άνθρακα από στο μίγμα του βιοαερίου, μετά το ελεγχόμενο 'καθάρισμα' του βιοαερίου με το πέρασμα ατμού ή άλλου αερίου (stripping) [Pind et al., 2003].

2.9 Υδρογόνο

Το υδρογόνο, είναι ενδιάμεσο προϊόν της αναερόβιας χώνευσης. Παράγεται ως αποτέλεσμα της οξυγένεσης, και καταναλώνεται από μεθανογόνους μικροοργανισμούς κατά τη μεθανογένεση για την παραγωγή μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα. Εάν η συγκέντρωση του υδρογόνου για κάποιο λόγο αυξηθεί

περισσότερο από το ανεκτό από τους μικροοργανισμούς, δρα ως εμποδιστής καθώς η διεργασία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη (ενεργειακά υπέρ μόνο εάν η συγκέντρωση του υδρογόνου είναι μικρότερη των 40nM, αντίστοιχη με λιγότερα από 6Pa σε θερμοκρασία 35°C [Paus et al., 1990]). Εάν η ισορροπία αυτή διαταραχθεί, επιτρέπεται η συσσώρευση και άλλων ενδιάμεσων ενώσεων, αλλάζοντας περαιτέρω τις ισορροπίες στο σύστημα [Switzenbaum et al., 1990].

2.10 Αέρια φάση

Μετρήσεις της συγκέντρωσης του υδρογόνου στην αέρια φάση, μπορούν να γίνουν με ανιχνευτές υδραργύρου - οξειδίου του υδραργύρου, με όριο ανίχνευσης μέχρι και 0,01ppm ή 1mPa [Paus et al., 1990]. Άλλη προτεινόμενη μέθοδος, είναι ημιαγωγοί μεταλλικού οξειδίου παλλαδίου (Pd-MOS) [Paus et al., 1990].

2.11 Υγρή φάση

Το διαλυμένο υδρογόνο μπορεί να μετρηθεί με ηλεκτρόδιο που μετρά ηλεκτρικό ρεύμα (ampereometric probe) για χαμηλές συγκεντρώσεις μέχρι και 50nM [Kuroda et al., 1991]. Για λίγο μεγαλύτερες συγκεντρώσεις της τάξης των 80nM μπορεί να χρησιμοποιηθεί κύτταρο καυσίμων υδρογόνου/αέρα (hydrogen/air fuel cell) [Paus et al., 1990]. Εάν το δείγμα είναι αρκετά καθαρό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η φασματομετρία μάζας [Frigon and Guiot, 1995].

2.12 Υδρόθειο

Αν και η αναμενόμενη συγκέντρωση υδρόθειου στο βιοαέριο κυμαίνεται στα 1000 με 3000 ppm [Pind et al., 2003], το υδρόθειο μπορεί να επιδράσει σημαντικά στο pH, καθώς μπορεί να μετατραπεί σε θειικό οξύ. Το υδρόθειο μπορεί να μετρηθεί με ηλεκτρονικούς αισθητήρες ή μετρήσεις στο αέριο.

2.13 Αλκαλικότητα

Η αλκαλικότητα, μπορεί να μετρηθεί με τιτλοδότηση στο pH 5.75 ως μερική αλκαλικότητα (partial alkalinity, PA) και στο 4.3 ως ολική αλκαλικότητα. Η μερική αλκαλικότητα, παρέχει πληροφορίες για τη συγκέντρωση του διασπαρακτικού, που πολλές φορές είναι σημαντικότερη από τη συνολική, καθώς μπορεί να αντιπροσωπεύσει την ρυθμιστική ικανότητα του συστήματος. Η ολική αλκαλικότητα

περιέχει και τη συγκέντρωση των πτητικών λιπαρών οξέων [Björson et al. 2000, Rozzi et al., 1983].

2.14 Οργανικά Στερεά

Ο σκοπός και ο στόχος της αναερόβιας χώνευσης, είναι η μετατροπή της οργανικής ύλης σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Ως αποτέλεσμα, η αποδοτικότητα της χώνευσης μπορεί να μετρηθεί με τη σύγκριση του οργανικού φορτίου πριν και μετά τη χώνευση. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω της μέτρησης των συνολικών στερεών (total solids, TS) και των πτητικών στερεών (volatile solids, VS). Τα πτητικά στερεά αντιπροσωπεύουν την οργανική ύλη στο δείγμα.

Τα συνολικά στερεά μετρούνται ως ξηρή μάζα, αφού το δείγμα έχει ξηρανθεί για τουλάχιστον μία ώρα στους 103 – 105°C. Η μέτρηση περιλαμβάνει οργανική και ανόργανη ύλη με σημείο ζέσεως μεγαλύτερο των 105°C. Αυξάνοντας τη θερμοκρασία στους 550°C για μία ώρα, η υπόλοιπη μάζα δίνει τη μάζα των πτητικών στερεών στο δείγμα. Πολλές φορές ανάλογα με το είδος αποβλήτου, ο λόγος ολικών στερεών προς πτητικών στερεών είναι περίπου σταθερός, επιτρέποντας τη μέτρηση μόνο μιας από τις δύο μάζες και τον υπολογισμό της δεύτερης.

Για δείγματα όπου η συγκέντρωση διαλυμένων στερεών είναι χαμηλή, μπορεί να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις συνολικού οργανικού άνθρακα (total organic carbon, TOC) για τα οργανικά στερεά. Εξατμίζοντας όλη την περιεχόμενη υγρασία του δείγματος, μετατρέποντας χημικά όλο τον άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα, και μετά μετρώντας το διοξείδιο του άνθρακα με αναλυτή υπεριώδους ακτινοβολίας, μετριέται ο συνολικός οργανικός άνθρακας. Η ακριβής διαδικασία δίνεται σε βιβλία τυποποιημένων μεθόδων (standard methods).

Άλλη μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι ο υπολογισμός του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (chemical oxygen demand, COD), όπου ο άνθρακας οξειδώνεται σε καταστροφικές θερμοκρασίες. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι πως συμπεριλαμβάνεται στις μετρήσεις άνθρακας που δεν είναι βιολογικά διασπασίμος. Πράγμα που σημαίνει πως είναι άνθρακας που δε θα χωνευτεί. Αυτός είναι και ο λόγος που προτιμώνται οι βιολογικές μέθοδοι για υπολογισμό του οργανικού φορτίου [Pind et al., 2003].

Ως αποτέλεσμα ο υπολογισμός του βιολογικά απαιτούμενου οξυγόνου (biological oxygen demand, BOD) είναι πιο αντιπροσωπευτική μέτρηση του βιοαποδομήσιμου οργανικού φορτίου. Ο υπολογισμός γίνεται με τη μέτρηση του απαιτούμενου οξυγόνου για αερόβια χώνευση σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο, η οποία είναι συνήθως πέντε μέρες (BOD₅). Ωστόσο, ο άνθρακας που μπορεί να χωνευτεί αερόβια, δε σημαίνει πως μπορεί να χωνευτεί και αναερόβια, δημιουργώντας αβεβαιότητα στο αποτέλεσμα.

2.15 Παράμετροι ελέγχου χώνευσης

Μία παράμετρος για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος ελέγχου της χώνευσης, πρέπει να μπορεί να μεταβληθεί άμεσα και η μεταβολή της να φέρνει τα αναγκαία αποτελέσματα στο σύστημα άμεσα. Οι περισσότερες εξωτερικές φυσικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία, ο όγκος και ο ρυθμός φόρτωσης (loading rate), αλλά και πολλές εσωτερικές φυσικές συνθήκες όπως το pH, η ανάδευση και η συγκέντρωση συστατικών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μεταβλητές του συστήματος. Οι περισσότερες μεταβλητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο αερόβιου χωνευτήρα. Εντούτοις, η χρήση των μεταβλητών σε αναερόβια σύστημα, είναι αρκετά διαφορετική καθώς η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης είναι αρκετά πολύπλοκη λόγω της μη γραμμικής σχέσης που υπάρχει [Pind et al., 2003].

Οι παράμετροι οι οποίες χρησιμοποιούνται συχνά για τον έλεγχο της αναερόβιας χώνευσης είναι ο υδραυλικός χρόνος κράτησης, ο χρόνος κράτησης λάσπης, ο ρυθμός οργανικής φόρτισης, το pH και η αλκαλικότητα (δισανθρακικού).

3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΑΠΟ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ / ΣΥΝ-ΧΩΝΕΥΣΗ

Η ποιότητα του παραγόμενου βιοαερίου από αναερόβια χώνευση εξαρτάται κυρίως από την περιεχόμενη ποσότητα μεθανίου.

3.1 Χαρακτηριστικά μεθανίου

Το καθαρό μεθάνιο σε κανονική πίεση και θερμοκρασία, έχει κατώτατη θερμαντική αξία περίπου 34.400 kJ/m^3 [North American Manufacturing, 1978]. Τα βασικά χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά του βιοαερίου εξαρτώνται από τα επιμέρους χαρακτηριστικά του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1. ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΚΑΙ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ [STAFFORD ET AL.1980]

Χαρακτηριστικό	Μεθάνιο ^α	Διοξείδιο του άνθρακα ^α
Ειδική Βαρύτητα, αέρας = 1 ^β	0,554	1,52
Ειδικός όγκος	1,51 m ³ /kg	0,55 m ³ /kg
Θερμοχωρητικότητα, C _p @ 101 kPa	2261 J/kg K	858 J/kg K
Λόγος C _p / C _v	1,307	1,303
Ευφλεκτότητα (Limit of inflammability)	5-15% κ.ό.	
Στοιχειομετρία στον αέρα	0,0947 κ.ό. 0,0581 κ.β.	

^α Ιδιότητες καθαρών αερίων στους 25°C και ατμοσφαιρική πίεση.

^β Αέρας στου 101 kPa και 15.6 °C

Καθώς το περιεχόμενο μεθανίου στο βιοαέριο είναι συνήθως περίπου 40-80%, το βιοαέριο έχει θερμαντική αξία περίπου $13.720 - 27.440 \text{ kJ/m}^3$. Το βιοαέριο που παράγεται από αναερόβια χώνευση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επί τόπου για παραγωγή θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί εκτός της εγκατάστασης, είτε με συλλογή και μεταφορά σε άλλη μονάδα εκμετάλλευσης βιοαερίου ή ως παροχή ηλεκτρισμού ή ζεστού νερού [Walsh et al, 1989].

