

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

Μεταπτυχιακή Διατριβή

«Τεχνική διερεύνηση εγκατάστασης
παραγωγής βιοαερίου μεγέθους 0,5
MW στα μέγαρα αττικής και των
εγκαταστάσεων διαχείρισης των
εκροών για διάφορα μίγματα
τροφοδοσίας»

ΤΑΣΣΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής:
Γεώργιος Παπαδάκης

Αθήνα 2015

Μεταπτυχιακή Διατριβή

«Τεχνική διερεύνηση εγκατάστασης παραγωγής βιοαερίου μεγέθους 0,5 MW στα μέγαρα αττικής και των εγκαταστάσεων διαχείρισης των εκροών για διάφορα μίγματα τροφοδοσίας»

ΤΑΣΣΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής:
Γεώργιος Παπαδάκης

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Γεώργιος Παπαδάκης, Επιβλέπων Καθηγητής
Δημήτριος Γεωργακάκης, Ομότιμος Καθηγητής
Ιορδάνης Χατζηπαυλίδης, Επίκουρος Καθηγητής

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. Γεώργιο Παπαδάκη για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της παρούσας μελέτης. Επίσης, ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για την αποδοχή τους να αξιολογήσουν την παρούσα μελέτη, και ιδιαίτερα τον κ. Δημήτριο Γεωργακάκη για τη διαρκή παρουσία του και η υποστήριξη του σε όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας ώστε να ξεπεραστούν αρκετές δυσκολίες και να ολοκληρωθεί επιτυχώς. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω τις ευχαριστίες μου στον φίλο και συνεργάτη μου Παναγιώτη Κούτσουρη, χωρίς τον οποίο η παρούσα εργασία θα ήταν αδύνατον να ολοκληρωθεί καθώς και για την άριστη συνεργασία που είχαμε σε όλη τη διάρκεια της.

Τέλος, 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 μελέτη και η βέλτιστη αξιοποίηση των ενεργειακών πόρων του πλανήτη, καθώς και η περιβαλλοντική προστασία αποτελούν κεντρικό σημείο της έρευνας που απασχολεί την επιστημονική κοινότητα σήμερα. Η βελτίωση των μεθόδων αξιοποίησης των γεωργικών αποβλήτων για παραγωγή «καθαρής» ενέργειας με ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί το γενικό θέμα έρευνας της παρούσας μελέτης.

Τα είδη των αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή του πειράματος αποτελούνταν από αραιά απόβλητα τυροκομικής μονάδας και βουστασίου γαλακτοπαραγωγής, στα οποία προσδιορίστηκε εργαστηριακά η αναλογία μίγματος και ο χρόνος παραμονής που παρέχουν τη μέγιστη παραγωγή βιοαερίου κάτω από σταθερές συνθήκες αναερόβιας χώνευσης στη μεσόφιλη περιοχή. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν και αποτελέσματα προηγούμενων μελετών για μίγματα γεωργικών αποβλήτων του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών. Σκοπός ήταν η μελέτη μιγμάτων γεωργικών αποβλήτων στα οποία έχει εφαρμοστεί μηχανικός διαχωρισμός πριν την αναερόβια χώνευση και η εφαρμογή τους με τη βοήθεια μοντέλου προσομοίωσης (Excel) σε υπάρχουσα μονάδα βιοαερίου, η οποία εφαρμόζει μηχανικό διαχωρισμό των αποβλήτων μετά την αναερόβια χώνευση.

Αναλυτικότερα, η μελέτη χωρίστηκε σε τέσσερα μέρη: θεωρητικό, ειδικό 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 ειδικό θεωρητικό μέρος έγινε τεχνική περιγραφή της μονάδας βιοαερίου καθώς και των εγκαταστάσεων διαχείρισης των υγρών εκροών και εν συνεχεία περιγράφηκε η λειτουργία εκκίνησης της μονάδας βιοαερίου. Στο τρίτο μέρος περιγράφηκε η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, καθώς και τα αποτελέσματα τους που χρησιμοποιήθηκαν εν συνεχεία στη εφαρμογή τους, με τη βοήθεια υπολογιστικού μοντέλου (Excel) στη μονάδα βιοαερίου. Στο τέταρτο μέρος, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της θεωρητικής εφαρμογής των τριών περιπτώσεων μιγμάτων στην μονάδα βιοαερίου και ακολούθησε σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πρωτοτυπεί καθώς μελετήθηκε για πρώτη φορά η θεωρητική εφαρμογή μιγμάτων αποβλήτων πτηνο-κτηνοτροφικών μονάδων και βιομηχανιών τροφίμων στα οποία έχει εφαρμοστεί μηχανικός διαχωρισμός, σε υπάρχουσα μονάδα βιοαερίου λειτουργίας σύμφωνα με τα Γερμανικά πρότυπα. Επίσης γίνεται προσπάθεια να μελετηθεί η αναερόβια χώνευση ως μέθοδος παραγωγής ενέργειας, σύμφωνα με τα δεδομένα και της ιδιαιτερότητες της Ελλάδος, στη παραγωγή γεωργικών αποβλήτων και στους περιβαλλοντικούς περιορισμούς.

Λέξεις - Κλειδιά: αναερόβια χώνευση, βιοαέριο, πτηνο-κτηνοτροφικά απόβλητα, τυρόγαλα, μηχανικός διαχωρισμός, διαχείριση υγρών εκροών.

ABSTRACT

The study and optimal use of energy resources of the planet and environmental protection consists a central point of research that interests the scientific community today. The improving of methods applied to use agricultural waste to produce "clean" energy while protecting the environment, is the general research topic of this study.

The types of waste used for this experiment consisted of dilute waste from cheese factory and dairy cattle farms, where was laboratorily determined the mixture ratio and retention time providing maximum biogas production under standard conditions in mesophilic anaerobic digestion area. There were also used results of previous studies on agricultural waste mixtures of the Agricultural Structures Laboratory.

The aim was to study agricultural waste mixtures in which there has been applied mechanical separation before anaerobic digestion and their implementation with the help of the simulation model (Excel) to an existing biogas plant, which applies mechanical separation of waste after anaerobic digestion.

Specifically, the study was divided into four parts: theoretical, specific theoretical, experimental and results - discussion. Initially, there was conducted a literature review on the historic development of biofuels, the characteristics and parameters influencing anaerobic digestion, the biogas and the institutional framework developed in Greece. In the specific theoretical part a technical description of the biogas plant and the management facilities of liquid effluents was made and then the starting operation of the biogas plant was described. In the third part of the study, the experimental procedure was described, taking place in the Laboratory of Agricultural Constructions, and their results that were used subsequently in theoretical application in the biogas plant. In the forth part, the results of the theoretical application of the three mixtures cases in the biogas plant were presented followed by the comparison of the results.

This thesis is original as it was first studied the theoretical application mixtures of poultry-animal manure and agricultural-food industry wastes in which there has been applied mechanical separation, in existing biogas plant. An effort is also made to study the anaerobic digestion to generate energy, according to the data and particularities of Greece, in the production of agricultural waste and the environmental constraints.

Key - words: anaerobic digestion, biogas, poultry-animal manure, whey, mechanical separation, managment of liquid effluents.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

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

I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ **11**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
2. ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	12
2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	12
2.2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	13
2.3. ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	15
2.4. ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	18
2.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΩΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	18
3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΩΝ ΧΩΝΕΥΤΗΡΩΝ	19
3.1. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	20
3.2. ΡΗ ΚΑΙ ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ	23
3.3. ΠΗΤΤΙΚΑ ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ (VOLATILE FATTY ACIDS, VFA)	22
3.4. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΥΧΠ	25
3.5. ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ (VOLUMETRIC LOADING)	25
3.6. ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ (VOLUMETRIC BIOGAS PRODUCTION)	26
3.7. ΛΟΓΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΠΡΟΣ ΑΖΩΤΟ (C/N RATIO)	26
3.8. ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΑΜΜΩΝΙΑ, ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ	27
4. ΒΙΟΑΕΡΙΟ	25
4.1. ΣΥΣΤΑΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	25
4.2. ΧΡΗΣΕΙΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	26
4.3. ΤΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	28
5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	29
5.1. ΠΤΗΝΟ-ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	30
5.2. ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ	30
6. ΤΜΗΜΑΤΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	31
7. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΕΚΡΟΗΣ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΟ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ	38
7.1. ΑΝΟΙΧΤΕΣ ΧΩΜΑΤΙΝΕΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ (ΑΧΑΔ)	39
7.2. ΑΕΡΟΒΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ (ΑΔΕΝΙΤ)	42

II. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	43
1. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΕΚΡΟΗΣ ΣΤΑ ΜΕΓΑΡΑ ΑΤΤΙΚΗΣ	43
1.1. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	45
1.2. ΑΝΑΕΡΟΒΙΟΣ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑΣ (DIGESTER)	45
1.3. ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΣΗΘ)	47
1.4. ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΕΚΡΟΗΣ	48
1.5. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗΣ	49
1.6. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΑΣ ΑΕΡΟΒΙΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ & ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ-ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ	49
1.7. ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΙΛΥΟΣ	50
1.8. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	50
2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	51
III. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	56
1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	56
2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	57
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	67
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	69
4.1. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α'	70
4.2. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β'	74
4.3. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Γ'	82
IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	86
1. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ Α, Β & Γ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 500 KW	86
1.1. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α'	86
1.2. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β'	88
1.3. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Γ'	90
2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ (ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ Α, Β & Γ) ΣΤΗΝ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	92
2.1. ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	92
2.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	97
3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΟ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ	100
4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΟ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ	102
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	104
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	109

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εικόνα 2.2.1. Διάγραμμα Ροής Αναερόβιας Χώνευσης	15
Εικόνα 2.2.2. Τύποι Αναερόβιου χωνευτήρα	16
Εικόνα 2.3.1. Στάδια Παραγωγής Βιοαερίου	16
Εικόνα 2.3.2. Στάδια Παραγωγής Βιοαερίου	18
Εικόνα 4.2.1. Λειτουργία μιας μονάδας βιοαερίου	29
Εικόνα 4.2.2. Χρήσεις Βιοαερίου	30
Εικόνα 6.1. Στάδια διεργασίας των αγροτικών μονάδων βιοαερίου	35
Εικόνα 6.2. Αγροτική μονάδα συγχώνευσης παραγωγής βιοαερίου που χρησιμοποιεί υδαρή κοπριά και χορτονομή αραβοσίτου	36
Εικόνα 6.3. Εσωτερικό κατακόρυφου χωνευτήρα με σύστημα θέρμανσης και ανάδευσης	38
Εικόνα 6.4. Απεικόνιση των σχηματιζόμενων ζωνών στο εσωτερικό αναερόβιου Χωνευτήρα	39
Εικόνα 6.5. Χωνευτήρας κατακόρυφου τύπου, συνεχής ροή	39
Εικόνα 6.6. Σύστημα οριζόντιου χωνευτήρα	40
Εικόνα 6.7. Σύστημα πολλαπλών δεξαμενών	40
Εικόνα 7.1.1. Κάτοψη ενός συστήματος δύο συνεχόμενων ανοιχτών χωμάτων αναερόβιων δεξαμενών ΑΧΑΔ	43
Εικόνα 7.2.2. Διατάξεις δεξαμενών αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	47

II. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εικόνα 1.1. Σχηματική αναπαράσταση των εγκαταστάσεων της μονάδας παραγωγής βιοαερίου και διαχείρισης των υγρών εκροής σε διάγραμμα ροής	49
Εικόνα 1.1.1. Δεξαμενές προετοιμασίας υγρών αποβλήτων	50
Εικόνα 1.2.1. Αναερόβιος χωνευτήρας	51
Εικόνα 1.3.1. Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας	53
Εικόνα 1.6.1. Δεξαμενή αερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων και νιτροποίησης απονιτροποίησης	55

III. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εικόνα 1.1.: Εργαστήριο Διεξαγωγής Πειράματος	63
Εικόνα 2.1.: Πεχάμετρο και αγωγιμόμετρο Εργαστηρίου	64
Εικόνα 2.2.: α. γυάλινος κλίβανος, β. κάψα πορσελάνης, γ. φούρνος ξήρανσης	65
Εικόνα 2.3.: Αποτεφρωτήρας Thermolyne Sybron (type 1400 furnace)	66
Εικόνα 2.4.: Μέθοδος Μέτρησης Ποσοστού Μεθανίου	67

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Πίνακας 3.1.1.: Θερμοκρασιακές φάσεις και χρόνοι παραμονής	22
Πίνακας 4.1.1.: Τυπική Χημική Σύσταση του Βιοαερίου	27
Πίνακας 5.1.1.: Μορφή των αποβλήτων ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε ολικά στερεά.	33

II. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Πίνακας 1.2.1. Ενεργειακό περιεχόμενο μεθανίου και παράμετροι παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας	47
Πίνακας 2.1. Δεδομένα ανάλυσης των εξερχομένων χωνευτήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας εκκίνησης	57
Πίνακας 2.2. Δεδομένα τροφοδοσίας των εισερχόμενων αποβλήτων στο χωνευτήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας εκκίνησης και δεδομένα παραγωγής βιοαερίου και ηλεκτρικής ισχύος.	60
Πίνακας 2.3. Δεδομένα της κατασκευάστριας εταιρείας για κάθε είδος αποβλήτων που χρησιμοποιείται στη μονάδα.	61

III. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Πίνακας 4.2.1. Τιμές BOD ₅ , COD εξόδου, ποσοστό μείωσης ΦΠΣ και οι αντίστοιχοι συντελεστές μεταβολής τους	80
Πίνακας 4.2.2. Τιμές ποσοστού μείωσης ΦΠΣ και οι αντίστοιχοι συντελεστές μεταβολής του	80
Πίνακας 4.2.3. Ποσοστό μείωσης ΦΠΣ και οι συντελεστές μεταβολής τους	81
Πίνακας 4.2.4. Τιμές BOD ₅ , COD εξόδου, ποσοστό μείωσης ΦΠΣ και οι αντίστοιχοι συντελεστές μεταβολής τους.	81

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Πίνακας 1.1.1. Όγκοι α' υλών, παράμετροι παραγωγής βιοαερίου και όγκοι εγκαταστάσεων μονάδας βιοαερίου για διάφορες τιμές οργανικής φόρτισης ΟΟΦ.	86
Πίνακας 1.2.1. Όγκοι α' υλών, παράμετροι παραγωγής βιοαερίου και όγκοι εγκαταστάσεων μονάδας βιοαερίου για διάφορες τιμές οργανικής φόρτισης ΟΟΦ.	88
Πίνακας 1.3.1. Όγκοι α' υλών, παράμετροι παραγωγής βιοαερίου και όγκοι αναερόβιου χωνευτήρα για διάφορες τιμές οργανικής φόρτισης ΟΟΦ.	91
Πίνακας 2.1.1. Αποτελέσματα εφαρμογής μίγματος Α' (ΟΟΦ=1.63) στην υπό	

εξέταση μονάδα βιοαερίου	93
Πίνακας 2.1.2. Όγκοι εγκαταστάσεων και παράμετροι διαχείρισης υγρών αποβλήτων μίγματος Α'	93
Πίνακας 2.1.3. Αποτελέσματα εφαρμογής μίγματος Β' (ΟΟΦ=1.51) στην υπό εξέταση μονάδα βιοαερίου	94
Πίνακας 2.1.4. Όγκοι εγκαταστάσεων και παράμετροι διαχείρισης υγρών αποβλήτων μίγματος Β'	95
Πίνακας 2.1.5. Αποτελέσματα εφαρμογής μίγματος Γ' (ΟΟΦ=0.9) στην υπό εξέταση μονάδα βιοαερίου	96
Πίνακας 3.1. Απόβλητα τροφοδοσίας που δεν έχουν δεχθεί διαχωρισμό (πυκνά) και απόβλητα που έχουν δεχθεί διαχωρισμό (υγρά).	101
Πίνακας 3.2. Παράμετροι παραγωγής βιοαερίου αποβλήτων που δεν έχουν δεχθεί διαχωρισμό (Χωρίς Δ/Χ) και απόβλητα που έχουν δεχθεί διαχωρισμό (Με Δ/Χ).	101
Πίνακας 4.1. Παράμετροι δεξαμενής αερισμού ΑΔΕΝΙΤ για την εφαρμοζόμενη περίπτωση και για τις προτεινόμενες με μηχανικό διαχωριστή και χωρίς.	103
Πίνακας 4.2. Χαρακτηριστικά δεξαμενής αποθήκευσης για την εφαρμοζόμενη περίπτωση και για τις προτεινόμενες με μηχανικό διαχωριστή και χωρίς.	103

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Διάγραμμα 3.1.1.: Σχετικός ρυθμός ανάπτυξης των μεθανογενών	22
---	----

II. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Διάγραμμα 2.1. Δεδομένα ανάλυσης των εξερχομένων χωνευτήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας εκκίνησης	58
Διάγραμμα 2.2. Δείκτης ρυθμιστικής ικανότητας b με ημερομηνία ανάλυσης δείγματος 22/04/2015	59
Διάγραμμα 2.3. Δείκτης ρυθμιστικής ικανότητας b με ημερομηνία ανάλυσης δείγματος 02/06/2015	59
Διάγραμμα 2.4. Δείκτης ρυθμιστικής ικανότητας b με ημερομηνία ανάλυσης δείγματος 04/07/2015	60

III. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Διάγραμμα 4.1.1. Συσχέτιση Οργανικής Ογκομετρικής Φόρτισης (ΟΟΦ) με την Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου και Μεθανίου (ΟΠΒ,ΟΠΜ)	71
Διάγραμμα 4.1.2. Συσχέτιση οργανικής ογκομετρικής φόρτισης (ΟΟΦ) με τον Πραγματικό και Τυπικό Υδραυλικό Χρόνο Παραμονής (ΠΥΧΠ) και τον λόγο Π.Σ. μίγματος (ΧΛ)	72
Διάγραμμα 4.1.3. Συσχέτιση Ποσοστού Μείωσης Πτητικών Στερεών, COD, BOD ₅	

και ΟΟΦ	73
Διάγραμμα 4.1.4. Συσχέτιση ΟΟΦ με BOD ₅ και COD των υγρών εκροής του αναερόβιου χωνευτήρα.	74
Διάγραμμα 4.2.1. Συσχέτιση Οργανικής Ογκομετρικής Φόρτισης (ΟΟΦ) με την Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου και Μεθανίου (ΟΠΒ,ΟΠΜ)	76
Διάγραμμα 4.2.2. Συσχέτιση οργανικής ογκομετρικής φόρτισης (ΟΟΦ)με τον Πραγματικό και Τυπικό Υδραυλικό Χρόνο Παραμονής (ΠΥΧΠ) και τον λόγο Π.Σ. μίγματος (ΧΛ).	76
Διάγραμμα 4.2.3. Συσχέτιση Ποσοστού Μείωσης Πτητικών Στερεών, COD, BOD ₅ και ΟΟΦ	77
Διάγραμμα 4.2.4. Συσχέτιση ΟΟΦ με BOD ₅ και COD των υγρών εκροής του αναερόβιου χωνευτήρα	78
Διάγραμμα 4.3.1. Συσχέτιση Οργανικής Ογκομετρικής Φόρτισης (ΟΟΦ) με την Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου και Μεθανίου (ΟΠΒ,ΟΠΜ)	83
Διάγραμμα 4.3.2. Συσχέτιση οργανικής ογκομετρικής φόρτισης (ΟΟΦ)με τον Πραγματικό και Τυπικό Υδραυλικό Χρόνο Παραμονής (ΠΥΧΠ) και τον λόγο Π.Σ. (ΧΛ)	83
Διάγραμμα 4.3.3. Συσχέτιση Ποσοστού Μείωσης Πτητικών Στερεών, COD, BOD ₅ και ΟΟΦ	84
Διάγραμμα 4.3.4. Συσχέτιση ΟΟΦ με BOD ₅ και COD των υγρών εκροής του αναερόβιου χωνευτήρα	85

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Διάγραμμα 1.1.1. Μεταβολή $V_{ΧΩΝ}$, $V_{ΑΔΕΝΙΤ}$, $V_{ΑΧΑΔ}$ και της ισχύος (kW) των αεριστών της αερόβιας δεξαμενής, για διάφορες τιμές ΟΟΦ εισόδου χωνευτήρα	87
Διάγραμμα 1.2.1. Μεταβολή $V_{ΧΩΝ}$, $V_{ΑΔΕΝΙΤ}$, $V_{ΑΧΑΔ}$ και της ισχύος (kW) των αεριστών της αερόβιας δεξαμενής, για διάφορες τιμές ΟΟΦ εισόδου χωνευτήρα	89
Διάγραμμα 1.3.1. Μεταβολή $V_{ΧΩΝ}$ για διάφορες τιμές ΟΟΦ εισόδου χωνευτήρα	91
Διάγραμμα 2.2.1. Ποσότητες α' ύλης (μεταφοράς προς τη μονάδα) για τα διάφορα μίγματα	97
Διάγραμμα 2.2.2. Ποσότητες α' ύλης (μεταφοράς προς τη μονάδα) για τα μίγματα Α' και Β'	99
Διάγραμμα 2.2.3. Όγκος αερόβιας δεξαμενής για τα μίγματα Α' και Β'	99
Διάγραμμα 2.2.4. Ηλεκτρική ισχύς αεριστών αερόβιας δεξαμενής, για τα μίγματα Α' και Β'	99
Διάγραμμα 2.2.5. Όγκος ανοιχτής χωμάτινης αναερόβιας δεξαμενής, για τα μίγματα Α' και Β'	100

I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η εξάντληση των συμβατικών, μη ανανεώσιμων καυσίμων αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα ο πλανήτης μας. Το θέμα αυτό βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος Παγκοσμίων Οργανισμών, Κυβερνήσεων, Ερευνητικών Κέντρων, των ενδιαφερόμενων παραγωγών και χρηστών ενέργειας, αλλά και όλων των ενημερωμένων πολιτών.

Η αναζήτηση της απαραίτητης ενέργειας από τον άνθρωπο, η επάρκεια των αποθηκών/πηγών της, η βέβαιη και ταχεία εξάντληση μερικών από αυτές, οι βέλτιστοι τρόποι εκμετάλλευσης και εξοικονόμησής της, τα οικονομικά, κοινωνικά και ηθικά προβλήματα που δημιουργούνται από την ανισοβαρή, άλλοτε αλόγιστη και άλλοτε ανεπαρκή χρήση της, καθώς και η μεγάλη και αυξανόμενη τα τελευταία χρόνια επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τους μηχανισμούς και τα συστήματα μετατροπής και μεταφοράς της ενέργειας, συνιστούν το «ενεργειακό/περιβαλλοντικό» πρόβλημα. Ένα από τα κρισιμότερα, σήμερα, προβλήματα του ανθρώπου. Για το λόγο αυτό, έχει ξεκινήσει μια παγκόσμια προσπάθεια για τη μείωση αυτών των επιπτώσεων, με την ορθολογική χρήση ενέργειας και την εφαρμογή τεχνολογιών εξοικονόμησής της. Επίσης, με στόχο την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων αυτών, προωθείται η εκμετάλλευση φιλικών προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, συμβάλλοντας έτσι καθοριστικά στην αειφόρο ανάπτυξη.

Στην Ελλάδα, αυτό που αποτελεί έναν από τις κυριότερους τοπικούς παράγοντες υποβάθμισης του περιβάλλοντος είναι τα ζωικά απόβλητα. Ειδικά οι εντατικές μορφές κτηνοτροφίας επιτείνουν το πρόβλημα της διάθεσης των παραγόμενων αποβλήτων και κυρίως των υγρών αποβλήτων που περιέχουν μεγάλες ποσότητες οργανικής ουσίας και που ρυπαίνουν, κυρίως, τους υδάτινους αποδέκτες.

Η διαχείριση των αποβλήτων μέσω της αναερόβιας χώνευσης έχει διπλό όφελος. Αφενός μειώνει δραστικά το οργανικό φορτίο των αποβλήτων και αφετέρου παράγει βιοαέριο το οποίο είναι καύσιμο, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί αναλόγως. Μια οικονομικά αποδεκτή εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από όσο το δυνατό μεγαλύτερες τιμές καθαρής ογκομετρικής παραγωγής βιοαερίου. Τέτοιες τιμές μπορούν να ληφθούν μόνο σε αυξημένη

ογκομετρική φόρτιση, η οποία μπορεί να επιτευχθεί, μετά από συμπίκνωση ή μετά από ανάμιξη κατάλληλων αποβλήτων.

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η εφαρμογή με τη βοήθεια μοντέλου προσομοίωσης (Excel) σε υπάρχουσα μονάδα βιοαερίου στα Μέγαρα Αττικής διαφόρων τύπων αποβλήτων, τα οποία έχουν μελετηθεί στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών την τετραετία 2011-2015, καθώς και η διερεύνηση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των υγρών εκροών μετά τον αναερόβιο χωνευτήρα της μονάδας.

2. ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η αναερόβια χώνευση είναι γνωστή από πολύ παλιά ως βιολογική διεργασία. Ιστορικά η απαρχή της μεθόδου τοποθετείται στην Ασσυρία τον 10ο αι. π.Χ. όπου οι κάτοικοί της την χρησιμοποιούσαν για να ζεστάνουν νερό. Τον 18ο 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. Για πρώτη φορά, το 1776 περιγράφηκε επιστημονικά η παραγωγή βιοαερίου από τον Alessandro Volta, καθώς παρατήρησε την εκπομπή από τα ιζήματα του πυθμένα μιας βαλτώδους λίμνης αερίων, τα οποία συνέλεξε και απέδειξε ότι ήταν εύφλεκτα. Ενώ το 1804 ο Dalton ήταν ο πρώτος που έδωσε το χημικό τύπο του μεθανίου.

Οι 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. Αργότερα, μεταξύ 1914 και 1921 οι Imhoff και Blunk μελέτησαν τη δυνατότητα θέρμανσης των ίδιων 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. 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, 2012a).

Ιστορικά, ο λόγος που αναπτύχθηκε η τεχνολογία παραγωγής βιοαερίου είναι η ανάγκη για εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Η πρώτη πετρελαϊκή κρίση στις αρχές του 1970 αναθέρμανε το ενδιαφέρον για τη χρήση των ανανεωσιμων πηγων

ενέργειας, συμπεραλαμβανομένου και του βιοαερίου από την αναερόβια χώνευση και αποτέλεσε το έναυσμα των ερευνητικών προσπαθειών σε όλες τις ανεπτυγμένες χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής. Αρχικά υπήρξαν αρκετά τεχνολογικά προβλήματα, αλλά κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών η τεχνολογία βελτιώθηκε και τα περισσότερα από τα προβλήματα αυτά λύθηκαν.

