

**Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**“ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕ  
ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ ΚΑΙ  
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ ”**



**Επιβλέπων καθηγητής: Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος**  
**Σπουδαστής: Παγούνας Ανέστης      Α.Μ.: 37015**

**Αθήνα**

**Ιούλιος - 2013**



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα .....	ii
Λίστα σχημάτων .....	iv
Λίστα πινάκων .....	vi
Summary .....	vii
Πρόλογος .....	1
<b>1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο “Παραγωγή βιοαερίου” .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ορισμός του βιοαερίου .....	1
1.2 Βιοχημική διαδικασία παραγωγής .....	1
1.2.1 Στάδιο 1ο-Υδρόλυση .....	1
1.2.2 Στάδιο 2 <sup>ο</sup> -οξειογένεση .....	2
1.2.3 Στάδιο 3 <sup>ο</sup> -οξικογένεση .....	2
1.2.4 Στάδιο 4 <sup>ο</sup> -μεθανογενή .....	3
1.3 Βιομηχανική διαδικασία παραγωγής .....	4
1.4 Παράμετροι που επηρεάζουν την παραγωγή βιοαερίου .....	4
1.4.1 Μερική πίεση υδρογόνου .....	4
1.4.2 Η συγκέντρωση των μικροοργανισμών .....	5
1.4.3 Τύπος του υποστρώματος .....	5
1.4.4 Καθορισμός της επιφάνειας της ύλης .....	5
1.4.5 Φως .....	6
1.4.6 pH .....	6
1.4.7 Θερμοκρασία .....	6
1.4.8 Δυναμικό οξειδοαναγωγής .....	7
1.4.9 Αναλογία άνθρακα/αζώτου/φωσφόρου .....	7
1.4.10 Αφαίρεση του βιοαερίου από το υπόστρωμα .....	7
1.4.11 Αφρός .....	7
1.4.12 Δημιουργία κρούστας στην επιφάνεια .....	8
1.5 Πρώτες ύλες και απόδοση αυτών .....	8
1.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την παραγωγή και χρήση βιοαερίου .....	9
1.6.1 Πλεονεκτήματα .....	10
1.6.2 Μειονεκτήματα .....	10
<b>2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο “ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ” .....</b>	<b>11</b>
2.1 Χρήση βιοαερίου στις χώρες εκτός Ε.Ε. ....	11
2.2 Χρήση βιοαερίου στην Ε.Ε. ....	12
2.3 Χρήση βιοαερίου στην Ελλάδα .....	14
2.4 Μέθοδος ενεργειακής αξιοποίησης .....	14
2.4.1 Βραστήρες .....	14
2.4.2 Πυρσός καύσης αερίου .....	15
2.4.3 Μηχανές Εσωτερικής Καύσης .....	15
2.4.4 Αεριοστρόβιλος .....	17
2.4.5 Μικρό-στρόβιλοι .....	17
2.4.6 Κυψέλες Καυσίμου .....	18
2.4.6.1 Αλκαλική κυψέλη καυσίμου .....	19
2.4.6.2 Κυψέλες φωσφορικού οξέος .....	19
2.4.6.3 Κυψέλες καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης .....	20
2.4.6.4 Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου και κυψέλη καυσίμου λιωμένου εστέρα .....	20
<b>3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο “ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ” .....</b>	<b>21</b>
3.1 Γενικά για την λειτουργία .....	21
3.2 Τροφοδοσία λυμάτων από το χοιροστάσιο .....	23

3.3	Επεξεργασία και τροφοδοσία υπολειμμάτων αραβόσιτοκαλλιέργειας.....	26
3.4	Τροφοδότης .....	28
3.5	Αναμκτήρας.....	30
3.6	1 <sup>ος</sup> Βιοαντιδραστήρας.....	32
3.6.1	Διαστασιολόγηση βιοαντιδραστήρα.....	32
3.6.2	Κατασκευή δεξαμενής.....	34
3.6.3	Κατασκευή οροφής .....	35
3.6.4	Θέρμανση υποστρώματος στον βιοαντιδραστήρα και θερμομόνωση.....	36
3.6.5	Ανάδευση υποστρώματος.....	39
3.6.6	Έξοδος υπολειμμάτων .....	40
3.6.7	Εκκίνηση και λειτουργία βιοαντιδραστήρα .....	41
3.7	2 <sup>ος</sup> Βιοαντιδραστήρας.....	41
3.8	Δεξαμενή Αποθήκευσης Υπολειμμάτων .....	42
3.8.1	Κατασκευή, λειτουργία και υπολογισμός διαστάσεων .....	42
3.9	Αποθήκευση Βιοαερίου.....	44
3.9.1	Προσδιορισμός χωρητικότητας αποθηκών βιοαερίου.....	45
3.9.2	Λειτουργία αποθηκών βιοαερίου .....	46
3.10	Μονάδα Ελέγχου .....	47
3.11	Παράμετροι ασφάλειας.....	48
3.11.1	Πρόληψη πυρκαγιάς και έκρηξης .....	48
3.11.2	Κίνδυνοι δηλητηρίασης και ασφυξίας .....	51
3.11.3	Άλλοι κίνδυνοι .....	51
3.12	Σχετική νομοθεσία.....	52
3.12.1	Κεφάλαιο I.....	52
3.12.2	Κεφάλαιο II.....	55
3.12.3	Κεφάλαιο III.....	55
<b>4<sup>ο</sup></b>	<b>Κεφάλαιο “ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ”</b> .....	<b>56</b>
4.1	Λειτουργία μονάδας συμπαραγωγής θερμότητας-ηλεκτρισμού .....	57
4.1.1	Ανάμιξη αέρα- βιοαερίου .....	60
4.1.2	Έλεγχος ροής βιοαερίου και καυσίμου ντίζελ.....	61
4.1.3	Εκμετάλλευση της θερμότητας .....	63
4.2	Επιλογή κατάλληλου συστήματος συμπαραγωγής .....	66
4.3	Προετοιμασία του βιοαερίου για χρήση στο σύστημα συμπαραγωγής.....	68
4.3.1	Αφαίρεση υγρασίας από το βιοαέριο .....	68
4.3.2	Μείωση του υδρόθειου.....	69
4.4	Σύνδεση με το δίκτυο .....	69
4.4.1	Όργανα μέτρησης ρεύματος.....	70
4.4.2	Έλεγχος συγχρονισμού.....	70
4.4.3	Βλάβη δικτύου.....	70
4.4.4	Προστασία βραχυκυκλώματος .....	71
4.4.5	Αντιστάθμισμα άεργης ισχύος.....	71
4.5	Δίκτυο τηλεθέρμανσης.....	71
<b>5<sup>ο</sup></b>	<b>Κεφάλαιο “ οικονομικά στοιχεία κατασκευής και λειτουργίας ”</b> .....	<b>74</b>
5.1	Κόστος κατασκευής.....	74
5.2	Κόστος λειτουργίας .....	75
5.3	Έσοδα μονάδας.....	76
5.4	Απόσβεση .....	77
<b>6<sup>ο</sup></b>	<b>Κεφάλαιο “ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ”</b> .....	<b>78</b>
	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>79</b>

## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1. Στάδια παραγωγής βιοαερίου κατά την αναερόβια χώνευση .....	4
Σχήμα 1.2. Τυπική Μονάδα Βιοαερίου .....	5
Σχήμα 1.3. Διάγραμμα απόδοσης βιοαερίου προερχόμενο από αλεσμένο και μη, σανό.....	6
Σχήμα 1.4. Διάγραμμα χρόνου αποικοδόμησης διάφορων μικροοργανισμών σε σχέση με την θερμοκρασία.....	7
Σχήμα 1.5. Αναδευτήρας διαλύει την επιφανειακή κρούστα σε δεξαμενή λυμάτων.....	8
Σχήμα 2.1. Οικιακός αναερόβιος χωνευτήρας .....	11
Σχήμα 2.2. Απλοποιημένο σχεδιάγραμμα αεριοστρόβιλου .....	17
Σχήμα 2.3. Κυψέλη καυσίμου .....	19
Σχήμα 3.1. Σχεδιάγραμμα πανοραμικής άποψης της μονάδας.....	22
Σχήμα 3.2. Προοπτικό με τομή όπου φαίνεται το φρεάτιο συλλογής σε χοιροστάσιο .....	23
Σχήμα 3.3. Τυπική μορφή χοιροστασίου όπου φαίνεται το φρεάτιο συλλογής.....	24
Σχήμα 3.4. Δεξαμενή λυμάτων και σωλήνας τροφοδοσίας.....	24
Σχήμα 3.5. Τυπική αποθήκη ενσιρώματος αραβοσίτου .....	27
Σχήμα 3.6. Τυπική αποθήκη ενσιρώματος αραβοσίτου .....	28
Σχήμα 3.7. Σχεδιάγραμμα τροφοδότη .....	29
Σχήμα 3.8. Φόρτωση τροφοδότη από φορτηγό.....	29
Σχήμα 3.9. Αναμκτήρας με αντλία από την Vogelsang .....	31
Σχήμα 3.10. Αναμηκτήρας από την Vogelsang.....	31
Σχήμα 3.11. Διάγραμμα παραγωγής βιοαερίου σε σχέση με το χρόνο.....	33
Σχήμα 3.12. Τιμιεντένια δεξαμενή αναερόβιου χωνευτήρα.....	34
Σχήμα 3.13. Δείγμα ξύλινης οροφής βιοαντιδραστήρα .....	35
Σχήμα 3.14. Πανοραμική άποψη ενός βιοαντιδραστήρα με οροφή αποθήκευσης βιοαερίου ..	35
Σχήμα 3.15. Σωλήνες θέρμανσης υποστρώματος στο τοίχιο του βιοαντιδραστήρα.....	36
Σχήμα 3.16. Θερμομονωτικές πλάκες .....	37
Σχήμα 3.17. Λαμαρίνες κάλυψης εξωτερικής πλευράς βιοαντιδραστήρα.....	37
Σχήμα 3.18. Τυπική εγκατάσταση υποβρύχιου αναδευτήρα.....	39
Σχήμα 3.19. Διάταξη υποβρύχιων αναδευτήρων μέσα στις δεξαμενές.....	40
Σχήμα 3.20. Ροή των λυμάτων κατά την είσοδο τους και την έξοδο τους από τον βιοαντιδραστήρα.....	41
Σχήμα 3.21. Αποθήκη βιοαερίου διπλής μεμβράνης.....	46
Σχήμα 3.22. Εικόνα από οθόνη ηλεκτρονικού υπολογιστή με πρόγραμμα για τον έλεγχο της λειτουργίας μιας μονάδας βιοαερίου [27] .....	47
Σχήμα 3.23. Όριο έκρηξης στους 25 ° C.....	49
Σχήμα 3.24. Περιοχές με αυξημένο κίνδυνο έκρηξης σε μια μονάδα βιοαερίου.....	50
Σχήμα 4.1. Χειροποίητη μονάδα συμπαραγωγής.....	58
Σχήμα 4.2. Βιομηχανική μονάδα συμπαραγωγής .....	59
Σχήμα 4.4. Συσκευή ανάμιξης αέρα-βιοαερίου.....	60
Σχήμα 4.5. Αυτόματη συσκευή ελέγχου για αντλία ροής ντίζελ καυσίμου από την BOSCH.....	61
Σχήμα 4.6. Διαγράμματα απόδοσης ενός μονοκύλινδρου κινητήρα με ταχύτητα περιστροφής n=1500/λεπτο.....	62
Σχήμα 4.7. Σχηματική κατανομή ενέργειας κινητήρα .....	63
Σχήμα 4.8. Εναλλακτήρας θερμότητας .....	64
Σχήμα 4.9. Μηχανή συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.....	65

Σχήμα 4.10. Παγίδα νερού .....	68
Σχήμα 4.11. Παραστατικό δίκτυο τηλεθέρμανσης.....	72
Σχήμα 4.12. Μονωμένος σωλήνας για την μεταφορά θερμού ή ψυχρού νερού .....	72
Σχήμα 4.13. Μετρητής κατανάλωσης θερμικής ενέργειας.....	73

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1. Διάφορα υποστρώματα και η απόδοσή τους .....	9
Πίνακας 2.1. Εκτιμώμενες ποσότητες παραγόμενων ζωικών λυμάτων στις 27 χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Faostat, 2003) .....	13
Πίνακας 3.1. Οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στα λύματα των χοίρων και οι ασθένειες που μπορούν να προκαλέσουν [16] .....	26
Πίνακας 3.2. Ιδιότητες των αερίων (INSTITUTE FOR ENERGETIC UND UMWELT GmbH, 2005) .....	49
Πίνακας 4.1. Μονάδες συμπαραγωγής από την TEDOM .....	67
Πίνακας 4.2. Μονάδες συμπαραγωγής από την SCHMITT ENERTEC .....	67
Πίνακας 5.1. Πίνακας κοστολόγησης μονάδων βιοαερίου από την Zorg Biogas .....	75

## **SUMMARY**

The purpose of this work was to study the operation of a cogeneration unit fuelled by biogas which is produced by the wastes of a piggery with 2000 pigs and residues from a maize cultivation of 200 acres. The plant produces electricity and heat of 113 kW maximum power. The electricity supplied to the electrical network and the thermal energy used to heat various installations.

This work concerns mainly biogas, how it is produced and exploited. Also, it is referred briefly the history of the production and use of biogas in various countries around the world.

Furthermore, in this work is referred and described of the individual parts and components of a typical biogas plant. Finally analyze the costs and revenue generated from a typical biogas plant.

Keywords: biogas plant, use of biogas, production of biogas, cogeneration, district heating, biofuels



# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη λειτουργίας μιας μονάδας συμπαραγωγής με καύσιμο βιοαέριο η οποία τροφοδοτείται από τα απόβλητα χοιροστασίου 2000 χοίρων και υπολείμματα αραβοσιτοκαλλιέργειας 200 στρεμμάτων. Η μονάδα παράγει ηλεκτρική και θερμική ενέργεια μέγιστης συνολικής ισχύς 113 kW. Η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτείται στο ηλεκτρικό δίκτυο και η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για να θερμάνει διάφορες εγκαταστάσεις.

Στην εργασία γίνεται λόγος για το τι ακριβώς είναι το βιοαέριο, πώς παράγεται και που χρησιμοποιείται. Επίσης γίνεται μικρή ιστορική αναδρομή σχετικά με την παραγωγή και χρήση του βιοαερίου σε διάφορες χώρες ανά τον κόσμο.

Επιπλέον γίνεται αναφορά και περιγραφή των επιμέρους τμημάτων και εξαρτημάτων μιας τυπικής μονάδας βιοαερίου. Τέλος αναλύονται τα έξοδα και τα έσοδα που αποφέρει μια τυπική μονάδα παραγωγής.

Λέξεις κλειδιά : βιοαέριο , μονάδα βιοαερίου, χρήση βιοαερίου, παραγωγή βιοαερίου, συμπαραγωγή, τηλεθέρμανση, βιοκαύσιμο

# 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## “ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ”

### 1.1 Ορισμός του βιοαερίου

Βιοαέριο ή βιομεθάνιο καλείται το αέριο το οποίο παράγεται κατά την βιοαποικοδόμηση οργανικών υλών υπό την απουσία οξυγόνου [1]. Είναι εύφλεκτο αέριο και η ενεργειακή του αξία είναι περίπου 6 KWh/m<sup>3</sup> αντίστοιχα με μισό λίτρο βενζίνης [2]. Η σύνθεση του βιοαερίου είναι η εξής: μεθάνιο 50-75%, διοξείδιο του άνθρακα 25-50%, άζωτο 0-10%, υδρογόνο 0-1%, υδρόθειο 0-3% καθώς και ίχνη άλλων χημικών. Η σύσταση ποικίλει ανάλογα με την μέθοδο της παραγωγής και τις πρώτες ύλες [1]. Αν το βιοαέριο καθαρισθεί πλήρως από τα άλλα συστατικά τότε μένει καθαρό μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) το οποίο δεν διαφέρει καθόλου από το ορυκτό μεθάνιο.

### 1.2 Βιοχημική διαδικασία παραγωγής

Βασικός παράγοντας στην παραγωγή βιοαερίου αποτελούν τα βακτηρίδια. Η βιοχημική αντίδραση είναι μια περίπλοκη διαδικασία η οποία χωρίζεται σε τέσσερα στάδια: η υδρόλυση, η οξεογένεση, η οξικογένεση και μεθανοποίηση (ή μεθανογένεση). Κάθε στάδιο εκτελείται με διαφορετική ομάδα βακτηριδίων τη φορά τα οποία κατά την βιοαποικοδόμηση συνυπάρχουν μεταξύ τους.

Η δημιουργία του μεθανίου ακολουθεί μια μαθηματική εξίσωση όπου μπορεί να περιγραφεί με την παρακάτω εξίσωση

$$V=C_1 \times (1-e^{-tC_2})$$

Όπου V η παραγόμενη ποσότητα σε κυβικά μετρά ανά ημέρα

C<sub>1</sub> και C<sub>2</sub> είναι συντελεστές, οι οποίοι είναι διαφορετικοί συνήθως για κάθε υλικό πρώτης ύλης, και t είναι ο χρόνος παραμονής της οργανικής ύλης στον αναερόβιο χωνευτήρα.

#### 1.2.1 Στάδιο 1ο-Υδρόλυση

Στο στάδιο της υδρόλυσης, οργανικά στοιχεία όπως κυτταρίνη, πρωτεΐνη και λιπίδια διασπώνται σε μονομερή από ένζυμα παραγόμενα από βακτήρια υποχρεωτικά αναερόβια και βακτήρια προαιρετικά αναερόβια. Στην πραγματικότητα οι ομοιοπολικοί δεσμοί διασπώνται λόγο χημικής αντίδρασης με το νερό. Η υδρόλυση των υδατανθράκων ολοκληρώνετε μέσα σε λίγες ώρες, ενώ των πρωτεϊνών και των λιπιδίων μέσα σε μερικές μέρες. Η λιγνικυτταρίνη και η λυγνίνη διασπώνται πολύ αργά και όχι ολοκληρωμένα. Τα προαιρετικά αναερόβια βακτηρίδια απορροφούν το οξυγόνο το οποίο είναι διαλυμένο στο νερό και έτσι προκαλούν χαμηλή οξειδοαναγωγή η οποία είναι αναγκαία για τα υποχρεωτικά αναερόβια βακτηρίδια

### 1.2.2 Στάδιο 2<sup>ο</sup>-οξειογένεση

Τα μονομερή που δημιουργήθηκαν κατά την υδρολυτική φάση αναλαμβάνονται τώρα από άλλες ομάδες προαιρετικά αναερόβιων βακτηριδίων και υποχρεωτικά αναερόβιων βακτηριδίων. Τα μονομερή σε αυτό το στάδιο διασπώνται σε οργανικά οξέα, αλκοόλες, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Η συγκέντρωση των ενδιάμεσα σχηματισμένων ιόντων υδρογόνου επηρεάζει τα παράγωγα των ζυμώσεων.

Η διαδικασία της διάσπασης είναι η εξής:

α) Υδατάνθρακες:

δημιουργία προπιονικού οξέος από προπιονικά βακτήρια  
δημιουργία βουτυρικού οξέος από το βακτήριο *clostridium*

β) λιπαρά οξέα

Αυτά διασπώνται από ασετοβακτήρια σε άλατα οξικού οξέος

γ) Αμινοξέα

Αυτά διασπώνται από τα βακτήρια *Clostridium botulinum* τα οποία παράγουν άλατα οξικού οξέος, αμμωνία, διοξείδιο του άνθρακα και μικροποσότητες υδρόθειου

### 1.2.3 Στάδιο 3<sup>ο</sup>-οξικογένεση

Τα παράγωγα του οξειογενούς σταδίου χρησιμεύουν ως υπόστρωμα για αλλά βακτηρίδια, αυτά του οξικογενούς σταδίου. Η οξικογενής αντίδραση είναι ενδόθερμη αντίδραση. Για τη διάσπαση του προπιονικού οξέος χρειάζονται

$$\Delta G f' = + 76.11 \text{ kJ/ mol}$$

όπου  $\Delta G f'$  είναι η ελεύθερη ενθαλπία του Gibbs

Στο οξικογενές στάδιο, όμοιοοξικογενείς μικροοργανισμοί μειώνουν σταθερά με εξώθερμη αντίδραση το διυδρογόνο και το διοξείδιο του άνθρακα σε οξικό οξύ.

Τα οξικογενή βακτήρια είναι κατά κανόνα παραγωγό διυδρογόνου. Ο σχηματισμός αλάτων οξικού οξέος μέσω οξειδωσης λιπαρών οξέων συνεχίζεται από μόνος του και επιπλέον θερμοδυναμικά είναι δυνατόν μόνο σε πολύ χαμηλή πίεση του υδρογόνου. Τα οξικογενή βακτήρια μπορούν να λάβουν την απαραίτητη ενέργεια για την επιβίωση και ανάπτυξή τους μόνο σε περιβάλλον με χαμηλή συγκέντρωση διυδρογόνου.

Οι οξικογενείς και μεθανο-παραγωγό μικροοργανισμοί πρέπει να συμβιώνουν. Οι μεθανογενείς μικροοργανισμοί μπορούν να επιβιώσουν μόνο σε περιβάλλον με υψηλή μερική πίεση υδρογόνου. Συνεχώς απομακρύνουν τα παράγωγα του μεταβολισμού των οξικογενών βακτηρίων από το υπόστρωμα και έτσι διατηρούν την μερική πίεση του υδρογόνου σε χαμηλά επίπεδα κατάλληλα για τα οξικογενή βακτήρια.

Όταν η μερική πίεση του υδρογόνου είναι χαμηλή, το διυδρογόνο, το διοξείδιο του άνθρακα και τα άλατα οξικού οξέος δημιουργούνται από τα οξικογενή βακτήρια. Όταν η μερική πίεση

του υδρογόνου είναι υψηλότερη σχηματίζονται τα βουτυρικά, καπρονικά, βαλερικά οξέα και η αιθανόλη. Από αυτά τα παράγωγα τα μεθανογενή βακτήρια μπορούν να επεξεργαστούν μόνο το άλας οξικού οξέος, το διυδρογόνου και το διοξείδιο του άνθρακα.

Περίπου το 30% του παραγόμενου μεθανίου στο αναερόβιο ίζημα μπορεί να αποδοθεί στην μείωση του διοξειδίου του άνθρακα από το διυδρογόνο, αλλά μόνο το 5-6% του παραγόμενου μεθανίου μπορεί να αποδοθεί στο διαλυμένο στο ίζημα υδρογόνο. Η αναερόβια μετατροπή των λιπαρών οξέων και των αλκοολών ενεργητικά χρεώνεται στους μεθανογενείς μικροοργανισμούς, αλλά αυτά σε αντάλλαγμα λαμβάνουν το υπόστρωμα που έχουν ανάγκη για την ανάπτυξή τους από τα οξικογενή βακτήρια. Την ίδια στιγμή, οργανικό άζωτο και θειούχο μείγμα μπορεί να μετατραπεί σε υδρόθειο παράγοντας αμμωνία.

#### 1.2.4 Στάδιο 4<sup>ο</sup>-μεθανογενή

Στο τέταρτο στάδιο ο σχηματισμός μεθανίου λαμβάνει χώρα υπό αυστηρά αναερόβιες συνθήκες. Αυτή η χημική αντίδραση είναι κατηγορηματικά εξώθερμη. Όπως φαίνεται από την περιγραφή των μεθανογενών μικροοργανισμών όλα τα μεθανογενή είδη δεν διασπούν όλα τα υποστρώματα. Τα αποδεκτά υποστρώματα για μεθανογένεση μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες

Κατηγορία διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> : CO<sub>2</sub>, HCOO<sup>-</sup>, CO

Κατηγορία μεθυλίου: CH<sub>3</sub> OH, CH<sub>3</sub> NH<sub>3</sub>, (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> NH<sub>2</sub> +, (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> NH +, CH<sub>3</sub> SH, (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S

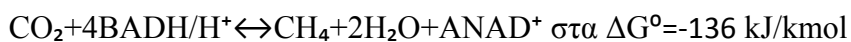
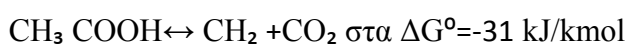
Κατηγορία οξικού οξέος: CH<sub>3</sub> COO<sup>-</sup>

Στην μεθανογένεση συμπεριλαμβάνονται υδρογονάνθρακες με μακριά ανθρακική αλυσίδα όπως τα μεθανοφουράνια και τετραυδρογομεθανοπτερίνες ως συμπαραγόντες. Κορυνοειδή είναι μόρια με τέσσερις μειωμένους δακτυλίους πυρρόλης που σχηματίζουν ένα μεγάλο δακτύλιο το οποίο θα μπορούσε να αντιπροσωπευτεί από την φόρμουλα C<sub>19</sub> H<sub>22</sub> N<sub>4</sub>

Παράλληλα με τον σχηματισμό του μεθανίου βρίσκεται σε εξέλιξη και η οξικογένεση χωρίς κανένα πρόβλημα. Όταν ο σχηματισμός μεθανίου διαταράσσεται τότε συμβαίνει υπεροξοποίηση.

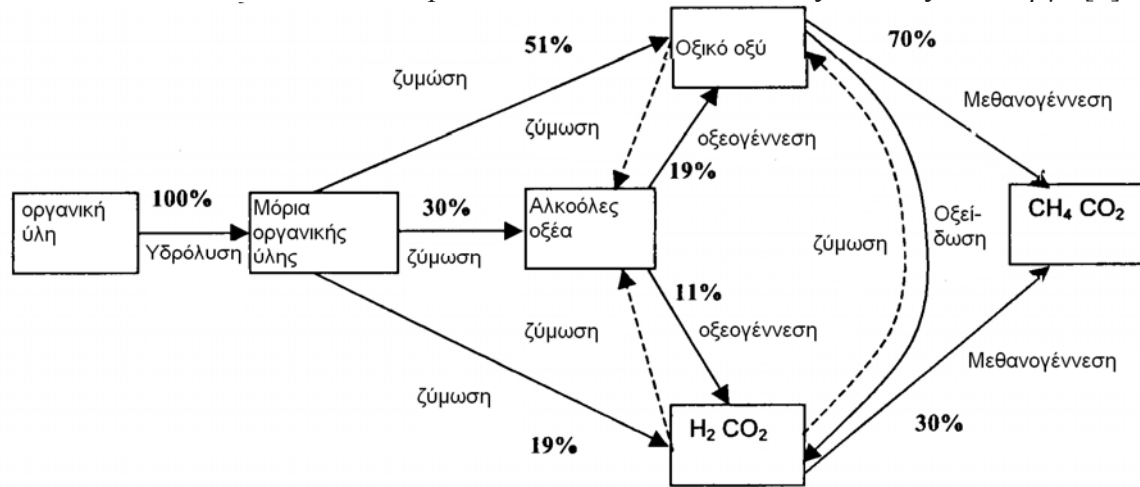
Προβλήματα μπορούν να συμβούν όταν τα οξικογενή βακτήρια συμβιώνουν όχι με μεθανογενή είδη αλλά με άλλους μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούν διυδρογόνο. Στην τεχνολογία βοθρολυμάτων, συμβίωση μπορεί να υπάρξει με μικροοργανισμούς που μετατρέπουν το άλας θειικού οξέος σε υδρόθειο. Επιπλέον χρειάζονται υδρογόνο και για αυτό το λόγο συναγωνίζονται με τα μεθανογενή. Τα μεθανογενή τρέφονται λιγότερο και έτσι παράγουν λιγότερο μεθάνιο. Επιπλέον, το υδρόθειο επηρεάζει τοξικά τα μεθανογενή. Οι μεθανοπαραγωγές αντιδράσεις έχουν διαφορετικές ενεργειακές αποδόσεις

Η οξείδωση του οξικού οξέος είναι ελαφρός εξώθερμη σε σύγκριση με την μείωση του διοξειδίου του άνθρακα και του διυδρογόνου



Παρόλα αυτά μόνο το 27-30% του μεθανίου προέρχεται από την υποβάθμιση καθώς το 70% προέρχεται από το οξικό άλας κατά την μεθανοποίηση.

Μεθανογενή βακτήρια όπως τα *Methanosarcina barkeri*, *Methanobacterium hngenii* και *Methanobacterium thermoautotrophicum* αναπτύσσονται στο οξικό άλας πολύ αργά.[3]



Σχήμα 1.1. Στάδια παραγωγής βιοαερίου κατά την αναερόβια χώνευση

### 1.3 Βιομηχανική διαδικασία παραγωγής

Μια εγκατάσταση βιοαερίου μπορεί να είναι από πολύ μικρή για οικιακή χρήση έως και πολύ μεγάλη προκειμένου να απορροφάει τα αγροτο-κτηνοτροφικά απόβλητα μιας ολόκληρης περιοχής όπως είναι αυτή του Θεσσαλικού κάμπου. Ανάλογα του μεγέθους της μονάδας και της πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται, ο σχεδιασμός και η οικονομική απόδοση ποικίλει. Σε αυτήν την εργασία γίνεται λόγος για μια μονάδα μετρίου μεγέθους η οποία τροφοδοτείται με λύματα ενός σύγχρονου χοιροστασίου και με τα υπολείμματα καλλιέργειας αραβοσίτου.

Η βιομάζα αφού επεξεργαστεί κατάλληλα εισάγεται σε ένα βιοαντιδραστήρα όπου μετατρέπεται σε βιοαέριο και ανόργανα υπολείμματα. Τα ανόργανα υπολείμματα χρησιμοποιούνται ως βιολίπασμα. Το βιοαέριο τροφοδοτείται σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης και μετατρέπεται σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Στο σχήμα 1.2 φαίνεται παραστατικά η λειτουργία μιας μονάδας βιοαερίου

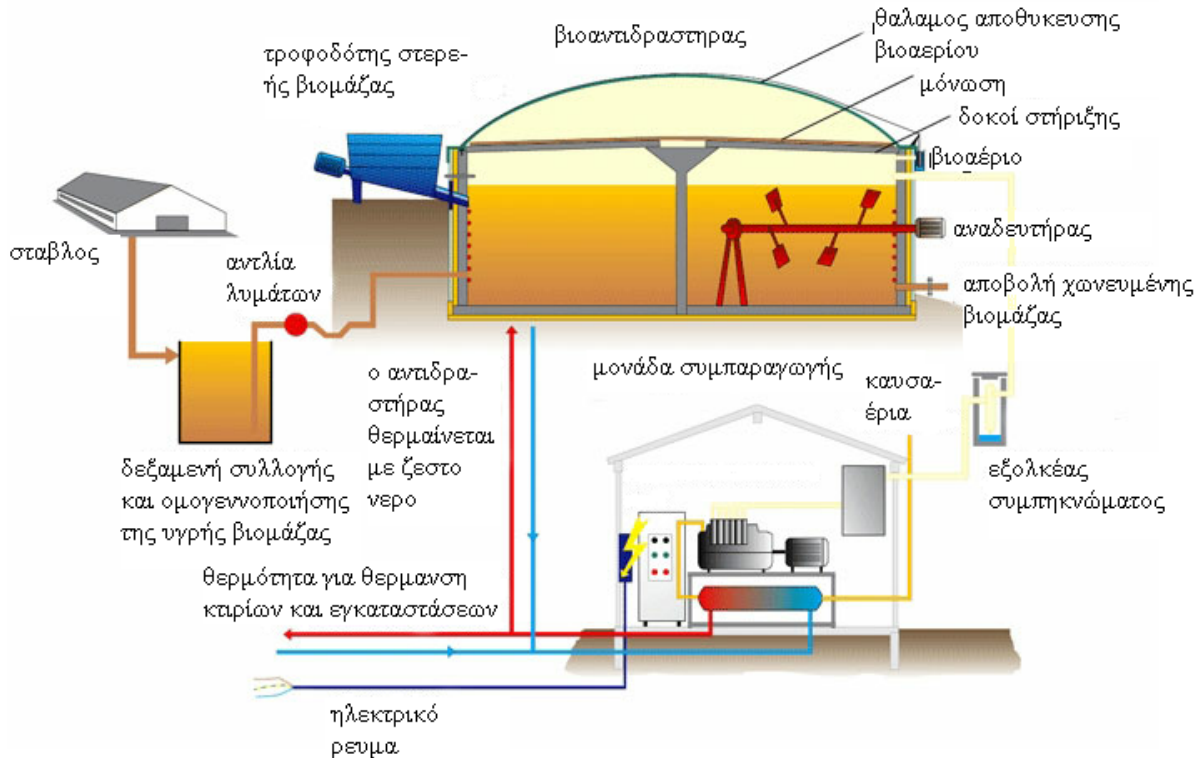
### 1.4 Παράμετροι που επηρεάζουν την παραγωγή βιοαερίου

Η παραγωγή βιοαερίου δεν κρίνεται μόνο από το ποια πρώτη ύλη θα χρησιμοποιηθεί αλλά υπάρχουν επιπλέον παράμετροι που επηρεάζουν την σύνθεση του βιοαερίου, την ποσότητα και τον χρόνο παραγωγής.

#### 1.4.1 Μερική πίεση υδρογόνου

Μέσα στον αναερόβιο χωνευτήρα συμβιώνουν διυδρογονο-παράγωγα οξικογεννή βακτήρια και διυδρογονο-καταναλωτικά μεθανογενή βακτήρια. Επομένως η συγκέντρωση του υδρογόνου πρέπει να είναι τέτοια ώστε τα μεθανογενή βακτήρια να έχουν αρκετό

υδρογόνο ώστε να παράγουν ανενόχλητα το μεθάνιο. Από την άλλη όμως η συγκέντρωση του υδρογόνου αν ξεπεράσει κάποια όρια τα οξυκογενή βακτήρια σταματούν να παράγουν υδρογόνο. Η κατάλληλη μερική πίεση του υδρογόνου έχει να κάνει περισσότερο με το είδος των βακτηρίων και το υπόστρωμα.



Σχήμα 1.2. Τυπική Μονάδα Βιοαερίου

#### 1.4.2 Η συγκέντρωση των μικροοργανισμών

Η διαδικασία αναγέννησης κάποιων μικροοργανισμών διαρκεί πολύ, για μερικά μεθανογενή βακτήρια παίρνει μέχρι και 16 ημέρες. Για να αποφευχθεί να αποβληθούν από τον βιοαντιδραστήρα τέτοιοι μικροοργανισμοί πρέπει ο υδραυλικός κύκλος εισόδου-εξόδου των λυμάτων να διαρκεί το λιγότερο 10-15 μέρες. Δηλαδή τα εισερχόμενα λύματα να χρειάζονται τουλάχιστον 10-15 μέρες για να γεμίσουν τον αντιδραστήρα και τουλάχιστον 10-15 μέρες για να βγουν από αυτόν.

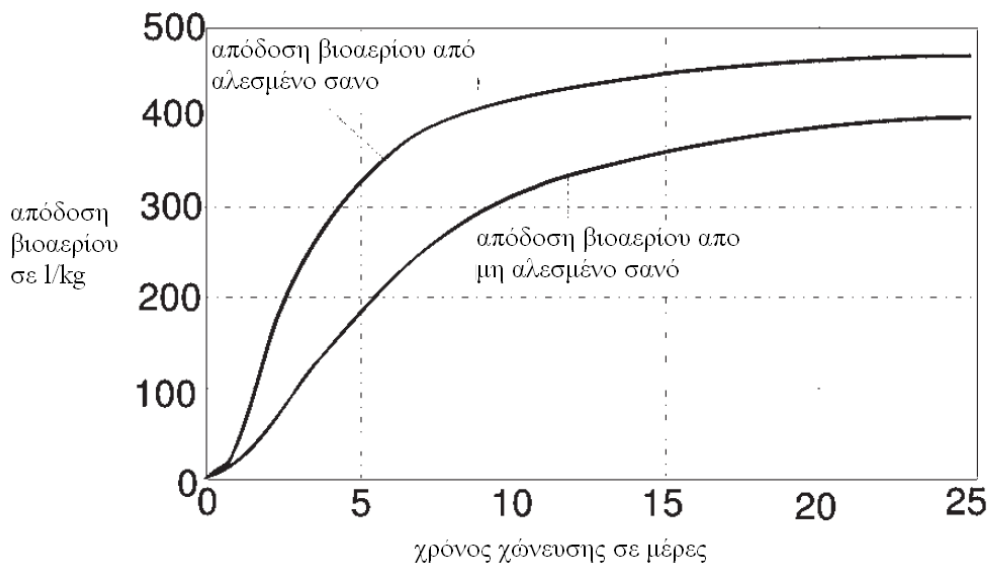
#### 1.4.3 Τύπος του υποστρώματος

Το υπόστρωμα καθορίζει τον ρυθμό της αναερόβιας αποικοδόμησης. Αν εκλείψει κάποιο σημαντικό συστατικό του υποστρώματος σταματάει ο μεταβολισμός των μικροοργανισμών. Για αυτό μερικές φορές στο υπόστρωμα προστίθενται ουσίες που είναι χρήσιμες και εκλείπουν, όπως υδρογονάνθρακες, λίπη, πρωτεΐνες κλπ.

#### 1.4.4 Καθορισμός της επιφάνειας της ύλης

Η σωματιδιακή επιφάνεια του υλικού πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Για αυτό προτείνεται η κονιορτοποίηση του υποστρώματος πριν μπει στον βιοαντιδραστήρα. Η κονιορτοποίηση δεν είναι απαραίτητη αν το υπόστρωμα είναι εύκολα βιοαποικοδομήσιμο,

δεν περιέχει δηλαδή κυτταρίνη ή λιγνίνη. Στο γράφημα του σχήματος 1.3 φαίνεται η αναλογία παραγωγής βιοαερίου με το χρόνο για ποσότητα κονιορτοποιημένου υποστρώματος και ανεπεξέργαστου υποστρώματος.



Σχήμα 1.3. Διάγραμμα απόδοσης βιοαερίου προερχόμενο από αλεσμένο και μη, σανό.

