



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας & Ανάπτυξης

Τμήμα Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής & Υδατοκαλλιεργειών

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Επιχειρηματικότητα και συμβουλευτική στην αγροτική ανάπτυξη»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Διερεύνηση δυνατοτήτων ενεργειακής αξιοποίησης αποβλήτων χοιροστασίων

Διπλωματική εργασία

Του

Ανδρέα Ε. Μιχαήλου

Επιβλέπων Καθηγητής: **Σιμιτζής Παναγιώτης**

Αθήνα, 2019



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας & Ανάπτυξης

Τμήμα Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής & Υδατοκαλλιεργειών

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Επιχειρηματικότητα και συμβουλευτική στην αγροτική ανάπτυξη»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Διερεύνηση δυνατοτήτων ενεργειακής αξιοποίησης αποβλήτων χοιροστασίων

Exploration of the energy potential of pigs waste

Διπλωματική εργασία

Του

Ανδρέα Ε. Μιχαήλου

Μέλη τριμελούς εξεταστικής επιτροπής

Π. Σιμιτζής (επιβλέπων)

Γ. Παπαδομιχελάκης

Π. Καρανικόλας

Αθήνα, 2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά την λειτουργία των χοιροτροφικών μονάδων προκύπτουν σημαντικά προβλήματα που σχετίζονται άμεσα με το περιβάλλον. Τα απόβλητα των χοιροστασίων μπορούν να επεξεργαστούν με την εφαρμογή φυσικών, χημικών και βιολογικών μεθόδων. Ανάλογα με την περίπτωση επιλέγεται η πλέον κατάλληλη μέθοδος. Η κομποστοποίηση, είτε με κλειστά είτε με ανοικτά συστήματα, αποτελεί μία μέθοδο που κερδίζει συνεχώς έδαφος σήμερα, καθώς διαθέτει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων τεχνολογιών διαχείρισης αποβλήτων σε όλα τα επίπεδα.

Από την άλλη, το βιοαέριο είναι μίγμα διάφορων αερίων και χρησιμοποιείται για ποικίλες χρήσεις, ανάλογα με τη ζήτηση και τη φύση της πηγής του. Η επεξεργασία του γίνεται με ποικίλες μεθόδους. Η εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου με αναερόβια χώνευση είναι σημαντικό να ακολουθήσει συγκεκριμένες κατευθύνσεις και να αναπτυχθεί στη βάση συγκεκριμένων προδιαγραφών. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατό να υποβοηθηθεί η διαδικασία της διαχείρισης των ζωικών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που προέρχονται από τα χοιροστάσια.

Η παρούσα διπλωματική προσεγγίζει τις μεθόδους επεξεργασίας αποβλήτων χοιροστασίων και εστιάζει στην περίπτωση του βιοαερίου. Αναλύονται τα πλεονεκτήματά του, καθώς και η χρήση του στην Ελλάδα και, στη συνέχεια, εξετάζονται οι προδιαγραφές ανάπτυξης μονάδας, στην οποία τα απόβλητα των χοιροστασίων θα μετατρέπονται σε βιοαέριο, ενώ περιγράφεται ο τεχνολογικός εξοπλισμός που απαιτείται, καθώς και η χρηματοοικονομική ανάλυση της εν λόγω επένδυσης.

ABSTRACT

Exploration of the energy potential of pigs waste

During the operation of pigfarms, there are significant problems related withthe environmental pollution. Pig waste canbe processed by applying natural, chemical and biological methods. Depending on the characteristics of each pig farm, the experts can choose the most appropriate method. Composting, closed or open, is a method that is nowadays constantly gaining ground, as it has significant advantages over the other waste management technologies at all levels.

At the same time, biogas is a mixture of various gasesthat is used for different purposes, depending on the demand and nature of its source. It is processed by a variety of methods. The biogas plant with anaerobic digestion is important to be developed and operatefollowing specific regulations. In this way, it is possible to assist the procedure of animal waste, including those derived from pigfarms.

This study approaches the waste treatment methods of pig farmsand focuses on biogas production, itsadvantages and its use in Greece. Moreover, the standards of the development of a unit where the waste is transformed into biogasare analyzed; finally, the required technological equipmentis described, and afinancial analysis is performed.

Γεωργικές Επιστήμες

Λέξεις κλειδιά οικονομική ανάλυση, βιοαέριο, εκτροφή χοίρων, economic analysis, biogas, pig farm.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
1. ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΚΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	8
1.1 Εισαγωγή.....	8
1.2.1 Χοιροστάσια πάχυνσης.....	9
1.2.2 Χοιροστάσια αναπαραγωγής	9
1.2.3 Χοιροστάσια πάχυνσης και αναπαραγωγής	9
1.3 Ίδρυση και λειτουργία χοιροτροφικής εκμετάλλευσης.....	10
1.3.1 Πρότυπα πιστοποίησης.....	11
1.3.2 Επιλογή τοποθεσίας.....	11
1.3.3 Επιλογή γενετικού υλικού.....	12
1.3.4 Εγκαταστάσεις.....	12
1.3.5 Οικονομική μελέτη.....	13
1.4 Προοπτικές διαχείρισης αποβλήτων.....	13
2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ	15
3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ	19
3.1. Φυσικές μέθοδοι επεξεργασίας λυμάτων.....	20
3.2 Χημικές μέθοδοι επεξεργασίας λυμάτων	21
3.3 Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας λυμάτων.....	21
3.3.1 Αερόβια	Επεξεργασία και
Κομποστοποίηση.....	21
3.3.1.1 Σταδια της Κομποστοποίησης.....	22

3.3.1.2 Εφαρμοζόμενες τεχνικές κομποστοποίησης.....	24
3.3.1.2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κομποστοποίησης.....	24
3.3.2 Αναερόβια επεξεργασία.....	25
3.3.2.1 Κατηγορίες αναερόβιας χώνευσης.....	27
3.3.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αναερόβιας χώνευσης.....	28
4. ΒΙΟΑΕΡΙΟ.....	
4.1. Παραγωγή βιοαερίου	30
4.2. Σύσταση του βιοαερίου	31
4.3. Χρήση του βιοαερίου.....	32
4.4 Το βιοαέριο στην Ελλάδα	34
4.5 Φυσικοχημικές ιδιότητες βιοαερίου.....	36
4.6 Μέθοδοι επεξεργασίας βιοαερίου.....	37
5. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΜΕ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ.....	40
5.1 Εισαγωγή.....	40
5.2 Μέρη και λειτουργία μονάδας παραγωγής βιοαερίου	40
5.3 Κόστος επένδυσης.....	45
5.4 Πλεονεκτήματα χρήσης βιοαερίου.....	46
6. ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	
6.1 Κριτήρια οικονομικής ανάλυσης	48
6.1.1 Καθαρή Παρούσα Αξία	48
6.1.2 Χρόνος επανόκτησης της επένδυσης.....	51
6.1.3 Εσωτερικός βαθμός απόδοσης επί του Κεφαλαίου.....	51

6.1.4 Επανάκτηση κεφαλαίου σε συνδυασμό με την παρούσα αξία.....	52
6.2 Υπολογισμός Ισοζυγίων και Απαιτήσεων.....	
6.2.1 Κόστος κατασκευής και λειτουργίας, έσοδα και απόσβεση της μονάδας	53
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	56
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	60

1. ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΚΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ

1.1. Εισαγωγή

Η αυξανόμενη ζήτηση στην Ελλάδα για χοιρινό κρέας έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή του πληθυσμού των χοίρων και του αριθμού των χοιροτροφικών εγκαταστάσεων. Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ (2015), το 2014 καταγράφηκαν 1.045.598 χοίροι σε 19.168 εκμεταλλεύσεις με παραγωγή χοιρινού κρέατος περίπου στους 115.000 τόνους. Άμεσο αποτέλεσμα της ζήτησης αυτής είναι η δημιουργία μεγαλύτερων χοιροτροφικών μονάδων και η συνεπακόλουθη παραγωγή περισσότερων λυμάτων.

Με ξηρά διατροφή ο χοίρος μπορεί να παράγει κατά μέσο όρο 0,004 m³/ημέρα κόπρου με υγρασία 90% στα 50 kg βάρος, ενώ με υγρή διατροφή μπορεί να παράγει κατά μέσο όρο 0,007 m³/ημέρα κόπρου με υγρασία 94% στο αντίστοιχο βάρος. Η συνολική ετήσια παραγωγή λυμάτων μίας χοιροτροφικής μονάδας 400 χοιρομητέρων υπολογίζεται σε 8.000 τόνους ετησίως (ισοδυναμεί με την παραγόμενη ποσότητα αστικών λυμάτων μίας κοινότητας 6.000 κατοίκων). Αξίζει να σημειωθεί ότι το ρυπαντικό ισοδύναμο της κόπρου (kg/ημ) για τους χοίρους σε σχέση με αυτό των ανθρώπινων λυμάτων είναι 2,3. Επίσης, τα λύματα πιθανόν να περιέχουν και πλήθος παθογόνων μικροοργανισμών, όπως *Salmonella* sp., *Mycobacterium* sp., *Brucella* sp., *E. Coli*, *Eimeria* sp., *Ascaris* κτλ. Όπως γίνεται κατανοητό, η λανθασμένη διαχείριση, χρήση ή αποθήκευση μπορεί να οδηγήσει σε ρύπανση των υπόγειων αποθεμάτων πόσιμου νερού και των ποταμών (Μαρτζόπουλος, 1998).

1.2. Τύποι χοιροτροφικών εκμεταλλεύσεων

Ανάλογα με την παραγωγική τους κατεύθυνση έχουμε τρεις τύπους χοιροτροφικών εκμεταλλεύσεων (Παναγάκης, 2010):

- Χοιροστάσια Πάχυνσης
- Χοιροστάσια Αναπαραγωγής
- Χοιροστάσια Πάχυνσης και Αναπαραγωγής

1.2.1. Χοιροστάσια Πάχυνσης

Στις μονάδες αυτές υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις σε λειτουργικά κεφάλαια και εμπεριέχουν σημαντικό επιχειρηματικό κίνδυνο. Στα χοιροστάσια πάχυνσης εκτρέφονται χοίροι βάρους από 20-25 kg. Το κόστος αγοράς των χοιριδίων αντιπροσωπεύει περίπου το 40% των συνολικών εξόδων παραγωγής.

1.2.2. Χοιροστάσια Αναπαραγωγής

Σκοπός των μονάδων αυτών είναι η δημιουργία μεγάλων, σε αριθμό και βάρος, τοκετοομάδων που θα απαρτίζονται από υγιή ζώα με μικρό εύρος διακύμανσης του βάρους τους. Θα πρέπει να υπάρχει επαρκής γνώση των απαιτήσεων αναπαραγωγής και εξασφάλιση σταθερότητας στην διαθεσιμότητα του προσωπικού με ταυτόχρονη εξειδίκευση του. Τα παραγόμενα ζώα στις εκμεταλλεύσεις αυτές έχουν βάρος μέχρι 20-25 kg.

1.2.3. Χοιροστάσια Πάχυνσης και Αναπαραγωγής

Η λειτουργία τους είναι συμφέρουσα όταν έχουμε επαρκή ζήτηση κρέατος, ομαλή τροφοδοσία πρώτων υλών και σιτηρεσίων, επαρκείς εκτάσεις για την διάθεση των αποβλήτων, εξειδικευμένο προσωπικό και σημαντικά αρχικά κεφάλαια προς επένδυση. Οι μονάδες αυτές χαρακτηρίζονται από την μεγάλη εντατικοποίηση στη συχνότητα χρήσης του ζωικού κεφαλαίου και των κτιρίων, την κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία του σύγχρονου εξοπλισμού και των αυτοματισμών, και την υψηλή παραγωγικότητα του προσωπικού. Αποτελούν ίσως τον πιο

παραδοσιακό τύπο που εμφανίζεται στην χώρα μας, με τα κτίρια τους να είναι εγκατεστημένα σε μια μόνο περιοχή.

1.3. Ίδρυση και λειτουργία χοιροτροφικής εκμετάλλευσης

Οι στόχοι μιας χοιροτροφικής εκμετάλλευσης είναι οι εξής (Γιαπιτζάκη, 2009):

- Υψηλή ποιότητα χοιρινού κρέατος
- Υψηλή απόδοση ζώων
- Χαμηλό κόστος εκτροφής και παραγωγής
- Προστασία περιβάλλοντος

Το κλειδί της επιτυχίας κάθε επιχείρησης εξαρτάται από την ικανότητα της να προσφέρει στον καταναλωτή το προϊόν που απαιτεί από άποψη ποιότητας και τιμής. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να επικεντρωθούμε στη διαρκή επιδίωξη της καινοτομίας και την αξιοποίηση νέων τεχνολογιών που θα οδηγήσουν στην αύξηση της αποτελεσματικότητας των επιχειρήσεων.

Η χώρα μας έχει μεγάλο έλλειμμα στα κυριότερα κτηνοτροφικά προϊόντα. Ο ανταγωνισμός των εγχώριων ζωικών προϊόντων με παρόμοια προϊόντα άλλων χωρών και ιδίως των χωρών της Ε.Ε., η διάθεση αρδευόμενων εκτάσεων για ισχυρά επιδοτούμενες καλλιέργειες που αποτρέπουν την καλλιέργεια ζωοτροφών, και οι εδαφοκλιματικές συνθήκες αποτελούν μερικούς από τους παράγοντες που δεν ευνοούν την ανάπτυξη του κλάδου της χοιροτροφίας. Το κρέας είναι ανελαστικό προϊόν και η ζήτηση του εξαρτάται από την τιμή, το εισόδημα των καταναλωτών, την εποχικότητα, τις ασθένειες και την διαφήμιση. Επίσης, θα πρέπει να υπάρχουν αυστηρές προδιαγραφές σε όλα τα στάδια παραγωγής υιοθετώντας συγκεκριμένα πρότυπα πιστοποίησης.

Αυτά που θα πρέπει να λάβουμε υπόψη και θα καθορίσουν την ίδρυση και τη λειτουργία μιας χοιροτροφικής μονάδας είναι τα εξής(Γιαπιτζάκη, 2009):

- Πρότυπα πιστοποίησης
- Επιλογή τοποθεσίας
- Επιλογή γενετικού υλικού
- Εγκαταστάσεις
- Οικονομική μελέτη

1.3.1. Πρότυπα πιστοποίησης

Τα συστήματα ολοκληρωμένης διαχείρισης για την διασφάλιση της ποιότητας του χοιρινού κρέατος βασίζονται σε συγκεκριμένα πρότυπα (π.χ. Agro3), τα οποία καθιερώνουν προδιαγραφές και κανόνες που διασφαλίζουν την ασφάλεια και την υγιεινή, από την παραγωγή των ζωοτροφών μέχρι την συσκευασία και τα σημεία λιανικής πώλησης του χοιρινού κρέατος. Σύμφωνα με το πρότυπο Agro3, υπάρχουν πέντε συστήματα ανάλογα με τον τομέα που θέλει να δραστηριοποιηθεί η επιχείρηση.

