

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

‘Παραγωγή βιοαερίου από εκχύλισμα ενσιρώματος αραβοσίτου με υγρά μηχανικού διαχωρισμού αποβλήτων βουστασίου στη μεσόφιλη περιοχή. Τεχνικό – οικονομική διερεύνηση εφαρμογής των αποτελεσμάτων σε βουστάσιο γαλακτοπαραγωγής στην Βοιωτία.’



Τσαμασφύρας Νικόλαος

Αθήνα 2012

Επιβλέπων Καθηγητής Δημήτριος Γεωργακάκης

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Δημήτριος Γεωργακάκης

Νικόλαος Δέρκας

Χρήστος Καραβίτης

Περιεχόμενα

Μέρος 1^ο Βιβλιογραφικό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Αναερόβια Χώνευση – Βιοαέριο

Περίληψη.....	4
1.1 Γενικά για την αναερόβια χώνευση.....	7
1.1.2 Παρούσα κατάσταση και τάσεις εξέλιξης της ΑΧ.....	9
1.2 Μικροβιακή διαδικασία παραγωγής.....	11
1.2.1 Σταθερότητα αναερόβιας χώνευσης.....	16
1.3 Σύνθεση και ιδιότητες βιοαερίου.....	18
1.3.1 Χρήσεις του βιοαερίου.....	20
1.3.1.1 Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας.....	20
1.3.1.2 Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ).....	20
1.4 Εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου.....	22
1.4.1 Αναερόβιοι χωνευτήρες.....	25
1.4.2 Παράμετροι σχεδιασμού εγκαταστάσεων.....	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Βοοτροφία και συστήματα σταβλισμού των αγελάδων γαλακτοπαραγωγής

2.1 Το μέγεθος και η διάρθρωση της βοοτροφίας στην Ελλάδα.....	31
2.2 Διάρθρωση της γαλακτοπαραγωγού βοοτροφίας.....	31
2.3. Ο σκοπός του σταβλισμού των ζώων.....	34
2.4. Η θέση των εγκαταστάσεων.....	34
2.5. Τύποι κτηρίων.....	35
2.5.1. Γενική περιγραφή του ελεύθερου σταβλισμού.....	37
2.5.1.1. Περιγραφή χώρων ενός συστήματος ελεύθερου σταβλισμού.....	38
2.6. Απόβλητα βουστασίου.....	44
2.6.1. Μέθοδοι και συστήματα απομάκρυνσης των αποβλήτων μέσα από τον στάβλο.....	49
2.6.1.1 Συστήματα απομάκρυνσης των νοπών αποβλήτων με αποχετευτικά κανάλια.....	49
2.6.1.2 Αυτόματα συστήματα απομάκρυνσης των νοπών αποβλήτων.....	50
2.7. Συστήματα και μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων βουστασίου.....	52
2.7.1. Πρωτοβάθμια επεξεργασία.....	52
2.7.2. Δευτεροβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων βουστασίου.....	55
2.7.2.1. Βιολογική επεξεργασία των υγρών διαχωρισμού.....	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Παραγωγή Ενσιρώματος και χαρακτηριστικά του

3.1 Προέλευση.....	57
3.2 Διατροφικές ιδιότητες και χρήση	57
3.3 Γενικά για την ενσίρωση	58
3.3.1 Μικροοργανισμοί που παίρνουν μέρος κατά την διαδικασία της ενσίρωσης.....	59
3.4 Τεχνικές της ενσίρωσης.....	61
3.4.1 Ψυχρή ενσίρωση	61
3.4.2 Θερμή ενσίρωση.....	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Χρησιμοποίηση πρώτων υλών για αναερόβια χώνευση και σύγχρονες τάσεις

4.1. Οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα από την χρήση τους.....	64
4.2 Τεχνικά προβλήματα στους ΑΧ	65

Μέρος 2^ο Πειραματικό

1. Μέθοδοι αναλύσεων και προσδιορισμών.....	66
2. Πειραματική Διαδικασία	68
2.1. 1 ^{ος} Χωνευτήρας.....	69
2.2 2 ^{ος} Χωνευτήρας.....	70
3. Προέλευση και ποιοτικά χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης	70
3.1 Υγρά διαχωρισμού Βουστασίου	71
3.2 Εκχύλισμα Ενσιρώματος	71
4. Ερευνητικά αποτελέσματα.....	73
A) Χρόνος Παραμονής 16 ημέρες.....	73
B) Χρόνος Παραμονής 21 ημέρες.....	78
Γ) Χρόνος Παραμονής 32 ημέρες	81
Δ) Προσέγγιση παραγωγής βιοαερίου για τις διαφορετικές τιμές Π.Σ. ανά Χ.Π.	83
E) Σύνοψη των αποτελεσμάτων	86
5.Εφαρμογή των αποτελεσμάτων στο βουστάσιο	87
5.1 Δεδομένα Βουστασίου.....	87
5.1.1 1 ^ο Σενάριο.....	89
5.1.2 2 ^ο Σενάριο.....	90
5.1.3 Διάγραμμα ροής	92
5.1.4 Σύγκριση σεναρίων.....	93
6. Οικονομική αξιολόγηση	94
6.1 Ενεργειακό περιεχόμενο.....	94
6.2 Οικονομική αξιολόγηση των εγκαταστάσεων παραγωγής και αξιοποίησης βιοαερίου – M.B.E.E.Model.....	95
7. Συμπεράσματα	110
8. Βιβλιογραφία.....	111

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μελέτη υλοποιήθηκε στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Δ. Γεωργακάκη για το χρόνο που αφιέρωσε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της μεταπτυχιακής μελέτης, καθώς επίσης για την πολύτιμη βοήθειά του και τις συμβουλές του για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ Χρήστο Καραβίτη και τον κ. Νικόλαο Δέρκα για την αποδοχή τους να μελετήσουν και να αξιολογήσουν την εργασία

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους συμφοιτητές μου, Παύλο Φιλίππου και Αγγελική Σπυρούδη, για την συνεργασία κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Περίληψη

Η αυξανόμενη ανάγκη της κοινωνίας για περισσότερη ενέργεια και παράλληλη απαίτηση για καθαρότερο περιβάλλον οδηγεί στην αξιοποίηση νέων πηγών ενέργειας. Επίσης η εξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ορυκτά καύσιμα) είναι μεγάλη και κάθε μεταβολή στην τιμή τους επηρεάζει άμεσα το κόστος παραγωγής και ειδικότερα στον πρωτογενή τομέα.

Παράλληλα έχουμε αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, που σημαίνει περισσότερες ανάγκες σε τρόφιμα και αύξηση των αποβλήτων που παράγονται στις κτηνοτροφικές μονάδες και στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις. Για τους παραπάνω λόγους τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες για παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμους πόρους, όπως φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, αξιοποίηση βιομάζας, βιοαέριο κ.α.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή γίνεται προσπάθεια να αξιοποιηθούν το σύνολο των αποβλήτων μια μονάδας αγελάδων γαλακτοπαραγωγής στην Θήβα μέσω

της αναερόβιας χώνευσης. Η ΑΧ είναι μια μικροβιολογική διεργασία αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας, απουσία οξυγόνου, η οποία είναι συνήθης σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα και εφαρμόζεται σήμερα για να παραχθεί το βιοαέριο σε αεροστεγείς δεξαμενές που λειτουργούν ως αντιδραστήρες, οι οποίες συνήθως ονομάζονται χωνευτήρες. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούμε και ενσίρωμα μέσα στον ΑΧ. Το ενσίρωμα είναι χονδροειδής ζωοτροφή και ο λόγος που αναμειγνύεται με τα απόβλητα είναι για την καλύτερη απόδοση τους σε βιοαέριο.

Το βιοαέριο που παράγεται θεωρείται καύσιμο, γιατί αποτελείται κυρίως από CH_4 σε ποσοστό 60 με 90%, και με την καύση του παράγεται ενέργεια. Επίσης είναι οικολογικό γιατί δεν επηρεάζει το ισοζύγιο του CO_2 .

Η χρήση ενσίρωματος μέσα στο μείγμα και μερικών άλλων λεγόμενων ενεργειακών φυτών συναντά προβλήματα και αντιδράσεις. Τα φυτά αυτά είναι εν δυνάμει τροφές για ζώα αλλά και ανθρώπους και η χρήση τους για παραγωγή ενέργειας θεωρείται από πολλούς σπατάλη.

Στην παρούσα μελέτη γίνεται χρήση του εκχυλίσματος ενσιρώματος, ώστε να μην έχουμε απώλειες στην ζωοτροφή, και παράλληλα να παραχθεί ενέργεια μέσω της ΑΧ. Υπολογίζεται πως χάνεται το 10 % της Ξ.Ο. του ενσιρώματος.

Στο πειραματικό μέρος γίνεται η ανάμειξη υ/δ βουστασίου με εκχύλισμα ενσιρώματος για τρεις χρόνους παραμονής (16,21,32). Για την αναερόβια χώνευση χρησιμοποιήθηκαν 2 χωνευτήρες των 19 λίτρων ο καθένας.

Εν τέλει αφού βρέθηκε ο βέλτιστος χρόνος παραμονής στον αναερόβιο χωνευτήρα, έγινε εφαρμογή των αποτελεσμάτων στα δεδομένα του βουστασίου και στην συνέχεια ακολούθησε οικονομική αξιολόγηση.

Summary

The growing needs of society for more energy and parallel demand for a cleaner environment leads to the exploitation of new energy sources. Also we depend more on fossil fuels (oil, natural gas, fossil fuels) and any change in price, directly affects the cost of production and especially in the primary sector.

The growing world population means more food needs and increasing waste produced on farms. For these reasons, in recent years there have been attempts to

produce energy from renewable resources, such as photovoltaic, wind turbines, biomass utilization, biogas etc.

In this thesis we try to exploit all waste from a dairy farm in Thebes, through anaerobic digestion. AD is a microbiological process of decomposition of organic matter in the absence of oxygen, which is common in many natural environments and applied today to produce biogas in airtight containers that serve as reactors, which are usually called digesters. To achieve this we use and silage in the CS. Silage is a foraging and mixed with the waste, for better performance in biogas

The biogas produced is considered fuel, which is composed mainly of CH₄ at a rate of 60 to 90%, and burning this produced energy. Also is ecological because it affects the balance of CO₂.

The use of silage in the mixture and some other so-called energy crops encounters problems and reactions. These plants are potential food for animals and humans, and their use for energy production is considered wasteful by many people.

In this study used a silage extract, to not have losses in the feed, and also to produce energy through the CS. Estimated that lost 10% of DM of silage.

In the experimental part of the mixing liquid dairy wastes and silage extract for three residence times (16, 21, 32). For anaerobic digestion used 2 digesters of 19 liters each.

Eventually, after being found the optimal time in the anaerobic digester, was applying the results to data dairy farm and followed economic evaluation.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Αναερόβια Χώνευση – Βιοαέριο

1.1 Γενικά για την αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές διαθέσιμες διαδικασίες επεξεργασίας των κτηνοτροφικών και άλλων ειδών αποβλήτων. Είναι μια μέθοδος που εφαρμόζεται εδώ και πολλά χρόνια για τα αστικοβιομηχανικά απόβλητα, η οποία δε συμβάλλει μόνο στην ελάττωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αλλά και στην παραγωγή ενός χρήσιμου τελικού υποπροϊόντος, γνωστού ως “βιοαέριο”. Η παραγωγή βιοαερίου με τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης εφαρμόζεται, παραδοσιακά, στην επεξεργασία αποβλήτων σε πολλές και διαφορετικές, μικρές, οικογενειακού τύπου, εγκαταστάσεις στην Κίνα και στην Ινδία. Στην Ευρώπη, αυτή η πολλά υποσχόμενη τεχνική περιορίζεται σήμερα σε ένα μικρό μόνο αριθμό χωρών, οι οποίες εφαρμόζουν πολιτική ανάπτυξης τεχνικών φιλικών προς το περιβάλλον με ενθάρρυνση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στη δεκαετία του 1950, 40 περίπου πιλοτικές εγκαταστάσεις δημιουργήθηκαν για να παράγουν βιοαέριο, από κτηνοτροφικά απόβλητα, με στόχο να ζεσταίνουν τις ίδιες τις κτηνοτροφικές μονάδες. Οι εγκαταστάσεις αυτές δεν ήταν οικονομικά βιώσιμες εξαιτίας των χαμηλών τιμών που προσφέρονταν στην αγορά για τα καύσιμα του είδους αυτού. Μετά την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του ‘70, το ενδιαφέρον για άλλες μορφές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης και της αναερόβιας χώνευσης, πήρε μεγάλες διαστάσεις στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης.

Η παραγωγή βιοαερίου είναι μια πολύ γνωστή και παλιά βιολογική διεργασία. Τον 10ο αιώνα π.Χ. το βιοαέριο χρησιμοποιούταν για θέρμανση νερού στην Ασσυρία και αργότερα τον 18ο αιώνα π.Χ. στην Περσία. Ο Βενιαμίν Φραγκλίνος ήταν ο πρώτος που ανέφερε το 1764 ότι μπορούσε να βάλει φωτιά σε μια μεγάλη επιφάνεια ρηχής λασπώδους λίμνης στο New Jersey. Ο Alexander Volta στην Ιταλία ήταν ο πρώτος που περιέγραψε επιστημονικά τον σχηματισμό του βιοαερίου σε έλη και σε ιζήματα λιμνών το 1776. Τελικά ο Dalton έδωσε το σωστό χημικό τύπο του μεθανίου το 1804. Ο Poroff το 1875 ήταν ο πρώτος που ανέφερε ότι η σύνθεση του μεθανίου παραμένει σταθερή αυξάνοντας την θερμοκρασία.

Οι πρώτες αναερόβιες εγκαταστάσεις εμφανίζονται στην Ινδία το 1859 και αφορούν ζωικά απόβλητα. Αργότερα, μεταξύ των ετών 1914 και 1921 οι Imhoff και Blunk δοκίμασαν μια σειρά εφαρμογών που αφορούσε τη θέρμανση των χωνευτήρων. Τελικά, το 1926 εγκαταστάθηκε στη Γερμανία ο πρώτος χωνευτήρας ο οποίος λειτουργούσε με συνεχή θέρμανση και ο οποίος σήμανε την αρχή της συστηματικής βιομηχανικής παραγωγής βιοαερίου κάτω από αυξανόμενες θερμοκρασίες.

Γενικότερα, η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης των ζωικών αποβλήτων εφαρμόστηκε ευρέως στην Ασία εξαιτίας τις απλότητας και της σταθερότητάς της στα ζωικά απόβλητα. Στην Κίνα μόνο χρησιμοποιούνται 4-6 εκατομμύρια αναερόβιων χωνευτήρων, χαμηλής βεβαίως τεχνολογίας, και το βιοαέριο που παράγεται χρησιμοποιείται για μαγείρεμα και φωτισμό σπιτιών και κοινοτήτων. Αυτός ήταν προφανώς και ο λόγος για τον οποίο ο Buswell θεωρείται ο πατέρας της διαδικασίας της χώνευσης, η οποία σήμερα ελκύει το ενδιαφέρον των επιστημόνων λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων της.

Η πρώτη πετρελαϊκή κρίση το 1973 αποτέλεσε το έναυσμα των ερευνητικών προσπαθειών στην αναερόβια χώνευση σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής. Αρχικά, υπήρξαν αρκετά τεχνολογικά προβλήματα, αλλά κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών η τεχνολογία βελτιώθηκε και τα περισσότερα από τα προβλήματα αυτά λύθηκαν. Σήμερα η παραγωγή βιοαερίου από ζωικά απόβλητα είναι μια διεργασία που έχει μελετηθεί αρκετά. Πολλές επιτυχείς προσπάθειες έχουν γίνει προσφάτως, συνδυάζοντας τη χώνευση ζωικών αποβλήτων ως βασικό υπόστρωμα με βιομηχανικά και αστικά απόβλητα τόσο σε μεμονωμένες περιοχές όσο και σε κεντρικές εγκαταστάσεις βιοαερίου.

Στην Ευρώπη, τα έτη 1999-2000 λειτουργούσαν πάνω από 700 εγκαταστάσεις βιοαερίου οι οποίες διαχειρίζονταν γεωργικά και βιομηχανικά απόβλητα. Από αυτές, περίπου οι 500 διαχειρίζονταν μόνο ζωικά απόβλητα ενώ οι υπόλοιπες διαχειρίζονταν ζωικά απόβλητα σε συνδυασμό με άλλα οργανικά υπολείμματα.

Ιστορικά, ο λόγος για τον οποίο αναπτύχθηκε η τεχνολογία παρασκευής βιοαερίου είναι η ανάγκη για εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι αρχικές ερευνητικές προσπάθειες επικεντρώθηκαν στη μεγιστοποίηση του ρυθμού παραγωγής ενέργειας, στην αποτελεσματικότητα του κόστους εγκατάστασης και στην αποδοτικότητα παραγωγής ενέργειας. Το αποτέλεσμα των ερευνών αυτών

ήταν ο σχεδιασμός βελτιωμένων αναερόβιων χωνευτήρων (υψηλής τεχνολογίας) στους οποίους τα απόβλητα παραμένουν για μικρό χρονικό διάστημα, διατηρώντας το μέγεθος των εγκαταστάσεων σε οικονομική κλίμακα. Όμως οι χωνευτήρες του τύπου αυτού έχουν υψηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας εξαιτίας της εντατικοποίησης της διεργασίας. Έτσι, χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για βιομηχανικά υγρά απόβλητα ή σε κεντρικούς σταθμούς και γενικότερα σε περιπτώσεις όπου παράγεται μεγάλος ημερήσιος όγκος αποβλήτων.

Όσον αφορά στα ζωικά απόβλητα η κατάσταση είναι διαφορετική. Οι κτηνοτρόφοι δεν μπορούν να εγκαταστήσουν και να λειτουργήσουν αποδοτικά εξειδικευμένου τύπου εγκαταστάσεις εξαιτίας της έλλειψης οικονομικής και τεχνικής υποστήριξης. Κάτω από τις σημερινές συνθήκες που επικρατούν σε μια γεωργική εγκατάσταση, μόνο μια απλή κλασική αναερόβια εγκατάσταση χώνευσης (συνεχούς ανάδευσης – CSTR ή εμβολοειδούς ροής – PF reactors) η οποία θα συνδυάζει χαμηλό κόστος λειτουργίας, ικανοποιητική ελάττωση οργανικού φορτίου και μέγιστη παραγωγή βιοαερίου μπορεί να έχει πιθανότητα επιτυχίας. Αυτό φαίνεται κυρίως στις χώρες της νότιας Ευρώπης, όπου κυριαρχούν κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις μικρού μεγέθους και υπάρχει έλλειψη της κατάλληλης τεχνικής υποστήριξης.

Το κυριότερο εμπόδιο για τη συστηματική εξάπλωση συστημάτων αναερόβιων χωνευτήρων σε πτηνοκτηνοτροφικές μονάδες και βιομηχανίες τροφίμων είναι το υψηλό κόστος που απαιτείται για την παραγωγή του, η έλλειψη διαθέσιμης τεχνολογίας και ο τύπος των εξειδικευμένων χωνευτήρων.

Το κόστος, καθώς και οι συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή καθορίζουν τον τύπο της διαδικασίας και το είδος του αναερόβιου χωνευτήρα, το οποίο τελικά θα εφαρμοστεί. Για παράδειγμα, στη Δανία το κεντρικό σύστημα εγκαταστάσεων βιοαερίου έχει αναπτυχθεί και εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα. Οι αγροτικοί συνεταιρισμοί είναι υπεύθυνοι για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων αυτών κι έχουν ως στόχο την ευελιξία των αγροτών σε συνδυασμό με την προστασία του περιβάλλοντος.(*Georgakakis et all, 2010*).

1.1.2 Παρούσα κατάσταση και τάσεις εξέλιξης της AX

Κατά τα τελευταία έτη οι παγκόσμιες αγορές για το βιοαέριο αυξήθηκαν κατά 20 ως 30% το χρόνο και πολλές χώρες έχουν αναπτύξει σύγχρονες τεχνολογίες βιοαερίου και έχουν πετύχει να καθιερώσουν ανταγωνιστικές εθνικές αγορές βιοαερίου μετά από δεκαετίες εντατικής E&TA λαμβάνοντας σημαντικές κυβερνητικές επιχορηγήσεις και δημόσια υποστήριξη.

Ο Ευρωπαϊκός τομέας του βιοαερίου αριθμεί χιλιάδες εγκαταστάσεις, και χώρες όπως η Γερμανία, η Αυστρία, η Δανία και η Σουηδία είναι μεταξύ των τεχνικών προδρόμων, με τον μεγαλύτερο αριθμό σύγχρονων εγκαταστάσεων βιοαερίου. Ένας σημαντικός αριθμός τέτοιων εγκαταστάσεων λειτουργούν επίσης σε άλλα μέρη του κόσμου. Στην Κίνα, εκτιμάται ότι το 2006 λειτουργούσαν πάνω από 18 εκατομμύρια αγροτικοί οικιακοί χωνευτήρες βιοαερίου, και το συνολικό δυναμικό βιοαερίου της Κίνας υπολογίζεται ότι είναι 145 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Στην Ινδία την περίοδο αυτή βρίσκονται σε λειτουργία περίπου 5 εκατομμύρια εγκαταστάσεις βιοαερίου μικρής κλίμακας. Άλλες χώρες όπως το Νεπάλ και το Βιετνάμ έχουν επίσης σημαντικούς αριθμούς οικιακών εγκαταστάσεων βιοαερίου πολύ μικρής κλίμακας.

Οι περισσότερες εγκαταστάσεις βιοαερίου στην Ασία χρησιμοποιούν απλές τεχνολογίες, και επομένως είναι εύκολο να σχεδιαστούν και να γίνει αναπαραγωγή τους. Στην άλλη πλευρά του Ατλαντικού, χώρες όπως οι ΗΠΑ, ο Καναδάς και πολλές χώρες της Λατινικής Αμερικής έχουν ξεκινήσει την ανάπτυξη σύγχρονων τομέων βιοαερίου και παράλληλα εφαρμόζονται ευνοϊκά πολιτικά πλαίσια, για την υποστήριξη αυτής της ανάπτυξης.

Σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες σε συνδυασμό με εφαρμογές σε πλήρη κλίμακα διεξάγονται σε όλο τον κόσμο, με σκοπό την βελτίωση των τεχνολογιών μετατροπής, καθώς και της ευστάθειας και απόδοσης της λειτουργίας και της διεργασίας. Συνεχώς αναπτύσσονται και δοκιμάζονται νέοι χωνευτήρες, νέοι συνδυασμοί υποστρωμάτων AX, συστήματα τροφοδοσίας, εγκαταστάσεις αποθήκευσης και άλλες συνιστώσες του εξοπλισμού.

Παράλληλα με τους παραδοσιακούς τύπους πρώτης ύλης AX, σε μερικές χώρες έχει εισαχθεί η χρήση ενεργειακών καλλιεργειών για την παραγωγή βιοαερίου, ενώ ερευνητικές προσπάθειες καταβάλλονται προς την κατεύθυνση της αύξησης της παραγωγικότητας και της ποικιλομορφίας των ενεργειακών καλλιεργειών καθώς και για την αξιολόγηση του δυναμικού τους για την παραγωγή βιοαερίου. Έχουν εισαχθεί νέες

πρακτικές καλλιέργειας και αναμένεται να καθοριστούν νέα συστήματα αμειψισπορών, όπου η δια-καλλιέργεια και η συνδυασμένη καλλιέργεια αποτελούν επίσης αντικείμενα εντατικής έρευνας.

Η χρήση του βιοαερίου για συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ) έχει καταστεί μια τυποποιημένη εφαρμογή για το κύριο μέρος των σύγχρονων εφαρμογών του βιοαερίου στην Ευρώπη. Σε χώρες όπως η Σουηδία, η Ελβετία και η Γερμανία, αναβαθμισμένο βιοαέριο χρησιμοποιείται ως βιοκαύσιμο στις μεταφορές. Σε αυτές τις χώρες εγκαθίστανται δίκτυα σταθμών αναβάθμισης και πλήρωσης με καύσιμο. Η αναβάθμιση και τροφοδότηση του βιοαερίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου είναι μια σχετικά νέα εφαρμογή και οι πρώτες εγκαταστάσεις, στη Γερμανία και την Αυστρία, τροφοδοτούν με βιομεθάνιο τα δίκτυα του φυσικού αερίου. Η νεώτερη χρήση του βιοαερίου είναι στις κυψέλες καυσίμου, οι οποίες αποτελούν μία ώριμη εμπορική τεχνολογία, και ήδη λειτουργούν σε χώρες όπως η Γερμανία και οι ΗΠΑ.

Η συνδυασμένη παραγωγή βιοκαυσίμων (βιοαέριο, βιοαιθανόλη και βιοντίζελ), τροφίμων και πρώτων υλών για τη βιομηχανία, ως τμήμα της ίδιας αρχής των βιοδυλιστηρίων αποτελεί σήμερα έναν από τους σημαντικούς τομείς της έρευνας, όπου το βιοαέριο παρέχει την ενέργεια διεργασίας για την παραγωγή των υγρών βιοκαυσίμων και χρησιμοποιεί τα απόβλητα υλικά της διεργασίας ως πρώτη ύλη για την ΑΧ. Η συνδυασμένη αρχή των βιοδυλιστηρίων θεωρείται ότι μπορεί να προσφέρει διάφορα πλεονεκτήματα σχετικά με την ενεργειακή αποδοτικότητα, τις οικονομικές επιδόσεις και τη μείωση των εκπομπών ΑΦΘ. Γι' αυτό το λόγο, στην Ευρώπη και σε όλο τον κόσμο έχουν υλοποιηθεί διάφορα πιλοτικά έργα και τα αποτελέσματά τους σε πλήρη κλίμακα θα είναι διαθέσιμα τα επόμενα έτη. (Εγχειρίδιο Βιοαερίου, Σιούλας)

1.2 Μικροβιακή διαδικασία παραγωγής

Το βιοαέριο παράγεται από την αναερόβια βιοαποικοδόμηση της οργανικής ουσίας των αποβλήτων. Για να επιτευχθεί η παραγωγή του βιοαερίου απαιτείται ευνοϊκό χημικά περιβάλλον το οποίο χαρακτηρίζεται από:

- Χαμηλή συγκέντρωση κατιόντων

- Ουδέτερο προς αλκαλικό pH (7.0 – 9.0)
- Απουσία τοξικών ουσιών και οξυγόνου
- Κατάλληλη ρυθμιστική ικανότητα
- Κατάλληλη θερμοκρασία

Η ανάπτυξη των αναερόβιων βακτηρίων (μεθανοβακτήρια) γίνεται κάτω από τρία θερμοκρασιακά εύρη:

- Για θερμοκρασίες εύρους 10-25°C αναπτύσσονται ψυχρόφιλα αναερόβια βακτήρια
- Για θερμοκρασίες εύρους 25-40°C αναπτύσσονται μεσόφιλα αναερόβια βακτήρια
- Για θερμοκρασίες εύρους 40-60°C αναπτύσσονται θερμόφιλα αναερόβια βακτήρια (Georgakakis et al, 2010).

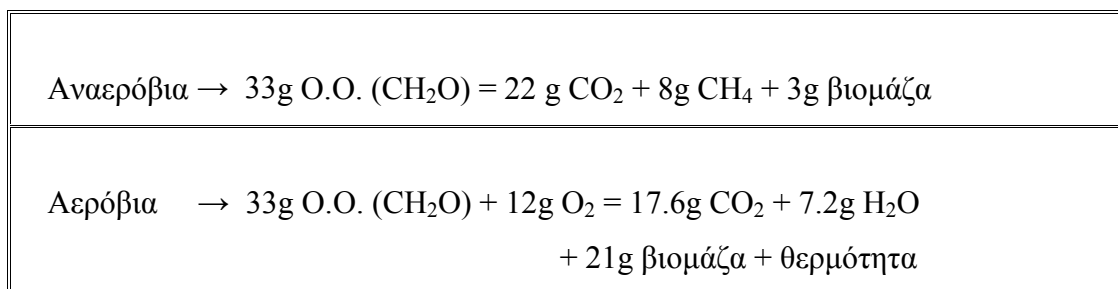
Η αναερόβια χώνευση είναι η μικροβιολογική διεργασία αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας απουσία οξυγόνου. Τα βασικά προϊόντα αυτής της διεργασίας είναι το βιοαέριο και το κομπόστ. Το βιοαέριο είναι ένα αέριο καύσιμο, αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Το κομπόστ είναι το αποσυντεθειμένο υπόστρωμα, επακόλουθο της παραγωγής του βιοαερίου.

Κατά τη διάρκεια της ΑΧ, παράγεται πολύ λίγη θερμότητα σε αντίθεση με την αερόβια (παρουσία οξυγόνου) αποσύνθεση, όπως η κομποστοποίηση. Η ενέργεια, που είναι χημικά δεσμευμένη μέσα στο υπόστρωμα, παραμένει κυρίως στο παραγόμενο βιοαέριο με τη μορφή μεθανίου.

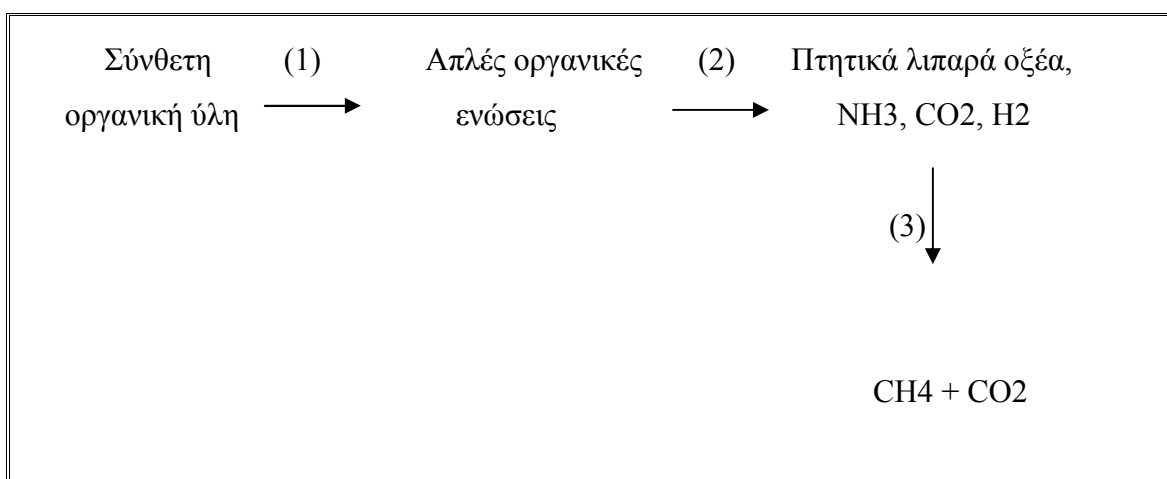
Η διεργασία σχηματισμού του βιοαερίου είναι ένα αποτέλεσμα συνδυαστικών βημάτων, στα οποία το αρχικό υλικό συνεχώς διασπάται σε μικρότερα στοιχεία. Ειδικές ομάδες μικροοργανισμών εμπλέκονται σε καθένα από τα μεμονωμένα βήματα. Αυτοί οι οργανισμοί αποσυνθέτουν διαδοχικά τα προϊόντα των προηγούμενων βημάτων.

Η ταχύτητα της συνολικής διεργασίας αποσύνθεσης καθορίζεται από την πιο αργή αντίδραση της αλυσίδας. Στην περίπτωση των εγκαταστάσεων βιοαερίου όπου γίνεται επεξεργασία των φυτικών υποστρωμάτων που περιέχουν κυτταρίνη, ημι-κυτταρίνη ή λιγνίνη, η υδρόλυση είναι αυτή που καθορίζει την ταχύτητα της διεργασίας. (Εγχειρίδιο Βιοαερίου, Σιούλας)

Το μεθάνιο είναι η πιο οξειδωμένη ή ανηγμένη μορφή της αναερόβιας βιοαποικοδόμησης των οργανικών συστατικών των αποβλήτων και εξαρτάται από την προέλευση των αποβλήτων. Όλη σχεδόν η ηλιακή ενέργεια η οποία είναι αποθηκευμένη στους χημικούς δεσμούς των μορίων των οργανικών συστατικών των αποβλήτων καταναλώνεται για το σχηματισμό του μεθανίου όπως φαίνεται παρακάτω (σε σύγκριση με την αναερόβια αποικοδόμηση):



Η αναερόβια χώνευση των αποβλήτων είναι μια διαδικασία τριών φάσεων και πραγματοποιείται με τη βοήθεια ειδικών ομάδων βακτηρίων (*Svoboda, 2003*):



Στην πρώτη φάση πραγματοποιείται υδρόλυση των σύνθετων οργανικών ενώσεων σε απλούστερες με τη βοήθεια εξωενζύμων τα οποία παράγονται από οξεοπαραγωγά βακτήρια.

Στη δεύτερη φάση πραγματοποιείται ο σχηματισμός οξέων με τη βοήθεια των προαναφερθέντων βακτηρίων. Τα βακτήρια αυτά αποικοδομούν τα προϊόντα της

υδρόλυσης της πρώτης φάσης. Επιπλέον απελευθερώνονται υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα σε μικρές ποσότητες.

Στη τρίτη φάση πραγματοποιείται ο σχηματισμός του μεθανίου με τη βοήθεια των οξεοτρόφων μεθανοβακτηρίων τα οποία αποικοδομούν τα οξέα (κυρίως οξικό οξύ) που σχηματίστηκαν στην προηγούμενη φάση. Το 70% του παραγόμενου μεθανίου προέρχεται από αυτή τη διαδικασία. Το υπόλοιπο 30% προέρχεται από αναγωγή του υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα μέσω υδρογονοτρόφων μεθανοβακτηρίων. Κατά την υδρόλυση, παράγονται σχετικά μικρές ποσότητες βιοαερίου. Η παραγωγή βιοαερίου φθάνει στην αιχμή της κατά την μεθανογένεση.

Τα μεθανοβακτήρια χρησιμοποιούν τελικά μόνο το οξικό οξύ, το υδρογόνο και το διοξείδιο του άνθρακα, ως υπόστρωμα για την παραγωγή μεθανίου. ως εκ τούτου η μετατροπή των υπόλοιπων ενδιάμεσων ενώσεων, που προκύπτουν κατά τις φάσεις 1 και 2, τελικά σε οξικό οξύ υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα διενεργείται με την επέμβαση μιας άλλης κατηγορίας εξειδικευμένων αναερόβιων μικροοργανισμών, γνωστών ως μεταβατικών βακτηρίων (transitional bacteria). Μια τέτοια ομάδα βακτηρίων είναι τα ομο – οξεοπαράγωγα βακτήρια (homoacetogenic bacteria), τα οποία μετατρέπουν ένα ευρύ φάσμα ενώσεων, όπως το υδρογόνο, το διοξείδιο του άνθρακα και το μυρμηγκικό οξύ προς οξικό οξύ.

Τα μεταβατικά είναι κυρίως οξεοπαράγωγα βακτήρια, τα οποία διασπών τα προϊόντα της υδρόλυσης και τα μετατρέπουν σε προϊόντα κατάλληλα για υπόστρωμα των μεθανοβακτηρίων όπως π.χ. τα λιπίδια, προϊόντα υδρόλυσης των λιπών, τα πεπτίδια προϊόντα υδρόλυσης των πρωτεϊνών και τους ολιγοσακχαρίτες προϊόντα υδρόλυσης των υδατανθρικών πολυμερών προς οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα.

Σε πολλές περιπτώσεις, η αυξημένη συγκέντρωση οξικού οξέως και υδρογόνου έχει αποδειχτεί ανασταλτική στην ανάπτυξη μεθανοβακτηρίων, ενώ κατ' άλλους, η αύξηση είναι το αποτέλεσμα της δράσης των ευαίσθητων αυτών μικροοργανισμών από κάποια άλλη αιτία. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο για την ομαλή εξέλιξη όλης της διαδικασίας να διατηρούνται τα πτητικά οξέα και το υδρογόνο σε σταθερά επιθυμητά επίπεδα μέσα στον χωνευτήρα, ενδεικτικά της καλής συνεργασίας (ισορροπίας) μεταξύ των οξεοπαράγωγων βακτηρίων και των μεθανοβακτηρίων.