#### 1.4.5 Φως

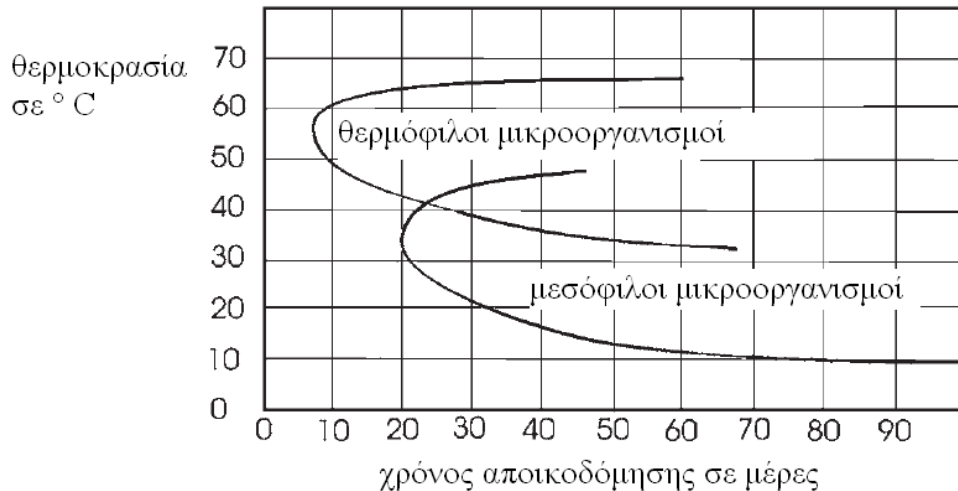
Το φως μπορεί να αναστείλει σημαντικά την μεθανοποίηση, γι'αυτό ο σχηματισμός του μεθανίου πρέπει να λαμβάνει χώρο στο απόλυτο σκοτάδι

#### 1.4.6 pH

Το βέλτιστο pH για την παραγωγή βιοαερίου κυμαίνεται μεταξύ 6,5-7,5. Σε διαφορετικά pH μειώνεται η παραγωγή βιοαερίου και μετά από ένα σημείο μπορεί να σταματήσει κίολας. Στην πραγματικότητα το pH παραμένει σε αυτά το όριο από τις φυσικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα μέσα στον βιοαντιδραστήρα και επομένως δεν χρειάζεται εξωτερική παρέμβαση για την ρύθμιση του.

#### 1.4.7 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στον χρόνο παραγωγής και στην αποδοτικότητα παράγωγης του βιοαερίου. Για το πιο κατάλληλη θερμοκρασία είναι καταλληλότερη αυτή έχει να κάνει με το υπόστρωμα και τους μικροοργανισμούς. Υπάρχουν θερμοφίλοι μικροοργανισμοί οι οποίοι αποδίδουν καλύτερα σε θερμοκρασία μεταξύ 50-60 ° C και οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί που αποδίδουν καλύτερα σε θερμοκρασίες μεταξύ 30-40 ° C. Επίσης οι απότομες μεταβολές τις θερμοκρασίας μπορούν να επηρεάσουν ή και να διακόψουν την παραγωγή βιοαερίου για αυτό και η μεταβολές στην θερμοκρασία δεν πρέπει να υπερβαίνουν τους 2 ° C. Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η απόδοση των μικροοργανισμών σε διάφορες θερμοκρασίες



Σχήμα 1.4. Διάγραμμα χρόνου αποικοδόμησης διάφορων μικροοργανισμών σε σχέση με την θερμοκρασία

#### 1.4.8 Δυναμικό οξειδοαναγωγής

Μέσα στον βιοαντιδραστήρα είναι απαραίτητο να υπάρχει χαμηλό δυναμικό οξειδοαναγωγής. Για μερικές διαδικασίες χρειάζεται δυναμικό μεταξύ  $-300$  και  $-330$  mV. Το δυναμικό οξειδοαναγωγής μπορεί να φτάσει και τα  $0$  mV μέσα στον βιοαντιδραστήρα. Για να κρατηθεί χαμηλό το δυναμικό οξειδοαναγωγής προστίθενται μερικοί οξειδοαναγωγικοί παράγοντες, όπως, έλλειψη οξυγόνου, άλατα θειικού οξέος, νιτρικό άλας ή νιτρώδες άλας.

#### 1.4.9 Αναλογία άνθρακα/αζώτου/φωσφόρου

Η αναλογία άνθρακα/αζώτου στο υπόστρωμα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ  $16:1-25:1$ , αν και αυτό δεν αποτελεί υποχρεωτική συνθήκη. Επειδή η ανάγκη σε θρεπτικές ουσίες είναι πολύ μικρή κατά την διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης αναλογίες όπως άνθρακας/άζωτο/φωσφορος/θείο =  $500-1000:15-20:5:3$  είναι αρκετά ικανοποιητικές. Υποστρώματα με μικρή αναλογία άνθρακα/αζώτου παράγουν πολύ αμμωνία και αναστέλλουν την παραγωγή μεθανίου. Μεγάλη αναλογία άνθρακα/αζώτου υπονοεί έλλειψη αζώτου κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των μεταβολικών ικανοτήτων των μικροοργανισμών. Για να επιτυγχάνεται μια ισορροπία είναι καλό να αναμειγνύονται ζωικά και φυτικά απόβλητα.

#### 1.4.10 Αφαίρεση του βιοαερίου από το υπόστρωμα

Αφαιρώντας το αέριο που είναι διαλυμένο στο υπόστρωμα επηρεάζονται θετικά οι βιολογικές αντιδράσεις. Μάλιστα σε κάποιες περιπτώσεις η συγκέντρωση των μικροοργανισμών στο υπόστρωμα μπορεί να αυξηθεί έως και δώδεκα φορές αν τα αέρια αφαιρούνται σε ικανοποιητικό βαθμό.

#### 1.4.11 Αφρός

Ο αφρός δημιουργείται από αναπτυσσόμενους νηματώδης μικροοργανισμούς οι οποίοι βρίσκονται στην άζωτο-αφαιρετική ζώνη στις μονάδες αναερόβιου καθαρισμού νερού. Ο



αφρός μειώνει την παραγωγή του βιοαερίου γιατί εμποδίζει το βιοαέριο να μεταβεί από το υγρό υπόστρωμα στην αποθήκη βιοαερίου. Ο αφρός αντιμετωπίζεται:

- Μηχανικά από ειδικές μηχανές που σπάνε τις φουσκάλες του αφρού.
- Με προσθήκη ειδικών ουσιών που εμποδίζουν την δημιουργία αφρού (όπως άλατα σιδήρου κλπ.)
- Με συχνή απομάκρυνση των επιφανειακών λυμάτων

#### 1.4.12 Δημιουργία κρούστας στην επιφάνεια

Στην επιφάνεια των λυμάτων δημιουργείτε μια κρούστα η οποία έχει ως αποτέλεσμα να εμποδίζεται το βιοαέριο να απελευθερώνεται από την λυματολάσπη. Κύριος παράγοντας για την εμφάνιση κρούστας στην επιφάνεια των λυμάτων είναι η μεγάλη συγκέντρωση νηματοειδών βακτηρίων. Η κρούστα καταπολεμάται εύκολα με την χρήση αναδευτήρων. Στο σχήμα 1.5 φαίνεται ένας αναδευτήρας να διαλύει την κρούστα στην επιφάνεια των λυμάτων.



Σχήμα 1.5. Αναδευτήρας διαλύει την επιφανειακή κρούστα σε δεξαμενή λυμάτων

### 1.5 Πρώτες ύλες και απόδοση αυτών

Ως πρώτη ύλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί οτιδήποτε οργανικό το οποίο μπορεί να αποικοδομηθεί από τους αναερόβιους μικροοργανισμούς. Για λόγους όμως οικονομίας χρησιμοποιούνται κυρίως οργανικά απόβλητα από βιομηχανικές ή αγροτοκτηνοτροφικές μονάδες. Επειδή όμως δεν έχουν όλα τα οργανικά απόβλητα την ίδια απόδοση σε βιοαέριο παρακάτω παρατίθεται πίνακας με διάφορα απόβλητα και την απόδοσή τους σε αέριο. [14]

Τύποι βιομάζας	Περιεκτικότητα νερού (%)	Περιεκτικότητα στερεάς ύλης σε οργανική ύλη (%)	Απόδοση σε βιοαέριο (m <sup>3</sup> /kg)
Πολτός μήλου	97-98	95	0,5

Υπολείμματα φρούτων	55-75	90-95	
Υπολείμματα σφαγείου			0,3-0,7
Φρέσκα λαχανικά	58-88	90-97	0,4-0,8
ενσίρωμα γκαζόν	60-79	76-90	0,6-0,7
Σανο	14	90-93	0,5
Φύλλα ζαχαρότευτλου	82-85	78-80	0,4-0,8
Ζαχαροτευτλο	77-88	80-95	0,9
Μίσχος πατατας	75	79	0,8-1
Τριφύλλι	80	80	0,6-0,8
Ενσίρωμα καλαμποκιού	60-80	94-97	0,6-0,7
Άχυρο δημητριακών	14	89-94	0,2-0,5
Άχυρο καλαμποκιού	14	72	0,4-1
Άχυρο ρυζιού	50-75	70-95	0,55-0,62
Πολτός πατάτας (μαζί με την φλούδα)	82-94	85-96	0,3-0,9
Πολτος δημητριακών	92-94	83-90	0,9
Απόβλητα αποστακτηρίου	92-98	65-85	0,42
Μελάσα	Οκτ-33	85-95	0,3-0,7
Σιτάλευρο	12	96	0,7
Μπαγιάτικο ψωμί	Οκτ-35	96-98	0,8-1,2
λίπη	0,1	99,9	1,2
Υγρα απόβλητα βοοειδών	89-94	68-85	0,1-0,8
Υγρά απόβλητα χοίρων	90-97	77-85	0,3-0,8
Άχυρο σιταριου	18		0,43
Κοπρια αλόγου			0,2-0,3
Πολτός χοίρων	92-97	70-80	0,25-0,5
Πολτός βοοειδών	88-95	80	0,2-0,3
Πολτός πουλερικών	70-90	80	0,35-0,6
Περιεχόμενα στομαχιών, εντέρων	85	80	0,4-0,68
Τυρόγαλο	88-92	90	0,35-0,8
Συμπυκνωμένος ορός γάλακτος	75-80	90	0,8-0,95
Ξηρό ενσίρωμα αραβοσίτου	20		0,6

Πίνακας 1.1. Διάφορα υποστρώματα και η απόδοσή τους

## 1.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την παραγωγή και χρήση βιοαερίου

Η εφαρμογή του βιοαερίου έχει μια σειρά από πλεονεκτήματα αλλά έχει επίσης και κάποια μειονεκτήματα που βάζουν περιορισμούς στην παραγωγή και την εκμετάλλευσή του.

### 1.6.1 Πλεονεκτήματα

Τα κύρια πλεονεκτήματα από τη μετατροπή βιολογικών αποβλήτων σε βιοαέριο είναι:

- Μετατροπή βιολογικών αποβλήτων σε πολύ καλής ποιότητας βιολίπασμα
- Παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας φιλικής προς το περιβάλλον
- Προστασία του περιβάλλοντος από αέρια του θερμοκηπίου
- Βελτίωση της υγιεινής σε αγροτοκτηνοτροφικές περιοχές
- Μικρότερη εξάρτηση στα ορυκτά καύσιμα
- Μείωση των οσμών, ιδιαίτερα στις κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις
- Δυνατότητα για αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας καθώς πλέον η παραγωγή δεν ανήκει σε μεγάλες επιχειρήσεις αλλά σε μικρές αγροτοκτηνοτροφικές μονάδες
- Αύξηση των θέσεων εργασίας στις αγροτικές περιοχές.
- Μετατρέπει άχρηστα και επιβλαβή απόβλητα σε χρήσιμα προϊόντα (βιοαέριο και βιολίπασμα)
- Η τεχνολογία σχετικά με το βιοαέριο είναι πιο φθηνή και πιο εφαρμοσιμη σε σχέση με άλλα βιοκαύσιμα
- Προστατεύει τον υδροφόρο ορίζοντα
- Επιπλέον εισόδημα για τους αγρότες και τους κτηνοτρόφους
- Μπορεί να αξιοποιηθεί με ποικίλους τρόπους όπως παραγωγή ηλεκτρισμού, θερμότητας, καύσιμου κίνησης κλπ

### 1.6.2 Μειονεκτήματα

Τα βασικά μειονεκτήματα έχουν ως ακολούθως:

- Η τεχνολογία του βιοαερίου δεν καθιστά το βιοαέριο αποδοτικό για παραγωγή μεγάλης κλίμακας σε σχέση με άλλα βιοκαύσιμα.
- Κίνδυνος έκρηξης του βιοαερίου και πρόκληση πυρκαγιών
- Το βιοαέριο αποθηκεύεται δύσκολα και κοστοβόρα σε σχέση με το φυσικό αέριο
- Ο ρυθμός παραγωγής του βιοαερίου δεν είναι σταθερός και δεν υπάρχει άμεσος τρόπος να ελεγχθεί
- Μεγάλο κόστος κατασκευής της μονάδας με αποτέλεσμα πολλοί υποψήφιοι παραγωγοί να αποθαρρύνονται
- Μεγάλο το κόστος για να μετατραπεί σε καύσιμο κίνησης και χωρίς κρατική υποστήριξη το κάνει μη ανταγωνιστικό σε σχέση με το φυσικό αέριο
- Έλλειψη συστημάτων τηλεθέρμανσης στην χώρα μας για την αξιοποίηση της θερμότητας που παράγεται στις μονάδες αξιοποίησης βιοαερίου

## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

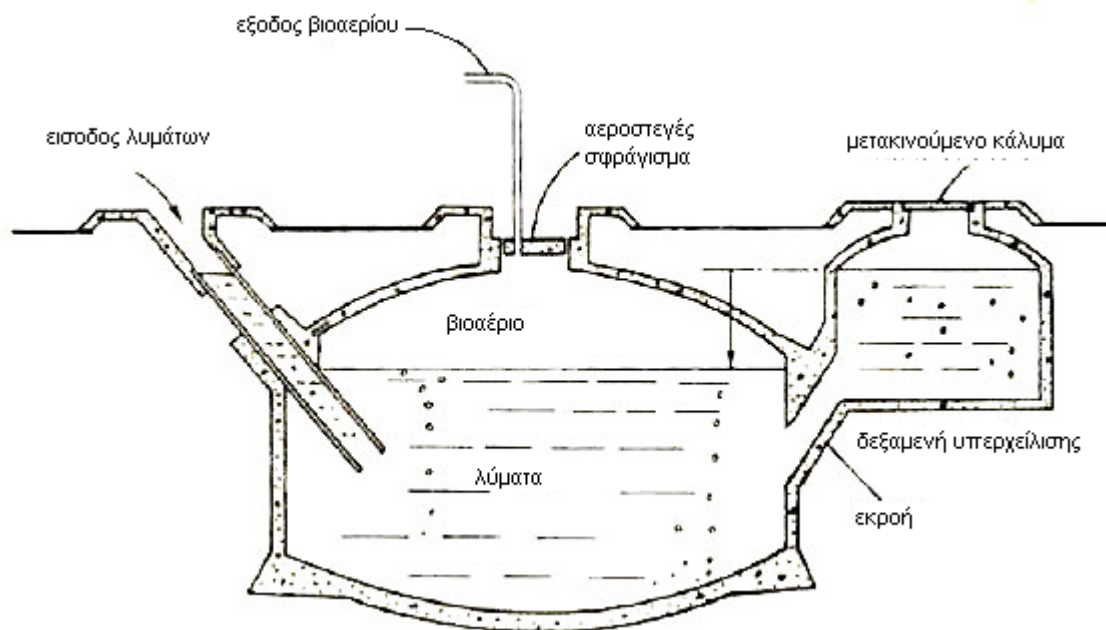
### “ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ”

#### 2.1 Χρήση βιοαερίου στις χώρες εκτός Ε.Ε.

Στην Κίνα οι πρώτες έρευνες σχετικά με την παραγωγή βιοαερίου ξεκίνησαν από την δεκαετία του 50. Οι εγκαταστάσεις βιοαερίου στην Κίνα αφορούν κυρίως μικρές οικιακές εγκαταστάσεις όπου το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται για μαγείρεμα κυρίως. Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται τα οργανικά απόβλητα της οικογένειας και των οικόσιτων ζώων. Από την δεκαετία του 70 άρχισαν να κατασκευάζονται εκατομμύρια μικροί οικιακοί χωνευτήρες και μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν πάνω από 30 εκατομμύρια μικροί οικιακοί χωνευτήρες. Παράλληλα με τους μικρούς οικιακούς χωνευτήρες κατασκευάστηκαν και μεγαλύτερες μονάδες για να απορροφούν τα οργανικά απόβλητα εργοστασίων και μεγάλων αγροτοκτηνοτροφικών μονάδων. Σήμερα το 1,2% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Κίνα καλύπτεται από το βιοαέριο. [1], [4], [5]

Σε Ινδία, Πακιστάν και Μπαγκλαντές ακολουθήθηκε το παράδειγμα της Κίνας. Εδώ και τρεις δεκαετίες έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν αρκετά εκατομμύρια οικιακών χωνευτήρων για παραγωγή βιοαερίου. Τα τελευταία χρόνια, πολλές οργανώσεις προωθούν την τεχνολογία των οικιακών χωνευτήρων στην Αφρική. [6]

Ένα χαρακτηριστικό δείγμα κατασκευής οικιακού αναερόβιου χωνευτήρα για παραγωγή βιοαερίου παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1



Σχήμα 2.1. Οικιακός αναερόβιος χωνευτήρας

Με τα πολλά οφέλη του βιοαερίου, έχει αρχίσει να γίνεται μια δημοφιλής πηγή ενέργειας και έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται στις Ηνωμένες Πολιτείες όλο και περισσότερο. Το 2003, στις Ηνωμένες Πολιτείες καταναλώνονταν 147 τρισεκατομμύρια BTU ενέργειας προερχόμενης από βιοαέριο παραγόμενο σε Χ.Υ.Τ.Α., περίπου το 0,6% της συνολικής κατανάλωσης φυσικού αερίου στις ΗΠΑ. Επίσης βιοαέριο προερχόμενο από κοπριά αγελάδων δοκιμάζεται στις ΗΠΑ. Σύμφωνα με μια μελέτη του 2008, η οποία δημοσιεύτηκε στο περιοδικό Science and Children, το βιοαέριο από την κοπριά αγελάδων θα ήταν αρκετό για να παράγει 100 δισεκατομμύρια κιλοβατώρες, αρκετές για να τροφοδοτήσουν εκατομμύρια σπίτια σε ολόκληρη την Αμερική. Επιπλέον, έχει γίνει έρευνα για να αποδείξει ότι το βιοαέριο μπορεί να μειώσει κατά 99 εκατομμύρια μετρικούς τόνους των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ή περίπου το 4% των αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται από τις Ηνωμένες Πολιτείες.

## 2.2 Χρήση βιοαερίου στην Ε.Ε.

Στις αναπτυσσόμενες χώρες η εκμετάλλευση του βιοαερίου βρήκε επιχειρηματική εφαρμογή μόλις τα τελευταία χρόνια. Ο λόγος είναι ότι μέχρι πρότινος η τιμή του φυσικού αερίου ήταν τόσο χαμηλή που έκανε ασύμφορη την επένδυση σε βιοαέριο. Βέβαια με την άνοδο των τιμών των ορυκτών καυσίμων αλλά και της αυξανόμενης οικολογικής ευσυνειδησίας των κατοίκων των αναπτυγμένων χωρών. Στις αναπτυγμένες χώρες το βιοαέριο χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή θερμικής ενέργειας, ηλεκτρικού ρεύματος και πολύ λιγότερο ως καύσιμο κίνησης.

Τα πρωτεία σε επενδύσεις που αφορούν το βιοαέριο στην Ευρώπη τα έχει η Γερμανία. Μέχρι το 2010 είχαν κατασκευαστεί και λειτουργούσαν 5,900 μονάδες παραγωγής βιοαερίου με ικανότητα παραγωγής 2,291 MW. Μάλιστα υπάρχει η προοπτική για κατασκευή 300-500 νέων μονάδων ανά έτος για τα επόμενα 10 έτη. Επίσης σύμφωνα με την Ένωση Βιοαερίου Γερμανίας μέχρι το 2020 το 20% των αναγκών της Γερμανίας σε αέριο θα καλύπτεται από βιοαέριο. Μέχρι τώρα η πλειοψηφία του παραγόμενου βιοαερίου χρησιμοποιείται για παραγωγή ρεύματος και θερμότητας αλλά όλο και πιο πολλές μονάδες κατασκευάζονται με την προοπτική να παρέχουν το παραγόμενο βιοαέριο στο εθνικό δίκτυο διανομής αερίου. [1], [7], [8]

Στο Ηνωμένο Βασίλειο υπάρχουν επί του παρόντος περίπου 60 μονάδες βιοαερίου, οι περισσότερες εκμεταλλεύονται αγροτοκτηνοτροφικά απόβλητα, αλλά υπάρχουν και ορισμένες μεγαλύτερες εγκαταστάσεις οι οποίες επεξεργάζονται υπολείμματα τροφών και άλλων καταναλωτικών αποβλήτων. Στις 5 Οκτωβρίου 2010, για πρώτη φορά εγχέεται βιοαέριο στο δίκτυο φυσικού αερίου του Ηνωμένου Βασιλείου για πρώτη φορά. Τα λύματα των αποχετεύσεων από πάνω από 30.000 σπιτιών του Οξφορντσάιρ αποστέλλονται στην μονάδα επεξεργασίας λυμάτων του Ντίτκοτ, όπου υποβάλλονται σε επεξεργασία σε έναν αναερόβιο χωνευτήρα για την παραγωγή βιοαερίου, το οποίο στη συνέχεια καθαρίζεται για να παρέχει φυσικό αέριο σε περίπου 200 σπίτια.

294 μονάδες παραγωγής βιοαερίου παρήγαγαν «πράσινη» ηλεκτρική ενέργεια στην Αυστρία το 2008. Το μέσο μέγεθος των 260 kW εγκατεστημένης ισχύς δείχνει την αποκεντρωμένη δομή του βιοαερίου. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στις μονάδες προέρχονται κυρίως από αγροτοκτηνοτροφικά απόβλητα (κοπριά, καλαμπόκι, γρασίδι) προερχόμενα από τις γύρω περιοχές, διατηρώντας έτσι τα έξοδα μεταφοράς στο ελάχιστο. Στην Αυστρία μόνο οι εγκαταστάσεις που εκμεταλλεύονται και τη θερμική ενέργεια (εκτός από τη θερμότητα που χρησιμοποιείται για τις απαιτήσεις τις ίδιας τις μονάδας) επιτρέπεται να τροφοδοτήσουν με ηλεκτρική ενέργεια το ηλεκτρικό δίκτυο, με αποτέλεσμα να έχουν καλύτερη συνολική απόδοση

Στην Σουηδία η αγορά για το βιοαέριο ως καύσιμο οχημάτων αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς τα τελευταία χρόνια. Το 2008 υπήρχαν 17.000 οχήματα που κινούνται με αναβαθμισμένο βιοαέριο. Επί του παρόντος υπάρχουν 38 μονάδες αναβάθμισης βιοαερίου και το 2008 περίπου το 25% του βιοαερίου που παράχθηκε στην Σουηδία χρησιμοποιήθηκε ως καύσιμο οχημάτων και το 60% του συνολικού αερίου όγκου που πωλήθηκε ως καύσιμο οχημάτων ήταν βιοαέριο και μόνο το 40% αποτελούνταν από φυσικό αέριο. Η συνειδητοποίηση των πλεονεκτημάτων του βιοαερίου αυξάνεται συνεχώς, έτσι ώστε η ζήτηση για βιοαέριο ως καύσιμο οχημάτων είναι μεγαλύτερη από την προσφορά σε ορισμένες περιοχές, όπως είναι η περιοχή της Στοκχόλμης. Νέες τεχνολογίες για τον καθαρισμό και τη μεταφορά του βιοαερίου έχουν αναπτυχθεί και ο αριθμός των πρατηρίων καυσίμων βιοαερίου στην Σουηδία ανέρχεται σε περισσότερα από 120, και ο αριθμός αυξάνεται συνεχώς.

Χώρα	Βοειδή	Χοίροι	Βοειδή	Χοίροι	Λύματα Βοειδών	Λύματα Χοίρων	Σύνολο παραγόμενων λυμάτων
	[1000 κεφάλια]	[1000 κεφάλια]	[1000 ΜΖΚ.]	[1000 ΜΖΚ.]	[10 <sup>6</sup> τόνοι]	[10 <sup>6</sup> τόνοι]	[10 <sup>6</sup> τόνοι]
Αυστρία	2051	3125	1310	261	29	6	35
Βέλγιο	2695	6332	1721	529	38	12	50
Βουλγαρία	672	931	429	78	9	2	11
Κύπρος	57	498	36	42	1	1	2
Τσεχία	1397	2877	892	240	20	5	25
Δανία	1544	13466	986	1124	22	25	47
Εσθονία	250	340	160	28	4	1	5
Φιλανδία	950	1365	607	114	13	3	16
Γαλλία	19383	15020	12379	1254	272	28	300
Γερμανία	13035	26858	8324	2242	183	49	232
Ελλάδα	600	1000	383	83	8	2	10
Ουγγαρία	723	4059	462	339	10	7	17
Ιρλανδία	7000	1758	4470	147	98	3	101
Ιταλία	6314	9272	4032	774	89	17	106
Λετονία	371	436	237	36	5	1	6
Λιθουανία	792	1073	506	90	11	2	13
Λουξεμβούργο	184	85	118	7	3	0	3
Μάλτα	18	73	11	6	0	0	0
Ολλανδία	3862	11153	2466	931	54	20	74
Πολωνία	5483	18112	3502	1512	77	33	110
Πορτογαλία	1443	2348	922	196	20	4	24
Ρουμανία	2812	6589	1796	550	40	12	52
Σλοβακία	580	1300	370	109	8	2	10
Σλοβενία	451	534	288	45	6	1	7
Ισπανία	6700	25250	4279	2107	94	46	140
Σουηδία	1619	1823	1034	152	23	3	26
Ην. Βασίλειο	10378	4851	6628	405	146	9	155
<b>E.E-27</b>	<b>91364</b>	<b>160530</b>	<b>58348</b>	<b>13399</b>	<b>1284</b>	<b>295</b>	<b>1577</b>

Πίνακας 2.1. Εκτιμώμενες ποσότητες παραγόμενων ζωικών λυμάτων στις 27 χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Faostat, 2003)

## 2.3 Χρήση βιοαερίου στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η τεχνολογία σχετικά με το βιοαέριο έχει εισαχθεί πρόσφατα αλλά το ενδιαφέρον πάνω στην εκμετάλλευση του βιοαερίου μεγαλώνει συνεχώς. Αρχικά ξεκίνησε η προσπάθεια για παραγωγή και εκμετάλλευση του βιοαερίου από τους Χ.Υ.Τ.Α. και τους βιολογικούς καθαρισμούς αλλά πλέον έχουν είδη κατασκευαστεί μονάδες παραγωγής βιοαερίου χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη αγροτικά και κτηνοτροφικά απόβλητα. Στην Ελλάδα προς το παρόν τα ζωικά και φυτικά απόβλητα παραμένουν στην συντριπτική τους πλειοψηφία ανεκμετάλλευτα. Σύμφωνα με τα στοιχεία που έδωσε στην δημοσιότητα ο Κωνσταντίνος Αθανασίου, στέλεχος του Ινστιτούτου Τεχνικής Χημικών Διεργασιών στο Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογίας Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ) οι κτηνοτροφικές μονάδες μπορούν να παράγουν βιοαέριο από απόβλητα ζώων, μεταφρασμένο σε μεγαβάτ (MW) ηλεκτροπαραγωγής, το οποίο ξεπερνά τα 86 MW, αντίστοιχο με εκείνο τριών μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών. Σύμφωνα με τις πρώτες εκτιμήσεις το μεγαλύτερο δυναμικό εντοπίζεται στην κεντρική Μακεδονία (δυναμική παραγωγή 33 MW από βοοειδή και 2 MW από χοίρους), ενώ ακολουθούν η Ανατολική Μακεδονία- Θράκη (συνολικά 16 MW), η Θεσσαλία (15 MW), Η Δυτική Μακεδονία (10 MW) και η Ήπειρος (10MW). Όπως εκτιμά ο Λέκτορας της Γεωπονικής Σχολής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου, Θωμάς Κωτσόπουλος, η ποσότητα βιοαερίου, που μπορεί να παραχθεί με την επεξεργασία αποβλήτων, μόνο από αγελάδες γαλακτοπαραγωγής θα μπορούσε να τροφοδοτήσει μονάδες συμπαραγωγής συνολικής ισχύος 50 MW, με μέση ετήσια παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος 170,000 MWh και θερμικής ενέργειας 195,000 MWh. Πρόκειται για ποσότητες ικανές να καλύψουν τις ετήσιες ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα 34,000 κατοίκων και σε θέρμανση περίπου 10,000 νοικοκυριών. Το εγχείρημα της παραγωγής βιοαερίου μάλιστα, δεν χρειάζεται να το «φορτωθούν» μεμονωμένες μονάδες καθώς πρωτοβουλίες μπορούν να αναλάβουν οι αγροτικοί συνεταιρισμοί και ομάδες αγροτών, ώστε να συστήσουν από κοινού εταιρίες διαχείρισης αποβλήτων. Σύμφωνα με τον κ. Κωτσόπουλο, αν σε μια περιοχή συγκεντρώνονται πολλές κτηνοτροφικές μονάδες θα μπορούσαν να επεξεργάζονται από κοινού τα απόβλητα τους, ενώ στις εγκαταστάσεις τους θα είχαν την δυνατότητα να διαχειρίζονται και απορρίμματα σφαγείων, ελαιουργείων, τυροκομείων κτλ. Όπως υποστηρίζει ο κ. Κωτσόπουλος, η εικόνα μπορεί να αλλάξει καθώς με το νέο σχετικό νομοσχέδιο, η τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας από κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, τριπλασιάζεται. [19]

## 2.4 Μέθοδος ενεργειακής αξιοποίησης

Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να αξιοποιηθεί το βιοαέριο. Παρακάτω αναφέρονται οι βασικότεροι και οικονομικά αποδοτικότεροι τρόποι.

### 2.4.1 Βραστήρες

Οι βραστήρες αντιπροσωπεύουν ίσως τον απλούστερο τρόπο χρήσης του βιοαερίου. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατευθείαν για να παράγει ζεστό νερό ή ατμό. Το ζεστό νερό ή ο ατμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να θερμάνει τον αναερόβιο χωνευτήρα ή για θέρμανση οικιών, εγκαταστάσεων, κτιρίων και θερμοκηπίων. Το βιοαέριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε εφαρμογή καύσης αερίου.

Όταν χρησιμοποιείται το βιοαέριο κατά αυτόν τον τρόπο, συνιστάται τα επίπεδα του υδρόθειου να μην ξεπερνούν τα 1000 ppm. Όταν η συγκέντρωση είναι υψηλότερη, το θειικό οξύ που θα σχηματιστεί μπορεί να προκαλέσει μεγάλη διάβρωση και φθορά. Πολλοί σύγχρονοι βραστήρες έχουν επικασιτερωμένους μπρούτζινους εναλλακτήρες θερμότητας οι οποίοι διαβρώνονται πιο εύκολα. Χρησιμοποιώντας εναλλακτήρα θερμότητας από χυτοσίδηρο μειώνεται η διάβρωση. Εξασφαλίζοντας ότι η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι υψηλότερη από 150°C διατηρείται το υδρόθειο πάνω από την θερμοκρασία δρόσου. Το οξύ δεν θα συμπυκνωθεί και επομένως θα συνεισφέρει λιγότερο στην διάβρωση.

Η υγρασία μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο ακροφύσιο του αερίου (μπέκ) και μπορεί να χρειασθεί να αλλαχτεί με καινούργιο. Με την αφαίρεση της υγρασίας θα αφαιρεθεί και μια ποσότητα υδρόθειου.

Η απαιτούμενη πίεση του βιοαερίου για χρήση στον βραστήρα πρέπει να είναι μεταξύ 0,8 και 2,5 kPa. Η πίεση στο βιοαέριο που προέρχεται από τον αναερόβιο χωνευτήρα είναι πολύ μεγαλύτερη.

Οι βραστήρες έχουν θερμική απόδοση γύρω στο 80 με 90%. Για παράδειγμα, ας υποθεθεί μια αποθηκευμένη ποσότητα βιοαερίου της τάξης των 100 m<sup>3</sup> με περιεκτικότητα σε μεθάνιο 65%. Από την στιγμή που η θερμική αξία του καθαρού μεθανίου είναι περίπου 10 kWh/ m<sup>3</sup>, η θερμική απόδοση των 100 m<sup>3</sup> βιοαερίου είναι 650 kWh. Αν η αποδοτικότητα του βραστήρα είναι 80% , 520 kWh είναι διαθέσιμα προς χρήση.

#### 2.4.2 Πυρσός καύσης αερίου

Οι πυρσοί καύσης αερίου χρησιμοποιούνται για να καίγεται ποσότητα αερίου η οποία για κάποιους λόγους δεν δύναται να χρησιμοποιηθεί σε άλλη εφαρμογή. Έτσι αποφεύγεται η απελευθέρωση επικίνδυνων αερίων στην ατμόσφαιρα.

Υπάρχουν δυο βασικοί τύποι πυρσών: οι ανοιχτού τύπου και οι κλειστού τύπου. Οι πυρσοί ανοιχτού τύπου αποτελούνται από έναν καυστήρα και ένα μικρό προστατευτικό κάλυμμα για τον άνεμο. Το αέριο λόγω κακών συνθηκών συχνά καίγεται ατελώς και με σημαντικές απώλειες θερμικής ακτινοβολίας. Οι πυρσοί ανοιχτού τύπου κατασκευάζονται αρκετά μέτρα πάνω από το έδαφος ώστε να προστατεύονται οι εργαζόμενοι και οι σωλήνες ανεφοδιασμού από την ακτινοβολούμενη θερμότητα.

Οι πυρσοί κλειστού τύπου είναι εγκατεστημένοι στο έδαφος. Ο καυστήρας βρίσκεται μέσα σε ένα κλειστό κύλινδρο συνδεδεμένος με ένα θερμοανθεκτικό υλικό. Η μόνωση και ο έλεγχος του αερίου μίγματος έχει ως αποτέλεσμα μια πιο ολοκληρωμένη καύση καθώς και σε λιγότερες εκπομπές αερίων. Οι κλειστού τύπου πυρσοί μπορούν να ταξινομηθούν σε διάχυτου αερισμού και σε προαεριζόμενους πυρσούς. Όπως προκύπτει από το όνομα στους προαεριζόμενους πυρσούς ο αέρας αναμιγνύεται με το αέριο πριν φθάσει στον καυστήρα ενώ στον διάχυτο πυρσό το αέριο αναμιγνύεται με τον αέρα μέσα στο καυστήρα.

#### 2.4.3 Μηχανές Εσωτερικής Καύσης

Η χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης είναι μια αξιόπιστη και δοκιμασμένη μέθοδος αξιοποίησης του βιοαερίου. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες τις μηχανές ντίζελ (compression engines) και βενζινοκινητήρες (spark ignition engines). Και οι δυο τύποι μηχανών μπορούν να μετατραπούν ώστε να λειτουργούν με βιοαέριο παραγόμενο από αναερόβιο χωνευτήρα. Η λειτουργία της μηχανής ντίζελ με βιοαέριο είναι γνωστή και ως λειτουργία «διπλού καυσίμου» διότι χρησιμοποιείται μια μικρή ποσότητα καυσίμου ντίζελ



μαζί με το βιοαέριο για να γίνει η ανάφλεξη. Οι βενζινοκινητήρες λειτουργούν με μείγμα βιοαερίου και αέρα καθώς η ανάφλεξη προκαλείται από το μπουζί.

Όπως αναφέρθηκε στις μηχανές διπλού καυσίμου, ένα μίγμα βιοαερίου και αέρα διοχετεύεται μέσα στον θάλαμο της μηχανής και αναφλέγεται μαζί με μία μικρή ποσότητα ντίζελ καυσίμου. Η ποσότητα του καυσίμου ντίζελ που χρειάζεται για την ανάφλεξη αντιστοιχεί στο 10 με 20% της ποσότητας που θα χρειαζόνταν για να λειτουργήσει με καύσιμα ντίζελ μόνο. Αυτό το επιπλέον καύσιμο συνεπάγεται και επιπλέον κόστος για τη λειτουργία της μηχανής. Από την άλλη όμως, η μηχανή διπλού καυσίμου μπορεί να λειτουργήσει με 0 έως 85% καύσιμο βιοαέριο, το οποίο μπορεί να είναι και πλεονέκτημα τις περιόδους με χαμηλή παραγωγή βιοαερίου. Ένας περιορισμός των μηχανών διπλού καυσίμου είναι ότι το σύστημα έγχυσης καυσίμου μπορεί να υπερθερμανθεί όταν η ροή καυσίμου ντίζελ μειωθεί στο 10 με 15% του φυσιολογικού.

Το καρμπρατέρ ενός τυπικού βενζινοκινητήρα πρέπει να αντικατασταθεί με έναν αναμικτήρα βιοαερίου-αέρα. Οι ανακατασκευασμένες μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν μια μείωση στην ισχύ της τάξης του 15 με 20% λόγω της μείωσης της ογκομετρικής απόδοσης και της ταχύτητας ανάφλεξης του μείγματος βιοαερίου-αέρα σε σύγκριση με το μείγμα βενζίνης αέρα. Μια αύξηση στην αναλογία συμπίεσης και μια αναβάθμιση στον χρόνο σπινθηρισμού μπορεί να μειώσει αυτήν την απώλεια ισχύος κατά ένα βαθμό. Παρόλα αυτά, η απώλεια δεν θα ανακτηθεί πλήρως και η αλλαγή στην αναλογία συμπίεσης είναι μόνιμη. Επιπλέον ο κινητήρας δεν μπορεί να λειτουργήσει σε περιόδους με μικρή ή καθόλου παραγωγή βιοαερίου. Το βιοαέριο το οποίο αποτελείται από 60% μεθάνιο θεωρείται ένα μέτρια αδύναμο αέριο και προκαλεί μείωση στην ισχύ του κινητήρα της τάξης του 20%, σε σύγκριση με το 10% του φυσικού αερίου και το 5% του υγραερίου.

Στις μηχανές εσωτερικής καύσης υπάρχει ο κίνδυνος διάβρωσης από την παρουσία διυδρογόνου. Για αυτόν το λόγο συνιστούνται τα επίπεδα του διυδρογόνου να είναι κάτω από 1000 ppm.

Το βιοαέριο δεν χρειάζεται καμία μεταβολή στην πίεση του. Η πίεση που δημιουργείται από τον χωνευτήρα είναι αρκετά ικανοποιητική.

Η απόδοση σε ηλεκτρισμό στις μηχανές εσωτερικής καύσης ποικίλει. Κάποιες μελέτες αναφέρουν αποδόσεις έως και 29% για βενζινοκινητήρες και 31% για κινητήρες διπλού καυσίμου. Η αμερικανική υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος (USEPA) κάνει λόγο για μια διακύμανση της τάξης του 18 με 25%, ανάλογα με τον σχεδιασμό της μηχανής και τον τρόπο εισαγωγής των καυσίμων. Σε μια ανεξάρτητη δοκιμή ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης συνδεδεμένου σε σειρά με μια γεννήτρια, το Κέντρο Τεχνολογίας των Αερίων Θερμοκηπίου βρήκε απόδοση της τάξης του 19,7%. Με τόσους πολλούς τύπους μηχανών και γεννητριών είναι φυσιολογικό να υπάρχει μεγάλη διακύμανση στην απόδοση σε ηλεκτρικό ρεύμα.