1.3.2. Επιλογή τοποθεσίας

Οι παράμετροι που καθορίζουν και οδηγούν στην επιλογή τοποθεσίας του χοιροστασίου είναι οι εξής:

- Θέση χοιροτροφικής μονάδας
- Έδαφος
- Κλίμα

- Δυνατότητα τροφοδότησης με νερό και ρεύμα
- Δυνατότητα επέκτασης
- Διατήρηση/Προστασία περιβάλλοντος

1.3.3. Επιλογή γενετικού υλικού

Ανάλογα με τις επιδιώξεις της μονάδας και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του τελικού παραγόμενου προϊόντος, επιλέγεται και το γενετικό υλικό. Μερικά από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

- Η υψηλή γονιμότητα
- Η υψηλή απόδοση σε σφάγιο
- Η μεγάλη τοκετοομάδα
- Η επίτευξη του απογαλακτισμού σε μικρή ηλικία
- Το εύγευστο κρέας
- Η ανθεκτικότητα στις ασθένειες
- Οι καλές μητρικές αποδόσεις και ιδιότητες
- Ο υψηλός ρυθμός ανάπτυξης
- Η μικρή θνησιμότητα σε όλα τα στάδια παραγωγής

1.3.4. Εγκαταστάσεις

Οι εγκαταστάσεις μιας χοιροτροφικής μονάδας θα πρέπει να είναι κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνουν τη λειτουργικότητα των χειρισμών εντός της επιχείρησης αλλά παράλληλα να διασφαλίζουν και την ευζωία των ζώων. Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για την υψηλή αποδοτικότητα και την ομαλή ανάπτυξη των παραγωγικών ζώων αποτελεί το

περιβάλλον εκτροφής και θα πρέπει να εφαρμόζονται συγκεκριμένες πρακτικές. Οι χώροι της χοιροτροφικής μονάδας είναι ανάλογοι με τον πληθυσμό της, ο οποίος εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό των χοιρομητέρων και των αποδόσεων που έχουν.

1.3.5. Οικονομική μελέτη

Το κόστος εγκατάστασης μιας χοιροτροφικής μονάδας αποτελείται από:

- Το κόστος πάγιου κεφαλαίου, που αποτελεί το άθροισμα του κόστους του μηχανολογικού εξοπλισμού και της εγκατάστασης των κτιρίων.
- Το κόστος αγοράς του αρχικού ζωικού κεφαλαίου
- Το κόστος αγοράς του οικοπέδου
- Τα απρόβλεπτα έξοδα σε ποσοστό 5% επί του συνολικού ποσού της εγκατάστασης

1.4. Προοπτικές διαχείρισης αποβλήτων

Το πρόβλημα των κτηνοτροφικών λυμάτων διογκώθηκε στην Ελλάδα από την έλλειψη της σχετικής νομοθεσίας, την αδυναμία εφαρμογής της και από την αδιαφορία και την έλλειψη σχετικής τεχνογνωσίας των εμπλεκόμενων φορέων (επιχειρήσεων, κράτος, κτηνοτρόφων), όσον αφορά τα οφέλη που προκύπτουν από τη σωστή διαχείριση των αποβλήτων. Αντίστοιχες συνθήκες (ασταθές νομοθετικό πλαίσιο, έλλειψη κινήτρων, χαμηλές τιμές αγοράς του βιοαερίου) επικρατούν και σε άλλα μέρη της Ευρώπης, π.χ. Ολλανδία και Δανία, καθιστώντας τις επενδύσεις στον τομέα της επεξεργασίας των κτηνοτροφικών αποβλήτων επισφαλείς (RavenandGregersen, 2007; Gerbezgabheretal., 2010).

Το βασικότερο όφελος από την επεξεργασία των κτηνοτροφικών λυμάτων μέσω της αναερόβιας χώνευσης, είναι η παραγωγή του βιοαερίου. Σε συνδυασμό λοιπόν με τις αυξανόμενες τιμές των συμβατικών καυσίμων και την ευαισθητοποίηση σχετικά

με τις επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου στο περιβάλλον, η ορθή διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων και η χρησιμοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προβάλλει ως μία επιτακτική λύση (Achinasetal., 2017).Επομένως γίνεται κατανοητό ότι η εγκατάσταση τέτοιων μονάδων είναι απαραίτητη μέσω της παροχής των κατάλληλων κινήτρων και της οικονομικής και τεχνικήςυποστήριξης της κατασκευής τους (επιδοτήσεις), καθώς και της παροχής των κατάλληλων γνώσεων σχετικά με τη αναερόβια επεξεργασία των αποβλήτων και την παροχή του βιοαερίου(Thuetal., 2012).

2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Κατά τη λειτουργία των χοιροτροφικών μονάδων προκύπτουν σημαντικά προβλήματα που σχετίζονται άμεσα με την επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Τα προβλήματα αυτά δημιουργούνται στο περιβάλλον από τα απόβλητα των μονάδων, όπως νερά πλυσίματος χώρων, κοπριά, ούρα, υπολείμματα τροφών, αντιβιοτικών, απολυμαντικών, νερά βροχής σε ακάλυπτους χώρους διακίνησης ζώων κλπ. και αφορούν την προκαλούμενη ρύπανση και τη μόλυνση του οικοσυστήματος. Η μόλυνση αυτή έχει να κάνει με την ανάπτυξη και διάδοση παθογόνων μικροοργανισμών ικανών να προσβάλλουν ζώα και ανθρώπους. Αν ο παραγωγός λάβει τα απαραίτητα μέτρα στους χώρους διαβίωσης της μονάδας και για την καθαριότητα και υγιεινή κατάσταση των ζώων τότε η μόλυνση θα περιοριστεί (Ιωαννίδης κ. ά., 2009).

Πίνακας 1: Παραγόμενα αέρια από τις χοιροτροφικές μονάδες

Αέριο	Ειδικό Βάρος (1)	Οσμή	Χρώμα	Όρια Εκρηκτικότητας (2 % κατ όγκο		Κατώφλι Οσμής (MIO) (3) ppm	Μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση (MAC) (4) ppm	Αποτελέσματα		
				Ελάχιστο	Μέγιστο			Συγκέντρωση ppm	Χρόνος Έκθεσης (5)	Επιδράσεις (6)
Αμμωνία (NH ₃)	0,6	Οξεία	Δ/Υ	16	Δ/Υ	5,3	50	400 700 1700 3000 5000	30' 40'	Ερεθιστικό Ερεθισμός λαιμού Ερεθισμός ματιών Βήχας και άφρισμα Ασφυκτικά Πιθανόν θάνατο
Μονοξείδιο του Ανθρακα (CO)		Δ/Υ	Δ/Υ	Δ/Υ	Δ/Υ	Δ/Υ	50	500 1000 2000 4000	60' 60' 60' 60' +	Τοξικό Καμία επίδραση Δυσάρεστο Επικίνδυνο Θάνατο
Διοξείδιο του Ανθρακα (CO ₂)	1,5	Δ/Υ	Δ/Υ	Δ/Υ	Δ/Υ	Δ/Υ	5000	20000 30000 40000 60000 300000	- - - 30' 30'	Ασφυκτικό Ασφαλές Αυξημένη αναπνοή Υπνηλία, πονόλαιος Ασφυκτική αναπνοή Πιθανόν θάνατο
Υδρόθειο (H ₂ S)	1,2	Χαλασμένου αργού	Δ/Υ	4	46	0,7	20	100 200 500 1000	Ώρες 60' 30'	Τοξικό Ερεθισμός ματιών μύτης Πονοκέφαλος, ζάλη Έξωση, απανία Ανασθησία, θάνατος
Μεθάνιο (CH ₄)	0,5	Δ/Υ	Δ/Υ	5	15	Δ/Υ	Δ/Υ			Ασφυκτικό Πονοκέφαλος, όχι τοξικό
Μερκαπτάνη		Οξεία	Δ/Υ	Δ/Υ	Δ/Υ	4 x 10 ⁻⁸	Δ/Υ	Δ/Υ	Δ/Υ	Δ/Υ

Πηγή : Γ. Μαρκαντωνάτος, Επεξεργασία και Διάθεση Υγρών Αποβλήτων, σ.σ. 568-569, Αθήνα 1990

(1) Το ειδικό βάρος υπολογίζεται με σχέση με τον κανονικό ατμοσφαιρικό αέρα.

(2) Στα όρια αυτά μίγμα του αερίου με τον ατμοσφαιρικό αέρα μπορεί να εκραγεί με σπινθήρα.

(3) MIO : Minimum Identifiable Odour. Ελάχιστη συγκέντρωση που γίνεται αντιληπτή η οσμή.

(4) MAC : Maximum Allowable Concentration. Μέγιστη συγκέντρωση που έχει καθοριστεί από τις Υγειονομικές αρχές στο περιβάλλον εργασίας του ανθρώπου για 8-10 ώρες. Σε κλειστές μονάδες τα σχετικά όρια πρέπει να είναι μικρότερα αφού τα ζώα παραμένουν όλο το 24ωρο.

(5) Χρόνος έκθεσης : ο χρόνος που γίνεται αντιληπτό το αποτέλεσμα από τον ενήλικο ή από χοίρο βάρους 70 kg. (6) Επιδράσεις : οι επιδράσεις στη φυσιολογία των ενήλικων ή σε χοίρων βάρους 70 kg. Τα μικρά ζώα επηρεάζονται ταχύτερα και σε μικρότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με τα μεγαλύτερα ζώα.

Στα υγρά απόβλητα η ρύπανση οφείλεται στο ανόργανο και οργανικό ρυπαντικό φορτίο των αποβλήτων. Η οργανική ρύπανση δημιουργεί σηπτικές καταστάσεις και προκαλεί έκλυση αερίων (Πίνακας 1), δυσάρεστων οσμών και ανάπτυξη ανεπιθύμητων παθογόνων μικροοργανισμών σε βαθμό που το απόβλητο να μην είναι πλέον κατάλληλο για την χρήση που προορίζεται και γενικά να διαταράσσεται το οικοσύστημα της περιοχής. Οι ανόργανες ουσίες όπως τα ιχνοστοιχεία, το άζωτο, το κάλιο, ο φώσφορος προκαλούν την ανόργανη ρύπανση του αποδέκτη. Η τοξικότητα στα φυτά από υπερβολική συγκέντρωση αλάτων και ο ευτροφισμός σε στάσιμα νερά προέρχεται από αυτή τη ρύπανση.

Οι υδάτινοι αποδέκτες δεν έχουν μεγάλα περιθώρια για διάθεση σε αυτούς κτηνοτροφικών αποβλήτων διότι:

- Έχουν ήδη υψηλό οργανικό φορτίο από άλλες δραστηριότητες
- Έχουν αυστηρές προδιαγραφές ποιότητας ανάλογα με τη χρήση τους
- Έχουν περιορισμένη δυνατότητα να αποικοδομήσουν υψηλό οργανικό φορτίο
- Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα μεταφοράς της ρύπανσης
- Έχουν περιορισμένη ικανότητα να αναπληρώσουν το διαλυμένο οξυγόνο με τον ρυθμό που αυτό καταναλώνεται.

Το ολικό άζωτο N, το COD, το BOD₅, ο φώσφορος P₂₀₅ και το κάλιο K₂₀ αποτελούν τις παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη για την εκτίμηση του φορτίου ρύπανσης των αποβλήτων (Πίνακας 2). Οι παράμετροι αυτοί υπολογίζονται με αναφορά στο ζωντανό βάρος ή totalliveweight(Ιωαννίδης κ. ά., 2009).

Πίνακας 2: Παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για την εκτίμηση του φορτίου ρύπανσης των αποβλήτων

Παράμετρος	Συμβολισμός	Ποσότητα kg/ημ x 1000 kg. Z.B.
Υγρά απόβλητα.	TWW	51
Βιοχημικός απαιτούμενο οξυγόνο	BOD ₅	2,2
Σχέση COD/BOD ₅	ΛΟΓΟΣ	3,3
Ολικά στερεά	TTS	6,9
Πτητικά στερεά	TVS	5,7
Ολικό άζωτο	N	0,39
Φώσφορος	P ₂ O ₅	0,17
Κάλιο	K ₂ O	0,10

ΠΗΓΗ: ANIMAL WASTE, E Taiganides ,WHO,Kopenhagen 1978

Ο επόμενος πίνακας (Πίνακας 3) αφορά τον κατά προσέγγιση υπολογισμό του ρυπαντικού φορτίου χοιροτροφικών αποβλήτων

Πίνακας 3: Υπολογισμός ρυπαντικού φορτίου αποβλήτων χοιροστασιών

Αναλογία κοπριάς/ ούρων(% ποσοστό)	55% / 45%
Ολικά στερεά (% ποσοστό)	10
N (kg/m ³)	4,0
P ₂ O ₅ (kg/m ³)	2,0
K ₂ O (kg/m ³)	2,7

ΠΗΓΗ : ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΑΣ Αθήνα 20 Μαρτίου 2000

Από τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να αντιληφθούμε ότι το ρυπαντικό φορτίο των αποβλήτων χοιροτροφικών μονάδων είναι αρκετά υψηλό και επικίνδυνο τόσο για τα ζώα όσο και για τους εργαζόμενους. Ο επόμενος πίνακας (Πίνακας 4) μας δείχνει πως μπορούμε να μειώσουμε το φορτίο μέσω των νέων τεχνολογιών με σωστή διαχείριση των αποβλήτων.

Πίνακας 4: Μείωση του ρυπαντικού φορτίου μέσω της σωστής διαχείρισης και της εφαρμογής των νέων τεχνολογιών

	Αερόβια επεξεργασία (% μείωση)	Αναερόβια επεξεργασία (% μείωση)
TDS	60-80	50-75
SS	60-80	60-80
BOD ₅	70-95	60-80
COD	70-95	60-80

Πηγή.: Δαλέζιος, Γ. 1986. Κτηνοτροφικά Απόβλητα. Σημειώσεις σεμιναρίου ΕΛΚΕΠΑ. Αθήνα.

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ

Ανάλογα με το μέγεθος της δραστηριότητας και την εκάστοτε ισχύουσα νομοθεσία καθορίζεται το μέγεθος και το είδος των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων ενός χοιροστασίου. Ένα σύστημα επεξεργασίας λυμάτων που έχει δημιουργηθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο πρέπει να είναι απλό και οικονομικό στη συντήρησή του, με σωστές συνθήκες εργασίας για τους απασχολούμενους, ευέλικτο στην προσαρμογή νέων τεχνολογιών και με δυνατότητα επέκτασης της εγκατάστασης στο μέλλον. Τα λύματα του χοιροστασίου μπορούν να επεξεργαστούν με την εφαρμογή φυσικών, χημικών και βιολογικών μεθόδων.

Η διασπορά των αποβλήτων, σε περιπτώσεις που η εκτροφή των ζώων πραγματοποιείται σε βοσκοτόπους, γίνεται με φυσικό τρόπο μέσω της σαπροφυτικής αλυσίδας. Για να εξασφαλίσουμε όμως τη διατήρηση της βιοποικιλότητας της μικροπανίδας, την αειφόρο ανάπτυξη του φυσικού οικοσυστήματος και την προστασία του περιβάλλοντος εφαρμόζονται κάποιοι περιορισμοί ως προς τον αριθμό των εκτρεφόμενων ζώων ανά στρέμμα βοσκότοπου. Οι περιορισμοί αυτοί έχουν να κάνουν με την ποσότητα του αζώτου που αποβάλλουν τα ζώα που εκτρέφονται σε μία συγκεκριμένη περιοχή, μέσω των ούρων και των κοπράνων (Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής, 2015).

Ο τύπος σταβλισμού και το είδος των εκτρεφόμενων ζώων είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν την επεξεργασία των αποβλήτων. Η συλλογή και η απομάκρυνση των αποβλήτων θα πρέπει να γίνεται καθημερινά και να συγκεντρώνονται σε συγκεκριμένο χώρο της κτηνοτροφικής μονάδας, και με τρόπο που να μην προκαλεί ρύπανση και να παραμένει εκεί μέχρι να διατεθεί στο περιβάλλον. Οι αλλαγές που υφίστανται τα ζωικά απόβλητα κατά την παραμονή τους επηρεάζονται από τις κλιματικές συνθήκες και τον τρόπο αποθήκευσης και οφείλονται στην δράση των θρυμματοφάγων και αποσυνθετικών οργανισμών. Οι στόχοι κατά τη συλλογή των ζωικών αποβλήτων είναι η προστασία της υγείας των ζώων και των εργαζομένων στην εκτροφή αλλά και η προστασία του περιβάλλοντος. Στις χοιροτροφικές εκμεταλλεύσεις η συγκέντρωση των αποβλήτων γίνεται

συνήθως σε αποχετευτικά κανάλια κάτω από το εσχαρωτό δάπεδο των θαλάμων εκτροφής των ζώων (Καραμανλής, 1989).