Στο διάγραμμα 1 φαίνεται αναλυτικά η συνδυασμένη δράση των διαφόρων ομάδων αναερόβιων μικροοργανισμών, καθώς και τα παραγόμενα ενδιάμεσα και τα

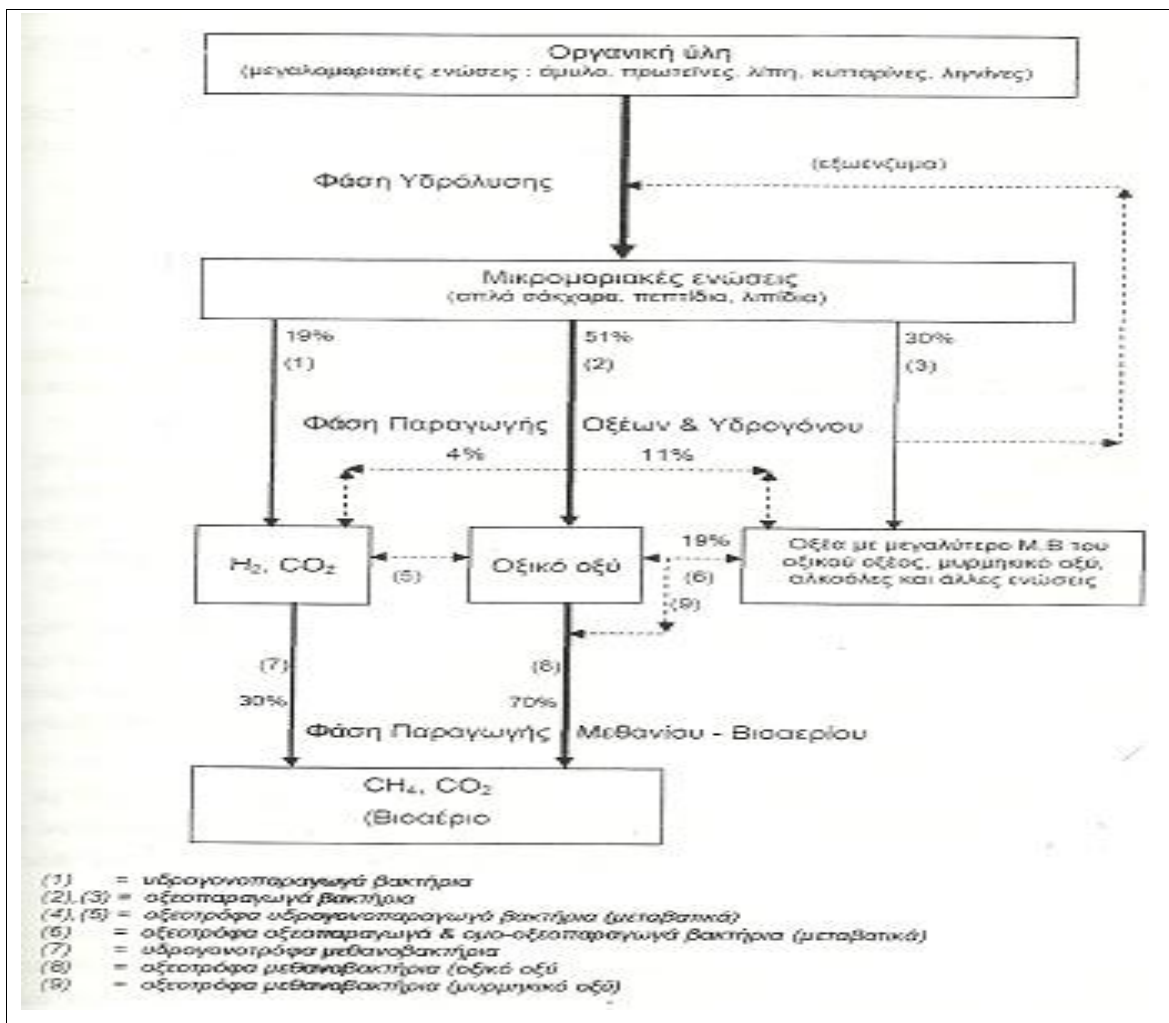
τελικά προϊόντα της διάσπασης των οργανικών υλών, κατά την διαδικασία παραγωγής βιοαερίου (Poulsen, 2003).

Οι ομάδες (4) , (5) και (6) μπορούν να αντιστρέψουν την δράση τους, αν οι συνθήκες το επιτρέψουν (π.χ. υψηλή συγκέντρωση H_2 και οξικού οξέος, που μπορεί να συμβεί όταν η πορεία της αναερόβιας χώνευσης δεν εξελίσσεται κανονικά).

Η φάση της υδρόλυσης των μεγαλομοριακών οργανικών ενώσεων καθορίζει γενικά την ποσότητα του παραγόμενου μεθανίου κατά την αναερόβια χώνευση της οργανικής ύλης. Η φάση της υδρόλυσης όσον αφορά στα απόβλητα των αγροτικών ζώων αναμένεται να έχει αρχίσει στο πεπτικό σύστημα των ζώων αυτών. Για αυτό το λόγο, η παραγωγή βιοαερίου από τα απόβλητα αυτά είναι μία σταθερή και απλή διαδικασία.

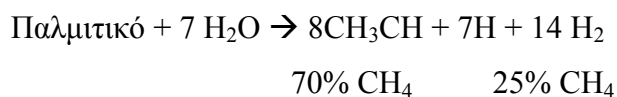
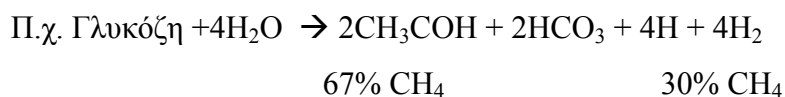
Διάγραμμα. Συνδυασμένη δράση ομάδων αναερόβιων μικροοργανισμών κατά την διαδικασία παραγωγής βιοαερίου

Διάγραμμα 1. Δράση διαφόρων μικροοργανισμών για την παραγωγή βιοαερίου



Οργανικά οξέα μεγαλύτερου μοριακού βάρους από εκείνο του οξικού οξέος (προπιονικό, βουτυρικό, κλπ.), καθώς και άλλες οργανικές ενώσεις (αλκοόλες, κλπ.) διασπώνται προς HCO_3^- , CH_3COO^- και H_2 από εξειδικευμένες ομάδες μικροοργανισμών, τα οξεοπαράγωγα (acid producing) και υδρογονοπαράγωγα βακτήρια (hydrogen producing bacteria) αντίστοιχα. Πολλές από τις αντιδράσεις αυτές δεν είναι θερμοδυναμικά ευνοϊκές, εκτός και αν η μερική πίεση του H_2 διατηρείται σε επίπεδα κάτω από 0,001 atm, με τη βοήθεια εξειδικευμένης ομάδας μικροοργανισμών, των υδρογονοτρόφων μεθανοβακτηρίων.

Γενικά υπολογίζεται ότι τα 2/3 της παραγωγής μεθανίου προέρχεται από την οξείδωση του οξικού οξέος ($\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$), ενώ το περισσότερο από το 1/3, προκύπτει από την αναγωγή του CO_2 ($2\text{H}_2 + \text{C}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{O}_2$).



Το οξικό οξύ είναι λοιπόν το σπουδαιότερο υπόστρωμα για την παραγωγή μεθανίου. Μετά την φάση της υδρόλυσης, η διάσπαση του οξικού οξέος συνιστά το αμέσως κρίσιμότερο στάδιο για την παραγωγή μεθανίου και επηρεάζει καθοριστικά τον ρυθμό της μεθανογένεσης.

Τα μεθανοβακτήρια υπεισέρχονται στην τελευταία φάση της διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου κατά την αναερόβια χώνευση οργανικής προέλευσης υποστρωμάτων. Το μεγαλύτερο μέρος της χημικής ενέργειας, που υπάρχει στη αρχικό οργανικό υπόστρωμα, πρακτικά διοχετεύεται στο παραγόμενο μεθάνιο, ενώ παράλληλα, προκύπτει και ένας σχετικά μικρός αριθμός νέων μικροβιακών κυττάρων. (*Georgakakis et all, 2010*).

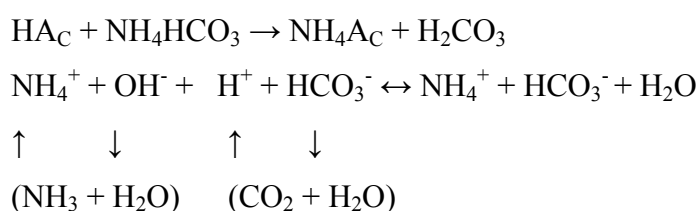
1.2.1 Σταθερότητα αναερόβιας χώνευσης

A) Η σταθερότητα της αναερόβιας χώνευσης χαρακτηρίζεται από :

- Αυξημένη αλκαλικότητα του όξινου ανθρακικού ανιόντος (HCO_3^-) και συγκεκριμένες σταθερές τιμές του pH (μέγιστες τιμές 7,0-8,0)

- Η αμμωνία (NH₃), είτε ως αμμωνιακό κατιόν (NH₄⁺) (αμμώνιο), είτε ως αέριο, επηρεάζει άμεσα την αλκαλικότητα του όξινου ανθρακικού ανιόντος αυξάνοντας την. Στην πραγματικότητα αντισταθμίζει την επίδραση των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) στην αλκαλικότητα αυτή και στο pH.
- Τα πτητικά λιπαρά οξέα (VFA) μειώνουν την ρυθμιστική ικανότητα αντιδρώντας με τα όξινα ανθρακικά ανιόντα.

Άρα, η σταθερότητα της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης είναι αποτέλεσμα της **χημικής ισορροπίας** μεταξύ των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA), των όξινων ανθρακικών ανιόντων (HCO₃⁻) και του αμμωνιακού κατιόντος (NH₄⁺). Παρακάτω περιγράφεται η αλληλεπίδραση μεταξύ των πτητικών λιπαρών οξέων, των όξινων ανθρακικών ανιόντων και των αμμωνιακών κατιόντων.



Πέραν των παραγόντων που αφορούν τη σύσταση της οργανικής ουσίας των αποβλήτων και την παρουσία εγκλιματισμένου επαρκούς μικροβιακού πληθυσμού, η διαδικασία παραγωγής βιοαερίου εξαρτάται και από την ύπαρξη του κατάλληλου φυσικού και χημικού περιβάλλοντος, όπως είναι το pH, η θερμοκρασία, τα διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία, κλπ.

B) Ο δείκτης ρυθμιστικής ικανότητας (β) ή b-value ή ένταση του buffer, αποτελεί άλλη μια πολύ σημαντική παράμετρο που ελέγχεται κατά τη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης προκειμένου να ανιχνευθεί η σταθερότητα ή η πιθανόν αστάθεια του χωνευτήρα.

Ο δείκτης ρυθμιστικής ικανότητας β είναι η ποσότητα του ισχυρού οξέος ή της ισχυρής βάσης που απαιτείται για μια συγκεκριμένη αλλαγή του pH. Όσο μεγαλύτερη

είναι αυτή η ποσότητα τόσο ισχυρότερο είναι το ρυθμιστικό διάλυμα και τόσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης β .

Μαθηματικά ο δείκτης β ορίζεται ως η παραγωγός (Butler, 1964) :

$$\beta = \frac{dC_b}{dpH}, \text{ όπου } C_b : \text{ συγκέντρωση της ισχυρής βάσης}$$

Η προσθήκη dC_b γραμμομορίων της ισχυρής βάσης σε ένα διάλυμα αυξάνει το pH και τη συγκέντρωση του βασικού συστατικού κατά dC_b με αντίστοιχη μείωση (εξουδετέρωση) του όξινου συστατικού.

ή

$$\beta = -\frac{dC_a}{dpH}, \text{ όπου } C_a : \text{ συγκέντρωση του ισχυρού οξέος}$$

Η προσθήκη dC_a γραμμομορίων του ισχυρού οξέος σε ένα διάλυμα μειώνει το pH και αυξάνει τη συγκέντρωση του όξινου συστατικού κατά dC_a με αντίστοιχη μείωση (εξουδετέρωση) του βασικού συστατικού.

1.3 Σύνθεση και ιδιότητες βιοαερίου

Η αναερόβια βιοαποικοδόμηση της οργανικής ουσίας πραγματοποιείται στη φύση ως αποτέλεσμα μικροβιακών, αλλά και ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Οι συνθήκες που απαιτούνται για την παραγωγή του μεθανίου ενυπάρχουν σε φυσικά περιβάλλοντα όπως έλη, λίμνες ή θαλάσσια ιζήματα. Αυτές οι φυσικές πηγές παραγωγής μεθανίου προέρχονται από παρόμοιες διαδικασίες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν εκατομμύρια χρόνια πριν. Η φυσική αυτή μικροβιακή διεργασία εφαρμόζεται από τον άνθρωπο στις εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου (Georgakakis et al, 2002).

Το υπόστρωμα (βιομάζα) από το οποίο παράγεται το βιοαέριο μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές όπως:

- ❖ Γεωργικά απόβλητα: ζωικά απόβλητα ή/και φυτικά υπολείμματα
- ❖ Βιομηχανικά απόβλητα: υγρές απορροές της παραγωγικής διαδικασίας από βιομηχανίες τροφίμων ή άλλες βιομηχανίες
- ❖ Αστικά (οικιακά) απόβλητα μετά την αφαίρεση πλαστικών και τοξικών συστατικών
- ❖ Ενεργειακές καλλιέργειες: χερσαίες και υδάτινες

Η αναερόβια μικροβιακή αποικοδόμηση των παραπάνω οργανικών υποστρωμάτων λαμβάνει χώρα μέσα στους αναερόβιους χωνευτήρες. Διάφοροι τύποι χωνευτήρων έχουν σχεδιαστεί ώστε να ανταποκρίνονται καλύτερα στα διάφορα υποστρώματα. Το πρόβλημα αυτό εξετάστηκε πρόσφατα από τους Sahm (1984) και Van den Berg (1984) (*Georgakakis et al, 2010*).

Η σχετική περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα εξαρτάται από τις επικρατούσες φυσικοχημικές συνθήκες. Από τη μία εξαρτάται από την υδατοδιαλυτότητα του μεθανίου και από την αναλογία ανόργανου άνθρακα στο CO_2 και ανθρακικού οξέος και από την άλλη από το pH και την αλκαλικότητα, τα οποία θα επηρεάσουν την αναλογία του ανόργανου άνθρακα στο σχηματισμό των ανθρακικών ιόντων HCO_3^- .

Το βιοαέριο είναι ένα μίγμα αερίων το οποίο αποτελείται από:

- Μεθάνιο CH_4 , σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 60% μέχρι 90% ανάλογα με την προέλευση των αποβλήτων. Απόβλητα χοιροστασίων παράγουν βιοαέριο με περιεκτικότητα σε μεθάνιο 60-70%, ενώ απόβλητα ελαιοτριβείων και τυροκομείων σε ποσοστό 80-90%. Τα τελευταία εμφανίζουν χαμηλή ρυθμιστική ικανότητα εξαιτίας της χαμηλής περιεκτικότητας σε αμμωνία, γεγονός το οποίο έχει ως συνέπεια να παρατηρείται δέσμευση του CO_2 .
- Διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , το οποίο απαντάται σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 5% μέχρι 35%.
- Λοιπά αέρια σε χαμηλές συγκεντρώσεις, όπως υδρογόνο H_2 (1-3%), μονοξείδιο του άνθρακα CO , οξυγόνο O_2 (0,1-1%) και άζωτο N_2 (0,5-3%).
- Υδρατμούς, σε συγκεντρώσεις οι οποίες εξαρτώνται από τη θερμοκρασία των αποβλήτων.

Ο αέρας είναι βαρύτερος από το βιοαέριο, αφού το τελευταίο έχει πυκνότητα (0°C & 1 atm) της τάξης των $35,84 \text{ MJ/m}^3/50,2 \text{ MJ/kg} = 0,714 \text{ kg/m}^3$. Στον Πίνακα I.7 φαίνεται η πυκνότητα του βιοαερίου σε διάφορες περιεκτικότητες μεθανίου. Το βιοαέριο σε ποσοστό της τάξης των 5-14% κατ' όγκο στον αέρα συνιστά ένα εξαιρετικά εύφλεκτο και εκρηκτικό μίγμα. Το βιοαέριο μπορεί να υγροποιηθεί πολύ δύσκολα και μόνο σε θερμοκρασία -164°C και πίεση 1 atm, ή σε θερμοκρασία 20°C και πίεση 400 atm. Άρα είναι προφανές ότι η αποθήκευση του βιοαερίου σε υγρή κατάσταση είναι πρακτικά αδύνατη. Έτσι, το βιοαέριο μπορεί να αποθηκευτεί μόνο σε αέρια κατάσταση για μερικές ώρες τη μέρα, σε πλαστικά μπαλόνια ή σε άλλου τύπου συσκευασίες. Αυτή η ανεπιθύμητη ιδιότητα του βιοαερίου μας οδηγεί στην ανάγκη για άμεση χρησιμοποίησή του. Περίσσεια ή ποσότητα μη χρησιμοποιούμενου βιοαερίου θα πρέπει να καίγεται στον αέρα για λόγους ασφάλειας και προστασίας του περιβάλλοντος.

1.3.1 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

1.3.1.1 Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας

Ο απλούστερος τρόπος χρήσης του βιοαερίου είναι η άμεση καύση του σε λέβητες ή καυστήρες, που χρησιμοποιούνται εκτενώς στις αναπτυσσόμενες χώρες, για το βιοαέριο που παράγεται από μικρούς οικογενειακούς χωνευτήρες. Η άμεση καύση εφαρμόζεται στις αναπτυγμένες χώρες, σε καυστήρες φυσικού αερίου. Το βιοαέριο μπορεί να καεί για την παραγωγή θερμότητας είτε επί τόπου, είτε να μεταφερθεί με σωληνώσεις στους τελικούς χρήστες. Για τις εφαρμογές θέρμανσης το βιοαέριο δεν χρειάζεται καμία αναβάθμιση, και το επίπεδο μόλυνσης δεν περιορίζει την χρήση του αερίου τόσο όσο και στην περίπτωση άλλων εφαρμογών. Εντούτοις, το βιοαέριο πρέπει να υποβληθεί σε συμπύκνωση και αφαίρεση των σωματιδίων, συμπίεση, ψύξη και αφυδάτωση.

1.3.1.2 Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)

Η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) είναι η τυπική εφαρμογή του βιοαερίου από την ΑΧ σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες και θεωρείται ως μια πολύ αποδοτική χρήση του βιοαερίου για την παραγωγή ενέργειας. Πριν από τη

μετατροπή της ΣΗΘ, το βιοαέριο στραγγίζεται και ξηραίνεται. Οι περισσότερες μηχανές αερίου έχουν μέγιστα όρια για το σουλφίδιο υδρογόνου, τους αλογονημένους υδρογονάνθρακες και τις σιλοξάνες στο βιοαέριο. Μια μονάδα ΣΗΘ που χρησιμοποιεί μηχανή εσωτερικής καύσης έχει αποδοτικότητα μέχρι 90% και παράγει 35% ηλεκτρική ενέργεια και 65% θερμότητα.

Η πιο συνήθης εφαρμογή των μονάδων ΣΗΘ είναι οι θερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής τύπου κορμού (BTTP) με κινητήρες καύσης που συνδέονται με μια γεννήτρια. Οι γεννήτριες έχουν συνήθως μια σταθερή ταχύτητα περιστροφής (1.500 περιστροφές/λεπτό) προκειμένου να είναι συμβατές με τη συχνότητα του δικτύου. Οι κινητήρες μπορούν να είναι μηχανές έγχυσης τύπου Otto, Ντίζελ ή πιλοτικές. Τόσο οι μηχανές αερίου Ντίζελ όσο και οι Otto λειτουργούν χωρίς πετρέλαιο ανάφλεξης, σύμφωνα με την αρχή του Otto. Η διαφορά αυτών των μηχανών είναι μόνο στη συμπίεση. Οι εναλλακτικές λύσεις στις προαναφερθείσες εφαρμογές είναι οι μικροί αεριοστρόβιλοι, οι μηχανές Stirling και οι κυψέλες καυσίμου, τεχνολογίες που είναι ακόμα σε στάδιο.

Η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ενέργεια διεργασίας για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, όπως είναι οι αντλίες, τα συστήματα ελέγχου και οι αναδευτήρες. Σε πολλές χώρες με υψηλά τιμολόγια αγοράς της ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας, όλη η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια πωλείται στο δίκτυο και η ηλεκτρική ενέργεια της διεργασίας αγοράζεται από το ίδιο το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο.

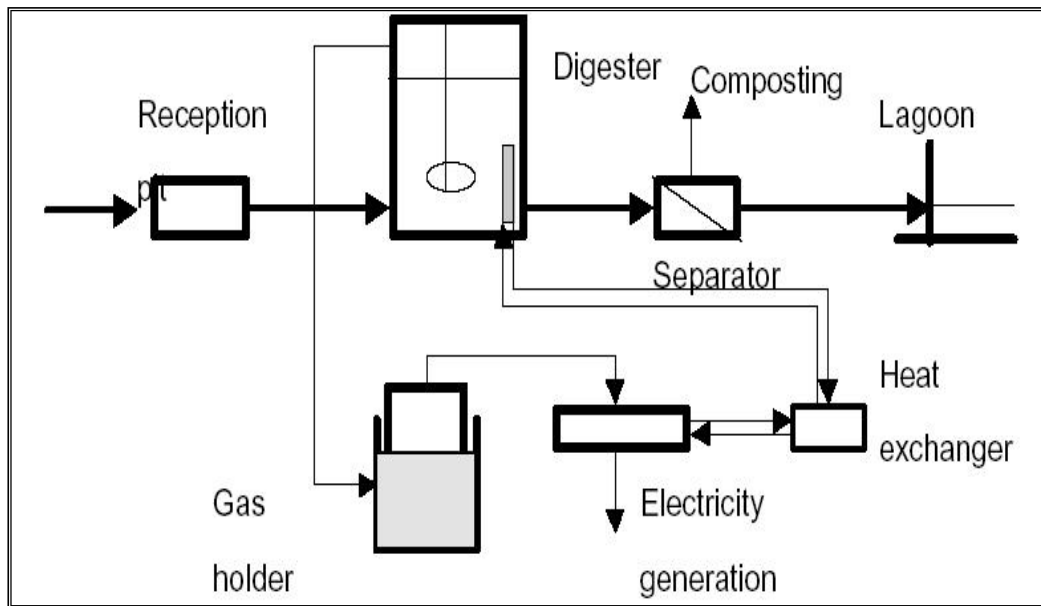
Ένα σημαντικό ζήτημα για την ενεργειακή και την οικονομική αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων του βιοαερίου είναι η χρήση της παραχθείσας θερμότητας. Συνήθως, ένα μέρος της θερμότητας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χωνευτήρων (θερμότητα διεργασίας) και περίπου τα δύο τρίτα όλης της παραχθείσας ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξωτερικές ανάγκες. Πολλές εγκαταστάσεις βιοαερίου, σε χώρες όπως η Γερμανία, σχεδιάστηκαν αποκλειστικά για λόγους ηλεκτροπαραγωγής, χωρίς πρόβλεψη για χρήση της θερμότητας. Σήμερα, για την επίτευξη καλής οικονομίας της εγκατάστασης είναι υποχρεωτική η χρήση της θερμότητας. Οι τιμές των προϊόντων (π.χ. για το καλαμπόκι) έχουν αυξηθεί και, για πολλές εγκαταστάσεις, δεν είναι αρκετή μόνο η πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας για την επίτευξη οικονομικής βιωσιμότητας. Οι νεο-εγκαθιστώμενες μονάδες βιοαερίου

πρέπει επομένως να περιλαμβάνουν πάντα στο γενικό σχεδιασμό τη χρήση της θερμότητας.

Η θερμότητα από βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις βιομηχανικές διεργασίες, στις γεωργικές δραστηριότητες ή για τη θέρμανση κτιρίων. Ο καταλληλότερος χρήστης της θερμότητας είναι η βιομηχανία, δεδομένου ότι η ζήτηση είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η ποιότητα της θερμότητας (θερμοκρασία) είναι ένα σημαντικό ζήτημα για τις βιομηχανικές εφαρμογές. Η χρήση της θερμότητας από βιοαέριο για την θέρμανση κτιρίων και νοικοκυριών (θέρμανση μίνι-δικτύου ή περιοχής) είναι μια άλλη επιλογή, αν και αυτή η εφαρμογή έχει χαμηλή ζήτηση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και υψηλή, κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η θερμότητα από βιοαέριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση προϊόντων, τεμαχίων ξύλου ή για το χωρισμό του κομπόστ. Τέλος, η θερμότητα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμένα συστήματα «ηλεκτρισμού, θερμότητας, δροσισμού». Αυτή η διεργασία είναι γνωστή από τα ψυγεία και χρησιμοποιείται π.χ. για την εν ψυχρώ αποθήκευση τροφίμων ή τον κλιματισμό. Η ενέργεια εισαγωγής είναι θερμότητα, η οποία μετατρέπεται σε ψύξη μέσω μιας διεργασίας απορρόφησης, όπου γίνεται μια διαφοροποίηση μεταξύ της προσρόφησης και της διεργασίας δροσισμού με απορρόφηση. Το πλεονέκτημα της ψύξης μέσω της απορρόφησης είναι οι μικρές φθορές, λόγω των λίγων μηχανικών μερών, και η μικρή κατανάλωση ενέργειας, σε σύγκριση με τις εγκαταστάσεις δροσισμού με συμπίεση. Η χρήση του συνδυασμού ηλεκτρισμός-θερμότητα-δροσισμός στις εγκαταστάσεις βιοαερίου εξετάζεται αυτήν την περίοδο μέσω διάφορων πιλοτικών προγραμμάτων. (Σιούλας, 2003)

1.4 Εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου

Η αναερόβια χώνευση για την παραγωγή βιοαερίου είναι μια διαδικασία που απαιτεί κατάλληλο, σύγχρονο και αξιόπιστο εξοπλισμό για την επιτυχή και αποδοτική λειτουργία της. Έτσι, σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά δεδομένα το βασικό σύστημα για την αναερόβια χώνευση των κτηνοτροφικών αποβλήτων περιλαμβάνει διάφορες μονάδες, όπως περιγράφονται παρακάτω (*Εικόνα 1*).



ΕΙΚΟΝΑ 1: Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος αναερόβιας χώνευσης για την επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων (Ζήκου Ε., 2006).

Όπου:

- Reception pit = Υποδοχή – Κοίλωμα
- Digester = Χωνευτήρας (Αντιδραστήρας)
- Composting = Κομποστοποίηση
- Lagoon = Ανοιχτή χωμάτινη αναερόβια δεξαμενή
- Separator = Μηχανικός διαχωριστής
- Heat exchanger = Εναλλάκτης θερμότητας
- Electricity generation = Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Gas holder = Δοχείο συλλογής αερίου

Οι βασικές δομικές μονάδες μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι :

- Μια δεξαμενή υποδοχής που χρησιμοποιείται για μικρής διάρκειας αποθήκευση. Είναι συνήθως εξοπλισμένη με έναν ισχυρό αναδευτήρα για την ομογενοποίηση του μίγματος αποβλήτων. Τα απόβλητα αναμιγνύονται και ομογενοποιούνται εδώ και έπειτα αντλούνται από τον αντιδραστήρα-χωνευτήρα σε κανονικά χρονικά διαστήματα για να διατηρηθεί ο προκαθορισμένος χρόνος επεξεργασίας (Χρόνος Παραμονής) στον χωνευτήρα.
- Ο χωνευτήρας είναι μια ερμητικά κλειστή δεξαμενή που συνήθως μονώνεται θερμικά, και που κατασκευάζεται με στόχο την ιζηματογένεση των αποβλήτων. Είναι εξοπλισμένος με μηχανικό ή πνευστό σύστημα ανάμειξης που κρατά το μίγμα των αποβλήτων σε μια ομοιογενή κατάσταση, βελτιστοποιώντας τη διαδικασία χώνευσης και ελαχιστοποιώντας οποιεσδήποτε αποκλίσεις από την βέλτιστη θερμοκρασία, τη συγκέντρωση των στερεών στο μίγμα των αποβλήτων, τη σύνθεση του υποστρώματος και τις συγκεντρώσεις αερίου στα απόβλητα.

Επιπλέον, ο χωνευτήρας μπορεί να διαθέτει ένα σύστημα (εναλλάκτη θερμότητας) για διατήρηση της διαδικασίας της χώνευσης σε θερμοκρασίες είτε γύρω στους 35 C ° είτε γύρω στους 55 C °.

- Τα απόβλητα αφού υποστούν χώνευση είτε αποθηκεύονται σε ανοιχτή χωμάτινη αναερόβια δεξαμενή, πριν από την εφαρμογή τους στο έδαφος, ή διαχωρίζονται, συνήθως από έναν φυγοκεντρικό μηχανικό διαχωριστή, έτσι ώστε να παραχθούν στερεά τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως υγρό ή στερεό λίπασμα πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά.
- Στη συνέχεια, το βιοαέριο που παράγεται από την αναερόβια διαδικασία συσσωρεύεται σε ένα ειδικό δοχείο συλλογής αερίου. Το βιοαέριο ξεθιαφίζεται, για να αφαιρεθούν τα σουλφίδια του υδρογόνου, και στη συνέχεια τοποθετείται σε έναν λέβητα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του περιεχομένου των χωνευτήρων και για παραγωγή θερμού νερού, το οποίο προορίζεται για θέρμανση χώρων σε διπλανά κτίρια.

Όταν παράγονται μεγάλοι όγκοι βιοαερίου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μηχανές εσωτερικής καύσεως και να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια για τις εγκαταστάσεις και για τα σπίτια της περιοχής.

Αυτό το πρότυπο της εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης δε διαφέρει σημαντικά από τις εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης που προτείνονται από το εργαστήριο γεωργικών κατασκευών στην Ελλάδα.

Η μόνη διαφορά παρουσιάζεται στο γεγονός ότι τα απόβλητα έχουν ήδη διαχωριστεί με τη βοήθεια κάποιου μηχανικού διαχωριστή πριν από την είσοδο τους στους χωνευτήρες. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την απομάκρυνση των χονδρόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων, με τη μορφή στερεών, από την υγρή φάση των αποβλήτων με αποτέλεσμα να διευκολύνεται σε μέγιστο βαθμό η παραπέρα επεξεργασία των αποβλήτων. Επίσης μειώνεται σημαντικά το οργανικής και ανόργανης προέλευσης ρυπαντικό τους φορτίο. Με αυτό τον τρόπο, για λόγους λειτουργικούς και οικονομικούς, κατά την αναερόβια χώνευση παραλείπεται το στάδιο του διαχωρισμού μετά τη χώνευση των αποβλήτων στους χωνευτήρες και λαμβάνει χώρα απευθείας η παραγωγή του βιοαερίου στα ειδικά δοχεία συλλογής του. (Αργυροπούλου. 2007)

1.4.1 Αναερόβιοι χωνευτήρες

Η παραγωγή του βιοαερίου πραγματοποιείται σε κλειστές κατασκευές, οι οποίες ονομάζονται αναερόβιοι χωνευτήρες ή βιοαντιδραστήρες.

Στο εσωτερικό τους διακρίνονται τέσσερις ζώνες (Εικόνα 2) :

- **Η ζώνη ζύμωσης και παραγωγής του βιοαερίου**

Στο χώρο αυτό οι μικροοργανισμοί αποσυνθέτουν το βιοαποικοδομήσιμο μέρος των αποβλήτων και βρίσκονται στην ενεργητική τους φάση.

- **Η ζώνη της λάσπης, στον πυθμένα του χωνευτήρα**

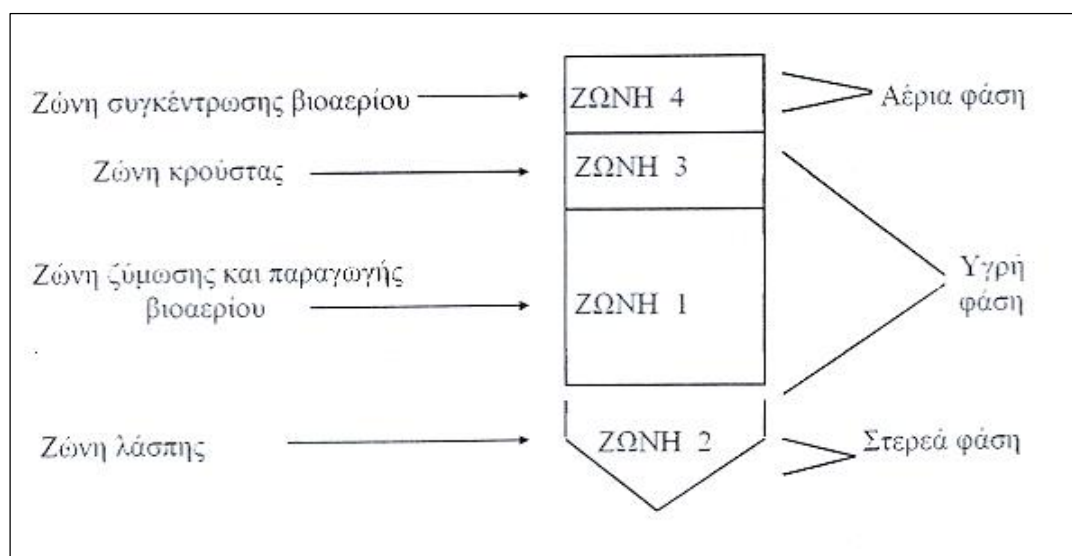
Σε αυτή την περιοχή κατακάθονται τα υλικά που δε βιοαποδομούνται και είναι αδιάλυτα και βαρύτερα του νερού καθώς επίσης και νεκρά ή αδρανή συσσωματώματα των μικροοργανισμών.

- **Η ζώνη της κρούστας**, στην επιφάνεια των υγρών του χωνευτήρα

Σχηματίζεται από υλικά αδιάλυτα και ελαφρύτερα του νερού ή από υλικά που παρασύρονται από φυσαλίδες του ανερχόμενου βιοαερίου.

- **Η ζώνη συγκέντρωσης του βιοαερίου**

Είναι ο κενός χώρος, στο πάνω μέρος του χωνευτήρα, που χρησιμεύει σαν προσωρινή αποθήκη του βιοαερίου και σαν ασφάλεια για την αντιμετώπιση τυχόν



αυξομειώσεων του όγκου των υγρών του χωνευτήρα.

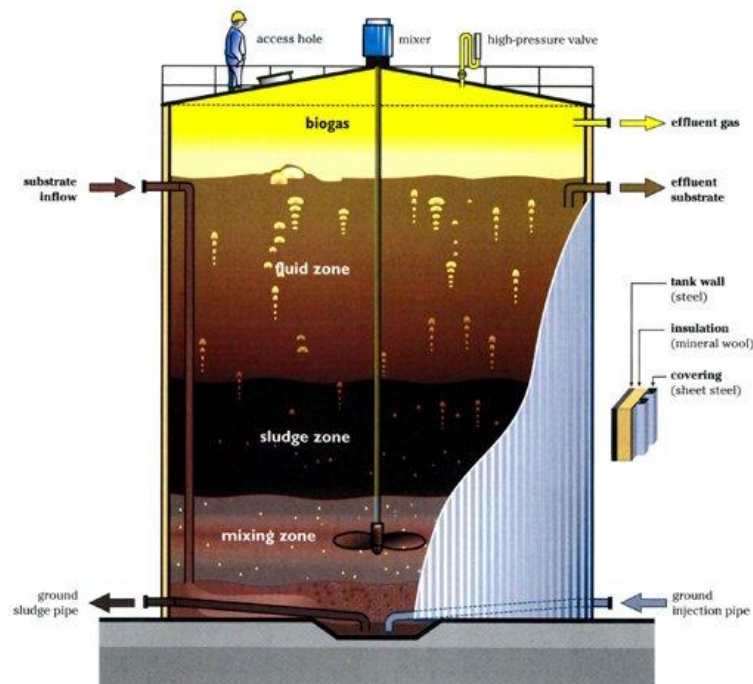
ΕΙΚΟΝΑ 2: Απεικόνιση των σχηματιζόμενων ζωνών στο εσωτερικό αναερόβιου χωνευτήρα (Γεωργακάκης, 2004)

Διακρίνονται, μεταξύ άλλων, σε κατασκευές οριζόντιου και κατακόρυφου τύπου

:

- Οι **χωνευτήρες οριζόντιου τύπου** είναι τσιμεντένιες δεξαμενές, ορθογωνίου σχήματος, κλεισμένες αεροστεγώς με ειδικά πλαστικά φύλλα. Πρόκειται για εγκαταστάσεις χαμηλού κόστους, οι οποίες δε θερμαίνονται ή θερμαίνονται μερικώς, ελέγχονται δύσκολα ενώ δε μπορεί να γίνει ανάδευση.
- Οι **χωνευτήρες κατακόρυφου τύπου (silo type)** κατασκευάζονται από τσιμέντο ή μέταλλο. Σε αυτού του τύπου τις εγκαταστάσεις μπορεί να γίνει ανάδευση και θέρμανση και - γενικά - μπορούν εύκολα να ελεγχθούν. Είναι πολύ πιο ακριβοί και πολύπλοκοι σε σχέση με αυτούς του οριζόντιου τύπου αλλά είναι πιο αξιόπιστοι και αποδοτικοί.(Εικόνα 3).