Το μεθάνιο είναι αέριο το οποίο παράγεται φυσικά κατά την αναερόβια αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Το θετικό του μεθανίου είναι πως μπορεί να παραχθεί 'εύκολα' με πολύ απλές μεθόδους, επιτρέποντας την εκμετάλλευσή του από αναπτυσσόμενες χώρες. Άλλα πλεονεκτήματα του μεθανίου σε σύγκριση με άλλα είδη καυσίμων, είναι

η ευκολία και το χαμηλό κόστος φύλαξης, μεταφοράς και διανομής [Lowrie and Wells, 1994].

3.2 Παραγωγή μεθανίου από αναερόβια χώνευση/ συν-χώνευση

Όπως έχει ήδη ειπωθεί προηγουμένως, η ποσότητα μεθανίου στο βιοαέριο εξαρτάται κυρίως από τη σύσταση του οργανικού φορτίου το οποίο χωνεύεται, αλλά και τις συνθήκες που επικρατούν κατά τη χώνευση επιτρέπονται στους διάφορους τύπους μικροοργανισμών να δραστηριοποιηθούν. Η παραγωγή μεθανίου κατά την αναερόβια χώνευση εξαρτάται κυρίως από τους μεθανογόνους μικροοργανισμούς, αλλά και από τους υπόλοιπους, καθώς υπάρχει συμβιωτική συμπεριφορά μεταξύ μικροοργανισμών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΙΔΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ [ANGELIDAKI ET AL., 2003]

Είδος	Σύσταση οργανικού φορτίου	Οργανικό φορτίο (%)	Παραγωγή Μεθανίου (m ³ /t)
Ζωικά όργανα (π.χ. στομάχι, έντερα)	Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	15-20	40-60
Λάσπη από στάδιο επίπλευσης	65-70% πρωτεΐνες, 30-35% λιπίδια	13-18	80-130
Λάσπη από παραγωγή ιχθυοκομικών προϊόντων	30-50% λιπίδια και άλλη οργανική ύλη	80-85	450-600
Οργανικά οικιακά απορρίμματα	Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	20-30	150-240
Ορός από γαλακτοκομία	75-80% λακτόζη, 20-25% πρωτεΐνες	7-10	40-55
Συμπυκνωμένος ορός από γαλακτοκομία	75-80% λακτόζη, 20-25% πρωτεΐνες	18-22	100-130
Μαρμελάδα	90% ζάχαρη, οργανικά οξέα φρούτων	50	300
Λάδι σόγιας/ Μαργαρίνη	90% φυτικά έλαια	90	800-1000
Αλκοολούχα Ποτά (Methylated spirits)	40% αλκοόλες	40	240
Λάσπη από σταθμούς	Υδατάνθρακες,	3-4	17-22

επεξεργασίας λυμάτων	αστικών	πρωτεΐνες, λιπίδια		
Συμπυκνωμένη λάσπη από σταθμούς αστικών λυμάτων	επεξεργασίας	Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	15-20	85-110

3.3 Τεχνικές αξιολόγησης δυναμικού παραγωγής μεθανίου αποβλήτων

Πριν από την έναρξη πειραμάτων αναερόβιας χώνευσης, μια σειρά απλών υπολογισμών και πειραμάτων, μπορούν να δώσουν την αναμενόμενη ποσότητα μεθανίου από τα συγκεκριμένα απόβλητα, ή άλλα είδη υποστρώματος που θα χρησιμοποιηθούν στα πειράματα. Η βιολογική αποδόμηση (βιο-αποδόμηση) οργανικής ουσίας στον αναερόβιο χωνευτήρα, μπορεί να γίνει με συνεχείς ή ασυνεχείς τεχνικές. Οι συνεχείς τεχνικές είναι πιο αντιπροσωπευτικές ενός πραγματικού αντιδραστήρα, αλλά οι ασυνεχείς είναι καλύτερες στον προσδιορισμό παραγόντων που πιθανό να επηρεάσουν τη λειτουργία του [Owen et al, 1979].

4. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

4.1 Χοιροστάσια

Η πιο συνηθισμένη χρήση των αποβλήτων από χοιροστάσια είναι ως λίπασμα σε γεωργικές καλλιέργειες. Στην αρχική τους μορφή ένα ποσοστό είναι στην υγρή φάση και το υπόλοιπο σε στερεή μορφή. Τις περισσότερες φορές γίνεται μηχανικός διαχωρισμός όπου τα υγρά συλλέγονται και μεταφέρονται μέσω αγωγών σε παρακείμενες λίμνες όπου με τη βοήθεια των κλιματικών συνθηκών περίπου το 40% εξατμίζεται ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιείται ως λίπασμα σε γειτονικές καλλιέργειες. Τα στερεά πριν χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα αποθηκεύονται προσωρινά.

4.2 Εκτροφείο αγελάδων

Τα απόβλητα που βρίσκονται σε στερεή μορφή τυγχάνουν της ίδιας χρήσης με αυτά των χοιροστασιών. Συλλέγονται και αποθηκεύονται προσωρινά μέχρις ότου χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα σε αγροτικές καλλιέργειες. Τα υγρά απόβλητα μεταφέρονται με αγωγούς σε πρόχειρες ανοιχτές λίμνες εντός της φάρμας. Οι συγκεκριμένες λίμνες δεν έχουν τύχει ιδιαίτερης σημασίας με αποτέλεσμα να μην είναι η εφικτή η αποτροπή της απορροής των αποβλήτων σε γειτονικές γεωργικές κατοικίες και ακόμα χειρότερα σε κοντινές κατοικίες. Για τη λύση του προβλήματος δεν έχουν ληφθεί οποιαδήποτε μέτρα για την λύση του προβλήματος.

4.3 Απόβλητα από σφαγείο

Στο σφαγείο της Κοφίνου έχει εγκατασταθεί εδώ και δύο χρόνια βιολογικός καθαρισμός για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων της μονάδας. Αρχικά γίνεται διαχωρισμός των υγρών από τα στερεά απόβλητα. Τα υγρά απόβλητα μεταφέρονται μέσω κλειστών αγωγών στην αερόβια επεξεργασία και αποθηκεύονται προσωρινά σε μια στεγανή δεξαμενή. Για τη μείωση του υψηλού οργανικού φορτίου προστίθενται βακτήρια BIOLEN. Στη συνέχεια αντλούνται σε μια δεξαμενή επίπλευσης όπου γίνεται αφαίρεση των λιπών μηχανικά. Ακολούθως γίνεται εισαγωγή κροκκιδωτικού και με τη βοήθεια περιστρεφόμενων πτερυγίων γίνεται καθίζηση της συσσωρευμένης λάσπης μετά τη δεξαμενή επίπλευσης υπάρχουν 2 αγωγοί οι οποίοι οδηγούν σε δύο παράλληλους αντιδραστήρες διαλείποντος έργου σε σειρά που έχουν βάθος 6 m ο καθένας. Το απόβλητο εισάγεται σε μία από τις δύο δεξαμενές όπου γίνεται αερισμός

με μηχανικούς αναδευτήρες για περίπου 2 ώρες. Η μεγάλη βιοκοινότητα που υπάρχει μέσα στη δεξαμενή καταναλώνει το οργανικό φορτίο και μειώνει το BOD. Στη συνέχεια το απόβλητο προωθείται σε μια παρακείμενη δεξαμενή και αφήνεται σε ηρεμία για περίπου 30 λεπτά. Η λάσπη μεταφέρεται σε μια δεξαμενή ιλύος όπου αποθηκεύεται μέχρις ότου να χρησιμοποιηθεί σαν λίπασμα. Το νερό απολυμαίνεται με χλώριο και μεταφέρεται σε μια δεξαμενή για αποθήκευση η και εξάτμιση.

4.4 Απόβλητα από παραγωγή προϊόντων πατάτας

Στο Λαϊκό Καφεκοπτείο υπάρχει βιολογικός καθαρισμός για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων από την παραγωγή προϊόντων πατάτας και άλλων τροφίμων. Τα απόβλητα αρχικά διαχωρίζονται σε στερεά και υγρά. Τα στερεά συλλέγονται σε πλαστικές σακούλες αδειάζονται σε φορτηγά και μεταφέρονται στη χωματερή Κοτσιάτη όπου βρίσκεται κάποια χιλιόμετρα έξω από τη Λευκωσία. Τα υγρά απόβλητα αντλούνται σε σύστημα αφαίρεσης των λιπών και των ελαίων και στη συνέχεια μεταφέρονται σε μια δεξαμενή ισορροπίας όπου αναδεύονται με τη βοήθεια ενός καταδυόμενου αναδευτήρα. Ο χρόνος παραμονής δεν ξεπερνά την μια εβδομάδα. Πριν την είσοδο στην δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης με συγκεκριμένες διαδικασίες γίνεται ρύθμιση του pH και έλεγχος θερμοκρασίας. Είναι απαραίτητο σύστημα ψύξης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Παρακείμενες δεξαμενές προμηθεύουν περίπου 8 λίτρα θρεπτικών και χλωριούχου σιδήρου. Ο αντιδραστήρας αναερόβιας χώνευσης μειώνει το BOD στα 600 mg l⁻¹. Το παραγόμενο βιοαέριο λόγω της μικρής ποσότητας δεν μπορεί να αξιοποιηθεί γι' αυτό καίγεται. Το χωνευμένο απόβλητο μεταφέρεται στην δεξαμενή αερισμού χωρητικότητας 100 m³. Σε περίπτωση έλλειψης οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού υπάρχουν 2 καταδυόμενοι αναδευτήρες για ν' αυξήσουν τον αερισμό στη δεξαμενή. Η λάσπη μεταφέρεται στην περιοχή Βαθιά Γωνιά για επεξεργασία και η υγρή ροή στη Μια Μηλιά όπου βρίσκεται το εργοστάσιο επεξεργασίας λυμάτων για οποιαδήποτε άλλη επεξεργασία.

5. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην Κύπρο πριν την ένταξη στην ΕΕ η διαχείριση του περιβάλλοντος δεν θεωρείτο κλάδος υψίστης σημασίας με αποτέλεσμα τα συστήματα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων να είναι μην εφαρμόζονταν σε ικανοποιητικό βαθμό. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ένταξη της Κύπρου στην ΕΕ ήταν η ανάπτυξη του κλάδου για τη διαχείριση του περιβάλλοντος γενικά και ειδικά της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων ν' αναπτυχθεί. Για το λόγο αυτό έπρεπε να μελετηθούν μέθοδοι σωστής διαχείρισης οι οποίες να δίνουν πολύ καλά αποτελέσματα στη μείωση των ρυπαντικών φορτίων. Μετά από μελέτες μια από τις καλύτερες και πιο διαδεδομένες μεθόδους επεξεργασίας είναι η Αναερόβια Συγχώνευση των αποβλήτων η οποία συνδυάζει μείωση του ρυπαντικού φορτίου και παραγωγή ενέργειας. Σκοπός της παρούσας εργασίας μας είναι ο έλεγχος για τη βελτιστοποίηση αγροβιομηχανικών αποβλήτων από διεργασίες πλυσίματος πατάτας. Τα αγροβιομηχανικά απόβλητα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Απόβλητα από χοιροστάσιο
- Απόβλητα από εκτροφείο αγελάδων
- Απόβλητα από σφαγείο
- Απόβλητα από παραγωγή προϊόντων πατάτας.

και περιγράφονται πιο αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιούνταν μετρήσεις αναφορικά με την απόδοση της συγκεκριμένης μεθόδου. Λαμβάνονταν μετρήσεις παραγωγής αερίου όπως και καταστροφής πτητικών στερεών.

6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6.1 Χαρακτηριστικά των αποβλήτων

Για την έναρξη του πειράματος λήφθηκαν δείγματα από τις εγκαταστάσεις όπως φαίνονται πιο κάτω.

- Το δείγμα αποβλήτων αγελάδας λήφθηκε από τη Φάρμα του Νίκου Βρουδά η οποία βρίσκεται στο Δάλι. Η φάρμα στεγάζει 75 αγελάδες και η δειγματοληψία έγινε από ένα φρεάτιο που βρίσκεται εντός του χώρου εκτροφής των αγελάδων πριν γίνει η διάθεση των αποβλήτων σε δεξαμενή η οποία βρίσκεται λίγα μέτρα από το χώρο εκτροφής. Η δεξαμενή βρίσκεται εντός της φάρμας.
- Το δείγμα από απόβλητα χοίρων λήφθηκε από χοιροστάσιο 5000 γουρουνιών της εταιρείας Λαγός Σ & Π Ltd το οποίο βρίσκεται στο χωριό Ποταμιά στη επαρχία Λευκωσίας. Η δειγματοληψία έγινε από μια προσωρινή δεξαμενή αποθήκευσης η οποία έχει ενισχυθεί με μηχανικό σύστημα ανάδευσης πριν την διάθεση σε παρακείμενες δεξαμενές εντός του οικοπέδου.
- Δείγμα από υγρά απόβλητα σφαγείου λήφθηκε από το Σφαγείο της Κοφίνου το οποίο θεωρείται και το μεγαλύτερο στο νησί. Το σφαγείο έχει εγκαταστήσει δικό του βιολογικό καθαρισμό εντός του σφαγείου. Η δειγματοληψία έγινε πριν τα υγρά απόβλητα εισέλθουν στο βιολογικό για επεξεργασία.
- Από το Λαϊκό καφεκοπτείο Ltd το οποίο βρίσκεται εντός της πόλης της Λευκωσίας λήφθηκε δείγμα υγρών αποβλήτων από την επεξεργασία πατάτας. Η δειγματοληψία έγινε μετά το διαχωρισμό των στερεών αποβλήτων από τα υγρά και πριν την είσοδο στον αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης.
- Για τροφοδοσία μικροοργανισμών στα δείγματα λήφθηκαν από την εγκατάσταση παραγωγής της μπύρας Carlsberg (Photos Photiades Breweries Ltd) 2 δείγματα. Η δειγματοληψία για το πρώτο δείγμα έγινε στην είσοδο του αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης ενώ για το δεύτερο δείγμα έγινε στην έξοδο. Ο αντιδραστήρας βρίσκεται σε βιολογικό καθαρισμό εντός της εγκατάστασης.

Αρχικά όλα τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε θερμοκρασία 4°C ούτως ώστε να συντηρηθούν μέχρι την ημέρα που θα χρησιμοποιηθούν. Τα πιο πάνω δείγματα χαρακτηρίστηκαν ως προς το pH, τα ολικά και πτητικά στερεά για να προσδιορίσουμε το ρυπαντικό τους φορτίο στο καθένα απ' αυτά. Ο χαρακτηρισμός έγινε βάσει της

μεθόδου που περιγράφεται πιο κάτω για ολικά και πτητικά στερεά. Τα αποτελέσματα φαίνονται αναλυτικά στο πιο κάτω πίνακα.

6.2 Υλικά και συσκευές

Γενικά

- Πλαστικά πλαστικές φιάλες των 500 ml με βιδωτό καπάκι
- Ογκομετρικοί σωλήνες των 100 ml (αναποδογυρισμένοι)
- Πλαστικοί σωλήνες
- Αέριο N₂
- Υδατόλουτρο με ρυθμιζόμενη θερμοκρασία στους 35 °C (shaking water bath, BS-21, Medline, Jeiotech)
- Αναλυτής αερίων gas analyser (GA 2000, Geotechnical Instruments)

Παράμετροι Ολικά στερεά και Πτητικά στερεά (TS & VS)

- Πορσελάνινα δοχεία
- Ζυγό ακριβείας 4 δεκαδικών (Laboratory Balance/ External calibration weight Max=250g, d=0,01 mg , AAA250LE, ADAM)
- Φούρνος για θερμοκρασίες 103-105 °C (Laboratory drying oven and incubators line standard 250 °C BMJ, Venticell 55)
- Κλίβανος για θερμοκρασίες 550 °C (Laboratory furnace /30-3000 °C max 1000 °C, L3/11/P320 Nabertherm)

Παράμετροι pH και θερμοκρασία

- multi parameter equipment for pH, conductivity, temperature, salinity, ORP for laboratory use/ with ROC computer and deskjet printer HP5150, Multilevel 3, inolab, wrw.

Απιονισμένο νερό χρησιμοποιήθηκε από το Water Purification System, Mili-Q, Tank, Elix (Σχήμα 6.1).

6.3 Μέθοδοι

6.3.1 Μέτρηση pH

Πριν την έναρξη και κατά τη διάρκεια του πειράματος μετρήθηκε το pH. Στις περιπτώσεις τις οποίες το pH ήταν μικρότερο του έξι γινόταν προσθήκη NaOH 10M.

Αυτό γίνεται ούτως ώστε να ρυθμιστεί το pH από 6,5-7 αφού οι τιμές από 6-8 είναι αποδεκτές για τη σωστή λειτουργία της αναερόβιας χώνευσης.

6.3.2 Σύστημα εκτοπισμού του νερού για τον υπολογισμό του όγκου του παραγόμενου βιοαερίου

Η όλη διαδικασία γίνεται σε εννιά πλαστικές φιάλες των 500 ml με βιδωτό καπάκι. Στη κάθε μια από τις πλαστικές φιάλες τοποθετήθηκαν 400 ml αποβλήτου. Δημιουργήθηκε μίγμα σε μια πλαστική φιάλη το οποίο περιείχε 400 ml από το δείγμα που λήφθηκε από την Carlsberg το οποίο λειτουργούσε ως τροφοδοσία μικροοργανισμών στην αναερόβια χώνευση.. Στις επόμενες δύο πλαστικές φιάλες τοποθετήθηκαν από 200 ml τροφοδοσίας και άλλα 200 ml από το δείγμα που λήφθηκε από το Λαϊκό Καφεκοπτείο δηλαδή υγρά απόβλητα από την επεξεργασία πατάτας. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε προετοιμασία των δειγμάτων για την αναερόβια συν-χώνευση. Σε δύο πλαστικές φιάλες τοποθετήθηκαν 200 ml από το εξεταζόμενο δείγμα δηλαδή υγρά απόβλητα από το χοιροστάσιο και συμπληρώθηκαν με 100 ml απόβλητα από επεξεργασία πατάτας και 100 ml τροφοδοσία. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για τις άλλες τέσσερις πλαστικές φιάλες, όπου στις δύο το εξεταζόμενο δείγμα ήταν με απόβλητα από εκτροφείο αγελάδων και στα άλλα δύο απόβλητα από το σφαγείο της Κοφίνου. Και τα τέσσερα τελευταία συμπληρώθηκαν με 100 ml από το Λαϊκό Καφεκοπτείο όπως επίσης και με 100 ml από την τροφοδοσία. Και οι εννιά πλαστικές φιάλες τοποθετήθηκαν στο υδατόλουτρο το οποίο ρυθμίστηκε στους 35 °C. Το νερό πρέπει να καλύπτει όλο τον όγκο του αποβλήτου και καθημερινά πρέπει να γίνεται έλεγχος αν υπάρχει απώλεια νερού λόγω εξάτμισης. Προτού σφραγιστούν οι πλαστικές φιάλες και επειδή η πειραματική διαδικασία γίνεται απουσία οξυγόνου εισάγεται αέριο άζωτο ούτως ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανότητες ύπαρξης οξυγόνου μέσα στα μπουκαλάκια. Το αέριο άζωτο είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται κάθε φορά που αποσφραγίζονται οι πλαστικές φιάλες όπως και όταν το απόβλητο έρθει σε επαφή με το οξυγόνο στην ατμόσφαιρα. Οι πλαστικές φιάλες πρέπει να έχουν δυνατότητα σύνδεσης με τους αναποδογυρισμένους ογκομετρικούς κυλίνδρους ούτως ώστε το παραγόμενο αέριο να μαζεύεται σ' αυτούς και στη συνέχεια να υπολογίζεται ο όγκος του. Ενώθηκαν οι πλαστικές φιάλες με τους αναποδογυρισμένους ογκομετρικούς κυλίνδρους με ελαστικά πλαστικά σωληνάκια. Τα ελαστικά πλαστικά σωληνάκια πρέπει να γεμίζονται με νερό πριν συνδεθούν με τους ογκομετρικούς κυλίνδρους. Επίσης οι ογκομετρικοί κύλινδροι πρέπει να είναι γεμάτοι και αυτοί με νερό μέχρι πάνω. Μ' αυτό τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα ύπαρξης φυσαλίδων (οξυγόνου) μέσα στον

ογκομετρικό κύλινδρο. Με την παραγωγή του αέριου μίγματος (βιοαέριο) στον ογκομετρικό σωλήνα το νερό εκτοπίζεται προς τα κάτω. Το παραγόμενο αέριο (βιοαέριο) μεταφέρεται στους ογκομετρικούς κυλίνδρους όπου μετρείται ο όγκος του τρεις φορές την ημέρα. Κατά τη διάρκεια του πειράματος με τη βοήθεια του αναλυτή αερίων υπολογίζονται τα ποσοστά των αερίων που βρίσκονται στο μίγμα του βιοαερίου. Πιο κάτω παρατίθενται φωτογραφίες (Σχήμα 6.2α, 6.2β) της πιο πάνω μεθόδου.