Η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης των ζωικών αποβλήτων βρήκε μεγάλη εφαρμογή στην Ασία, λόγω της απλότητας της και της σταθερότητας στα ζωικά απόβλητα. Στη Κίνα σύμφωνα με το Υπουργείο Γεωργίας μέχρι το 2010, 37 εκατομμύρια χωνευτήρες χαμηλής τεχνολογίας χρησιμοποιούνται για παραγωγή βιοαερίου σε οικιακό επίπεδο, το οποίο χρησιμοποιείται με σκοπό την κάλυψη αναγκών επιβίωσης για μαγείρεμα και φωτισμό σπιτιών και κοινοτήτων. (Barclay 2010). Γενικότερα, στην Ασία η απλή τεχνολογία που εφαρμόζετε στους οικιακού επιπέδου χωνευτήρες δικαιολογεί και τον μεγάλο αριθμό τους. Στην Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική βρίσκονται σε λειτουργία αρκετές χιλιάδες αγροτικές μονάδες βιοαερίου, με πολλές από αυτές να είναι μεγάλης κλίμακας και με χρήση υψηλής τεχνολογίας. Μόνο στη Γερμανία το 2007 λειτουργούσαν περισσότερες από 3.700 αγροτικές μονάδες βιοαερίου. Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, η αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών αποβλήτων σε κλειστά συστήματα εφαρμόζεται κυρίως στη Γερμανία, την Αυστρία, τη Δανία, την Ιταλία, την Ολλανδία και την Ισπανία. (Bernet and Beline, 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.

2.2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

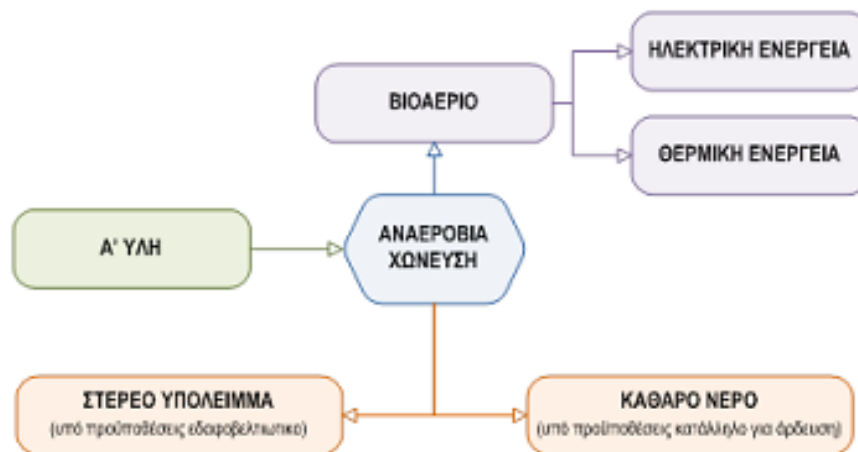
Η Αναερόβια Χώνευση είναι μια βιοχημική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθεται απουσία οξυγόνου, από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών και μετατρέπονται σε βιοαέριο. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου και σε θερμοκρασιακή περιοχή περίπου μεταξύ 20 - 55°C, κατά την οποία συντελείται βακτηριακή αποδόμηση σύνθετων οργανικών μορίων σε μικρότερα μόρια όπως το μεθάνιο (CH₄) το οποίο αποτελεί την πιο ανοιγμένη οργανική μορφή του άνθρακα και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το οποίο αποτελεί την πιο οξειδωμένη του μορφή (Angelidaki et al, 2003).

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. Η φυσική αυτή διεργασία αξιοποιείται από τον άνθρωπο στις εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου σε αεροστεγείς δεξαμενές που λειτουργούν ως αντιδραστήρες ή αλλιώς χωνευτήρες. (Γεωργακάκης, 2010a)

Το βιοαέριο είναι ένα μίγμα αερίων το οποίο αποτελείται από:

- CH₄, σε συγκεντρώσεις, που κυμαίνονται από 60% μέχρι 90%, ανάλογα με την προέλευση των αποβλήτων.
- CO₂, το οποίο απαντάται σε συγκεντρώσεις, που κυμαίνονται από 5% μέχρι 35%.
- Ίχνη άλλων αερίων, όπως υδρογόνο H₂ (1 – 3%), μονοξείδιο του άνθρακα CO, οξυγόνο O₂ (0,1 – 1%) και άζωτο N₂ (0,5 – 3%)
- Υδρατμοί, σε συγκεντρώσεις οι οποίες εξαρτώνται από τη θερμοκρασία των αποβλήτων.



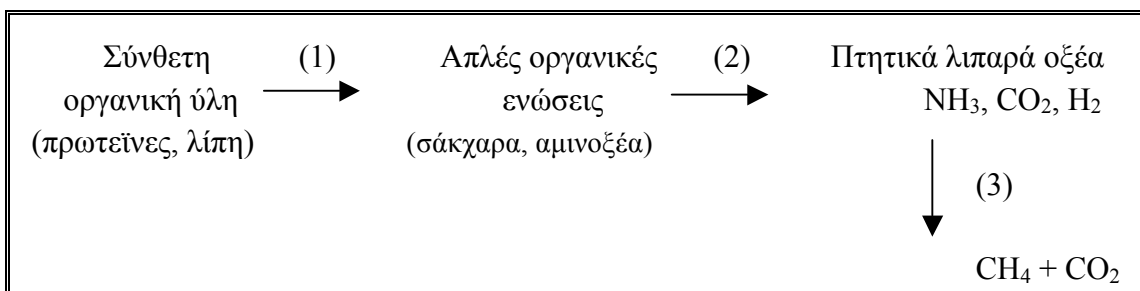
Εικόνα 2.2.1. Διάγραμμα Ροής Αναερόβιας Χώνευσης (Πηγή: Agroenergy A.E.)



Εικόνα 2.2.2. Τυποί αναερόβιου χωνευτήρα

2.3. ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η διεργασία σχηματισμού του βιοαερίου είναι ένα αποτέλεσμα συνδυαστικών βημάτων και αποτελείται από τρεις κύριες φάσεις, κατά τις οποίες η αρχική ύλη διασπάται σταδιακά σε μικρότερα στοιχεία, μέσω κάθε φορά διαφορετικών ομάδων μικροοργανισμών.



Εικόνα 2.3.1. Στάδια παραγωγής βιοαερίου

Στην πρώτη φάση (1) πραγματοποιείται υδρόλυση των σύνθετων οργανικών ενώσεων, όπως είναι τα νουκλεϊκά οξέα, τα λίπη, οι πρωτεΐνες και οι υδατάνθρακες, τα οποία 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 των μεγαλομοριακών οργανικών ενώσεων καθορίζει γενικά την ποσότητα του παραγόμενου μεθανίου κατά την αναερόβια χώνευση της οργανικής ύλης. Η φάση της υδρόλυσης όσον αφορά στα απόβλητα των αγροτικών ζώων αναμένεται να έχει αρχίσει στο πεπτικό σύστημα των ζώων αυτών. Για αυτό το λόγο, η παραγωγή βιοαερίου από τα απόβλητα αυτά είναι μία σταθερή και απλή διαδικασία. (Γεωργακάκης, 2010b)

Στη δεύτερη φάση (2) πραγματοποιείται ο σχηματισμός οξέων με τη βοήθεια των οξεογενών βακτηρίων. Τα βακτήρια αυτά αποικοδομούν τα προϊόντα της υδρόλυσης της πρώτης φάσης τα οποία μετατρέπονται σε οξικό οξύ (CH_3COOH) σε ποσοστό 51%, σε διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και υδρογόνο (H) κατά 19%, καθώς και σε πτητικά λιπαρά οξέα (VFA's) και αλκοόλες και άλλες ενώσεις κατά 30%.

Στη τρίτη φάση (3) πραγματοποιείται ο σχηματισμός του μεθανίου με τη βοήθεια των οξεοτρόφων μεθανοβακτηρίων τα οποία αποικοδομούν τα οξέα (κυρίως οξικό οξύ) που σχηματίστηκαν στην προηγούμενη φάση. Το 70% του παραγόμενου μεθανίου προέρχεται από αυτή τη διαδικασία. Το υπόλοιπο 30% προέρχεται από αναγωγή του υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα μέσω υδρογονοτρόφων μεθανοβακτηρίων.

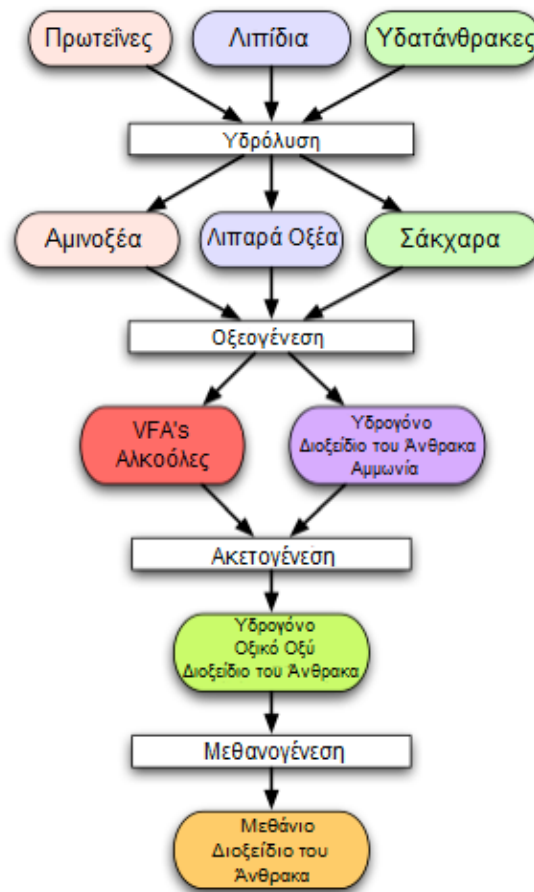
Επειδή τα μεθανοβακτήρια χρησιμοποιούν τελικά μόνο το οξικό οξύ, το υδρογόνο και το διοξείδιο του άνθρακα, ως υπόστρωμα για την παραγωγή μεθανίου, η μετατροπή των υπόλοιπων ενδιάμεσων ενώσεων, όπως πτητικά λιπαρά οξέα (VFA's) και αλκοόλες, που αποτελούν το 30% των προϊόντων της φάσης της οξεογένεσης διενεργείται με την επέμβαση μιας άλλης κατηγορίας εξειδικευμένων αναερόβιων μικροοργανισμών, γνωστών ως μεταβατικών βακτηρίων (transitional bacteria).

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

Σε πολλές περιπτώσεις, η αυξημένη συγκέντρωση οξικού οξέως και υδρογόνου έχει αποδειχτεί ανασταλτική στην ανάπτυξη μεθανοβακτηρίων, ενώ κατ' άλλους, η αύξηση είναι το αποτέλεσμα της δράσης των ευαίσθητων αυτών μικροοργανισμών από κάποια άλλη αιτία. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο για την ομαλή εξέλιξη όλης της διαδικασίας να διατηρούνται τα πτητικά οξέα και το

υδρογόνο σε σταθερά επιθυμητά επίπεδα μέσα στον χωνευτήρα, ενδεικτικά της καλής συνεργασίας (ισορροπίας) μεταξύ των οξεοπαράγωγων βακτηρίων και των μεθανοβακτηρίων. (Γεωργακάκης, 2010b)

Στο διάγραμμα 1 φαίνεται αναλυτικά η συνδυασμένη δράση των διαφόρων ομάδων αναερόβιων μικροοργανισμών, καθώς και τα παραγόμενα ενδιάμεσα και τα τελικά προϊόντα της διάσπασης των οργανικών υλών, κατά την διαδικασία παραγωγής βιοαερίου.



Εικόνα 2.3.2. Στάδια Παραγωγής Βιοαερίου (Πηγή: Chemistry Is All Around Us)

2.4. ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Τα υποστρώματα βιομάζας ή αλλιώς πρώτη ύλη απο τα οποία παράγεται βιοαέριο μέσω της αναερόβιας χώνευσης, μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές:

1. Γεωργικά απόβλητα: ζωικά απόβλητα (στερεή και υδαρή κοπριά) ή/και φυτικά υπολείμματα.

2. Βιομηχανικά απόβλητα: υγρές εκροές της παραγωγικής διαδικασίας των βιομηχανικών τροφίμων ή άλλων σετικών βιομηχανικών δραστηριοτήτων (σφαγεία, αγροτοβιομηχανίες)
3. Αστικά (οικιακά) οργανικά απόβλητα: μετα την αφαίρεση μεταλλικών, πλαστικών και μη οργανικής προέλευσης υλικών καθώς και τοξικών συστατικών.
4. Ενεργειακές καλλιέργειες: χερσαίες όπως αραβόσιτος, σόργο, τριφύλλι κ.α. και υδάτινες όπως άλγη.

Τα ζωικά απόβλητα που χρησιμοποιούνται προέρχονται από εγκαταστάσεις βουστασίων, χοιροστασίων, πτηνοτροφείων ενώ τα φυτικά υπολείμματα από τις τροφές των ζωικών εγκαταστάσεων όπως άχυρο, κριθάρι. Σύμφωνα με τους Σιούλας κ.α. (2010) και Wellinger A. et al. (2013) η ζωική κοπριά αποτελεί πολύ καλής ποιότητας πρώτη ύλη για τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Τα πλεονεκτήματά της εν λόγω πρώτης ύλης ωφείλονται στις ιδιότητές της που συνοψίζονται παρακάτω:

- Στο φυσικό περιεχόμενό της σε αναερόβια βακτήρια
- Στην υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των παραπάνω βακτηρίων.
- Στο υψηλό περιεχόμενο της σε νερό (8-10% Ξηρή Ουσία στην υδαρή κοπριά) το οποίο ενεργεί ως διαλύτης και εξασφαλίζει την κατάλληλη ανάμειξη της βιομάζας.
- Στην χαμηλή τιμή τους
- Στην εύκολη προσβασιμότητα της απο κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις

Τα βιομηχανικά απόβλητα τα οποία χρησιμοποιούνται είναι υγρής μορφής όπως απόβλητα τυροκομείων, ελαιοτριβείων, χυμοποιείων, ζυθοποιείων αλλά και στερεής μορφής όπως υπολείμματα τροφών ή σφαγείων. Σε απόβλητα τέτοιας προέλευσης απαιτείται, πολλές φορές, η προεπεξεργασία της πρώτης ύλης σε υψηλές θερμοκρασίας (παστερίωση ή/και αποστείρωση) προτού εισέλθει στον χωνευτήρα με σκοπό να απομακρυνθούν παθογόνοι και παρασιτικοί μικροοργανισμοί που είναι ικανοί να προκαλέσουν σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κατά την εφαρμογή του χωνεμένου υπολείμματος στο φυσικό περιβάλλον.

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.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, σε πολλές χώρες έχει εξεταστεί και εισαχθεί μια άλλη κατηγορία πρώτων υλών αναερόβιας χώνευσης οι “ειδικού προορισμού” ενεργειακές καλλιέργειες (ΕΠΕΚ), οι οποίες καλλιεργούνται αποκλειστικά για την παραγωγή ενέργειας, άρα αντίστοιχα και βιοαερίου, μέσω της αναερόβιας χώνευσης. Οι συγκεκριμένες καλλιέργειες μπορεί να είναι ποώδεις (χλόη, αραβόσιτος, ελαιοκράμβη κ.λπ.) αλλά και ξυλώδεις καλλιέργειες (ιτιά, 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. 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 (Biogas handbook, 2009).

Η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών σύμφωνα με έρευνες (Sioulas, 2009) εγείρει ερωτήματα σε σχέση με το αγροτικό τοπίο στην Ελλάδα όσον αφορά θέματα μείωσης της βιοπικιολότητας, μεγάλης χρήσης λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων, μονοκαλλιέργειας και επιπτώσεις της στο τοπίο.

Τα διαφορετικής προέλευσης 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 πραγματοποιείται ανάμιξη με άλλα είδη βιομάζας όπως είναι τα ελαιούχα υπολείμματα (λιοζύμια), τα υπολείμματα τυροκομείων και διάφορων άλλων τροφίμων, επιτυγχάνεται υψηλή παραγωγή βιοαερίου.

Πίνακας: Χαρακτηριστικά μερικών τύπων πρώτων υλών κατάλληλων για χώνευση

2.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΩΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η παραγωγή βιοαερίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης περιλαμβάνει αρκετά πλεονεκτήματα, τα περισσότερα από τα οποία συνοψίζονται παρακάτω:

- ✓ Το βιοαέριο αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, βελτιώνει το ενεργειακό ισοζύγιο, συμβάλει στη διατήρηση των φυσικών πόρων και στη προστασία του περιβάλλοντος.
- ✓ Συμβάλει στη μείωση εκπομπών των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου (ΑΦΘ), όπως το μεθάνιο καθώς και το διοξείδιο του άνθρακα.
- ✓ Συμβάλει στη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, καθώς παράγει ενέργεια από ανανεώσιμους πόρους.
- ✓ Συμβάλει στην αειφόρο διαχείριση των αποβλήτων και ακολούθως στη προστασία του περιβάλλοντος, καθώς μετατρέπει τα απόβλητα σε ένα πολύτιμο πόρο.

- ✓ Ικανοποιεί την ενεργειακή και περιβαλλοντική πολιτική της ΕΕ, η οποία προσανατολίζεται στη παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμους πόρους, τη αειφόρο διαχείριση των αποβλήτων και τη μείωση των εκπομπών (ΑΦΘ).
- ✓ Το βιοαέριο είναι ένας ευέλικτος ενεργειακός φορέας και μπορεί να αξιοποιηθεί σε πολλές και διαφορετικές εφαρμογές. Χρησιμοποιείται για συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘ), αναβαθμίζεται και τροφοδοτείται στα δίκτυα φυσικού αερίου, χρησιμοποιείται ως καύσιμο κίνησης και σε κυψέλες καυσίμου.
- ✓ Αποτελεί μια διαδικασία επεξεργασίας αποβλήτων, η οποία έχει ευελιξία στη χρήση διαφορετικών πρώτων υλών και στη συνδιαχείριση τους.
- ✓ Αποτελεσματική καταστροφή ευρέους φάσματος παθογόνων μικροοργανισμών κατά την επεξεργασία των αποβλήτων.
- ✓ Οσμές και άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις περιορίζονται αποτελεσματικά.

Εν συνεχεία παρουσιάζονται και τα κύρια μειονεκτήματα της:

- Υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης, το οποίο αποτρέπει την εφαρμογή σε μικρές αγροτικές/κτηνοτροφικές μονάδες.
- 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.
- Ευαισθησία των συστημάτων σε μεταβολές διαφόρων παραμέτρων όπως η οργανική φόρτιση, το pH, η θερμοκρασία και των μεθανογόνων μικροοργανισμών στη παρουσία τοξικών ενώσεων.
- 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
- Απαιτήση εξειδικευμένου προσωπικού για τη τεχνική υποστήριξη και τον συνεχή έλεγχο της διαδικασίας.

3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΩΝ ΧΩΝΕΥΤΗΡΩΝ

Οι κυριότερες παράμετροι που επηρεάζουν την ομαλή λειτουργία των αναερόβιων χωνευτήρων και χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου είναι οι εξής:

3.1. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, οι οποίες διαχωρίζονται σε τρεις φάσεις, βάση των διαφορετικών μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στις εκάστοτε θερμοκρασίες.

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

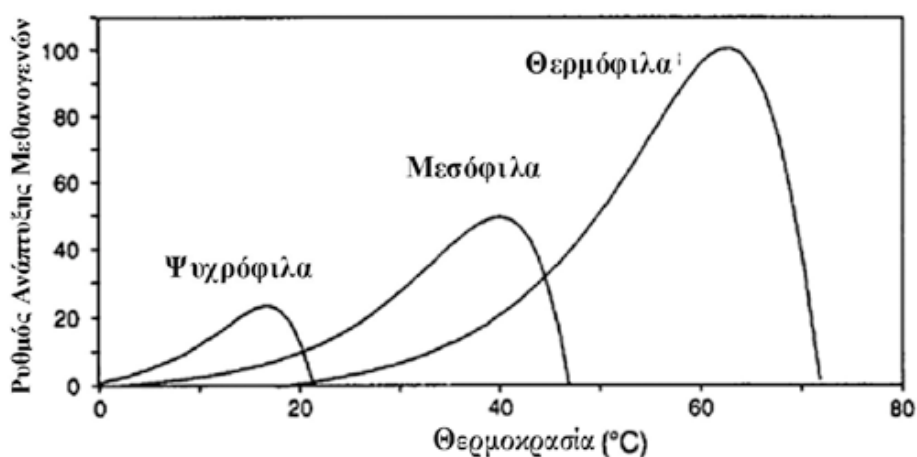
Η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στις ενζυμικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στα μικροβιακά κύτταρα με αποτέλεσμα να υπάρχει μια τιμή μέγιστης δραστηριότητας των εκάστοτε μικροοργανισμών σε κάθε επίπεδο. Οι ψυχρόφιλοι μικροοργανισμοί παρουσιάζουν το άριστο της ανάπτυξης τους σε θερμοκρασία περίπου 15 °C, οι μεσόφιλοι στους 35 °C και οι θερμόφιλοι στους 55 °C (Μάρη, 2000).

Η θερμοκρασία επηρεάζει το ρυθμό διεργασίας των μικροοργανισμών 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. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο πιο γρήγορος είναι ο ρυθμός παραγωγής βιοαερίου και άρα, τόσο πιο μικρός είναι ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στον αναερόβιο χωνευτήρα και το μέγεθος του. Αντίστοιχα, όσο πιο χαμηλή είναι η θερμοκρασία το σύστημα παρουσιάζει μικρότερη ευαισθησία στις διακυμάνσεις της και ευνοείται η σταθερότητα του, απαιτείται όμως μεγάλο μέγεθος χωνευτήρα καθώ αυξάνει ο υδραυλικός χρόνος παραμονής. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η αντιστοιχία των τριών θερμοκρασιακών φάσεων της αναερόβιας χώνευσης σε σχέση με τον χρόνο παραμονής, με τη σχέση τους να είναι αντιστρόφως ανάλογη (Γεωργακάκης, 2010a).

Θερμοκρασία	Φάση	Χρόνος παραμονής
10-25 °C	Ψυχρόφιλη	>100 ημέρες
25-40 °C	Μεσόφιλη	10-30 ημέρες
40-65 °C	Θερμόφιλη	<10 ημέρες

Πίνακας 3.1.1: Θερμοκρασιακές φάσεις και χρόνοι παραμονής

Η θερμοκρασία λειτουργίας επιλέγεται σε συνάρτηση με το τύπο της πρώτης ύλης, με τη μεσόφιλη φάση να επιλέγεται για εφαρμογή στις περισσότερες εγκαταστάσεις παγκοσμίως. Κύριο παράγοντα της επιλογής της, αποτελεί η δυνατότητα συνδιασμού ικανοποιητικής σταθερότητας του συστήματος, με μικρό χρόνο παραμονής και μέτριες απαιτήσεις σε θέρμανση.



Διάγραμμα 3.1.1. Σχετικός ρυθμός ανάπτυξης των μεθανογενών (ANGELIDAKI 2004)

3.2. ΡΗ ΚΑΙ ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ

Το pH των αποβλήτων στον αντιδραστήρα είναι ένδειξη της όξινης ή βασικής φύσης των αποβλήτων. Το ευνοϊκότερο εύρος pH για την αναερόβια χώνευση στη μεσόφιλη επεξεργασία είναι μεταξύ 6,8 και 7,5. Η διαδικασία της αναερόβια χώνευσης πραγματοποιείται 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, καθώς και τιμές κάτω από 5,0 για τα οξεοπαραγωγά.

Οι μεταβολές του pH οφείλονται σε πολλούς παράγοντες, όπως ο βαθμός συγκέντρωσης των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA), των οποίων όσο αυξάνεται η συγκέντρωσή, τόσο μειώνεται το pH. Επίσης παράγοντας που επηρεάζει το επίπεδο του pH είναι η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) η οποία προκαλεί μείωση του pH και αντίστροφα.

Το υπόστρωμα του χωνευτήρα διαθέτει ικανότητα ανάσχεσης ή αλλιώς ρυθμιστική ικανότητα η οποία του επιτρέπει να συγκρατεί το pH. Η αλκαλικότητα είναι η ικανότητα ενός διαλύματος να εξουδετερώνει ισχυρά οξέα και να καθορίζει την ευκολία ή την δυσκολία με την οποία μπορεί να αλλάζει 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. Η αλκαλικότητα των αποβλήτων οφείλεται κυρίως στο όξινο ανθρακικό ανιόν ή όξινη ανθρακική ρίζα (HCO₃⁻) που συγκρατεί το pH και είναι αποτέλεσμα συνδιασμένης χημικής δράσης των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του αμμωνιακού αζώτου (N-NH₃). Η αλκαλικότητα του συστήματος αυξάνεται με την παρουσία αμμωνίας και μειώνεται με την παρουσία οξέων. Μια τιμή αλκαλικότητας των αποβλήτων του χωνευτήρα μεταξύ 2500 – 6000 mg/L, ως CaCO₃ κρατά σταθερό το pH, ενώ όταν η συγκέντρωση της όξινης ανθρακικής ρίζας πέσει κάτω από 1000 mg/L, ως CaCO₃, τυχόν αύξηση των οξέων θα μειώσει το pH πολύ γρήγορα. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο, να γίνεται έλεγχος του ρυθμού παραγωγής πτητικών λιπαρών οξέων για να ρυθμίζεται το pH (Γεωργακάκης, 2010b).

3.3. ΠΤΗΤΙΚΑ ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ (Volatile fatty acids, VFA)

Κύρια παράμετρο της ομαλής λειτουργίας και του ελέγχου της αναερόβια χώνευσης αποτελούν τα πτητικά λιπαρά οξέα. Τα σημαντικότερα πτητικά λιπαρά οξέα είναι κυρίως το οξικό δευτερευόντως τα προπιονικό, βουτυρικό, βαλερικό, και ισοβαλερικό. Η συσσώρευση τους στο υγρό υπόστρωμα του αναερόβιου χωνευτήρα μπορεί να προκαλέσει πτώση του pH από τα επιθυμητά επίπεδα, εφόσον η ρυθμιστική ικανότητα του συστήματος δεν επαρκεί. Κάτω από σταθερές συνθήκες η περιεκτικότητα σε πτητικά λιπαρά οξέα του υποστρώματος του χωνευτήρα κυμαίνεται μεταξύ 50 – 250 mg/L οξικού οξέος, ενώ κάτω από ασταθείς συνθήκες, κυμαίνονται από 2.000 – 6.000 mg/L ή και περισσότερο, ανάλογα την περιεκτικότητα της πρώτης ύλης και σε οργανικό φορτίο (Γεωργακάκης, 2010a). Η συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων, δεν εκφράζεται πάντοτε ως πτώση του pH, λόγω της ρυθμιστικής ικανότητας του συστήματος (Biogas handbook, 2009).

3.4. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΥΧΠ

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (Hydraulic Retention Time - HRT) εκφράζει το μέσο χρόνο σε ημέρες που θα πρέπει να μείνουν τα απόβλητα μέσα στον χωνευτήρα. Σχετίζεται με τον όγκο του χωνευτήρα (V_r), και τον όγκο του υποστρώματος (V) που τροφοδοτείται στη μονάδα του χρόνου, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{ΥΧΠ} = V_r / V$$

ΥΧΠ : υδραυλικός χρόνος παραμονής (ημέρες)

V_r : όγκος του χωνευτήρα (m^3)

V : όγκος του υποστρώματος που τροφοδοτείται στη μονάδα του χρόνου (m^3/d)

Όσο μεγαλύτερος είναι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής τόσο καλύτερη είναι επεξεργασία των αποβλήτων και η μείωση του οργανικού φορτίου και των οσμών. Παράλληλα όμως αυξάνεται και το κόστος της εγκατάστασης του χωνευτήρα. Ενώ όσο μικρότερος είναι ο ΥΧΠ μειώνεται το κόστος εγκατάστασης, αλλά και η παραγωγή βιοαερίου.