Εικόνα 3. Χωνευτήρας κατακόρυφου τύπου, συνεχής ροής



Μεταξύ των διαφόρων τύπων χωνευτήρων που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία 30 χρόνια, ο αναδευόμενος χωνευτήρας συνεχούς ροής (CFSTR) είναι ο απλούστερος. Δεν απαιτεί ιδιαίτερη συντήρηση και είναι κατάλληλος για απόβλητα μεγάλης πυκνότητας και οργανικού φορτίου, όπως είναι τα απόβλητα των χοιροστασιών και των ελαιοτριβείων.

1.4.2 Παράμετροι σχεδιασμού εγκαταστάσεων

Όσον αφορά τον σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση μιας εγκατάστασης παραγωγής βιοαερίου πρέπει να λάβουμε υπόψη συγκεκριμένες παραμέτρους. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση της παραγωγής βιοαερίου είναι τέσσερις:

- I. Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)
- II. Ογκομετρική φόρτιση ($\text{kg COD ή VS/m}_R^3 - \text{day}$)
- III. Υδραυλικός χρόνος παραμονής
- IV. Αναλογία άνθρακα – αζώτου (C/N)

I. Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)

Η θερμοκρασία επηρεάζει το ρυθμό της διεργασίας. Όσο υψηλότερη είναι, τόσο πιο γρήγορος είναι ο ρυθμός παραγωγής βιοαερίου και άρα τόσο πιο μικρός είναι ο χρόνος παραμονής και το μέγεθος του χωνευτήρα. Από την άλλη όμως, οι χαμηλές θερμοκρασίες ευνοούν τη σταθερότητα του συστήματος και το κάνουν λιγότερο ευπρόσβλητο σε απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας και φόρτισης. Φυσικά, σε χαμηλές θερμοκρασίες απαιτείται μεγάλος χρόνος παραμονής των αποβλήτων στο χωνευτήρα.

Για το λόγο αυτό, σε ψυχρόφιλες συνθήκες επιτυγχάνεται σταθερότητα του συστήματος, αλλά απαιτείται μεγάλος χρόνος παραμονής (περισσότερο από 100 ημέρες). Σε μεσόφιλες συνθήκες η διαδικασία είναι αρκετά σταθερή και απαιτείται μικρότερος χρόνος παραμονής (15-20 ημέρες για απόβλητα χοιροστασίων, βουστασίων και ελαιοτριβείων). Σε θεرمόφιλες συνθήκες, η θερμοκρασία καθίσταται πολύ ευαίσθητη σε μεταβολές θερμοκρασίας και φόρτισης, αλλά ο χρόνος παραμονής που απαιτείται είναι της τάξης των 10 ημερών. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για απόβλητα με μεγάλο ημερήσιο όγκο, όπως είναι τα βιομηχανικά.

Η μεσόφιλη φάση συνδυάζει σταθερότητα του συστήματος, μικρό χρόνο παραμονής και μέτριες απαιτήσεις σε θέρμανση. Γι' αυτό το λόγο και χρησιμοποιείται στην πράξη στις περισσότερες εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου παγκοσμίως.

II. Ογκομετρική φόρτιση (γ_v)

Η ογκομετρική φόρτιση είναι η ποσότητα της οργανικής ουσίας που τροφοδοτεί το χωνευτήρα, εκφρασμένη σε χημική ζήτηση οξυγόνου (COD) ή Πτητικά Στερεά (Volatile Solids, VS), η οποία αντιστοιχεί σε m^3 υγρού περιεχομένου της εγκατάστασης ημερησίως. Μερικές ενδεικτικές τιμές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία είναι οι εξής: (Burton et al., 2003).

- ✓ 2,5 – 3,5 kg VS/ $\text{m}^3_{\text{χων.}}$ – ημέρα για απόβλητα βουστασίων
- ✓ 5,0 – 7,0 kg VS/ $\text{m}^3_{\text{χων.}}$ – ημέρα για απόβλητα βουστασίων σε συνδυασμό με άλλα υλικά, όπως άχυρο.
- ✓ 3,0 – 3,5 kg VS/ $\text{m}^3_{\text{χων.}}$ – ημέρα για απόβλητα χοιροστασίων

Η ογκομετρική φόρτιση θεωρείται πολύ σημαντική παράμετρος γιατί καθορίζει το ρυθμό παραγωγής βιοαερίου και τη σταθερότητα του συστήματος. Θα πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατό περισσότερο σταθερή. Ανάλογα με την προέλευση των αποβλήτων υπάρχει μια βέλτιστη τιμή γ_v για την οποία επιτυγχάνουμε μέγιστο ρυθμό παραγωγής βιοαερίου. Στην πράξη μπορούμε να ελέγξουμε την ογκομετρική φόρτιση συμπυκνώνοντας ή αναμιγνύοντας διαφορετικά είδη αποβλήτων.

III. Υδραυλικός χρόνος παραμονής (Θ)

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής εκφράζει το μέσο χρόνο που το υπόστρωμα θα πρέπει να παραμείνει στον αντιδραστήρα και εκφράζεται σε ημέρες. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής καθορίζει το μέγεθος του χωνευτήρα και συνεπώς το κόστος της εγκατάστασης. Για απόβλητα χοιροστασίων ο χρόνος παραμονής είναι 15-20 ημέρες και στη βιβλιογραφία αναφέρονται και 10 ημέρες. Για απόβλητα ελαιοτριβείων και βουστασίων ο χρόνος παραμονής είναι 20-30 ημέρες. Όσο πιο μεγάλος είναι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, τόσο καλύτερη είναι η επεξεργασία των αποβλήτων και μεγαλύτερη η μείωση του φορτίου. Από την άλλη πλευρά όμως τόσο μεγαλύτερος θα πρέπει να είναι ο χωνευτήρας και άρα το κόστος της εγκατάστασης.

IV. Αναλογία άνθρακα – αζώτου (C/N)

Η αναλογία C/N εκφράζει τη συγκέντρωση του οργανικού άνθρακα σε σχέση με αυτή του αζώτου (Kjendal). Βέλτιστες τιμές είναι της τάξης του 30-35/1. Ειδικά για απόβλητα χοιροστασιών η βέλτιστη τιμή είναι 16-18/1. Οι *Georgakakis et al. (1982)* αναφέρουν ότι για τιμές πάνω από 10/1 επιτυγχάνεται σταθερότητα του συστήματος ανεξαρτήτως της συγκέντρωσης αμμωνίας. Αυτό ισχύει για τιμές αλκαλικότητας που οφείλεται σε όξινα ανθρακικά ανιόντα μεγαλύτερες από 6.000 mg/l σε CaCO₃ και τιμές pH μεγαλύτερες από 7,1.

Η σωστή αναλογία C/N εξασφαλίζει σταθερότητα και επιτρέπει μέγιστη και συνεχή παραγωγή βιοαερίου. Τα απόβλητα χοιροστασιών είναι πλούσια σε αμμωνία, έχουν μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα που οφείλεται στα όξινα ανθρακικά ανιόντα και έχουν αναλογία C/N της τάξης του 11-13/1.

Γενικά, τα απόβλητα των πτηνοκτηνοτροφικών μονάδων έχουν μικρό λόγο C/N και άρα απαιτείται εμπλουτισμός τους με οργανικό άνθρακα ώστε να επιτευχθούν τιμές C/N της τάξης του 16-18/1. αυτό μπορεί να γίνει μετά από ανάμειξή τους με απόβλητα πλούσια σε οργανικό άνθρακα όπως είναι τα απόβλητα των ελαιοτριβείων και των τυροκομείων, τα οποία έχουν χαμηλή συγκέντρωση αζώτου (C/N = 50/1).

V. Ογκομετρικός Βαθμός Απόδοσης

Εκφράζει πόσα κυβικά βιοαερίου ή μεθανίου παράγονται ανά κυβικό ωφέλιμου χωνευτήρα την ημέρα. Εκφράζεται σε :

$$\frac{\text{m}^3 \text{ βιοαερίου ή μεθανίου}}{\text{m}^3 \text{ ωφέλιμου χωνευτήρα}} / \text{ημέρα}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΒΟΟΤΡΟΦΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΑΒΛΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΑΓΕΛΑΔΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

2.1 Το μέγεθος και η διάρθρωση της βοοτροφίας στην Ελλάδα

Σύμφωνα με τα σχετικά πρόσφατα διαθέσιμα στοιχεία (2006), στην Ελλάδα εκτρέφονται 684.100 βοοειδή, εκ των οποίων 168.000 περίπου είναι ζώα γαλακτοπαραγωγής (αγελάδες, μοσχίδες)

Η μεγάλη συγκέντρωση των βοοειδών εστιάζεται στη Μακεδονία – Θράκη (53,3% του συνόλου). Ακολουθούν: Θεσσαλία (15,4%), Δυτική Ελλάδα (9,1%) και η Ήπειρος (8,7%).

2.2 Διάρθρωση της γαλακτοπαραγωγού βοοτροφίας

Η γαλακτοπαραγωγός αγελαδοτροφία περιλαμβάνει 8.500 περίπου εκμεταλλεύσεις, στις οποίες εκτρέφονται 149.000 αγελάδες γαλακτοπαραγωγής, το πλείστον των οποίων ανήκει στην φυλή Holstein. Οι τάσεις εντατικοποίησης της παραγωγής, σε συνδυασμό με τις προβλεπόμενες ενισχύσεις από αναπτυξιακά προγράμματα (εθνικά και κοινοτικά), υπήρξαν αιτίες δημιουργίας μεγάλων σύγχρονων μονάδων αγελάδων γαλακτοπαραγωγής, που αναπτύχθηκαν κυρίως σε πεδινές περιοχές και γύρω από αστικά κέντρα. Το μέσο μέγεθος γαλακτοπαραγωγού εκμετάλλευσης αγελάδων είναι 13,7, ενώ οι εκμεταλλεύσεις με κάτω από 10 αγελάδες μειώνονται συνεχώς. Η χωροταξική κατανομή των αγελάδων γαλακτοπαραγωγής φαίνεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1.Χωροταξική ταξινόμηση των γαλακτοπαραγωγικών αγελάδων στην Ελλάδα

Περιφέρειες	Εκμ/σεις	Αγελάδες ηλικίας >2 ετών	Κατανομή %		Μέσο μέγεθος αριθ. ζώων
			Εκμ/σεις	Αγελάδες	
Σύνολο Χώρας	8.467	148.561	100,0	100,0	17,5
Αν. Μακεδονία & Θράκη	1.841	23.648	21,7	15,9	12,8
Κ. Μακεδονία	2.696	71.437	31,8	48,2	26,5
Δ. Μακεδονία	1.635	16.525	19,3	11,1	10,1
Θεσσαλία	524	12.499	6,2	8,4	23,9
Ήπειρος	410	8.318	4,8	5,6	20,3
Ιόνια νησιά	0	0	-	-	-
Δυτική Ελλάδα	274	5.640	3,2	3,8	20,6
Στερεά Ελλάδα	126	966	1,5	0,6	7,7
Πελοπόννησος	6	835	0,1	0,6	139,2
Αττική	66	2.031	0,8	1,4	30,8
Βόρειο Αιγαίο	56	169	0,7	0,1	3,0
Νότιο Αιγαίο	831	6.443	9,9	4,3	7,8
Κρήτη	3	51	0,0	0,0	17,0

Πηγή: ΥΠΑΑΤ, 2006

Από πλευράς χωροταξικής κατανομής του αριθμού των εκμεταλλεύσεων, σε επίπεδο Νομού, μεγάλο ποσοστό βρίσκεται στους νομούς Κυκλάδων, Φλώρινας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης και Κιλκίς. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι δείκτες νομών της Χώρας που έχουν εκμεταλλεύσεις με υψηλό μέσο όρο διατηρούμενων θηλυκών ζώων (άνω των 12 μηνών) ανά μονάδα: Σέρρες 128 ζώα, Αργολίδα 88, Δυτική Αττική 82, Πειραιάς 48, Γρεβενά 47, Λάρισα 42 και Θεσσαλονίκη 39.

Το παραγωγικό σύστημα αγελάδων γαλακτοπαραγωγής στην Ελλάδα, χαρακτηρίζεται ως «εντατικό – ημιεντατικό», με την έννοια ότι η μέση απόδοση ανά αγελάδα, σε εθνικό επίπεδο, είναι περίπου 5.000 λίτρα/έτος (ημιεντατικό), αλλά στις ελεγχόμενες, από προγράμματα του ΥΠΑΑΤ μονάδες ο αντίστοιχος δείκτης είναι 6.200 λίτρα/έτος.

Η ετήσια παραγωγή αγελαδινού γάλακτος φαίνεται στον πίνακα 2:

Πίνακας 2. Εξέλιξη παραγωγής γάλακτος



Πηγή : ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ "ΔΗΜΗΤΡΑ"

Από πλευράς εισροών και, βασικά, ζωοτροφών, οι *χονδροειδείς* είναι το ενσίρωμα καλαμποκιού (σπανιότερα ενσιρώματα άλλων φυτών, όπως π.χ. μηδικής), οι σανοί (συνήθως διάφορες ποιότητες μηδικής) και τα άχυρα και οι *συμπυκνωμένες* (μίγματα γαλακτοπαραγωγής) που στηρίζονται σε δημητριακούς καρπούς (καλαμπόκι, σιτάρι, κριθάρι) υποπροϊόντα βιομηχανιών (πίτυρα, βαμβακόπιτες, σογιάλευρα, μελασσομενή πούλπα σακχαρότευτλων) και σκευάσματα αλάτων, ιχθυοστοιχείων και βιταμινών.

Οι μονάδες γαλακτοπαραγωγής συνήθως δεν διαθέτουν την απαραίτητη καλλιεργήσιμη έκταση για παραγωγή χονδροειδών ζωοτροφών (σύμφωνα με παλαιότερες αποφάσεις της ΕΕ, απαιτούνται 4 στρέμματα καλλιεργήσιμης αρδευόμενης γης για κάλυψη αναγκών μιας αγελάδας γαλακτοπαραγωγής), ενώ ελάχιστοι κτηνοτρόφοι διαθέτουν βοσκήσιμες εκτάσεις για συμπληρωματική διατροφή και κίνηση των ζώων. Η αυτάρκεια των αγελαδοτροφικών μονάδων γαλακτοπαραγωγής σε χονδροειδείς ζωοτροφές, ποικίλει από μηδέν έως 50% (έρευνα Σχολής Γεωπονίας Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης).

Στις τελευταίες δεκαετίες, ο πληθυσμός των βοοειδών και ειδικότερα των αγελάδων γαλακτοπαραγωγής, έχει υποστεί σημαντικές μεταβολές, λόγω της εισαγωγής από το εξωτερικό βελτιωμένων καθαρόαιμων ζώων, αλλά η σημαντικότερη αλλαγή της γενετικής σύνθεσης του αρχικού υλικού και της βελτίωσης των αποδόσεων προήλθε από την εφαρμογή τεχνητής σπερματέγχυσης με εισαγόμενο σπέρμα βελτιωμένων ταύρων καθαρόαιμων φυλών, σε συνδυασμό με τις σταδιακές επιλογές των καλύτερα προσαρμοσμένων ατόμων(Γεωργία - Κτηνοτροφία, τεύχος 3/2008).

2.3. Ο σκοπός του σταβλισμού των ζώων

Ένα σύγχρονο σύστημα σταβλισμού πρέπει να ανταποκρίνεται στις σημερινές απαιτήσεις του παραγωγού που συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Οι εργασίες μέσα στο στάβλο να γίνονται με αρμονικό τρόπο, χωρίς κόπο και σε λίγο χρόνο.
- Ο στάβλος θα πρέπει να εξασφαλίζει το αρεστό στα ζώα περιβάλλον, ώστε να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη απόδοση των ζώων.
- Μια ακόμη απαίτηση του παραγωγού είναι η ικανοποίηση των δυο προηγούμενων απαιτήσεων με τα λιγότερα δυνατά έξοδα.

2.4. Η θέση των εγκαταστάσεων

Η εκλογή της θέσης σταβλισμού των ζώων μέσα σε ένα κτήμα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι η ύπαρξη αυτοκινητόδρομου, η θέση των τεμαχίων του κτήματος που θα καλλιεργηθούν με χονδροειδείς τροφές, η διεύθυνση των ανέμων, τα λοιπά υπάρχοντα κτίρια κ.λπ.

Ο προσανατολισμός των κτηρίων επηρεάζεται σοβαρά από τον τύπο των κτηρίων, από τους ψυχρούς ανέμους του χειμώνα καθώς τα ζώα θα πρέπει να προστατεύονται από αυτούς, αλλά και να μην αποκλείονται τα δροσερά ρεύματα του θέρους, τα οποία είναι απαραίτητα σε ένα στατικό τύπο αερισμού του στάβλου. Οποσδήποτε στο βορά εκτίθεται η μικρή πλευρά των κτηρίων και σε αυτή συνίσταται

να αποφεύγονται τα ανοίγματα, και γι' αυτό ο προσανατολισμός του κτιρίου προτείνεται να είναι τέτοιος ώστε η μεγάλη πλευρά του να είναι τοποθετημένη στον άξονα Ανατολή-Δύση.

Οι αποστάσεις από τα άλλα κτήρια πρέπει να είναι μικρές και κυρίως από τις αποθήκες ζωοτροφών ενώ οι δεξαμενές επεξεργασίας των αποβλήτων προτείνεται να βρίσκονται μακριά σε σχέση με το αμελκτήριο (Κυρίτσης, 1995).

2.5. Τύποι κτηρίων

Ανάλογα με τον τρόπο που διατηρούνται τα ζώα (συστήματα σταβλισμού), και τον τρόπο που κινούνται οι αγελάδες, τα βουστάσια διακρίνονται σε:

- Βουστάσια ελεύθερου σταβλισμού
- Βουστάσια περιορισμένου σταβλισμού

Στο σύστημα *ελεύθερου σταβλισμού*, τα ζώα βρίσκονται σε ομάδες. Κάθε ομάδα έχει συγκεκριμένο χώρο, καλυμμένο ή ακάλυπτο, ή συνδυασμό καλυμμένου και ακάλυπτου και σ' αυτόν τα ζώα είναι ελεύθερα να κινούνται και να διαλέγουν μόνα τους χώρους και τις θέσεις ανάπαυσης. Μόνο κατά την άμελξη, οδηγούνται στο αμελκτήριο, που είναι ειδικός χώρος για την συγκέντρωση του γάλακτος.

Στο σύστημα *περιορισμένου σταβλισμού*, τα ζώα είναι περιορισμένα ή δεμένα σε ατομικές θέσεις. Όλες οι φροντίδες, ατομικές και ομαδικές, δίνονται στα ζώα χωρίς αυτά να μετακινούνται, εκτός ίσως κατά την άμελξη (Αναστασόπουλος, 1997).

Ενώ τα ζώα στον περιορισμένο σταβλισμό απαιτούν μια σειρά φροντίδες, ο ελεύθερος σταβλισμός επιτρέπει τη μείωσή αυτών. Ο περιορισμένος σταβλισμός δεν ενδείκνυται, αν όχι απαγορεύεται, κυρίως στην περίπτωση νέας κατασκευής.

Κάθε σύστημα έχει μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα τα σπουδαιότερα από τα οποία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων σταβλισμού των ζώων σε βουστάσια αγελάδων γαλακτοπαραγωγής (Αναστασόπουλος, 1997).

ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΑΒΛΙΣΜΟΥ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΟΣ ΣΤΑΒΛΙΣΜΟΣ	<ul style="list-style-type: none"> • Εύκολη επίβλεψη των ζώων • Δυνατότητα ατομικής διατροφής • Καλύτερη εμφάνιση των ζώων • Οικονομία στρωμνής 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλο κατασκευαστικό κόστος • Δύσκολη τροφοδοσία • Δεν ενδείκνυται για πολλά ζώα
ΕΛΕΥΘΕΡΟΣ ΣΤΑΒΛΙΣΜΟΣ	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρό κατασκευαστικό κόστος • Εύκολη διάγνωση οίστρου • Εύκολη τροφοδοσία • Μεγάλη γονιμότητα • Ζώα περισσότερο ήρεμα • Λίγα εργατικά χέρια • Καλή υγιεινή κατάσταση των ζώων 	<ul style="list-style-type: none"> • Κατανάλωση στρωμνής • Υποχρέωση αφαιρέσεως κεράτων • Αδύνατη η ατομική διατροφή • Βρώμικα ζώα • Πρόβλημα απομάκρυνσης της κόπρου και πολλών υγρών

Όσον αφορά τις κατασκευές, τα κτήρια μπορούν να καταταγούν σε δυο ακραίες κατηγορίες με όλες τις ενδιάμεσες καταστάσεις. Οι κατηγορίες αυτές είναι βουστάσια ανοικτού τύπου και τα κλειστού τύπου.

Η αντίδραση των ζώων, όπως απέδειξαν μακροχρόνιες παρατηρήσεις, είναι πολύ ευνοϊκή στα βουστάσια ανοικτού τύπου, ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες, της τάξεως π.χ. των -20°C ή και -30°C , με την προϋπόθεση όμως ότι τα ζώα θα διαθέτουν στεγνή και ζεστή θέση για την ανάπαυσή τους, καθώς και προστασία από τους ανέμους. Αντίθετα, οι υψηλές θερμοκρασίες κάτω από τον ήλιο, στα ανοικτού τύπου βουστάσια ελεύθερου σταβλισμού, δημιουργούν προβλήματα στα βοοειδή πολύ σοβαρότερα από τις χαμηλές θερμοκρασίες. Οι χαμηλές θερμοκρασίες, για τα ώριμα ζώα, αποτελούν πρόβλημα μόνο, όταν συνδυάζονται με ισχυρά ρεύματα αέρος (Κυρίτσης, 1995).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Ευνοϊκές και κρίσιμες θερμοκρασίες για τις αγελάδες γαλακτοπαραγωγής, ανάλογα με το σύστημα σταβλισμού και την ηλικία (Λαμπρινός, 1988).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ-ΗΛΙΚΙΑ ΖΩΟΥ	ΕΥΝΟΙΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ	ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΣΕ °C	
	°C	ΚΑΤΩΤΕΡΕΣ	ΑΝΩΤΕΡΕΣ
1. Αγελάδες γαλακτοπαραγωγής (ελεύθερος σταβλισμός)	10-16	-5	25
2. Αγελάδες γαλακτοπαραγωγής (περιορισμένος σταβλισμός)	10-16	+5	25
3. Μοσχάρια ηλικίας μικρότερης των 3 εβδομάδων	18-21	12	25
4. Μοσχάρια ηλικίας μεγαλύτερης των 3 εβδομάδων	13-18	8	25

2.5.1. Γενική περιγραφή του ελεύθερου σταβλισμού

Τα πρώτα βουστάσια ελεύθερου σταβλισμού έχουν υποστεί διάφορες μετατροπές και προσαρμογές στις ποικίλες κλιματικές και οικονομικές συνθήκες της πράξης, ώστε να διακρίνουμε σήμερα κατηγορίες βουστασίων ελεύθερου σταβλισμού. Έτσι έχουμε:

- Βουστάσια ελεύθερου σταβλισμού χωρίς ατομικές θέσεις στο χώρο ανάπαυσης.
- Βουστάσια ελεύθερου σταβλισμού με ατομικές θέσεις ανάπαυσης των ζώων

Τα βουστάσια ελεύθερου σταβλισμού χωρίς ατομικές θέσεις στο χώρο ανάπαυσης, ήταν η πρώτη μορφή βουστασίων ελεύθερου σταβλισμού που εφαρμόστηκε με σχετική επιτυχία. Το κύριο χαρακτηριστικό των βουστασίων αυτών είναι ότι, ο χώρος ανάπαυσης των ζώων είναι ενιαίος ή χωρίζεται σε 2-3 διαμερίσματα, όπου τα ζώα αναπαύονται ομαδικά, επάνω σε στρωμνή ή σε εσχάρα. Συνήθως στην περίπτωση αυτή ο χώρος ανάπαυσης είναι ένα υπόστεγο (ακόμη και για ψυχρά κλίματα), που πιάνει τη

μια πλευρά του βουστασίου, προστατεύοντας έτσι τους άλλους χώρους από τους ανέμους.

Τα βουστάσια ελεύθερου σταβλισμού με ατομικές θέσεις ανάπαυσης, είναι η εξέλιξη της προηγούμενης κατηγορίας βουστασίων. Η διαφορά εδώ είναι ότι ο χώρος ανάπαυσης χωρίζεται σε ατομικές θέσεις, όπου εισέρχεται το κάθε ζώο χωριστά για να αναπαυθεί.

Ο τύπος αυτός βουστασίων ελεύθερου σταβλισμού, επικρατεί σήμερα για τις αγελάδες γαλακτοπαραγωγής και διακρίνεται, ανάλογα με τον τρόπο στέγασης, σε:

- *Εξ ολοκλήρου κλειστά* όπου ο χώρος ανάπαυσης, ο χώρος άσκησης και ο χώρος τροφοδοσίας, βρίσκονται κάτω από την ίδια στέγη και προσφέρονται για ψυχρές περιοχές.
- *Με κλειστό χώρο ανάπαυσης* όπου ο χώρος άσκησης είναι ακάλυπτος και ενδεχομένως να έχει καλυφτεί ο χώρος τροφοδοσίας ενώ προσφέρονται για περιοχές με ψυχρό χειμώνα μικρής διάρκειας και δροσερό θέρος.
- *Με ημιανοιχτό χώρο ανάπαυσης* διότι πρόκειται για ένα υπόστεγο με τρεις πλευρές κλειστές και προσφέρεται για περιοχές με ήπιο χειμώνα και θερμό καλοκαίρι.
- *Με ανοιχτό χώρο ανάπαυσης* όπου έχουν κάλυψη, σκέπαστρο για τον ήλιο και τη βροχή, στις θέσεις ανάπαυσης μόνο και όχι στους διαδρόμους κυκλοφορίας και τροφοδοσίας των ζώων καθώς προσφέρεται για περιοχές με ήπιο χειμώνα όπως είναι οι περισσότερες νότιες, πεδινές περιοχές της χώρας μας (Κυρίτσης, 1995).

2.5.1.1. Περιγραφή χώρων ενός συστήματος ελεύθερου σταβλισμού

Ο γενικός χώρος, ενός συστήματος ελεύθερου σταβλισμού, μέσα στον οποίο περιορίζεται μια ομάδα ζώων της αγέλης, διακρίνεται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- *Χώρος ανάπαυσης*, όπου τα ζώα αναπαύονται συνήθως ξαπλωμένα.
- *Χώρος άσκησης - κυκλοφορίας*, όπου τα ζώα κυκλοφορούν για να πάνε σε άλλους χώρους ή παραμένουν εκεί συνήθως όρθια.
- *Χώρος τροφοδοσίας*, όπου γίνεται η διανομή της τροφής και τα ζώα παίρνουν τη τροφή τους σε τακτά χρονικά διαστήματα ή κατά βούληση.
- *Χώρος άμελξης*, όπου τα ζώα οδηγούνται για την άμελξη και όπου είναι πιθανό να παίρνουν τις συμπυκνωμένες τροφές. Στο χώρο αυτό μπορεί να έχουμε εκτός από το κυρίως αμελκτήριο, όπου γίνεται η άμελξη, και χώρους υποδοχής των ζώων πριν και μετά την άμελξη, καθώς και την αίθουσα γάλακτος.

Εκτός από τους βασικούς αυτούς χώρους, σ' ένα στάβλο κατασκευάζονται και άλλοι, «βοηθητικοί χώροι», όπως είναι ο χώρος τοκετών, το νοσοκομείο, ο χώρος των μόσχων και μοσχίδων αναπαραγωγής, ο χώρος του ταύρου, οι χώροι αποθήκες και παρασκευαστήριο ζωοτροφών και ο κοπροσωρός, ή κοπροδεξαμενή (Κυρίτσης, 1995).

➤ **Χώρος ανάπαυσης**

Ο χώρος ανάπαυσης φιλοξενεί τα ζώα, όταν αυτά αναπαύονται και όταν καταφεύγουν εκεί για να αποφύγουν τις δυσμενείς καιρικές συνθήκες (λ.χ. ψύχος, βροχή ή ήλιο του καλοκαιριού), λόγω αυτού, θα πρέπει να προβλεφθεί ένας ομοιόμορφος αερισμός, που θα μετριάξει την υπερβολική θερμότητα και την υγρασία.

Η θέση του είναι τέτοια, ώστε να κόβει τους ψυχρούς ανέμους διαφόρων κατευθύνσεων και θα πρέπει επίσης να μη πλημμυρίζει και να στραγγίζει εύκολα, με φυσικό τρόπο κατά προτίμηση.

Οι ατομικές θέσεις επιτρέπουν στις αγελάδες να αναπαύονται καλύτερα και για μεγαλύτερο χρόνο, να διατηρούνται καθαρές, ενώ συγχρόνως γίνεται οικονομία στρωμνής και εργασίας για την τοποθέτησή της και διευκολύνεται η αποχέτευση της κόπρου. Οι ατομικές θέσεις ανάπαυσης των ζώων τοποθετούνται κάθετα στον άξονα ενός διαδρόμου κυκλοφορίας, στη μια ή και στις δυο πλευρές του.

Τα χωρίσματα μεταξύ των ατομικών θέσεων ανάπαυσης των ζώων, πρέπει να επιτρέπουν την εύκολη έγερση του ζώου και γι' αυτό μπροστά και πλάγια αφήνεται

κενό διάστημα πλάτους 50-60 cm και ύψους τουλάχιστον 70 cm. Σε απόσταση 50-60 cm, από το εμπρόσθιο όριο της ατομικής θέσεως, τοποθετείται ένα μετωπικό εμπόδιο από μια οριζόντιο δοκό ή καλώδιο, που εμποδίζει τα ζώα να εισχωρήσουν σε βάθος μέσα στην ατομική τους θέση και έτσι μένει αρκετός χώρος για τη κίνηση της κεφαλής τους κατά την έγερση.

Τα χωρίσματα δεν πρέπει να παρουσιάζουν σημεία που μπορούν να τραυματίσουν τα ζώα, όπως είναι οι γωνίες, σιδηροκατασκευές με προφίλ «Τ ή Γ». Το μπροστινό ύψος των χωρισμάτων είναι 1,10-1,20 cm για να εμποδίζει τις αγελάδες σε όρθια στάση, να ενοχλούν τα ζώα των γειτονικών θέσεων, ενώ το πίσω ύψος είναι 80 cm έτσι ώστε τα ζώα να μη τοποθετούνται κάθετα προς τη θέση και να καταλάβουν έτσι δυο θέσεις. Η πίσω κάθετη αγκύρωση του χωρίσματος πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση 15-30 cm από το όριο του διαδρόμου κυκλοφορίας των ζώων. Συνήθως χρησιμοποιούνται σωλήνες από χάλυβα.

Το δάπεδο των ατομικών θέσεων κατασκευάζεται επίπεδο και υψηλότερο από το διάδρομο. Χωρίζεται δε διακριτικά απ' αυτόν με ένα σκαλί εισόδου κατάλληλου ύψους ώστε να μην επιτρέπει στα ζώα να εισέλθουν στην ατομική τους θέση οπισθοδρομώντας. Επίσης δεν επιτρέπει στα ζώα να ξαπλώσουν, εάν δε βάλουν και τα πίσω πόδια μέσα στη θέση ανάπαυσης, παρεμποδίζει την είσοδο της κόπρου και των ούρων του διαδρόμου μέσα στη θέση ανάπαυσης, ιδίως κατά το μηχανικό καθαρισμό του διαδρόμου και προφυλάσσει τη στρωμνή από τις απώλειες.

Υπάρχουν διάφορες λύσεις δαπέδου με την τάση να μην επιτρέπουν την άνοδο της θερμοκρασίας, καλή θερμική μόνωση, ολισθηρή επιφάνεια και να είναι αναπαυτικό για τα ζώα. Η πρώτη βάση συνήθως είναι σκυρόδεμα ενώ από πάνω τοποθετείται ή στρώση οργανικού υποστρώματος, ή ανόργανου υποστρώματος, ή στρώμα από πλαστικό καουτσούκ.

Η χρήση οργανικού υποστρώματος στις ατομικές θέσεις σε σύστημα ελεύθερου σταβλισμού είναι κάτι πρακτικά συνηθισμένο. Τα είδη του οργανικού υποστρώματος που χρησιμοποιούνται στην πράξη είναι, το άχυρο, πριονίδια, κομμένα κοτσάνια από αραβόσιτο, αποξηραμένη πούλπα από εσπεριδοειδή, αποξηραμένη μετά από επεξεργασία κόπρου και πριονίδια. Τα υλικά αυτά λειτουργούν ως αναπαυτικό στρώμα και απαιτεί λίγες επεμβάσεις για την ισοπέδωσή τους.

Οι διάφοροι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται στο χώρο αναπαύσεως χρειάζονται τροφή για να μεγαλώσουν. Η άμμος ως ανόργανο υπόστρωμα πλεονεκτεί στο ότι είναι περιορισμένο σε περιεκτικότητα άνθρακα και αζώτου. Όμως παραμορφώνεται εύκολα κάτω από τα πόδια του ζώου και απαιτεί ξανά στρώσιμο. Η άμμος λόγω της μικρής διαμέτρου των κόκκων από των οποίων αποτελείται ενοχλεί το ζώο στα μάτια και στους βλεννογόνους. Η άμμος προκαλεί σημαντικά προβλήματα στο σύστημα επεξεργασίας των αποβλήτων καθώς προκαλεί λόγω τριβών φθορά στις αντλίες και εμποδίζει τη δημιουργία αιωρούμενων στερεών και γι' αυτό αποφεύγεται να χρησιμοποιείται.

Το στρώμα από πλαστικό καουτσούκ είναι αναπαυτικό, μονωτικό και όχι ολισθηρό. Το στρώμα όμως από καουτσούκ ή λαστιχένιο χαλί όπως ονομάζεται αλλιώς έχει υψηλό κόστος και μικρή αντοχή καθώς δεν έχει τη δυνατότητα καθαριστεί παρά μόνο να αλλαχτεί και γίνεται πόλος έλξης πολλών μικροβίων.

➤ **Χώρος άσκησης - κυκλοφορίας**

Ο χώρος κυκλοφορίας συνδέει συνήθως τους διάφορους άλλους χώρους του βουστασίου μεταξύ τους. Τις περισσότερες φορές συγγέεται με το χώρο τροφοδοσίας. Η προβλεπόμενη επιφάνεια του χώρου αυτού εξαρτάται από τον τύπο του στάβλου και από εάν υπάρχει σταθεροποίηση με δάπεδο ή όχι. Στις περισσότερες περιπτώσεις του σταθεροποιημένου δαπέδου ενός ακάλυπτου χώρου ασκήσεως, παρέχονται 3 m²/αγελάδα.

Το δάπεδο του χώρου άσκησης κατασκευάζεται με κλίση 2-3% και πρέπει να στρώνεται με σκυρόδεμα, για να έχουν τα ζώα καθαρότερα, να ασκούνται περισσότερο και να διευκολύνεται η συλλογή της κόπρου. Αλλά για λόγους οικονομίας, το σκυρόδεμα μπορεί να αποφευχθεί σταθεροποιώντας το έδαφος επί τόπου με τσιμέντο ή ασβέστη.

➤ **Χώρος τροφοδοσίας**

Η κατασκευή ιδιαίτερου χώρου τροφοδοσίας έχει σκοπό να διευκολύνει τους σταβλίτες στη διανομή της τροφής, καθώς και τα ζώα, ώστε να παίρνουν την τροφή τους με τάξη, έλεγχο και χωρίς απώλειες.

Ο χώρος τροφοδοσίας τοποθετείται μέσα ή παράπλευρα στο χώρο ασκήσεως και περιλαμβάνει τη φάτνη, το διάδρομο διανομής της τροφής και τις θέσεις των ζώων.