(α)

(β)

ΣΧΗΜΑ 6.2α ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΚΤΟΠΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ ΑΕΡΙΟ

ΣΧΗΜΑ 6.2β ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΑ ΜΠΟΥΚΑΛΑΚΙΑ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΥΔΑΤΟΛΟΥΤΡΟ

6.3.3 Μέθοδος ολικών και πτητικών στερεών

Αρχικά ζυγίζονται τα πορσελάνινα δοχεία και σημειώνονται οι μάζες τους. Είναι απαραίτητο να τοποθετούνται ετικέτες στα πορσελάνινα δοχεία που θα χρησιμοποιηθούν ούτως ώστε να γνωρίζουμε τι δείγμα έχουμε στο καθένα από αυτά..

Στη συνέχεια μηδενίζεται ο ζυγός στη μάζα του δοχείου και τοποθετούνται στα ποτηράκια λίγες σταγόνες από το δείγμα. Η μάζα του δείγματος δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,2 gr. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα δείγματα για τα οποία πρέπει να υπολογιστούν οι παράμετροι TS και VS. Ακολούθως τοποθετούνται τα δοχεία σε φούρνο στους 103 - 105 °C για τουλάχιστον τέσσερις ώρες. Μετά τις τέσσερις ώρες τα δοχεία μεταφέρονται σε ξηραντήρα ώστε να διατηρηθούν χωρίς υγρασία μέχρι το ζύγισμα. Τέλος τα δοχεία ζυγίζονται και γίνεται καταγραφή των αποτελεσμάτων στο excel και στη συνέχεια υπολογίζονται με μαθηματικό τύπο τα

ολικά στερεά. Για τα πτητικά στερεά αμέσως μετά το ζύγισμα τοποθετούνται τα δοχεία σε κλίβανο στους 550 °C για μία ώρα. Με το πέρας της μίας ώρας τοποθετούνται σε ξηραντήρα μέχρι να κρυώσουν και ζυγίζονται. Καταγράφονται τα αποτελέσματα στο excel και υπολογίζονται τα πτητικά στερεά σε ποσοστό μέσα στα ολικά στερεά (% TS). Η μέθοδος αυτή περιγράφεται αναλυτικά στο Standard methods (APHA).

6.3.4 Γενικά

Τις πρώτες 5 ημέρες μετά από ανάμιξη του δείγματος στο μπουκαλάκι αφαιρούνται 100 ml από αυτό και προστίθενται άλλα 100 ml από το εξεταζόμενο δείγμα. Με αυτή τη διαδικασία οι μικροοργανισμοί προσαρμόζονται στα χαρακτηριστικά του αποβλήτου. Από το παλιό δείγμα υπολογίζεται το pH και η αγωγιμότητα όπως ολικά και πτητικά στερεά.

Με το πέρας των 5 ημερών αυτές οι παράμετροι υπολογίζονται κάθε 2 μέρες για το απόβλητο που ήδη υπάρχει στις πλαστικές φιάλες αφού όπως έχει προαναφερθεί σταματάει η διαδικασία αφαίρεσης παλιού δείγματος και πρόσθεσης καινούργιου. Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος καθημερινά και τουλάχιστον 3 φορές την ημέρα γίνεται ανάδευση στις πλαστικές φιάλες μέσα στο υδατόλουτρο ούτως ώστε ενδεχόμενα ίχνη του αερίου μίγματος να διέλθουν στους ογκομετρικούς κυλίνδρους. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο όγκος του αερίου μίγματος (βιοαέριο) που παράχθηκε μέσα στο όλο σύστημα. Πρέπει να αναφερθεί ότι αν πέσει η στάθμη του νερού μέσα στους ογκομετρικούς κυλίνδρους πρέπει να πληρώνονται ξανά. Η πτώση στάθμης καταγράφεται στο excel για τον καθένα από τους ογκομετρικούς κυλίνδρους.

Επίσης στην εξέλιξη του πειράματος με τη βοήθεια ενός αναλυτή αερίων ειδικού για βιοαέριο υπολογίζονται τα ποσοστά των αερίων που βρίσκονται στο αέριο μίγμα και καταγράφεται το ποσοστό του μεθανίου το οποίο παράχθηκε.

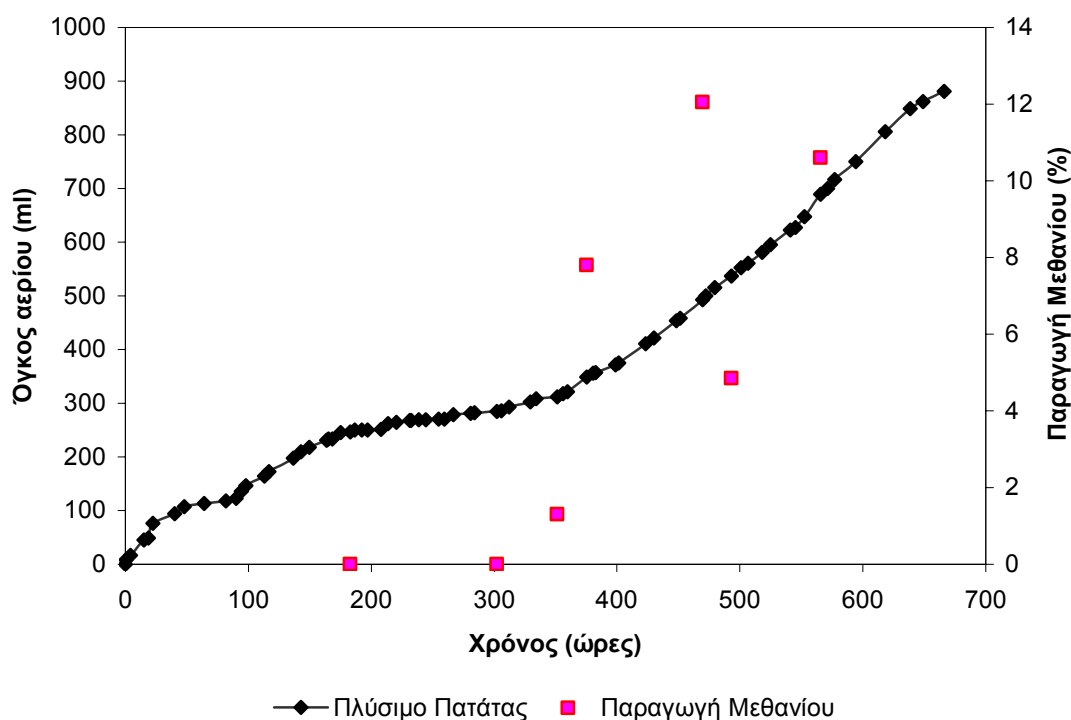
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν για τον έλεγχο της αναερόβιας συγχώνευσης υγρών αποβλήτων με πλύσιμο πατάτας είναι το pH, η παραγωγή μεθανίου όπως και ο όγκος του παραγόμενου αερίου και η καταστροφή ολικών στερεών και πτητικών στερεών. Τις πρώτες 5 ημέρες δηλαδή στην περίοδο εγκλιματισμού των μικροοργανισμών στα χαρακτηριστικά του αποβλήτου παρατηρήθηκε ότι δεν υπάρχει αρκετή παραγωγή αερίου και επίσης παρατηρείται αυξομείωση των ολικών στερεών και πτητικών στερεών. Στον υπολογισμό του pH παρατηρήθηκε μια μείωση στις τιμές η οποία μπορεί να αποδοθεί στην παραγωγή λιπαρών οξέων. Το pH υπολογίζεται γιατί παίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του χωνευτήρα και δείχνει αν λειτουργεί σωστά ή αν έχει προβληματική λειτουργία. Οι άλλες παράμετροι που υπολογίστηκαν συνδέονται μεταξύ τους αφού τα πτητικά στερεά είναι ποσοστό των ολικών στερεών. Επίσης η καταστροφή των πτητικών κατά τη διάρκεια της χώνευσης συνδέεται με την παραγωγή μεθανίου στο πείραμα.

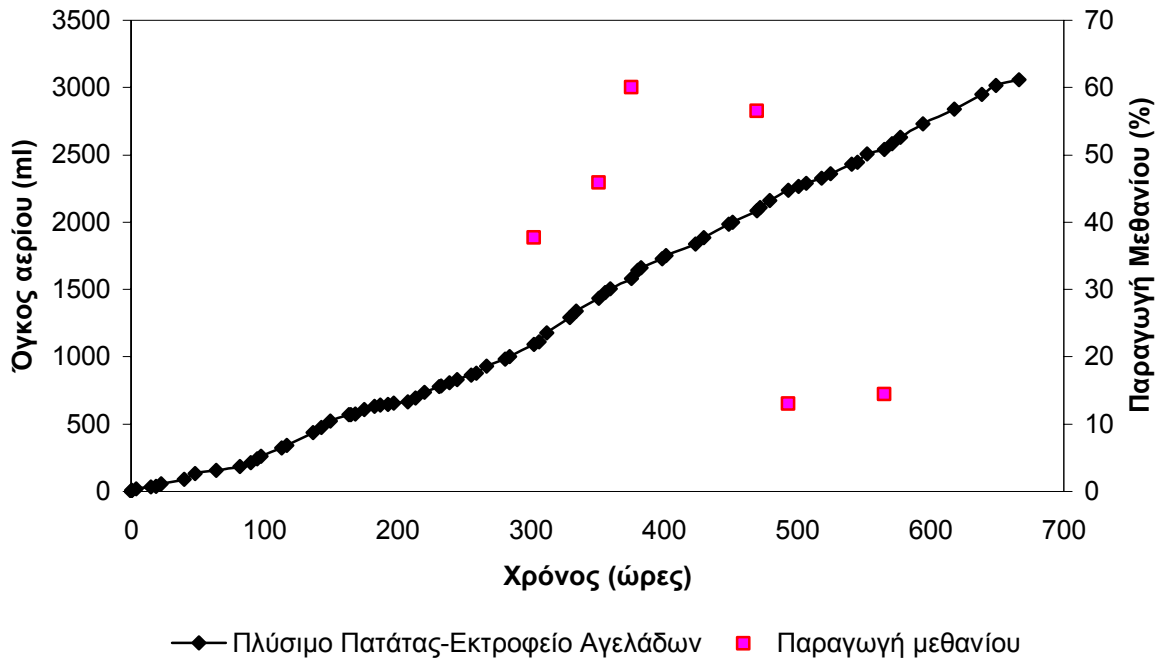
7.1 Όγκος παραγόμενου αερίου και παραγωγή μεθανίου

