



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ &**  
**ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

«Παραγωγή βιοαερίου από εκχύλισμα ημι-  
κομποστοποιημένων στερεών πτηνοτροφικών  
αποβλήτων με τυρόγαλα στη μεσόφιλη περιοχή.  
Τεχνικο-οικονομική διερεύνηση εφαρμογής των  
αποτελεσμάτων σε τυροκομείο στην Αργολίδα.»

**ΣΠΥΡΟΥΔΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ**

Επιβλέπων Καθηγητής  
Δ. Γεωργακάκης

Αθήνα 2012

## Μεταπτυχιακή Διατριβή

«Παραγωγή βιοαερίου από εκχύλισμα ημι-κομποστοποιημένων στερεών πτηνοτροφικών αποβλήτων με τυρόγαλα στη μεσόφιλη περιοχή. Τεχνικο-οικονομική διερεύνηση εφαρμογής των αποτελεσμάτων σε τυροκομείο στην Αργολίδα»

**ΣΠΥΡΟΥΔΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ**

Επιβλέπων Καθηγητής:  
Δ. Γεωργακάκης

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή  
Δημήτριος Γεωργακάκης, Επιβλέπων Καθηγητής  
Χρήστος Καραβίτης, Επίκουρος Καθηγητής  
Νικόλαος Δέρκας, Επίκουρος Καθηγητής

Copyright © Σπυρούδη Αγγελική, έτος 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής του ΓΠΑ δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

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

*Θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Δημήτριο Γεωργακάκη για την εύστοχη καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές και την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της παρούσας μελέτης. Η διαρκής παρουσία του και η υποστήριξη του σε όλη τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μελέτης ήταν πολύτιμη ώστε να ξεπεραστούν αρκετές δυσκολίες και να ολοκληρωθεί επιτυχώς. Επίσης, τον ευχαριστώ για τις γνώσεις που μου μετέδωσε σε θέματα ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, τα οποία δεν είχα μελετήσει ζανά στο παρελθόν, δίνοντας μου το έναυσμα να ασχοληθώ περισσότερο στο μέλλον. Επίσης, ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για την αποδοχή τους να αξιολογήσουν την παρούσα μελέτη.*

*Τέλος, αναμφισβήτητα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υποστήριξή τους στη προσπάθειά μου αυτή αλλά και σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αναερόβια χώνευση αποβλήτων προσφέρει πολλά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη μέσω της χρήσης του παραγόμενου βιοαερίου ως ενεργειακής πηγής και εμφανίζει αυξημένες προοπτικές ανάπτυξης στο μέλλον. Στη παρούσα μελέτη τα είδη των αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή του πειράματος προέρχονταν από απόβλητα πτηνοτροφικής και τυροκομικής μονάδας. Σκοπός ήταν να προσδιοριστεί εκείνη η ποσότητα εκχυλίσματος ημι-κομποστοποιημένων στερεών αποβλήτων πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής με τυρόγαλα που θα παρέχει τη μέγιστη παραγωγή βιοαερίου σε σχέση με τον μάρτυρα κάτω από σταθερές συνθήκες αναερόβιας χώνευσης στη μεσόφιλη περιοχή και η προσομοίωση των αποτελεσμάτων σε αντιπροσωπευτικό τυροκομείο παραγωγής φέτας στην περιοχή της Αργολίδας.

Αναλυτικότερα, η μελέτη χωρίστηκε σε τρία μέρη: θεωρητικό, πειραματικό και αποτελέσματα - συζήτηση. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε μια βιβλιογραφική επισκόπηση σχετικά με την ιστορική εξέλιξη των βιοκαυσίμων, τα χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους επηρεασμού της αναερόβιας χώνευσης, το βιοαέριο και το θεσμικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε στην Ελλάδα. Στο τέλος του πρώτου μέρους συγκεντρώθηκαν βασικές πληροφορίες σχετικά με τα πτηνοτροφικά και τυροκομικά απόβλητα καθώς και για τον λόγο που επιλέχθηκε η ανάμιξή τους. Στο πειραματικό μέρος περιγράφηκε η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών για χρόνο παραμονής αποβλήτων στο χωνευτήρα 16 ημερών και καταγράφηκαν οι μετρήσεις και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν. Στο τρίτο μέρος, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων και μελετήθηκαν οι περιπτώσεις παραγωγής βιοαερίου σε τρεις διαφορετικούς χρόνους παραμονής (16, 21, 32 ημέρες). Υπολογίστηκε η βέλτιστη παραγωγή βιοαερίου και ο βέλτιστος χρόνος παραμονής (25 ημέρες) και εξετάστηκε σε πραγματικές συνθήκες το μέγεθος της εγκατάστασης και το ενεργειακό δυναμικό του παραγόμενου βιοαερίου για τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής/θερμικής ενέργειας (ΣΗΘ). Ακολούθησε ο προσδιορισμός των κατάλληλων οικονομικών παραμέτρων για τη λήψη απόφασης σχετικά με την ανάληψη ή όχι της επένδυσης και η οικονομική αξιολόγηση της πιθανής επενδυτικής κίνησης του τυροκομείου με τη χρήση του υπολογιστικού *Τροποποιημένου Βασικού Μοντέλου Οικονομικής Αξιολόγησης* (MBEEM) (Georgakakis et al. 2003). Τέλος, αναλύθηκε ένα πιθανό επενδυτικό σενάριο και μελετήθηκε η οικονομική βιωσιμότητά του ανάλογα με τον τύπο χρηματοδότησης.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πρωτοτυπεί καθώς εφάρμοσε μηχανικό διαχωρισμό πριν την αναερόβια χώνευση με σκοπό τη δημιουργία εκχυλισμάτων πρώτων υλών. Η μέθοδος της παραγωγής εκχυλισμάτων αποβλήτων παρουσιάζει πολλαπλά τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα. Αποτελεί ένα βήμα εξέλιξης της αναερόβιας χώνευσης και φιλοδοξεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως σε μονάδες παραγωγής βιοαερίου στην Ελλάδα και διεθνώς.

*Λέξεις - Κλειδιά:* αναερόβια χώνευση, βιοαέριο, πτηνοτροφικά απόβλητα, τυρόγαλα, εκχύλισμα, συμπαραγωγή, οικονομική αξιολόγηση επενδύσεων.

## ABSTRACT

The anaerobic digestion of waste offers a variety of economic and environmental benefits through the use of produced biogas as energy resource and shows great potential for further future implementation. In this dissertation the types of waste, which were used in the experimental performance, originated from waste of poultry and cheese units. A separated liquid fraction was extracted by the mixture of semi-composted poultry manure from egg production unit with whey. The purpose of this study was the determination of the accurate amount of this extract which would grant the maximum biogas production under stable mesophilic conditions compared to the untreated control. The results were simulated in a typical cheese factory producing white cheese “feta” at Argolis region.

More precisely, the study was divided in three parts: theoretical, experimental and results – discussion. Firstly, a literature review was conducted on the historical progress of biofuels, the features and the influence parameters of anaerobic digestion, the biogas and its regulatory framework has developed in Greece. At the end of the first part, basic information about poultry manure and waste was gathered from cheese factories, and the reasons behind the selection of these elements for the mixture was explained. A description of the experimental process taken place at the School of Agricultural Constructions followed in the experimental part. The hydraulic retention time of waste into the anaerobic digester was 16 days. The measurements and the quality characteristics of used materials were recorded. In the third part the results of measurements were presented and three cases of biogas production were considered in three different retention times (16, 21, 32 days). The optimum biogas production and retention time (25 days) was calculated and the size of the unit installation was examined under real conditions as well as the energy capacity of produced biogas which intended to cogeneration of heat/power (CHP). Furthermore, appropriate economic parameters were determined to facilitate the decision making process of whether the investment should be undertaken or not. The economic evaluation of the possible investment move by the cheese factory was estimated with the use of *Modified Basic Economic Evaluation Model* (MBEEM) (Georgakakis et al. 2003). In conclusion, an analysis of a possible investment scenario was made and its economic sustainability was examined according to the type of funding.

The innovation of this master’s thesis lies in the implementation of mechanical separation of waste before the anaerobic digestion in order to create extracts of materials. This method of separated liquid fraction from waste presents a variety of technical, economic and environmental advantages. It forms the next step in the direction of anaerobic digestion progress and aspires to be used widely at biogas production units in Greece and around the world.

*Keywords:* anaerobic digestion, biogas, poultry manure, whey, separated liquid fraction, cogeneration, economic evaluation of investments.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	II
ABSTRACT	III
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	IV
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	VI
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	VII
ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	IX

### I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ	4
3. ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	7
3.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	7
3.2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	9
3.3. ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	11
3.4. ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	14
3.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	16
4. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΜΑΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ	19
4.1. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	19
4.2. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ	21
4.3. ΡΗ	22
4.4. ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ	24
4.5. ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	25
4.6. ΠΤΗΤΙΚΑ ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ	25
4.7. ΑΜΜΩΝΙΑ, ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ	26
5. ΒΙΟΑΕΡΙΟ	28
5.1. ΣΥΣΤΑΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	28
5.2. ΧΡΗΣΕΙΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	30
5.3. ΤΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	33
6. ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	36
6.1. Η ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	36
6.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	37
6.3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	40
7. ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	43
7.1. Ο ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΟΣ ΚΛΑΔΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	43
7.2. ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	43
7.3. ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ	45
7.4. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ	46

8. ΑΝΑΜΙΞΗ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	49
--	----

## II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	53
2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	55
3. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ	58
4. ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	59
4.1. ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΟΥ	59
4.2. ΤΥΡΟΓΑΛΛΑ	61
4.3. ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΑ ΥΓΡΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΩΝ	62
5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	64

## III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ/ΜΕΘΑΝΙΟΥ	66
1.1. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Χ.Π. 16 ΗΜΕΡΩΝ	66
1.2. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Χ.Π. 21 ΗΜΕΡΩΝ	72
1.3. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Χ.Π. 32 ΗΜΕΡΩΝ	76
1.4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΤΙΜΩΝ ΠΣ ΤΩΝ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΧΠ 21 ΚΑΙ 32 ΗΜΕΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΧΠ 16 ΗΜΕΡΩΝ	79
1.5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΠΣ ΤΩΝ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΧΠ 16 ΗΜΕΡΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΧΠ 21 ΚΑΙ 32 ΗΜΕΡΩΝ	81
1.6. ΒΕΛΤΙΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ	84
1.7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	90
1.7.1. Εύρεση Απαιτούμενων Ποσοτήτων Πρώτων Υλών	90
1.7.2. Διαστασιολόγηση Αντιδραστήρων Αναερόβιας και Αερόβιας Χώνευσης	92
1.7.3. Ενεργειακό Δυναμικό Εγκατάστασης	95
1.7.4. Συμπαραγωγή Ηλεκτρικής/Θερμικής Ενέργειας (Σ.Η.Θ.)	96
2. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	98
2.1. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	100
2.2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ Μ.Β.Ε.Ε. ΜΟΝΤΕΛΟΥ	104
2.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΣΟΔΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΔΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΒΕΕΜ	108
2.4. ΤΡΑΠΕΖΙΚΟΣ ΔΑΝΕΙΣΜΟΣ	112
3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	121
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	123
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	132



## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

### I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εικόνα 3.1.1. Πλήθος Αναερόβιων Χωνευτήρων σε Λειτουργία σε επιλεγμένες Χώρες	8
Εικόνα 3.2.1. Διάγραμμα Ροής Αναερόβιας Χώνευσης	9
Εικόνα 3.2.2. Τύπος Αναερόβιου Αντιδραστήρα	10
Εικόνα 3.2.3. Τύπος Αναερόβιου Αντιδραστήρα	10
Εικόνα 3.3.1. Στάδια Παραγωγής Βιοαερίου	11
Εικόνα 3.3.2. Μηχανισμός Αναερόβιας Χώνευσης	13
Εικόνα 3.3.3. Εσωτερικό Αναερόβιου Αντιδραστήρα Haase	13
Εικόνα 3.4.1. Πηγές Υποστρωμάτων κατάλληλων για Αναερόβια Χώνευση	14
Εικόνα 3.5.1. Μονάδα Παραγωγής Βιοαερίου	18
Εικόνα 5.2.1. Χρήσεις Βιοαερίου	30
Εικόνα 5.2.2. Συμπαράγωγή Ηλεκτρικής & Θερμικής Ενέργειας (ΣΗΘ)	31
Εικόνα 5.2.3. Ενεργειακή Αξιοποίηση Βιοαερίου για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Θερμότητας	32
Εικόνα 6.2.1. Κάτοψη Πτηνοτροφικής Μονάδας (χωρίς κλίμακα)	38
Εικόνα 7.2.1. Καζάνια Επεξεργασίας Γάλακτος	44
Εικόνα 8.1. Τύποι Μηχανισμών Ανάδευσης Αναερόβιων Αντιδραστήρων	52

### II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εικόνα 1.1.: Εργαστήριο Διεξαγωγής Πειράματος	54
Εικόνα 2.1.: Πεχάμετρο Εργαστηρίου	55
Εικόνα 2.2.: Μέθοδος Μέτρησης Ποσοστού Μεθανίου	57

### III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Εικόνα 2.1.1. Παρούσα Αξία	102
Εικόνα 2.2.1. Διάγραμμα Ροής επιμέρους Συντελεστών και Παραμέτρων μοντέλου ΜΒΕΕΜ	107

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

### I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Πίνακας 3.4.1.: Χαρακτηριστικά και Παράμετροι Λειτουργίας Υποστρωμάτων	16
Πίνακας 4.1.1.: Θερμοκρασιακά Στάδια και αντίστοιχοι Χρόνοι Παραμονής ΑΧ	20
Πίνακας 5.1.1.: Τυπική Χημική Σύσταση του Βιοαερίου	28
Πίνακας 6.2.1.: Βασικά Συστατικά Πτηνοτροφικών Αποβλήτων (% κ.β.)	39
Πίνακας 6.2.2.: Συγκεντρώσεις Ιχνοστοιχείων σε Πτηνοτροφικά Απόβλητα σε Μονάδες του Βελγίου	40
Πίνακας 7.3.1.: Φυσικοχημικές Ιδιότητες Τυρογάλακτος από Παραγωγή Τυριού Φέτας	46
Πίνακας 8.1.: Αποδόσεις μεθανίου Διαφόρων Ειδών Οργανικών Αποβλήτων	50

### II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Πίνακας 4.1.1.: Χαρακτηριστικά Ημι-κομποστοποιημένων Αποβλήτων Πτηνοτροφείου	59
Πίνακας 4.1.2.: Χαρακτηριστικά Εκχυλίσματος Πτηνοτροφείου με Νερό	60
Πίνακας 4.1.3.: Χαρακτηριστικά Υπολείμματος Πτηνοτροφείου μετά από διαβροχή με Νερό	61
Πίνακας 4.2.1.: Χαρακτηριστικά Τυρογάλακτος	61
Πίνακας 4.2.2.: Χαρακτηριστικά Υπολείμματος Πτηνοτροφείου μετά από διαβροχή με Τυρόγαλα	62
Πίνακας 4.2.3.: Χαρακτηριστικά Εκχυλίσματος Πτηνοτροφείου με Τυρόγαλα	62
Πίνακας 4.3.1.: Χαρακτηριστικά Υγρών Εξόδου Χωνευτήρα Α	63
Πίνακας 4.3.2.: Χαρακτηριστικά Υγρών Εξόδου Χωνευτήρα Β	63
Πίνακας 5.1.: Αναλογίες Μίγματος Αποβλήτων στα 3 Στάδια του Χωνευτήρα Β	64

### III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Πίνακας 1.1.1.: Συγκεντρωτικός Πίνακας Μ.Ο. Ποιοτικών Χαρακτηριστικών (ΧΠ = 16)	66
Πίνακας 1.1.2.: Χαρακτηριστικά Παραγωγής Βιοαερίου στους δύο Χωνευτήρες (ΧΠ = 16)	67
Πίνακας 1.1.3.: Λόγοι Εκχυλισμάτων Μίγματος σε κάθε Στάδιο Παραγωγής	68
Πίνακας 1.2.1.: Συγκεντρωτικός Πίνακας Μ.Ο. Ποιοτικών Χαρακτηριστικών (ΧΠ = 21)	72
Πίνακας 1.2.2.: Χαρακτηριστικά Παραγωγής Βιοαερίου στους δύο Χωνευτήρες (ΧΠ = 21)	73
Πίνακας 1.2.3.: Λόγοι Εκχυλισμάτων Μίγματος σε κάθε Στάδιο Παραγωγής (ΧΠ = 21)	73

Πίνακας 1.3.1.: Χαρακτηριστικά Παραγωγής Βιοαερίου στους δύο Χωνευτήρες (ΧΠ = 32)	76
Πίνακας 1.3.2.: Λόγοι Εκχυλισμάτων Μίγματος σε κάθε Στάδιο Παραγωγής (ΧΠ = 32)	77
Πίνακας 1.4.1.: Διαφοροποιημένος Λόγος Εκχυλισμάτων Μίγματος και Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου στα δύο Στάδια ΧΠ 16 ημερών	79
Πίνακας 1.4.2.: Χαρακτηριστικά Παραγωγής Βιοαερίου στον Χωνευτήρα Β πριν και μετά τη Διαφοροποίηση στα ΠΣ (ΧΠ = 16)	80
Πίνακας 1.5.1.: Διαφοροποιημένος Λόγος Εκχυλισμάτων Μίγματος και Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου στα δύο Στάδια ΧΠ 21 ημερών	81
Πίνακας 1.5.2.: Διαφοροποιημένος Λόγος Εκχυλισμάτων Μίγματος και Ογκομετρική Παραγωγή βιοαερίου στα δύο Στάδια ΧΠ 32 ημερών	81
Πίνακας 1.5.3.: Χαρακτηριστικά Παραγωγής Βιοαερίου στο Χωνευτήρα Β πριν και μετά τη Διαφοροποίηση στα ΠΣ (ΧΠ = 21)	82
Πίνακας 1.5.4.: Χαρακτηριστικά Παραγωγής Βιοαερίου στο Χωνευτήρα Β πριν και μετά τη Διαφοροποίηση στα ΠΣ (ΧΠ = 32)	83
Πίνακας 1.6.1.: Συνολική Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου ανά ΧΠ	84
Πίνακας 1.6.2.: Τυπική Περιεκτικότητα Α' υλών σε ΠΣ% κ,β	85
Πίνακας 1.6.3.: Λόγοι Εκχυλισμάτων Μίγματος & Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση (ΧΠ = 25)	87
Πίνακας 1.6.4.: Χαρακτηριστικά Βέλτιστης Παραγωγής Βιοαερίου/Μεθανίου στο Χωνευτήρα Β ( $ΧΠ_{\text{optimum}} = 25$ )	89
Πίνακας 1.7.2.1.: Διαστάσεις Αναερόβιου Χωνευτήρα Μονάδας	92
Πίνακας 1.7.2.2.: Χαρακτηριστικά Αναερόβιου Χωνευτήρα Μονάδας	93
Πίνακας 1.7.2.3.: Διαστάσεις & Χαρακτηριστικά Αερόβιων Δεξαμενών Μονάδας	94
Πίνακας 1.7.3.1.: Ενεργειακό Δυναμικό Παραγόμενου Βιοαερίου/Μεθανίου	95
Πίνακας 1.7.4.1.: Συμπαράγωγή Θερμικής/Ηλεκτρικής Ενέργειας	97
Πίνακας 2.3.1.: Οικονομικά Στοιχεία Επενδυτικού Σχεδίου 12Ετίας	109
Πίνακας 2.3.2.: Οικονομικοί Δείκτες Παραδείγματος	110
Πίνακας 2.4.1.: Απεικόνιση Αποσβέσεως Δανείου με Σταθερό Χρεολύσιο	115
Πίνακας 2.4.2.: Απεικόνιση Αποσβέσεως Δανείου με Σταθερό Τοκοχρεολύσιο	116
Πίνακας 2.4.3.: Απεικόνιση Απόσβεσης Ίδιων Κεφαλαίων με Σταθερό Χρεολύσιο	117
Πίνακας 2.4.4.: Απεικόνιση Απόσβεσης Ίδιων Κεφαλαίων με Σταθερό Τοκοχρεολύσιο	118
Πίνακας 2.4.5.: Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Επενδυτικού Σεναρίου	120

## ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

### I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Διάγραμμα 4.1.1.: Σχετικοί Ρυθμοί Παραγωγής Βιοαερίου ανάλογα με τη Θερμοκρασία και το Χρόνο Παραμονής	20
--	----

### III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Διάγραμμα 1.1.1.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με Λόγο $\frac{ΠΣ_{ΕΚΧπ+τ}}{ΠΣ_{ΕΚΧπ+ν}}$ σε ΧΠ 16 ημερών (3 σημεία)	68
Διάγραμμα 1.1.2.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με Λόγο $\frac{ΠΣ_{ΕΚΧπ+τ}}{ΠΣ_{ΕΚΧπ+ν}}$ σε ΧΠ 16 ημερών (2 σημεία)	69
Διάγραμμα 1.1.3.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε ΧΠ 16 ημερών (3 σημεία)	70
Διάγραμμα 1.1.4.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε ΧΠ 16 ημερών (2 σημεία)	70
Διάγραμμα 1.1.5.: Σχέση Λόγου $\frac{ΠΣ_{ΕΚΧπ+τ}}{ΠΣ_{ΕΚΧπ+ν}}$ με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε ΧΠ 16 ημερών (3 σημεία)	71
Διάγραμμα 1.1.6.: Σχέση Λόγου $\frac{ΠΣ_{ΕΚΧπ+τ}}{ΠΣ_{ΕΚΧπ+ν}}$ με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε ΧΠ 16 ημερών (2 σημεία)	71
Διάγραμμα 1.2.1.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με Λόγο $\frac{ΠΣ_{ΕΚΧπ+τ}}{ΠΣ_{ΕΚΧπ+ν}}$ σε ΧΠ 21 ημερών	74
Διάγραμμα 1.2.2.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε ΧΠ 21 ημερών	75
Διάγραμμα 1.2.3.: Σχέση Λόγου $\frac{ΠΣ_{ΕΚΧπ+τ}}{ΠΣ_{ΕΚΧπ+ν}}$ με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε ΧΠ 21 ημερών	75
Διάγραμμα 1.3.1.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με Λόγο $\frac{ΠΣ_{ΕΚΧπ+τ}}{ΠΣ_{ΕΚΧπ+ν}}$ σε ΧΠ 32 ημερών	77
Διάγραμμα 1.3.2.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 32 ημερών	78
Διάγραμμα 1.3.3.: Σχέση Λόγου $\frac{ΠΣ_{ΕΚΧπ+τ}}{ΠΣ_{ΕΚΧπ+ν}}$ με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 32 ημερών	78
Διάγραμμα 1.6.1.: Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων Χωνευτήρα Β (min) Vs ΧΠ	84
Διάγραμμα 1.6.2.: Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων Χωνευτήρα Β (max) Vs ΧΠ	85
Διάγραμμα 1.6.3.: Σχέση Λόγου $\frac{ΠΣ_{ΕΚΧπ+τ}}{ΠΣ_{ΕΚΧπ+ν}}$ με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε ΧΠ 25 ημερών	87
Διάγραμμα 1.7.1.1.: Διάγραμμα Ροής Μονάδας Βιοαερίου στο Τυροκομείο	91
Διάγραμμα 2.3.1.: Καθαρές Ετήσιες Ταμειακές Ροές Παραδείγματος για 12 έτη	111

# I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, η ενέργεια αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά και φλέγοντα θέματα που απασχολούν τον πλανήτη. Ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται ραγδαία και ταυτόχρονα αυξάνονται οι απαιτήσεις του για φθηνή και αποδοτική ενέργεια. Τα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι κάτι παραπάνω από ορατά λόγω κακής διαχείρισης των φυσικών πόρων, ενώ είναι πλέον κοινός στόχος η εξοικονόμηση ενέργειας και η προστασία του περιβάλλοντος.

Ο κόσμος πλέον βρίσκεται αντιμέτωπος με το ενεργειακό πρόβλημα. Οι συμβατικές πηγές ενέργειας με τη χρήση ορυκτών καυσίμων όπως το κάρβουνο, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο δεν επαρκούν για να καλύψουν τις όλο και αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη, καθώς χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να σχηματιστούν και ο ρυθμός με τον οποίο εξαντλούνται είναι πολύ μεγαλύτερος από εκείνον με τον οποίο σχηματίζονται. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας παραδέχτηκε το 2010 πως η παραγωγή συμβατικού πετρελαίου κορυφώθηκε το 2006, ενώ άλλες πιο συντηρητικές προβλέψεις τοποθετούν τη παγκόσμια κορύφωση της παραγωγής πετρελαίου λίγα χρόνια αργότερα αν δεν αξιοποιηθούν νέα κοιτάσματα και δεν προωθηθούν νέες τεχνολογίες (Inman 2010), (Διαγράμματα 1-2 στο Παράρτημα). Συγκεκριμένα, η ενεργειακή κατανάλωση αυξήθηκε κατά 5% το 2010 σε σχέση με το 2009 κυρίως λόγω της βιομηχανοποίησης στις αναπτυσσόμενες χώρες (Κίνα, Ινδία). Οι ανάγκες αυτές καλύφθηκαν κατά 34% από πετρέλαιο, κατά 30% από άνθρακα και κατά 24% από φυσικό αέριο. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της EIA (*U.S. Energy Information Administration - Διαχείριση Πληροφοριών Ενέργειας των Η.Π.Α.*) για το έτος 2010, η μέση κατανάλωση πετρελαίου παγκοσμίως ήταν 87 εκ. βαρέλια την ημέρα ξεπερνώντας σε σύνολο τα 31 δισεκατομμύρια βαρέλια, ενώ η συνολική παγκόσμια κατανάλωση γαιάνθρακα άγγιξε τα 7,7 δισεκατομμύρια τόνους και του φυσικού αερίου τα 3,2 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Τα συμβατικά καύσιμα είναι υπεύθυνα, επίσης, για μια σειρά από παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, την τρύπα του όζοντος, την όξινη βροχή. Η ρύπανση του φυσικού αποδέκτη από μεγάλο όγκο αποβλήτων όπως αστικά, βιομηχανικά και γεωργοκτηνοτροφικά, τα οποία διατίθενται σε αυτόν είναι ένα επιπλέον περιβαλλοντικό ζήτημα που χρήζει αντιμετώπισης.

Δεδομένης της οικονομικής συγκυρίας που επικρατεί, καθότι πλέον γίνονται ορατές οι συνέπειες παλαιότερων τακτικών εκμετάλλευσης ενέργειας στο περιβάλλον και στην οικονομία, η κοινωνία στρέφεται σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας όπως οι ανανεώσιμες που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον επιφέροντας κέρδη στους

εμπλεκόμενους και ευρύτερα στη κοινωνία. Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) θεωρούνται η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική, η υδροηλεκτρική, η κυματική, η παλιρροϊκή και η βιομάζα (Οδηγία 2001/77/ΕΚ<sup>1</sup>). Η υδροηλεκτρική ενέργεια συμμετείχε κατά 6,5% το 2010 στην ενέργεια που καταναλώνεται παγκοσμίως παρουσιάζοντας αύξηση. Την ίδια χρονιά η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εκτός της υδροηλεκτρικής, κυμάνθηκε στο 1,8% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης, αρκετά χαμηλό δεδομένης της μεγάλης προσπάθειας που γίνεται από πολλές χώρες για τη προώθησή τους και του τεράστιου οφέλους που μπορούν να προσφέρουν στην αντιμετώπιση της ανεπάρκειας ενεργειακών πόρων.

Μια άλλη πηγή ενέργειας, η πυρηνική το 2010 παρουσίασε μόνο 2% αύξηση σε σχέση με το 2009 στη συμμετοχή της στη παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση, πέφτοντας κάτω από τα επίπεδα του 2005 και 2006 κοντά στο 5% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης. Η πτώση αυτή δικαιολογείται από την όλο και ενισχυμένη άποψη πως η πυρηνική ενέργεια δεν μπορεί να θεωρηθεί ως ασφαλής ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Για τη παραγωγή της γίνεται καύση ορυκτού καυσίμου Ουρανίου 235 που είναι μη ανανεώσιμο ή τεχνητού Πλουτωνίου 238 ή άλλων ασταθών στοιχείων τα οποία μετατρέπονται σε ελαφρύτερα. Αν και μπορεί να θεωρηθεί σε ένα γενικό πλαίσιο φιλική προς το περιβάλλον, καθώς έχει μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, η διαχείριση των επικίνδυνων πυρηνικών καταλοίπων και απρόβλεπτα γεγονότα που μπορεί να προκληθούν επιφέρουν καταστροφικές συνέπειες όπως το ατύχημα στη περιοχή του Chernobyl το 1986 αλλά και το πρόσφατο ατύχημα στο πυρηνικό εργοστάσιο στη Fukushima της Ιαπωνίας που προκάλεσε ανυπολόγιστη οικονομική και περιβαλλοντική καταστροφή. Ακόμη, παρόλο που η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια έχει χαμηλό κόστος, το αρχικό κόστος κατασκευής και συντήρησης παραμένει αρκετά υψηλό.

Η χρήση της βιομάζας, από την άλλη πλευρά, είτε από φυτά είτε από απόβλητα αστικής ή ζωικής προέλευσης οδηγεί στη παραγωγή βιοκαυσίμων με πολλαπλά οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα. Με τον όρο βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Αποτελεί μια τεράστια αποθήκη ενέργειας καθώς η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη γη μετατρέπεται σε χημική, δεσμεύεται στην οργανική ύλη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ενώ θεωρείται ανανεώσιμη αφού ακολουθεί τον θεμελιώδη κύκλο των θρεπτικών συστατικών. Το 2009 η μέση κατανάλωση βιοκαυσίμων παγκοσμίως ήταν περίπου 1,6 εκατομμύρια βαρέλια ανά ημέρα, φτάνοντας συνολικά τα 578 εκατομμύρια βαρέλια.

Το βιοαέριο ανήκει στην κατηγορία των βιοκαυσίμων και παράγεται μέσω της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης διαφόρων ειδών αποβλήτων όπως είναι τα γεωργικά, τα βιομηχανικά και τα αστικά. Μέσω της αναερόβιας χώνευσης παράγεται

---

<sup>1</sup> Europa EUR-Lex

<sup>2,4</sup> Europa EUR-Lex

<sup>3</sup> COM (2005) «Σχέδιο Δράσης για την Βιομάζα»

βιοαέριο το οποίο αποτελεί σημαντική πηγή ενέργειας, προσφέρει οικονομικό όφελος και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Τα επεξεργασμένα απόβλητα της αναερόβιας χώνευσης έχουν πολύ χαμηλότερο οργανικό φορτίο από τα ανεπεξέργαστα και έτσι είναι πιο ασφαλή για διάθεση στο περιβάλλον. Οι παραγωγικές μονάδες μπορούν να χρησιμοποιούν το παραγόμενο βιοαέριο για να καλύψουν μέρος των ενεργειακών τους αναγκών.

## 2. ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

Ιστορικά τα πρώτα καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο ανήκαν στην κατηγορία των βιοκαυσίμων. Στη διάρκεια της ανθρώπινης ιστορίας η βιομάζα σε όλες τις εκάστοτε μορφές της ήταν και είναι η πιο σημαντική πηγή όλων των βασικών μας αναγκών αλλά και πηγή οικονομικής εκμετάλλευσης. Το ξύλο ήταν η πρώτη μορφή των βιοκαυσίμων που χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο και χωρίς αυτή τη πηγή, ο πολιτισμός δεν θα είχε εξελιχθεί, καθώς το δάσος ήταν τόσο σημαντικό όσο είναι το πετρέλαιο για τη σύγχρονη εποχή. Τα πρώτα βήματα προς την βιομηχανοποίηση βασίζονταν σε πηγές βιομάζας, όπως το κάρβουνο το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην κατεργασία σιδήρου για χιλιάδες χρόνια. Μέχρι τις αρχές του 19ου αιώνα η βιομάζα ήταν η κύρια πηγή ενέργειας για τις βιομηχανικές χώρες και ακόμα εξακολουθεί να παρέχει τον κύριο όγκο ενέργειας για πολλές αναπτυσσόμενες χώρες. Με την ανακάλυψη της ηλεκτρικής ενέργειας, βιοκαύσιμα χρησιμοποιήθηκαν για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα στη παραγωγή της. Επίσης, από τις αρχές ακόμα ανάπτυξης του κλάδου της αυτοκινητοβιομηχανίας έγιναν προσπάθειες χρήσης υγρών βιοκαυσίμων συγκεκριμένα βιοαιθανόλης προερχόμενης από έλαιο φιστικιών και κάνναβης. Η ανακάλυψη, όμως, μεγάλων ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων όπως το φυσικό αέριο, ο άνθρακας, το πετρέλαιο επέφερε σοβαρές επιπτώσεις στη παραγωγή και χρήση βιοκαυσίμων.

Κατά την περίοδο του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, παρατηρείται υψηλή ζήτηση για βιοκαύσιμα στη Γερμανία και τη Βρετανία γεγονός που οφείλεται στην αυξημένη χρήση ως εναλλακτική λύση έναντι των εισαγόμενων καυσίμων. Κατά τις περιόδους των πολέμων σημειώθηκαν διάφορες σημαντικές τεχνολογικές αλλαγές, αλλά, κατά την περίοδο ειρήνης, το φθινό πετρέλαιο από τις χώρες του Κόλπου, καθώς και τη Μέση Ανατολή χαλάρωσε τη πίεση για εύρεση νέων ενεργειακών πηγών. Με την αύξηση της προσφοράς πετρελαίου το ενδιαφέρον για τα βιοκαύσιμα ξεχάστηκε. Όμως, οι σοβαρές κρίσεις των πετρελαϊκών καυσίμων κατά την περίοδο του 1973 και του 1979 που χτύπησαν διάφορες χώρες, λόγω των γεωπολιτικών συγκρούσεων, ανάγκασε τον OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) να μειώσει σημαντικά τις εξαγωγές προς τα έθνη εκτός του OPEC. Η συνεχής έλλειψη καυσίμων προσέλκυσε την προσοχή των διαφόρων ακαδημαϊκών και των κυβερνήσεων στα θέματα της ενεργειακής κρίσης και της χρήσης των βιοκαυσίμων. Ορισμένοι από τους κύριους λόγους για αυτή τη μετατόπιση του ενδιαφέροντος προς τα βιοκαύσιμα ήταν η αύξηση των τιμών του πετρελαίου, των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και του πληθυσμού, η συνειδητοποίηση της στενότητας των συμβατικών μορφών ενέργειας και το ενδιαφέρον προς την ανάπτυξη της υπαίθρου.

Από την δεκαετία του '90 στην ΕΕ παρατηρήθηκε μια αύξηση της παραγωγής βιοενέργειας και βιοκαυσίμων. Στις συνδιασκέψεις του ΟΗΕ για το περιβάλλον και την βιώσιμη ανάπτυξη το 1992 στο Ρίο, το 1997 στο Κιότο και το 2002 στο Γιοχάνεσμπουργκ, η Ε.Ε. και τα κράτη μέλη έθεσαν φιλόδοξους στόχους να αυξηθεί το ποσοστό συμμετοχής



των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στην ακαθάριστη εσωτερική ενεργειακή κατανάλωση, με ποσοτικούς στόχους και δεσμευτικά χρονοδιαγράμματα. Το 1997 η ΕΕ έθεσε ως φιλόδοξο στόχο για το 2010 το μερίδιο των ΑΠΕ στην ακαθάριστη εσωτερική κατανάλωση ενέργειας να φτάσει το 12%, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο 500.000 νέες θέσεις εργασίας και αυξάνοντας το μερίδιο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ από 14,2 % το 1998 σε 22,1% μέχρι το 2010 (Ζαφείρης 2011). Το 1999 η συνεισφορά της βιομάζας στη συνολική παροχή ενέργειας στην ΕΕ ήταν περίπου τα 2/3 της συνολικής παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ή το 4% του συνόλου της παροχής ενέργειας. Ακολούθησε η Οδηγία 2001/77/ΕΚ «Για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας» (OJ L283/ 27.10.2001<sup>2</sup>). Η οδηγία έρχεται σε συμφωνία με τις διεθνείς δεσμεύσεις που τέθηκαν στο Πρωτόκολλο του Κιότο το 1997. Για να προωθήσει τη χρήση των βιοκαυσίμων είτε σε οικιακό είτε σε βιομηχανικό επίπεδο και να τονίσει τη σημασία τους στον τομέα των μεταφορών, η Ευρωπαϊκή Ένωση υιοθέτησε την κοινοτική οδηγία 2003/30/ΕΚ. Στις διασκέψεις που πραγματοποιήθηκαν στο Βερολίνο τον Ιανουάριο του 2004, στη Βόννη τον Ιούνιο του 2004 και στο Πεκίνο τον Νοέμβριο του 2005, δόθηκε παράταση των συνολικών γενικών στόχων για τις ΑΠΕ πέραν του 2010, συμφωνήθηκε να αυξηθεί το ποσοστό συμμετοχής τους στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών παγκοσμίως έως και 50% μέχρι το 2040 και να βελτιωθεί σημαντικά η ενεργειακή αποδοτικότητα.

Τον Δεκέμβριο του 2005 η ΕΕ ενέκρινε το Σχέδιο Δράσης για τη Βιομάζα (Biomass Action Plan), όπου μεταξύ άλλων συμφωνήθηκε η συμμετοχή της βιομάζας και η παραγωγή βιοαερίου στην Ε.Ε. (EU 25), να διπλασιαστεί προκειμένου να καλυφθεί ο στόχος του 12% που είχε τεθεί για το 2010<sup>3</sup>. Επίσης, προέβλεπε μείωση της εισαγωγής πετρελαίου κατά 8%, μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου κατά 209 εκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub> το έτος και την δημιουργία μέχρι 300.000 νέων θέσεων εργασίας στον αγροτικό και δασοπονικό τομέα. Ακολούθησαν διάφορες οδηγίες και στρατηγικές χωρίς να έχουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα από τα κράτη-μέλη. Το 2008 οι αρχηγοί των κρατών μελών συμφώνησαν να προχωρήσουν σε δεσμευτικούς πλέον στόχους, κάτι που αποτέλεσε αλλαγή στη μέχρι τότε φιλοσοφία της ΕΕ στον τομέα των ΑΠΕ. Η Οδηγία του 2009 (2009/28/ΕΚ<sup>4</sup>) έθεσε ως στόχους για το 2020 το 20% της ενέργειας να προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές, το 10% των καυσίμων μεταφοράς να προέρχεται από βιοκαύσιμα, να μειωθούν οι εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά 20% και η εξοικονόμηση ενέργειας να φτάσει το 20%.

Παγκοσμίως, καύσιμα από βιομάζα χρησιμοποιούνται για τη κάλυψη αναγκών σίτισης στα νοικοκυριά αλλά και στις επιχειρήσεις καθώς και στη βιομηχανία από τη κατασκευή αντικειμένων τούβλα, πλακάκια, σίδερα μέχρι τους φούρνους, τα εστιατόρια, τις υφαντουργίες κ.α. Πρόσφατα πολλά νέα φυτά έχει διαπιστωθεί ότι παρέχουν ενέργεια

---

<sup>2,4</sup> Europa EUR-Lex

<sup>3</sup> COM (2005) «Σχέδιο Δράσης για την Βιομάζα»

από βιομάζα άμεσα μέσω καύσης για τη παραγωγή ηλεκτρισμού, θερμότητας και ενέργειας ή αιθανόλη μετά από μετασχηματισμό. Στη σύγχρονη εποχή, η βιοενέργεια εξακολουθεί να είναι η κύρια πηγή ενέργειας σε πολλά αναπτυσσόμενα έθνη, ιδιαίτερα στις πιο παραδοσιακές μορφές της, παρέχοντας κατά μέσο όρο το 35% των ενεργειακών αναγκών των 2/3 του παγκόσμιου πληθυσμού και φτάνει το 60-90% στις πιο φτωχές αναπτυσσόμενες χώρες. Παρόλα αυτά, οι σύγχρονες εφαρμογές στη βιοενέργεια αυξάνονται ραγδαία και στις αναπτυγμένες και στις αναπτυσσόμενες χώρες, έτσι ώστε σήμερα να αποτελούν το 20-25% της συνολικής χρήσης βιοενέργειας (Rosillo-Calle & Woods 2007).

### 3. ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

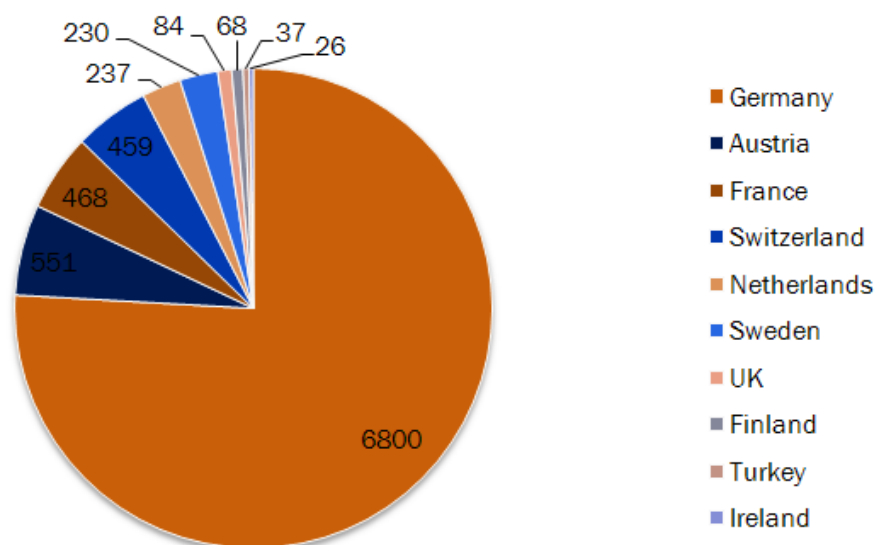
#### 3.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η μεγάλη παγκόσμια πληθυσμιακή αύξηση δεν έχει μόνο ως συνέπεια την αύξηση σε ζήτηση για ενέργεια, αλλά και την εντατικοποίηση της γεωργίας και κτηνοτροφίας για την κάλυψη των αναγκών του πληθυσμού σε προϊόντα σίτισης. Οι δραστηριότητες αυτές όμως εκτός από προϊόντα κατανάλωσης παράγουν και μεγάλο όγκο αποβλήτων (αστικά, αγροτικά, βιομηχανικά και πτηνο-κτηνοτροφικά) που δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα. Η αναερόβια χώνευση είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία επεξεργασίας κτηνοτροφικών και άλλων ειδών αποβλήτων, η οποία μπορεί να συμβάλλει στην μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς αποσκοπεί στη μείωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων και παράγει ένα χρήσιμο τελικό αέριο υποπροϊόν, το βιοαέριο. Η παραγωγή βιοαερίου από την εκμετάλλευση πτηνο-κτηνοτροφικών αποβλήτων, με την οποία καταπιάνεται αυτή η εργασία, είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες σε διεθνές επίπεδο και να λύσει το περιβαλλοντικό πρόβλημα διαχείρισης απορριμμάτων.

Η αναερόβια χώνευση ως μέθοδος εφαρμόζεται εδώ και χρόνια παρόλο που δεν είναι ευρέως γνωστή σε πολλές χώρες παγκοσμίως. Ιστορικά η απαρχή της μεθόδου τοποθετείται στην Ασσυρία τον 10ο αι. π.Χ. όπου οι κάτοικοί της την χρησιμοποιούσαν για να ζεστάνουν νερό. Τον 18<sup>ο</sup> αι. π.Χ. χρησιμοποιήθηκε για τον ίδιο σκοπό και 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 των ΗΠΑ. Επανεμφανίστηκε το 17ο αιώνα, όταν ο Alessandro Volta περιέγραψε για πρώτη φορά επιστημονικά τη παραγωγή βιοαερίου, καθώς παρατήρησε την εκπομπή από τα ιζήματα του πυθμένα μιας βαλτώδους λίμνης αερίων, τα οποία συνέλεξε και απέδειξε ότι ήταν εύφλεκτα. Το 1804 ο Dalton έδωσε το χημικό τύπο του μεθανίου. Η βιολογική παραγωγή μεθανίου με τις πρώτες αναερόβιες εγκαταστάσεις εμφανίζονται στην Ινδία το 1859 όπου χρησιμοποιήθηκαν ζωικά απόβλητα. Ακολούθησε ο Poroff το 1875 όπου ανέφερε ότι η σύνθεση του μεθανίου μένει σταθερή με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η πρώτη εφαρμογή ευρείας κλίμακας, πραγματοποιήθηκε το 1890 στη Μεγάλη Βρετανία στη περιοχή του Exeter, όπου χρησιμοποιήθηκε στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Μεταξύ 1914 και 1921 οι Imhoff και Blunk μελέτησαν τη δυνατότητα θέρμανσης των χωνευτήρων από το παραγόμενο βιοαέριο. 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. Ωστόσο, ως πατέρας της αναερόβιας χώνευσης θεωρείται ο Buswell ο οποίος το 1936 χρησιμοποίησε ζωικά απόβλητα, ως βασικό υπόστρωμα για τη παραγωγή βιοαερίου, σε συνδυασμό με άλλα οργανικά απόβλητα (Γεωργακάκης 2010α).

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. Περεταίρω ερευνητικές προσπάθειες ξεκίνησαν σε όλες τις ανεπτυγμένες χώρες της Ευρώπης μετά την πετρελαϊκή κρίση το 1973 όπου με την πάροδο των ετών η τεχνολογία εξελίχθηκε και πολλά προβλήματα ξεπεράστηκαν. Μετά την έναρξη της συστηματικής βιομηχανικής χρήσης της μεθόδου σε διάφορες χώρες, λόγω των ποικίλων πλεονεκτημάτων της, μεγάλη ανταπόκριση βρήκε στην Ασία όπου για τη παραγωγή βιοαερίου γινόταν επεξεργασία ζωικών αποβλήτων. Στη Κίνα σύμφωνα με το Υπουργείο Γεωργίας μέχρι το 2010, 37 εκατομμύρια χωνευτήρες χαμηλής ωστόσο τεχνολογίας (οικιακοί) βρίσκονταν σε λειτουργία με σκοπό την κάλυψη αναγκών επιβίωσης σε διάφορες κοινότητες (Barclay 2010). Στην Ινδία την ίδια περίοδο βρίσκονται σε λειτουργία περίπου 5 εκατομμύρια εγκαταστάσεις βιοαερίου μικρής κλίμακας. Γενικότερα, στην Ασία οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι απλές και εύκολες στην εφαρμογή τους πράγμα που δικαιολογεί τον μεγάλο αριθμό τους. Στην Ευρώπη κλειστά συστήματα αναερόβιας χώνευσης κτηνοτροφικών αποβλήτων εφαρμόζονται στη Γερμανία, την Αυστρία, τη Δανία, τη Σουηδία, την Ιταλία, την Ολλανδία και την Ισπανία (Bernet & Beline 2009). 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 (Σιούλας κ.α. 2009).

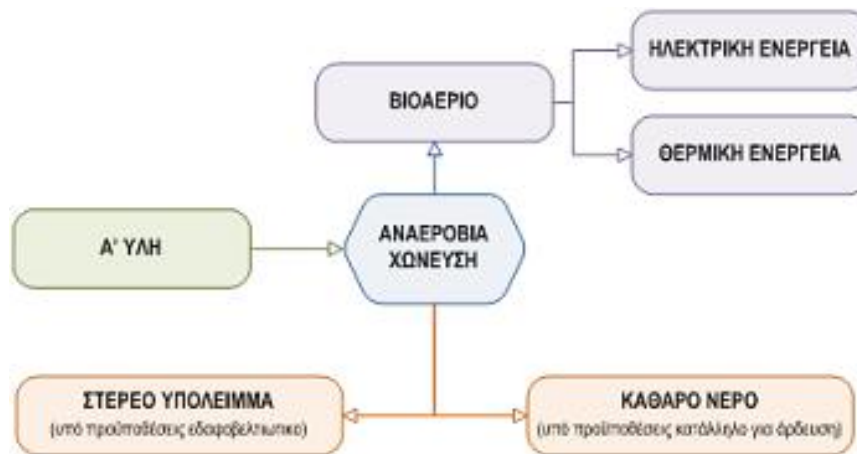
Στις μέρες μας, πολλές σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες γίνονται παγκοσμίως για τη βελτίωση των τεχνολογιών που σχετίζονται με τη μετατροπή των αποβλήτων σε βιοαέριο, την ευστάθεια και απόδοση των συστημάτων, καθώς και με το είδος των αποβλήτων που χρησιμοποιούνται κατά την αναερόβια χώνευση.



**Εικόνα 3.1.1.** Πλήθος Αναερόβιων Χωνευτήρων σε Λειτουργία σε επιλεγμένες Χώρες (Πηγή: Country Report of Member Countries, Istanbul, April 2011, IEA Bioenergy Task 37)

### 3.2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Η Αναερόβια Χώνευση είναι μια βιοχημική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθεται απουσία οξυγόνου, από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών και μετατρέπονται σε βιοαέριο. Με άλλα λόγια, κατά τη διαδικασία αυτή πραγματοποιείται βακτηριακή αποδόμηση σύνθετων οργανικών μορίων σε μικρότερα μόρια όπως το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου και σε θερμοκρασιακή περιοχή περίπου μεταξύ 20 - 55°C. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης συναντάται και στη φύση καθώς μεθάνιο παράγεται μέσω της αποικοδόμησης της οργανικής ύλης από μικροβιακές δραστηριότητες συνήθως σε έλη τύρφης, λίμνες ή θαλάσσια ιζήματα και ζωικές δραστηριότητες, όπως στο στομάχι των μηρυκαστικών. Εκτός όμως από το φυσικό περιβάλλον η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για τη παραγωγή βιοαερίου σε αεροστεγείς δεξαμενές που λειτουργούν ως αντιδραστήρες ή αλλιώς χωνευτήρες. Σε μία εγκατάσταση βιοαερίου, τα παράγωγα προϊόντα της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης είναι το βιοαέριο και το κομπόστ.



Εικόνα 3.2.1. Διάγραμμα Ροής Αναερόβιας Χώνευσης (Πηγή: Agroenergy A.E.)

Η αναερόβια χώνευση διαφορετικά ονομάζεται και βιολογική μετατροπή της βιομάζας σε βιοαέριο. Εκτός από τη βιολογική μετατροπή υπάρχει και η θερμική μετατροπή όπου παράγεται ένα μίγμα αερίων με τελικό προϊόν το μεθάνιο με γρήγορο ρυθμό σε υψηλή θερμοκρασία αλλά και υψηλό κόστος. Ο ρυθμός της βιολογικής μετατροπής είναι μικρότερος σε σχέση με της θερμικής σε συνθήκες ισορροπημένου χημικού και θρεπτικού περιβάλλοντος. Δυστυχώς, μεγάλο μέρος της οργανικής ύλης περί τα 30 – 50% δεν μπορεί να παράγει βιοαέριο διότι δεν είναι βιοαποικοδομήσιμο (Γεωργακάκης 2010a).



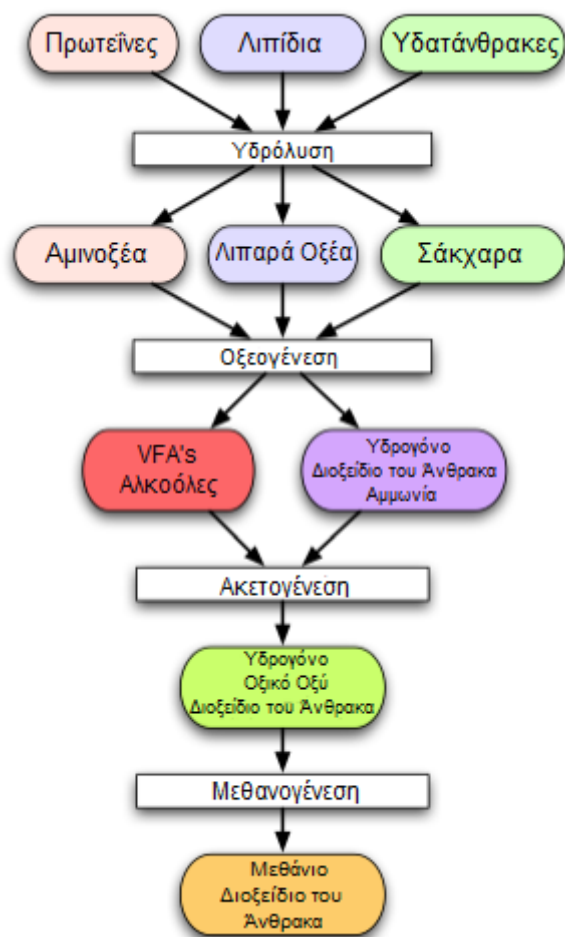
**Εικόνα 3.2.2.** Τύπος Αναερόβιου Αντιδραστήρα (Πηγή: *Climate Tech Wiki*)



**Εικόνα 3.2.3.** Τύπος Αναερόβιου Αντιδραστήρα (Πηγή: *Robinson and Hall Uk*)

### 3.3. ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η βιοχημική διεργασία της παραγωγής βιοαερίου και κατ' επέκταση μεθανίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης περιλαμβάνει τέσσερις κύριες φάσεις όπου σε κάθε στάδιο η αρχική ύλη διασπάται διαδοχικά σε μικρότερες μονάδες μέσω κάθε φορά διαφορετικών ομάδων μικροοργανισμών.