Σημαντική επιρροή του ΥΧΠ υπάρχει και στη μικροβιακή ισοροπία. Όπως μας δείχνει η παραπάνω εξίσωση, ο ΥΧΠ μειώνεται όσο αυξάνεται ο όγκος τροφοδοσίας. Πρέπει όμως να εξασφαλίζεται ένας ικανοποιητικός χρόνος παραμονής, έτσι ώστε η ποσότητα των αφαιρούμενων βακτηρίων με το χωνεμένο υπόστρωμα να μην υπερβαίνει την ποσότητα των αναπαραγόμενων βακτηρίων (Biogas handbook, 2009).

3.5. ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ (Volumetric loading)

Η ογκομετρική (οργανική) φόρτιση είναι το ημερήσιο ποσό οργανικού φορτίου στο περιεχόμενο ενός χωνευτήρα, εκφρασμένο σε χημική ζήτηση οξυγόνου (COD) ή Πτητικά Στερεά (Volatile Solids, VS), που αντιστοιχεί στο $1 m^3$ ωφέλιμου όγκου χωνευτήρα. Εκφράζεται μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$LV = S_o / HRT$$

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

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

HRT = υδραυλικός χρόνος παραμονής

Η ογκομετρική φόρτιση θεωρείται πολύ σημαντική παράμετρος διότι 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 (Γεωργακάκης, 2010b).

3.6. ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ (Volumetric biogas production)

Η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου είναι η ημερήσια παραγωγή βιοαερίου που αντιστοιχεί σε 1m³ ωφέλιμου ενεργού όγκου χωνευτήρα (m³ωφ. χων-ημ.). Είναι πολλαπλάσιο της παραγωγής βιοαερίου (Bv) από το αρχικό φορτίο (So) των εισερχόμενων υγρών κατά το χρόνο παραμονής (HRT):

$$\mathbf{VBP = Bv * HRT}$$

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 m³/m³ωφ.χων-ημ, 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).

3.7. ΛΟΓΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΠΡΟΣ ΑΖΩΤΟ (C/N ratio)

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 16/1 - 18/1 καθώς επιτυγχάνουν υψηλή απόδοση σε μεθάνιο και το γενικό εύρος του είναι 13/1 – 24/1. Σταθερότητα του συστήματος επιτυγχάνεται σε λόγους 10/1 και πάνω, ανεξαρτήτως της συγκέντρωσης αμμωνίας και για τιμές αλκαλικότητας μεγαλύτερες των 6.000 mg/L και τιμές pH μεγαλύτερες από 7,1 (Georgakakis et al. 1982). Σε μικρούς λόγους C/N αυξάνεται η συγκέντρωση αμμωνίας που οδηγεί το pH σε τιμές άνω του 8,5. Τα πτηνοκτηνοτροφικά απόβλητα έχουν μικρό λόγο C/N και απαιτείται ο εμπλουτισμός τους με οργανικό άνθρακα ώστε πλησιάσουν τις άριστες τιμές. Ο εμπλουτισμός των αποβλήτων γίνεται με προσθήκη απόβλητων που παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα και χαμηλή συγκέντρωση αζώτου όπως είναι τα απόβλητα τυροκομείων και ελαιοτριβείων (C/N = 50/1)

3.8. ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΑΜΜΩΝΙΑ, ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ

Για την απρόσκοπτη ανάπτυξη τους, οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί 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 (Biogas handbook, 2009).

Η αμμωνία (NH₃) συναντάται σε αέρια μορφή και έχει έντονη οσμή και γεύση. Έχει ιδιαίτερη λειτουργία στη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης, καθώς αποτελεί σημαντική θρεπτική ουσία. 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, για αυτό το λόγο, η συγκέντρωση της πρέπει να διατηρείται κάτω από 80 mg/L (Biogas handbook, 2009).

Τα μεθανοβακτήρια θεωρούνται τα πιο ευαίσθητα από τους μικροοργανισμούς της αναερόβιας χώνευσης σε τοξικότητες. Οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι τα μεθανοβακτήρια επιδεικνύουν γενικότερα την ίδια συμπεριφορά για μεγάλο εύρος τοξικών παραγόντων και μπορούν να αντέξουν τη δράση τους κάτω από αντίξοες σχετικά συνθήκες (Γεωργακάκης, 2010a). Σε πολλές περιπτώσεις η τοξικότητα εμφανίζεται να είναι αντιστρεπτή, εφόσον έχει περάσει μια περίοδος προσαρμογής του συστήματος. (Angelidaki et al, 2003)

4. ΒΙΟΑΕΡΙΟ

4.1. ΣΥΣΤΑΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το παραγόμενο από την αναερόβια χώνευση βιοαέριο είναι ένα μίγμα αερίων το οποίο αποτελείται από:

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

Πίνακας 4.1.1. Τυπική Χημική Σύσταση του Βιοαερίου

Η τιμή του λόγου μεθάνιο/διοξειδίου του άνθρακα (CH₄/CO₂) εξαρτάται από το βαθμό οξείδωσης της οργανικής ύλης και αναγωγής του προκύπτοντος υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα προς μεθάνιο. Όσο περισσότερο οξειδώνεται η οργανική ουσία και ανάγεται ο άνθρακας της οργανικής ουσίας προς μεθάνιο, τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του λόγου CH₄/CO₂. Από τα ίχνη άλλων αερίων, το υδρόθειο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθόσον θα πρέπει να αφαιρείται από το βιοαέριο, πριν το τελευταίο χρησιμοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς, λόγω του έντονα διαβρωτικού, κυρίως θεικού οξέος, που παράγεται κατά την οξείδωση του (Γεωργακάκης, 2010b). . Στις μηχανές συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (CHP), μπορεί να δημιουργηθεί διάβρωση στις σωληνώσεις. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές μηχανών, ανώτατο όριο στην συγκέντρωση υδρόθειου στο βιοαέριο είναι η τιμή του 0,05 % κ.ο.

4.2. ΧΡΗΣΕΙΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

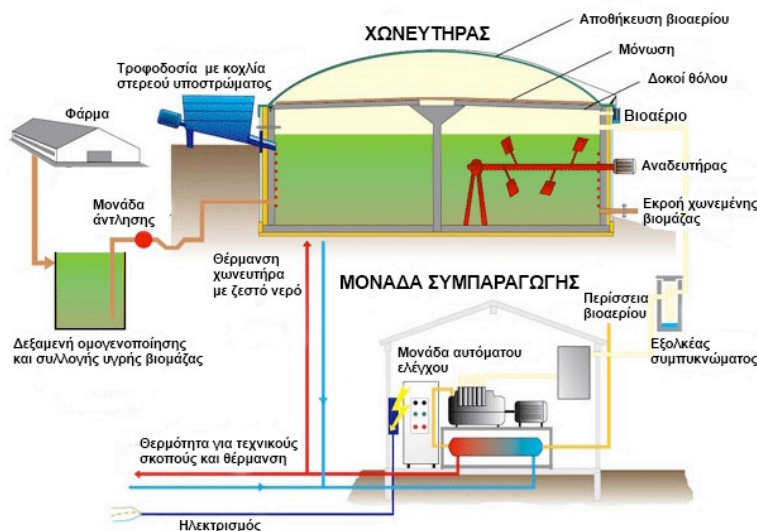
Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, ανάλογα την φύση της πηγής και την τοπική ζήτηση για ενέργεια. Ακολουθούν οι κύριες χρήσεις του βιοαερίου:

- Άμεση καύση

Η άμεση καύση του βιοαερίου αποτελεί τον απλούστερο τρόπο αξιοποίησης του. Χρησιμοποιείται σε καυστήρες φυσικού αερίου με σκοπό την παραγωγή θερμότητας άμεσα, είτε σε δεύτερο χρόνο, καθώς το βιοαέριο μπορεί να διοχετευτεί μέσω σωληνώσεων στους τελικούς χρήστες. 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 στον μηχανολογικό εξοπλισμό. Για την άμεση καύση του βιοαερίου δεν χρειάζεται καμία αναβάθμιση και δεν δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα ρύπανσης σε σχέση με άλλες χρήσεις.

- Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)

Στις ανεπτυγμένες χώρες, το βιοαέριο, συνήθως, χρησιμοποιείται στη συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP- *Combined Heat and Power*). Θεωρείται μια από τις πιο αποδοτικές χρήσεις του βιοαερίου για παραγωγή ενέργειας. Πριν τη μετατροπή του από τις μονάδες συμπαράγωγής, το βιοαέριο υφίσταται στράγγιση, ξήρανση και απομάκρυνση σωματιδίων καθώς και αφαίρεση του υδρόθειου (H_2S).

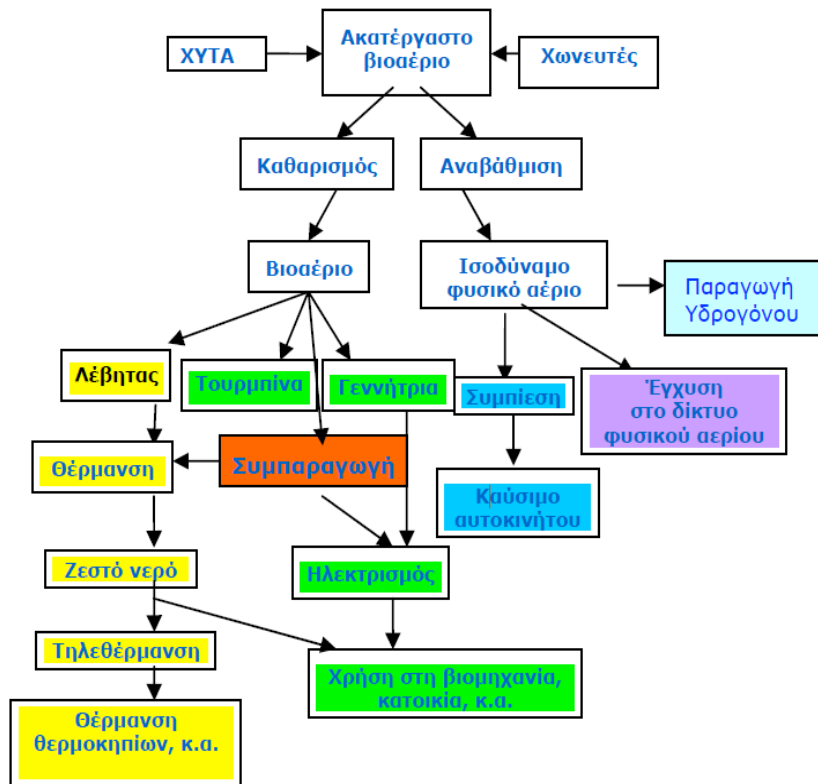


Εικόνα 4.2.1. Λειτουργία μιας μονάδας βιοαερίου

Η πιο συνήθης εφαρμογή των μονάδων (ΣΗΘ) 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 ή Diesel. Οι μονάδες τέτοιου τύπου έχουν αποδοτικότητα μέχρι 90%, παράγοντας 35% ηλεκτρική ενέργεια και 65% θερμότητα. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια εφόσον δεν πωλείται στο δίκτυο χρησιμοποιείται για να καλύψει τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια της μονάδας παραγωγής βιοαερίου, όπως είναι οι αντλίες, οι αναδευτήρες και τα συστήματα ελέγχου. Αντίστοιχα, η παραγόμενη θερμότητα εφόσον δεν πωλείται σε κάποιον αγοραστή όπως πιθανές βιομηχανίες και θερμοκήπια που βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις από την μονάδα, χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χωνευτήρων. Η χρήση της παραγόμενης θερμότητας είναι πολύ σημαντική για την οικονομική βιωσιμότητα της μονάδας βιοαερίου (Biogas handbook, 2009).

- Αναβάθμιση σε βιοαμεθάνιο

Το βιοαέριο αναβαθμίζεται σε βιομεθάνιο ενισχύοντας το περιεχόμενο του σε μεθάνιο από το συνηθισμένο 50-75% σε περισσότερο από 95%, αφαιρώντας όλους τους ρυπογόνους παράγοντες και το διοξείδιο του άνθρακα. Οι πιο συνήθεις μέθοδοι για την αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα είναι η απορρόφηση (μέσω ύδατος ή οργανικού διαλύτη) και η προσρόφηση (μετάπτωση πίεσης, PSA). Το βιομεθάνιο μπορεί να διανεμηθεί μέσω των υπάρχοντων δικτύων φυσικού αερίου και να χρησιμοποιηθεί όπως το φυσικό αέριο ή να συμπιεστεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων με τα ανάλογα οφέλη όπως η δυνατότητα αύξησεις των πελατών αλλά και η μείωση των συνολικών εκπομπών αέριων ρύπων. Επίσης το βιομεθάνιο θεωρείται ότι έχει το υψηλότερο δυναμικό ως καύσιμο οχημάτων συγκριτικά με άλλα βιοκαύσιμα, ειδικά εάν προέρχεται από απόβλητα αντί των ενεργειακών καλλιιεργειών. Τέλος, τα κύρια εμπόδια αποτελούν το υψηλό κόστος της αναβάθμισης του βιοαερίου και της σύνδεσης στο δίκτυο, λόγω της απομακρισμένης θέσης της πηγής και του δικτύου φυσικού αερίου.



Εικόνα 4.2.1. Χρήσεις Βιοαερίου

4.3. ΤΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η ανάπτυξη των έργων παραγωγής βιοαερίου και η εκμετάλλευσή του για παραγωγή ενέργειας εντάσσεται κυρίως στο πλαίσιο των διατάξεων της γενικότερης νομοθεσίας για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (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 της ΕΕ. Συγκεκριμένη νομοθεσία για τις μονάδες βιοαερίου στην Ελλάδα ακόμα δεν υπάρχει.

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.

Η τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο καθορίζεται σύμφωνα με το άρθρο 5 του Ν.3851/2010 (ΦΕΚ.Α'85) σε 220 € ανά παραγόμενη MWh για το διασυνδεδεμένο σύστημα, όταν η πραγματοποίηση της επένδυσης στηρίζεται σε δημόσια επιχορήγηση. Σε αντίθετη περίπτωση, η τιμή της προσ αυξάνεται κατά 15%.

5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Ο όρος γεωργικά απόβλητα αποδίδεται σε κάθε γεωργικής προέλευσης υποπροϊόν ή παράγωγο, που είτε έπαυσε να έχει οποιαδήποτε οικονομική αξία για τον παραγωγό, είτε η παραπέρα επεξεργασία του είναι οικονομικά ασύμφορη και ως εκ

τούτου θεωρείται “άχρηστο” και απομακρύνεται από τη γεωργική επιχείρηση, σε στερεή ή υγρή μορφή. Από οικονομικής άποψης τα γεωργικά απόβλητα εντάσσονται στο παθητικό της επιχείρησης, με συνέπεια την επιβάρυνση της τιμής του τελικού προϊόντος. Η διαδικασία παραγωγής των αποβλήτων είναι καθοριστική για την οικονομική και αποτελεσματική επεξεργασία τους. Η σχεδίαση ενός συστήματος επεξεργασίας ξεκινά ουσιαστικά μέσα στους χώρους παραγωγής με την δυνατότητα διαχωρισμού των αποβλήτων σε στερεά και υγρά ή σε απόβλητα μικρού και μεγάλου φορτίου.

5.1. ΠΤΗΝΟ-ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Τα απόβλητα των πτηνοκτηνοτροφικών μονάδων χαρακτηρίζονται απόβλητα οργανικής προέλευσης και είναι συνήθως πυκνά απόβλητα, μικρού σχετικά όγκου και μεγάλου οργανικού φορτίου, συγκρινόμενα με τα απόβλητα των γεωργικών βιομηχανιών και τα αστικά λύματα. Συγκρινόμενα επίσης με τα διάφορα υποπροϊόντα των γεωργικών βιομηχανιών όπως το τυρόγαλα των τυροκομείων, ο ορός γιαούρτης των εργοστασίων γάλακτος και τα λιοζούμια των ελαιοτριβείων, τα πτηνοκτηνοτροφικά απόβλητα είναι μικρότερου φορτίου και μεγαλύτερου γενικά όγκου από τα παραπάνω.

Τα απόβλητα των πτηνοκτηνοτροφικών μονάδων ποικίλλουν σε σύσταση, μορφή και όγκο, ανάλογα τις συνθήκες εκτροφής, το σιτηρέσιο, την ηλικία και το είδος των εκτρεφόμενων ζώων.

Στα χοιροστάσια, τα απόβλητα είναι υγρής και ημιυγρής μορφής, τα οποία υποβάλλονται συνήθως σε μηχανικό διαχωρισμό στερεών – υγρών, μετά την καθιέρωση του τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα (Γεωργακάκης, 2012).

Στα βουστάσια, τα απόβλητα διακρίνονται σε στερεής και ημιστερεής μορφής, ανάλογα με την εποχή και τη χρήση ή μη στρωμνής άχυρου και σε υγρής μορφής σε αναλογία 2 προς 1 περίπου.

Στα πτηνοτροφία, παράγονται απόβλητα στερεής μορφής τα οποία περιέχουν συνήθως και στρωμνή άχυρου.

Τα στερεής μορφής απόβλητα σχηματίζουν σωρό στο έδαφος και δεν είναι αντλήσιμα. Τα ημιστερεής μορφής απόβλητα είναι παχύρρευστα, δεν σχηματίζουν σωρό και δεν είναι αντλήσιμα, διακινούνται με μηχανικά ξέστρα ή προωθητήρες. Τα ημιυγρής και υγρής μορφής είναι υδαρή απόβλητα, που διακινούνται με αντλίες ή με φυσική ροή μέσα σε κανάλια ή αγωγούς (Γεωργακάκης, 1998).

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

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

5.2. ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ

Στη κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα απόβλητα των διαφόρων βιομηχανιών επεξεργασίας ζωοκομικών και φυτικών προϊόντων, όπως ελαιοτριβείων, εργοστασίων γάλακτος, τυροκομείων, σφαγείων, αλλαντοποιείων, χυμοποιείων, κονσερβοποιείων φρούτων και λαχανικών, αλευρόμυλων, οινοποιείων κλπ.

Τα απόβλητα των γεωργικών βιομηχανιών (βιομηχανιών τροφίμων) είναι κυρίως νερά πλυσίματος του προϊόντος, των σκευών και του εξοπλισμού κατεργασίας, αναμεμιγμένα με φυτικά ή ζωικά υγρά, που προκύπτουν από την επεξεργασία των προϊόντων. Επίσης περιέχουν και απορρυπαντικές ουσίες, που χρησιμοποιούνται για το πλύσιμο του εξοπλισμού. Τα απόβλητα αυτής της κατηγορίας λόγω της προέλευσης τους είναι σε υγρή μορφή με απουσία ή ελάχιστη συγκέντρωση αιωρούμενων ή καθιζήσιμων στερεών συστατικών. Τέλος χαρακτηρίζονται από εποχιακή και ημερήσια ποσοτική και ποιοτική διακύμανση.

Στις βιομηχανίες γάλακτος (γαλακτοκομεία, τυροκομεία κλπ.) τα απόβλητα είναι κυρίως απόνερα πλυσίματος εξοπλισμού και υποπροϊόντα της παραγωγικής διαδικασίας όπως τυρόγαλα, ορός γιαούρτης, υπολείμματα παρασκευής βουτύρου, κλπ. Τα τελευταία χαρακτηρίζονται από μεγάλο βιολογικό φορτίο. και αποτελούν πηγή άνθρακα (εδώ θελω να πω για πρωτεινες λιπιδια κλπ οπου περιεχουν τον ανθρακα)

Στη βιομηχανία παραγωγής ελαιολάδου (ελαιοτριβεία), τα απόβλητα που προκύπτουν εξαρτώνται από την διαδικασία επεξεργασίας και κυρίαρχα τον διαχωρισμό του ελαιολάδου (διφασικού ή τριφασικού τύπου). Στην Ελλάδα κυριαρχούν τα τριφασικού τύπου ελαιοτριβεία, τα απόβλητα των οποίων είναι υγρά (κατσίγαρος) και στερεά. Τα υγρά συνίστανται από νερά πλυσίματος και

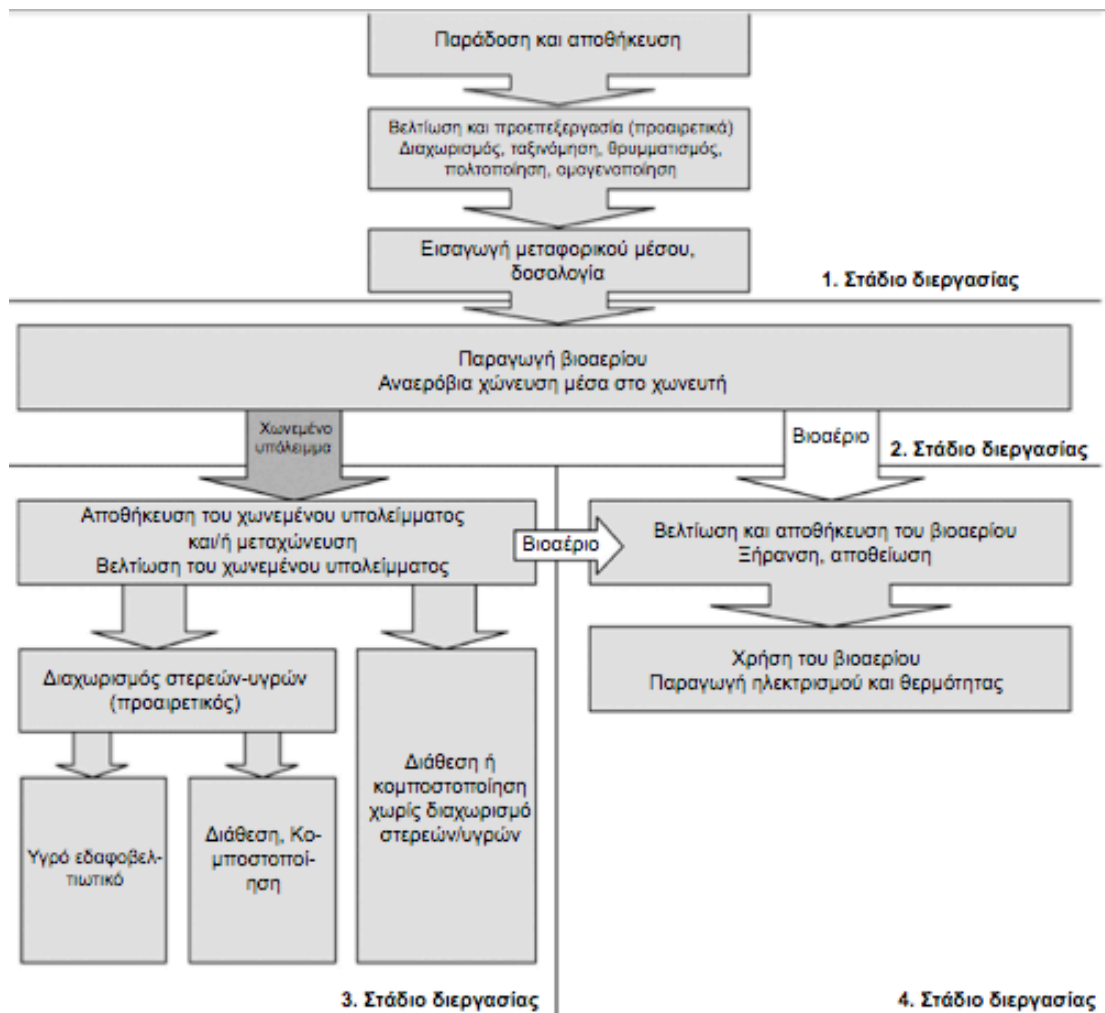
υπολλείματα φυτικών υγρών μετά την αφαίρεση του ελαιολάδου, από μικρή ποσότητα λαδιού που διαφεύγει κατά τη διαδικασία διαχωρισμού και τέλος νερά πλυσίματος των εγκαταστάσεων και εξοπλισμού. Τα στερεά είναι φύλλα ελιάς και ελαιοπυρήνα, από την οποία με πρόσθετη επεξεργασία στα πυρηνελαιουργεία παράγεται πυρηνέλαιο και πυρηνόξυλο. Τα απόβλητα των ελαιοτριβείων είναι κατεξοχήν εποχιακά απόβλητα και παράγονται κατά το διάστημα μεταξύ Οκτωβρίου και Φεβρουαρίου-Ιουνίου, ανάλογα τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

6. ΤΜΗΜΑΤΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η αναερόβια χώνευση για την παραγωγή βιοαερίου είναι μια διαδικασία που απαιτεί κατάλληλο, σύγχρονο και αξιόπιστο εξοπλισμό και εγκαταστάσεις, για την επιτυχή και αποδοτική λειτουργία της. Μια μονάδα βιοαερίου είναι μια σύνθετη μονάδα, η οποία αποτελείται από διάφορα τμήματα, τα οποία εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό, από τους τύπους και τις ποσότητες της πρώτης ύλης που χρησιμοποιούνται.

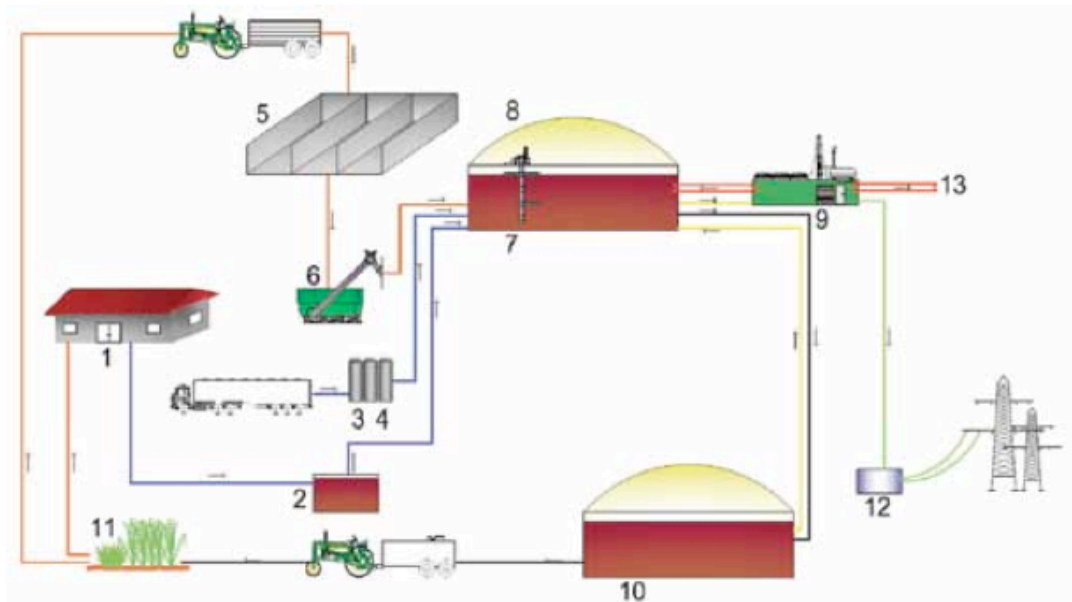
Σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα μια αγροτική μονάδα παραγωγής βιοαερίου (biogas plant) λειτουργεί συνήθως σε τέσσερα διαφορετικά στάδια διεργασίας (σχήμα 1):

1. Στάδιο αποθήκευσης και προ επεξεργασίας της πρώτης ύλης
2. Στάδιο παραγωγής βιοαερίου (Αναερόβια Χώνευση)
3. Στάδιο αποθήκευσης και βελτίωσης χωνεμένου υπολείμματος
4. Στάδιο αποθήκευσης, βελτίωσης και χρήσης του βιοαερίου



Εικόνα 6.1. Στάδια διεργασίας των αγροτικών μονάδων βιοαερίου (biogas handbook, 2009)

Η επιλογή του τύπου και του σχεδιασμού μιας μονάδας εξαρτώνται κυρίως από την ποσότητα και τον τύπο της διαθέσιμης πρώτης ύλης. Η ποσότητα της πρώτης ύλης καθορίζει τη διαστασιολόγηση του μεγέθους του χωνευτή, των δυναμικοτήτων αποθήκευσης και της μονάδας ΣΗΘ. Η ποιότητα της πρώτης ύλης καθορίζει την τεχνολογία της διεργασίας (biogas handbook, 2009).