Όπως φαίνεται πιο κάτω σε κάποια από τα διενεργηθέντα πειράματα για τον έλεγχο της αναερόβιας συγχώνευσης από πλύσιμο πατάτας δεν παρατηρείται βέλτιστη παραγωγή μεθανίου. Για τον κάθε συνδυασμό ο παραγόμενος όγκος του αερίου μίγματος (βιοαερίου) και το ποσοστό του μεθανίου φαίνονται στα πιο κάτω σχήματα. Αρχικά αν και η αναερόβια χώνευση πατάτας δεν δίνει πολύ καλά αποτελέσματα (Σχήμα 7.1), όταν συγχωνεύθηκε με απόβλητα από εκτροφείο αγελάδων η παραγωγή μεθανίου έφτασε σε ποσοστό 60% με μέγιστο όγκο αερίου μετά από περίπου 666 ώρες τα 3058,5 ml (Σχήμα 7.2). Η παραγωγή αυτή του μεθανίου μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων της πατάτας επηρεάζονται κατά πολύ από τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων εκτροφείου αγελάδων και φαίνεται ότι είναι καλός συνδυασμός για την αναερόβια συν-χώνευση της. Από την άλλη η συγχώνευση με απόβλητα από χοιροστάσιο το ποσοστό του μεθανίου είναι σχεδόν διπλάσιο από την αναερόβια χώνευση αποβλήτων από πλύσιμο πατάτας (Σχήμα 7.3). Συγκριτικά με τιμές που έχουμε για αναερόβια χώνευση αποβλήτων από χοιροστάσιο η τιμή από τη συν-χώνευση με απόβλητα πατάτας δεν μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική (Μονού , 2006). Αυτό μπορεί να οφείλεται στα χαρακτηριστικά των αποβλήτων από το χοιροστάσιο. Δηλαδή η μεγάλες ποσότητες αμμωνίας σε αυτού του είδους τα απόβλητα να λειτουργούν

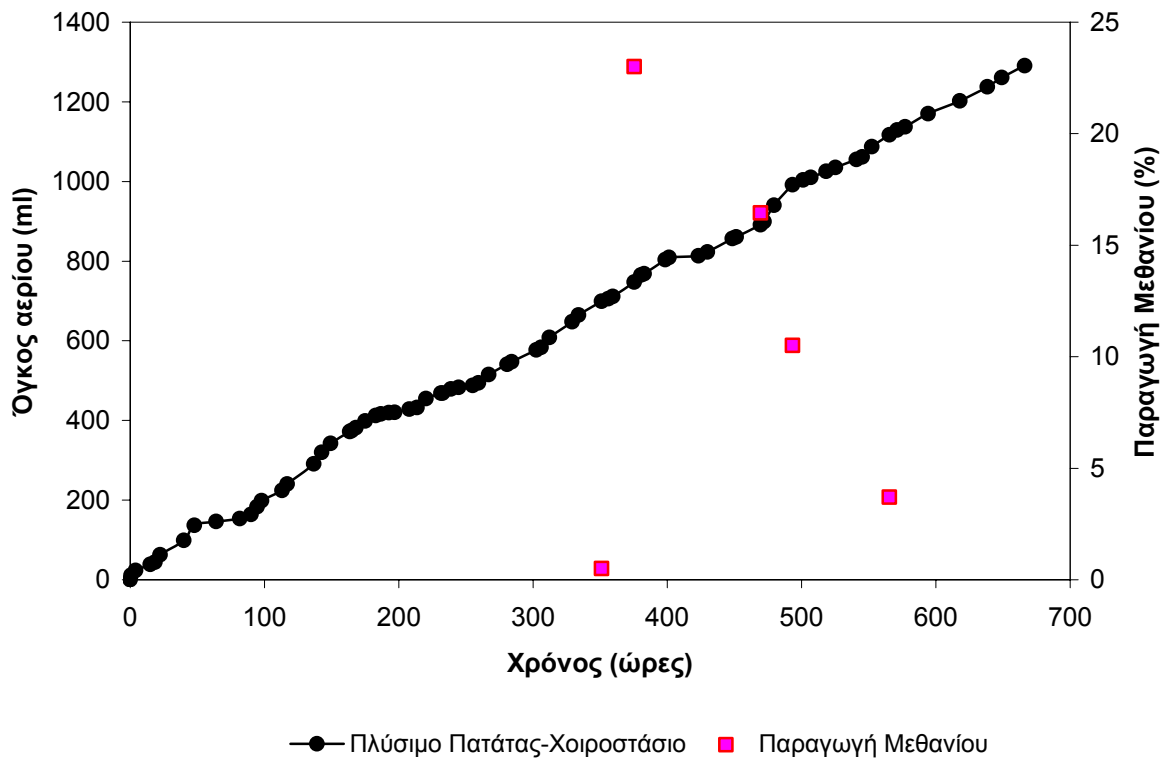
ανασταλτικά στην παραγωγή του μεθανίου (Henze et al., 1995). Κάποιοι άλλοι παράγοντες που μπορεί να παίζουν σημαντικό ανασταλτικό ρόλο στην αναερόβια συν-χώνευση αποβλήτων από πλούσιμο πατάτας και αποβλήτων από χοιροστάσιο μπορεί να είναι η ύπαρξη Cu και Zn τα οποία είναι προσθετικά στην τροφή των χοιροστασίων (Bonmatí et al, 2003). Ο συνδυασμός ο οποίος δεν δίνει καλά αποτελέσματα στο πείραμα είναι με τα απόβλητα από σφαγείο όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.4 όπου η μέγιστη παραγωγή μεθανίου η οποία παρατηρήθηκε είναι το 2,2% από την άλλη όμως η αναερόβια χώνευση με απόβλητα σφαγείου είχε μηδενική παραγωγή μεθανίου μετά από περίπου 300 ώρες (Μονού ,2006). Γενικά η περιεκτικότητα αυτού του είδους τα απόβλητα σε λίπη και έλαια τα οποία είναι δύσκολα διασπάσιμες ουσίες να επηρεάζει την αναερόβια χώνευση αλλά να βελτιστοποιείται κατά ένα μικρό ποσοστό όταν γίνεται συν-χώνευση με απόβλητα από πλούσιμο πατάτας. Είναι πιθανόν η ύπαρξη αμύλου στα απόβλητα από πλούσιμο πατάτας να υποβοηθά τον συγκεκριμένο συνδυασμό αποβλήτων.(Batstone et al, 1998 και Murto et al, 2003).



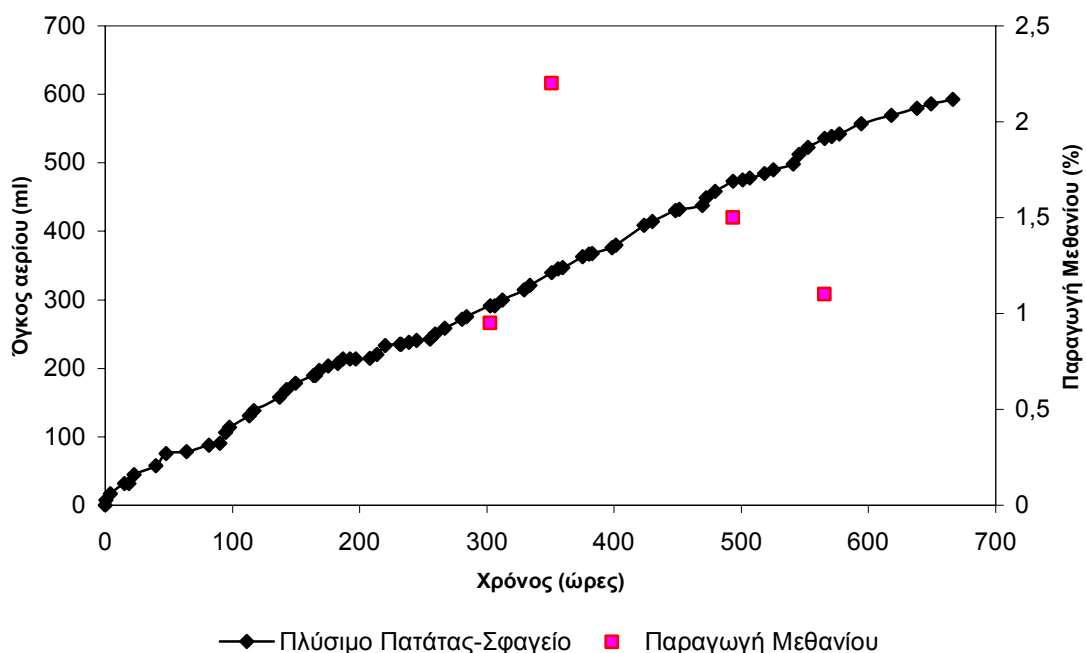
ΣΧΗΜΑ 7.1: ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΑΠΟ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΠΑΤΑΤΑΣ



ΣΧΗΜΑ 7.2: ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΕΚΤΡΟΦΕΙΟ ΑΓΕΛΑΔΩΝ ΜΕ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΠΛΥΣΙΜΟ ΠΑΤΑΤΑΣ



ΣΧΗΜΑ 7.3: ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΠΑΤΑΤΑΣ ΜΕ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟ



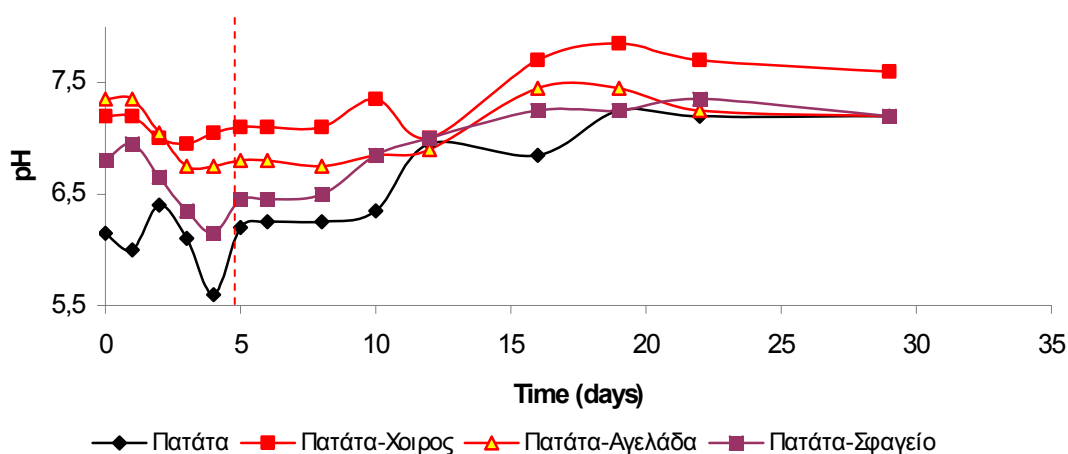
ΣΧΗΜΑ 7.4: ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΣΦΑΓΕΙΟ ΜΕ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΠΛΥΣΙΜΟ ΠΑΤΑΤΑΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕΘΑΝΙΟΥ

Δείγμα	Μέγιστος όγκος αερίου (ml)	Μέγιστη Παραγωγή Μεθανίου (%)
Απόβλητα από πλύσιμο πατάτας	880,5	12,05
Πλύσιμο Πατάτας - Χοιροστάσιο	1291	23
Πλύσιμο Πατάτας - Εκτροφείο Αγελάδων	3058,5	60
Πλύσιμο Πατάτας – Σφαγείο	592,5	2,2

7.2 pH

Κατά τη διαδικασία του πειράματος παρατηρήθηκε ότι κατά την αναερόβια χώνευση των αποβλήτων από πλύσιμο πατάτας μετρήθηκαν χαμηλότερες τιμές pH. Πιο συγκεκριμένα στις πρώτες 5 ημέρες η πτώση του pH έφτασε σε τιμές κάτω από 6 το οποίο είναι ένδειξη προβληματικής λειτουργίας του χωνευτήρα και πιθανή αύξηση των πτητικών οξέων (Bonmatí et al). Επίσης κατά τη μέτρηση του pH πριν την προετοιμασία των μιγμάτων για το πείραμα διαπιστώθηκε ότι η τιμή του ήταν περίπου στο 4,5 η οποία θεωρείται όξινη. Η αρχική αυτή τιμή του pH είναι πιθανόν να επηρεάζει τη λειτουργία των μικροοργανισμών στις πρώτες 5 ημέρες του πειράματος και να παίζει σημαντικό ρόλο στον εγκλιματισμό τους στα χαρακτηριστικά των αποβλήτων. Για να διατηρηθεί το pH σε ουδέτερα επίπεδα προστέθηκε καυστικό νάτριο (NaOH) 10 M. Μια αρχική μείωση παρατηρείται σε όλα τα μίγματα στη διάρκεια των 5 ημερών και πιθανόν να οφείλεται στα χαρακτηριστικά των αποβλήτων όπως και στη διατροφή των ζώων.(Kararaju et al, 2004). Πιο συγκεκριμένα η περιεκτικότητα πρωτεϊνών στο δείγμα από το σφαγείο μπορεί να επηρεάζει τη λειτουργία του χωνευτήρα αφού θεωρούνται ουσίες οι οποίες διασπώνται δύσκολα. Με το πέρας των 5 ημερών είχαμε βελτίωση των συνθηκών εντός των χωνευτήρων (Σχήμα 7.5). Αυτό είναι αναμενόμενο γιατί διακόπτεται η προσθαφαίρεση παλιού με καινούργιο δείγμα μέσα στους χωνευτήρες. Πιθανόν οι μικροοργανισμοί να έχουν εγκλιματιστεί στα χαρακτηριστικά των αποβλήτων. Το pH διατηρείται σε επίπεδα σωστής λειτουργίας των χωνευτήρων.



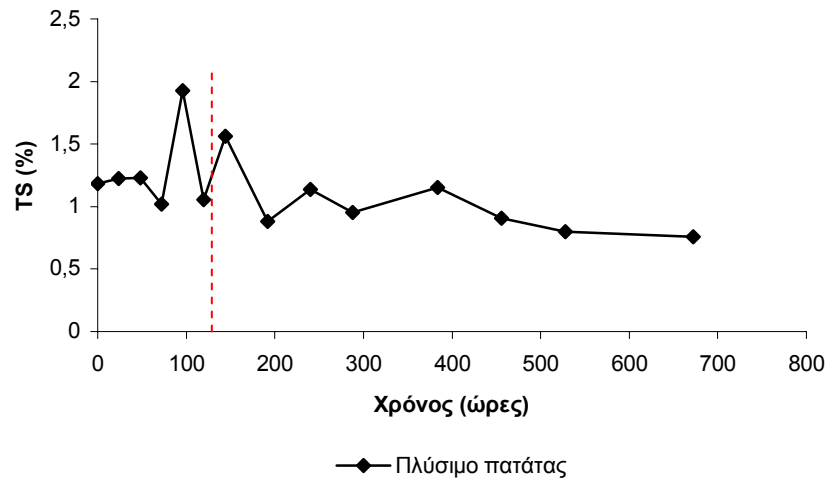
ΣΧΗΜΑ 7.5: ΤΙΜΕΣ pH ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

7.3 Ολικά στερεά και πτητικά στερεά

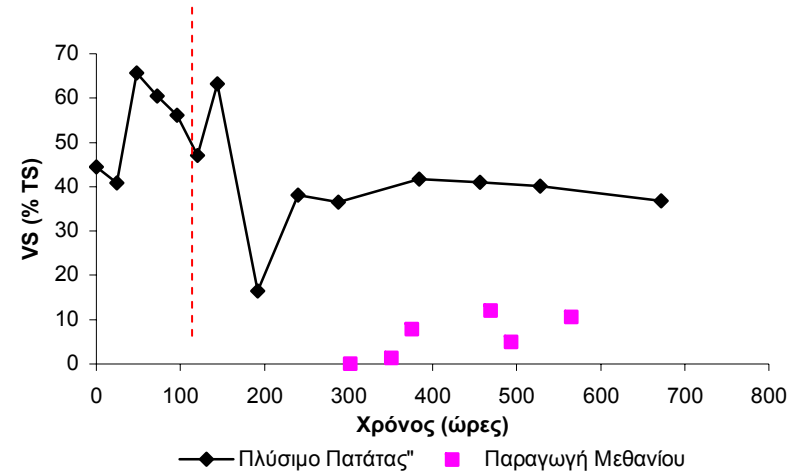
Κατά τη μέτρηση των ολικών στερεών παρατηρείται στη διάρκεια των 5 πρώτων ημερών μια αυξομείωση στα ποσοστά μέσα στα δείγματα μας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι δεν ήταν δυνατή η χώνευση του αποβλήτου αφού στην διαδικασία που ακολουθήθηκε γινόταν προσθαφαίρεση παλιού δείγματος με καινούργιο. Το ίδιο ισχύει για τα πτητικά στερεά τα οποία είναι ποσοστό στα ολικά. Θεωρητικά στη αναερόβια χώνευση/συν-χώνευση η μείωση των πτητικών μας δίνει παραγωγή μεθανίου. Όπως φαίνεται στα σχήματα πιο κάτω και ειδικά στη αναερόβια συν-χώνευση πατάτας με αγελάδα (σχήμα 7.8β) αυτό δεν ισχύει και πιθανόν να οφείλεται σε λάθος στους πειραματικούς υπολογισμούς κατά την πειραματική διαδικασία. Υπάρχουν όμως παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν τα αποτελέσματα μας όπως η ύπαρξη τοξικότητα στο δείγμα η οποία προέρχεται από το χαμηλό pH στα απόβλητα από πλύσιμο πατάτας (Kararaju et al, 2004). Είναι πιθανόν οι μικροοργανισμοί να μην λειτουργούν σωστά σ' αυτές τις συνθήκες αναερόβιας χώνευσης/συν-χώνευσης. Η καταστροφή των ολικών και των πτητικών στερεών στις πλαστικές φιάλες που περιείχαν τα δείγματα των υπολοίπων δειγμάτων ακολούθησαν μια πορεία η οποία βάση άλλων βιβλιογραφιών συμφωνεί με τα δικά μας διαγράμματα. Στον πίνακα 7.1 φαίνεται η καταστροφή των πτητικών σε όλα τα δείγματα εκτός αυτό με απόβλητα από εκτροφείο αγελάδων όπου όπως προαναφέραμε είναι πιθανόν να έγινε λάθος κατά τον υπολογισμό τους. Για τη συν-χώνευση αποβλήτων από πλύσιμο πατάτας με απόβλητα από εκτροφείο αγελάδων ένας ακόμη παράγοντας που μπορεί να επηρεάζει είναι η ανάμιξη κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Από τους αρχικούς υπολογισμούς η ύπαρξη στο δείγμα μεγάλου ποσοστού στερεών θα έπρεπε η ανάμιξη να ήταν πιο συχνή και πιο αποδοτική απ' ότι στα άλλα δείγματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2 ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ

Δείγματα	Καταστροφή Πτητικών Στερεών(%)
Πλύσιμο Πατάτας	32
Πλυσιμο Πατάτας/χοιροστάσιο	31
Πλύσιμο Πατάτας/Σφαγείο	17



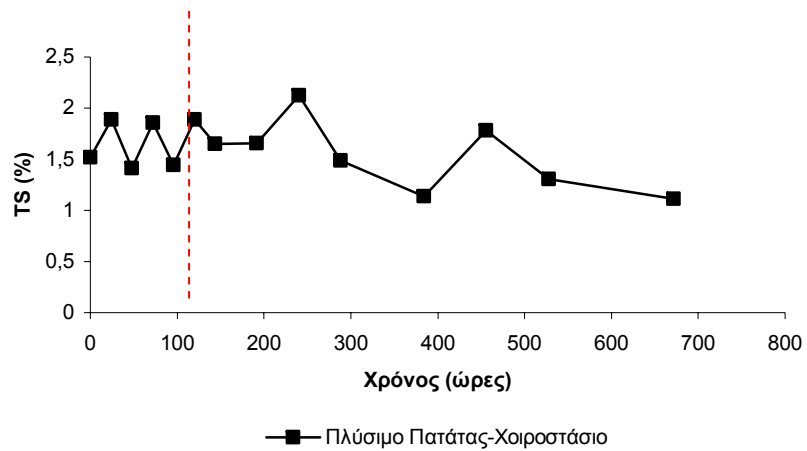
(α)