Εικόνα 3.3.1. Στάδια Παραγωγής Βιοαερίου (Πηγή: *Chemistry Is All Around Us*)

Τη πρώτη φάση αποτελεί η υδρόλυση όπου σύνθετες οργανικές μακρομοριακές ενώσεις όπως είναι τα νουκλεϊκά οξέα, τα λιπίδια, οι πρωτεΐνες και οι υδατάνθρακες μετατρέπονται σε απλούστερα ολιγομερή και μονομερή με την βοήθεια έξω - ενζύμων. Τα ένζυμα αυτά παράγονται από μια ομάδα βακτηρίων που ονομάζονται οξεοπαραγωγά (*Bacterides, Clostridia* κ.α.) και μέσω της υδρόλυσης οι σύνθετες οργανικές ενώσεις διασπώνται σε απλές διαλυτές οργανικές ενώσεις μικρότερης μοριακής αλυσίδας όπως τα λιπαρά οξέα, τα σάκχαρα και τα αμινοξέα. Η φάση της υδρόλυσης είναι πολύ σημαντική γιατί καθορίζει τη ποσότητα του παραγόμενου μεθανίου.

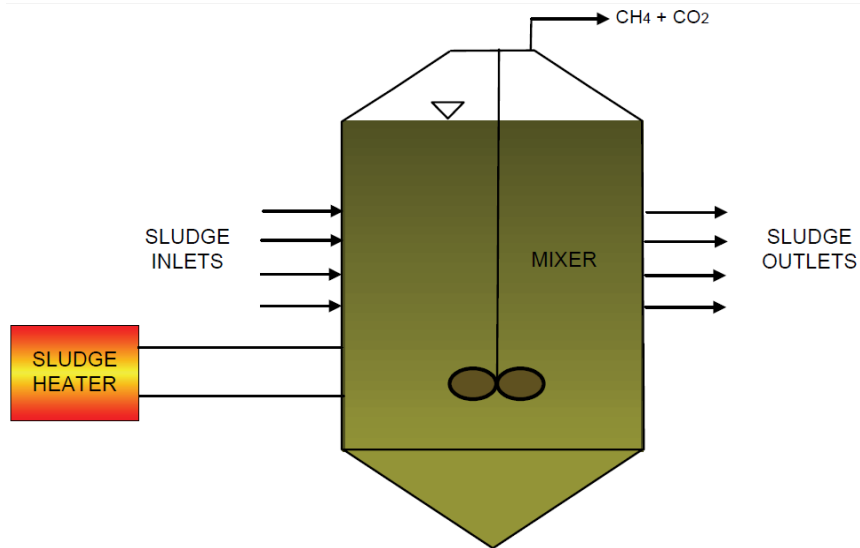
Στη δεύτερη φάση πραγματοποιείται η διαδικασία της οξεογένεσης. Κατά τη διάρκειά της τα προϊόντα της υδρόλυσης αποικοδομούνται με τη βοήθεια οξεογενών βακτηρίων και μετατρέπονται σε οξικό οξύ ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) σε ποσοστό 50%, σε διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και υδρογόνο ( $\text{H}$ ) κατά 20%, καθώς και σε πτητικά λιπαρά οξέα (VFA's) και αλκοόλες κατά 30%. Το οξικό οξύ, το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο αποτελούν μεθανογενή υποστρώματα και μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε μεθάνιο. Αντίθετα, τα λιπαρά οξέα και οι αλκοόλες πρέπει να περάσουν από το επόμενο στάδιο της ακετογένεσης.

Στην ακετογένεση τα προϊόντα από την οξεογένεση που δεν μετατράπηκαν στο προηγούμενο στάδιο μετατρέπονται σε αυτό το στάδιο σε μεθανογενή υποστρώματα με την επέμβαση μιας κατηγορίας εξειδικευμένων αναερόβιων μικροοργανισμών που ονομάζονται μεταβατικά βακτήρια. Τα πτητικά λιπαρά οξέα και οι αλκοόλες οξειδώνονται σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα.

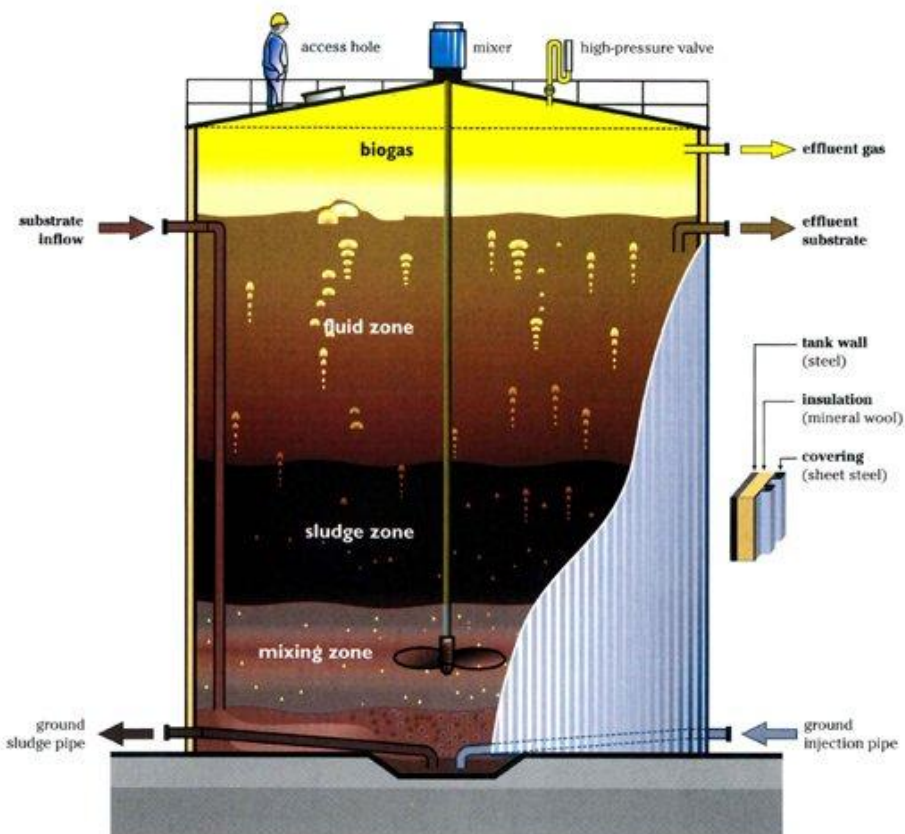
Το τελευταίο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης αποτελεί η μεθανογένεση. Σε αυτή τη φάση σχηματίζεται το μεθάνιο με ποσοστό περίπου 70% από τα οξεότροφα μεθανοβακτήρια (*Methanosarcina* spp., *Methanotrix* spp.) τα οποία αποικοδομούν τα οργανικά οξέα που παράχθηκαν όπως το οξικό οξύ. Το υπόλοιπο 30% περίπου προέρχεται από την αναγωγή του υδρογόνου και του διοξειδίου του άνθρακα μέσω των υδρογονοτρόφων μεθανοβακτηρίων (*Methanobacterium* spp., *Methanococcus* spp. κ.α.) (Ahning 2003; Yadnika et al. 2004). Τα υδρογονοτρόφα μεθανοβακτήρια χρειάζονται κάποια ιχνοστοιχεία όπως είναι το κοβάλτιο, το μολυβδαίνιο, το νικέλιο και το σελήνιο τα οποία όταν βρίσκονται σε υψηλή περιεκτικότητα στη πρώτη ύλη αυξάνουν τον ρυθμό της διεργασίας (Lebuhn et al. 2008). Αποτελεί κρίσιμο στάδιο, καθώς είναι η πιο αργή και ρυθμορυθμιστική αντίδραση της όλης διεργασίας.

Τα μεθανοβακτήρια παρουσιάζουν το βραδύτερο ρυθμό ανάπτυξης (περίπου το 20% του ρυθμού ανάπτυξης των οξυγενών βακτηρίων) από όλους του αναερόβιους μικροοργανισμούς στη διεργασία, πολύ μεγάλη ευαισθησία και επηρεάζονται σοβαρά από τις συνθήκες λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα. Είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της ομαλότητας στη διαδικασία τα πτητικά οξέα και το υδρογόνο να βρίσκονται σε σταθερά επιθυμητά επίπεδα μέσα στον χωνευτήρα ώστε να επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ των οξεοπαραγωγών και των μεθανοβακτηρίων. Η σύνθεση της πρώτης ύλης, ο ρυθμός τροφοδοσίας, η θερμοκρασία και το pH είναι κάποιοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν τη μεθανογένεση. Η υπερφόρτωση του χωνευτήρα, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας (μεσοφιλικά και θερμοφιλικά βακτήρια), η αυξημένη παρουσία διαλυμένου οξυγόνου (DO) οδηγούν στη μείωση ή ακόμη και τον τερματισμό της παραγωγής μεθανίου (Agroenergy A.E. 2012).





**Εικόνα 3.3.2.** Μηχανισμός Αναερόβιας Χώνευσης (Πηγή: Metcalf & Eddy Inc. 2003)

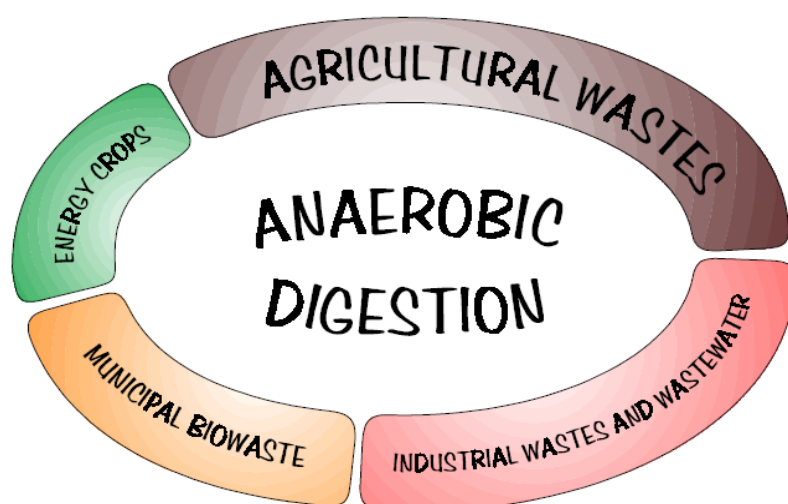


**Εικόνα 3.3.3.** Εσωτερικό Αναερόβιου Αντιδραστήρα Haase (Πηγή: U.S. Department of Energy – Mid-Atlantic Clean Energy Application Center)

### 3.4. ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Υπάρχουν διάφορα είδη βιομάζας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα για τη παραγωγή βιοαερίου μέσω της Αναερόβιας Χώνευσης. Οι πιο συνηθισμένες πηγές είναι:

- Ζωικά απόβλητα ή/ και φυτικά υπολείμματα
- Βιομηχανικά απόβλητα κυρίως από βιομηχανίες τροφίμων, σφαγείων και αγροτοβιομηχανίες
- Αστικά οικιακά οργανικά απόβλητα και η λυματολάσπη
- Ενεργειακές καλλιέργειες όπως αραβόσιτος, μίσχανθος, σόργο, τριφύλλι κ.α. αλλά και υδάτινες όπως από άλγη



**Εικόνα: 3.4.1.** Πηγές Υποστρωμάτων κατάλληλων για Αναερόβια Χώνευση (Πηγή: Steffen R. et al 1998)

Ζωικά απόβλητα που χρησιμοποιούνται προέρχονται από εγκαταστάσεις βουστασίων, χοιροστασίων, πτηνοτροφείων ενώ τα φυτικά υπολείμματα από τις τροφές των ζωικών εγκαταστάσεων όπως άχυρο, κριθάρι. Η χρήση των ζωικών αποβλήτων ως πρώτη ύλη για την αναερόβια χώνευση πλεονεκτεί έναντι άλλων ειδών βιομάζας. Το φυσικό περιεχόμενό τους σε αναερόβια βακτήρια, η υψηλή περιεκτικότητά τους σε νερό το οποίο ενεργεί ως διαλύτης για τα άλλα υποστρώματα και εξασφαλίζει την κατάλληλη ανάμιξη και ροή της βιομάζας, το χαμηλό κόστος της πρώτης ύλης και η εύκολη προσβασιμότητα, καθώς αποτελούν απόβλητα/υποπροϊόντα που συλλέγονται καθημερινά, κάνει ελκυστική την επεξεργασία τους (Agroenergy A.E. 2012).

Η χρήση των βιομηχανικών αποβλήτων για την αναερόβια χώνευση αφορά απόβλητα στερεής μορφής όπως υπολείμματα τροφών ή σφαγείων και υγρής όπως

απόβλητα τυροκομείων, ελαιοτριβείων, χυμοποιείων, ζυθοποιείων. Σε απόβλητα τέτοιας προέλευσης απαιτείται, πολλές φορές, η προεπεξεργασία της πρώτης ύλης σε υψηλές θερμοκρασίες (παστερίωση ή/και αποστείρωση) προτού εισέλθει στον χώνευτήρα με σκοπό να απομακρυνθούν παθογόνοι και παρασιτικοί μικροοργανισμοί που είναι ικανοί να προκαλέσουν σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Για την αποφυγή περιβαλλοντικών οχλήσεων από την έκλυση δυσάρεστων οσμών, ο εξοπλισμός επεξεργασίας και τροφοδοσίας των στερεών βιομηχανικών αποβλήτων βρίσκεται εγκατεστημένος σε κλειστό χώρο. Τα απόβλητα από βιομηχανίες τροφίμων και από αγροτοβιομηχανίες παράγουν το 65-70% του οργανικού φορτίου στο σύνολο των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας στο είδος και τη σύσταση των οργανικών βιομηχανικών αποβλήτων, η αναερόβια χώνευση τέτοιων υλικών είναι περισσότερο σύνθετη και απαιτεί μεγαλύτερη εμπειρία και εξειδίκευση από τον κατασκευαστή της μονάδας (Biomass Energy 2012).

Τα αστικά οργανικά απόβλητα προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες είτε από τις κατοικίες είτε από δημόσια κτήρια. Χρησιμοποιούνται αφότου γίνει αφαίρεση διαφόρων μη οργανικών συστατικών όπως είναι τα μέταλλα και το πλαστικό. Η λάσπη που προέρχεται από τα λύματα (λυματολάσπη) υφίσταται χώνευση με σκοπό την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και των παθογόνων μικροοργανισμών. Μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται είναι η αναερόβια χώνευση αλλά μπορεί να γίνει επεξεργασία αερόβια ή σε συνδυασμό.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, σε πολλές χώρες έχει εξεταστεί και εισαχθεί μια άλλη κατηγορία πρώτων υλών αναερόβιας χώνευσης οι αποκλειστικές ενεργειακές καλλιέργειες, οι οποίες καλλιεργούνται αποκλειστικά για την παραγωγή ενέργειας, άρα αντίστοιχα και βιοαερίου. Οι συγκεκριμένες καλλιέργειες μπορεί να είναι ποώδεις (χλόη, αραβόσιτος, ελαιοκράμβη κ.λπ.) αλλά και ξυλώδεις καλλιέργειες (τιλιά, λεύκα, βελανιδιά), αν και οι ξυλώδεις καλλιέργειες δεν αποτελούν την καλύτερη πρώτη ύλη για αναερόβια ζύμωση μιας και χρειάζονται ειδική προ-επεξεργασία για την απολιγνίτωσή τους πριν την χώνευση. Το τελευταίο καιρό εξετάζεται μια νέα μέθοδος ενεργειακής καλλιέργειας τρίτης γενιάς από άγλη παρουσιάζοντας υψηλή αποδοτικότητα και συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες ενεργειακές καλλιέργειες δεύτερης γενιάς (Σιούλας κ.α. 2009).

Τα διάφορα υποστρώματα της αναερόβιας χώνευσης μπορούν να ταξινομηθούν με βάση ποικίλα κριτήρια κάποια από τα οποία είναι η προέλευση της πρώτης ύλης, η ποσότητα ξηράς ουσίας που περιέχεται, η ποσότητα του παραγόμενου μεθανίου. Η δυνατότητα αποδοτικής παραγωγής μεθανίου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια αξιολόγησης των διαφορετικών υποστρωμάτων της χώνευσης. Τα ζωικά απόβλητα έχουν σχετικά χαμηλή παραγωγή μεθανίου, ωστόσο όταν αναμιγνύονται με άλλα είδη βιομάζας με υψηλή παραγωγή μεθανίου όπως είναι τα ελαιούχα υπολείμματα (λιοζούμια), τα υπολείμματα τυροκομείων και διάφορων άλλων τροφίμων, επιτυγχάνεται υψηλή παραγωγή βιοαερίου.

**Πίνακας 3.4.1.: Χαρακτηριστικά και Παράμετροι Λειτουργίας Υποστρωμάτων**

Feedstock	Total Solids TS [%]	Volatile Solids [% of TS]	C:N ratio	Biogas Yield <sup>3)</sup> [m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> VS]	Retention Time [d]	CH <sub>4</sub> Content [%]	Unwanted substances	Inhibiting substances	Frequent problems
Pig slurry	3-8 <sup>4)</sup>	70-80	3-10	0.25-0.50	20-40	70-80	Wood shavings, bristles, H <sub>2</sub> O, sand, cords, straw	Antibiotics, disinfectants	Scum layers, sediments,
Cow slurry	5-12 <sup>4)</sup>	75-85	6-20 <sup>1)</sup>	0.20-0.30	20-30	55-75	Bristles, soil, H <sub>2</sub> O, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , straw, wood	Antibiotics, disinfectants	Scum layers, poor biogas yield
Chicken slurry	10-30 <sup>4)</sup>	70-80	3-10	0.35-0.60	>30	60-80	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , grit, sand, feathers	Antibiotics, disinfectants	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -inhibition, scum layers,
Whey	1-5	80-95	n.a.	0.80-0.95	3-10	60-80	transportation impurities		pH-reduction
Ferment. slops	1-5	80-95	4-10	0.35-0.55	3-10	55-75	undegradable fruit remains		high acid conc., VFA-inhibition
Leaves	80	90	30-80	0.10-0.30 <sup>2)</sup>	8-20	n.a.	soil	Pesticides	
Wood shavings	80	95	511	n.a.	n.a.	n.a.	Unwanted material		Mechanical problems
Straw	70	90	90	0.35-0.45 <sup>5)</sup>	10-50 <sup>5)</sup>	n.a.	Sand, grit		scum layers, poor digestion
Wood wastes	60-70	99.6	723	n.a.	∞	n.a.	Unwanted material		poor anaerobic biodegradation
Garden wastes	60-70	90	100-150	0.20-0.50	8-30	n.a.	Soil, cellulosic components	Pesticides	poor degrad. of cellulosic comp.
Grass	20-25	90	12-25	0.55	10	n.a.	Grit	Pesticides	pH-reduction
Grass silage	15-25	90	10-25	0.56	10	n.a.	Grit		pH-reduction
Fruit wastes	15-20	75	35	0.25-0.50	8-20	n.a.	Undegradable fruit remains, grit	Pesticides	pH-reduction
Food remains	10	80	n.a.	0.50-0.60	10-20	70-80	Bones, plastic material	Disinfectants	Sediments, mechanical problems

Πηγή: Steffen R. et al 1998

Τέλος, όπως αναφέρθηκε, η πρώτη ύλη είναι πιθανό να περιέχει χημικούς, βιολογικούς ή φυσικούς μολυσματικούς παράγοντες οι οποίοι εκτός από την ανάσχεση της διαδικασίας της ζύμωσης μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση στο παραγόμενο κομπόστ. Επιβάλλεται στη περίπτωση αυτή ο ποιοτικός έλεγχος όλων των τύπων πρώτης ύλης προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφαλής διάθεση του κομπόστ στους φυσικούς αποδέκτες χωρίς να τίθεται κίνδυνος διατάραξης της περιβαλλοντικής ισορροπίας. Το σχετικό νομοθετικό πλαίσιο που καλύπτει τις προδιαγραφές που πρέπει να ισχύουν σε μονάδες βιομάζας, βιοαερίου καθώς και σε δράσεις διαχείρισης ζωικών υποπροϊόντων, αποτελεί ο κανονισμός 1069/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο, συνέχεια του νόμου 1774/2002 (Σιούλας κ.α. 2009).

### 3.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

#### Πλεονεκτήματα

- ✓ Η αναερόβια χώνευση είναι μια καθαρή διαδικασία παραγωγής ενέργειας. Το παραγόμενο βιοαέριο και συγκεκριμένα το μεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας καλύπτοντας τη μικρή δαπάνη

ενέργειας που απαιτεί η διαδικασία και το αρχικό κόστος της επένδυσης (Gray 2004). Η περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί στο δίκτυο ενώ η περίσσεια θερμότητα να εξυπηρετήσει τις ανάγκες θέρμανσης κτιρίων, προσφέροντας οικονομικό όφελος.

- ✓ Η παραγωγή ενέργειας από μη ορυκτά καύσιμα είναι φιλική προς το περιβάλλον, καθώς μειώνει τις επιπτώσεις στην υπερθέρμανση του πλανήτη, καθώς μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα. Συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών μεθανίου από την ακατέργαστη κοπριά που αποθηκεύεται ή εναποθέτεται στο έδαφος. Επίσης, καθώς το βιοαέριο θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας μπορεί να μειώσει τη ζήτηση σε συμβατικά καύσιμα (Svoboda 2003).
- ✓ Αποτελεσματική καταστροφή ευρύ φάσματος παθογόνων μικροοργανισμών.
- ✓ Οσμές και ένα φάσμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων μπορεί να περιοριστεί αποτελεσματικά.
- ✓ Χρήση του στερεού υπολείμματος της αναερόβιας χώνευσης μετά από κατάλληλη επεξεργασία (κομποστοποίηση) ως εδαφοβελτιωτικού και λιπάσματος. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη μείωση του οργανικού φορτίου, υψηλό ποσοστό άμεσα διαθέσιμων θρεπτικών συστατικών, απαραίτητα στους φυτικούς οργανισμούς και μικρότερο βαθμό αλατότητας σε σχέση με την αερόβια κομποστοποίηση.
- ✓ Μικρότερες απαιτήσεις σε χώρο άρα και μειωμένο κόστος σε σύγκριση με την αερόβια κομποστοποίηση. Αυτό οφείλεται στον μειωμένο όγκο των αποβλήτων για μετέπειτα διάθεση, καθώς η ποσότητα που παράγεται είναι 3-20 φορές μικρότερη από την αντίστοιχη στην αερόβια επεξεργασία (Lettinga et al. 1980; Dennis & Burke 2001).
- ✓ Δυνατότητα συνδιαχείρισης με άλλα είδη οργανικών αποβλήτων όπως βιομηχανικά απόβλητα.

### **Μειονεκτήματα**

- Υψηλό κόστος κεφαλαίου και εξάρτηση από την κατανάλωση ενέργειας (Svoboda 2003).
- Απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού για τη τεχνική υποστήριξη και τον συνεχή έλεγχο της διαδικασίας.
- Διαχείριση ενός μέρους των αποβλήτων και όχι του συνόλου.

- Ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας των εκροών, όπως παστερίωση, για ασφαλή διάθεση τους στο περιβάλλον, καθώς παρατηρείται μικρότερη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών σε σχέση με την αερόβια επεξεργασία (Gray 2004).
- Ευαισθησία των συστημάτων σε μεταβολές διαφόρων παραμέτρων όπως η οργανική φόρτιση, το pH, η θερμοκρασία και των μεθανογόνων μικροοργανισμών στη παρουσία τοξικών ενώσεων.
- Αργή διεργασία σε σχέση με την αερόβια χώνευση, εξαιτίας του μεγάλου χρονικού διαστήματος προσαρμογής της μικροβιακής καλλιέργειας στις νέες συνθήκες (Gerardi 2003). Τα μεθανοβακτήρια παρουσιάζουν, επίσης, μικρό ειδικό ρυθμό ανάπτυξης (Bitton 2005).
- Δυσοσμία του συστήματος ειδικότερα όταν υπάρχουν θειικά στην εισροή.
- Συχνά, μεγάλο μέρος της παραγόμενης ενέργειας πρέπει να χρησιμοποιείται επιτόπου, εξαιτίας της απομακρυσμένης απόστασης της εγκατάστασης βιοαερίου από τη πτηνο-κτηνοτροφική μονάδα. Το μικρό μέγεθος της μονάδας άρα και οι μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια καθιστούν το κόστος μεταφοράς απαγορευτικό. Επιπλέον, οι μονάδες βιοαερίου είναι εγκατεστημένες μακριά από τα αστικά κέντρα, επομένως η διοχέτευση του παραγόμενου βιοαερίου στο δίκτυο επιβάλλει τη κατασκευή αγωγών μεταφοράς του αυξάνοντας την δαπάνη του έργου συνολικά.



**Εικόνα 3.5.1.** Μονάδα Παραγωγής Βιοαερίου (Πηγή: *Cleantech Solutions*)

## 4. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΜΑΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

Η αποτελεσματικότητα της αναερόβιας χώνευσης διαφορετικής σύστασης αποβλήτων και της απόδοσης του αναερόβιου χωνευτήρα κρίνεται από:

- τον ρυθμό παραγωγής μεθανίου
- τον βαθμό ελάττωσης του οργανικού φορτίου
- τη σταθερότητα της μικροβιακής δραστηριότητας
- τη ποσότητα του βιοαερίου που παράγεται και
- φυσικά την οικονομική βιωσιμότητα της διαδικασίας

Τα κριτήρια αυτά επηρεάζονται από κάποιους βασικούς παράγοντες οι οποίοι ελέγχονται με προσοχή καθώς υποδηλώνουν κατά πόσον λειτουργούν ορθά και βέλτιστα οι αναερόβιοι αντιδραστήρες. Τέτοιες παράμετροι είναι η θερμοκρασία, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, το pH, η αλκαλικότητα, η οργανική φόρτιση, η συγκέντρωση πτητικών λιπαρών οξέων, οι διάφορες θρεπτικές ουσίες και η τοξικότητα. Όλες οι παράμετροι παρουσιάζουν σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ τους.

### 4.1. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε τρία θερμοκρασιακά εύρη τα οποία χαρακτηρίζουν και τους μικροοργανισμούς (βακτήρια) που δραστηριοποιούνται μόνο μέσα σε αυτά. Από:

- 10-25°C σε ψυχρόφιλες συνθήκες
- 25-40°C σε μεσόφιλες συνθήκες
- 40-65°C σε θερμόφιλες συνθήκες

Οι ενζυμικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στα μικροβιακά κύτταρα των αναερόβιων μικροοργανισμών εξαρτώνται άμεσα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Σε κάθε θερμοκρασιακό επίπεδο υπάρχει μια τιμή μέγιστης δραστηριότητας. Οι ψυχρόφιλοι μικροοργανισμοί που δραστηριοποιούνται μόνο σε ψυχρόφιλες συνθήκες επιτυγχάνουν το άριστο σημείο ανάπτυξής τους σε επίπεδα θερμοκρασίας μικρότερα των 15°C. Οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί αντίστοιχα έχουν ως θερμοκρασία μέγιστης ανάπτυξης τους 35°C ενώ οι θερμόφιλοι τους 55°C (Μάρη 2000). Έχουν βρεθεί μικροοργανισμοί σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιακών περιοχών από 2°C σε θαλάσσια ιζήματα μέχρι πάνω από 100°C σε γεωθερμικές περιοχές (Ferry 1993). Σε γενικές γραμμές σε πολύ χαμηλή ή υψηλή θερμοκρασία (π.χ. σε θερμοκρασίες μικρότερες των -10°C ή άνω των 90°C) οι

μικροοργανισμοί εξοντώνονται πλήρως. Στην πράξη ο στόχος είναι η πιο αποδοτική παραγωγή σε βιοαέριο. Στη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας από το σύστημα συμπαραγωγής βρίσκει εφαρμογή μόνο η μεσόφιλη και η θερμοφιλή αναερόβια χώνευση. Η θερμοκρασία είναι η βασικότερη παράμετρος στην αναερόβια χώνευση παρεμβαίνοντας άμεσα και έμμεσα σε κάποιες από τις υπόλοιπες παραμέτρους όπως στον χρόνο παραμονής.

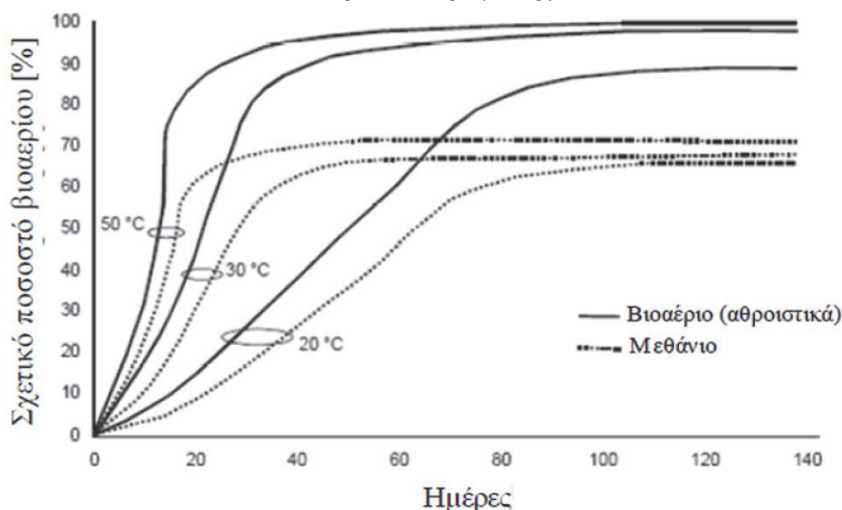
Η θερμοκρασία επηρεάζει το ρυθμό της διεργασίας και τον χρόνο παραμονής των αποβλήτων στον χωνευτήρα. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (Hydraulic Retention Time-HRT) εκφράζει το μέσο χρόνο σε ημέρες που θα πρέπει να μείνουν τα απόβλητα μέσα στον χωνευτήρα. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η αντιστοιχία των τριών θερμοκρασιακών φάσεων της αναερόβιας χώνευσης σε σχέση με τον χρόνο παραμονής.

**Πίνακας 4.1.1: Θερμοκρασιακά Στάδια και αντίστοιχοι Χρόνοι Παραμονής AX**

Θερμοκρασίες	Στάδια	Χρόνοι Παραμονής
10-25°C	ψυχρόφιλη	>100 ημέρες
25-40°C	μεσόφιλη	15-30 ημέρες
40-65°C	θερμοφιλή	<10 ημέρες

Η θερμοκρασία είναι αντιστρόφως ανάλογη με τον χρόνο παραμονής. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στον αναερόβιο χωνευτήρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί που δραστηριοποιούνται σε υψηλές θερμοκρασίες όπως στη θερμοφιλή περιοχή, αυξάνουν τον ρυθμό παραγωγής βιοαερίου, επομένως δεν χρειάζεται τα απόβλητα να παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσα στο χωνευτήρα. Η σχέση του ρυθμού παραγωγής βιοαερίου με τη θερμοκρασία και το χρόνο παραμονής παρουσιάζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.

**Διάγραμμα 4.1.1.: Σχετικοί Ρυθμοί Παραγωγής Βιοαερίου ανάλογα με τη Θερμοκρασία και το Χρόνο Παραμονής**



Πηγή: STMUGV 2004



Ενώ από τη μία οι υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν την αποδοτικότητα του χωνευτήρα από την άλλη οδηγούν το σύστημα σε αστάθεια εμφανίζοντας ευαισθησία ακόμα και στις μικρές αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και της οργανικής φόρτισης. Τα θερμοφιλά βακτήρια είναι πιο ευαίσθητα σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  και απαιτούν περισσότερο χρόνο στο να προσαρμοστούν σε μια νέα θερμοκρασία, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη παραγωγή μεθανίου. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες αποδεικνύονται πιο λειτουργικές καθώς οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί δεν είναι τόσο ευαίσθητοι στις διακυμάνσεις διατηρώντας σταθερό το σύστημα χωρίς να επηρεάζεται η παραγωγή μεθανίου ακόμα και σε μεταβολές  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  ενώ γίνεται καλύτερη επεξεργασία λόγω του μεγαλύτερου χρόνου παραμονής. Αντίστοιχα, όμως, μεγαλώνει το κόστος αφού απαιτείται μεγαλύτερο μέγεθος χωνευτήρα. Σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των  $20^{\circ}\text{C}$ , σε ψυχρόφιλες συνθήκες, η παραγωγή βιοαερίου είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με τις άλλες δύο περιπτώσεις (Σιούλας κ.α. 2009).

Στη πράξη, η θερμοκρασία λειτουργίας επιλέγεται σε συνάρτηση με τον τύπο της πρώτης ύλης και ρυθμίζεται μέσω συστημάτων θέρμανσης εντός του χωνευτήρα. Στις περισσότερες εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου σε παγκόσμιο επίπεδο εφαρμόζεται η μεσόφιλη φάση καθώς συνδυάζει ικανοποιητική σταθερότητα του συστήματος, μικρό χρόνο παραμονής και μέτριες απαιτήσεις σε θέρμανση.

#### 4.2. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (Hydraulic Retention Time - HRT) εκφράζει το μέσο χρόνο σε ημέρες που θα πρέπει να μείνουν τα απόβλητα μέσα στον χωνευτήρα. Επηρεάζει πολλές από τις παραμέτρους λειτουργίας όπως τη θερμοκρασία (βλ. 4.1. Θερμοκρασία). Σχετίζεται με τον όγκο του χωνευτήρα (VR), και τον όγκο του υποστρώματος που τροφοδοτείται στη μονάδα του χρόνου, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση (Agroenergy A.E. 2012):

$$\text{HRT} = \text{VR} / \text{V}$$

όπου

HRT : υδραυλικός χρόνος παραμονής (ημέρες)

VR : όγκος του χωνευτήρα ( $\text{m}^3$ )

V : όγκος του υποστρώματος που τροφοδοτείται στη μονάδα του χρόνου ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

Όσο μεγαλύτερος είναι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής τόσο καλύτερη είναι επεξεργασία των αποβλήτων και η μείωση του οργανικού φορτίου και των οσμών. Από την άλλη, ο

μικρότερος χρόνος παραμονής σημαίνει ακόμα μικρότερο απαιτούμενο μέγεθος χωνευτήρα άρα μικρότερο κόστος εγκατάστασης.

Επίσης, ο χρόνος παραμονής των μικροβιακών στερεών και ο υδραυλικός χρόνος των αποβλήτων στον χωνευτήρα έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη μικροβιακή ισορροπία. Όσο μικρότερος ο χρόνος παραμονής τόσο καλύτερο μικροβιακό υπόστρωμα σχηματίζεται αλλά και τόσο πιο μεγάλος είναι ο όγκος των μεθανοβακτηρίων που απομακρύνονται, οδηγώντας σε χαμηλή παραγωγή βιοαερίου. Με άλλα λόγια, ο χρόνος παραμονής πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος για να εξασφαλιστεί ότι η ποσότητα των βακτηριδίων που αφαιρούνται με τα απόβλητα αποχέτευσης (κομπόστ) δεν θα είναι υψηλότερη από την ποσότητα που αναπαράγεται. Από την άλλη, αυξημένος χρόνος παραμονής οδηγεί σε μεγαλύτερη ποσότητα πτητικών για μετατροπή σε βιοαέριο αλλά και σε μεγαλύτερες ενεργειακές απώλειες του χωνευτήρα. Επομένως, η επεξεργασία των επιμέρους παραμέτρων θα βοηθήσει στον προσδιορισμό του κατάλληλου χρόνου παραμονής για τη βελτιστοποίηση παραγωγής βιοαερίου του χωνευτήρα.

#### 4.3. PH

Η τιμή του pH είναι το μέτρο της οξύτητας/αλκαλικότητας ενός διαλύματος. Η οξύτητα είναι η ικανότητα ενός διαλύματος να εξουδετερώνει ισχυρές βάσεις. Αντίστοιχα, αλκαλικότητα είναι η ικανότητα ενός διαλύματος να εξουδετερώνει ισχυρά οξέα. Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25°C), η κλίμακα pH κυμαίνεται από 0 έως 14. Διαλύματα όπου η τιμή του pH είναι μικρότερη από 7 χαρακτηρίζονται ως όξινα, διαλύματα με pH μεγαλύτερο από 7 χαρακτηρίζονται ως αλκαλικά, ενώ διαλύματα με pH=7 ονομάζονται ουδέτερα. Το pH των αποβλήτων στον αντιδραστήρα είναι ένδειξη της όξινης ή βασικής φύσης των αποβλήτων. Το ευνοϊκότερο εύρος pH για τη μεσόφιλη επεξεργασία είναι μεταξύ 6,8 και 7,5. Η διαδικασία της αναερόβια χώνευσης δύναται να πραγματοποιηθεί ικανοποιητικά και σε τιμές pH 6,5 και 8, όμως πτώση του pH σε τιμές μικρότερες του 6,5 θεωρούνται επικίνδυνες και διαταράσσουν την διαδικασία παραγωγής βιοαερίου. Τιμές κάτω από 6,0 περιγράφουν όξινες συνθήκες οι οποίες θεωρούνται τοξικές για τα μεθανοβακτήρια.

Το pH επηρεάζει την αύξηση των μεθανοβακτηρίων ενώ μπορεί να έχει επιπτώσεις στο διαχωρισμό μερικών ενώσεων που έχουν σημασία για την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης όπως η αμμωνία, το σουλφίδιο και τα οργανικά οξέα. Τα οξεογενή και οξεοπαραγωγά βακτήρια έχουν χαμηλότερη τιμή βέλτιστου pH, κάτω από 5. Οι μεταβολές του pH οφείλονται σε πολλούς παράγοντες. Σημαντικό παράγοντα αποτελεί ο βαθμός συγκέντρωσης των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA). Όσο αυξάνεται η συγκέντρωσή τους τόσο μειώνεται το pH, αλλά όχι συγχρόνως και με τον ίδιο ρυθμό. Το υπόστρωμα του χωνευτήρα διαθέτει ικανότητα ανάσχεσης ή αλλιώς ρυθμιστική ικανότητα η οποία του

επιτρέπει να συγκρατεί το pH σε περίπτωση αύξησης της συγκέντρωσης των πτητικών οξέων. Επομένως, χρειάζεται να αυξηθεί κατά μεγάλο ποσοστό η συγκέντρωση των πτητικών λιπαρών οξέων ώστε να επηρεαστεί το pH και να μειωθεί. (Ward et al. 2008). Παρόλα αυτά, μια μεγάλη συγκέντρωση των πτητικών προκαλεί τοξικότητα στους αναερόβιους μικροοργανισμούς πριν ακόμα καταφέρει να αποτυπωθεί σε μια μεταβολή του pH, με μη αναστρέψιμα αποτελέσματα. Ακόμη ένας παράγοντας που επηρεάζει το επίπεδο του pH είναι η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) η οποία προκαλεί μείωση του pH και αντίστροφα. Το διαλελυμένο διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) σχηματίζει ανθρακικό οξύ ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) από την αντίδραση του με το νερό. Η διαλυτότητα του διοξειδίου του άνθρακα στο νερό μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επομένως, η τιμή του pH στους θερμοφίλους χωνευτήρες είναι υψηλότερη απ' ό,τι στους μεσόφιλους. Τέλος, η τιμή του pH αυξάνεται με την παρουσία αμμωνίας η οποία παράγεται κατά την υποβάθμιση των πρωτεϊνών ή από την παρουσία αμμωνίας στο ρεύμα τροφοδοσίας (Σιούλας κ.α. 2009). Η ρυθμιστική ικανότητα του συστήματος μπορεί να ισοσταθμίσει τις αλλαγές στο pH που προέρχονται από τη συσσώρευση βάσεων ή οξέων στο υλικό του χωνευτήρα, μέχρι ένα ορισμένο επίπεδο. Από εκεί και πέρα εμφανίζονται δραστικές αλλαγές στις τιμές του pH, εμποδίζοντας εξολοκλήρου τη διεργασία. Γι' αυτό το λόγο, το pH θεωρείται ικανοποιητικός δείκτης για τον έλεγχο της αναερόβιας επεξεργασίας μόνο σε υποστρώματα με χαμηλή ρυθμιστική ικανότητα. Σε απόβλητα με υψηλή ρυθμιστική ικανότητα όπως τα οργανικά ο ρόλος του πρέπει να είναι συμπληρωματικός και προτιμάται η χρήση μια άλλης παραμέτρου της ολικής αλκαλικότητας.

Η αλκαλικότητα είναι η ικανότητα ενός διαλύματος να εξουδετερώνει ισχυρά οξέα και καθορίζει την ευκολία ή την δυσκολία με την οποία μπορεί να αλλάξει το pH δηλαδή τη ρυθμιστική ικανότητα ενός διαλύματος. Όταν η αλκαλικότητα είναι χαμηλή, το pH παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις. Αντίθετα, όταν η ολική αλκαλικότητα είναι υψηλή, το pH είναι πιο σταθερό. Εκφράζεται σε χιλιοστοϊσοδύναμα ανά λίτρο (meq/L) ή χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο (mg/L)  $\text{CaCO}_3$ . Η αλκαλικότητα των αποβλήτων οφείλεται κυρίως στο όξινο ανθρακικό ανιόν ή όξινη ανθρακική ρίζα ( $\text{HCO}_3^-$ ) που συγκρατεί το pH. Μια τιμή αλκαλικότητας των αποβλήτων του χωνευτήρα μεταξύ 2500 – 6000 mg/L  $\text{CaCO}_3$  κρατά σταθερό το pH. Η τιμή της αλκαλικότητας εξαρτάται από τη τιμή του pH που επιλέγεται ως τελικό σημείο τιτλοδότησης με ισχυρό οξύ συνήθως θειικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) και θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή γιατί επηρεάζεται από τη σύνθεση των αποβλήτων. Όταν υπολογίζουμε την ολική αλκαλικότητα (total alkalinity) η συνήθης τιμή pH στην οποία σταματάει η μέτρηση είναι 4,2 με 4,3. Όταν υπολογίζουμε την διττανθρακική αλκαλικότητα (bicarbonate alkalinity) δηλαδή την αλκαλικότητα των  $\text{HCO}_3^-$  στο δείγμα τότε συνήθης τιμή είναι το 5,8. Μέσω της διττανθρακικής αλκαλικότητας μπορεί να υπολογιστεί επίσης μια παρεμφερής παράμετρος, η τιμή b value η οποία συμβολίζει τη κλίση της καμπύλης τιτλοδότησης και εκφράζει την ένταση της ρυθμιστικής ικανότητας ανά pH του υποστρώματος στον χωνευτήρα. Αποτελεί πιο ευαίσθητη παράμετρο από το pH και την αλκαλικότητα (Γεωργακάκης 2010a).

#### 4.4. ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

Η (ογκομετρική) οργανική φόρτιση είναι το ποσό οργανικού φορτίου στο περιεχόμενο ενός χωνευτήρα, εκφρασμένο σε χημική ζήτηση οξυγόνου (COD) ή Πτητικά Στερεά (Volatile Solids, VS), ανά  $m^3$  ωφέλιμου όγκου χωνευτήρα ανά ημέρα. Εκφράζεται μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$L_V = (Q \cdot S_o) / V \text{ ή } L_V = S_o / \text{HRT}$$

όπου

$L_V$ = ογκομετρική οργανική φόρτιση (kg COD ή VS/ $m^3$ -d ή ημ)

$Q$ = μέση εισερχόμενη παροχή ( $m^3/d$  ή ημ.)

$S_o$ = εισερχόμενη συγκέντρωση COD ή VS (kg COD ή VS/ $m^3$ )

$V$ = ολικός όγκος του χωνευτήρα ( $m^3$ )

HRT= υδραυλικός χρόνος παραμονής

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 στο χρόνο. Στην πράξη μπορούμε να ελέγξουμε την ογκομετρική φόρτιση του χωνευτήρα με συμπύκνωση ή ανάμιξη διαφορετικών ειδών αποβλήτων βασιζόμενοι στο λόγο C/N (βλ. 4.7. Αμμωνία κα.). Ο κατάλληλος συνδυασμός αποβλήτων επιτρέπει βέλτιστη παραγωγή βιοαερίου και ισορροπημένη δράση των αναερόβιων μικροοργανισμών (Γεωργακάκης 2010a · Φουντουλάκης 2012).

Με την αναερόβια χώνευση επιτυγχάνεται μείωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων έτσι ώστε να μπορούν να διατεθούν στους φυσικούς αποδέκτες χωρίς να δημιουργήσουν προβλήματα στο περιβάλλον. Όσο λιγότερα υπολείμματα παραχθούν από την επεξεργασία τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ελάττωση του ρυπαντικού φορτίου και η παραγωγή μεθανίου των αποβλήτων. Ωστόσο, κάποια οργανικά συστατικά των αποβλήτων είναι πιο δύσκολο ή αδύνατο να διασπαστούν από τους μικροοργανισμούς, λόγω του ότι παρουσιάζουν χαμηλό βαθμό βιοδιάσπασης. Σε αυτή τη περίπτωση η λειτουργία του χωνευτήρα πιθανόν να βρεθεί σε κίνδυνο, καθώς θα παρατηρηθεί αύξηση στη συγκέντρωση λιπαρών οξέων, πτώση του pH και μείωση του παραγόμενου βιοαερίου. Μεγαλύτερη ποσότητα μεθανίου παράγουν τα λίπη, οι πρωτεΐνες και ακολουθούν οι υδατάνθρακες. Σε διάφορα συστατικά, όπως η λιγνίνη για παράδειγμα, που δεν βιοδιασπάται πολλές φορές εφαρμόζονται κάποιες φυσικές και χημικές διαδικασίες για να υποβοηθηθεί η αναερόβια χώνευση.

#### 4.5. ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου είναι η ποσότητα βιοαερίου που παράγεται ανά μονάδα συνολικής εισερχόμενης ιλύος εντός του χωνευτήρα σε 0 °C και 1 atm (Drawnel 2008).

$$VBP = Q \text{ biogas} / V \text{ digester}$$

όπου

VBP: ογκομετρική παραγωγή αερίου (Nm<sup>3</sup> βιοαερίου / m<sup>3</sup> όγκος ενεργής ιλύος / d ή ημ. ανά ημέρα)

Q βιοαέριο: όγκος παραγόμενου βιοαερίου σε 0 °C και 1 atm (Nm<sup>3</sup>/d ή ημ.)

V digester: όγκος της εισερχόμενης ιλύος εντός του χωνευτήρα ανά ημέρα (m<sup>3</sup>/d ή ημ.)

Εναλλακτικά, ογκομετρική φόρτιση είναι η ημερήσια παραγωγή βιοαερίου που αντιστοιχεί σε 1m<sup>3</sup> ωφέλιμου ενεργού όγκου χωνευτήρα (m<sup>3</sup><sub>ωφ. χων-ημ.</sub>).

Είναι πολλαπλάσιο της παραγωγής βιοαερίου (Bv) από το αρχικό φορτίο (So) των εισερχόμενων υγρών κατά το χρόνο παραμονής (HRT):

$$VBP = Bv * HRT$$

Από τη βιβλιογραφία και την ερευνητική εμπειρία του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών του ΓΠΑ οι τιμές ογκομετρικής παραγωγής βιοαερίου κυμαίνονται από 0,8 μέχρι 2,4 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup><sub>ωφ. χων-ημ.</sub>, ανάλογα με το είδος και τη σύσταση των εισερχόμενων υγρών στον αναερόβιο χωνευτήρα. Η ογκομετρική παραγωγή μπορεί να εκφραστεί και σε μονάδες μεθανίου (Γεωργακάκης 2010a).

#### 4.6. ΠΤΗΤΙΚΑ ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ

Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει την λειτουργία της αναερόβιας χώνευσης και κυρίως την ευστάθεια της διεργασίας είναι η συγκέντρωση των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA). Τα πτητικά λιπαρά οξέα (VFA) είναι ενδιάμεσες ενώσεις που παράγονται κατά τη διάρκεια της ακετογένεσης, με μια αλυσίδα άνθρακα από έξι ή λιγότερα άτομα. Το 72% της οργανικής ουσίας μετατρέπεται απευθείας σε οξικό οξύ γι' αυτό το λόγο αποτελεί το σημαντικότερο ανάμεσα στα πτητικά λιπαρά οξέα. Άλλα VFA είναι το μυρμηκικό, το προπιονικό, το βουτυρικό, το βαλερικό, το ισοβαλερικό και το γαλακτικό οξύ.

Μια μεταβολή στις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό του χωνευτήρα επηρεάζει τον ρυθμό ανάπτυξης ορισμένων αναερόβιων βακτηρίων, όπως είναι τα οξέοτροφα και τα μεθανοβακτήρια, που δεν έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζονται εύκολα τον μεταβολισμό τους στην αλλαγή προκαλώντας ανισορροπία στο σύστημα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, μια αστάθεια στη διεργασία θα οδηγήσει στη συσσώρευση VFA και αλκοολών μέσα στον χωνευτήρα, και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πτώση της τιμής του pH. Η συσσώρευση VFA, δεν εκφράζεται πάντοτε ως πτώση του pH, λόγω της ρυθμιστικής ικανότητας του συστήματος που αναφέρθηκε παραπάνω (βλ. 4.3. pH) (Σιούλας κ.α. 2009). Κάτω από σταθερές συνθήκες η περιεκτικότητα σε πτητικά λιπαρά οξέα του υποστρώματος του χωνευτήρα κυμαίνεται μεταξύ 50 – 250 mg/L οξικού οξέος (Γεωργακάκης 2010a). Ωστόσο, μια απλή μέτρηση της συγκέντρωσης των πτητικών δεν δίνει σαφείς πληροφορίες για την εξέλιξη της αναερόβιας χώνευσης. Περισσότερο αξιόπιστη μέθοδος θεωρείται η μέτρηση της μεταβολής της συγκέντρωσης των VFA στο υλικό του χωνευτήρα σε σχέση με το χρόνο.

#### 4.7. ΑΜΜΩΝΙΑ, ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ

Οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί προκειμένου να αναπτυχθούν χρειάζονται κάποια θρεπτικά συστατικά όπως είναι ο άνθρακας, το άζωτο, ο φώσφορος και το θείο. Η βέλτιστη αναλογία των συγκεκριμένων θρεπτικών στοιχείων (C:N:P:S) είναι περίπου 600:15:5:1 αντίστοιχα. Ιδιαίτερη σημασία δίδεται στα δύο πρώτα στοιχεία και στην αναλογία με την οποία εμφανίζονται μέσα στον χωνευτήρα.

Ο λόγος C/N εκφράζει τη συγκέντρωση του οργανικού άνθρακα (C) σε σχέση με αυτή του αζώτου (N) και επηρεάζει το ρυθμό παραγωγής μεθανίου και την οργανική φόρτιση. Οι άριστες τιμές του λόγου είναι 18/1 περίπου. Σταθερότητα του συστήματος επιτυγχάνεται σε λόγους 10/1 και πάνω. Τα απόβλητα των πτηνοκτηνοτροφικών μονάδων, για παράδειγμα, έχουν μικρό λόγο C/N και απαιτείται ο εμπλουτισμός τους με οργανικό άνθρακα ώστε πλησιάσουν τις άριστες τιμές. Ο εμπλουτισμός των αποβλήτων πτηνοτροφείου γίνεται με προσθήκη απόβλητων που παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα και χαμηλή συγκέντρωση αζώτου όπως είναι τα απόβλητα τυροκομείων (C/N = 50/1) (Georgakakis et al. 1982 · Μάρμολος 2007).