Το μήκος της φάτνης, κυμαίνεται από 46 έως 76 cm ανάλογα με την ηλικία της αγελάδας. Εάν όμως τα ζώα μπορούν να πάρουν θέσεις και στις δύο πλευρές της ίδιας φάτνης, τότε δίδεται το μισό μήκος αυτής. Για την αποφυγή της σπατάλης της τροφής, κατασκευάζεται μπροστά στη φάτνη σε όλο το μήκος της ένα άνοιγμα, ώστε να μη μπορούν να απομακρυνθούν από τη φάτνη με μεγάλη ευκολία. Μέσα στο άνοιγμα αυτό πρέπει να περάσουν τα ζώα το κεφάλι τους για να φάνε. Σε αυτά τα ανοίγματα προβλέπεται και εγκλωβισμός της κεφαλής αυτών με ειδικό μηχανισμό (σύστημα cornadis), ώστε να ακινητοποιούνται και να επιτυγχάνονται ομαδικές ή ατομικές περιποιήσεις και ο καθαρισμός του χώρου.

Ο διάδρομος τροφοδοσίας κατασκευάζετε στην περίπτωση που η τροφή διανέμεται ημιαυτόματα ή με το χέρι. Εάν η τροφή διανέμεται αυτόματα, τότε δεν υπάρχει λόγος να κατασκευασθεί διάδρομος, τη θέση του οποίου παίρνουν οι μηχανισμοί διανομής της τροφής, όπως κινούμενος τάπητας, έλικα του Αρχιμήδη, βαγονέτα, κ.λπ. Διαφορετικά το πλάτος του διαδρόμου προσαρμόζεται στο πλάτος του μηχανήματος διανομής της τροφής (ελκυστήρας με ρυμούλκα ή ειδικό όχημα).

➤ **Χώρος αμελκτηρίου**

Σε ένα αμελκτήριο δεν πρέπει να παρατηρούνται απώλειες χρόνου κατά την μετακίνηση των ζώων καθώς θα πρέπει να διευκολύνεται η κυκλοφορία αυτών από και προς το αμελκτήριο. Απαραίτητο είναι η εύκολη προσπέλαση προς το εξωτερικό οδικό δίκτυο, να είναι μακριά από τη θέση της κόπρου και να μην κατακλύζεται η περιοχή από νερά.

Ανάλογα με τον τρόπο χειρισμού των ζώων και τον τύπο των θέσεων τα αμελκτήρια διακρίνονται σε:

- ⊗ Αμελκτήρια σταθερών θέσεων
 - Με ατομικό χειρισμό των ζώων
 - Με ομαδικό χειρισμό των ζώων

⊗ Αμελκτήρια κινουμένων θέσεων.

Ο πιο διαδεδομένος τύπος αμελκτηρίου στην Ελλάδα είναι το αμελκτήριο σταθερών θέσεων με ομαδικό χειρισμό. Τα αμελκτήρια της κατηγορίας αυτής σχεδιάζονται για να δέχονται τα ζώα κατά ομάδες, να αμέλγονται όλα μαζί τα ζώα κάθε ομάδας και να εξέρχονται ξανά όλα μαζί από το αμελκτήριο και διακρίνονται σε:

⊗ Διάταξη των θέσεων άμελξης σε σχήμα δόντια πριονιού και ψαροκόκαλου (Sawtooth και Herringbone)

- Θέσεις άμελξης σε μια σειρά ή αμελκτήρια «δόντια πριονιού» (sawtooth)
- Θέσεις άμελξης σε δυο σειρές ή αμελκτήρια «ψαροκόκαλο» (Herringbone)

⊗ Ευθεία τοποθέτηση των θέσεων άμελξης, αμελκτήρια τύπου tunnel.

Στη συνέχεια του αμελκτηρίου κατασκευάζεται η αίθουσα γάλακτος όπου στεγάζεται το δοχείο συλλογής του γάλακτος και το λοιπό εξοπλισμό, για το χειρισμό και το πλύσιμο των συσκευών. Υπάρχουν σήμερα στην αγορά πολλά συστήματα 'παγολεκάνων', η δε εκλογή της καταλληλότερης εξαρτάται, από το προβλεπόμενο τελικό μέγεθος της γαλακτοπαραγωγικής μονάδας, από το μήκος της γαλακτικής περιόδου των ζώων και από τον αριθμό των αμελκτών σε σχέση με το ύψος του εξοπλισμού αυτοματοποιήσεως.

Επίσης, στην είσοδο του αμελκτηρίου βρίσκεται ένας χώρος αναμονής όπου συγκεντρώνονται τα ζώα, ώστε κατά τη λειτουργία της άμελξης να μην υπάρχουν κενά, να μην έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε εργατικά και να χωρίζουν τις αγελάδες που πάνε για άμελξη, απ' αυτές που έχουν αμελχθεί και επιστρέφουν στους χώρους άσκησης. Ο χώρος αναμονής πρέπει να καθαρίζεται μετά από κάθε χρήση και γι' αυτό το δάπεδο θα πρέπει να είναι από σκυρόδεμα, οι κλίσεις να είναι ευνοϊκές και η αποχέτευση αποτελεσματική. Το προτιμότερο σχήμα του χώρου είναι το στενόμακρο και όχι το τετράγωνο για να οδηγούνται οι αγελάδες προς την είσοδο του αμελκτηρίου με μια προοδευτική μείωση των διαστάσεων κατά πλάτος, ώστε στο τέλος να προκύπτει διάδρομος πλάτους ενός ζώου και μήκος 2-3 ζώων (Κυρίτσης, 1995).

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται βουστάσιο ανοιχτού τύπου στην περιοχή της Θήβας με σκέπαστρα.

Εικόνα 4. Βουστάσιο τύπου ελεύθερου σταβλισμού



2.6. Απόβλητα βουστασίου

Τα απόβλητα βουστασίου είναι γενικά πυκνά απόβλητα, μικρού σχετικά όγκου και μεγάλου οργανικού φορτίου ποικίλουν ανάλογα με τις συνθήκες εκτροφής, το σιτηρέσιο, την ηλικία και το είδος των εκτρεφόμενων αγελάδων, το μικρό-περιβάλλον της μονάδας και τις κλιματικές συνθήκες. Η υγρή διατροφή οδηγεί σε υγρής μορφής κοπριά, ενώ η κοκκώδης και η ενσιρωμένη τροφή δημιουργούν μια κοπριά παχύρρευστη σαν ζύμη. Τα ροκανίδια, το άχυρο, η τύρφη και το πριονίδι που χρησιμοποιούνται για στρωμή, οδηγούν σε παχύρρευστη ως στερεή κοπριά (Λαμπρινός,1988).

Μια αγελάδα με ζωντανό βάρος 600 kg παράγει ημερησίως περίπου 30 kg κοπριά και 15 kg ούρα, τα οποία αντιστοιχούν στο 8% του βάρους της. Στην ποσότητα αυτή προστίθεται και μία ποσότητα υγρών, που αντιστοιχούν στα υγρά καθαρισμού του στάβλου. Η μέση λοιπόν αγελάδα παράγει περισσότερη κοπριά απ' ότι γάλα. Η κοπριά,

τα ούρα και τα υγρά καθαρισμού θα πρέπει να απομακρύνονται από τον στάβλο μ' έναν αποτελεσματικό και οικονομικό τρόπο.(Χ.Νικήτα – Μαρτζοπούλου, 2006)

Είναι γενικά απόβλητα οργανικής προέλευσης και περιέχουν εκτός από το νερό, τις κοπριές, τα ούρα των αγελάδων και υπολείμματα ζωοτροφών που αναμιγνύονται με τα απόβλητα και τα διακρίνουμε:

- Σε στερεά, που είναι η κοπριά των βουστασίων αναμιγμένη με στρωμνή,
- σε ημιστερεά, τα στερεά απόβλητα των βουστασίων μετά από διαβροχή τους μέχρι κορεσμού με νερό (πχ νερό βροχής),
- σε ημιυγρά, απόβλητα βουστασίων, όπως παράγονται από τα ζώα (κοπριά και ούρα)
- και σε υγρά, που είναι τα απόβλητα βουστασίων, όπως βγαίνουν από τους στάβλους μετά την αραίωσή τους με νερά πλυσίματος και βροχής, υγρά που προέρχονται από την στράγγιση κοπροσωρών και υγρών εκροής των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των αποβλήτων πριν τη διάθεσή τους στον τελικό αποδέκτη (Γεωργακάκης, 1998).

Οι φυσικές ιδιότητες όπου είναι σχετικές με τη θερμοκρασία, το χρώμα, τις μυρωδιές, την πυκνότητα, το φαινόμενο ειδικού βάρους, το μέγεθος μορίων, ιξώδες και υδροφιλικές ιδιότητες, χαρακτηρίζουν και προσδιορίζουν τα απόβλητα βουστασίου και τον τρόπο επεξεργασίας αυτών. Το χρώμα των αποβλήτων αυτών είναι καφέ με αποχρώσεις πράσινες, με μυρωδιά αρκετά ενοχλητική όταν δε γίνεται σωστή επεξεργασία.

➡ *Το ειδικό βάρος* είναι η αναλογία του βάρους του δείγματος του αποβλήτου (βρεγμένα ή στεγνά) και του όγκου του δείγματος του απόβλητου. Για το νερό, το ειδικό βάρος είναι 1 g/cm^3 .

➡ *Η διάμετρος των μορίων* και η διανομή τους παίζουν καθοριστικό ρόλο στο σχεδιασμό εγκαταστάσεων διαχωρισμού στερεών αποβλήτων είτε μέσω της ιζηματογένεσης είτε μέσω της μηχανικής διαλογής.

Μόρια στα αραιά υδαρή απόβλητα βουστασίου μπορεί να αιωρούνται, να διαλύονται, ή να βρίσκονται σε κολλοειδή κατάσταση. Μόρια με διάμετρο μεταξύ του 0,003 και 0,3 μm διατηρούνται στην κολλοειδή κατάσταση, ενώ όταν τα μόρια είναι μικρότερα από 0,003 μm διαλύονται και δεν μπορούν έτσι να αφαιρεθούν από την ιζηματογένεση. Η διάμετρος των μορίων και το μέγεθος αυτών ποικίλει από την τροφή. Όσο πιο αλεσμένη είναι η τροφή τόσο μικρότερο είναι το μέγεθος των μορίων.

✦ *Ιξώδες* είναι η ο συντελεστής συνεκτικότητας ή συντελεστής εσωτερικής τριβής ή συντελεστής ιξώδους του υγρού και παίζει σημαντικό ρόλο στον προγραμματισμό συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων γιατί καθορίζει τις διαχειριζόμενες μεθόδους. Η περιεχόμενη υγρασία σε απόβλητα βουστασίου, κυμαίνεται σε μια τιμή του 88% και για το λόγο αυτό προτείνεται η υγρή διαχείριση των αποβλήτων. Απόβλητα βουστασίου μπορούν να θεωρούνται υγρά όταν τα στερεά απόβλητα περιέχουν υγρασία τιμής μικρότερης από αυτή του 10% (η περιεκτικότητα του νερού υπερβαίνει το 90%).

Στη πραγματικότητα όμως, υδαρή απόβλητα που προκύπτουν από τις μονάδες αγελάδων γαλακτοπαραγωγής, συχνά περιέχουν λιγότερο από 1% στερεά (99% υγρασία) (Hafer,1974).

Οι βασικές παράμετροι, από την άλλη πλευρά, που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του βιολογικού (οργανικού) φορτίου των υγρών αποβλήτων των βουστασίων είναι όμοιες για όλες τις κτηνοτροφικές μονάδες. Οι παράμετροι αυτοί χρησιμοποιούνται και για τον έλεγχο και την απόδοση των εγκαταστάσεων βιολογικής επεξεργασίας και είναι τα πτητικά στερεά (TVS), η βιοχημική ζήτηση οξυγόνου (BOD₅), η χημική ζήτηση οξυγόνου (COD) και η περιεκτικότητα του οργανικού άνθρακα (TOC). Κατά τον προσδιορισμό των πτητικών στερεών γίνεται και προσδιορισμός των ολικών στερεών (TTS), που αφορά στο σύνολο των στερεών συστατικών, που περιέχονται στα απόβλητα.

✦ *Τα πτητικά στερεά (TVS)* είναι η οργανική ουσία που περιέχεται στα στερεά απόβλητα. Είναι αυτό το συστατικό το οποίο πρέπει να μειωθεί από το 80% και να σταθεροποιηθεί στο 50% κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των αποβλήτων (Μαρκαντωνάτος, 1990).

✦ Τα ολικά στερεά (TSS) καθορίζουν την ικανότητα ροής, την δυνατότητα άντλησης και το ιζώδες. Η τιμή της συγκέντρωσης των ολικών στερεών καθορίζει την φάση των αποβλήτων αυτών και χαρακτηρίζονται σε στερεά, ημιστερεά, ημιυγρά και υγρά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Μορφή των αποβλήτων ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε ολικά στερεά (Γεωργακάκης, 1998).

ΟΣ>20%	ΣΤΕΡΕΑ
15%<ΟΣ>20%	ΗΜΙΣΤΕΡΕΑ
5%<ΟΣ>15%	ΗΜΙΥΓΡΑ
ΟΣ<5%	ΥΓΡΑ

Τα στερεής μορφής απόβλητα σχηματίζουν σωρό στο έδαφος και δεν είναι αντλήσιμα. Τα ημιστερεής μορφής απόβλητα είναι παχύρευστα, δεν σχηματίζουν σωρό και δεν είναι αντλήσιμα, διακινούνται με μηχανικά ξέστρα ή προωθητήρες. Τα ημιυγρές και υγρές μορφής είναι υδαρή απόβλητα, που διακινούνται με αντλίες ή με φυσική ροή μέσα σε κανάλια ή αγωγούς (Γεωργακάκης, 1998). Τα ολικά στερεά των αποβλήτων βουστασίου κυμαίνονται σε ένα χαμηλό επίπεδο 9,3% φρέσκων υγρών περιττωμάτων (Taiganides, 1977).

✦ *Βιοχημική ζήτηση οξυγόνου πέντε ημερών (BOD₅)* εκφράζει την ποσότητα του οξυγόνου (σε mg/lit αποβλήτων βουστασίων), που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί για να αποσυνθέσουν το βιοαποικοδομήσιμο μέρος του οργανικού φορτίου των αποβλήτων, σε διάστημα πέντε ημερών, όταν βρεθούν σε ιδανικές συνθήκες (20 °C, επάρκεια θρεπτικών συστατικών και απουσία τοξικών ουσιών και φωτός).

Η τυποποιημένη εξίσωση που περιγράφει την καμπύλη BOD κτηνοτροφικών απόβλητων, δηλαδή το ρυθμός οξειδωσης της οργανικής ουσίας των αποβλήτων σε χρόνο t, είναι :

Όπου : $y = \text{BOD}$ τη στιγμή t (mg/lit) (BOD_5),

$L =$ τελευταίο BOD (mg/lit), (ζήτηση οξυγόνου 20 ημερών)

$k =$ συντελεστής αντίδρασης, ανάλογος του ρυθμού οξείδωσης/ημέρα

και $t =$ χρόνος αντίδρασης σε ημέρες, (1-20 ημέρες)

και εκφράζεται ως η ποσότητα, που παραμένει μη οξειδωμένη κατά τη χρονική στιγμή t .

➤ *Χημική ζήτηση οξυγόνου (COD)* δείχνει την ποσότητα του οξυγόνου, που απαιτείται για να οξειδωθεί η οργανική ύλη των αποβλήτων βουστασίου με χημικά μέσα. Ο προσδιορισμός της COD βασίζεται στο γεγονός ότι, όλη η οργανική ύλη, μπορεί να οξειδωθεί εν θερμώ με τη βοήθεια ισχυρών οξειδωτικών μέσων κάτω από όξινες συνθήκες και να μετατραπεί σε CO_2 και H_2O . Το χημικό οξειδωτικό που χρησιμοποιείται είναι το διχρωμικό κάλιο ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).

Η ποσότητα του διχρωμικού καλίου που καταναλώθηκε, κατά την διαδικασία προσδιορισμού του COD, αντιστοιχεί στην ποσότητα της οργανικής ύλης του δείγματος που οξειδώθηκε. Το COD υπολογίζεται από την σχέση:

$$\text{COD(mg/lit)} = [8.000(\text{Μάρτυρας} - \text{Δείγμα}) * (\text{Κανον. Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2)] / \text{ml δείγματος}$$

Χρησιμοποιείται συχνά ως έλεγχος των παραμέτρων γιατί μπορεί να ολοκληρωθεί μέσα σε 1-3 ώρες, σε σχέση με το BOD που χρειάζεται 5 μέρες. Κάτω από συνθήκες μέτρησης του COD, η οργανική ουσία η οποία είναι αρκετά ανθεκτική στη βιολογική υποβάθμιση, είναι οξειδωμένη. Οι τιμές του COD είναι επομένως μεγαλύτερες από τις τιμές του BOD (Γεωργακάκης, 1998).

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Βιοχημικοί παράμετροι προσδιορισμού του βιολογικού φορτίου των αποβλήτων βουστασίου (Taiganides, 1977).

ΠΕΡΙΤΤΩΜΑΤΑ ΖΩΟΥ	BOD5		COD	
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (mg/g)	(%)όγκου αποβλήτων	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (mg/g)	(%)όγκου αποβλήτων
ΑΓΕΛΛΑΔΕΣ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	94	2,2	1387	10,8

✦ Η οργανική ουσία (TOC) στις βιολογικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας περιλαμβάνει ενώσεις άνθρακα όπως αυτές περιέχονται στην κυτταρίνη και σε άλλες χημικές ενώσεις, αλλά σε μια μορφή βιοδιάσπασης. Ολικός οργανικός άνθρακας είναι σχετικός με το ποσοστό υποβάθμισης αλλά μπορεί να σχετιστεί με το BOD και COD σε απόβλητα βουστασίου. Υπό αυτήν τη μορφή, ο οργανικός άνθρακας εξυπηρετεί ως σημαντική ποσοτική δοκιμή για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας της διαδικασίας της βιοχημικής επεξεργασίας και μέτρηση του επιπέδου ρύπανσης στα ρεύματα και στα απόβλητα αποχέτευσης. Η οργανική ουσία είναι χρήσιμη στον έλεγχο των αποδοτικοτήτων του συστήματος επεξεργασίας, δεν χρησιμοποιείται όμως σαν παράμετρος σχεδιασμού των βιολογικών εγκαταστάσεων (Taiganides, 1977).

2.6.1. Μέθοδοι και συστήματα απομάκρυνσης των αποβλήτων μέσα από τον στάβλο

Οι χειρισμοί στην περίπτωση αυτή αποβλέπουν στη διατήρηση των χώρων καθαρών και του περιβάλλοντος των ζώων απαλλαγμένου από οσμές και αέρια, που επηρεάζουν δυσμενώς τη διαβίωση των ζώων και τις συνθήκες εργασίας του προσωπικού. Κατ' επέκταση αποβλέπουν στην ελαχιστοποίηση ή στην εξουδετέρωση των ενοχλήσεων από τη δυσσομία, που συνήθως επικρατεί γύρω από το βουστάσιο. Τα παραπάνω επιτυγχάνονται με τη σωστή σχεδίαση, κατασκευή και λειτουργία του αποχετευτικού συστήματος και την προγραμματισμένη και τακτική απομάκρυνση των αποβλήτων.

2.6.1.1 Συστήματα απομάκρυνσης των νωπών αποβλήτων με αποχετευτικά κανάλια

Πρόκειται για ένα σύστημα απομάκρυνσης των νωπών αποβλήτων που εφαρμόζεται κυρίως σε βουστάσια ελευθέρου σταβλισμού κλειστού τύπου. Το δάπεδο θα πρέπει να είναι απαραίτητα από εσχαρωτό σκυρόδεμα ώστε να επιτυγχάνεται η απομάκρυνση αυτών στα αποχετευτικά κανάλια, διαφόρων τύπων και λειτουργιών, που βρίσκονται ακριβώς από κάτω. Τα αποχετευτικά κανάλια μπορεί να είναι:

➤ Μόνιμα χαντάκια - δεξαμενές: Σε μικρές μονάδες, η κοπριά μπορεί να απομακρύνεται συνεχώς με τη βοήθεια τρεχούμενου νερού ή μια φορά την ημέρα με ξύστρες που κινούνται με αλυσίδες με την βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα και ενός μειωτή στροφών. Πρόκειται για μια τεχνική που δεν είναι εφαρμόσιμη όταν ο υδάτινος ορίζοντας είναι υψηλός, με μεγάλο κόστος κατασκευής ενώ ταυτόχρονα εκλύονται επιβλαβή και δύσσομα αέρια, ενοχλητικά για τα ζώα, κατά την εκκένωση του χαντακιού.

➤ Υδραυλική αποχέτευση με συνεχή ροή: ο πυθμένας του χαντακιού είναι επίπεδος και τα τοιχώματα καλά λειασμένα. Μια ή περισσότερες υπερυψώσεις των 10-15 cm, ανάλογα με το μήκος του χαντακιού, εξασφαλίζουν τη διατήρηση του νερού που διευκολύνουν τη ροή της κοπριάς η οποία επιπλέει με υπερχειλίση.

➤ Υδραυλική αποχέτευση με ασυνεχή ροή: η κοπριά που για κάποιο χρονικό διάστημα έχει συγκεντρωθεί και αποθηκευτεί στο χαντάκι, διώχνεται με το άνοιγμα στεγανών θυρίδων που είναι τοποθετημένες κάθε 15 m όταν το μήκος του χαντακιού είναι μεγάλο, ή στην άκρη του χαντακιού όταν είναι μικρό. Τα τοιχώματα του χαντακιού πρέπει να είναι γυαλιστερά για να αποφεύγεται η συγκόλληση στερεών συστατικών.

➤ Αποχέτευση με τη μέθοδος πλύσιματος με πίεση : χαρακτηρίζεται από εκτόξευση υγρού με πίεση που ξεκολλάει τα στερεά συστατικά που έχουν προσκολληθεί στα τοιχώματα. Συνήθως οι σωληνώσεις του συστήματος είναι υπόγειες, προβλέπεται μια αντλία, κατά προτίμηση υποβρύχια με ικανοποιητική παροχή και πίεση, το χρησιμοποιούμενο δε για το πλύσιμο υγρό μπορεί να είναι και η ίδια υγρή κοπριά που έχει καθοριστεί (Λαμπρινός, 1988).

2.6.1.2 Αυτόματα συστήματα απομάκρυνσης των νοπών αποβλήτων

Όταν η κτηνοτροφική μονάδα είναι μεγάλη, η αποχέτευση γίνεται με αυτόματα συστήματα, όπου ο σταβλίτης χρειάζεται πιθανός για να θέτει σε λειτουργία στο σύστημα. Τα αυτόματα συστήματα έχουν το πλεονέκτημα του περιορισμού της εργασίας, απαιτούν όμως καλή μελέτη των χώρων για την τοποθέτηση των μηχανισμών του συστήματος και σταβλίτη με τεχνικές γνώσεις για την επιδιόρθωση του συστήματος από βασικές βλάβες.

Τα πιο συνηθισμένα αυτόματα συστήματα απομάκρυνσης της κοπριάς είναι :

- Αποξεστήρας παλινδρομικού άξονα: περιλαμβάνει έναν άξονα που παρασύρει από τη μια ή και από τις δυο πλευρές του ξύστρες φτυάρια που συνδέονται μαζί του με ειδική άρθρωση που επιτρέπει περιστροφή 90° και έτσι κατά την κίνηση καθαρισμού τα φτυάρια είναι κάθετα στον άξονα ενώ στην επιστροφή τα φτυάρια μαζεύονται παίρνοντας μια διεύθυνση παράλληλη με τον άξονα. Η κίνηση «πήγαινε-έλα» του άξονα συνήθως πετυχαίνει με υδραυλικό σύστημα. Ο τύπος αυτός αυτόματης αποχέτευσης προσφέρεται για κάθε είδους διασταυρώσεις και συνδυασμούς.
- Αποξεστήρας ατέρμονης αλυσίδας: πάνω σε μια αλυσίδα χωρίς άκρη στερεώνεται μια σειρά φτυαριών που κινούνται με την ίδια πάντα φορά σε ένα συνεχόμενο χαντάκι. Ο τύπος αυτός καθαρισμού της κοπριάς ταιριάζει σε στάβλους με δυο σειρές ζώων και απαιτεί φυσικά ισχυρότερο κινητήρα από τα προηγούμενα συστήματα. Οι αλυσίδες που χρησιμοποιούνται είναι η κλασικά που είναι η οικονομικότερη και η αλυσίδα τετραγωνικού τύπου που έχει μεγαλύτερη αντοχή και δεν παραμορφώνεται.
- Σύστημα ελκνόμενου φτυαριού: ο τύπος αυτό καθαρισμού που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τις μικρές εκμεταλλεύσεις ή εκεί όπου τα άλλα συστήματα δεν μπορούν να εφαρμοστούν (π.χ. καμπύλη χαντάκια), είναι οικονομικότερος και ενδείκνυται και για χαντάκια μεγάλου πλάτους (μέχρι 1,50 m). Συνήθως η κίνηση του φτυαριού γίνεται με κινητήρα και η επιστροφή με το χέρι.

Εικόνα 5. Ξέστρο για την απομάκρυνση των αποβλήτων



Για τα απόβλητα βουστασίου προβλέπεται μια κεντρική δεξαμενή συλλογής οπλισμένη με σκυρόδεμα χωρητικότητας συνήθως όσο τα απόβλητα μιας ή δυο ημερών, για λόγους ασφαλείας, όπου συνήθως καταλήγουν όλα τα νωπά απόβλητα και γενικά όλα απορρίμματα του στάβλου και συνδέεται εν συνεχεία με το μηχανικό διαχωριστή (Γεωργακάκης,1998).

2.7. Συστήματα και μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων βουστασίου

Η διαχείριση των αποβλήτων βουστασίου, έξω από τους χώρους παραγωγής τους είναι ουσιαστικά θέμα επεξεργασίας και διάθεσης του τελικού προϊόντος. Πριν από κάθε προσπάθεια για την διαχείριση των αποβλήτων αυτών θα πρέπει να εξετάζονται με κάθε δυνατή λεπτομέρεια ο τρόπος λειτουργίας του στάβλου και οι δυνατότητες του τελικού αποδέκτη, που προορίζεται τα απόβλητα αυτά μετά την επεξεργασία τους.

Ένα αποδεκτό σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων βουστασίου θα πρέπει να είναι τεχνικά άρτιο, οικονομικά ανταγωνιστικό, να απαιτεί ελάχιστη συντήρηση και γενικά παρακολουθήση, να είναι απλό στη λειτουργία του, να μη δημιουργεί ενοχλήσεις ή κακές συνθήκες εργασίας στο προσωπικό, στα αγροτικά ζώα και στους περιοίκους. Τέλος θα πρέπει να επιτρέπει προσαρμογή σε νέα τεχνολογία, να είναι ευέλικτο και να επιδέχεται επέκταση.

Η όλη διαδικασία επεξεργασίας διαιρείται σε δυο φάσης:

- Πρωτοβάθμια επεξεργασία
- Δευτεροβάθμια επεξεργασία.

2.7.1. Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Στην πρωτοβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνονται φυσικοχημικές μέθοδοι, που έχουν σαν σκοπό το διαχωρισμό των αδιάλυτων στερεών συστατικών των υγρών αποβλήτων από την υγρή μάζα τους. Με τον τρόπο αυτό τα υγρά απόβλητα απαλλαγμένα από το μεγαλύτερο μέρος των αιωρούμενων στερεών είναι έτοιμα να διοχετευτούν στην επόμενη βαθμίδα επεξεργασίας, τη δευτεροβάθμια επεξεργασία.

Οι κυριότερες μέθοδοι πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι:

- Ο μηχανικός διαχωρισμός στερεών-υγρών και
- Η καθίζηση πρωτογενούς ιζήματος (αιωρούμενων στερεών)

Σήμερα ο μηχανικός διαχωρισμός για την απομάκρυνση των αιωρούμενων ή επιπλεόντων χοντρόκοκκων στερεών σωματιδίων από τα νωπά απόβλητα βουστασίου κρίνεται απαραίτητος γιατί επιτυγχάνει:

- Μείωση συγκέντρωσης θρεπτικών συστατικών (N, P, K) στα απόβλητα
- Σημαντική ελάττωση των αιωρούμενων και επιπλεόντων στερεών χοντρόκοκκων συστατικών
- Βελτίωση της ομοιογένειας των υγρών αποβλήτων που απομένουν
- Δημιουργία ενός στερεού υπολείμματος κατάλληλου για μετατροπή του σε κομπόστα
- Καλύτερο χειρισμό και επεξεργασία των υγρών, που προκύπτουν μετά την απομάκρυνση των χοντρόκοκκων στερεών, χωρίς πρόβλημα έμφραξης αγωγών ή δυσλειτουργίας των αντλιών μεταφοράς των αποβλήτων
- Λιγότερη κατανάλωση ενέργειας για την αερόβια βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, όπου προβλέπεται τέτοια επεξεργασία
- Ευκολότερη διασπορά των υγρών στο εδαφικό αποδέκτη χωρίς εμπλοκές στη λειτουργία του εξοπλισμού διασποράς
- Μείωση κατά το δυνατό της έκλυσης αμμωνίας και οσμών κατά τη διασπορά των υγρών αποβλήτων στο έδαφος
- Διευκόλυνση του υπολογισμού του διαθέσιμου αζώτου για τα φυτά κατά την αξιοποίηση των υγρών για λίπανση καλλιεργειών (Γεωργακάκης, 1998).

Μειονεκτεί στο ότι έχει υψηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας και απαιτείται η απασχόληση προσωπικού για τη συντήρηση και σωστή λειτουργία τους.

Προκαταρτικές εργαστηριακές δοκιμές με απόβλητα αγελάδων γαλακτοπαραγωγής στην Ευρώπη έδειξαν ότι ο διαχωρισμός των αποβλήτων σε στερεή και υγρή φάση μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση διαφορετικού μεγέθους κοσκίνων ή με φυγοκέντριση (Ford and Fleming,2002).

Τα κόσκινα διακρίνονται σε *στατικά κόσκινα διαχωρισμού (Bow sieve separators)* και σε *κόσκινα συμπίεσης*.

✦ στατικά κόσκινα διαχωρισμού (Bow sieve separators) είναι κυκλικές ή ορθογώνιες, οριζόντιες ή κεκλιμένες κατασκευές και διαιρούνται σε:

⇒ στατικά δονούμενα κόσκινα

⇒ στατικά σταθερά κόσκινα

✦ κόσκινα συμπίεσης βασίζουν τη λειτουργία τους στη συμπίεση των στερεών και διαιρούνται σε:

⇒ διπλού τυμπάνου με βούρτσες σάρωσης και κυλίνδρους συμπίεσης (double circle bow sieve)

⇒ κόσκινα με ιμάντα συμπίεσης (sieve belt press)

⇒ περιστρεφόμενο τύμπανο - σήτα συμπίεσης (sieve – drum press)

⇒ Κοχλία συμπίεσης (system FAN)

Οι φυγοκεντρικοί διαχωριστές διακρίνονται στους *απλούς διαχωριστές κατακόρυφου τύπου (sieve centrifuge)* και στους *σύνθετους διαχωριστές οριζόντιου τύπου (decanter centrifuge)*.

Από τους διάφορους τύπος διαχωριστών που υπάρχουν στην αγορά, ένας μικρός μόνο αριθμός έχει βρει εφαρμογή στην πράξη. Στα βουστάσιο το πιο διαδεδομένο σύστημα διαχωρισμού είναι ο τύπος του *κοχλία συμπίεσης (system FAN)* που αποτελεί και το πιο εξελιγμένο τύπο διαχωριστή συμπίεσης, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.

Εικόνα 6. Κοχλίας συμπίεσης (σύστημα Fan separator)



2.7.2. Δευτεροβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων βουστασίου

Η βιολογική (δευτεροβάθμια) επεξεργασία νοείται η χρησιμοποίηση μικροοργανισμών, με κάποιο ελεγχόμενο τρόπο, για την εξουδετέρωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων, που οφείλεται στην παρουσία οργανικών ουσιών. Η επεξεργασία αυτή είναι διαφορετική για τα στερεά και διαφορετική για τα υγρά που προκύπτουν μετά το διαχωρισμό τους.

2.7.2.1. Βιολογική επεξεργασία των υγρών διαχωρισμού

Η βιολογική επεξεργασία υγρών διαχωρισμού λαμβάνει χώρα σε μεγάλες δεξαμενές. Ανάλογα με τις συνθήκες που θα δημιουργηθούν μέσα στις δεξαμενές αυτές, θα αναπτυχθούν κατά προτεραιότητα αερόβιοι, ή αναερόβιοι μικροοργανισμοί και η βιολογική επεξεργασία αποκαλείται τότε αερόβια ή αναερόβια αντίστοιχα.

Και οι δυο παραπάνω μικροοργανισμοί υπάρχουν στα απόβλητα βουστασίου και έτσι δε χρειάζεται να προστεθούν μικροοργανισμοί, αλλά μόνο να διατηρούνται οι κατάλληλες συνθήκες μέσα στις δεξαμενές. Η δημιουργία των συνθηκών αυτών, που

είναι διαφορετικές για κάθε κατηγορία μικροοργανισμών, είναι η αιτία διαφοροποίησης των βιολογικών συστημάτων επεξεργασίας μεταξύ τους, ενώ η δυσκολία ή ευκολία διατήρησης των συνθηκών αυτών μέσα στις δεξαμενές είναι αιτία διαφοροποίησης του κόστους των παραπάνω συστημάτων.

Για την ανάπτυξη των αερόβιων μικροοργανισμών μέσα στις δεξαμενές θα πρέπει να διατηρούνται αερόβιες συνθήκες, δηλαδή να διαλύεται οξυγόνο μέσα στα απόβλητα με ρυθμό θεωρητικά ίσο με εκείνο, που καταναλώνεται από τους αερόβιους μικροοργανισμούς. Είναι φυσικό ότι όσο μεγαλύτερο είναι το οργανικό φορτίο των αποβλήτων, τόσο περισσότερο οξυγόνο χρειάζεται να διαλυθεί λόγω της εντονότερης μικροβιακής δραστηριότητας.

Από την άλλη πλευρά, το οξυγόνο είναι δυσδιάλυτο στο νερό και μάλιστα τόσο πιο πολύ, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του νερού και όσο περισσότερα διαλυμένα στερεά συστατικά.

Απόβλητα βουστασίου είναι και μεγάλου σχετικά ρυπαντικού φορτίου και πλούσια σε διαλυμένα στερεά. Έτσι η απόδοση των εγκαταστάσεων αερόβιας επεξεργασίας για τα απόβλητα αυτά είναι εκ των πραγμάτων μικρότερη και κατά συνέπεια η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια και ως εκ τούτου δαπάνη για την επίτευξη υψηλού βαθμού «καθαρισμού» πολύ μεγαλύτερη για τον ίδιο όγκο εγκατάστασης.

Για την ανάπτυξη των αναερόβιων μικροοργανισμών στις δεξαμενές επεξεργασίας θα πρέπει να διατηρούνται συνθήκες έλλειψης οξυγόνου, που επιτυγχάνονται με φυσικό τρόπο αν αφεθούν τα απόβλητα για αρκετό χρόνο σε βαθιές δεξαμενές, χωρίς ανάδευσης. Κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών είναι η απουσία ενεργοβόρου μηχανολογικού εξοπλισμού και ο μεγάλος σχετικά όγκος τους. Τα κυριότερα τελικά προϊόντα που παράγονται από την διάσπαση της οργανικής ουσίας των αποβλήτων βουστασίου μέσα σε μια ανοιχτή αναερόβια δεξαμενή είναι μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και νερό, προϊόντα άοσμα και τις ποσότητες που παράγονται, ιδιαίτερα στη χώρα μας, ακίνδυνα για το περιβάλλον.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Απόδοση αναερόβιας και αερόβιας επεξεργασίας σε απόβλητα βουστασίου (Γεωργακάκης, 1998).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΑΕΡΟΒΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (% ΕΛΑΤΤΩΣΗ)	ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (%ΕΛΑΤΤΩΣΗ)
ΟΛΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ	60-85	50-75
ΠΤΗΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ	60-85	60-90
BOD₅	70-95	60-90
COD	70-95	60-90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Παραγωγή Ενσιρώματος και χαρακτηριστικά του

3.1 Προέλευση

Τα ενσιρωμένα νομευτικά χόρτα προκύπτουν από τα αντίστοιχα χλωρά χόρτα με την εφαρμογή της μεθόδου συντήρησης τους που ονομάζεται ενσίρωση. Πρέπει να σημειωθεί ότι γενικά τα προϊόντα της ενσίρωσης είναι γνωστά με την ονομασία ενσιρώματα.