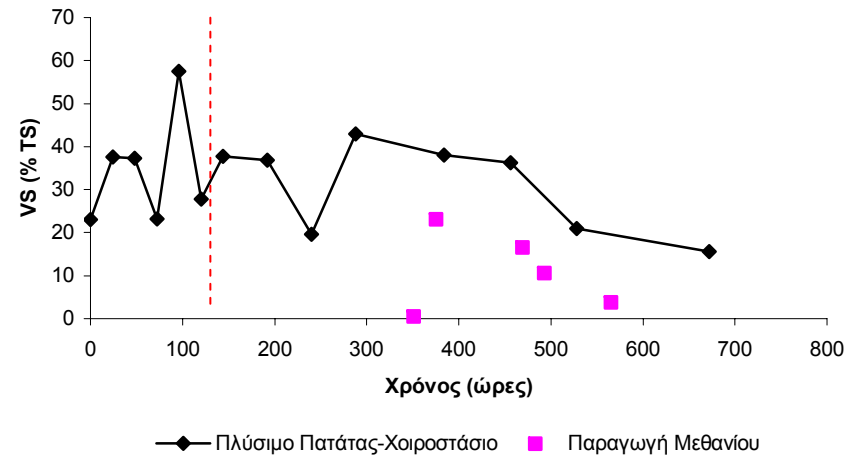
(β)

ΣΧΗΜΑ 7.6α: ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΟΛΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΠΛΥΣΙΜΟ ΠΑΤΑΤΑΣ

ΣΧΗΜΑ 7.6β: ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΠΛΥΣΙΜΟ ΠΑΤΑΤΑΣ

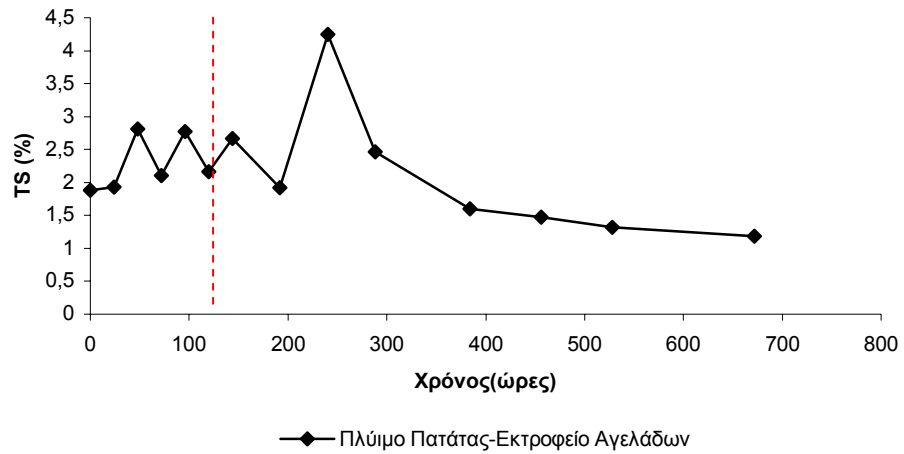


(α)

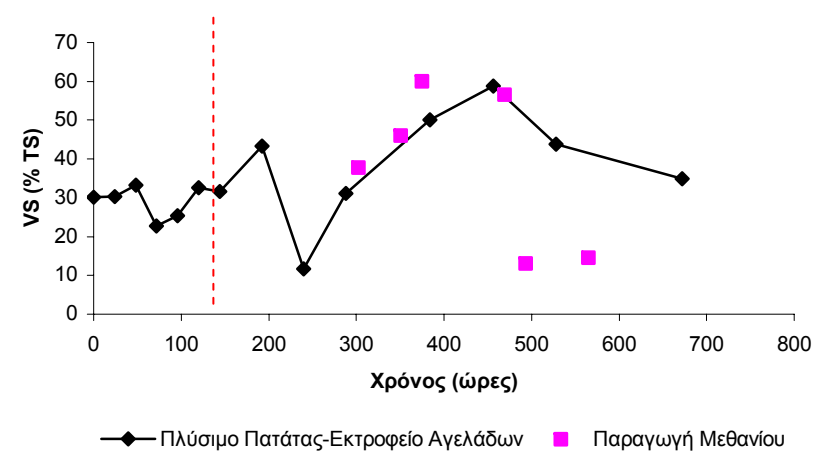


(β)

ΣΧΗΜΑ 7.7α: ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΟΛΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ ΜΕ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΠΛΥΣΙΜΟ ΠΑΤΑΤΑΣ
ΣΧΗΜΑ 7.7β: ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ ΜΕ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΠΛΥΣΙΜΟ ΠΑΤΑΤΑΣ



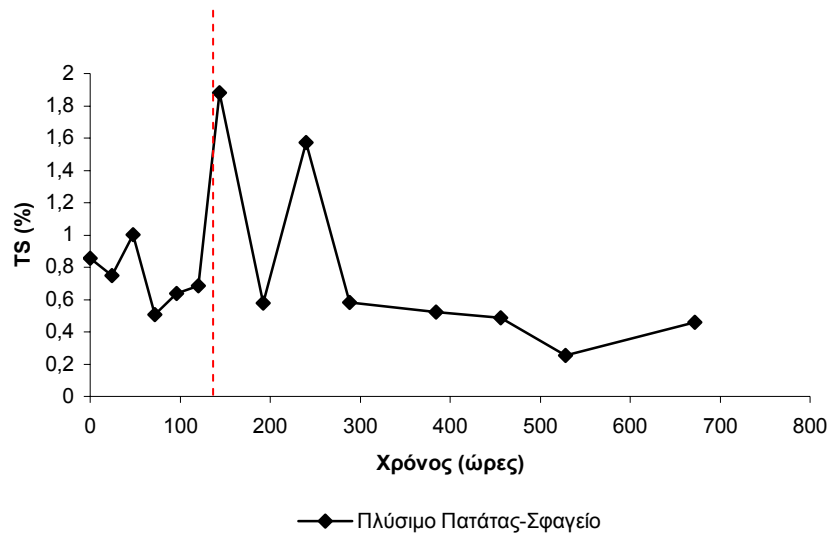
(α)



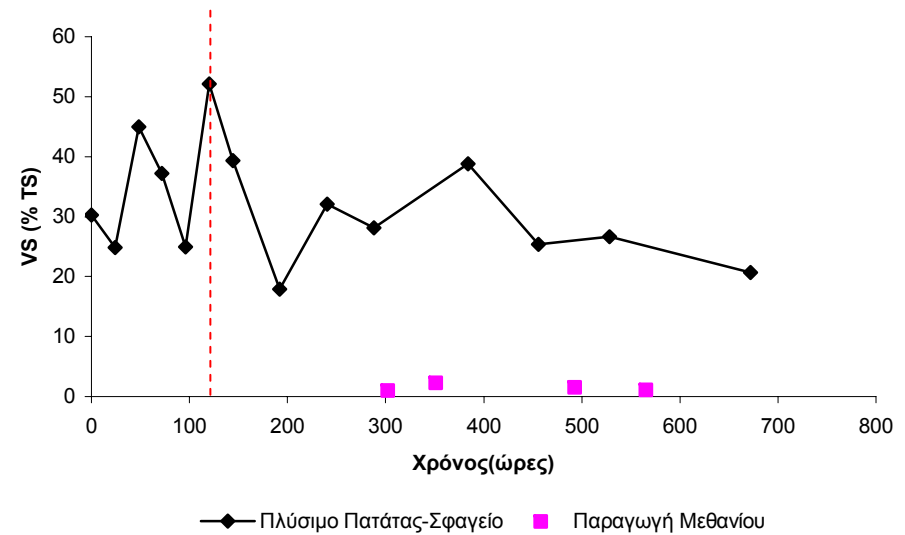
(β)

ΣΧΗΜΑ 7.8α: ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΟΛΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΚΤΡΟΦΕΙΟΥ ΑΓΕΛΑΔΑΣ ΜΕ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΠΛΥΣΙΜΟ ΠΑΤΑΤΑΣ

ΣΧΗΜΑ 7.8β: ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΚΤΡΟΦΕΙΟΥ ΑΓΕΛΑΔΑΣ ΜΕ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΠΛΥΣΙΜΟ ΠΑΤΑΤΑΣ



(α)



(β)

ΣΧΗΜΑ 7.9α: ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΟΛΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΣΦΑΓΕΙΟ ΚΑΙ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΠΛΥΣΙΜΟ ΠΑΤΑΤΑΣ

ΣΧΗΜΑ 7.9β: ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΣΦΑΓΕΙΟ ΚΑΙ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΠΛΥΣΙΜΟ ΠΑΤΑΤΑΣ

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας δείχνουν ότι η αναερόβια συν-χώνευση αποβλήτων από πλύσιμο πατάτας με απόβλητα από εκτροφείο αγελάδων είχε την μεγαλύτερη παραγωγή μεθανίου στο ένα από τα διπλά δείγματα που εξετάστηκαν. Στο συγκεκριμένο δείγμα η καταστροφή των πτητικών στερεών δεν είχε τα αναμενόμενα αποτελέσματα και αυτό είναι πιθανόν να οφείλεται σε λανθασμένους υπολογισμούς κατά την πειραματική διαδικασία. Στην αναερόβια συν-χώνευση αποβλήτων από πλύσιμο πατάτας με απόβλητα από χοιροστάσιο η παραγωγή μεθανίου δεν ήταν αρκετά ικανοποιητική συγκριτικά όμως με την αναερόβια χώνευση των αποβλήτων από πλύσιμο πατάτας η παραγωγή μεθανίου ήταν διπλάσια. Αντικείμενο για μελλοντική μελέτη προτείνω την βελτιστοποίηση της αναερόβιας συν-χώνευσης αποβλήτων σφαγείου με άλλα απόβλητα αφού από τη μελέτη βιβλιογραφίας κατά την αναερόβια χώνευση των αποβλήτων σφαγείου η παραγωγή μεθανίου ήταν μηδενική ενώ όταν έγινε συν-χώνευση με απόβλητα από πλύσιμο πατάτας είχε ενθαρρυντικά αποτελέσματα αφού παρατηρήθηκε ένα μικρό ποσοστό παραγωγής. Σε όλα τα μίγματα υπήρχαν παράγοντες που επηρέασαν αρνητικά την όλη διαδικασία, σε όλα τα στάδια της αναερόβιας χώνευσης/συν-χώνευσης.