Η αμμωνία (NH<sub>3</sub>) είναι ένωση υδρογόνου και αζώτου, συναντάται σε αέρια μορφή και έχει έντονη οσμή και γεύση. Έχει ιδιαίτερη λειτουργία στη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης, καθώς αποτελεί σημαντική θρεπτική ουσία η οποία χρησιμεύει σαν πρόδρομος των τροφίμων και των λιπασμάτων. Υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας παρατηρείται στα πτηνοκτηνοτροφικά απόβλητα, λόγω της ουρίας. Ειδικότερα η ελεύθερη αμμωνία δηλαδή σε μη ιονισμένη μορφή είναι υπεύθυνη για την παρεμπόδιση της διεργασίας της

αναερόβιας χώνευσης. Η τιμή της συγκέντρωσης που είναι τοξική στους μικροοργανισμούς εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι η θερμοκρασία, το pH και η συγκέντρωση των πτητικών λιπαρών οξέων, καθώς και από τον τρόπο που εκτίθεται στα μεθανοβακτήρια, με την ελεύθερη μορφή να είναι πιο τοξική από την ιονισμένη μορφή (Malina et al. 1992). Όταν μια διεργασία παρεμποδίζεται με την αμμωνία, μια αύξηση στη συγκέντρωση των VFA θα οδηγήσει σε μείωση του pH. Αυτό θα αλληλοαναιρέσει εν μέρει την επίδραση της αμμωνίας, λόγω μιας μείωσης στη συγκέντρωση της ελεύθερης αμμωνίας. Η συγκέντρωση αμμωνίας που παρεμποδίζει την παραγωγή μεθανίου είναι μεταξύ 1500 και 3000 mg/L ενώ από 4000 mg/L και πάνω επέρχεται πλήρης αναστολή της διεργασίας (Stronach et al. 1986). Από την άλλη μεριά, ο μη μεθανογόνος πληθυσμός επηρεάζεται σε συγκεντρώσεις αμμωνίας μεγαλύτερες από 6000 mg/L (Cross et al. 1982). Οι οξικολυτικοί μεθανογόνοι είναι πιο ευαίσθητοι από τους υδρογονοτροφικούς μεθανογόνους. Έρευνες έχουν δείξει ότι έπειτα από κατάλληλη προσαρμογή για κάποιο χρονικό διάστημα (έξι μήνες), οι μικροοργανισμοί μπορούν να αντέξουν σε υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας (4-6 g/L) (Gallert & Winter 1997).

Υπάρχουν επίσης κάποιες ουσίες εξίσου σημαντικές για την αύξηση και την επιβίωση των μικροοργανισμών της αναερόβιας χώνευσης, που συναντώνται σε μικρότερες ποσότητες. Τα ιχνοστοιχεία αυτά είναι ο σίδηρος, το νικέλιο, το κοβάλτιο, το σελήνιο, το μολυβδαίνιο και το βολφράμιο. Η ανεπαρκής παροχή θρεπτικών ουσιών και ιχνοστοιχείων, καθώς επίσης και η πάρα πολύ υψηλή χωνευτικότητα του υποστρώματος μπορούν να προκαλέσουν παρεμπόδιση και διαταραχές στη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Από την άλλη μεριά προβλήματα μπορεί να προκληθούν στο χημικό περιβάλλον του αντιδραστήρα από την υψηλή συγκέντρωση κάποιων ιχνοστοιχείων, όπως ο Fe (Sprece 1987). Αξίζει να σημειωθεί ότι για τους αυστηρά αναερόβιους μικροοργανισμούς όπως είναι οι περισσότεροι μεθανογόνοι, παρουσία οξυγόνου ακόμα και σε ίχνη είναι παράγοντας παρεμπόδισης για την αναερόβια χώνευση (Κοψαχειλίδης 2009).

Τέλος, ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη δραστηριότητα των αναερόβιων μικροοργανισμών είναι η παρουσία τοξικών ενώσεων. Αυτές μπορούν να μεταφερθούν στο σύστημα της αναερόβιας χώνευσης μαζί με την πρώτη ύλη ή παράγονται κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Η παρουσία τοξικών στοιχείων στο χωνευτήρα, όπως αντιβιοτικά και φάρμακα προκαλεί αύξηση στη συγκέντρωση λιπαρών οξέων, πτώση του pH και μείωση του παραγόμενου βιοαερίου καθώς τα μεθανοβακτήρια είναι αρκετά ευαίσθητα και επηρεάζονται εύκολα από τη παρουσία τέτοιων ουσιών ακόμα και σε μικρές ποσότητες (Sprece 1987). Η δυσλειτουργία αυτή αντιμετωπίζεται με συνετή χρήση των φαρμάκων και αραίωση των αποβλήτων με νερά πλυσίματος. Παρόλα αυτά είναι δύσκολη η εφαρμογή κατώτατων οριακών τιμών για τα τοξικά υλικά καθώς οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί είναι σε θέση να προσαρμόζονται, μέχρι κάποια όρια, στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ακόμη οι τοξικές ουσίες πολλές φορές έχουν τη δυνατότητα δεσμεύονται μέσω χημικών αντιδράσεων χωρίς να προκαλούν προβλήματα στο σύστημα.

## 5. ΒΙΟΑΕΡΙΟ

### 5.1. ΣΥΣΤΑΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το βιοαέριο είναι ένα μίγμα διαφόρων αερίων. Μια τυπική σύσταση του βιοαερίου δίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 5.1.1.: Τυπική Χημική Σύσταση του Βιοαερίου

Συστατικό	Χημικός Τύπος	Περιεκτικότητα (% κ.ο.)
Μεθάνιο	CH <sub>4</sub>	55-70
Διοξείδιο του άνθρακα	CO <sub>2</sub>	30-45
Άζωτο	N <sub>2</sub>	0-5
Οξυγόνο	O <sub>2</sub>	<1
Υδρογονάνθρακες	C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>	<1
Υδρόθειο	H <sub>2</sub> S	0-0,5
Αμμωνία	NH <sub>3</sub>	0-0,05
Υδρατμοί	H <sub>2</sub> O	1-5
Σιλοξάνες	C <sub>n</sub> H <sub>2n+1</sub> SiO	0-50 g/m <sup>3</sup>

Πηγή: Biomass Energy 2012

Το ποσοστό του μεθανίου CH<sub>4</sub> που συναντάται στο βιοαέριο μπορεί να φτάσει μέχρι και το 90% ανάλογα με την προέλευση των αποβλήτων. Στη παραγωγή βιοαερίου από υγρά απόβλητα χοιροστασιών περιέχεται μεθάνιο σε ποσοστό 60-70%, στα απόβλητα βουστασιών 60-80%, στα απόβλητα ελαιοτριβείων και τυροκομείων 80-85%. Εκτός από μεθάνιο, το μίγμα του βιοαερίου, όπως διαπιστώνεται από τον πίνακα, περιέχει σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το οποίο είναι μη καύσιμο αέριο. Σε ορισμένες περιπτώσεις το ποσοστό του στο βιοαέριο μπορεί να είναι πολύ μικρό φτάνοντας το 5%. Πέρα από το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα που περιέχονται σε μεγαλύτερο ποσοστό στο βιοαέριο, παρατηρούνται ίχνη άλλων αερίων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα CO, το υδρογόνο H<sub>2</sub> (1-3%), το οξυγόνο O<sub>2</sub> (0,1-1%) και το άζωτο N<sub>2</sub> (0,5-3%) (Γεωργακάκης 2010a). Το άζωτο και το οξυγόνο στο βιοαέριο βρίσκονται, συνήθως, σε αναλογία 4:1. Η παρουσία τους οφείλεται στην εσκεμμένη ανάμιξη του θερμού βιοαερίου με αέρα, για την απομάκρυνση του υδρόθειου. Η περιεκτικότητα της αμμωνίας στο βιοαέριο είναι στις περισσότερες περιπτώσεις πολύ μικρή και δεν υπερβαίνει τα 0,1



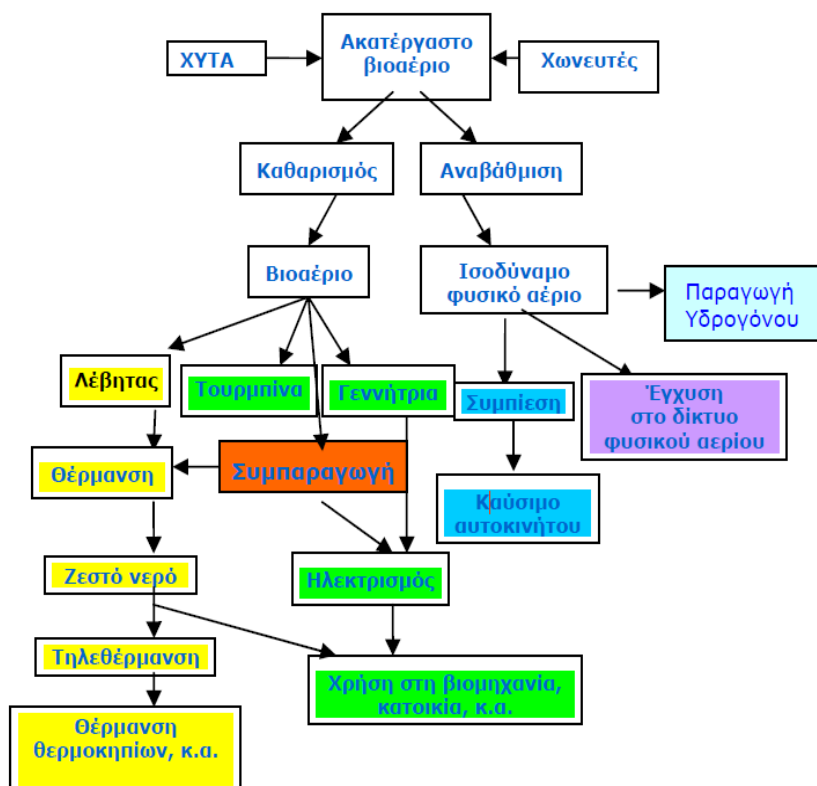
mg/m<sup>3</sup>. Η ύπαρξη αυξημένων συγκεντρώσεων αμμωνίας υποδηλώνει ότι έχει χρησιμοποιηθεί κατά την αναερόβια χώνευση υλικό με υψηλή συγκέντρωση σε άζωτο (π.χ. κοπριά πουλερικών).

Αντιθέτως, η συγκέντρωση του υδρόθειου στο βιοαέριο είναι καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα του βιοαερίου. Χωρίς να χρησιμοποιηθεί κάποιο στάδιο αποθείωσης του βιοαερίου η συγκέντρωση του μπορεί να ξεπεράσει τα 0,2% κ.ο. Στις μηχανές συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (CHP), η ποσότητα αυτή είναι ικανή να δημιουργήσει διάβρωση στις σωληνώσεις. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές μηχανών, ανώτατο όριο στην συγκέντρωση υδρόθειου στο βιοαέριο είναι η τιμή του 0,05 % κ.ο. Ένα επιπλέον θέμα που προκύπτει από την ύπαρξη υδρόθειου σε υψηλά επίπεδα είναι οι αυξημένες εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) από την μονάδα. Λόγω των βιοχημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά την αναερόβια χώνευση προκαλείται η δημιουργία υδρατμών. Όπως και το υδρόθειο, έτσι και η παρουσία των υδρατμών είναι ανεπιθύμητη, καθώς προκαλεί προβλήματα στον μηχανολογικό εξοπλισμό. Υψηλές συγκεντρώσεις υδρατμών καθιστούν ακόμα και το διοξείδιο του άνθρακα επιβλαβές, λόγω του σχηματισμού μικρών ποσοτήτων ανθρακικού οξέος (Biomass Energy 2012).

Οι σιλοζάνες, τέλος, είναι ενώσεις του πυριτίου και προέρχονται ως επί το πλείστον από συγκεκριμένες κατηγορίες υλικών όπως είναι τα αστικά στερεά ή υγρά απόβλητα που συμμετέχουν στην αναερόβια χώνευση. Η παρουσία τους είναι έντονη στο βιοαέριο που παράγεται από απόβλητα χωματερής ή βιολογικού καθαρισμού, ενώ δεν αποτελεί πρόβλημα για τις αγροτικές μονάδες βιοαερίου. Η παρουσία των σιλοζανών στο βιοαέριο είναι ιδιαίτερα ανεπιθύμητη, καθώς έχουν την τάση, σε υψηλές θερμοκρασίες, να αντιδρούν με το οξυγόνο και να σχηματίζουν διοξείδιο του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>) το οποίο επικάθεται σε διάφορα μέρη του μηχανολογικού εξοπλισμού δημιουργώντας τους σοβαρότατες φθορές (Biomass Energy 2012).

## 5.2. ΧΡΗΣΕΙΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το βιοαέριο βρίσκει πολλές εφαρμογές ως εναλλακτική πηγή ενέργειας. Η προέλευση των αποβλήτων και το είδος των αναγκών για ενέργεια καθορίζουν τη χρήση του βιοαερίου που θα παραχθεί.



Εικόνα 5.2.1. Χρήσεις Βιοαερίου (Πηγή: Σιούλας κ.α. 2009)

Συγκεκριμένα, οι βασικές χρήσεις του περιλαμβάνουν (Σιούλας κ.α. 2009):

- Άμεση Καύση

Η άμεση καύση του βιοαερίου αποτελεί τον απλούστερο τρόπο χρήσης. Στις αναπτυσσόμενες χώρες το βιοαέριο παράγεται από χωνευτήρες οικογενειακής κλίμακας το οποίο έπειτα διοχετεύεται σε λέβητες (boilers) ή καυστήρες. Στις αναπτυγμένες χώρες χρησιμοποιείται σε καυστήρες φυσικού αερίου, καθώς η χρήση τους είναι παρόμοια. Σκοπός είναι η παραγωγή θερμότητας η οποία είναι είτε άμεση, είτε σε δεύτερο χρόνο, καθώς το βιοαέριο μπορεί να διοχετευτεί μέσω σωληνώσεων για μετέπειτα κατανάλωση. Η επεξεργασία του βιοαερίου για παραγωγή θερμότητας περιλαμβάνει συμπύκνωση, αφαίρεση σωματιδίων, συμπίεση, ψύξη και αφυδάτωση. Συγκεκριμένα, από τη σύστασή του αφαιρείται το υδρόθειο ( $H_2S$ ) και το νερό έπειτα από συμπύκνωση των υδρατμών δεδομένου ότι είναι λειτουργούν ως διαβρωτικά και δημιουργούν προβλήματα στην

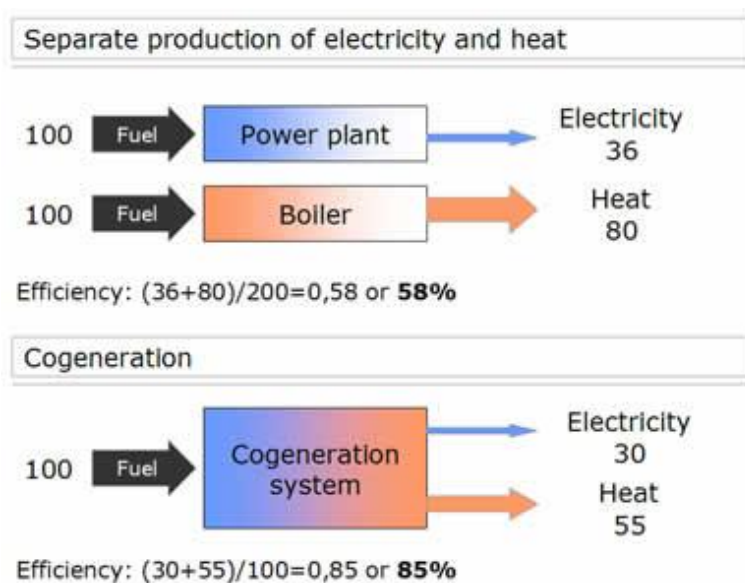
εγκατάσταση. Δεν χρειάζεται καμία αναβάθμιση και δεν δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα ρύπανσης σε σχέση με άλλες χρήσεις του.

- Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (CHP)

Στις ανεπτυγμένες χώρες, το βιοαέριο, συνήθως, χρησιμοποιείται στη συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP- *Combined Heat and Power*). Αποτελεί μια πολύ αποδοτική χρήση του βιοαερίου για την παραγωγή ενέργειας. Για να γίνει η μετατροπή της CHP το βιοαέριο υφίσταται στράγγιση και ξήρανση. Για τη συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας τα συστήματα που χρησιμοποιούνται είναι:

- Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ)
- Αεριοστρόβιλοι (κύκλος Joule)
- Ατμοστρόβιλοι (κύκλος Rankine)
- Μικροστρόβιλοι (ή μικροτουρμπίνες)
- Κυψέλες Καυσίμου (fuel cells)
- Μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου
- Συστήματα συμπαράγωγής μικρής κλίμακας (μΣΗΘ)

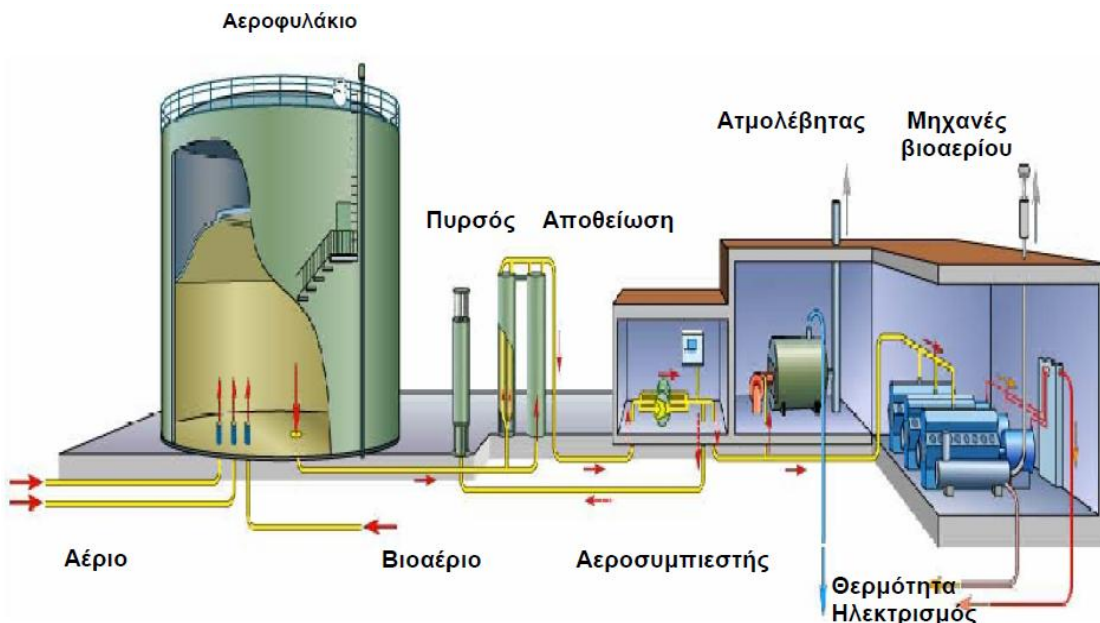
Η πιο συνήθης εφαρμογή των μονάδων CHP είναι οι θερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής τύπου κορμού (BTTP) με κινητήρες καύσης που συνδέονται με μια γεννήτρια. Οι κινητήρες καύσης μπορεί να είναι μηχανές έγχυσης τύπου Otto, Diesel, ή Stirling. Μια μονάδα τέτοιου τύπου έχει αποδοτικότητα μέχρι 90%, παράγοντας 35% ηλεκτρική ενέργεια και 65% θερμότητα. Γενικά, η Συμπαράγωγή προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας που κυμαίνεται μεταξύ 15% έως 40% σε σύγκριση με την ξεχωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από συμβατικά συστήματα όπως οι ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί και οι λέβητες νερού/ατμού.



**Εικόνα 5.2.2.** Συμπαράγωγή Ηλεκτρικής & Θερμικής Ενέργειας (ΣΗΘ)  
(Πηγή: Marac Electronics S.A.)

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο βιοαερίου του Κ. Σιούλας, «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». Με αυτό τον τρόπο καλύπτονται οι ανάγκες της εγκατάστασης σε ηλεκτρική ενέργεια. Σε πολλές χώρες όλη η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια και η ηλεκτρική ενέργεια της διεργασίας αγοράζεται από το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο, όπου τα τιμολόγια αγοράς της ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το Ηνωμένο Βασίλειο όπου η πώληση ηλεκτρικής ενέργειας από απόβλητα υγειονομικής ταφής στο δίκτυο είναι δημοφιλής τρόπος χρήσης του βιοαερίου.

Εκτός όμως από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στη CHP παράγεται και θερμότητα. 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 ως θερμότητα διεργασίας για τη θέρμανση των χωνευτήρων, την αποστείρωση του κομπόστ και για τη κάλυψη αναγκών εκτός μονάδας (Σανδάλης 2012). Οι κυριότερες χρήσεις της παραγόμενης θερμότητας σχετίζονται με βιομηχανικές διεργασίες, γεωργικές δραστηριότητες, τη θέρμανση κτιρίων και νοικοκυριών ιδίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Καταλληλότερος χρήστης της θερμότητας θεωρείται η βιομηχανία, δεδομένου ότι η ζήτηση είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αρχικά, πολλές εγκαταστάσεις βιοαερίου σε χώρες όπως η Γερμανία σχεδιάστηκαν αποκλειστικά για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς πρόβλεψη για χρήση της θερμότητας. Σήμερα, για την επίτευξη της βιωσιμότητας μιας εγκατάστασης είναι υποχρεωτική η χρήση της θερμότητας γι' αυτό το λόγο πρέπει να περιλαμβάνεται στον γενικό σχεδιασμό της.



**Εικόνα 5.2.3.** Ενεργειακή Αξιοποίηση Βιοαερίου για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Θερμότητας (Πηγή: Jenbacher)

- Αναβάθμιση Βιοαερίου (Βιομεθάνιο)

Το βιοαέριο μπορεί να αντικαταστήσει τη χρήση του φυσικού αερίου. Προκειμένου το βιοαέριο να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων ή να διοχετευτεί στο δίκτυο φυσικού αερίου, υφίσταται μία διαδικασία αναβάθμισης. Αρχικά, γίνεται απομάκρυνση ορισμένων συστατικών όπως είναι το υδρόθειο ( $H_2S$ ), η αμμωνία ( $NH_3$ ) και οι υδρατμοί ( $H_2O$ ) τα οποία λειτουργούν ως διαβρωτικά. Ακολουθεί η αναβάθμισή του με την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) και προσθήκη προπανίου ( $C_3H_8$ ). Λόγω των μειωμένων εκπομπών  $CO_2$  και της αφαίρεσης πολλών ρυπογόνων συστατικών είναι πολύ φιλικό προς το περιβάλλον σε σχέση με τη χρήση συμβατικών καυσίμων. Έπειτα ενισχύεται το περιεχόμενό του σε μεθάνιο από το συνηθισμένο 50-75% σε περισσότερο από 95%. Το αναβαθμισμένο βιοαέριο ονομάζεται βιομεθάνιο.

Το βιομεθάνιο μπορεί να διανεμηθεί μέσω των υπάρχοντων δικτύων φυσικού αερίου και να χρησιμοποιηθεί για τους ίδιους σκοπούς όπως το φυσικό αέριο αφότου συμπιεστεί στην πίεση των αγωγών. Η δυνατότητα έγχυσης στο δίκτυο μειώνει αρκετά το κόστος καθώς δεν απαιτείται η κατασκευή νέων σωληνώσεων ώστε να συνδέονται οι απομακρυσμένες περιοχές των εγκαταστάσεων με τους τελικούς χρήστες στα αστικά κέντρα. Η μόνη επέμβαση είναι η δημιουργία μιας μικρής μονάδας CHP ή ενός καυστήρα για την αξιοποίηση της ενέργειας διεργασίας. Σε περίπτωση που το βιομεθάνιο προορίζεται για ανανεώσιμο καύσιμο μεταφορών περνά πρώτα από συμπίεση. Με μικρές μετατροπές στα οχήματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Το βιομεθάνιο ως καύσιμο οχημάτων έχει το υψηλότερο ενεργειακό δυναμικό σε σχέση με τα υπόλοιπα βιοκαύσιμα, ιδιαίτερα όταν προέρχεται από απόβλητα. Το κόστος παραγωγής αναβαθμισμένου βιοαερίου είναι υψηλό, εντούτοις έχει αναπτυχθεί σε χώρες της Ευρώπης και συγκεκριμένα στην Ελβετία, τη Γαλλία, τη Σουηδία και τη Γερμανία.

Τέλος, το μεθάνιο και το  $CO_2$  που παράγονται από το βιοαέριο χρησιμοποιούνται στη χημική βιομηχανία. Το καθαρό  $CO_2$  χρησιμοποιείται για την παραγωγή πολυανθράκων, ξηρού πάγου, αμμοβολής με  $CO_2$  και ως λίπασμα. Στο μέλλον εξετάζεται η παραγωγή υδρογόνου από βιοαέριο αναβαθμισμένο ή μη μέσω της καταλυτικής αναμόρφωσής του (biogas reforming) με σκοπό τη μετατροπή του σε ενέργεια. Το υδρογόνο αποτελεί καθαρή ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, ασφαλής ως προς την αποθήκευση και τη μεταφορά της, με υψηλή θερμογόνο δύναμη.

### 5.3. ΤΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Δεν υπάρχει συγκεκριμένη νομοθεσία για το βιοαέριο στην Ελλάδα. Η ανάπτυξη των έργων βιοαερίου και η εκμετάλλευσή του εντάσσεται κυρίως στο πλαίσιο των διατάξεων της γενικότερης νομοθεσίας για τις ΑΠΕ και των οικονομικών κινήτρων καθώς

και στην ελληνική περιβαλλοντική πολιτική για τη διαχείριση των αποβλήτων. Το θεσμικό πλαίσιο που καλύπτει τις ΑΠΕ στην Ελλάδα ακολουθεί τις διεθνείς Οδηγίες και τους Κανονισμούς.

Τα πρώτα βήματα για την ανάπτυξη του βιοαερίου στην Ελλάδα έγιναν την δεκαετία του '80 μέσω της επεξεργασίας ζωικών και οργανικών αποβλήτων γεωργικών βιομηχανιών (ελαιουργεία). Τότε εγκρίθηκε ο πρώτος νόμος για τις ΑΠΕ 1559/1985 (ΦΕΚ 135/Α/85) με μικρή βέβαια εφαρμογή. Τα περισσότερα έργα τότε είχαν χαρακτήρα επιδεικτικό και μετά τον αρχικό ενθουσιασμό και την ασφάλεια της επιστημονικής υποστήριξης, οδηγήθηκαν σε αχρηστία. Κύριες αιτίες για αυτό ήταν η έλλειψη πληροφόρησης, κατάλληλης υποδομής, κρατικού ενδιαφέροντος και οικονομικών κινήτρων. Ακολούθησαν διάφοροι νόμοι κατά τις επόμενες δεκαετίες προσανατολισμένοι κυρίως στη παραγωγή ηλεκτρισμού από ΑΠΕ, στην απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας και τη περιβαλλοντική προστασία με γνώμονα το πρωτόκολλο του Κιότο. Η Οδηγία 2003/30/ΕΚ, που αναφέρθηκε νωρίτερα, με σκοπό την προώθηση των βιοκαυσίμων στην Ε.Ε., μεταφέρθηκε στο εθνικό δίκαιο μέσω αυτού του νόμου 3423/2005 για την «Εισαγωγή στην Ελληνική Αγορά των Βιοκαυσίμων και των άλλων Ανανεώσιμων Καυσίμων» (ΦΕΚ 304/Α/05). Ενδεικτικοί στόχοι σύμφωνα με την Οδηγία ήταν τα βιοκαύσιμα και τα άλλα ανανεώσιμα καύσιμα να καλύπτουν το 2% του ενεργειακού περιεχομένου μέχρι τα τέλη του 2005 και το 5,75% μέχρι τα τέλη του 2010. Ο Νόμος 3468/2006 παρέχει το νομοθετικό πλαίσιο και εναρμονίζει την Οδηγία 2001/77/ΕΚ στο εθνικό δίκαιο. Σκοπός του ήταν η «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις». Συγκεκριμένα, έθετε νέες διοικητικές διαδικασίες για την προώθηση των ΑΠΕ, διευκόλυνε την αδειοδότηση και θέσπιζε ένα νέο σύστημα τιμολόγησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ. Εθνικός στόχος ήταν καλύπτουν οι ΑΠΕ σε ποσοστό εγχώριας ακαθάριστης κατανάλωσης το 20,1% μέχρι το 2010 και το 29% μέχρι το 2020.

Ακόμα κάποιοι νόμοι τα επόμενα έτη περιελάμβαναν άρθρα σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων, τον χωροταξικό σχεδιασμό των εγκαταστάσεων και την συμπαράγωγή ενέργειας. Χρήσιμο νομοθετικό εγχειρίδιο σε μονάδες βιομάζας, βιοαερίου καθώς και σε δράσεις διαχείρισης ζωικών υποπροϊόντων αποτελεί ο κανονισμός 1069/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα που δε προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο και που έρχεται σε συνέχεια του νόμου 1774/2002 για την έγκριση μονάδων παραγωγής βιοαερίου και μονάδων λιπασματοποίησης. Τέλος, κυρίαρχο νομοθετικό πλαίσιο για την πορεία του βιοαερίου στην Ελλάδα, αποτελεί ο Νόμος 3851/2010 με βάση την Οδηγία 2009/28/ΕΚ για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ο οποίος έρχεται να αναβαθμίσει τον Ν. 3468/2006. Θέτει ως επιπρόσθετους εθνικούς στόχους η συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. να καλύπτει το 20% της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας, το 40% της ακαθάριστης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, το 20% της τελικής κατανάλωσης

ενέργειας για θέρμανση και ψύξη και το 10% της τελικής κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές.

Μεγάλες είναι οι προοπτικές ανάπτυξης της αγοράς βιοαερίου στην Ελλάδα, παρά την ύφεση, σύμφωνα με τον υπεύθυνο δέσμης έργων βιοαερίου του ΚΑΠΕ, Χ. Ζαφείρη (2012). Σήμερα λειτουργούν δεκαπέντε μονάδες βιοαερίου στην Ελλάδα. Στις περισσότερες των περιπτώσεων η εκμετάλλευση του βιοαερίου καλύπτει θερμικές ανάγκες των μονάδων. Το μεγαλύτερο τμήμα της ενέργειας παράγεται στην Αθήνα λόγω της λειτουργία μονάδων βιοαερίου στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) της Ψυτάλλειας και στον Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) Άνω Λιοσίων, χώροι οι οποίοι επεξεργάζονται υγρά και στερεά απόβλητα αντίστοιχα. Περισσότερη σημασία χρειάζεται να δοθεί για την παραγωγή βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα, καθώς οι δυνατότητες είναι τεράστιες στον ελληνικό χώρο.

## 6. ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

### 6.1. Η ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Τα πτηνοτροφεία είναι οι εγκαταστάσεις μέσα στις οποίες εκτρέφονται όρνιθες (κόττες) αυγοπαραγωγής ή κοτόπουλα κρεοπαραγωγής, καθώς και οι εγκαταστάσεις μέσα στις οποίες αναπαράγονται. Σύμφωνα με τις Πολεοδομικές Διατάξεις πτηνοτροφείο ονομάζεται το σύνολο των μόνιμων κτιριακών εγκαταστάσεων (θάλαμοι πτηνών, αποθήκες τροφών κλπ) και τυχόν περιφραγμένων γηπέδων που εξυπηρετούν την πτηνοτροφική επιχείρηση. Η πτηνοτροφία ή ορνιθοτροφία χωρίζεται σε χωρική ή εκτατική και σε συστηματική ή εντατική. Στη χωρική ορνιθοτροφία ανήκουν οι όρνιθες ή τα ορνίθια που εκτρέφονται στις αυλές των σπιτιών κατά τον παραδοσιακό τρόπο και δεν ξεπερνούν τα 100 πτηνά κατά εκτροφή, ενώ στη συστηματική τα 100 και άνω. Μέχρι το τέλος του Β΄ Παγκόσμιου πολέμου στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες υπήρχε μόνο χωρική πτηνοτροφία. Η συστηματική αυγοπαραγωγός πτηνοτροφία εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1950, ενώ η κρεοπαραγωγός λίγο αργότερα στις αρχές της δεκαετίας του 1960, γύρω από τα μεγάλα αστικά κέντρα της χώρας (Αθήνα, Θεσσαλονίκη), με την ίδρυση μεγάλων επιχειρηματικών μονάδων (Γιαννακόπουλος & Τσερβένη-Γούση 2002). Στη δεκαετία 1960-70 πέρασε στη συστηματική της μορφή και η παραγωγή της εμπορευματοποιήθηκε με αλματώδεις ρυθμούς μετά τη συνεχή βελτίωση του υλικού, τη χρήση ισόρροπου σιτηρεσίου και την πλήρη εκμηχάνιση της παραγωγικής διαδικασίας. Η πτηνοτροφία στην Ελλάδα αποτελεί το δυναμικότερο κλάδο της ελληνικής κτηνοτροφίας εαυτάρκεια σε αυγά ή κρέας μεγαλύτερη του 90% και σήμερα αντιπροσωπεύει το 5 % της συνολικής αξίας της αγροτικής παραγωγής.

Σύμφωνα με στοιχεία του 2006 οι οργανωμένες πτηνοτροφικές επιχειρήσεις στην Ελλάδα εκτρέφουν ετησίως 120 εκ. κοτόπουλα και παράγουν 1,5 δις αυγά. Ο κλάδος αποτελείται από περίπου 50 κορυφαίες επιχειρήσεις διαφόρων μεγεθών και η παραγωγή καλύπτει σχεδόν πλήρως την εγχώρια ζήτηση. Η παραγωγή κοτόπουλου είναι συγκεντρωμένη κατά 45 % στην Ήπειρο, κατά 27 % στην Στερεά Ελλάδα και κατά 18 % στην Μακεδονία και τη Θράκη. Οι τέσσερις μεγαλύτερες επιχειρήσεις που καλύπτουν το 60% της Ελληνικής παραγωγής είναι: ο πτηνοτροφικός συνεταιρισμός Ιωαννίνων «ΠΙΝΔΟΣ» με 27% (μαζί με την εξαγορασθείσα ΣΥΝΚΟ), η Θ. ΝΙΤΣΙΑΚΟΣ ΑΒΕΕ με 13%, η Η.Κ.Ε με 12%, ο πτηνοτροφικός συνεταιρισμός Άρτας με 8%. Το 30% της ελληνικής παραγωγής ελέγχεται από παραγωγούς, οι οποίοι είναι μέλη των πτηνοτροφικών συνεταιρισμών Ιωαννίνων και Άρτας και το 70% παράγεται από παραγωγούς που συνεργάζονται με ιδιωτικές επιχειρήσεις. Η παραγωγή του αυγού είναι πιο ομοιόμορφα κατανομημένη, πλην όμως μεγάλο ποσοστό εξακολουθεί να προέρχεται από την Αττική. Το 80% της Ελληνικής παραγωγής ελέγχεται από 10 επιχειρήσεις, οι οποίες είναι πλήρως καθετοποιημένες και καλύπτουν την παραγωγή νεοσσών, την παραγωγή φυράματος, την σφαγή, τυποποίηση, την εμπορία και διακίνηση. Οι παραγωγοί,



που συνεργάζονται με τις ιδιωτικές επιχειρήσεις ή είναι μέλη των συνεταιρισμών εξασφαλίζουν την διάθεση της παραγωγής τους. Αρκετές επιχειρήσεις έχουν επεκταθεί στην περαιτέρω επεξεργασία του κρέατος, παράγοντας νέα προϊόντα, ενώ έχουν αναπτύξει τα δικά τους δίκτυα διανομών (Μαυρίδου & Χουρδάκη 2007).

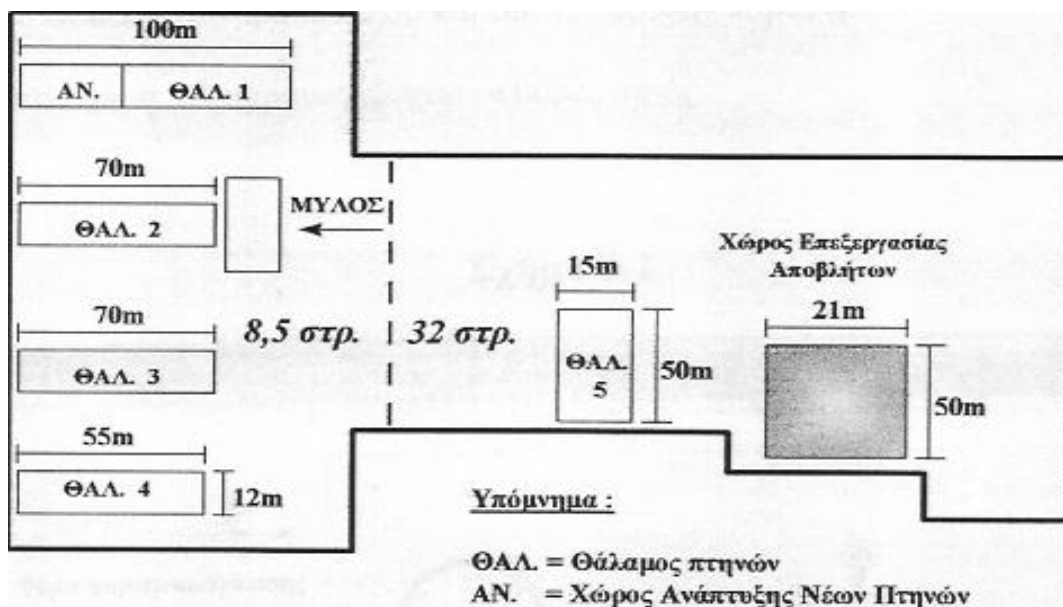
Η ελληνική πτηνοτροφία παρουσίασε υψηλή δυναμικότητα, λόγω αύξησης των αποδόσεων και του αριθμού των επιχειρήσεων που ασχολούνται με τον κλάδο. Στην αρχή ο αριθμός των πτηνοτροφικών επιχειρήσεων ήταν πολύ μεγάλος σε σχέση με το μέγεθος της παραγωγής και τον καταναλωτικό πληθυσμό της χώρας. Στις δεκαετίες του '80 και του '90 το κλίμα αντιστράφηκε καθώς η έλλειψη ιδίων κεφαλαίων και η χρηματοδότηση μέσω δανείων με υψηλά επιτόκια είχε ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση χρεών στις πτηνοτροφικές επιχειρήσεις. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αποτελεί η εισαγωγή του μηχανολογικού εξοπλισμού όλων των εκμεταλλεύσεων και των πρώτων υλών όπως δημητριακά που δεν μπορούν να καλυφθούν από την εγχώρια παραγωγή, αυξάνοντας έτσι το κόστος των επενδύσεων (Animal Production and Technology 2008). Οι πτηνοτρόφοι μέσω της εμπειρίας τους έχουν αποκτήσει σημαντικές γνώσεις πάνω στη διαδικασία, ενώ το απασχολούμενο επιστημονικό προσωπικό περιλαμβάνει κυρίως έμπειρους κτηνίατρους και γεωπόνους υψηλού επιπέδου με καλή επιστημονική κατάρτιση και τεχνογνωσία. Όμως, η έρευνα για την παραγωγή βρίσκεται σε πολύ χαμηλό επίπεδο και η συμμετοχή των πανεπιστημίων στην ανάπτυξη της πτηνοτροφίας είναι επίσης μειωμένη. Οι επιχειρήσεις είναι προσανατολισμένες στην ελληνική αγορά χωρίς εξαγωγικό προσανατολισμό με συνέπεια η κερδοφορία τους να είναι μειωμένη ακόμα και αρνητική.

Το 1999 η ΕΕ ψήφισε την Οδηγία (ΕΕ 74/1999) που απαγορεύει τη χρήση του παλαιού συστήματος κλωβοστοιχιών από την 1η Ιανουαρίου 2012 και την πώληση αυγών από όρνιθες κλωβοστοιχιών. Ωστόσο, 11 από τις 27 χώρες μέλη δεν έχουν εφαρμόσει τους νέους κανόνες που έχουν ως στόχο να βελτιώσουν τις συνθήκες εκτροφής. Τα εναλλακτικά συστήματα σταβλισμού περιλαμβάνουν ορνιθώνες με πολυώροφο σχαρωτό δάπεδο, με κλιμακωτή σχάρα, με αναβαθμισμένες κλωβοστοιχίες και ειδικών εκτροφών ελεύθερης και βιολογικής βοσκής (Τσερβένη-Γούση & Γιαννακόπουλος 2002). Η διατροφική κρίση που προήλθε από τη γρίπη των πτηνών κίνησε τον κλάδο ώστε να ασχοληθεί πιο υπεύθυνα και αποφασιστικά με τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η ελληνική πτηνοτροφία και να προβάλλει τα ελληνικά προϊόντα στους καταναλωτές.

## 6.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τα απόβλητα που παράγουν τα πτηνοτροφεία είναι σε στερεή μορφή και είναι κατεξοχήν οργανικής προέλευσης (>80%). Συνήθως περιλαμβάνουν απόβλητα συλλογής κοπροσωρών ή τάφρων αποχέτευσης, νεκρά ζώα, σπασμένα αυγά, πούπουλα, αίμα, εντόσθια, υπολείμματα στρωμνής και τροφών, άχυρα, πριονίδια, άμμος και νερά

πλυσίματος. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής, στα πτηνοτροφεία παράγονται απόβλητα στερεής μορφής όταν οι εκτροφές των πτηνών γίνεται σε στρωμνή ή ημιστερείς μορφής όταν εκτρέφονται σε κλουβιά. Σε πτηνοτροφεία αυγοπαραγωγής η στρωμνή απομακρύνεται μετά το τέλος της εκτροφής οπότε η ζύμωση διαρκεί 12-15 μήνες και μπορεί να διατεθεί απευθείας σε καλλιεργητές. Σε πτηνοτροφεία πάχυνσης ή κρεοπαραγωγής η απομάκρυνση της στρωμνής γίνεται κάθε 60 μέρες περίπου, στη συνέχεια εναποτίθεται σε σωρούς μέχρι να ολοκληρωθεί η ζύμωση και να διατεθεί στους καλλιεργητές. Συνήθως, περιέχουν στρωμνή άχυρου που προστίθεται για τη μείωση της περιεκτικότητάς τους σε υγρασία. Όταν η εκτροφή γίνεται σε κλωβοστοιχίες, χωρίς σύστημα αφύγρανσης, η κοπριά είναι ημιστερεή και απομακρύνεται σε καθημερινή βάση ή σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Στην περίπτωση αυτή, πρέπει είτε να τοποθετείται σε κοπροσωρό και να παραμένει για φυσική ξήρανση για διάστημα τουλάχιστον 6 μηνών, είτε να οδηγείται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν σύστημα αερισμού και αφύγρανσης, η εξερχόμενη από τον θάλαμο κοπριά έχει λιγότερη υγρασία και μπορεί να εναποτεθεί σε κοπροσωρό ή να ανακατευτεί 2-3 φορές ώστε να επιταχυνθεί η ζύμωση και η κομποστοποίησή της (ΦΕΚ 477 Β' 2000).



Εικόνα 6.2.1. Κάτοψη Πτηνοτροφικής Μονάδας χωρίς κλίμακα (Πηγή: Αργυροπούλου 2007)

Η σύσταση των πτηνοτροφικών αποβλήτων εξαρτάται από τις συνθήκες εκτροφής, το ημερήσιο σιτηρέσιο, την ηλικία και το είδος του ζώου, από τον αρχικό όγκο και την περιεκτικότητα σε υγρασία των αποβλήτων, καθώς επίσης από τις πρακτικές και τη στρωμνή που χρησιμοποιείται (Ανδριόπουλος 2011 · Mariakulandai & Manickam 1975). Τα απόβλητα των πτηνοτροφικών μονάδων περιέχουν όλα τα θρεπτικά συστατικά που χρησιμοποιούνται από τα φυτά. Συγκεκριμένα, περιέχουν νερό, διαλυτά στερεά, όπως

διάφορα άλατα (Ca, Mg, Cl κλπ), θρεπτικά στοιχεία (N, P, K), ιχνοστοιχεία (Zn, Cu, Fe, Βο, Μο κ.α.) και αδιάλυτα χονδρόκοκκα στερεά (Amanullah et al. 2010).

**Πίνακας 6.2.1.: Βασικά Συστατικά Πτηνοτροφικών Αποβλήτων (% κ.β.)**

<b>Ο.Σ.</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Mg</b>
5,0 - 64,1	1,0 - 8,1	0,33 - 1,0	0,2 - 2,3	0,11 - 0,32
<b>M.O.</b>				
23,0 - 63,0	1,25 - 5,1	0,46 - 1,0	0,49 - 1,1	0,17 - 0,21

*Πηγή: Γεωργακάκης 2010b*

**Πίνακας 6.2.2.: Συγκεντρώσεις Ιχνοστοιχείων σε Πτηνοτροφικά Απόβλητα σε Μονάδες του Βελγίου**

<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	<b>Mo</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>
<b>(mg/kg ΟΣ)</b>								
1500	600	40	3	4	24	17	4	-

*Πηγή: Γεωργακάκης 2010b*

Τα απόβλητα του πτηνοτροφείου, συγκρινόμενα με τα απόνερα των βιομηχανιών τροφίμων και τα αστικά λύματα, είναι γενικά πυκνά απόβλητα, μικρού σχετικά όγκου και μεγάλου οργανικού φορτίου. Παρόλα αυτά, παρουσιάζουν γενικά μικρότερο βαθμό ρυπαντικού φορτίου και μεγαλύτερο ημερήσιο όγκο από τα διάφορα υποπροϊόντα των γεωργικών βιομηχανιών, όπως το τυρόγαλα των τυροκομείων, τον ορό στραγγιστού γιαουρτιού των εργοστασίων γάλακτος και των λιοζουμιών των ελαιοτριβείων. Η διαφοροποίηση του ρυπαντικού φορτίου των πτηνοτροφικών αποβλήτων οφείλεται στις διαφορετικές ποσότητες νερού που αναμιγνύεται μαζί με αυτά κατά κατηγορία παραγωγικής δραστηριότητας. Ανάλογα με το χειρισμό του νερού που πραγματοποιεί ο παραγωγός, διαφορές μπορεί να υπάρξουν ακόμα και μεταξύ μονάδων ίδιας κατηγορίας και δυναμικότητας. Τα υγρά απόβλητα των πτηνοτροφείων χαρακτηρίζονται από μεγάλη συγκέντρωση αιωρούμενων (καθιζήσιμων και επιπλεόντων) στερεών, που εκδηλώνεται με το σχηματισμό ιζήματος στον πυθμένα και κρούστας στην επιφάνεια των δεξαμενών συλλογής και αποθήκευσής τους. Ο όγκος τους είναι της τάξης των 0,056 L/kg ζωικού βάρους (Γεωργακάκης 2010a,b).

Τα απόβλητα συνήθως συγκεντρώνονται σε κοπροσωρούς έξω από τα κτίρια εκτροφής ή σε άλλους προεπιλεγμένους χώρους σε κοντινή ή απομακρυσμένη απόσταση από τη μονάδα. Στις μεγάλες μονάδες τοποθετούνται σε επιμήκεις ή οβάλ σχήματος διαδρόμους μέσα σε στεγασμένους χώρους όπου κομποστοποιούνται με μηχανικά μέσα. Αυτά είναι συνεχούς αναμόχλευσης - προώθησης - αερισμού με κοινό σημείο τη βαθμιαία μετακίνηση του υλικού από το σημείο εισόδου του στην εγκατάσταση στο σημείο εξόδου. Έχουν επικρατήσει κυρίως δύο συστήματα αερόβιας επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων, ιαπωνικής προέλευσης: το σύστημα τύπου OKADA και του συστήματος τύπου HOSOYA (Γεωργακάκης 2010a). Τα δύο αυτά συστήματα αποτελούν αυτοματοποιημένη μέθοδο αερισμού με παράλληλη προώθηση των αποβλήτων κατά μήκος ενός διαδρόμου για την παραγωγή κομπόστας. Το τελικό προϊόν είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στη γεωργική πρακτική είτε για λίπανση καλλιεργειών είτε ως εδαφοβελτιωτικό και μπορεί να αποφέρει και οικονομικό όφελος στην επιχείρηση με τη πώλησή του.

### 6.3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Σύμφωνα με την Οδηγία 91/676 η διαχείριση των αποβλήτων πρέπει να εξασφαλίζει την μείωση της ρύπανσης από Νιτρικά των νερών. Οι πτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, λόγω της φύσης των αποβλήτων τους, θεωρείται ότι δεν προκαλούν σημαντικούς κινδύνους ρύπανσης του περιβάλλοντος. Τα πτηνοκτηνοτροφικά απόβλητα γενικότερα έχουν στερεή σύσταση και γι' αυτό είναι δύσκολη η διασπορά τους στο έδαφος και στους υδάτινους αποδέκτες. Ωστόσο, η λειτουργία μιας πτηνοκτηνοτροφικής μονάδας πρέπει να ελέγχεται και να συμμορφώνεται στους κανονισμούς, καθώς μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στη τοπική περιοχή στην οποία είναι εγκατεστημένη. Τα προβλήματα που δημιουργούνται συνήθως είναι η αισθητική υποβάθμιση, η ανόργανη και οργανική ρύπανση και η έκλυση ενοχλητικών οσμών. Επομένως, προσοχή πρέπει να δίνεται στη διάθεση ανεπεξέργαστων αποβλήτων ώστε να αποφευχθεί η ρύπανση των εδαφών και των υδάτων. Η ανόργανη ρύπανση προκαλείται από διάφορα ανόργανα στοιχεία των αποβλήτων, όπως είναι το άζωτο, ο φωσφόρος, το κάλιο, τα άλατα ασβεστίου, μαγνησίου και νατρίου και τα βαρέα μέταλλα χαλκού, σιδήρου, μαγγανίου, ψευδαργύρου και άλλων. Ως συνέπεια της ρύπανσης όταν βρεθούν σε υδατικό περιβάλλον είναι η εμφάνιση ευτροφισμού διαταράσσοντας έτσι το οικοσύστημα. Άλλη δυσμενής συνέπεια είναι η αύξηση της αλατότητας στα νερά ή στο έδαφος και η εμφάνιση τοξικότητας από υπερβολική συγκέντρωση ορισμένων συστατικών όπως η αμμωνία (Θεσσαλός κ.α. 1998). Οι επιπτώσεις της αμμωνίας στο περιβάλλον είναι πολύ σοβαρές και διαχωρίζονται σε άμεσες και έμμεσες. Οι άμεσες επιπτώσεις της αμμωνίας στη βλάστηση παρατηρούνται κυρίως σε ψυχρά κλίματα. Τα τυπικά συμπτώματα αποδίδονται με κόκκινο ή καστανόχρωμο χρωματισμό των κωνοφόρων δένδρων και οφείλονται στη χαμηλή ικανότητα αναστολής της τοξικής δράσης της αμμωνίας, που παρουσιάζουν τα

φυτά σε χαμηλές θερμοκρασίες. Οι έμμεσες επιπτώσεις της απόθεσης αμμωνίας στα οικοσυστήματα είναι σοβαρότερες και πιο διαδεδομένες (Τζίχα 2005):

- Οξίνιση Εδάφους και Επιφανειακών Υδάτων

Σε οικοσυστήματα με ασθενή ρυθμιστική ικανότητα, οι αυξημένες αποθέσεις της αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ ) και του αμμωνίου ( $\text{NH}_4^+$ ) συμβάλλουν μαζί με τις θειούχες ενώσεις ( $\text{SO}_x$ ) και τα διοξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) στην οξίνιση του εδάφους και των επιφανειακών υδάτων και αποτελούν τμήμα του σύνθετου συστήματος που προκαλεί το φαινόμενο της «όξινης βροχής». Οξύ παράγεται στο έδαφος κατά τη νιτροποίηση του αμμωνίου. Το φαινόμενο αυτό συμβάλλει άμεσα στην οξίνιση του εδάφους και έμμεσα στην αύξηση της απώλειας θρεπτικών στοιχείων (Ca, K, Mg), καθώς και στην παρεμπόδιση της ανάπτυξης των φυτών.

- Ευτροφισμός Οικοσυστημάτων

Όταν η εισροή αζώτου (N) σε ένα οικοσύστημα υπερβαίνει την αφομοιωτική ικανότητά του, τότε παρατηρείται περίσσεια N στο έδαφος και αύξηση απώλειας νιτρικών. Ο εμπλουτισμός μπορεί να οδηγήσει σε διαταραχή της ισορροπίας των θρεπτικών στοιχείων, όπως έλλειψη καλίου (K), φωσφόρου (P), ή μαγνησίου (Mg), διαταραχή της αναλογίας των ειδών (εξαφάνιση των φυτικών ειδών που προτιμούν εδάφη χαμηλής περιεκτικότητας σε άζωτο και επικράτηση των υπολοίπων). Ιδιαίτερα επηρεάζονται τα φυσικά οικοσυστήματα, με μικρές ανάγκες σε άζωτο. Στα δασικά οικοσυστήματα η μεγάλη εισροή αμμωνιακών οδηγεί σε έκπλυση των ιόντων ασβεστίου ( $\text{Ca}^{+2}$ ), καλίου ( $\text{K}^+$ ) και μαγνησίου ( $\text{Mg}^{+2}$ ) από το έδαφος, η οποία συχνά έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση αυξημένων λόγων  $\text{NH}_4^+ / \text{K}^+$  και  $\text{Mg}^{+2}$  ή και  $\text{Al}^{3+} / \text{Ca}^{+2}$  στο εδαφικό διάλυμα.