Η περιεκτικότητα των ενσιρωμένων χόρτων σε θρεπτικές ουσίες (ενεργειακές και μη), καθώς και οι διατροφικές ιδιότητες τους, με άλλα λόγια η θρεπτική και γενικά η διατροφική αξία τους, εξαρτάται λίγο ή πολύ τόσο από τους παράγοντες που αναφέρονται για την περίπτωση των χλωρών χόρτων, όσο και την εφαρμοζόμενη τεχνική ενσίρωσης τους.

3.2 Διατροφικές ιδιότητες και χρήση

Τα ενσιρωμένα νομευτικά χόρτα έχουν μεγαλύτερη διατροφική αξία (θρεπτική αξία, ελκυστικότητα, όρια περιορισμού στην χρήση τους κλπ.) από αυτή των αντίστοιχων ξηρών και προσεγγίζουν εκείνη των χλωρών χόρτων. Κατά τα άλλα είναι διατηρήσιμα, όπως και τα ξηρά χόρτα. Δηλαδή αποθηκεύονται και παρέχουν την

δυνατότητα χορήγησης τους στα ζώα όλες τις εποχές του έτους. Γενικά, τα ενσιρώματα σε αντίθεση με τα ξηρά χόρτα. Δεν είναι δυνατό να μεταφέρονται από τον αρχικό χώρο όπου παρασκευάστηκαν σε άλλο για να αποθηκευτούν με ασφάλεια έστω και για 1 ημέρα. Ωστόσο τα ενσιρωμένα χόρτα, όπως άλλωστε και τα ξηρά χόρτα, αποτελούν τις βασικές χονδροειδής ζωοτροφές των σταβλισμένων μηρυκαστικών, και ιδίως των βοοειδών. Υπό τις Ελληνικές συνθήκες, έχουμε τη γνώμη ότι χωρίς την χρήση των ενσιρωμένων χόρτων δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί μια ορθολογική διατροφή των σταβλισμένων μηρυκαστικών και ιδίως των βοοειδών.

3.3 Γενικά για την ενσίρωση

Η ενσίρωση είναι μία μέθοδος συντήρησης των χλωρών νομευτικών χόρτων και γενικά ζωοτροφών που έχουν μεγαλύτερη υγρασία του 60% σε χυμώδη κατάσταση. Βασίζεται στην δημιουργία συνθηκών μέσα σε ειδικούς χώρους τους ονομαζόμενους σίρους που να ευνοούν την ανάπτυξη των αναερόβιων μικροοργανισμών της εκεί τοποθετούμενης χλωρομάζας που προκαλούν γαλακτική ζύμωση (παραγωγή γαλακτικού οξέως) ή παράλληλα και οξική (παραγωγή οξικού οξέως), ώστε να παρεμποδίζεται ή να αναστέλλεται η δραστηριότητα των λοιπών μικροοργανισμών - κυρίως των αερόβιων - που είναι οι υπαίτιοι των ανεπιθύμητων ζυμώσεων. Δηλαδή, της σήψης (επιβλαβής κυρίως για την συντήρηση της χλωρομάζας) και της βουτυρικής ζύμωσης (επιζήμια για την ποιότητα των ενσιρωμένων χόρτων).

Η ενσίρωση είναι μια αρκετά παλιά μέθοδος συντήρησης των χλωρών χόρτων. Επινοήθηκε και πρωτοεμφανίστηκε στην πράξη από τον Γάλλο Goffard το 1873 (Jean – Blean & Jore – d’Arce 1950). Στην συνέχεια, διαδόθηκε το 1871 στις ΗΠΑ και από κει στον Καναδά, την Αυστραλία και τη Ν.Α. Αμερική. Ωστόσο, στην Ευρώπη μέχρι το τέλος του πρώτου παγκόσμιου πολέμου (1914-1918) η ενσίρωση δεν έτυχε ευρείας διάδοσης.

Η μέθοδος όμως αυτή, από το 1918 αποκτά καινούργιο ενδιαφέρον, κυρίως στις σκανδιναβικές χώρες, αλλά και στην Ελβετία και στην Γερμανία. Ειδικότερα, στην Φινλανδία δόθηκε μεγάλη ώθηση στην εφαρμογή της ενσίρωσης μετά της μελέτες του A.I.Virtanen, ο οποίος μπόρεσε να εφαρμόσει επιτυχώς την εν λόγω μέθοδο συντήρησης των χλωρών χόρτων με την προσθήκη στην προς ενσίρωση χλωρομάζα διαλύματος υδροχλωρικού οξέως.

Η ενσίρωση ως μέθοδος συντήρησης γενικά ζωοτροφών παρουσιάζει τα ακόλουθα πέντε πλεονεκτήματα:

- Εξαρτάται ελάχιστα από τις καιρικές συνθήκες και επομένως μπορεί να εφαρμόζεται παντού σε όλες σχεδόν τις χώρες ανεξαρτήτου κλίματος.
- Αποτελεί τη μοναδική διέξοδο για την συντήρηση χλωρών χόρτων ή γενικά ζωοτροφών που ξηραίνονται δύσκολα στον αέρα ή μετά την ξήρανση τους δεν καταναλώνονται ευχάριστα από τα ζώα. Τέτοιες ζωοτροφές είναι τα χλωρά φυτά καλαμποκιού, σόργου και ηλίανθου (ηλιοστρόφι), καθώς και ορισμένα βιομηχανικά υποπροϊόντα κ.ά.
- Συνεπάγεται την διατήρηση λίγο ή πολύ των διατροφικών χαρακτηριστικών των χλωρών χόρτων –και των χυμωδών ζωοτροφών- ή και βελτιώνει την ελκυστικότητα των χλωρών χόρτων, όταν αυτή είναι μικρή.
- Εφαρμόζεται εύκολα για όλα τα είδη των χλωρών χόρτων και για τις ποικίλες χυμώδεις χονδροειδής ζωοτροφές, ανεξάρτητα της διατιθέμενης κάθε φορά ποσότητας τους. Και τέλος,
- Ελευθερώνει γρήγορα το έδαφος και επιτρέπει την αναβλάστηση των φυτών ή την επαναχρησιμοποίηση του.

3.3.1 Μικροοργανισμοί που παίρνουν μέρος κατά την διαδικασία της ενσίρωσης

Στα προς ενσίρωση χλωρά χόρτα και γενικά στις ζωοτροφές που επιδέχονται ενσίρωση συναντιούνται διάφοροι μικροοργανισμοί. Οι πιο συνήθεις απ' αυτούς είναι εκείνη που σημειώνονται στον πίνακα :

I Μικροοργανισμοί της Οικογένειας <i>Lactobacillaceae</i> (αναερόβιοι)	Συνθήκες ανάπτυξης		
	Ευνοϊκή θερμοσσία	Ευνοϊκό pH	Είδη ζύμωσης
α) φυλή : <i>Streptococceae</i> <i>Diplococcus spp.</i> <i>Streptococcus spp.</i> <i>Leuconostoc spp.</i>	15-35 °C " "	≥3 " "	Γαλακτική " Γαλακτική και οξική Γαλακτική
<i>Lactobacillus caucassius</i> " <i>lactis</i> " <i>acidophilus</i> " <i>helveticus</i> " <i>bifidus</i> " <i>bulgaricus</i> " <i>thermophilus</i> " <i>dubruki</i>	35-47 °C " " " " 45-62 °C " "	" " " " " " " "	" " " " " " " "
β) φυλή : <i>Lactobacillae</i> <i>Streptobacterium casei</i> " <i>plantarum</i> " <i>leichmanii</i> <i>Betabacterium brevis</i> " <i>buchneris</i> " <i>pastorianus</i> " <i>fermenti</i>	28-32 °C " " " " " 35-40 °C	" " " " " " "	" " " Γαλακτική και οξική " " "
II. Διάφοροι άλλοι μικροοργανισμοί			
<i>Bacillus spp.</i> (αερόβιοι) <i>Micrococcus spp.</i> " <i>Sarcina spp.</i> "	25-30 °C " "	>6 " "	Σήψη " "
Κολιβάκιλλοι, προαερετικά αερόβιοι	27-35 °C	>4,5	Οξική, κυρίως
Κλωστηρίδια, αναερόβια	35-40 °C	>4,2	Βουτυρική, κυρίως
Βακτηρίδια χρωμογόνα, αερόβια	25-30 °C	>6	Σήψη
Ζύμες, αερόβιες και προαιρετικά αναερόβιες	20-40 °C	2,5	"
Ευρώτες, υποχρεωτικά αερόβιοι	"	"	"

Κατά την διαδικασία της ενσίρωσης επιδιώκεται πάντα η δημιουργία συνθηκών που ευνοούν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών της οικογένειας *Lactobacillaceae*. Κι αυτό, γιατί με την ανάπτυξη των εν λόγω μικροοργανισμών επιτυγχάνονται τα ακόλουθα:

- Παράγεται σύντομα και σε επαρκή ποσότητα γαλακτικό οξύ που συντελεί στην πτώση του PH σε τέτοιες τιμές, στις οποίες δεν είναι

δυνατόν να επιβιώνουν οι “διάφοροι άλλοι μικροοργανισμοί” που είναι σε θέση να παράγουν βουτυρικό και οξικό οξύ ή και να προκαλούν σήψεις, σε περίπτωση βέβαια που οι συνθήκες αναερόβιωσης στην χλωρομάζα δεν εξασφαλιστούν τόσο γρήγορα.

- Σχηματίζεται οξικό οξύ σε περιορισμένη ποσότητα, αλλά επαρκή για να πάρει το ενσίρωμα ευχάριστη οσμή. Και
- Δεν παράγεται βουτυρικό οξύ που ως δύσοσμο υποβαθμίζει την ποιότητα του ενσιρώματος και είναι δυνατό, αν ξεπεράσει ορισμένα όρια να θέσει σε κίνδυνο και την υγεία των ζώων.

3.4 Τεχνικές της ενσίρωσης

Για την παραγωγή ενσιρωμένων χόρτων ή γενικά ζωοτροφών υπάρχουν 2 τεχνικές: 1. Η ψυχρή ενσίρωση και 2. Η θερμή ενσίρωση.

3.4.1 Ψυχρή ενσίρωση

Είναι μια τεχνική ενσίρωσης που εφαρμόζεται περισσότερο υπό τις συνήθεις θερμοκρασίες που επικρατούν στις εύκρατες ζώνες τις εποχές που υπάρχουν χλωρά χόρτα, ώριμα προς ενσίρωση. Η ιδανική θερμοκρασία περιβάλλοντος για την εφαρμογή της ψυχρής ενσίρωσης είναι η κατώτερη των 28 °C. Κατά τη διενέργεια της εν λόγω ενσίρωσης επιδιώκεται η δημιουργία συνθηκών ανάπτυξης των ψυχρόφιλων αναερόβιων μικροοργανισμών που ευνοούν αποκλειστικά την γαλακτική ζύμωση. Έτσι δημιουργείται ένα ΡΗ γύρω στο 3,5, που συνεπάγεται τον θάνατο των λοιπών μικροοργανισμών που ευνοούν τη βουτυρική και την οξική ζύμωση ή ακόμη την σήψη. Για την διασφάλιση των συνθηκών ανάπτυξης των μικροοργανισμών προς την παραπάνω κατεύθυνση, λαμβάνονται τα διάφορα μέτρα, όπως η αποφυγή ανύψωσης της θερμοκρασίας άνω των 30 ή 35 °C, η διασφάλιση κατάλληλου υποστρώματος για την ανάπτυξη και την επικράτηση των μικροοργανισμών της γαλακτικής ζύμωσης, αποφυγή ή επιδίωξη προχωρημένης μάρανσης των προς ενσίρωση χόρτων.

3.4.2 Θερμή ενσίρωση

Είναι μια τεχνική ενσίρωσης που εφαρμόζεται σε περιοχές, όπου δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της προηγούμενης τεχνικής –δηλαδή της ψυχρής ενσίρωσης– λόγω των υψηλών θερμοκρασιών του περιβάλλοντος (>28 °C). Κατά τη θερμή ενσίρωση επιδιώκεται η δημιουργία συνθηκών για την ανάπτυξη των θερμοφίλων αναερόβιων μικροοργανισμών που ευνοούν σχεδόν αποκλειστικά την γαλακτική ζύμωση, όπως είναι των γενών *Lactobacillus* και το *Betabacterium fermenti*. Η διασφάλιση συνθηκών ενσίρωσης κατά την παραπάνω κατεύθυνση επιτυγχάνεται αρχικά με την τοποθέτηση της προς ενσίρωση ζωοτροφής στο σιρό χωρίς μεγάλη συμπίεση (σε χαλαρά στρώματα). Έτσι, υπάρχει πάντοτε λίγος αέρας που συνεργεί σε κάποιες οξειδώσεις που θα κάνουν την θερμοκρασία γρήγορα στο εσωτερικό της ζωοτροφής να ξεπεράσει τους 35 °C (35°-50 °C), ώστε να ευνοηθεί η ανάπτυξη των θερμοφίλων μικροοργανισμών. Στη συνέχεια, οι εν λόγω συνθήκες διασφαλίζονται με την άσκηση επαρκούς συμπίεσης της προς ενσίρωση ζωοτροφής και, αμέσως μετά, με την αεροστεγή σφράγιση του σιρού, ώστε να εκδιωχθεί ο τυχόν υπόλοιπος αέρας ή να αποτραπεί νέα είσοδος του. Η ύπαρξη αέρα θα επέτρεπε την συνέχιση των οξειδώσεων με αποτέλεσμα η θερμοκρασία στο εσωτερικό του να ξεπεράσει τους 50 °C, που είναι ένα ακραίο προς τα άνω όριο για την δράση των θερμοφίλων μικροοργανισμών.

Επιπλέον, όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 50 °C, οι απώλειες των προς ενσίρωση ζωοτροφών σε θρεπτικές ουσίες είναι πολύ μεγάλες. Πάντως, και αν ακόμη η θερμοκρασία δεν υπερβεί τους 50 °C, η θερμή ενσίρωση συνοδεύεται πάντοτε με μεγάλες απώλειες των προς ενσίρωση ζωοτροφών σε θρεπτικές ουσίες. Αν οι απώλειες αυτές εκφραστούν σε νομευτικές μονάδες (ενέργεια) ανέρχονται μέχρι 40% (Delage 1972) και είναι περισσότερες από εκείνες που παρατηρούνται κατά την ψυχρή ενσίρωση. Για αυτό το λόγο άλλωστε, η εφαρμογή της θερμής ενσίρωσης αποφεύγεται κατά το δυνατόν στη πράξη και είναι ήδη πολύ περιορισμένη. Δεν θα ήταν υπερβολή να λεχθεί ότι η τεχνική της θερμής ενσίρωσης ζωοτροφών, τουλάχιστον στις εύκρατες χώρες, έχει εγκαταλειφθεί.

Η ενσίρωση της χλωρής νομής γίνεται, είτε αμέσως μετά το κόψιμο της νομής, είτε αργότερα μετά από προηγούμενη μάρανση της στον αγρό, αυτό

εξαρτάται από το είδος του φυτού, τις καιρικές συνθήκες και τον τύπο του σιρού. Σημαντικό ρόλο στην επιτυχία της ενσίρωσης παίζει ο τρόπος διατήρησης και ο βαθμός προφύλαξης της νομής μέσα στο σιρό. Γι' αυτό πρέπει να δίνεται μεγάλη σημασία στην εκλογή και στην κατασκευή κατάλληλου τύπου σιρού(Αλέξανδρος Σπάης, 1997).

Σήμερα απαντώνται στην πράξη διάφοροι τύποι σιρών, από απλούς ταφροειδής χωρίς τοιχώματα, μέχρι και κατακόρυφους, τελείως αεροστεγής με αυτόματη πλήρωση και εκκένωση(Στοιχεία Γεωργικών Κατασκευών, Γεωργακάκης, 2010).

Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε απλό ταφροειδή σιρό, με ενσίρωμα καλαμποκιού σε βουστάσιο στην περιοχή της Θήβας.

Εικόνα 7: Απλός ταφροειδής σιρός



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Χρησιμοποίηση πρώτων υλών για αναερόβια χώνευση και σύγχρονες τάσεις.

4.1. Οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα από την χρήση τους

Κατά την αναερόβια χώνευση χρησιμοποιούνται σαν πρώτες ύλες, απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων σε συνδυασμό με αγροτοβιομηχανικά απόβλητα. Μία από τις συνήθεις πρακτικές είναι η χρησιμοποίηση ενσιρώματος διαφόρων φυτών, όπως το καλαμπόκι ή και άλλων. Τα φυτά αυτά πέραν της θρεπτικής τους αξίας έχουν και ενεργειακή αξία, λόγω της χρησιμοποίησής τους για παραγωγή βιοκαυσίμων (ενεργειακά φυτά).

Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. 2009/28/Ε.Ε. για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πρέπει το 10 % των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για τις μεταφορές να προέρχονται από βιοκαύσιμα και το 20 % της συνολικής ενέργειας από α.π.ε. , για τα κράτη μέλη της Ε.Ε. Σκοπός του προγράμματος αυτού είναι η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, CH₄ κ.α.) http://ec.europa.eu/agriculture/bioenergy/biofuels/index_en.htm.

Η χρήση όμως των φυτών αυτών και κατ' επέκταση των εδαφών τους, για παραγωγή ενέργειας, συναντά οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα. Σύμφωνα με νέα οδηγία της Επιτροπής πρέπει να εξεταστεί περισσότερο τι θέμα αυτό. Συγκεκριμένα η Επιτροπή δημοσίευσε πρόταση για να περιοριστεί η μετατροπή σε πλανητικό επίπεδο της χρήσης γης που οφείλεται στην παραγωγή βιοκαυσίμων και για να αυξηθούν τα περιβαλλοντικά οφέλη από τα βιοκαύσιμα που χρησιμοποιούνται στην ΕΕ. Θα περιοριστεί σε 5% το ποσοστό των βασιζόμενων σε διατροφικές καλλιέργειες βιοκαυσίμων για την επίτευξη του στόχου 10% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ο οποίος καθορίζεται στην οδηγία σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Σκοπός είναι εν προκειμένω να προωθηθεί η ανάπτυξη εναλλακτικών βιοκαυσίμων — των καλούμενων βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς από πρώτες ύλες μη προοριζόμενες

για διατροφή, π.χ. απόβλητα ή άχυρο — τα οποία εκπέμπουν πολύ λιγότερα θερμοκηπιακά αέρια απ' ό,τι τα ορυκτά καύσιμα και δεν έχουν άμεσες επιδράσεις στην παραγωγή τροφίμων σε πλανητικό επίπεδο. Με την οδηγία αυτή, η Επιτροπή επιδιώκει να προωθήσει τα βιοκαύσιμα που συμβάλλουν στην επίτευξη σημαντικών μειώσεων των εκπομπών, δεν ανταγωνίζονται άμεσα προϊόντα προοριζόμενα για τη διατροφή και, ταυτόχρονα, είναι περισσότερο αειφόρα. (http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/land_use_change_el.htm). Συνέπεια της χρήσης τους, είναι και η παγκόσμια αύξηση των τιμών σε βασικά είδη διατροφής (<http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=3439>).

4.2 Τεχνικά προβλήματα τους ΑΧ

Στις μονάδες αναερόβιας χώνευσης χρησιμοποιούν ενσίρωμα καλαμποκιού, το οποίο αποτελεί ζωοτροφή και συγκαταλέγεται στα φυτά που αναφέρονται παραπάνω στις οδηγίες της Ε.Ε. Άρα κατά την χρησιμοποίησή του σε μια μονάδα βιοαερίου αντί να προωθηθεί για ζωοτροφή, καταστρέφεται στον αναερόβιο χωνευτήρα.

Επίσης κατά την χρήση του θα συναντήσουμε και αρκετές δυσκολίες όπως βούλωμα των χωνευτήρων και των σωληνώσεων, δυσκολία άντλησης των υλικών και ανάμειξή τους. Για αυτό είναι επιθυμητό πριν την αναερόβια χώνευση να έχουμε ένα μείγμα με λίγα Π.Σ., με την χρήση μηχανικού διαχωρισμού υγρής με στερεής φάσης. Πολλά από τα στερεά είναι δύστροπα ή δύσκολα βιοδιασπώμενα. (Rico et.al 2007). Έτσι με τον διαχωρισμό, το μείγμα θα έχει λιγότερα Π.Σ. και θα μπορεί να υποβληθεί σε πιο εύκολα σε αναερόβια διεργασία, απαιτώντας πιο απλό αντιδραστήρα, όπως επίσης χαμηλότερη θερμοκρασία και υδραυλικό χρόνο παραμονής σε σχέση με τα πιο πυκνά μείγματα. (Liao et al. 1984).

Τα παραπάνω προβλήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν με την χρήση εκχύλισματος ενσιρώματος, ώστε να μην καταστρέφεται η ζωοτροφή και στην συνέχεια να γίνεται πιο εύκολη η επεξεργασία του μείγματος του αναερόβιου χωνευτήρα.

Στο δικό μας πειραματικό μέρος πραγματοποιήθηκε εκχύλιση με καθαρό νερό και το υπόλοιπο που έμενε ήταν περίπου το 90 % του αρχικού ενσιρώματος. Στην συνέχεια το εκχύλισμα αναμείχθηκε με τα υγρά διαχωρισμού του βουστασίου μέσα στους αναερόβιους χωνευτήρες.

II. Πειραματική εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου

1. Μέθοδοι αναλύσεων και προσδιορισμών

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών του Γ.Π.Α. Για την πραγματοποίηση του χρησιμοποιήθηκαν 2 μεταλλικοί ανοξείδωτοι αναερόβιοι χωνευτήρες με συνολική χωρητικότητα ο καθένας 24 L. Ο κάθε χωνευτήρας περιείχε σταθερή ποσότητα 19 L υγρών αποβλήτων. Στο ανώτερο τμήμα του υπήρχε στόμιο τροφοδοσίας και στο κατώτερο αντίστοιχα μια βάνα λήψης των εξερχόμενων υγρών.

Σε κάθε χωνευτήρα υπήρχε μια σύνδεση μέσω σωληνώσεων με ένα μεταλλικό βαρέλι το οποίο περιείχε μία ποσότητα νερού. Ο όγκος του παραγόμενου βιοαερίου από τον χωνευτήρα εκτόπιζε το νερό από το βαρέλι (αρχή συγκοινωνούντων δοχείων) προς μία οπή εξόδου το οποίο συλλεγόταν σε ένα άλλο βαρελάκι και ζυγιζόταν. Επίσης υπήρχε ένα λεπτό σωληνάκι συνδεδεμένο με το κάτω μέρος του βαρελιού με κατεύθυνση προς τα πάνω όπου έβλεπες την στάθμη του νερού εσωτερικά και έκανες την διόρθωση της κάθε φορά που μετρούσες το βιοαέριο.

Το πείραμα διεξήχθη στην μεσόφιλη περιοχή δηλαδή γύρω στους 35°C ($\pm 5^{\circ}\text{C}$). Για να επιτευχθεί η συγκεκριμένη θερμοκρασία, στη βάση κάθε χωνευτήρα υπήρχε ηλεκτρική εστία θέρμανσης και ένας συνδεδεμένος θερμοστάτης. Ένα επιπλέον στοιχείο ήταν η βαλβίδα ασφαλείας, όπου σε περίπτωση δυσλειτουργίας η πίεση από το παραγόμενο βιοαέριο εκτονώνονταν μέσω αυτής προς την ατμόσφαιρα.

Στο τέλος κάθε μέτρησης του παραγόμενου βιοαερίου, και αφού είχε γίνει η τροφοδοσία του χωνευτήρα με φρέσκο υλικό, γινόταν αναπλήρωση του νερού στο βαρέλι μέχρι το ύψος που βρισκόταν το σωληνάκι εκροής του νερού. Η πλήρωση γινόταν μέσω δικτύου με νερό βρύσης.

Στην διάρκεια του πειράματος εκτός από το βιοαέριο μετριόντουσαν ανά 48ωρο το pH η θερμοκρασία του αέρα, η θερμοκρασία των εξερχόμενων υγρών, τα ολικά και πτητικά στερεά της πρώτης ύλης και των εξερχόμενων υγρών των χωνευτήρων, καθώς και το ποσοστό μεθανίου επί του βιοαερίου. Οι μέθοδοι με τις οποίες προσδιορίστηκαν περιγράφονται παρακάτω.

- **Μέτρηση PH και θερμοκρασίας**

Η μέτρηση του PH γινόταν ανά 48 ώρες με την χρήση ηλεκτρονικού πεχάμετρου – θερμόμετρου στα υγρά εξόδου του αναερόβιου χωνευτήρα. Επίσης με ένα άλλο ηλεκτρόδιο της ίδιας συσκευής γινόταν η μέτρηση της θερμοκρασίας τους.

- **Προσδιορισμός Ολικών Στερεών (% κ.β.)**

Κατά την διάρκεια του πειράματος προσδιορίζονταν τα Ο.Σ. στην πρώτη ύλη που χρησιμοποιούσαμε και συγκεκριμένα στα υγρά μηχανικού διαχωρισμού βουστασίου και στο εκχύλισμα ενσιρώματος καθώς και στα υγρά εξόδου από τους χωνευτήρες όταν αυτοί είχαν σταθεροποιηθεί. Ο υπολογισμός τους γινόταν με την χρήση κάψεων πορσελάνης οι οποίες ζυγίζονταν κενές αφού είχαν θερμανθεί στους 105 °C στον φούρνο ξηράνσεως. Κάθε μια από αυτές σημειώνονταν με μαρκαδόρο και στην συνέχεια αφού προσθέταμε μία της ύλης που μας ενδιέφερε, ξαναζυγίζόταν. Ακολουθούσε η ξήρανση των δειγμάτων σε φούρνο ξηράνσεως Memmert (Type U15) σε θερμοκρασία 105 °C για 24 ώρες. Μετά την πάροδο του απαιτούμενου χρόνου τοποθετούνταν σε γυάλινο σκεύος, το οποίο περιείχε αφυγραντικό υλικό, έως ότου κρυώσουν και έπειτα ζυγίζονταν οι κάψες με τα ξηρά δείγμα.

Ο ζυγός που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου Mettler H10 μοντέλο 4/10, ακριβείας $\pm 0,0001$ gr.

Αφού προσδιορίστηκαν οι παραπάνω τιμές με την χρήση του παρακάτω τύπου υπολογίστηκαν τα Ολικά Στερεά.

$$\text{Ο.Σ.} = \left(\frac{\text{Βάρος Ξηρού Δείγματος}}{\text{Βάρος Νωπού Δείγματος}} \right) * 100$$

- **Προσδιορισμός Πτητικών στερεών (%Ο.Σ.)**

Για τον προσδιορισμό των πτητικών στερεών οι κάψες που περιείχαν το ξηρό δείγμα τοποθετούνταν σε αποτεφρωτήρα Thermolyne Sybron (Type 1400 Furnace) για την καύση των οργανικών τους ουσιών στους 550° C για 12-16 ώρες. Έπειτα τις βάζαμε στο γυάλινο σκεύος να κρυώσουν χωρίς να απορροφήσουν υγρασία και τις ζυγίζαμε.

Ο τύπος που προσδιορίζει τα πτητικά στερεά είναι:

$$\text{Π.Σ.} = \left(\frac{\text{Βάρος Ξηρού Δείγματος} - \text{Τέφρα}}{\text{Βάρος Ξηρού Δείγματος}} \right) * 100$$

- **Προσδιορισμός ποσοστού μεθανίου επί του βιοαερίου**

Κατά την λειτουργία των αναερόβιων χωνευτήρων παράγεται ένα μείγμα αερίων, το λεγόμενο βιοαέριο, το οποίο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο 65-80%, CO₂, υδρατμούς και σε μικρή ποσότητα άλλες ενώσεις. Από αυτά, το μεθάνιο μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά.

Το ποσοστό του μεθανίου επί του βιοαερίου προσδιορίζονταν με μία συσκευή που κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών. Η συσκευή αυτή αποτελείται από ένα γυάλινο βάζο αεροστεγώς κλεισμένο, που έχει 2 σωληνάκια στο καπάκι του, εκ των οποίων το ένα καταλήγει στην βάση του και το άλλο ψηλότερα. Μέσα στο βάζο υπάρχει κορεσμένο διάλυμα υδροξειδίου του καλίου (KOH) το οποίο έχει την δυνατότητα να κατακρατεί το CO₂.

Για την μέτρηση του μεθανίου με μία πλαστική σύριγγα των 30 ml αντλούνταν βιοαέριο από τον σωλήνα διαφυγής του βιοαερίου που συνδέεται με τον αναερόβιο χωνευτήρα. Η σύριγγα αυτή (A) τοποθετούνταν στο σωληνάκι του βάζου που καταλήγει στον πυθμένα του ενώ παράλληλα στο άλλο σωληνάκι τοποθετούνταν ομοίως μια σύριγγα (B) χωρίς αέρα. Καθώς πιέζαμε την πρώτη και το βιοαέριο διαχόταν στο υγρό, από την άλλη η κενή σύριγγα μετατοπίζονταν. Έτσι ο λόγος των όγκων τους καταδείκνυε το ποσοστό του μεθανίου.

$$- \quad \underline{\text{Μεθάνιο (\% Βιοαερίου)} = \frac{\text{Όγκος B}}{\text{Όγκος A}}}$$

2. Πειραματική Διαδικασία

Η παραγωγή βιοαερίου στον αναερόβιο χωνευτήρα υπό σταθερή πίεση και θερμοκρασία εξαρτάται από την οργανική φόρτιση (kg Π.Σ. / m³ χωνευτήρα – ημέρα). Όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο αυξάνεται η παραγωγή του. Άλλοι παράγοντες είναι ο ωφέλιμος όγκος, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής των αποβλήτων, το είδος των αποβλήτων, όσον αφορά την σχέση C/N, και ο βαθμός αραίωσης τους. Ενδεικτικά η παραγωγή βιοαερίου εκφράζεται ως ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου που δείχνει τον όγκο του βιοαερίου που παράγεται ανά κυβικό χωνευτήρα ή ανά κυβικό αποβλήτων και ανά ημέρα.

Έτσι υπολογίζοντας τις παραπάνω τιμές καθώς και το ποσοστό του μεθανίου επί του βιοαερίου βρήκαμε το μικτό ενεργειακό περιεχόμενο. Αν από αυτό αφαιρέσουμε την ενέργεια που χρησιμοποιείται κυρίως για την θέρμανση των χωνευτήρων θα βρούμε την καθαρή ενέργεια που παράγεται. Στο εργαστήριο, χρησιμοποιώντας το σύστημα των αναερόβιων χωνευτήρων έγινε ο προσδιορισμός των παραπάνω χαρακτηριστικών.

Το παρόν πείραμα πραγματοποιήθηκε στην μεσόφιλη περιοχή και κατά την ίδια χρονική περίοδο λειτουργούσαν παράλληλα οι δύο παρακάτω χωνευτήρες:

2.1. 1^{ος} Χωνευτήρας

Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν υγρά μηχανικού διαχωρισμού (υ/δ) βουστασίου και εκχύλισμα ενσιρώματος. Το πείραμα διήρκησε περίπου 4 μήνες. Ο χρόνος παραμονής των υγρών ήταν 16 ημέρες και ο ωφέλιμος όγκος του χωνευτήρα 19 L.

Τα υ/δ βουστασίου προέρχονταν είτε από τον μηχανικό διαχωριστήρα (τύπου Fan Separator) που λειτουργούσε στο σύστημα διαχείρισης αποβλήτων του βουστασίου, είτε μέσα από πέρασμα των αποβλήτων από χοντρή σίτα Νο 5 και ψιλή σίτα. Και στις δύο περιπτώσεις τα Ο.Σ. και τα Π.Σ. είχαν περίπου τις ίδιες τιμές. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε η σίτα είναι οι συχνές βλάβες του συστήματος μηχανικού διαχωρισμού.

Το ενσίρωμα καλαμποκιού που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του εκχυλίσματος προερχόταν από την ίδια μονάδα που πάρθηκαν και τα υ/δ βουστασίου. Για την εξαγωγή του εκχυλίσματος αναμείχθηκαν σε αναλογία 1 προς 1 κ.ο. ή 1 προς 2 κ.β. ενσίρωμα με νερό βρύσης. Στην συνέχεια το μίγμα αναδεύτηκε ελαφρώς και έπειτα περάστηκε μόνο από σίτα Νο 5. Το υγρό συλλέχθηκε και τοποθετήθηκε σε βαρελάκια των 3 L τα οποία μπήκαν στην κατάψυξη.

Ο αναερόβιος χωνευτήρας τροφοδοτούνταν ανά 48 ώρες με το παραπάνω μίγμα σε ποσότητα των 2,4 L συνολικά με διαφορετικές αναλογίες μέχρι να φτάσουμε στο επιθυμητό στάδιο. Στο αρχικό στάδιο τροφοδοτούνταν με 2,4 L υ/δ βουστασίου, στην συνέχεια αντικαθιστούσαμε ένα μέρος με εκχύλισμα ενσιρώματος και στο τέλος το μείγμα αποτελούταν από 0,9 L υ/δ βουστασίου και 1,5 L εκχ. ενσιρώματος. Τα στάδια παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1: Υλικά μείγματος ανά στάδιο

Στάδια	Υ/Δ Βουστασίου (L)	Εκχ. Ενσιρώματος (L)	Σύνολο
1 ^ο	2,4	0	2,4 L
2 ^ο	1,6	0,8	2,4 L
3 ^ο	1,2	1,2	2,4 L
4 ^ο	0,9	1,5	2,4 L

Η σταδιακή αντικατάσταση των υγρών γίνεται για λόγους προσαρμογής των μικροοργανισμών, στην αλλαγή περιβάλλοντος. Σε κάθε τάισμα του χωνευτήρα μετριόνταν το pH των υγρών εξαγωγής ώστε να βρίσκεται μέσα στο εύρος τιμών που δίνει σταθερότητα στο σύστημα ή για τν έλεγχο μίας ανεπιθύμητης μεταβολή του.

Όταν φτάσαμε στο τελευταίο στάδιο στο οποίο είχε σταθεροποιηθεί η παραγωγή του βιοαερίου και το pH δεν παρουσίαζε μεταβολές, λαμβάναμε μετρήσεις. Αυτές αφορούσαν τον όγκο του βιοαερίου, το ποσοστό του σε μεθάνιο, το pH των εισερχόμενων και εξερχόμενων υγρών του χωνευτήρα καθώς και τα ολικά και πτητικά στερεά τους.

2^{ος} Χωνευτήρας

Η δεύτερη περίπτωση αποτελεί τον μάρτυρα του πειράματος. Σε αυτόν τον χωνευτήρα προστίθενταν 2,4 L υ/δ βουστασίου ίδιας προέλευσης με του πρώτου ανά 48 ώρες. Ο χρόνος παραμονής ήταν 16 ημέρες και ο ωφέλιμος όγκος 19 L. Όταν το σύστημα σταθεροποιήθηκε τότε λήφθηκαν οι ίδιες μετρήσεις με τον πρώτο χωνευτήρα.

3. Προέλευση και ποιοτικά χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης

3.1 Υγρά διαχωρισμού Βουστασίου

Τα υγρά βουστασίου προέρχονταν από ένα βουστάσιο γαλακτοπαραγωγής, που βρίσκεται σε μία τοποθεσία κοντά στην Θήβα. Η πρώτη ύλη λήφθηκε είτε από τα υγρά εξαγωγής του μηχανικού διαχωριστήρα που διέθετε είτε από μη διαχωρισμένα απόβλητα τα οποία περάστηκαν μέσα από σίτα. Στην συνέχεια μεταφέρονταν στο εργαστήριο και τοποθετούνταν σε δοχεία των 3 L και έπειτα έμπαιναν στην κατάψυξη (- 15 °C). Ένα μέρος τους κάθε φορά αποψυχόταν για να χρησιμοποιηθεί. Η διαδικασία αυτή γινόταν για να μην υπάρχει αλλοίωση των χαρακτηριστικών τους.

Στα υ/δ βουστασίου κατά την πρώτη συλλογή τους καθώς και σε τακτά χρονικά διαστήματα λαμβάνονταν μετρήσεις ως προς τα ολικά και πτητικά στερεά και το pH. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2: Ολικά και Πτητικά Στερεά και pH υ/δ βουστασίου

Στερεά υ/δ αποβλήτων βουστασίου						
			Ο.Σ.	Π.Σ.%Ο.Σ.	%Π.Σ.	PH
1.	30/12/2012	B1	4,40	80,53	3,54	8,04
		B2	4,44	80,29	3,56	
2.	17/1/2012	B1	5,19	81,30	4,22	7,72
		B2	5,04	80,55	4,06	
3.	23/1/2012	B1	4,27	79,23	3,38	7,57
		B2	4,36	80,15	3,49	
4.	6/2/2012	B1	4,24	76,52	3,24	7,60
		B2	4,25	76,45	3,25	
5.	8/2/2012	B1	3,96	75,87	2,00	7,65
		B2	3,95	74,97	2,96	
6.	17/2/2012	B1	4,76	79,21	3,77	6,92
		B2	4,76	79,04	3,76	
		M.O.	4,47	78,67	3,52	7,58

Τα νωπά απόβλητα βουστασίου (κοπριές) μαζί με τα υγρά του αρμεκτηρίου είχαν Ο.Σ. 9 - 10 %, Π.Σ. 80% ή 7 - 8% Π.Σ, PH > 8.