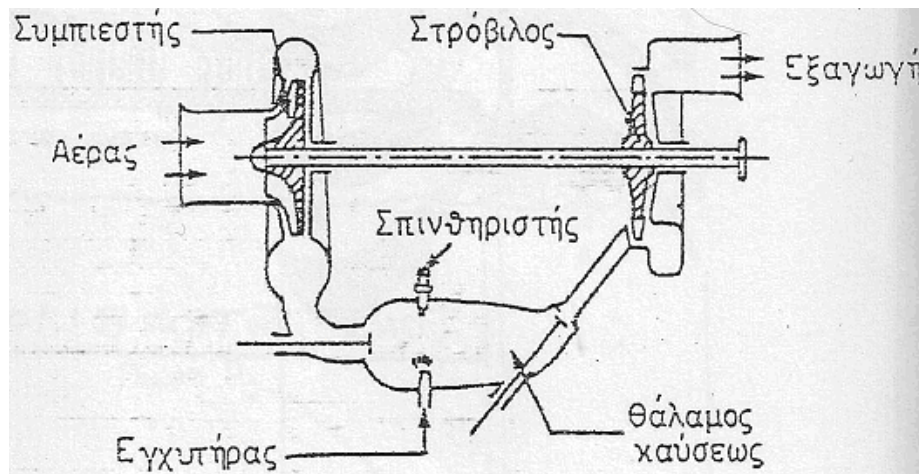
Η θερμική ενέργεια μπορεί να ανακτηθεί με συστήματα ανάκτησης θερμότητας, αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητα του συστήματος. Για παράδειγμα, μπορεί να παραχθεί ατμός χαμηλής πίεσης περνώντας απλώς τα θερμά καυσαέρια μέσα από εναλλακτικές θερμότητας. Ένα θερμοαγωγίμο κάλυμμα που θα περικλείει την μηχανή μπορεί να συλλέγει την θερμική ενέργεια και να την αποδίδει σε θερμό νερό. Αυτό το θερμοαγωγίμο κάλυμμα μπορεί να φτάσει και τους 125°C. Η τελική θερμική απόδοση μπορεί να φτάσει και το 65%.

Οι εκπομπές καυσαερίων στις μηχανές εσωτερικής καύσης από βιοαέριο είναι παρόμοιες με αυτές του φυσικού αερίου. Από την άλλη, τα υψηλότερα επίπεδα CO<sub>2</sub> στο βιοαέριο μειώνουν την θερμοκρασία στους κυλίνδρους και αυτό συμβάλει στο να μειωθούν οι εκπομπές σε NO<sub>x</sub>.

### 2.4.4 Αεριοστρόβιλος

Οι αεριοστρόβιλοι είναι στην ουσία μηχανές εσωτερικής καύσης οι οποίες λειτουργούν με κυκλική αντί για παλινδρομική κίνηση. Ο αεριοστρόβιλος αποτελείται από τρία βασικά μέρη: τον συμπιεστή, τον θάλαμο καύσης και τον στρόβιλο. Ο περιβάλλοντας αέρας συμπιέζεται και προστίθεται στο καύσιμο μέσα στον θάλαμο καύσης. Το μείγμα αναφλέγεται και τα παραγόμενα θερμά αέρια κατευθύνονται κατευθείαν στον στρόβιλο. Ο στρόβιλος αναγκάζει τα αέρια να συγκρουστούν στα πτερύγια με αποτέλεσμα ο στρόβιλος να περιστρέφεται. Ένα μέρος της ισχύος που δημιουργείται στον άξονα του στροβίλου χρησιμοποιείται από κοινού για να οδηγήσει τα αέρια στον εσωτερικό στρόβιλο του συμπιεστή. Το ισοζύγιο που δημιουργείται χρησιμοποιείται για να κινήσει ένα εξωτερικό φορτίο (π.χ. μια γεννήτρια).

Δυστυχώς, οι αεριοστρόβιλοι είναι αποδοτικοί στην παραγωγή ηλεκτρισμού σε κλίμακες μεγαλύτερες των 800 kW. Οι μονάδες βιοαερίου που είναι εγκατεστημένες σε αγρόκτημα δεν παράγουν αρκετή ισχύ για να κινήσουν γεννήτριες τέτοιου μεγέθους κάνοντας έτσι τους αεριοστρόβιλους ακατάλληλους για χρήση σε τέτοιες μονάδες.



Σχήμα 2.2. Απλοποιημένο σχεδιάγραμμα αεριοστρόβιλου

### 2.4.5 Μικρό-στρόβιλοι

Οι μικροαεριοστρόβιλοι έχουν την ανάλογη λειτουργία με αυτήν των μεγάλων αεριοστρόβιλων. Συμπεριλαμβάνουν όμως μια καινοτομία που έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ηλεκτρική απόδοση. Αυτή η καινοτομία είναι ουσιαστικά ένας εναλλακτήρας θερμότητας προσκολλημένος στην εξάτμιση. Η ανακτημένη θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του αέρα ο οποίος αναμιγνύεται με το βιοαέριο. Το μείγμα αέρα-βιοαερίου καίγεται με αποτέλεσμα να διαστέλλεται και να παράγει έργο μέσω του στροβίλου. Το κιβώτιο ταχυτήτων και άλλα κινούμενα μέρη αντικαθιστούνται από ηλεκτρονικά μέρη τα οποία επιτρέπουν στον στρόβιλο να αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες. Ο άξονας του στροβίλου μπορεί να περιστραφεί έως και 96,000 φορές το λεπτό. Τα καυσαέρια κατευθύνονται στον εναλλακτήρα θερμότητας και μετά μέσω ενός σωλήνα θα διοχετευθούν σε μια δεύτερη μονάδα ανάκτησης θερμότητας για επιπλέον ανάκτηση θερμότητας.

Το βιοαέριο πρέπει να συμπιεσθεί στα 585 kPa πριν χρησιμοποιηθεί στον μικροστρόβιλο. Ο συμπιεστής μπορεί να αποτελεί μέρος του μικρο-στρόβιλου ή να λειτουργεί ανεξάρτητα. Το υδρόθειο δεν χρειάζεται να αφαιρεθεί από το βιοαέριο. Υπάρχουν τύποι μικροστρόβιλων που μπορούν να αντέξουν αέριο περιεκτικότητας έως και 7% σε υδρόθειο το οποίο είναι πολύ υψηλότερο από οποιοδήποτε βιοαέριο που παράγεται από αγροτοκτηνοτροφική μονάδα.

Άλλοι τύποι μικροστρόβιλων είναι εφοδιασμένοι με συσκευές οι οποίες προετοιμάζουν τα καύσιμα καταλλήλως. Η υγρασία μπορεί να περιέχει χημικά στοιχεία τα οποία μπορούν να βλάψουν το σύστημα έκχυσης καυσίμου, τις βαλβίδες ελέγχου καυσίμου και τον συμπυκνωτή. Επομένως, η υγρασία πρέπει να αφαιρεθεί από το βιοαέριο. Εδώ βρίσκεται και το μεγαλύτερο πρόβλημα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μικρο-στρόβιλοι μπορούν εύκολα να ρυθμιστούν ώστε να λειτουργούν με φυσικό αέριο σε περιόδους με μικρή παραγωγή βιοαερίου.

Σε σύγκριση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης, οι μικρο-στρόβιλοι έχουν πολύ μικρότερες απαιτήσεις συντήρησης. Ένας μικροστρόβιλος ο οποίος λειτουργεί συνεχώς χρειάζεται το πολύ 24 ώρες συντήρησης για κάθε 8,000 ώρες λειτουργίας. Λόγο των ελάχιστων κινούμενων μερών, ένας μικροστρόβιλος παράγει σχετικά λίγο θόρυβο και ελάχιστους κραδασμούς.

Οι μικροστρόβιλοι είναι ικανοί να επιτύχουν ηλεκτρική απόδοση από 25% έως 30%. Αυξάνοντας την θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα και αυξάνοντας το υψόμετρο μειώνεται δραματικά η αποδοτικότητα του μικροστρόβιλου γιατί μειώνεται η πυκνότητα του αέρα. Επίσης ένα μεγάλο μέρος της ηλεκτρικής απόδοσης προκύπτει από τον εναλλάκτηρά θερμότητας που εναλλάσσει την θερμότητα μεταξύ του εισαχθέντα αέρα και των θερμών καυσαερίων. Αυτό σημαίνει ότι ο μικροστρόβιλος θα χρειαστεί κάποιο χρόνο για μα προθερμανθεί ώστε να μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητα του. Τα καυσαέρια στον πρώτο εναλλακτήρα θερμότητας μπορεί να είναι μεταξύ 230 και 315°C, ανάλογα τον το μοντέλο του στρόβιλου, την θερμοκρασία ατμοσφαιρικού αέρα και το υψόμετρο. Σε ότι αφορά τους δευτερεύοντες εναλλακτήρες θερμότητας έχουν αναφερθεί θερμικές αποδόσεις έως και 45%. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι όλη η διαθέσιμη θερμική ενέργεια για ανάκτηση προέρχεται από τα καυσαέρια του στρόβιλου.

Τα επίπεδα εκπομπής NOx από έναν μικροστρόβιλο μπορεί να είναι λιγότερα από 9 ppm

#### 2.4.6 Κυψέλες Καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου μετατρέπουν την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική χωρίς καύση. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι παρόμοια με αυτής μιας μπαταρίας. Μια κυψέλη καυσίμου χωρίζεται σε τρεις τομείς:

\*Τομέας επεξεργασίας και προετοιμασίας καυσίμου. Εδώ το βιοαέριο καθαρίζεται από το υδρόθειο και άλλα επιβλαβή συστατικά. Σε αυτό το τμήμα συμπεριλαμβάνεται ένας μηχανισμός ο οποίος μετατρέπει το μεθάνιο σε ένα αέριο πλούσιο σε υδρογόνο το οποίο και χρησιμοποιείται από το κύτταρο της κυψέλης καυσίμου.

\* Κύτταρο κυψέλης καυσίμου. Η ηλεκτροπαραγωγική διαδικασία λαμβάνει χώρα εδώ.

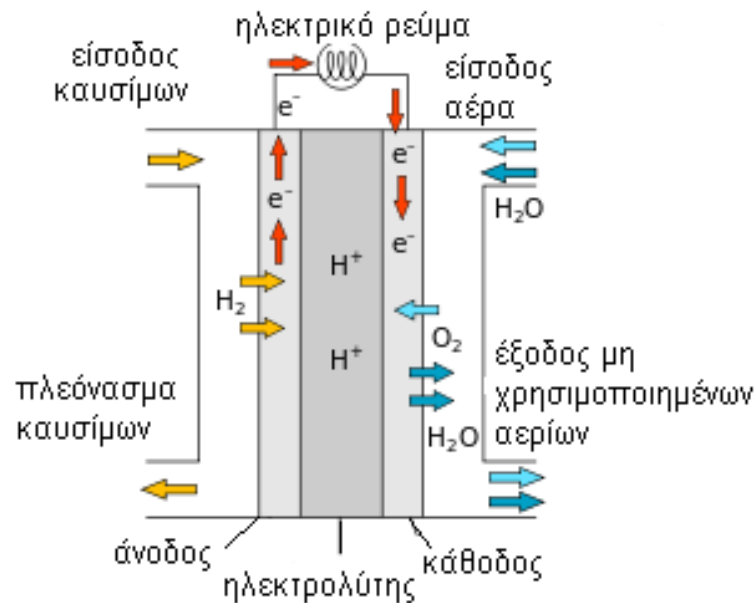
\*Τομέας ρύθμισης συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Αυτός ο τομέας μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που πειράχθηκε από την κυψέλη καυσίμων σε εναλλασσόμενο ρεύμα.

Το βιοαέριο που προορίζεται για χρήση σε κυψέλη καυσίμου πρέπει πρώτα να καθαρισθεί από όλα τα άλλα χημικά στοιχεία. Οι καταλύτες των κυψελών καυσίμων δεν μπορούν να λειτουργήσουν με υδρόθειο. Επίπεδα άνω του 0,5-1 ppm είναι ακατάλληλα για κυψέλη καυσίμου υψηλής θερμοκρασίας. Η υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα καταστύβουν το καύσιμο ακατάλληλο. Το καθαρό βιοαέριο δεν χρειάζεται να συμπυκνωθεί επιπλέον. Το μεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πιέσεις από 1 έως 3,5 kPa για κυψέλη καυσίμου με φωσφορικό οξύ.

Από την στιγμή που οι κυψέλες καυσίμου είναι μια ανερχόμενη τεχνολογία, η συντήρησή τους είναι ακριβή και χρονοβόρα. Οι κυψέλες καυσίμου χρειάζονται εξειδικευμένους μηχανικούς για την λειτουργία και συντήρησή τους που μόνο ο κατασκευαστής μπορεί να παρέχει. Σε αυτήν τεχνολογία δεν γίνεται λόγος για ηχορύπανση καθώς ο μόνος ήχος που παράγεται είναι αυτός των αντλιών αέρα και νερού. Μια εταιρία κυψελών καυσίμου φωσφορικού οξέος αναφέρει ότι το προϊόν της παράγει ήχο μόνο 60 db στα 9 μέτρα.

Το κύτταρο της κυψέλης καυσίμου από μόνο του δεν παράγει καυσαέρια παρά μόνο νερό και θερμότητα. Στο κομμάτι όμως που τα καύσιμα καθαρίζονται από τα επιπλέον χημικά στοιχεία εκεί παράγονται κάποιες μικροποσότητες NOx και SOx.

Υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τύποι κυψελών καυσίμου. Ο καθένας παίρνει το όνομα του ανάλογα με τον τύπο του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιεί. [9]



Σχήμα 2.3. Κυψέλη καυσίμου

#### 2.4.6.1 Αλκαλική κυψέλη καυσίμου

Αυτές είναι οι παλαιότερες κυψέλες καυσίμου που έχουν χρησιμοποιηθεί. Κυρίως είχαν χρησιμοποιηθεί σε διαστημικά λεωφορεία. Αυτές οι κυψέλες καταστρέφονται από τον άνθρακα επόμενος οι εφαρμογές τους στο γήινο περιβάλλον είναι πολύ λίγες.

#### 2.4.6.2 Κυψέλες φωσφορικού οξέος

Αυτός ο τύπος κυψέλης ήταν και ο πρώτος που ήταν διαθέσιμος στο εμπόριο από το 1992. Λειτουργούν σε θερμοκρασίες μεταξύ 150 και 220°C. Είναι αξιόπιστες πηγές ενέργειας με ηλεκτρική απόδοση γύρω στο 36% με 40%. Αυτές οι αποδόσεις, όμως, υστερούν σε σχέση με άλλες κυψέλες καυσίμου. Επιπλέον οι τιμές δεν έχουν μειωθεί όπως αναμενόταν και οι κατασκευαστές κυψελών καυσίμων αποσύρουν σταδιακά αυτό τον τύπο και προωθούν τις κυψέλες καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης.

#### 2.4.6.3 Κυψέλες καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης

Αυτές οι κυψέλες είναι κατάλληλες για να χρησιμοποιηθούν σε αυτοκίνητα καθώς είναι ικανές να ξεκινούν γρήγορα και χειρίζονται εύκολα μεταβαλλόμενα φορτία. Η ικανότητα να ξεκινά γρήγορα αντικατοπτρίζεται από την αναγκαιότητα να λειτουργεί σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες της τάξης των 90°C. Οι περισσότερες μόνιμα εγκατεστημένες κυψέλες καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης έχουν δυναμικότητα κάτω των 10 kW. Αυτές οι κυψέλες έχουν γίνει οι πρώτες κυψέλες οι οποίες παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα από αγροτοκτηνοτροφικό βιοαέριο.

#### 2.4.6.4 Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου και κυψέλη καυσίμου λιωμένου εστέρα

Και οι δύο αυτοί τύποι κυψελών λειτουργούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Η κυψέλη λιωμένου εστέρα λειτουργεί σε θερμοκρασίες 600 - 700 °C, ενώ αυτή με το στερεό οξείδιο σε θερμοκρασίες μεταξύ 650 - 1000 °C. Η λειτουργία σε τόσο μεγάλες θερμοκρασίες έχει ως αποτέλεσμα πολύ θερμά καυσαέρια, αλλά και μεγάλο χρόνο εκκίνησης. Οι κυψέλες καυσίμων λιωμένου εστέρα κυμαίνονται σε μέγεθος μεταξύ 250 kW και 3 MW. Οι κυψέλες στερεού οξειδίου ξεκινούν από 5kW και φτάνουν σε παρά πολλά MW. Η αποδοτικότητα και των δυο σε ηλεκτρικό ρεύμα αγγίζει το 60%.

## 3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

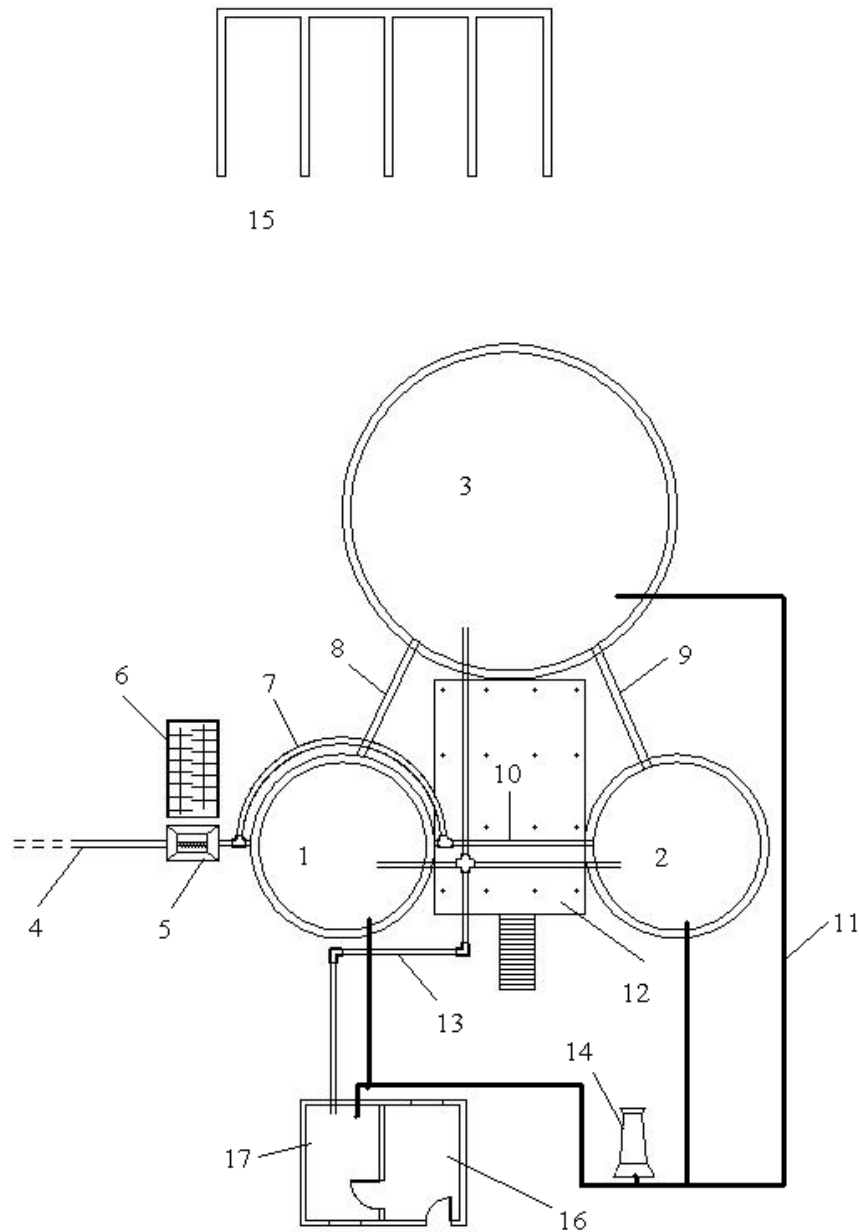
### “ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ”

#### 3.1 Γενικά για την λειτουργία

Η μονάδα αποτελείται από το σύστημα τροφοδοσίας των πρώτων υλών, δηλαδή τα βοθρολύματα του χοιροστασίου και τα υπολείμματα της καλλιέργειας αραβοσίτου (καλάμι, φύλλα κλπ.) που απομένουν μετά την συγκομιδή του αραβοσίτου. Αποτελείται επίσης από δύο δεξαμενές αναερόβιας χώνευσης (βιοαντιδραστήρες) συνδεδεμένες σε σειρά ώστε να ολοκληρώνεται η αναερόβια χώνευση των αποβλήτων. Τα υπολείμματα που μένουν από την αναερόβια χώνευση οδηγούνται σε μία τρίτη δεξαμενή όπου πλέον αποτελούν βιολίπασμα . Αποθηκεύονται σε αυτήν την δεξαμενή μέχρις ότου χρησιμοποιηθούν στους αγρούς. Το αέριο που δημιουργείται στους βιοαντιδραστήρες αποθηκεύεται στην οροφή, καθώς και στην οροφή της δεξαμενής αποθήκευσης υπολειμμάτων, σε ειδικούς αποθηκευτικούς χώρους. Το αέριο στην συνέχεια αφού επεξεργασθεί αξιοποιείται ως ενεργειακός φορέας. Η μέθοδος αξιοποίησης αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο. Επίσης η μονάδα έχει και ένα μικρό οικίσκο ο οποίος χρησιμεύει για να στεγάζει το κέντρο ελέγχου της μονάδας καθώς επίσης και την μονάδα αξιοποίησης του βιοαερίου.

Η μονάδα λειτουργεί όλο το χρόνο αλλά μόνο τους έξι μήνες λειτουργεί με τα απόβλητα του χοιροστασίου και με τα απόβλητα του αραβοσίτου, τους υπόλοιπους έξι μήνες λειτουργεί μόνο με τα απόβλητα του χοιροστασίου.

Κατά τους έξι μήνες όπου τροφοδοτείται και με τα απόβλητα αραβοσίτου η μονάδα χρησιμοποιεί και του δύο βιοαντιδραστήρες ενώ το υπόλοιπο διάστημα λειτουργεί μόνο με τον ένα. Όταν λειτουργεί με τον ένα βιοαντιδραστήρα τότε γίνεται συντήρηση του άλλου βιοαντιδραστήρα. Στο σχήμα 3.1 φαίνονται οι εγκαταστάσεις μιας τυπικής μονάδας δυναμικότητας .



Σχήμα 3.1. Σχεδιάγραμμα πανοραμικής άποψης της μονάδας

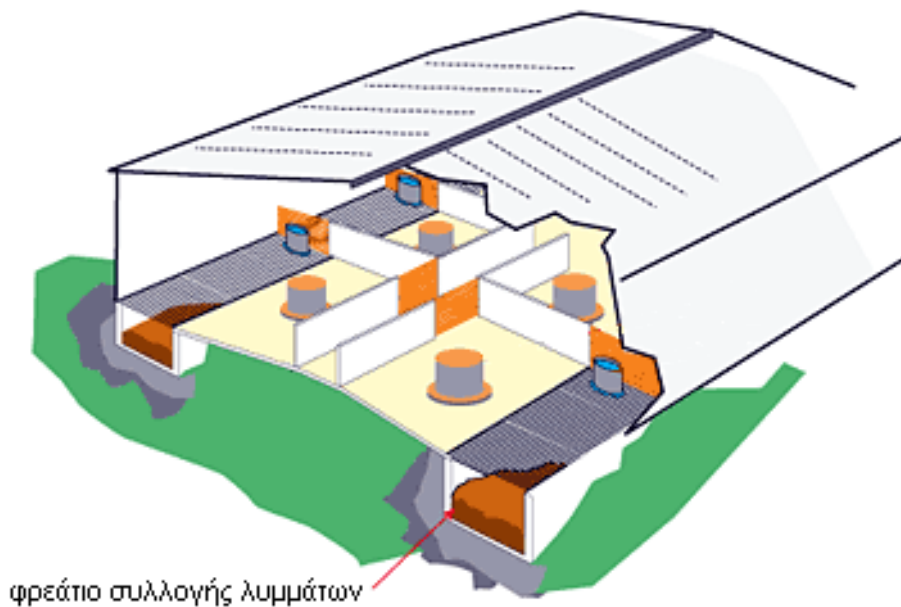
- 1) Ο πρώτος βιοαντιδραστήρας
- 2) Ο δεύτερος βιοαντιδραστήρας (μπορούν να λειτουργούν και οι δύο μαζί ή ο καθένας ξεχωριστά)
- 3) Δεξαμενή αποθήκευσης των υπολειμμάτων των βιοαντιδραστήρων
- 4) Σωλήνας με τον οποίο μεταφέροντα τα απόβλητα του χοιροστασίου
- 5) Αναμικτήρας που αναμιγνύει τα απόβλητα του χοιροστασίου , το νερό και το ενσίρωμα του αραβοσίτου
- 6) Ο τροφοδότης αφού γεμίσει με ενσίρωμα τροφοδοτεί με σταθερό ρυθμό τον αναμικτήρα
- 7) Σωλήνας παράκαμψης του πρώτου βιοαντηδραστηρα (χρησιμοποιείται όταν δεν λειτουργεί ο πρώτος βιοαντιδραστηρας)
- 8) Σωλήνας σύνδεσης πρώτου βιοαντιδραστήρα με δεξαμενή αποθήκευσης υπολειμμάτων (χρησιμοποιείται μόνο όταν δεν λειτουργεί ο δεύτερος βιοαντιδραστηρας)
- 9) Σωλήνας σύνδεσης δεύτερου βιοαντιδραστήρα με δεξαμενή αποθήκευσης υπολειμμάτων

- 10) Σωλήνας τροφοδότησης δεύτερου βιοαντιδραστήρα
- 11) Σωληνώσεις σύνδεσης αποθηκών και μονάδας αξιοποίησης βιοαερίου με το φλόγιστρο ασφαλείας ( χρησιμοποιούνται μόνο σε περίπτωση ανάγκης)
- 12) Εξέδρα παρατήρησης βιοαντιδραστήρων και δεξαμενής αποθήκευσης υπολειμμάτων
- 13) Σωληνώσεις μεταφοράς βιοαερίου από αποθήκες βιοαερίου προς μονάδα αξιοποίησης βιοαερίου
- 14) Φλόγιστρο ασφαλείας
- 15) Αποθηκευτικός χώρος ενσιρώματος αραβοσίτου
- 16) Δωμάτιο κεντρικού ελέγχου της μονάδας
- 17) Μονάδα αξιοποίησης βιοαερίου

### 3.2 Τροφοδοσία λυμάτων από το χοιροστάσιο

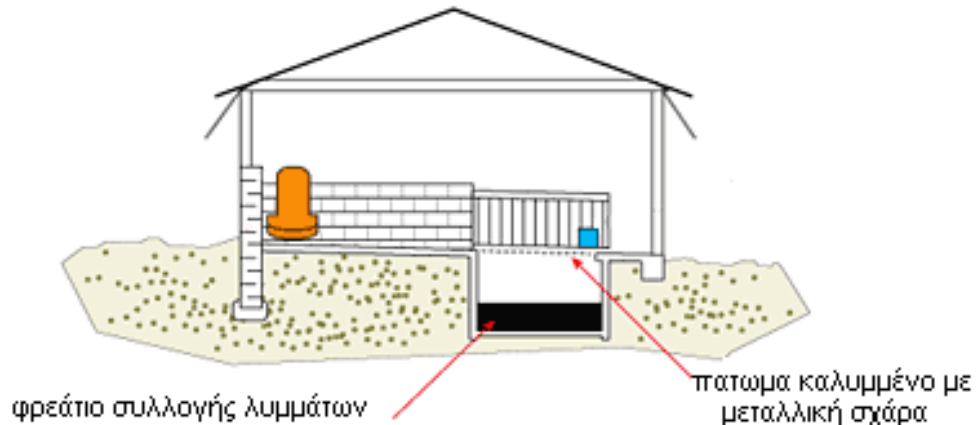
Όλα τα σύγχρονα χοιροστάσια έχουν εγκατεστημένα φρεάτια καλυμμένα με μεταλλικές σχάρες τα οποία βρίσκονται στο πάτωμα του χοιροστασίου. Εκεί συλλέγονται όλα τα λύματα και οι ακαθαρσίες που δημιουργούνται. Έπειτα κατευθύνονται σε μία υπόγεια δεξαμενή.

Στα παρακάτω δύο σχήματα 3.2 και 3.3 φαίνονται τα φρεάτια και η χωροταξική τους θέση μέσα στο χοιροστάσιο ώστε να συλλέγουν όλη την ποσότητα των παραγόμενων λυμάτων σε μια τυπική εγκατάσταση.



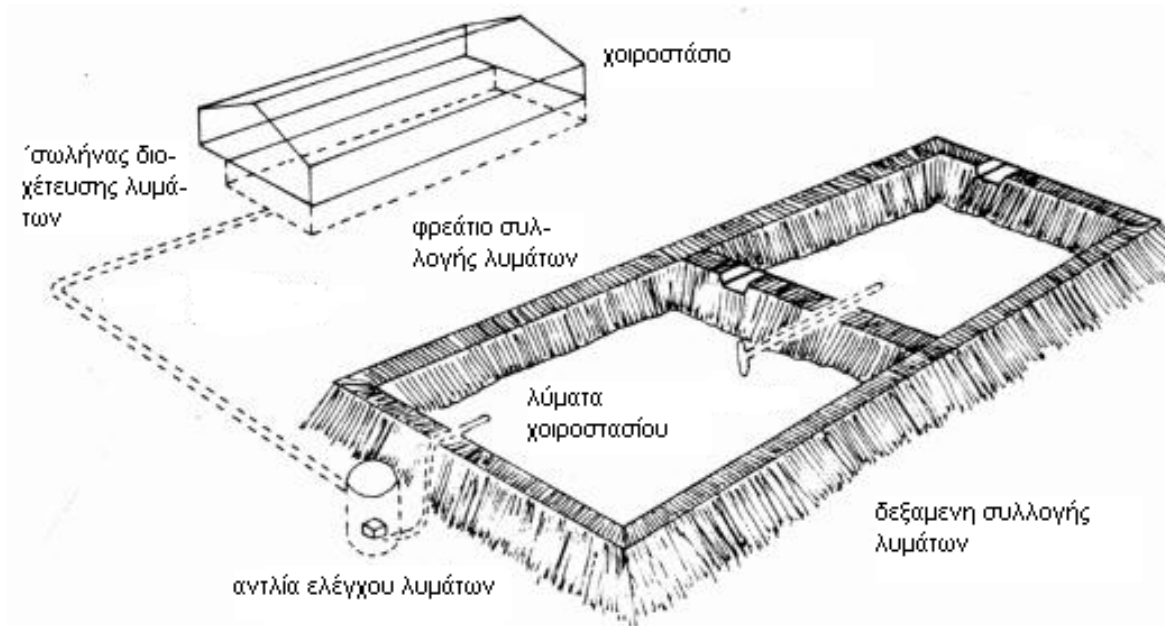
Σχήμα 3.2. Προοπτικό με τομή όπου φαίνεται το φρεάτιο συλλογής σε χοιροστάσιο





Σχήμα 3.3. Τυπική μορφή χοιροστασίου όπου φαίνεται το φρεάτιο συλλογής.

Στην συνέχεια όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα τα λύματα μέσω ενός σωλήνα συλλέγονται σε μια μεγάλη δεξαμενή όπου και αποθηκεύονται



Σχήμα 3.4. Δεξαμενή λυμάτων και σωλήνας τροφοδοσίας.

Τα λύματα αποτελούνται από κόπρανα, ούρα, άχυρα, υπολείμματα τροφών και νερό προερχόμενο από το πότισμα των ζώων και το καθάρισμα των χώρων του στάβλου. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι για το καθάρισμα του στάβλου πρέπει να αποφεύγονται τα βιομηχανικά απορρυπαντικά αλλά να χρησιμοποιείται μόνο νερό και για την περεταίρω απολύμανση του χώρου να χρησιμοποιείται ειδικό φλόγιστρο όπου θεωρείται απαραίτητο.

Η συνολική ποσότητα λυμάτων που παράγονται καθημερινά στο χοιροστάσιο αντιστοιχούν σε 7,1 λίτρα ανά χοίρο κατά μέσο όρο [10]. Δηλαδή για το χοιροστάσιο για το οποίο γίνεται λόγος στην παρούσα εργασία όπου σταβλίζονται 2000 χοίροι η ημερήσια παραγωγή είναι  $2000 \times 7,1 \text{ lt} = 14200 \text{ lt}$  ανά ημέρα, δηλαδή 14,2 κυβικά μέτρα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη παραγωγή δεν είναι σταθερή, αλλά επίσης ούτε και η

ενεργειακή αξία της σταθερή, καθώς αυτή προκύπτει από την περιεκτικότητα των λυμάτων σε νερό και την σύνθεση των οργανικών υλών που αποτελούν τα λύματα.

Η οργανική ουσία των βοθρολυμάτων προέρχεται κατά κύριο λόγο από τις ζωοτροφές που δεν αφομοιώθηκαν κατά τη διέλευση τους από το πεπτικό σύστημα των ζώων και κατά μικρότερο μέρος από τις ζωοτροφές που παρασύρθηκαν ή διασκορπίστηκαν μέσα στα αποχετευτικά κανάλια. Συνέπεια της προέλευσης αυτής είναι ο εμπλουτισμός τους με μικροοργανισμούς, οι οποίοι προέρχονται από το πεπτικό σύστημα των ζώων. Οι βασικές ομάδες οργανικών ενώσεων, οι οποίες αποτελούνται από ένα συνδυασμό άνθρακα, υδρογόνου, οξυγόνου και αζώτου, είναι πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες (όπως άμυλο) και λιπίδια. Επιπλέον η ουρία, το βασικό συστατικό των ούρων, αποτελεί μια ακόμα σημαντική οργανική ένωση που εμπεριέχεται στα λύματα των χοίρων

Τα στερεά που αποτελούν τα λύματα διακρίνονται στα μη πτητικά στερεά (Fixed Solids, FS) και τα πτητικά στερεά (Volatile Solids, VS), τα οποία αθροιστικά αποτελούντα ολικά στερεά (Total Solids, TS). Τα μη πτητικά στερεά (FS) αντιπροσωπεύουν την ανόργανη ουσία και λόγω του γεγονότος ότι δεν αποικοδομούνται δεν επηρεάζουν το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των λυμάτων. Από την άλλη πλευρά τα πτητικά στερεά (VS) αντιπροσωπεύουν την οργανική ουσία που περιέχεται στα λύματα, δηλαδή αποτελούν δείκτη της ρυπαντικότητας των οργανικών λυμάτων.

Στα λύματα περιέχονται διάφορα θρεπτικά συστατικά και άλατα

Στα θρεπτικά στοιχεία των λυμάτων χοιροστασίου, περιλαμβάνονται το άζωτο, ο φώσφορος, το κάλιο και διάφορα ιχνοστοιχεία όπως ο σίδηρος, το σελήνιο και το κοβάλτιο.

Στα άλατα περιλαμβάνονται κυρίως τα:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ . Τα περισσότερα άλατα εισέρχονται στο χώρο εκτροφής των χοίρων από τα αποθέματα του νερού, αν και ορισμένα από αυτά περιέχονται στις τροφές. Η επιπλέον ποσότητα αλάτων που καταναλώνεται από τους χοίρους, αποβάλλεται από τον οργανισμό τους

Οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στα λύματα συντελούν σε μεγάλο βαθμό στην μετέπειτα αναερόβια χώνευση των υπολειμμάτων. Στον πίνακα 3.1 φαίνονται μερικοί από τους μικροοργανισμούς που εντοπίζονται στα κόπρανα και στα ούρα των χοίρων.

Στη δεξαμενή τα λύματα συγκεντρώνονται προσωρινά. Η δεξαμενή βέβαια μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν βόθρος σε περίπτωση που για κάποιο λόγο τα λύματα δεν μπορούν να απορροφηθούν από την μονάδα. Όταν όμως η μονάδα παραγωγής βιοαερίου λειτουργεί κανονικά τα λύματα πρέπει να τροφοδοτούνται συνέχεια στην μονάδα και να μένουν όσο το δυνατόν λιγότερο χρονικό διάστημα στην δεξαμενή, αλλιώς χάνουν την ενεργειακή τους αξία λόγω της αποσύνθεσης.

Για να μεταφερθούν λοιπόν τα λύματα από την δεξαμενή στην μονάδα για αξιοποίηση θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια αντλία. Για αυτές τις περιπτώσεις υπάρχουν αντλίες οι οποίες στην είσοδο των λυμάτων έχουν κοπτήρες όπου τεμαχίζουν τα τυχόν μεγάλα στερεά κυμάτια και επίσης ομογενοποιούν σε κάποιο βαθμό τα λύματα. Οι σωλήνες για την μεταφορά που προτιμώνται συνήθως είναι PVC λόγω του χαμηλού κόστους και με διάμετρο 15-20 cm ώστε να αποφθεχθεί ο κίνδυνος φραξίματος του σωλήνα από τα στερεά υλικά. Η αντλία θα πρέπει να μπορεί να μεταφέρει μέσα σε 5 ώρες τα λύματα 25 μέτρα μακριά, δηλαδή την απόσταση του βόθρου μέχρι την επόμενη αντλία της μονάδας παραγωγής βιοαερίου. Οι αντλίες που μπορούν να φέρουν εις πέρας αυτήν την ενέργεια καταναλώνουν περίπου 2kW.

ΑΣΘΕΝΕΙΑ	ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ
<b>ΒΑΚΤΗΡΙΑ</b>	
Σαλμονέλα	Salmonella spp.
Λεπτοσπείρωση	Leptospira pomona
Άνθρακας	Bacillus anthracis
Φυματίωση	Mycobacterium tuberculosis Mycobacterium avium
Εντερίτιδα Βοοειδών	Mycobacterium paratuberculosis
Βρουκέλωση	Brucella abortus Brucella melitensis Brucella suis
Λιστερίωση	Listeria monocytogenes
Τέτανος	Clostridium tetani
Τουλαραμία	Pasteurella tularensis
Ερυσίπελας	Erysipelothrix rhusiopathiae
Κολιβακίλλωση	Escherichia coli
Τύφος	Coxiella burnetti
Ψιττακίωση	Χλαμύδα spp.
<b>ΙΟΙ</b>	
New Castle	Ιός
Χολέρα των γουρουνιών	Ιός
<b>ΜΥΚΗΤΕΣ</b>	
Κοκκιδιωμύκωση	Coccidoides immitis
Ιστοπλάσμωση	Histoplasma capsulatum
Λειχήνες	Microsporium & trichophyton
<b>ΠΡΩΤΟΖΩΑ</b>	
Κοκκιδίωση	Eimeria spp.
Βαλαντιδίωση	Balatidium coli
Τοξοπλάσμωση	Toxoplasma spp.
<b>ΠΑΡΑΣΙΤΑ</b>	
Ασκαριδίωση	Ascaris lumbricoides
Σαρκοκυστίωση	Sarcocystis spp.