- Ευπάθεια Φυτών

Σε πολλά οικοσυστήματα η αυξημένη εισροή N οδηγεί αρχικά σε έντονη ανάπτυξη, η οποία έχει ως αποτέλεσμα μακροπρόθεσμα, την αποσταθεροποίηση του συστήματος. Έπειτα, οι φυτικοί οργανισμοί εμφανίζουν αυξημένη ευπάθεια και ευαισθησία σε δευτερογενείς παράγοντες όπως είναι καιρικά φαινόμενα (ανεμοθύελλες, παγετός), ασθένειες και ζιζάνια.

- Επίδραση σε Ατμοσφαιρικές Διεργασίες

Ως αέριο εύκολα διαλυτό στο νερό, η αμμωνία που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα απορροφάται γρήγορα από σταγονίδια που βρίσκονται στα σύννεφα, εξουδετερώνοντας τα οξέα που υπάρχουν σε αυτά. Όταν αυτά τα αερολύματα εξατμιστούν, τότε παραμένουν μικρά εσπνεύσιμα σωματίδια, τα οποία μπορεί να επηρεάσουν άμεσα την υγεία του ανθρώπου.

Η οργανική ρύπανση αφορά στη διάθεση οργανικών ουσιών στον αποδέκτη, συνέπεια της οποίας είναι η ανάπτυξη κατά προτεραιότητα αερόβιων μικροοργανισμών που ενυπάρχουν σε αυτά ή στον αποδέκτη με ρυθμό ανάλογο με την ποσότητα της οργανικής ύλης και το βαθμό βιοαποικοδομησιμότητάς της. Συνέπεια αυτής της ανάπτυξης είναι η κατανάλωση του οξυγόνου του αποδέκτη σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από λίγες ώρες, έως λίγες εβδομάδες. Ο βαθμός μείωσης τελικά του διαθέσιμου οξυγόνου στον αποδέκτη, εξαρτάται από τον ρυθμό αναπλήρωσης του σε αυτόν. Συνεπώς, αν ο ρυθμός κατανάλωσης υπερέρχει σε σχέση με τον ρυθμό αναπλήρωσης, όπως συνήθως συμβαίνει στους υδάτινους αποδέκτες, τότε γρήγορα δημιουργείται έλλειψη οξυγόνου και θάνατος των αερόβιων οργανισμών από ασφυξία. (Θεσσαλός κ.α. 1998).

Τέλος, μια σπάνια αλλά πολύ σοβαρή συνέπεια της απόθεσης πτηνοκτηνοτροφικών αποβλήτων στο περιβάλλον είναι η μόλυνση. Αφορά την ανάπτυξη και διάδοση παθογόνων μικροοργανισμών και εξαρτάται κυρίως από την υγιεινή κατάσταση και την καθαριότητα των ζώων και των χώρων διαβίωσής τους στην μονάδα. Συνήθως, ο κίνδυνος από μια τέτοια μόλυνση επηρεάζει κυρίως τα ζώα προκαλώντας ασθένειες και έμμεσα μπορεί να προκαλέσει προβλήματα και στους ανθρώπους μέσω της κατανάλωσης των προϊόντων. Τρόποι αντιμετώπισης μιας πιθανής μόλυνσης είναι ο σωστός χειρισμός των αποβλήτων και η φυσική ή χημική απολύμανση. Η φυσική απολύμανση αναφέρεται στην εφαρμογή φυσικών μεθόδων όπως αερισμός, υψηλές θερμοκρασίες και παρατεταμένος χρόνος παραμονής των αποβλήτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας τους. Η χημική απολύμανση αφορά προσθήκη χημικών συστατικών όπως είναι το χλώριο και ασβέστιο. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, τόσο πιο ασφαλή είναι ιδιαίτερα όταν προορίζονται για εδαφική διάθεση. Σε υδάτινους αποδέκτες, προτιμάται ο συνδυασμός και των δύο μεθόδων (Χαρτσά Αθανασίου 2007).

## 7. ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

### 7.1. Ο ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΟΣ ΚΛΑΔΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα η νέα τεχνολογία έδωσε ώθηση στον εκσυγχρονισμό της τυροκομίας στην Ελλάδα που μέχρι το τέλος του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου προχωρούσε με αργούς ρυθμούς. Οι μεγάλες βιομηχανίες που δραστηριοποιούνταν ήδη στο χώρο του γάλακτος και των τροφίμων, εισήχθησαν στο τέλος του 20<sup>ου</sup> αιώνα στον τομέα της τυροκομίας. Έκτοτε η τυροκομία στη Ελλάδα εμφανίζει μεγάλη ανάπτυξη με μεγάλο αριθμό παραγωγικών επιχειρήσεων. Οι περισσότερες από αυτές τις επιχειρήσεις είναι μικρού μεγέθους συνήθως οικογενειακές με χαμηλό οικονομικό δυναμικό και μεγάλη διασπορά στην ελληνική επικράτεια που κρατούν τον παραδοσιακό τους χαρακτήρα. Στη Βόρεια Ελλάδα συγκεντρώνονται οι περισσότερες μεγάλες τυροκομικές μονάδες οι οποίες λειτουργούν όλο το χρόνο. Ο ανταγωνισμός στον κλάδο μεταξύ των μεγάλων επιχειρήσεων αλλά και μεταξύ των εγχώριων και εισαγόμενων προϊόντων είναι έντονος. Η εξαγωγική βάση όμως είναι μικρή καθώς η ανταγωνιστική ικανότητα σε σχέση με άλλες χώρες είναι περιορισμένη.

Ο κλάδος των τυροκομικών προϊόντων παρουσιάζει μεγάλο κατακερματισμό, καθώς ακόμα και οι μεγάλες εταιρίες καταλαμβάνουν μικρά μερίδια στην αγορά. Η εταιρία Τυράς ΑΕ απέσπασε μερίδιο της τάξης του 6,5% στην συνολική αγορά το 2006, η ΔΩΔΩΝΗ Α.Β.Γ.Η. ΑΕ 4,5% και η Ήπειρος ΑΕΒΕ 2-2,5%. Άλλες εταιρίες που δραστηριοποιούνται, είναι η Μεβγάλ ΑΕ, Κολιός ΑΕ, ΦΑΓΕ Βιομηχανία Επεξεργασίας Γάλακτος ΑΕ και ο όμιλος Vivartia με τη θυγατρική Βίγλα Ολύμπου ΑΕΒΕ (ICAP 2007 αναφέρεται στο Λάζαρη 2009). Γενικότερα, η παραγωγική δυναμικότητα είναι μεγάλη, καθώς είναι ο μεγαλύτερος στον χώρο των τροφίμων, ενώ οι ποσότητες που καταναλώνονται αγγίζουν τους 320.000 τόνους (ICAP 2009 αναφέρεται στο Οικονόμου 2011).

### 7.2. ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η κυριότερη κατηγορία προϊόντων που παράγονται από γάλα είναι τα τυριά. Τα τυροκομικά προϊόντα παρουσιάζουν αυξημένη ζήτηση στους Έλληνες καταναλωτές. Στην Ελλάδα τυροκομείται περίπου το 50% της παραγωγής γάλακτος. Τα τυροκομικά προϊόντα παράγονται παραδοσιακά από αιγοπρόβειο κυρίως γάλα σε ποσοστό 90%, καθώς είναι πιο πλούσιο σε λίπος και καζεΐνη (πρωτεΐνη του γάλακτος). Με βάση τη τελευταία απογραφή στην Ελλάδα εκτρέφονται περίπου 9 εκατομμύρια πρόβατα και 5 εκατομμύρια αίγες.

Συνεισφέρουν στο 45% της συνολικής αξίας της ζωικής παραγωγής και στο 15% της αγροτικής παραγωγής. Το 75% του αιγοπρόβειου γάλακτος χρησιμοποιείται στη παραγωγή τυριών και μεγάλο μέρος του υπολοίπου για αυτοκατανάλωση από τους παραγωγούς (Hadjigeorgiou & Papavasiliou 1998). Την περίοδο 2008-2010 στην Ελλάδα η παραγωγή τυριών εκτιμάται ότι έφτασε τους 145.621 τόνους (Κολωνάς 2011).

Η παραγωγική διαδικασία σε ένα τυροκομείο περιλαμβάνει κάποια στάδια επεξεργασίας του γάλακτος. Αρχικά, το γάλα που προορίζεται για τυροκόμιση περνά από τα στάδια της επιλογής, της προεπεξεργασίας και της τυποποίησης. Ελέγχεται ώστε να μην έχει υποστεί χημικές αλλοιώσεις, να είναι απαλλαγμένο από λιπαρά οξέα και ίχνη αντιβιοτικών και να περιέχει καλή ποιότητα μικροβιακού φορτίου. Έπειτα ζυγίζεται, προθερμαίνεται, διηθείται, παστεριώνεται στους 70°C για να μειωθεί ο μικροβιακός πληθυσμός και ψύχεται. Στη συνέχεια ακολουθούν τα στάδια της οξίνισης, της πήξης και της στράγγισης. Το γάλα τοποθετείται σε δοχεία τυριού με προσθήκη πυτιάς, οξέος ή άλλου όξινου παράγοντα, που διαχωρίζει την καζεΐνη (τυρίνη) και σχηματίζει το τυρόπηγμα σε θερμοκρασία 35°C και συνθήκες pH άνω του 4,6. Όταν ολοκληρωθεί η πήξη, ακολουθεί το τεμαχισμός του τυροπήγματος διαδικασία από την οποία παράγεται το τυρόγαλα ή ορός γάλακτος. Το τυρί που σχηματίζεται, ξεπλένεται με νερό και προχωράει στη τελική επεξεργασία όπου γίνεται συνήθως προσθήκη άλλων συστατικών όπως αλάτι και στράγγιση. Ανάλογα με το είδος του τυριού που παρασκευάζεται, διαμορφώνεται, ωριμάζει και συσκευάζεται για διάθεση (Καραδήμα 2009 · Fox et al. 2000). Από την άλλη, το τυρόγαλα που απομένει μετά τη στράγγιση σε μερικές μονάδες χρησιμοποιείται για παρασκευή τυριών με την ονομασία «τυριά τυρογάλακτος» όπως είναι η μυζήθρα και το ανθότυρο. Ωστόσο, και από αυτή την επεξεργασία του τυρογάλακτος παράγεται νέο τυρόγαλα με θερμοκρασία 90°C (Μαρκαντωνάτος 1990).



**Εικόνα 7.2.1.** Καζάνια Επεξεργασίας Γάλακτος (Πηγή: Value Right Management Consulting S.A.)



### 7.3. ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ

Ορός του γάλακτος ή τυρόγαλα ονομάζεται το θολό υποκίτρινο υγρό που παραμένει μετά την απομάκρυνση από το γάλα του λίπους και της καζεΐνης (Ηλιόπουλος 1997). Στον κώδικα τροφίμων γαλακτοκομικών προϊόντων των διεθνών οργανισμών FAO και WHO ο ορός γάλακτος (ή τυρόγαλα) είναι το ρευστό γαλακτοκομικό προϊόν που λαμβάνεται κατά τη διάρκεια παρασκευής του τυριού, της καζεΐνης ή παρόμοιων προϊόντων με διαχωρισμό από το τυρόπηγμα μετά την πήξη του γάλακτος ή/και των προϊόντων που λαμβάνονται από το γάλα. Άλλος ορισμός στο άρθρο 1 παρ. 2 του Κανονισμού 625/78<sup>5</sup> της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναφέρει ότι ορός γάλακτος ή τυρόγαλα είναι «το υποπροϊόν της παρασκευής του τυρού ή της τυρίνης μετά την επενέργεια των οξέων, της πυτιάς και/ή χημικοφυσικών διαδικασιών».

Η σύσταση του τυρογάλακτος διαφέρει ανάλογα με το είδος του τυριού που παρασκευάζεται και το είδος του γάλακτος που χρησιμοποιείται (π.χ. γίδινο γάλα ή πρόβειο). Ακόμα επηρεάζεται από τη θερμική μεταχείριση πριν από τη πήξη του (όπως η αποβουτύρωση) και μετά, τον τρόπο πήξης αν γίνεται με τη βοήθεια ενζύμων ή οξέων και το βαθμό διαίρεσης του πήγματος. Στο τυρί περιέχονται μόνο το 50% από τα στερεά που υπάρχουν στο γάλα. Τα υπόλοιπα 90% της λακτόζης, 20% των πρωτεϊνών, 10% των λιπών και 50-100% των αλάτων παραμένουν στο τυρόγαλα (Fox et. al. 2000). Το τυρόγαλα αποτελείται κατά 93% από νερό και περιέχει μεγάλη ποικιλία στερεών συστατικών, η οποία επηρεάζεται από το είδος, τη σύσταση του γάλακτος και από τις τεχνολογικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία του. Η ποσότητα των στερεών συστατικών που μεταφέρεται στο τυρόγαλα κατά τη διαδικασία της τυροκομίας είναι περίπου το 40% στο γίδινο γάλα και το 40% στο πρόβειο γάλα. Μεταβολίζεται πολύ εύκολα (σε ποσοστό 99%) από τους μικροοργανισμούς και ειδικότερα από τα βακτήρια *K. lactis* και *K. fragilis*. *S. Cerevisiae*, έχει υψηλό οργανικό φορτίο και η αλκαλικότητά του ανέρχεται σε 2.500 mg/L (ως CaCO<sub>3</sub>) (Αργυροπούλου 2007).

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι τυρογάλακτος ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τη λήψη του, το όξινο και το γλυκό τυρόγαλα. Το όξινο τυρόγαλα παράγεται μετά από οξίνιση του γάλακτος σε pH 4.3-4.6 με σκοπό τη παρασκευή καζεΐνης ή μετά από βιολογική οξίνιση για τη παρασκευή φρέσκων τυριών. Το γλυκό τυρόγαλα είναι υποπροϊόν της τυροκομίας και λαμβάνεται μετά από πήξη του γάλακτος με πυτιά σε συνθήκες pH 5.9-6.6 κατά τη διαδικασία παρασκευής τυριών όπως είναι το cheddar και η mozzarella. Το γλυκό τυρόγαλα περιέχει λιγότερα οξέα και ασβέστιο αλλά περισσότερη λακτόζη από ότι περιέχει το όξινο (Ανυφαντάκης 2004 · Jelen 2000).

---

<sup>5</sup> EUR-Lex Europa

**Πίνακας 7.3.1.: Φυσικοχημικές Ιδιότητες Τυρογάλακτος από Παραγωγή Τυριού Φέτας**

Ιδιότητα	Τυπική τιμή	Απόκλιση
pH	6,32	0,1
Πυκνότητα (Kg / m <sup>3</sup> )	1029,2	1,4
Ολικά Στερεά (g / Kg)	69,8	5,6
Πρωτεΐνες (g / Kg)	13	0,7
Λίπη (g / Kg)	0,3	0,2
Λακτόζη (g / Kg)	50,7	3,5
Ασβέστιο (Ca) (mg / Kg)	356	36
Φωσφόρος (P) (mg / Kg)	385	28
Μαγνήσιο (Mg) (mg / Kg)	93	7
Κάλιο (K) (mg / Kg)	1154	85
Νάτριο (Na) (mg / Kg)	434	36
Χλώριο (Cl) (mg / Kg)	1246	377

Πηγή: Philipopoulos & Papadakis 2001

#### 7.4. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ

Η σοβαρότερη πηγή ρύπανσης του περιβάλλοντος από τα τυροκομεία είναι το τυρόγαλα. Για τη παρασκευή ενός κιλού τυριού παράγονται 9 κιλά τυρογάλακτος με μικρή περιεκτικότητα σε γάλα, επομένως για μια τόση μεγάλη ποσότητα τυρογάλακτος δημιουργείται πρόβλημα διαχείρισης της. Το πρόβλημα γίνεται εντονότερο όταν γίνεται λόγος για μεγάλες βιομηχανικές επιχειρήσεις. Η αξιοποίηση του τυρογάλακτος μπορεί να έχει πολλές εφαρμογές πλην της λιγότερο αποδεκτής που είναι η διάθεση του στο περιβάλλον.

Το παραγόμενο τυρόγαλα που προκύπτει από την τυροκομική διαδικασία, χρησιμοποιείται κυρίως στην υγρή του μορφή, αλλά μπορεί ακόμη να διαχωριστεί μέσω διήθησης ή/και να μετατραπεί σε σκόνη τυρογάλακτος, σε προϊόντα λακτόζης, σε συμπυκνωμένες πρωτεΐνες και σε αποπρωτεϊνόμενο ορό (Spence 2008). Αυτά τα παράγωγα βρίσκουν εφαρμογή ως συστατικά σε τρόφιμα ή ποτά με χαμηλά λιπαρά και για διατροφή βρεφών ή αθλητών. Η συνήθης πρακτική είναι να χρησιμοποιείται για τη παρασκευή τυριών τυρογάλακτος όπως είναι η μυζήθρα και το ανθότυρο. Σε αυτές τις περιπτώσεις παράγεται επίσης απόβλητο τυρόγαλα, αλλά σε μικρότερη ποσότητα και με

μειωμένο βαθμό οργανικού φορτίου. Αξιοσημείωτο παράδειγμα αποδοτικής αξιοποίησης του απόβλητου τυρογάλακτος σε προϊόντα διατροφής πραγματοποιήθηκε από την ερευνητική ομάδα του καθηγητή του τμήματος Βιοχημείας - Βιοτεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Δημήτρη Κουρέτα, παρασκευάζοντας το «κέικ τυρογάλακτος». Το συγκεκριμένο κέικ αποτελεί βιολειτουργικό τρόφιμο δηλ. πέρα από τη βασική διατροφική τους χρησιμότητα βοηθά τη φυσιολογική λειτουργία του οργανισμού και έχει αποσπάσει θετικές κριτικές παγκοσμίως. Επίσης, σημαντικό στοιχείο αποτελεί πως μετά την παραγωγή του συγκεκριμένου τροφίμου το απόβλητο που απομένει είναι μόνο νερό, άρα δεν δημιουργείται θέμα επιπλέον αξιοποίησης.

Μια άλλη εναλλακτική χρήση του τυρογάλακτος είναι η παροχή του ως ζωοτροφή σε βοοειδή και χοίρους. Έχει υψηλή διατροφική αξία, καθώς αποτελεί πλούσια πηγή πρωτεϊνών, λακτόζης και μεταλλικών στοιχείων. Η πρακτική αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη και χρησιμοποιείται από πολλούς τυροκόμους. Για λόγους οικονομίας θέλοντας να μειωθεί το υψηλό κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης, το υγρό τυρόγαλα αντικαταστάθηκε από το αποξηραμένο τυρόγαλα για ζωοτροφή. Η παραγωγή του είναι πιο ακριβή και γι' αυτό δεν χρησιμοποιείται σε διαδικασίες εκτροφής με μεγάλες απαιτήσεις σε τροφή όπως σε νεαρά ζώα ή σε διαδικασία πάχυνσης. Έχει αποδειχθεί ότι τα ενήλικα μηρυκαστικά σε σχέση με άλλα είδη μπορούν να καταναλώνουν μεγαλύτερες ποσότητες τυρογάλακτος και υποπροϊόντων του. Ωστόσο, η προσθήκη του στη διατροφή των ζώων πρέπει να γίνεται με μέθοδο και σταδιακή προσθήκη στο σιτηρέσιο ενώ έχει υποστεί παστερίωση ώστε να μπορέσει ο μικροβιακός πληθυσμός στο στομάχι των ζώων να αφομοιώσει την λακτόζη, διαφορετικά προκαλούνται διατροφικές διαταραχές (Thivend 1978 · Ανυφαντάκης 2004).

Τέλος, η πιο απλή αλλά αμφισβητήσιμη λύση χρήσης του τυρογάλακτος είναι η διάθεση του στο περιβάλλον. Πάνω από 45 εκ. τόνοι τυρογάλακτος παράγονται στην ΕΕ κάθε χρόνο, περίπου το 47% απορρίπτεται στο περιβάλλον (Jasko et al. 2011 · Grosova et al. 2008). Αυτό μπορεί να γίνει είτε με άρδευση με ψεκάσμο του εδάφους είτε με διάθεση του σε υδάτινους αποδέκτες και συστήματα υπονόμων. Η χρήση του ως γεωργικό λίπασμα δεν ενδείκνυται πλέον λόγω των περιβαλλοντικών κανονισμών που ισχύουν και των υψηλών κινδύνων ρύπανσης των υδάτων που μπορεί να προκληθούν, αν δεν προηγηθεί κατάλληλη επεξεργασία μέσω βιολογικού καθαρισμού, προκαλώντας μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Οι επιβλαβείς επιπτώσεις του τυρογάλακτος στο περιβάλλον οφείλονται στη μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανική ύλη, υψηλό οργανικό φορτίο και στην αδιαλυτότητα του στο νερό (Καραδήμα 2009). Το μέγεθος της ρυπαντικής ικανότητας είναι αρκετά υψηλό αν αναλογιστεί κανείς ότι το οργανικό του φορτίο ( $BOD_5 = 40.000 \text{ mg/L}$ ) είναι 100 φορές μεγαλύτερο από αυτό των αστικών λυμάτων ενώ 1 τόνος τυρογάλακτος έχει τόσο οργανικό φορτίο όσο παράγουν τα αστικά απόβλητα 100 ατόμων (Μεταξιάτος et al. 1999).

Οι κυριότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον από την απόρριψη τυροκομικών αποβλήτων είναι η δυσοσμία, η υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων και η διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας. Στην Ελλάδα τη περίοδο 2008-2010 το παραγόμενο τυρόγαλα

άγγιξε τους 305.000 τόνους. Από το παραγόμενο τυρόγαλα, μόνο οι 104.000 τόνοι χρησιμοποιήθηκαν για παραγωγή πρωτεϊνών, ενώ για τους υπόλοιπους 201.000 τόνους παραμένει απροσδιόριστη η διάθεσή τους (Κολωνάς 2011) και όπως είναι γνωστό το 65% των αποβλήτων των τυροκομείων καταλήγουν σε ρέματα. Η απόρριψη των αποβλήτων σε ποτάμια, λίμνες και θάλασσες έχει ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό του αποδέκτη με οργανικές ουσίες που αποτελούν θρεπτικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη μικροοργανισμών προκαλώντας το φαινόμενο του ευτροφισμού. Η αποσύνθεση του οργανικού υποστρώματος γίνεται με ταυτόχρονη κατανάλωση οξυγόνου το οποίο δεν επαρκεί πλέον για τους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς όπως τα ψάρια που κατοικούν στα υδάτινα οικοσυστήματα. Λόγω της αποοξυγόνωσης οι οργανισμοί αυτοί δεν μπορούν να επιβιώσουν, αποσυνθέτονται και δημιουργούν έντονη δυσοσμία.

Η βιολογική ή δευτεροβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων μπορεί να γίνει αναερόβια ή αερόβια. Στην αερόβια επεξεργασία συνηθέστερη μέθοδος είναι της ενεργού ιλύος. Η αναερόβια επεξεργασία εφαρμόζεται σε απόβλητα υψηλού οργανικού φορτίου όπως είναι το τυρόγαλα. Η αερόβια επεξεργασία συνίσταται για απόβλητα μικρού ή μέτριου οργανικού φορτίου, επομένως δεν ενδείκνυται για το απόβλητο τυρογάλακτος καθώς το κόστος των εγκαταστάσεων θα ήταν απαγορευτικό για να μπορέσει να απομακρυνθεί λειτουργικά το οργανικό του φορτίο. Ωστόσο, σε πολλά τυροκομεία υπάρχουν εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού καθώς το επιβάλλει η νομοθεσία και το καθεστώς των επιδοτήσεων που θέλησαν πολλοί να εκμεταλλευτούν, αλλά είτε υπολειτουργούν είτε είναι ανενεργοί (Κακούρος 2009). Η αερόβια επεξεργασία στα τυροκομικά απόβλητα μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά μόνο σε συνδυασμό αναερόβιας με αερόβιας επεξεργασίας. Σε αυτή τη περίπτωση μετά την εφαρμογή της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να εφαρμοστεί συμπληρωματικά για τη μείωση των οσμών και την επιπλέον μείωση του οργανικού φορτίου των τελικών αποβλήτων ώστε να είναι πιο ασφαλή για διάθεση στο υδάτινο περιβάλλον (Γεωργακάκης 2010a).

## 8. ΑΝΑΜΙΞΗ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τα απόβλητα πτηνοτροφείου και τυροκομείου αποτελούν σπουδαία υποστρώματα για την παραγωγή εναλλακτικής ενέργειας. Παρόλο που θεωρούνται απόβλητα και θέτεται ο προβληματισμός γύρω από την αξιοποίηση τους ώστε να μην δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα ταυτόχρονα θεωρούνται μεγάλης σημασίας πρώτη ύλη για τη παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Στην αναερόβια χώνευση μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλά διαφορετικά είδη αποβλήτων όπως κτηνοτροφικά, γεωργικά, βιομηχανίας τροφίμων, αστικά, οδηγώντας στην παραγωγή βιοαερίου με μεγάλη απόδοση. Ωστόσο, είναι σύνηθες πλέον διαφορετικής προέλευσης απόβλητα να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό ως πρώτη ύλη σε αναερόβιους αντιδραστήρες, καθώς με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η απόδοσή τους και διατηρείται η ισορροπία στο σύστημα. Η αναερόβια «συν-χώνευση» (anaerobic co-digestion), όπως μπορεί να χαρακτηριστεί, έχει αποδειχτεί πιο επωφελής στην παραγωγή βιοαερίου από την χρήση κάθε είδους αποβλήτου ξεχωριστά (Sakar et al. 2009).

Μετά την ανάμιξη των διαφορετικών ειδών αποβλήτων υγρών και στερεών, ακολουθεί φιλτράρισμα του μίγματος έτσι ώστε να απομακρυνθούν στερεά κλάσματα. Ο διαχωρισμός της κοπριάς από τα υγρά απόβλητα μπορεί να πραγματοποιηθεί πριν ή μετά την αναερόβια χώνευση. Στην Ευρώπη μέχρι πρόσφατα χρησιμοποιείτο ο μηχανικός διαχωρισμός των αποβλήτων μετά την αναερόβια χώνευση. Το κύριο πλεονέκτημα του διαχωρισμού πριν, είναι η αφαίρεση συσσωματωμάτων αλλά και ινών, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν απόφραξη στον χωνευτήρα (Wen et al. 2007). Επιπλέον, τα ινώδη υλικά εμποδίζουν την άντληση και την ανάμιξη. Ωστόσο, περίπου η μισή ποσότητα των πτητικών στερεών παραμένει στο στερεό κλάσμα μειώνοντας έτσι το ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας (Møller et al. 2002). Το στερεό υπόλειμμα που παραμένει είναι δύσκολο έως αδύνατο να βιοαποικοδομηθεί και γι' αυτό δεν χρησιμοποιείται στην αναερόβια χώνευση αλλά μπορεί να μετατραπεί σε κομπόστ (Holm-Nielsen et al. 2009). Σε περίπτωση που χρειάζεται η μεταφορά των αποβλήτων για την παραγωγή βιοαερίου, ο διαχωρισμός αυτός στην πηγή συνεπάγεται μικρότερο όγκο αποβλήτων άρα και μικρότερο κόστος. Το διαχωρισμένο υγρό έχει πολύ λιγότερα αιωρούμενα στερεά και υποβάλλεται ευκολότερα σε αναερόβια επεξεργασία, καθώς απαιτεί πιο απλό αντιδραστήρα, χαμηλότερη θερμοκρασία και μικρότερο υδραυλικό χρόνο παραμονής (HRT) σε σχέση με τα απόβλητα που δεν έχουν περάσει από μηχανικό διαχωρισμό (Liao et al. 1984).

Τα απόβλητα από βιομηχανίες τροφίμων όπως τα τυροκομικά έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο και συνήθως χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις ταχέα βιοαποικοδομήσιμων στοιχείων όπως είναι οι σακχαρίτες, τα λιπίδια και οι πρωτεΐνες. Τα πτηνοκτηνοτροφικά απόβλητα (κοπριά) έχουν χαμηλή συγκέντρωση ολικών στερεών και συχνά περιέχονται σε αυτά υπολείμματα και ίνες άχυρου. Λόγω της περιεκτικότητας σε κυτταρίνη, οι ίνες αυτές είναι πολύ ανθεκτικές στην βιοδιάσπαση και εξέρχονται από τον αντιδραστήρα άθικτες. Η υψηλή περιεκτικότητα σε νερό και ίνες της κοπριάς οδηγεί σε χαμηλή απόδοση παραγωγής μεθανίου. Παρόλα αυτά, η κοπριά είναι εξαιρετικό

υπόστρωμα για την αναερόβια χώνευση σε συνδυασμό με τα βιομηχανικά οργανικά απόβλητα, τα οποία μόνα τους θα ήταν δύσκολο να επεξεργαστούν. Τα περισσότερα είδη βιομηχανικών οργανικών αποβλήτων έχουν παραγωγή μεθανίου που κυμαίνεται από 30 έως 500 m<sup>3</sup> ανά τόνο και γι' αυτό προτιμούνται ως συμπλήρωμα σε πτηνοκτηνοτροφικά απόβλητα σε μονάδες παραγωγής βιοαερίου (Πίνακα 8.1.). Η προσθήκη με ελεγχόμενο τρόπο του εύκολα διασπώμενου υλικού αυξάνει την αποδοτικότητα και σταθεροποιεί την αναερόβια χώνευση.

**Πίνακας 8.1.: Αποδόσεις Μεθανίου Διαφόρων Ειδών Οργανικών Αποβλήτων**

Type of organic waste	Composition of the organic material	Organic content (%)	Methane yield (m <sup>3</sup> /ton)
Stomach and intestine content	Carbohydrates, proteins and lipids	15–20	40–60
Flotation sludge (dewatered)	65–70% proteins, 30–35% lipids	13–18	80–130
Bentonite-bound oil	70–75% lipids, 25–30% other organic matter	40–45	350–450
Fish-oil sludge	30–50% lipids and other organic matter	80–85	450–600
Source sorted organic household waste	Carbohydrates, proteins, and lipids	20–30	150–240
Whey	75–80% lactose and 20–25% protein	7–10	40–55
Concentrated whey	75–80% lactose and 20–25% protein	18–22	100–130
Size water	70% proteins and 30% lipids	10–15	70–100
Marmelade	90% sugar, fruit organic acids	50	300
Soya oil/Margarine	90% vegetable oil	90	800–1000
Methylated spirits	40% alcohol	40	240
Sewage sludge	Carbohydrates, lipids, proteins	3–4	17–22
Concentrated sewage sludge	Carbohydrates, lipids, proteins	15–20	85–110

*Πηγή: WHO/FAO 2011*

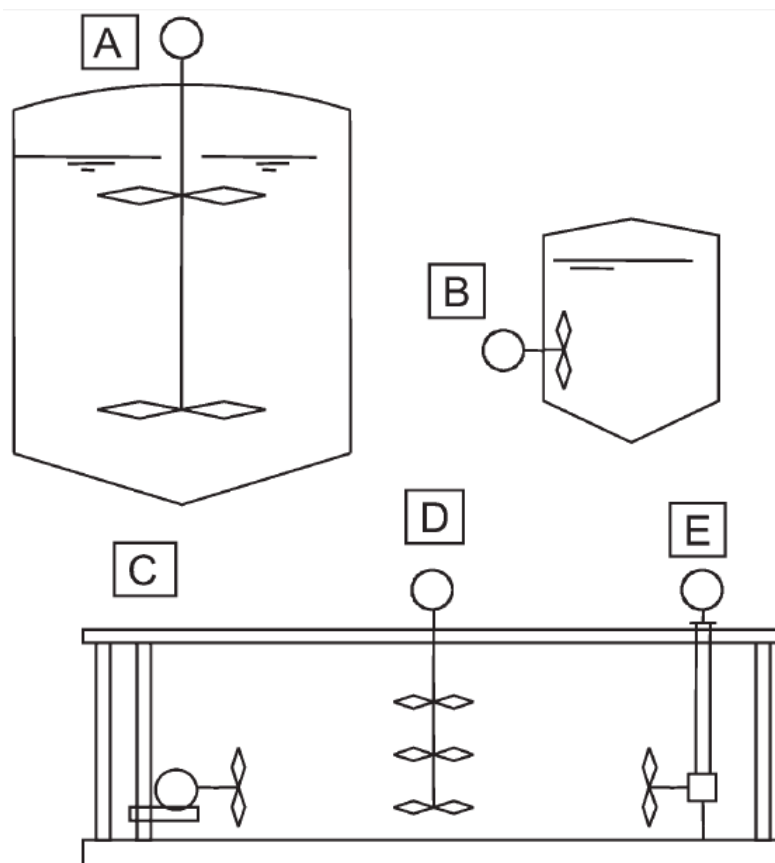
Στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε, η πρώτη ύλη που χρησιμοποιήθηκε προερχόταν από ημικομποστοποιημένα στερεά πτηνοτροφείου και τυρόγαλα. Το pH της κοπριάς κυμαίνεται μεταξύ 6.5-8.0, είναι δηλαδή ουδέτερο ως μέτρια αλκαλικό. Η κοπριά εμφανίζει υψηλή ρυθμιστική ικανότητα που προστατεύει το σύστημα από μια πιθανή αστοχία λόγω πτώσης του pH ή αύξησης της περιεκτικότητας σε πτητικά λιπαρά οξέα, ενώ είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά τα οποία είναι απαραίτητα για την άριστη ανάπτυξη των βακτηρίων. Ακόμη, τα πτηνοτροφικά απόβλητα περιέχουν συγκεντρώσεις αμμωνίας

σε επίπεδα υψηλότερα από τα αναγκαία για την ανάπτυξη μικροβίων και η δράση της μπορεί να είναι ανασταλτική για την αναερόβια χώνευση (Hansen et al. 1998 · Sung & Liu 2003). Η συγκέντρωση αμμωνίας μπορεί αφήσει ανεπηρέαστη την ανάπτυξη των μεθανοβακτηρίων μόνο μέχρι κάποιο επιτρεπτό όριο και μπορεί να αντισταθμιστεί με τη χρήση άλλων ειδών αποβλήτων τα οποία έχουν χαμηλές συγκεντρώσεις αζώτου.

Από την άλλη, το τυρόγαλα παρουσιάζει χαμηλότερη χημική ζήτηση οξυγόνου (COD) σε σύγκριση με εκείνη της κοπριάς, ενώ το pH του κυμαίνεται κάτω από 4,5 και η αλκαλικότητα υπερβαίνει τα 50 meq / L. Παρουσιάζει υψηλότερο ρυθμό βιοδιάσπασης κοντά στο 99%, σε σχέση με τη κοπριά. Αυτό οφείλεται στη παρουσία υδατανθράκων που περιέχονται στο τυρόγαλα σε σύγκριση με τα λιπίδια που περιέχονται στη κοπριά. Ωστόσο, η περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες ευνοεί την ανάπτυξη των οξεότροφων βακτηρίων και επιδρά αρνητικά στην ανάπτυξη των μεθανοβακτηρίων. Συγκεκριμένα, η λακτόζη που αποτελεί το κύριο συστατικό του τυρογάλακτος διασπάται γρήγορα σε λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας (οξικό, προπιονικό, βουτυρικό κ.α.) και καθώς το τυρόγαλα παρουσιάζει μικρή ρυθμιστική ικανότητα, το pH μειώνεται σε μεγάλο βαθμό αναστέλλοντας τη δράση των μεθανοβακτηρίων, μειώνοντας τη παραγωγή βιοαερίου και το ποσοστό του σε μεθάνιο (Jasko 2012). Η δυσκολία στο χειρισμό του ως υπόστρωμα ιδιαίτερα σε μεγάλο όγκου αντιδραστήρες οφείλεται στο υψηλό οργανικό περιεχόμενο, τη χαμηλή διττανθρακική αλκαλικότητα, στις δυσκολίες κοκκοποίησης, στη τάση του για ταχεία όξυνση και παραγωγή περίσσειας κολλώδους υλικού βακτηριακής προέλευσης που μειώνει την ικανότητα καθίζησης της ύλης και οδηγεί σε έκπλυση της βιομάζας (Malaspina et al. 1995). Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις, ο ορός γάλακτος μπορεί να περιέχει αυξημένη συγκέντρωση ιόντων νατρίου ( $\text{Na}^{\pm}$ ), τα οποία μπορούν να καταστούν επιβλαβή για αποδοτική λειτουργία του αναερόβιου αντιδραστήρα (Gelegenis et al. 2007). Επίσης, η αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C:N) διαφέρει αρκετά στις πρώτες ύλες και επηρεάζει τη λειτουργία των αντιδραστήρων (Kizilkaya & Bayrakli 2005). Ο συνδυασμός ορού γάλακτος και κοπριάς πτηνοτροφείου διατηρεί τη σωστή αναλογία C/N (Desai et al. 1994). Αν και το τυρόγαλα θεωρείται ότι προκαλεί αστάθειες στη διαδικασία, με την ανάμιξη της κοπριάς επέρχεται ισορροπία στον χωνευτήρα, καθώς οι διάφορες παράμετροι αλληλεπιδρούν και προσαρμόζονται στα επιθυμητά όρια.

Άλλο ένα χαρακτηριστικό που επηρεάζεται από την ανάμιξη είναι η πυκνότητα. Η υψηλή περιεκτικότητα σε νερό του τυρογάλακτος λειτουργεί ως διαλύτης για τη ξηρή κοπριά, δημιουργώντας ένα αραιό μίγμα. Το εκχύλισμα είναι κατάλληλο για τη καλή λειτουργία του χωνευτήρα, καθώς βοηθά την εύκολη είσοδο και έξοδο του υλικού, την ορθή μηχανική επεξεργασία και την εύκολη ανάδευση του μίγματος στο εσωτερικό του. Για χρήση στους εργαστηριακούς χωνευτήρες του πειράματος που εξετάζει η παρούσα μελέτη, το μίγμα των δύο διαφορετικών τύπων αποβλήτων δημιουργήθηκε μέσω χειρονακτικής ανάμιξης και διοχετευόταν στον αντιδραστήρα ήδη αναμεμιγμένο. Παρόλο που δεν υπήρχε μηχανισμός ανάδευσης στο εσωτερικό του, ο μικρός όγκος του χωνευτήρα και η αραιή σύσταση του μίγματος επέτρεπε τη φυσική ροή του υλικού, όταν γινόταν άντληση των εξερχόμενων υγρών και προσθήκη νέου υλικού στον χωνευτήρα. Σε μεγάλες

μονάδες επεξεργασίας, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση στο εσωτερικό του χωνευτήρα κατάλληλων μηχανισμών ώστε τα δύο υλικά να αναμιγνύονται αμέσως μετά την είσοδό τους. Η ανάδευση του υλικού είναι σημαντική ώστε να υπάρχει ομοιογένεια χωρίς να δημιουργείται διαχωρισμός των στερεών του μίγματος από το υγρό και σχηματισμός κρούστας. Κάποιοι τύποι μηχανισμών ανάδευσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 8.1. (Angelidaki et al. 2003).



**Εικόνα 8.1.** Τύποι Μηχανισμών Ανάδευσης Αναερόβιων Αντιδραστήρων

A: μηχανισμός ανάδευσης τοποθετημένος στο πάνω μέρος του αντιδραστήρα, B: αναδευτήρας τοποθετημένος στα πλαϊνά της δεξαμενής αποθήκευσης, C: βυθισμένος αναδευτήρας πάνω σε κάθετες ράγες στήριξης, D: αναδευτήρας τοποθετημένος στην κορυφή του αντιδραστήρα, E: αναδευτήρας τοποθετημένος στη κορυφή του αντιδραστήρα με βυθισμένο μηχανισμό ταχυτήτων (Πηγή: Ward et al. 2008).



## **II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ**

Στο Εργαστήριο Διαχείρισης Αποβλήτων του τμήματος Γεωργικών Κατασκευών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών διεξήχθη η πειραματική διαδικασία της παραγωγής βιοαερίου από απόβλητα πτηνοτροφικών και τυροκομικών εγκαταστάσεων. Στην πραγματοποίηση της χρησιμοποιήθηκαν δύο μεταλλικοί ανοξείδωτοι αναερόβιοι χωνευτήρες διαστάσεων 39 cm σε ύψος και 28 cm σε διάμετρο με συνολική χωρητικότητα 24 L έκαστος. Ο κάθε αντιδραστήρας περιείχε σταθερή ποσότητα υγρών αποβλήτων που αντιστοιχούσε σε ενεργό όγκο 19 L.

Αναλυτικότερα, ο αντιδραστήρας διέθετε δύο υποδοχές. Η μία βρισκόταν στο ανώτερο τμήμα, χρησίμευε ως στόμιο τροφοδοσίας και με ειδική βάνα σφραγιζόταν για την αποφυγή απωλειών αερίου. Από την άλλη υποδοχή στο κατώτερο μέρος που επίσης σφράγιζε με βάνα γινόταν λήψη δείγματος από τα εξερχόμενα υγρά του χωνευτήρα για τις ανάγκες του πειράματος. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας λήψης εξερχομένων υγρών και τροφοδοσίας με εισερχόμενα υγρά στον χωνευτήρα γινόταν μέσω φυσικής ροής ανάμιξη και ανάδευση του υγρού υλικού στο εσωτερικό. Σε ευκρινές σημείο πάνω στον αντιδραστήρα υπήρχε θέση θερμομέτρου με ενδείξεις τιμών σε μονάδες Κελσίου από 0°C έως 50°C για τον έλεγχο της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αντιδραστήρα. Καθώς, η αναερόβια χώνευση του πειράματος αφορούσε την μεσόφιλη περιοχή, η θερμοκρασία στο εσωτερικό του χωνευτήρα έπρεπε να διατηρείται στους 35°C με απόκλιση  $\pm 3-4^\circ\text{C}$ . Για την επίτευξη της συγκεκριμένης θερμοκρασίας κάτω ακριβώς από τον χωνευτήρα είχε τοποθετηθεί κοινή εστία θέρμανσης με ενσωματωμένο θερμοστάτη η οποία προσέφερε την απαραίτητη θερμότητα, ενώ ο θερμοστάτης έκλεινε όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του χωνευτήρα μειωνόταν κάτω από τα επιτρεπτά όρια και άνοιγε σε περίπτωση που αυξανόταν πάνω από αυτά.

Κάθε αντιδραστήρας μέσω ειδικών σωληνώσεων συνδεόταν με ένα μεταλλικό βαρέλι διαστάσεων 84 cm επί 44 cm γεμάτο με νερό το οποίο με τη σειρά του μέσω πλαστικού σωλήνα ειδικά τοποθετημένου κατέληγε σε εξωτερικά πλαστικά δοχεία. Το παραγόμενο βιοαέριο από τον αντιδραστήρα διοχετευόταν μέσω των σωληνώσεων στο βαρέλι με το νερό, εκτόπιζε ανάλογα με την ποσότητά του τον αντίστοιχο όγκο νερού και έπειτα το νερό συλλεγόταν στα πλαστικά δοχεία. Έπειτα, τα πλαστικά δοχεία ζυγίζονταν και το βάρος του νερού που προέκυπτε, αποτελούσε έναν έμμεσο δείκτη μέτρησης της ποσότητας του παραγόμενου βιοαερίου. Επίσης, υπήρχε ακόμη ένας μικρός διαφανής κατακόρυφος πλαστικός σωλήνας που συνδεόταν με το μεταλλικό βαρέλι και έκανε δυνατή τη μέτρηση της μεταβολής της στάθμης του νερού στο εσωτερικό του (αρχή

*συγκοινωνούντων δοχείων*). Αφότου γινόταν η μέτρηση του βάρους του εκτοπισμένου νερού και η τροφοδοσία του χωνευτήρα, γινόταν διόρθωση της στάθμης στο μεταλλικό βαρέλι με τη προσθήκη νερού από το δίκτυο ύδρευσης έως το προκαθορισμένο αρχικό ύψος της. Το ύψος αυτό καθοριζόταν έτσι ώστε να ταυτίζεται με το ύψος όπου κατέληγε το σωληνάκι εκροής του εκτοπισμένου νερού. Επιπλέον χαρακτηριστικό ήταν ότι κάθε αντιδραστήρας για λόγους ασφαλείας διέθετε έναν αγωγό εκτόνωσης, έτσι ώστε σε περίπτωση δυσλειτουργίας του συστήματος η πίεση του παραγόμενου βιοαερίου να εκτονώνεται προς την ατμόσφαιρα και να μην δημιουργείται πρόβλημα στην εγκατάσταση.



**Εικόνα 1.1.** Εργαστήριο Διεξαγωγής Πειράματος

## 2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Κατά τη διάρκεια του πειράματος εκτός από τη ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου και την εσωτερική θερμοκρασία του χωνευτήρα μετρήθηκαν και οι εξής παράμετροι: pH, μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος, θερμοκρασία εξερχόμενων υγρών, τα ολικά και πτητικά στερεά της πρώτης ύλης και των εξερχόμενων υγρών των χωνευτήρων και το ποσοστό μεθανίου επί του βιοαερίου. Οι μέθοδοι με τις οποίες προσδιορίστηκαν περιγράφονται παρακάτω.

### ▪ PH και θερμοκρασία

Η μέτρηση του PH στα εισερχόμενα και εξερχόμενα υγρά απόβλητα του αναερόβιου χωνευτήρα γινόταν ανά 48 ώρες με την χρήση ηλεκτρονικού πεχάμετρου τύπου CyberScan PC 500 pH/Conductivity Meter (*Eutech Instruments Pte Ltd*). Στην ίδια συσκευή υπήρχε ενσωματωμένο ένα άλλο ηλεκτρόδιο κατάλληλο για τη μέτρηση της θερμοκρασίας των υγρών του δείγματος.



Εικόνα 2.1. Πεχάμετρο Εργαστηρίου

### ▪ Ολικά Στερεά (% κ.β. )

Για τον υπολογισμό του ποσοστού των ολικών στερεών (Ο.Σ.) των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν κάψες πορσελάνης. Αρχικά οι κάψες προθερμαίνονταν στους 105°C, ζυγίζονταν σκέτες, έπειτα προστίθενται μέσα σε αυτές το δείγμα των υγρών περίπου 5 mL και ζυγίζονταν ξανά. Τοποθετούνταν σε φούρνο ξήρανσης Memmert (Type U15) ακριβείας  $\pm 0,1$  mgr για 24 ώρες σε θερμοκρασία 103 – 105°C. Μετά το πέρας του 24ώρου αφαιρούνταν από τον φούρνο και παρέμεναν έως ότου αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου σε γυάλινο κλίβανο. Ο κλίβανος αυτός περιείχε ειδικό υλικό (*silica gel*) ικανό να

κατακρατά την υγρασία και να εμποδίζει την απορρόφησή της από τις κάψες με το υλικό. Τέλος, ζυγίζονταν πάλι οι κάψες μαζί με το ξηρό πλέον περιεχόμενο.

Με βάση τις τιμές που προέκυψαν με τη παραπάνω μέθοδο υπολογίστηκαν τα Ολικά Στερεά κατά βάρος αποβλήτων (Ο.Σ.%<sub>κ.β.</sub>) σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{Ο. Σ.}(\%_{\text{κ.β.}}) = \frac{\text{βάρος ξηρού δείγματος}}{\text{βάρος νωπού δείγματος}} * 100$$

#### ▪ Πτητικά Στερεά (%Ο.Σ.)

Οι κάψες με το ξηρό δείγμα που χρησιμοποιήθηκαν προηγουμένως για τον υπολογισμό των ολικών στερεών τοποθετούνται σε αποτεφρωτήρα Thermolyne Sybron (Type 1400 Furnace) με σκοπό την καύση των οργανικών (πτητικών) ουσιών στους 550°C για 12-16 ώρες. Μετά την αποτέφρωση οι κάψες με τη τέφρα (ανόργανο υλικό) τοποθετούνται στο γυάλινο σκεύος με το αφυγραντικό στερεό υλικό έως ότου αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου. Τέλος, ζυγίζονται στον ζυγό ακριβείας και με τις προκύπτουσες τιμές προσδιορίζεται το ποσοστό επί τοις εκατό των πτητικών στερεών ως προς το σύνολο των ολικών στερεών (Π.Σ.%<sub>Ο.Σ.</sub>) σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{Π. Σ.}(\%_{\text{Ο.Σ.}}) = \frac{\text{βάρος ξηρού δείγματος} - \text{βάρος τέφρας}}{\text{βάρος ξηρού δείγματος}} * 100$$

Ακολούθως υπολογίζεται και το ποσοστό επί τοις εκατό των πτητικών στερεών κατά βάρος αποβλήτων (Π.Σ.%<sub>κ.β.</sub>) με τον τύπο:

$$\text{Π. Σ.}(\%_{\text{κ.β.}}) = \frac{\text{βάρος ξηρού δείγματος} - \text{βάρος τέφρας}}{\text{βάρος νωπού δείγματος}} * 100$$

#### ▪ Ποσοστό μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο

Το βιοαέριο αποτελείται από μίγμα διαφόρων αερίων κυρίως μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα. Το μεθάνιο αποτελεί το είδος του αερίου που βρίσκεται σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα 65-80% στο βιοαέριο. Καθώς είναι ενεργειακά αξιοποιήσιμο, ο προσδιορισμός του ποσοστού του μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο αποτελεί

σημαντική παράμετρο για την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης.

Το ποσοστό του μεθανίου επί του παραγόμενου βιοαερίου των αναερόβιων χωνευτήρων προσδιορίστηκε στο εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών με τη χρήση δύο σύριγγών και ενός γυάλινου βάζου το οποίο περιείχε διοξείδιο του Καλίου (KOH). Το γυάλινο βάζο ήταν αεροστεγώς κλεισμένο και στο εσωτερικό του υπήρχε κορεσμένο διάλυμα KOH το οποίο έχει την δυνατότητα να κατακρατεί το CO<sub>2</sub>. Το βάζο διέθετε δύο σωληνάκια στο καπάκι του, εκ των οποίων το ένα κατέληγε στην βάση του και το άλλο ψηλότερα. Οι σύριγγες που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούνταν από μια γυάλινη και μια πλαστική. Με τη πλαστική σύριγγα (Α) των 30 mL γινόταν άντληση του βιοαερίου από τον σωλήνα διαφυγής του βιοαερίου που συνδεόταν με τον αναερόβιο χωνευτήρα και έπειτα τοποθετούταν στο σωληνάκι του βάζου που κατέληγε στον πυθμένα του. Παράλληλα στο άλλο σωληνάκι τοποθετούταν το στόμιο της γυάλινης σύριγγας (Β) χωρίς αέρα. Καθώς πιεζόταν η πρώτη σύριγγα, το βιοαέριο διαχεόταν στο υγρό, γεμίζοντας τη κενή σύριγγα και μετατοπίζοντας το έμβολό της. Έχοντας σημειώσει τα σημεία των μετατοπίσεων πάνω στις σύριγγες, υπολογιζόταν ο λόγος μεταξύ τους από τον οποίο προέκυπτε το ποσοστό του μεθανίου.

$$\text{Μεθάνιο}_{(\% \text{βιοαερίου})} = \frac{\text{Όγκος Β}}{\text{Όγκος Α}} * 100$$



**Εικόνα 2.2.** Μέθοδος Μέτρησης Ποσοστού Μεθανίου

### 3. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση του πειράματος ήταν ημι-κομποστοποιημένα στερεά απόβλητα πτηνοτροφείου (κοπριά) και τυρόγαλα. Τα στερεά του πτηνοτροφείου προέρχονταν από πτηνοτροφική μονάδα αυγοπαραγωγής υπό την επωνυμία «ΣΚΟΥΡΤΗΣ ΑΒΕΕ» στη περιοχή της Κορίνθου. Το τυρόγαλα προερχόταν από τη τυροκομική μονάδα του Γ. Δεδεμπίλης στο Γαλατάκι Αργολίδας και μεταφερόταν σε μεγάλα πλαστικά βαρέλια. Η προμήθεια με φρέσκο υλικό έγινε περίπου τρεις φορές στη διάρκεια του πειράματος. Πριν την μεταφορά της ποσότητας του τυρογάλακτος γινόταν μέτρηση του pH. Μετά την άφιξη των πρώτων υλών στο εργαστήριο γινόταν η παρασκευή των εκχυλισμάτων έτσι ώστε να υπάρχει επαρκής κάλυψη των δόσεων τροφοδοσίας των αντιδραστήρων για ορισμένο χρονικό διάστημα.