Στα αποχετευτικά κανάλια, που αναφερθήκαμε προηγουμένως, εκτός από τα απόβλητα των χοιροστασίων οδηγούνται νερά από ενδεχόμενες διαρροές του συστήματος ύδρευσης των ζώων αλλά και τα νερά πλύσης, τα οποία οδηγούνται μέσα σε μια κεντρική δεξαμενή συλλογής με τη βοήθεια πλαστικών σιφωνίων εκκένωσης ή κινητών θυρίδων. Ένας τρόπος συμβολής στη μείωση των δυσάρεστων οσμών και στη βελτίωση της υγιεινής των εκτρεφόμενων ζώων, είναι η δημιουργία συστήματος αερισμού μέσα στις σταβλικές εγκαταστάσεις (Γεωργακάκης, 2009).

Τα συστήματα μηχανικού διαχωρισμού των αποβλήτων, τα οποία έχουν εγκατασταθεί σε αρκετές χοιροτροφικές μονάδες, συνέβαλλαν στην παραγωγή στερεών αποβλήτων και στην αποθήκευσή τους σε προστατευμένους χώρους που ονομάζονται κοπρωσωροί. Εκεί έχουμε τη διαδικασία της φυσικής χώνευσης των αποβλήτων και στη συνέχεια τη διοχέτευση τους στις καλλιέργειες σαν εδαφοβελτιωτικό υλικό. Με την βοήθεια μηχανικών μέσων τα στερεά απόβλητα χωρίζονται σε σωρούς και αναμιγνύονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (Γεωργακάκης, 2009).

3.1. Φυσικές μέθοδοι επεξεργασίας λυμάτων

Μέσω των φυσικών μεθόδων επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των στερεών από τα υγρά απόβλητα. Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνουμε να μειώσουμε σημαντικά τον όγκο των παραγόμενων λυμάτων και επίσης αποφεύγουμε την έμφραξη των σωληνώσεων. Οι κυριότερες φυσικές μέθοδοι επεξεργασίας είναι:

- καθίζηση
- διήθηση
- φυγοκέντρωση
- αφυδάτωση

- κοσκίνισμα

3.2. Χημικές μέθοδοι επεξεργασίας λυμάτων

Στις χημικές μεθόδους επεξεργασίας των λυμάτων περιλαμβάνονται:

- χημική κατακρήμνιση
- καύση
- υδρογόνωση

3.3. Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας

Η βιολογική μέθοδος είναι η κύρια μέθοδος επεξεργασίας λυμάτων, και αυτό διότι κατά την εφαρμογή της ελαττώνεται σημαντικά το ρυπαντικό φορτίο οργανικής προέλευσης. Με τη διαδικασία αυτή υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης των μικροοργανισμών, αερόβιων ή αναερόβιων, ώστε να διασπούν τα οργανικά συστατικά για τις ανάγκες του μεταβολισμού τους προς σταθερότερα από ενεργειακής πλευράς τελικά προϊόντα. Η δημιουργία των παραπάνω συνθηκών έχει ως αποτέλεσμα το διαχωρισμό των βιολογικών μεθόδων επεξεργασίας σε δύο κατηγορίες: την αερόβια (όπου περιλαμβάνεται και η κομποστοποίηση) και την αναερόβια (Βέργος, 2009).

3.3.1. Αερόβια Επεξεργασία και Κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση είναι η μέθοδος, κατά την οποία αερόβιοι μικροοργανισμοί αποικοδομούν σε ελεγχόμενες συνθήκες το οργανικό υλικό το οποίο στην συνέχεια μετατρέπεται σε μία σταθεροποιημένη οργανική ύλη, το κομποστ. Η διαδικασία είναι ελεγχόμενη και έτσι επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός ανάμεσα στην

κομποστοποιήσκει την βιολογική αποικοδόμηση που γίνεται στην φύση και είναι υπεύθυνη για την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων. Ένας πληθυσμός μικροβίων προκαλεί την ανάπτυξη θερμοφιλικών θερμοκρασιών ως αποτέλεσμα της βιολογικά παραγόμενης θερμότητας. Οι μικροοργανισμοί αποσυνθέτουν το προς κομποστοποίηση υλικό, καθώς αυτό αποτελεί το θρεπτικό τους υπόστρωμα. Η κομποστοποίηση αποτελεί μια εξειδικευμένη μορφή βιοσταθεροποίησης αποβλήτων, κατά την οποία οι συνθήκες υγρασίας και αερισμού εξασφαλίζουν την ταχεία ανάπτυξη ελεγχόμενων υψηλών θερμοκρασιών ευνοϊκών για την ανάπτυξη και τη δράση θερμόφιλων μικροοργανισμών (Βαρελά, 2011).



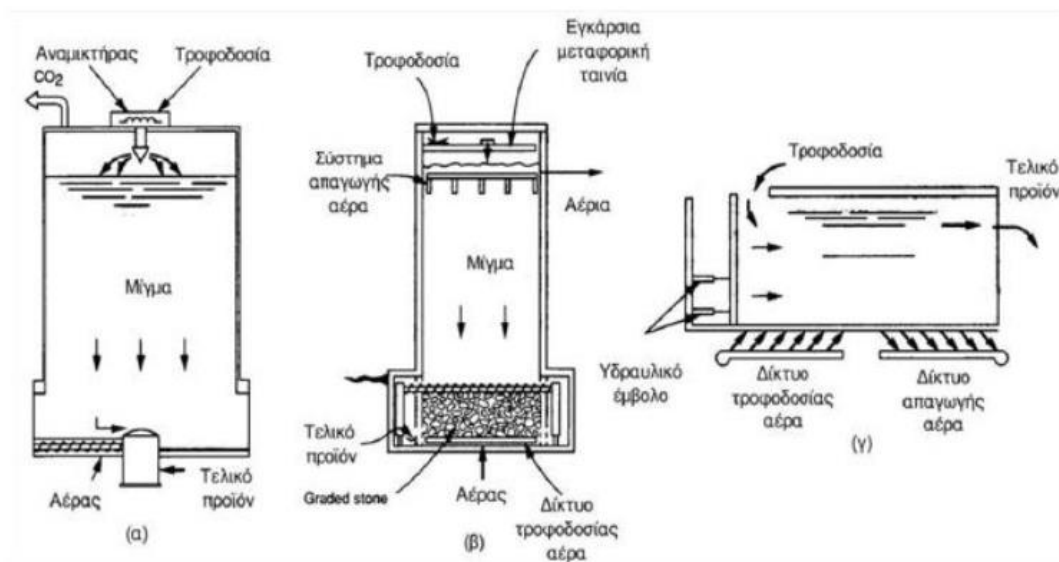
Εικόνα 1: Γενική διάταξη μονάδας κομποστοποίησης

3.3.1.1. Στάδια της Κομποστοποίησης

Χρησιμοποιώντας τον όρο της κομποστοποίησης εννοούμε την διαδικασία της βιολογικής αποικοδόμησης οργανικών υποστρωμάτων κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες (Εικόνα 1). Η διεργασία αυτή διεξάγεται από μικροοργανισμούς που

χρησιμοποιούν το οργανικό υλικό για την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό τους σε δυο στάδια (Βέργος, 2009):

- Στο θερμοφίλο στάδιο, όπου έχουμε ανάπτυξη βακτηριακών πληθυσμών και γρήγορη αποικοδόμηση του οργανικού φορτίου.
- Στο μεσόφιλο στάδιο, στο οποίο ελαττώνεται σημαντικά ο ρυθμός αποικοδόμησης του οργανικού φορτίου με την ανάπτυξη των μυκήτων. Στο στάδιο αυτό καταστρέφονται τοξικές ουσίες για το έδαφος και παράγεται ένα σταθεροποιημένο υλικό, το οποίο διαθέτει εδαφοβελτιωτικές ιδιότητες.



Εικόνα 2: Κλειστό σύστημα κομποστοποίησης

3.3.1.2. Εφαρμοζόμενες τεχνικές κομποστοποίησης

Στην κομποστοποίηση έχουμε κυρίως δύο τεχνικές επεξεργασίας, τα κλειστά(Εικόνα 2) και τα ανοικτά συστήματα. Τα κλειστά συστήματα συνίστανται στην διαχείριση των υλικών με έντονη όχληση(ληγμένα τρόφιμα, ζωικά υπολείμματα). Τα κλειστά συστήματα συνοδεύονται από συστήματα προσαγωγής και απαγωγής αέρα, βιοφίλτρο και εξοπλισμό on-line ελέγχου. Η χρονική περίοδος επεξεργασίας υπολογίζεται σε 3-6 εβδομάδες (Κανακόπουλος, 2011).

Τα ανοικτά συστήματα προτιμώνται για την διαχείριση των καθαρών ρευμάτων οργανικών αποβλήτων(κοπριές, λάσπες βιολογικών καθαρισμών). Τα συστήματα αυτά έχουν χρονική περίοδο επεξεργασίας 6-8 εβδομάδων και σαν αποτέλεσμα έχουμε τη μείωση του όγκου και του βάρους των αποβλήτων λόγω της βιολογικής ξήρανσης(Κανακόπουλος, 2011).

3.3.1.2.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση διαθέτει πολύ μεγάλα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους επεξεργασίας, και έτσι θεωρείται η καλύτερη επιλογή στην διαχείριση αποβλήτων. Κάποια από τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής(Κανακόπουλος, 2011):

- Έχει καλύτερες επιδόσεις σε ότι αφορά τις κλιματικές αλλαγές και την ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με άλλες μεθόδους διαχείρισης.
- Αντιμετωπίζονται εύκολα οι οσμές και δεν παράγονται επικίνδυνα τοξικά αέρια.
- Οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις κατασκευάζονται σε σύντομο χρόνο σε σχέση με άλλες τεχνολογίες που απαιτούν αρκετά έτη.
- Απαιτεί το λιγότερο λειτουργικό κόστος σε σχέση με όλες τις ανταγωνιστικές τεχνολογίες.

- Ευνοείται η ανακύκλωση όλων των βασικών υλικών, μεταξύ των οποίων και του πλαστικού και του χαρτιού.
- Δημιουργεί περισσότερες θέσεις εργασίας σε σχέση με το ΧΥΤΑ και την θερμική επεξεργασία, κάτι πολύ σημαντικό για την Ελλάδα και την περίοδο που διανύει.
- Έχει μεγάλη κοινωνική αποδοχή με συνέπεια να ολοκληρώνονται οι σχετικές επενδύσεις γρηγορότερα από ότι άλλες.

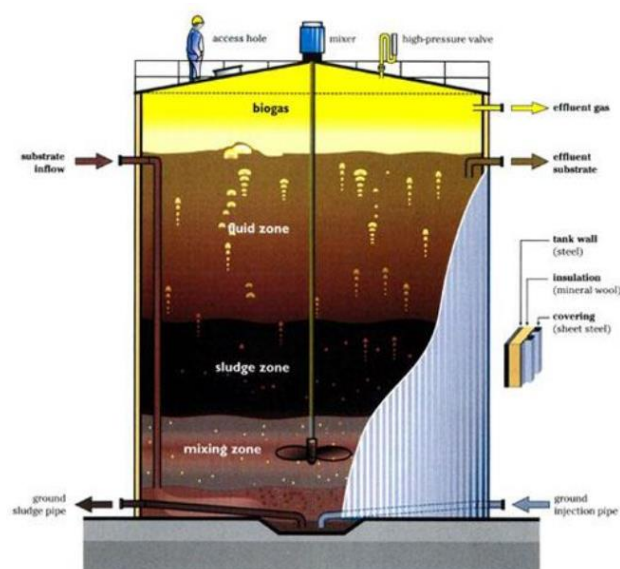
Θέλοντας να αναφερθούμε σε κάποιο μειονέκτημα της κομποστοποίησης θα επισημάνουμε το γεγονός ότι καταλαμβάνει περισσότερο χώρο. Επίσης η μέθοδος αυτή δεν ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου στον αρχικό όγκο λυμάτων υπάρχει η παρουσία βαρέωνμετάλλων, καθώς έτσι αποτυγχάνεται η απομάκρυνση τους ενώ παράλληλα σε περιπτώσεις άστοχης διαχείρισης ελλοχεύει ο κίνδυνος παραγωγής μεθανίου.

3.3.2. Αναερόβια επεξεργασία

Αναερόβια ζύμωση είναι η βιολογική διεργασία, κατά την οποία σύνθετες οργανικές ενώσεις, με τη βοήθεια αναερόβιων βακτηρίων και απουσία οξυγόνου, μετατρέπονται σε άλλες απλούστερες και τελικά σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα εντός μίας περιόδου από δύο έως τρεις εβδομάδες, χρησιμοποιώντας τρεις θερμοκρασιακές ζώνες, που συνήθως κυμαίνονται μεταξύ των 20 και 55 βαθμών Κελσίου. Η αναερόβια χώνευση για περισσότερο από μισό αιώνα έχει εφαρμοστεί με επιτυχία για την επεξεργασία στερεών και υγρών λυμάτων. Στις μέρες μας η αναερόβια επεξεργασία χρησιμοποιείται ευρέως και για την σταθεροποίηση της παραγόμενης λάσπης στις μονάδες βιολογικής επεξεργασίας αστικών και βιομηχανικών λυμάτων, καθώς επίσης και για επεξεργασία στερεών απορριμμάτων αγροτοβιομηχανικών υπολειμμάτων (Βέργος, 2009).

Τα στάδια της αναερόβιας ζύμωσης είναι τα εξής (Εικόνα3) (Yadvikaetal., 2004):

- Υδρόλυση, όπου η αδιάλυτη οργανική ουσία και οι ενώσεις υψηλού μοριακού βάρους (λίπη, πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα κ.τ.λ.) μετατρέπονται, μέσω της δράσης συγκεκριμένων μικροοργανισμών (Bactericides, Clostridia, Streptococci), σε διαλυτά οργανικά συστατικά, όπως οι μονοσακχαρίτες και τα αμινοξέα, τα οποία είναι κατάλληλα υποστρώματα ως πηγές ενέργειας και μονάδων άνθρακα.
- Οξεογένεση, όπου μία άλλη ομάδα μικροοργανισμών διασπά εκ νέου τα προϊόντα της πρώτης φάσης, παράγοντας οξικό οξύ, υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα, καθώς και άλλες πτητικές ουσίες χαμηλού μοριακού βάρους
- Μεθανογένεση, όπου οι παραπάνω ουσίες μετατρέπονται σε ένα μίγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα, μέσω της δράσης συγκεκριμένων μικροοργανισμών (Methanosarcinaspp., Methanothrixspp., Methanobacterium, Methanococcus κ.τ.λ.)