Πίνακας 2.1. Οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στα λύματα των χοίρων και οι ασθένειες που μπορούν να προκαλέσουν [16]

Δηλαδή για πέντε ώρες λειτουργίας καταναλώνονται  $5h \times 2kW = 10kWh$  [17]

### 3.3 Επεξεργασία και τροφοδοσία υπολείμμάτων αραβόσιτοκαλλιέργειας

Υπολείμματα αραβόσιτοκαλλιέργειας θεωρείται όλο το φυτό το αραβόσιτου εκτός από τον σπόρο. Στην Ελλάδα τα υπολείμματα αραβόσιτου αντιστοιχούν σε 1,2-1,5 τόνους ανά στρώμα καλλιέργειας [11]. Η καλλιέργεια που τροφοδοτεί την μονάδα βιοαερίου είναι 200 στρέμματα δηλαδή η συνολική ποσότητα βιομάζας είναι 240 με 300 τόνους. Η συγκομιδή του καλαμποκιού γίνεται στην αρχή του φθινοπώρου και επειδή τα υπολείμματα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν αμέσως αλλά καταναλώνονται τμηματικά πρέπει να αποθηκεύονται σε ειδικές αποθήκες. Η αποθήκη έχει ορθογώνιο σχήμα συνήθως και κατασκευάζεται από τσιμεντένιο τοίχο ύψους 4 μέτρων ο οποίος καλύπτει τις τρεις πλευρές καθώς η τέταρτη μένη

ακάλυπτη για να συλλέγεται το ενσίρωμα όπως ονομάζεται το υπόλειμμα. Η έκταση που καταλαμβάνει ο αποθηκευτικός χώρος υπολογίζεται ως εξής

Ο όγκος που καταλαμβάνει ένας τόνος στεγνού ενσιρώματος είναι περίπου 4-5 κυβικά μέτρα, επομένως η αποθήκη πρέπει να έχει συνολική χωρητικότητα

$$300 \text{ τόνοι ενσιρώματος} \times 5 \text{ κυβικά μέτρα/τόνο} = 1500 \text{ m}^3$$

Το ύψος του τοίχου είναι 4 m άρα η έκταση της αποθήκης είναι

$$\text{Εμβαδόν αποθηκης} = 1500 \text{ m}^3 / 4 \text{ m} = 375 \text{ m}^2$$

Μόλις το ενσίρωμα τοποθετηθεί στον αποθηκευτικό χώρο συμπιέζεται όσο το δυνατόν περισσότερο για να φύγει ο αέρας. Με την έλλειψη του αέρα και με τις μικρές ποσότητες υγρασίας το ενσίρωμα διατηρείται αρκετό καιρό χωρίς να χάσει την ενεργειακή του αξία. Η επιφάνεια του ενσιρώματος καλύπτεται με ένα ειδικό πλαστικό κάλυμμα το οποίο προστατεύει το ενσίρωμα από την υγρασία και τον ήλιο. Επίσης μέσα στον αποθηκευτικό χώρο αρχίζουν ήδη κάποιοι μικροοργανισμοί να αποικοδομούν το ενσίρωμα παράγοντας γαλακτικό οξύ προετοιμάζοντας το έτσι για τον αναερόβιο χωνευτή. Μια τυπική μορφή του αποθηκευτικού χώρου φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 3.5 και 3.6.



Σχήμα 3.5. Τυπική αποθήκη ενσιρώματος αραβοσίτου



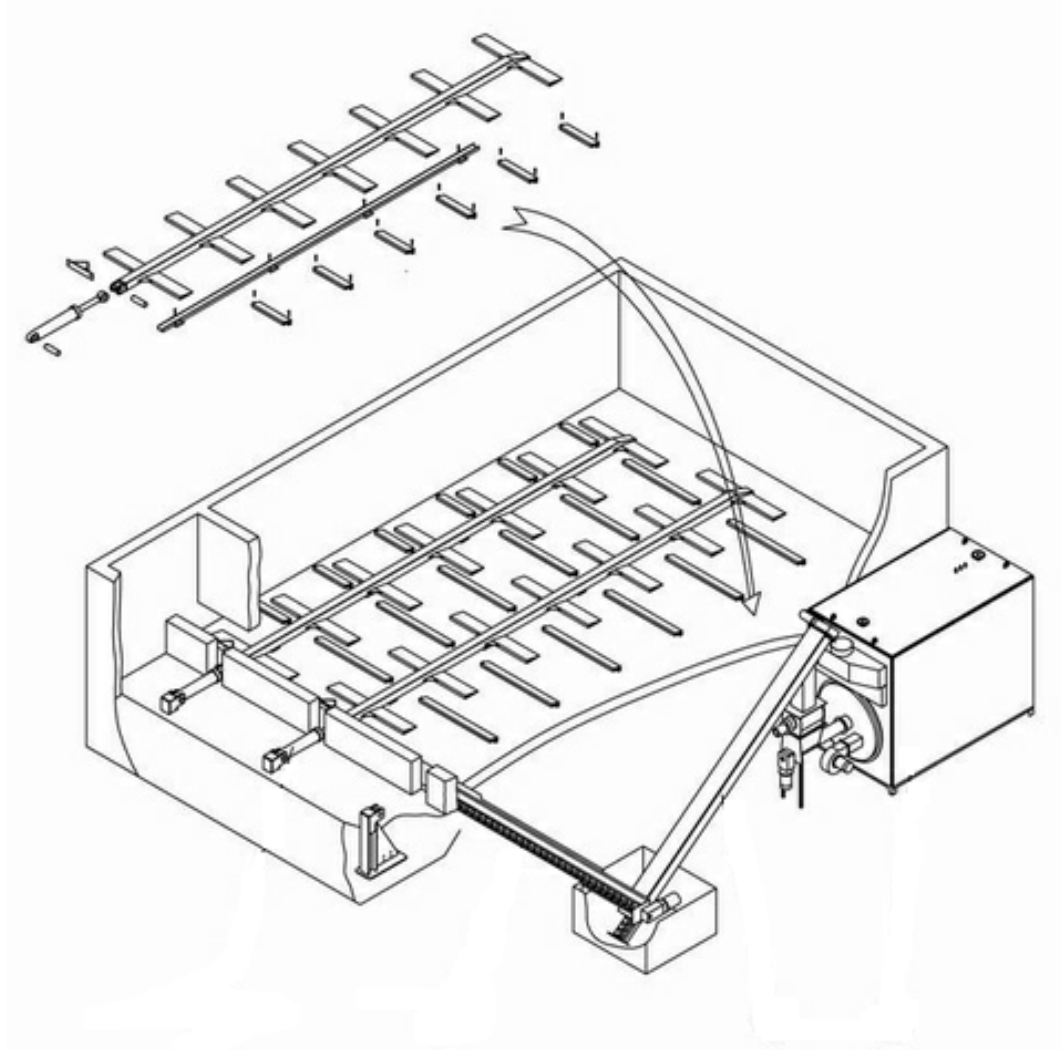
Σχήμα 3.6. Τυπική αποθήκη ενσιρώματος αραβοσίτου

Το ενσίρωμα πρέπει να τροφοδοτείται σε καθημερινή βάση στην μονάδα βιοαερίου. Η ημερήσια τροφοδοσία είναι 1,5 tn. Η τροφοδότηση γίνεται απλά ρίχνοντας την ποσότητα του ενσιρώματος μέσα στον τροφοδότη. Η μεταφορά του ενσιρώματος από την αποθήκη στον τροφοδότη γίνεται με οποιοδήποτε μέσο έχει στην διάθεση του ο ιδιοκτήτης και χειριστής της μονάδος. Από εδώ και πέρα ουσιαστικά το ενσίρωμα έχει μπει στην μονάδα βιοαερίου και έχει αρχίσει η επεξεργασία του.

### 3.4 Τροφοδότης

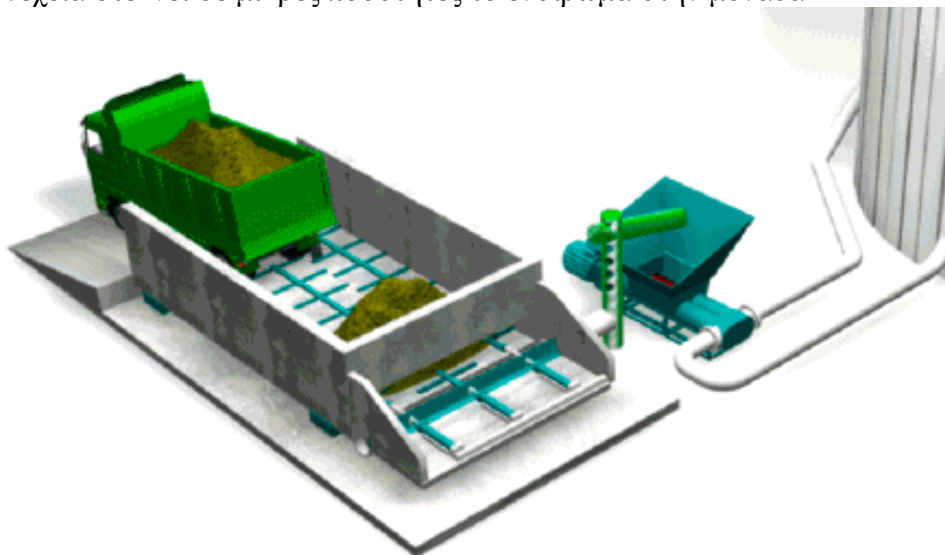
Ο τροφοδότης δεν είναι παρά είναι παρά ένα δοχείο συνήθως 10 m<sup>3</sup> το οποίο στη μια πλευρά του έχει άνοιγμα για να βγαίνει το ενσίρωμα καλαμποκιού. Στο κάτω μέρος του δοχείου υπάρχουν δυο ράγες οι οποίες κινούνται παλινδρομικά και σπρώχνουν με σταθερό ρυθμό το ενσίρωμα στο άνοιγμα του δοχείου, ώστε αυτό να διοχετευτεί για την περαιτέρω επεξεργασία του. Για να βοηθηθεί η έξοδος του ενσιρώματος το δοχείο έχει μια μικρή κλίση προς τη μεριά του ανοίγματος. Ο τροφοδότης αδειάζει συνήθως σε πέντε ώρες, δηλαδή 150 κιλά την ώρα. Το ενσίρωμα αδειάζεται στον αναμεικτήρα.

Στο σχήμα 3.7 φαίνεται σχηματικά η λειτουργία του τροφοδότη. Ξεχωρίζουν οι ράγες που βρίσκονται στο πάτωμα του τροφοδότη καθώς και ο μηχανισμός που κινεί παλινδρομικά τις ράγες. Οι ράγες στο έδαφος του τροφοδότη κινούνται παλινδρομικά σπρώχνοντας με σταθερό ρυθμό το ενσίρωμα προς την έξοδο.



Σχήμα 3.7. Σχεδιάγραμμα τροφοδότη.

Στο σχήμα 3.8 φαίνεται ένας τυπικός τροφοδότης όπου τροφοδοτείται από ένα φορτηγάκι και στην συνέχεια στέλνει σε μικρές ποσότητες το ενσίρωμα στην μονάδα



Σχήμα 3.8. Φόρτωση τροφοδότη από φορτηγό

Ο τροφοδότης αδειάζει προς τον αναμεικτήρα με ρυθμό π.χ. 150 kg ενσίρωματος ανά ώρα για 5 ώρες. Η απαιτούμενη ισχύς λειτουργίας του τροφοδότη αυτού είναι 5kW

Η συνολική ενέργεια που θα απαιτηθεί είναι  
 $5 \text{ h} \times 5\text{kW} = 25\text{kWh}$

### 3.5 Αναμεικτήρας

Ο αναμεικτήρας είναι ουσιαστικά ένα μίξερ το οποίο αναμιγνύει το ενσίρωμα καλαμποκιού με τα λύματα του χοιροστασίου. Οι αναμεικτήρες έχουν μια αντλία εφαρμοσμένη πάνω τους ώστε να στέλνουν εκεί που πρέπει το μείγμα. Ο αναμεικτήρας πρέπει να τροφοδοτείται ταυτόχρονα με τα λήμμα και το ενσίρωμα. Αν για κάποιο λόγο παύσει να τροφοδοτείται με λύματα και λειτουργεί μόνο με ενσίρωμα τότε θα φρακάρει και θα καταστραφεί. Επίσης τα λύματα πρέπει στο 90% του βάρους τους να περιέχουν υγρά (νερό, ούρα κτλ) αλλιώς θα πρέπει να συμπληρώνεται με νερό από εξωτερική πηγή πριν εισαχθεί στον αναμεικτήρα. Συνήθως για λόγους λειτουργικότητας του αποχετευτικού συστήματος η περιεκτικότητα σε υγρά είναι πολύ μεγαλύτερη οπότε δεν υπάρχει λόγος ανησυχίας για τα λύματα στα οποία το νερό ξεπερνά το 90%. Στο ενσίρωμα η περιεκτικότητα σε νερό είναι πολύ μικρότερη γύρω στο 60 με 80% αν το καλαμπόκι ήταν χλωρό όταν κόπηκε, αλλά στην περίπτωση που το καλαμπόκι κόβεται με το πέρας του καλοκαιριού, η περιεκτικότητα του σε υγρασία δεν ξεπερνά το 20%. Επομένως θα πρέπει να προστεθεί μια ποσότητα νερού ώστε το τελικό μείγμα να έχει περιεκτικότητα σε νερό άνω του 90%.

Η περιεκτικότητα των λυμάτων του χοιροστασίου σε νερό είναι περίπου 93%  
 Δηλαδή  $14.2 \text{ tn} \times 0,93 = 13,2 \text{ tn}$  νερού  
 Και ένας τόνος στερεών

Στο καλαμπόκι η περιεκτικότητα είναι 20%  
 Δηλαδή  $1,5 \text{ tn} \times 0,2 = 0,3 \text{ tn}$  νερού  
 και  $1,2 \text{ tn}$  στερεών

Το μείγμα θα αποτελείται από  $13,2 + 0,3 = 13,5 \text{ tn}$  νερού  
 και  $1 + 1,2 = 2,2 \text{ tn}$  στερεών

Η περιεκτικότητα επομένως σε νερό θα είναι  $\frac{\text{βάρος νερού}}{\text{συνολικό βάρος μείγματος}} \times 100\%$

Δηλαδή  $\frac{13,5}{13,5+2,2} \times 100\% = 86\%$

Δηλαδή είναι κάτω του κανονικού και επομένως πρέπει να προστεθεί νερό. Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ποσότητας νερού ώστε το μείγμα να έχει περιεκτικότητα 90% χρησιμοποιείται ο τυπος:

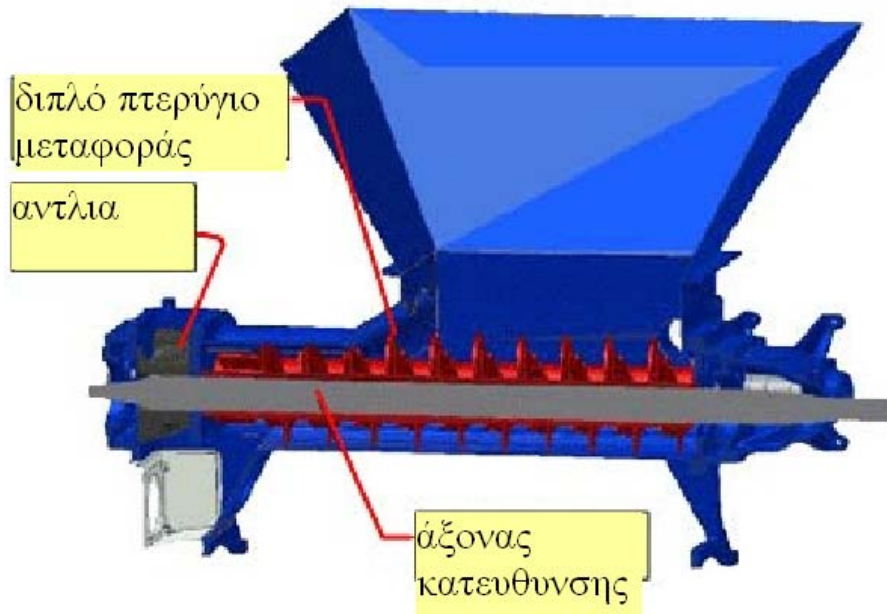
Συνολικό βάρος νερού =  $9 \times$  συνολικό βάρος στερεών

Άρα  $2,2 \times 9 = 19,8$  τόνοι νερού

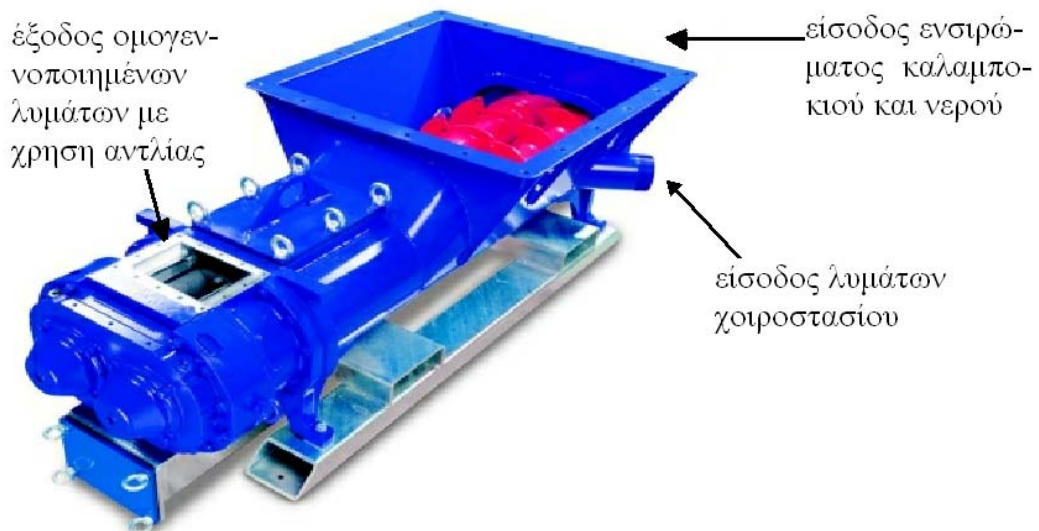
Επομένως στον αναμικτήρα προστίθεται 6,5 τόνοι νερού ώστε να αυξηθεί η περιεκτικότητα του ενσιρώματος, σε νερό, πάνω από 90%. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι το νερό προστίθεται για τους εξής λόγους:

- για να είναι δυνατή η άντληση του ενσιρώματος με υδραυλικές αντλίες
- για να είναι πιο εύκολη η ανάδευση του υποστρώματος στο βιοαντιδραστήρα
- για να διευκολύνονται οι μικροοργανισμοί στη βιοαποικοδόμηση

Στο σχήμα 3.9 φαίνεται η λειτουργία ενός αναμικτήρα με ενσωματωμένη υδραυλική αντλία



Σχήμα 3.9. Αναμικτήρας με αντλία από την Vogelsang



Σχήμα 3.10. Αναμικτήρας από την Vogelsang



Ο συγκεκριμένος αναμηκτήρας (QuickMix από την Vogelsang) έχει την ικανότητα με την περιστροφή των οδοντωτών πτερυγίων του να κομματιάζει τα τυχόν μεγάλα κομμάτια του ενσιρώματος, επιπλέον ομογενοποιεί το μείγμα λυμάτων, νερού και ενσιρώματος. Έπειτα με την ενσωματωμένη αντλία που έχει στέλνει στον βιοαντιδραστήρα το υπόστρωμα.

Ο αναμηκτηρας λειτουργεί για πέντε ώρες και στο διάστημα αυτό καταναλώνει 1.5 -4 kW , δηλαδή

$$5h \times 4 \text{ kW} = 20 \text{ kWh μέγιστη κατανάλωση}$$

Στον αναμηκτηρα είναι εφαρμοσμένη μια αντλία η οποία στέλνει το ομογενοποιημένο μείγμα μέσα στην πρώτη δεξαμενη αναερόβιας χώνευσης (βιοαντιδραστήρας)

### 3.6 1<sup>ος</sup> Βιοαντιδραστήρας

Μέσα στον βιοαντιδραστήρα λαμβάνει χώρα η αναερόβια βιοαποικοδόμηση των λυμάτων και η μετατροπή τους σε βιοαέριο. Ο βιοαντιδραστήρας είναι ουσιαστικά μια δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης κυλινδρικού σχήματος, στην περίπτωση μας, η οποία τροφοδοτείται με λύματα από μια αντλία και τα μετατρέπει σε βιοαέριο.

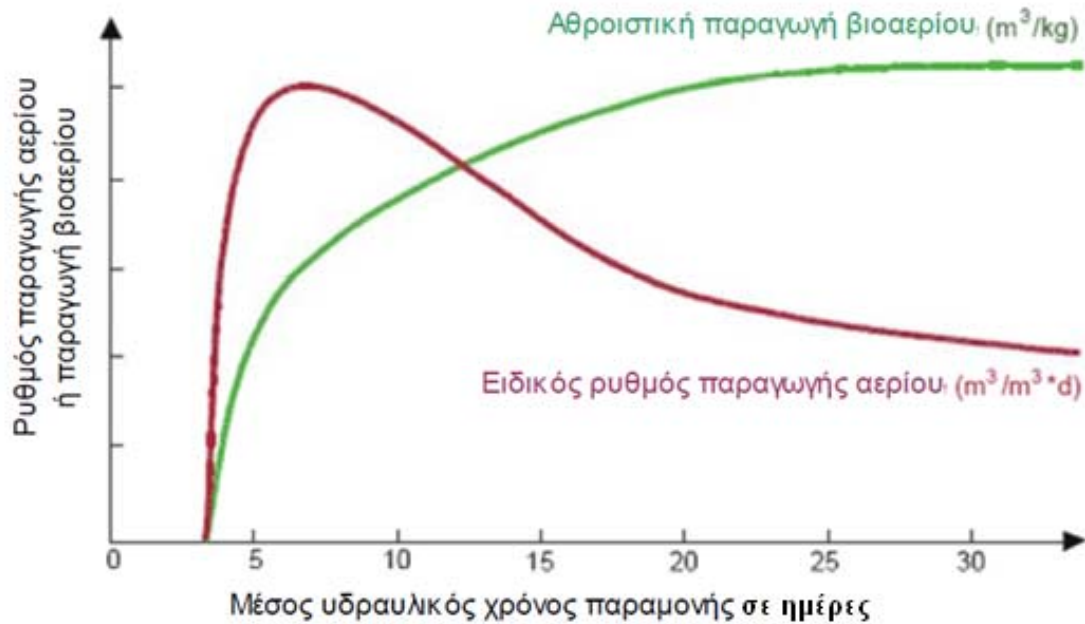
#### 3.6.1 Διαστασιολόγηση βιοαντιδραστήρα

Ο βιοαντιδραστήρας πρέπει να έχει ένα ομοιόμορφο σχήμα ώστε να γίνεται η ανάδευση και η θέρμανση του υποστρώματος όσο πιο ομοιόμορφα γίνεται. Το καλύτερο σχήμα για κάτι τέτοιο θα ήταν η σφαίρα αλλά λόγω κατασκευαστικών και λειτουργικών δυσκολιών κάτι τέτοιο είναι ανέφικτο γι' αυτό προτιμάται το κυλινδρικό σχήμα στις σύγχρονες μονάδες. Οι διαστάσεις του αντιδραστήρα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να χωράει όλο το υπόστρωμα με το οποίο τροφοδοτείται καθημερινά, για το συνολικό διάστημα παραμονής του υποστρώματος. Επομένως στον υπολογισμό του όγκου δύο είναι οι παράγοντες που τον καθορίζουν, η ημερήσια τροφοδοσία και ο χρόνος παραμονής μέχρι να ολοκληρωθεί ο κύκλος της αναερόβιας χώνευσης.

Στον αντιδραστήρα εισάγονται καθημερινά 14-15 tn λυμάτων χοιροστασίου, 1,5 tn ενσιρώματος καλαμποκιού και 6,5 tn νερού. Δηλαδή εισάγονται καθημερινά 22,5 tn υποστρώματος, το οποίο πριν περάσει στην επόμενη φάση επεξεργασίας πρέπει να παραμείνει μέσα στον αντιδραστήρα για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα

Αυτό το χρονικό διάστημα αντιστοιχεί στο χρόνο που χρειάζεται για να βιοδιασπασθεί πλήρως η οργανική ύλη στις αναερόβιες συνθήκες. Για τα λύματα του χοιροστασίου ο χρόνος είναι 40 μέρες ενώ για το ενσίρωμα του καλαμποκιού είναι 100 μέρες. Ως τελικό χρόνο λαμβάνουμε το χρόνο του υλικού που χρειάζεται το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για να βιοδιασπασθεί, δηλαδή του ενσιρώματος. Οι περισσότεροι μηχανικοί κατασκευής μονάδων βιοαερίου λαμβάνουν ως απαραίτητο χρόνο παραμονής του υποστρώματος το 80% του συνολικού χρόνου που απαιτείται για ολική βιοδιασπαση του υποστρώματος. Αυτό γίνεται γιατί, όπως θα δειχθεί και στο διάγραμμα του σχήματος 3.11, το βιοαέριο παράγεται με μεγαλύτερο ρυθμό το πρώτο μισό του συνολικού χρόνου και μετά ο ρυθμός μειώνεται μέχρι σταδιακά να εκμηδενιστεί. Για οικονομικούς λόγους το υπόστρωμα βιοδιασπάται μόνο στο διάστημα με τον μεγαλύτερο παραγωγικό ρυθμό βιοαερίου. Δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται

είναι 80 μέρες, και επειδή η μονάδα μας έχει 2 βιοαντιδραστήρες και επόμενος ο χρόνος μοιράζεται σε 40 μέρες στον κάθε βιοαντιδραστήρα.



Σχήμα 3.11. Διάγραμμα παραγωγής βιοαερίου σε σχέση με το χρόνο

Άρα οι συνολικός όγκος της μονάδας πρέπει να είναι

$$22,5 \text{ m}^3/\text{μέρα} \times 40 \text{ μέρες} = 900 \text{ m}^3$$

Επομένως οι απαιτήσεις σε όγκο είναι  $900 \text{ m}^3$ , θα προστεθεί όμως +10% για λειτουργικούς λόγους ανεβάζοντας τον όγκο του βιοαντιδραστήρα στα  $1000 \text{ m}^3$  συνολικά.

Για την διαστασιολόγηση πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η δεξαμενή πρέπει να έχει όσο πιο συγκεντρωτικό σχήμα γίνεται, αν ήταν εφικτό θα έπρεπε η διάμετρος να ισούταν με το ύψος. Το ύψος όμως για λόγους στατικότητας της τσιμεντοδομής του τοιχίου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 5 μέτρα, άρα το μόνο που μένει τώρα είναι να υπολογιστεί η διάμετρος με την βοήθεια του παρακάτω τύπου.

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

Όπου V ο όγκος,  $\pi = 3,1415$ , r η ακτίνα και h το ύψος

Επομένως προκύπτει ακτίνα

$$r = \sqrt{\frac{V}{h \times \pi}} = \sqrt{\frac{1000}{5 \times 3.1415}} = 8 \text{ m}$$

επόμενος ο βιοαντιδραστήρας έχει ύψος 5 m και διάμετρο 16 m

### 3.6.2 Κατασκευή δεξαμενής

Ο αντιδραστήρας κατασκευάζεται ως εξής:

Μόλις σκαφτούν τα θεμέλια της δεξαμενής τοποθετείται στο έδαφος ένα πλαστικό κάλυμμα ώστε να εμποδίζονται όποιες τυχόν διαρροές υγρών να καταλήγουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Από πάνω κατασκευάζεται η δεξαμενή από σκυρόδεμα με υψηλές αντοχές στην διάβρωση.



Σχήμα 3.12. Τσιμεντένια δεξαμενή αναερόβιου χωνευτήρα

Κατά την κατασκευή του σκυροδέματος δεν πρέπει να προστεθεί μεγάλη ποσότητα νερού στο τσιμέντο ώστε το σκυρόδεμα να είναι λιγότερο πορώδες και περισσότερο στεγανό. Επίσης κατά το «καλούπωμα» του τοιχίου το σκυρόδεμα πρέπει να «πρεσαριστεί» πολύ καλά ώστε να κατανεμηθεί ομοιόμορφα και να αποκτήσει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη πυκνότητα. Μόλις το σκυρόδεμα μπει στο καλούπι πρέπει να αφηθεί να στεγνώσει με αργούς ρυθμούς, συνιστάται μάλιστα να καλυφθεί και με έναν νάilon μουσαμά για επτά μέρες. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία της κατασκευής του πρέπει να αφηθεί αρκετό καιρό πριν χρησιμοποιηθεί ώστε να «δέσει» το σκυρόδεμα και να γίνει αρκετά ανθεκτικό. Για να προστατευθεί το σκυρόδεμα από την διάβρωση που προκαλούν τα οξέα η εσωτερική επιφάνεια της δεξαμενής καλύπτεται από πολυουρεθάνη. Η πολυουρεθάνη είναι ένα πολύ καλό μονωτικό υλικό και έχει υψηλές αντοχές έναντι των οξέων [12].

### 3.6.3 Κατασκευή οροφής

Η οροφή κατασκευάζεται από ξύλινους δοκούς οι οποίοι στηρίζονται σε μια μεταλλική ανοξείδωτη κολώνα που βρίσκεται στο κέντρο του βιοαντιδραστήρα



Σχήμα 3.13. Δείγμα ξύλινης οροφής βιοαντιδραστήρα



Σχήμα 3.14. Πανοραμική άποψη ενός βιοαντιδραστήρα με οροφή αποθήκευσης βιοαερίου

Επάνω στους ξύλινους δοκούς τοποθετείται ένα θερμομονωτικό στρώμα και έπειτα υπάρχει η μεμβράνη αποθήκευσης του βιοαερίου η οποία είναι κατασκευασμένη από υλικό PELD. Πάνω από αυτήν τη μεμβράνη υπάρχει άλλο ένα κάλυμμα από PVC το οποίο προστατεύει την μεμβράνη αποθήκευσης από την υπέρυθρη ακτινοβολία και τις κατακρημνίσεις (βροχή, χιόνι, χαλάζι κλπ). Ανάμεσα στο εξωτερικό κάλυμμα και στη μεμβράνη αποθήκευσης υπάρχει αέρας του οποίου και η ποσότητα ελέγχεται από μια αντλία αέρα.

### 3.6.4 Θέρμανση υποστρώματος στον βιοαντιδραστήρα και θερμομόνωση

Η θερμοκρασία του υποστρώματος είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για τη λειτουργία της μονάδας καθώς μια απότομη μεταβολή, όσο μικρή και αν είναι, μπορεί προκαλέσει την διακοπή της παραγωγής του βιοαερίου. Ούτε όμως και οι σταδιακές μεταβολές της θερμοκρασίας σε βάθος χρόνου είναι ευπρόσδεκτες από τους μικροοργανισμούς του υποστρώματος γιατί διαφορετικές ομάδες μικροοργανισμών αποδίδουν καλύτερα σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Επομένως, μια μεταβολή της θερμοκρασίας θα ευνοήσει μια ομάδα μικροοργανισμών αλλά θα δυσχεραίνει την ζωή της «κυριαρχούσας» μέχρι στιγμής ομάδας μικροοργανισμών με αποτέλεσμα να επηρεάζεται και η παραγωγή του βιοαερίου. Σε γενικές γραμμές οι μεταβολή της θερμοκρασίας που γίνεται ανεκτή από τους μικροοργανισμούς δεν πρέπει να ξεπερνάει ποτέ τους 2°C. Για τους μεσόφιλους μικροοργανισμούς που δραστηριοποιούνται στη μονάδα, η καλύτερη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 30-40°C, δηλαδή με μέσο όρο τους 35°C

Η θέρμανση του οργανικού υποστρώματος μέσα στο βιοαντιδραστήρα επιτυγχάνεται με σωληνώσεις οι οποίες διαρρέονται από θερμό νερό. Οι σωλήνες για λόγους ανθεκτικότητας είναι από ανοξείδωτο μέταλλο και εφαρμόζονται στο εσωτερικό τοιχίο του βιοαντιδραστήρα. Το θερμό νερό προέρχεται από την μηχανή συμπαραγωγής θερμού νερού και ηλεκτρικού ρεύματος (CHP). Οι σωλήνες τοποθετούνται από τη μέση του τοιχίου και κάτω ώστε η θερμότητα να διαχέεται ομοιόμορφα στο υπόστρωμα. Κατασκευή και εφαρμογή των σωληνώσεων θέρμανσης φαίνεται στο σχήμα 3.15.



Σχήμα 3.15. Σωλήνες θέρμανσης υποστρώματος στο τοιχίο του βιοαντιδραστήρα

Η εξωτερική πλευρά της δεξαμενής καλύπτεται με ένα θερμομονωτικό υλικό ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες της δεξαμενής. Συνήθως εφαρμόζονται θερμομονωτικές πλάκες φτιαγμένες από συνθετικά υλικά με θερμική αγωγιμότητα 0,032-0,035 W(m\*K) για θερμοκρασίες 0-30 °C [13].

Στην συνέχεια τοποθετείται λαμαρίνα σε ολόκληρη την εξωτερική επιφάνεια της δεξαμενής ώστε να προστατεύεται το μονωτικό υλικό από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Οι λαμαρίνες πρέπει να βαφτούν με μπογιά για προστασία από τις ακτίνες UV.

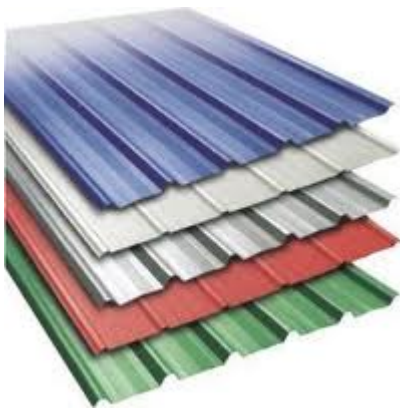
Για τη διατήρηση της σταθερής θερμοκρασίας του υποστρώματος χρησιμοποιούνται αισθητήρες θερμότητας οι οποίοι κάθε φορά που η θερμοκρασία του υποστρώματος πέφτει κάτω από τους 34,5 °C δίνει εντολή σε μια μικρή αντλία η οποία στέλνει θερμό νερό στις σωληνώσεις στα τοιχώματα του βιοαντιδραστήρα. Μόλις η θερμοκρασία φτάσει τους 35,5 βαθμούς °C τότε η αντλία σταματά να λειτουργεί

Τρεις είναι η παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη θερμοκρασία του υποστρώματος. Ο πρώτος είναι η θερμοκρασία που έχει το νερό με το οποίο είναι γεμάτος ο

βιοαντιδραστήρας κατά την έναρξη της λειτουργίας του. Αυτό το νερό πρέπει να θερμανθεί στους 35 °C. Έπειτα κάθε φορά που εισέρχεται καινούργια ποσότητα υποστρώματος στο βιοαντιδραστήρα, αυτή η ποσότητα είναι πιο κρύα από το υπόστρωμα γι' αυτό πρέπει να προσφέρεται μια μικρή ποσότητα θερμότητας στο βιοαντιδραστήρα ώστε να εξισορροπείται ξανά η θερμοκρασία. Τέλος από τα τοιχώματα, το πάτωμα και την οροφή υπάρχουν θερμικές απώλειες τις οποίες πρέπει να αντικατασταθούν προσφέροντας επιπλέον θερμότητα.



Σχήμα 3.16. Θερμομονωτικές πλάκες



Σχήμα 3.17. Λαμαρίνες κάλυψης εξωτερικής πλευράς βιοαντιδραστήρα.

Η θερμοχωρητικότητα του υποστρώματος είναι  $SU = 4.2 \text{ kJ/kg} \times ^\circ \text{C}$

Η θερμοκρασία του υποστρώματος που εισέρχεται καθημερινά στον βιοαντιδραστήρα εξαρτάται από της καιρικές συνθήκες. Για την μελέτη όμως η θερμοκρασία θα θεωρηθεί ότι έχει κατά μέσω όρο τιμή ίση με 15 °C. Η θερμοκρασία μέσα στο βιοαντιδραστήρα είναι 35 °C άρα έχουμε μια διαφορά θερμοκρασίας της τάξης των  $\Delta\theta SU = 20 ^\circ \text{C}$

Οι συντελεστές για την μεταφορά θερμότητας στο εσωτερικό του τοιχώματος του βιοαντιδραστήρα είναι  $(\alpha BR)_i = 4000 \text{ W/m}^2 \times ^\circ \text{C}$  και για το εξωτερικό του τοιχώματος είναι  $(\alpha BR)_a = 400 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$

Τώρα υπολογίζεται ο παράγοντας k

$$K_{BR} = 1/((\alpha_{BR})_i + \frac{s_{BR}}{\lambda_{BR}} + (\alpha_{BR})_a) = 1/(1/4000 + 0.1/0.033 + 1/400) = 0.33 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$$

Όπου  $\lambda_{BR}$  είναι η θερμική αγωγιμότητα του μονωτικού στα τοιχώματα του βιοαντιδραστήρα  $s_{BR}$  είναι το πάχος του μονωτικού όπου κατά κανόνα είναι 0,1 m.