Για τη παρασκευή του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό χρησιμοποιήθηκαν ίση ποσότητα κατ' όγκο ημι-κομποστοποιημένων αποβλήτων πτηνοτροφείου με ίση ποσότητα νερού (αναλογία 1:1). Αφότου γινόταν ανάμιξη των αποβλήτων κοπριάς με το νερό, το μίγμα υφίστατο μηχανικό διαχωρισμό με χειρονακτική συμπίεση περνώντας ανάμεσα από δύο συρμάτινες σίτες με οπές διαμέτρου 1,00cm και 0,53mm αντίστοιχα. Η πρώτη σίτα απομάκρυνε τα ξένα υλικά και τα μεγαλύτερα σε μέγεθος υπολείμματα ενώ η δεύτερη φιλτράριζε το εκχύλισμα ώστε να έχει την κατάλληλη πυκνότητα. Η ίδια διαδικασία με την ίδια αναλογία ακολουθήθηκε για τη παρασκευή του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με τυρόγαλα μόνο που σε αντικατάσταση της ανάμιξης της κοπριάς με νερό, γινόταν ανάμιξη κοπριάς με τυρόγαλα. Το υλικό ήταν πλέον διαθέσιμο για τη τροφοδοσία των χωνευτήρων. Οι ποσότητες των παραγόμενων εκχυλισμάτων αποθηκεύονταν σε μικρά πλαστικά δοχεία συνήθως των 3 ή 5 L στη κατάψυξη (-15°C). Έπειτα από κάθε τροφοδοσία των χωνευτήρων αφαιρούνταν από την κατάψυξη και παρέμενε για απόψυξη η επόμενη δόση τροφοδοσίας. Η κατάψυξη του υλικού εξυπηρετούσε στην μη αλλοίωση των χαρακτηριστικών του.

## 4. ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### 4.1. ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΟΥ

Τα ημι-κομποστοποιημένα στερεά πτηνοτροφείου από την πτηνοτροφική μονάδα της Κορίνθου αφότου παραλαμβάνονταν στο εργαστήριο αποθηκεύονταν σε σκιερό και δροσερό μέρος. Έπειτα πραγματοποιούταν η επεξεργασία για την παρασκευή των εκχυλισμάτων. Στα ημι-κομποστοποιημένα στερεά πτηνοτροφείου, στο εκχύλισμα και στο υπόλειμμα πτηνοτροφείου με νερό έγιναν μετρήσεις των παραμέτρων τους σχετικά με το pH, τα ΟΣ και ΠΣ. Οι μετρήσεις των ΟΣ και των ΠΣ γίνονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η μέτρηση του pH στις πρώτες ύλες και τα εκχυλίσματα πραγματοποιούνταν σε πιο αραιά χρονικά διαστήματα κυρίως μετά την παραλαβή νέου υλικού και την παρασκευή των εκχυλισμάτων. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες.

**Πίνακας 4.1.1.: Χαρακτηριστικά Ημι-κομποστοποιημένων Αποβλήτων Πτηνοτροφείου**

Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>	ΠΣ% <sub>(κ.β.)</sub>	pH
1	30/10/2011	56,41	67,80		
		56,85	67,16		
2	12/12/2011	62,21	64,64		
		62,81	63,83		
3	14/12/2011	63,31	67,70		
		62,95	68,48		
4	30/12/2011	56,44	65,38		
		56,33	64,75		
5	13/1/2012	37,12	66,55		<b>9,78</b>
		38,38	67,00		
6	15/1/2012	60,06	63,80		
		60,45	64,46		
7	25/1/2012	59,48	67,93		
		60,55	68,85		
8	8/2/2012	48,86	70,93		
		50,38	70,80		
	M.O.	<b>55,79</b>	<b>66,88</b>	<b>37,31</b>	

**Πίνακας 4.1.2.: Χαρακτηριστικά Εκχυλίσματος Πτηνοτροφείου με Νερό**

Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>	ΠΣ% <sub>(κ.β.)</sub>	pH
1	30/10/2011	5,49	66,83		
		5,45	66,62		
2	18/11/2011	1,09	68,19		<b>9,4</b>
		1,23	69,21		
3	30/11/2011	1,25	71,02		
		1,23	70,15		
4	12/12/2011	1,33	61,65		<b>9,44</b>
		1,66	61,68		
5	14/12/2011	1,20	56,83		<b>9,51</b>
		1,23	54,21		
6	30/12/2011	2,49	66,30		<b>9,08</b>
		2,19	65,84		
7	5/1/2012	1,32	66,17		<b>9,75</b>
		1,26	63,38		
8	15/1/2012	1,36	75,89		
		1,33	74,39		
9	25/1/2012	1,29	76,29		<b>9,67</b>
		1,10	71,62		
10	8/2/2012	0,89	89,34		<b>9,47</b>
		0,89	87,82		
11	24/2/2012	1,05	71,74		<b>9,03</b>
		1,03	70,75		
13	5/3/2012	2,18	77,23		
		2,17	80,20		
14	7/3/2012	1,25	57,84		
		1,34	58,51		
15	11/3/2012	0,82	71,62		<b>9,85</b>
		0,89	70,64		
	<b>M.O.</b>	<b>1,64</b>	<b>69,36</b>	<b>1,14</b>	<b>9,47</b>



**Πίνακας 4.1.3.: Χαρακτηριστικά Υπολείμματος Πτηνοτροφείου μετά από διαβροχή με Νερό**

Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>	ΠΣ% <sub>(κ.β.)</sub>	pH
1	12/12/2011	45,81	68,53		
		46,63	69,00		
2	14/12/2011	44,63	67,34		
		44,98	68,25		
3	25/1/2012	31,01	68,00		
		36,56	67,89		
4	8/2/2012	32,51	67,03		
		31,27	65,45		
5	1/3/2012	35,03	70,35		<b>8,86</b>
		35,90	69,87		
	M.O.	<b>38,43</b>	<b>68,17</b>	<b>26,22</b>	

#### 4.2. ΤΥΡΟΓΑΛΑ

Η προμήθεια του τυρογάλακτος γινόταν από μονάδα τυροκομείου στη περιοχή της Αργολίδας. Μετά τη μεταφορά του στο Εργαστήριο, τα πλαστικά βαρέλια με το τυρόγαλα τοποθετούνταν στην κατάψυξη (-15°C), δεδομένου ότι το τυρόγαλα είναι ένα πολύ ευπαθές υλικό. Το τυρόγαλα που θα χρησιμοποιούσαμε άμεσα για το εκχύλισμα διατηρούνταν σε κοινή ψύξη (8°C). Οι μετρήσεις του pH, των Ο.Σ. και των Π.Σ. αφορούσαν το τυρόγαλα, το εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα και το υπόλειμμα του πτηνοτροφείου μετά από τη διαβροχή του με τυρόγαλα. Η μέτρηση του pH όπως και στα απόβλητα πτηνοτροφείου γινόταν σε πιο αραιά χρονικά διαστήματα. Τα στοιχεία παρουσιάζονται στους πίνακες παρακάτω:

**Πίνακας 4.2.1.: Χαρακτηριστικά Τυρογάλακτος**

Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>	ΠΣ% <sub>(κ.β.)</sub>	pH
1	16/1/2012	5,52	88,84		<b>5,29</b>
		5,49	84,76		
2	25/1/2012	5,46	88,87		<b>4,57</b>
		5,52	88,81		
3	24/2/2012	5,85	82,21		<b>5,18</b>
		5,83	81,85		
4	1/3/2012	3,36	84,11		<b>6,75</b>
		3,29	83,35		
5	7/3/2012	5,77	86,05		
		5,54	88,55		
	M.O.	<b>5,16</b>	<b>85,74</b>	<b>4,42</b>	<b>5,45</b>

**Πίνακας 4.2.2.: Χαρακτηριστικά Υπολείμματος Πτηνοτροφείου μετά από διαβροχή με Τυρόγαλα**

Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>	ΠΣ% <sub>(κ.β.)</sub>
1	8/2/2012	38,50	74,83	
		35,83	71,32	
2	1/3/2012	36,61	67,77	
		36,60	68,20	
	M.O.	<b>36,88</b>	<b>70,53</b>	<b>26,03</b>

**Πίνακας 4.2.3.: Χαρακτηριστικά Εκχυλίσματος Πτηνοτροφείου με Τυρόγαλα**

Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>	ΠΣ% <sub>(κ.β.)</sub>	pH
1	16/1/2012	6,52	80,62		<b>6,70</b>
		6,60	81,25		
2	25/1/2012	5,78	84,58		<b>6,37</b>
		5,77	83,06		
3	8/2/2012	7,75	74,99		<b>6,97</b>
		7,34	79,89		
4	24/2/2012	6,49	76,14		<b>6,70</b>
		6,57	76,55		
5	5/3/2012	5,61	75,20		
		5,60	74,52		
6	7/3/2012	4,08	79,59		
		4,01	79,81		
7	11/3/2012	6,52	76,87		
		6,57	73,90		
	M.O.	<b>6,09</b>	<b>78,36</b>	<b>4,77</b>	<b>6,69</b>

#### 4.3. ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΑ ΥΓΡΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΩΝ

Εκτός από την μέτρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών στα υγρά τροφοδοσίας (εισερχόμενα) των χωνευτήρων, έγιναν οι ίδιες μετρήσεις και στα υγρά εξόδου από τους χωνευτήρες Α και Β. Με αυτό τον τρόπο γινόταν έλεγχος της λειτουργίας τους και της αποδοτικότητας του συστήματος. Η μέτρηση του pH των υγρών εξόδου γινόταν κάθε δύο μέρες, την ημέρα της τροφοδοσίας των χωνευτήρων. Στους πίνακες που ακολουθούν

απεικονίζονται οι μετρήσεις των ΟΣ και των ΠΣ στους χωνευτήρες Α και Β, καθώς και ο μέσος όρος του pH που προέκυψε από όλες τις μετρήσεις.

**Πίνακας 4.3.1.: Χαρακτηριστικά Υγρών Εξόδου Χωνευτήρα Α**

Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>	ΠΣ% <sub>(κ.β.)</sub>	pH
1	18/12/2011	1,05	50,58		
		1,01	47,55		
2	20/12/2011	1,14	54,60		
		1,18	57,84		
3	22/12/2011	1,54	67,37		
		1,33	67,24		
4	24/12/2011	0,92	49,29		
		0,96	51,45		
5	5/3/2012	0,87	64,34		
		0,89	55,24		
6	7/3/2012	0,88	68,08		
		0,88	68,59		
7	11/3/2012	0,94	56,88		
		0,99	64,20		
	<b>M.O.</b>	<b>1,04</b>	<b>58,80</b>	<b>0,61</b>	<b>7,59</b>

**Πίνακας 4.3.2.: Χαρακτηριστικά Υγρών Εξόδου Χωνευτήρα Β**

Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>	ΠΣ% <sub>(κ.β.)</sub>	pH
1	5/3/2012	1,26	69,84		
		1,51	73,27		
2	7/3/2012	1,39	53,48		
		1,39	55,33		
3	11/3/2012	1,37	57,96		
		1,39	58,63		
	<b>M.O.</b>	<b>1,39</b>	<b>61,42</b>	<b>0,85</b>	<b>7,79</b>

## 5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Για τη διεξαγωγή του παρόντος πειράματος στη μεσόφιλη περιοχή (θερμοκρασία 35°C) χρησιμοποιήθηκαν δύο χωνευτήρες, ωφέλιμου όγκου 19 L ο καθένας, από τους οποίους ο ένας λειτουργούσε μόνο ως μάρτυρας ενώ ο άλλος περιελάμβανε το υπό εξέταση μίγμα των αποβλήτων. Η διάρκεια του πειράματος ήταν 4 μήνες (Νοέμβριος 2011 - Μάρτιος 2012), ενώ ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στους αναερόβιους αντιδραστήρες ήταν 16 ημέρες. Η τροφοδότηση του κάθε χωνευτήρα γινόταν ανά 48 ώρες με 2,4 L υγρών αποβλήτων. Κάθε φορά προστίθετο 50 mL απιονισμένο νερό για τη διόρθωση της στάθμης του υγρού περιεχομένου του χωνευτήρα η οποία μειωνόταν λόγω της εξάτμισης.

Ταυτόχρονα πραγματοποιούνταν οι απαραίτητες μετρήσεις για τον υπολογισμό των παραμέτρων όπως το pH και η θερμοκρασία των εξερχόμενων υγρών. Ο έλεγχος του pH των υγρών εξαγωγής παρείχε πληροφορίες για τη σταθερότητα του συστήματος και την ύπαρξη κάποια ανεπιθύμητης μεταβολής, αν δεν βρισκόταν μέσα σε ένα αποδεκτό εύρος τιμών. Επίσης, γινόταν ζύγιση των πλαστικών δοχείων με το εκτοπισμένο νερό για τη μέτρηση της ποσότητας του παραγόμενου βιοαερίου στο διάστημα των δύο ημερών. Σε πολύ τακτά χρονικά διαστήματα γίνονταν οι μετρήσεις για τα Ο.Σ. και τα Π.Σ. των υγρών εισόδου και εξόδου. Μετά τη σταθεροποίηση του συστήματος παραγωγής βιοαερίου του χωνευτήρα υπολογιζόταν και η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο σε πιο αραιά διαστήματα.

Η τροφοδότηση του πρώτου αντιδραστήρα - μάρτυρα (Α) γινόταν αποκλειστικά με εκχύλισμα ημι-κομποστοποιημένων αποβλήτων πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής με νερό καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Λαμβάνονταν μετρήσεις κανονικά για όλες τις παραμέτρους. Στον δεύτερο αντιδραστήρα (Β) η τροφοδότηση γινόταν επίσης με 2,4 L υγρών αλλά με διαφορετικές αναλογίες μέχρι το τελικό στάδιο. Η διαδικασία αποτελείται από τρεις φάσεις όπως περιγράφονται στον πίνακα 5.1. που ακολουθεί:

**Πίνακας 5.1.: Αναλογίες Μίγματος Αποβλήτων στα 3 Στάδια του Χωνευτήρα Β**

Στάδια	Εκχ. Πτην.+Νερό (L)	Εκχ. Πτην.+Τυρ.(L)	Σύνολο
1 <sup>ο</sup>	2,4	0	2,4
2 <sup>ο</sup>	1,2	1,2	2,4
3 <sup>ο</sup>	0,9	1,5	2,4

Στο πρώτο στάδιο που διήρκεσε περίπου δύο μήνες, ο χωνευτήρας Β τροφοδοτήθηκε με 2,4 L εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό ανά 48ωρο. Το ίδιο εκχύλισμα χρησιμοποιείτο και για τη τροφοδότηση του πρώτου χωνευτήρα (Α).

Αποτελούσε μια φάση προσαρμογής του συστήματος μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία και σταθεροποίηση των εξεταζόμενων παραμέτρων.

Στο δεύτερο στάδιο το είδος και η ποσότητα των υγρών εισόδου στον χωνευτήρα Β διαφοροποιούνται. Οι ποσότητες τροφοδοσίας διαμορφώνονται με βάση το χρόνο παραμονής και τη συνολική χωρητικότητα του χωνευτήρα. Μετά τη σταθεροποίηση ακολούθησε σταδιακή αλλαγή στο είδος και τις ποσότητες των υγρών εισόδου όπου μέρος του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό αντικαταστάθηκε από εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα, έχοντας ως σκοπό να επιτευχθεί η τελική επιθυμητή αναλογία. Συγκεκριμένα, η κάθε δόση τροφοδοσίας του αντιδραστήρα αποτελούνταν από 1,2 L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό και με 1,2 L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα. Δεδομένου ότι η συνολική δόση ήταν 2,4 L, τα υγρά του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με το τυρόγαλα αποτελούσαν το 1/2 (50%) της συνολικής ποσότητας και τα υγρά του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό το υπόλοιπο 1/2 (50%). Το στάδιο αυτό αποτελούσε μεταβατική φάση των αναερόβιων χωνευτήρων, απαραίτητη ώστε να αποφευχθεί μια ανισορροπία του συστήματος (shock) και να μην επηρεαστούν αρνητικά οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί από μια απότομη αλλαγή στις αναλογίες των δόσεων.

Στο τρίτο στάδιο διαμορφώνονται οι τελικές ποσότητες των υγρών εισόδου. Σε κάθε δόση τροφοδοσίας διοχετεύονταν στο αντιδραστήρα 1,5 L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα και 0,9 L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Όταν σταθεροποιηθεί η παραγωγή βιοαερίου και το pH των υγρών εξόδου δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, λαμβάνονται πιο συστηματικά οι μετρήσεις όλων των παραμέτρων και ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στη μέτρηση του ποσοστού του μεθανίου στο βιοαέριο.

### ΙΙΙ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### **1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ / ΜΕΘΑΝΙΟΥ**

##### 1.1. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Χ.Π. 16 ΗΜΕΡΩΝ

Συνοψίζοντας τα στοιχεία που προκύπτουν από τους πίνακες του Κεφαλαίου 4 (4.1.1. - 4.3.2.), γίνεται μια καταγραφή των μέσων όρων των ποιοτικών χαρακτηριστικών, καθώς με τη βοήθεια τους θα υπολογιστούν τα χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου των χωνευτήρων Α και Β σε χρόνο παραμονής 16 ημερών.

**Πίνακας 1.1.1.: Συγκεντρωτικός Πίνακας Μ.Ο. Ποιοτικών Χαρακτηριστικών (ΧΠ = 16)**

<b>Α΄ ΥΛΕΣ</b>	<b>ΟΣ%</b>	<b>ΠΣ% (ΟΣ)</b>	<b>ΠΣ% (κ.β.)</b>	<b>PH</b>
ΗΣΠτ (πυκν. 0,6kg/m <sup>3</sup> )	55,79	66,88	37,31	9,78
ΕΚΧπ+ν	1,64	69,36	1,14	9,47
Τυρόγαλα	5,16	85,74	4,42	5,45
ΕΚΧπ+τ	6,09	78,36	4,77	6,69
ΕΞΑ	1,04	58,8	0,61	7,59
ΕΞΒ	1,39	61,42	0,85	7,79

ΗΣΠτ: ημικομποστοποιημένα στερεά απόβλητα πτηνοτροφείου

ΕΚΧπ+ν: εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό

ΕΚΧπ+τ: εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα

ΕΞΑ: υγρά εξόδου χωνευτήρα Α

ΕΞΒ: υγρά εξόδου χωνευτήρα Β

Στον Πίνακα 1.1.2. αναφέρονται τα χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου για τους χωνευτήρες Α και Β. Ο χωνευτήρας Α, όπως έχει αναφερθεί λειτουργούσε ως μάρτυρας.

**Πίνακας 1.1.2.: Χαρακτηριστικά Παραγωγής Βιοαερίου στους δύο Χωνευτήρες (ΧΠ = 16)**

Πρώτες Ύλες	Χωνευτήρας Α	Χωνευτήρας Β
Όγκος Χωνευτήρων (L)	19	
Χρόνος Παραμονής (ημέρες)	16	
Ημερήσια Ποσότητα Μίγματος Τροφοδοσίας (L/ημέρα)	1,2 ΕΚΧπ+v	0,75 ΕΚΧπ+τ + 0,45 ΕΚΧπ+v
Πτητικά Στερεά (% ΠΣ <sub>κ.β.</sub> )	ΕΚΧπ+v = 1,14 %	ΕΚΧπ+v = 1,14 %
		ΕΚΧπ+τ = 4,77 %
Πτητικά Στερεά Μίγματος Τροφοδοσίας (kg/ημέρα)	0,014	0,041
Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση (kg ΠΣ/m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	0,74	2,16
Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> */m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	0,31	1,62
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /kg ΠΣ <sub>ημ</sub> )	0,42	0,75
Μείωση Φορτίου (% ΠΣ)	55,41	79,22
pH Υγρών Εξόδου	7,59	7,79

\* Nm<sup>3</sup>: Normal Cubic Meter ή κανονικό κυβικό μέτρο είναι η μετρική έκφραση του όγκου αερίου σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας 20°C και πίεσης 1 ατμόσφαιρας

Ακολουθώντας από τα ποσοστά των πτητικών στερεών κατά βάρος (ΠΣ%<sub>κ.β.</sub>) των εκχυλισμάτων που προέκυψαν, είναι δυνατό να δοθούν οι μεταξύ τους λόγοι σε κάθε στάδιο τροφοδοσίας. Συγκεκριμένα, στον Πίνακα 1.1.3. υπολογίστηκαν η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου, οι λόγοι των πτητικών στερεών κατά βάρος του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με τυρόγαλα προς τα πτητικά στερεά κατά βάρος του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό, η ογκομετρική οργανική φόρτιση και το pH. Ο χωνευτήρας Α καθότι λειτουργούσε ως μάρτυρας, είχε σταθερά μηδενικό λόγο αφού η τροφοδοσία του γινόταν μόνο με εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Σύμφωνα με τις αναλογίες των

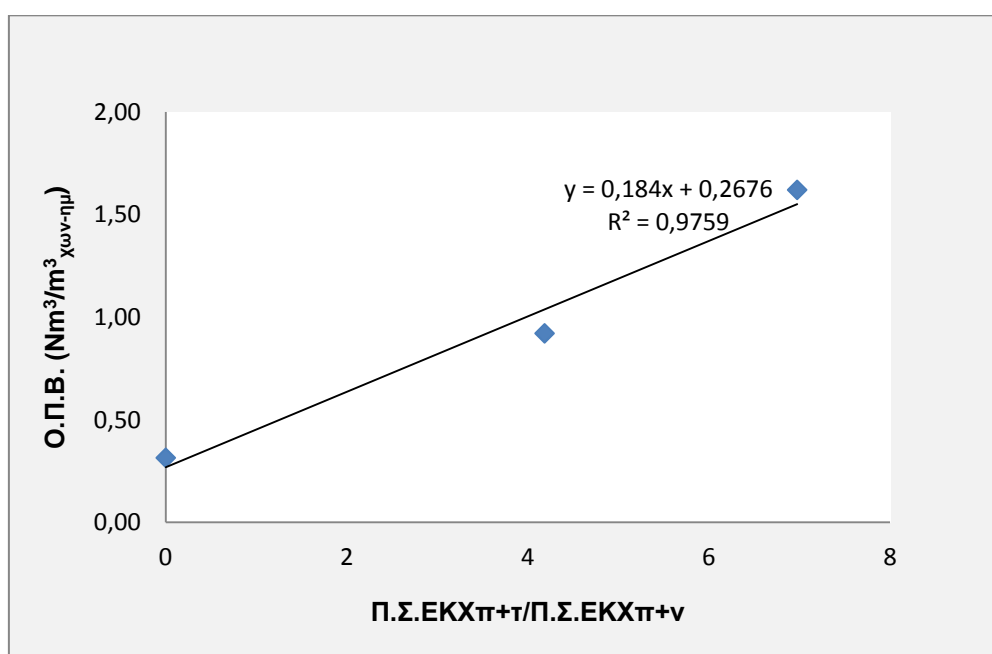
εκχυλισμάτων που καθόριζαν το κάθε στάδιο τροφοδοσίας στον χωνευτήρα Β, οι λόγοι διαμορφώθηκαν ως εξής:

**Πίνακας 1.1.3.: Λόγοι Εκχυλισμάτων Μίγματος σε κάθε Στάδιο Παραγωγής**

Στάδια	Ο.Π.Β.	Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν	Ο.Ο.Φ.	ΡΗ
1 <sup>ο</sup>	0,31	0	0,74	7,59
2 <sup>ο</sup>	0,92	4,18	1,84	7,13
3 <sup>ο</sup>	1,62	6,97	2,16	7,79

Στο πρώτο στάδιο ο λόγος των πτητικών είναι μηδενικός, καθώς στο χωνευτήρα προστίθεντο μόνο εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Στο δεύτερο ο λόγος διαμορφώθηκε σε 4,18/1 πράγμα που σημαίνει ότι σε 1,2 L δόσης τροφοδοσίας το εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα έχει σχεδόν 4 φορές περισσότερα ΠΣ από ότι έχει το εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Στο τρίτο στάδιο αντίστοιχα ο λόγος ήταν 6,97/1 άρα το εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα έχει περίπου 7πλάσια περιεκτικότητα σε ΠΣ από το εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό στο μίγμα των 1,2 L. Επομένως, η προσθήκη τυρογάλακτος στο μίγμα αυξάνει την περιεκτικότητα του σε πτητικά στερεά. Στο Διάγραμμα 1.1.1. αποτυπώνεται γραφικά η τάση παραγωγής του βιοαερίου στο χωνευτήρα Β σε σχέση με τον λόγο των ΠΣ. Η γραμμή τάσης σχηματίστηκε με τη βοήθεια 3 σημείων, όσα ακριβώς είναι και τα στάδια.

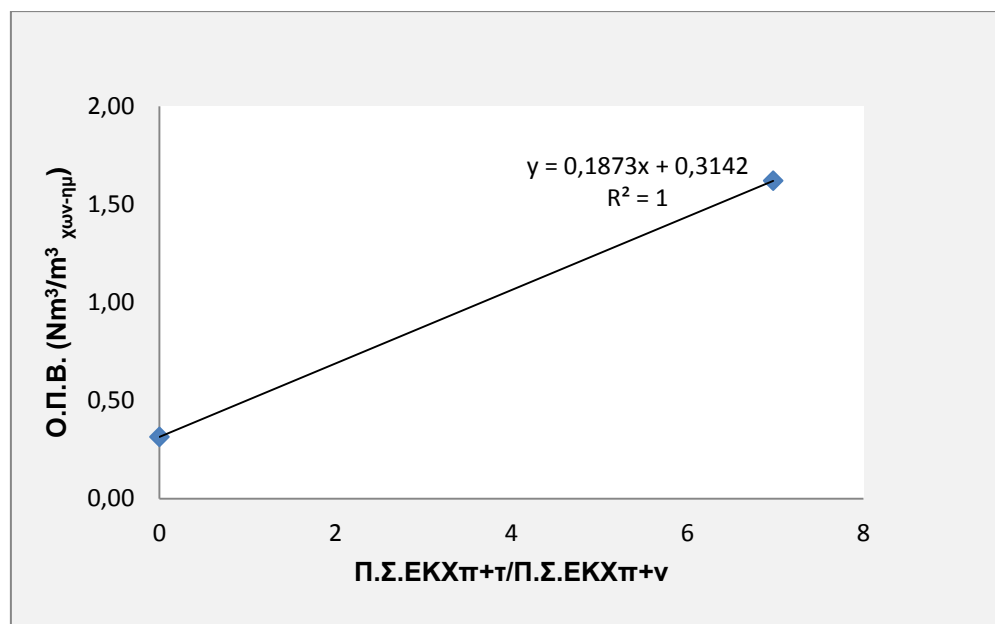
**Διάγραμμα 1.1.1.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με Λόγο Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν σε ΧΠ 16 ημερών (3 σημεία)**





Από το διάγραμμα προκύπτει ότι όσο αυξάνεται ο λόγος των πτητικών στερεών λόγω της προσθήκης τυρογάλακτος, τόσο αυξάνεται γραμμικά η παραγωγή βιοαερίου στο χωνευτήρα. Η σχέση  $y = 0,184x + 0,2676$  εκφράζει αυτή τη θετική συσχέτιση. Με τη χρήση της σχέσης αυτής και του λόγου των πτητικών 6,97/1 μπορεί να υπολογιστεί η μέγιστη ογκομετρική παραγωγή του βιοαερίου στις 16 ημέρες, η οποία προκύπτει  $1,55 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$  ή  $1,55 \cdot 16 = 24,8 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{αποβλήτων}}$ . Δεδομένου ότι υπάρχει γραμμική σχέση της παραγωγής βιοαερίου με την αύξηση της ποσότητας τυρογάλακτος στο μίγμα, η ανωτέρω σχέση μπορεί να εκφραστεί, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του πρώτου και τρίτου σταδίου, και από μόνο δύο σημεία αρκεί να μην ξεπεραστεί η τιμή του λόγου 6,97/1. Αυτό επιβεβαιώνεται στο παρακάτω Διάγραμμα 1.1.2. με τη σχέση  $y = 0,1873x + 0,3142$ .

**Διάγραμμα 1.1.2.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με λόγο Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν σε ΧΠ 16 ημερών (2 σημεία)**

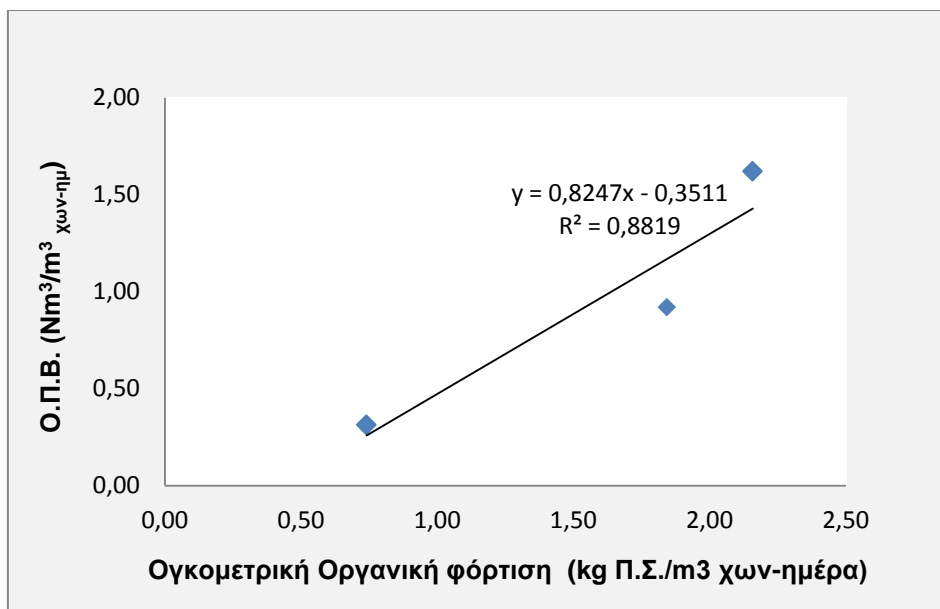


Η σχέση αυτή που εκφράζει τη σχέση παραγόμενου βιοαερίου με το λόγο των πτητικών στερεών, παρουσιάζει μικρή απόκλιση από εκείνη που προέκυψε στο προηγούμενο διάγραμμα. Τοποθετώντας το λόγο των πτητικών 6,97/1 στην εξίσωση η μέγιστη ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου ανά χωνευτήρα σε μία ημέρα προκύπτει  $1,62 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων}}$  ή  $1,62 \cdot 16 = 25,93 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{αποβλήτων}}$ . Τα αποτελέσματα αυτά επαληθεύουν τα στοιχεία στον Πίνακα 1.1.2. επομένως η σχέση των δύο σημείων μπορεί να εφαρμόζεται στη θέση των τριών σημείων. Σε περίπτωση έλλειψης επιπλέον στοιχείων θα προτιμάται λοιπόν η σχέση των δύο σημείων.

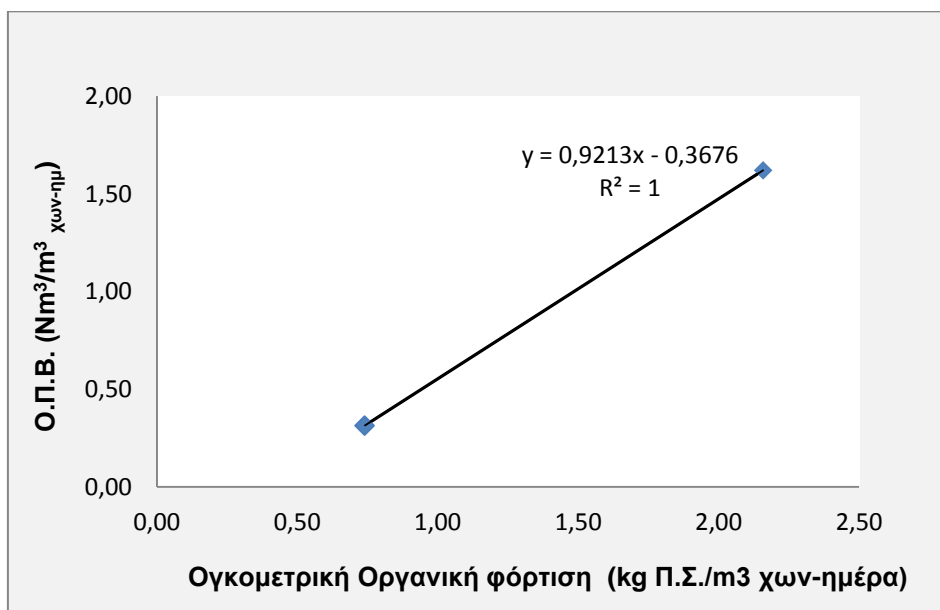
Επίσης, η σχέση του παραγόμενου βιοαερίου μπορεί να απεικονιστεί σε σχέση με την ογκομετρική οργανική φόρτιση όπως φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα.

Διαπιστώνεται ότι μεταξύ τους παρουσιάζουν θετική συσχέτιση, καθώς όσο αυξάνεται η οργανική φόρτιση τόσο αυξάνεται και η παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου στον χωνευτήρα.

**Διάγραμμα 1.1.3.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε ΧΠ 16 ημερών (3 σημεία)**

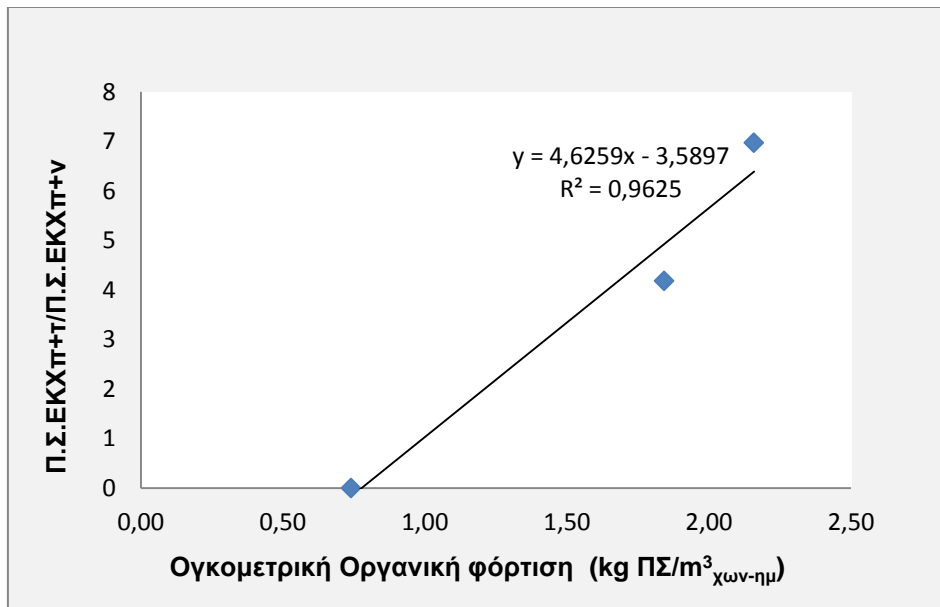


**Διάγραμμα 1.1.4.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε ΧΠ 16 ημερών (2 σημεία)**

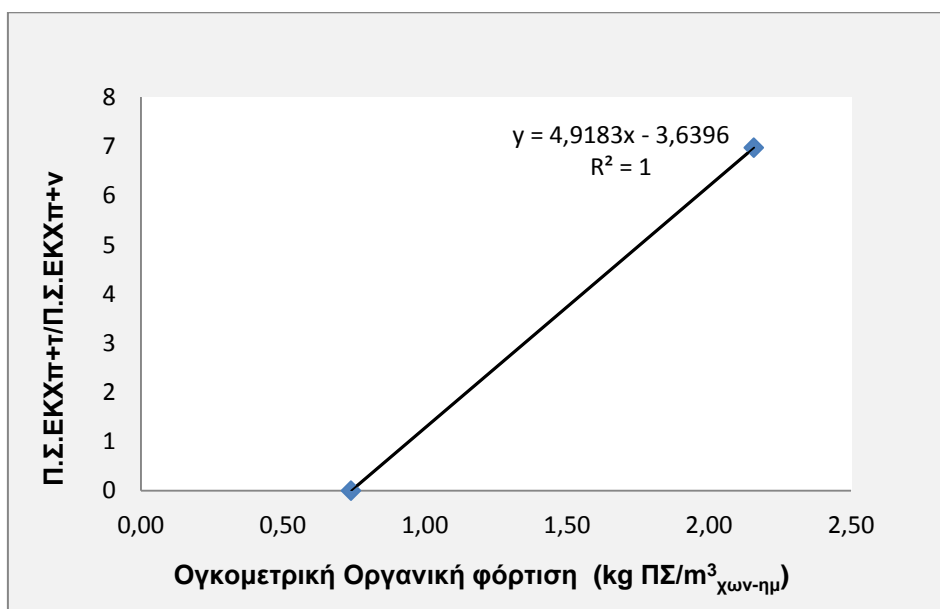


Ως προς την οργανική φόρτιση μπορεί να εκφραστεί, επίσης, ο λόγος των ΠΣ των εκχυλισμάτων. Η σχέση των δύο μεγεθών είναι ανάλογη, δεδομένου ότι μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ΠΣ του χωνευτήρα συνεπάγεται αύξηση του λόγου των εκχυλισμάτων. Η αύξηση αυτή δικαιολογείται από την περιεκτικότητα σε τυρόγαλα το οποίο είναι πλούσιο σε ΠΣ και ωθεί προς τα πάνω το φορτίο και τον λόγο των ΠΣ των εκχυλισμάτων.

**Διάγραμμα 1.1.5.: Σχέση Λόγου Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 16 ημερών (3 σημεία)**



**Διάγραμμα 1.1.6.: Σχέση λόγου Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 16 ημερών (2 σημεία)**



## 1.2. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Χ.Π. 21 ΗΜΕΡΩΝ

Στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών έπειτα από τη πειραματική διαδικασία που αφορούσε στο χρόνο παραμονής 16 ημερών ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία για χρόνο παραμονής 21 και έπειτα 32 ημερών από ομάδα προπτυχιακών φοιτητών<sup>6</sup>. Το είδος των αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκε για τη τροφοδοσία των χωνευτήρων Α και Β ήταν το ίδιο, όμως διέφεραν οι αναλογίες των ποσοτήτων. Τα ΠΣ των εκχυλισμάτων και των υγρών εξόδου που υπολογίστηκαν και καταγράφηκαν διαφέρουν από τα αντίστοιχα στοιχεία που αφορούσαν χρόνο παραμονής 16 ημερών. Τα νέα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών βιοαερίου στους δύο χωνευτήρες για τους χρόνους παραμονής 16 και 32 είναι τα παρακάτω:

**Πίνακας 1.2.1.: Συγκεντρωτικός Πίνακας Μ.Ο. Ποιοτικών Χαρακτηριστικών (ΧΠ = 21)**

<b>Α΄ ΥΛΕΣ</b>	<b>ΟΣ%</b>	<b>ΠΣ% (ΟΣ)</b>	<b>ΠΣ% (κ.β.)</b>	<b>PH</b>
ΗΣΠτ (πυκν. 0,6kg/m <sup>3</sup> )	55,79	66,88	37,31	-
ΕΚΧΠ+ν	3,23	67,48	2,18	-
Τυρόγαλα	5,16	85,74	4,42	-
ΕΚΧΠ+τ	6,95	75,30	5,23	-
ΕΞΑ	1,88	59,53	1,12	8,03
ΕΞΒ	2,33	52,20	1,22	8,36

Στον χρόνο παραμονής των 21 ημερών η ημερήσια ποσότητα τροφοδοσίας ήταν 0,9 L. Ο χωνευτήρας Α τρεφόταν εξολοκλήρου με εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό, ενώ ο χωνευτήρας Β μόνο κατά το πρώτο στάδιο. Στο τελικό στάδιο του χωνευτήρα Β η αναλογία του υλικού τροφοδοσίας άλλαξε και μεταβλήθηκε καθώς προστίθεντο ημερησίως 0,55 L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα και 0,35 L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Τα στοιχεία παρατίθενται στον Πίνακα 1.2.2. παρακάτω.

<sup>6</sup> Βαχαβιώλος Φώτιος, Θοδωρή Ματίλντα, Μίχου Φωτεινή

**Πίνακας 1.2.2.: Χαρακτηριστικά Παραγωγής Βιοαερίου στους δύο Χωνευτήρες (ΧΠ = 21)**

Πρώτες Ύλες	Χωνευτήρας Α	Χωνευτήρας Β
Όγκος Χωνευτήρων (L)	19	
Χρόνος Παραμονής (ημέρες)	21	
Ημερήσια Ποσότητα Μίγματος Τροφοδοσίας (L/ημέρα)	0,9 ΕΚΧπ+ν	0,55 ΕΚΧπ+τ + 0,35 ΕΚΧπ+ν
Πτητικά Στερεά (% ΠΣ <sub>κ.β.</sub> )	ΕΚΧπ+ν = 2,18 %	ΕΚΧπ+ν = 2,18 %
		ΕΚΧπ+τ = 5,23 %
Πτητικά Στερεά Μίγματος Τροφοδοσίας (kg/ημέρα)	0,02	0,036
Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση (kg ΠΣ/m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	1,05	1,89
Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	0,92	1,59
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /kg ΠΣ-ημ)	0,88	0,84
Μείωση Φορτίου (% ΠΣ)	42,92	66,48
pH Υγρών Εξόδου	8,03	8,36

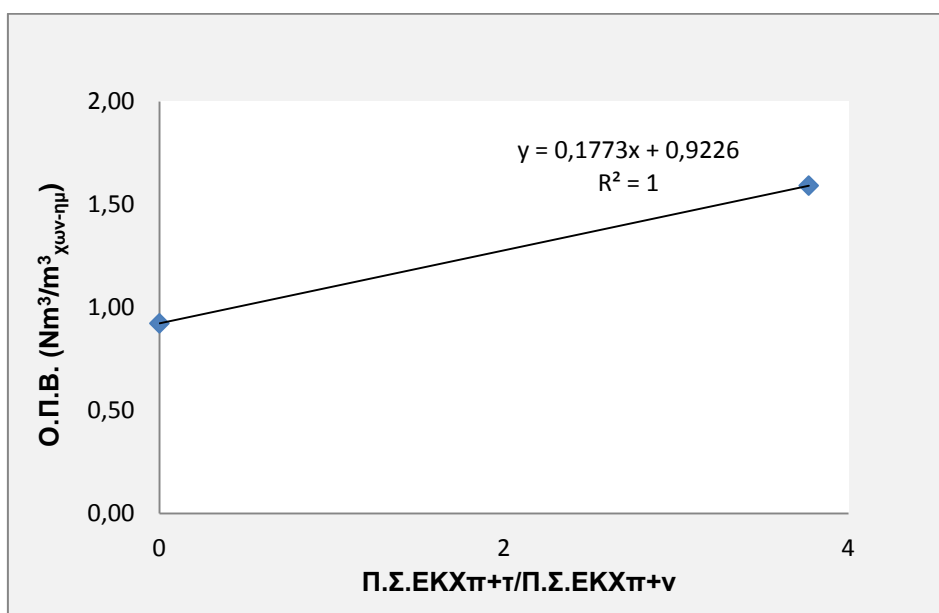
Έπειτα σχηματίζεται ο Πίνακας 1.2.3 με τους λόγους των ΠΣ των εκχυλισμάτων που χρησιμοποιούνται στον χωνευτήρα Β σε δύο στάδια στο αρχικό και στο τελικό.

**Πίνακας 1.2.3.: Λόγοι Εκχυλισμάτων Μίγματος σε κάθε Στάδιο Παραγωγής (ΧΠ = 21)**

Στάδια	Ο.Π.Β.	Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν	Ο.Ο.Φ.
1 <sup>ο</sup>	0,92	0	1,05
3 <sup>ο</sup>	1,59	3,77	1,89

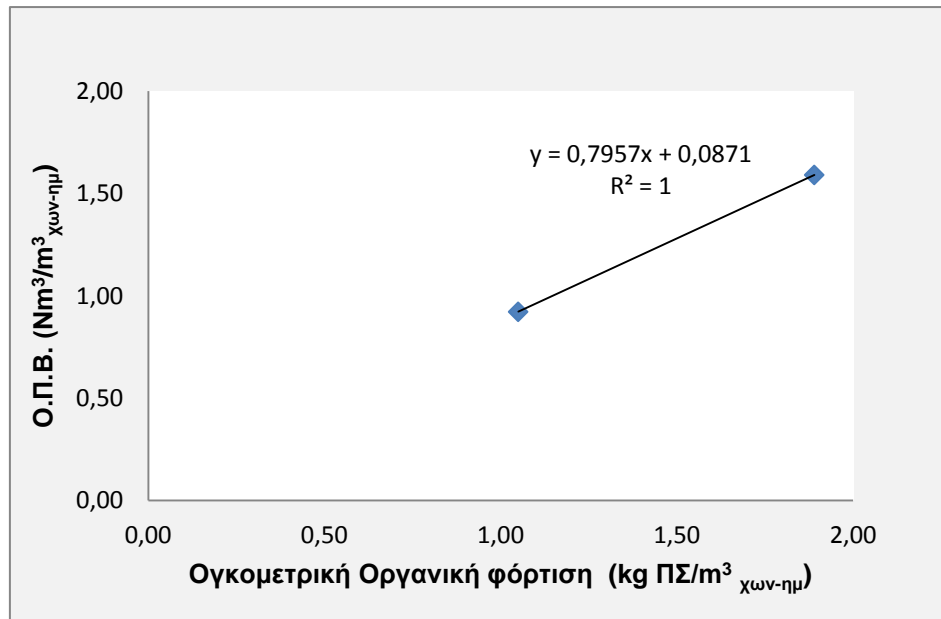
Στο πρώτο στάδιο επεξεργασίας του χωνευτήρα Β δεν χρησιμοποιείται καθόλου εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα, άρα ο λόγος μεταξύ των ΠΣ των εκχυλισμάτων είναι μηδενικός. Στο δεύτερο στάδιο τα ΠΣ<sub>κ.β.</sub> των εκχυλισμάτων διαμορφώνουν τον λόγο των πτητικών στερεών εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με τυρόγαλα προς τα πτητικά στερεά εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό στο 3,77/1. Επομένως, σε 0,9 L μίγματος τροφοδοσίας τα ΠΣ του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με τυρόγαλα είναι 3,77 φορές περισσότερα απ' ό τι στο εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Η σχέση των λόγων των ΠΣ των εκχυλισμάτων με το παραγόμενο βιοαέριο ανά χωνευτήρα στα δύο στάδια δίδεται στο Διάγραμμα 1.2.1.

**Διάγραμμα 1.2.1.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με Λόγο Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν σε Χ.Π. 21 ημερών**

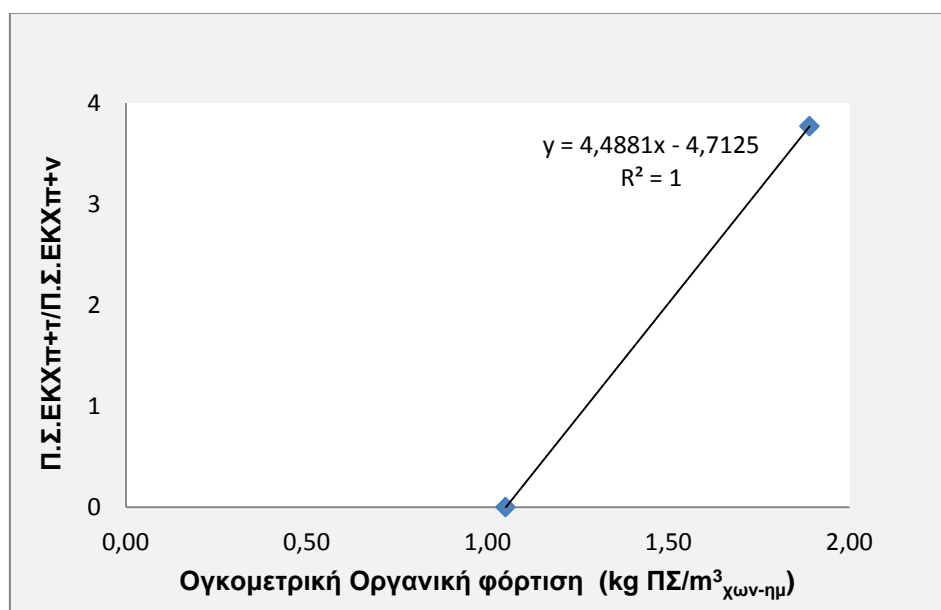


Με τη χρήση της σχέσης  $y = 0,1773x + 0,9226$  και του λόγου των πτητικών 3,77/1 προκύπτει ότι η μέγιστη ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου είναι  $1,59 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων}}$  ή  $1,59 \cdot 21 = 33,41 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{αποβλήτων}}$ . Η σχέση της ογκομετρικής παραγωγής βιοαερίου και του λόγου των ΠΣ των εκχυλισμάτων σε σχέση με την ογκομετρική οργανική φόρτιση παρουσιάζεται παρακάτω.

**Διάγραμμα 1.2.2.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 21 ημερών**



**Διάγραμμα 1.2.3.: Σχέση Λόγου Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 21 ημερών**



### 1.3. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Χ.Π. 32 ΗΜΕΡΩΝ

Η επόμενη πειραματική διαδικασία αφορούσε χρόνο παραμονής 32 ημέρες. Ο χωνευτήρας Α τρεφόταν και εδώ εξολοκλήρου με εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό, ενώ ο χωνευτήρας Β μόνο κατά το πρώτο στάδιο. Στο τελικό στάδιο του χωνευτήρα Β η ημερήσια ποσότητα τροφοδοσίας ήταν 0,375 L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα και 0,225 L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Τα στοιχεία έχουν ως εξής:

**Πίνακας 1.3.1.: Χαρακτηριστικά Παραγωγής Βιοαερίου στους δύο Χωνευτήρες (ΧΠ = 32)**

Πρώτες Ύλες	Χωνευτήρας Α	Χωνευτήρας Β
Όγκος Χωνευτήρων (L)	19	
Χρόνος παραμονής (ημέρες)	32	
Ημερήσια ποσότητα (L/ημέρα)	0,6 ΕΚΧπ+ν	0,375 ΕΚΧπ+τ + 0,225 ΕΚΧπ+ν
Πτητικά στερεά (% ΠΣ <sub>κ.β.</sub> )	ΕΚΧπ+ν = 2,18 %	ΕΚΧπ+ν = 2,18 %
		ΕΚΧπ+τ = 5,23 %
Πτητικά Στερεά (kg/ημέρα)	0,013	0,025
Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση (kg ΠΣ/m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	0,68	1,32
Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	0,19	0,77
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /kg ΠΣ <sub>-ημ</sub> )	0,28	0,58
Μείωση Φορτίου (% ΠΣ)	14,37	50,24
pH υγρών εξόδου	7,62	7,91

Ακολουθώντας από τα ποσοστά των πτητικών στερεών κατά βάρος (ΠΣ% κ.β.) των εκχυλισμάτων που προέκυψαν, σχηματίζεται ο Πίνακας 1.3.2. με τους λόγους των ΠΣ των εκχυλισμάτων που χρησιμοποιούνται στον χωνευτήρα Β σε δύο στάδια στο αρχικό και στο τελικό. Ο χωνευτήρας Α έχει λόγο μηδενικό. Στον χωνευτήρα Β οι λόγοι διαμορφώθηκαν ως εξής:

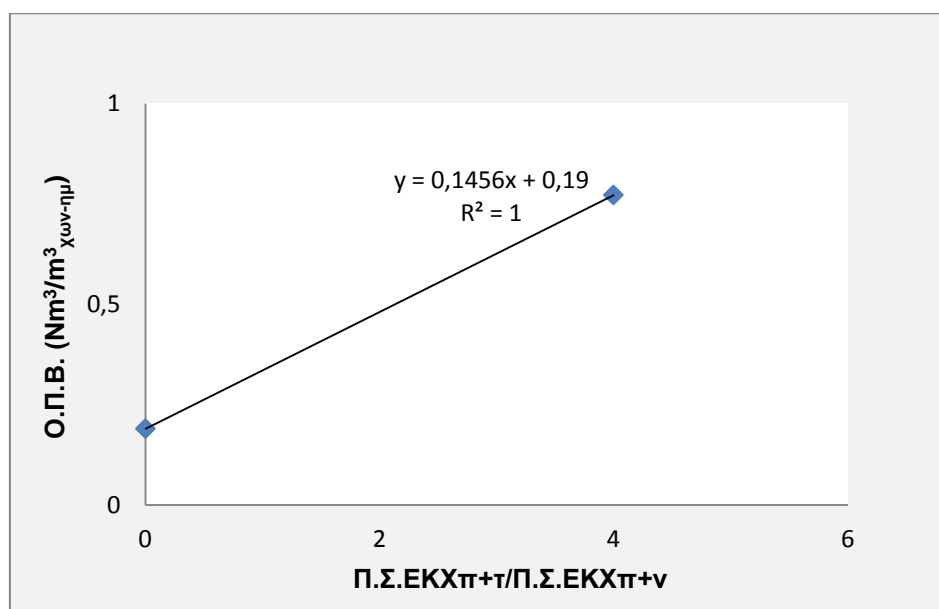


**Πίνακας 1.3.2.: Λόγοι Εκχυλισμάτων Μίγματος σε κάθε Στάδιο Παραγωγής (ΧΠ = 32)**

Στάδια	Ο.Π.Β.	Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν	Ο.Ο.Φ.
1 <sup>ο</sup>	0,19	0	0,68
3 <sup>ο</sup>	0,77	4,00	1,32

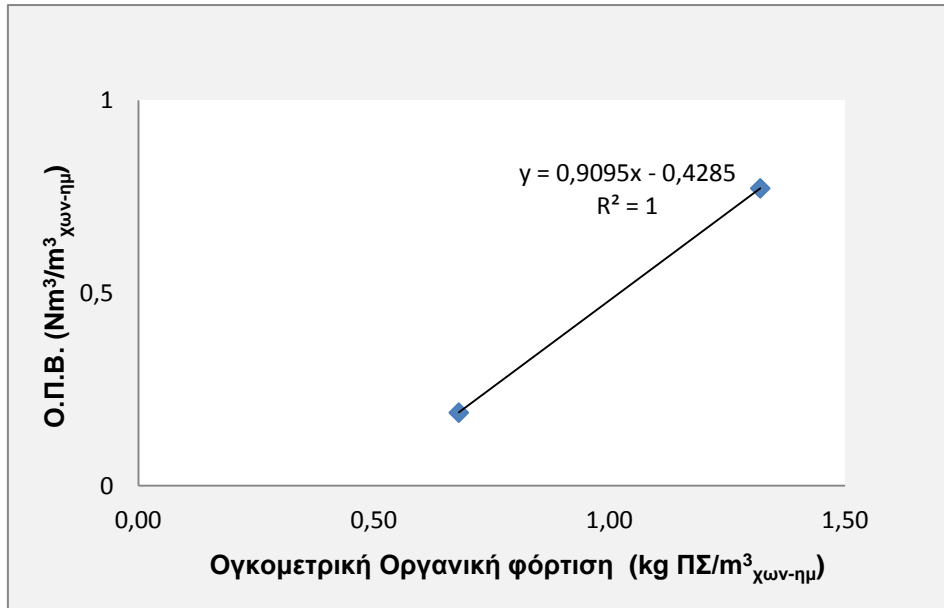
Στο πρώτο στάδιο επεξεργασίας του χωνευτήρα Β δεν χρησιμοποιείται καθόλου εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα, άρα ο λόγος είναι μηδενικός. Στο δεύτερο στάδιο τα ΠΣ%<sub>κ.β.</sub> των εκχυλισμάτων έχουν λόγο πτητικών στερεών εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με τυρόγαλα προς τα πτητικά στερεά εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό στο 4/1. Επομένως, σε 0,6 L μίγματος τροφοδοσίας τα ΠΣ του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με τυρόγαλα είναι 4πλασια απ' ότι στο εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Η σχέση των λόγων των ΠΣ των εκχυλισμάτων με την ογκομετρική παραγωγή δίδεται στο Διάγραμμα 1.3.1.