Εικόνα 3: Στάδια αναερόβιας ζύμωσης

3.3.2.1. Κατηγορίες αναερόβιας χώνευσης

Στα συστήματα αναερόβιας χώνευσης ένας πρώτος διαχωρισμός μπορεί να γίνει ανάλογα με την περιεκτικότητα του ρεύματοςτροφοδοσίας σε στερεά, οπότε και έχουμε:

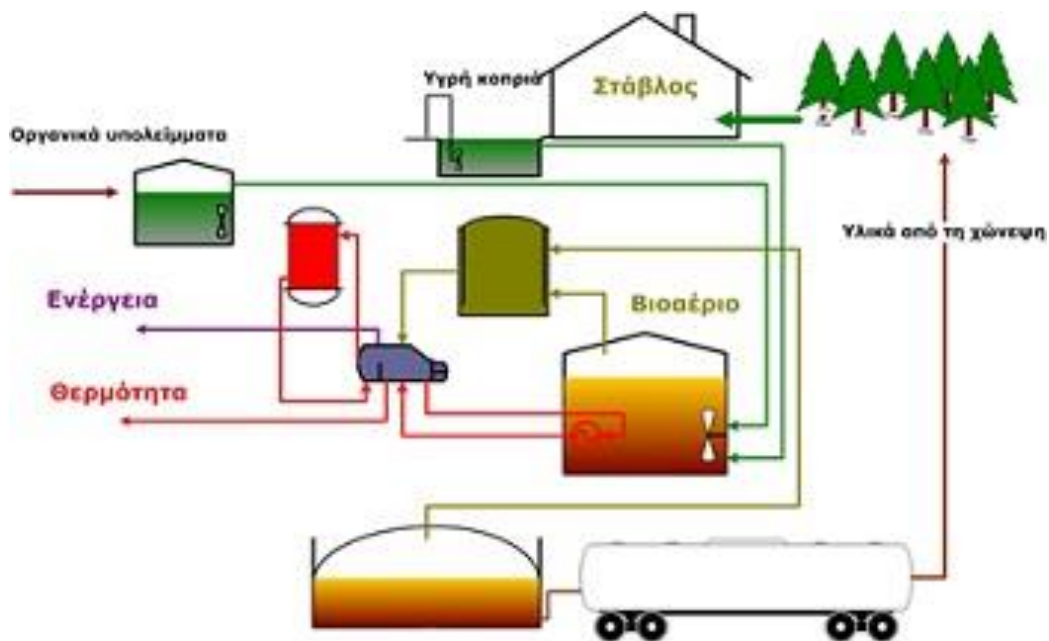
- Υγρά συστήματα με περιεκτικότητα έως 15-20%
- Ξηρά συστήματα με περιεκτικότητα άνω του 20%

Ανάλογα με τη θερμοκρασία στην οποία λειτουργούν οι αντιδραστήρες μπορεί να γίνει ένας ακόμη διαχωρισμός. Έτσι έχουμε αντιδραστήρες που λειτουργούν:

- Είτε σε μεσοφιλικές συνθήκες (33-37°C)
- Είτε σε θερμοφιλικές συνθήκες (55-60°C)

Μία άλλη διαφοροποίηση ανάμεσα στα υπάρχοντα συστήματα είναι ότι συναντάμε συστήματα α)συνεχούς λειτουργίας και β)διαλείποντος έργου.

Ανάλογα με τον όγκο των λυμάτων, τις συνθήκες λειτουργίας, τη σύσταση του προς επεξεργασία ρεύματος και την χωροθέτηση της εκάστοτε μονάδας έχουμε κάθε φορά να επιλέξουμε ανάμεσα σε έναν μεγάλο αριθμό εναλλακτικών για την πλέον κατάλληλη και βέλτιστη λύση σε κάθε υπό μελέτη περίπτωση (Λυμπεράτος, 2009).



Εικόνα 4: Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης

3.3.2.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αναερόβιας χώνευσης

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της αναερόβιας επεξεργασίας (Εικόνα 4) είναι τα εξής (Βέργος, 2009):

- Η παραγωγή του βιοαερίου
- Η μη απαίτηση οξυγόνου
- Η μείωση των εκλυόμενων οσμών
- Η υψηλή απόδοση της επεξεργασίας, που οδηγεί στη μείωση του ρυπαντικού φορτίου των λυμάτων
- Το χαμηλό αρχικό κεφάλαιο και το χαμηλό λειτουργικό κόστος
- Η μετατροπή των λυμάτων σε υψηλής ποιότητας ανόργανο λίπασμα

Από την άλλη τα μειονεκτήματα της αναερόβιας επεξεργασίας είναι τα εξής:

- Η υψηλή ευαισθησία των μεθανογενών βακτηρίων σε ένα μεγάλο αριθμό χημικών ενώσεων

- Η πρώτη ενεργοποίηση μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, χωρίς την παρουσία της κατάλληλης ενεργούς ιλύος, απαιτεί πολύ χρόνο εξαιτίας του μικρού ρυθμού ανάπτυξης των αναερόβιων βακτηρίων
- Όταν τα επεξεργαζόμενα λύματα περιέχουν θεικές ενώσεις, η αναερόβια επεξεργασία μπορεί να συνοδευτεί από έκλυση οσμών εξαιτίας του σχηματισμού υδρόθειου.

4. ΒΙΟΑΕΡΙΟ

4.1. Παραγωγή βιοαερίου

Όπως αναφέρθηκε, το βιοαέριο παράγεται από την αναερόβια αποσύνθεση κτηνοτροφικών αποβλήτων σε ειδικές εγκαταστάσεις, απλούστερες ή συνθετότερες, ανάλογα με το είδος της εφαρμογής. Σ' αυτές, εκτός από το βιοαέριο, παράγεται και πολύ καλής ποιότητας οργανικό λίπασμα, του οποίου η διάθεση στην αγορά μπορεί να συμβάλλει στην οικονομική βιωσιμότητα μίας εφαρμογής αυτού του είδους (El-Mashad and Zhang, 2010). Ο πιο απλός τρόπος χρήσης του βιοαερίου είναι η άμεση καύση του σε λέβητες ή καυστήρες, στην περίπτωση που παράγεται από μικρούς οικογενειακούς χωνευτήρες. Στις αναπτυγμένες χώρες η άμεση καύση εφαρμόζεται σε καυστήρες φυσικού αερίου. Η καύση του βιοαερίου για την παραγωγή θερμότητας μπορεί να γίνει είτε επιτόπου, είτε να μεταφερθεί με σωληνώσεις στους τελικούς χρήστες. Το βιοαέριο θα πρέπει να υποβληθεί σε συμπύκνωση και αφαίρεση των σωματιδίων, συμπίεση, ψύξη και αφυδάτωση για τις εφαρμογές θέρμανσης (Σφετσιώρης, 2009).

Η ανάπτυξη και εγκατάσταση τεχνολογιών βιοαερίου, αποτελεί μία εναλλακτική λύση με σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς προσφέρει περιβαλλοντικά φιλική ενέργεια και ταυτόχρονα επιλύει το πρόβλημα της διαχείρισης των κτηνοτροφικών αποβλήτων (Walsh et al., 1989). Μια εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου δεν παρέχει μόνο τη δυνατότητα αξιοποίησης του ενεργειακού δυναμικού του βιοαερίου, αλλά συμμετέχει παράλληλα και στη συνολική επεξεργασία των αποβλήτων της γεωκτηνοτροφικής δραστηριότητας που τα παράγει, μειώνοντας το ρυπαντικό τους φορτίο, και μάλιστα του πιο επιβαρυσμένου κλάσματος, σε ποσοστό πάνω από το 50%. Βέβαια, η σύσταση των αποβλήτων, ο σχεδιασμός του συστήματος παραγωγής βιοαερίου, καθώς και η μέθοδος διανομής του επηρεάζουν την καθαρή παραγωγή ενέργειας του συστήματος (Berglund and Borjesson, 2006). Κατά την καύση του βιοαερίου παράγεται μπλε φλόγα, ενώ παράλληλα εκλύεται θερμογόνος δύναμη ίση με $4500-5500 \text{ kcal/m}^3$ ή $18.8-23.0 \text{ MJ/m}^3$. Η θερμική δύναμή του είναι άμεσα συνδεδεμένη με το ποσοστό του σε μεθάνιο. Πιο συγκεκριμένα, η θερμοκρασία, το pH, η αναλογία άνθρακα και αζώτου και η χρονική διάρκεια κατά την αναερόβια

χώνευση των οργανικών απορριμμάτων επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την παραγωγή βιοαερίου. Σε θερμοκρασίες άνω των 60 βαθμών Κελσίου ή για pH με τιμές περίπου στο 4 παρατηρείται μείωση της παραγωγής βιοαερίου (Samboetal., 1995).

Η χρήση της παραχθείσας θερμότητας είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα για την ενεργειακή και την οικονομική αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων του βιοαερίου. Συνήθως ένα μέρος της θερμότητας χρησιμοποιείται για την θέρμανση των χωνευτήρων (θερμότητα διεργασίας) και περίπου τα 2/3όλης της παραχθείσας ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξωτερικές ανάγκες. Στις μέρες μας η χρήση της θερμότητας είναι υποχρεωτική για την επίτευξη καλής οικονομίας της εγκατάστασης.

Η θερμότητα από βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις γεωργικές δραστηριότητες, στη θέρμανση κτιρίων ή στις βιομηχανικές διεργασίες. Η θερμότητα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμένα συστήματα ηλεκτρισμού θερμότητας δροσισμού. Η χρήση του συνδυασμού αυτού είναι γνωστή και εξετάζεται μέσω πιλοτικών προγραμμάτων (Σφετσιώρης, 2009).

4.2. Σύσταση του βιοαερίου

Το βιοαέριο είναι πολύ σταθερό, μη-τοξικό, άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο. Παρόλα αυτά το μικρό ποσοστό υδρόθειου που περιέχει το μίγμα, ενδέχεται να του προσδώσει μια ελαφριά μυρωδιά σάπιου αυγού ιδίως κατά την καύση. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, μαζί με υδρατμούς και μικρές ποσότητες άλλων οργανικών ενώσεων (TruongandAbatzoglou, 2005; Γεωργακάκης, 2009):

- Μεθάνιο, κατά 40-70%
- Διοξείδιο του άνθρακα κατά 30-60%
- Υδρογόνο κατά 0-1%
- Υδρόθειο κατά 0-3% και
- Άλλες ενώσεις (αμμωνία, υδρατμοί κ. λ. π) κατά 0-2%

Το μεθάνιο είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο, πλούσιο σε ενέργεια, η υψηλή περιεκτικότητά του οποίου καθιστά το βιοαέριο κατάλληλο ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Η τιμή του λόγου μεθάνιο/διοξείδιο του άνθρακα εξαρτάται από τον βαθμό οξείδωσης της οργανικής ύλης και αναγωγής του προκύπτοντος υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα προς μεθάνιο. Όσο περισσότερο οξειδώνεται η οργανική ουσία και ανάγεται ο άνθρακας της οργανικής ουσίας προς μεθάνιο, τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του λόγου μεθάνιο/διοξείδιο του άνθρακα.

Το υδρόθειο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, από τα ίχνη άλλων αερίων, καθώς θα πρέπει να αφαιρείται από το βιοαέριο πριν το τελευταίο χρησιμοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς, λόγω του έντονα διαβρωτικού, κυρίως θεικού οξέος, που παράγεται κατά την οξείδωση του (Γεωργακάκης, 2009). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται καλύτερη λειτουργία της μονάδας παραγωγής βιοαερίου, αφού αυξάνεται ο χρόνος ζωής του βιοαντιδραστήρα, ενώ ταυτόχρονα μειώνονται οι εκκρίσεις υδρόθειου στην ατμόσφαιρα (Pipatmanomaietal., 2009).

4.3. Χρήση του βιοαερίου

Υπάρχουν διάφορες εφαρμογές του βιοαερίου ανάλογα με την τοπική ζήτηση για μία συγκεκριμένη μορφή ενέργειας και τη φύση της πηγής. Γενικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για (Σιούλας, 2010; Achinasetal., 2017):

- **Παραγωγή θερμότητας μέσω άμεσης καύσης** σε καυστήρες ή λέβητες. Αποτελεί τον απλούστερο τρόπο χρήσης του βιοαερίου και εφαρμόζεται στις αναπτυγμένες χώρες σε καυστήρες φυσικού αερίου. Για την παραγωγή θερμότητας το βιοαέριο μπορεί να καεί είτε επί τόπου είτε να μεταφερθεί. Το βιοαέριο δεν απαιτεί καμία αναβάθμιση για τις εφαρμογές θέρμανσης και το επίπεδο μόλυνσης δεν περιορίζει την χρήση του. Το βιοαέριο μπορεί να υποβληθεί σε συμπύκνωση και αφαίρεση των σωματιδίων, συμπίεση, ψύξη και αφυδάτωση.

- **Συμπαγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας(ΣΗΘ)**, η οποία θεωρείται ως μία πολύ αποδοτική χρήση και εφαρμόζεται σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες. Το βιοαέριο στραγγίζεται και ξηραίνεται πριν από την μετατροπή της ΣΗΘ. Μια μονάδα σαν αυτή που χρησιμοποιεί μηχανή εσωτερικής καύσης έχει αποδοτικότητα μέχρι 90% και παράγει 65% θερμότητα και 35% ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ενέργεια διεργασίας για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό (συστήματα ελέγχου, αναδευτήρες, αντλίες), σε περίπτωση που δεν πωλείται στο δίκτυο. Η θέρμανση των κτιρίων, και οι γεωργικές δραστηριότητες μπορούν να εκμεταλλευθούν αυτή τη θερμότητα. Η βιομηχανία αποτελεί τον πιο κατάλληλο χρήστη δεδομένου ότι η ζήτηση είναι σταθερή σε όλη την διάρκεια του έτους. Οι θερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής τύπου κορμού (BTTP) με κινητήρες καύσης που συνδέονται με μία γεννήτρια είναι η συνηθέστερη εφαρμογή των μονάδων ΣΗΘ. Οι κινητήρες μπορεί να είναι μηχανές έγχυσης τύπου Otto, Ντίζελ ή πιλοτικές. Οι μικροί αεριοστροβίλοι, οι μηχανές Stirling και οι κυψέλες καυσίμου αποτελούν εναλλακτικές λύσεις στις προαναφερθείσες εφαρμογές (Σφετσιώρης, 2009).
- **Εφαρμογές στον τομέα των μεταφορών ως καύσιμο οχημάτων.** Τα τελευταία χρόνια, μέσω της χρησιμοποίησης ειδικών κατασκευών, δίνεται η δυνατότητα παραγωγής υδρογόνου ή διμεθυλαιθέρα από το βιοαέριο, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατα των συμβατικών καυσίμων στις αγροτικές μηχανές (Komiyamaetal., 2006). Τα κοινωνικά και οικονομικά οφέλη της τεχνολογίας αυτής είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Σε χώρες όπως η Ελβετία, η Γερμανία και η Σουηδία το βιοαέριο χρησιμοποιείται ήδη ως καύσιμο οχημάτων. Συγκρινόμενο με άλλα βιοκαύσιμα το αναβαθμισμένο βιοαέριο (βιομεθάνιο) θεωρείται ότι έχει το υψηλότερο δυναμικό ως καύσιμο οχημάτων και εφόσον χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη απόβλητα αντί των ενεργειακών καλλιεργειών, έχει ακόμη μεγαλύτερο δυναμικό. Οι μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, ανάλογα με το υπόστρωμα πρώτης ύλης και τον τρόπο με τον οποίο παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια, είναι το μεγάλο πλεονέκτημα του

βιομεθανίουέναντι της βενζίνης. Τέλος έχουμε δραστική μείωση εκπομπών σωματιδίων και αιθάλης.