Η χαμηλότερη θερμοκρασία που μπορεί να φθάσει στα πεδινά της Ελλάδος μέσα σε λογικά πλαίσια είναι  $0^\circ\text{C}$ , άρα η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας του υποστρώματος με το περιβάλλον είναι:

$$\Delta\theta_{BR} = \theta_{BR} - \theta_A = 35^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C} = 35^\circ\text{C}$$

Στο θερμαντικό μέσο (θερμό νερό) θα μειωθεί η θερμοκρασία του από  $\theta_{HE} = 70^\circ\text{C}$  στους  $\theta_{HA} = 60^\circ\text{C}$ , επομένως η διαφορά θερμοκρασίας θα είναι

$$\Delta\theta_H = \theta_{HE} - \theta_{HA} = 10^\circ\text{C}$$

Ο ρυθμός ροής του θερμαντικού μέσου, δηλαδή του θερμού νερού, πρέπει να είναι 1m/s. Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας για μέσα και έξω από τα τοιχώματα του σωλήνα που ρέει το θερμό νερό στον βιοαντιδραστήρα πρέπει να είναι περίπου η ίδια, δηλαδή  $(\alpha_H)_i = (\alpha_H)_a = 400 \text{ W/m}^2$

Υπολογίζεται τώρα ο παράγοντας  $k_H$  για τον θερμαντικό σωλήνα

$$k_H = 1/(1((\alpha_H)_i + (\alpha_H)_a) = 1/(1/400 + 1/400) = 200 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$$

Η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας στο βιοαντιδραστήρα ανάμεσα στο θερμαντικό μέσο και το υπόστρωμα είναι

$$\Delta\theta_{BH} = (\theta_{HE} + \theta_{HA})/2 - \theta_{BR} = 30^\circ\text{C}$$

Η απαιτούμενη θερμότητα που χρειάζεται κατά μέσο όρο για να θερμανθεί το υπόστρωμα είναι:

$$Q_{SU} = M_G \times c_{SU} \times \Delta\theta_{SU} = 22.5 \text{ Mg/d} \times 4.2 \text{ kJ/kg} \times ^\circ\text{C} \times 20\text{K} = 21.8 \text{ kW}$$

Όπου  $M_G$  είναι η ημερήσια παροχή υποστρώματος στο βιοαντιδραστήρα

Η συνολική επιφάνεια του υποστρώματος μέσα στον βιοαντιδραστήρα είναι

$$A_{BR} = \pi \times \Delta^2 / 4 + \pi \times \Delta \times Y = 3,14 \times (16\text{m})^2/4 + 3,14 \times 16\text{m} \times 5\text{m} = 450 \text{ m}^2$$

Όπου  $\Delta$  είναι διάμετρος και  $Y$  είναι το ύψος

Η απώλειες θερμότητας του βιοαντιδραστήρα είναι:

$$Q_{BR} = K_{BR} \times A_{BR} \times \Delta\theta_{BR} = 0.33 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C} \times 450 \text{ m}^2 \times 35^\circ\text{C} = 5.2 \text{ kW}$$

Άρα η ανώτερη συνολική απαιτούμενη θερμότητα που πρέπει να προσφέρουμε στον βιοαντιδραστήρα είναι

$$Q_V = Q_{BR} + Q_{SU} = 5.2 \text{ kW} + 21.8 \text{ kW} = 27 \text{ kW}$$

Η ροή του θερμού νερού για την θέρμανση του υποστρώματος πρέπει να είναι

$$V_w = Q_V / (c_w \times \rho_w \times \Delta\theta_H) = 27 \text{ kW} / (4.2 \text{ kJ/kg} \times ^\circ\text{C} \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 ^\circ\text{C}) = 6.42 \text{ m}^3/\text{h}$$

Διάμετρος του θερμαντικού σωλήνα

$$\Delta_{HR} = \sqrt{\frac{V_w}{V_H} \times 4/\pi} = \sqrt{\frac{6.42 \text{ m}^3/\text{h}}{1 \text{ m/s}} \times 4/\pi} = 0.047 \text{ m} \approx 0.05 \text{ m}$$

μήκος του θερμαντικού σωλήνα

$$M_{HR} = Q_V / (k_H \times \Delta\theta_{BH} \times \pi \times \Delta_{HR}) = 27 \text{ kW} / (200 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C} \times 30 ^\circ\text{C} \times \pi \times 0.05 \text{ m}) = 28 \text{ m}$$

Τα 28 m είναι το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος στην πραγματικότητα όμως χρησιμοποιείται πολύ μεγαλύτερο μήκος, έως και 10 φορές περισσότερο από το ελάχιστο απαιτούμενο.

### 3.6.5 Ανάδευση υποστρώματος

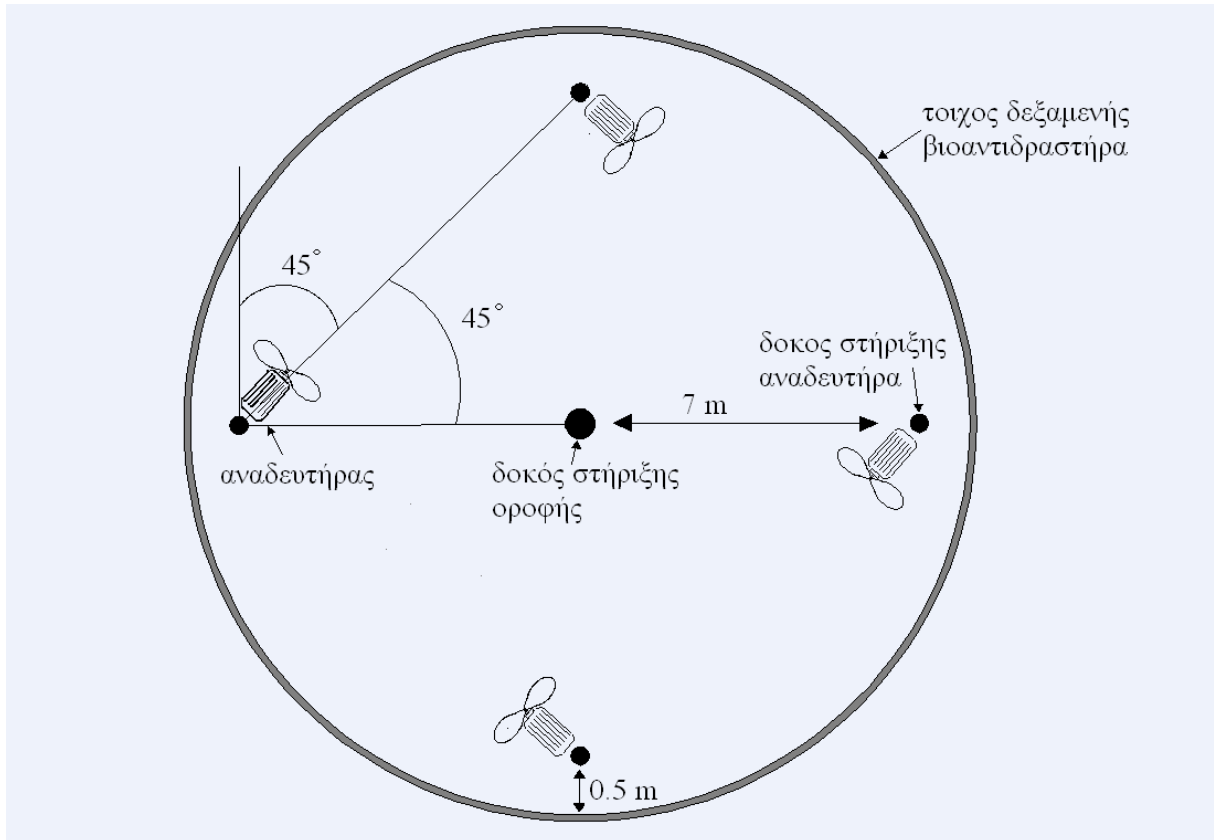
Για την καλύτερη και ταχύτερη βιοαποικοδόμηση του οργανικού υποστρώματος, τα λύματα που βρίσκονται μέσα στο βιοαντιδραστήρα πρέπει να αναδεύονται. Με την ανάδευση, επίσης, δεν δημιουργείται κρούστα στην επιφάνεια των λυμάτων. Η κρούστα εμποδίζει το βιοαέριο να απελευθερωθεί από τα λύματα και να κατευθυνθεί προς το χώρο αποθήκευσης βιοαερίου. Για την ανάδευση υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, στη μονάδα όμως για την οποία γίνεται η μελέτη θα χρησιμοποιηθούν υποβρύχιοι αναδευτήρες



Σχήμα 3.18. Τυπική εγκατάσταση υποβρύχιου αναδευτήρα

Οι υποβρύχιοι αναδευτήρες στηρίζονται συνήθως πάνω σε μια μεταλλικό δοκό και έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να περιστραφούν να ανέβουν και να κατέβουν. Συνήθως βρίσκονται στο κάτω μέρος όπου αναδεύουν τα λύματα, κατά περιόδους όμως ανεβαίνουν στην επιφάνεια όπου μπαίνουν σε λειτουργία προκειμένου να διαλύσουν την κρούστα που δημιουργείτε.





Σχήμα 3.19. Διάταξη υποβρύχιων αναδευτήρων μέσα στις δεξαμενές

Όπως φαίνεται και στο σχεδιάγραμμα οι αναδευτήρες τοποθετούνται συμμετρικά μεταξύ τους σε απόσταση 7 μέτρων από των κεντρικό δοκό στήριξης της οροφής

Οι αναδευτήρες λειτουργούν κατά την διάρκεια που ο βιοαντιδραστήρας τροφοδοτείται με νέο υπόστρωμα καθώς και μετά από 7 ώρες λειτουργούν ξανά για άλλες 5 ώρες. Επίσης κάθε 24 ώρες ανεβαίνουν στην επιφάνεια του υποστρώματος και λειτουργούν για μια ώρα ώστε να διαλυθεί η κρούστα που τυχόν θα εμφανιστεί στην επιφάνεια του υποστρώματος

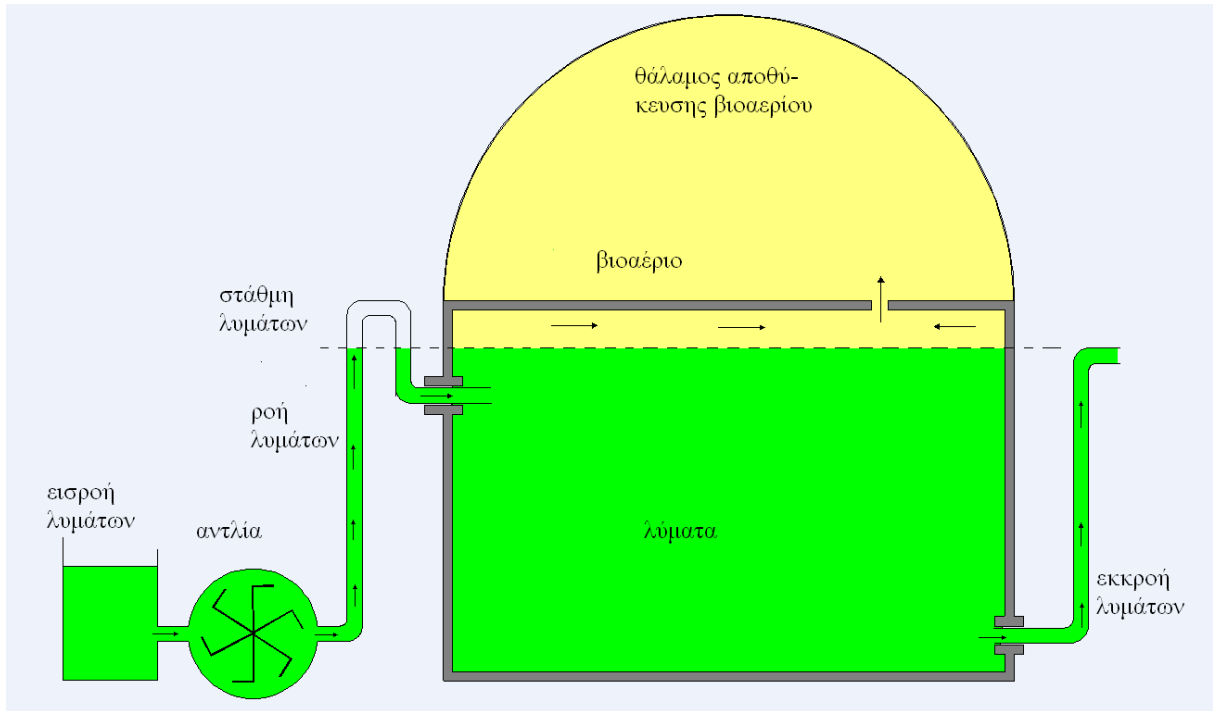
Οι αναδευτήρες λειτουργούν μόνο κάποιες συγκεκριμένες ώρες και όχι όλη την ημέρα, ο λόγος είναι για εξοικονόμησης ενέργειας καθώς ο κινητήρας κάθε αναδευτήρα καταναλώνει 1,5 kW.

Ο μέσος χρόνος λειτουργίας του κάθε ανά αναδευτήρα είναι 11 ώρες, άρα η ημερήσια κατανάλωση είναι:

$$11\text{h} \times 1.5\text{ kW} = 16.5\text{ kWh}$$

### 3.6.6 Έξοδος υπολειμμάτων

Για την έξοδο των λυμάτων από τον βιοαντιδραστήρα χρησιμοποιείται η μέθοδος των συγκοινωνούντων δοχείων. Μόλις γεμίσει πλήρως ο βιοαντιδραστήρας με κάθε επιπλέον φορτίο που του χορηγείται αποβάλλεται ποσότητα ίσου όγκου από την άλλη μεριά.



Σχήμα 3.20. Ροή των λυμάτων κατά την είσοδο τους και την έξοδο τους από τον βιοαντιδραστήρα

Όπως έχει αναφερθεί στην αρχή του κεφαλαίου, ο πρώτος βιοαντιδραστήρας έχει δυο εξόδους για το υπόστρωμα. Η μία έξοδος οδηγεί το υπόστρωμα στον δεύτερο βιοαντιδραστήρα και η άλλη έξοδος οδηγεί το υπόστρωμα κατευθείαν στη δεξαμενή αποθήκευσης υπολειμμάτων. Η δεύτερη έξοδος χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση που δεν λειτουργεί ο δεύτερος βιοαντιδραστήρας. Στην περίπτωση που χρειάζεται να αδειάσει πλήρως η δεξαμενή τότε χρησιμοποιούμε αντλία.

### 3.6.7 Εκκίνηση και λειτουργία βιοαντιδραστήρα

Ο βιοαντιδραστήρας κατά την εκκίνηση της λειτουργίας πρέπει να γεμίσει με νερό πριν δεχθεί την πρώτη ποσότητα υποστρώματος. Επίσης ο βιοαντιδραστήρας στην είσοδο του σωλήνα τροφοδότησης του υποστρώματος έχει ένα εφεδρικό σωλήνα ο οποίος παρακάμπτει τον πρώτο βιοαντιδραστήρα και στέλνει το υπόστρωμα κατευθείαν στον δεύτερο βιοαντιδραστήρα σε περίπτωση που για κάποιο λόγο δεν μπορεί να λειτουργήσει ο πρώτος. Στην ροή εξόδου του υποστρώματος υπάρχουν δύο σωλήνες. Ο πρώτος οδηγεί το υπόστρωμα στον δεύτερο βιοαντιδραστήρα και ο άλλος σωλήνας οδηγεί το υπόστρωμα κατευθείαν στην δεξαμενή αποθήκευσης υπολειμμάτων. Ο δεύτερος σωλήνας τίθεται σε λειτουργία μόνο αν ο δεύτερος βιοαντιδραστήρας δεν πρέπει για κάποιο λόγο να δεχθεί το υπόστρωμα που εξέρχεται από τον πρώτο

## 3.7 2<sup>ος</sup> Βιοαντιδραστήρας

Ο δεύτερος βιοαντιδραστήρας κατασκευάζεται και λειτουργεί ακριβώς με το ίδιο τρόπο με τον οποίο λειτουργεί και ο πρώτος και αποτελείται από τα ίδια μηχανικά εξαρτήματα με τα

οποία αποτελείται και ο πρώτος. Ο λόγος που υπάρχει είναι για να αποικοδομείται όση οργανική ύλη δεν αποικοδομήθηκε στον πρώτο βιοαντιδραστήρα. Τους θερινούς μήνες όπου η μονάδα λειτουργεί μόνο με τα λύματα του χοιροστασίου, τότε χρησιμοποιείται μόνο ο ένας βιοαντιδραστήρας και ο άλλος χρησιμοποιείται σαν εφεδρεία. Σε αυτό το σημείο ο ανενεργός βιοαντιδραστήρας συντηρείται και επιδιορθώνονται τυχόν βλάβες.

### 3.8 Δεξαμενή Αποθήκευσης Υπολειμμάτων

Με το πέρας της βιοαποικοδόμησης των λυμάτων και στους δύο βιοαντιδραστήρες τα υπολείμματα που απομένουν οδηγούνται σε μια άλλη δεξαμενή προς αποθήκευση. Τα υπολείμματα είναι πλούσια σε ανόργανα στοιχεία όπως φώσφορο, νάτριο κλπ. και για αυτό τον λόγο θεωρείται ως ένα άριστης ποιότητας βιολογικό λίπασμα το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στις καλλιέργειες αντικαθιστώντας τα τεχνητά λιπάσματα επιφέροντας έτσι στον ιδιοκτήτη της μονάδας βιοαερίου ένα επιπλέον εισόδημα. Μπορεί επίσης, αν αποξηραθεί, να χρησιμοποιηθεί σαν βελτιωτικό εδάφους

#### 3.8.1 Κατασκευή, λειτουργία και υπολογισμός διαστάσεων

Η κατασκευή της δεξαμενής αποθήκευσης είναι παρόμοια με την κατασκευή των βιοαντιδραστήρων καθώς εδώ συνεχίζεται η παραγωγή βιοαερίου. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν τσιμεντένιες δεξαμενές χωρίς σκέπαστρο ώστε να αερίζονται κανονικά, αργότερα όμως υπολογίστηκε ότι το 20% περίπου το βιοαερίου που θα απόδιδε συνολικά το αρχικό υπόστρωμα μπορεί να ανακτηθεί από την δεξαμενή αποθήκευσης υπολειμμάτων. Γι' αυτόν τον λόγο όλες οι σύγχρονες μονάδες παραγωγής βιοαερίου κατασκευάζουν αεροστεγής όλους τους αποθηκευτήρες. Επειδή εδώ όμως δεν μας ενδιαφέρει η αποδοτικότητα δεν χρησιμοποιούμε αναδευτήρες, εξοπλισμό θέρμανσης ή εξωτερική μόνωση. Στην οροφή της δεξαμενής όμως τοποθετείται η δεξαμενή αερίου διπλής μεμβράνης, όπως και στους βιοαντιδραστήρες, για να αποθηκεύεται το παραγόμενο βιοαέριο. Να σημειωθεί εδώ ότι το τοίχιο και η βάση κατασκευάζονται υδατοστεγή για να αποφεύγονται οι διαρροές

Για τον υπολογισμό των διαστάσεων πρώτα πρέπει να βρεθεί η απαιτούμενη χωρητικότητα της δεξαμενής η οποία βρίσκεται χρησιμοποιώντας των παρακάτω τύπο

$$V = L \times T_d$$

Όπου  $T_d$  είναι ο χρόνος σε μέρες που τα υπολείμματα παραμένουν στον αποθηκευτικό χώρο. Συνήθως αυτό το χρονικό διάστημα δεν ξεπέρνα ποτέ τους 6 μήνες οπότε και το  $T_d$  θα ισούται με 180 μέρες

Το  $L$  είναι το είναι ο όγκος της καθημερινά εισαγόμενης ποσότητας προς αποθήκευση. Το  $L$  δεν είναι σταθερό αλλά κυμαινόμενο, γιατί εξαρτάται από τις προεργασίες που έχουν είδη γίνει στους 2 βιοαντιδραστήρες, όμως επειδή η περίοδος 180 μερών είναι πολύ μεγάλη οι όποιες διακυμάνσεις αλληλο-εκμηδενίζονται οπότε και το  $L$  θεωρείται σταθερό. Για να υπολογιστεί το  $L$  πρέπει να ληφθεί υπόψη η ποσότητα του υποστρώματος που εισάγεται και να αφαιρεθεί η ποσότητα που αεριοποιείται.

Εισάγονται καθημερινά 1,5 τόνοι ενσιρώματος αραβοσίτου με 20% περίπου περιεκτικότητα σε νερό. Επομένως η αφυδατωμένη ύλη είναι:

$$1,5 \times 0,8 = 1,2 \text{ tn αφυδατωμένης ύλης}$$

Από το οποίο το 91% αποτελείται από οργανική ύλη η οποία γίνεται μεθάνιο και το υπόλοιπο 9% είναι μη οργανικό (μέταλλα, άλατα κλπ.) [18]

$$\begin{aligned} \text{Άρα } 1,2 \times 0,91 &= 1,092 \approx 1,1 \text{ tn οργανικής ύλης} \\ 1,2 \times 0,09 &= 0,108 \approx 0,1 \text{ tn μη οργανικής ύλης} \end{aligned}$$

Και

$$1,5 \times 0,2 = 0,3 \text{ tn νερού}$$

Επίσης εισάγονται καθημερινά 14,5 τόνοι υγρών λυμάτων χοιροστασίου τα όποια έχουν 90% με 96% περιεκτικότητα σε νερό, λαμβάνοντας ως μέσο όρο το 93% υπολογίζεται ακολούθως η αφυδατωμένη περιεκτικότητα σε οργανική ύλη

$$14,5 \times 0,07 = 1,015 \text{ tn αφυδατωμένης ύλης}$$

Από το οποίο το 75% αποτελείται από οργανική ύλη η οποία γίνεται μεθάνιο και το υπόλοιπο 25% είναι μη οργανικό (μέταλλα, άλατα κλπ.) [18]

$$\begin{aligned} \text{Άρα } 1,015 \times 0,75 &= 0,76125 \approx 0,75 \text{ tn οργανικής ύλης} \\ 1,015 \times 0,25 &= 0,25375 \approx 0,25 \text{ tn μη οργανικής ύλης} \end{aligned}$$

Και

$$14,5 \times 0,93 = 13,485 \text{ tn νερού}$$

Επομένως η συνολική ποσότητα της οργανικής ύλης που εισάγουμε καθημερινά είναι

$$0,75 + 1,1 = 1,85 \text{ tn}$$

Από αυτήν την ποσότητα μόνο το 80% περίπου αεριοποιείται κατά την διάρκεια της παραμονής στους δύο βιοαντιδραστήρες και το υπόλοιπο αποβάλλεται στην δεξαμενή αποθήκευσης το οποίο αριθμητικά είναι:

$$1,85 \times 0,2 = 0,37 \text{ tn}$$

Η συνολική ποσότητα της ανόργανης ύλης που εισάγεται καθημερινά είναι:

$$0,1 + 0,25 = 0,35 \text{ tn}$$

Όλο το υπόλοιπο είναι νερό μαζί με το νερό που προστίθεται στην αρχή για την ομαλή λειτουργία του βιοαντιδραστήρα, δηλαδή συνολικά 19,8 τόνοι νερού, περίπου, και το οποίο και δεν αεριοποιείται, αν και κάποια ποσότητα νερού γίνεται υγρασία η οποία είναι όμως τόσο μικρή που δεν λαμβάνεται υπόψη.

Επομένως η συνολική ποσότητα που οδηγείται καθημερινώς στην δεξαμενή αποθήκευσης υπολειμμάτων είναι:

$$19,8 \text{ tn νερού} + 0,37 \text{ tn οργανικής ύλης} + 0,35 \text{ tn ανόργανης ύλης} = 20,52 \text{ tn} \approx 20,5 \text{ tn}$$

Δηλαδή η συνολική ποσότητα όγκου που εισάγουμε καθημερινά είναι:

$$L = 20,5 \text{ m}^3/\text{μέρα}$$

Χρησιμοποιώντας αυτά τα στοιχεία που έχουμε μέχρι τώρα πάμε στην αρχική εξίσωση και αντικαθιστούμε για να βρούμε τον συνολικό όγκο που πρέπει να χωράει η δεξαμενή αποθήκευσης

$$V = L \times Td = 20,5 \text{ m}^3/\text{μέρα} \times 180 \text{ μέρες} = 3690 \text{ m}^3$$

Για λόγους λειτουργικότητας προστίθεται 10% σε όγκο, έτσι ο τελικός απαιτούμενος όγκος είναι:

$$V \times 1,1 = 3690 \times 1,1 = 4059 \text{ m}^3$$

Για τη διαστασιολογία τώρα της δεξαμενής αποθήκευσης θα χρησιμοποιηθεί ο παρακάτω τύπος

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

Όπου V είναι ο απαιτούμενος όγκος και τον οποίο τον έχουμε ήδη βρει  $V=4059 \text{ m}^3$

$\pi$  είναι η γνωστή σταθερά και ισούται με  $\pi=3,14159$

r είναι η ακτίνα

και h είναι το ύψος το οποίου για λόγος πρακτικότητας θα χρησιμοποιήσουμε το ίδιο ύψος με αυτό των βιοαντιδραστήρων, δηλαδή  $h=5\text{m}$

οπότε για να υπολογιστεί η ακτίνα αντικαθιστούνται τα νούμερα στον παραπάνω τύπο

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi \times h}} = \sqrt{\frac{4059 \text{ m}^3}{3,14159 \times 5 \text{ m}}} = 16,07 \text{ m} \approx 16 \text{ m}$$

επομένως η δεξαμενή θα έχει ύψος 5 μέτρα και διάμετρο 32 μέτρα.

### 3.9 Αποθήκευση Βιοαερίου

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η αποθήκευση του βιοαερίου γίνεται στις οροφές των βιοαντιδραστήρων και τις δεξαμενής απόθεσης υπολειμμάτων. Για την κατασκευή των αποθηκευτικών δεξαμενών αυτό που απασχολεί κυρίως είναι ο απαιτούμενος όγκος για την αποθήκευση του βιοαερίου, η πίεση του αερίου και οι αντοχές στα ατμοσφαιρικά φαινόμενα.

### 3.9.1 Προσδιορισμός χωρητικότητας αποθηκών βιοαερίου

Από την στιγμή που το βιοαέριο παράγεται συνεχώς, πρέπει και να αποθηκεύεται και ανάλογα με την χρήση που του γίνεται. Στην μονάδα για την οποία γίνεται η μελέτη το βιοαέριο χρησιμοποιείται απευθείας επομένως θεωρητικά δεν χρειάζεται να αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε μονάδες όπου το βιοαέριο χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το βιοαέριο αποθηκεύεται για 3-4 ώρες και αυτό γιατί η παραγωγή του βιοαερίου δεν είναι σταθερή αλλά ούτε και η απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια είναι σταθερή επομένως χρησιμοποιείται μια ποσότητα του βιοαερίου για να καλύπτει αυτές τις διακυμάνσεις.

Για να υπολογιστεί η χωρητικότητα που πρέπει να υπάρχει πρώτα υπολογίζεται η παραγωγή βιοαερίου ανά ώρα (η παραγωγή είναι σταθερή χωρίς επιπλοκές).

Εισάγονται καθημερινά 1,5 tn ενσιρώματος αραβοσίτου με απόδοση σε βιοαέριο 0,6 m<sup>3</sup>/kg στερεάς ύλης και 14,2 tn λυμάτων χοιροστασίου με απόδοση σε βιοαέριο 0,3 m<sup>3</sup>/kg έως 0,8 m<sup>3</sup>/kg στερεάς ύλης, λαμβάνουμε την μέση τιμή, 0,55 m<sup>3</sup>/kg στερεάς ύλης. Η στερεά (αφυδατωμένη) ύλη του ενσιρώματος είναι 1,2 tn και των χοιρολυμάτων είναι 1,015 tn.

Μόλις ολοκληρωθεί ο κύκλος της βιοαποικοδομησης, η ημερήσια παραγωγή βιοαερίου θα είναι:

$$(1200 \text{ kg αφυδατωμένου ενσιρώματος} \times 0,6 \text{ m}^3/\text{kg}) + (1015 \text{ kg αφυδατωμένων λυμάτων} \times 0,55 \text{ m}^3/\text{kg}) = 720 \text{ m}^3 + 558 \text{ m}^3 = 1278 \text{ m}^3 \approx 1280 \text{ m}^3$$

Άρα η ημερήσια παραγωγή είναι 1280 m<sup>3</sup>, επομένως η παραγωγή ανά ώρα είναι:

$$1280 \text{ m}^3/24 \text{ ώρες} = 53,3 \text{ m}^3/\text{ώρα}$$

Για να αποθηκευτεί το βιοαέριο για 4 ώρες πρέπει ο συνολικός αποθηκευτικός χώρος να είναι:

$$53,3 \text{ m}^3/\text{ώρα} \times 4 \text{ ώρες} = 213,3 \text{ m}^3$$

Οι αποθηκευτικοί χώροι είναι τρεις, οι δύο είναι πάνω στους δυο αντιδραστήρες και ο τρίτος είναι πάνω στην δεξαμενή αποθήκευσης, υπολειμμάτων. Αν τεθεί ως δεδομένο ότι το 20% του παραγόμενου βιοαερίου προέρχεται από την δεξαμενή αποθήκευσης των υπολειμμάτων τότε το υπόλοιπο 80% προέρχεται από τους δύο βιοαντιδραστήρες. Κατ' αυτόν τον τρόπο θα καθοριστούν και οι χωρητικότητες των τριών αποθηκών βιοαερίου.

Δηλαδή:

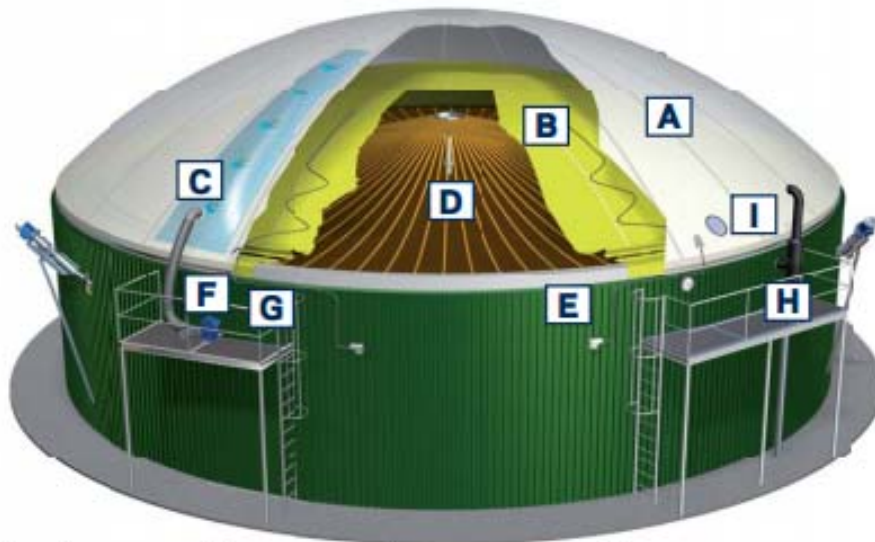
$$\text{Αποθήκη βιοαερίου 1}^{\text{ου}} \text{ βιοαντιδραστήρα } 213,33 \text{ m}^3 \times 0,4 = 85,33 \text{ m}^3$$

$$\text{Αποθήκη βιοαερίου 2}^{\text{ου}} \text{ βιοαντιδραστήρα } 213,33 \text{ m}^3 \times 0,4 = 85,33 \text{ m}^3$$

$$\text{Αποθήκη βιοαερίου δεξαμενής αποθήκευσης υπολειμμάτων } 213,33 \text{ m}^3 \times 0,2 = 42,6 \text{ m}^3$$

### 3.9.2 Λειτουργία αποθηκών βιοαερίου

Η αποθήκευση του βιοαερίου γίνεται σε ειδικές μεμβράνες οι οποίες βρίσκονται στην οροφή των δεξαμενών. Στο σχήμα 3.21 φαίνεται παραστατικά η λειτουργία αυτού του είδους οροφής.



A) εξωτερικό κάλυμα PVC B) εσωτερική μεμβράνη αποθηκευσης βιοαερίου C) σύστημα ροής αέρα D) διάταξη δοκών στήριξης E) ιαεροστεγής δακτύλιος F) βαλβίδα διατήρησης αέρα G) αντλία αέρα H) βαλβίδα ασφαλείας I) θυρίδα επιθεώρησης

Σχήμα 3.21. Αποθήκη βιοαερίου διπλής μεμβράνης

Ο αποθηκευτήρας που χρησιμοποιείται και στις τρεις δεξαμενές (2 βιοαντιδραστήρες, δεξαμενή αποθήκευσης υπολειμμάτων) είναι ο γνωστός αποθηκευτήρας διπλής μεμβράνης. Ονομάζεται έτσι γιατί αποτελείται από δύο μεμβράνες. Η εξωτερική μεμβράνη υπάρχει για να προστατεύει το σύστημα από τα καιρικά φαινόμενα. Η εξωτερική μεμβράνη με την εσωτερική μεμβράνη σχηματίζει ένα αεροστεγή θύλακα όπου εκεί μέσα υπάρχει αέρας. Ο αέρας εισέρχεται στον θύλακα με μια αεραντλία διατηρώντας την εξωτερική μεμβράνη «φουσκωμένη» δίνοντας της έτσι το σχήμα θόλου. Αυτό το σχήμα προστατεύει την εσωτερική μεμβράνη από τις κατακρημνίσεις. Επίσης ο αέρας στον θύλακα ασκεί μια πίεση στην εσωτερική μεμβράνη και έτσι υποβοηθείται το βιοαέριο να εξέρχεται από τον αποθηκευτήρα. Η εσωτερική μεμβράνη είναι που αποθηκεύει το βιοαέριο. ανάμεσα στην εσωτερική μεμβράνη και στην επιφάνεια του υποστρώματος δημιουργείται ένας θύλακας μέσα στον οποίο αποθηκεύεται το βιοαέριο. Το βιοαέριο εξέρχεται από ένα σωλήνα και κατευθύνεται έξω από τον αποθηκευτήρα προς ενεργειακή αξιοποίηση. Παράλληλα με τον σωλήνα εξόδου του βιοαερίου υπάρχει και ένας άλλος σωλήνας ο οποίος χρησιμεύει ως έξοδος κινδύνου για το βιοαέριο, όπου μέσω αυτού του σωλήνα το βιοαέριο οδηγείται σε ένα πυρσό ασφαλείας. Ο πυρσός ασφαλείας χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου το βιοαέριο δεν γίνεται να χρησιμοποιηθεί και προκειμένου να μην απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα καίγεται στον πυρσό. Επίσης στην εσωτερική μεμβράνη υπάρχει μια αεραντλία η οποία διοχετεύει ορισμένη ποσότητα οξυγόνου προκειμένου να μειωθούν τα ποσοστά του υδρόθειου στο

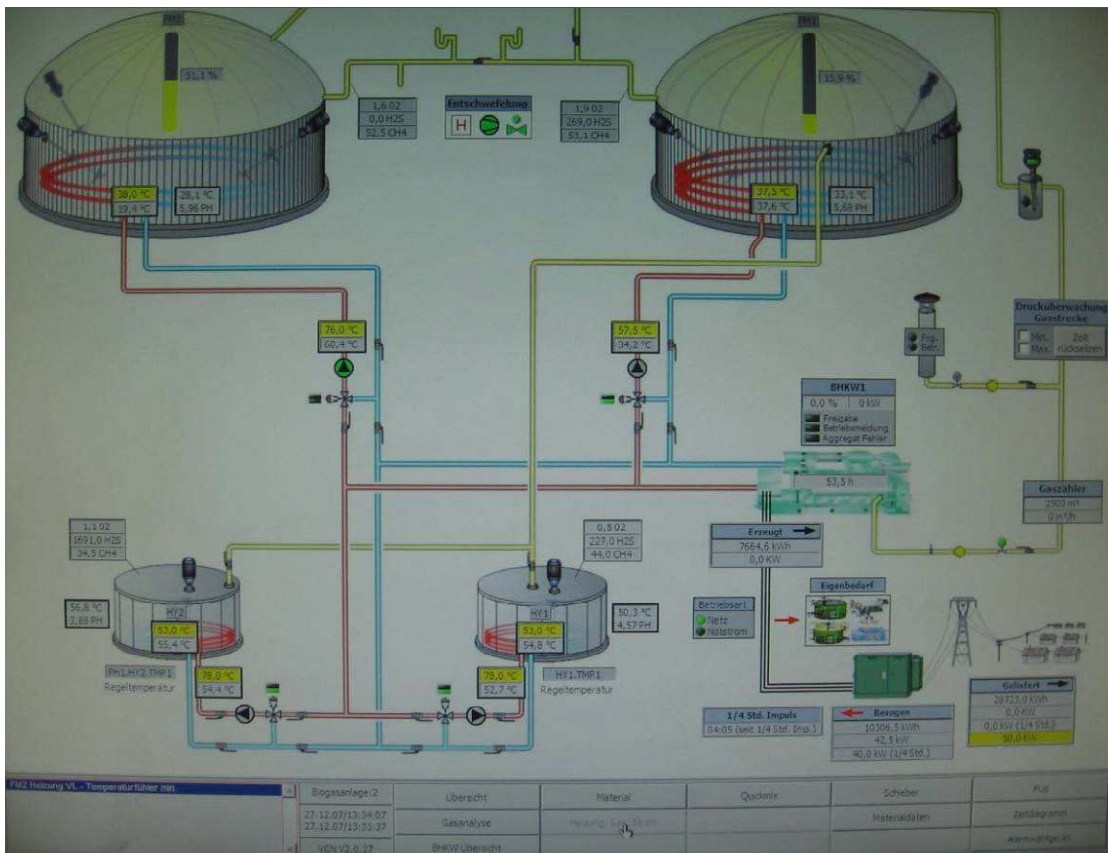
βιοαέριο. Η ποσότητα του ατμοσφαιρικού αέρα αντιστοιχεί στο 3 με 8 % του συνολικού όγκου του βιοαερίου.

### 3.10 Μονάδα Ελέγχου

Μια μονάδα βιοαερίου είναι μια πολύπλοκη εγκατάσταση με άμεσο αλληλοσυσχετισμό με όλα τα μέρη της. Για αυτό τον λόγο είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα ηλεκτρονικό κεντρικό σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου ώστε να αποφεύγονται τα σφάλματα κατά τη λειτουργία. Το κεντρικό σύστημα ελέγχου πρέπει να καταγράφει και να αποθηκεύει σε αρχεία, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, στοιχεία σχετικά με την λειτουργία της μονάδας, όπως την θερμοκρασία του βιοαντιδραστήρα ή την ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου.