**Διάγραμμα 1.3.1.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με Λόγο Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν σε ΧΠ 32 ημερών**

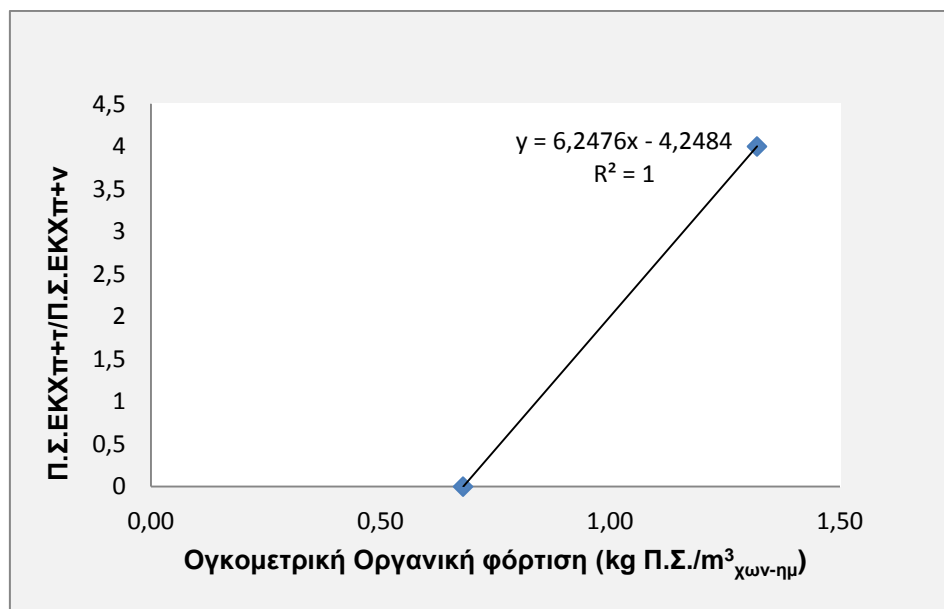


Η σχέση που δίνει το διάγραμμα είναι η  $y = 0,1456x + 0,19$ . Χρησιμοποιώντας το λόγο των πτητικών 4/1 επαληθεύεται ότι η μέγιστη ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου είναι  $0,77 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων}}$  ή  $0,77 \cdot 32 = 24,71 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{αποβλήτων}}$ . Η σχέση της ογκομετρικής παραγωγής βιοαερίου του λόγου των ΠΣ των εκχυλισμάτων σε σχέση με την ογκομετρική οργανική φόρτιση παρουσιάζεται παρακάτω.

**Διάγραμμα 1.3.2.: Σχέση Ο.Π.Β. Χωνευτήρα Β με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε ΧΠ 32 ημερών**



**Διάγραμμα 1.3.3.: Σχέση Λόγου Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε ΧΠ 32 ημερών**



#### 1.4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΤΙΜΩΝ ΠΣ ΤΩΝ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΧΠ 21 ΚΑΙ 32 ΗΜΕΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΧΠ 16 ΗΜΕΡΩΝ

Το ποσοστό των ΠΣ στα απόβλητα δεν παραμένει πάντα σταθερό και εξαρτάται άμεσα από το είδος και τη προέλευση των αποβλήτων. Μια μεταβολή στο ποσοστό των ΠΣ των πρώτων υλών διαφοροποιεί τελείως όλους τους υπολογισμούς και τα αποτελέσματα, άρα η σημασία του είναι καθοριστική. Προκειμένου να μελετηθεί η παραγωγή βιοαερίου σε συνάρτηση με τον ΧΠ χρειάζεται να προσαρμόσουμε τα πειραματικά δεδομένα των 16 ημερών σε εκείνα των 21 και 32 ημερών, καθώς προέρχονται από διαφορετικά πειράματα. Η αλλαγή αυτή μπορεί να γίνει άμεσα αντιληπτή αν εφαρμοστούν στις αναλογίες του μίγματος που χρησιμοποιήθηκε στις 16 ημέρες, τα δεδομένα των ποσοστών των ΠΣ<sub>κβ</sub> των εκχυλισμάτων του Πίνακα 1.2.1, όπου ΕΚΧπ+ν = 2,18% και ΕΚΧπ+τ = 5,23%.

**Πίνακας 1.4.1.: Διαφοροποιημένος Λόγος Εκχυλισμάτων Μίγματος και Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου στα δύο Στάδια ΧΠ 16 ημερών**

Στάδια	Ο.Π.Β.	Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν
1 <sup>ο</sup>	0,31	0
3 <sup>ο</sup>	<b>1,06</b>	<b>4</b>

Συγκεκριμένα, με την αλλαγή των ποσοστών των ΠΣ<sub>κβ</sub> των εκχυλισμάτων, ο λόγος 4/1 του δεύτερου πειράματος των 21 ημερών, εφαρμοζόμενος στα στοιχεία του πρώτου πειράματος, επιτρέπει την εκτίμηση της ελάχιστης ογκομετρικής παραγωγής βιοαερίου (MIN) και βρίσκεται εντός του εύρους του λόγου των 16 ημερών (0 – 6,97/1). Αντίθετα, η εφαρμογή του λόγου 6,97/1 των 16 ημερών στα πειραματικά δεδομένα των 2 άλλων ΧΠ, δίνει μια εκτίμηση της μέγιστης παραγωγής βιοαερίου (MAX), αλλά βρίσκεται εκτός του εύρους 0 – 4,0/1.

Χρησιμοποιώντας τη σχέση του Διαγράμματος 1.1.2  $y = 0,1873x + 0,3142$  και τον λόγο 4/1 η ογκομετρική παραγωγή του βιοαερίου υπολογίζεται σε  $1,06 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$  και η ογκομετρική παραγωγή ανά κυβικό αποβλήτων για 16 ημέρες είναι  $1,06 \cdot 16 = 17,01 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{αποβλήτων}}$ . Η χαμηλή αυτή τιμή του παραγόμενου βιοαερίου δικαιολογείται από τον μικρότερο λόγο των ΠΣ των εκχυλισμάτων. Ο λόγος μειώθηκε καθώς το ποσοστό των ΠΣ του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό που χρησιμοποιήθηκε είναι σχεδόν διπλάσιο από το προηγούμενο, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό των ΠΣ του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με τυρόγαλα είναι αυξημένο ελάχιστα. Αυτό σημαίνει ότι σε 1,2 L μίγματος τροφοδοσίας το εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα έχει 4 φορές περισσότερα ΠΣ έναντι σχεδόν 7 που είχε στον αρχικό λόγο, σε σχέση με τα ΠΣ του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό. Παρατηρείται ότι ο λόγος είναι αρκετά μικρότερος από τον αντίστοιχο λόγο των εκχυλισμάτων που προέκυψε στο μίγμα τροφοδοσίας του

χωνευτήρα Β σε χρόνο παραμονής 16 ημερών. Η ογκομετρική παραγωγή ανά κυβικό αποβλήτων ( $17,01 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{αποβλήτων}}$ ) αποτελεί την ελάχιστη (MIN) εκτίμηση του παραγόμενου βιοαερίου στο χρόνο παραμονής των 16 ημερών με βάση τα ΠΣ των 21 και 32 ημερών. Ειδικότερα, τα χαρακτηριστικά του χωνευτήρα Β έχουν ως εξής:

**Πίνακας 1.4.2.: Χαρακτηριστικά Παραγωγής Βιοαερίου στον Χωνευτήρα Β πριν και μετά τη Διαφοροποίηση στα ΠΣ (ΧΠ =16)**

Πρώτες Ύλες	Χωνευτήρας Β (πριν)	Χωνευτήρας Β (μετά)
Όγκος Χωνευτήρων (L)	19	
Χρόνος Παραμονής (ημέρες)	16	
Ημερήσια Ποσότητα (L/ημέρα)	0,75 ΕΚΧΠ+τ + 0,45 ΕΚΧΠ+ν	0,75 ΕΚΧΠ+τ + 0,45 ΕΚΧΠ+ν
Πτητικά Στερεά (% ΠΣ <sub>κ.β.</sub> )	ΕΚΧΠ+ν = 1,14 %	<b>ΕΚΧΠ+ν = 2,18 %</b>
	ΕΚΧΠ+τ = 4,77 %	<b>ΕΚΧΠ+τ = 5,23 %</b>
Πτητικά Στερεά Μίγματος Τροφοδοσίας (kg/ημέρα)	0,041	<b>0,049</b>
Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση (kg ΠΣ/ $\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$ )	2,16	<b>2,58</b>
Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου ( $\text{Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$ )	1,62	<b>1,06</b>
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου ( $\text{Nm}^3/\text{kg ΠΣ-ημ}$ )	0,75	<b>0,41</b>
Μείωση Φορτίου (% ΠΣ)	79,22	<b>82,67</b>

### 1.5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΠΣ ΤΩΝ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΧΠ 16 ΗΜΕΡΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΧΠ 21 ΚΑΙ 32 ΗΜΕΡΩΝ

Για να καλυφθεί όλο το εύρος των πιθανών ποσοτήτων του παραγόμενου βιοαερίου στους τρεις διαφορετικούς χρόνους παραμονής και να είναι τα αποτελέσματα συγκρίσιμα, πρέπει η περιεκτικότητα των πρώτων υλών σε ΠΣ να είναι η ίδια και στους τρεις χρόνους παραμονής. Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, χρησιμοποιήθηκαν τα ποσοστά των ΠΣ<sub>κβ</sub> των εκχυλισμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία για ΧΠ 21 και 32 ημερών, πάνω στη περίπτωση του ΧΠ 16 ημερών (MIN). Τώρα θα αναλυθεί η περίπτωση προσαρμογής των δεδομένων των ποσοστών ΠΣ των εκχυλισμάτων για ΧΠ 16 ημερών στις περιπτώσεις των ΧΠ 21 και 32 ημερών MAX). Η εφαρμογή αυτή καλύπτει τη καλύτερη δυνατή παραγωγή βιοαερίου σε κάθε ΧΠ. Συγκεκριμένα τα ποσοστά των ΠΣ που χρησιμοποιήθηκαν είναι για  $EKX_{\pi+v} = 1,14\%$  και για  $EKX_{\pi+\tau} = 4,77\%$  (Πίνακας 1.1.1.). Οι διαφοροποιήσεις του λόγου των ΠΣ των εκχυλισμάτων στα δύο στάδια σε κάθε ΧΠ είναι η εξής:

**Πίνακας 1.5.1.: Διαφοροποιημένος Λόγος Εκχυλισμάτων Μίγματος και Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου στα δύο Στάδια ΧΠ 21 ημερών**

Στάδια	Ο.Π.Β.	Π.Σ.ΕΚΧ <sub>π+τ</sub> /Π.Σ.ΕΚΧ <sub>π+v</sub>
1 <sup>ο</sup>	0,92	0
3 <sup>ο</sup>	<b>2,09</b>	<b>6,58</b>

**Πίνακας 1.5.2.: Διαφοροποιημένος Λόγος Εκχυλισμάτων Μίγματος και Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου στα δύο Στάδια ΧΠ 32 ημερών**

Στάδια	Ο.Π.Β.	Π.Σ.ΕΚΧ <sub>π+τ</sub> /Π.Σ.ΕΚΧ <sub>π+v</sub>
1 <sup>ο</sup>	0,19	0
3 <sup>ο</sup>	<b>1,21</b>	<b>6,97</b>

Σε ΧΠ 21 ημερών ο λόγος που προκύπτει μετά τη διαφοροποίηση στο τρίτο στάδιο είναι 6,58/1 ενώ σε 32 ημέρες ο λόγος ταυτίζεται με αυτόν του ΧΠ σε 16 ημέρες και είναι 6,97/1. Χρησιμοποιώντας τη σχέση του Διαγράμματος 2.1  $y = 0,1773x + 0,9226$  του ΧΠ 21 ημερών και τον λόγο 6,58/1, η ογκομετρική παραγωγή του βιοαερίου είναι  $2,09 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$  ή η ογκομετρική παραγωγή ανά κυβικό αποβλήτων είναι  $2,09 \cdot 21 = 43,86 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{αποβλήτων}}$ . Από τον διαφοροποιημένο λόγο 6,97/1 στις 32 ημέρες και τη σχέση του Διαγράμματος 3.1.  $y = 0,1456x + 0,19$  η ογκομετρική παραγωγή του βιοαερίου είναι  $1,21 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{χων-ημ}}$  ή η ογκομετρική παραγωγή ανά κυβικό αποβλήτων  $1,21 \cdot 32 = 38,57 \text{ Nm}^3/\text{m}^3_{\text{αποβλήτων}}$ .

Οι λόγοι είναι αισθητά μεγαλύτεροι λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας των εκχυλισμάτων σε ΠΣ. Το ποσοστό των ΠΣ<sub>κβ</sub> του εκχυλίσματος αποβλήτων πτηνοτροφείου με νερό στις περιπτώσεις των ΧΠ 21 και 32 ημερών είναι διπλάσιο από το αντίστοιχο ποσοστό στην περίπτωση του ΧΠ 16 ημερών, ενώ αντίστοιχα το ποσοστό των ΠΣ<sub>κβ</sub> του εκχυλίσματος αποβλήτων πτηνοτροφείου με τυρόγαλα είναι αυξημένο μόλις κατά 1%. Το παραγόμενο βιοαέριο που εκτιμήθηκε σε κάθε ΧΠ αποτελεί τη μέγιστη ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου με βάση τα δεδομένα των ΠΣ. Επομένως, στο μίγμα τροφοδοσίας κάθε ΧΠ το εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα έχει περίπου 7 φορές περισσότερα ΠΣ σε σχέση με τα ΠΣ του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό. Τα χαρακτηριστικά του χωνευτήρα Β σε κάθε ΧΠ έχουν ως εξής:

**Πίνακας 1.5.3.: Χαρακτηριστικά Παραγωγής Βιοαερίου στον Χωνευτήρα Β πριν και μετά τη Διαφοροποίηση στα ΠΣ (ΧΠ = 21)**

Πρώτες Ύλες	Χωνευτήρας Β (πριν)	Χωνευτήρας Β (μετά)
Όγκος Χωνευτήρων (L)	19	
Χρόνος Παραμονής (ημέρες)	21	
Ημερήσια Ποσότητα Μίγματος Τροφοδοσίας(L/ημέρα)	0,55 ΕΚΧπ+τ + 0,35 ΕΚΧπ+ν	0,55 ΕΚΧπ+τ + 0,35 ΕΚΧπ+ν
Πτητικά Στερεά (% ΠΣ <sub>κ.β.</sub> )	ΕΚΧπ+ν = 2,18 %	<b>ΕΚΧπ+ν = 1,14 %</b>
	ΕΚΧπ+τ = 5,23 %	<b>ΕΚΧπ+τ = 4,77 %</b>
Πτητικά Στερεά Μίγματος Τροφοδοσίας (kg/ημέρα)	0,036	<b>0,030</b>
Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση (kg ΠΣ/m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	1,89	<b>1,58</b>
Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	1,59	<b>2,09</b>
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /kg ΠΣ <sub>-ημ</sub> )	0,84	<b>1,32</b>
Μείωση Φορτίου (% ΠΣ)	66,48	<b>59,64</b>

**Πίνακας 1.5.4.: Χαρακτηριστικά Παραγωγής Βιοαερίου στον Χωνευτήρα Β πριν και μετά τη Διαφοροποίηση στα ΠΣ (ΧΠ = 32)**

Πρώτες Ύλες	Χωνευτήρας Β (πριν)	Χωνευτήρας Β (μετά)
Όγκος Χωνευτήρων (L)	19	
Χρόνος Παραμονής (ημ)	32	
Ημερήσια Ποσότητα Μίγματος Τροφοδοσίας (L/ημ)	0,375 ΕΚΧΠ+τ + 0,225 ΕΚΧΠ+ν	0,375 ΕΚΧΠ+τ + 0,225 ΕΚΧΠ+ν
Πτητικά Στερεά (% ΠΣ <sub>κ.β.</sub> )	ΕΚΧΠ+ν = 2,18 %	ΕΚΧΠ+ν = 1,14 %
	ΕΚΧΠ+τ = 5,23 %	ΕΚΧΠ+τ = 4,77 %
Πτητικά Στερεά Μίγματος Τροφοδοσίας (kg/ημ)	0,025	0,020
Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση (kg ΠΣ/m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	1,32	1,05
Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	0,77	1,21
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /kg ΠΣ-ημ)	0,58	1,15
Μείωση Φορτίου (% ΠΣ)	50,24	40,35

## 1.6. ΒΕΛΤΙΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ

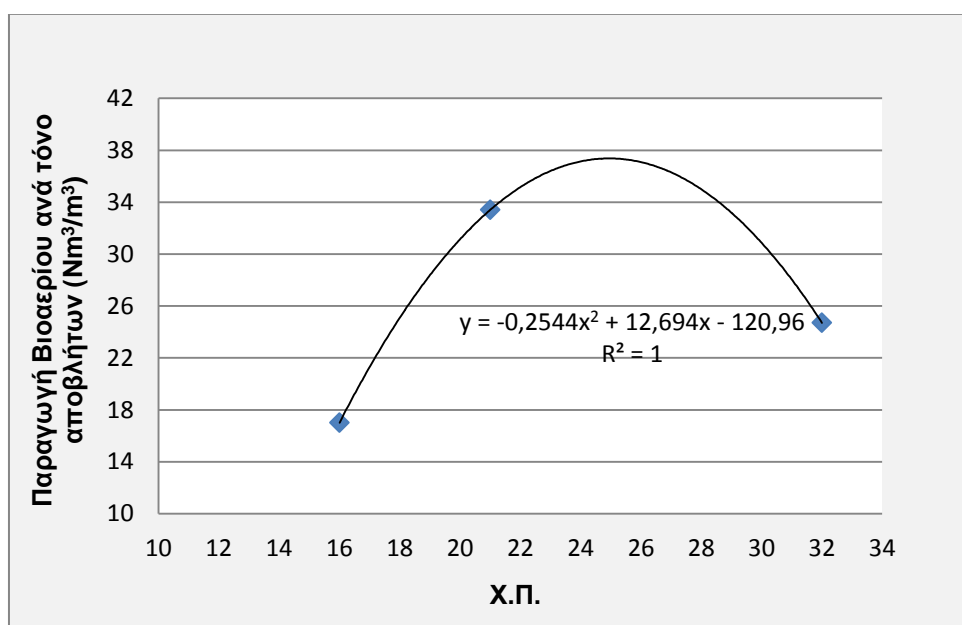
Λαμβάνοντας υπόψη τα έως τώρα στοιχεία του χωνευτήρα Β για όλους τους χρόνους παραγωγής διορθωμένα ως προς το ποσοστό των ΠΣ είναι εφικτό να υπολογιστεί ποιος είναι ο βέλτιστος χρόνος παραμονής και η βέλτιστη παραγόμενη ποσότητα του βιοαερίου που μπορεί να επιτευχθεί.

**Πίνακας 1.6.1.: Συνολική Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου ανά ΧΠ**

Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων (min)	Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων (max)	Χ.Π
17,01	25,93	16
33,41	43,86	21
24,70	38,57	32

Παρακάτω απεικονίζεται διαγραμματικά μέσω πολυωνυμικής καμπύλης το χαμηλότερο βέλτιστο σημείο λειτουργίας του χωνευτήρα Β (optimum)

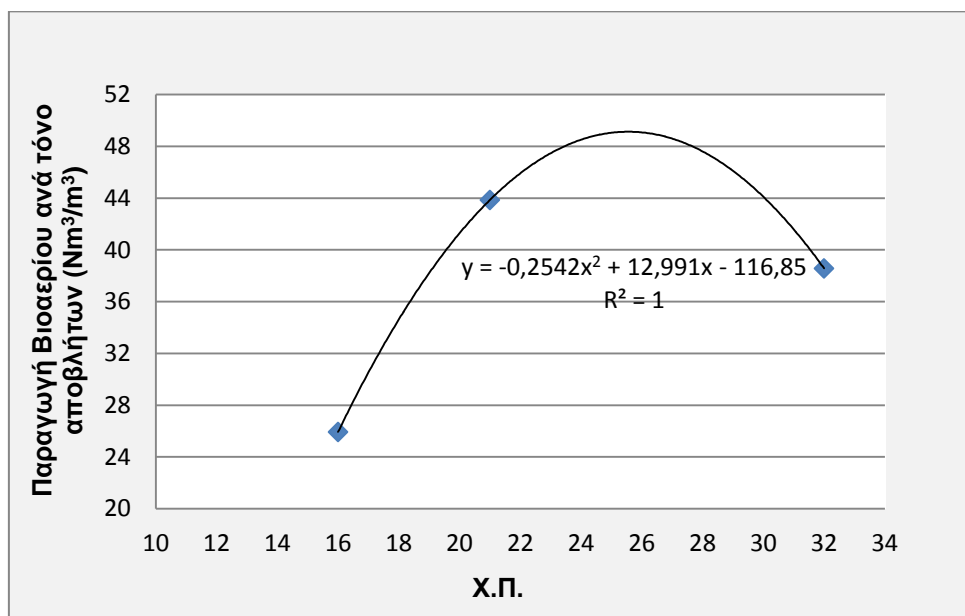
**Διάγραμμα 1.6.1.: Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων Χωνευτήρα Β (min) Vs ΧΠ**





Από την καμπύλη προκύπτει η εξίσωση  $y = - 0,2544x^2 + 12,694x - 120,96$ , παραγωγίζοντας τη και λύνοντας ως προς 0 προκύπτει πως ο βέλτιστος ΧΠ είναι 25 ημ και η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου  $y = 37,39 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$  αποβλ. Αντιστοίχως απεικονίζεται διαγραμματικά (Διάγραμμα 1.6.2), μέσω πολυωνυμικής καμπύλης το υψηλότερο βέλτιστο σημείο λειτουργίας του χωνευτήρα Β (optimum)

**Διάγραμμα 1.6.2.: Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων Χωνευτήρα Β (max) Vs ΧΠ**



Από την καμπύλη μας προκύπτει η σχέση  $y = - 0,254x^2 + 12,991x - 116,85$ , παραγωγίζοντας την εξίσωση και λύνοντας ως προς 0 προκύπτει πως ο βέλτιστος ΧΠ είναι 25,55 ημ και η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου  $y = 49,13 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$  αποβλ.

Πιο κάτω παρατίθενται οι υπολογισμοί των χαρακτηριστικών του επιθυμητού χωνευτήρα των 25 ημερών χρόνου παραμονής, με βάση τα ποσοστά του Πίνακα 1.6.2.

**Πίνακας 1.6.2. Τυπική Περιεκτικότητα Α' υλών σε ΠΣ% κ.β**

Πρώτες Ύλες	ΠΣ % κ.β. MIN	ΠΣ % κ.β. MAX
ΕΚΧΠ+ν	2,18	1,14
Τυρόγαλα	4,43	4,43
ΕΚΧΠ+τ	5,23	4,77

Επόμενο βήμα είναι να υπολογιστούν οι ιδανικές αναλογίες εκχυλισμάτων οι οποίες θα διοχετεύονται καθημερινά στο χωνευτήρα της μονάδας καθώς και ο λόγος των ΠΣ των δύο βασικών πρώτων υλών που αποτελούν το μίγμα, δηλ. του τυρογάλακτος και του διαλυμένου πτηνοτροφείου. Η αναλογία των εκχυλισμάτων που αντιστοιχεί στον Χ.Π. των 25 ημερών προκύπτει ως εξής:

$$EKX_{\pi+v} = 0,294 \text{ L}$$

$$EKX_{\pi+\tau} = 0,462 \text{ L}$$

Συνολικά προκύπτει  $0,294 + 0,462 = 0,756 = 0,76 \text{ L}$  μίγμα τροφοδοσίας του χωνευτήρα Β την ημέρα. Με επαλήθευση διαπιστώνεται ότι η ποσότητα αυτή του μίγματος αντιστοιχεί σε 25 ημέρες χρόνο παραμονής ( $X.Π. = 19/0,76 = 25$ ).

Σύμφωνα με τις παραπάνω αναλογίες η ογκομετρική οργανική φόρτιση ανέρχεται για το MIN σε  $1,61 \text{ kg ΠΣ/m}^3_{\text{χων-ημ}}$  και ο λόγος ΠΣ σε  $3,77/1$ . Η μέση τιμή των λόγων των ΠΣ στο MIN του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με τυρόγαλα προς τα ΠΣ εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό και για τους τρεις χρόνους παραμονής 16, 21, 32 που εξετάστηκαν είναι  $\text{ΠΣ}_{EKX_{\pi+\tau}} / \text{ΠΣ}_{EKX_{\pi+v}} = 3,92/1$ . Υπολογίζονται μαθηματικά οι ακριβείς ποσότητες που αναλογούν στη δόση τροφοδοσίας των  $0,76 \text{ L}$  έτσι ώστε να εξισωθεί ο λόγος των ποσοτήτων των συστατικών του μίγματος από  $3,77/1$  με την τιμή  $3,92/1$  και προκύπτει για MIN παραγωγή βιοαερίου  $3,92/1$ . Άρα ο χωνευτήρας θα τροφοδοτείται καθημερινά με  $0,76 \text{ L}$  μίγματος από το οποίο τα  $0,4716 \text{ L}$  θα αποτελούνται από εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα και τα υπόλοιπα  $0,2884 \text{ L}$  από εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Η οργανική φόρτιση σύμφωνα με τις νέες αναλογίες θα είναι για MIN παραγωγή βιοαερίου  $1,63 \text{ kg ΠΣ/m}^3_{\text{χων-ημ}}$ . Παρομοίως σε περίπτωση τροφοδότησης μόνο με εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό (περίπτωση μηδενικού λόγου Π.Σ.) η ογκομετρική οργανική φόρτιση προκύπτει  $0,33 \text{ kg ΠΣ/m}^3_{\text{χων-ημ}}$ .

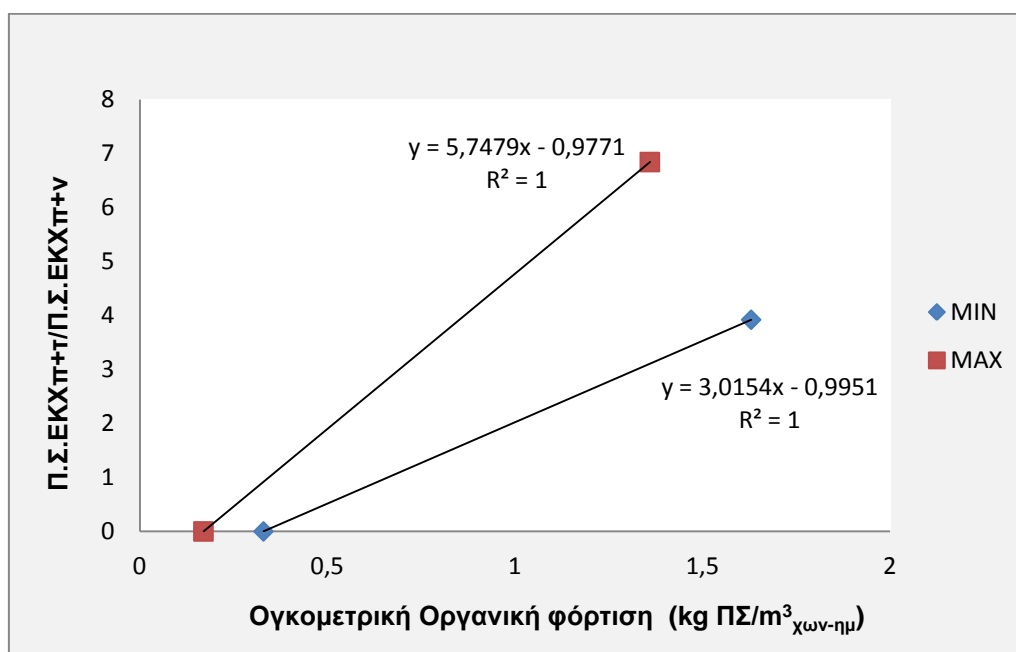
Αντίστοιχα για τη MAX περίπτωση, η ογκομετρική οργανική φόρτιση είναι  $1,34 \text{ kg ΠΣ/m}^3_{\text{χων-ημ}}$  και ο λόγος ΠΣ είναι  $6,58/1$ . Η μέση τιμή των λόγων των ΠΣ στο MAX του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με τυρόγαλα προς τα ΠΣ εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό και για τους τρεις χρόνους παραμονής 16, 21, 32 που εξετάστηκαν είναι  $\text{ΠΣ}_{EKX_{\pi+\tau}} / \text{ΠΣ}_{EKX_{\pi+v}} = 6,84$ . Από τον υπολογισμό των ποσοτήτων των συστατικών προκύπτουν οι εξής αναλογίες:  $0,4716 \text{ L EKX}_{\pi+\tau}$  και  $0,2884 \text{ L EKX}_{\pi+v}$ , ενώ η ογκομετρική οργανική φόρτιση υπολογίζεται σε  $1,36 \text{ kg ΠΣ/m}^3_{\text{χων-ημ}}$ . Στη περίπτωση τροφοδοσίας με σκέτο εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό και μηδενικό λόγο Π.Σ. η ογκομετρική οργανική φόρτιση που προκύπτει είναι  $0,17 \text{ kg ΠΣ/m}^3_{\text{χων-ημ}}$ . Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν στις ποσότητες παραγωγής MIN και MAX παρατηρείται ότι οι αναλογίες των εκχυλισμάτων που απαιτούνται για να παραμένει σταθερή η συνολική ποσότητα των  $0,76 \text{ L}$  της δόσης τροφοδοσίας και οι αντίστοιχοι λόγοι των ΠΣ των εκχυλισμάτων, είναι κοινές στο MIN και στο MAX.

Ο λόγος των ΠΣ των εκχυλισμάτων και η ογκομετρική οργανική φόρτιση για ΧΠ 25 ημερών παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.6.4. και η μεταξύ τους σχέση απεικονίζεται στο Διάγραμμα 1.6.3.

**Πίνακας 1.6.3.: Λόγοι Εκχυλισμάτων Μίγματος & Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση (ΧΠ = 25)**

Στάδια	MIN		MAX	
	Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν	Ο.Ο.Φ.	Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν	Ο.Ο.Φ.
1 <sup>ο</sup>	0	0,33	0	0,17
3 <sup>ο</sup>	3,92	1,63	6,84	1,36

**Διάγραμμα 1.6.3.: Σχέση Λόγου Π.Σ.ΕΚΧπ+τ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε ΧΠ 25 ημερών**



Στη συνέχεια διορθώνεται ο λόγος των ΠΣ αμιγώς τυρογάλακος και αμιγώς αποβλήτων πτηνοτροφείου, λόγω της συμμετοχής των ΠΣ κοπριάς πτηνοτροφείου και στα δύο εκχυλίσματα. Επειδή στους λόγους του μίγματος 3,92/1 και 6,84/1 περιέχονται και ΠΣ πτηνοτροφείου που βρίσκονται μέσα στο εκχύλισμα πτηνοτροφείου με τυρόγαλα πρέπει να αφαιρέσουμε τα ΠΣ του τυρογάλακος και να προσαρμόσουμε τους λόγους. Υπολογίζεται για τη περίπτωση MIN παραγωγής βιοαερίου στο μίγμα τροφοδοσίας, η περιεκτικότητα σε ΠΣ μόνο πτηνοτροφείου του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με

τυρόγαλα, η οποία είναι 0,0038 kg ΠΣ. Είναι γνωστή η περιεκτικότητα των ΠΣ του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό στο μίγμα τροφοδοσίας 0,0063 kg ΠΣ. Συνολικά η περιεκτικότητα του υλικού πτηνοτροφείου σε ΠΣ που περιέχεται στα εκχυλίσματα είναι 0,0101 kg ΠΣ. Ο λόγος των ΠΣ του τυρογάλακτος προς τα ΠΣ πτηνοτροφείου του μίγματος είναι 2,07/1. Αυτό σημαίνει ότι στο μίγμα τροφοδοσίας του χωνευτήρα των 0,76 L το τυρόγαλα έχει διπλάσια περιεκτικότητα σε ΠΣ απ' ότι έχει το υλικό πτηνοτροφείου. Αντίστοιχα, για τη MAX περίπτωση παραγωγής βιοαερίου, η περιεκτικότητα των ΠΣ του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με τυρόγαλα στο μίγμα τροφοδοσίας είναι: 0,0016 kg ενώ η περιεκτικότητα σε ΠΣ. του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό: 0,0033 kg. Άρα, η συνολική ποσότητα Π.Σ. υλικού πτηνοτροφείου που περιέχεται στα εκχυλίσματα είναι 0,0049 kg ΠΣ και ο νέος λόγος : 4,26/1. Τα συνολικά χαρακτηριστικά του χωνευτήρα παρουσιάζονται στον πίνακα στην επόμενη σελίδα.

**Πίνακας 1.6.4.: Χαρακτηριστικά Βέλτιστης Παραγωγής Βιοαερίου/Μεθανίου στον Χωνευτήρα Β (ΧΠ<sub>optimum</sub>=25)**

Πρώτες Ύλες		Χωνευτήρας Β	
		MIN	MAX
Όγκος Χωνευτήρων (L)		19	
Χρόνος Παραμονής (ημ)		25	
Λόγος ΠΣ <sub>τ</sub> /ΠΣ <sub>ΕΚΧπ+ν</sub>		2,07	4,26
Ημερήσια Ποσότητα Μίγματος Τροφοδοσίας (L/ημ)		0,4716 τ + 0,2884 ΕΚΧπ+ν	
Πτητικά στερεά (% ΠΣ <sub>κ.β.</sub> )	ΕΚΧπ+ν	2,18%	1,14%
	Τυρόγαλα	4,43%	
Πτητικά Στερεά Μίγματος Τροφοδοσίας (kg/ημ)		0,027	0,024
Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση (kg ΠΣ/m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )		1,42	1,26
Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )		1,5	1,97
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /kg ΠΣ <sub>ημ</sub> )		1,06	1,56
Εκτίμηση Ποσοστού Μεθανίου (%Βιοαερίου)		70	
Ογκομετρική Παραγωγή Μεθανίου		1,05	1,38
Ειδική Παραγωγή Μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg ΠΣ <sub>ημ</sub> )		0,74	1,09
Μείωση Φορτίου (% ΠΣ)		75,12	

## 1.7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

### 1.7.1. Εύρεση Απαιτούμενων Ποσοτήτων Πρώτων Υλών

Στο προηγούμενο κεφάλαιο υπολογίστηκαν τα χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου σε εργαστηριακή κλίμακα. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί πώς μπορούν τα αποτελέσματα που εξήλθαν σε μικροσκοπικό επίπεδο να εφαρμοστούν σε μια πραγματική μονάδα επεξεργασίας βιοαερίου. Η μονάδα αυτή αφορά τυροκομείο του Νομού Αργολίδας, το οποίο παρασκευάζει τυρί φέτα και παράγει καθημερινά 4 t τυρόγαλα. Η περιεκτικότητα του παραγόμενου τυρογάλακτος σε ΠΣ υπολογίζεται σε 177,2 kg ΠΣ. Σειρά έχει να υπολογιστούν τα ΠΣ του υλικού πτηνοτροφείου το οποίο θα χρειαστεί για να δημιουργηθούν τα εκχυλίσματα, σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα. Από τον λόγο των ΠΣ του τυρογάλακτος προς τα ΠΣ του πτηνοτροφείου προκύπτει ότι η ποσότητα των ΠΣ στο υλικό πτηνοτροφείου που θα έχει η δόση τροφοδοσίας είναι 85,6 (MIN) και 41,6 (MAX) kg ΠΣ. Γνωρίζοντας ότι τα ΠΣ κατά βάρος του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό είναι 2,18% (MIN) και 1,14% (MAX), η ποσότητα εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό που απαιτείται για την δημιουργία του μίγματος είναι 3,93 t (MIN) και 3,65 t (MAX).

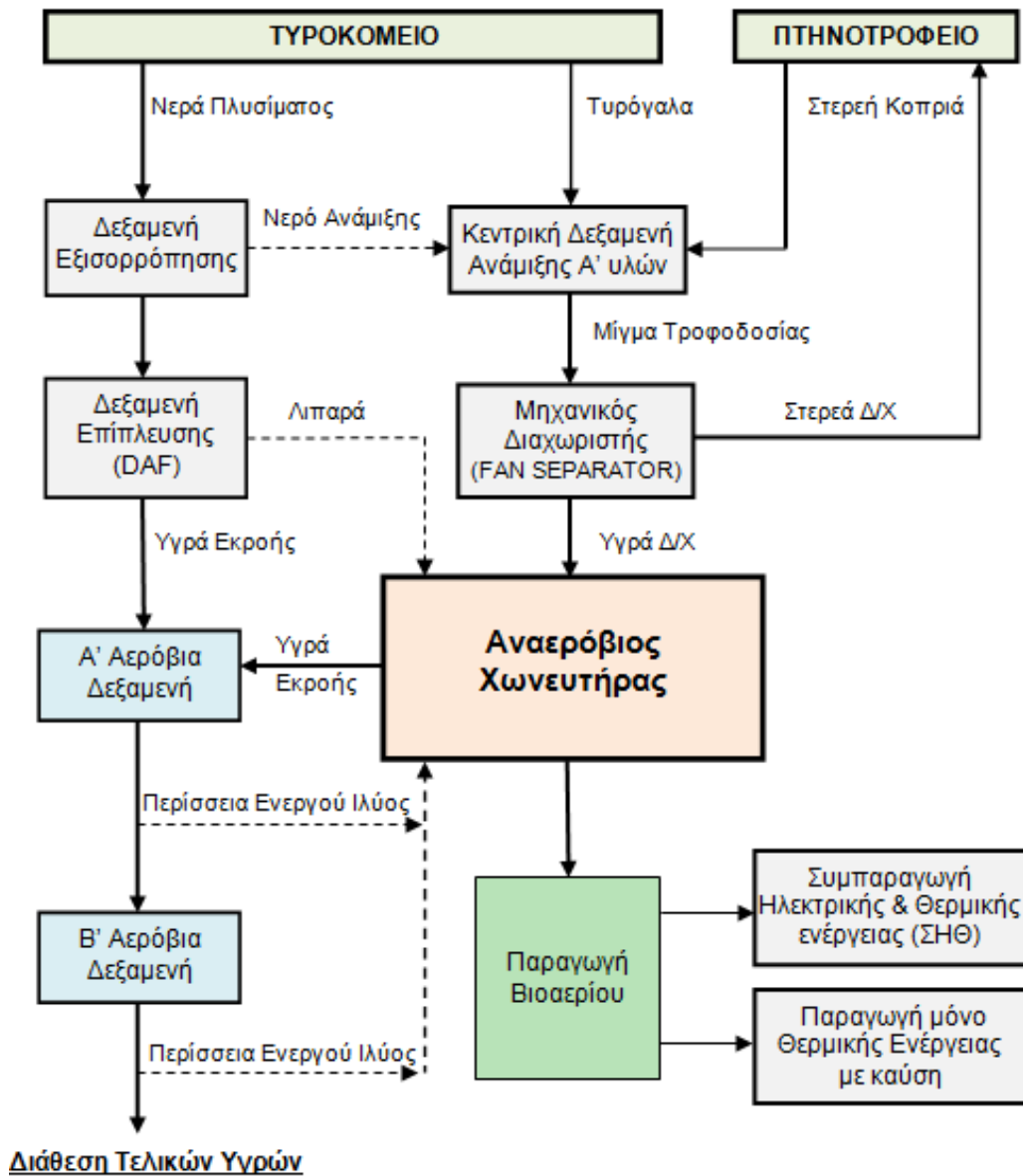
Το εκχύλισμα αυτό θα προέλθει από ίσο όγκο ημι-κομποστοποιημένων στερεών αποβλήτων πτηνοτροφείου: 2,36 t (MIN) και 2,19 t (MAX). Θα χρησιμοποιηθεί νερό έκπλυσης ή υγρά εξόδου του χωνευτήρα προσ αυξημένα κατά 10% της ποσότητας εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό, όση και η ποσότητα κατακράτησης υγρών στα στερεά διαχωρισμού. Η ποσότητα των υγρών έκπλυσης υπολογίζεται στο MIN 4,32 t και στο MAX 4,02 t. Η ποσότητα υγρών έκπλυσης μπορεί να μειωθεί ανάλογα, αν ξεπλυθούν με το ίδιο υγρό δύο και παραπάνω ισόποσες δόσεις στερεών αποβλήτων πτηνοτροφείου με σύνολο δόσεων 2,36 και 2,19 t ανάλογα για MIN και MAX. Η συνολική ποσότητα του μίγματος στο MIN θα είναι 7,93 t/ημ και στο MAX 7,65 t/ημ. Ακόμη, τα ΟΣ του μίγματος σε MIN και MAX υπολογίζονται για MIN: ΟΣ = 4,20% και για MAX: ΟΣ = 3,48%. Από τα παραπάνω αποτελέσματα είναι ορατό ότι τα Ο.Σ. κυμαίνονται σε αποδεκτά όρια <10%, καθώς πάνω από το όριο αυτό το σύστημά μας θα δυσκολευόταν να λειτουργήσει. Υπάρχουν περιθώρια μείωσης του όγκου του εισερχομένου μίγματος εφαρμόζοντας την ως άνω συμπύκνωση των νερών έκπλυσης των στερεών του πτηνοτροφείου.

Συμπερασματικά, οι πρώτες ύλες που χρειάζονται για τη λειτουργία του χωνευτήρα στο βέλτιστο MIN και MAX επί καθημερινής βάσης είναι:

- 4t τυρόγαλα
- 2,19 έως 2,36 t κοπριά πτηνοτροφείου
- 4,02 έως 4,32 t υγρά έκπλυσης

Τα στάδια επεξεργασίας των πρώτων υλών έως την τελική διαδικασία παραγωγής ενέργειας παρουσιάζονται στο Διάγραμμα ροής 1.7.1.1.

**Διάγραμμα 1.7.1.1.: Διάγραμμα Ροής Μονάδας Βιοαερίου στο Τυροκομείο**



### 1.7.2. Διαστασιολόγηση Αντιδραστήρων Αναερόβιας και Αερόβιας Χώνευσης

Σύμφωνα με τον όγκο των αποβλήτων που θα υφίστανται επεξεργασία καθημερινά για το διάστημα των 25 ημερών, πρέπει να κατασκευαστεί το κατάλληλο μέγεθος αναερόβιου χωνευτήρα. Η τυροκομική μονάδα στην Αργολίδα από την οποία γίνεται η προμήθεια του τυρογάλακτος λειτουργεί για διάστημα 8 μηνών (Νοέμβριος - Ιούνιος) κατά τη διάρκεια του έτους. Ο χωνευτήρας είναι τύπου σιλό, σχήματος κυλινδρικού με κωνική κορυφή. Η διαστασιολόγηση (Πίνακας 1.7.2.1.) και τα χαρακτηριστικά (Πίνακας 1.7.2.2.) του αντιδραστήρα αφορούν τη μέση περίπτωση μεταξύ των MIN και MAX.

**Πίνακας 1.7.2.1.: Διαστάσεις Αναερόβιου Χωνευτήρα Μονάδας**

Μ.Ο. Ημερήσιας Ποσότητας Μίγματος MIN & MAX (t/ημ)	8
Χρόνος Παραμονής (ημ)	25
Ωφέλιμος Όγκος Χωνευτήρα (m <sup>3</sup> )	200
Όγκος Κατασκευής (m <sup>3</sup> )	250
Ύψος (m)	5
Επιφάνεια Βάσης (m <sup>2</sup> )	50
Διάμετρος (m)	8
Επιφάνεια Τοιχωμάτων (m <sup>2</sup> )	126
Συνολική Επιφάνεια* (m <sup>2</sup> )	170

\* Η συνολική επιφάνεια περιλαμβάνει τα τοιχώματα προσαυξημένα κατά 35%



**Πίνακας 1.7.2.2.: Χαρακτηριστικά Αναερόβιου Χωνευτήρα Μονάδας**

Φορτίο BOD5 (mg/L)	$(4 \cdot 30.000 + 4 \cdot 6.000) = 18.000$
Ημερήσια Ποσότητα Τυρογάλακτος (t/ημ)	4
Ημερήσια Ποσότητα ΕΚΧπ+ν (t/ημ)	4
Ημερήσια Ποσότητα Μίγματος (t/ημ)	8
Μ.Ο. Πτητικών Στερεών Μίγματος (% Π.Σ.-κ.β.)	3,2
Πτητικά Στερεά Μίγματος (kg/ημ)	256
Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση (kg Π.Σ./m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	1,28
Μ.Ο. Ογκομετρικής Παραγωγής Βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>αποβλ</sub> )	43,26
Ογκομετρική παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	1,73
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /kg ΠΣ-ημ)	1,35
Εκτίμηση Ποσοστού Μεθανίου (%Βιοαερίου)	70
Ογκομετρική Παραγωγή Μεθανίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	1,21
Ειδική Παραγωγή Μεθανίου (Nm <sup>3</sup> /kg ΠΣ-ημ)	0,95

Όπως παρουσιάστηκε στο διάγραμμα ροής το μίγμα των αποβλήτων που εξέρχεται του αναερόβιου χωνευτήρα και τα νερά πλυσίματος του τυροκομείου καταλήγουν σε δύο αερόβιες δεξαμενές επίπλευσης διαλυμένου αέρα (Dissolved Air Flotation - DAF) όπου υφίστανται βιολογική επεξεργασία μέσω της αερόβιας χώνευσης. Κατά τη διαδικασία δραστηριοποιούνται αερόβιοι μικροοργανισμοί οι οποίοι διασπών με ταχύτατο ρυθμό το οργανικό φορτίο των αποβλήτων σε ποσοστό άνω του 80%. Απαραίτητη προϋπόθεση για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου η συνεχής παρουσία επαρκούς ποσότητας οξυγόνου. Η επεξεργασία αυτή εφαρμόζεται με σκοπό τη μείωση του οργανικού ρυπαντικού φορτίου τους και την εξουδετέρωση των οσμών. Ειδικά τα απόβλητα του τυροκομείου θεωρούνται εξαιρετικά ρυπογόνα και γι' αυτό η επεξεργασία τους πριν τη διάθεσή τους στο περιβάλλον κρίνεται απαραίτητη. Τα νερά πλυσίματος έχουν όγκο 5πλάσιο από αυτόν του μίγματος. Τα χαρακτηριστικά της κάθε δεξαμενής παρουσιάζονται στον πίνακα 1.7.2.3.

**Πίνακας 1.7.2.3.: Διαστάσεις & Χαρακτηριστικά Αερόβιων Δεξαμενών Μονάδας**

	<b>Νερά Πλυσίματος</b>	<b>Υγρά Εκροής</b>
Ημερήσια Ποσότητα	40	8
Αρχικό BOD <sub>5</sub>	1.500	18.000
Ποσοστό Μείωσης BOD <sub>5</sub> (%)	30	60
Τελικό BOD <sub>5</sub>	1.050	7.200
Ημερήσιος Όγκος Μίγματος	48	
<b>Αερόβιες Δεξαμενές</b>	<b>A'</b>	<b>B'</b>
Φορτίο BOD <sub>5</sub> (mg/L ή kg/ημ)	2.075 ή 100	415 ή 20
MLSS (συνήθης αερισμός) (mg/L)	2000	
Βιολογική Φόρτιση F/M (ημ <sup>-1</sup> )	0,25	0,05
Όγκος Υγρών Δεξαμενής (t)	199	
Ογκομετρική Φόρτιση (F/V)	500	100
Ύψος Υγρών στη Δεξαμενή (m)	3	
Συνολικό Βάθος Δεξαμενής Αερισμού (m)	3,5	
Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	66	
Διαστάσεις Τετράγωνης Δεξαμενής Αερισμού	8,1x8,1x3,5	
Συνολική Ζήτηση Οξυγόνου	200	40
Μέσος Ημερήσιος Χρόνος Λειτουργίας Αεριστών	20	
Πραγματική Ικανότητα Οξυγόνωσης Αεριστή	1,65	
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς Αερισμού Υγρών	7	1,4
Συνολική Απαιτούμενη Ισχύς Ανάδευσης Υγρών	6	
Ισχύς Επιφανειακών Αεριστών (kW)	5	
Αριθμός Επιφανειακών Αεριστών	1,4 = 2	1,2 = 2
Ποσοστό Μείωσης BOD <sub>5</sub> Μίγματος (%)	80	90
Φορτίο BOD <sub>5</sub> Υγρών Εκροής (mg/L)	415	42

### 1.7.3. Ενεργειακό Δυναμικό Εγκατάστασης

Το ενεργειακό περιεχόμενο του αντιδραστήρα παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.7.3.1. Οι απώλειες ενέργειας οφείλονται στα τοιχώματα του χωνευτήρα και στη διαφορά θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα και της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του χωνευτήρα. Οι απώλειες από την αυτοκατανάλωση σχετίζονται με την διαφορά θερμοκρασίας που παρατηρείται μεταξύ του μίγματος στο εσωτερικό του χωνευτήρα και των υγρών τροφοδοσίας. Ως δεδομένα από μετρήσεις του πειράματος και κλιματικών συνθηκών της περιοχής του τυροκομείου δίδονται:  $T_{m_{εξωτ.αέρα}} = 22^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{m_{χώνευσης}} = 38^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{m_{υγρών}} = 18^{\circ}\text{C}$  και η σταθερά  $km = 1,1 \text{ W/m-K}$ . Η τυροκομική μονάδα έως τώρα χρησιμοποιεί υγραέριο για θέρμανση ζεστού νερού απαραίτητο για τη λειτουργία της, γι' αυτό το λόγο το παραγόμενο μεθάνιο που προκύπτει εκφράζεται σε ισοδύναμο υγραερίου.