- **Παραγωγή ηλεκτρισμού από κυψέλες καυσίμου ή μικροστροβίλους.** Τα συστήματα αυτά δεν είναι ακόμα διαθέσιμα εξαιτίας των πολύ υψηλών δαπανών επένδυσης όλων των κυψελών καυσίμου βιοαερίου. Ιδιαίτερα ακριβοί είναι και οι μικροστροβίλοι βιοαερίου με αναμενόμενη όμως, μακροπρόθεσμα, μείωση του κόστους μέσω προσπαθειών που γίνονται προς αυτήν την κατεύθυνση.
- **Έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου.** Αφού συμπιεστεί στην πίεση των αγωγών το βιομεθάνιο μπορεί να εγχυθεί και να διανεμηθεί μέσω του δικτύου του φυσικού αερίου. Η πρόσβαση στο δίκτυο του αερίου είναι εγγυημένη για όλους τους προμηθευτές βιοαερίου με βάση τον κανονισμό της Ε.Ε. Η σύνδεση του δικτύου με την περιοχή παραγωγής του βιομεθανίου, η οποία είναι συνήθως σε αγροτικές περιοχές, είναι ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα. Η έγχυση στο δίκτυο σημαίνει ότι η εγκατάσταση βιοαερίου χρειάζεται μόνο μία μικρή μονάδα ΣΗΘ για την παραγωγή της ενέργειας διεργασίας ή έναν καυστήρα βιοαερίου. Η αλήθεια είναι πως πρόκειται για μία νέα τεχνολογία και υπάρχουν ακόμα πολλά περιθώρια ανάπτυξης.

4.4. Το βιοαέριο στην Ελλάδα

Με πρώτη ύλη από απόβλητα βιομηχανιών επεξεργασίας τροφίμων και από κτηνοτροφικά απόβλητα έχουν υλοποιηθεί λίγα έργα για την ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου στην χώρα μας από την δεκαετία του 80. Αυτά τα έργα δεν είχαν την ανάλογη εξέλιξη και η λειτουργία τους σταμάτησε. Σήμερα η εκμετάλλευση του βιοαερίου αποτελεί μια γνωστή τεχνολογία στις περιπτώσεις των Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) και των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ).

Γενικότερα, η αναερόβια χώνευση χρησιμοποιείται ως μια μέθοδος διαχείρισης αποβλήτων, η οποία όμως τουλάχιστον σε ευρεία κλίμακα, δεν συνοδεύεται από την παραγωγή βιοαερίου και ενέργειας. Κατά την διάρκεια του έτους 2007, δεκαπέντε μονάδες βιοαερίου ήταν σε λειτουργία. Στις περισσότερες των περιπτώσεων όμως οι μονάδες αυτές εκμεταλλεύονται το βιοαέριο για την κάλυψη μόνο των θερμικών τους αναγκών. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με την χρήση βιοαερίου ανήλθε στα 37,4 MW και η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε ανήλθε σε 155,9 GWh. Το μεγαλύτερο τμήμα της ενέργειας παράχθηκε στην Αθήνα λόγω της λειτουργίας μονάδων βιοαερίου στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυτάλλειας και στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων στα Άνω Λιόσια. Ο συγκεκριμένος σταθμός παραγωγής βιοαερίου είναι από τους μεγαλύτερους παγκοσμίως, αφού έχει εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ 13,9MWe. Η μονάδα έχει τη δυνατότητα να παρέχει 8.000 κυβικά μέτρα βιοαερίου την ώρα, ενώ παράγει και ηλεκτρισμό (ισχύς 13MW) και θερμότητα (16MW), επιτυγχάνοντας ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από την ίδια ποσότητα καυσίμου με σημαντικά μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από την ανεξάρτητη παραγωγή της καθεμιάς από τις προαναφερόμενες μορφές ενέργειας. Στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Θεσσαλονίκης λειτουργεί σταθμός ΣΗΘ με την χρήση βιοαερίου.

Το 2006 οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) είχαν συνεισφορά 1.8 MTIP (Μεγατόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου) στην καθαρίστη εγχώρια κατανάλωση, σύμφωνα με το Υπουργείο Ανάπτυξης. Λόγω ηλεκτροπαραγωγής, το βιοαέριο που παρήχθη από ΕΕΛ ΧΥΤΑ και βιομηχανικές εφαρμογές συνεισέφερε 36.000 TIP. Η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων βιοαερίου ανήλθε σε 24 MW, με δεδομένο ότι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ ήταν 3.894 MW. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο ανήλθε σε 92 GWh (Σιούλας, 2009).

4.5. Φυσικοχημικές ιδιότητες βιοαερίου

Το βιοαέριο, που παράγεται από χώνευση (Εικόνα 5), αποτελείται περίπου από 60% μεθάνιο και 29% CO₂ και δεν είναι υψηλής ποιότητας. Επίσης είναι επικίνδυνο για το εσωτερικό μιας δαπανηρής εγκατάστασης, αφού μπορεί να υποστεί καταστροφή εξαιτίας της διαβρωτικής φύσης του υδρόθειου. Ως λύση σε αυτό το πρόβλημα εφαρμόζεται η αναβάθμιση ή ο καθαρισμός του βιοαερίου έτσι ώστε οι προσμίξεις του βιοαερίου να ρέουν σε κατά αντιρροή απορρόφηση ή επεξεργασία, αφήνοντας το 98% του μεθανίου ανά μονάδα όγκου του φυσικού αερίου.

Κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι τρόποι βελτίωσης της παραγωγής βιοαερίου: (1) πρόσθετες χημικές (άλατα σιδήρου, ιόντα νικελίου, ασβέστιο, μαγνήσιο, ενώσεις πηκτίνης κτλ) ή βιολογικές (τμήματα φυτών, βακτήρια, μύκητες κτλ) ουσίες, οι οποίες ενσωματώνονται στα οργανικά απορρίμματα, (2) ανακύκλωση του χωνευμένου διηθήματος (επιπρόσθετος μικροβιακός πληθυσμός), (3) βελτιστοποίηση θερμοκρασίας (< 55°C), (4) βελτιστοποίηση pH (6,8-7,2), (5) ειδική επεξεργασία των απορριμμάτων πριν τη χώνευση, (6) συγκεκριμένο μέγεθος σωματιδίων των απορριμμάτων (0,088-0,40 mm), (7) βελτιστοποίηση αναλογίας άνθρακα και αζώτου (20-30:1), (8) ανακάτεμα και (9) δεξαμενές ειδικής κατασκευής (με βιομεμβράνες), (10) ειδικό υλικό επικάλυψης των στρώσεων, το οποίο θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο στεγανό, ώστε να επιτυγχάνεται η αναερόβια χώνευση, εμποδίζοντας, ταυτόχρονα, την απαέρωση του παραγόμενου βιοαερίου (Yadvikaetal., 2004; Achinasetal., 2017).

Έχουν επικρατήσει τέσσερις μέθοδοι αναβάθμισης του βιοαερίου:

- Το νερό της πλύσης
- Η απορρόφηση selexol
- Η πίεση απορρόφησης swing
- Η χημική επεξεργασία

Το νερό πλύσης αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο. Οι ροές αερίου υψηλής πίεσης εισέρχονται σε μια στήλη όπου τα ιχνοστοιχεία μαζί με το διοξείδιο του

άνθρακα επεξεργάζονται επικαλυπτόμενα από τρεχούμενο νερό σε αντίθετο ρεύμα από το αέριο. Σύμφωνα με την ρύθμιση αυτή μπορεί να παραδοθεί 98% μεθάνιο και οι κατασκευαστές εγγυώνται μόλις 2% απώλεια του μεθανίου στο σύστημα. Μεγάλης οικονομικής αξίας είναι το γεγονός ότι η πρώτη ύλη σε μια μονάδα βιοαερίου έχει μηδενική αξία ενώ τα προϊόντα που απορρέουν από αυτήν έχουν πολύ μεγάλη (Αγορής, 2002).

Σε μεγάλες συγκεντρώσεις το βιοαέριο είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο λόγω της παρουσίας του μεθανίου και μπορεί να προκαλέσει έκρηξη. Το μεθάνιο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία του βιοαερίου. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι άχρωμο, άοσμο, βαρύτερο από τον αέρα και αποτελεί το δεύτερο σημαντικότερο συστατικό του βιοαερίου. Μέσα στο βιοαέριο βρίσκονται και αέρια σε μικρές συγκεντρώσεις, τα οποία παράγονται μέσα από χημικές, φυσικές και βιολογικές διεργασίες (NMOCs; NonMethaneOrganicCompounds). Αυτές οι ουσίες καταλαμβάνουν λιγότερο από 1% του όγκου του βιοαερίου. Η μέση συγκέντρωση των συνολικών NMOCs είναι περίπου 4000 ppm. Η αύξηση της εξάτμισης του νερού μέσα στο βιοαέριο αιτιολογείται από τη μεγαλύτερη θερμοκρασία μέσα στα στερεά αστικά απορρίμματα σε σχέση με την ατμοσφαιρική.

Το ποσοστό της υγρασίας στο βιοαέριο μπορεί να είναι κορεσμένο ή ακόρεστο σε υδρατμούς και εξαρτάται από την θερμοκρασία και την πίεση. Ανάλογα με το βάθος, τη θέση και τη φάση της αποδόμησης ποικίλει και η θερμοκρασία του βιοαερίου.

4.6. Μέθοδοι επεξεργασίας βιοαερίου

Υπάρχουν συγκεκριμένες τεχνικές επεξεργασίας, οι οποίες είναι πολύ σημαντικές και αφορούν την απαλλαγή του βιοαερίου από ανεπιθύμητες ουσίες και από την υγρασία. Οι τεχνικές αυτές έχουν στόχο την ποιοτική αναβάθμιση του βιοαερίου. Με την απομάκρυνση των σωματιδίων, μέσω της διαδικασίας καθαρισμού,

συντελείται με εύκολο τρόπο η αφαίρεση των ανεπιθύμητων ουσιών που βρίσκονται μέσα στο βιοαέριο. Επίσης με την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα και την προσθήκη προπανίου πετυχαίνουμε την αναβάθμισή του. Οι τεχνικές αυτές είναι οι εξής:

4.6.1. Απομάκρυνση υδρόθειου

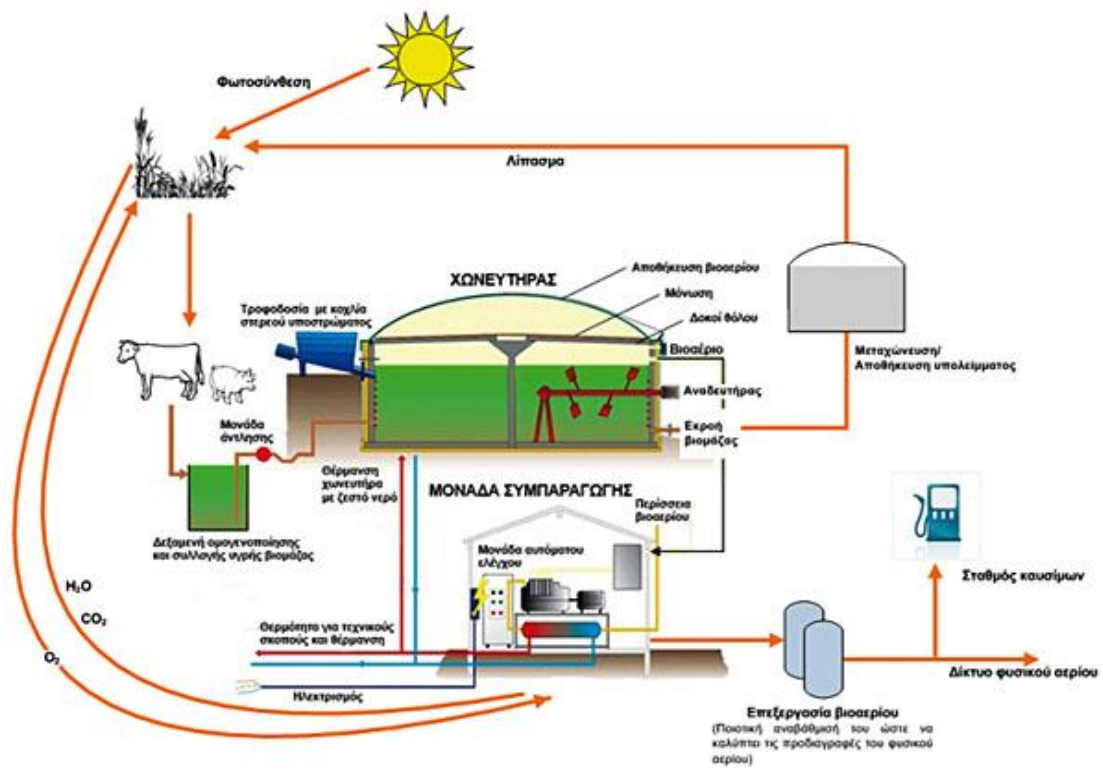
- Μέθοδος εκλεκτικών διαλυτών
- Προσρόφηση σε κυλινδρικά τεμαχίδια οξειδίου του σιδήρου
- Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα

4.6.2. Διαχωρισμός διοξειδίου του άνθρακα

- Φυσική ή χημική απορρόφηση
- Χρήση κατάλληλων διαλυτών
- Διαχωρισμός με μεμβράνες
- Προσρόφηση υπό πίεση

4.6.3. Απομάκρυνση υγρασίας

- Αφυγραντές
- Ψύξη του αερίου
- Διαχωριστές συμπυκνωμάτων
- Μέθοδος προσρόφησης
- Μέθοδος απορρόφησης



Διάγραμμα 1: Λειτουργικός κύκλος του βιοαερίου από μονάδες ΑΥ.

Εικόνα 5: Κύκλος παραγωγής βιοαερίου

5. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΜΕ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

5.1. Εισαγωγή

Η κατάλληλη χωροθέτηση και ο σωστός σχεδιασμός είναι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για την σωστή λειτουργία μιας μονάδας βιοαερίου. Για να πετύχουμε την καλύτερη δυνατή εμπορική εκμετάλλευση της θερμότητας, και το κόστος σύνδεσης της με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης να είναι το μικρότερο δυνατό, προτιμάται να γίνεται η εγκατάσταση της μονάδας σε κοντινή τοποθεσία με τον καταναλωτή. Αξίζει να σημειωθεί ότι για να παραχθούν οι πρώτες ποσότητες βιοαερίου απαιτούνται 9-15 μήνες από την έναρξη της κατασκευής της μονάδας. Αφού πραγματοποιηθούν τα απαραίτητα χωματουργικά έργα, έτσι ώστε να έχουμε σωστή διαμόρφωση του χώρου, συνεχίζουμε με τη σταδιακή εγκατάσταση των δικτύων σωληνώσεων, των αντλιών, των αναδευτήρων, των δεξαμενών υποδοχής και των χωνευτήρων. Στην συνέχεια έχουμε την εγκατάσταση της μονάδας συμπαραγωγής και γίνονται οι αυτοματισμοί και η ηλεκτρική σύνδεση. Τέλος κατασκευάζεται το δίκτυο σωληνώσεων για την μεταφορά της θερμότητας εντός και εκτός της μονάδας. Η χορήγηση άδειας εγκατάστασης είναι βασικό προαπαιτούμενο για την εκκίνηση ανέγερσης της μονάδας. Από την ποσότητα, το είδος και τον τρόπο προμήθειας των πρώτων υλών, μέχρι την παραγωγή του βιοαερίου και τη διαχείριση του υγρού υπολείμματος της χώνευσης, κάθε παράμετρος λειτουργίας της μονάδας βελτιστοποιείται και τα προβλήματα που δημιουργούνται από οσμές ή θόρυβο είναι εξαιρετικά περιορισμένα.