Η διαδικασία της ηλεκτρονικής παρακολούθησης συμπεριλαμβάνει την συλλογή και ανάλυση χημικών και φυσικών παραμέτρων. Τακτοί εργαστηριακοί έλεγχοι απαιτούνται για να βελτιωθεί η βιοχημική διαδικασία και να αποφθεχθούν οι δυσλειτουργίες κατά την παραγωγή βιοαερίου. Οι ακόλουθοι παράμετροι πρέπει να ελέγχονται και να καταγράφονται:

- Τύπος και ποσότητα της εισερχόμενης πρώτης ύλης
- Θερμοκρασία
- Τιμή pH
- Ποσότητα και σύνθεση του βιοαερίου
- Περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα
- Στάθμη υποστρώματος



Σχήμα 3.22. Εικόνα από οθόνη ηλεκτρονικού υπολογιστή με πρόγραμμα για τον έλεγχο της λειτουργίας μιας μονάδας βιοαερίου [27]



Ο έλεγχος της μονάδας βιοαερίου τα τελευταία χρόνια όλο και πιο πολύ αυτοματοποιείται με την χρήση ειδικών υπολογιστικών συστημάτων. Χρησιμοποιούνται ακόμα και ασύρματα συστήματα έλεγχου. Τα μέρη της μονάδας τα οποία λειτουργούν με συστήματα αυτοματισμού είναι τα εξής:

- Σύστημα τροφοδοσίας πρώτης ύλης
- Σύστημα θέρμανσης βιοαντιδραστήρα
- Συχνότητα και ένταση συστήματος ανάδευσης
- Απομάκρυνση της κρούστα από την επιφάνεια του υποστρώματος
- Η ροή του υποστρώματος μέσα από τα διάφορα μέρη της μονάδος
- Η αποθείωση του βιοαερίου
- Η παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας

### 3.11 Παράμετροι ασφάλειας

Η κατασκευή και η λειτουργία μιας εγκατάστασης βιοαερίου συσχετίζονται με έναν αριθμό από σημαντικά ζητήματα ασφάλειας που, εάν δεν λαμβάνονται υπ' όψη, αντιπροσωπεύουν πιθανούς κινδύνους για τους ανθρώπους, τα ζώα και το περιβάλλον. Η λήψη των κατάλληλων προφυλάξεων και μέτρων ασφαλείας έχει ως σκοπό την αποφυγή οποιωνδήποτε κινδύνων και επικίνδυνων καταστάσεων, και συμβάλει στην εξασφάλιση μιας ασφαλούς λειτουργίας της εγκατάστασης. Η έγκριση της άδειας κατασκευής εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από την εκπλήρωση των σημαντικών ζητημάτων ασφάλειας και την λήψη καθαρά προληπτικών και ελέγχου των βλαβών μέτρων όπως:

- Πρόληψη έκρηξης.
- Πρόληψη πυρκαγιάς.
- Μηχανικοί κίνδυνοι.
- Στατικώς στερεή κατασκευή.
- Ηλεκτρική ασφάλεια.
- Αντικεραυνική προστασία.
- Θερμική ασφάλεια.
- Προστασία από εκπομπές θορύβου.
- Πρόληψη για ασφυξία, δηλητηρίαση.
- Υγιεινή και κτηνιατρική ασφάλεια.
- Αποφυγή των ρυπογόνων εκπομπών αερίων.
- Πρόληψη των διαρροών υπόγειων και επιφανειακών υδάτων.
- Αποφυγή της απελευθέρωσης ρύπων κατά τη διάρκεια της διάθεσης των αποβλήτων.
- Αντιπλημμυρική ασφάλεια.

#### 3.11.1 Πρόληψη πυρκαγιάς και έκρηξης

Υπό ορισμένες συνθήκες, το βιοαέριο σε συνδυασμό με τον αέρα μπορεί να διαμορφώσει ένα εκρηκτικό αέριο μίγμα. Ο κίνδυνος πυρκαγιάς και έκρηξης είναι ιδιαίτερα υψηλότερος κοντά στους χωνευτήρες και τις δεξαμενές αερίου. Επομένως, πρέπει να τηρούνται κατά τη διάρκεια της κατασκευής και λειτουργίας των εγκαταστάσεων βιοαερίου συγκεκριμένα μέτρα ασφάλειας. Ο πίνακας 3.2 και το σχήμα 3.23 συγκρίνουν το βιοαέριο και τα κύρια συστατικά

του με άλλα αέρια, όσον αφορά την ικανότητα έκρηξης. Και στις δύο περιπτώσεις, η μέση σύνθεση βιοαερίου είναι: Μεθάνιο 60 Vol.%, Διοξείδιο του άνθρακα 38 Vol.% και άλλα αέρια 2 Vol.%.

	Μονάδα	Βιοαέριο	Φυσικό αέριο	Προπάνιο	Μεθάνιο	Υδρογόνο
Θερμαντική αξία	kWh/m <sup>3</sup>	6	10	26	10	3
Πυκνότητα	kg/m <sup>3</sup>	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Αναλογία πυκνότητας του αερίου προς τον αέρα		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Θερμοκρασία ανάφλεξης	°C	700	650	470	600	585
Εύρος έκρηξης	Vol.-%	6 – 12	4,4 – 15	1,7 - 10,9	4,4 - 16,5	4 - 77

Πίνακας 2.1. Ιδιότητες των αερίων (INSTITUTE FOR ENERGETIC UND UMWELT GmbH, 2005)

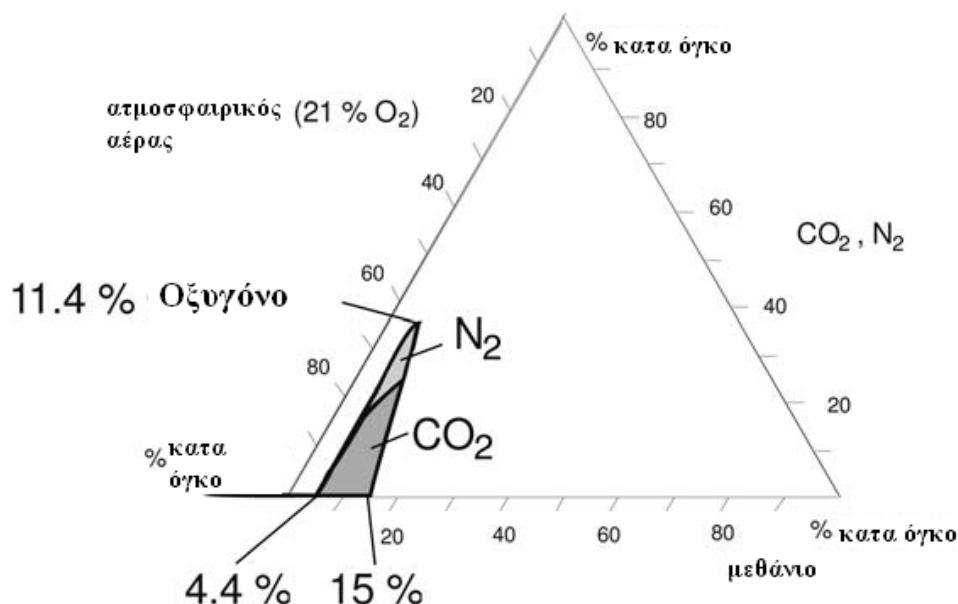
Στην Ευρώπη, τα μέτρα ασφαλείας κατά των εκρήξεων καθορίζονται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 1999/92/EC, και οι επικίνδυνες θέσεις ταξινομούνται σε ζώνες βάσει της συχνότητας και της διάρκειας εμφάνισης μιας εκρηκτικής ατμόσφαιρας.

#### Ζώνη 0

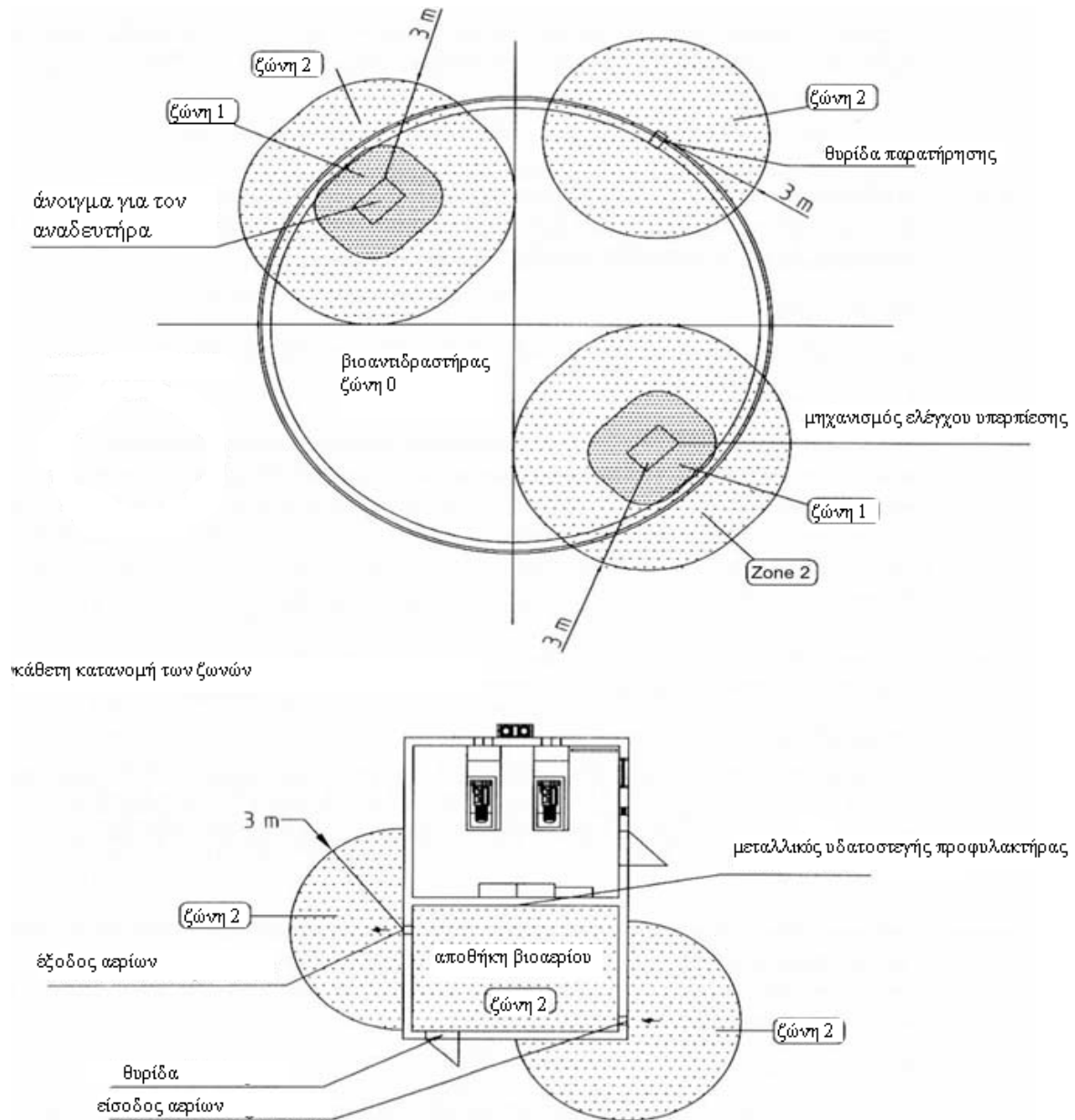
Μια θέση στην οποία είναι παρούσα συνεχώς μία εκρηκτική ατμόσφαιρα, αποτελούμενη από ένα μίγμα αέρα με εύφλεκτες ουσίες (αέριο, ατμός ή υδρονέφωση), για μεγάλες περιόδους ή πολύ συχνά. Αυτές οι ζώνες συνήθως δεν εμφανίζονται στις θέσεις των εγκαταστάσεων βιοαερίου.

#### Ζώνη 1

Μια θέση στην οποία είναι πιθανό να εμφανιστεί περιστασιακά μία εκρηκτική ατμόσφαιρα, αποτελούμενη από ένα μίγμα αέρα με εύφλεκτες ουσίες (αέριο, ατμός ή υδρονέφωση), σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας.



Σχήμα 3.23. Όριο έκρηξης στους 25 °C.



Σχήμα 3.24. Περιοχές με αυξημένο κίνδυνο έκρηξης σε μια μονάδα βιοαερίου Ζώνη 2

Μια θέση στην οποία μία εκρηκτική ατμόσφαιρα, αποτελούμενη από ένα μίγμα αέρα με εύφλεκτες ουσίες (αέριο, ατμό ή υδρονέφωση), δεν είναι πιθανό να εμφανιστεί σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, αλλά εάν εμφανιστεί, θα είναι μόνο για μια μικρή χρονική περίοδο.

Αν και, στις περιπτώσεις των εγκαταστάσεων βιοαερίου, οι εκρήξεις συμβαίνουν μόνο κάτω από ορισμένες συνθήκες, υπάρχει πάντα ο κίνδυνος πυρκαγιάς στην περίπτωση των ανοικτών φλογών, την ανάφλεξη των κυκλωμάτων των ηλεκτρικών συσκευών ή την πτώση κεραυνών.

Για να προστατευτεί η μονάδα από πυρκαγιά πρέπει να είναι εφοδιασμένη με 12 πυροσβεστήρες διάσπαρτους σε διάφορες νευραλγικές θέσεις, καθώς και τουλάχιστον μία πυροσβεστική μάνικα ικανή να εκτοξεύει 1600 λίτρα νερού ανά λεπτό για τουλάχιστον 2 ώρες

### 3.11.2 Κίνδυνοι δηλητηρίασης και ασφυξίας

Εάν το βιοαέριο εισπνέεται σε αρκετά υψηλή συγκέντρωση, μπορεί να οδηγήσει σε συμπτώματα δηλητηρίασης ή ασφυξίας, ακόμη και στο θάνατο. Ειδικότερα η παρουσία του υδρόθειου (H<sub>2</sub>S) σε μη-αποθειωμένο βιοαέριο μπορεί να είναι εξαιρετικά τοξική, ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις.

Συγκέντρωση (στον αέρα)	Επίδραση
0,03 – 0,15 ppm	Κατώτατο όριο αντήληψης (μυρωδιά κλούβιου αυγού)
15 – 75 ppm	Ερεθισμό των ματιών και των αναπνευστικών οδών, αδιαθεσία, εμετοί, πονοκέφαλοι
150 – 300 ppm (0,015 – 0,03 %)	Παράλυση των οσφρητικών νεύρων
> 375 ppm (0,038 %)	Θάνατος μέσω δηλητηρίασης (μετά από αρκετές ώρες)
> 750 ppm (0,075 %)	Absence και θάνατος μέσω αναπνευστικής αναχίτησης μέσα σε 30 με 60 λεπτά
από 1000 ppm (0,1 %)	Γρήγορος θάνατος μέσω αναπνευστικής παράλυσης σε λίγα λεπτά

Πίνακας 2.3, Τοξική επίδραση του υδρόθειου (INSTITUTE FOR ENERGETIC UND UMWELT GmbH, 2005)

Ειδικά σε κλειστούς χώρους με χαμηλή ανύψωση (π.χ. κελάρια, υπόγειες αίθουσες κλπ.) μπορεί να προκληθεί ασφυξία από την εκτόπιση του οξυγόνου από βιοαέριο. Το βιοαέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα, με μια σχετική πυκνότητα περίπου 1,2 kg ανά Nm<sup>3</sup>, αλλά έχει την τάση να διασπάται στα συστατικά του. Το διοξείδιο του άνθρακα, που είναι βαρύτερο (D = 1,85 kg/m<sup>3</sup>) βυθίζεται στις χαμηλότερες περιοχές ενώ το μεθάνιο, που είναι ελαφρύτερο (D = 0,72 kg/m<sup>3</sup>), ανέρχεται στην ατμόσφαιρα. Για τους λόγους αυτούς, σε κλειστούς χώρους πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις ώστε να διασφαλίζεται ικανοποιητικός εξαερισμός. Επιπλέον, πρέπει να φοριέται ο εξοπλισμός ασφάλειας (π.χ. συσκευές προειδοποίησης αερίου, προστασία αναπνοής κλπ.) κατά τη διάρκεια των εργασιών σε ενδεχομένως επικίνδυνες περιοχές.

### 3.11.3 Άλλοι κίνδυνοι

Εκτός από τους κινδύνους δηλητηρίασης και ασφυξίας, υπάρχουν και άλλοι πιθανοί κίνδυνοι σχετιζόμενοι με τις δραστηριότητες σε μία θέση παραγωγής βιοαερίου. Προκειμένου να αποφευχθούν αυτοί οι τύποι ατυχημάτων, πρέπει να τοποθετηθούν σαφείς προειδοποιήσεις στα αντίστοιχα μέρη της εγκατάστασης και πρέπει να εκπαιδευθεί κατάλληλα το προσωπικό λειτουργίας.

Άλλες πιθανές αιτίες ατυχημάτων περιλαμβάνουν τον κίνδυνο πτώσης από σκάλες ή μη καλυμμένες περιοχές (π.χ. χοάνες τροφοδοσίας, φρεάτια συντήρησης) ή τραυματισμού από τα κινητά μέρη της εγκατάστασης (π.χ. αναδευτήρες).

Εξοπλισμοί όπως οι αναδευτήρες, οι αντλίες, ο εξοπλισμός τροφοδοσίας χρησιμοποιούν ρεύμα υψηλής τάσης. Η μη σωστή λειτουργία αυτών ή ελαττώματα της μονάδας ΣΗΘ μπορούν να οδηγήσουν σε μοιραίες ηλεκτροπληξίες.

Επιπλέον, υπάρχουν επίσης κίνδυνοι καψίματος του δέρματος μέσω των συστημάτων θέρμανσης ή ψύξης των εγκαταστάσεων βιοαερίου (π.χ. ψύκτες των μηχανών, θέρμανση

χωνευτήρων, αντλίες θερμότητας). Αυτό ισχύει επίσης για μέρη της εγκατάστασης ΣΗΘ και για τον πυρσό αερίου[20], [21].

### 3.12 Σχετική νομοθεσία

#### 3.12.1 Κεφάλαιο I

Ειδικές απαιτήσεις για την έγκριση μονάδων παραγωγής βιοαερίου:

##### A) Χώροι

1) Εάν η μονάδα παραγωγής βιοαερίου βρίσκεται στο χώρο όπου φυλάσσονται ζώα εκτροφής, οι μονάδες πρέπει να είναι εγκατεστημένες σε επαρκή απόσταση από την περιοχή όπου εκτρέφονται τα ζώα και πρέπει οπωσδήποτε να υπάρχει πλήρης φυσικός διαχωρισμός της μονάδας από τα ζώα, τις τροφές τους και τη στρωμή τους, με περιφραγή εάν χρειαστεί. Η μονάδα παραγωγής βιοαερίου πρέπει να είναι εξοπλισμένη με :

α) μονάδα παστερίωσης / εξυγίανσης, η οποία δεν είναι δυνατόν να παρακαμφθεί με :

- i) εγκαταστάσεις παρακολούθησης της θερμοκρασίας ανά πάσα στιγμή,
- ii) μηχανήματα για τη συνεχή καταγραφή των αποτελεσμάτων αυτών των μετρήσεων, και
- iii) επαρκές σύστημα ασφαλείας για την πρόληψη της ανεπαρκούς θέρμανσης.

β) κατάλληλες εγκαταστάσεις καθαρισμού και απολύμανσης των οχημάτων και των περιεκτών κατά την έξοδό τους από τη μονάδα παραγωγής βιοαερίου.

Ωστόσο, η ύπαρξη μονάδας παστερίωσης / εξυγίανσης δεν είναι υποχρεωτική για τις μονάδες παραγωγής βιοαερίου, οι οποίες μετασχηματίζουν μόνον ζωικά υποπροϊόντα που έχουν υποβληθεί στη μέθοδο μεταποίησης 1.

Επιπλέον, η ύπαρξη μονάδας παστερίωσης / εξυγίανσης δεν είναι υποχρεωτική για τις μονάδες παραγωγής βιοαερίου, οι οποίες μετασχηματίζουν μόνον υλικό της κατηγορίας 3 το οποίο έχει υποβληθεί αλλού σε παστερίωση / εξυγίανση.

2) Κάθε μονάδα παραγωγής βιοαερίου πρέπει να έχει δικό της εργαστήριο ή να κάνει χρήση εξωτερικού εργαστηρίου. Το εργαστήριο πρέπει να είναι εξοπλισμένο για να διενεργεί τις απαιτούμενες αναλύσεις και να είναι εγκεκριμένο από την αρμόδια αρχή.

##### B) Υγειονομικές απαιτήσεις

3) Στις μονάδες παραγωγής βιοαερίου επιτρέπεται να μετασχηματίζονται μόνον τα εξής ζωικά υποπροϊόντα :

α) υλικά της κατηγορίας 2, με την εφαρμογή της μεθόδου μεταποίησης 1 σε μονάδα μεταποίησης υλικών της κατηγορίας 2,

β) κόπρος και περιεχόμενο του πεπτικού συστήματος χωρίς το πεπτικό σύστημα, γάλα και πρωτόγαλα, και

γ) υλικά της κατηγορίας 3.

Ωστόσο, τα υλικά που παράγονται από την επεξεργασία των υλικών της κατηγορίας 1 μπορεί να μεταποιηθούν σε μονάδα παραγωγής βιοαερίου, με τον όρο ότι η επεξεργασία πραγματοποιείται βάσει εναλλακτικής μεθόδου που έχει εγκριθεί σύμφωνα με το άρθρο 4 παράγραφος 2 στοιχείο ε) και, εκτός εάν ορίζεται διαφορετικά, η παραγωγή βιοαερίου αποτελεί τμήμα της εν λόγω εναλλακτικής μεθόδου και το παραγόμενο υλικό διατίθεται σύμφωνα με τους όρους που προβλέπονται για την εναλλακτική μέθοδο.

4) Τα ζωικά υποπροϊόντα που αναφέρονται στην παράγραφο 3 πρέπει να μεταποιούνται το συντομότερο δυνατό μετά την άφιξή τους, πρέπει δε να αποθηκεύονται υπό τις κατάλληλες συνθήκες μέχρις ότου υποβληθούν σε επεξεργασία.

5) Οι περιέκτες, τα δοχεία και τα οχήματα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μη επεξεργασμένου υλικού πρέπει να καθαρίζονται σε οριοθετημένο χώρο. Ο χώρος αυτός πρέπει να βρίσκεται ή να είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να αποτρέπεται ο κίνδυνος μόλυνσης επεξεργασμένων προϊόντων.

6) Πρέπει να λαμβάνονται συστηματικά μέτρα κατά των πτηνών, των τρωκτικών, των εντόμων ή άλλων παρασίτων. Για τον σκοπό αυτό, πρέπει να εφαρμόζεται τεκμηριωμένο πρόγραμμα καταπολέμησης των παρασίτων.

7) Οι διαδικασίες καθαρισμού πρέπει να καταγράφονται και να πραγματοποιούνται σε όλα τα τμήματα των εγκαταστάσεων. Για τον καθαρισμό πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλος εξοπλισμός και υλικά καθαρισμού.

8) Ο υγειονομικός έλεγχος πρέπει να περιλαμβάνει τακτικές επιθεωρήσεις του περιβάλλοντος χώρου και του εξοπλισμού. Τα προγράμματα και τα αποτελέσματα των επιθεωρήσεων πρέπει να καταχωρούνται σε έγγραφα.

9) Οι εγκαταστάσεις και ο εξοπλισμός πρέπει να συντηρούνται σε καλή κατάσταση και ο εξοπλισμός μέτρησης πρέπει να βαθμονομείται τακτικά.

10) Τα κατάλοιπα διάσπασης πρέπει να διακινούνται και να αποθηκεύονται στη μονάδα κατά τρόπο ώστε να αποτρέπεται η εκ νέου μόλυνση.

### **Γ) Κανόνες μεταποίησης**

11) Τα υλικά της κατηγορίας 3 τα οποία χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη σε μονάδα παραγωγής βιοαερίου εξοπλισμένη με μονάδα παστερίωσης / εξυγίανσης πρέπει να πληρούν τις εξής στοιχειώδεις απαιτήσεις :

α) μέγιστο μέγεθος των σωματιδίων πριν από την εισαγωγή τους στη μονάδα παστερίωσης / εξυγίανσης : 12 mm

β) ελάχιστη θερμοκρασία του υλικού στη μονάδα παστερίωσης / εξυγίανσης : 70° C

γ) ελάχιστος χρόνος αδιάκοπης παραμονής στη μονάδα παστερίωσης / εξυγίανσης : 60 λεπτά.

12) Εν αναμονή πάντως της θέσπισης κανόνων σύμφωνα με το άρθρο 6 παράγραφος 2 στοιχείο ζ) του κανονισμού 1774/2002/ΕΚ όταν το μόνο ζωικό υποπροϊόν που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη σε μονάδα βιοαερίου είναι υπολείμματα τροφίμων, η αρμόδια αρχή μπορεί να επιτρέψει τη χρήση ειδικών απαιτήσεων διαφορετικών από τις προβλεπόμενες στο παρόν κεφάλαιο, αρκεί να εξασφαλίζουν ισοδύναμο αποτέλεσμα όσον αφορά τη μείωση των παθογόνων παραγόντων. Οι ειδικές αυτές απαιτήσεις μπορούν επίσης να εφαρμόζονται σε υπολείμματα τροφίμων όταν είναι αναμεμιγμένα με κόπρος, περιεχόμενο του πεπτικού συστήματος που έχει αποχωριστεί από τον πεπτικό σωλήνα, γάλα και πρωτόγαλα με την προϋπόθεση ότι το τελικό υλικό θεωρείται υπόλειμμα τροφίμων.

Όταν τα μόνα υλικά ζωικής προέλευσης που υποβάλλονται σε επεξεργασία σε μονάδα βιοαερίου είναι η κόπρος, το περιεχόμενο του πεπτικού συστήματος χωρίς το πεπτικό σύστημα, το γάλα και το πρωτόγαλα, η αρμόδια αρχή μπορεί να επιτρέψει τη χρήση ειδικών απαιτήσεων διαφορετικών από τις προβλεπόμενες στο παρόν κεφάλαιο υπό την προϋπόθεση ότι :

- α) δεν θεωρεί ότι τα υλικά αυτά παρουσιάζουν κίνδυνο για την εξάπλωση σοβαρής μεταδοτικής νόσου,
- β) θεωρεί ότι τα κατάλοιπα ή το παραγόμενο λίπασμα είναι ανεπεξέργαστο υλικό.

#### **Δ) Κατάλοιπα διάσπασης**

13) Δείγματα των καταλοίπων διάσπασης που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια ή μετά το τέλος της αποθήκευσης στη μονάδα βιοαερίου πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες προδιαγραφές :

Salmonella : απουσία σε 25g : n=5, c=0, m=0, M=0

Enterobacteriaceae : n=5, c=2, m=10, M=300 σε 1g

Όπου :

n = αριθμός δειγμάτων προς δοκιμή,

m= κατώτατη τιμή για τον αριθμό των βακτηρίων. Το αποτέλεσμα θεωρείται ικανοποιητικό αν ο αριθμός βακτηρίων σε όλα τα δείγματα δεν υπερβαίνει το m,

M= μέγιστη τιμή για τον αριθμό βακτηρίων. Το αποτέλεσμα θεωρείται μη ικανοποιητικό αν ο αριθμός βακτηρίων σε ένα ή περισσότερα δείγματα είναι ίσος ή ανώτερος από M, και

c= αριθμός δειγμάτων στον οποίο ο αριθμός βακτηρίων μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ m και M. Το δείγμα θεωρείται αποδεκτό αν ο αριθμός βακτηρίων των άλλων δειγμάτων είναι ίσος ή κατώτερος από m.

### 3.12.2 Κεφάλαιο II

Επιθεωρήσεις και επίβλεψη

1) Η Νομαρχιακού επιπέδου κτηνιατρική αρχή πρέπει να επιβλέπει τις μονάδες παραγωγής βιοαερίου για να εξασφαλίζει την τήρηση των απαιτήσεων του Κανονισμού 1774/2002/ΕΚ, πρέπει δε συγκεκριμένα :

α) να ελέγχει :

- τους γενικούς όρους υγιεινής των εγκαταστάσεων, του εξοπλισμού και του προσωπικού,
- τις συνθήκες αποθήκευσης.

β) να διενεργεί όλους τους άλλους ελέγχους που κρίνει αναγκαίους για να εξασφαλίζεται η συμμόρφωση προς τις διατάξεις του καν. 1774/2002/ΕΚ.

2) Η δύναμη της παραγράφου 1 αρμόδια αρχή έχει ελεύθερη πρόσβαση ανά πάσα στιγμή σε όλα τα μέρη της μονάδας παραγωγής βιοαερίου και στα μητρώα, τα εμπορικά έγγραφα και τα υγειονομικά πιστοποιητικά, ώστε να μπορεί να ασκεί απρόσκοπτα τα καθήκοντά της.

### 3.12.3 Κεφάλαιο III

Οι μονάδες παραγωγής Βιοαερίου πρέπει να θεσπίζουν και να εφαρμόζουν μεθόδους παρακολούθησης και ελέγχου των κρίσιμων σημείων ελέγχου.



## 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ”

Η αξιοποίηση του βιοαερίου είναι το σημαντικότερο τμήμα σε μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου καθώς έτσι καθίσταται και οικονομικά βιώσιμη η εγκατάσταση. Οι κυριότερες από τις μεθόδους με τις οποίους χρησιμοποιείται το βιοαέριο αναφέρονται σε προηγούμενο κεφάλαιο. Με όποιο τρόπο χρησιμοποιηθεί το βιοαέριο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οποιαδήποτε στιγμή είναι εφικτό να αλλάξει η μέθοδος της αξιοποίησης καθώς η παραγωγή από την κατανάλωση είναι δύο σχετικά ανεξάρτητοι μεταξύ τους παράγοντες σε μια μονάδα βιοαερίου. Επομένως με όποιον τρόπο θα αξιοποιηθεί το βιοαέριο είναι στο χέρι του παραγωγού να αποφασίσει και αυτό γίνεται συνήθως με οικονομικά κριτήρια, και αυτό έχει να κάνει κυρίως με την ποσότητα της παραγωγής και με τις δυνατότητες αξιοποίησης που παρέχει η τοπική κοινωνία. Για να γίνει αυτό πιο κατανοητό θα εξεταστούν ορισμένες περιπτώσεις και θα αξιολογηθούν.

Σε μια μικρή οικιακή μονάδα βιοαερίου το βιοαέριο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο για μαγείρεμα και φωτισμό. Η εγκατάσταση αυτή αποτελείται από μια υπόγεια υδατοστεγή δεξαμενή εξοπλισμένη με τις κατάλληλες σωληνώσεις για τα λύματα και το βιοαέριο. Ουσιαστικά, γίνεται λόγος για ένα «τροποποιημένο βόθρο» όπου το επιπλέον κόστος που έχει σε σχέση με έναν απλό βόθρο που ούτως ή άλλως θα υπήρχε καλύπτεται από την εξοικονόμηση της ενέργειας από το φυσικό αέριο που θα χρησιμοποιούνταν στη θέση του βιοαερίου. Εδώ αν ο παραγωγός ήθελε να παράγει ηλεκτρική ενέργεια θα έπρεπε να συμφιλιωθεί με την ιδέα το κέρδος του δεν θα ξεπεράσει ποτέ το κόστος για την αγορά, την συντήρηση και λειτουργία του κινητήρα και της γεννήτριας.

Σε μιας μεσαίας κλίμακας μονάδας παραγωγής βιοαερίου το παραγόμενο αέριο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για οικιακή χρήση (μαγείρεμα και φωτισμό) αλλά εδώ η ποσότητα είναι αρκετά μεγαλύτερη για να μπορεί να καταναλωθεί μόνο από την οικία του παραγωγού επομένως θα πρέπει να τροφοδοτεί και άλλες οικίες. Εδώ όμως το πρόβλημα είναι ότι για να γίνει αυτή, είτε πρέπει να κατασκευαστεί ένα μικρό δίκτυο που θα τροφοδοτεί τα σπίτια της περιοχής ανεβάζοντας έτσι κατά πολύ το κόστος ή θα πρέπει να αναβαθμιστεί το βιοαέριο σε βιομεθάνιο και να τροφοδοτεί το δίκτυο του φυσικού αερίου κάτι που και πάλι καθιστά την εγκατάσταση οικονομικά μη βιώσιμη. Συνήθως σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται το βιοαέριο για συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού ή για την παραγωγή μόνο θερμότητας. Στην δεύτερη περίπτωση το κόστος είναι πολύ μικρό αλλά απαιτείται να υπάρχει στην περιοχή κάποιο μέρος που να απορροφά την παραγόμενη θερμότητα (π.χ. θερμοκήπιο, κτηριακά συγκροτήματα, δίκτυο τηλεθέρμανσης κτλ) αλλιώς ένα μεγάλο μέρος της παραγόμενης ενέργειας θα παραμένει αδιάθετο. Με την μέθοδο της συμπαραγωγής ( η πλέον διαδομένη), η οποία μπορεί να έχει ενεργειακή απόδοση έως και 88%, η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτείται στο δίκτυο και η υπόλοιπη θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για της ανάγκες της μονάδας ή για θέρμανση άλλων χώρων

Στις μεγάλες μονάδες λόγω της μεγάλης παραγωγής είναι εύκολο να καλυφτεί το κόστος των απαιτούμενων εγκαταστάσεων παρέχοντας έτσι περισσότερους τρόπους εκμετάλλευσης του βιοαερίου. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας όπου με την χρήση συστήματος τηλεθέρμανσης θα αναλάβει των κλιματισμό οικιών, κτηριακών

εγκαταστάσεων, θερμοκηπίων κλπ. που βρίσκονται κοντά στην μονάδα. Εδώ να σημειωθεί ότι και να μην υπάρχει εγκατεστημένο το απαραίτητο σύστημα τηλεθέρμανσης μπορεί να κατασκευαστεί καθώς το κόστος θα αποσβεστεί από την παραγωγή του βιοαερίου. Επίσης με τις κατάλληλες εγκαταστάσεις φιλτραρίσματος είναι εφικτό το βιοαέριο να καθαριστεί από τις υπόλοιπες χημικές ουσίες και να αναβαθμιστεί σε βιομεθάνιο τροφοδοτώντας το τοπικό δίκτυο φυσικού αερίου. Η τιμή όμως του βιομεθανίου πρέπει να προσυμφωνηθεί κατάλληλα ώστε να μπορεί να συναγωνιστεί το φθηνότερο, προς το παρόν, φυσικό αέριο. Το βιομεθάνιο μπορεί να συμπιεστεί κατάλληλα ώστε να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο κίνησης, μια πρακτική που εφαρμόζεται σε μεγάλο βαθμό στην Σουηδία. Η συμπίεση του βιομεθανίου είναι μια πολύ ενεργοβόρα διαδικασία σε αντίθεση με αυτήν την φυσικού αερίου καθιστώντας το βιομεθάνιο εξαιρετικά ακριβό, γι' αυτό και απαιτείται η στήριξη της πολιτείας ώστε να καταστεί οικονομικά βιώσιμο το βιομεθάνιο κίνησης έναντι του φυσικού αερίου κίνησης. Η πιο διαδομένη μέθοδο και σε αυτήν την περίπτωση είναι η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, είτε αυτό γίνεται με την χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης, αεροστρόβιλων ή κυψέλων καυσίμου. Το ηλεκτρικό ρεύμα τροφοδοτείται στο ηλεκτρικό δίκτυο, σε μια προσυμφωνημένη τιμή καθώς πρόκειται για ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, και η θερμότητα χρησιμοποιείται εν μέρει για τις ανάγκες της μονάδος και το πλεόνασμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον κλιματισμό χώρων των κοντινών κτιρίων, κατοικιών, θερμοκηπίων κλπ. αυτή η περίπτωση είναι η πιο εύκολη λειτουργικά και με καλή οικονομική απόδοση καθιστώντας έτσι την πιο δημοφιλή.

Στην περίπτωση της μονάδας για την οποία γίνεται η μελέτη και η οποία αντιστοιχεί σε μια μεσαίας κλίμακας μονάδα, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και συναθροίζοντας και τις συνθήκες στον ελλαδικό χώρο, ο προτιμώμενος τρόπος εκμετάλλευσης του βιοαερίου είναι η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Από όλους τους τύπους μηχανών συμπαραγωγής που υπάρχουν ο προτεινόμενος είναι ο τετράχρονος ντιζελοκινητήρας. Οι υπόλοιπες μηχανές απορρίπτονται για τους εξής λόγους:

-οι δίχρονοι κινητήρες δεν έχουν και τη καλύτερη φήμη για την διάρκεια ζωής τους. Επιπλέον συχνά χρησιμοποιούν λιπαντικά σε μίγμα με τα υγρά καύσιμα κάτι που κάνει αδύνατη τη χρήση αερίων καυσίμων.

-οι αεροστρόβιλοι απορρίπτονται λόγω του είναι ιδιαίτερα ακριβοί και είναι πολύ ευαίσθητοι στην λειτουργία και την συντήρηση.

-οι κινητήρες βανκελ απορρίπτονται λόγω της μη αξιοπιστίας τους και της διάρκειας ζωής.

-οι κυψέλες καυσίμου για την εγκατάσταση τους, την λειτουργία, την συντήρηση και την επιδιόρθωση βλαβών χρειάζονται ειδικευμένο προσωπικό που συχνά παρέχεται μόνο από την εταιρία άπου τις παρασκευάζει και τις πουλά, επομένως απορρίπτονται και αυτές.

#### **4.1 Λειτουργία μονάδας συμπαραγωγής θερμότητας-ηλεκτρισμού**

Μια μονάδα συμπαραγωγής θερμότητας-ηλεκτρισμού αποτελείται από μια μηχανή εσωτερικής καύσης και μια γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος, η θερμότητα προκύπτει από τις ενεργειακές απώλειες κατά την διάρκεια μετατροπής της χημικής ενέργειας σε δυναμική και κινητική. Μέχρι πριν από μερικές δεκαετίες τα συστήματα συμπαραγωγής θερμότητας-ηλεκτρισμού ήταν φτιαγμένα κυρίως χειροποίητα μετατρέποντας απλούς ντιζελοκινητήρες σε ντιζελοκινητήρες βιοαερίου τα οποία τα συνέδεαν με μια γεννήτρια και τον κινητήρα καθώς και την εξάτμιση με εναλλακτικές θερμότητας για την εξοικονόμηση ενέργειας. Με την

διεύρυνση της αγοράς εξαρτημάτων για μονάδες βιοαερίου πολλές εταιρίες άρχισαν να «πατεντάρουν» τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής οι οποίες σε ότι αφορά της μικρές και μεσαίες μονάδες βιοαερίου παράγονται μαζικά και διατίθενται στην αγορά, ενώ για μεγαλύτερες μονάδες κατασκευάζονται κατόπιν παραγγελίας. Παρόλο που υπάρχουν τυποποιημένες βιομηχανικά παραγόμενες μονάδες συμπαραγωγής. Υπάρχουν ακόμα ιδιώτες που κατασκευάζουν χειροποίητες σε περίπτωση που οι εξ βιομηχανίας προερχόμενες δεν πληρούν τις προϋποθέσεις. Το πλεονέκτημα των χειροποίητων είναι ότι δέχονται οποιαδήποτε τροποποίηση στη λειτουργία τους ενώ το πλεονέκτημα των βιομηχανικών είναι ότι έχουν λιγότερες βλάβες, έχουν μεγαλύτερη απόδοση και είναι πιο εύκολες στον χειρισμό. Είτε βιομηχανικές είτε χειροποίητες οι βασικές αρχές λειτουργίας τους είναι οι ίδιες και εξηγούνται παρακάτω.