**Πίνακας 1.7.3.1.: Ενεργειακό Δυναμικό Παραγόμενου Βιοαερίου/Μεθανίου**

Απώλειες Τοιχωμάτων	(KWh/έτος)	17.378
	(Mj/έτος)	62.559
	(Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /έτος)	2.676
Αυτοκατανάλωση για θέρμανση του χωνευτήρα (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /έτος)		4.302
Συνολικές Απώλειες (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /έτος)		6.978
Ημερήσια Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /ημέρα)		346
Ημερήσια Παραγωγή Μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ημέρα)		243
Μέση ωριαία Παραγωγή Μεθανίου (Nm <sup>3</sup> /h)		10
Ετήσια Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /έτος)		83.635
Ετήσια Παραγωγή Μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /έτος)		58.854
Καθαρή Ετήσια Παραγωγή Βιοαερίου Μόνο για Θέρμανση (Nm <sup>3</sup> /έτος)		76.657
Καθαρή Ετήσια Παραγωγή Μεθανίου Μόνο για Θέρμανση (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /έτος)		51.876
Θερμογόνος Δύναμη Ετήσιας Παραγωγής Μεθανίου (kcal/έτος)		466.887.814

Θερμογόνος Δύναμη Υγραερίου	(kcal/kg)	<b>10.960</b>
	(kcal/L)	<b>6247</b>
Ισοδύναμο υγραερίου (L/έτος)		74.738
Ισοδύναμο Μεθανίου (L/ Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> )		1,44

Το τυροκομείο καταναλώνει το έτος 24.200 L υγραερίου με κόστος αγοράς του 19.360 €. Το παραγόμενο μεθάνιο υπερκαλύπτει τις ανάγκες της μονάδας και μπορεί να αντικαταστήσει την αγορά υγραερίου. Το μεθάνιο που παράγεται αντιστοιχεί σε 74.738 L υγραερίου και η χρηματική του αξία υπολογίζεται σε 59.790 €. Η περίσσεια θερμικής ενέργειας είναι ίση με  $74.738 - 24.200 = 50.538$  L και έχει χρηματική αξία 40.430 €. Στο σενάριο αυτό ο παραγωγός χρησιμοποιεί όλο το παραγόμενο μεθάνιο για τη παραγωγή αποκλειστικά θερμικής ενέργειας μέσω καύσης. Την περίσσεια θερμικής ενέργειας θα μπορούσε να την διαθέσει στο δίκτυο ή σε γειτονικούς οικισμούς.

#### 1.7.4. Συμπαράγωγή Ηλεκτρικής/Θερμικής Ενέργειας (Σ.Η.Θ.)

Σκοπός της παραγωγής βιοαερίου είναι είτε η άμεση χρήση του ως καύσιμο είτε η παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών της μονάδας. Κατά τη διαδικασία της συμπαράγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (CHP) παράγονται νερό και ανακυκλούμενο διοξείδιο του άνθρακα τα οποία δεν δημιουργούν πρόβλημα στο περιβάλλον. Το βιοαέριο διοχετεύεται σε στατική μηχανή εσωτερικής καύσης η οποία κινεί μια ηλεκτρογεννήτρια. Η θερμική ενέργεια απορροφάται από τα νερά ψύξης της μηχανής και προέρχεται από το 55% περίπου του παραγόμενου μεθανίου. Μέρος της παραγόμενης θερμικής ενέργειας ζεσταίνει ποσότητα νερού το οποίο συνήθως χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του αναερόβιου χωνευτήρα που λειτουργεί δίπλα από την εγκατάσταση. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη αναγκών σε ενέργεια της ίδιας της τυροκομικής μονάδας. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα μικρό ποσοστό (10% περίπου) διαφεύγει από το σύστημα με τη μορφή απωλειών. Το ποσοστό της απώλειας αυτής αυξάνεται όταν η εγκατάσταση συμπαράγωγής είναι απομακρυσμένη από τον χωνευτήρα. Εφόσον το βιοαέριο πρέπει να μεταφερθεί μέσω σωληνώσεων δημιουργούνται απώλειες κατά την διακίνηση. Όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια (από το 35% του παραγόμενου μεθανίου) που παράγει η ηλεκτρογεννήτρια διατίθεται προς πώληση στο δίκτυο ηλεκτρισμού επιφέροντας οικονομικό όφελος. Όπως διαπιστώθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο η ποσότητα του παραγόμενου μεθανίου είναι αρκετά

υψηλότερη από την αναγκαία για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση της μονάδας. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται παρακάτω.

**Πίνακας 1.7.4.1.: Συμπαγωγή Θερμικής/Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Ετήσια Παραγωγή Βιοαερίου ( $\text{Nm}^3/\text{έτος}$ )	83.635
Ετήσια Παραγωγή Μεθανίου ( $\text{Nm}^3\text{CH}_4/\text{έτος}$ )	58.854
Συνολικό Ενεργειακό Περιεχόμενο ( $\text{MWh}/\text{έτος}$ )	616
Απώλειες Θέρμανσης Χωνευτήρα 12% ( $\text{MWh}/\text{έτος}$ )	74
Ετήσια Καθαρή Θερμική Ενέργεια ( $\text{MWh}_{\text{th}}/\text{έτος}$ )	265
Ετήσια Καθαρή Ηλεκτρική Ενέργεια ( $\text{MWh}_e/\text{έτος}$ )	216
Εγκατεστημένη Ισχύς Ηλεκτρογεννήτριας για 12 ώρες την ημέρα λειτουργίας ( $\text{kW}_e/\text{ημ}$ )	93
Θερμογόνος Δύναμη Υγραερίου ( $\text{kWh}/\text{L}$ )	7,26
Βαθμός Απόδοσης Καύσης Υγραερίου	99%
Ισοδύναμο Υγραερίου Ετήσιας Καθαρής Θερμικής Ενέργειας ( $\text{L}/\text{έτος}$ )	36.870

Ο παραγωγός της τυροκομικής μονάδας χρησιμοποιεί 100 L υγραερίου καθημερινά για τις ανάγκες της παραγωγικής διαδικασίας του τυροκομείου. Για το διάστημα των 242 ημερών που λειτουργεί η μονάδα η συνολική ποσότητα υγραερίου που αγοράζει είναι 24.200 L. Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνεται ότι η θερμική ενέργεια που παράγεται από την αναερόβια χώνευση των αποβλήτων υπερεπαρκεί για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης της μονάδας και μπορεί να πωληθεί από τον παραγωγό σε γειτονικές εγκαταστάσεις ή οικίες ακόμα και να μετατραπεί ώστε να καλύψει ανάγκες ψύξης του τυροκομείου. Συγκεκριμένα αντιστοιχεί σε 36.870 L υγραερίου ανά έτος και η αξία της αποτιμάται σε 29.496 €. Το κόστος του υγραερίου που αγοράζει ανά έτος για θέρμανση είναι 19.360€. Επομένως, δύναται ο παραγωγός να αντικαταστήσει το υγραέριο που αγοράζει με το βιοαέριο που παράγει και να διαθέσει τη περίσσεια προς πώληση μαζί με την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποκτώντας οικονομικό όφελος.

## 2. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με τη καύση βιοαερίου παραγόμενου από απόβλητα αποτελεί μια πιθανή επιχειρηματική κίνηση του υπό εξέταση τυροκομείου. Για την πραγματοποίηση της απαραίτητη είναι η τοποθέτηση χρηματικών πόρων της οποίας τα οικονομικά κυρίως οφέλη θα γίνουν ορατά σε βάθος χρόνου. Γι' αυτό το λόγο η πειραματική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο αν επιλεγεί να εφαρμοστεί στη μονάδα του τυροκομείου χαρακτηρίζεται ως επένδυση. Καθώς μια επένδυση μπορεί να αποδειχθεί μελλοντικά ως κερδοφόρα ή ζημιογόνα, η απόφαση ανάληψης ή μη ενός επενδυτικού σχεδίου θα πρέπει να είναι αποτέλεσμα μιας αξιόπιστης οικονομικής ανάλυσης. Η οικονομική αξιολόγηση (capital budgeting) είναι μια πολύπλοκη διαδικασία η οποία επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες και κυρίως από τις μεταβολές της αγοράς και τις αλλαγές στη νομοθεσία που αφορούν τη κάθε επένδυση.

Γενικότερα, κάθε επιχείρηση προκειμένου να είναι κερδοφόρα οφείλει να ακολουθεί τη βασική οικονομική αρχή σύμφωνα με την οποία επιδίωξη της είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Το κόστος διαχωρίζεται σε κατασκευαστικό και λειτουργικό. Το κατασκευαστικό κόστος αφορά οτιδήποτε σχετίζεται με την αρχική δημιουργία της υλικής υποδομής όπως είναι οι κτιριακές εγκαταστάσεις και η αγορά του μηχανολογικού εξοπλισμού και αποτελεί πάγιο κόστος. Η υποδομή αυτή αποτελεί περιουσιακό στοιχείο της επιχείρησης ή αλλιώς το κεφάλαιο της και έχει ως σκοπό τη παραγωγή νέων αγαθών, όπου στην εξεταζόμενη περίπτωση είναι η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Το λειτουργικό κόστος περιλαμβάνει το κόστος συντήρησης και αντικατάστασης του κεφαλαίου, το εργατικό κόστος, διάφορα επιμέρους κόστη ασφάλισης σε περίπτωση ατυχήματος και διάφορα απρόβλεπτα γεγονότα.

Τα συνολικά κόστη αποτελούν έξοδα για την επιχείρηση επομένως για να μπορέσει να τα καλύψει και να αποφέρει κάποιο κέρδος πρέπει να έχει έσοδα. Τα έσοδα στη συμπαραγωγή προέρχονται από τη πώληση ηλεκτρικής ή/και θερμικής ενέργειας στο δίκτυο. Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τον Ν. 3851/2010 για την «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής», έχουν καθοριστεί οι τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχονται από ΑΠΕ. Συγκεκριμένα, η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο που παράγεται από βιομάζα κτηνοτροφικών ή/και αγροτοβιομηχανικών οργανικών υπολειμμάτων και αποβλήτων με εγκατεστημένη ισχύ  $\leq 3\text{MW}$  είναι 220€/MWh ενώ με  $>3\text{MW}$  είναι 200€/MWh. Όταν οι επενδύσεις αυτές υλοποιούνται χωρίς τη χρήση δημόσιας επιχορήγησης, η ηλεκτρική ενέργεια τιμολογείται με προσαύξηση κατά ποσοστό 15% των παραπάνω τιμών. Άλλη πηγή εσόδων μπορεί να προέρχεται από τη πώληση θερμότητας, κομπόστ αλλά και Πράσινων Πιστοποιητικών (Πιστοποιητικά Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας – REC) τα οποία αποτελούν υλικά ή άυλα τεκμήρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, έχουν ονομαστική αξία μιας MWh<sub>e</sub> και μπορούν να πωληθούν στην ελεύθερη αγορά (Rutz

& Ferber 2011). Η εισροή εσόδων ή η εκροή εξόδων σε μια επιχείρηση κάθε χρονική στιγμή εκφρασμένα σε χρηματικές μονάδες ονομάζεται χρηματοροή (cash flow). Η διαφορά των εσόδων (θετικές χρηματοροές) από τα έξοδα (αρνητικές χρηματοροές) είναι η καθαρή χρηματοροή. Για την κάλυψη εξόδων της μια επιχείρηση πέρα από τα έσοδα από τη πώληση του παραγόμενου αγαθού της, μπορεί να στηριχτεί σε διάφορους τρόπους χρηματοδότησης οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και συνδυαστικά.

Κάθε επενδυτικό έργο ΑΠΕ και συγκεκριμένα βιοαερίου, απαιτεί διαφορετικό τύπο χρηματοδότησης ανάλογα με το μέγεθός του, τις συνθήκες αλλά και τις δυνατότητες του, γι' αυτό το λόγο η επιλογή του κατάλληλου τύπου είναι σημαντική για την επιτυχή έκβαση του έργου. Στην έκθεση του BiogasIN που έχει ως σκοπό τη προώθηση της βιώσιμης αγοράς βιοαερίου στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη, περιγράφονται οι τύποι χρηματοδότησης έργων βιοαερίου. Η χρηματοδότηση μέσω χρήσης μόνο ιδίων κεφαλαίων συνήθως δεν μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις του έργου επομένως επιλέγεται κάποιο είδος δανεισμού. Ο δανεισμός μέσω ιδιωτικών τραπεζών είναι η πιο συνήθης πρακτική και μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με τον παραδοσιακό τρόπο ή μέσω χρηματοδότησης έργου (αυτοχρηματοδότησης). Στον παραδοσιακό δανεισμό η τράπεζα ελέγχει το χρηματοοικονομικό υπόβαθρο του δανειολήπτη και δίνει ιδιαίτερη σημασία στις εγγυήσεις που μπορεί να της παρέχει σε περίπτωση αποτυχίας του σχεδίου. Η πληρωμή του δανείου γίνεται με τη καταβολή μηνιαίων δόσεων σε προσδιορισμένο χρονικό διάστημα και πολλές φορές παρέχοντας μια περίοδο χάριτος στον δανειολήπτη. Ορισμένα δάνεια παρέχονται με πολύ χαμηλό επιτόκιο όταν δίδονται από τις εθνικές αρχές ή κάποιο φορέα χρηματοδότησης, αποσκοπώντας στη τόνωση των επενδύσεων σε ΑΠΕ. Η χρηματοδότηση έργου (project financing) προϋποθέτει τη σύσταση εταιρείας για το έργο βιοαερίου και αναφέρεται στην χρηματοδότηση μια συγκεκριμένης επένδυσης η οποία εξοφλείται με βάση τις προβλεπόμενες ταμειακές ροές της πωλούμενης ηλεκτρικής ενέργειας, τον εξοπλισμό της μονάδας και την μίσθωση του χώρου εγκατάστασης. Η μέθοδος αυτή σε σύγκριση με τον παραδοσιακό δανεισμό εμφανίζει υψηλό κίνδυνο ενώ για να αποπληρωθεί το δάνειο η μονάδα θα πρέπει να βρίσκεται σε λειτουργία, ως εκ τούτου απαιτείται προσεκτική ανάλυση όλων των παραμέτρων του έργου και προτιμάται συνήθως από μεγάλης κλίμακας μονάδες.

Υπάρχουν και άλλοι τρόποι χρηματοδότησης εκτός από τον τραπεζικό δανεισμό, όπως είναι η χρηματοδοτική μίσθωση, η σύναψη συμβάσεων και οι εταιρίες επενδύσεων. Στη χρηματοδοτική μίσθωση (leasing) συμμετέχουν δύο εμπλεκόμενα μέρη: η εταιρεία κατασκευής και χρηματοδότησης της μονάδας (εταιρεία leasing) και ο φορέας εκμετάλλευσης της (μισθωτής). Η χρηματοδότηση γίνεται μέσω του εταιρικού ή του μετοχικού κεφαλαίου των εταίρων εκμίσθωσης ενώ ο μισθωτής διαχειρίζεται τα έσοδα, τους κινδύνους του έργου, πληρώνει τα ποσοστά χρηματοδοτικής μίσθωσης στην εταιρεία leasing και όταν λήξει η σύμβαση μεταξύ τους η κυριότητα της μονάδας μπορεί να επέλθει σε ένα από τα δύο μέρη. Ο τρόπος αυτός προτιμάται για χρηματοδότηση τμημάτων του έργου όπως είναι η μονάδα συμπαραγωγής. Η σύναψη συμβάσεων αναπτύσσεται ιδιαίτερα σε χώρες όπως η Γερμανία και η Αυστρία και μπορεί να πάρει διάφορες μορφές.

Συγκεκριμένα για το βιοαέριο, Επιχειρήσεις Ενεργειακών Υπηρεσιών μέσω συμβολαίων αναλαμβάνουν τη χρηματοδότηση, τη κατασκευή και τη λειτουργία της εγκατάστασης ενώ το κομμάτι γης όπου θα γίνει η εγκατάσταση και η πρώτη ύλη δίδεται από τον ιδιοκτήτη-αγρότη. Η σύμβαση αυτή παραχωρεί το σύνολο των εσόδων αλλά και τον κίνδυνο λειτουργίας στην ανάδοχη εταιρία ενώ ο αγρότης μπορεί να εισπράττει έσοδα από τη παράδοση των πρώτων υλών, την εκμίσθωση του ακινήτου, να χρησιμοποιεί την παραγόμενη θερμότητα για τις ανάγκες του αλλά να έχει και άλλες παροχές ανάλογα με τους όρους της σύμβασης. Σε αυτή τη περίπτωση χρηματοδότησης ο αγρότης δεν κινδυνεύει να χάσει κεφάλαια και θέματα τεχνογνωσίας αναλαμβάνονται από την εταιρεία. Η εταιρεία δύναται επίσης μέσω σύμβασης να πωλεί την παραγόμενη ενέργεια σε κάποιον πελάτη και μέσω άλλης επιχειρηματικής σύμβασης ο αγρότης να είναι υπεύθυνος για την παροχή της πρώτης ύλης στη μονάδα. Τέλος, μια εταιρεία επενδύσεων αποτελεί ένα ταμείο όπου διαχειρίζεται κεφάλαια διαφόρων μικρών επενδυτών και τα χρησιμοποιεί για να χρηματοδοτήσει ένα ή και περισσότερα έργα βιοαερίου. Τα κέρδη και οι κίνδυνοι επιμερίζονται μεταξύ των επενδυτών και λαμβάνονται αναλογικά με το ποσοστό συμμετοχής (Rutz & Ferber 2011).

Επομένως, κάθε τρόπος χρηματοδότησης παρουσιάζει θετικά και αρνητικά σημεία γι' αυτό η καλύτερη επιλογή διαφέρει σε κάθε επενδυτικό έργο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες που εμφανίζει. Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι μια επιχείρηση έχει να λάβει δύο σημαντικές αποφάσεις: την ανάληψη ή μη μιας επενδυτικής πρότασης και τον τρόπο με τον οποίο θα την χρηματοδοτήσει αν τελικά την αναλάβει.

## 2.1. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Η οικονομική σκοπιμότητα των ενεργειακών επενδύσεων και συγκεκριμένα της συμπαραγωγής από βιοαέριο, βασίζεται στη μακροπρόθεσμη οικονομική απόδοση της προτεινόμενης επενδυτικής λύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί για ίδια κατανάλωση και για εμπορική διάθεση. Προκειμένου να είναι οικονομικά σκόπιμη μια τέτοιου είδους επένδυση πρέπει σε μια ετήσια βάση τα έσοδα να είναι περισσότερα από τα έξοδα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με τη μείωση των λειτουργικών δαπανών ή αν τα έσοδα από τη διάθεση της παραγόμενης ενέργειας οδηγούν σε κέρδη ικανά να ικανοποιήσουν τους επιχειρηματικούς στόχους του επενδυτή έτσι ώστε να μπορεί να αποσβέσει το αρχικό κεφάλαιο σε εύλογο χρονικό διάστημα.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή συμπερασμάτων βασίζεται στον υπολογισμό ορισμένων οικονομικών δεικτών. Έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς πολλοί οικονομικοί δείκτες. Όλοι παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα αλλά και αδυναμίες. Η παρούσα μελέτη θα αρκεστεί στους τρεις βασικούς και πιο διαδεδομένους:



- Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)
- Εσωτερικός Ρυθμός Απόδοσης (IRR)
- Χρόνος Επανείσπραξης Κεφαλαίου

Για να αποφευχθούν παραπλανητικά αποτελέσματα και λανθασμένα συμπεράσματα, ο κάθε δείκτης πρέπει να υπολογίζεται με αναγωγή μελλοντικών αξιών και όρων σε παρούσες αξίες, ώστε οι σχετικές συγκρίσεις να έχουν κοινή βάση.

Οι οικονομικοί δείκτες χρησιμοποιούν την έννοια των Καθαρών Ταμειακών Ροών (KTP) για τον υπολογισμό τους. Η Καθαρή Ταμειακή Ροή είναι στην ουσία μια χρηματοροή αναφερόμενη σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο συνήθως ετήσια. Αποτελεί τη διαφορά μεταξύ των εσόδων της επιχείρησης από τις πωλήσεις (ταμειακές εισροές) και των εξόδων που προκύπτουν από τις πληρωμές για τους διάφορους συντελεστές παραγωγής, τη διάθεση των προϊόντων και την πληρωμή του φόρου εισοδήματος (ταμειακές εκροές). Η μέθοδος της παρούσας αξίας μετατρέπει το σύνολο των χρηματοροών που αναμένεται να εμφανιστούν σε ένα χρονικό ορίζοντα στο μέλλον σε μια μοναδική παρούσα αξία σε σταθερό χρόνο μηδέν δηλ. στο παρόν. Αυτό το ποσό αναφέρεται ως παρούσα αξία ή παρούσα τιμή (Παπαδόπουλος 2002).

Γενικά, το χρήμα σήμερα έχει μεγαλύτερη χρησιμότητα από ένα ίδιο χρηματικό ποσό στο μέλλον, καθώς η αξία του μεταβάλλεται στη διάρκεια του χρόνου (time value of money). Οι βασικοί λόγοι για τους οποίους το μελλοντικό χρήμα είναι λιγότερο δελεαστικό είναι ο πληθωρισμός, το κόστος ευκαιρίας και η αβεβαιότητα (Λιάπης 2003). Σύμφωνα με αυτές τις παραμέτρους προκύπτει ένα επιτόκιο αναγωγής ή επιτόκιο προεξόφλησης (discount rate) για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας ενός μελλοντικού ποσού. Το προεξοφλητικό επιτόκιο που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να αντικατοπτρίζει τη δεδομένη οικονομική κατάσταση και τη συγκεκριμένη κατηγορία επένδυσης. Σε επίπεδο επένδυσης το προεξοφλητικό επιτόκιο δηλώνει το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου (opportunity cost of capital), δηλαδή την αμοιβή που απαιτείται από τους επενδυτές (ή δανειστές) ώστε να πειστούν για την παροχή χρηματοδότησης μιας επένδυσης αντί να διαθέσουν τα χρήματα τους σε κάποια εναλλακτική επιλογή όπως η αποταμίευση. Σε αυτή τη περίπτωση ο ρυθμός απόδοσης του κεφαλαίου πρέπει να είναι υψηλότερος από το επιτόκιο καταθέσεων της τράπεζας.

Η αναμενόμενη απόδοση και το μέγεθος του ρίσκου που περιλαμβάνει μια επένδυση καθορίζουν το αν συμφέρει ή όχι η ανάληψη της. Γι' αυτό το λόγο αναφέρεται συχνά και ως ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο απόδοσης (minimum attractive rate of return) (Παπαδόπουλος 2002). Σε περίπτωση δανεισμού μέρους του αρχικού κεφαλαίου, προτείνεται η χρήση του Μέσου Σταθμικού Κόστους Κεφαλαίων της Εταιρείας (Weighted Average Capital Cost) ως επιτοκίου προεξόφλησης για την αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων. Καθώς όλες σχεδόν οι εταιρείες χρηματοδοτούνται από ίδια και δανειακά κεφάλαια, το Μέσο Σταθμικό Κόστος εκφράζει το συνολικό κόστος των κεφαλαίων της εταιρείας λαμβάνοντας υπόψη τόσο την αξία όσο και την αναλογία κάθε πηγής χρηματοδότησης (Καλιαμπάκος & Δαμίγος 2008):

$$WACC = \frac{I}{I + \Delta} * κI + \frac{\Delta}{I + \Delta} * κΔ * (1 - \Sigma\Phi)$$

όπου WACC: το σταθμισμένο κόστος κεφαλαίου

I: η αξία των ιδίων κεφαλαίων

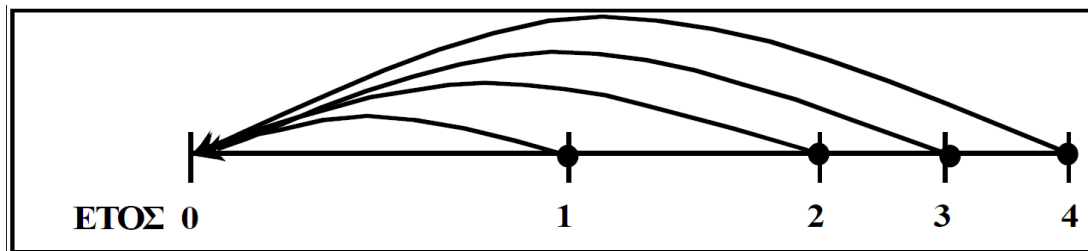
κI: το κόστος των ιδίων κεφαλαίων

Δ: η αξία των δανειακών κεφαλαίων

κΔ: το κόστος των δανειακών κεφαλαίων

ΣΦ: Συντελεστής φορολόγησης

Η παρούσα αξία, λοιπόν, δηλώνει το ποσό που πρέπει να επενδυθεί σήμερα για εισπραχθεί ένα ποσό μελλοντικά μετά από τη χρονική περίοδο ζωής της επένδυσης και σύμφωνα με ένα συνήθως σταθερό επιτόκιο αναγωγής που εκφράζει αυτό το χρονικό διάστημα.



Εικόνα 2.1.1. Παρούσα Αξία (Πηγή: Παπαδόπουλος 2002)

Η **Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)** είναι το συνολικό καθαρό όφελος μιας επένδυσης, που προκύπτει ως διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης. Μπορεί να αποτυπωθεί και ως η παρούσα αξία μιας επένδυσης αν αφαιρεθεί το αρχικό επενδεδυμένο κεφάλαιο. Συγκεκριμένα, είναι η παρούσα αξία των ετήσιων μελλοντικών καθαρών ταμειακών ροών ανηγμένη στη χρονική στιγμή έναρξης συνήθως στην αρχή του πρώτου έτους λειτουργίας και δίδεται από τη σχέση:

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

όπου NPV: Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value)

NCF: Καθαρή ταμειακή ροή ανά έτος = B – C

B: Ετήσια έσοδα

C: Ετήσια λειτουργικά έξοδα

r: Προεξοφλητικό επιτόκιο

j: Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης σε έτη

I: Ύψος επενδεδυμένου κεφαλαίου, κόστος ευκαιρίας μιας εναλλακτικής επένδυσης

Σε περίπτωση που:

- NPV>0: Η επένδυση είναι βιώσιμη κάτω από τις δεδομένες συνθήκες (οικονομικό κύκλο ζωής n, και επιθυμητό βαθμό απόδοσης της επένδυσης, r)
- NPV=0: Η επένδυση είναι βιώσιμη με μέσο ετήσιο βαθμό απόδοσης ίσο με r. Ο επενδυτής είναι αδιάφορος ως προς την αποδοχή ή την απόρριψη του επενδυτικού σχεδίου. Το κόστος της επένδυσης αποτελεί το μέγιστο οριακό κόστος το οποίο μπορεί να αποσβεστεί ακριβώς με τη λήξη του χρόνου ζωής της εγκατάστασης. Η σχέση με την οποία εκφράζεται είναι:

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

- NPV<0: Η επένδυση είναι αντιοικονομική

Όταν το επιτόκιο προεξόφλησης για μια συγκεκριμένη χρηματοροή αυξάνει, η καθαρή παρούσα αξία της χρηματοροής μειώνεται. Ο **Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR)** (Internal Rate of Return) του κεφαλαίου μπορεί να οριστεί ως το επιτόκιο προεξόφλησης που μηδενίζει τη καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης, δηλ. εκείνο το επιτόκιο που εξισώνει την αρχική επένδυση με την αξία όλων των μελλοντικών ταμειακών ροών. Εκφράζει την απόδοση κεφαλαίου ενός επενδυτικού προγράμματος κατά τη διάρκεια του οικονομικού κύκλου ζωής της. Η διαφορά μεταξύ του επιτοκίου που δίνεται από τον ΕΒΑ και του επιτοκίου της προεξόφλησης έγκειται στο γεγονός ότι το πρώτο προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά του πίνακα των ταμειακών ροών (για το λόγο αυτό καλείται και εσωτερική απόδοση) ενώ το επιτόκιο προεξόφλησης καθορίζεται εξωγενώς από τον επενδυτικό φορέα. Ο IRR της επένδυσης προσδιορίζεται ως:

$$I_{\max} = \sum_{j=1}^n \frac{NCF_j}{(1 + IRR)^j}$$

- IRR > r : το επενδυτικό πρόγραμμα πρέπει να γίνει αποδεκτό.
- IRR = r : το επενδυτικό πρόγραμμα είναι οριακό και ίσο με την ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση.
- IRR < r : το επενδυτικό πρόγραμμα δεν πρέπει να γίνει αποδεκτό.

Σημαντικός δείκτης για την οικονομική αξιολόγηση μιας επένδυσης είναι ο **Χρόνος Επανείσπραξης του Κεφαλαίου**. Υπολογίζει το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο θα καλυφθεί το κόστος της αρχικής επένδυσης και θα αρχίζει να αποδίδει το επενδυτικό έργο. Τα συμπεράσματα εξάγονται όταν γίνεται σύγκριση της περιόδου επανάκτησης του επενδυτικού προγράμματος με το χρόνο αποπληρωμής που έχει θέσει ως στόχο η επιχείρηση. Εάν η περίοδος επανείσπραξης είναι μικρότερη ή ίση με την περίοδο-στόχο, η

επένδυση γίνεται δεκτή. Η μέθοδος δίνει μια ένδειξη του κινδύνου και της ρευστότητας της επένδυσης. Όσο μικρότερη είναι η περίοδος ανάκτησης του κεφαλαίου τόσο ασφαλέστερη θεωρείται η επένδυση.

Σε περιπτώσεις δανεισμού από τράπεζες πολλές φορές χρησιμοποιείται επίσης ο Συντελεστής Ανάκτησης Κεφαλαίου (capital recovery factor - CRF), ο οποίος υπολογίζει το ύψος μιας ετήσιας ληξιπρόθεσμης ράντας ώστε να κατανεμηθεί η παρούσα αξία ενός ποσού σε μια περίοδο  $t$  ετών. Η πιο συνηθισμένη χρήση του συντελεστή είναι για τον υπολογισμό της τοκοχρεολυτικής δόσης ενός δανείου, γι' αυτό πολλές φορές ονομάζεται συντελεστής τοκοχρεολυτικής απόσβεσης. Ο επενδυτής που λαμβάνει το δάνειο καλείται να επιστρέψει στον δανειστή το κεφάλαιο που δανείστηκε (χρεολύσιο) και την αμοιβή του δανειστή (τόκος). Σε αυτή τη περίπτωση ο CRF ορίζει τις ισόποσες ετήσιες δόσεις που πρέπει να πληρώσει κάποιος στο τέλος κάθε χρόνου επί μια σειρά  $n$  ετών έτσι ώστε να επιστρέψει την παρούσα αξία του κεφαλαίου που δανείζεται σήμερα. Ο συντελεστής υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}}$$

όπου CRF: συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου

$i$ : επιτόκιο προεξόφλησης ή δανεισμού

$n$ : χρόνος αποπληρωμής

Η ετήσια τοκοχρεολυτική δόση ( $R$ ) που καλείται να πληρώσει η επιχείρηση υπολογίζεται από το γινόμενο του CRF επί το κεφάλαιο που επενδύθηκε ή δανείστηκε αρχικά.

## 2.2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ Μ.Β.Ε.Ε. ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Η χρήση του οικονομικού δείκτη της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες και αξιόπιστες μεθόδους αξιολόγησης επενδύσεων. Στη περίπτωση αξιολόγησης επενδύσεων εγκαταστάσεων παραγωγής και χρήσης βιοαερίου για συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, έχει δημιουργηθεί ένα τροποποιημένο οικονομικό μοντέλο που χρησιμοποιεί την έννοια της NPV και έχει προσαρμόσει τις παραμέτρους της ώστε να εκφράζει αυτού του είδους τις επενδύσεις. Το Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών σε συνεργασία με το Τμήμα Γεωργικής Οικονομίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών ανέπτυξε ένα οικονομικό μοντέλο γνωστό ως «Τροποποιημένο Βασικό Μοντέλο Οικονομικής Αξιολόγησης» (M.B.E.E.M. – Modified Basic Economic Evaluation Model). Το μοντέλο παρουσιάστηκε στο 7<sup>ο</sup> FAO/SREN-WORKSHOP στη Μόσχα και δημοσιεύθηκε στο ηλεκτρονικό περιοδικό *APPLIED*

*BIOTECHNOLOGY AND BIOCHEMISTRY* (Georgakakis et al. 2003). Το μοντέλο αποτελεί βελτιωμένη τροποποίηση του «Βασικού Μοντέλου Οικονομικής Αξιολόγησης» (B.E.E.M. – Basic Economic Evaluation Model) (Georgakakis et al. 1992).

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

Η διαφορά των εσόδων (B) και τα εξόδων (C) σχηματίζει τη καθαρή ταμειακή ροή ανά έτος (N.C.F. = B – C). Τα έσοδα καθορίζονται από τη σχέση:

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

όπου **B**: Συνολικά ετήσια έσοδα, σε €

**B<sub>ther</sub>**: Συνολικά ετήσια έσοδα από την παραγόμενη θερμική ενέργεια

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

a = Ισοδύναμη μονάδα πετρελαίου: 0,8759 L / m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>

P<sub>ther</sub> = Ποσοστό καθαρού μεθανίου που χρησιμοποιείται για παραγωγή Θερμικής ενέργειας, (%)

Pr<sub>ther</sub> = Τιμή πετρελαίου, σε € / L

T<sub>ther</sub> = Χρονική περίοδος που χρησιμοποιείται η θερμική ενέργεια, σε ημέρες

**B<sub>el</sub>**: Έσοδα από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

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

b: Ισοδύναμη μονάδα : 9,278 kWh<sub>el</sub> / m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> – ημέρα

P<sub>el</sub>: Ποσοστό καθαρού μεθανίου που χρησιμοποιείται για παραγωγή Ηλεκτρικής ενέργειας, (%)

Pr<sub>el</sub>: Τιμή πώλησης kWh<sub>el</sub>, σε € / kWh<sub>el</sub>

T<sub>el</sub>: Χρονική περίοδος που χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια, σε ημέρες

V<sub>R</sub>: Ωφέλιμος όγκος χωνευτήρα, σε m<sup>3</sup>

γ<sub>v</sub>: Ογκομετρική απόδοση μεθανίου, σε m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / m<sup>3</sup> χων-ημέρα

L: Συνολικές ημερήσιες απώλειες, σε m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / m<sup>3</sup> χων-ημέρα

Τα έξοδα καθορίζονται αντιστοίχως από τη σχέση:

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

όπου **C**: Συνολικά ετήσια έξοδα, σε €

**C<sub>dig</sub>**: Ετήσια έξοδα συντήρησης χωνευτήρα

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

$V_{\text{wast}}$  : ετησίως όγκος αποβλήτων, σε  $m^3$

$Pr_{\text{dig}}$ : Κόστος συντήρησης, σε  $\text{€} / m^3$

$C_{\text{sal}}$ : Ετήσιοι μισθοί, σε  $\text{€}$

$C_{\text{misc}}$ : Κόστος για διάφορα, σε  $\text{€}/\text{έτος}$

$C_{\text{ins}}$ : Κόστος ασφάλειας, σε  $\text{€}/\text{έτος}$

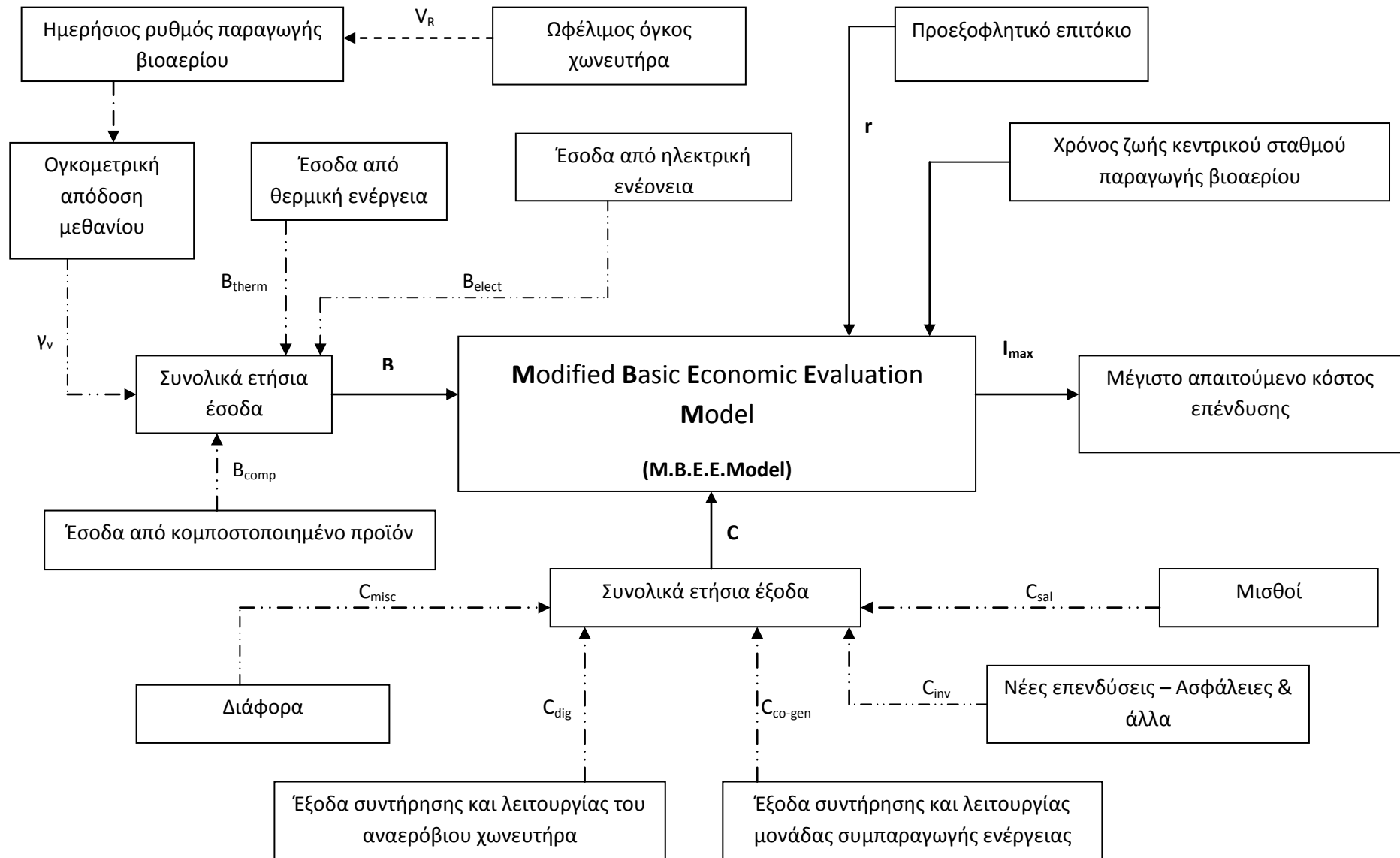
$C_{\text{mec}}$ : Κόστος συντήρησης μονάδας καύσης βιοαερίου

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

$E$ : Ετήσια παραγόμενη ποσότητα ενέργειας, σε  $\text{kWh} / \text{έτος}$

$Pr_{\text{mec}}$ : Κόστος συντήρησης, σε  $\text{€} / \text{kWh-έτος}$

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. Στη παρούσα μελέτη τα ποσοστά βιοαερίου που θα χρησιμοποιηθούν για τη παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας είναι 55% και 35% αντίστοιχα. Η αξιολόγηση επένδυσης ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ γίνεται για χρονικό διάστημα ίσο με τη διάρκεια της σύμβασης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. 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.



Εικόνα 2.2.1. Διάγραμμα Ροής επιμέρους Συντελεστών και Παραμέτρων μοντέλου MBEEM (Πηγή: Γεωργακάκης 2010α)

### 2.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΣΟΔΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΔΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΒΕΕΜ

Οι παραδοχές που έγιναν για την εφαρμογή του μοντέλου στη συγκεκριμένη μελέτη είναι οι εξής:

- 1) Χρόνος ζωής της εγκατάστασης είναι τα 12 χρόνια.
- 2) Το τυροκομείο παρουσιάζει εποχιακή δραστηριότητα γι' αυτό η λειτουργία του περιορίζεται σε 242 ημέρες το χρόνο.
- 3) Το προεξοφλητικό επιτόκιο ορίζεται σε 7% κατά το πρώτο χρόνο και μειώνεται σταδιακά έως τον 12<sup>ο</sup> χρόνο της επένδυσης όπου καταλήγει στο 5%.
- 4) Η μονάδα του τυροκομείου χρησιμοποιεί 100 L υγραερίου καθημερινά για να καλύψει τις ανάγκες της με κόστος ανά λίτρο 0,8€ με προσαύξηση 2% ετησίως για τα επόμενα 12 έτη.
- 5) 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.
- 6) Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος παραγωγής ΣΗΘ ανέρχεται σε 3€/MWh<sub>th</sub> με προσαύξηση 2% ετησίως για τα επόμενα 12 έτη.
- 7) Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της αερόβιας δεξαμενής ορίζεται ως το 5% των συνολικών λειτουργικών εξόδων.
- 8) 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.
- 9) Επιπλέον έξοδα αφορούν νέες επενδύσεις, ασφάλεια και απρόβλεπτα και υπολογίζονται στο 25% των ετήσιων λειτουργικών εξόδων.
- 10) Το τυροκομείο πωλεί μόνο την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και έχει κέρδος από την ανεξάρτητη αγορά υγραερίου.

Τα συνολικά έξοδα της επιχείρησης για την πραγματοποίηση της επένδυσης περιλαμβάνουν το κατασκευαστικό κόστος για τη δημιουργία της κεντρικής μονάδας χώνευσης και τα λειτουργικά έξοδα της μονάδας. Τα έσοδα προέρχονται από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο. Η τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο σύμφωνα με το άρθρο 5 του Ν.3851/2010 (ΦΕΚ.Α'85) ορίζεται σε 220 € ανά παραγόμενη MWh για το διασυνδεδεμένο σύστημα, όταν η πραγματοποίηση της επένδυσης στηρίζεται σε δημόσια επιχορήγηση. Σε αντίθετη περίπτωση, η τιμή της προσαυξάνεται κατά 15%. Η θερμική ενέργεια δεν πωλείται και εξυπηρετεί τις ανάγκες αυτοκατανάλωσης του τυροκομείου και του χωνευτήρα με ετήσιο έσοδο από την αντικατάσταση αγοράς υγραερίου 19.360€.



**Πίνακας 2.3.1.: Οικονομικά Στοιχεία Επενδυτικού Σχεδίου 12Ετίας**

<b>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ 12Ετίας</b>		<b>Τιμές σε €</b>
Συντήρηση & Λειτουργία Αναερόβιου Χωνευτήρα		7.790
Συντήρηση & Λειτουργία Μηχανής		24.786
Συντήρηση Αεριστών		12.007
Νέες επενδύσεις, Ασφάλιση, Απρόβλεπτα		48.029
Μισθοδοσία		147.533
<b>Σύνολο</b>		<b>240.144</b>
<b>ΕΣΟΔΑ 12Ετίας</b>		
Πώληση Ηλεκτρικής Ενέργειας		<b>655.776</b>
Εξοικονόμηση από Υγραέριο		<b>259.658</b>
<b>Μέγιστο Επενδεδυμένο Κεφάλαιο (<math>I_{max}</math>)</b>	<b>12</b>	477.932
	<b>8</b>	346.246
	<b>6</b>	272.577
	<b>4</b>	191.681

Ο παραπάνω πίνακας εσόδων- εξόδων 12ετίας εξετάζει τη οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης μέσω της πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας 216 MWh ανά έτος. Με χρήση του οικονομικού δείκτη της NPV υπολογίστηκε το μέγιστο επενδεδυμένο κεφάλαιο που προκύπτει σε τέσσερα διαφορετικά χρονικά διαστήματα 12, 8, 6 και 4 ετών. Αυτό σημαίνει πως για να μπορέσει να αποσβεστεί η επένδυση στο χρόνο λήξης της δηλαδή στα 12 έτη το μέγιστο αρχικό κόστος της δεν πρέπει να ξεπερνά τα 477.932€, για τα 8 έτη τα 346.246€, για τα 6 έτη τα 272.577€ και για τα 4 έτη τα 191.681€. Αν το αρχικό επενδυτικό κόστος αποδειχθεί μικρότερο από το οριακό τότε το επενδεδυμένο κεφάλαιο θα ανακτηθεί πριν το πέρας της περιόδου που είχε τεθεί ως στόχος και από εκείνο το χρονικό σημείο και έπειτα η επιχείρηση θα αρχίσει να εισπράττει καθαρά κέρδη. Σε αντίθετη περίπτωση αν το αρχικός κόστος είναι μεγαλύτερο τότε η επένδυση χαρακτηρίζεται ως μη συμφέρουσα και εγκαταλείπεται.

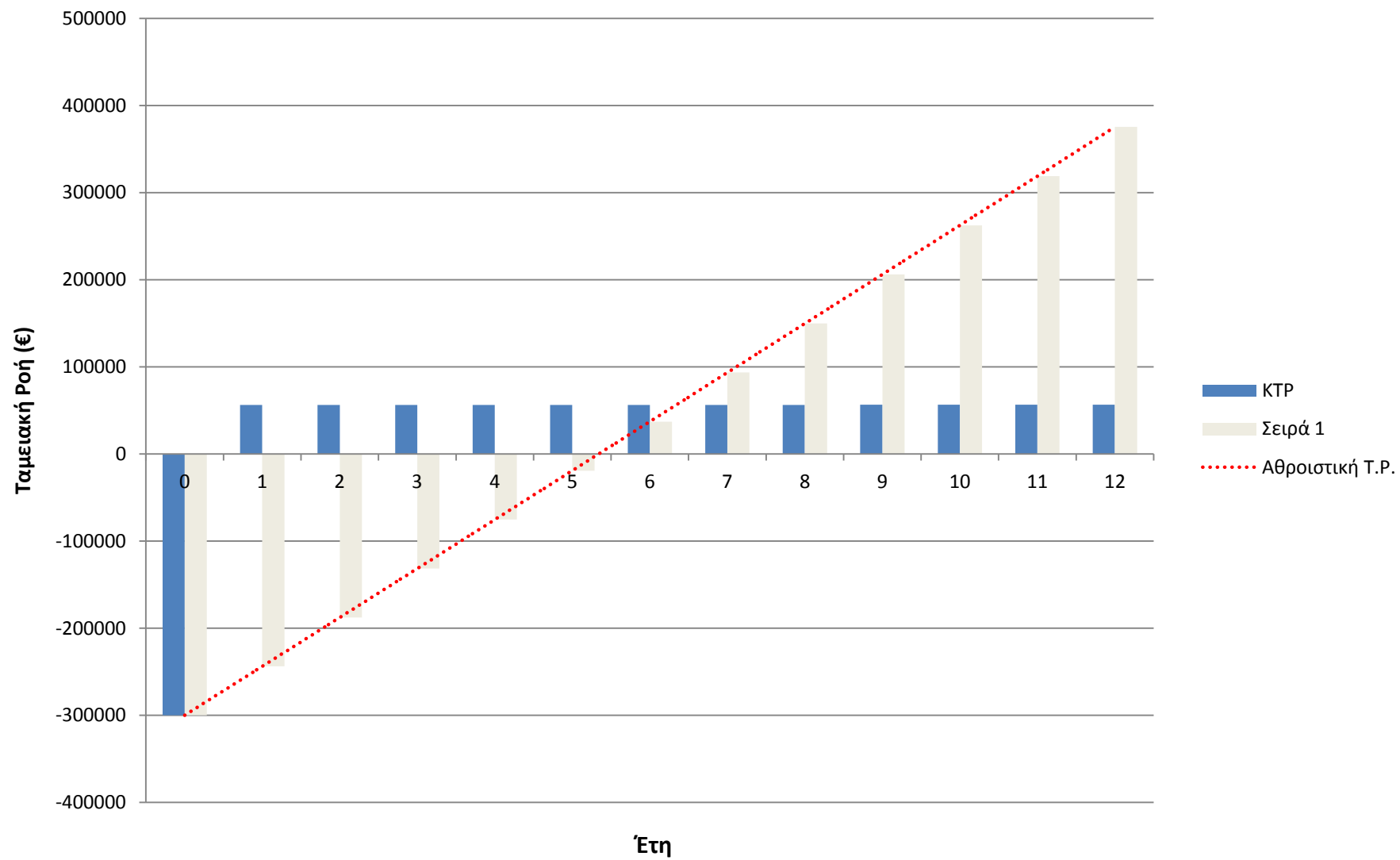
Χρησιμοποιώντας στοιχεία από παρόμοιες μονάδες, μπορεί να εξεταστεί ένα παράδειγμα οικονομικής αξιολόγησης μιας επένδυσης στη περίπτωση που είναι γνωστό το αρχικό κατασκευαστικό κόστος της μονάδας. Λαμβάνοντας ως υπόθεση πως το αρχικό επενδεδυμένο κεφάλαιο είναι 300.000€ η τιμή της NPV προκύπτει στα 12 έτη της επένδυσης ίση με 137.163€. Αυτό σημαίνει ότι τα κέρδη της επιχείρησης στο διάστημα

των 12 ετών ανηγμένα σε σημερινές τιμές θα επαρκούν για την ανάκτηση του αρχικού κεφαλαίου. Καθώς η τιμή της NPV είναι θετική, η επένδυση χαρακτηρίζεται ως οικονομικά βιώσιμη. Ο δείκτης εσωτερικής απόδοσης (IRR) υπολογίστηκε στο 15% και είναι η τιμή του επιτοκίου που μηδενίζει τη καθαρή παρούσα αξία. Το ποσοστό αυτό είναι υψηλότερο από το προεξοφλητικό επιτόκιο που ορίστηκε στο 6% κατά μέσο όρο, άρα σύμφωνα και με αυτό το δείκτη η επένδυση θα είναι κερδοφόρα. Ο χρόνος στον οποίο εκτιμάται ότι θα επανεισπραχτεί το κεφάλαιο είναι 5 έτη και 125 ημέρες. Ανάλογα συμπεράσματα προκύπτουν επίσης για διάστημα 8 ετών όπου η NPV είναι επίσης θετική και αντιστοιχεί σε 40.125€, ενώ ο IRR υπολογίζεται στο 10%. Αντίθετα για διαστήματα 6 και 4 ετών η επένδυση αποδεικνύεται μη συμφέρουσα καθώς η τιμή της NPV και στις δύο περιπτώσεις είναι αρνητική. Οι διαπιστώσεις αυτές επιβεβαιώνονται από τα στοιχεία του Πίνακα 2.3.1 για το μέγιστο επενδεδυμένο κεφάλαιο κάθε χρονικού διαστήματος. Στον Πίνακα 2.3.2. που ακολουθεί καταγράφονται τα αποτελέσματα των δεικτών ενώ στο Διάγραμμα 2.3.1. απεικονίζονται οι καθαρές ταμειακές ροές σε κάθε έτος, καθώς και το χρονικό σημείο στο οποίο θα ανακτηθεί το αρχικό επενδεδυμένο κεφάλαιο.

**Πίνακας 2.3.2.: Οικονομικοί Δείκτες Παραδείγματος**

Έτη	12	8	6	4
<b>Αρχικό Επενδεδυμένο Κεφάλαιο (€)</b>	300.000			
<b>NPV (€)</b>	>0	>0	<0	<0
	137.163	40.125	-	-
<b>IRR (%)</b>	15%	10%	-	-
<b>Χρόνος Επανείσπραξης Κεφαλαίου</b>	5 έτη + 125 ημέρες		-	-

Διάγραμμα 2.3.1.: Καθαρές Ετήσιες Ταμειακές Ροές Παραδείγματος για 12 έτη



## 2.4. ΤΡΑΠΕΖΙΚΟΣ ΔΑΝΕΙΣΜΟΣ

Το αρχικό κόστος μιας επένδυσης δεν καλύπτεται πάντα από ίδια κεφάλαια του επενδυτή. Η χρηματοδότηση ενός έργου τις περισσότερες φορές στηρίζεται στον τραπεζικό δανεισμό και/ή στις επιχορηγήσεις. Στη περίπτωση του τραπεζικού δανεισμού, η οποία είναι δεσμευτική, στόχος του επενδυτή είναι η κάλυψη του αρχικού κόστους της επένδυσης μέσω δανεισμού και η αποπληρωμή του δανείου του μέσα στο χρόνο εξόφλησης που έχει οριστεί. Η σημαντικότερη διαφοροποίηση σε σχέση με την αξιολόγηση της επένδυσης ως προς τα ίδια κεφάλαια είναι ότι στο επιτόκιο αναγωγής θα πρέπει να ληφθεί υπόψη όχι μόνο η απόδοση των ιδίων κεφαλαίων που κρίνει ο επενδυτής ως ικανοποιητική, αλλά και το επιτόκιο των δανειακών κεφαλαίων της επιχείρησης, αφού το αρχικό κόστος της επένδυσης καλύπτεται τόσο από τα ίδια, όσο και από δανειακά κεφάλαια (Παπαθανασίου 2012). Οι χρηματοδοτήσεις για επενδύσεις σε πάγια περιουσιακά στοιχεία έχουν μεσοπρόθεσμο ή μακροπρόθεσμο χαρακτήρα και συνήθως παίρνουν τη μορφή τοκοχρεωλυτικών δανείων.