3.2 Εκχύλισμα Ενσιρώματος

Το ενσίρωμα που χρησιμοποιήθηκε προέρχεται από την ίδια μονάδα στην Θήβα. Αποτελεί ενσίρωμα καλαμποκιού το οποίο βρισκόταν μέσα σε υπέργειους ταφροειδής

σιρούς, οι οποίοι ήταν καλυμμένοι αεροστεγώς με φύλλα πολυαιθυλενίου. Το υλικό που λήφθηκε, μεταφέρθηκε μέσα σε κλειστές σακούλες στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, όπου με χρήση νερού βρύσης και σίτας παρασκευάστηκε το εκχύλισμα. Έπειτα τοποθετούνταν σε δοχεία των 3 L στην κατάψυξη και αποψύχαμε κάθε φορά την ποσότητα που χρειαζόμασταν.

Κατά την παρασκευή του εκχυλίσματος μετρήθηκαν ολικά και πτητικά στερεά στο παρασκευασθέν εκχύλισμα, στην στερεά ύλη του ενσιρώματος καθώς και το pH. Οι μετρήσεις αυτές λαμβάνονταν και σε μερικά δείγματα από την κατάψυξη. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3: Ολικά και Πτητικά Στερεά εκχυλίσματος ενσιρώματος και PH

Στερεά εκχυλίσματος ενσιρώματος						
			Ο.Σ.	Π.Σ.%Ο.Σ.	%Π.Σ.	PH
1.	6/2/2012	Εκχ1	2,39	81,58	1,95	3,96
		Εκχ2	2,64	84,04	2,22	
2.	8/2/2012	Εκχ1	2,79	90,08	2,51	4,41
		Εκχ2	2,73	89,57	2,45	
3.	17/2/2012	Εκχ1	2,29	94,75	2,17	4,07
		Εκχ2	2,17	95,71	2,08	
		M.O.	2,50	89,29	2,23	4,15

Το εκχύλισμα ενσιρώματος σε κάθε τάσιμα αραιωνόταν με νερό βρύσης σε αναλογία 1 μέρος εκχύλισμα προς 0,5 μέρος καθαρό νερό. Έτσι τα Ο.Σ. που προέκυψαν ήταν 1,7 % και τα πτητικά 87,5% Ο.Σ. Ο λόγος που γινόταν η αραιώση είναι για την αποφυγή του κινδύνου αποσταθεροποίησης του pH.

Το ενσίρωμα κατά την έκπλυση του χάνει ένα μέρος των στερεών του και της θρεπτικής αξίας του. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεταβολή των στοιχείων αυτών και συγκεκριμένα στις αζωτούχες, στις λιπαρές και στις ινώδεις ουσίες. Τα αποτελέσματα της μεταβολής προέκυψαν από ανάλυση του Εργαστηρίου Διατροφής Αγροτικών Ζώων του τμήματος Ζωικής Παραγωγής του Γ.Π.Α. Οι μεταβολές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4: Μεταβολή στοιχείων του ενσιρώματος μετά την εκχύλιση (Εργ. Ζωικής Παραγωγής, Γ.Π.Α)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	Περιγραφή Δείγματος	Ξ.Ο. % του συνολικού Δείγματος*	ΤΕΦΡΑ % Ξ.Ο / % Δείγματος	ΑΖΩΤΟΥΧΕΣ ΟΥΣΙΕΣ % Ξ.Ο./ % Δείγματος	ΛΙΠΑΡΕΣ ΟΥΣΙΕΣ % ΞΟ/ % Δείγματος	ΙΝΩΔΕΙΣ ΟΥΣΙΕΣ % ΞΟ/% Δείγματος
23	Ενσίρωμα Κανονικό	29,88	4,33 / 1,33	7,23 / 2,22	2,24 / 0,67	22,80 / 7,01
24	Ενσίρωμα Ξεπλυμένο	19,26	4,38 / 0,86	7,12 / 1,41	2,94 / 0,58	23,80 / 4,70
*Ξηρά Ουσία Προξήρανσης:		23 = 30,73%, 24 = 19,77%				
Ξ.Ο. στο προξηραμένο δείγμα:		23 = 97,2237, 24 = 97,4452				

Όπως φαίνεται από την ανάλυση του πίνακα κατά την διαδικασία της έκπλυσης του ενσιρώματος χάνεται το 10 % της Ξηράς Ουσίας. Στα υπόλοιπα στοιχεία όπως φαίνεται μεγαλύτερη ποσοστιαία μεταβολή επί του δείγματος έχουμε στις αζωτούχες ενώσεις (λόγω υδατοδιαλυτότητας) και στην συνέχεια στις ινώδεις ουσίες.

4. Ερευνητικά αποτελέσματα

Το πείραμα εκτός του χρόνου παραμονής των 16 ημερών, πραγματοποιήθηκε και για 21 και 32 ημέρες. Τα δεδομένα για τους δύο τελευταίους χρόνους προέρχονται από τα πειράματα των προπτυχιακών φοιτητών Φώτη Βαχαβιόλου, Φωτεινής Μίχου και Γωγώς Θεοδωρή τους οποίους ευχαριστώ θερμά.

Το στοιχείο πάνω στο οποίο βασιστήκαμε για την άμεση συσχέτιση των υλικών του μείγματος με την παραγωγή του βιοαερίου ήταν ο λόγος των Π.Σ. του εκχυλίσματος ενσιρώματος προς των υ/δ βουστασίου. Θεωρήσαμε πως με την τιμή αυτή μπορούμε να δούμε την αναλογία των υλικών ανάμειξης και συγκεκριμένα την αντιστοιχία των Π.Σ. τους.

Α) Χρόνος Παραμονής 16 ημέρες

Σε αυτή την περίπτωση στον αναερόβιο χωνευτήρα προσθέταμε 0,75 lt εκχύλισμα ενσιρώματος και 0,45 lt υγρά διαχωρισμού βουστασίου. Αυτό σημαίνει πως ο χρόνος παραμονής των υγρών ήταν 19 lt (Όγκος χωνευτήρα) / 1,2 lt = 16 ημέρες.

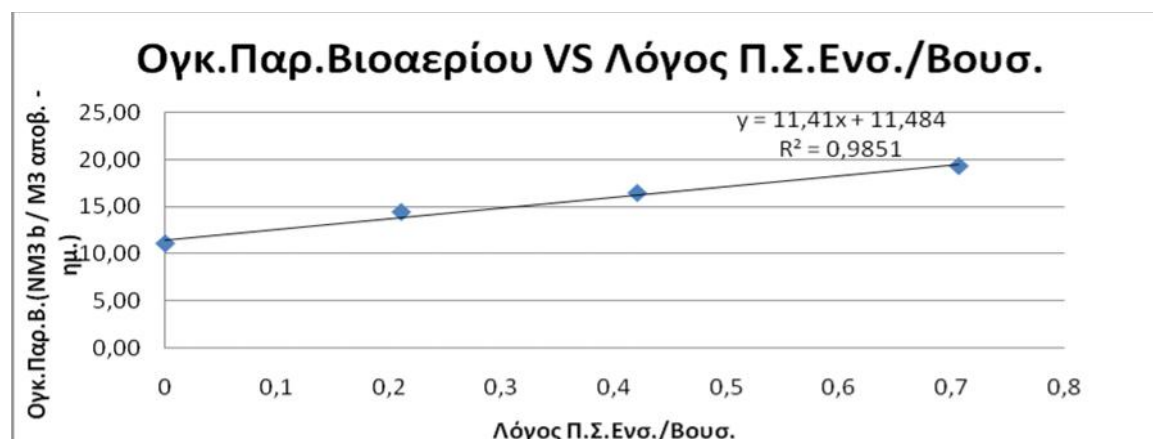
Η παραγωγή βιοαερίου σε αυτή την περίπτωση ήταν 22,9 lt ανά ημέρα. Με τα ίδια υλικά αλλά σε διαφορετικές αναλογίες έγιναν μετρήσεις πριν φτάσουμε στην τελευταία όπως δείχνει ο πίνακας.

Πίνακας 5. Ογκ. Παραγωγή βιοαερίου VS λόγου Π.Σ. και σταδίου για Χ.Π 16 ημ.

Στάδια	Λόγος Π.Σ. Ενσ./Βουσ.	Βιοαέριο (L) /ημ.	Ογκ.Παρ.Βιο. (Nm ³ (b)/m ³ αποβλήτων-ημέρα)
2,4 L Βουστασίου / 2 ημ.	0	13,1	11,06
1,6 L Βουσ + 0,8 L Εκχ.Ενσ./2 ημ.	0,21	17,1	14,40
1,2 L Βουσ + 1,2 L Εκχ.Ενσ./2 ημ.	0,42	19,5	16,42
0,9 L Βουσ + 1,5 L Εκχ.Ενσ./2 ημ.	0,71	22,9	19,30

Τα παραπάνω δεδομένα αν αποτυπωθούν σε διάγραμμα τότε προκύπτει η εξής γραφική παράσταση:

Γράφημα 1. Ογκ.Παρ.Βιοαερίου VS λόγου Π.Σ. Ενσ./Βουσ. για Χ.Π. 16 ημ.



Με βάση το γράφημα 1 παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται ο λόγος Π.Σ. ενσιρώματος προς του βουστασίου αυξάνεται και η παραγωγή του βιοαερίου στον χωνευτήρα. Η σχέση που προκύπτει από τα 4 σημεία του πίνακα 1, είναι η $y = 11,41 x + 11,484$, $R^2 = 0.9851$ (εξίσωση 1) όπου y το βιοαέριο και x ο λόγος Π.Σ. ενσ / βουσ.

Εναλλακτικά μπορούμε να πάρουμε 2 σημεία από τον πίνακα 1, το πρώτο και το τελευταίο και να προκύψει η σχέση 2, $y_{16} = 11,671 + 11,057 x_{16}$, $R^2=1$. Για να δούμε αν αυτές οι 2 εξισώσεις είχαν περίπου τα ίδια αποτελέσματα κάναμε μία δοκιμή με λόγο Π.Σ. $X_{16} = 0,71$ (0,9 L Βουσ. + 1,5 L Εκχ.Ενσ./2 ημ. με Π.Σ. 1,49% για Ενσ. και 3,52 % για Βουσ.) Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι για την εξίσωση 1 $y_{16} = 19,57$ L και για την εξίσωση 2, $y_{16} = 19,4$ L Nm³ (b)/m³ αποβλήτων-ημέρα.

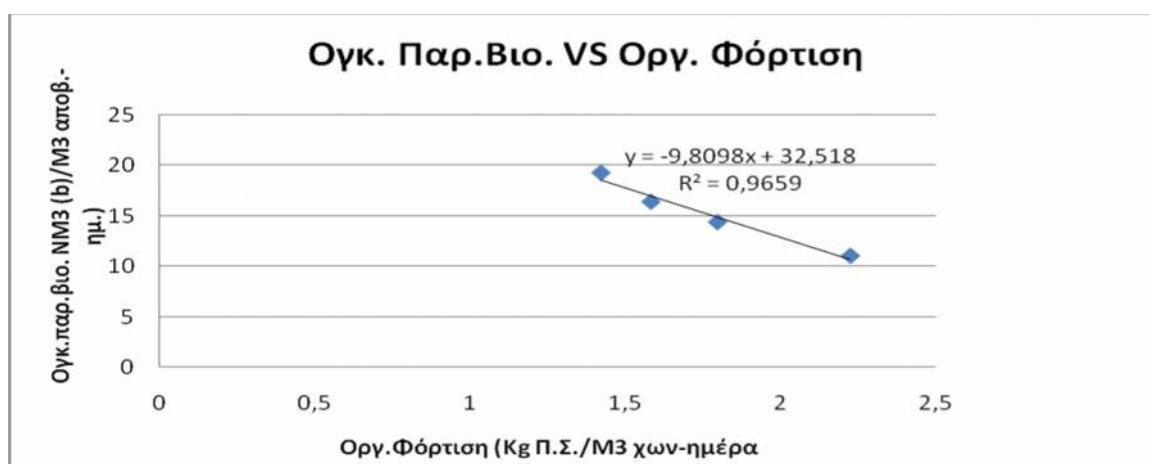
Αντίστοιχα μπορούμε να βρούμε και την σχέση ανάμεσα στην παραγωγή ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου και την οργανική φόρτιση Φ. Με τα δεδομένα μας προκύπτει ο πίνακας 6.

Πίνακας 6. Ογκομετρική Παραγωγή βιοαερίου VS Οργανική Φόρτιση για 16 ημ. Χ.Π.

Στάδια	Ογκ.Παρ.Βιο. (Nm ³ (b) /m ³ αποβλήτων-ημέρα)	Οργ. Φορ. (kgΠ.Σ./M3χων-ημ.)
2,4 L Βουστασίου / 2 ημ.	11,06	2,22
1,6 L Βουσ + 0,8 L Εκχ.Ενσ./2 ημ.	14,40	1,80
1,2 L Βουσ + 1,2 L Εκχ.Ενσ./2 ημ.	16,42	1,58
0,9 L Βουσ + 1,5 L Εκχ.Ενσ./2 ημ.	19,30	1,42

Ο οποίος αποτυπώνεται στο εξής γράφημα:

Γράφημα 2. Ογκ.Παρ.Βιοαερίου VS Οργ.Φόρτιση για Χ.Π. 16 ημερών



Παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται η οργανική φόρτιση μειώνεται το παραγόμενο βιοαέριο για Χ.Π. 16 ημερών. Η σχέση που τα συνδέει είναι η εξίσωση $Y = -9,8098 \cdot X + 32,518$, $R^2 = 0.9659$ (εξίσωση 3), όπου Y η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου και X η οργανική φόρτιση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση όταν έχουμε μεγάλη οργανική φόρτιση το μείγμα μας αποτελείται κυρίως από υ/δ βουστασίου που περιέχουν αμμωνία η οποία δίνει σταθερότητα στο σύστημα της αναερόβιας χώνευσης αλλά δεν έχει υψηλή απόδοση σε βιοαέριο, ενώ όταν αυξάνεται η ποσότητα του ενσιρώματος στο μείγμα έχουμε περισσότερους υδατάνθρακες που αποδίδουν

παραπάνω βιοαέριο. Δηλαδή, μπορεί τα Π.Σ. του μείγματος να μειώνονται ποσοτικά αλλά αυξάνονται ποιοτικά.

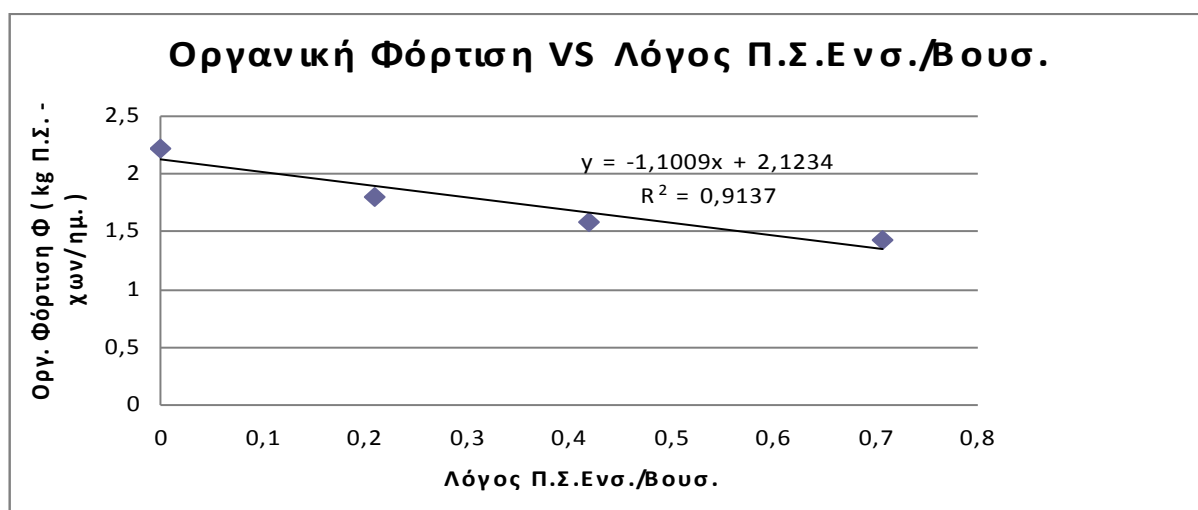
Στην συνέχεια συσχετίζουμε την Οργανική Φόρτιση (kg Π.Σ./M3 χων-ημ.) με τον λόγο των Π.Σ. ανά στάδιο.

Πίνακας 7. Οργ.Φόρτιση VS Λόγος Π.Σ. και Σταδίου

Στάδια	Οργ.Φόρτιση(kgΠ.Σ./M3χων-ημ.)	Λόγος Π.Σ. Ενσ./Βουσ.
2,4 L Βουστασίου / 2 ημ.	2,22	0
1,6 L Βουσ + 0,8 L Εκχ.Ενσ./2 ημ.	1,79	0,21
1,2 L Βουσ + 1,2 L Εκχ.Ενσ./2 ημ.	1,58	0,42
0,9 L Βουσ + 1,5 L Εκχ.Ενσ./2 ημ.	1,42	0,71

Και ο παραπάνω πίνακας αποτυπώνεται στο διάγραμμα.

Γράφημα 3. Οργ. Φόρτιση VS Λόγος Π.Σ. Ενσ./Βουσ.



Αντίστοιχα εδώ παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται ο λόγος των Π.Σ. τόσο μειώνεται η οργανική φόρτιση. Η σχέση που προκύπτει είναι η $y = - 1,1009 + 2,1234x$, $R^2 = 0.9137$ (εξίσωση 4) όπου 'y' η Οργ. Φόρτιση και 'x' ο λόγος Π.Σ.

Η μείωση του οργανικού φορτίου είναι φυσιολογική γιατί διατηρούμε σταθερή την ποσότητα που τροφοδοτούμε ανά 2 ημέρες (2,4 L μείγμα), ενώ αυξάνουμε το εκχύλισμα ενσιρώματος και μειώνουμε τα υ/δ βουστασίου. Το εκχύλισμα έχει λιγότερα Π.Σ. από τα υ/δ βουστασίου, οπότε το σύνολο των Π.Σ. στο μείγμα μειώνεται και συνεπώς ελαττώνεται και η οργανική φόρτιση (kg Π.Σ./ M³ χων.- ημέρα).

Συνολικά τα χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου, για τον χρόνο παραμονής 16 ημερών, στους χωνευτήρες μας συνοψίζονται στον πίνακα 8:

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου για Χ.Π. 16 ημερών

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ/ΜΕΘΑΝΙΟΥ		
	Χωνευτήρας 1 (Μείγματος)	Χωνευτήρας 2 (Μάρτυρας)
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ		
Ημερήσια ποσότητα kg/ ημ.	(1,5 L εκχ.ενσ. + 0,9 L υ/δ βουστασίου)/2	2,4 L υ/δ βουστασίου/2
Όγκος Χωνευτήρων	19 L	19 L
Πτητικά στερεά (% Π.Σ. κ.β)	87,5%Ο.Σ.= 0,875*1,7%= 1,49% (Ενσ.) 78,67%Ο.Σ.= 3,52% (Βου.), Β.Μ.* = 2,25%	78,67%Ο.Σ. = 3,52%
Πτητικά Στερεά (kg/Ημέρα)	(0,0352*0,9 + 0,0149*1,5)/2= 0,027	1,2 * 0,0352 = 0,042
Χρόνος παραμονής (ημέρες)	16	16
Οργανική Φόρτιση (kg Π.Σ./M ³ χων-ημέρα)	0,027/0,019M ³ χων = 1,42	0,042/0,02M ³ χων= 2,2
Ογκομετρική παραγωγή Βιοαερίου (Nm ³ /M ³ χων)	0,023**/0,019 = 1,21	0,011**/0,019= 0,55
Μεθάνιο (%Βιοαερίου)	75%	80%
Ογκομετρική παραγωγή μεθανίου	1,21*0,75 = 0,901 Nm ³ ***CH	0,55*0,8= 0,44
Ειδική παραγωγή μεθανίου (Nm ³ / Kg Π.Σ.)	0,86/1,35 = 0,64	0,42/2,11= 0,2
Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm ³ / Kg Π.Σ.)	0,64/0,75 = 0,85	0,2/0,8 = 0,25

*Β.Μ. = Βαρυκεντρικός μέσος, **Μ.Ο. Βιοαερίου (L) / 24 h , ***NM³ = Normal cubic meter (T= 20 °C, P = 1 atm.)

B) Χρόνος Παραμονής 21 ημέρες

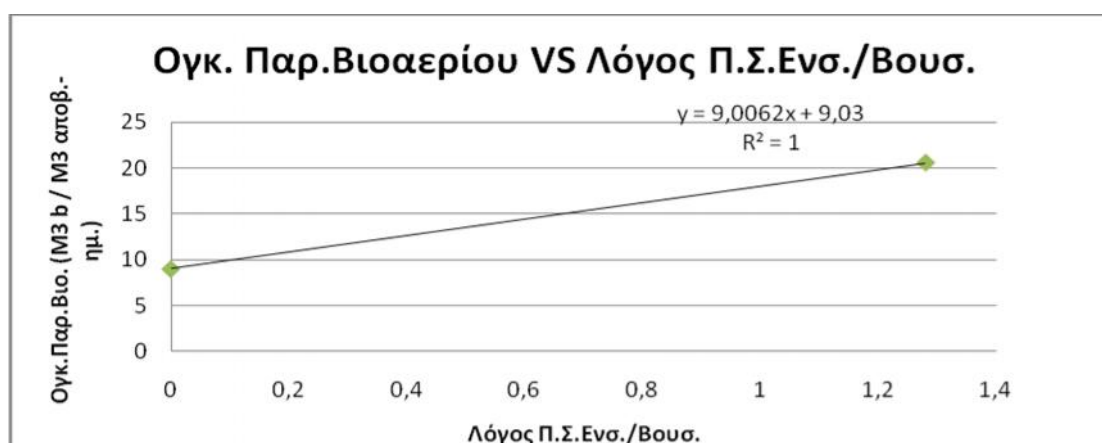
Σε αυτή την περίπτωση στον αναερόβιο χωνευτήρα γινόταν προσθήκη 0,55 lt εκχυλίσματος ενσιρώματος και 0,35 lt υγρών διαχωρισμού βουστασίου. Αυτό σημαίνει πως ο χρόνος παραμονής των υγρών ήταν 19 lt (Όγκος χωνευτήρα) / 0,9 lt = 21 ημέρες. Τα Π.Σ. ήταν 2,15 % για το εκχύλισμα ενσιρώματος και 2,65% για τα υ/δ βουστασίου. Αυτό σημαίνει πως λόγος των Π.Σ. και η αντίστοιχη απόδοση σε βιοαέριο είναι:

α) 1,28/1 – 18,6 lt (b) / ημ. ή 20,56 Nm³ (b)/m³ αποβλήτων-ημέρα

β) 0,0/1 – 8,17 lt (b) / ημ. ή 9,03 Nm³ (b)/m³ αποβλήτων-ημέρα

Από την στοιχεία αυτά σχηματίζεται το επόμενο διάγραμμα:

Γράφημα 4. Ογκ.Παρ.Βιοαερίου VS Λόγος Π.Σ. Ενσ./Βουσ. για Χ.Π. 21 ημ.



Η σχέση που συνδέει τον λόγο των Π.Σ. με την παραγωγή βιοαερίου είναι η $y_{21} = 9.0062 + 9.03 x_{21}$ (εξίσωση 5) όπου X η ημερήσια παραγωγή βιοαερίου και Y ο λόγος των Π.Σ.

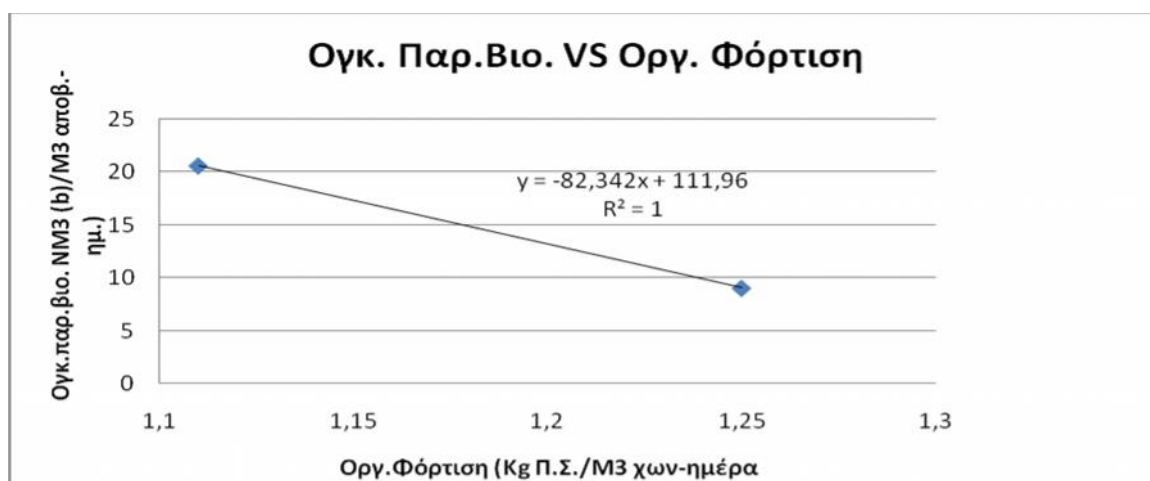
Στην συνέχεια συσχετίζουμε την Οργανική Φόρτιση (kg Π.Σ./M3 χων-ημ.) με τον λόγο των Π.Σ. ανά στάδιο. Τα δεδομένα φαίνονται στον πίνακα 9:

Πίνακας 9. Ογκομετρική Παραγωγή βιοαερίου VS Οργανική Φόρτιση για 21 ημ. Χ.Π.

Στάδια	Ογκ.Παρ.Βιο. (Nm ³ (b)/m ³ αποβλήτων-ημέρα)	Οργ. Φορ. (kgΠ.Σ./M3χων-ημ.)
1,8 L Βουστασίου / 2 ημ.	9,03	1,25
0,7 L Βουσ + 1,1 L Εκχ.Ενσ./2 ημ.	20,56	1,11

Η σχέση τους φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα:

Γράφημα 5. Ογκ.Παρ.Βιοαερίου VS Οργ.Φόρτιση για Χ.Π. 21 ημερών



Παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται η οργανική φόρτιση μειώνεται και σε αυτήν την περίπτωση το παραγόμενο βιοαέριο για Χ.Π. 21 ημερών. Η σχέση που τα συνδέει είναι η εξίσωση $Y = -82,342 \cdot X + 111,96$, $R^2 = 1$ (εξίσωση 6), όπου Y η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου και X η οργανική φόρτιση.

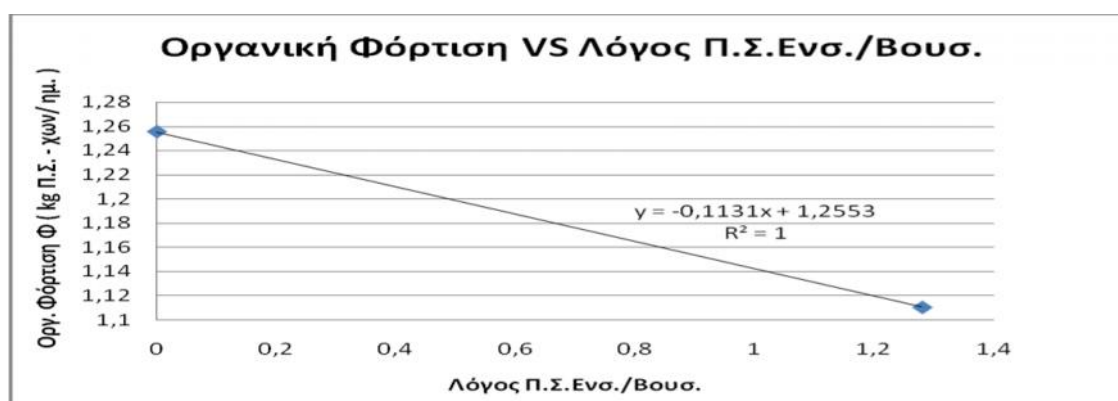
Όπως και στο Χ.Π. των 16 ημερών έτσι και εδώ υπολογίζουμε την οργανική φόρτιση σε σχέση με τον λόγο των Π.Σ.

Πίνακας 10. Οργ. Φόρτιση και Λόγος Π.Σ. για Χ.Π. 21 ημερών

Στάδια	Οργ.Φόρτιση(kgΠ.Σ./M3χων-ημ.)	Λόγος Π.Σ. Ενσ./Βουσ.
1,8 L Βουστασίου / 2 ημ.	1,25	0
0,7 L Βουσ + 1,1 L Εκχ.Ενσ./2 ημ.	1,11	1,28

Και η σχέση μεταξύ τους αποτυπώνεται στο επόμενο γράφημα:

Γράφημα 6. Οργ.Φόρτιση VS Λόγος Π.Σ. Ενσ./Βουσ. για Χ.Π. 21 ημ.



Στο γράφημα βλέπουμε πως τα Kg Π.Σ. στον χωνευτήρα ανά ημέρα είναι περισσότερα όταν έχουμε μόνο βουστάσιο και μειώνονται καθώς προσθέτουμε εκχύλισμα ενσιρώματος. Η σχέση που τα συνδέει είναι η εξίσωση $Y = -0,1131 * X + 1,2553$, $R^2 = 1$ (εξίσωση 7), όπου Y η οργανική φόρτιση και X ο λόγος των Π.Σ. ενσ/βουσ. Η οργανική φόρτιση μειώνεται γιατί αραιώνει το μείγμα όπως ακριβώς και στην περίπτωση των 16 ημ. Χ.Π.

Συνολικά τα χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου, για τον χρόνο παραμονής 21 ημερών, στον χωνευτήρα συνοψίζονται στον πίνακα 11:

Πίνακας 11. Χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου για Χ.Π. 21 ημερών

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ/ΜΕΘΑΝΙΟΥ	
	Χωνευτήρας, Χ.Π. 21 ημερών
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	
Ημερήσια ποσότητα kg/ ημ.	(1,1 L εκχ.ενσ. + 0,7 L υ/δ βουστασίου)/2
Όγκος Χωνευτήρων	19 L
Πτητικά στερεά (% Π.Σ. κ.β)	Π.Σ. Ενσ = 2,15% και Βουσ= 2,65% B.M. = 2,35%
Πτητικά Στερεά (kg/Ημέρα)	$0,0261 * 0,7 + 0,0215 * 1,1$)/2= 0,021
Χρόνος παραμονής (ημέρες)	21
Οργανική Φόρτιση (kg Π.Σ./M ³ χων-ημέρα)	$0,021 / 0,019 = 1,1$
Ογκομετρική παραγωγή Βιοαερίου (Nm ³ /M ³ χων)	$0,187 / 0,19 = 0,98$
Μεθάνιο (%Βιοαερίου)	79,6%
Ογκομετρική παραγωγή μεθανίου(Nm ³ CH ₄ /M ³ χων)	$0,98 * 0,796 = 0,78$
Ειδική παραγωγή μεθανίου (Nm ³ / Kg Π.Σ.)	$0,78 / 1,1 = 0,71$
Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm ³ / Kg Π.Σ.)	$0,71 / 0,8 = 0,89$

Γ) Χρόνος Παραμονής 32 ημέρες

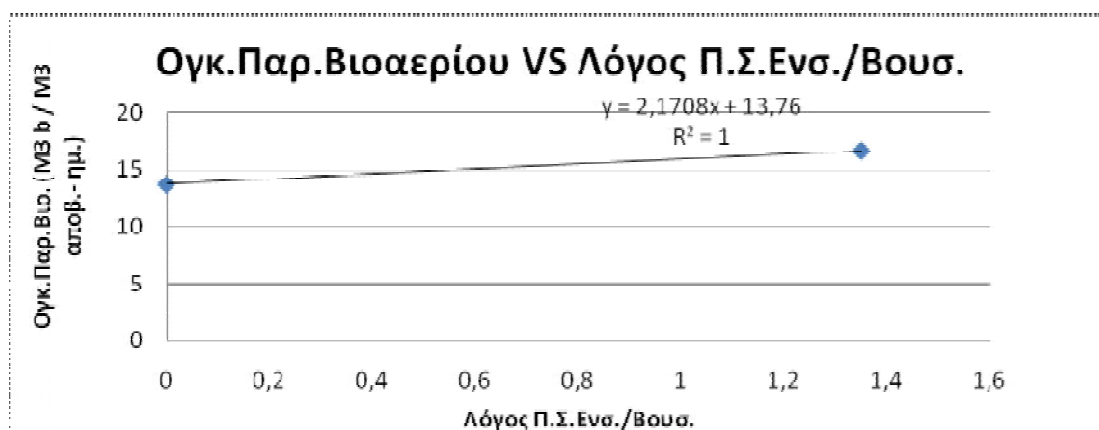
Σε αυτή την περίπτωση στον αναερόβιο χωνευτήρα γινόταν προσθήκη 0,375 lt εκχυλίσματος ενσιρώματος και 0,225 lt υγρών διαχωρισμού βουστασίου. Αυτό σημαίνει πως ο χρόνος παραμονής των υγρών ήταν 19 lt (Όγκος χωνευτήρα) / 0,6 lt = 32 ημέρες. Οι τιμές των Π.Σ. ήταν ίδιες με την περίπτωση Β οπότε και ο λόγος των Π.Σ. σε σχέση με την παραγωγή βιοαερίου είναι:

α) 1,35 /1 – 9,91 lt (b) ή 16,69 NM^3 (b) / M^3 αποβλήτων-ημέρα

β) 0,0/1 – 8,17 lt (b) ή 13,76 NM^3 (b) / M^3 αποβλήτων-ημέρα

Από τα σημεία αυτά προκύπτει το επόμενο διάγραμμα :

Γράφημα 7. Ογκ.Παρ.Βιοαερίου VS Λόγος Π.Σ. ενσ./Βουσ. για Χ.Π. 32 ημ.



Η σχέση που συνδέει τον λόγο των Π.Σ. με την παραγωγή βιοαερίου είναι η $y_{32} = 13,76 + 2,1708x_{32}$ με $R^2=1$ (εξίσωση 8). Σε αυτή την περίπτωση βλέπουμε πως η παραγωγή του βιοαερίου με εκχ. ενσιρώματος είναι πολύ κοντά με τα υ/δ βουστασίου.

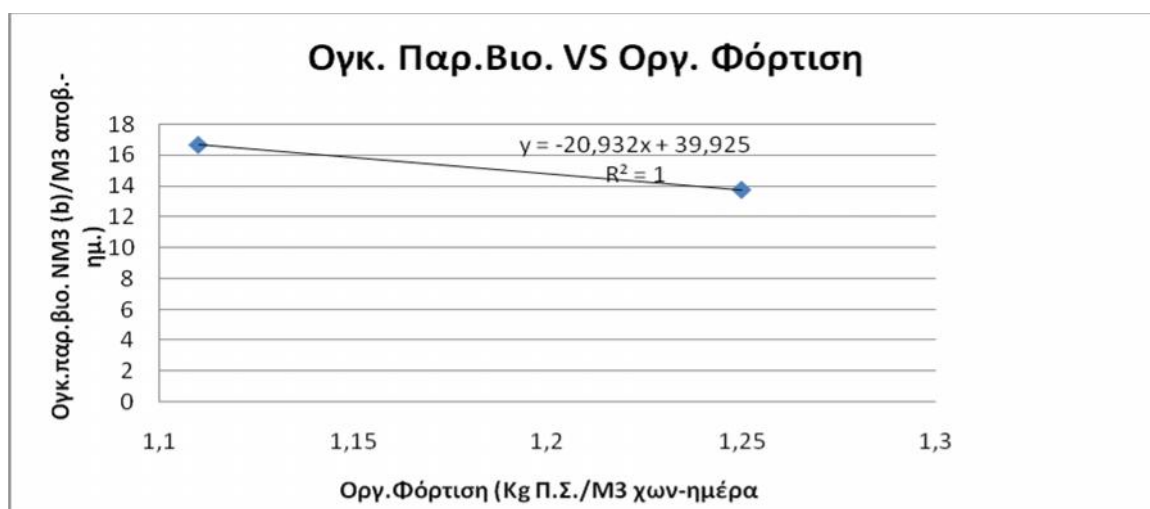
Παρομοίως με τους προηγούμενους Χ.Π. προκύπτει και η σχέση ανάμεσα στην ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου και την οργανική φόρτιση.