5.2. Μέρη και λειτουργία μονάδας παραγωγής βιοαερίου

Βασικές υποδομές στο τεχνικό μέρος του εξοπλισμού αποτελούν:

- Η προμήθεια των συστημάτων τροφοδοσίας και απομάκρυνσης των λυμάτων
- Η προμήθεια του βιοαντιδραστήρα

- Η ηλεκτρολογική και ηλεκτρονική εγκατάσταση
- Το σύστημα αερισμού
- Τα μηχανήματα φόρτωσης, ανάδευσης και ενσάκκωσης
- Οι αντλίες
- Οι σχάρες, θραυστήρες, φίλτρα
- Οι ξηραντήρες
- Διάφορα βοηθητικά εξαρτήματα

Σε περίπτωση τοποθέτησης περιφερειακά της εκτροφής, της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων του χοιροστασίου, απαιτούνται οι εξής εργασίες:

- Δημιουργία οδεύσεων
- Εκσκαφές
- Εργασίες ισοπέδωσης και καθαρισμού του εδάφους
- Στέγαση αποθηκευτικών χώρων και ηλεκτρολογικών εξοπλισμών, μέσα από τη δημιουργία μικρών κτιριακών υποδομών
- Δημιουργία πλατφόρμας ξήρανσης

Επιγραμματικά μία μονάδα παραγωγής βιοαερίου με αναερόβια χώνευση αποτελείται από τις εξής εγκαταστάσεις (Holm-Nielsen et al., 2009) (Εικόνα 6): (1) βιοαντιδραστήρα επεξεργασίας λυμάτων – απορριμμάτων, (2) αεροσυμπιεστή για την παροχή αέρα υψηλής πίεσης, (3) φίλτρο της μονάδας παραγωγής βιοαερίου, (4) δεξαμενή αποθήκευσης αερίου (όχι πάντα), (5) μετρητή αερίου, (6) μετρητή pH και (7) διαχωριστήρα CO₂.

Η χρήση του βιοαερίου ως καύσιμο παραγωγής ηλεκτρισμού προϋποθέτει τη ύπαρξή του σε σταθερά επαρκή ποσότητα και κατάλληλη ποιότητα. Η προσαγωγή του στις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με άντληση υπό κενό, μέσω ενός υπόγειου δικτύου που αποτελείται από κατακόρυφες και οριζόντιες σωληνώσεις, ενώ πριν την τελική τροφοδοσία του στον εξοπλισμό ηλεκτροπαραγωγής υφίσταται επεξεργασία προκειμένου να μειωθεί η περιεκτικότητα σε υγρασία και στερεά σωματίδια. Στα αρχικά βήματα της

λειτουργίας η πρώτη ύλη μεταφέρεται, παραδίδεται, αποθηκεύεται και προεπεξεργάζεται. Η πρώτη ύλη υφίσταται προκατεργασία (θραύση, τεμαχισμό κ. λ. π.) ή και προσωρινή αποθήκευση ανάλογα με την φύση της (Thu et al., 2012). Σε μια δεξαμενή στην οποία ομογενοποιούνται υπό ανάδευση και θέρμανση, τροφοδοτούνται οι πρώτες ύλες, οι οποίες στην συνέχεια αντλούνται προς την δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης. Μέσω κοχλίας, γίνεται η τροφοδότηση στη δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης, της στερεάς πρώτης ύλης. Ο βιοαντιδραστήρας είναι το μέρος που εναποτίθεται το υπόστρωμα (βιομάζα) έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί αναερόβια χώνευση και παραγωγή βιοαερίου με την βοήθεια της θερμότητας και των αναδευτήρων. Ένα από τα πιο κρίσιμα στοιχεία για την σωστή λειτουργία μιας εγκατάστασης βιοαερίου είναι το επίπεδο της τεχνολογίας του βιοαντιδραστήρα και η κατάλληλη διάταξη του. Στην συνέχεια έχουμε την παραγωγή του βιοαερίου και την αποθήκευση του χωνεμένου υπολείμματος, ενώ στο τέλος πραγματοποιείται η αποθήκευση του βιοαερίου σε ειδικές δεξαμενές. Ο συνεχής εφοδιασμός με πρώτη ύλη κατάλληλης ποσότητας και ποιότητας είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Η αποδοτικότητα της αναερόβιας χώνευσης επηρεάζεται σημαντικά από την βελτίωση της πρώτης ύλης. Θα πρέπει να αυξηθεί η δυνατότητα χώνευσης και να εξασφαλιστούν οι συνθήκες υγιεινής. Ο χώρος του βιοαντιδραστήρα και της αποθήκης του υποστρώματος είναι το μέρος όπου εφαρμόζονται οι βελτιώσεις αυτές (Σιούλας, 2008).

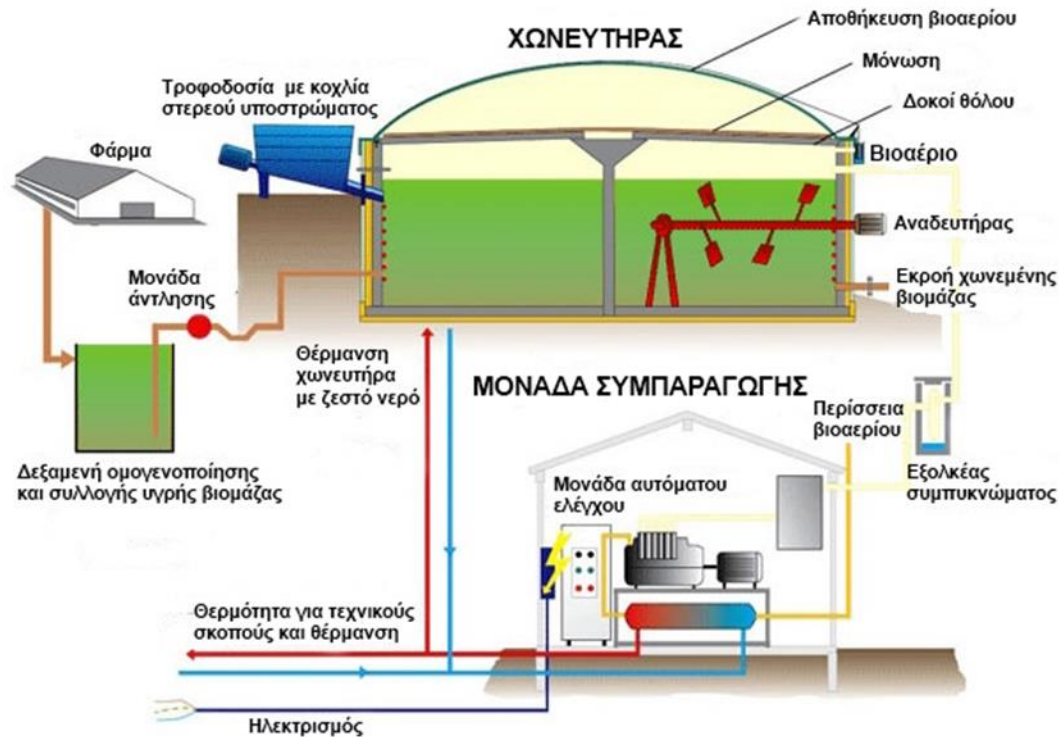
Θέλοντας να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα των διαρροών, αποθηκεύουμε τα λύματα σε ειδικά στεγασμένες δεξαμενές, από την εναπόθεσή τους στο έδαφος μέχρι την τροφοδότησή τους στον βιοαντιδραστήρα. Οι δεξαμενές θα πρέπει να είναι αεροστεγείς και έτσι η αναερόβια χώνευση να πραγματοποιείται σε δεξαμενές κατασκευασμένες από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι δεξαμενές αυτές είναι μονωμένες εξωτερικά και διαθέτουν εσωτερικό σύστημα θέρμανσης. Το σύστημα των αναδευτήρων είναι υπεύθυνο για την πλήρη ανάμειξη της πρώτης ύλης. Οι δεξαμενές αναερόβιας χώνευσης έχουν συνήθως ειδικού τύπου οροφή, η οποία χρησιμεύει ως αεριοφυλάκιο και εκεί οδηγείται το παραγόμενο από τη ζύμωση βιοαέριο, μετά την απομάκρυνση τυχόν συμπυκνωμάτων, με ένα κατάλληλο σύστημα σωληνώσεων. Η πίεση στη δεξαμενή ελέγχεται μέσω βαλβίδων. Για να

εξοικονομήσουμε ενέργεια και για να μη χρειαστούμε εξοπλισμό μεταφοράς τοποθετούμε τη δεξαμενή αποθήκευσης σε υψηλότερο σημείο από τον βιοαντιδραστήρα(Σιούλας, 2008).

Σε ότι έχει να κάνει με την τεχνολογία της ανάδευσης, το 90% περίπου των μονάδων βιοαερίου λειτουργεί με μηχανική ανάδευση. Το περιεχόμενο του χωνευτήρα πρέπει να αναδεύεται αρκετές φορές την μέρα έτσι ώστε η νέα πρώτη ύλη να αναμειχθεί με το υπάρχον υπόστρωμα. Οι ρυθμίσεις στους αναδευτήρες και η χρησιμότερη διάρκεια και συχνότητα των διαστημάτων ανάδευσης καθορίζεται από τον έλεγχο και την εμπειρία. Κάποιοι από τους αναδευτήρες με τους οποίους εξοπλίζεται ο βιοαντιδραστήρας είναι υποβρύχιοι. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγουμε τον κίνδυνο δημιουργίας μεγάλων σβόλων που θα προξενούσαν πρόβλημα στις σωληνώσεις, στις αποθήκες, στις αντλίες και την κυκλοφορία τους εξαιτίας της καλύτερης ανάδευσης του υποστρώματος του πυθμένα.

Το βιοαέριο σχηματίζεται σε κυμαινόμενες ποσότητες και με αιχμές απόδοσης. Για να μπορέσουμε να αντισταθμίσουμε τις πιθανές μεταβολές της ποσότητας του βιοαερίου μέσα στη μονάδα παραγωγής είναι αναγκαίο να αποθηκεύεται προσωρινά σε κατάλληλες εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Μετά την έξοδο του βιοαερίου από το χωνευτήρα έχει διαποτιστεί με υδρατμούς και περιέχει υδρόθειο αλλά και μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Αντιδρώντας με τους υδρατμούς που υπάρχουν στο βιοαέριο, το υδρόθειο το οποίο είναι τοξικό και διαθέτει μια πολύ δυσάρεστη οσμή, δημιουργεί θειικό οξύ. Αυτό μπορεί να προκαλέσει φθορές στις καμινάδες, στις σωληνώσεις του αερίου, και στις μηχανές παραγωγής ηλεκτρισμού οπότε η αποθείωση και η ξήρανση του βιοαερίου είναι απαραίτητη (Pipatmanomaietal., 2009).

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι το μέρος όπου διοχετεύεται μέσω αγωγών, αφού πρώτα καθαριστεί, το βιοαέριο που παράγεται από την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Η ποσότητα του βιοαερίου που θα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο είναι το κριτήριο για το μέγεθος της μηχανής εσωτερικής καύσης. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται μέσω της καύσης του βιοαερίου (Σιούλας, 2008).



Εικόνα 6: Λειτουργία μονάδας βιοαερίου

Με τη βοήθεια αγωγών το βιοαέριο μπορεί να παραμείνει προσωρινά στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης, ενώ το χωνεμένο υπόλειμμα αντλείται έξω από το χωνευτήρα. Μέσα σε μια δεξαμενή έχουμε την αποθήκευση του παραγόμενου βιοαερίου. Υπάρχει η δυνατότητα να ξεχωρίσουμε σε υγρό και στερεό λίπασμα το τελικά χωνεμένο υπόλειμμα με έναν κατάλληλο μηχανικό διαχωρισμό. Τότε λαμβάνει χώρα ο διαχωρισμός του υγρού από το στερεό υπόλειμμα και οδηγούνται σε δύο επόμενες αποθήκες για επιπλέον επεξεργασία και εκμετάλλευση ως λίπασμα. Το υγρό χρησιμεύει στη λίπανση των αγρών, ενώ το στερεό μπορεί να συσκευασθεί και να διατεθεί στο εμπόριο. Με σκοπό να εξασφαλιστεί η αποδοτική χρήση τους ως λίπασμα απαιτείται 6-9 μήνες αποθηκευτικής ικανότητας για την στερεή και υδαρή κοπριά, όπως επίσης και για το χωνεμένο υπόλειμμα (Σιούλας, 2008).

Τα στερεά και τα υγρά υπολείμματα οδηγούνται σε χώρο αποθήκης μετά τον διαχωριστή. Εκτός από την αξιοποίηση για τις ανάγκες του στάβλου, το στερεό υπόλειμμα μπορεί να αποδοθεί και σε αγρότες της περιοχής. Η κοπριά αποτελεί

εξαιρετικό λίπασμα με πλούσια περιεκτικότητα σε νιτρικά, φώσφορο, κάλιο και άλλα μέταλλα (Σιούλας, 2008).

5.3. Κόστος επένδυσης

Το μέγεθος μιας μονάδας είναι ο πιο βασικός παράγοντας που επηρεάζει το κόστος επένδυσης για την κατασκευή μιας μονάδας βιοαερίου. Ένας τρόπος για να γίνει γρήγορη απόσβεση του κόστους επένδυσης είναι οι σταθερές και υψηλές τιμές πώλησης του ρεύματος.

Οι δαπάνες εγκατάστασης μίας μονάδας βιοαερίου περιλαμβάνουν:

- Εγκατάσταση και μεταφορά εξοπλισμού
- Διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου
- Μηχανολογικό εξοπλισμό
- Σύστημα ελέγχου της μονάδας
- Έργα που αποσκοπούν στην φύλαξη των υπολειμμάτων και στους δρόμους πρόσβασης
- Κόστος κατασκευής κτιρίων
- Δαπάνες για αγροτικούς συμβούλους που περιλαμβάνουν τις οικοδομικές άδειες και τις μελέτες του μηχανικού
- Εγκαταστάσεις αναδευτήρων, αντλιών κ. τ. λ

Ανασταλτικός παράγοντας αποτελεί το συνήθως μικρό μέγεθος των κτηνοτροφικών μονάδων στην Ελλάδα. Ένας τρόπος αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος είναι η δημιουργία εγκαταστάσεων που να αποτελούν μονάδα συγχώνευσης αποβλήτων διαφορετικών μονάδων ή να αφορούν απόβλητα συνεταιρισμών.

Η δυνατότητα πώλησης της θερμικής ενέργειας από το χωνεμένο υπόλειμμα ή από τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, είναι ένας σημαντικός τρόπος

για να μειωθεί ο χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης. Σε περίπτωση που η γεωγραφική τοποθεσία της μονάδας ευνοεί την αξιοποίηση τους τότε η χρήση μονάδων συμπαραγωγής ψύξης, θερμότητας, ηλεκτρισμού παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον οικονομικά(Σιούλας, 2008).

5.4. Πλεονεκτήματα χρήσης βιοαερίου

Η ανάπτυξη των τεχνολογιών βιοαερίου έχει προσφέρει σειρά από πλεονεκτήματα και περιβαλλοντικά οφέλη, όπως: (1) εξοικονόμηση χρημάτων για τους αγρότες, (2) μικρότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, (3) οικονομική και περιβαλλοντικά αποδεκτή ανακύκλωση αποβλήτων, (4) μειωμένες εκπομπές δύσσομων αερίων, (5) δυνατότητες μείωσης των παθογόνων οργανισμών (Holm-Nielsen et al., 2009; Huong et al., 2014). Συγκεκριμένα, κάποια υλικά, όπως οργανικά υλικά απόβλητα ή κοπριές, τα οποία δυνητικά μπορούν να δημιουργήσουν πρόβλημα στο περιβάλλον μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες στις μονάδες παραγωγής βιοαερίου. Αξιοποιώντας τέτοια υλικά καταφέρνουμε να περιορίσουμε τα φαινόμενα ρύπανσης και να προσφέρουμε ενέργεια στο δίκτυο ηλεκτροδότησης. Επιπλέον:

- Οι εγκαταστάσεις που εντάσσονται στο σύστημα εμπορίας εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε περίπτωση που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το βιοαέριο δεν χρειάζεται να πληρώσουν για την αγορά δικαιωμάτων εκπομπών (Οδηγία 2009/29/ΕΚ).
- Παρατηρείται ελαχιστοποίηση της χρήσης χημικών λιπασμάτων.
- Στην Ευρώπη εδώ και αρκετά χρόνια είναι διαδεδομένη η τάση της αποκεντρωμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στην οποία συνεισφέρει η κατασκευή μονάδων παραγωγής βιοαερίου.
- Σε αντιδιαστολή με την εναπόθεση ανεπεξέργαστων αποβλήτων στα χωράφια, με την αποθήκευση του υγρού υπολείμματος της χώνευσης επιτυγχάνουμε την έκλυση σημαντικά λιγότερων οσμών.