Η μέθοδος χρηματοδότησης αφορά παραδοσιακό δανεισμό και για ετήσιο επιτόκιο δανεισμού επιλέχθηκε το σύνηθες 9%. Στον υπολογισμό του χρεολυσίου για την αποπληρωμή του αναληφθέντος δανείου από την επιχείρηση, θα χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικές μέθοδοι: του σταθερού χρεολυσίου και του σταθερού τοκοχρεολυσίου (Μπακογιάννη 2011). Από τα δεδομένα της παρούσας μελέτης εκτιμήθηκαν τα οικονομικά στοιχεία αποπληρωμής του δανείου σχετικά με το σενάριο πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας (216 MWh/έτος).

### A) Σταθερό Χρεολύσιο

Εκφράζει τη περιοδική εξυπηρέτηση του χρέους, με ίσες δόσεις χρεολυσίου, αλλά βαθμιαία μείωση του τόκου. Ο τρόπος αυτός απαιτεί λιγότερο κόστος χρηματοδότησης, αλλά μεγαλύτερη εξυπηρέτηση του χρέους κατά την έναρξη λειτουργίας.

### B) Σταθερό Τοκοχρεολύσιο

Ονομάζεται Προοδευτική μέθοδος ή Γαλλική μέθοδος απόσβεσης και αναφέρεται στη περιοδική εξυπηρέτηση του χρέους με ίσες δόσεις τοκοχρεολυσίου. Αποτελεί τον συνηθέστερο τρόπο δανειοδότησης επενδύσεων και είναι αρκετά πιο ανεκτός για ένα νέο επενδυτικό σχέδιο. Σε αυτή τη περίπτωση το κόστος χρηματοδότησης είναι μεγαλύτερο, αλλά η αρχική εξυπηρέτηση του χρέους είναι μικρότερη. Το τοκοχρεολύσιο διατηρείται σταθερό, καθώς στην αρχή της περιόδου αποπληρώνεται περισσότερος τόκος και λιγότερο κεφάλαιο και κατά τη διάρκεια αποπληρωμής η αναλογία αυτή αντιστρέφεται. Για τον υπολογισμό των ισόποσων τακτικών πληρωμών χρησιμοποιείται ο δείκτης CRF.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η επιχείρηση που αναλαμβάνει να καλύψει μέρος του αρχικού κόστους της επένδυσης μέσω τραπεζικού δανεισμού στα ετήσια λειτουργικά της έξοδα προστίθεται και η τοκοχρεολυτική δόση του δανείου. Από το χρονικό σημείο όπου αποπληρώνεται το δάνειο και έπειτα η επιχείρηση απολαμβάνει τις καθαρές αποδόσεις της επένδυσής της. Ανάλογα με το ποσοστό της χρηματοδότησης που προερχόταν από ίδια κεφάλαια, ο επενδυτής μετά την αποπληρωμή του δανείου μπορεί πλέον να ανακτήσει το αρχικά επενδεδυμένο κεφάλαιο και να εισπράττει τα κέρδη.

Στη παρούσα εξεταζόμενη επενδυτική κίνηση μελετήθηκαν τέσσερα διαφορετικά χρονικά διαστήματα αποπληρωμής δανείου των 12, 8, 6 και 4 ετών. Έχοντας υποθέσει πως το αρχικά επενδεδυμένο κεφάλαιο είναι 300.000€ μπορεί να υπολογιστεί μέσω προγράμματος το ποσοστό χρηματοδότησης μέσω δανείου που μπορεί να λάβει ο επενδυτής έτσι ώστε να μπορέσει να αποσβέσει το σύνολο της επένδυσης του εντός των 12 ετών και να μην ξεπεράσει το μέγιστο επενδεδυμένο κεφάλαιο. Τα συμπεράσματα της εφαρμογής έδειξαν για το παράδειγμα αυτό, πως σύμφωνα με τη πρώτη μέθοδο, για ποσοστό ανάληψης δανείου από τον επενδυτή ύψους 40% του αρχικού κόστους της επένδυσης και για διάστημα αποπληρωμής δανείου 12 ετών ο επενδυτής θα αρχίσει να εισπράττει καθαρά κέρδη και θα έχει ανακτήσει το κεφάλαιο που επένδυσε ο ίδιος στα 4 έτη και 311 ημέρες. Για διάστημα αποπληρωμής δανείου 8 ετών ο χρόνος επανείσπραξης του κεφαλαίου είναι 5 έτη και 144 ημέρες, για διάστημα αποπληρωμής 6 ετών είναι 6 έτη και 260 ημέρες και για διάστημα αποπληρωμής δανείου 4 ετών είναι 5 έτη και 300 ημέρες (Πίνακες 2.4.1., 2.4.3.).

Αντίστοιχα, με χρήση της μεθόδου του σταθερού τοκοχρεολυσίου διαπιστώνεται ποια θα είναι η περίοδος επανείσπραξης του κεφαλαίου για ποσοστό χρηματοδότησης 40% σε όλους του χρόνους αποπληρωμής μέσω δανεισμού με αρχικό κεφάλαιο 300.000€ είναι. Η διαφοροποίηση έγκειται στους διαφοροποιημένους χρόνους επανάκτησης του κεφαλαίου. Συγκεκριμένα, για αποπληρωμή δανείου 12 ετών ο χρόνος επανείσπραξης του κεφαλαίου θα είναι 4 έτη και 208 ημέρες, για 8 έτη δανεισμού θα είναι 5 έτη και 80 ημέρες, για 6 έτη δανεισμού θα είναι 6 έτη και 22 ημέρες και για 4 έτη δανεισμού θα είναι 5 έτη και 307 ημέρες (Πίνακες 2.4.2., 2.4.4.). Από τα χρονικά σημεία αυτά και έπειτα η επιχείρηση θα καλύπτει μόνο τις τρέχουσες υποχρεώσεις της και θα εισπράττει καθαρά κέρδη.

Σχετικά με το τελικό ποσό πληρωμής δανεισμού παρατηρείται μια διαφοροποίηση των τελικών τιμών που καλείται να πληρώσει ο επενδυτής στο τέλος της κάθε περιόδου. Χαρακτηριστικά στη πρώτη μέθοδο το χρεολύσιο που καλείται να πληρώσει ο επενδυτής ετησίως για 12 έτη ανέρχεται στα 10.000€ (Πίνακας 2.4.1.). Το σύνολο των τόκων και των τοκοχρεολυσίων στο τέλος της περιόδου αποπληρωμής θα είναι 70.200€ και 190.200€ αντίστοιχα. Με τη μέθοδο του σταθερού τοκοχρεολυσίου προκύπτουν συνολικοί τόκοι στο τέλος της περιόδου αποπληρωμής 81.097€ και συνολική αξία τοκοχρεολυσίων 201.097€. Παρατηρείται ότι αν επιλέξει ο επενδυτής τη δανειοδότηση με τη μέθοδο πληρωμής του σταθερού χρεολυσίου, συνολικά θα πληρώσει μικρότερο ποσό από ότι με τη μέθοδο του

σταθερού τοκοχρεολυσίου (Πίνακας 2.4.2.) για όλα τα χρονικά διαστήματα δανεισμού. Συμπεραίνεται ότι η πρώτη περίπτωση ανάληψης δανείου, με τη πρώτη ματιά συμφέρει περισσότερο τον επενδυτή. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε, συνηθίζεται οι επιχειρήσεις να προτιμούν τη πληρωμή σταθερών ποσών δόσεων καθ' όλη τη διάρκεια της επένδυσης για την αποπληρωμή του δανείου έναντι των υψηλών τοκοχρεολυσίων στην αρχή της περιόδου.

Στους Πίνακες 2.4.1., 2.4.2. που ακολουθούν υπολογίζονται αρχικά οι δόσεις, οι τόκοι και τα συνολικά τοκοχρεολύσια για τις δύο μεθόδους δανειοδότησης. Ακολούθως υπολογίζονται τα αντίστοιχα μέγιστα επενδεδυμένα ίδια κεφάλαια ( $I_{max}$ ) και οι χρόνοι επανείσπραξης τους (ΧΕΚ).

Πίνακας 2.4.1.: Απεικόνιση Αποσβέσεως Δανείου με Σταθερό Χρεολύσιο

Έτη	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σύνολο
<b>12</b>													
Χρεολύσιο	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	
Τόκος	10800	9900	9000	8100	7200	6300	5400	4500	3600	2700	1800	900	<b>70200</b>
Τοκοχρεολύσιο	20800	19900	19000	18100	17200	16300	15400	14500	13600	12700	11800	10900	<b>190200</b>
Εξοφλημένο Ποσό Δανείου	10000	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000	90000	100000	110000	120000	
Ανεξόφλητο Ποσό Δανείου	110000	100000	90000	80000	70000	60000	50000	40000	30000	20000	10000	0	
<b>8</b>													
Χρεολύσιο	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000					
Τόκος	10800	9450	8100	6750	5400	4050	2700	1350					<b>48.600</b>
Τοκοχρεολύσιο	25800	24450	23100	21750	20400	19050	17700	16350					<b>168.600</b>
Εξοφλημένο Ποσό Δανείου	15000	30000	45000	60000	75000	90000	105000	120000					
Ανεξόφλητο Ποσό Δανείου	105000	90000	75000	60000	45000	30000	15000	0					
<b>6</b>													
Χρεολύσιο	20000	20000	20000	20000	20000	20000							
Τόκος	10800	9000	7200	5400	3600	1800							<b>37.800</b>
Τοκοχρεολύσιο	30800	29000	27200	25400	23600	21800							<b>157.800</b>
Εξοφλημένο Ποσό Δανείου	20000	40000	60000	80000	100000	120000							
Ανεξόφλητο Ποσό Δανείου	100000	80000	60000	40000	20000	0							
<b>4</b>													
Χρεολύσιο	30000	30000	30000	30000									
Τόκος	10800	8100	5400	2700									<b>27.000</b>
Τοκοχρεολύσιο	40800	38100	35400	32700									<b>147.000</b>
Εξοφλημένο Ποσό Δανείου	30000	60000	90000	120000									
Ανεξόφλητο Ποσό Δανείου	90000	60000	30000	0									

Πίνακας 2.4.2.: Απαικόνιση Αποσβέσεως Δανείου με Σταθερό Τοκοχρεολύσιο

Έτη	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σύνολο
<b>12</b>													
Χρεολύσιο	5958	6494	7079	7716	8410	9167	9992	10892	11872	12940	14105	15374	
Τόκος	10800	10264	9679	9042	8348	7591	6766	5866	4886	3818	2653	1384	<b>81097</b>
Τοκοχρεολύσιο	16758	16758	16758	16758	16758	16758	16758	16758	16758	16758	16758	16758	<b>201097</b>
Εξοφλημένο Ποσό Δανείου	5958	12452	19531	27247	35657	44825	54817	65709	77580	90521	104626	120000	
Ανεξόφλητο Ποσό Δανείου	114042	107548	100469	92753	84343	75175	65183	54291	42420	29479	15374	0	
<b>8</b>													
Χρεολύσιο	10881	11860	12928	14091	15359	16742	18248	19891					
Τόκος	10800	9821	8753	7590	6322	4939	3433	1790					<b>53447</b>
Τοκοχρεολύσιο	21681	21681	21681	21681	21681	21681	21681	21681					<b>173447</b>
Εξοφλημένο Ποσό Δανείου	10881	22741	35669	49760	65119	81861	100109	120000					
Ανεξόφλητο Ποσό Δανείου	109119	97259	84331	70240	54881	38139	19891	0					
<b>6</b>													
Χρεολύσιο	15950	17386	18951	20656	22515	24542							
Τόκος	10800	9364	7800	6094	4235	2209							<b>40502</b>
Τοκοχρεολύσιο	26750	26750	26750	26750	26750	26750							<b>160502</b>
Εξοφλημένο Ποσό Δανείου	15950	33336	52287	72943	95458	120000							
Ανεξόφλητο Ποσό Δανείου	104050	86664	67713	47057	24542	0							
<b>4</b>													
Χρεολύσιο	26240	28602	31176	33982									
Τόκος	10800	8438	5864	3058									<b>28161</b>
Τοκοχρεολύσιο	37040	37040	37040	37040									<b>148161</b>
Εξοφλημένο Ποσό Δανείου	26240	54842	86018	120000									
Ανεξόφλητο Ποσό Δανείου	93760	65158	33982	0									



Πίνακας 2.4.3.: Απεικόνιση Απόσβεσης Ίδιων Κεφαλαίων με Σταθερό Χρεολύσιο

Έτη	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	I <sub>max</sub>	ΧΕΚ
<b>12</b>														
Συνολικά Ετήσια Έξοδα	38705	38163	37628	37101	36581	36069	35564	35067	34579	34098	33626	33163		
NCF	35303	36232	37162	38092	39023	39954	40886	41819	42753	43687	44622	45557		
WACC	0,928	0,862	0,803	0,749	0,701	0,657	0,617	0,580	0,547	0,517	0,489	0,464		
PV NCF	32749	31241	29844	28549	27349	26238	25210	24259	23380	22568	21819	21158	<b>314.365</b>	
Αθροιστική Τ.Ρ.	-180000	<b>-144697</b>	<b>-108465</b>	<b>-71303</b>	<b>-33211</b>	<b>5812</b>	<b>45766</b>	<b>86652</b>	<b>128472</b>	<b>171224</b>	<b>214911</b>	<b>259533</b>	<b>305090</b>	<b>4 + 311</b>
<b>8</b>														
Συνολικά Ετήσια Έξοδα	43705	42713	41728	40751	39781	38819	37864	36917						
NCF	30303	31682	33062	34442	35823	37204	38586	39969	56.353	56.387	56.422	56.457		
WACC	0,928	0,862	0,803	0,749	0,701	0,657	0,617	0,580	0,547	0,517	0,489	0,464		
PV NCF	28110	27318	26551	25813	25106	24432	23792	23186	30818	29129	27589	26220	<b>318.066</b>	
Αθροιστική Τ.Ρ.	-180000	<b>-149697</b>	<b>-118015</b>	<b>-84953</b>	<b>-50511</b>	<b>-14688</b>	<b>22516</b>	<b>61102</b>	<b>101072</b>	<b>157424</b>	<b>213811</b>	<b>270233</b>	<b>326690</b>	<b>5 + 144</b>
<b>6</b>														
Συνολικά Ετήσια Έξοδα	48705	47263	45828	44401	42981	41569								
NCF	25303	27132	28962	30792	32623	34504	56.286	56.319	56.353	56.387	56.422	56.457		
WACC	0,928	0,862	0,803	0,749	0,701	0,657	0,617	0,580	0,547	0,517	0,489	0,464		
PV NCF	23472	23395	23258	23078	22901	22724	8775	34706	32671	30818	29129	27589	26220	<b>293.131</b>
Αθροιστική Τ.Ρ.	-180000	<b>-154697</b>	<b>-127565</b>	<b>-98603</b>	<b>-67811</b>	<b>-53514</b>	<b>-40152</b>	<b>16134</b>	<b>72454</b>	<b>128806</b>	<b>185193</b>	<b>241615</b>	<b>298072</b>	<b>6 + 260</b>
<b>4</b>														
Συνολικά Ετήσια Έξοδα	58705	56363	54028	51701										
NCF	15303	18032	20762	23492	56223	56254	56286	56319	56353	56387	56422	56457		
WACC	0,928	0,862	0,803	0,749	0,701	0,657	0,617	0,580	0,547	0,517	0,489	0,464		
PV NCF	14196	15548	16673	17607	39404	36943	34706	32671	30818	29129	27589	26220	<b>321.503</b>	
Αθροιστική Τ.Ρ.	-180000	<b>-164697</b>	<b>-146665</b>	<b>-125903</b>	<b>-102411</b>	<b>-46188</b>	<b>10066</b>	<b>66352</b>	<b>122672</b>	<b>179024</b>	<b>235411</b>	<b>291833</b>	<b>348290</b>	<b>5 + 300</b>

Πίνακας 2.4.4.: Απεικόνιση Απόσβεσης Ίδιων Κεφαλαίων με Σταθερό Τοκοχρεολύσιο

Έτη	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	I <sub>max</sub>	ΧΕΚ
<b>12</b>														
Συνολικά Ετήσια Έξοδα	34663	35021	35387	35759	36139	36527	36922	37325	37737	38156	38584	39021		
NCF	39345	39374	39404	39434	39465	39496	39528	39561	39595	39629	39663	39699		
WACC	0,928	0,862	0,803	0,749	0,701	0,657	0,617	0,580	0,547	0,517	0,489	0,464		
PV NCF	36498	33950	31644	29555	27659	25938	24373	22949	21653	20472	19395	18437	<b>312.523</b>	
Αθροιστική Τ.Ρ.	-180000	-140655	-101281	-61878	-22444	17021	56517	96046	135607	175202	214830	254494	294193	<b>4 + 208</b>
<b>8</b>														
Συνολικά Ετήσια Έξοδα	39586	39944	40309	40682	41062	41450	41845	42248						
NCF	34422	34451	34481	34511	34542	34573	34606	34638	56.353	56.387	56.422	56.457		
WACC	0,928	0,862	0,803	0,749	0,701	0,657	0,617	0,580	0,547	0,517	0,489	0,464		
PV NCF	31931	29705	27691	25865	24209	22705	21338	20094	30818	29129	27589	26220	<b>317.293</b>	
Αθροιστική Τ.Ρ.	-180000	-145578	-111127	-76646	-42135	-7593	26980	61586	96224	127042	156171	183760	209980	<b>5 + 80</b>
<b>6</b>														
Συνολικά Ετήσια Έξοδα	44655	45014	45379	45751	46131	46519								
NCF	29353	29382	29411	29442	29472	29504	56286	56319	56353	56387	56422	56457		
WACC	0,928	0,862	0,803	0,749	0,701	0,657	0,617	0,580	0,547	0,517	0,489	0,464		
PV NCF	27229	25334	23620	22066	20656	19376	34706	32671	30818	29129	27589	26220	<b>319.412</b>	
Αθροιστική Τ.Ρ.	-180000	-150647	-121266	-91854	-62413	-32940	-3436	52850	109169	165522	221909	278330	334787	<b>6 + 22</b>
<b>4</b>														
Συνολικά Ετήσια Έξοδα	54945	55303	55669	56041										
NCF	19063	19092	19121	19152	56223	56254	56286	56319	56353	56387	56422	56457		
WACC	0,928	0,862	0,803	0,749	0,701	0,657	0,617	0,580	0,547	0,517	0,489	0,464		
PV NCF	17683	16462	15356	14354	39404	36943	34706	32671	30818	29129	27589	26220	<b>321.334</b>	
Αθροιστική Τ.Ρ.	-180000	-160937	-141846	-122724	-103572	-47349	8905	65191	121511	177863	234250	290672	347129	<b>5 + 307</b>

Από τα παραπάνω στοιχεία μπορεί να γίνει μια σύνοψη των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στο επενδυτικό σενάριο. Ο επενδυτής έχει τη δυνατότητα να λάβει δάνειο που να καλύπτει περίπου το 40% του αρχικού του κεφαλαίου έτσι ώστε να μπορέσει να αποπληρώσει πλήρως το δάνειο του και να ανακτήσει τα ίδια κεφάλαιά του εντός διαστήματος 12 ετών. Για όλους τους τύπους και χρονικά διαστήματα των δανείων προκύπτει ότι ο επενδυτής θα ανακτήσει τα ίδια κεφάλαιά του περίπου μεταξύ 5 και 6,5 ετών. Από το χρονικό σημείο αυτό και μέχρι το 12<sup>ο</sup> έτος ο επενδυτής θα συνεχίσει να πληρώνει τη δόση του δανείου του αλλά πλέον θα παρουσιάζονται θετικές ταμειακές ροές. Η επένδυση συνολικά σύμφωνα με τη μελέτη περίπτωσης χρηματοδότησης μέσω τραπεζικού δανεισμού αποδεικνύεται κερδοφόρα επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα του ΜΒΕΕΜ (Πίνακας 2.4.5.).

**Πίνακας 2.4.5.: Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Επενδυτικού Σεναρίου**

<b>Αρχικό Επενδεδυμένο Κεφάλαιο (€)</b>	300.000							
<b>Μέγιστο Επενδεδυμένο Κεφάλαιο για 12 και 8 έτη με Ίδια Κεφάλαια (€)</b>	477.932				346.246			
<b>Χρόνος Επανείσπραξης Κεφαλαίου με Ίδια Κεφάλαια (έτη/ημέρες)</b>	5 + 125							
<b>Έτη Δανεισμού</b>	12		8		6		4	
<b>Σταθερό</b>	Χρεολύσιο	Τοκοχρεολύσιο	Χρεολύσιο	Τοκοχρεολύσιο	Χρεολύσιο	Τοκοχρεολύσιο	Χρεολύσιο	Τοκοχρεολύσιο
<b>Ποσοστό Δανεισμού (%)</b>	40							
<b>Ποσοστό σε Ίδια Κεφάλαια (%)</b>	60							
<b>Σύνολο Τοκοχρεολυσίου(€)</b>	190.200	201.097	168.600	173.447	157.800	160.502	147.000	148.161
<b>Μέγιστο Επενδεδυμένο Ίδιο Κεφάλαιο (€)</b>	314.365	312.523	318.066	317.293	293.131	319.412	321.503	321.334
<b>Χρόνος Επανείσπραξης Ίδιων Κεφαλαίων (έτη/ημέρες)</b>	4 + 311	4 + 208	5 + 144	5 + 80	6 + 260	6 + 22	5 + 300	5 + 307

### 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πειραματική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε οδήγησε συνοπτικά στα εξής συμπεράσματα:

1. Παρατηρήθηκε μεγάλη ευκολία διαχείρισης των εκχυλισμάτων στην διαδικασία παραγωγής βιοαερίου σε σχέση με τη χρήση μη διαχωρισμένων αποβλήτων.
2. Η ειδική παραγωγή βιοαερίου/μεθανίου από τα εκχυλίσματα ( $m^3/kg\Pi.\Sigma.$ ) ήταν σχεδόν διπλάσια σε σχέση με αυτή που έχει παρατηρηθεί στην βιβλιογραφία. Η προσθήκη τυρογάλακτος στο μίγμα συνέβαλε θετικά στην αύξηση της περιεκτικότητας του μίγματος σε ΠΣ και κατ' επέκταση στην αύξηση της παραγωγής βιοαερίου έως το βέλτιστο σημείο.
3. Η μεταφορά των Α' υλών στις εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου αποδείχθηκε πιο εύκολη καθώς η ανάμιξη και ο διαχωρισμός των υλικών στη πηγή μειώνει τον όγκο των πρώτων υλών και συλλέγει μόνο το υλικό που είναι άμεσα αξιοποιήσιμο από τον χωνευτήρα
4. Μέσω της αναερόβιας χώνευσης, επιτεύχθηκε σημαντική μείωση του οργανικού φορτίου στο μίγμα με εκχύλισμα αποβλήτων πτηνοτροφείου με τυρόγαλα σε ποσοστό περίπου 60 – 70% ΠΣ
5. Οι τιμές του pH κυμάνθηκαν σε ικανοποιητικά επίπεδα ( $>7$ ), διασφαλίζοντας τη σωστή λειτουργία του συστήματος.
6. Το εκχύλισμα αποβλήτων πτηνοτροφείου με νερό που περιέχονταν στο μίγμα λειτούργησε ως ρυθμιστής ώστε το σύστημα να παραμένει σε ισορροπία.
7. Δυνατότητα απορρόφησης του επεξεργασμένου τυρογάλακτος στην εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού των απονέρων του τυροκομείου για μείωση του υψηλού ρυπαντικού φορτίου ώστε να μπορεί να διατεθεί έπειτα στο περιβάλλον.
8. Συμφωνία αποτελεσμάτων μοντέλου M.B.E.E. με τη χρήση μοντέλου βασισμένο στον τραπεζικό δανεισμό.
9. Δυνατή η απόσβεση της επένδυσης των εγκαταστάσεων σε λιγότερο από 6,5 έτη με περιθώριο κέρδους.
10. Υπερέκλυση των αναγκών του τυροκομείου σε θερμική ενέργεια από τη χρήση του παραγόμενου βιοαερίου και αντικατάσταση της αγοράς υγραερίου
11. Δυνατότητα πρόσθετων εσόδων στα πτηνοτροφεία αυγοπαραγωγής από την επεξεργασία τους με σκοπό τη παραγωγή κομπόστ και την πώληση του ως εδαφοβελτιωτικού.

Η παρούσα μελέτη επικεντρώθηκε στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης για τη παραγωγή βιοαερίου μέσω της χρήσης εκχυλισμάτων πτηνοτροφικών και τυροκομικών αποβλήτων. Φιλοδοξεί να αποτελέσει ένα σημαντικό επιστημονικό υπόβαθρο προτείνοντας τη χρήση μηχανικά διαχωρισμένων αποβλήτων στην αναερόβια διαδικασία τονίζοντας τα ιδιαίτερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει έναντι της μέχρι τώρα μεθόδου που χρησιμοποιείται ευρέως και επικεντρώνεται στον μηχανικό διαχωρισμό των αποβλήτων μετά την αναερόβια χώνευση.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

Ανδριόπουλος Π. (2011) *Παραγωγή Βιοαερίου και Λιπάσματος από τα Απορρίμματα Κοτόπουλων – Σχεδιασμός, Εξεργειακή και Περιβαλλοντική Ανάλυση. Η περίπτωση του Δήμου Μεγάρων*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αθήνα: Έκδοση ΕΜΠ, ΔΠΜΣ Περιβάλλον και Ανάπτυξη.

Ανυφαντάκης Ε. Μ. (2004) *Τυροκομία Χημεία-Φυσικοχημεία-Μικροβιολογία*, Αθήνα: Εκδόσεις Α. Σταμούλης.

Αργυροπούλου Κ. (2007) *Πειραματική Διερεύνηση Παραγωγής Βιοαερίου από Μίγματα Ημικομποστοποιημένων Αποβλήτων και Τυρογάλακτος στη Μεσόφιλη Περιοχή*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αθήνα: ΓΠΑ, ΠΜΣ Διαχείριση Περιβάλλοντος, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών πόρων & Γεωργικής Μηχανικής.

Γεωργακάκης Δ. (2010a), *Δευτεροβάθμια (Βιολογική) Επεξεργασία Γεωργο-Βιομηχανικών Αποβλήτων*, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τεύχος 3<sup>ο</sup> Μέρος Α΄, Αθήνα: Έκδοση ΓΠΑ.

Γεωργακάκης Δ. (2010b) *Επεξεργασία και Διάθεση Αποβλήτων Γεωργο-κτηνοτροφικών Μονάδων και Γ. Βιομηχανιών*, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Αθήνα: Έκδοση ΓΠΑ.

Γιαννακόπουλος Α. Λ. & Τσερβένη-Γούση Α. Σ. (2002) «Η Σημασία της Ορνιθοτροφίας για την Ελλάδα», Πρακτικά στην 1<sup>η</sup> Επιστημονική Ημερίδα Ελληνικό Αυγό και Κοτόπουλο – Από το Πτηνοτροφείο στον Καταναλωτή, Θεσσαλονίκη Ελλάδα 28 Σεπτεμβρίου 2002, Ελληνικό Τμήμα World Poultry Science Association (WPSA): Θεσσαλονίκη, σελ. 8 - 18.

Ελαφρός Γ. (2012) «Βιολειτουργικό Τρόφιμο από Τυρόγαλα», *Η Καθημερινή*, 23 Ιουνίου, [www.kathimerini.gr](http://www.kathimerini.gr).

Ζαφείρης, Χ. (2011) *Ενεργειακή Αξιοποίηση του Βιοαερίου: Τάσεις και Προοπτικές*, ΚΑΠΕ, [Διαδίκτυο] <http://www.cres.gr>

Ηλιόπουλος, Γ. (1997) *Χημεία Τροφίμων*, Β΄ Έκδοση, Αθήνα: Ο.Ε.Δ.Β.

Θεσσαλός Κ., Παπαθεοδώρου Α., Γεωργακάκης Δ. (1998) *Γεωργοκτηνοτροφικές Εφαρμογές*, Συνεργασία Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών ΓΠΑ & Διεύθυνσης Μονόπλων και Μηρυκαστικών Υπουργείου Γεωργίας.

Κακούρος Α. (2009) *Πειραματική Μελέτη Βελτιστοποίησης της Παραγωγής Βιοαερίου με προσθήκη Τυρογάλακτος σε Υγρά Μηχανικού Διαχωρισμού Αποβλήτων Χοιροστασιών στη Μεσόφιλη Περιοχή*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αθήνα: ΓΠΑ, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής.

Καλιαμπάκος Δ. & Δαμίγος Δ. (2008) *Χρηματοοικονομική και Κοινωνικοοικονομική Αξιολόγηση Επενδύσεων*, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Μαθήματος Οικονομικά του Περιβάλλοντος και των Υδατικών Πόρων, Αθήνα: Έκδοση ΕΜΠ, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων.

Καραδήμα Κ. (2009) *Εκτίμηση της Τοξικότητας διαφόρων Σταδίων Επεξεργασίας Αποβλήτων Τυροκομικών Μονάδων με χρήση Βιοδεικτών*, Διδακτορική Διατριβή, Πάτρα: Έκδοση: Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βιολογίας Ζώων.

Κολωνάς Χ. (2011) «Φρένο στη ρύπανση με υγρά απόβλητα», *Έθνος «Ε»*, 5 Ιουνίου, [www.ethos.gr](http://www.ethos.gr).

Κοψαχείλης Α. (2009) *Αναερόβια Χώνευση Υγρών Αποβλήτων Ελαιολιτριβείου σε ένα Περιοδικό Αναερόβιο Αντιδραστήρα με Ανακλαστήρες (PABR) και Κλασματοποίηση των Εκροών*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πάτρα: Έκδοση Πανεπιστήμιο Πατρών, ΔΠΜΣ Περιβαλλοντικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας & Χημικών Μηχανικών.

Λιάπης Κ. Ι. (2003) *Εισαγωγή στην Οικονομική των Επιχειρήσεων και τη Λογιστική*, Α΄ Έκδοση, Αθήνα: Εκδόσεις Γ. Μπένου

Μάρη Ι. Σ. (2000) *Διαχείριση Γεωργικών Αποβλήτων - Αναπνευσιμετρική Εκτίμηση της Πορείας Σταθεροποίησης Οργανικών Υποστρωμάτων υπό Συνθήκες Αερόβιας Θερμόφιλης Χώνευσης (Composting)*, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα: Έκδοση ΓΠΑ, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών πόρων & Γεωργικής Μηχανικής.

Μαρκαντωνάτος Φ. (1990) *Επεξεργασία και Διάθεση Υγρών Αποβλήτων*, Β΄ Έκδοση, Αθήνα: Εκδόσεις Γαρταγάνης.

Μάρμολος Γ. (2007) *Μηχανικός Διαχωρισμός*.

Μαυρίδου Χ. & Χουρδάκη Μ. (2007) *Η σημασία των Νέων Τεχνολογιών στην Ανάπτυξη των Επιχειρήσεων*, Πτυχιακή Μελέτη, Ηράκλειο: ΑΤΕΙ Κρήτης, Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας, Τμήμα Λογιστικής.

Μεταξιάτος Π., Σταματάκης Κ. (1999) *Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων Τυροκομείων με διπλό Διαχωρισμό μέσω Μεμβρανών. Στην Ημερίδα Εφαρμογή των Διεργασιών Διαχωρισμού με Μεμβράνες στην Επεξεργασία Νερού, Υγρών Αποβλήτων και Βιομηχανικών Προϊόντων*. Αθήνα, Ελλάδα 01 Φεβρουαρίου 1999, ΤΕΕ: Αθήνα.

Μπακογιάννη Ε. (2011) *Οικονομοτεχνική Ανάλυση Έργων Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών*, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Άρτα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηπείρου, Εργαστήριο Τμήματος Τεχνολογίας Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών.

Μπούχελος Χ. (2006) *Οικονομική Αξιολόγηση Δημιουργίας Τοπικού Κεντρικού Σταθμού Αξιοποίησης Αποβλήτων για Παραγωγή Βιοαερίου*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αθήνα: Έκδοση ΓΠΑ.



Οικονόμου Ε. Α. (2011) *Μελέτη του Κλάδου των Τυροκομικών Προϊόντων Προστατευόμενης Ονομασίας Προέλευσης (ΠΟΠ) με Έμφαση στη Συγκριτική Ανάλυση της Αγοράς Υποσυσκευασμένων και Ιδιωτικής Ετικέτας Προϊόντων*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αθήνα: ΓΠΑ, ΔΠΜΣ Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παραγωγής Γάλακτος & Γαλακτοκομικών Προϊόντων.

Παπαδόπουλος Α. (2002) *Οικονομική Ανάλυση Ενεργειακών Συστημάτων*, Θεσσαλονίκη: Έκδοση ΑΠΘ, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνική Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών.

Παπαθανασίου Στ. (2012) *Σημειώσεις Οικονομικής Αξιολόγησης Επενδύσεων Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ*, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Αθήνα: ΕΜΠ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος.

Σανδάλης Ι. (2012) *Παραγωγή Βιοαερίου από Αναερόβια Χώνευση Απορριμμάτων*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αθήνα: Έκδοση ΕΜΠ, Διεπιστημονικό – Διατμηματικό ΠΜΣ Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων.

Σιούλας Κ., Al Seadi T., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R. (2009) *Εγχειρίδιο Βιοαερίου*, Αθήνα: ΚΑΠΕ

Τζίχα Γ. (2005) *Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις των Παραγόμενων Αέριων Ρύπων κατά τη Παραγωγή και Διαχείριση Πτηνο-κτηνοτροφικών Αποβλήτων – Μέτρα Αντιμετώπισης*, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Αθήνα: ΓΠΑ, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών.

Τσερβένη-Γούση Α. Σ. & Γιαννακόπουλος Α. Λ. (2002) «Εναλλακτικά Συστήματα Σταβλισμού των Αυγοπαραγωγών Ορνίθων», Πρακτικά στη 1<sup>η</sup> Επιστημονική Ημερίδα Ελληνικό Αυγό και Κοτόπουλο – Από το Πτηνοτροφείο στον Καταναλωτή, Θεσσαλονίκη Ελλάδα 28 Σεπτεμβρίου 2002, Ελληνικό Τμήμα World Poultry Science Association (WPSA): Θεσσαλονίκη, σελ. 36 - 46.

Φουντουλάκης Ι. (2012) *Διερεύνηση της Επίδρασης της οργανικής Φόρτισης στην Απόδοση της Αναερόβιας Χώνευσης Μίγματος Ιλύος και Λιπών*, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα: Έκδοση ΕΜΠ, Τομέας Υδατικών Πόρων.

Χαρτσά Α. (2007) *Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Χοιροτροφικών Εκμεταλλεύσεων Νομού Ευβοίας*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Μυτιλήνη: Έκδοση Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΠΜΣ Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση, Τμήμα Περιβάλλοντος.

## ΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Ahring B.K. (2003) ‘Perspectives for Anaerobic Digestion’, *Biomethanation I – Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, vol. 81, pp. 1 – 30.

Amanullah M.M., Sekar S., Muthukrishnan P., (2010) ‘Prospects and Potential of Poultry Manure’, *Asian Journal of Plant Sciences*, vol. 9, no. 4, pp. 172 – 182.

Angelidaki, I. & Ahring, B.K. (1993) ‘Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: the effect of ammonia’, *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 38, no. 4, January, pp. 560 – 564.

Angelidaki, I., Ellegaard, L. & Ahring, B.K. (2003) ‘Applications of the Anaerobic Digestion Process Environment & Resources’, *Biomethanation II - Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology*, vol. 82, pp. 1 – 33.

Barclay, E. (2010) ‘China Turns to Biogas to Ease Impact of Factory Farms’, *Yale Environment 360*, 11 November [Online] <http://e360.yale.edu>

Bernet N. & Beline F. (2009) ‘Challenges and innovations on biological treatment of livestock effluents’, *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 22, November, pp. 5431 – 5436.

Bitton G. (2005) *Wastewater Microbiology*, 3<sup>rd</sup> edition, New York: John Wiley & Sons, Inc.

Chemistry Is All Around Us (2012) *Chemistry for clean environment (chemical ways to reduce the waste)*, Genoa: European Commission, Lifelong Learning Program, [www.chemistry.pixel-online.org](http://www.chemistry.pixel-online.org).

Cross W.H., Chian S.K., Pohland F.G., Harper S., Kharkar S., Cheng S.S. and Lu F. (1982) ‘Anaerobic Biological Treatment of Coal Gasifier Effluent’, *Biotechnology and Bioengineering Symposium Journal*, no. 12, Scott C.D. ed. in 4<sup>th</sup> Conference Symposium on Biotechnology in Energy Production and Conservation, Gatlinburg, USA 11 May 1982, Georgia Institute of Technology: Atlanta, pp. 349 – 363.

Dennis A. & Burke P.E. (2001) *Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook - Options for Recovering Beneficial Products from Dairy Manure*, Olympia, WA: Environmental Energy Company.

Desai M, Madamwar D. (1994) ‘Anaerobic digestion of a mixture of cheese whey, poultry waste and cattle dung: a study of the use of adsorbents to improve digester performance’, *Environmental Pollution*, vol. 86, no. 3, pp. 337 – 340.

Desai M., Patel V., Madamwar D. (1994) ‘Effect of temperature and retention time on biomethanation of cheese whey–poultry waste–cattle dung’, *Environmental Pollution*, vol. 83, no. 3, pp. 311 – 315.

- Drawnel A. (2008) *Increase of Biogas Production at Kappala WWTP - Disintegration Methods and Laboratory Scale Biogas Measurements*, Master of Science Thesis, Stockholm: KTH, Royal Institute of Technology, Industrial Ecology.
- Ferry J.G. (1993) *Methanogenesis- Ecology, Physiology, Biochemistry & Genetics*, New York: Chapman & Hall.
- Fox P.F., Guinee T.P., Cogan T.M., McSweeney P.L.H. (2000) *Fundamentals of Cheese Science*, Gaithersburg: An Aspen Publication.
- Gallert C. & Winter J. (1997) 'Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic wastes: effect of ammonia on glucose degradation and methane production', *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 48, no. 3, September, pp. 405 – 410.
- Gelegenis J., Georgakakis D., Angelidaki I., Mavris V. (2007) 'Optimization of Biogas Production by co-digesting whey with diluted poultry manure', *Renewable Energy*, vol. 32, no. 13, October, pp. 2147 – 2160.
- Georgakakis D, Andreadi E., Christopoulou N., (2002) 'Exploitation of cost efficient biogas production and utilization from Greek pig farms and olive oil mill wastes', Athens: C.R.E.S.
- Georgakakis D., Sievers D.M, Lannotti E. L. (1982), Buffer stability in manure digesters, *Agricultural Wastes*, vol. 4, no. 6, pp. 427 – 441.
- Gerardi H.M. (2003) *The Microbiology of Anaerobic Digesters*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Gray F.N. (2004) *Biology of Wastewater Treatment*, 2nd edition, Series on Environmental Science & Management, vol. 4, London: Imperial College Press.
- Grosova Z., Rosenberg M., Rebroš M. (2008) 'Perspectives and Applications of Immobilised  $\beta$ -Galactosidase in Food Industry – a Review', *Czech Journal of Food Science*, vol. 26, no. 1, pp. 1 – 14.
- Hadjigeorgiou I., Vallerand F., Tsimpoukas, K., Zervas G. (1998) 'The socio-economics of sheep and goat farming in Greece and the implications for future rural development', Proceedings: *Livestock production in the European Less Favoured Areas* in 2<sup>nd</sup> International Conference Livestock Production in the European LFA's, Bray, Dublin, Ireland December 1998, LSID Network, Macaulay Land Use Research Institute: Aberdeen, pp. 17 - 23.
- Hansen, K.H., Angelidaki, I., Ahring, B.K. (1998) 'Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia', *Water Research*, vol. 32, no. 1, January, pp. 5 – 12.

- Holm-Nielsen, J.B., Al Seadi, T., Oleskowicz-Popiel, P. (2009) 'The future of anaerobic digestion and biogas utilization', *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 22, November, pp. 5478 – 5484.
- Inman M. (2010) 'Has the World Already Passed "Peak Oil"?' , *National Geographic News*, 9 November, [Online] [www.news.nationalgeographic.com/news/energy](http://www.news.nationalgeographic.com/news/energy)
- Jelen P. (2000) 'Whey: Composition, properties, processing, and uses'. In Francis FJ, ed. *Wiley Encyclopedia of Food Science and Technology*, 2<sup>nd</sup> Edition, New York: John Wiley & Sons, pp. 2652–2661.
- Kızılkaya R. & Bayraklı B (2005) 'Effects of N-enriched sewage sludge on soil enzyme activities', *Applied Soil Ecology*, vol. 30, no. 3, November, pp. 192 – 202.
- Lebuhn M., Liu F., Heuwinkel H., Gronauer A. (2008) 'Biogas production from mono-digestion of maize silage-long-term process stability and requirements', *Water Science Technology*, vol. 58, no. 8, pp. 1645 - 1651.
- Lettinga G.A., van Velsen F.M. de Zeeuw W.J., Hobma S.W. (1980) 'The application of anaerobic digestion to the industrial pollution treatment', *Anaerobic Digestion*, Stafford, Wheatley & Hughes (ed.), London: Applied Science Publishers, pp. 167-186.
- Liao P.H., Lo K.V., Chieng S.T. (1984) 'Effect of liquid-solids separation on biogas production from dairy manure', *Energy in Agriculture*, vol. 3, pp. 61 – 69.
- Malaspina F., Stante, L., Cellamare C.M., Tilche, A. (1995) 'Cheese whey and cheese factory wastewater treatment with a biological anaerobic - Aerobic process', *Water Science and Technology*, vol. 32, no. 12, pp. 59 – 72.
- Malina J.F., Pohland F.G. Jr. (1992) 'Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes', *Water Quality Management Library*, vol. 7.
- Mariakulandai, A. & Manickam T.S. (1975) *Chemistry of Fertilizers and Manures*, New York, USA: Asia Publication House.
- Metcalf & Eddy Inc., Tchobanoglous G., Burton F. L., Stensel H. D. (2003) *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4<sup>rd</sup> ed. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Møller H.B., Sommer S.G. & Ahring B.K. (2002) 'Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions', *Bioresource Technology*, vol. 85, no. 2, November, pp. 189 – 196.
- Philippopoulos Ch. D. & Papadakis M. T. (2001). 'Current trends in whey processing and utilization in Greece', *International Journal of Dairy Technology*, vol. 54, no 1, pp. 14-19.

Rosillo-Calle F. & Woods J. (2007) *The Biomass Assessment Handbook – Bioenergy for a sustainable environment*, 1<sup>st</sup> ed., London: EarthScan.

Rutz D. & Ferber E. (2011) *Possibilities of financing a biogas investment*, IEE Project ‘Biogas IN’, Munich: WIP Renewable Energies.

Sakar S., Yetilmezsoy K., Kocak E. (2009) ‘Anaerobic digestion technology in poultry and livestock waste treatment — a literature review’, *Waste Management Research*, vol. 27, no. 1, February, pp. 3 – 18.

Schattauer A., Abdoun E., Weiland P., Plochl M., Heiermann M. (2011) ‘Abundance of trace elements in demonstration biogas plants’, *Biosystems Engineering*, vol. 108, no. 1, January, pp. 57 – 65.

Speece R.F. (1987) ‘Nutrient Requirements’, *Anaerobic Digestion of Biomass*, pp. 109 – 128.

Spence A.J. (2008) *An Evaluation Into the Optimization and Product Application of Supercritical Fluid Extraction and the Processing Impact on the Components in Filtrated Buttermilk Powder*, Oregon: Oregon State University, PhD Thesis, Agricultural Sciences.

Steffen R., Szolar, O., Braun, R. (1998) Feedstocks for anaerobic digestion, Institute for Agrobiotechnology Tulln, University of Agricultural Sciences Vienna [Online] [www.adnett.org/dl\\_feedstocks.pdf](http://www.adnett.org/dl_feedstocks.pdf)

Stronach S.M., Rudd T., Lester, J.N. (1986) *Anaerobic digestion processes in industrial wastewater treatment*, Biotechnology Monographs, 2<sup>nd</sup> edition, Berlin: Springer-Verlag.

Sung S. & Liu T. (2003), ‘Ammonia inhibition on thermophilic anaerobic digestion’, *Chemosphere*, vol. 53, no. 1, October, pp. 43 – 52.

Svoboda I. (2003) *Anaerobic digestion, storage, oligolysis, lime, heat and aerobic treatment of livestock manures*, Provision of research and design of pilot schemes to minimise livestock pollution to the water environment in Scotland, Final report, Warwickshire: FEC Services Ltd.

Thivend P. (1978) ‘Use of whey in feeding ruminants with particular reference to pollution problems’, *Ruminant nutrition: selected articles from the World Animal Review*, vol. 12, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Ward A., Hobbs P.J., Holliman P.J., Jones D.L. (2008) ‘Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources’, *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 17, November, pp. 7928 – 7940.

Wen Z., Frear C., Chen S. (2007) 'Anaerobic digestion of liquid dairy manure using a sequential continuous-stirred tank reactor system', *Journal of Chemistry Technology and Biotechnology*, vol. 82, no. 8, July, pp. 758 – 766.

World Health Organization (WHO) & Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2011) *Milk and Milk Products*, 2<sup>nd</sup> edition, Rome: Codex Alimentarius.

Yadvika, Santosh, Sreekrishnan T.R., Kohli S., Rana V. (2004) Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques – a review, *Bioresource Technology*, vol. 95, no. 1, October, pp. 1 - 10.

## ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων [www.minagric.gr](http://www.minagric.gr)

Agroenergy A.E. 2012 [www.agroenergy.gr](http://www.agroenergy.gr)

Animal Production & Technology 2008 [www.animalproduction.wordpress.com/2008](http://www.animalproduction.wordpress.com/2008)

Association for the Study of Peak Oil & Gas (ASPO) [www.peakoil.net](http://www.peakoil.net)

Autev Engineering A.E. [www.autev-engineering.eu](http://www.autev-engineering.eu)

Bavarian State Ministry of the Environment and Public Health [www.stmug.bayern.de](http://www.stmug.bayern.de)

Big East – Biogas for Eastern Europe [www.big-east.eu](http://www.big-east.eu)

Biofuels – The fuel of the future [www.biofuel.org.uk](http://www.biofuel.org.uk)

Biogas IN [www.biogasin.org/files](http://www.biogasin.org/files)

Biomass Energy [www.biomassenergy.gr](http://www.biomassenergy.gr)

ClimateTechWiki A Clean Tech. Platform [www.climatetechwiki.org/technology](http://www.climatetechwiki.org/technology)

EUR-Lex - Η πρόσβαση στο δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης [www.eur-lex.europa.eu](http://www.eur-lex.europa.eu)

International Energy Agency (IEA) - Bioenergy Country Report of Member Countries, Istanbul, April 2011 (in Center for Climate and Energy Solutions) [www.c2es.org/technology/factsheet/anaerobic-digesters](http://www.c2es.org/technology/factsheet/anaerobic-digesters)

International Monetary Fund, World Economic Outlook (WEO), 2004 <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2004>

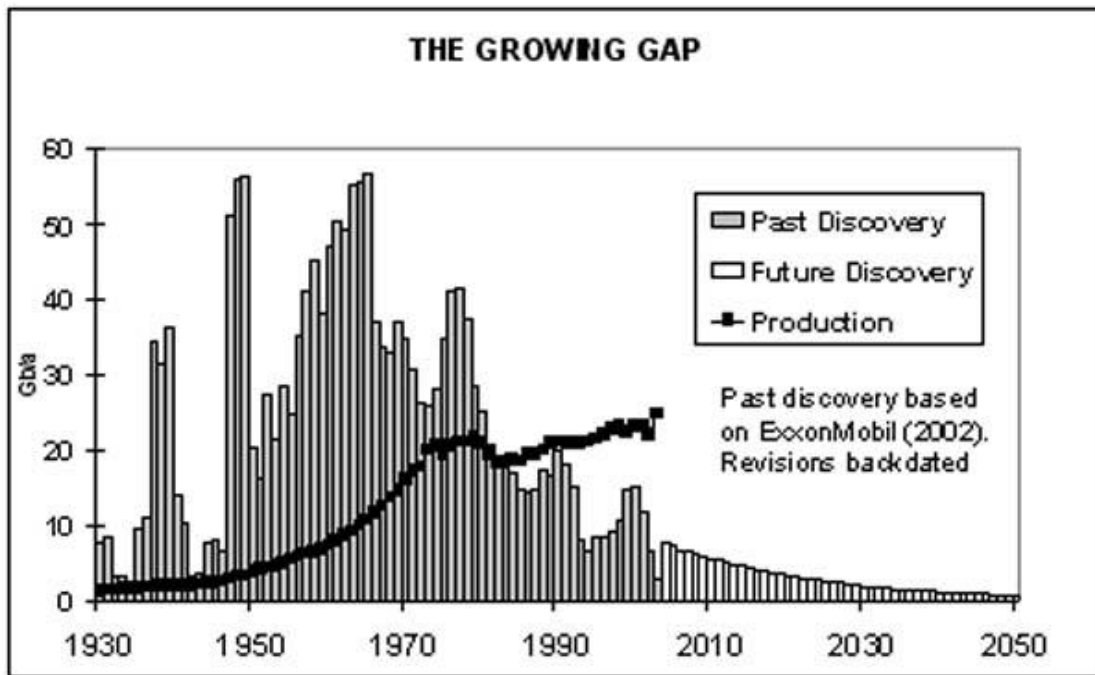
Marac Electronics S.A. [www.marac.gr](http://www.marac.gr)

Robinson and Hall Uk [www.robinsonandhall.co.uk](http://www.robinsonandhall.co.uk)

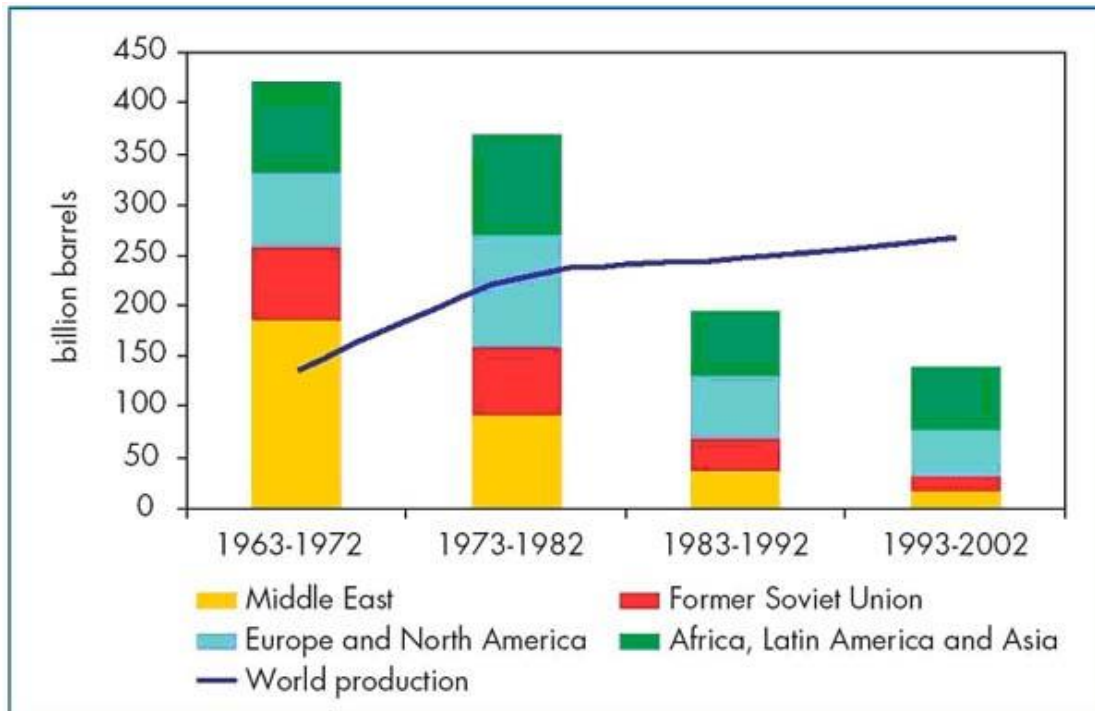
U.S. Department of Energy – Mid-Atlantic Clean Energy Application Center [www.maceac.psu.edu](http://www.maceac.psu.edu)

Value Right Management Consulting S.A. [www.valueright.gr](http://www.valueright.gr)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Διάγραμμα 1: Παγκόσμια εξέλιξη της ανακάλυψης κοιτασμάτων αργού πετρελαίου σε σχέση με τη παραγωγή του (ASPO 2004)



Source : IEA analysis based on IHS Energy database.

Διάγραμμα 2: Προσθήκες στα παγκόσμια αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου από την ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων και η εξέλιξη της παραγωγής (WEO 2004)