- | | |
|---|--|
| 1 Στάβλοι | 8 Δεξαμενή αποθήκευσης βιοαερίου |
| 2 Δεξαμενές υγρής κοπριάς | 9 Μονάδα ΣΗΘ |
| 3 Δοχεία συλλογής για τα βιοαπόβλητα | 10 Αποθήκευση του χωνεμένου υπολείμματος |
| 4 Δεξαμενή υγιεινής | 11 Γεωργικές εκτάσεις |
| 5 Δεξαμενή αποθήκευσης με είσοδο του οχήματος | 12 Μετασχηματιστής/Τροφοδοσία δικτύου |
| 6 Σύστημα τροφοδοσίας της στερεάς πρώτης ύλης | 13 Χρήση θερμότητας |
| 7 Χωνευτής (αντιδραστήρας βιοαερίου) | |

Εικόνα 6.2. Αγροτική μονάδα συγχώνευσης παραγωγής βιοαερίου που χρησιμοποιεί υδαρή κοπριά και χορτονομή αραβοσίτου (biogas handbook, 2009)

Μια τυπική μονάδα παραγωγής βιοαερίου (biogas plant) αποτελείται από:

- Χώρος προετοιμασίας των υγρών τροφοδοσίας
- Αναερόβιος χωνευτήρας (anaerobic digester)
- Δωμάτιο ελέγχου (control room)
- Προσωρινή αποθήκη βιοαερίου
- Χώρος υποδοχής των επεξεργασμένων εκροών
- Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘ)

Χώρος προετοιμασίας των υγρών τροφοδοσίας

Αποτελείται από δεξαμενή συγκέντρωσης και προετοιμασίας της πρώτης ύλης, όπου τα απόβλητα αναμιγνύονται και ομογενοποιούνται πριν την είσοδο στον αναερόβιο χωνευτήρα, καθώς η ομοιογένεια του υποστρώματος αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη σταθερότητα της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης. Συνήθως κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα και είναι παρόμοιες με αυτές που

χρησιμοποιούνται στη κτηνοτροφία, για την αποθήκευση της υγρής κοπριάς. Επίσης χρησιμοποιείται για μικρής διάρκειας αποθήκευση, μια με δυο μέρες. Είναι εξοπλισμένη με μηχανικούς αναδευτήρες για την ομογενοποίηση του μίγματος αποβλήτων και λόγω του ότι πρέπει να αποφεύγεται η ιζηματογένεση και ο διαχωρισμός φάσης της πρώτης ύλης. Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται στερεά ή υδαρή απόβλητα, αυτά αναμιγνύονται και ομογενοποιούνται με υγρά εκροής του χωνευτήρα, υγρή κοπριά, ή νερό για τη δημιουργία μιας αντλήσιμης πρώτης ύλης και έπειτα αντλούνται προς το χωνευτήρα (biogas handbok, 2008). Η διαστασιολόγηση των εγκαταστάσεων προετοιμασίας καθορίζεται από τις ποσότητες και τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης που δέχονται, από τις ποσότητες που καθημερινά τροφοδοτούνται στο χωνευτή καθώς και από το χειρισμό τους (Γεωργακακης, 2010a).

Αναερόβιος χωνευτήρας (anaerobic digester)

Ο χωνευτήρας είναι μια αεροστεγής δεξαμενή μέσα στην οποία πραγματοποιείται η αποσύνθεση του οργανικού κλάσματος της πρώτης ύλης, απουσία οξυγόνου και παράγεται βιοαέριο, μέσω της δράσης μιας ποικιλίας αναερόβιων μικροοργανισμών.

Γενικά μια εγκατάσταση αναερόβιου χωνευτήρα θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να επιτυγχάνονται: μέγιστος ρυθμός παραγωγής βιοαερίου, σταθερότητα της αναερόβιας χώνευσης, οικονομία στη κατανάλωση ενέργειας κατά τη λειτουργία του και τέλος ελάχιστο κόστος λειτουργίας και συντήρησης (Γεωργακάκης 2010a).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αναερόβιων χωνευτών, οι οποίοι συνήθως κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα και είναι κατασκευασμένη στην επιφάνεια ή υπόγεια.

Οι αναερόβιοι χωνευτές διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το τρόπο κατασκευής και λειτουργίας.

Χωνευτές ασυνεχούς τροφοδοσίας (Batch type)

Σε αυτό το τύπο ο χωνευτήρας τροφοδοτείται μια φορά μόνο στην αρχή με ορισμένη ποσότητα αποβλήτων, σφραγίζεται και εκκενώνεται, όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία. Τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος συγκρινόμενο με του συνεχούς είναι το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και του αναγκαίου μηχανολογικού εξοπλισμού.

Χωνευτές συνεχούς τροφοδοσίας

Σε αυτό τον τύπο ο χωνευτήρας τροφοδοτείται συνεχώς με απόβλητα σε κανονικά χρονικά διαστήματα, ενώ συγχρόνος αποβάλλεται από την έξοδο, ίση ποσότητα επεξεργασμένων εκροών (χωνεμένο υπόλειμμα). Τα πλεονεκτήματα αυτού είναι ότι η παραγωγή του βιοαερίου είναι συνεχής, σταθερή και προβλέψιμη (biogas handbook, 2009).

Υπάρχουν τρία βασικά είδη συνεχών χωνευτών τα οποία αναλύονται στα παρακάτω κεφάλαια, κατακόρυφοι, οριζόντιοι και σύστημα πολλαπλών δεξαμενών.

Κατακόρυφοι χωνευτές

Αποτελούνται από δεξαμενές κυκλικής διατομής κατασκευασμένες από οπλισμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα. Είναι αεροστεγείς, μονωμένοι και θερμαινόμενοι για διατήρηση της θερμοκρασίας τους στα επιθυμητά επίπεδα. Η θέρμανση πραγματοποιείται συνήθως από επιτοίχιους σωλήνες με χρήση ζεστού νερού από την αποριπτόμενη θερμότητα της μονάδα ΣΗΘ (Deublein D., Steinhäuser A., 2011). Η οροφή τους κατασκευάζεται από σκυρόδεμα ή χάλυβα και το παραγόμενο βιοαέριο διοχετεύεται σε μια μονάδα εξωτερικής αποθήκευσης. Σε άλλες περιπτώσεις η οροφή είναι μια αεροστεγής μεμβράνη η οποία λειτουργεί ως αποθηκευτικό μέσο του παραγόμενου βιοαερίου και ως κάλυμα του χωνευτήρα.

Εσωτερικά είναι συνήθως εξοπλισμένοι με μηχανικούς αναδευτήρες για συνεχή ή καταδιαστήματα λειτουργία. Η ανάδευση διευκολύνει την ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας και των θρεπτικών συστατικών καθώς και τη καλή επαφή των μικροοργανισμών με τα σωματίδια της νεας πρώτης ύλης (Γεωργακάκης, 2010a).



Εικόνα 6.3. Εσωτερικό κατακόρυφου χωνευτήρα με σύστημα θέρμανσης και ανάδευσης

Γενικά είναι εγκαταστάσεις απόλυτα ελεγχόμενων συνθηκών, με δυνατότητα σταθερής παραγωγής βιοαερίου και είναι κατάλληλη για περιπτώσεις μεγάλων κτηνοτροφικών μονάδων και γεωργικών βιομηχανιών. Είναι πιο ακριβοί και πολύπλοκοι από τους οριζόντιου τύπου, αλλά είναι πιο αξιόπιστοι και αποδοτικοί. Μεταξύ των διαφόρων χωνευτήρων κατακόρυφου τύπου, ο χωνευτήρας συνεχούς ροής και ανάδευσης (CFSTR) είναι ο λιγότερο πολύπλοκος και είναι κατάλληλος για απόβλητα αυξημένης πυκνότητας και οργανικού φορτίου, όπως είναι τα απόβλητα βουστασίων, χοιροστασίων, ελαιοτριβείων και τυροκομείων (Γεωργακάκης, 2010a)

Στο εσωτερικό τους διακρίνονται τέσσερις ζώνες (Εικόνα 6.4) :

Η ζώνη ζύμωσης και παραγωγής του βιοαερίου.

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

Η ζώνη της λάσπης, στον πυθμένα του χωνευτήρα

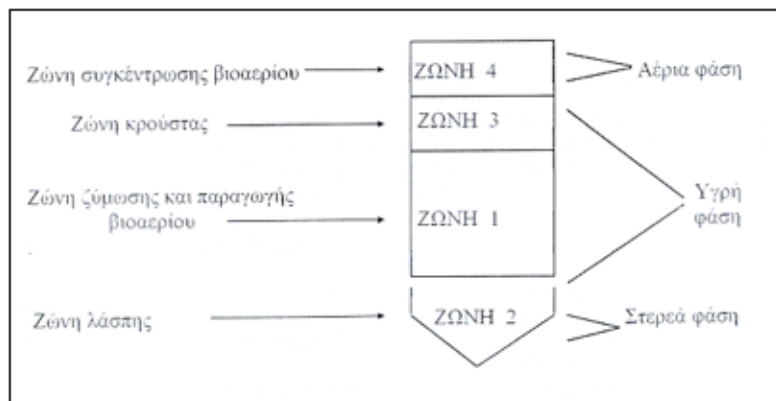
Σε αυτή την περιοχή κατακάθονται τα υλικά που δε βιοαποδομούνται και είναι αδιάλυτα και βαρύτερα του νερού καθώς επίσης και νεκρά ή αδρανή συσσωματώματα των μικροοργανισμών.

Η ζώνη της κρούστας, στην επιφάνεια των υγρών του χωνευτήρα.

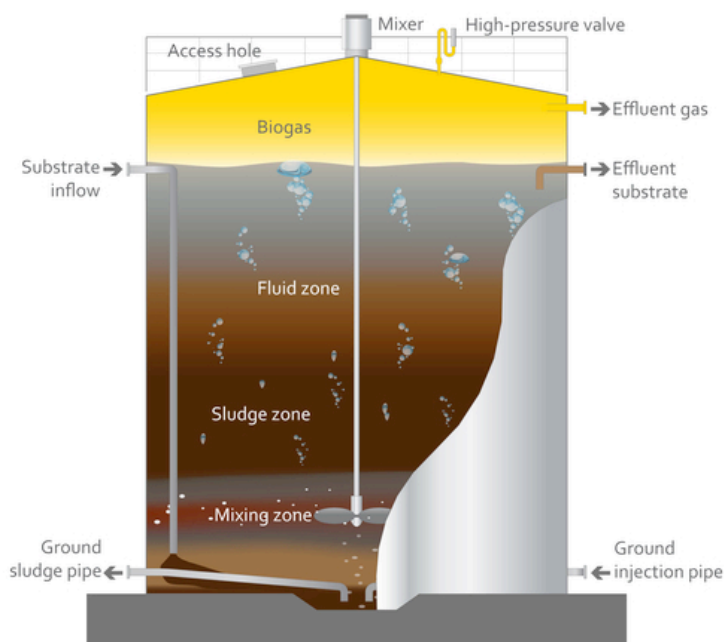
Σχηματίζεται από υλικά αδιάλυτα και ελαφρύτερα του νερού ή από υλικά που παρασύρονται από φυσαλίδες του ανερχόμενου βιοαερίου.

Η ζώνη συγκέντρωσης του βιοαερίου

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



Εικόνα 6.4. Απεικόνιση των σχηματιζόμενων ζωνών στο εσωτερικό αναερόβιου χωνευτήρα (Γεωργακάκης, 2004)



Εικόνα 6.5. Χωνευτήρας κατακόρυφου τύπου, συνεχής ροής

Οριζόντιοι χωνευτές

Οι οριζόντιοι χωνευτές έχουν οριζόντιο άξονα και κυλινδρικό σχήμα (50-150 m³) όπου η πρώτη ύλη ρέει αργά από την πλευρά εισόδου στην πλευρά εκκένωσης, διαμορφώνοντας μια στρωτή ροή στον χωνευτή. Συνήθως χρησιμοποιούνται για απόβλητα όπως η στερεή κοπριά πουλερικών, η χορτονομή αραβοσίτου και στερεή κοπριά με μεγάλη περιεκτικότητα σε άχυρο (Biogas handbook, 2009).

Χωνευτήρες οριζόντιου τύπου (εμβολοειδούς ροής), θεωρούνται επίσης τσιμεντένιες ή χωμάτινες δεξαμενές ορθογώνιου σχήματος, οι οποίες είναι καλυμμένες αεροστεγώς με ειδικά πλαστικά φύλλα. Είναι εγκαταστάσεις σχετικά ελεγχόμενων συνθηκών, αλλά απλής κατασκευής και λειτουργίας και ως εκ τούτου, ταιριάζουν περισσότερο σε μικρού ή μεσαίου μεγέθους κτηνοτροφικές μονάδες (Γεωργακάκης, 2010a).



Εικόνα 6.7. Σύστημα οριζόντιου χωνευτήρα

Συστήματα πολλαπλών δεξαμενών

Οι μεγάλες μονάδες συγχώνευσης αποτελούνται συνήθως από πολλούς χωνευτήρες, όπου υπάρχει ένας οι περισσότεροι κύριοι χωνευτές καθώς και μετα-χωνευτές. Επίσης οι δεξαμενές αποθήκευσης του χωνεμένου υπολείμματος είναι αεροστεγώς κλεισμένες και χρησιμοποιούνται ως μετα-χωνευτές. Συνήθως είναι κατακόρυφου τύπου, ενώ μπορεί να υπάρξει και συνδιασμός με οριζόντιου τύπου.



Εικόνα 6.8. Σύστημα πολλαπλών δεξαμενών

Χώρος υποδοχής των επεξεργασμένων εκροών

Αποτελείται από μια δεξαμενή υποδοχής των επεξεργασμένων εκροών (χωνεμένο υπόλειμμα), που απομακρύνονται κάθε μέρα από τον χωνευτήρα. Το μέγεθος της δεξαμενής εξαρτάται από τον τρόπο επεξεργασίας και διαχείρισης των εξερχόμενων υγρών. Επίσης σημαντικό ρόλο έχει ο χρόνος αποθήκευσης που απαιτείται για την περαιτέρω χώνευση του υπολείμματος, ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις που ορίζει η νομοθεσία για τη διάθεση του σε φυσικούς αποδέκτες. Η δεξαμενή αποθήκευσης μπορεί να καλείπτεται με αεροστεγή μεμβράνη, ώστε να συγκεντρώνεται το παραγόμενο βιοαέριο (έως και 25%) που συνεχίζει να παράγεται λόγω της μετα-χώνευσης κατά τη φάση αποθήκευσης (Deublein D., Steinhäuser A., 2011). Συνήθως το χωνεμένο υπόλειμμα διαχωρίζεται σε στερεή και υγρή φάση, με το στερεό να χρησιμοποιείται για παραγωγή κομπόστ και το υγρό για λίπανση καλλιεργειών ή μετά από αερόβια βιολογική επεξεργασία σε υδάτινους αποδέκτες. Στη περίπτωση των υγρών κτηνοτροφικών αποβλήτων, ως δεξαμενή υποδοχής των εκροών χρησιμοποιείται το σύστημα των ανοιχτών αναερόβιων δεξαμενών, που προβλέπεται εξ αρχής για αυτού του είδους τις κτηνοτροφικές μονάδες (Γεωργακάκης, 2010a).

Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘ)

Η μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘ) έχει αποδοτικότητα 90% και παράγει 35% ηλεκτρική ενέργεια και 65% θερμότητα. Το σύστημα ΣΗΘ είναι συνήθως εγκατεστημένο μέσα σε τυπικό εμπορευματοκιβώτιο (container). Η καύση του βιοαερίου και μετατροπή του σε ηλεκτρική γίνεται από μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) που συνδέονται με ηλεκτρογεννήτρια η οποία διατηρεί σταθερή ταχύτητα (1500 στροφές/λεπτό) προκειμένου να είναι συμβατή με τη συχνότητα του δικτύου. Παράλληλα με την ηλεκτροπαραγωγή η μονάδα ΣΗΘ παράγει και θερμότητα.

Δωμάτιο ελέγχου (control room)

Η επίβλεψη και ο έλεγχος όλων των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα σε μια μονάδα βιοαερίου πραγματοποιείται από σύγχρονα συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης μέσω υπολογιστή. Το σύστημα ελέγχου είναι αυτοματοποιημένο και δέχεται χειρισμό και από απόσταση. Καθιστά δυνατή την παρακολούθηση και καταγραφή πολλών παραμέτρων και λειτουργιών της μονάδας, όπως τις συνθήκες που επικρατούν μέσα στο χωνευτήρα και τις δεξαμενές, τη παραγωγή βιοαερίου, καθώς και ολο το μηχανολογικό εξοπλισμό, όπως τις αντλίες, αναδευτήρες και τη μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘ)

7. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΕΚΡΟΗΣ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΟ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ

Μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου παράγει, εκτός από βιοαέριο και υγρά απόβλητα, ίσα περίπου με τα απόβλητα εισόδου. Τα τελευταία εισέρχονται στον ΑΧ καθημερινά, καταναμημένα σε μία ή περισσότερες δόσεις, ανάλογα με το προγραμματισμό λειτουργίας και τις τεχνικές δυνατότητες των εγκαταστάσεων.

Τα υγρά εισόδου είναι συνήθως πυκνά απόβλητα πτηνο-κτηνοτροφικών μονάδων ή μίγματα τους με πυκνά κατά το δυνατόν απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων και ως εκ τούτου, με πολύ υψηλό αρχικό ρυπαντικό φορτίο οργανικής προέλευσης (μέχρι και 60,000 mg/L BOD₅), με αποτέλεσμα, παρά το μεγάλο βαθμό ελάττωσης του αρχικού φορτίου μέσα στον ΑΧ (πάνω από 75%) να προκύπτουν υγρά εξόδου με οργανικό φορτίο πολύ υψηλό σε σχέση με το επιτρεπόμενο για τη διάθεση των υγρών αυτών σε εδαφικούς αποδέκτες (τιμές BOD₅ όχι πάνω από 1200 mg/L, **ΚΥΑ2000/96** για απόβλητα πτηνοτροφικών μονάδων).

Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη πρόσθετου χειρισμού των υγρών εκροής του ΑΧ, ώστε να καταστούν κατάλληλα για εδαφική διάθεση, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία, η οποία εκτός από την απαίτηση για τιμή BOD₅ κάτω από 1200 mg/L καθιέρωσε επι πλέον αυστηρά κριτήρια και για το περιεχόμενο άζωτο στα υγρά, **ΚΥΑ 145116/02-02-2011 (ΦΕΚ Β'354/2011)**. Σύμφωνα με την ανωτέρω ΚΥΑ ο εδαφικός αποδέκτης των υγρών εξόδου δεν θα πρέπει να δέχεται ετησίως πάνω από 17 ή 25 kg N/στρέμμα, ανάλογα με την ευαισθησία του ή μη στη νιτρορρύπανση.

Οι ως άνω νομοθετικές διατάξεις οδηγούν αναγκαστικά στην πρόβλεψη πρόσθετων εγκαταστάσεων διαχείρισης των υγρών εκροής, το κόστος των οποίων επιβαρύνει με τη σειρά του την δαπάνη παραγωγής βιοαερίου και μειώνει ανάλογα το αναμενόμενο οικονομικό όφελος από την αξιοποίηση του τελευταίου για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι εγκαταστάσεις αυτές είναι δύο ειδών.

- Η πρώτη συνίσταται από μια δεξαμενή αερισμού – νιτροποίησης των υγρών εκροής, απλουστευμένης κατασκευής και λειτουργίας, **ΑΔΕΝΙΤ** (Αερόβια Δεξαμενή Νιτροποίησης).
- Η δεύτερη από μια **ΑΧΑΔ** (Ανοιχτή Χωμάτινη Αναερόβια Δεξαμενή) πολύμηνης αποθήκευσης των υγρών και απονιτροποίησης, με στεγανοποιημένα πρηνή και πυθμένα από ειδικά πλαστικά φύλλα επένδυσης.

7.1. ΑΝΟΙΧΤΕΣ ΧΩΜΑΤΙΝΕΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ (ΑΧΑΔ)

Οι εγκαταστάσεις διαχείρισης των υγρών πτηνο—κτηνοτροφικών αποβλήτων που ορίζονται στην Υγειονομική Διάταξη Υ1β2000/95 (ΦΕΚ 8' 343/1995) και στον Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής ΥΑ85167/820/20-03-2000 (ΦΕΚ 8' 477/05-04-2000) και εφαρμόζονται μέχρι σήμερα στη χώρα μας, είναι το σύστημα των ανοιχτών χωμάτινων αναερόβιων δεξαμενών (ΑΧΑΔ). Το σύστημα αυτό αποτελείται από μία ή συννηθέστερα δύο συνεχόμενες ΑΧΑΔ.



Εικόνα 7.1.1. Κάτοψη ενός συστήματος δύο συνεχόμενων ανοιχτών χωμάτινων αναερόβιων δεξαμενών ΑΧΑΔ [Γεωργαχάκης,1998]

Οι ΑΧΑΔ είναι εκτατικού τύπου εγκαταστάσεις, οι οποίες καταλαμβάνουν αρκετή εδαφική έκταση, γεγονός που, παρά το μικρό τους σχετικά μοναδιαίο κόστος κατασκευής και λειτουργίας, δυσχεραίνει πολλές φορές την εφαρμογή τους, ιδιαίτερα στις μεγάλου μεγέθους κτηνοτροφικές μονάδες. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα πολύ μεγάλων μονάδων, το μέγεθος των ΑΧΑΔ μπορεί να αποβεί απαγορευτικό, εφόσον δεν μπορέσουν τελικά να εξασφαλίσουν την απαιτούμενη εδαφική έκταση για το σκοπό αυτό.

Εγκαταστάσεις ΑΧΑΔ είναι υποχρεωμένες να διαθέτουν, βάσει του νόμου, τα χοιροστάσια και τα βουστάσια γαλακτοπαραγωγής, τα οποία είναι τα μόνα, μεταξύ των πτηνο-κτηνοτροφικών μονάδων, που παράγουν σημαντικές ποσότητες υγρών αποβλήτων, τα οποία θά πρέπει να διαχειριστούν πριν επιτραπεί η διάθεσή τους στο περιβάλλον.

Οι ΑΧΑΔ έχουν το μεγάλο πλεονέκτημα της μακρόχρονης αποθήκευσης των υγρών αποβλήτων για 120-180 ημέρες, διάστημα κατά το οποίο απαγορεύεται, για λόγους περιβαλλοντικούς (βροχερή ή χειμερινή περίοδος), η διάθεση υγρών κτηνοτροφικών αποβλήτων στο έδαφος. Ως εκ τούτου, είναι αναντικατάστατες μέχρι σήμερα και θα εξακολουθήσουν να είναι και στο άμεσο μέλλον.

Το μόνο που επιβάλλεται να αλλάξει σε σχέση με το παρελθόν είναι να επενδύονται στο εξής τα χωμάτινα τοιχώματα και ο πυθμένας των ΑΧΑΔ με ειδικά πλαστικά φύλλα για την αποφυγή διαρροών και την ανάπτυξη ανεπιθύμητης βλάστησης στα χωμάτινα τοιχώματά τους. Σε δεύτερη φάση, σε βάθος χρόνου, θα πρέπει να εξεταστεί η στεγανή κάλυψη της υγρής επιφάνειάς τους για αποκλεισμό της διαφυγής

αερίων του 'θερμοκηπίου' στην ατμόσφαιρα, κυρίως μεθανίου και αμμωνίας. Το διοξείδιο του άνθρακα, που επίσης εκλύεται, δεν λαμβάνεται υπόψη, ως ανακυκλούμενο μέσω της φωτοσύνθεσης στη φύση.

Επίσης άλλο ένα πλεονέκτημα των ΑΧΑΔ είναι η ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου και η μετατροπή του σε αμμωνιακά άζωτο (600-800 mg/L), κατά την αναερόβια χώνευση του μέσα σε αυτές, μαζί με τις λοιπές οργανικές ενώσεις των υγρών αποβλήτων, ενώ η εναλλακτική μορφή ανόργανου αζώτου, το νιτρικό άζωτο, παραμένει σε αμελητέα πρακτικά συγκέντρωση (κάτω από 10 mg/L), λόγω της απουσίας οξυγόνου.

Η ορθολογική διάθεση των τελικών υγρών των ΑΧΑΔ στο έδαφος για λίπανση καλλιεργειών, με βάση τις ανάγκες τους σε άζωτο, είναι ο καλύτερος και ασφαλέστερος τρόπος αξιοποίησης των υγρών αυτών, χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Τέλος η επέκταση της εφαρμογής της ΚΥΑ 145116/02-022011 (ΦΕΚ Β'354/2011) για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων στο έδαφος και στην περίπτωση των υγρών κτηνοτροφικών αποβλήτων, όσον αφορά στο ολικό άζωτο (ΟΑ), ενώ εξαιρείται το λοιπό οργανικό φορτίο (BOD₅), για το οποίο εξακολουθεί να ισχύει η ΥΔ1β2000/95, με βάση την εγκύκλιο 145447/23-06-2011 της ΕΙΔΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑΣ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΠΕΚΑ, δημιούργησε τελικά ένα μειονέκτημα, το οποίο θα πρέπει να απορροφηθεί οικονομικά από τη μονάδα παραγωγής βιοαερίου.

Με την ως άνω ΚΥΑ περιορίζεται η εφαρμογή Ολικού Αζώτου από κοπριές και υγρά κτηνοτροφικά απόβλητα στο καλλιεργούμενο έδαφος στα 25 kg/στρέμμα-έτος, ανεξάρτητα από τις ανάγκες των φυτών, για λόγους προστασίας τυχόν υπόγειων νερών από τη νιτρορρύπανση, με την επισήμανση, ότι όπου οι ανάγκες των φυτών σε άζωτο υπερβαίνουν το ως άνω όριο, θα μπορούν να συμπληρώνονται με χημικό λίπασμα.

Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται σημαντικά η απαιτούμενη έκταση διάθεσης των υγρών των ΑΧΑΔ, συγκριτικά με εκείνη που προκύπτει με βάση, την πλήρη κάλυψη των αναγκών των φυτών σε άζωτο. Το αυστηρό ως άνω όριο γίνεται ακόμα πιο αυστηρά, 17 kg/στρέμμα-έτος, για τις καθοριζόμενες επίσημα ευαίσθητες στη νιτρορρύπανση περιοχές.

Η εφαρμογή των εγκαταστάσεων ΑΧΑΔ για τη συλλογή, αποθήκευση και βιολογική επεξεργασία των υγρών εκροών του αναερόβιου χωνευτήρα αποτελεί την οικονομικότερη επιλογή, για μονάδες βιοαερίου λόγω του μεγάλου ρυπαντικού τους φορτίου οργανικής προέλευσης, αλλά και την ανάγκη πολύμηνης διάρκειας αποθήκευσης. Από την άλλη, τα απόβλητα αυτά δεν επιτρέπεται να διατεθούν σε υδάτινους αποδέκτες, καθόσον είναι οικονομικά αδύνατο να μειώσουν το ρυπαντικό

τους φορτίο (οργανικό και ανόργανο) κάτω από τα όρια που θέτει η σχετική νομοθεσία.

Ως εκ τούτου, απομένει ως μόνος αποδέκτης το έδαφος, καλλιεργούμενο ή μη, το οποίο έχει ανάγκη από τις χωνεμένες οργανικές ύλες και ανόργανα στοιχεία, όπως άζωτο, φώσφορο, κάλιο, ιχνοστοιχεία κλπ, τα οποία ενυπάρχουν στα πτηνοκτηνοτροφικά απόβλητα και τα καθιστούν ακατάλληλα μια διάθεσή τους σε υδάτινους αποδέκτες.

Με βάση τα προαναφερθέντα γίνεται πλέον φανερό, πως είναι αναγκαίο να παρθούν πρόσθετα μέτρα, προκειμένου να εναρμονιστεί η διαχείριση των υγρών αποβλήτων των μονάδων βιοαερίου στις αυξημένες απαιτήσεις της σχετικής νομοθεσίας.

Μέτρα προσαρμογής της διαχείρισης των υγρών αποβλήτων στη νέα νομοθεσία. (Α) τα υγρά απόβλητα πρέπει να διέρχονται από κατάλληλο μηχανικό διαχωριστή και η υγρή φάση (υγρά Δ/Χ) να προωθείται στις εγκαταστάσεις παραγωγής και αξιοποίησης βιοαερίου και τις αεριζόμενες εγκαταστάσεις απόσμισης, αερόβιας χώνευσης και νιτροποίησης των υγρών εκροής (ΑΔΕΝΙΤ), πριν αυτά καταλήξουν στην απαραίτητη τελική ΑΧΑΔ, για αποθήκευση, συμπληρωματική αναερόβια χώνευση και απονιτροποίηση. (Β) τα στερεά απόβλητα και η στερεή φάση (στερεά Δ/Χ) θα πρέπει να υπόκεινται σε αερόβια χώνευση (κομποστοποίηση) πριν διατεθούν ως εδαφοβελτιωτικά.

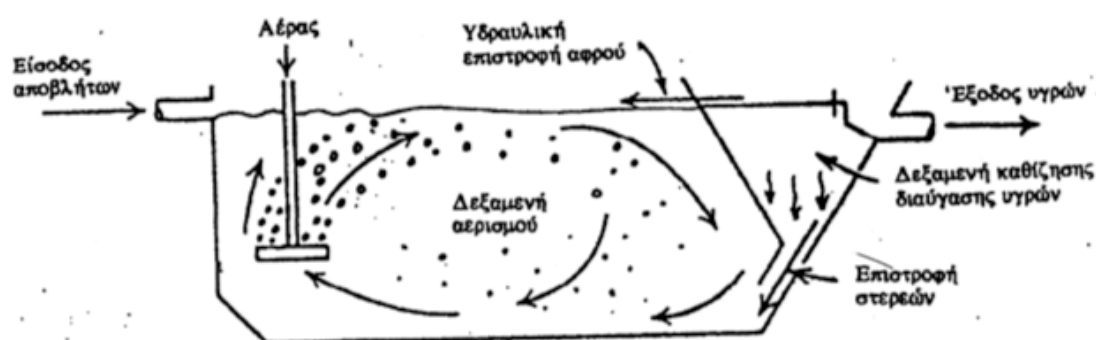
7.2. ΑΕΡΟΒΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ (ΑΔΕΝΙΤ)

Η ως άνω αερόβια δεξαμενή νιτροποίησης (ΑΔΕΝΙΤ), τύπου ενεργού ιλύος, συνήθους ή παρατεταμένου αερισμού, γίνεται απαραίτητη λόγω της επιβολής τελευταία (ΚΥΑ 145116/02-02-2011, ΦΕΚ Β'354/2011) πολύ αυστηρών ορίων εφαρμογής αζώτου στους εδαφικούς αποδέκτες των επεξεργασμένων τελικών υγρών. Η ΑΔΕΝΙΤ προϋποθέτει αρχικά την εφαρμογή αναερόβιας χώνευσης των υγρών σε κλειστού τύπου Θερμαινόμενες εγκαταστάσεις παραγωγής και εκμετάλλευσης βιοαερίου (αναερόβιοι χωνευτήρες). Η αναερόβια χώνευση επιφέρει σημαντική μείωση του οργανικού φορτίου των υγρών (πάνω από 70%), με αποτέλεσμα να γίνεται εφικτή οικονομικά η περαιτέρω βιολογική επεξεργασία τους σε ΑΔΕΝΙΤ.

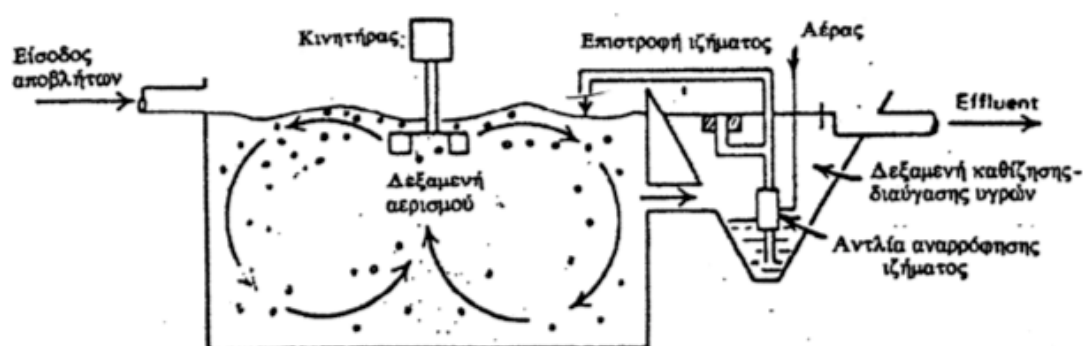
Η ΑΔΕΝΙΤ, μονή ή διπλή, ανάλογα με το οργανικό φορτίο των εισερχόμενων υγρών, μπορεί, λόγω της θέσης της πριν από την τελική ΑΧΑΔ, να σχεδιαστεί έτσι, ώστε να επιτελέσει το έργο της στην απλούστερη δυνατή μορφή και λειτουργία. Εξοπλισμένη με πολύστροφο επιφανειακό αεριστή, ο οποίος αποτελεί οικονομική λύση για τον αερισμό αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο όπως είναι τα υγρά εξόδου του αναερόβιου χωνευτήρα σε μια μονάδα βιοαερίου.

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ) των υγρών στην ΑΔΕΝΙΤ θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 8 ημέρες και το διαλυμένο οξυγόνο σταθερά πάνω από **3.0 mg/l**, ώστε να ευνοείται η διαδικασία της νιτροποίησης, παράλληλα με τη μείωση του οργανικού τους φορτίου.

Λόγω της κατάληξης και αποθήκευσης των υγρών εκροής της ΑΔΕΝΙΤ στην ΑΧΑΔ δεν κρίνεται απαραίτητη η διενέργεια εξωτερικής καθίζησης για διαχωρισμό και επιστροφή της ενεργού ιλύος πίσω στη ΑΔΕΝΙΤ και απομάκρυνση της περίσσειας της, όπως γίνεται κατά κανόνα σήμερα στις εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού υγρών αποβλήτων. Αντ' αυτής, συνιστάται η ενσωμάτωση της δεξαμενής καθίζησης μέσα στη ΑΔΕΝΙΤ και μάλιστα με ανοιχτό πυθμένα, έτσι ώστε η διαχωριζόμενη ενεργός ιλύς να επιστρέφει, μέσω του ανοιχτού πυθμένα, πίσω στο χώρο αερισμού των υγρών της δεξαμενής (Διάγραμμα 1α, αλλά με επιφανειακό αερισμό, όπως της εικόνας 7.2.2(β)).



(α) Αερισμός διάχυσης



(β) Επιφανειακός αερισμός

Εικόνα 7.2.2. Διατάξεις δεξαμενών αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Για να μην υπερφορτωθεί η ΑΔΕΝΙΤ με ενεργό ιλύ και να σταθεροποιηθεί στο επιθυμητά επίπεδο συγκέντρωσής της στα υγρά της ΑΔΕΝΙΤ, σε τακτά χρονικά διαστήματα, μιας (συνιστάται) μέχρι πέντε το πολύ ημερών, θα πρέπει να αντλείται

μια ποσότητα αναδευόμενων υγρών από το χώρο αερισμού της ΑΔΕΝΙΤ προς την είσοδο της ΑΧΑΔ, ίση με το λόγο $Q_{\text{αποβλ.}}=(V_{\text{δεξ.}}/\Theta_C)*D$, όπου Θ_C = επιθυμητός χρόνος παραμονής.

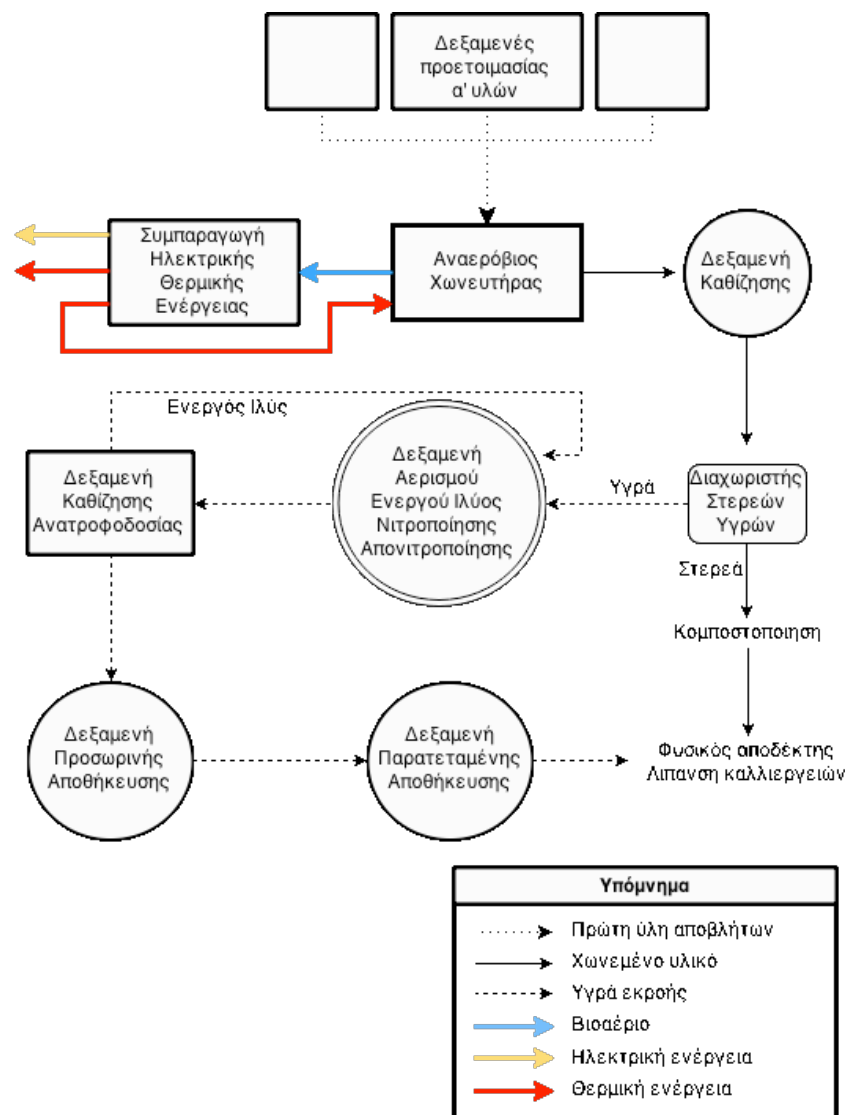
II. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΕΚΡΟΗΣ ΣΤΑ ΜΕΓΑΡΑ ΑΤΤΙΚΗΣ

Η υπό εξέταση μονάδα παραγωγής βιοαερίου από αναερόβια χώνευση πτηνοκτηνοτροφικών αποβλήτων και γεωργικών βιομηχανιών, βρίσκεται στη βιομηχανική περιοχή Μεγάρων Αττικής. Αποτελεί μια πρότυπη εγκατάσταση παραγωγής και εκμετάλευσης βιοαερίου, για οικονομικούς σκοπούς και συγκεκριμένα για πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στο δίκτυο της ΔΕΗ, καθώς και της παραγόμενης θερμικής ενέργειας σε κοντινές βιομηχανίες και πτηνοκτηνοτροφικές μονάδες. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή της, καθώς και η τεχνολογία που εφαρμόζεται, ακολουθεί τα Γερμανικά πρότυπα και προδιαγραφές για τη παραγωγή βιοαερίου. Επίσης υπάρχει σχεδιασμός διαχείρισης των υγρών εκροής του αναερόβιου χωνευτήρα, προσαρμοσμένος στις ανάγκες της συγκεκριμένης μονάδας. Η εγκατεστημένη ισχύ ηλεκτροπαραγωγής είναι 0.5 MW. Ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή των εγκαταστάσεων της συγκεκριμένης μονάδας, τις οποίες παρατηρούμε και σχηματικά, στο παρακάτω διάγραμμα ροής (εικόνα 1.1).

Οι κύριες εγκαταστάσεις της μονάδας βιοαερίου που αναλύονται στα παρακάτω κεφάλαια είναι οι κάτωθι:

- Δεξαμενές προετοιμασίας υγρών αποβλήτων τροφοδοσίας
- Αναερόβιος χωνευτήρας (Digester)
- Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘ)
- Δεξαμενή υποδοχής υγρών εκροής
- Διαχωριστή στερεών – υγρών
- Δεξαμενή αερόβιας επεξεργασίας υγρών εκροής
- Δεξαμενή καθίζησης, επανακυκλοφορίας ιλύος
- Δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης
- Δεξαμενή παρατεταμένης αποθήκευσης
- Δωμάτιο ελέγχου



Εικόνα 1.1. Σχηματική αναπαράσταση των εγκαταστάσεων της μονάδας παραγωγής βιοαερίου και διαχείρισης των υγρών εκροής σε διάγραμμα ροής

1.1. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Οι δεξαμενές συλλογής και ανάμιξης της πρώτης ύλης είναι ανοιχτού τύπου από οπλισμένο σκυρόδεμα και απαρτίζονται από δυο δεξαμενές 250 m³ και μια 500 m³ μέσα στις οποίες πραγματοποιείται ανάδευση με μηχανικούς αναδευτήρες τύπου βυθιζόμενης προπέλας για ομογενοποίηση των αποβλήτων πριν την άντληση των τελευταίων προς τον αναερόβιο χωνευτήρα. Ο λόγος ύπαρξης τριών ξεχωριστών δεξαμενών έγκειται στο γεγονός της διαφορετικής ποσότητας άντλησης, ανάλογα με τη προέλευση των αποβλήτων. Με αυτό το τρόπο δίνεται η δυνατότητα στο διαχειριστή της μονάδας, να επιλέγει τις αναλογίες του μίγματος των αποβλήτων τροφοδοσίας με σχετική ακρίβεια.

Όγκοι δεξαμενών

1^η 250 m³

2^η 500 m³

3^η 250 m³

Λειτουργικά χαρακτηριστικά υποβρύχιων αναμικτήρων

τύπος: βυθιζόμενης προπέλας

ισχύς κινητήρα: 7.5 kW



Εικόνα 1.1.1. Δεξαμενές προετοιμασίας υγρών αποβλήτων

1.2. ΑΝΑΕΡΟΒΙΟΣ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑΣ (Digester)

Ο αναερόβιος χωνευτήρας είναι μια αεροστεγής δεξαμενή κυκλικής διατομής, μέσα στην οποία γίνεται η αναερόβια αποδόμηση του οργανικού κλάσματος των αποβλήτων και η παραγωγή του βιοαερίου με τη βοήθεια συγκεκριμένων μικροοργανισμών. Είναι κατακόρυφου τύπου και κυκλικής διατομής κατασκευασμένος από χάλυβα και επενδυμένος με μονωτικά υλικά για την ελάττωση των απωλειών θερμότητας, καθώς πρέπει να διατηρεί τη θερμοκρασία των αποβλήτων περίπου στους 38 °C. Συνολικά η δεξαμενή του χωνευτήρα καλύπτεται με μία αεροστεγή μεμβράνη, η οποία διογκώνεται από το παραγόμενο βιοαέριο. Λόγω της ύπαρξης της μεμβράνης για τη συλλογή του παραγόμενου βιοαερίου και της ανάγκης αυτή να βρίσκεται πάντα διογκωμένη, είναι εγκατεστημένο αυτόματο σύστημα πλήρωσης με οξυγόνο, όταν η υποπίεση εσωτερικά της μεμβράνης μειωθεί κάτω από το επιθυμητό. Για λόγους ασφαλείας η περιεκτικότητα σε οξυγόνο δεν υπερβαίνει ποτέ το 2% κατ'όγκο, λόγω του εύφλεκτου μίγματος που δημιουργεί το οξυγόνο με το μεθάνιο. Ο χωνευτήρας είναι εξοπλισμένος με μηχανικό σύστημα ανάδευσης, το οποίο αποτελείται από δύο μεγάλου άξονα αναδευτήρες 17 kW ο καθένας, καθώς και τρεις κοντού άξονα 11 kW ο καθένας. Οι αναδευτήρες βοηθούν στη μίξη και ομογενοποίηση του υποστρώματος ώστε να εξασφαλίζεται η όσο το δυνατόν πιο ομοιογενής θερμοκρασιακή κατανομή και συντελούν στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων σχηματισμού επιπλέοντων στρωμάτων και ιζηματογένεσης. Επίσης διαθέτει σύστημα για τη διατήρηση του υποστρώματος στην επιθυμητή θερμοκρασία, χρησιμοποιώντας την θερμική ενέργεια που παράγεται από την μονάδα ΣΗΘ. Τέλος είναι τύπου συνεχούς τροφοδοσίας, όπου ίσες ποσότητες αποβλήτων αντλούνται μέσα και έξω από αυτόν, μέσω αλληλουχιών ακριβείας των αντλιών.



Εικόνα 1.2.1. Αναερόβιος χωνευτήρας

Διαστάσεις αναερόβιου χωνευτήρα

διάμετρος: 28 m

ύψος: 6 m

Συνολικός όγκος: 3993 m³

Ωφέλιμος όγκος: 3500 m³

Λειτουργικά χαρακτηριστικά υποβρύχιων αναμικτήρων

2x τύπος: βυθιζόμενης προπέλας μακριού άξονα

ισχύς κινητήρα: 17 kW

3x τύπος: βυθιζόμενης προπέλας κοντού άξονα

ισχύς κινητήρα: 11 kW

ΙΣΧΥΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ	0.5MW _e (500kW _e)
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΜΕΘΑΝΙΟΥ	10 kWh/Nm ³ CH ₄ [20°C & 1 atm]
ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	10 x 0.407 = 4.07 kWh _e /Nm ³ CH ₄
ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	10 x 0.415 = 4.15 kWh _{th} /Nm ³ CH ₄
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΜΕΘΑΝΙΟΥ	500 kW _e / 4.07 kW _e / (Nm ³ /h) = 122.8 Nm³ CH₄/h ή 122 x 24 = 2,948 Nm³ CH₄/ημέρα ή 2,948 x 350 = 1,031,800 Nm³ CH₄/έτος
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	4.15 kWh _{th} /Nm ³ CH ₄ x 1,031,800 Nm ³ /έτος/1.000 = 4,282 MWh_{th}/έτος
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	4.07 kWh _e /Nm ³ CH ₄ x 1,031,800 Nm ³ CH ₄ /έτος/1.000 = 4,200 MWh_e/έτος

Πίνακας 1.2.1. Ενεργειακό περιεχόμενο μεθανίου και παράμετροι παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας

1.3. ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΣΗΘ)

Η μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘ) έχει εγκατεστημένη ισχύ ηλεκτροπαραγωγής 0.5 MW. Η καύση του βιοαερίου και μετατροπή του σε ηλεκτρική γίνεται από μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) που συνδέονται με ηλεκτρογεννήτρια η οποία διατηρεί σταθερή ταχύτητα (1500 στροφές/λεπτό) προκειμένου να είναι συμβατή με τη συχνότητα του δικτύου. Παράλληλα με την ηλεκτροπαραγωγή η μονάδα ΣΗΘ παράγει και θερμότητα. Αυτό γίνεται με την εκμετάλλευση όλης της απορριπτόμενης θερμότητας από τις ΜΕΚ. Οι πηγές απορριπτόμενης θερμότητας είναι το intercooler, το κύκλωμα λαδιού, το κύκλωμα ψύξης της μηχανής και τα καυσαέρια. Σε κάθε μια από αυτές τις πηγές είναι εγκατεστημένος ένας εναλλάκτης απ' όπου περνάει νερό. Το νερό θερμαίνεται απάγοντας την απορριπτόμενη θερμότητα και ψύχοντας τα διάφορα μέρη της μηχανής. Η αποδοτικότητα της μονάδας είναι 92% και παράγει 40.7% ηλεκτρική ενέργεια και 41.5% θερμική ενέργεια. Το σύστημα ΣΗΘ είναι εγκατεστημένο μέσα σε τυπικό εμπορευματοκιβώτιο (container) και διαθέτει σύστημα καθαρισμού του βιοαερίου με ενεργό άνθρακα για την προστασία του όλου μηχανολογικού εξοπλισμού από τη διάβρωση.

Το παραγόμενο ρεύμα διατίθεται στο δίκτυο της ΔΕΗ μέσω ενός υποσταθμού ανύψωσης τάσης. Η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται κυρίως για να καλύψει τις θερμικές ανάγκες της μονάδας βιοαερίου (θέρμανση χωνευτή). Σε πρώτο στάδιο η περίσσεια θερμότητας απορρίπτεται στο περιβάλλον μέσω αερόψυκτων ψυκτών. Σε δεύτερο στάδιο του έργου θα αναζητηθούν τρόποι εκμετάλλευσής της είτε για ίδια χρήση είτε για πώληση.



Εικόνα 1.3.1. Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας

1.4. ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΕΚΡΟΗΣ (Κ.Δ.Σ.)

Η Κεντρική Δεξαμενή Συλλογής, Φυσικής Καθίζησης είναι ανοιχτού τύπου, κυκλικής διατομής, Εδώ συγκεντρώνεται το χωνεμένο υπόλειμμα που αντλείται έξω τον αναερόβιο χωνευτήρα. Τα υγρά εκροής παραμένουν σε ηρεμία, υποκείμενα σε φυσική καθίζηση τουλάχιστο μιας ώρας και στη συνέχεια θα αντλούνται για χρησιμοποίηση ως ανακυκλούμενα υγρά για την αραίωση πυκνών αΰλων. Τα υπόλοιπα υγρά εκροής θα ομογενοποιούνται και μια ποσότητα θα αντλείται προς τον μηχανικό διαχωριστή, τύπου κοχλία συμπίεσης (FAN separator). Η ομογενοποίηση θα διενεργείται με σύστημα δύο βυθιζόμενων προπελών ισχύος 7.5 kW η κάθε μία.

Διαστάσεις δεξαμενής

διάμετρος: 20 m

ύψος: 2.5 m

όγκος: 785 m³

Λειτουργικά χαρακτηριστικά υποβρύχιων αναμικτήρων

τύπος: βυθιζόμενων προπελών

ισχύς κινητήρα: 7.5 kW

1.5. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗΣ

Ο μηχανικός διαχωριστής, τύπου κοχλία συμπίεσης, 3^{ης} γενιάς, δέχεται το χωνεμένο υπόλειμμα από τη Κεντρική Δεξαμενή Συλλογής και το διαχωρίζει, σε ένα στερεό μέρος εμπλουτισμένο με συγκεντρωμένο άνθρακα και φώσφορο και σε ένα υγρό μέρος πλούσιο σε άζωτο.

Τα προκύπτοντα στερεά Δ/Χ, θα οδηγούνται στους κομποστοσωρούς. Τα υγρά Δ/Χ, θα καταλήγουν στις εγκαταστάσεις μονοβάθμιας αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας τους. Η ελάττωση του φορτίου BOD₅ στον διαχωριστή θα είναι της τάξης του 50%. Η εγκατάσταση του ως άνω μηχανικού διαχωριστή είναι στεγασμένη για λόγους οσμής και θορύβου.

1.6. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΑΣ ΑΕΡΟΒΙΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ & ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ-ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η δεξαμενή αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας των υγρών Δ/Χ είναι ανοιχτού τύπου, κυκλικής διατομής και εξοπλισμένη στο δάπεδο της με σύστημα αερισμού διάχυσης αέρα (λεπτής φυσαλίδας). Η διαδικασία που συντελείται εδώ είναι η αερόβια επεξεργασία των υγρών Δ/Χ για μείωση του οργανικού φορτίου και νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου.

Η δεξαμενή χωρίζεται σε δύο θαλάμους με την κατασκευή διαχωριστικού τοιχίου κατά μήκος στο 1/3 της δεξαμενής. Οι δύο θάλαμοι επικοινωνούν μέσω υπερχειλίσης και υποβρύχιου ανοίγματος στο τελευταίο τμήμα του διαχωριστικού τοιχίου. Έτσι εξασφαλίζεται η εμβολοειδής ροή των υγρών Δ/Χ για αύξηση της απόδοσης. Επικρατούν συνθήκες ανάδευσης μέσω υποβρύχιων αναμικτήρων. Στην είσοδο της δεξαμενής, εκτός από τα υγρά Δ/Χ, εισέρχεται και ποσότητα ιλύς που ανακυκλοφορεί από την δεξαμενή καθίζησης-ανατροφοδότησης.



Εικόνα 1.6.1. Δεξαμενή αερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων και νιτροποίησης – απονιτροποίησης

Διαστάσεις δεξαμενής αερισμού

διάμετρος: 12m

ύψος: 2.5m

όγκος: 300 m³

Φυσητήρες δεξαμενής αερισμού

τύπος: διαχυτήρες λεπτής φυσαλίδας

ισχύς κινητήρα: 30kW

1.7. ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΙΛΥΟΣ

Η δεξαμενή είναι ανοιχτού τύπου και τετράγωνης διατομής. Ο ρόλος της είναι συμπληρωματικός στη διαδικασία αερόβιας επεξεργασίας. Είναι ειδικά σχεδιασμένη ώστε να δέχεται τα υγρά εξόδου της αερόβιας δεξαμενής με φυσική ροή μέσω αγωγού και να επιστρέφει μέσω άντλησης, ένα ποσοστό της ενεργούς ιλύς που διαφεύγει με τα υγρά εξόδου, πίσω στην αερόβια δεξαμενή. Συγκεκριμένα, διαθέτει σχεδιασμό πυθμένα κωνικής μορφής, στον οποίο είναι τοποθετημένες δυο υποβρύχιες αντλίες ακαθάρτων, οι οποίες αντλούν την καθιζάνουσα ενεργό ιλύ έξω από αυτήν και μέσα στην αερόβια δεξαμενή, ώστε να διατηρείται η αναγκαία συγκέντρωση ενεργού ιλύος, μέσα στην τελευταία.