- Μεγάλη συνεισφορά συνολικά του τομέα της βιοενέργειας στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και της οικονομικής απεξάρτησης από άλλες χώρες.
- Το βιοαέριο έχει πολύ σημαντικό ενεργειακό περιεχόμενο και η ενεργειακή κατανάλωση των μονάδων αναερόβιας χώνευσης είναι μικρότερη.

Μια μονάδα βιοαερίου προσφέρει πολλά στην κτηνοτροφία και στην οικονομία της περιοχής στην οποία λειτουργεί. Μέσω του μειωμένου κόστους λιπάσματος για τα σιτηρέσια, μειώνει το κόστος της διατροφής των ζώων, και δίνει την δυνατότητα στις κτηνοτροφικές μονάδες να επεκταθούν εξαιτίας του χώρου που απελευθερώνει. Επίσης προσφέρει στις κτηνοτροφικές μονάδες την δυνατότητα, χωρίς κάποια επιπλέον επένδυση, να αποκτήσουν άδεια λειτουργίας αλλά και να απαλλαγούν από το υπάρχον κόστος διαχείρισης των αποβλήτων (Ελληνικός Σύνδεσμος Βιοαερίου, 2017).

6.ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

6.1. Κριτήρια οικονομικής ανάλυσης

Η οικονομική βιωσιμότητα μιας επιχείρησης μπορεί να εξεταστεί με διάφορα κριτήρια. Θα πρέπει να προσδιοριστούν σημαντικές παράμετροι όπως το επιτόκιο, ο χρονικός ορίζοντας, ο πληθωρισμός κ. τ. λ, αλλά πρώτιστα θα πρέπει να υπολογιστεί το όφελος και το κόστος της επένδυσης. Υπάρχει μια διαρκής εξέλιξη στις υπολογιστικές και αναλυτικές μεθόδους της αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων, όπως επίσης και μεγάλος αριθμός αυτών των μεθόδων (Αποστολόπουλος, 2007). Στην αξιολόγηση επενδύσεων βιοαερίου τα κυριότερα κριτήρια που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ ή NPV)
- Περίοδος Επανάκτησης Κεφαλαίου (Paybackperiod)
- Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης επί του κεφαλαίου (EBA ή IRR)
- Επανάκτηση Κεφαλαίου σε συνδυασμό με την Παρούσα Αξία

6.1.1. Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑή NPV)

Η Καθαρή Παρούσα Αξία αποτελεί το συνηθέστερο κριτήριο αποδοτικότητας στην αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων. Είναι η διαφορά της παρούσας αξίας των ετήσιων εισοδημάτων και της παρούσας αξίας των ετήσιων εξόδων, συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων (Καλιαμπάκος, 2008). Η παρούσα αξία είναι πάρα πολύ σημαντική γιατί εκφράζει και αντιπροσωπεύει, στην τωρινή αξία τους, όλες τις ροές του σχεδίου επένδυσης, άρα σε εκείνη την αξία που ισχύει την στιγμή που παίρνει την απόφαση ο επενδυτής (Καραθανάσης, 1999).

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^N \frac{\text{Ταμειακές Εισροές}}{(1+r)^t} - \text{Αρχική Επένδυση}$$

t = Χρονική περίοδος
 N = Χρονική διάρκεια της επένδυσης
 r = Προεξοφλητικό επιτόκιο

Για να μπορέσουμε λοιπόν να υπολογίσουμε την ΚΠΑ, αφού καταγράψουμε τα αρχικά μεγέθη των ταμειακών ή χρηματικών εκροών και υπολογίσουμε την καθαρή ταμειακή ροή, επιλέγουμε το κατάλληλο επιτόκιο προεξόφλησης με βάση τις υπάρχουσες εκείνη τη στιγμή συνθήκες της τραπεζικής αγοράς. Σύμφωνα με αυτό υπολογίζουμε την αξία των χρηματικών εκροών και των χρηματικών εισροών ή την παρούσα αξία του αλγεβρικού αθροίσματος, δηλαδή για κάθε χρόνο και για όλη την περίοδο ζωής του σχεδίου επένδυσης, την ταμειακή ροή.

Αν η ΚΠΑ είναι αρνητική τότε το σχέδιο επένδυσης απορρίπτεται με την αποδοτικότητα να είναι κάτω από το επιτόκιο προεξόφλησης. Σε περίπτωση που η ΚΠΑ είναι ίση με το μηδέν το επενδυτικό σχέδιο γίνεται αποδεκτό, αν δεν υπάρχει κάποια καλύτερη εναλλακτική επένδυση, με το επιτόκιο προεξόφλησης να είναι ίσο με την αποδοτικότητα. Αν η ΚΠΑ είναι θετική το επενδυτικό σχέδιο γίνεται αποδεκτό με την αποδοτικότητα να είναι μεγαλύτερο από το επιτόκιο προεξόφλησης.

Υπάρχουν κάποια στοιχεία, τα οποία είναι πολύ σημαντικά και θα πρέπει να προσεχθούν κατά την διάρκεια της εφαρμογής της μεθόδου της Καθαρής Παρούσας Αξίας και είναι τα εξής:

- Οι φόροι του έτους τυπολογίζονται ως το έτος $t+1$, θέλοντας να αξιολογήσουμε μια επένδυση μετά από φόρους.
- Δεν συμπεριλαμβάνονται στις ταμειακές εκροές οι αποσβέσεις διότι δεν αποτελούν πραγματική ταμειακή εκροή παρά το γεγονός ότι εμφανίζονται στον λογαριασμό εκμετάλλευσης.
- Οι εισροές και οι εκροές υπολογίζονται στον χρόνο που πράγματι γίνονται.
- Λαμβάνουμε υπόψιν μας το επιτόκιο που επικρατεί στην κεφαλαιαγορά, εφόσον αυτή έχει ομαλή λειτουργία και αντανακλά τις πραγματικές

συνθήκες ζήτησης και προσφοράς κεφαλαίων, για την επιλογή του επιτοκίου προεξόφλησης.

- Προστίθεται συνήθως ένα περιθώριο κινδύνου σε αυτό το επιτόκιο για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διασφάλιση.

Η αποδοτικότητα που απαιτεί η επιχείρηση από το συγκεκριμένο έργο αντανακλάται από το προκαθορισμένο υποκειμενικά επιτόκιο (Καραθανάσης, 1999). Μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα της ΚΠΑ είναι τα εξής:

- Προεξοφλεί τις καθαρές ταμειακές ροές με το μέσο σταθμικό κόστος κεφαλαίου της επιχείρησης, το οποίο προσδίδει μια αναγνώριση της αποδοτικότητας και του κόστους χρηματοδότησης που απαιτούν οι μέτοχοι.
- Μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε την ΚΠΑ ενός αριθμού προτάσεων επενδύσεων από την στιγμή που μπορούμε να προσθέσουμε τις καθαρές παρούσες αξίες των προτάσεων αυτών. Η ΚΠΑ δεν εκφράζεται σε ποσοστά αλλά σε απόλυτα χρηματικά ποσά.
- Μετατρέπει τις μελλοντικές ροές αξιών του επενδυτικού σχεδίου σε παρούσες αξίες, λαμβάνοντας υπόψη τη διαχρονική αξία του χρήματος.
- Έχοντας στην διάθεση μας τις αποδεκτές επενδυτικές προτάσεις μεγιστοποιούμε την αξία της επιχείρησης, κάνοντας αποδεκτές εκείνες με τις υψηλότερες καθαρές παρούσες αξίες (Καραθανάσης, 1999).

Μερικά από τα βασικά μειονεκτήματα της ΚΠΑ είναι τα εξής:

- Υποθέτει ότι το μέσο σταθμικό κόστος κεφαλαίου παραμένει σταθερό σε όλη την διάρκεια της επένδυσης κάτι το οποίο δεν είναι πάντα εφικτό.
- Όταν οι προτάσεις επενδύσεων έχουν αρκετά διαφορετικό κόστος αρχικής επένδυσης, η μέθοδος της ΚΠΑ ερμηνεύεται δύσκολα.
- Υποθέτει ότι τα κεφάλαια που αποδεσμεύονται από την επένδυση έχουν δυνατότητα επανεπένδυσης με αποδοτικότητα ίση με το μέσο σταθμικό κόστος κεφαλαίου. Είναι πιθανό η πραγματική αποδοτικότητα επανεπένδυσης να διαφέρει από το μέσο σταθμικό κόστος κεφαλαίου και έτσι να οδηγηθούμε σε λανθασμένο υπολογισμό ΚΠΑ (Καραθανάσης, 1999).

6.1.2. Χρόνος επανάκτησης της επένδυσης (Paybackperiod)

Με αυτή την μέθοδο βρίσκουμε την χρονική περίοδο που απαιτείται ώστε να καλυφθεί η αρχική ταμειακή ροή από τις ταμειακές ροές της επένδυσης. Έχοντας ως βάση το συνολικό κόστος του έργου, το οποίο επωμίζεται ο επενδυτής, και τα εισοδήματα από την πώληση υπολογίζεται ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης. Σε περίπτωση που οι ετήσιες ροές δεν είναι σταθερές από έτος σε έτος υπολογίζουμε την περίοδο αποπληρωμής του κεφαλαίου αφού προστεθούν οι εισπράξεις που προβλέπονται να πραγματοποιηθούν στη διάρκεια ζωής του επενδυτικού σχεδίου, μέχρι το σύνολο τους να καλύψει την αρχική επένδυση.

Χρησιμοποιώντας το κριτήριο του χρόνου επανάκτησης της επένδυσης, χαρακτηρίζεται ελκυστική μια τέτοια επένδυση στην οποία ο επενδυτής άμεσα επανακτά ή εισπράττει το αρχικό του κεφάλαιο. Σχέδια με περίοδο ανάκτησης κεφαλαίου μεγαλύτερη από 6-7 χρόνια θεωρούνται από τους επενδυτές χαμηλής απόδοσης και ριψοκίνδυνα. Αποδεκτά γίνονται τα σχέδια που έχουν γρήγορο χρόνο αποπληρωμής ή μια ορισμένη χρονική περίοδο. Η συγκεκριμένη αποτελεί μια μέθοδο ιδιαίτερα χρήσιμη για τις επιχειρήσεις που αποσκοπούν στην γρήγορη επανείσπραξη λόγω προβλημάτων οικονομικής ρευστότητας (Αποστολόπουλος, 2007).

6.1.3. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης επί του Κεφαλαίου (EBA ή IRR)

Ο Εσωτερικός βαθμός Απόδοσης του Κεφαλαίου είναι το επιτόκιο προεξόφλησης που μηδενίζει την ΚΠΑ (NPV). Το επιτόκιο δηλαδή εκείνο που εξισώνει την αξία όλων των μελλοντικών ταμειακών ροών με την αρχική επένδυση (Καλιαμπάκος, 2008).

$$NPV = CF_0 + \frac{CF_1}{(1 + IRR)} + \frac{CF_2}{(1 + IRR)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1 + IRR)^n} = CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + k)^t} = 0$$

Με βάση τον δείκτη IRR η επένδυση αξιολογείται θετικά αν ο δείκτης προκύπτει μεγαλύτερος από το επιτόκιο προεξόφλησης. Συγκεκριμένα, εάν ο EBA είναι υψηλότερος από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση γίνεται αποδεκτή, εάν είναι ίσος, η επένδυση θεωρείται οριακή, ενώ στην περίπτωση που είναι μικρότερος από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση απορρίπτεται.

6.1.4. Επανάκτηση Κεφαλαίου σε συνδυασμό με την παρούσα αξία (discountedpaybackperiod)

Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο υπολογισμού της περιόδου επανάκτησης του κεφαλαίου μιας επένδυσης, υπολογίζουμε τις παρούσες αξίες των καθαρών χρηματικών ροών της επένδυσης και εκτιμούμε σε πόσες χρονικές περιόδους πραγματοποιείται επανάκτηση του κεφαλαίου με βάση τις προοδευτικές αθροιστικές παρούσες αξίες των καθαρών ταμειακών ροών. Η μέθοδος αυτή δε μετράει την συνολική αποδοτικότητα της επένδυσης αλλά επικεντρώνεται στις καθαρές χρηματικές ροές από την επένδυση, και στην ταχύτητα με την οποία έρχονται οι ροές αυτές.

Η επένδυση γίνεται αποδεκτή όταν η περίοδος επανάκτησης του κεφαλαίου είναι πιο μικρή από ένα κριτικό αριθμό περιόδου και καθορίζεται από αυτόν που αξιολογεί την επένδυση. Στα καθαρά ετήσια κέρδη της επιχείρησης μετά από φόρους θα πρέπει να προστεθούν και οι αποσβέσεις, οι οποίες παρά το ότι έχουν αφαιρεθεί για τον λογαριασμό των καθαρών κερδών, αποτελούν μέρος της απόδοσης της επένδυσης που δεν πρέπει να αγνοηθούν στον υπολογισμό επανάκτησης του αρχικού κόστους της επένδυσης (Βασιλείου, 2008). Κάνοντας χρήση της οικονομικής ανάλυσης έχουμε ως στόχο την εκτίμηση με ασφάλεια των παρακάτω:

- Του λειτουργικού συνολικού κόστους σε ετήσια βάση.
- Των βασικών οικονομικών στοιχείων.
- Του συνολικού ύψους της επένδυσης.
- Των εισροών από την πώληση των τελικά παραγόμενων προϊόντων.

Θα πρέπει να υπολογιστούν οι ταμειακές ροές, οι οποίες προκύπτουν από την υλοποίηση του επενδυτικού σχεδίου και ορίζονται ως το αλγεβρικό άθροισμα της ροής όλων των ετών της ζωής της επένδυσης. Αυτό υπολογίζεται από την διαφορά των μεγεθών της ταμειακής εκροής και της ταμειακής εισροής. Η ταμειακή εκροή αφορά όλα τα έξοδα για κάθε έτος ενώ η ταμειακή εισροή όλα τα έσοδα που μπορεί να έχει η επένδυση.

Πριν πραγματοποιηθεί το άθροισμα των ταμειακών ροών υπολογίζεται η παρούσα αξία κάθε ταμειακής ροής αφού οι χρηματικές ροές πραγματοποιούνται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Αυτό που θα προκύψει από τον υπολογισμό των ταμειακών ροών κάθε έτους λειτουργίας της επένδυσης είναι ένας πίνακας όπου σύμφωνα με αυτόν θα γίνει η χρηματοοικονομική αξιολόγηση της επένδυσης.