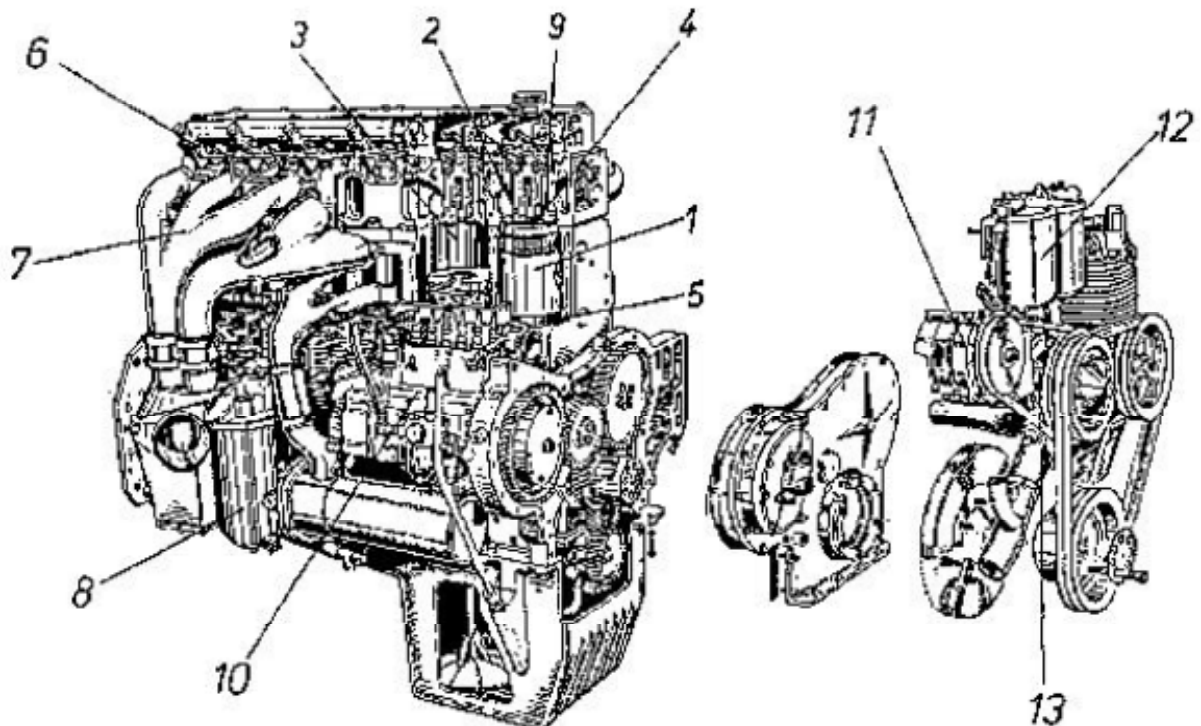
Σχήμα 4.1. Χειροποίητη μονάδα συμπαραγωγής

Το κύριο κομμάτι είναι ο κινητήρας ντίζελ. Στην πραγματικότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολύ κινητήρες αλλά εδώ θα αναφερθούμε στον τετράχρονο κινητήρα διπλού καυσίμου (ντίζελ – βιοαερίου). Στον συγκεκριμένη περίπτωση το βιοαέριο μαζί με μία ποσότητα αέρα απορροφάται και συμπιέζεται μέσα στον κινητήρα. Το μείγμα αυτό στην συνέχεια αναφλέγεται μαζί με καύσιμο ντίζελ το οποίο ψεκάζεται στον θάλαμο καύσης. Η ποσότητα ντίζελ που χρειάζεται για να γίνει σωστά η ανάφλεξη είναι γύρω στο 10% με 20% σε σχέση με την ποσότητα που θα χρειαζόταν για να λειτουργήσει μόνο με καύσιμο ντίζελ. Συνήθως η καλύτερη αναλογία είναι 20%, όσο παρακάτω είναι έχουμε υπερθέρμανση και επίσης μειώνεται η απόδοση και εάν πέσει κάτω από 10% τότε κατά πάσα πιθανότητα δεν θα έχουμε ανάφλεξη με αποτέλεσμα να σβήσει η μηχανή. Αν καταναλώνει παραπάνω από 20% ντίζελ τότε η μονάδα γίνεται μη οικονομική. Οι πιο πρόσφατες μονάδες έχουν περιορίσει αυτό το ποσοστό στο 2% και μάλιστα έχουν ως ανώτερο όριο το 10%. Πολλές φορές όταν η παραγωγή βιοαερίου είναι ανεπαρκής και η παραγωγή ενέργειας πρέπει να είναι σταθερή τότε αναγκάζομαστε να καταναλώνουμε περισσότερο καύσιμο ντίζελ, ακόμα ο κινητήρας ίσως και να χρειαστεί να λειτουργήσει μόνο με ντίζελ αν δεν υπάρχει διαθέσιμο βιοαέριο την συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Στην περίπτωση όμως που δεν υπάρχει απαίτηση για σταθερή παραγωγή ενέργειας αλλά ο παραγωγός προσφέρει όση ενέργεια μπορεί να παράξει τότε ο

κινητήρας καταναλώνει στο 20% ντίζελ ανάλογο με την παροχή βιοαερίου, και αν σταματήσει η παροχή βιοαερίου τότε ο κινητήρας απλά θα σταματήσει.



Σχήμα 4.2. Βιομηχανική μονάδα συμπαραγωγής



1 πιστόνι, 2 βαλβίδα εισαγωγής, 3 κύλινδρος, 4 θάλαμος ανάφλεξης, 5 μοχλός σύνδεσης, 6 μπεκ, 7 σωληνώσεις αναρρόφησης, 8 φίλτρο λαδιών, 9 βαλβίδα εξόδου, 10 αντλία έγχυσης, 11 εναλλακτήρας, 12 φίλτρο καυσίμων, 13 αντλία ψυγείου

Σχήμα 4.3. Κινητήρας ντίζελ

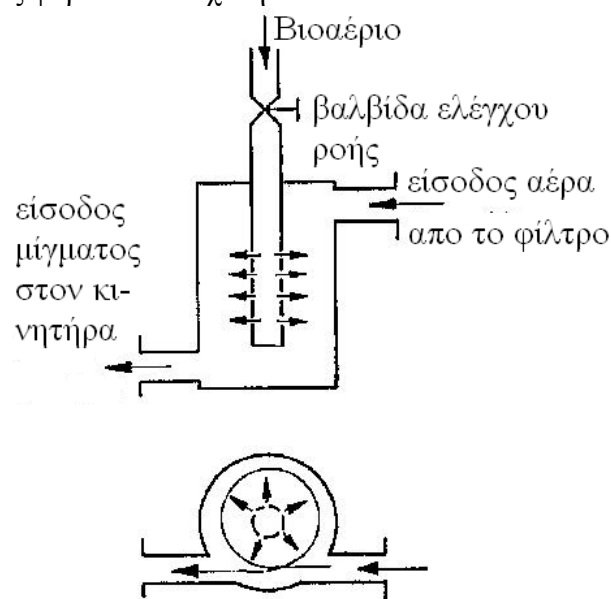
#### 4.1.1 Ανάμιξη αέρα- βιοαερίου

Προκειμένου να γίνει η ανάφλεξη των καυσίμων στον κινητήρα χρειάζεται μια ικανή ποσότητα οξυγόνου η οποία προέρχεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Ο αέρας που απορροφάται αναμειγνύεται μέσα σε ένα θάλαμο με το βιοαέριο. Ο μηχανισμός που είναι υπεύθυνος για την ανάμειξη αέρα-βιοαερίου αναλαμβάνει να διεκπεραιώσει τις παρακάτω διεργασίες:

-Να παρέχει ένα ομοιογενές μείγμα ατμοσφαιρικού αέρα και βιοαερίου.

-Να ρυθμίζει την ροή του καυσίμου αέριου μείγματος ανάλογα με της απαιτήσεις του κινητήρα.

-Να τροφοδοτεί τον κινητήρα με επαρκή οξυγόνο και βιοαέριο ώστε να μπορεί να λειτουργήσει με πλήρες φορτίο και ταχύτητα.



βαλβίδα ελέγχου ροής βιοαερίου

Σχήμα 4.4. Συσκευή ανάμιξης αέρα-βιοαερίου

Στο σχήμα 4.4 φαίνεται σε απλοποιημένη μορφή μια συσκευή ανάμειξης αέρα βιοαερίου. Ο αέρας περνάει πρώτα από ένα φίλτρο ώστε να είναι καθαρό από σκόνες και άλλα αιωρούμενα μικροσωματίδια. Ο σωλήνας που τροφοδοτεί το βιοαέριο έχει μια βαλβίδα που ελέγχει την ροή του αερίου.

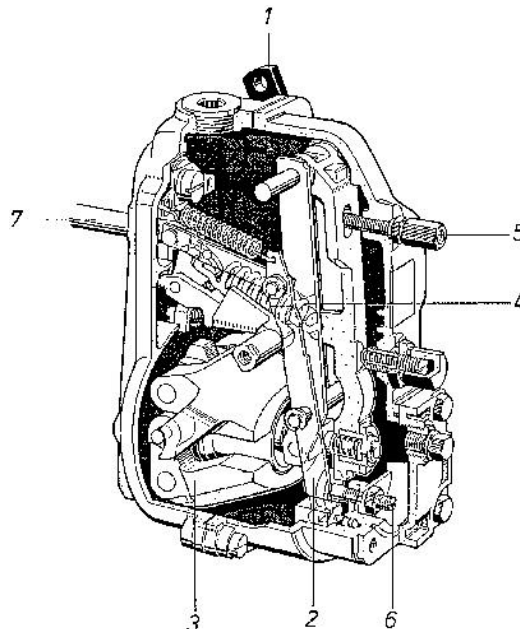
Για να προλάβει το μείγμα βιοαερίου-αέρα να αναμιχτεί καλά και να ομογενοποιηθεί στον κατάλληλο βαθμό πρέπει να υπάρχει ο ανάλογος χώρος μέσα στον θάλαμο ανάμιξης ώστε να έχει το χρόνο το μείγμα να ομογενοποιηθεί. Συνήθως αυτός ο χώρος είναι διπλάσιος από τον όγκο του θαλάμου καύσης των καυσίμων στον κινητήρα. Επίσης το σωληνάκι το οποίο συνδέει τον κινητήρα με τον θάλαμο ανάμιξης πρέπει να έχει τουλάχιστον διπλάσιο μήκος σε σχέση με την διάμετρο του.

Η αναλογία αέρα και βιοαερίου στο μείγμα ποικίλει ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας της μηχανής. Σε αναλογία 1 προς 1,5 βιοαέριο-αέρας δεν είναι ικανοποιητική γιατί δεν υπάρχει επαρκείς οξυγόνο. Σε αναλογία 1 προς 4 βιοαέριο-οξυγόνο η μηχανή θα λειτουργεί αλλά δεν

θα αποδίδει πλήρως γιατί το μείγμα θα είναι αδύναμο λόγω της μικρής περιεκτικότητας του σε αέριο καύσιμο. Επομένως η αναλογία πρέπει να κυμαίνεται από 1-1,5 έως 1-4.

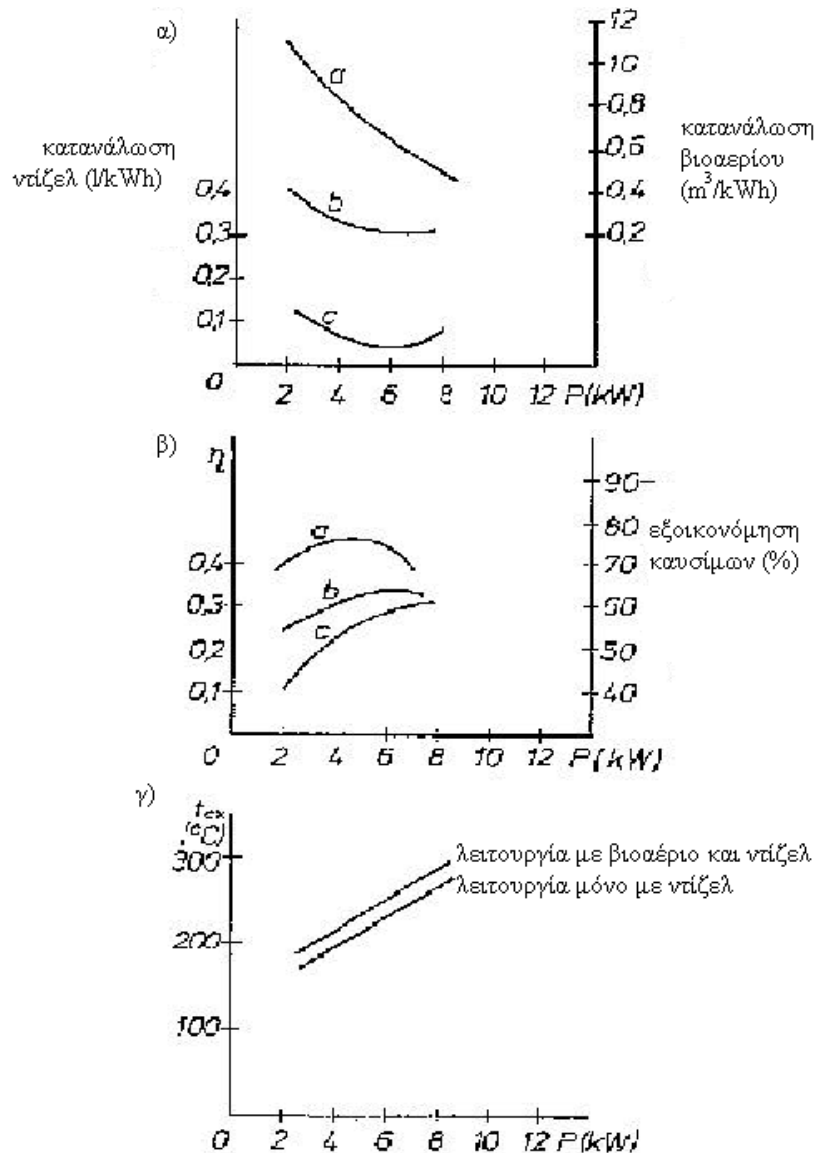
#### 4.1.2 Έλεγχος ροής βιοαερίου και καυσίμου ντίζελ

Η παραγωγή του βιοαερίου δεν είναι σταθερή και αυτό έχει επιπτώσεις στην λειτουργία του κινητήρα. Ο κινητήρας πρέπει να λειτουργεί με σταθερή ταχύτητα και ισχύ προκειμένου να παράγει ηλεκτρισμό, με σταθερή συχνότητα, η γεννήτρια. Αν για παράδειγμα μειωθεί η παραγωγή του βιοαερίου ή το βιοαέριο που παράγεται για κάποιο λόγο μειωθεί η περιεκτικότητά του σε μεθάνιο τότε προκειμένου να μην πέσει η απόδοση του κινητήρα πρέπει το καινό σε ενέργεια που αφήνει το βιοαέριο να καλύπτεται στον κινητήρα με περισσότερη έκχυση καυσίμου ντίζελ. Αν από την άλλη αρχίσει να παράγεται παραπάνω βιοαέριο τότε στον κινητήρα θα μειωθεί, αναλογικά η περιεκτικότητά του τελικού καυσίμου σε ντίζελ με αποτέλεσμα να σταματήσει να λειτουργεί ο κινητήρας, σε αυτήν την περίπτωση αυξάνουμε την ποσότητα του ντίζελ, αν πάλι δεν γίνεται να αυξήσουμε την ποσότητα ντίζελ τότε απλά περιορίζουμε την ποσότητα του εισερχόμενου βιοαερίου σε μικρότερες τιμές. Στην πραγματικότητα τέτοιες μεταβολές δεν είναι ποτέ απότομες και όποτε και αν συμβούν γίνονται με έναν σταδιακό και αργό ρυθμό, δεν παύουν όμως να είναι υπαρκτές και να προκαλούν προβλήματα στην λειτουργία της μηχανής συμπαραγωγής. Επίσης την ταχύτητα μπορεί να την επηρεάσει και το φορτίο. Αν το φορτίο αυξηθεί πρέπει να αυξήσουμε και την ισχύ του κινητήρα ενώ αν το φορτίο μειωθεί πρέπει να μειώσουμε την ισχύ ώστε να παραμείνει σταθερή η ταχύτητά του. Ο έλεγχος της ροής γίνεται με συσκευασίες αυτόματου ελέγχου οι οποίες είναι εγκατεστημένες στο σύστημα της μηχανής συμπαραγωγής. Αυτές οι συσκευές λειτουργούν αυτόματα καθώς είναι δύσκολο να υπάρχει ένας χειρίστης που να της ελέγχει 24 ώρες το 24ώρο, παρόλα αυτά έχουν και την ικανότητα να λειτουργούν και χειρονακτικά σε περίπτωση που ο χειρίστης θέλει για κάποιο λόγο να επέμβει στην λειτουργία.



1 μοχλός ελέγχου, 2 μοχλός συστήματος αυτόματου ελέγχου, 3 φυγόκεντρα βάρη, 4 κύριος ελατήριο συστήματος ελέγχου, 5 ρύθμιση ρελαντί, 6 ρύθμιση πλήρους φορτίου, 7 ράβδος ελέγχου της αντλίας ροής καυσίμου.

Σχήμα 4.5. Αυτόματη συσκευή ελέγχου για αντλία ροής ντίζελ καυσίμου από την BOSCH



Σχήμα 4.6. Διαγράμματα απόδοσης ενός μονοκύλινδρου κινητήρα με ταχύτητα περιστροφής  $n=1500$ /λεπτο

α) a Κατανάλωση βιοαερίου σε λειτουργία διπλού καυσίμου( ντίζελ και βιοαέριο), b κατανάλωση ντίζελ σε λειτουργία μονού καυσίμου (μόνο με ντίζελ), c κατανάλωση ντίζελ σε λειτουργία διπλού καυσίμου.

β) Εξοικονόμηση καυσίμου ντίζελ και απόδοση σε λειτουργία διπλού καυσίμου.

γ) Θερμοκρασία καυσαερίων στην εξάτμιση.

Η ροή του βιοαερίου ελέγχεται με μία βαλβίδα όπου μέσω ενός ηλεκτρονικού συστήματος ανοιγοκλείνει σε κατάλληλο βαθμό για την καλύτερη λειτουργία του κινητήρα. Τα συστήματα ελέγχου ροής μαζί με τους αυτοματισμούς τους είναι ενσωματωμένα στην μονάδα συμπαγωγής οπότε δεν χρειάζεται να γίνει παραπάνω λόγος για την λειτουργία τους.

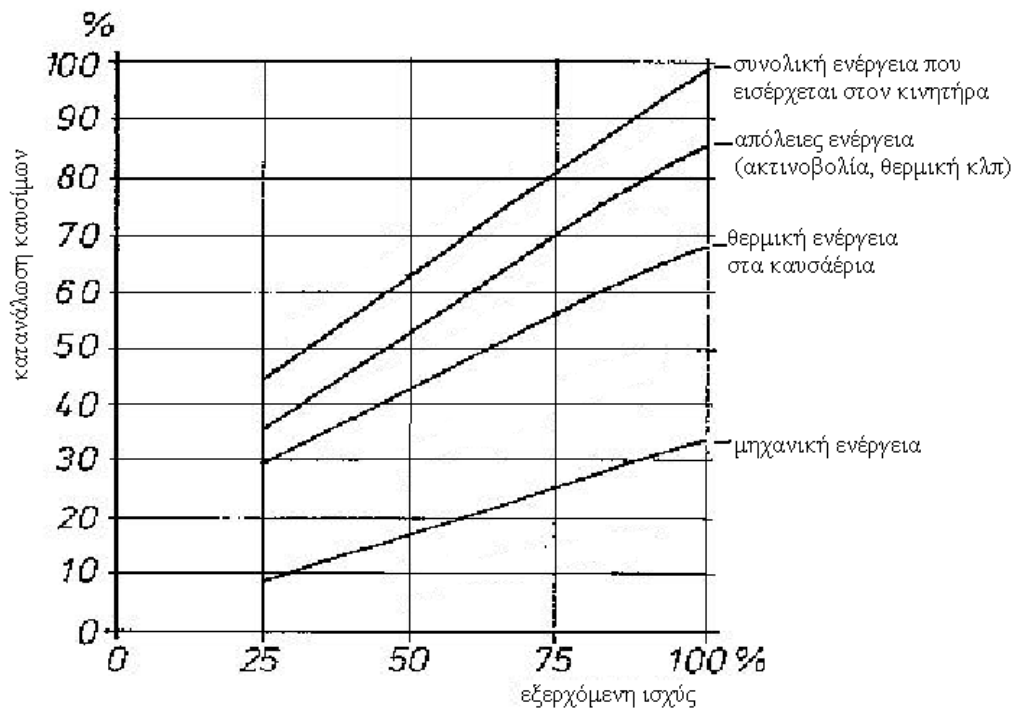
Σε ότι αφορά την απόδοση του κινητήρα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής. Οι σωληνώσεις στον κινητήρα πρέπει να έχουν της κατάλληλες διαστάσεις ώστε να περνάει επαρκής αέρας για να γίνεται ολοκληρωμένη η καύση και να αποδίδει ο κινητήρας. Η αναλογία είναι 1 προς 1,2-1,3 ντίζελ με αέρα. Όταν όμως ο κινητήρας λειτουργεί και με βιοαέριο, ποσοστό από τον αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα είναι πλέον βιοαέριο έτσι ο κινητήρας δέχεται λιγότερο οξυγόνο με αποτέλεσμα να μην αποδίδει πλήρως. Αυτό γίνεται αισθητό όταν ο κινητήρας

πρέπει να λειτουργήσει με μέγιστη ταχύτητα και ισχύ. Για χαμηλές και μεσαίες ταχύτητες όμως, η είσοδος του αέρα είναι επαρκής και έτσι η απόδοση του κινητήρα δεν είναι και ιδιαίτερα μικρότερη από ότι αν λειτουργούσε μόνο με καύσιμο ντίζελ.

Τα διαγράμματα του σχήματος 4.6 μας δείχνουν την απόδοση ενός μονοκύλινδρου κινητήρα. Παρατηρείται ότι σε υψηλές ταχύτητες η αντικατάσταση του καυσίμου ντίζελ από βιοαέριο μειώνεται με αποτέλεσμα ο αέρας να εκτοπίζεται από το βιοαέριο σε τέτοιο βαθμό ώστε να είναι αδύνατο να έχουμε πλήρης καύση των καυσίμων στον κινητήρα [15].

#### 4.1.3 Εκμετάλλευση της θερμότητας

Από την συνολική ενέργεια που παράγεται στον κινητήρα ένα 25% με 35% μετατρέπεται σε ηλεκτρική, το υπόλοιπο ποσό χάνεται στην ατμόσφαιρα σε μορφή θερμότητας. Με την συμπαραγωγή εκμεταλλευόμαστε αυτό το πλεόνασμα ενέργειας και έτσι η μηχανή πλέον έχει απόδοση 85% σε ηλεκτρισμό και θερμότητα. Η πιο σύγχρονες μηχανές συμπαραγωγής φτάνουν απόδοση 88%.



Σχήμα 4.7. Σχηματική κατανομή ενέργειας κινητήρα

Όταν πρόκειται για θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας αν χρησιμοποιηθεί λέβητας τότε η απόδοση του φτάνει το 85%, όσο περίπου είναι και η απόδοση μιας μηχανής συμπαραγωγής.

Δεν είναι δυνατή η πλήρη εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας του κινητήρα για δύο κυρίως λόγους. Τα καυσάερια πρέπει να εξέλθουν από τον εναλλακτήρα θερμότητας με θερμοκρασία άνω των 180 °C, σε χαμηλότερες θερμοκρασίες συμπυκνώνεται το υδρόθειο το οποίο σε συνδυασμό με την υγρασία γίνεται πολύ διαβρωτικό. Επίσης ένα μέρος της θερμότητας εκπέμπεται αναγκαστικά στον περιβάλλοντα χώρο, κάτι που δεν είναι αναγκαστικά κακό καθώς θερμαίνει τον χώρο στον οποίο βρίσκεται η μονάδα με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται άλλο θερμαντικό μέσο για τον χώρο.



Η θερμότητα που προέρχεται από τον κινητήρα και μπορεί να αξιοποιηθεί κατανέμεται ως εξής:

- Θερμότητα προερχόμενη από το νερό ψύξης του κινητήρα  
35% με θερμοκρασία άνω των 80 °C
- Θερμότητα προερχόμενη από τον αέρα ψύξης του κινητήρα  
35% με θερμοκρασία άνω των 50 °C
- Θερμότητα προερχόμενη από την εξάτμιση των καυσαερίων  
15% με θερμοκρασία άνω των 200 °C

Η θερμότητα την οποία μπορεί να απορροφήσει το ψυχρό σώμα στον εναλλακτήρα θερμότητας εξαρτάται από τον ρυθμό ροής του. Μια μικρή ποσότητα ροής νερού που ρέει μέσα από ένα εναλλακτήρα θερμότητας θα αποκτήσει υψηλότερη θερμοκρασία από μία μεγαλύτερη ποσότητα ροής νερού. Ο τύπος που δείχνει την θερμότητα που θα απορροφήσει ένα σώμα το οποίο ρέει μέσα από ένα εναλλάκτηρα θερμότητας δίνεται ως εξής:

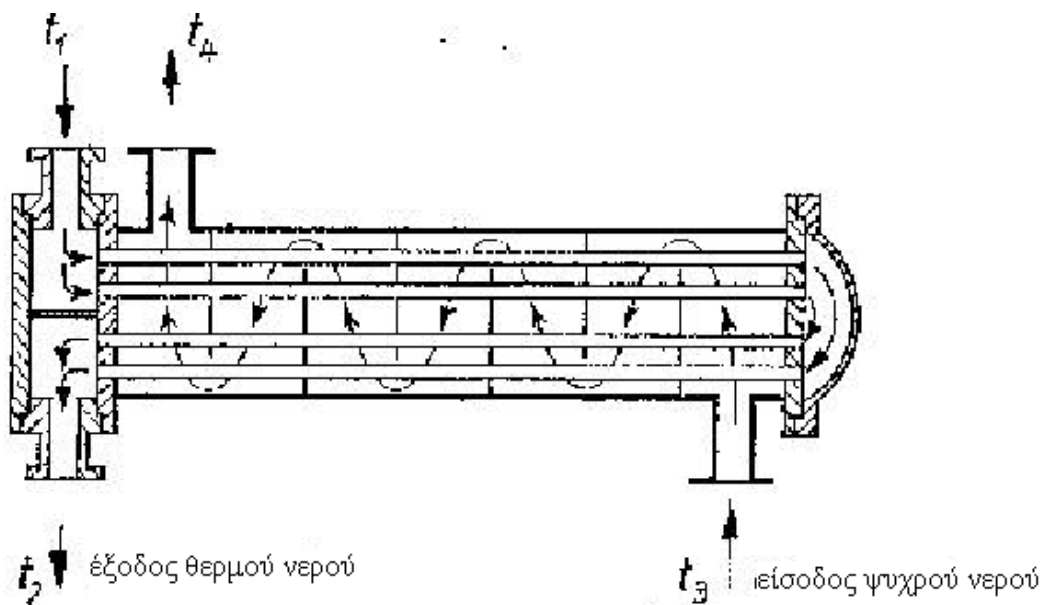
$$Q = m \cdot c_p \cdot D t \text{ (kJ/s)}$$

Όπου Q είναι η θερμότητα kJ/s

m ρυθμός ροής της μάζας του θερμαντικού μέσου kg/s

$c_p$  ειδική θερμότητα του μέσου kJ/kg·K

$D t = t_2 - t_1$  διαφορά θερμοκρασίας του θερμαντικού μέσου ανάμεσα στην είσοδο και στην έξοδο του από τον εναλλακτήρα θερμότητας



Σχήμα 4.8. Εναλλακτήρας θερμότητας

Στο σχήμα 4.8 φαίνεται το απλοποιημένο σχέδιο ενός εναλλάκτηρα θερμότητας όπου από την μία μεριά εισέρχεται ψυχρό νερό και ρέοντας μέσα στον εναλλακτήρα απορροφά θερμότητα με αποτέλεσμα να εξέρχεται θερμό.



Σχήμα 4.9. Μηχανή συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας

- 1) Διανομή θερμότητας και τομέας αντλιών συμπεριλαμβανομένου θερμικού εναλλακτηρα, δοχείο επέκτασης, μίξερ τριών διόδων, ολοκληρωμένη δεξαμενή λαδιού, και πάνελ διανομής ηλεκτρικού ρεύματος.
- 2) Κάτω μέρος της μονάδας που περιλαμβάνει σύστημα ανάκτησης θερμότητας από τα καυσαέρια και μηχανικά τμήματα για τον έλεγχο των αερίων.
- 3) Βελτιωμένος ψύκτης μεταξύ βαθμίδων συστήματος.
- 4) Βελτιστοποίηση ροής αερίου και βελτιωμένη βαλβίδα ροής αερίου για πιο αποτελεσματική αερογενής είσοδος.
- 5) Πλαϊνά πάνελ τα οποία αφαιρούνται εύκολα.
- 6) Στερεός σκελετός μονάδας.
- 7) Μηχανισμός απόσβεσης ταλαντώσεων σχεδιασμένος να ξεπερνάει το επίπεδο απόδοσης των συμβατικών μονωτήρων κραδασμών ελαστομερούς τύπου. Αγωγός συλλογής λιπαντικών λαδιών και διαφόρων υγρών.
- 8) Ελαστική σύζευξη κινητήρα – γεννήτριας.
- 9) Γεννήτρια με την ικανότητα να βελτιστοποιεί την συχνότητα.
- 10) Προσβάσιμο τερματικό κιβώτιο, συμπεριλαμβανομένου και τερματικού διακόπτη λειτουργία για εύκολη επανασύνδεση τάσης. Ψηφιακός αυτόματος ρυθμιστής
- 11) Σύστημα ανάμιξης βιοαερίου και αέρα.
- 12) Σύστημα φορτιστή υπερσυμπιεστή.
- 13) Θάλαμος φορτιστή.
- 14) Ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα ανάφλεξης με διάυλο σύνδεσης στο κέντρο ελέγχου. Γρήγορη ανίχνευση κραδασμών και μη φυσιολογικών συνθηκών που προήλθαν από μη λειτουργία του μπουζιού ή από αποτυχία ανάφλεξης του πηνίου.
- 15) Όλες η συνδέσεις κυκλοφορίας του νερού τοποθετούνται με κατεύθυνση προς τα πάνω για να αντλείται το νερό ευκολότερα.
- 16) Μίξερ για να ρυθμίζει το κύκλωμα επιστροφής της θερμοκρασίας .
- 17) Ηλεκτρική αντλία για την κυκλοφορία της θερμότητας.
- 18) Ηλεκτρική αντλία κυκλοφορίας για την μηχανή .
- 19) Αναμικτήρας για να ρυθμίζει την κυκλοφορία ψύξης του μείγματος αέρα καυσίμου.
- 20) Εισαγωγή αερίου με βαλβίδα ασφαλείας και βαλβίδα κλεισίματος .
- 21) Σωληνάριο βιοαερίου με σωματιδιακό φίλτρο, μανόμετρο, ρυθμιστή μηδενικής πίεσης και μετρητή αερίου.
- 22) Βαλβίδα διπλού μαγνήτη, ηλεκτρονικός ανιχνευτής διαρροής αερίου, ρυθμιστής πίεσης αερίου, αισθητήρας κενού αερίου ψηφιακά ελεγχόμενου από μικροεπεξεργαστή .

- 23) Κεντρικός σωλήνας αερίου.
- 24) Έξοδος εναλλακτήρα θερμότητας των καυσαερίων. Είναι φτιαγμένο από ανοξείδωτο ατσάλι ώστε να αντέχει στην διάβρωση που προκαλούν τα καυσαέρια .
- 25) Δοχείο διαστολής και διατήρησης ατμοσφαιρικής πίεσης ώστε το σύστημα ψύξης να απορρόφα την πλεονάζουσα πίεση του νερού η οποία προκαλείται λόγω της θερμικής διαστολής .
- 26) Εναλλακτήρας θερμότητας.
- 27) Ηλεκτρική αντλία κυκλοφορίας για το κύκλωμα θερμότητας.
- 28) Αναμικτήρας για να ρυθμίζει την κυκλοφορία της επείγουσας ψύξης.
- 29) Σωλήνωση και άντληση για το εισερχόμενο και εξερχόμενο νερό.

## 4.2 Επιλογή κατάλληλου συστήματος συμπαραγωγής

Όπως έχει προαναφερθεί οι μηχανές συμπαραγωγής (γνωστές ως CHP) που προορίζονται για μικρές και μεσαίες μονάδες βιοαερίου παράγονται με τυποποιημένα χαρακτηριστικά οπότε για κάθε τύπο μηχανής απαιτούνται κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας ώστε να αποδώσουν το βέλτιστο δυνατό. Επομένως πρώτα θα γίνει σαφές ποιές είναι οι παραγωγικές δυνατότητες της μονάδας σε βιοαέριο καθώς και η σύνθεση του. Έπειτα θα ξεκαθαριστεί ο τρόπος λειτουργίας της μηχανής συμπαραγωγής βάση των ενεργειακών απαιτήσεων και στην συνέχεια βασιζόμενη στα τεχνικά χαρακτηριστικά των μηχανών συμπαραγωγής που κυκλοφορούν στο εμπόριο θα επιλεγεί η κατάλληλη μηχανή για την μονάδα.

Η μέση ωριαία παραγωγή βιοαερίου της μονάδας είναι 53 m<sup>3</sup> βιοαερίου παραγόμενα από την χώνευση του ενσύρματος και των λυμάτων χοιροστασίου και 23 m<sup>3</sup> βιοαερίου από την χώνευση μόνο τον λυμάτων χοιροστασίου. Η μέση τιμή της ενεργειακής αξίας του βιοαερίου είναι περίπου 6 kWh/m<sup>3</sup>. Ο κινητήρας λειτουργεί επίσης και με καύσιμο ντίζελ του οποίου η ενεργειακή αξία είναι 10 kWh/kg. Οι παλαιότεροι κινητήρες διπλού καυσίμου χρειάζονταν έως και 15% με 20% της συνολικής κατανάλωσης σε ντίζελ, οι πιο σύγχρονοι μπορούν να λειτουργήσουν ακόμα και με 2% περιεκτικότητα σε καύσιμο ντίζελ. Ως μέση κατανάλωση θα ληφθεί 10% κατανάλωση ντίζελ και βάση αυτού θα γίνουν και οι παρακάτω υπολογισμοί. Δεχόμενοι ότι η πυκνότητα του βιοαερίου είναι 1,11 kg/m<sup>3</sup>, τότε η ωριαία παραγωγή είναι :

$$53 \text{ m}^3 \times 1,11 \text{ kg/m}^3 = 58,83 \text{ kg/h} \text{ για την χειμερινή περίοδο και}$$

$$23 \text{ m}^3 \times 1,11 \text{ kg/m}^3 = 25,53 \text{ kg/h} \text{ για την θερινή περίοδο}$$

Υπολογίζοντας και το 10% σε κατανάλωση ντίζελ για την κάθε περίπτωση είναι:

$$58,83 \text{ kg/h} \times 0,1 = 5,883 \text{ kg/h} \text{ και}$$

$$25,53 \text{ kg/h} \times 0,1 = 2,553 \text{ kg/h}$$

Επομένως η ωριαία παραγόμενη ισχύς είναι για κάθε περίπτωση:

$$\text{Χειμερινή περίοδος } 53 \text{ m}^3 \times 6 \text{ kWh/m}^3 + 10 \text{ kWh/kg} \times 5,883 \text{ kg} = 376,83 \text{ kW}$$

$$\text{Θερινή περίοδος } 23 \text{ m}^3 \times 6 \text{ kWh/m}^3 + 10 \text{ kWh/kg} \times 2,553 \text{ kg} = 163,53 \text{ kW}$$

Δεχόμενοι ότι η μονάδα συμπαραγωγής έχει απόδοση 30% ηλεκτρική ενέργεια και 50% θερμική κάνουμε τους παρακάτω υπολογισμούς ( πολλές εταιρίες κάνουν λόγο και για απόδοση έως και 40% κάτι τέτοιο όμως είναι οριακά ανέφικτο και αντιστοιχεί μόνο σε συνθήκες βέλτιστης λειτουργίας οπότε για πρακτικούς λόγους χρησιμοποιούμε στους υπολογισμούς το 30%).

Χειμερινή περίοδος: ηλεκτρική ισχύς:  $376,83 \text{ kW} \times 0,3 = 113 \text{ kW}$   
 Θερμική ισχύς:  $376,83 \text{ kW} \times 0,5 = 188,41 \text{ kW}$

Θερινή περίοδος: ηλεκτρική ισχύς:  $163,53 \text{ kW} \times 0,3 = 49 \text{ kW}$   
 Θερμική ισχύς:  $163,53 \text{ kW} \times 0,5 = 81,765 \text{ kW}$

Δεχόμενη ως κριτήριο για την επιλογή του κινητήρα την λειτουργία με την μεγαλύτερη ισχύ και προσθέτοντας 30% ως ελάχιστη τιμή η ισχύς του κινητήρα είναι 147 kW.

Παρακάτω φαίνονται οι πίνακες 4.1 και 4.2 με μονάδες συμπαραγωγής και τις αποδόσεις τους

Τύπος CHP	Παραγωγή ηλεκτρισμού (kW)	Παραγωγή θερμότητας (kW)	Απόδοση σε ηλεκτρισμό (%)	Απόδοση σε θερμότητα (%)	Ολική Απόδοση (%)	Κατανάλωση βιοαερίου (Nm/h)
Cento T80	77	121	33,3	52,6	85,9	35,5
Cento T100	95	143	34,4	52	86,4	42,5
Cento T120	125	178	35,8	51,1	86,9	53,7
Cento T160	165	213	37,8	49	86,8	67,1
Cento T180	177	226	38	48,6	86,8	71,7
Cento T160 CON	165	196	37,8	45	82,9	67,1
Cento T180 CON	177	208	38	44,7	82,7	71,7

Πίνακας 2.1. Μονάδες συμπαραγωγής από την TEDOM

Τύπος CHP	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (kW)	Απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια (%)	Παραγωγή θερμότητας (kW)	Κατανάλωση καυσίμων (kW)
FMB-125-BSM/KSM	101	33,8	164	299
FMB-200-BSM/KSM	160	37,9	223	422
FMB-230-BSM/KSM	185	39,9	215	464
FMB-255-BSM/KSM	200	36,4	273	549
FMB-285-BSM/KSM	233	38,1	262	612
FMB-320-BSM/KSM	260	40,8	289	637
FMB-375-BSM/KSM	300	36,9	439	813
FMB-430-BSM/KSM	350	38,9	371	900
FMB-500-BSM/KSM	400	40,2	456	995

Πίνακας 2.2. Μονάδες συμπαραγωγής από την SCHMITT ENERTEC

Όπως εύκολα παρατηρείται η απόδοση των μονάδων συμπαραγωγής για την ποσότητα που παράγει η μονάδα είναι μεταξύ 33,8%-35,8% ηλεκτρικής ενέργειας και 50%-54% θερμική απόδοση. Προφανώς για την επιλογή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η αξιοπιστία της εταιρίας που παράγει την μονάδα συμπαραγωγής σε συνάρτηση με την τιμή πώλησης της μονάδας.