Λειτουργικά χαρακτηριστικά υποβρύχιων αντλίων

τύπος: υποβρύχιος ακαθάρτων

ισχύς κινητήρα: 4.5 kW

1.8. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Η δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης είναι ανοιχτού τύπου και κυκλικής διατομής. Κύριος σκοπός της είναι η προσωρινή αποθήκευση των υγρών εξόδου μετά την αερόβια επεξεργασία τους. Κατά την παραμονή των τελευταίων σε αυτή πραγματοποιείται περαιτέρω μείωση του οργανικού φορτίου τους, λόγω των αναερόβιων συνθηκών που επικρατούν κάτω από την επιφάνεια της. Η διοχέτευση των υγρών εισόδου της πραγματοποιείται με φυσική ροή, με υπερχειλίση της προηγούμενης δεξαμενής και μέσω αγωγού που τις συνδέει.

Διαστάσεις δεξαμενής

διάμετρος: 14m

ύψος: 2.5m

όγκος: 385 m³

Η δεξαμενή παρατεταμένης αποθήκευσης χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των τελικών υγρών επεξεργασίας μετά από την προσωρινή τους παραμονή στη προηγούμενη δεξαμενή. Σκοπός της είναι η αποθήκευση των τελικών υγρών μέχρι την παραλαβή τους από βυτιοφόρα φορτηγά και τη διάθεση τους σε κάποιο φυσικό αποδέκτη ή τη λίπανση καλλιεργειών. Επειδή, η διάθεση των τελικών

επεξεργασμένων υγρών πραγματοποιείται υπό προϋποθέσεις και δεν καθίσταται δυνατή όλες της μέρες του χρόνου.

Διαστάσεις δεξαμενής
όγκος: 1600 m³

1.9. ΔΩΜΑΤΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ

Το δωμάτιο ελέγχου αποτελείται από ένα κλειστό χώρο στον οποίο είναι εγκατεστημένη η κεντρική μονάδα ελέγχου, η οποία καταγράφει, αναλύει και ελέγχει όλες τις επί μέρους λειτουργίες της μονάδας, όπως οι συνθήκες λειτουργίας των δεξαμενών, ο έλεγχος του αντλιοστασίου για τροφοδοσία του αναερόβιου χωνευτήρα, οι μηχανικοί αναδευτήρες, η παραγωγή βιοαερίου κλπ. Το σύστημα ελέγχου είναι πλήρως αυτοματοποιημένο και άμεσα ελεγχόμενο καθώς και από απόσταση, μέσω Η/Υ.

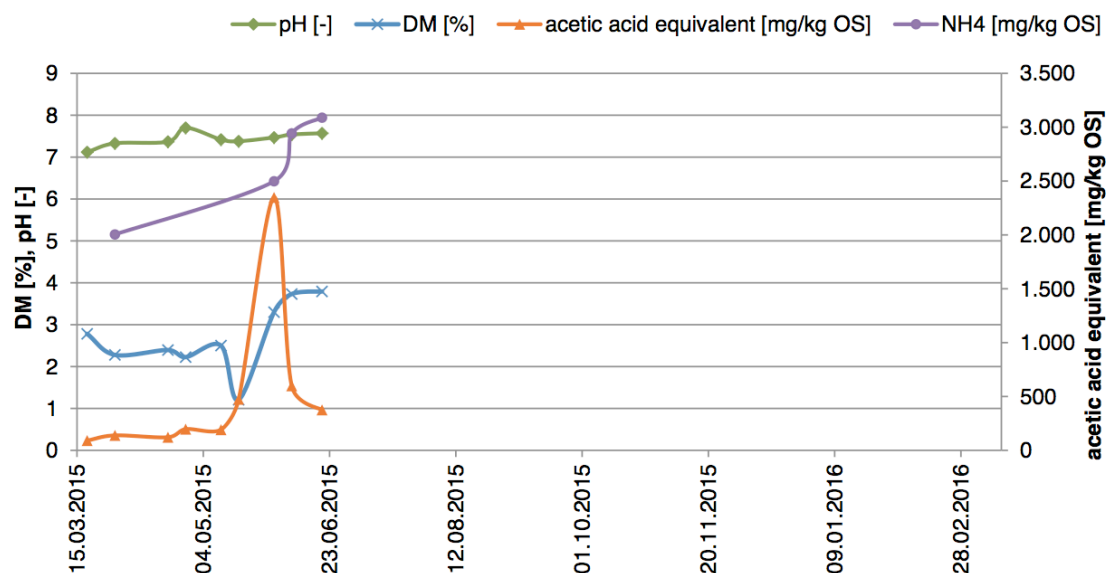
2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η μονάδα βιοαερίου που εξετάζεται στη παρούσα εργασία, ξεκίνησε την λειτουργία της το μήνα Μάρτιο του έτους 2015. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας εκκίνησης της μονάδας, η οποία ήταν 3 μήνες σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα της κατασκευάστριας εταιρείας, πραγματοποιήθηκε επίβλεψη της συγκεκριμένης διαδικασίας εκκίνησης της μονάδας από το εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών του Γ.Π.Α. και υπό την καθοδήγηση του ομότιμου καθηγητή Δημήτριου Γεωργακάκη. Τα στοιχεία της παρακολούθησης που διενεργήθηκε παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Ανάλυση εξερχομένων χωνευτήρα						
Ημερομηνία δείγματος	19-Mar	7-Apr	20-Apr	2-Jun	12-Jun	24-Jun
Ξηρά ουσία (wt% OS)	2.8	2.3	-	3.3	3.7	3.8
Οργανική ξηρά ουσία (wt% DM)	-	62.2	-	-	-	-
pH	7.1	7.3	7.4	7.5	7.5	7.6
NH ₄ (mg/kg OS)	-	2005	-	-	2942	3089
Ισοδύναμο οξικού οξέος (mg/kg OS)	91	139	122	2348	599	376

Πίνακας 2.1. Δεδομένα ανάλυσης των εξερχομένων χωνευτήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας εκκίνησης

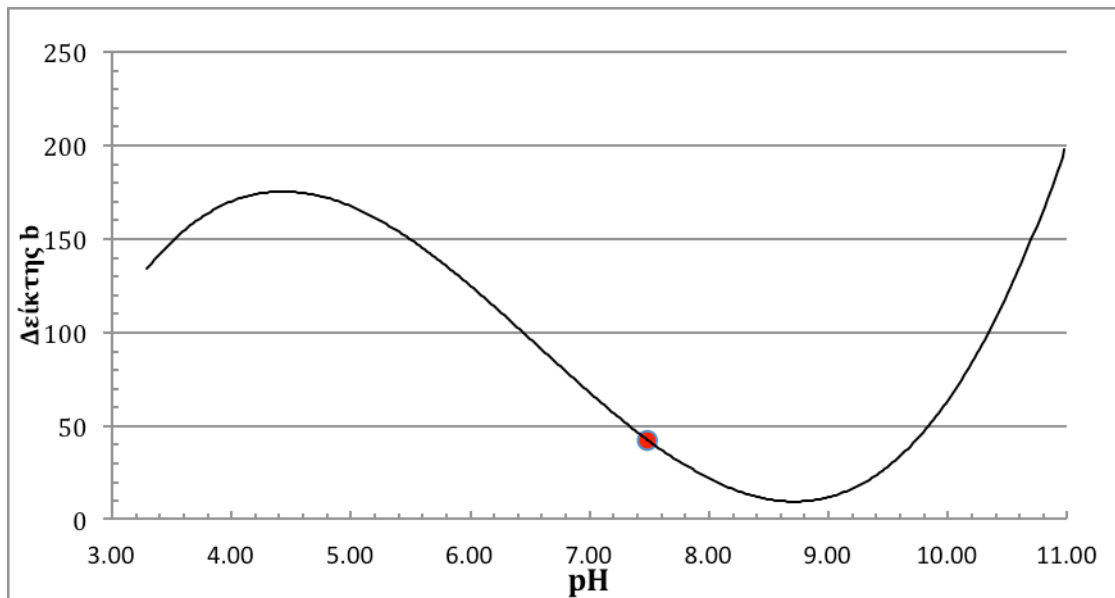
Στον πίνακα 2.1. παρουσιάζονται τα δεδομένα αναλύσεων που πραγματοποιεί η εταιρεία, για τα εξερχόμενα απόβλητα του χωνευτήρα, κατά τη διάρκεια εκκίνησης της μονάδας. Η διαδικασία εκκίνησης έχει ως σκοπό τη προσαρμογή του συστήματος μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία και σταθεροποίηση των εξεταζόμενων παραμέτρων.



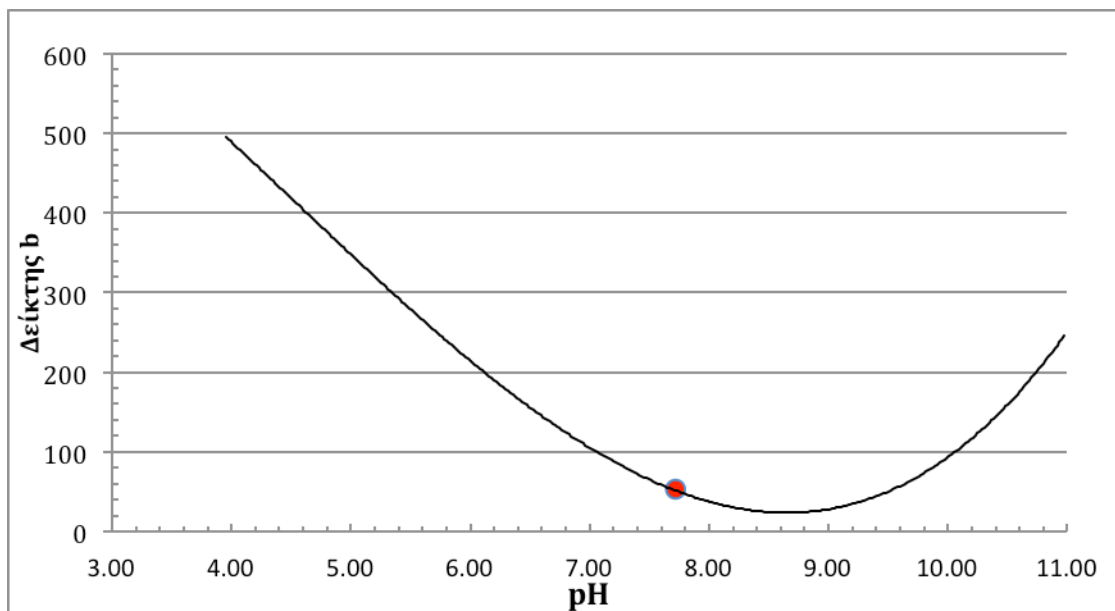
Διάγραμμα 2.1. Δεδομένα ανάλυσης των εξερχομένων χωνευτήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας εκκίνησης

Στο διάγραμμα 2.1. παρατηρείται ότι κατά τη χρονική διάρκεια που πραγματοποιήθηκε η λειτουργία εκκίνησης της μονάδας όλες οι παράμετροι διατηρούσαν αρχικά μια ισορροπία με μικρή αυξητική τάση. Έντονη διαφοροποίηση παρατηρείται στις ανάλυσης (2-Jun) όπου υπήρξε απότομη αύξηση των οξέων η οποία στη συνέχεια υποχώρησε και ισορρόπησε στα προηγούμενα επίπεδα, ενώ αντίστοιχα τα επίπεδα αμμωνίας NH_4 έδειξαν απότομη αύξηση χωρίς να υποχωρούν στα προηγούμενα επίπεδα.

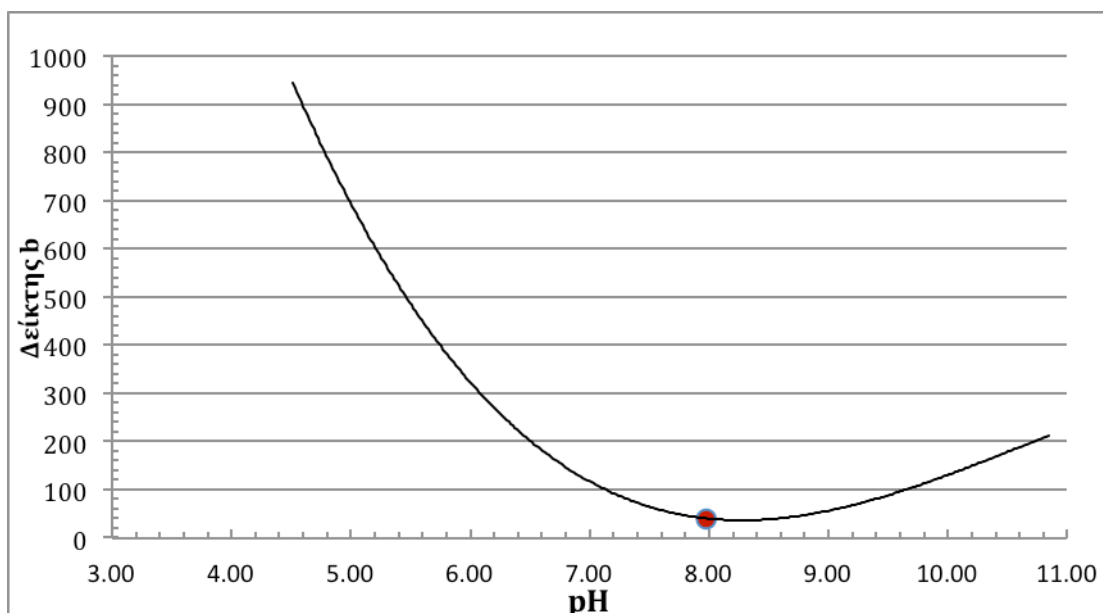
Επίσης κατά τη διάρκεια παρακολούθησης έγιναν αναλύσεις των εξερχομένων του χωνευτήρα όσον αφορά το δείκτη ρυθμιστικής ικανότητας b, ως μέσο πρόβλεψης της καλής ή κακής πορείας της αναερόβιας χώνευσης. Ακολουθούν τα διαγράμματα 2.2, 2.3 και 2.4 στα οποία παρατηρείται η σταθερή βελτίωση τους, γεγονός που επαληθεύει την ισχυροποίηση του συστήματος.



Διάγραμμα 2.2. Δείκτης ρυθμιστικής ικανότητας b με ημερομηνία ανάλυσης δείγματος 22/04/2015



Διάγραμμα 2.3. Δείκτης ρυθμιστικής ικανότητας b με ημερομηνία ανάλυσης δείγματος 02/06/2015



Διάγραμμα 2.4. Δείκτης ρυθμιστικής ικανότητας b με ημερομηνία ανάλυσης δείγματος 04/07/2015

Στον πίνακα 2.1. παρατηρείται η σταθερή αύξηση των αποβλήτων τροφοδοσίας, κατά τη διάρκεια εκκίνησης του χωνευτήρα σε t/d μέχρι το σημείο των 81 t/d το οποίο είναι και το τελικό. Σε αυτό το τελικό στάδιο οι μετρήσεις παραγωγής βιοαερίου δείχνουν 64 m³/h δηλαδή μια ημερήσια παραγωγή περίπου 1500 m³ βιοαερίου, με το ποσοστό του μεθανίου CH₄ να ανέρχεται στο 63% επί του βιοαερίου. Τέλος παρατηρείται ότι σε αυτή την τελική φάση ο μέσος όρος ηλεκτρικής ισχύος είναι 200 kW, ενώ ο επιθυμητός στόχος είναι 500 kW.

Τροφοδοσία αποβλήτων					
Ημερομηνία	22-Apr	2-Jun	24-Jun	4-Jul	15-Jul
Κοπριά κότας (t/d)	6	18	15	18	14
Κοπριά κουνελιού (t/d)	2	2	3	8	10
Υγρή κοπριά αγελάδας (t/d)	20	15	18	18	12
Ελαιοπυρηνόλημα (t/d)	1	5	10	12	17
Νερό/Ανακυκλούμενα Α.Χ. (t/d)	-	20	20	20	20
ΣΥΝΟΛΟ (t/d)	29	60	66	76	73
				Παραγωγή βιοαερίου (m ³ /h)	65
				Μεθάνιο CH ₄ (%)	62
				Υδροθείο H ₂ S (%)	17.3
				Οξυγόνο O ₂ (%)	0.5
				Ηλεκτρική ισχύς (kW)	240

Πίνακας 2.1. Δεδομένα τροφοδοσίας των εισερχόμενων αποβλήτων στο χωνευτήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας εκκίνησης και δεδομένα παραγωγής βιοαερίου και ηλεκτρικής ισχύος.

Στον πίνακα 2.2. παρουσιάζονται τα δεδομένα όλων των ειδών αποβλήτων που χρησιμοποιούνται στη μονάδα σύμφωνα με τη κατασκευάστρια εταιρεία.

		Κοπριά κότας	Κοπριά κουνελιού	Κοπριά αγελάδας	Ελαιοπυρηνόλυμα	Νερό
Biogas	[m ³ /t οTS]	500.0	410.0	345.0	642.0	0.0
CH ₄	[%]	65.0	60.0	60.0	62.0	0.0
N-content	[g/kg]	14.2	9.0	3.2	3.4	0.0
TS	[%]	25.0	15.0	7.0	32.0	0.0
οTS/TS	[%]	75.0	81.1	80.0	93.7	0.0
οTS reduction	[%]	50.8	43.9	36.9	67.3	0.0
CH ₄	[m ³ /t]	60.9	29.9	11.6	119.3	0.0
οTS	[%]	18.8	12.2	5.6	30.0	0.0
Biogas	[m ³ /t]	93.8	49.9	19.3	192.5	0.0
V post digest.	[%]	89.0	94.0	98.0	76.0	100.0
TS post digest.	[%]	17.5	10.3	5.1	15.5	0.0

Πίνακας 2.2. Δεδομένα της κατασκευάστριας εταιρείας για κάθε είδος αποβλήτων που χρησιμοποιείται στη μονάδα.

III. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Στο Εργαστήριο Διαχείρισης Αποβλήτων του τμήματος Γεωργικών Κατασκευών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών διεξήχθησαν οι πειραματικές διαδικασίες παραγωγής βιοαερίου από απόβλητα πτηνοτροφικών, κτηνοτροφικών και τυροκομικών εγκαταστάσεων, καθώς και απόβλητα διφασικών ελαιοτριβείων. Για την πραγματοποίησή τους χρησιμοποιήθηκαν 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 κάθε αντιδραστήρας διέθετε δύο υποδοχές, μια εισόδου των αποβλήτων και μια εξόδου του χωνεμένου υπολείμματος. Η είσοδος βρισκόταν στο ανώτερο τμήμα του χωνευτήρα ενώ η έξοδος 10cm πιο πάνω από το κατώτερο επίπεδο του χωνευτήρα. Και οι δύο υποδοχές διέθεταν ειδική βάνα ώστε να εξασφαλίζεται η αεροστεγής σφράγιση τους. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας λήψης εξερχομένων υγρών και τροφοδοσίας με εισερχόμενα υγρά στον χωνευτήρα γίνονταν 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 των πειραμάτων 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 η οποία προσέφερε την απαραίτητη θερμότητα, ενώ στο μέσο ύψος του χωνευτήρα υπήρχε θερμοστάτης, ο οποίος έλεγχε την εσωτερική θερμοκρασία του χωνευτήρα μέσω αισθητήρα. Ο θερμοστάτης ενεργοποιούσε την εστία όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του χωνευτήρα μειωνόταν κάτω από τα επιτρεπτά όρια (35 °C) και την απενεργοποιούσε όταν 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 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 Πειραμάτων

2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων 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 & ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η μέτρηση του pH της θερμοκρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα εισερχόμενα και εξερχόμενα υγρά απόβλητα του αναερόβιου χωνευτήρα γινόταν ανά 48 ώρες. Η μέτρηση του pH γινόταν 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. Για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας χρησιμοποιούταν συσκευή μέτρησης αγωγιμότητας με ηλεκτρονικό αισθητήριο αγωγιμότητας.



Εικόνα 2.1. Πεχάμετρο και Αγωγιμόμετρο Εργαστηρίου

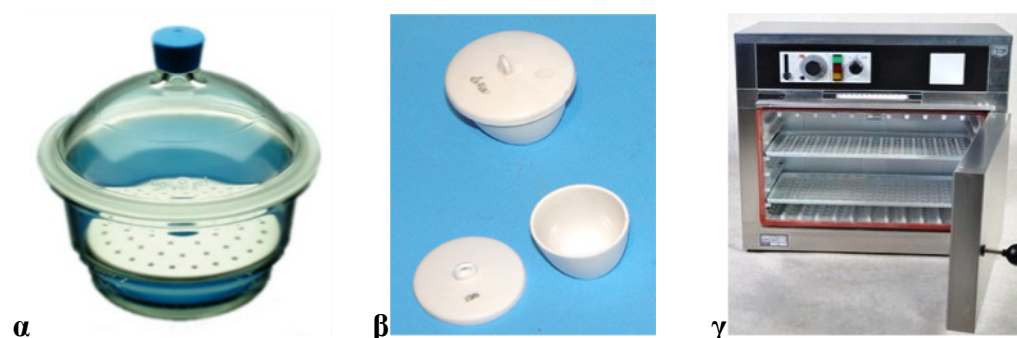
Ολικά Στερεά (% κ.β.)

Για τον υπολογισμό του ποσοστού των ολικών στερεών (Ο.Σ.) των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν κάμες πορσελάνης. Αρχικά οι κάμες προθερμαίνονταν στους 105 °C, ζυγίζονταν άδειες, και εν συνεχεία προστίθενται μέσα σε αυτές το δείγμα των υγρών περίπου 5ml και ζυγίζονταν ξανά. Τοποθετούνταν σε φούρνο ξήρανσης

Memmert (Type U15) ακριβείας $\pm 0,1$ mgr για 24 ώρες σε θερμοκρασία 103 – 105 °C. Στη συνέχεια 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.%_{κ.β.}) σύμφωνα με τον τύπο:

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



Εικόνα 2.2: α. γυάλινος κλίβανος, β. κάψα πορσελάνης, γ. φούρνος ξήρανσης.

Πτητικά Στερεά (%Ο.Σ.) (% κ.β.)

Για τον υπολογισμό του ποσοστού των πτητικών στερεών, οι κάψες με το ξηρό δείγμα μετά τον υπολογισμό των ολικών στερεών τοποθετούνται σε αποτεφρωτήρα (εικόνα 2.3) 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 στην ζυγαριά ακριβείας και με τις προκύπτουσες τιμές προσδιορίζεται το ποσοστό επί τοις εκατό των πτητικών στερεών ως προς το σύνολο των ολικών στερεών (Π.Σ.%_{Ο.Σ.}) σύμφωνα με τον τύπο:

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

Ακολούθως υπολογίζεται και το ποσοστό επί τοις εκατό των πτητικών στερεών κατά βάρος αποβλήτων (Π.Σ.%_{κ.β.}) με τον τύπο:

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



Εικόνα 2.3: Αποτεφρωτήρας Thermolyne Sybron (type 1400 furnace).

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 στο βιοαέριο (65-80%). Επειδή 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 συριγγών 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 CO₂. 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. Γνωρίζοντας τα σημεία των μετατοπίσεων πάνω στις σύριγγες, υπολογιζόταν ο λόγος μεταξύ τους από τον οποίο προέκυπτε το ποσοστό του μεθανίου.

$$\text{Μεθάνιο}(\% \text{βιοαερίου}) = \frac{\text{Ογκος A}}{\text{Ογκος B}} * 100$$



Εικόνα 2.4. Μέθοδος Μέτρησης Ποσοστού Μεθανίου

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε, για τη διεξαγωγή των πειραμάτων προσδιορισμού της μέγιστης παραγωγής βιοαερίου, από μίγματα αποβλήτων πτηνοκτηνοτροφικών μονάδων και γεωργικών βιομηχανιών παρουσίαζε κοινή δομή σε

όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, συμπεριλαμβανομένης και αυτής που μελετήθηκε από τους Δ. Τασσόπουλο και Π. Κούτσουρη.

Η διεξαγωγή του πειράματος του Δ. Τασσόπουλου και Π. Κούτσουρη, με απόβλητα υγρών διαχωρισμού βουστασίου και τυρογάλακτος, καθώς και των πειραμάτων για τα υπόλοιπα μίγματα αποβλήτων που χρησιμοποιούνται στη παρούσα εργασία, αφορούσαν τη μεσόφιλη περιοχή χώνευσης (θερμοκρασία 35 °C) και χρησιμοποιούσαν δύο έως πέντε χωνευτήρες, ωφέλιμου όγκου 19L ο καθένας. Ένας χωνευτήρας λειτουργούσε μόνο ως μάρτυρας ενώ οι άλλοι περιελάμβαναν το υπό εξέταση μίγμα των αποβλήτων.

Η τροφοδότηση του πρώτου αντιδραστήρα - μάρτυρα γινόταν αποκλειστικά με πτηνοτροφικά ή κτηνοτροφικά απόβλητα αραιωμένα με νερό καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Αντίθετα οι υπόλοιποι χωνευτήρες τροφοδοτούνταν με μίγμα πτηνοκτηνοτροφικών αποβλήτων και τυρογάλακτος ή απόβλητα διφασικού ελαιοτριβείου.

Σε κάθε χωνευτήρα αντιστοιχούσε ένας συγκεκριμένος χρόνος παραμονής των αποβλήτων σε ημέρες (π.χ: 10, 16, 21, 25, 32) και για κάθε χρόνο παραμονής δοκιμάζονταν διάφορες αναλογίες μίγματος των πτητικών στερεών των αποβλήτων (π.χ: 0/1, 3/1, 6/1, 9/1).

Η τροφοδότηση του κάθε χωνευτήρα με απόβλητα γινόταν ανά 48 ώρες ενώ είχε προηγηθεί αφαίρεση αντίστοιχης ποσότητας χωνεμένου υπολείμματος. Επίσης κάθε φορά προστίθεται 50mL 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.

Πριν την έναρξη εφαρμογής μίγματος αποβλήτων προηγήθηκε ένα στάδιο διάρκειας περίπου δύο μηνών, κατά το οποίο όλοι οι χωνευτήρες τροφοδοτούνταν μόνο με πτηνοτροφικά ή κτηνοτροφικά απόβλητα. Αυτό το στάδιο αποτελούσε μια φάση προσαρμογής του συστήματος μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία και σταθεροποίηση των εξεταζόμενων παραμέτρων (pH, παραγωγή βιοαερίου). Ο λόγος χρησιμοποίησης των εν λόγω αποβλήτων σε αυτό το στάδιο είναι η πλούσια

περιεκτικότητα τους στον απαραίτητο μικροβιακό πληθυσμό, αλλά και η ασφαλή τιμή του pH τους.