Πίνακας 12. Ογκομετρική Παραγωγή βιοαερίου VS Οργανική Φόρτιση για 32 ημ. Χ.Π.

Στάδια	Ογκ.Παρ.Βιο. (NM^3 (b) / M^3 αποβλήτων-ημέρα)	Οργ. Φόρτιση (kgΠ.Σ./ M^3 χων-ημ.)
1,2 L Βουστασίου / 2 ημ.	13,76	0,42
0,5 L Βουσ + 0,7 L Εκχ.Ενσ./2 ημ.	16,69	0,31

Η σχέση τους φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα:

Γράφημα 8. Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου VS Οργ.Φόρτιση για Χ.Π. 32 ημερών



Παρατηρούμε πως και εδώ καθώς αυξάνεται η οργανική φόρτιση μειώνεται το παραγόμενο βιοαέριο για Χ.Π. 32 ημερών. Η σχέση που τα συνδέει είναι η εξίσωση $Y = -20,932 \cdot X + 39,925$, $R^2 = 1$ (εξίσωση 9), όπου Y η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου και X η οργανική φόρτιση.

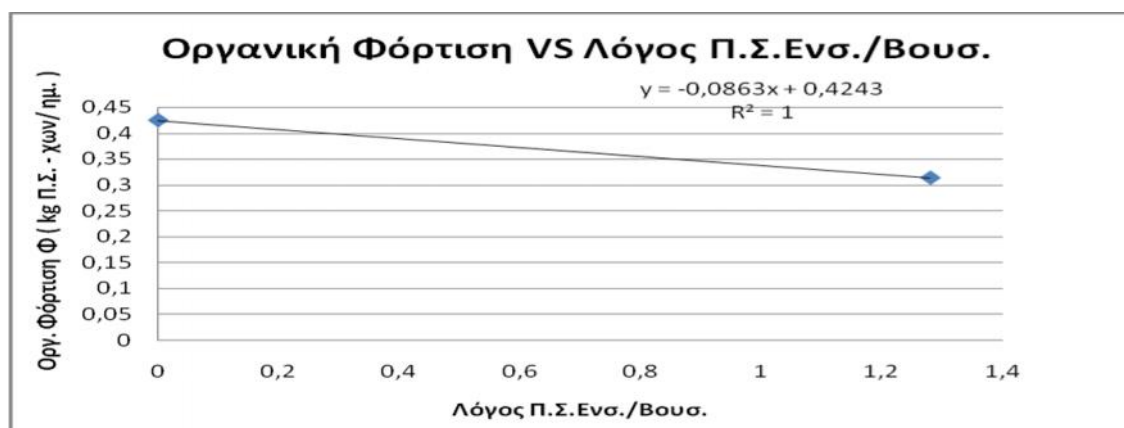
Ακολουθώς υπολογίζω την οργανική φόρτιση με τα δεδομένα που έχω.

Πίνακας 13. Οργ. Φόρτιση και Λόγος Π.Σ. για Χ.Π. 32 ημερών

Στάδια	Οργ.Φόρτιση(kgΠ.Σ./Μ3χων-ημ.)	Λόγος Π.Σ. Ενσ./Βουσ.
1,2 L Βουστασίου / 2 ημ.	0,42	0
0,5 L Βουσ + 0,7 L Εκχ.Ενσ./2 ημ.	0,31	1,35

Και αποτυπώνεται στο επόμενο γράφημα:

Γράφημα 9. Οργ. Φόρτιση VS Λόγο Π.Σ. Ενσ./βουσ. για Χ.Π. 32 ημ.



Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται το εκχύλισμα ενσιρώματος μειώνεται η οργανική φόρτιση. Η σχέση που τα συνδέει είναι η εξίσωση $Y = -0,0863 * X + 0,4243$, $R^2 = 1$ (εξίσωση 10), όπου Y η οργανική φόρτιση και X ο λόγος των Π.Σ. ενσ/βουσ.

Συνολικά τα χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου, για τον χρόνο παραμονής 32 ημερών, στον χωνευτήρα συνοψίζονται στον πίνακα 14:

Πίνακας 14. Χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου για Χ.Π. 32 ημερών

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ/ΜΕΘΑΝΙΟΥ	
Χωνευτήρας, Χ.Π. 32 ημερών	
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	
Ημερήσια ποσότητα kg/ ημ.	(0,75 L εκχ.ενσ. + 0,45 L υ/δ βουστασίου)/2
Όγκος Χωνευτήρων	19 L
Πτητικά στερεά (% Π.Σ. κ.β)	Π.Σ. Ενσ = 2,15% και Βουσ= 2,65% B.M. = 2,3%
Πτητικά Στερεά (kg/Ημέρα)	(0,0261*0,45 + 0,0215*0,75)/2= 0,014
Χρόνος παραμονής (ημέρες)	32
Οργανική Φόρτιση (kg Π.Σ./M ³ χων-ημέρα)	0,014/0,019 = 0,73
Ογκομετρική παραγωγή Βιοαερίου (Nm ³ /M ³ χων)	0,099/0,19= 0,52
Μεθάνιο (%Βιοαερίου)	75%
Ογκομετρική παραγωγή μεθανίου(Nm ³ CH ₄ /M ³ χων)	0,52*0,84= 0,44
Ειδική παραγωγή μεθανίου (Nm ³ / Kg Π.Σ.)	0,44/0,73= 0,59
Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm ³ / Kg Π.Σ.)	0,59/0,84= 0,71

Δ) Προσέγγιση παραγωγής βιοαερίου για τις διαφορετικές τιμές Π.Σ. ανά Χ.Π.

Το ποσοστό Π.Σ. των πρώτων υλών μας, που χρησιμοποιήθηκαν και στις 3 περιπτώσεις συνολικά είναι:

A) 1,49 % ενσ. και 3,52% Βουσ. για Χ.Π. 16 ημερών και

B) 2,15 % ενσ. και 2,65% Βουσ. για Χ.Π. 21 και 32 ημερών

Σε μια προσπάθεια συγχώνευσης των τριών πειραμάτων, με βάση τις μετρήσεις του εργαστηρίου και τις εξισώσεις 1, 2 (Χ.Π.=16), 5(Χ.Π.=21), 8(Χ.Π.=32) που προέκυψαν, υπολογίστηκε το παραγόμενο βιοαέριο για τις διαφορετικές τιμές Π.Σ. ανά χρόνο παραμονής.

Οι λόγοι των Π.Σ. ενσιρώματος προς βουστασίου φαίνονται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 15. Λόγοι Π.Σ. ανά Χ.Π.

Π.Σ.	Λόγοι Π.Σ. ενσιρώματος προς βουστασίου			Μ.Ο.
	16 ημ.	21 ημ.	32 ημ.	
1) 1,49% ενσ. & 3,52% βουσ.	0,71	0,67	0,71	0,7
1) 2,15% ενσ. & 2,65% βουσ.	1,35	1,28	1,35	1,33

Και στον επόμενο πίνακα βλέπουμε την αντιστοιχία ανάμεσα στην Οργανική φόρτιση ανά Χ.Π. Τα δεδομένα φαίνονται στον πίνακα 16.

Πίνακας 16: Οργανική φόρτιση ανά Χ.Π.

Π.Σ.	Οργανική Φόρτιση (kg Π.Σ./M ³ χων-ημέρα)		
	16 ημ.	21 ημ.	32 ημ.
1) 1,49% ενσ. & 3,52% βουσ.	1,42	1,08	0,71
1) 2,15% ενσ. & 2,65% βουσ.	1,47	1,1	0,73

Και με βάση τις εξισώσεις που συνδέουν τον λόγο των Π.Σ. με την παραγωγή του βιοαερίου βρίσκουμε τις παρακάτω τιμές.

Πίνακας 17. Ογκ.Παρ.Βιοαερίου (Nm³ (b)/M³ αποβλήτων – ημέρα) ανά Χ.Π.

Π.Σ. Εξίσωση:	Χρόνος Παραμονής			Nm ³ (b)/M ³ αποβλήτων - ημέρα
	16 ημ. Y=11.671X+11.057	21 ημ. Y=9.0062X+9.03	32 ημ. Y=13.76X+2.1708	
1) 1,49% ενσ. & 3,52% βουσ. (Min)	19,5	15,1	15,3	
1) 2,15% ενσ. & 2,65% βουσ. (Max)	26,89	20,56	16,69	

*Ογκ.Παρ.Βιοαερίου ανά ημέρα = Nm³ (b)/M³ αποβλήτων – ημέρα

Ογκ.Παρ.Βιοαερίου ανά M³ χων. = Nm³ (b)/M³ χωνευτήρα

Παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται ο χρόνος παραμονής μειώνεται η παραγωγή βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων και ανά ημέρα.

Η μέγιστη παραγωγή στον Χ.Π. των 16 ημερών ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι τα Π.Σ. του ενσιρώματος μεταβολίζονται πιο γρήγορα τις πρώτες ημέρες και στην συνέχεια χάνονται. Έτσι και η παραγωγή στις 21 και 32 ημέρες Χ.Π. βλέπουμε πως είναι σχεδόν ίδια γιατί το μείγμα έχει αποκτήσει ομοιόμορφη σύσταση μετά από τόσες μέρες παραμονής στον χωνευτήρα.

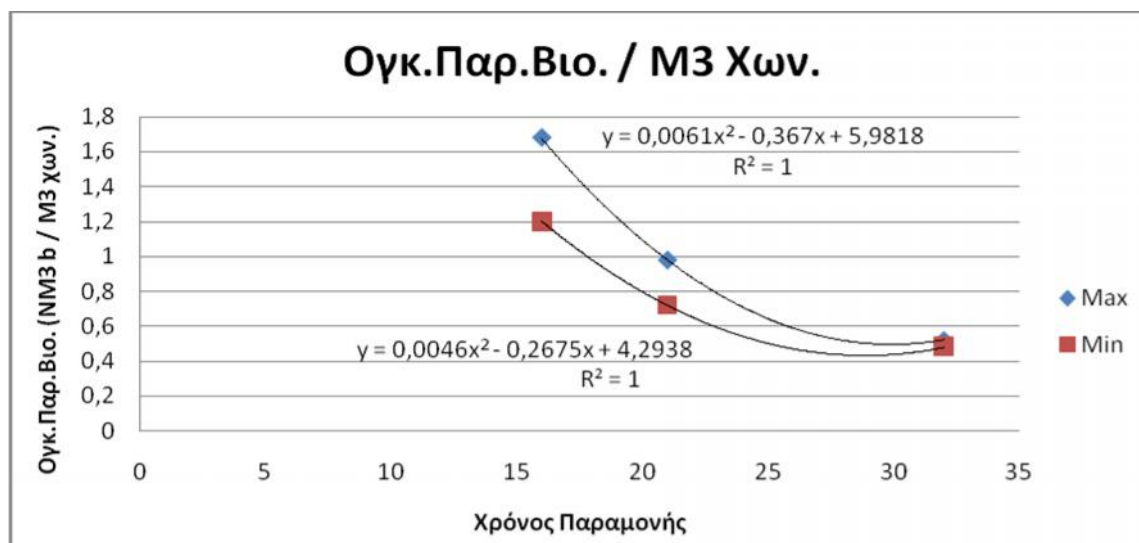
Από την διαδικασία συγχώνευσης των δύο πειραμάτων προέκυψαν προκύπτουν δεδομένα για τα χαρακτηριστικά παραγωγής του βιοαερίου. Αν τα συγκρίνουμε θα προκύψει ο Χ.Π. με την καλύτερη απόδοση. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους επόμενους πίνακες. Στον πίνακα 10 και στο ακόλουθο γράφημα βλέπουμε τις τιμές παραγωγής βιοαερίου (ανάλογα τα Π.Σ.) ανά κυβικό χωνευτήρα για κάθε ένα χρόνο παραμονής.

Πίνακας 18.Ογκ. Παρ. βιοαερίου ανά M³ Χων. και για κάθε χρόνο παραμονής

	Π.Σ. Χ.Π.	Ογκ.Παρ.Βιο. Nm ³ (b)/M ³ χων.	
		2,15% ενσ. & 2,65% βουσ. (Max)	1,49% ενσ. & 3,52% βουσ. (Min)
1η Περίπτωση	16	1,68	1,2
2η Περίπτωση	21	0,98	0,72
3η Περίπτωση	32	0,52	0,48

Στον πίνακα 18 και στο ακόλουθο γράφημα βλέπουμε την μέγιστη και ελάχιστη παραγωγή βιοαερίου (ανάλογα τα Π.Σ. του ενσιρώματος) ανά κυβικό χωνευτήρα για κάθε ένα χρόνο παραμονής.

Γράφημα 10. Ογκ. Παρ. βιοαερίου ανά m³ χων και ανά Χ.Π.



Στο γράφημα 10 βλέπουμε πως όταν αυξάνονται τα πτητικά στερεά του ενσιρώματος έχουμε και μεγαλύτερη απόδοση ανά κυβικό χωνευτήρα. Επίσης η παραγωγή του βιοαερίου καθώς αυξάνεται ο χρόνος παραμονής μειώνεται και προς το τέλος της καμπύλης δείχνει μια σταθεροποίηση. Αυτό συμβαίνει διότι τα Π.Σ. του μείγματος μεταβολίζονται και το μείγμα μέσα στον αναερόβιο χωνευτήρα αποκτά πιο ομοιόμορφη σύσταση και αραιώνει.

Οι εξισώσεις που περιγράφουν την Ογκ. Παρ. Βιοαερίου ανά χρόνο παραμονής είναι οι ακόλουθες πολυωνυμικές :

α) $Y = 0,0061 X^2 - 0,367 X + 5,9818$ με $R^2 = 1$, (εξίσωση 11) Max τιμές Π.Σ.

β) $Y = 0,0046 X^2 - 0,2675 X + 4,2938$ με $R^2 = 1$, (εξίσωση 12) Min τιμές Π.Σ.

, όπου Y η Ογκ. Παρ. Βιοαερίου ανά M³ Χων. και X ο χρόνος παραμονής.

Ε) Σύνοψη των αποτελεσμάτων

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων και συγκεκριμένα από την ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων την ημέρα φαίνεται πως η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου είναι για 16 ημέρες χρόνο παραμονής με 2,15% Π.Σ. ενσ. και 2,65

% Π.Σ. Βουσ. Το παραγώμενο βιοαέριο είναι 26,89 L ανά m³ αποβ.- ημέρα, και προέκυψε από την χρήση της εξίσωσης 2. Ο λόγος των Π.Σ. σε αυτή την περίπτωση είναι 1,35 και είναι πολύ παραπάνω από την τιμή 0,71 που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα των 16 ημ. Χ.Π., Αυτό σημαίνει πως με τέτοια τιμή μπορεί να αποσταθεροποιηθεί το σύστημα μας, οπότε δεν είναι σίγουρο ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Η αμέσως επόμενη μεγαλύτερη τιμή της Ογκ.παρ.βιοαερίου είναι 19,5 L ανά m³ αποβ.- ημέρα, και προέκυψε από την πειραματική διαδικασία για χ.π. 16 ημερών με 1,49% Π.Σ. ενσ. και 3,52% Π.Σ. βουσ. Ο λόγος των Π.Σ. είναι 0,71 και είναι μία τιμή που προέκυψε από το πείραμα. Οπότε η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου παρουσιάζεται στις 16 ημέρες χρόνο παραμονής και αυτή θα προσομειωθεί στα δεδομένα του βουστασίου. Η παραγωγή βιοαερίου για τον Χ.Π. των 21 ημερών είναι παρόμοια με τον προηγούμενο, όμως θα χρειαστούμε μεγαλύτερη δεξαμενή για τον αναερόβιο χωνευτήρα και περισσότερη ενέργεια για την λειτουργία του λόγω των περισσότερων Π.Σ. που θα περιέχει, κάτι το οποίο αυξάνει το κόστος.

5. Εφαρμογή των αποτελεσμάτων στο βουστάσιο

5.1 Δεδομένα Βουστασίου

Αριθμός Αγελάδων

- 210 Ενήλικες αγελάδες, Ζωικό Βάρος 650- 700 Kg, Ενσίρωμα 25 Kg / Ημ.,365 Ημ./Έτος
- 120 Νεαρές αγελάδες, Ζωικό Βάρος 250-300 Kg – $270/670*120 = 48,4$ δηλαδή 50 Ισοδύναμες Αγελάδες.
- Συνολικά $210 + 50 = 260$ Ενήλικες Αγελάδες των 670 Kg η μία.

Κατανάλωση Ενσιρώματος

- $260 * 25 \text{ Kg} * 365 \text{ Ημ.}/1000 = 2,373 \text{ T. / Έτος}$ ή 6,5 T. την ημέρα.

Απόβλητα

➤ $210 * 670 * 100\% * 0,084/1000 = 11,8 \text{ T. με } 12\% \text{ Ο.Σ.}$

➤ $50 * 670 * 40\% * 0,084/1000 = 1,13 \text{ T. με } 12\% \text{ Ο.Σ.}$

Σύνολο: 12,9 T. / Ημ. ή 13 Τόνοι την ημέρα με 12 % Ο.Σ.

Αμεκκτήριο

➤ $210 * 0,75 = 158 * 20 \text{ lt H}_2\text{O} / \text{αγελάδα} / 1000 = 3,2 \text{ T. με } 0,5\% \text{ Ο.Σ. (Εργ. Γεωργικών Κατασκευών Γ.Π.Α.)}$

Σύνολο Αποβλήτων

➤ $16 \text{ T.} / \text{ημέρα με } (3*0,5+13*12)/16 = 9,84\% \text{ Ο.Σ. ή } *0,8 = 7,9\% \text{ Ο.Σ.}$

Η ημερήσια παραγωγή αποβλήτων στο βουστάσιο είναι 16 τόνοι νοπά απόβλητα από τις αγελάδες μαζί με τα υγρά πλυσιμάτος του αλμεκτηρίου με Ο.Σ. 9,84%. Αφού περάσουν από τον μηχανικό διαχωριστήρα προκύπτουν:

α) $16 \text{ T} * 0,95 = 15,2 \text{ T} / \text{Ημέρα Υ/Δ με } 4,47\% \text{ Ο.Σ. και } 3,52\% \text{ Π.Σ.}, \text{ και}$

β) $16 * 0,05 = 0,8 \text{ T} / \text{ημέρα στερεά διαχωρισμού, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για παραγωγή κομπόστας.}$

Κατά την εκτέλεση των τριών πειραματικών μερών προέκυψαν τρεις λόγοι των Π.Σ. εκχ. Ενσιρώματος προς υ/δ βουστασίου για Χ.Π. 16, 21, 32 ημέρες. Η μέση τιμή τους αντίστοιχα είναι $0,71 + 0,67 + 0,71 / 3 = 0,7 / 1$. Οπότε η αναλογία των Π.Σ. ενσιρώματος προς υ/δ βουστασίου ήταν 0,7 προς 1.

Σύμφωνα με προηγούμενους υπολογισμούς η ημερήσια κατανάλωση ενσιρώματος από την αγελάδες είναι 6,5 T με 30% Ο.Σ. και 28,7% Π.Σ.

Συνεπώς τα υ/δ βουστασίου περιέχουν $15200 \text{ Kg} / \text{ημ.} * 0,0352 \text{ (Π.Σ.)} = 535 \text{ Kg}$ Π.Σ._B / ημ. Άρα απαιτείται η ανάμειξη με $535 \text{ Kg} \text{ Π.Σ.}_{\text{Evς}} * 0,7 = 375 \text{ Kg} \text{ Π.Σ.}_{\text{Evσ}}$.

Για να πραγματοποιηθεί η ανάμειξη τους υπάρχουν 2 πιθανά σενάρια:

5.1.1 1^ο Σενάριο

Κατα την διάρκεια του πειράματος για να παρασκευαστεί το εκχύλισμα ενσιρώματος έγινε ανάμειξη ενσιρώματος με νερό σε αναλογία 1 προς 1 κ.ο. και 1 προς 2 κ.β. Τα Π.Σ. που προέκυψαν είχαν ποσοστό 1,49 % περίπου. Στην πράξη τώρα αν γίνει το ίδιο με το ενσίρωμα που δίνεται στις αγελάδες ανά ημέρα- 6,5 T - θα χρειαστούν 13 T νερό για να γίνει η εκχύλιση. Η ποσότητα του εκχυλίσματος θα είναι περίπου 13 T και θα έχει 1,49 % Π.Σ. Αυτό σημαίνει πως θα παραχθούν $13 \text{ T} * 1,49\% = 194 \text{ Kg}$ Π.Σ. ενσιρώματος.

Για να υπάρξει αναλογία 0,7 προς 1 ανάμεσα στα Π.Σ. θα πρέπει να αναμειχθούν 194 Kg Π.Σ. ενσ. με 280 kg υ/δ βουστασίου ή $280 / 0,0352 = 8 \text{ T}$ υ/δ βουστασίου.

Το μείγμα δηλαδή θα περιέχει 8 T υ/δ βουστασίου με **3,52 % Π.Σ.** και 13 T εκχύλισμα ενσιρώματος με **1,49 % Π.Σ.** με **B.M = 2,3% Π.Σ.** Μπορεί όμως να βάλει όλα τα υ/δ και 6,5 τόνους ενσίρωμα και να αλλάξει ο λόγος. Επιλέγεται αυτή η διαδικασία.

Σημειώνεται πως με 6,5 T / ημέρα ξεπλυμένο ενσίρωμα χάνει το 10 % της ξηράς ουσίας (Αποτέλεσμα εργαστηρίου Ζωικής Παραγωγής). Αυτό σημαίνει πως πρέπει να αυξήσει το ενσίρωμα κατά 10 % για να έχει και βιοαέριο.

Από την σύγκριση των τριών χρόνων παραμονής προέκυψε πως την μέγιστη παραγωγή βιοαερίου, μέσα σε ασφαλή όρια λόγων πτητικών στερεών, έχουμε στις 16 ημέρες με $19,5 \text{ Nm}^3 \text{ (b) / M}^3$ αποβλήτων-ημέρα. $\text{Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$.

Το μείγμα τροφοδοσίας θα απαρτίζεται από 15.2 τόνους υ/δ βουσ. και 13 T εκχ. ενσιρώματος, δηλ. 28,5 τόνους/ημ, με 3.2% Ο.Σ. και 2.6 % Π.Σ.

Ο όγκος του χωνευτήρα θα είναι $15,2+13=28,2 * 16 \text{ ημέρες} = 451 \text{ M}^3 * 1,25 \text{ (σ.α.)} = 564 \text{ M}^3$ συνολικά.

Η ογκομετρική οργανική φόρτιση θα είναι 535 kg Π.Σ. βου. + $13.000*0,0149=194 \text{ Kg}$ ενσ. = 729 Kg Π.Σ. προς 451 M^3 χων = **1,62 Kg Π.Σ. / M³ χων.**

Η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου θα είναι $15,26/16=0,95 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$ από τη σχέση (2) $Y=11,671X+11,057$ για λόγο $X=194/535=0,36$

Η ειδική παραγωγή βιοαερίου είναι $0,95 / 1,62 = 0,587 \text{ Nm}^3 \text{ (b) / Kg Π.Σ.}$

Αν το μεθάνιο είναι 75 % τότε η ειδική παραγωγή μεθανίου είναι $0,587 * 0,75 = 0,440 \text{ Nm}^3 (\text{CH}_4) / \text{Kg Π.Σ.}$

Αν το ποσοστό του μεθανίου είναι 75% επί του βιοαερίου τότε το παραγόμενο μεθάνιο είναι $429 \text{ m}^3 (\text{Nβιοαερίου}) * 0,75 = 322 \text{ Nm}^3 (\text{CH}_4) / \text{ημέρα.}$

5.1.2 2^ο Σενάριο

Η παραγωγή βιοαερίου μπορεί να επιτευχθεί και με την ανάμειξη νωπών αποβλήτων βουστασίου και ενσιρώματος.

Ο λόγος των Π.Σ. είναι 4,0/1, ενώ η ειδική παραγωγή βιοαερίου είναι $0,50 \text{ Nm}^3/\text{kgΠ.Σ.}$ για το βουστάσιο και $0,65 \text{ Nm}^3/\text{kgΠ.Σ.}$

Η τιμή των Ο.Σ. των νωπών αποβλήτων του βουστασίου είναι 7% Ο.Σ., Π.Σ.=85%Ο.Σ. ή 6%Π.Σ. και του ενσιρώματος 33% Ο.Σ., Π.Σ.=95%Ο.Σ. ή 31%Π.Σ.

(DIETER DEUBLEIN AND STEINHAUSER, 2008. "BIOGAS FROM WASTE AND RENEWABLE RESOURCES", WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Germany, p. 443)

Στο βουστάσιο της μελέτης μας παράγονται σε καθημερινή βάση 16 Τόνοι αποβλήτων την ημέρα με 7%Ο.Σ. και 6% Π.Σ. Δηλαδή παράγονται $16.000 * 0,06 = 960 \text{ kg Π.Σ.}_{\text{βουσ.}} / \text{ημ.}$

Με βάση την αναλογία των Π.Σ. θα χρειαστούν μέχρι $960 * 4 = 3.840 \text{ kg Π.Σ.}_{\text{ενσ.}}$ ή $3.840 / (0,31 * 1.000) = 12,4$ τόνοι ενσ./ημ.

Με βάση τα Π.Σ. του βουστασίου μόνο, για λόγο $\text{Π.Σ.}_{\text{ενσ}}/\text{Π.Σ.}_{\text{B}} = 0$, η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου θα είναι $1,0 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$ (παραγωγή βιοαερίου $960 * 0,50 = 480 \text{ Nm}^3/\text{ημ}$ και όγκος χωνευτήρα $16 * 30 \text{ ημ} = 480 \text{ m}^3$).

Αντίστοιχα, για το λόγο 4,0/1, η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου θα είναι $3,5 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$ (παραγωγή βιοαερίου $960 * 0,50 = 480 \text{ Nm}^3/\text{ημ} + 3.840 * 0,65 = 2.496 \text{ Nm}^3/\text{ημ}$, σύνολο $2.976 \text{ Nm}^3/\text{ημ}$ και όγκος χωνευτήρα $(16+12,4) * 30 \text{ ημ} = 852 \text{ m}^3$).

Με βάση τα στοιχεία αυτά κατασκευάζεται η ευθεία $Y = 0,625X+1$, όπου $Y = \eta$ ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου και X ο λόγος των Π.Σ.

Για λόγους σύγκρισης θα μελετηθεί το ίδιο ποσοτικά και ποιοτικά μίγμα α' υλών με το Σενάριο 1, δηλ. 16 τόνοι αποβλήτων βουστασίου και 6,5 τόνοι ενσιρώματος ημερησίως, συνολικά 22,5 τόνοι με Ο.Σ 14,5 % και Π.Σ. 13,2%.

Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στον χωνευτήρα θα είναι 30 ημέρες, οπότε, $30 \text{ ημ.} * 22,5 \text{ T μίγματος/ημ.} = 675 \text{ M}^3 * 1,25 \text{ σ.α.} = 844 \text{ M}^3$.

Ο λόγος $\text{Π.Σ.}_{\text{ενς}}/\text{Π.Σ.}_B = 6.500*0,31=2.015 \text{ kg Π.Σ.}_{\text{ενς}}/16.000*0,06=960 \text{ kg Π.Σ.}_B = 2,01$ και η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (από την ως άνω σχέση) = $2,26 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων.}}$

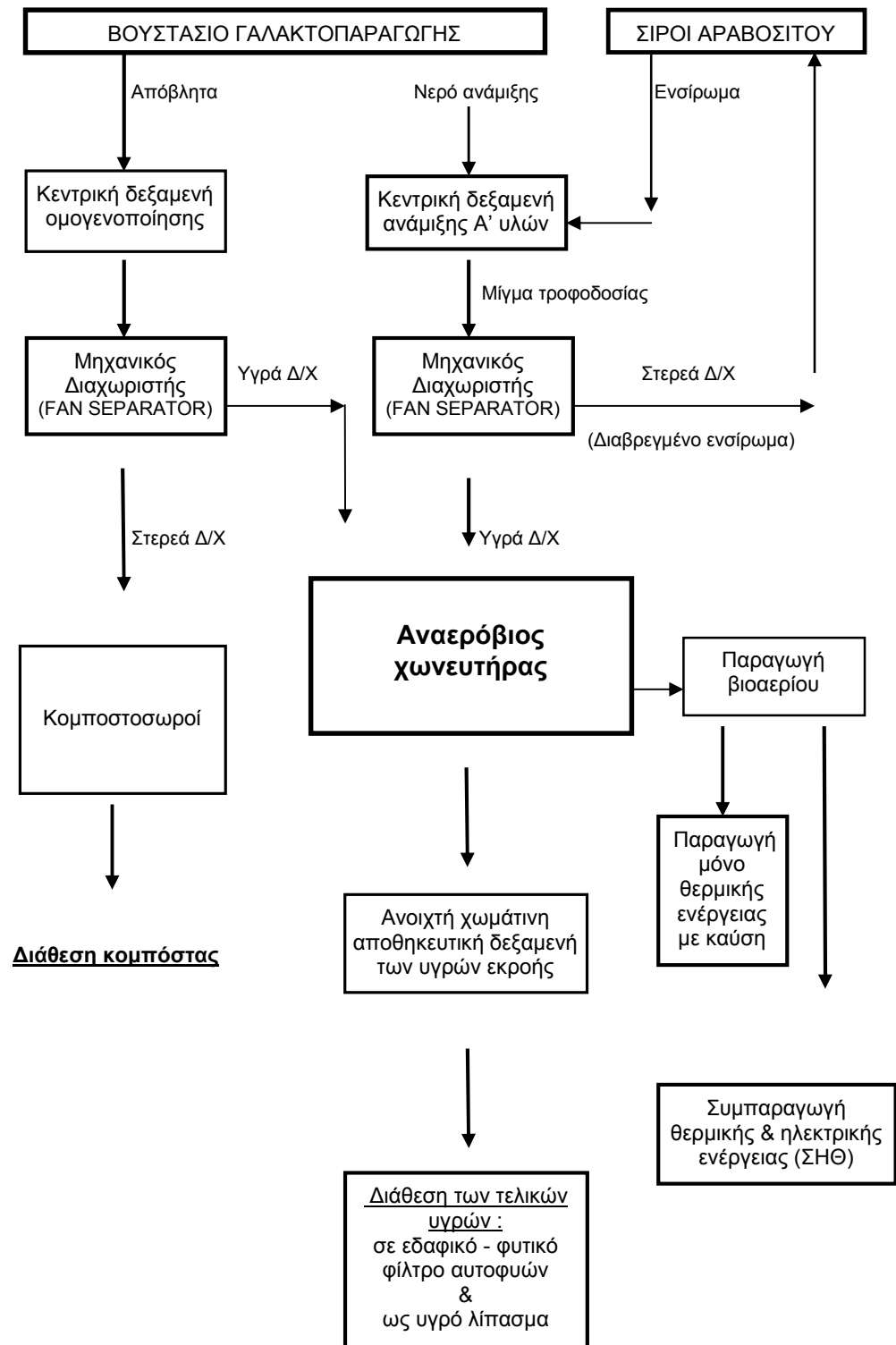
Η οργανική φόρτιση θα είναι $2975 \text{ kg Π.Σ.}/ 675 \text{ M}^3 = 4,4 \text{ Kg Π.Σ.} / \text{M}^3_{\text{χων.}}$. Κρίνεται μεγάλη και πρέπει να μειωθεί στο 2,5 για ασφάλεια. Άρα απαιτείται αραίωση του μίγματος από 22,5 σε $(4,4/2,5)*22,5 = 40 \text{ m}^3/\text{ημ}$ και ανάλογη αύξηση του χωνευτήρα σε $30*40 = 1.200 \text{ m}^3 * 1,25 = 1.500 \text{ m}^3$.

Η ογκομετρική παραγωγή του βιοαερίου θα μειωθεί σε $(2,5/4,4)*2,26 = 1,28$ και η ειδική παραγωγή βιοαερίου σε $1,28/2,5 = 0,512 \text{ Nm}^3/\text{kg Π.Σ.}_{\text{μίγμ}}$

Αν το ποσοστό του μεθανίου επί του βιοαερίου είναι 75%, τότε $1536 * 0,75 = 1152 \text{ NM}^3(\text{CH}_4) / \text{ημέρα}$.

Αυτό σημαίνει πως ο παραγωγός πρέπει να καταστρέφει 6,5 τόνους την ημέρα ενσίρωμα, για να έχει παραγωγή βιοαερίου με τα απόβλητα που παράγονται από την μονάδα του.

5.1.3 Διάγραμμα ροής για την περίπτωση του εκχυλίσματος ενσιρώματος



5.1.4 Σύγκριση σεναρίων

Τα παραπάνω σενάκια βασίστηκαν στην ημερήσια παραγωγή αποβλήτων, του υπό εξέταση βουστασίου, για 16 τόνους την ημέρα νωπά απόβλητα και 6,5 τόνους κατανάλωση ενσιρώματος από τις αγελάδες.

Στο πρώτο σενάριο χρησιμοποιήθηκε το εκχύλισμα ενσιρώματος της ημερήσιας κατανάλωσης με όλα τα υ/δ βουστασίου και στο δεύτερο το σύνολο του ενσιρώματος με όλα τα νωπά απόβλητα και αραίωση με νερό στον χωνευτήρα. Τα δεδομένα αυτά και τα χαρακτηριστικά παραγωγής του βιοαερίου παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 19. Χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου για τα 2 σενάκια

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ/ΜΕΘΑΝΙΟΥ		
	Σενάριο 1 ^ο	Σενάριο 2 ^ο
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ		
Ημερήσια ποσότητα (kg/ ημ.)	15,2 T υ/δ βουστ. + 13 T εκχ.ενσ.	16 T αποβ. βουστ. + 6,5 T ενσ. + 17,5 νερό
Όγκος Χωνευτήρων	564 M ³	1500 M ³
Πτητικά στερεά (% Π.Σ. κ.β)	υ/δ βουστ.= 3,52%, Εκχ. Ενσ. = 1,49% B.M. = 2.3%	Απ. βουστ.=6%,.Ενσ.= 31% B.M. = 9 %
Πτητικά Στερεά (kg/Ημέρα)	729	2975
Χρόνος παραμονής (ημέρες)	16	30
Οργανική Φόρτιση (kg Π.Σ./M³ χων-ημέρα)	1,62	2,5
Ογκ. παραγωγή βιοαερίου (Nm³/M³ χων)	0,95	1,28
Ογκ. παραγωγή μεθανίου (Nm³CH₄/M³ χων)	0,72	0,96
Μεθάνιο (%Βιοαερίου)	75%	75%
Ειδ. παραγωγή βιοαερίου (Nm³ / Kg Π.Σ.)	0,587	0,51
Ειδ. παραγωγή μεθανίου (Nm³ / Kg Π.Σ.)	0,44	0,38
Παραγόμενο βιοαέριο (Nm³ b/ ημ.)	429	1536
Παραγόμενο μεθάνιο (Nm³CH₄/ημ.)	322	1152

Συγκριτικά με το 1^ο σενάριο, στο δεύτερο έχουμε μεγαλύτερη παραγωγή βιοαερίου την ημέρα καθώς και πολύ μεγαλύτερη οργανική φόρτιση. Για να δούμε την αποδοτικότητα τους πρέπει να γίνει οικονομική αξιολόγηση τους κόστους κατασκευής, λειτουργίας και τα αναμενόμενα κέρδη ή ζημίες.