Τα μεγέθη τα οποία θα πρέπει να γνωρίζουμε για την σύνταξη του πίνακα των ταμειακών ροών είναι τα εξής (Καλιαμπάκος, 2008):

- Ετήσιες δαπάνες
- Ετήσιες αποσβέσεις
- Κεφαλαιουχική δαπάνη
- Ετήσια έσοδα

6.2. Υπολογισμός Ισοζυγίων και Απαιτήσεων

6.2.1. Κόστος κατασκευής και λειτουργίας, έσοδα και απόσβεση της μονάδας

Το κόστος επένδυσης για την κατασκευή της μονάδας βιοαερίου είναι σχετικά υψηλό και εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας. Σε σχέση με το

βιοαντιδραστήρα, το κόστος κυμαίνεται από 250 έως 400 ευρώ ανά m^3 , ενώ η μονάδα συμπαραγωγής κοστίζει επιπλέον 500 ευρώ/kW. Για παράδειγμα, με απαιτούμενο συνολικό όγκο βιοαντιδραστήρων τα 2000 m^3 , το κόστος της μονάδας βιοαερίου είναι περίπου 800.000 ευρώ, ενώ η μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ισχύος 150 kW) κοστίζει περίπου 75.000 ευρώ. Άρα το συνολικό κόστος ανέρχεται στα 875.000 ευρώ (Σταμάτη, 2017).

Σύμφωνα με μελέτη μιας μικτής μονάδας κομποστοποίησης με τη χρήση αναερόβιας και αερόβιας ζύμωσης δυναμικότητας 500 χοιρομητέρων (Ντούλιας, 2012), υπολογίζεται αρχικά το ρεύμα των προς επεξεργασία λυμάτων, το οποίο είναι απαραίτητο για την διαστασιολόγηση της μονάδας. Προκύπτει ότι η μέση συνολική ημερήσια ποσότητα λυμάτων ανέρχεται σε 12.5t, θεωρώντας ως μέση ημερήσια ποσότητα αποβλήτων τα 25 kg ανά χοιρομητέρα. Με τις 21 ημέρες να αποτελούν τον μέσο χρόνο παραμονής στο βιοαντιδραστήρα, ο απαιτούμενος όγκος του φτάνει τα 262,5 m^3 . Παίρνοντας σαν μέση τιμή παραγωγής βιοαερίου από το απόβλητο τα 550 m^3 /tn (VS), συντελεστή στερεών (TS) 6.5% και περιεκτικότητα 81% VS του TS υπολογίζουμε την μέση ημερήσια παραγωγή βιοαερίου:

$$V_{\text{μέση}} = 262,5 \text{ tn} \times 550 \text{ m}^3/\text{tn} \times 0,0065 \times 0,81 = 362 \text{ m}^3/\text{d}$$

Με την περιεκτικότητα σε μεθάνιο του παραγόμενου βιοαερίου να βρίσκεται στο 60%, η μέση θερμιδική αξία του βιοαερίου φτάνει τις 6 kWh/ m^3 , οπότε η δυναμική της μονάδας υπολογίζεται στα 90 kW αφού έχει μελετηθεί η θερμική αξία του βιοαερίου στην διάρκεια του έτους. Από αυτό το ποσό ένα μέρος της τάξεως των 47 kW παραλαμβάνονται με την μορφή θερμικής ενέργειας, ενώ 30 kW μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Για την λειτουργία της εγκατάστασης απαιτείται ένα ποσοστό του 5% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται καθώς και ένα ποσοστό 50% της θερμικής ενέργειας. Όσον αφορά το κόστος λειτουργίας της μονάδας, η ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει από το άθροισμα της λειτουργίας των παρακάτω μηχανημάτων: αντλίας λυμάτων, τροφοδότη, αναμικτήρα και αναδευτήρων, ενώ οι θερμικές ανάγκες αφορούν τη λειτουργία του βιοαντιδραστήρα.

Θεωρώντας ότι η μονάδα λειτουργεί 8.000 ώρες ετησίως προκύπτουν 188.000kWh θερμικής ενέργειας και 228.000kWh ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος που μπορούν να διατεθούν περαιτέρω. Θεωρώντας ως τιμή πώλησης τα 0,05 και 0,2 ευρώ ανά Kwh θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, αντίστοιχα, προκύπτουν τα συνολικά έσοδα των 55.000 ευρώ. Επομένως, αν η αρχική επένδυση είναι 875.000 ευρώ, για να αποσβεσθεί το αρχικό κόστος θα χρειαστούν περίπου 15,9 έτη. Στους υπολογισμούς δεν περιλαμβάνεται το κόστος εργασίας (αμοιβές προσωπικού), πιθανή ενοικίαση γης καθώς και η επιδότηση λειτουργίας.

Αντίστοιχα, μπορούμε να κάνουμε υπολογισμούς για μικτές μονάδες κομποστοποίησης με την χρήση αναερόβιας και αερόβιας ζύμωσης για χοιροτροφικές μονάδες δυναμικότητας 1000, 2000 και 3000 χοιρομητέρων, που αποτελούν και τα πιο πιθανά σενάρια. Τα συνολικά έσοδα που προκύπτουν είναι 110.000, 220.000 και 330.000 ευρώ, αντίστοιχα, ενώ οι αντίστοιχοι χρόνοι απόσβεσης 7.95, 4 και 2.65 έτη.

Πίνακας 5: Παραγωγή βιοαερίου ανάλογα με τη δυναμικότητα του χοιροστασίου

	Αριθμός Χοιρομητέρων						
	100	200	300	500	1000	2000	3000
Μέση ημερήσια παραγωγή βιοαερίου (m ³ /d)	72,4	144,8	217,2	362	724	1448	2172
Απαιτούμενος όγκος βιοαντιδραστήρα (m ³)	52,5	105	157,5	262,5	525	1050	1575
Συνολικά έσοδα (ευρώ)	11000	22000	33000	55000	110000	220000	330000
Χρόνος επανείσπραξης αρχικού κεφαλαίου (έτη)	79,5	39,8	26,5	15,9	7,95	4	2,65

Σύμφωνα με μελέτη των Piratmanomai et al. (2009), σε ένα χοιροστάσιο με 170 χοιρομητέρες και 255 χοιρίδια, τα οποία παράγουν περίπου 2,7 t ηλυσμάτων ημερησίως, υπό τις προϋποθέσεις ότι η κατασκευή του χωνευτήρα θα επιδοτηθεί κατά 50% και η τιμή αγοράς της παραγόμενης ενέργειας καθορίζεται στα 0,06

ευρώ/kWh, η απόσβεση πραγματοποιείται εντός 4 ετών. Χωρίς επιδότηση, ο χρόνος παρατείνεται στα 7-11 έτη.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη επικεντρώθηκε στις δυνατότητες αξιοποίησης αποβλήτων χοιροστασιών εστιάζοντας στο βιοαέριο. Το τεράστιο πρόβλημα της διάθεσης των αποβλήτων χοιροστασιών έχει οδηγήσει στην αναζήτηση αποτελεσματικών επεξεργασιών με την παραγωγή του βιοαερίου να έχει περιβαλλοντικά,οικονομικά,κοινωνικά και αναπτυξιακά οφέλη.

Περιγράφηκε η εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου με αναερόβια χώνευση, η οποία εκτός από τη μικρή έκταση που καταλαμβάνει χαρακτηρίζεται από την αποδοτικότητα ως προς την μείωση του ρυπαντικού φορτίου, και παρατέθηκαν τα πλεονεκτήματα του βιοαερίου, όπως επίσης και ο απαραίτητος τεχνολογικός εξοπλισμός για την κατασκευή μιας μονάδας. Η άμεση εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών με προσιτές τιμές που να επιτρέπουν τη βιώσιμη λειτουργία των μονάδων παραγωγής θεωρείται επιβεβλημένη σε κάθε είδους αναπτυξιακό σχεδιασμό.

Τέλος έγινε υπολογισμός του κόστους επένδυσης μιας μονάδας βιοαερίου, των εσόδων και του χρόνου απόσβεσης. Σύμφωνα με τον υπολογισμό αυτό μια μεικτή μονάδα κομποστοποίησης με την χρήση αναερόβιας και αερόβιας ζύμωσης δυναμικότητας 500 χοιρομητέρων δεν κρίνεται συμφέρουσα με τα συνολικά έσοδα να είναι ιδιαίτερα περιορισμένα και τον χρόνο απόσβεσης να είναι μακρύς. Υπό προϋποθέσεις μπορεί να κριθεί αποδεκτή η επένδυση σε μονάδα 1000 χοιρομητέρων, ενώ αντίστοιχες των 2000 και 3000 κρίνονται συμφέρουσες με τα έσοδα να είναι ικανοποιητικά και με βραχυπρόθεσμο χρόνο απόσβεσης στα 4 και 2.5 έτη.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αγορής, Δ. (2002). *Ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου*. Ημερίδα Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.).
- Ανάσογλου, Ε. (2011). *Παραγωγή – χρήση και εφαρμογές βιοαερίου*. Πτυχιακή εργασία. Καβάλα: ΤΕΙ Καβάλας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών.
- Αποστολόπουλος, Ι. (2007). *Ειδικά θέματα χρηματοδοτικής διοικήσεως*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη.
- Βαρελά, Ε. (2011). *Αξιολόγηση τεχνολογιών μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας αστικών αποβλήτων*. Διπλωματική εργασία. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Τμήμα Χημικών Μηχανικών.
- Βέργος, Α. (2009). *Παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια συναποικοδόμηση λυμάτων χοιροστασίου και ελαιοτριβείου*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Γεωπονικής Σχολής.
- Γεωργακάκης, Δ. (2009). *Αναερόβιες διεργασίες, δευτεροβάθμια επεξεργασία γεωργο-βιομηχανικών αποβλήτων*. Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Τεύχος 3. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Γιαπιτζάκη, Α. (2009). *Ίδρυση χοιροτροφικής εκμετάλλευσης. Παράδειγμα ίδρυσης μονάδας δυναμικότητας 400 χοιρομητέρων*. Πτυχιακή εργασία.
- Ιωαννίδης, Θ., Μαλτζώης, Η., & Παπαθανασίου, Κ. (2009). *Απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων. Χαρακτηριστικά, μέθοδοι επεξεργασίας, βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές*. Πτυχιακή Εργασία. ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Τεχνολογιών Αντιρρύπανσης.
- Καλιαμπάκος, Δ. (2008). *Σημειώσεις μαθήματος Οικονομικά του Περιβάλλοντος και των Υδατικών Πόρων. Χρηματοοικονομική και κοινωνικο-οικονομική αξιολόγηση επενδύσεων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

- Κανακόπουλος, Δ. (2011). *Η κομποστοποίηση ως μέθοδος επεξεργασίας των οργανικών αποβλήτων*. Ημερίδα ΤΕΕ Θεσσαλίας.
- Καραθανάσης, Γ. (1999). *Χρηματοοικονομική διοίκηση και χρηματιστηριακές αγορές*. Αθήνα: Εκδόσεις Μπένου.
- Καραμανλής, Χ. (1989). *Χοιροτροφία*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη.
- Καττή, Π. (2010). *Πειραματική διερεύνηση παραγωγής βιοαερίου από μίγματα τυρογάλακτος με υγρά μηχανικού διαχωρισμού αποβλήτων χοιροστασίου διαφορετικής πυκνότητας στη μεσόφιλη περιοχή*. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής.
- Λιαντινιώτη, Κ. (χ.χ.). *Διερεύνηση δυνατοτήτων παραγωγής και αξιοποίησης βιοαερίου στην περιοχή του Μετσόβου*. Δ.Π.Μ.Ε. Περιβάλλον και Ανάπτυξη. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Λυμπεράτος, Γ. (2009). *Παραγωγή ενέργειας μέσω αναερόβιας χώνευσης στερεών αποβλήτων και υπολειμμάτων*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών. Τμήμα Χημικών Μηχανικών.
- Μαρτζόπουλος, Γ. (1998). *Εκμηχάνιση κτηνοτροφικών μονάδων και διαχείριση λυμάτων*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ντούλιας, Δ. (2012). *Διερεύνηση της οικονομικής βιωσιμότητας μικτής μονάδας επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων στην περιοχή της Μικρής Λάκκας Σουλίου*. Μεταπτυχιακή διατριβή. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Παναγάκης, Π. (2010). *Χοιροστάσια, τεχνητό περιβάλλον. Σχεδιασμός και οργάνωση χώρων. Κατασκευές και εξοπλισμός*. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Σιούλας, Κ. (2008). *Εγχειρίδιο βιοαερίου*. Έκδοση του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών & Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.).

- Σιούλας, Κ. (2008). *Βιοαέριο στην Ελλάδα*. Έκδοση του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών & Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.).
- Σιούλας, Κ., Scadi, A., Runtz, D., Prassl, H., Kottner, M., Einsterwilder, T., Volk, S., & Janssen, R. (2010). *Εγχειρίδιο βιοαερίου. Ενεργειακή αξιοποίηση βιοαερίου, εκπαιδευτικό σενάριο Κ.Α.Π.Ε., 24-25 Φεβρουαρίου, Λάρισα*.
- Σταμάτη, Χ.Α. (2017). *Συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας των λυμάτων κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων. Η περίπτωση του βιοαερίου*. Μεταπτυχιακή μελέτη. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Συλλογικό (χ.χ.). *Περιβάλλον και γεωργο-πτηνοτροφικές και κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις*. Τεύχος 1^ο. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις.
- Σφετσιώτης, Κ. (2009). *Κτηνοτροφικά απόβλητα, βιοχημική μετατροπή, παραγωγή θέρμανσης / ψύξης*. Μεταπτυχιακή διατριβή. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AchinasS., AchinasV. andEuverinkG.J.W. (2017). A technological overview of biogas production from biowaste. *Engineering* 3, 299-307.
- BerglundM. andBorjessonP.(2006). Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. *Biomass and Bioenergy* 30, 254-266.
- El-Mashad H.M. and Zhang R. (2010). Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. *Bioresource Technology* 101, 4021-4028.
- Gerbezgabher S.A., Meuwissen M.P.M., Prins B.A.M., Oude Lansink A.G.J.M. (2009). Economic analysis of anaerobic digestion—A case of Green power biogas plant inThe Netherlands. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 57, 109-115.
- Holm-Nielsen J.B., Al Seadi T. and Oleskowicz-Popiel P.(2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology* 100, 5478-5484.
- Huong L.Q., Madsen H., Ngoc P.T. and Dalsgaard A. (2014). Hygienic aspects of livestock manure management and biogas systems operated by small-scale pig farmers in Vietnam. *Science of the Total Environment* 470, 53-57.
- Komiyama M., Misonou T., Takeuchi S., Umetsu K. and Takahashi J.(2006). Biogas as a reproducible energy source: Its steam reforming for electricity generation and for farm machine fuel. *International Congress Series* 1293, 234-237.
- Pipatmanomai S., Kaewluan S. and Vitidsant T. (2009). Economic assessment of biogas-to-electricity generation system withH₂S removal by activated carbon in small pig farm. *Applied Energy* 86, 669-674.
- Raven R.P.J.M.andGregersen K.H. (2007). Biogas plants in Denmark: successes and setbacks. *Renewable and sustainable energy reviews* 11, 116-132.

- Sambo A.S., Garba B. and Danshehu B.G.(1995). Effect of some operating parameters on biogas production rate. *Renewable Energy* 6, (3), 343-344.
- Thu C.T.T., Cuong P.H., Van Chao N., Trach N.X.and Sommer S.G. (2012). Manure management practices on biogas and non-biogas pig farms in developing countries—using livestock farms in Vietnam as an example. *Journal of Cleaner Production* 27, 64-71.
- Truong L.V.A. andAbatzoglou N. (2005). A H₂S reactive adsorption process for thepurification of biogas prior to its use as a bioenergy vector. *BiomassBioenergy*29, 142–51.
- Walsh J.L., Ross C.C., Smith M.S. and Harper S.R.(1989). Utilization of Biogas. *Biomass* 20, 277-290.
- Yadvika, Santosh, Sreekrishnan T.R., Kohli S. and Rana V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques – a review. *BioresourceTechnology* 95, 1-10.