Στο επόμενο στάδιο το είδος και η ποσότητα των υγρών εισόδου στους χωνευτήρες διαφοροποιούνταν. Οι ποσότητες τροφοδοσίας διαμορφώνονταν με βάση το χρόνο παραμονής του κάθε χωνευτήρα και τη συνολική χωρητικότητα του. Κάθε χωνευτήρας τροφοδοτούταν με διαφορετική ποσότητα αποβλήτων τροφοδοσίας λόγω του διαφορετικού χρόνου παραμονής στο καθέναν. Επίσης η ποσότητα τροφοδοσίας αποτελούταν από δυο διαφορετικά απόβλητα με συγκεκριμένη αναλογία μεταξύ τους. Στη πρώτη φάση όπως αναφέρεται και πιο πάνω η αναλογία ήταν μηδενική και οι χωνευτήρες τροφοδοτούνταν μόνο με ένα είδος αποβλήτων. Εν συνεχεία η αναλογία γινόταν 1/2 με τη μισή ποσότητα τροφοδοσίας να αποτελείται από πτηνοκτηνοτροφικά απόβλητα. 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. Στη συνέχεια η αναλογία του μίγματος αποβλήτων αυξανόταν σταδιακά με τα πτηνοκτηνοτροφικά απόβλητα να αποτελούν τη μικρότερη αναλογία. Κάθε φάση με διαφορετική αναλογία μίγματος διαρκούσε έως ότου η παραγωγή βιοαερίου σταθεροποιούνταν και το pH των υγρών εξόδου δεν παρουσίαζε μεγάλες διακυμάνσεις. Η διάρκεια κάθε φάσης δεν ήταν ποτέ μικρότερη από το χρόνο παραμονής του χωνευτήρα. Στο τέλος κάθε φάσης λαμβάνονταν πιο συστηματικά (τρεις επαναλήψεις) οι μετρήσεις όλων των παραμέτρων, υπολογίζονταν τα Ο.Σ. και Π.Σ. των υγρών εξόδου καθώς και το ποσοστό του μεθανίου στο βιοαέριο.

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών μελετήθηκε στην τετραετία 2011-14, η παραγωγή βιοαερίου από διάφορα μίγματα α' υλών, με σκοπό τον προσδιορισμό του συνδυασμού των τιμών της ογκομετρικής οργανικής φόρτισης (ΟΟΦ) και του λόγου ΠΣ (ΧΛ) για τον οποίο προκύπτει ο οικονομικότερος συνδυασμός παραγωγής βιοαερίου/μεθανίου και απομένουστος οργανικού φορτίου (ΠΣ) στα υγρά εξόδου του αναερόβιου χωνευτήρα (ΑΧ). Τα μίγματα που μελετήθηκαν είχαν χαρακτηριστικά πυκνών, ημί-πυκνών και αραιών αποβλήτων (περίπτωσης Α', Β' και Γ'). Η περίπτωση Γ' η οποία αφορά αραιά απόβλητα βουστασίου και τυροκομείου μελετήθηκε εργαστηριακά, από τον Δ. Τασσόπουλο και τον Π. Κούτσουρη και τα αποτελέσματα αυτής παρουσιάζονται παρακάτω καθώς και τα αποτελέσματα των υπόλοιπων πειραμάτων (περίπτωση Α' και Β'). Τέλος η παρούσα μελέτη

ολοκληρώνει μια πολυετή πειραματική διαδικασία του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών καθώς γίνεται θεωρητική εφαρμογή των αποτελεσμάτων στην υπο εξέταση μονάδα βιοαερίου.

4.1. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α΄

Μίγμα πυκνών υδατικών εκχυλισμάτων αποβλήτων διαφασικού ελαιτριβείου & πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής

Στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών του Τμήματος ΑΦΠ & ΓΜ του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών διεξήχθη η πειραματική διαδικασία της παραγωγής βιοαερίου από μίγμα πυκνών υδατικών εκχυλισμάτων αποβλήτων διαφασικού ελαιοτριβείου και πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής (Γκεσούλη, 2014), (Βασταρούχα, 2014). Τα αποτελέσματα των προαναφερθέντων πτυχιακών, καθώς και τα στοιχεία των α΄ υλών που επεξεργάστηκαν θα χρησιμοποιηθούν στη παρούσα μελέτη για την θεωρητική εφαρμογή τους σε μονάδα παραγωγής βιοαερίου.

Προέλευση πρώτων υλών και προ επεξεργασία τους

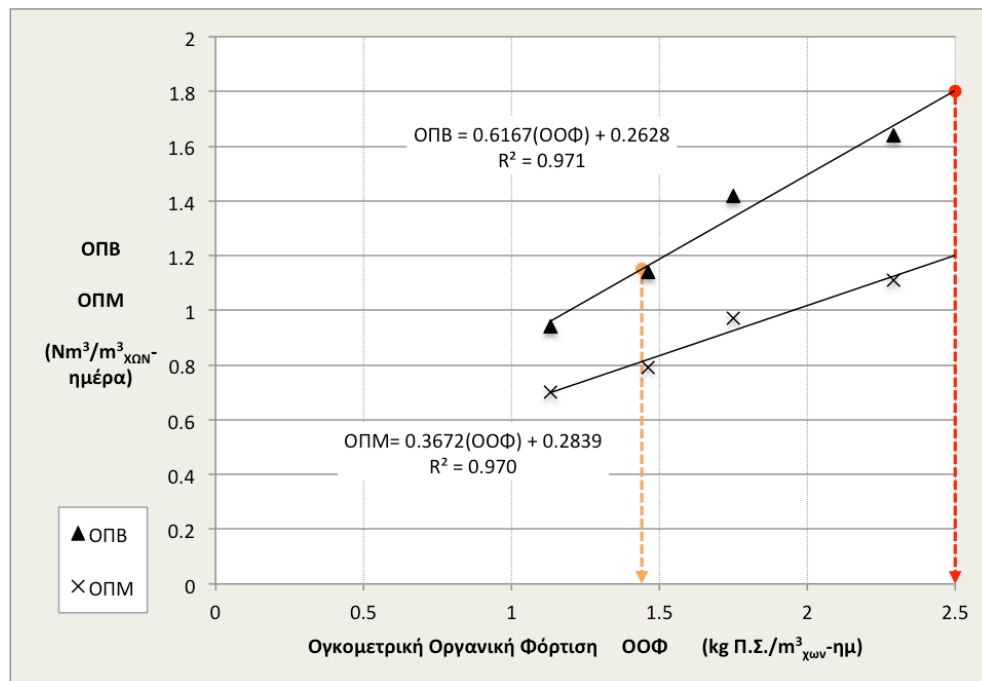
Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση του πειράματος ήταν νωπά στερεά απόβλητα πτηνοτροφείου, που προέρχονταν από πτηνοτροφική μονάδα αυγοπαραγωγής στη περιοχή των Μεγάρων - Αλεποχωρίου και εκχύλισμα ελαιοπυρηνολύματος από διαφασικό ελαιοτριβείο των Μεγάρων, τα οποία αραιώνονταν με ποσότητα νερού (αναλογίας κατ'όγκον 4:1 στα πτηνοτροφικά και 1:1 στα διαφασικά).

Τα πυκνά υδατικά εκχυλίσματα προέκυψαν από την εφαρμογή μηχανικού διαχωρισμού, με διαχωριστή τύπου κοχλία συμπίεσης τρίτης γενιάς (FAN SEPARATOR), στα εν λόγω αραιωμένα με νερό απόβλητα.

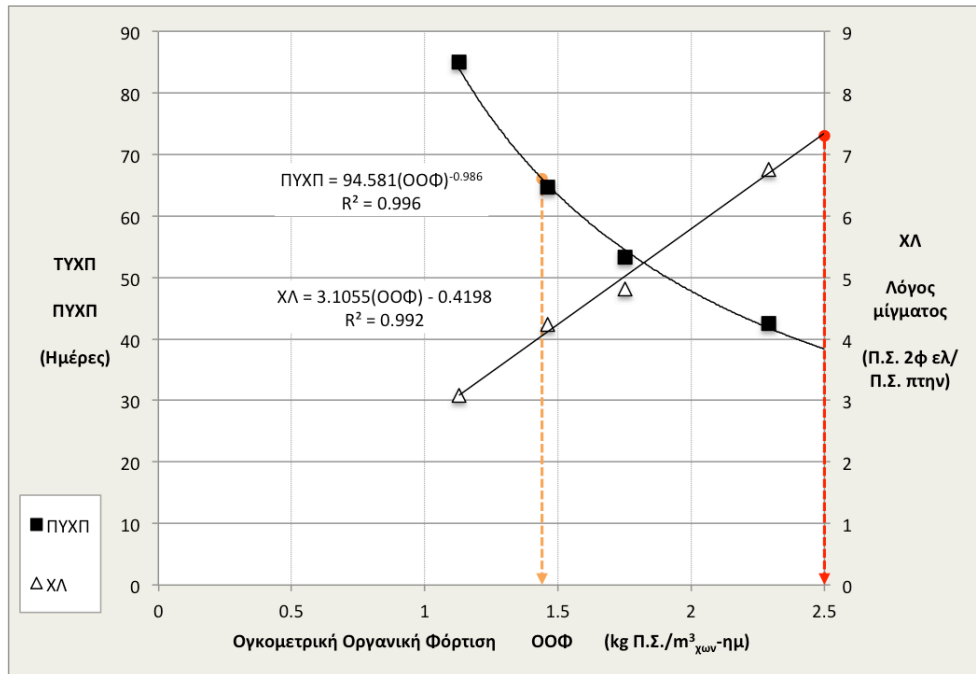
Μετά τη μεταφορά τους στο Εργαστήριο με πλαστικά βαρέλια το εκχύλισμα ελαιοτριβείου τοποθετούνταν σε σκιερό μέρος, καθόσον, λόγω της πυκνότητάς του δεν απαιτεί ιδιαίτερες συνθήκες φύλαξης, ενώ του πτηνοτροφείου σε ψυγείο-κατάψυξη. Σταδιακά μια ποσότητα αποψύχονταν και φυλάσσονταν σε κοινή ψύξη (+4°C), μέχρι την κατανάλωσή της.

Παραγωγή βιοαερίου

Από το διάγραμμα 4.1.1 προκύπτει πως η σχέση της ογκομετρικής παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου με την ογκομετρική οργανική φόρτιση είναι γραμμική για το εύρος των τιμών της τελευταίας (1.1-2.3 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα), που δοκιμάστηκαν. Σύμφωνα με (Γκεσούλη, 2014) δεν προκύπτει μια max τιμή βιοαερίου/μεθανίου, γεγονός που αφήνει κάποια περιθώρια για αυξημένη παραγωγή βιοαερίου για τιμές ΟΟΦ=2.5-3.5, χωρίς όμως να διασφαλίζεται με βεβαιότητα και η σταθερή απόδοση της αναερόβιας χώνευσης στα επίπεδα αυτά. Για τους λόγους αυτούς επιλέγεται ως μέγιστη ασφαλής τιμή ΟΟΦ, τα **2.5 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα**, η οποία και παρουσιάζεται σε όλα τα παρακάτω γραφήματα με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή. Αντίστοιχα η πορτοκαλή διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζει την τιμή ΟΟΦ (**1.44 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα**) κατά την οποία εμφανίζεται η μεγαλύτερη μείωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων.



Διάγραμμα 4.1.1. Συσχέτιση Οργανικής Ογκομετρικής Φόρτισης (ΟΟΦ) με την Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου και Μεθανίου (ΟΠΒ, ΟΠΜ)



Διάγραμμα 4.1.2. Συσχέτιση οργανικής ογκομετρικής φόρτισης (ΟΟΦ) με τον Πραγματικό και Τυπικό Υδραυλικό Χρόνο Παραμονής (ΠΥΧΠ) και τον λόγο Π.Σ. μίγματος (ΧΛ).

Από το διάγραμμα 4.1.2 φαίνεται πως η σχέση μεταξύ του λόγου των πτητικών στερεών X_A και του ΟΟΦ είναι γραμμική, γεγονός αναμενόμενο, καθώς η αύξηση του λόγου X_A , σημαίνει πρακτικά αύξηση του ογκομετρικού οργανικού φορτίου, λόγω της αύξησης της ποσότητας του πλούσιου σε οργανικό άνθρακα εκχύλισμα 2φασικών αποβλήτων. Από το ίδιο γράφημα προκύπτει επίσης μία σταθερή σταδιακή εκθετική μείωση του πραγματικού υδραυλικού χρόνου παραμονής με την αύξηση των τιμών ΟΟΦ.

Οι σχέσεις που προκύπτουν από τα δυο παραπάνω διαγράμματα όσον αφορά τις παραμέτρους παραγωγής βιοαερίου και οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στη παρούσα μελέτη είναι:

$$\text{ΟΠΒ} = 0.6167 \times \text{ΟΟΦ} + 0.2628 \quad (R^2=0.971)$$

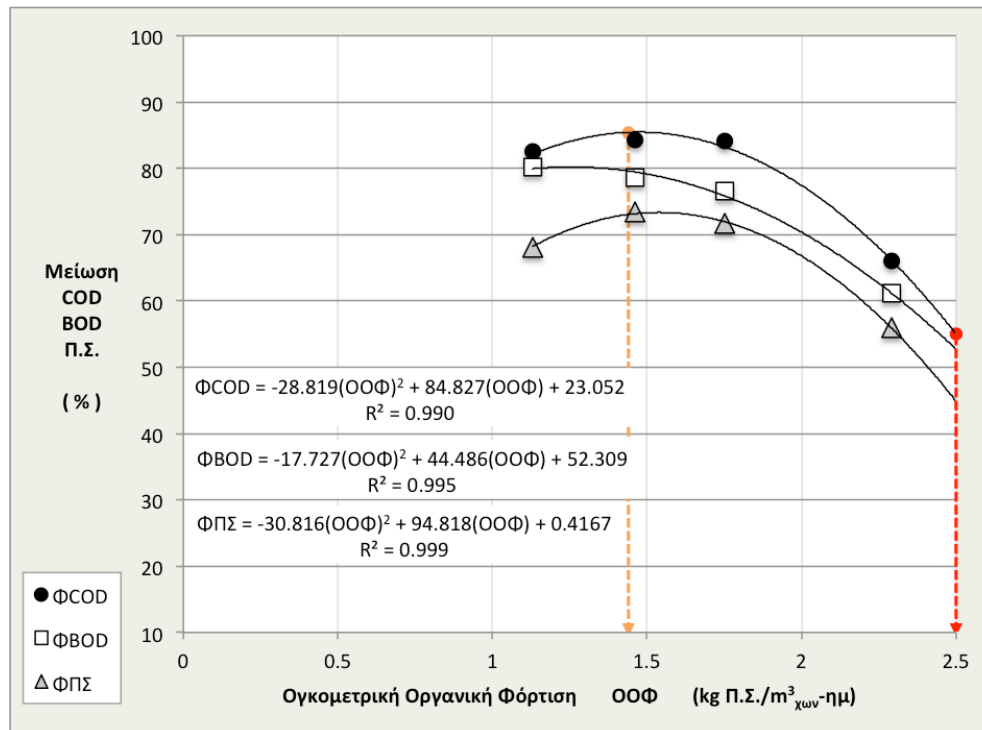
$$\text{ΟΠΜ} = 0.3672 \times \text{ΟΟΦ} + 0.2839 \quad (R^2=0.970)$$

$$\text{ΠΥΧΠ} = 94.581 \times \text{ΟΟΦ}^{-0.986} \quad (R^2=0.996)$$

$$\text{Χ}_A = 3.1055 \times \text{ΟΟΦ} - 0.4198 \quad (R^2=0.992)$$

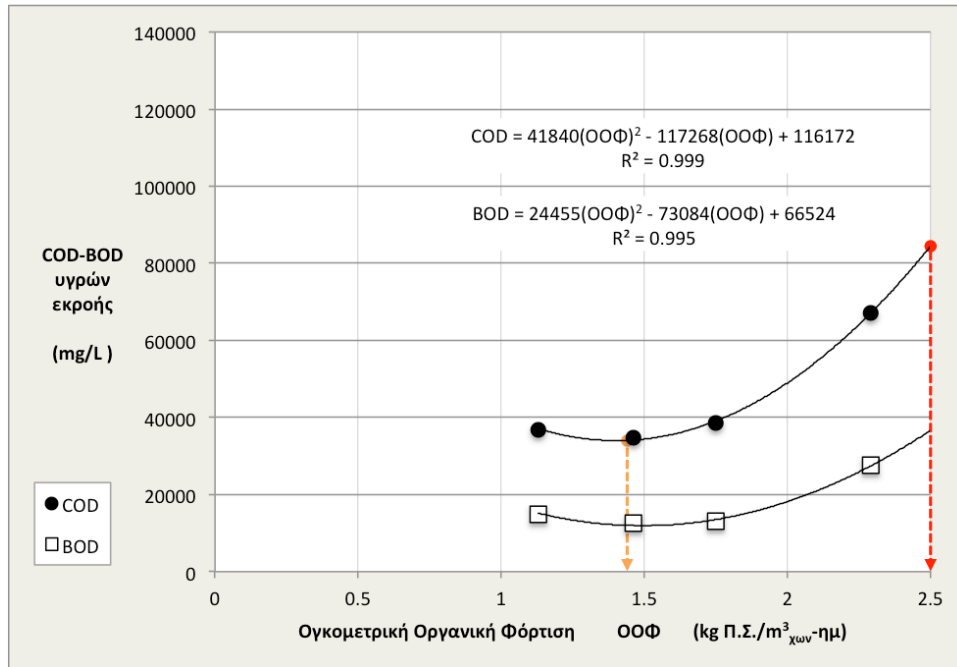
Μείωση οργανικού φορτίου αποβλήτων

Στο παρακάτω διάγραμμα 4.1.3, παρουσιάζεται το ποσοστό μείωσης του οργανικού φορτίου των αποβλήτων μετά τον αναερόβιο χωνευτήρα σε σχέση με την ογκομετρική οργανική φόρτιση (ΟΟΦ). Η σχέση μεταξύ τους είναι πολυωνυμική δευτέρου βαθμού και για τους τρεις τρόπους μέτρησης του ποσοστού μείωσης του οργανικού φορτίου (COD, BOD₅, Π.Σ.).



Διάγραμμα 4.1.3. Συσχέτιση Ποσοστού Μείωσης Πτητικών Στερεών, COD, BOD₅ και ΟΟΦ.

Στο διάγραμμα 4.1.4 παρουσιάζεται το οργανικό φορτίο των υγρών εξόδου του αναερόβιου χωνευτήρα μετρημένο σε COD και BOD₅ και η σχέση του με την ογκομετρική οργανική φόρτιση (ΟΟΦ). Η σχέση τους είναι και σε αυτή την περίπτωση πολυωνυμικές δευτέρου βαθμού.



Διάγραμμα 4.1.4. Συσχέτιση ΟΟΦ με BOD₅ και COD των υγρών εκροής του αναερόβιου χωνευτήρα.

Σύμφωνα με (Βασταρούχα, 2014) η μείωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων παρουσιάζει μια βέλτιστη τιμή για ΟΟΦ=1,44 kg ΠΣ/m³_{ΧΩΝ}-ημέρα. Οι σχέσεις που προκύπτουν από τα παραπάνω διαγράμματα 4.1.3 και 4.1.4, οσον αφορά τη μείωση του οργανικού φορτίου με την ογκομετρική οργανική φόρτιση (ΟΟΦ) και οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στη παρούσα μελέτη είναι:

$$\begin{aligned} \Phi\Pi\Sigma &= -30,816(\text{ΟΟΦ})^2 + 94,818(\text{ΟΟΦ}) + 0,4167 \quad (R^2 = 0,999) \\ \Phi\text{BOD}_5 &= -17,727(\text{ΟΟΦ})^2 + 44,486(\text{ΟΟΦ}) + 52,309 \quad (R^2 = 0,995) \\ \Phi\text{COD} &= -28,819(\text{ΟΟΦ})^2 + 84,827(\text{ΟΟΦ}) + 23,052 \quad (R^2 = 0,990) \\ \text{BOD}_5 &= 24.455(\text{ΟΟΦ})^2 - 73.084(\text{ΟΟΦ}) + 66.524 \quad (R^2 = 0,995) \\ \text{COD} &= 41.840(\text{ΟΟΦ})^2 - 117.268 (\text{ΟΟΦ}) + 116.172 \quad (R^2 = 1,00) \end{aligned}$$

4.2. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β'

Μίγμα εκχυλίσματος αποβλήτων πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής & τυρογάλακτος

Στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών του Τμήματος ΑΦΠ & ΓΜ του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών διεξήχθη η πειραματική διαδικασία της

παραγωγής βιοαερίου από μίγμα εκχυλίσματος αποβλήτων πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής και τυρογάλακτος. Τα αποτελέσματα των προαναφερθέντων πειραμάτων, καθώς και τα στοιχεία των α' υλών που επεξεργάστηκαν θα χρησιμοποιηθούν στη παρούσα μελέτη για την θεωρητική εφαρμογή τους σε μονάδα παραγωγής βιοαερίου.

Προέλευση πρώτων υλών και προ επεξεργασία τους

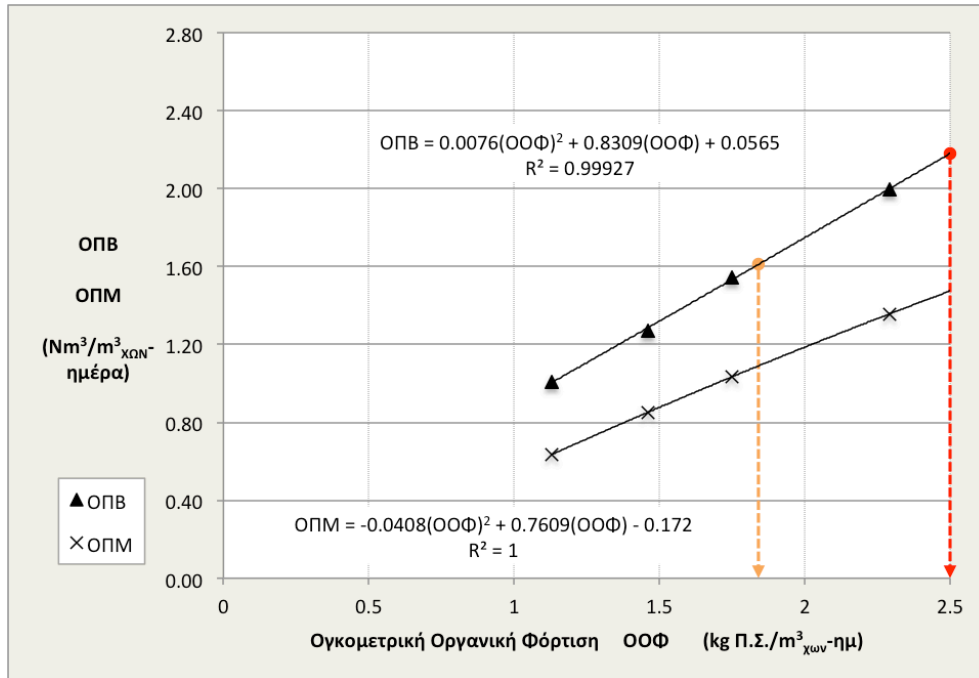
Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση του πειράματος ήταν νωπά στερεά απόβλητα πτηνοτροφείου, που προέρχονταν από πτηνοτροφική μονάδα αυγοπαραγωγής και τυρόγαλα από τυροκομείο, εκ των οποίων τα πρώτα αραιώνονταν με ποσότητα νερού (αναλογίας κατ'όγκον 4:1 στα πτηνοτροφικά).

Τα πυκνά υδατικά εκχυλίσματα προέκυψαν από την εφαρμογή μηχανικού διαχωρισμού, με διαχωριστή τύπου κοχλία συμπίεσης τρίτης γενιάς (FAN SEPARATOR), στα εν λόγω αραιωμένα με νερό απόβλητα.

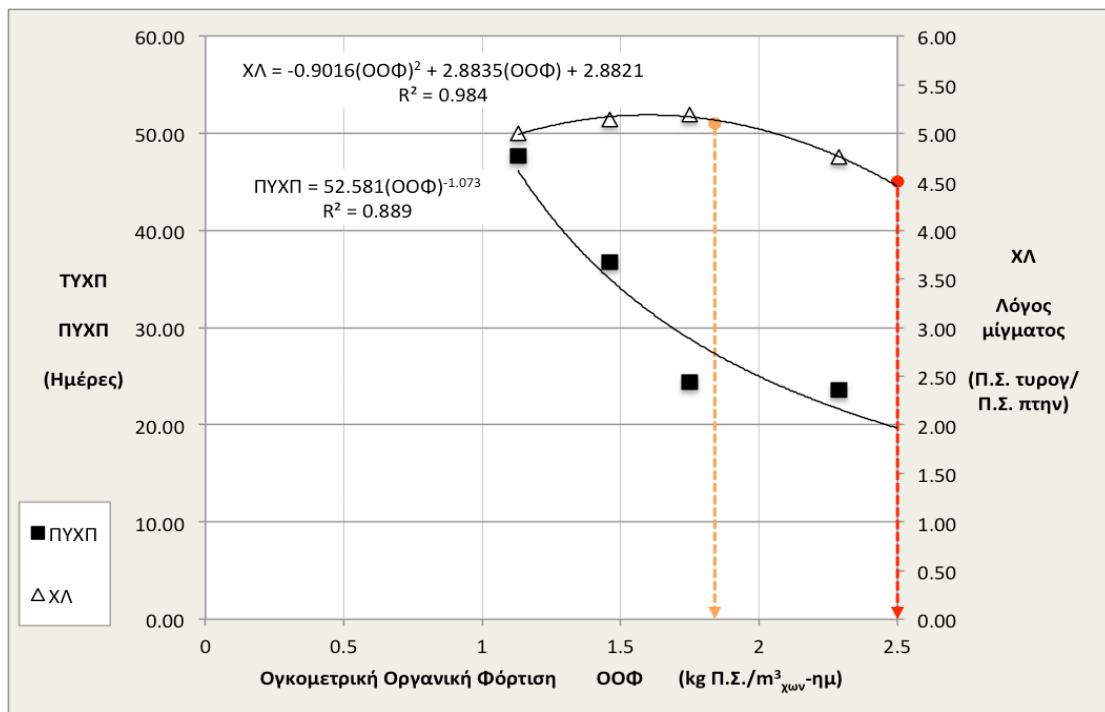
Μετά τη μεταφορά τους στο Εργαστήριο με πλαστικά βαρέλια τοποθετούνταν σε ψυγείο-κατάψυξη. Σταδιακά μια ποσότητα αποψύχονταν και φυλάσσονταν σε κοινή ψύξη (+4°C), μέχρι την κατανάλωσή της.