6 . Οικονομική αξιολόγηση

6.1 Ενεργειακό περιεχόμενο

Διαστασιολόγηση + Ενεργειακό Δυναμικό	1ο Σενάριο	2ο Σενάριο
Όγκος κατασκευής (m ³)	564	1500
Επιφάνεια Βάσης (m ²)	75	200
Διάμετρος (m)	9,8	16
Επιφάνεια πλην της οροφής	184	301
Συνολική Επιφάνεια (m ²)	260	501
Ετήσια Ποσότητα Μίγματος	10293	14600
Απώλειες (Nm ³ CH ₄ /έτος)	4,568	8,813
	40012	77199
	144044	277916
	6161	11887
Αυτοκατανάλωση (Nm ³ CH ₄ /έτος)	15040	21333
Συνολικές Απώλειες (Nm ³ CH ₄ /έτος)	21201	33220
Ημερήσια Παραγωγή Βιοαερίου (Nm ³ /ημέρα)	429	1536
Ημερήσια Παραγωγή Μεθανίου (Nm ³ CH ₄ /ημέρα)	322	1152
Μέση ωριαία Παραγωγή Μεθανίου (Nm ³ /h)	15,3	54,9
Ετήσια Παραγωγή Βιοαερίου (Nm ³ /έτος)	156585	560640
Ετήσια Παραγωγή Μεθανίου (Nm ³ CH ₄ /έτος)	117439	420480
Θερμογόνος Δύναμη Ετήσιας Παραγωγής Μεθανίου (kcal/Nm ³)	1056948750	3784320000
Ισοδύναμο πετρελαίου (L/έτος)	122901	440037
Συνολικές Απώλειες (MWh/έτος)	222	348
Συνολικό Ενεργειακό Περιεχόμενο (MWh/έτος)	1229	4400
Συνολική Ετήσια Θερμική Ενέργεια (MWh _{th} /έτος)	676	2420
Συνολική Ετήσια Ηλεκτρική Ενέργεια (MWh_e/έτος)	430	1540
Εγκατεστημένη Ισχύς Ηλεκτρογεννήτριας (kW _e /ημ)	60	210

6.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ – M.B.E.E.MODEL

Η οικονομική αξιολόγηση των εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαερίου έγινε δυνατή από το Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών σε συνεργασία με το Τμήμα Γεωργικής Οικονομίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών με την ανάπτυξη ενός οικονομικού μοντέλου, γνωστού ως 'Τροποποιημένο Βασικό Μοντέλο Οικονομικής Αξιολόγησης', M.B.E.E.M. (Modified Basic Economic Evaluation Model). Το μοντέλο παρουσιάστηκε στο 7th FAO/SREN-WORKSHOP στη Μόσχα και δημοσιεύθηκε στο επιστημονικό ηλεκτρονικό περιοδικό *APPLIED BIOTECHNOLOGY AND BIOCHEMISTRY* (Georgakakis et al, 2003)

Το Μοντέλο αποτελεί βελτιωμένη τροποποίηση ενός παλιότερου, γνωστού ως 'Βασικό Μοντέλο Οικονομικής Αξιολόγησης', B.E.E.M (Basic Economic Evaluation Model) (Γεωργακάκης και άλλοι, 1992) και βασίζεται, όπως και το προηγούμενο, στην θεωρία της Καθαρής Παρούσας Αξίας, *N.P.V. (Net Present Value)*.

Η καθαρή παρούσα αξία ορίζεται ως η παρούσα αξία του κόστους της επένδυσης, η οποία ισούται με την διαφορά των ετήσιων εσόδων και εξόδων μιας δραστηριότητας. Αν η καθαρή παρούσα αξία έχει τιμή μεγαλύτερη του μηδενός, τότε η επένδυση εκτιμάται ότι είναι οικονομικά αποδοτική (κερδοφόρα).

Η καθαρή παρούσα αξία υπολογίζεται από τη σχέση :

$$N.P.V. = \sum_{j=1}^n [N.C.F._j \times (1-r)^{-j}] - I$$

όπου : N. P.V. = Καθαρή παρούσα αξία

N.C.F. = Καθαρή χρηματική ροή = B-C, σε €/έτος

B = Ετήσια έσοδα από τη δραστηριότητα, σε €

C = Ετήσια λειτουργικά έξοδα της δραστηριότητας, σε €

r = Προεξοφλητικό επιτόκιο, %

j = Χρόνος ζωής της δραστηριότητας, σε έτη

I = Απαιτούμενο κόστος επένδυσης (ύψος επενδεδυμέν. κεφαλαίου), σε €

Αν το καθαρό αρχικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης είναι γνωστό, η εφαρμογή της σχέσης της καθαρής παρούσας αξίας δηλώνει, αν η εγκατάσταση είναι οικονομικά αποδοτική ($N.P.V. > 0$) ή όχι ($N.P.V. < 0$). Το κόστος της επένδυσης για το οποίο η καθαρή παρούσα αξία είναι ίση με μηδέν ($N.P.V. = 0$), είναι το μέγιστο (οριακό) κόστος επένδυσης, το οποίο μπορεί να αποσβεστεί ακριβώς με τη λήξη του χρόνου ζωής της εγκατάστασης. Το ύψος της τιμής του εξαρτάται από τις τιμές που παίρνουν οι διάφορες παράμετροι της σχέσης που προαναφέρθηκε.

Το μέγιστο (οριακό) κόστος επένδυσης, για το οποίο η καθαρή παρούσα αξία γίνεται ίση με μηδέν, δίνεται από την σχέση που ακολουθεί :

$$I_{\max} = \sum_{j=1}^n \left(NCF_j \times (1+r)^{-j} \right)$$

Οι τιμές που λαμβάνουν οι διάφορες παράμετροι, που χρησιμοποιούνται στο τροποποιημένο μοντέλο, έχουν επιλεγεί να ταιριάζουν στις περιπτώσεις εγκαταστάσεων παραγωγής και χρήσης βιοαερίου για συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ή μόνο θερμικής ενέργειας.

Τα συνολικά ετήσια έσοδα (B) και τα συνολικά ετήσια έξοδα (C) μιας εγκατάστασης παραγωγής και κατανάλωσης βιοαερίου καθορίζονται από τις παρακάτω δύο σχέσεις :

$$B = B_{ther} + B_{el} + B_{comp}$$

όπου : B = Συνολικά ετήσια έσοδα, σε €

B_{ther} = Συνολικά ετήσια έσοδα από την παραγόμενη θερμική ενέργεια

$$= (V_R \times \gamma_v - L) \times P_{ther} \times 0,9 \times T_{ther} \times a \times Pr_{ther}$$

a = Ισοδύναμη μονάδα πετρελαίου: $0,8759 \text{ L} / \text{m}^3 \text{ CH}_4$

P_{ther} = Ποσοστό καθαρού μεθανίου που χρησιμοποιείται για παραγωγή θερμικής ενέργειας, (%)

Pr_{ther} = Τιμή πετρελαίου, σε € / L

T_{ther} = Χρονική περίοδος που χρησιμοποιείται η θερμική ενέργεια, σε ημέρες

B_{el} = Έσοδα από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

$$= (V_R \times \gamma_v - L) \times P_{el} \times 0,9 \times T_{el} \times b \times Prel$$

b = Ισοδύναμη μονάδα : $9,278 \text{ kWh}_{el} / \text{m}^3 \text{ CH}_4$ - ημέρα

P_{el} = Ποσοστό καθαρού μεθανίου που χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, (%)

Pr_{ther} = Τιμή πώλησης kWh_{el} , σε € / kWh_{el}

T_{el} = Χρονική περίοδος που χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια, σε ημέρες

V_R = Ωφέλιμος όγκος χωνευτήρα, σε m^3

γ_V = Ογκομετρική απόδοση μεθανίου, σε $m^3 CH_4 / m^3_{\chiων}$ -ημέρα

L = Συνολικές ημερήσιες απώλειες, σε $m^3 CH_4 / m^3_{\chiων}$ -ημέρα

$$C = C_{dig} + C_{sal} + C_{misc} + C_{mec} + C_{ins}$$

όπου : C = Συνολικά ετήσια έσοδα, σε

C_{dig} = Ετήσια έξοδα συντήρησης χωνευτήρα

$$= V_{wast} \times Pr_{dig}$$

V_{wast} = ετήσιως όγκος αποβλήτων, σε m^3

Pr_{dig} = Κόστος συντήρησης, σε € / m^3

C_{sal} = Ετήσιοι μισθοί, σε €

C_{misc} = Κόστος για διάφορα, σε €/έτος

C_{ins} = Κόστος ασφάλειας, σε €/έτος

C_{mec} = Κόστος συντήρησης μονάδας καύσης βιοαερίου

$$= E \times Pr_{mec}$$

E = Ετήσια παραγόμενη ποσότητα ενέργειας, σε kWh / έτος

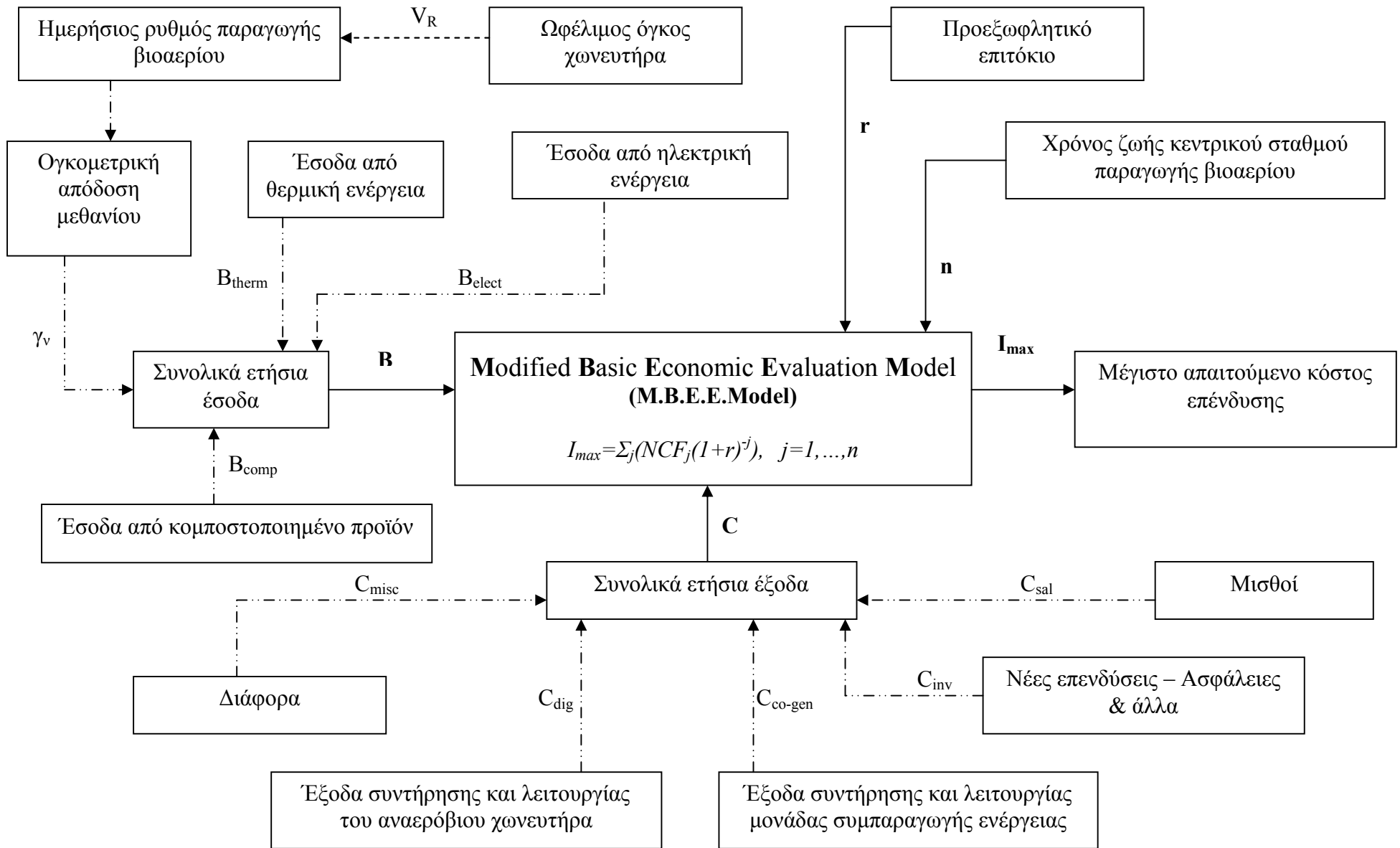
Pr_{mec} = Κόστος συντήρησης, σε € / kWh /έτος

Εκτιμάται ότι μόνο το 65-75% της συνολικής ετήσιας ποσότητας μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται για την παραγωγή της συνολικής ετήσιας ποσότητας θερμικής ενέργειας στην πράξη. Από την ποσότητα αυτή, το 10% θεωρείται ότι χάνεται με τη μορφή απωλειών.

Το υπόλοιπο 25-35% θεωρείται ότι καταναλώνεται για την συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Από αυτή την ποσότητα, το 10% θεωρείται επίσης ότι χάνεται με τη μορφή απωλειών.

Η επιτυχής εφαρμογή του τροποποιημένου μοντέλου M.B.E.E.M εξαρτάται, όπως είναι φυσικό από τις κατά το δυνατό καλύτερες εκτιμήσεις των διαφόρων παραμέτρων, που χρησιμοποιούνται.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται το διάγραμμα ροής των επί μέρους συντελεστών και παραμέτρων, που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς του τροποποιημένου μοντέλου.



Οι πιο κοινοί οικονομικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση επενδύσεων είναι: η καθαρή παρούσα αξία (NPV), ο εσωτερικός ρυθμός απόδοσης (IRR) και ο χρόνος επανείσπραξης του κεφαλαίου.

Καθαρή Παρούσα Αξία

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) μιας επένδυσης είναι η διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας των n καθαρών ταμειακών ροών ΚΤΡ της επένδυσης, προεξοφλημένων στο παρόν με επιτόκιο i και του αρχικού κεφαλαίου K_0 που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η επένδυση σήμερα.

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^n \frac{ΚΤΡ_t}{(1+i)^t} - K_0$$

- Σε περίπτωση που η παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών ροών από την επένδυση σήμερα είναι πιο υψηλή από το απαιτούμενο κόστος της επένδυσης, δηλαδή η $ΚΠΑ > 0$, η επένδυση γίνεται αποδεκτή.
- Σε περίπτωση που η $ΚΠΑ = 0$, ο επενδυτής πρέπει να είναι αδιάφορος με βάση αυτή το κριτήριο επιλογής.
- Σε περίπτωση που η $ΚΠΑ < 0$, η επένδυση δεν πρέπει να γίνει αποδεκτή.

Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης

Με τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης (ΕΒΑ) υπολογίζεται το εσωτερικό επιτόκιο μιας επένδυσης, το επιτόκιο εκείνο το οποίο υπονοείται από μια σειρά ΚΤΡ η οποία έχει ορισθεί ως επένδυση. Σκοπός αυτού του κριτηρίου είναι ο υπολογισμός του βαθμού απόδοσης που θα επιτευχθεί από αυτές τις επενδύσεις. Στην ουσία είναι η τιμή του επιτοκίου που μηδενίζει τη NPV.

Χρόνος Επανείσπραξης του Κεφαλαίου

Μετρά των αριθμό των ετών που απαιτούνται για να ανακτήσουμε τα κεφάλαια που καταβάλαμε για την πραγματοποίηση μιας επένδυσης.

Ακολουθούν οι υπολογισμοί της οικονομικής μας ανάλυσης σύμφωνα με το μοντέλο MBEEM.

- Χρόνος ζωής της εγκατάστασης είναι τα 12 χρόνια.
- Το βουστάσιο λειτουργεί 365 ημέρες το χρόνο.
- Το προεξοφλητικό επιτόκιο ορίζεται σε 7% κατά το πρώτο χρόνο και μειώνεται σταδιακά έως τον 12^ο χρόνο της επένδυσης όπου καταλήγει στο 5%.
- Η μονάδα του βουστασίου αγοράζει καθημερινά ενσίρωμα για καλύψει τις ανάγκες εκτροφής με κόστος ανά τόνο 58€.
- Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του αναερόβιου χωνευτήρα εκτιμάται σε 0,3€/t αποβλήτων, το οποίο προσαυξάνεται κατά 2% ετησίως για τα επόμενα 12 έτη.
- Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος παραγωγής ΣΗΘ ανέρχεται σε 3€/MWh_{th} με προσαύξηση 2% ετησίως για τα επόμενα 12 έτη.
- Τα ετήσια έξοδα μισθοδοσίας αφορούν εργατικό και επιστημονικό δυναμικό. Υπολογίζονται με προσαύξηση 2% ετησίως για τα επόμενα 12 έτη και με 10% προσαύξηση στον ετήσιο μισθό για κάλυψη αποζημίωσης απόλυσης.
- Επιπλέον έξοδα αφορούν νέες επενδύσεις, ασφάλεια και απρόβλεπτα και υπολογίζονται στο 25% των ετήσιων λειτουργικών εξόδων.
- Το βουστάσιο πωλεί μόνο την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Ο Πίνακας Εσόδων Εξόδων καταλήγει στον υπολογισμό του μέγιστου Επενδεδυμένου Κεφαλαίου δηλ του μέγιστου ποσού που μπορεί να δοθεί στην αρχή της επένδυσης έτσι ώστε να ανακτηθεί πλήρως στη λήξη κάθε αντίστοιχου χρονικού διαστήματος.

Πίνακας 2.1 εσόδων –εξόδων 12ετίας

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ 12ΕΤΙΑΣ		1ο Σενάριο	2ο Σενάριο
Συντήρηση & λειτουργία αναερόβιου χωνευτήρα		41.415	58.747
Συντήρηση & λειτουργία μηχανής		49.450	177.040
Αγορά Ενσιρώματος		254.040	1.651.260
Νέες επενδύσεις, ασφάλιση, απρόβλεπτα		59.600	110.583
Μισθοδοσία		147.533	206.546
Σύνολο		552.038	2.204.173
ΕΣΟΔΑ			
Πώληση Ηλεκτρικής Ενέργειας		1.305.480	3.272.808
Μέγιστο Επενδεδυμένο Κεφάλαιο (I_{max})	12	535.781	760.951
	8	393.786	561.563
	6	312.200	446.095
	4	221.095	316.533

Τα έσοδα του πτηνοτροφείου προέρχονται από τη πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η τιμή της μεγαβατόρας για επενδύσεις με ίδια κεφάλαια έχει οριστεί ως 253€/MWh. Στο 2^ο σενάριο ωστόσο η τιμή της μεγαβατόρας είναι μικρότερη (177/MWh) λόγω του γεγονότος ότι η χρήση ενσιρώματος για χρήση εκτός της εκτροφής των ζώων δεν επιτρέπεται.

Χρησιμοποιώντας ένα σχετικό παράδειγμα για ύψος αρχικής επένδυσης 350.000€ για το 1^ο σενάριο και 800.000€ για το 2^ο υπολογίζονται οι οικονομικοί δείκτες και εξάγονται τα αποτελέσματά τους στους πίνακες που ακολουθούν.

Οικονομικοί Δείκτες: 1^ο Σενάριο

Έτη	12	8	6	4
Αρχικό Επενδεδυμένο Κεφάλαιο (€)	350.000			
NPV (€)	>0	>0	<0	<0
	141.868	37.483	-	-
IRR (%)	15%	9%	-	-
Χρόνος Επανείσπραξης Κεφαλαίου	5 έτη		-	-
	+			
	159 ημέρες			

Οικονομικοί Δείκτες: 2^ο Σενάριο

Έτη	12	8	6	4
Αρχικό Επενδεδυμένο Κεφάλαιο (€)	800.000			
NPV (€)	<0	<0	<0	<0
	-	-	-	-
IRR (%)	-	-	-	-
Χρόνος Επανείσπραξης Κεφαλαίου	Απορρίπτεται			

Από τον Πίνακα του πρώτου σεναρίου συμπεραίνεται ότι η τιμή της NPV είναι θετική σε δύο χρόνους αποπληρωμής στα 12 και στα 8 έτη άρα η επένδυση χαρακτηρίζεται κερδοφόρα. Η τιμή του IRR είναι μεγαλύτερη από το προεξοφλητικό επιτόκιο και ο χρόνος επανάκτησης του κεφαλαίου υπολογίζεται κάτω από 6 έτη. Στη δεύτερη περίπτωση το αρχικό κεφάλαιο που απαιτείται ανάλογα με το μέγεθος της επένδυσης είναι αρκετά υψηλό και έτσι εκτιμάται ως μη συμφέρουσα και απορρίπτεται.

Επίσης, αναλύθηκε η περίπτωση χρηματοδότησης μέσω τραπεζικού δανεισμού για το πρώτο κερδοφόρο σενάριο. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι του σταθερού χρεολυσίου και του σταθερού τοκοχρεολυσίου. Το σταθερό χρεολύσιο αναφέρεται στην αποπληρωμή του δανείου σε ισόποσες δόσεις καθ' όλη τη διάρκεια δανεισμού. Το σταθερό τοκοχρεολύσιο χαρακτηρίζεται από σταθερό άθροισμα δόσεις και τόκων σε όλη τη διάρκεια δανεισμού. Οι πίνακες που ακολουθούν περιγράφουν την κατανομή των δόσεων σε κάθε περίοδο δανεισμού σύμφωνα με τα δύο είδη δανειοδότησης. Έπειτα ακολουθούν πάλι για κάθε μέθοδο δανεισμού ξεχωριστά οι πίνακες απόσβεσης των ίδιων κεφαλαίων που επενδύθηκαν. Η εφαρμογή έγινε στο παράδειγμα της επένδυσης του 1^{ου} σεναρίου ύψους 350.000€ και η ανάληψης δανείου αφορούσε μέρος του αρχικού κεφαλαίου σε ποσοστό 60% με επιτόκιο 9%.

Ακολουθούν κατά σειρά πίνακες απεικόνιση απόσβεσης ίδιων κεφαλαίων με σταθερό χρεολύσιο και τοκοχρεολύσιο για το 1^ο Σενάριο:

Ισομερείς δόσεις (Σταθερό Χρεολύσιο)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σύνολο
12													
Χρεολύσιο	17500	17500	17500	17500	17500	17500	17500	17500	17500	17500	17500	17500	
Τόκος	18900	17325	15750	14175	12600	11025	9450	7875	6300	4725	3150	1575	122850
Τοκοχρεολύσιο	36400	34825	33250	31675	30100	28525	26950	25375	23800	22225	20650	19075	332850
Εξοφλημένο ποσό δανείου	17500	35000	52500	70000	87500	105000	122500	140000	157500	175000	192500	210000	
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	192500	175000	157500	140000	122500	105000	87500	70000	52500	35000	17500	0	
8													
Χρεολύσιο	26250	26250	26250	26250	26250	26250	26250	26250					
Τόκος	18900	16538	14175	11813	9450	7088	4725	2363	85050				
Τοκοχρεολύσιο	45150	42788	40425	38063	35700	33338	30975	28613	295050				
Εξοφλημένο ποσό δανείου	26250	52500	78750	105000	131250	157500	183750	210000					
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	183750	157500	131250	105000	78750	52500	26250	0					
6													
Χρεολύσιο	35000	35000	35000	35000	35000	35000							
Τόκος	18900	15750	12600	9450	6300	3150	66150						
Τοκοχρεολύσιο	53900	50750	47600	44450	41300	38150	276150						
Εξοφλημένο ποσό δανείου	35000	70000	105000	140000	175000	210000							
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	175000	140000	105000	70000	35000	0							
4													
Χρεολύσιο	52500	52500	52500	52500									
Τόκος	18900	14175	9450	4725	47250								
Τοκοχρεολύσιο	71400	66675	61950	57225	257250								
Εξοφλημένο ποσό δανείου	52500	105000	157500	210000									
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	157500	105000	52500	0									

Προοδευτική Μέθοδος (Σταθερό Τοκοχρεολύσιο)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σύνολο
12													
Χρεολύσιο	10427	11365	12388	13503	14718	16043	17487	19060	20776	22646	24684	26905	
Τόκος	18900	17962	16939	15824	14609	13284	11840	10266	8551	6681	4643	2421	141920
Τοκοχρεολύσιο	29327	29327	29327	29327	29327	29327	29327	29327	29327	29327	29327	29327	351920
Εξοφλημένο ποσό δανείου	10427	21792	34180	47682	62400	78443	95930	114990	135766	158411	183095	210000	
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	199573	188208	175820	162318	147600	131557	114070	95010	74234	51589	26905	0	
8													
Χρεολύσιο	19042	20755	22623	24659	26879	29298	31935	34809					
Τόκος	18900	17186	15318	13282	11063	8644	6007	3133	93533				
Τοκοχρεολύσιο	37942	37942	37942	37942	37942	37942	37942	37942	303533				
Εξοφλημένο ποσό δανείου	19042	39797	62420	87080	113959	143256	175191	210000					
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	190958	170203	147580	122920	96041	66744	34809	0					
6													
Χρεολύσιο	27913	30425	33164	36148	39402	42948							
Τόκος	18900	16388	13650	10665	7411	3865	70879						
Τοκοχρεολύσιο	46813	46813	46813	46813	46813	46813	280879						
Εξοφλημένο ποσό δανείου	27913	58338	91502	127650	167052	210000							
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	182087	151662	118498	82350	42948	0							
4													
Χρεολύσιο	45920	50053	54558	59468									
Τόκος	18900	14767	10262	5352	49282								
Τοκοχρεολύσιο	64820	64820	64820	64820	259282								
Εξοφλημένο ποσό δανείου	45920	95974	150532	210000									
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	164080	114026	59468	0									

Απόσβεση Ίδων Κεφαλαίων Επένδυσης (Σταθερό Χρεολύσιο)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
12													
Συνολικά													
Ετήσια Έξοδα	79789	78658	77536	76424	75320	74226	73142	72067	71003	69948	68904	67871	
NCF	29001	30132	31254	32366	33470	34564	35648	36723	37787	38842	39886	40919	
WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553	0,516	0,483	0,452	0,425	
PV NCF	26803	25772	24772	23804	22872	21976	21116	20293	19506	18755	18039	17373	
Αθρ.Τ.Ρ.	-140000	-110999	-80867	-49613	-17246	16223	50787	86435	123158	160946	199787	239673	280592
									MEK	261081			
									ΧΕΚ	4	188	έτη/ημέρες	
8													
Συνολικά													
Ετήσια Έξοδα	88539	86620	84711	82811	80920	79039	77167	75305					
NCF	20251	22170	24079	25979	27870	29751	31623	33485	61587	61067	60536	59994	
WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553	0,516	0,483	0,452	0,425	
PV NCF	18717	18962	19085	19107	19045	18916	18732	18504	31791	29486	27378	25472	
Αθρ.Τ.Ρ.	-140000	-119749	-97579	-73500	-47521	-19652	10100	41723	75208	136796	197862	258398	318392
									MEK	265194			
									ΧΕΚ	5	241	έτη/ημέρες	
6													
Συνολικά													
Ετήσια Έξοδα	97289	94583	91886	89199	86520	83851							
NCF	11501	14207	16904	19591	22270	24939	62598	62098	61587	61067	60536	59994	
WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553	0,516	0,483	0,452	0,425	
PV NCF	10630	12151	13398	14409	15218	15856	37079	34315	31791	29486	27378	25472	
Αθρ.Τ.Ρ.	-140000	-128499	-114292	-97388	-77796	-55527	-30588	32010	94108	155696	216762	277298	337292
									MEK	267184			
									ΧΕΚ	6	178	έτη/ημέρες	
4													
Συνολικά													
Ετήσια Έξοδα	114789	110508	106236	101974									
NCF	-5999	-1718	2554	6816	63570	63089	62598	62098	61587	61067	60536	59994	
WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553	0,516	0,483	0,452	0,425	
PV NCF	-5544	-1469	2024	5013	43441	40112	37079	34315	31791	29486	27378	25472	
Αθρ.Τ.Ρ.	-140000	-145999	-147717	-145163	-138346	-74777	-11688	50910	113008	174596	235662	296198	356192
									MEK	269099			
									ΧΕΚ	6	68	έτη/ημέρες	

Απόσβεση Ίδιων Κεφαλαίων Επένδυσης (Σταθερό Τοκοχρεολύσιο)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12												
Συνολικά												
Ετήσια Έξοδα	72715	73160	73613	74075	74547	75028	75518	76019	76529	77050	77581	78123
NCF	36075	35630	35177	34715	34243	33762	33272	32771	32261	31740	31209	30667
WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553	0,516	0,483	0,452	0,425
PV NCF	33341	30475	27881	25532	23401	21466	19708	18109	16653	15326	14115	13020
Αθρ.Τ.Ρ.	-140000	-103925	-68295	-33118	1597	35840	69602	102874	135645	167906	199646	230855
									MEK	259026		
									ΧΕΚ	3	348	έτη/ημέρες
8												
Συνολικά												
Ετήσια Έξοδα	81330	81775	82228	82690	83162	83643	84133	84634				
NCF	27460	27015	26562	26100	25628	25147	24657	24156	61587	61067	60536	59994
WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553	0,516	0,483	0,452	0,425
PV NCF	25379	23107	21053	19196	17513	15989	14605	13348	31791	29486	27378	25472
Αθρ.Τ.Ρ.	-140000	-112540	-85525	-58963	-32863	-7235	17913	42569	66725	98517	128003	155381
									MEK	264317		
									ΧΕΚ	5	105	έτη/ημέρες
6												
Συνολικά												
Ετήσια Έξοδα	90202	90646	91099	91562	92033	92514						
NCF	18588	18144	17691	17228	16757	16276	62598	62098	61587	61067	60536	59994
WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553	0,516	0,483	0,452	0,425
PV NCF	17180	15519	14022	12671	11451	10348	37079	34315	31791	29486	27378	25472
Αθρ.Τ.Ρ.	-140000	-121412	-103268	-85577	-68349	-51592	-35317	27282	89379	150967	212033	272569
									MEK	266711		
									ΧΕΚ	6	206	έτη/ημέρες
4												
Συνολικά												
Ετήσια Έξοδα	108209	108653	109107	109569								
NCF	581	137	-317	-779	63570	63089	62598	62098	61587	61067	60536	59994
WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553	0,516	0,483	0,452	0,425
PV NCF	537	117	-251	-573	43441	40112	37079	34315	31791	29486	27378	25472
Αθρ.Τ.Ρ.	-140000	-139419	-139282	-139599	-140378	-76808	-13719	48879	110977	172564	233631	294166
									MEK	268905		
									ΧΕΚ	6	80	έτη/ημέρες

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα καταλήγουμε πως η επένδυση στο πρώτο σενάριο είναι κερδοφόρα και στη περίπτωση τραπεζικού δανεισμού ύψους 60% του αρχικού κεφαλαίου και η αποπληρωμή των ίδιων κεφαλαίων θα γίνει περίπου σε διάστημα μεταξύ 4 και 6,5 ετών ανάλογα με το είδος δανεισμού. Η διαπίστωση αυτή έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα από το MBEEM.

Αρχικό Επενδεδυμένο Κεφάλαιο (€)	350.000							
Μέγιστο Επενδεδυμένο Κεφάλαιο για 12 και 8 έτη με Ίδια Κεφάλαια (€)	535.781				393.786			
Χρόνος Επανείσπραξης Κεφαλαίου με Ίδια Κεφάλαια (έτη/ημέρες)	5 + 159							
Έτη Δανεισμού	12		8		6		4	
Σταθερό	Χρεολύσιο	Τοκοχρεολύσιο	Χρεολύσιο	Τοκοχρεολύσιο	Χρεολύσιο	Τοκοχρεολύσιο	Χρεολύσιο	Τοκοχρεολύσιο
Ποσοστό Δανεισμού (%)	60							
Ποσοστό σε Ίδια Κεφάλαια (%)	40							
Σύνολο Τοκοχρεολυσίου(€)	332.850	351.920	295.050	303.533	276.150	280.879	257.250	259.282
Μέγιστο Επενδεδυμένο Ίδιο Κεφάλαιο (€)	261.081	259.026	265.194	264.317	267.184	266.711	269.099	268.905
Χρόνος Επανείσπραξης Ίδιων Κεφαλαίων (έτη/ημέρες)	4 + 188	3 + 348	5 + 241	5 + 105	6 + 178	6 + 206	6 + 68	6 + 80

7.Συμπεράσματα

Κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν υγρά διαχωρισμού βουστασίου και αναμείχθηκαν με εκχύλισμα ενσιρώματος. Τα Π.Σ. του μείγματος ήταν σχετικά χαμηλά και αυτό σημαίνει πως θα μπορούσαν να αυξηθούν.

Το βασικό κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο λόγος των Π.Σ. του ενσιρώματος προς του βουστασίου. Το εύρος μέσα στο οποίο κυμάνθηκε ανάλογα και με τον χρόνο παραμονής ήταν 0,67 έως 1,35.

Η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου παρατηρήθηκε στις 16 ημέρες ΧΠ και βρισκόταν μέσα στα όρια που είχαν τεθεί για τον λόγο των Π.Σ. Με βάση αυτή την παραγωγή βασίστηκε το 1^ο σενάριο. Στις 21 και 32 ημέρες η παραγωγή μειωνόταν και αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι το μείγμα γινόταν ομοιόμορφο.

Στα δύο βασικά σενάρια που αναπτύχθηκαν χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των αποβλήτων (16 T) και αναμείχθηκαν με το εκχύλισμα του ενσιρώματος για το πρώτο (13T) και με ολόκληρο το ενσίρωμα για το δεύτερο (6,5T)

Αυτό σημαίνει πως στην πρώτη περίπτωση είχαμε απώλεια 10% στην ζωοτροφή και στην δεύτερη το σύνολο της ημερήσιας ποσότητας.

Από την ενεργειακή ανάλυση που έγινε στην συνέχεια παρατηρείται πως στο δεύτερο σενάριο είχαμε μεγαλύτερη απόδοση σε βιοαέριο.

Παρ' όλα αυτά η οικονομική ανάλυση στην συνέχεια για απόσβεση του κεφαλαίου σε ορίζοντα 12ετίας δείχνει πως μόνο το πρώτο σενάριο είναι βιώσιμο.

Αρα επιτυγχάνουμε με την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης με την χρήση εκχυλίσματος ενσιρώματος τα εξής:

A) Παραγωγή ενέργειας από το βιοαέριο που παράγεται με οικονομική βιωσιμότητα.

B) Αξιοποίηση στο σύνολο των αποβλήτων της μονάδας

Γ) Καταστροφή μόνο του 10% του ενσιρώματος, αφού μετά την εκχύλιση δίνεται στις αγελάδες.

8. Βιβλιογραφία

1. K. Sioulas, D. Mavrogiorgos and A. Chatziathanassiou (2003). An assessment of social and environmental impacts and benefits associated with the development of the AnDigNet project in the 2nd International Conference on Ecological Protection of the Planet Earth, 5-8 June 2003, Sofia, Bulgaria.
2. Γεωργία και Κτηνοτροφία, τεύχος 3/2008. Ελληνική βοοτροφία, υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές.
3. Αναστασόπουλος Ν., 1997, 'Γεωργικές κατασκευές', Εκδόσεις ιδρύματος Ευγενίδου, Αθήνα.
4. Κυρίτσης Σ., 1995, 'Βουστάσια', Εκδόσεις «Σταμούλης», Αθήνα.
5. Λαμπρινός Γ., 1992, 'Μηχανολογικός Εξοπλισμός των Γεωργικών Εκμεταλλεύσεων', Εκδόσεις Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
6. Χ. Νικήτα – Μαρτζοπούλου, Γεωργικές Κατασκευές 2006, σελ. 438
7. Αργυροπούλου Κ. 2007, Μεταπτυχιακή διατριβή, Πειραματική διερεύνηση παραγωγής βιοαερίου από μίγματα ημικομποστοποιημένων αποβλήτων πτηνοτροφείου και τυρογάλακτος στην μεσόφιλη περιοχή.
8. Taiganides P., 1977, 'Animal Wastes', Department of Agriculture Engineering, Ohio State University Applied Science, Publishers LTD, London.
9. Γεωργακάκης, 1998, Περιβάλλον και Γεωργο-Πτηνό-Κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις. Πανεπιστημιακές σημειώσεις Διαχείρισης αποβλήτων Τεύχος 1.ΓΠΑ

10. Κυρίτσης Σ., 1995, 'Βουστάσια', Εκδόσεις «Σταμούλης», Αθήνα.
11. Αλέξανδρος Σπάης, 1997, Ζωοτροφές και σιτηρέσια.
12. Γεωργακάκης, 2010, Στοιχεία Γεωργικών Κατασκευών.
13. Ford M. and Fleming R., 2002, 'Mechanical Solid-liquid Separation of Livestock Manure, Literature Review', A report prepared for 'Ontario Pork'. University of Guelph, Ridgetown College, Ontario, Canada.
14. http://ec.europa.eu/agriculture/bioenergy/biofuels/index_en.htm.
15. http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/land_use_change_el.htm)
15. <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=3439>).
16. Rico, J.L., Garcia, H., Rico, C., Tejero, I., 2007. Characterisation of solid and liquid fractions of dairy manure with regard to their component distribution and methane production. *Bioresour. Technol.* 98, 971–979.
17. Liao, P.H., Lo, K.V., Chieng, S.T., 1984. Effect of liquid-solids separation on biogas production from dairy manure. *Energ. Agr.* 3 (1), 61–69.
18. (DIETER DEUBLEIN AND STEINHAUSER, 2008. "BIOGAS FROM WASTE AND RENEWABLE RESOURCES", WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Germany, p. 443)