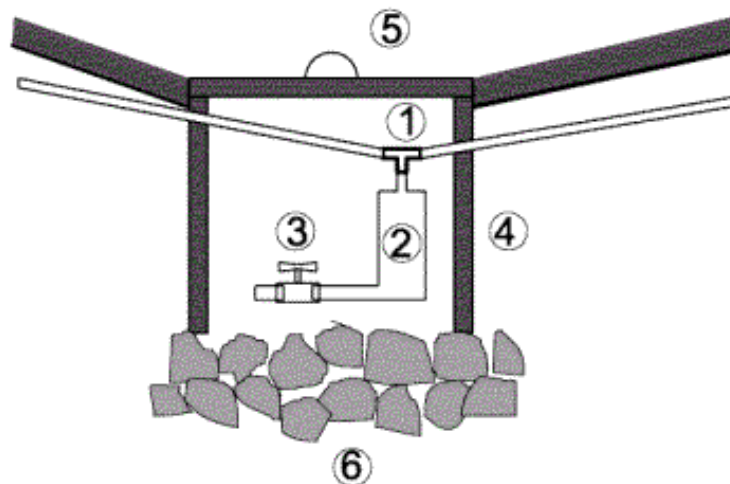
### 4.3 Προετοιμασία του βιοαερίου για χρήση στο σύστημα συμπαραγωγής.

Το βιοαέριο για να αξιοποιηθεί πρέπει πρώτα να υποστεί κάποια επεξεργασία. Η επεξεργασία του είναι και ανάλογη με την χρήση του, π.χ. για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο αυτοκινήτων ή για να μπει στο δίκτυο φυσικού αερίου πρέπει να αναβαθμιστεί σε 99% - 100% βιομεθάνιο. Για χρήση σε βραστήρες ή κινητήρες εσωτερικής καύσης πρέπει να αφαιρεθεί το υδρόθειο και η υγρασία. Για κάποιες άλλες εφαρμογές δεν απαιτείται καμία επεξεργασία και χρησιμοποιείται ακατέργαστο.

Στις μηχανές εσωτερικής καύσης το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας χωρίς καμία επεξεργασία. Ο κινητήρας θα λειτουργήσει κανονικά αλλά ο χρόνος ζωής του θα μειωθεί δραματικά. Ο λόγος είναι ότι το υδρόθειο και η υγρασία που βρίσκεται στο βιοαέριο συντελούν στην εμφάνιση διαβρωτικών οξέων που έχουν ως αποτέλεσμα την καταστροφή του κινητήρα. Μάλιστα πολλές εταιρίες κατασκευής και διάθεσης μονάδων συμπαραγωγής έχουν στους όρους της εγγύησης οι τιμές του υδρόθειου και της υγρασίας να μην ξεπερνάνε κάποιο συγκεκριμένο ποσό.

#### 4.3.1 Αφαίρεση υγρασίας από το βιοαέριο

Σε θερμοκρασία 35 °C ένα κυβικό μέτρο βιοαερίου περιέχει 40 gr νερού [23]. Το βιοαέριο μόλις βγει από τον βιοαντιδραστήρα έχει 100% υγρασία. Η υγρασία πρέπει να μειωθεί κάτω από 60% για να μην συμπυκνωθεί το νερό στους σωλήνες μεταφοράς του βιοαερίου. Αυτό το συμπυκνωμένο νερό μπορεί σε συνδυασμό με άλλες χημικές ουσίες να αποβεί πολύ διαβρωτικό για τις σωληνώσεις και την μηχανή συμπαραγωγής.



Σχήμα 4.10. Παγίδα νερού

Παγίδα νερού: (1) ένωση σχήματος T (2) αποθήκευση συμπυκνωμένου νερού για ορισμένο χρονικό διάστημα, (3) βαλβίδα για το άδειασμα του αποθηκευμένου νερού (4) θήκη της συσκευής (5) καπάκι (6) διοχέτευση νερού στο έδαφος

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την μείωση της υγρασίας του βιοαερίου, όπως την συμπίεση και ψύξη ή με την χρήση υλικών που απορροφούν την υγρασία. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι η χρήση παγίδων νερού. Το βιοαέριο αφού βγει από τον βιοαντιδραστήρα θα εκτεθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος όπου θα είναι κατά πολύ μικρότερη από αυτήν του βιοαντιδραστήρα ( 35 °C). Λόγο της διαφοράς θερμοκρασίας ένα μεγάλο ποσοστό της υγρασίας θα υγροποιηθεί και λόγω της βαρύτητας θα κατευθυνθεί προς το χαμηλότερο σημείο των σωληνώσεων. Στο χαμηλότερο σημείο των σωληνώσεων τοποθετείται μια συσκευή που λέγεται παγίδα νερού η οποία συλλέγει το νερό και το αποβάλλει από τις σωληνώσεις χωρίς να υπάρχει διαρροή βιοαερίου. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα το νερό συλλέγεται σε ένα δοχείο και κατά διαστήματα ανοίγει μια βαλβίδα και αδειάζεται το νερό στο έδαφος.

#### 4.3.2 Μείωση του υδρόθειου

Ένα από τα παράγωγα της αναερόβιας χώνευσης είναι το υδρόθειο. Η συγκέντρωση του υδρόθειου δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 500 με 700 ppm, δυστυχώς όμως στο βιοαέριο η συγκέντρωση του πολλές φορές μπορεί να φτάσει και τα 6800 ppm [23]. Το υδρόθειο προέρχεται κυρίως από τα λύματα χοιροστασίου. Από τα υπολείμματα αραβοσίτου οι ποσότητες υδρόθειου είναι μηδενικές. Το υδρόθειο είναι πιο διαβρωτικό στα μη σιδηρούχα μέταλλα όπως αυτά των βαλβίδων κλπ.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι για την μείωση του υδρόθειου. Ένας από αυτούς είναι η χρήση σιδηρούχων μετάλλων. Παίρνοντας ένα σιδηρούχο υλικό και τοποθετώντας το μέσα σε ένα αεροστεγές δοχείο το βιοαέριο περνάει μέσα από το αεροστεγές δοχείο και το υδρόθειο απορροφάται από το σιδηρούχο υλικό. Στις μέρες μας όμως η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι με την βιοαποικοδόμηση του υδρόθειου. Αυτή η μέθοδος είναι πολύ οικονομική και μειώνει τα ποσοστά του υδρόθειου σε ικανοποιητικά επίπεδα με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται στις περισσότερες αγροτικές μονάδες βιοαερίου. Με αυτόν τον τρόπο το υδρόθειο μειώνεται βιολογικά καθώς χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί όπως το είδος *Thiobacillus* και *Sulfolobus*. Αυτοί οι μικροοργανισμοί ευδοκιμούν σε υγρό περιβάλλον με θερμοκρασία γύρω στους 35 °C, δηλαδή τις συνθήκες που επικρατούν σε αποθήκες βιοαερίου διπλής μεμβράνης που βρίσκονται στην οροφή των βιοαντιδραστήρων. Το θέμα είναι ότι αυτοί οι μικροοργανισμοί είναι αερόβιοι και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται μία αεραντλία η οποία τροφοδοτεί την αποθήκη του βιοαερίου με ατμοσφαιρικό αέρα σε αναλογία 4-6% για κάθε κυβικό μέτρο βιοαερίου. Με αυτόν τον τρόπο το υδρόθειο μειώνεται έως και 85% καθιστώντας το βιοαέριο κατάλληλο για χρήση σε μηχανές εσωτερικής καύσης. [24]

#### 4.4 Σύνδεση με το δίκτυο

Οι περισσότερες μονάδες συμπαραγωγής που κυκλοφορούν στην αγορά και αφορούν αγροτικές και κτηνοτροφικές μονάδες παραγωγής βιοαερίου, παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα με τάση 400 V και συχνότητα 50 Hz (60 Hz για χώρες όπως οι ΗΠΑ). Για να συνδεθεί η γεννήτρια στο ηλεκτρικό δίκτυο πρέπει να έχουν την ίδια τάση και φάση δίκτυο και γεννήτρια καθώς και τα κατάλληλα διακοπτικά στοιχεία, αλλιώς υπάρχει κίνδυνος καταστροφής της γεννήτριας.

#### 4.4.1 Όργανα μέτρησης ρεύματος

Για να τροφοδοτήσουμε το ρεύμα στο ηλεκτρικό δίκτυο, χρειάζεται ένας μετασχηματιστής με εγκατεστημένο μετρητή τάσης. Το εξερχόμενο και εισερχόμενο ρεύμα μετριέται με έναν μετρητή τεσσάρων τεταρτημορίων. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητος ένας μετρητής της ενεργής τιμής της τάσης.

#### 4.4.2 Έλεγχος συγχρονισμού

Η γεννήτρια μπορεί να συνδεθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο μόνο αν η τάση της γεννήτριας προσαρμοστεί με την τάση δικτύου, για παράδειγμα οι ενεργές τιμές των τάσεων και των τριών φάσεων πρέπει να είναι πάνω από το επιτρεπτό όριο πτώσης τάσης. Αυτό ελέγχεται από το σύστημα πτώσης τάσης του συστήματος καταγραφής βλαβών του ηλεκτρικού δικτύου.

Η σύνδεση μιας ασύγχρονης γεννήτριας γίνεται αυτόματα σε συχνότητα περιστροφής 95 - 105% σε σύγκριση με μια σύγχρονη γεννήτρια. Η σύνδεση μιας σύγχρονης γεννήτριας επιτυγχάνεται μόνο όταν ικανοποιηθούν οι παρακάτω συνθήκες :

Διακύμανση τάσης: +/- της ονομαστικής τάσης

Διακύμανση συχνότητας: +/- 0,5 κύκλους ανα δευτερόλεπτο

Διαφορά γωνίας φάσης: +/- 10 °

Η συχνότητα, η τάση και η φάση του δικτύου και της γεννήτριας μετριοούνται με κατάλληλα όργανα και ελέγχονται ψηφιακά από μια συσκευή συγχρονισμού. Η γεννήτρια ελέγχεται και ρυθμίζεται μέσα στα όρια ανοχής από σήματα που κυμαίνονται μεταξύ 0 – 10V. Μόνο τότε το PLC δίνει σήμα για σύνδεση, με μία μικρή χρονική καθυστέρηση.

#### 4.4.3 Βλάβη δικτύου

Η γεννήτρια αποσυνδέεται όταν ξεπεραστεί κάποιο από τα όρια που αναφέρεται παρακάτω.

Πτώση τάσης: 80% της τάσης λειτουργίας

Υπέρταση: 110% της τάσης λειτουργίας

Κατώτατο όριο συχνότητας: 49 κύκλοι ανά δευτερόλεπτο

Ανώτατο όριο συχνότητας: 51 κύκλοι ανά δευτερόλεπτο

Για τον έλεγχο της συχνότητας και της τάσης χρησιμοποιείται ένα τριφασικό ρελέ. Με τις σύγχρονες γεννήτριες στην θέση του ρυθμιστή συχνότητας χρησιμοποιείται ένα ρελέ διανυσματικού άλματος, ο οποίος ανταποκρίνεται σε πολύ γρήγορες διαταραχές όπως σύντομες διακόπτες ρεύματος στο δίκτυο.

Κατά την διάρκεια των διακοπών (διάρκειας 150 – 500 ms) η σύγχρονη γεννήτρια κινείται ελεύθερα. Με την επιστροφή της τάσης δικτύου η φάση μπορεί να έχει εσφαλμένη γωνία κάτι που μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή της σύγχρονης γεννήτριας. Το ρελέ διανυσματικού άλματος συγκρίνει την γωνία της φάσης του ρεύματος ανάμεσα στην γεννήτρια και το δίκτυο. Αν αποκλίνει περισσότερο από 10°, τότε μέσα σε 100 ms δίνεται σήμα και διακόπτεται η σύνδεση της γεννήτριας με το δίκτυο.

#### 4.4.4 Προστασία βραχυκυκλώματος

Οι γεννήτριες συνήθως παράγουν ένα ρεύμα βραχυκυκλώσεως το οποίο είναι 1,5 – 4 φορές του ονομαστικού ρεύματος. Δεν υπάρχουν διαθέσιμες στην αγορά ηλεκτρικές ασφάλειες ή διακόπτες που να αντιδρούν σε αυτό το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Μόνο ειδικές συσκευές ασφάλειας ρεύματος μπορούν να ρυθμίσουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Αυτές έχουν ένα ρυθμιζόμενο χρόνο καθυστέρησης, έτσι ώστε να μην αντιδρούν όταν συνδέεται φορτίο στην γεννήτρια.

#### 4.4.5 Αντιστάθμισμα άεργης ισχύος

Οι σύγχρονες γεννήτριες παράγουν άεργο ισχύς λόγω της διαφοράς φάσης. Η διαφορά φάσης  $\cos\phi$  μιας γεννήτριας, η οποία πρόκειται να συνδεθεί στο δίκτυο, πρέπει να είναι ανάμεσα στα όρια του 0,9 χωρητικό και 0,8 επαγωγικό.

Οι γεννήτριες είναι εξοπλισμένες με ένα αυτόματο ελεγκτή του  $\cos\phi$  ακόμα και για να μεταβάλει την παραγωγή ισχύος. Επιπλέον αντιστάθμιση δεν είναι απαραίτητη.

Στις ασύγχρονες γεννήτριες είναι απαραίτητοι οι πυκνωτές αντισταθμίσεως. Η χωρητικότητα των πυκνωτών πρέπει να είναι στο 75% της παραγόμενης άεργος ισχύς στην έξοδο της γεννήτριας.

### 4.5 Δίκτυο τηλεθέρμανσης

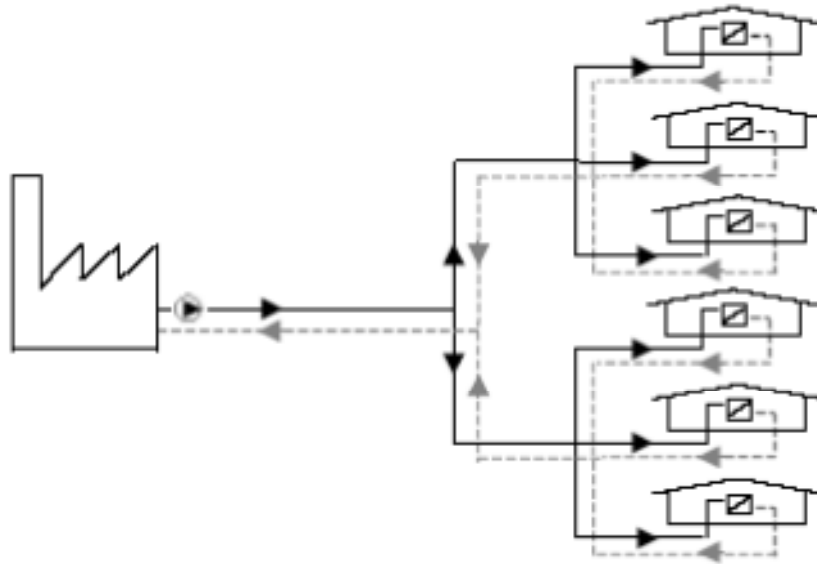
Η θερμότητα που παράγεται στην μονάδα είναι περίπου 187 kW την χειμερινή περίοδο και 81 kW τη καλοκαιρινή περίοδο (λόγο ότι την καλοκαιρινή περίοδο δεν χρησιμοποιείται ενσίρωμα καλαμποκιού). Αυτή η θερμότητα κατά ένα μέρος θα χρησιμοποιηθεί στην μονάδα και συγκεκριμένα στους δύο βιοαντιδραστήρες και η υπόλοιπη θερμότητα θα πουληθεί σε άλλες εγκαταστάσεις. Να σημειωθεί εδώ ότι η συνολική θερμική ισχύς που πρέπει να προσφέρεται και στους δύο βιοαντιδραστήρες κυμαίνεται από λίγα kW έως το πολύ 54 kW, αυτή η διακύμανση οφείλεται στις καιρικές συνθήκες. Το κτίριο που βρίσκεται η μονάδα συμπαραγωγής και το «κέντρο ελέγχου» θερμαίνονται από τις θερμικές απώλειες της μονάδας συμπαραγωγής.

Το πλεόνασμα της θερμότητας που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην μονάδα βιοαερίου πρέπει να εξαχθεί και να πουληθεί σε άλλες εγκαταστάσεις. Από τους πρόθυμους αγοραστές πρέπει να επιλεγεί ο πελάτης ή ο συνδυασμός πελατών που θα απορροφήσουν το σύνολο ή το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής ενέργειας και μάλιστα με σταθερό ρυθμό κατά την διάρκεια της ημέρα. Για παράδειγμα ένα κτηριακό συγκρότημα γραφείων ή καταστημάτων που απαιτεί θέρμανση για συγκεκριμένες ώρες της ημέρας και συγκεκριμένες μέρες της εβδομάδας δεν είναι και η καλύτερη επιλογή καθώς της ώρες που δεν απαιτείται θέρμανση των χώρων η παραγόμενη θερμότητα της μονάδας θα πηγαίνει χαμένη. Ενώ για παράδειγμα μια θερμαινόμενη πισίνα, μια σειρά μόνιμος κατοικημένων σπιτιών, θερμοκήπια και κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις με απαιτήσεις συνεχείς θερμότητας κλπ καταναλώνουν το σύνολο ή το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας ελαχιστοποιώντας έτσι στο βέλτιστο τη σπατάλη της αδιάθετης θερμικής ενέργειας.

Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη η απόσταση της εγκατάστασης που θα χρησιμοποιηθεί η θερμική ενέργεια. Πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην μονάδα συμπαραγωγής καθώς μεγάλη απόσταση συνεπάγεται και μεγαλύτερο μήκος σωληνώσεων άρα και μεγαλύτερο κόστος, μεγαλύτερο μήκος σωληνώσεων συνεπάγεται και περισσότερες πιθανότητες βλαβών άρα και μεγαλύτερο κόστος.



Για την κατασκευή του δικτύου τηλεθέρμανσης χρησιμοποιούνται δύο σωλήνες, ο ένας μεταφέρει το θερμό νερό στο σημείο κατανάλωσής και άλλος επιστρέφει το νερό από το σημείο κατανάλωσης στην μονάδα συμπαραγωγής για αναθέρμανση. Οι σωλήνες είναι καλά μονωμένοι για να αποφεύγονται οι απώλειες θερμότητας. Ο σωλήνες τοποθετούνται μισό με ένα μέτρο βαθιά μέσα στο έδαφος. Για να διευκολυνθεί η ροή του νερού στους σωλήνες χρησιμοποιούνται αντλίες οι οποίες δημιουργούν μια πίεση μέσα στους σωλήνες της τάξης των 0,6 με 1,6 MPa

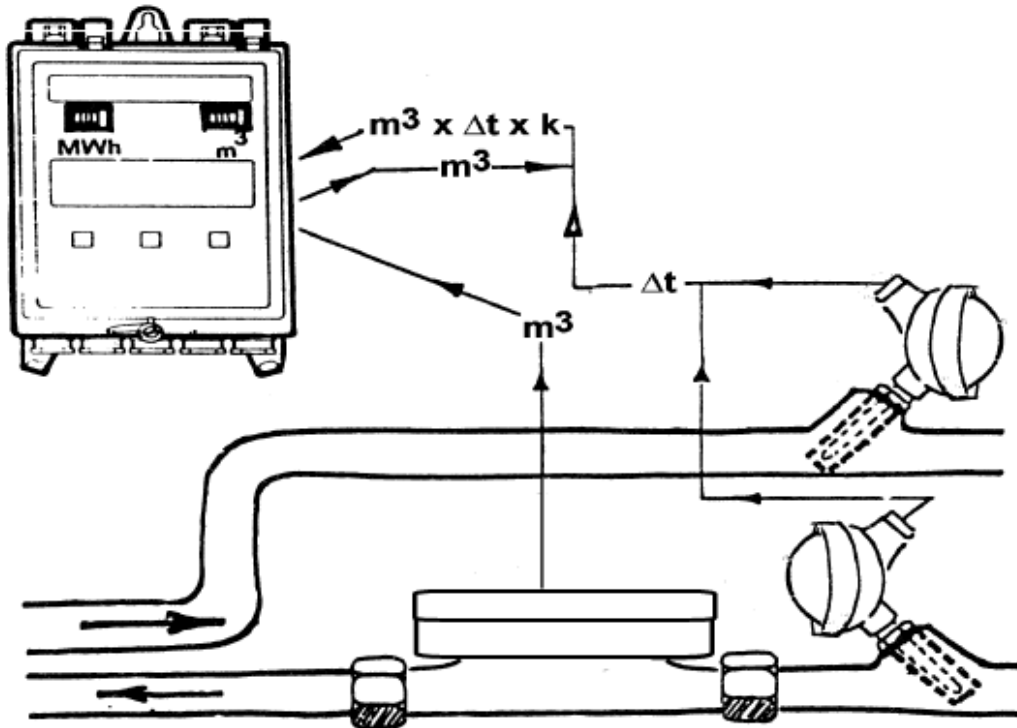


Σχήμα 4.11. Παραστατικό δίκτυο τηλεθέρμανσης



Σχήμα 4.12. Μονωμένος σωλήνας για την μεταφορά θερμού ή ψυχρού νερού

Για την μέτρηση της θερμότητας που «καταναλώθηκε» στις εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται ένας μετρητής και έτσι καθορίζεται και το ποσό το οποίο οφείλει να πληρώσει ο καταναλωτής στον παραγωγό. Ο μετρητής έχει ένα όργανο το οποίο μετράει την ποσότητα νερού που ρέει προς το κτίριο καθώς επίσης και την θερμοκρασία του νερού. Στον σωλήνα εξόδου έχει ένα αισθητήρα όπου μετράει την θερμοκρασία του εξερχόμενου νερού. Υπολογίζοντας την διαφορά θερμοκρασίας και την ποσότητα του νερού υπολογίζει το σύνολο της θερμότητας που «καταναλώθηκε» στο κτίριο.



Σχήμα 4.13. Μετρητής κατανάλωσης θερμικής ενέργειας

## 5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ”

Η οικονομική μελέτη της μονάδας βιοαερίου αφορά το κόστος καθώς επίσης και τα έσοδα που αυτή αποφέρει. Το συνολικό κόστος της μονάδας είναι το άθροισμά του κόστους κατασκευής, του κόστους λειτουργίας και του κόστους χρήματος. Το κόστος κατασκευής που συμπεριλαμβάνει:

- Την αγορά η ενοικίαση της γης
- Τις απαραίτητες εκσκαφές της γης για την κατάλληλη τροποποίηση του εδάφους
- Την αγορά των πρώτων υλών (τσιμέντο, σωλήνες κλπ)
- Την πληρωμή των εργατικών για την κατασκευή της μονάδας

Το κόστος λειτουργίας περιλαμβάνει:

- Την ενέργεια που καταναλώνει η μονάδα
- Την συντήρηση και βελτίωση τις μονάδας
- Την εργασία για την διαχείριση της μονάδας

Το κόστος χρήματος περιλαμβάνει την αποπληρωμή των δανείων (σε περίπτωση που υπήρξε δάνειο αλλιώς δεν λαμβάνεται υπόψη) και την πληρωμή των φόρων.

Τα συνολικά έσοδα αφορούν το άθροισμα των εσόδων από τις πωλήσεις ηλεκτρικού ρεύματος, θερμού νερού, βιολιπασμάτων και από κρατικές επιδοτήσεις.

#### 5.1 Κόστος κατασκευής

Όπως η εμπειρία έχει δείξει το επενδυτικό κόστος μιας μονάδας βιοαερίου μπορεί να κυμανθεί μεταξύ 250 – 400 €/m<sup>3</sup> για κάθε κυβικό μέτρο του βιοαντιδραστήρα. Η μικρότερη τιμή αντιστοιχεί σε μονάδες μεγάλου μεγέθους και η μεγαλύτερη τιμή αντιστοιχεί σε μονάδες μικρού μεγέθους. Ανάλογα με το βαθμό του αυτοματισμού και του φάσματος του σχεδιασμού και της επίβλεψης της εργασίας το κόστος μπορεί να ξεπεράσει το όρια που δόθηκαν παραπάνω. Η μονάδα συμπαραγωγής (CHP) κοστίζει επιπλέον 500 €/kW (και αυτή η τιμή επίσης πρόκειται εμπειρικά).

Οι βιοαντιδραστήρες έχουν υπολογιστή να έχουν συνολικό όγκο 2000 κμ και η μονάδα συμπαραγωγής έχει υπολογιστή να έχει ονομαστική ισχύς 147 kW.

Επομένως οι οικονομικοί υπολογισμοί πρέπει να γίνουν με βάση αναφοράς το κόστος της μονάδας βιοαερίου που είναι περίπου 800.000 €. Επιπρόσθετα το κόστος της μονάδας

συμπαραγωγής είναι 73.500 €. Μέσα στο κόστος της μονάδας συμπαραγωγής συμπεριλαμβάνεται και το κόστος διασύνδεσης με το δίκτυο, δεχόμενη ότι οι γραμμές του δικτύου είναι κοντά και δεν χρειάστηκε να τοποθετηθούν επιπλέον κολόνες ανάμεσα στις γραμμές και την μονάδα. Εν τέλει το συνολικό κόστος είναι 873.500 €.

Οι παραπάνω τιμές επιβεβαιώνονται και από πίνακες κοστολόγησης που δίνει στο διαδίκτυο η εταιρία κατασκευής μονάδων βιοαερίου zorg biogas

Πρώτη ύλη (τόνοι/ημέρα)	Σχεδιασμός και μελέτη (ευρώ)	Έξοδα μηχανολογικής μελέτης (ευρώ) *	Εξοπλισμός (ευρώ) **	Κατασκευή (ευρώ)	Σύνολο (ευρώ)
20	45000	21000	470000	340000	876000
40	51000	22000	780000	490000	1343000
60	57000	23000	1090000	640000	1810000
80	63000	24000	1400000	790000	2277000
100	69000	25000	1710000	940000	2744000
120	75000	26000	2020000	1090000	3211000

Πίνακας 2.1. Πίνακας κοστολόγησης μονάδων βιοαερίου από την Zorg Biogas

\* Στο κόστος συμπεριλαμβάνεται συμβουλές, επιδιόρθωση βλαβών και εκπαίδευση

\*\*Στην τιμή συμπεριλαμβάνονται και τα έξοδα μεταφοράς του εξοπλισμού [28]

## 5.2 Κόστος λειτουργίας

Για την λειτουργία της μονάδας καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια, θερμική ενέργεια στον βιοαντιδραστήρα και ντίζελ καύσιμο στην μηχανή συμπαραγωγής. Στον υπολογισμό τους κόστους λειτουργίας δεν συμπεριλαμβάνεται το κόστος εργασίας καθώς αυτή μπορεί να γίνει από τον ιδιοκτήτη της μονάδας.

Οι βασικοί τομείς στην μονάδα που καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια είναι στην

Αντλία λυμάτων :  $W_{αλ} = 10 \text{ kWh}$

Τροφοδότης :  $W_{τρ} = 25 \text{ kWh}$

Αναμικτήρας :  $W_{αν} = 20 \text{ kWh}$

Αναδευτήρες :  $W_{αδ} = 16,5 \text{ kWh} \times 8 \text{ αναδευτήρες} = 132 \text{ kWh}$

Άρα η συνολική ημερήσια κατανάλωση  $W_{συν}$  είναι:

$$W_{συν} = W_{αλ} + W_{τρ} + W_{αν} + W_{αδ} = 10 \text{ kWh} + 25 \text{ kWh} + 20 \text{ kWh} + 132 \text{ kWh} = 185 \text{ kWh}$$

Επίσης για της θερμικές ανάγκες του βιοαντιδραστήρα απαιτείται κατά μέσο όρο θερμική ισχύς  $Q_v = 27 \text{ kW}$

Άρα η μέση κατανάλωση ανά ημέρα θα είναι  $K_{θερ} = 24 \times 27 = 648 \text{ kWh}$

Το κόστος σε καύσιμο ντίζελ καθορίζεται από την κατανάλωση καυσίμου επί την τιμή του καυσίμου, να σημειωθεί ότι η τιμή δεν είναι σταθερή όποτε παίρνουμε μια ενδεικτική τιμή της τάξης των 1,3 ευρώ ανά λίτρο. Στην μονάδα η μέση ωριαία κατανάλωση είναι 4,2 λίτρα, επομένως το ημερήσιο κόστος  $K_d$  είναι:

$$K_d = 24 \text{ h} \times 4.2 \text{ l} \times 1.3 \text{ €/l} = 131.6 \text{ €}$$

Το κόστος εργασίας δεν προσμετράτε καθώς για την λειτουργία της μονάδας απαιτείται μόνο ένα άτομο που στην προκειμένη περίπτωση είναι ο ιδιοκτήτης της φάρμας.

### 5.3 Έσοδα μονάδας

Στα έσοδα μονάδας από της ηλεκτρικές πωλήσεις ανά ημέρα πρέπει να βρεθεί η μέση παραγόμενη ισχύς και από αυτή να αφαιρεθεί η μέση ισχύς που καταναλώνεται στην μονάδα. Η παραγόμενη ισχύς το χειμώνα είναι 113 kW και το υπόλοιπο διάστημα είναι 49 kW άρα η μέση παραγόμενη ισχύς είναι:

$$W_{\mu} = \frac{113 \text{ kW} + 49 \text{ kW}}{2} = 81 \text{ kW}$$

Άρα η μέση ημερήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

$$81 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 1944 \text{ kWh}$$

Από αυτό που βρήκαμε αφαιρούμε την μέση ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται για της ανάγκες της μονάδας και αυτό που μένει είναι η μέση ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια που πωλείται στο δίκτυο.

$$1944 \text{ kWh} - 185 \text{ kWh} = 1759 \text{ kWh}$$

Η τιμή στην οποία πωλείται το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα στο δίκτυο είναι 0,23 € ανά kWh ή 0,2 € ανά kWh αν η κατασκευή της μονάδας επιδοτήθηκε [29], άρα τα έσοδα που θα προκύπτουν κατά μέσω όρο ανά ημέρα από τις πωλήσεις ηλεκτρικού είναι:

$$0,23 \times 1759 \text{ kWh} = 404,5 \text{ €}$$

Σε ότι αφορά τα έσοδα της μονάδας από της πωλήσεις θερμικής ενεργείας πρέπει να βρεθεί η μέση ημερήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας και από αυτήν να αφαιρεθεί η θερμική ενέργεια που καταναλώνεται για τις θερμικές ανάγκες της μονάδας. Την χειμερινή περίοδο παράγεται θερμότητα 188,41 kW και την θερινή 81,765 kW. Επομένως η μέση θερμότητα που παράγεται είναι:

$$\frac{188,41 \text{ kW} + 81,76 \text{ kW}}{2} = 135 \text{ kW}$$

Άρα η ημερήσια παραγωγή σε θερμική ενέργεια είναι:

$$135 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 3240 \text{ kWh}$$

Από αυτήν την ποσότητα αφαιρούμε 648 kWh που είναι η μέση ημερήσια ανάγκη σε θερμότητα από την μονάδα. Επομένως η μέση ημερήσια ποσότητα που είναι διαθέσιμη προς πώληση είναι:

$$3240 \text{ kWh} - 648 \text{ kWh} = 2592 \text{ kWh}$$

Η τιμή στην οποία πωλείται η παραγόμενη θερμική ενέργεια κυμαίνεται στα 0,05 € ανά kWh, άρα τα έσοδα που θα προκύπτουν κατά μέσω όρο ανά ημέρα από τις πωλήσεις θερμικής ενέργειας είναι:

$$0.05 \text{ €} \times 2592 \text{ kWh} = 129.5 \text{ €}$$

Ένα άλλο προϊόν που παράγεται στην μονάδα βιοαερίου είναι και το βιολίπασμα, είναι λίπασμα εξαιρετικής ποιότητας και πωλείται ώστε να χρησιμοποιηθεί σε καλλιέργειες. Λόγο του ότι δεν μπορεί να ανταγωνιστεί τα βιομηχανικά λιπάσματα πωλείται σε μια ενδεικτική τιμή η οποία κυμαίνεται στα 1000 € [30]

## 5.4 Απόσβεση

Όπως προκύπτει από τους παραπάνω υπολογισμούς τα συνολικά κέρδη της μονάδας ανά έτος είναι το μέσω ημερήσιο κέρδος επί της 365 μέρες του χρόνου, δηλαδή:

$$365 \times (404,5 \text{ €} + 129.5 \text{ €}) = 194.946,5 \text{ €}$$

Αν για την κατασκευή της μονάδας χρειάστηκε 873.500 €, για να αποσβησθεί το αρχικό κόστος θα χρειαστούν:

$$873.500 \text{ €} / 194.946,5 \text{ €} = 4,5 \text{ έτη}$$

Επομένως η μονάδα σε 4,5 χρόνια θα έχει αποπληρώσει το κόστος κατασκευής της και από εκεί και πέρα θα παρέχει καθαρό κέρδος στον ιδιοκτήτη της.

## 6<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ”

Με την αυξημένη ζήτηση σε ενέργεια και την συνεχή άνοδο στην τιμή των ορυκτών καυσίμων οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έρχονται όλο και πιο πολύ στο προσκήνιο. Το βιοαέριο που κάποτε ήταν ένας παραμελημένος ενεργειακός φορέας κερδίζει όλο και πιο πολύ έδαφος, όχι μόνο γιατί μας προσφέρει ενεργειακά οφέλη αλλά γιατί συμβάλει και στην προστασία του περιβάλλοντος. Στο άμεσο μέλλον ένα σημαντικό μέρος των ενεργειακών αναγκών θα καλύπτεται από την παραγωγή βιοαερίου

Από την πραγμάτωση και μελέτη της παραπάνω εργασίας γίνεται κατανοητή η λειτουργία μιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου καθώς επίσης και η διαδικασία με την οποία άχρηστα οργανικά απόβλητα μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια. Όπως γίνεται αντιληπτό η διαδικασία της αναερόβιας βιοαποικοδόμησης οργανικών αποβλήτων είναι απλή και για τον χειρισμό και λειτουργία της μονάδας δεν χρειάζεται ο χειρίστης να έχει καμία επιστημονική κατάρτιση.

Σε ότι αφορά το οικονομικό σκέλος, για να υλοποιηθεί μια μονάδα ανάλογης λειτουργίας χρειάζεται ένα μεγάλο αρχικό κεφάλαιο, η οικονομική απόσβεση όμως μπορεί να ολοκληρωθεί μέσα σε 4 με 5 χρόνια και από εκεί και πέρα η μονάδα φέρνει καθαρά κέρδη στον ιδιοκτήτη. Επίσης να σημειωθεί ότι για την διαχείριση των αποβλήτων πριν την δημιουργία της μονάδας απαιτείται κάποιο κόστος ενώ μετά την δημιουργία της μονάδας η διαχείριση των αποβλήτων αποφέρει κέρδος.

Σε ότι αφορά το οικολογικό σκέλος η μονάδα απορρόφησε 5,000 τόνους λυμάτων χοιροστασίου. Επίσης η ενέργεια που παράγει σε ένα έτος είναι της τάξης των 1800 MWh κάτι που αντιστοιχεί σε 140 τόνους πετρελαίου, ή σε 200 τόνους γαιανθράκων ή σε 180,000 κυβικά μέτρα φυσικού αερίου.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- (1) <http://en.wikipedia.org/wiki/Biogas>
- (2) [http://www.greenpowerindia.org/biogas\\_benefits.htm](http://www.greenpowerindia.org/biogas_benefits.htm)
- (3) «**Biogas from Waste and Renewable Resources**» Edited by Dieter Deublein and Angelika Steinhauser σελ. 93-100
- (4) <http://www.ruralpovertyportal.org/web/guest/country/voice/tags/china/biogas>
- (5) <http://www.ecotippingpoints.org/our-stories/indepth/china-biogas.html>
- (6) <http://drsamadsmicrobiologytutorial.blogspot.com/2011/08/development-of-biogas-in-india.html>
- (7) <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2008/07/biogas-flows-through-germanys-grid-big-time-53075>
- (8) [http://spin-project.eu/downloads/0\\_Background\\_paper\\_biogas\\_Germany\\_en.pdf](http://spin-project.eu/downloads/0_Background_paper_biogas_Germany_en.pdf)
- (9) Electricity and Heat Production Using Biogas from the Anaerobic Digestion of Livestock Manure - Literature Review σελ. 11-16
- (10) SWINE MANURE SYSTEMS σελ. 3
- (11) ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ
- (12) «**Biogas from Waste and Renewable Resources**» Edited by Dieter Deublein and Angelika Steinhauser σελ. 203
- (13) <http://www.basf.com/group/corporate/en/literature-document/Brand+Styrodur+C-Brochure--Thermal+Insulation+of+Biogas+Plants-English.pdf>
- (14) «**Biogas from Waste and Renewable Resources**» Edited by Dieter Deublein and Angelika Steinhauser σελ. 58-62
- (15) Engines for Biogas (1988) (GTZ-Gate) σελ 26-63
- (16) Vergos «παραγωγή βιοαερίου από λύματα χοιροστασίου και υγρα λύματα ελαιτηρήβιου» σελ 8-11
- (17) <http://www.arven.it/prodotti/prodotti.php?id=42>
- (18) Biogas plants in animal husbandry (1989) (GTZ-Gate) σελ. 23
- (19) <http://www.e-konitsa.gr/index.php/%CE%95%CE%B9%CE%B4%CE%AE%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CE%95%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1/1347-%CE%9F%CE%B9-%CE%BA%CF%84%CE%B7%CE%BD%CE%BF%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CE%AC%CE%B4%CE%B5%CF%82-%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%AC%CE%B3%CE%BF%CF%85%CE%BD-%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%B1%CE%AD%CF%81%CE%B9%CE%BF21.html>
- (20) **Biogas from Waste and Renewable Resources** σελ 161 – 175
- (21) ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ βιοαερίου σελ 111- 113
- (22) <http://www.2g-cenergy.com/biogas.html>



- (23) Electricity and Heat Production Using Biogas from the Anaerobic Digestion of Livestock Manure - Literature Review σελ. 10
- (24) Purification of biogas (1985) (GTZ-Gate)
- (25) Biogas from Waste and Renewable Resources σελ 363 – 365
- (26) Economy of biogas plants for the year 2007
- (27) Biogas handbook σελ 92-93
- (28) [http://zorg-biogas.com/upload/pdf/price/en/zorg-biogas-ag-price\\_eng.pdf](http://zorg-biogas.com/upload/pdf/price/en/zorg-biogas-ag-price_eng.pdf)
- (29) <http://www.epsilon-econ.gr/el-GR/%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CE%B6%CE%B1>
- (30) Biogas from Waste and Renewable Resources σελ 417



**Αθήνα**

**Μάιος - 2013**