Το pH καθόλη τη διάρκεια του πειράματος και μετά το πέρας των πέντε πρώτων ημερών είχε τιμές εντός των επιτρεπτών ορίων για τη σωστή λειτουργία της αναερόβιας χώνευσης.

Τέλος η μελέτη για την καταστροφή των πτητικών στερεών στα μίγματα εκτός αυτού με απόβλητα από εκτροφείο αγελάδων ακολούθησε μια αναμενόμενη πορεία.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Ahring BK, Angelidaki I, Johansen K. 1992. Anaerobic treatment of manure together with industrial waste. *Water Science and Technology* 25(7): 311-318
- Ahring BK, Sandberg M, Angelidaki I. 1995. Volatile fatty acids as indicators of process imbalance in anaerobic digestion. *Applied microbiology and biotechnology* 43: 559-565
- Angelidaki I, Ahring BK. 1992. Effects of free long chain fatty acids on thermophilic anaerobic digestion. *Applied microbiology and biotechnology* 37: 808-812
- Angelidaki I and Ahring BK. 1994. Anaerobic thermophilic digestion of manure at different ammonia loads: effect of temperature. *Water Research* 28:727-731
- Angelidaki I, Ahring BK. 1997a. Anaerobic digestion in Denmark. Past, present and future. 3rd Curs de Ingenieria Ambiental. Lleida.
- Angelidaki I, Ahring BK. 1997b. Codigestion of olive mill wastewaters with manure, household waste or sewage sludge. *Biodegradation* 8(4): 221-226
- Angelidaki I, Ellegaard L, Ahring BK. 2003. Applications of the Anaerobic Digestion Process. *Advances in Biochemical Engineering/ Biotechnology* vol. 82. Biomethanation II. Springer-Verlag. Berlin
- Björson L, Murto M, Mattiasson B. 2000. Evaluation of parameters for monitoring an anaerobic co-digestion process. *Appl Microbiol biotechnol* 54: 844-849
- Caine M. 2000. Biogas Flares. State of the Art and Market Review. Topic report of the IEA Bioenergy Agreement Task 24 - Biological conversion of municipal solid waste. IEA Bioenergy. UK
- Campos E, Flotats X, Casañé A, Palatsi J, Bonmatí A. 2000. Anaerobic Codigestion of pig slurry with olive bleaching earth. VI Taller y seminario Latinoamericano de digestión anaerobia. Recife. Brasil
- Campos E, Palatsi J, Flotats X. 1999. Codigestion of pig slurry and organic wastes from food industry. *Proceedings of II International Symposium on anaerobic digestion of solid waste*. Barcelona. pg. 192-195
- Casali GB and Senior E. 1989. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 44: 31

- de Mes TZD, Stams AJM, Reith JH, Zeeman H. 2003. Methane Production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes. In Bio-Methane & Bio-Hydrogen. Dutch Biological Hydrogen Foundation. The Netherlands
- de Zeew W. 1984. Acclimatization of anaerobic sludge for UASB-reactors start-up. PhD thesis, Wageningen Agricultural University. Wageningen, The Netherlands
- Fernández AI, Font X, Sánchez A. 2004. Anaerobic co-digestion of organic fraction of municipal solid wastes and industrial greases. Proceedings of 11th International Conference of the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture: Sustainable Organic Waste Management for Environmental Protection and Food Safety. Murcia, Spain
- Frigon JC and Guiot SR. 1995. Impact of liquid-to-gas hydrogen mass transfer on substrate conversion efficiency of an upflow anaerobic sludge bed and filter reactor. *Enzyme and Microbial Technology* 17(12): 1080-1086
- Gerbens S and Zeeman G. 1999. Cost-effective methane and nitrous oxide emission reduction technologies for animal waste. Wageningen Agricultural University. Wageningen, The Netherlands
- Gujer W and Zehnder AJB. 1983. Conversion processes in anaerobic digestion. *Water Science and Technology* 15: 127-167
- Hansen K, Angelidaki I, Ahring B. 1998. Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia. *Water Research* 32(1): 5-12
- Hartmann H and Ahring BK. 2005. Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste. Influence of co-digestion with manure. *Water research* 39: 1543-1552
- Intrachantra N, Tongta S, Meeyoo V. 2002. Biogas Production from co-digestion of animal wastes. Proceedings of 9th APCCHE Congress and CHEMECA. Paper no.194
- Jeris JS and McCarty PL. 1965. the biochemistry of methane fermentation using C14 tracers. *Journal of Water Pollution Control Fed* 37:178-192
- Kaparaju P, Rintala J. 2004. Anaerobic co-digestion of potato tuber and its industrial by-products with pig manure. *Resources, Conservation and Recycling* 43: 175-188
- Kuroda K, Silveira RG, Nishio N, Sunahara H, Nagai S. 1991. Measurement of dissolved hydrogen in an anaerobic digestion process by a membrane-covered electrode. *Journal of Fermentation and Bioengineering* 71(6): 418-423

- Λέκκας Θ. 2001. Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων – Περιβαλλοντική Μηχανική II. Κόσμος Πέμερ ΕΠΕ, Αθήνα
- Lee MJ, Zinder SH. 1988. Hydrogen partial pressures in a thermophilic acetate-oxidizing methanogenic coculture. *Applied and Environmental Microbiology* 54: 1457-1461
- Lester JN and Birkett JW. 1999. *Microbiology and Chemistry for Environmental Scientists and Engineers*. 2nd Edition. Spon Press
- Lettinga G. 1995. Anaerobic digestion and wastewater treatment systems. *Antonie van Leeuwenhoek* 67: 3-28
- Lettinga G. and Haandel AC. 1993. Anaerobic Digestion for energy production and environmental protection. In *Renewable energy, Sources for fuels and electricity*. TB Johanson *et al.* Editors. Island Press
- Lettinga G, Hulshoff-Pol LW, Zeeman G. 1999. *Lecture notes: Biological Wastewater Treatment – Part I Anaerobic Wastewater Treatment*. Wageningen University and Research. Wageningen, The Netherlands
- Lowrie P and Wells S. 1994. *Microbiology and Biotechnology*. Cambridge University Press. Cambridge
- Mackie RI, Bryant MP. 1981. Metabolic activity of fatty acid-oxidizing bacteria and the contribution of acetate, propionate, butyrate, and CO₂ to methanogenesis in cattle waste at 40 and 6°C. *Applied and Environmental Microbiology* 41: 1363-1373
- McCarty PL. 1964. *Anaerobic Waste Treatment fundamentals, Part I: Public Works*. NY.
- Neves L, Oliveira R, Alves MM. 2006. Anaerobic co-digestion of coffee waste and sewage sludge. *Waste Management*, Volume 26, Issue 2, 176-181
- North American Manufacturing. 1978. *North American Combustion Handbook*. North American Manufacturing, Cleveland, OH. p.46
- Owen WF, Stuckey DC, Healy JB Jr, Young LY, McCarty PI. 1979. Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. *Water Research* 13: 485-492
- Parawira W et al. 2004. Anaerobic batch digestion of solid potato waste alone and in combination with sugar beet leaves. *Renewable energy* 29 (11): 1811-1823
- Pind FP, Angelidaki I, Ahring BK, Stamatelatos K, Lyberatos G. 2003. Monitoring and Control of Anaerobic Reactors. *Advances in Biochemical Engineering/ Biotechnology* vol. 82. Biomethanation II. pp.135-182. Springer-Verlag. Berlin

Pauss A, Samson R, Guiot SR, Beauchemin C. 1990. *Biotechnology and Bioengineering* 35: 492

Prasad Kaparaju et al Anaerobic co-digestion of potato tuber and its industrial by-products with pig manure

Rozzi A, Burton KW, Hawkes DL. 1983. Potentiometric method for the determination of carbon dioxide in biogas. *J. agric. Eng res* 28: 505-512

M. C. Sterling, Jr. , R. E. Lacey et al Effects of ammonia nitrogen on H₂ and CH₄ production during anaerobic digestion of dairy cattle manure

Schnürer A, Houwen FP, Svensson BH. 1994. Mesophilic syntrophic acetate oxidation during methane formation by a triculture at high ammonium concentration. *Arch Microbiol* 162: 70-74

Schnürer A, Zellner G, Svensson BH. 1999. Mesophilic syntrophic acetate oxidation during methane formation in biogas reactors. *FEMS Microbiol Ecol* 28: 249-261
Stafford DA, Hawkes DL, Horton R. 1980. Methane Production from waste organic matter. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 113 – 116

Stroot PG, McMahon KD, Mackie RI, Raskin L. 2001. Anaerobic Codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions – I. Digester Performance. *Wat Res. Vol. 35(7): 1804-1816*

Switzenbaum MS, Giraldogomez E, Hickey RF. 1990. Monitoring of the anaerobic methane fermentation process. *Enzyme and microbial technology* 12(10): 722-730

van Lier JB. 1996. *Antonie van Leeuwenhoek* 69:01

Veiga MC, Soto M, Méndez R, Lema M. 1990. A new device for measurement and control of gas production by bench scale anaerobic digesters. *Water res. Vol. 24(12): 1551-1554*

Φάττα Δ. 1998. Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για τη Εκτίμηση της Ρύπανσης των Υπογείων Υδάτων σε Χώρους Απόρριψης Αποβλήτων. Διδακτορική Διατριβή. Αθήνα

Walsh JL, Ross CC, Smith MS, Harper SR. 1989. Utilisation of biogas. *Biomass* 20 (1989) 277-290

Wilkie AC. 2005. Anaerobic Digestion: Biology and Benefits. Dairy Manure Management: Treatment, Handling and Community Relations. *NRAES 176: 63-72.*

- Zinder SH, Koch M. 1984. Non-aceticlastic Methanogenesis from Acetate: Acetate Oxidation by a Thermophilic Symtrophic Coculture. *Arch Microbiol.* 138: 263-272
- Zinder SH. 1993. Physiological ecology of methanogens. In Ferry JG (ed), *Methanogenesis. Ecology, physiology, biochemistry and genetics.* Chapman & Hall. New York.