Παραγωγή βιοαερίου

Από το διάγραμμα 4.2.1 προκύπτει πως η σχέση της ογκομετρικής παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου με την ογκομετρική οργανική φόρτιση είναι πολυωνυμική δευτέρου βαθμού για το εύρος των τιμών της τελευταίας (1.1-2.3 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα), που δοκιμάστηκαν. Όπως γίνεται φανερό δεν προκύπτει μια max τιμή βιοαερίου/μεθανίου, γεγονός που αφήνει κάποια περιθώρια για αυξημένη παραγωγή βιοαερίου για τιμές ΟΟΦ=2.5-3.5, χωρίς όμως να διασφαλίζεται με βεβαιότητα και η σταθερή απόδοση της αναερόβιας χώνευσης στα επίπεδα αυτά. Για τους λόγους αυτούς επιλέγεται ως μέγιστη ασφαλής τιμή ΟΟΦ, τα **2.5 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα**, η οποία και παρουσιάζεται σε όλα τα παρακάτω γραφήματα με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή. Αντίστοιχα η πορτοκαλή διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζει τη τιμή ΟΟΦ (**1.84 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα**) κατά την οποία εμφανίζεται η μεγαλύτερη μείωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων.



Διάγραμμα 4.2.1. Συσχέτιση Οργανικής Ογκομετρικής Φόρτισης (ΟΟΦ) με την Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου και Μεθανίου (ΟΠΒ,ΟΠΜ)



Διάγραμμα 4.2.2. Συσχέτιση οργανικής ογκομετρικής φόρτισης (ΟΟΦ) με τον Πραγματικό και Τυπικό Υδραυλικό Χρόνο Παραμονής (ΠΥΧΠ) και τον λόγο Π.Σ. μίγματος (XΛ).

Από το διάγραμμα 4.2.2 φαίνεται πως η σχέση μεταξύ του λόγου των πτητικών στερεών X_{Λ} και του ΟΟΦ είναι πολυωνυμική δευτέρου βαθμού, με μέτρια αυξητική τάση μέχρι την τιμή (ΟΟΦ=1.73 kg ΠΣ/m³_{χων}-ημέρα) και στη συνέχεια για την επόμενη (ΟΟΦ=2.29 kg ΠΣ/m³_{χων}-ημέρα) πτωτική τάση. Από το ίδιο γράφημα

προκύπτει επίσης μία σταθερή σταδιακή εκθετική μείωση του πραγματικού και τυπικού υδραυλικού χρόνου παραμονής με την αύξηση των τιμών ΟΟΦ.

Οι σχέσεις που προκύπτουν από τα δυο παραπάνω διαγράμματα όσον αφορά τις παραμέτρους παραγωγής βιοαερίου και οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στη παρούσα μελέτη είναι:

$$\text{ΟΠΒ} = 0.0076 \times \text{ΟΟΦ}^2 + 0.8309 \times \text{ΟΟΦ} + 0.0565 \quad (R^2 = 0.999)$$

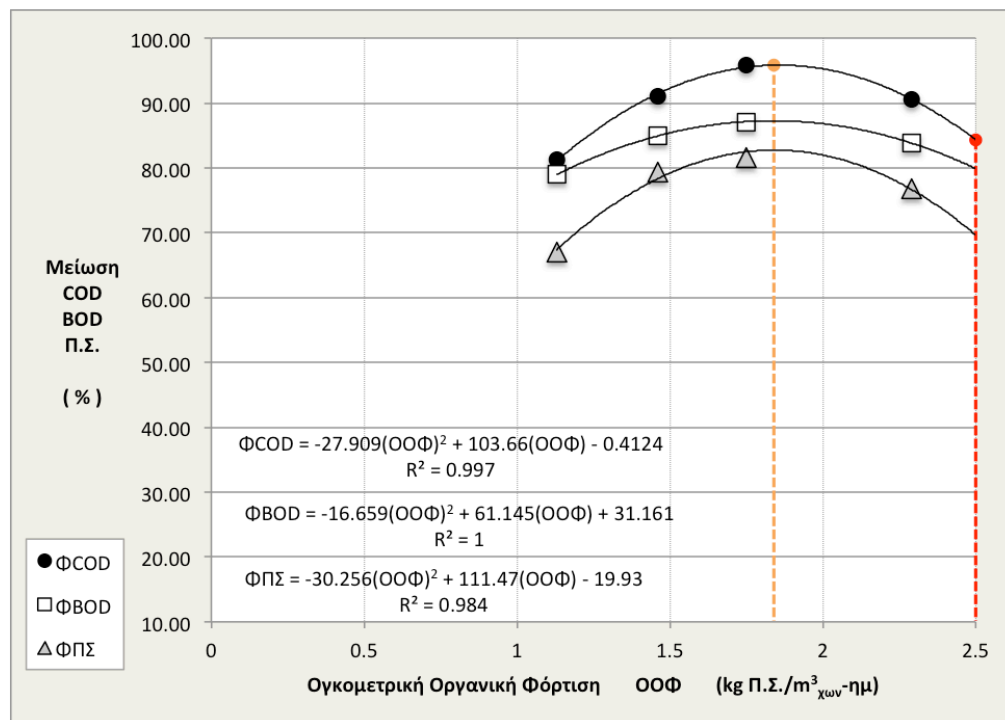
$$\text{ΟΠΜ} = -0.0408 \times \text{ΟΟΦ}^2 + 0.7609 \times \text{ΟΟΦ} - 0.172 \quad (R^2 = 1)$$

$$\text{ΠΥΧΠ} = 52.581 \times \text{ΟΟΦ}^{-1.073} \quad (R^2 = 0.889)$$

$$\text{Χ}_\Lambda = -0.9016 \times \text{ΟΟΦ}^2 + 2.8835 \times \text{ΟΟΦ} + 2.8821 \quad (R^2 = 0.984)$$

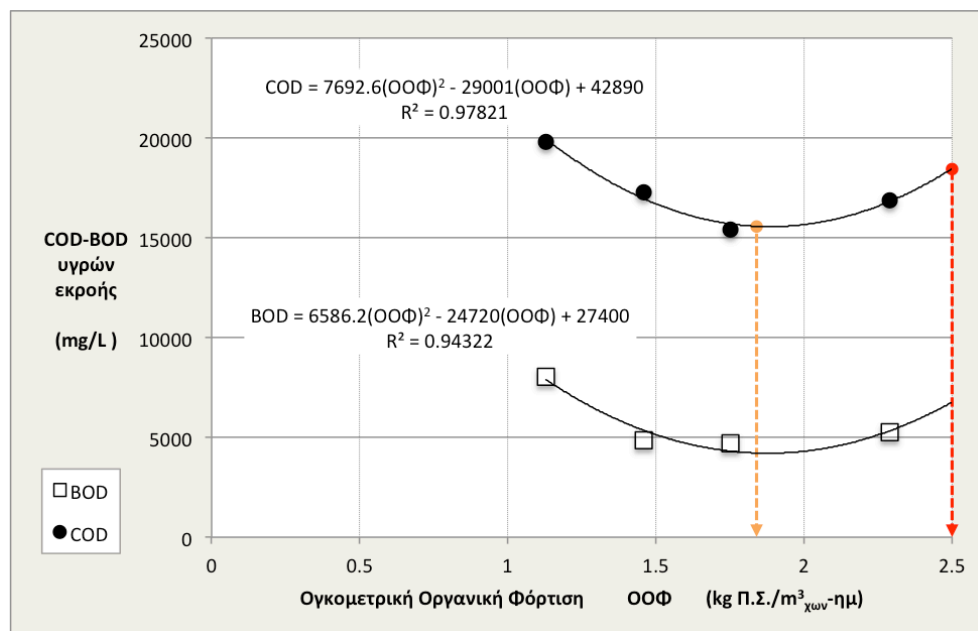
Μείωση οργανικού φορτίου αποβλήτων

Στο παρακάτω διάγραμμα 4.2.3 παρουσιάζεται το ποσοστό μείωσης του οργανικού φορτίου των αποβλήτων μετά τον αναερόβιο χωνευτήρα σε σχέση με την ογκομετρική οργανική φόρτιση (ΟΟΦ). Η σχέση μεταξύ τους είναι πολυωνμική δευτέρου βαθμού και για τους τρεις τρόπους μέτρησης του ποσοστού μείωσης του οργανικού φορτίου (COD, BOD₅, Π.Σ.). Παρατηρείται ότι η μέγιστη μείωση του οργανικού φορτίου βρίσκεται στη κορυφή των καμπύλων. Για τον προσδιορισμό της ΟΟΦ=1.84 kg ΠΣ/m³χΩΝ-ημέρα που αντιστοιχεί στη κορυφή της καμπύλης ΦΠΣ, εφαρμόστηκε η πρώτη παράγωγος της σχέσης ΦΠΣ.



Διάγραμμα 4.2.3. Συσχέτιση Ποσοστού Μείωσης Πτητικών Στερεών, COD, BOD₅ και ΟΟΦ.

Στο διάγραμμα 4.2.4 παρουσιάζεται το οργανικό φορτίο των υγρών εξόδου του αναερόβιου χωνευτήρα μετρημένο σε COD και BOD₅ και η σχέση του με την ογκομετρική οργανική φόρτιση (ΟΟΦ). Η σχέση τους είναι και σε αυτή την περίπτωση πολυωνυμικές δευτέρου βαθμού. Παρατηρείται ότι η ελάχιστη τιμή BOD₅ βρίσκεται κάτω από τα 5000 mg/L.



Διάγραμμα 4.2.4. Συσχέτιση ΟΟΦ με BOD₅ και COD των υγρών εκροής του αναερόβιου χωνευτήρα.

Οι σχέσεις που προκύπτουν από τα παραπάνω διαγράμματα 4.2.3 και 4.2.4, όσον αφορά τη μείωση του οργανικού φορτίου με την ογκομετρική οργανική φόρτιση (ΟΟΦ) και οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στη παρούσα μελέτη είναι:

$$\Phi\Pi\Sigma = -30.256 \times \text{ΟΟΦ}^2 + 111.47 \times \text{ΟΟΦ} - 19.93 \quad (R^2 = 0.984)$$

$$\Phi\text{BOD}_5 = -16.659 \times \text{ΟΟΦ}^2 + 61.145 \times \text{ΟΟΦ} + 31.161 \quad (R^2 = 1)$$

$$\Phi\text{COD} = -27.909 \times \text{ΟΟΦ}^2 + 103.66 \times \text{ΟΟΦ} - 0.4124 \quad (R^2 = 0.997)$$

$$\text{BOD}_5 = 6586.2 \times \text{ΟΟΦ}^2 - 24720 \times \text{ΟΟΦ} + 27400 \quad (R^2 = 0.943)$$

$$\text{COD} = 41.840(\text{ΟΟΦ})^2 - 117.268 (\text{ΟΟΦ}) + 116.172 \quad (R^2 = 1,00)$$

Προσδιορισμός τιμών BOD₅ και COD

Λόγω έλλειψης πειραματικών δεδομένων για τη μείωση του οργανικού φορτίου σε τιμές BOD₅ και COD καθώς και βιβλιογραφικών τιμών, έγινε

αναγκαστικός προσδιορισμός τους βάση των Π.Σ. εξόδου, που ήταν τα μοναδικά δεδομένα από την πειραματική διαδικασία, όσον αφορά τη μείωση φορτίου. Για να επιτευχθεί η συσχέτιση των Π.Σ. εξόδου με τα BOD₅ και COD, χρησιμοποιήθηκαν οι αντίστοιχες πειραματικές τιμές από τη περίπτωση Α' ακολουθώντας την διαδικασία που αναλύεται παρακάτω.

Οι πειραματική διαδικασία και για τις δυο περιπτώσεις (Α' και Β') πραγματοποιήθηκε για τέσσερις τυπικούς υδραυλικούς χρόνους παραμονής ΤΥΧΠ (32, 25, 21, 16) και για αντίστοιχες ογκομετρικές οργανικές φορτίσεις ΟΟΦ (1.13, 1.46, 1.75, 2.23). Σε κάθε ΟΟΦ αντιστοιχούσε μείωση φορτίου εκφρασμένο σε ποσοστό Π.Σ. (ΦΠΣ) καθώς και σε ποσοστό BOD₅ και COD (ΦBOD, ΦCOD). Για να προσδιοριστούν τα ΦBOD και ΦCOD της περίπτωσης Β' έγινε αναλογική συσχέτιση με το ΦΠΣ ως ακολούθως.

Για ΟΟΦ=1.13

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α'

ΦΠΣ= 68.1 → ΦBOD= 80.2

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β'

ΦΠΣ= 67.05 → ΦBOD= ?

$$\text{ΦBOD} = (67.05/68.1) * 80.2 = 78.96$$

Αντίστοιχα υπολογίστηκαν και η ΦCOD για τις υπόλοιπες ΟΟΦ.

Όσον αφορά τον υπολογισμό του BOD₅ και COD εξόδου η διαδικασία διαφοροποιείται. Αρχικά έγινε προσδιορισμός τους για την ΟΟΦ= 1.13 ως ακολούθως.

Για ΟΟΦ=1.13

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α'

Μέσος όρος ΠΣ εισόδου = 8.63 → BOD εξόδου = 14,950

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β'

Μέσος όρος ΠΣ εισόδου = 4.64 → BOD εξόδου = ?

$$\text{BOD εξόδου} = (4.64/8.63) * 14,950 = 8,038$$

Αντίστοιχα υπολογίστηκε και η COD εξόδου= 19,825

Εν συνεχεία υπολογίστηκαν οι συντελεστές μεταβολής του ποσοστού μείωσης ΦΠΣ του BOD₅ και COD για τη περίπτωση Α' για κάθε τιμή ΟΟΦ οι οποίοι παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α'						
ΟΟΦ	COD	BOD	ΦΠΣ	μεταβολή ΦΠΣ	μεταβολή COD	μεταβολή BOD
1.13	36874	14950	68.1	-	-	-
1.46	34774	12598	73.5	0.073	-0.060	-0.187
1.75	38574	12993	71.7	-0.025	0.099	0.030
2.29	67137	27508	56	-0.280	0.425	0.528

Πίνακας 4.2.1. Τιμές BOD₅, COD εξόδου, ποσοστό μείωσης ΦΠΣ και οι αντίστοιχοι συντελεστές μεταβολής τους.

Επίσης υπολογίστηκαν οι συντελεστές μεταβολής του ποσοστού μείωσης ΦΠΣ για τη περίπτωση Β' για κάθε τιμή ΟΟΦ οι οποίοι παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β'		
ΟΟΦ	ΦΠΣ	μεταβολή ΦΠΣ
1.13	67.05	-
1.46	79.37	0.155
1.75	81.63	0.028
2.29	76.83	-0.062

Πίνακας 4.2.2. Τιμές ποσοστού μείωσης ΦΠΣ και οι αντίστοιχοι συντελεστές μεταβολής του.

Εν συνεχεία υπολογίστηκαν οι συντελεστές μεταβολής του BOD₅ και COD για τη περίπτωση Β' χρησιμοποιώντας τους αντίστοιχους συντελεστές της περίπτωσης Α' (πίνακας 4.2.1) ως ακολούθως.

Για ΟΟΦ=1.46

Περίπτωση Α'

Μεταβολή ΦΠΣ=0.073 → μεταβολή BOD=-0.187

Περίπτωση Β'

Μεταβολή ΦΠΣ=0.155 → μεταβολή BOD= ?

Μεταβολή BOD= (0.155/0.073)*(-0.187)= -0.394

Αντίστοιχα υπολογίστηκε και η τιμή της μεταβολής COD για ΟΟΦ=1.46

Με την ίδια διαδικασία υπολογίστηκαν και οι τιμές των μεταβολών BOD και COD για ΟΟΦ=1.75 και ΟΟΦ=2.29 και συμπληρώθηκε ο πίνακας 4.2.3.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β'				
ΟΟΦ	ΦΠΣ	μεταβολή ΦΠΣ	μεταβολή COD	μεταβολή BOD
1.13	67.05	-	-	-
1.46	79.37	0.155	-0.128	-0.394
1.75	81.63	0.028	-0.109	-0.034
2.29	76.83	-0.062	0.095	0.118

Πίνακας 4.2.3. Ποσοστό μείωσης ΦΠΣ και οι συντελεστές μεταβολής τους.

Τέλος βάση των μεταβολών που παρουσιάζονται στο παραπάνω πίνακα 4.2.3, υπολογίστηκαν οι τιμές BOD και COD εξόδου ως ακολούθως.

Για ΟΟΦ=1.13 έχει υπολογιστεί παραπάνω BOD₅ εξόδου=8,038 και COD εξόδου=19,825 και από πίνακα 3 οι μεταβολές τους για ΟΟΦ=1.46 είναι αντίστοιχα (-0.394 και -0.128)

Άρα για ΟΟΦ= 1.46

BOD εξόδου= 8,038*(-1.394)= 4,868

COD εξόδου= 19,825*(-1.128)= 17,296

Αντίστοιχα υπολογίστηκαν και οι τιμές BOD₅ εξόδου και COD εξόδου για ΟΟΦ=1.75 και ΟΟΦ=2.29 και συμπληρώθηκε ο παρακάτω πίνακας 4.2.4.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β'						
ΟΟΦ	COD	BOD	ΦΠΣ	μεταβολή ΦΠΣ	μεταβολή COD	μεταβολή BOD
1.13	19825	8038	67.05	-	-	-
1.46	17296	4868	79.37	0.155	-0.128	-0.394
1.75	15412	4705	81.63	0.028	-0.109	-0.034
2.29	16873	5258	76.83	-0.062	0.095	0.118

Πίνακας 4.2.4. Τιμές BOD₅, COD εξόδου, ποσοστό μείωσης ΦΠΣ και οι αντίστοιχοι συντελεστές μεταβολής τους.

4.3. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Γ΄

Μίγμα αραιού τυρογάλακτος και αραιών υγρών αποβλήτων βουστασίου γαλακτοπαραγωγής μετά από μηχανικό διαχωρισμό

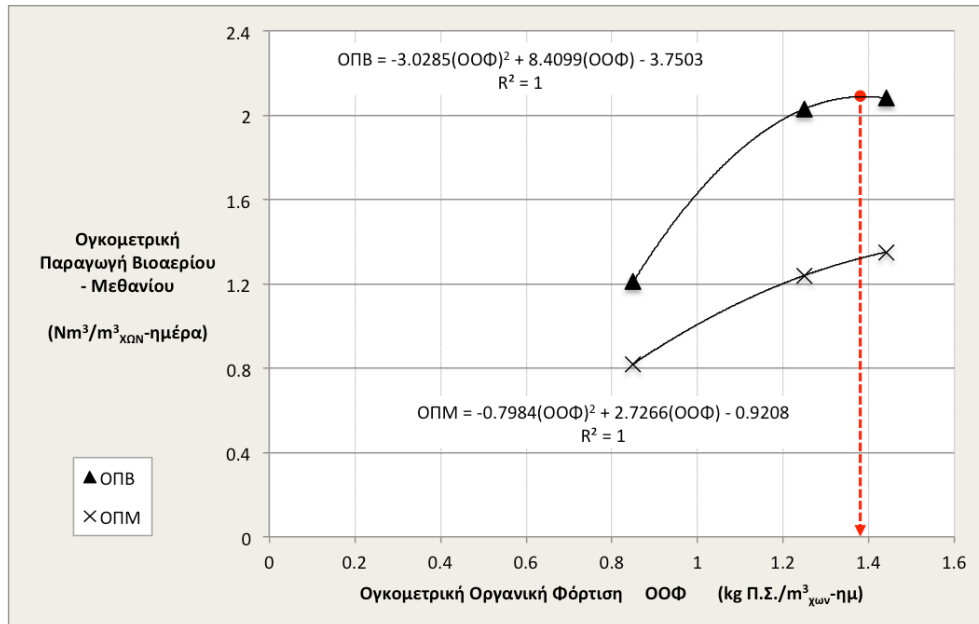
Στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών του Τμήματος ΑΦΠ & ΓΜ του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών διεξήχθη η πειραματική διαδικασία της παραγωγής βιοαερίου από μίγμα αραιού τυρογάλακτος και αραιών υγρών αποβλήτων βουστασίου γαλακτοπαραγωγής μετά από μηχανικό διαχωρισμό (Κούτσουρης, 2015) σε συνεργασία με τον γράφον. Τα αποτελέσματα της προαναφερθείσας πειραματικής διαδικασίας, καθώς και τα στοιχεία των α' υλών που επεξεργάστηκαν θα χρησιμοποιηθούν στη παρούσα μελέτη για την θεωρητική εφαρμογή τους σε μονάδα παραγωγής βιοαερίου.

Προέλευση πρώτων υλών και προ επεξεργασία τους

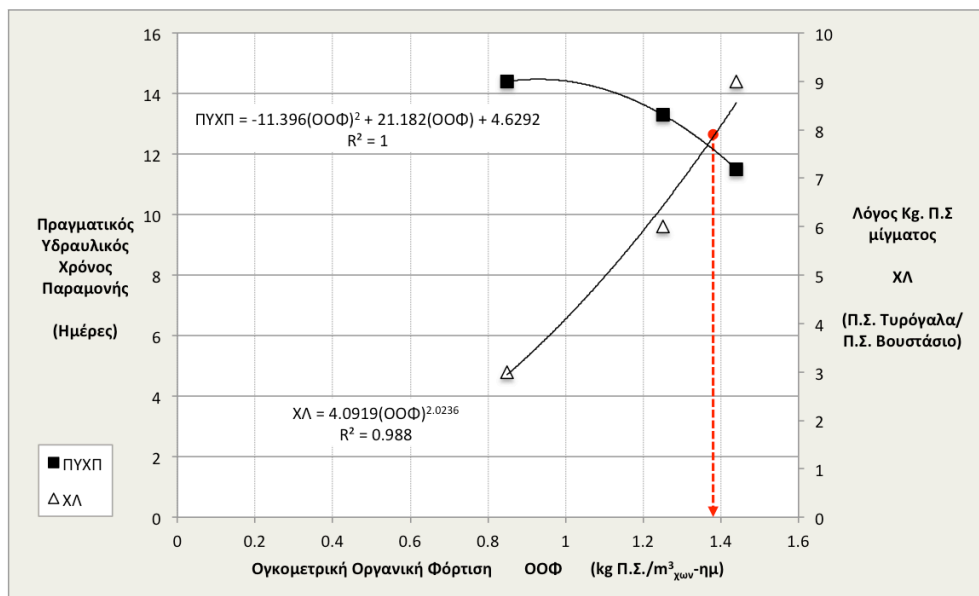
Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση του πειράματος ήταν υγρά απηβλήτα βουστασίου γαλακτοπαραγωγής μετά από μηχανικό διαχωρισμό, που προέρχονταν από μονάδα βουστασίου και τυρόγαλα από τυροκομείο. Η ιδιαιτερότητα των πρώτων υλών ήταν το μικρό ποσοστό Ο.Σ. και Π.Σ. Μετά τη μεταφορά τους στο Εργαστήριο με πλαστικά βαρέλια τοποθετούνταν σε ψυγείο-κατάψυξη. Σταδιακά μια ποσότητα αποψύχονταν και φυλάσσονταν σε κοινή ψύξη (+4°C), μέχρι την κατανάλωσή της.

Παραγωγή βιοαερίου

Από το διάγραμμα 4.3.1 προκύπτει πως η σχέση της ογκομετρικής παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου με την ογκομετρική οργανική φόρτιση είναι πολυωνυμική δευτέρου βαθμού για το εύρος των τιμών της τελευταίας (0.85-1.44 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα), που δοκιμάστηκαν. Όπως γίνεται φανερό από το γράφημα 1 προκύπτει μια μέγιστη τιμή βιοαερίου, για **ΟΟΦ= 1.38 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα**, η οποία και παρουσιάζεται σε όλα τα παρακάτω γραφήματα με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή.



Διάγραμμα 4.3.1. Συσχέτιση Οργανικής Ογκομετρικής Φόρτισης (ΟΟΦ) με την Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου και Μεθανίου (ΟΠΒ,ΟΠΜ)



Διάγραμμα 4.3.2. Συσχέτιση οργανικής ογκομετρικής φόρτισης (ΟΟΦ) με τον Πραγματικό και Τυπικό Υδραυλικό Χρόνο Παραμονής (ΠΥΧΠ) και τον λόγο Π.Σ. μίγματος (ΧΛ).

Από το διάγραμμα 4.3.2 φαίνεται πως η σχέση μεταξύ του λόγου των πτητικών στερεών X_{Λ} και του ΟΟΦ είναι εκθετική με σταδιακή αύξηση, γεγονός αναμενόμενο, καθόσον αύξηση του λόγου X_{Λ} , σημαίνει πρακτικά αύξηση του ογκομετρικού οργανικού φορτίου, λόγω της αύξησης της ποσότητας του πλούσιου σε οργανικό άνθρακα τυρογάλακτος. Από το ίδιο γράφημα προκύπτει επίσης μία

σταθερή μείωση του πραγματικού υδραυλικού χρόνου παραμονής με την αύξηση των τιμών ΟΟΦ με τη σχέση τους να είναι πολυωνυμική δευτέρου βαθμού.

Οι σχέσεις που προκύπτουν απο τα δυο παραπάνω διαγράμματα οσον αφορά τις παραμέτρους παραγωγής βιοαερίου και οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στη παρούσα μελέτη είναι:

$$\text{ΟΠΒ} = -3.0285 \times \text{ΟΟΦ}^2 + 8.4099 \times \text{ΟΟΦ} - 3.7503 \quad (R^2 = 1)$$

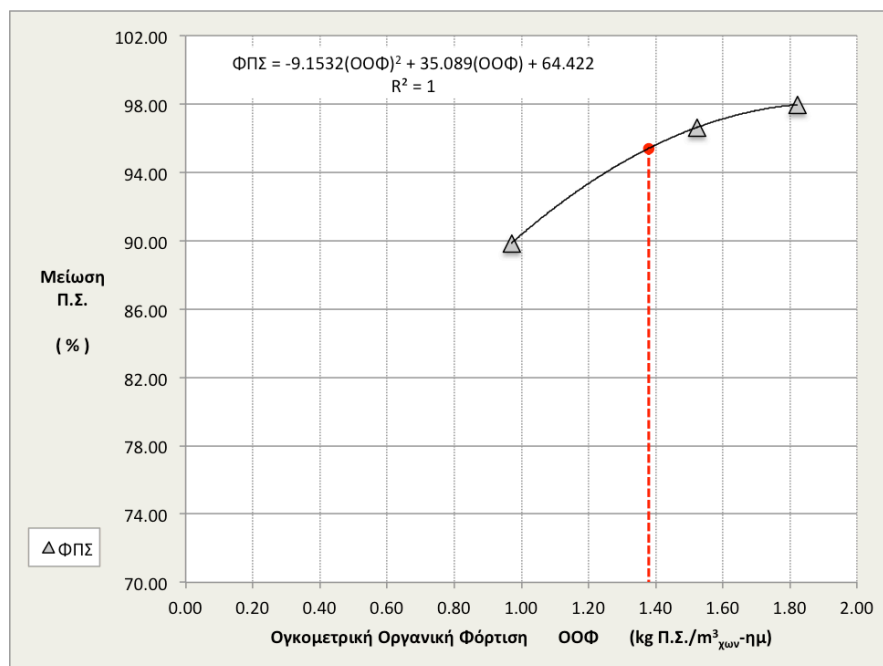
$$\text{ΟΠΜ} = -0.7984 \times \text{ΟΟΦ}^2 + 2.7266 \times \text{ΟΟΦ} - 0.9208 \quad (R^2 = 1)$$

$$\text{ΠΥΧΠ} = -11.396 \times \text{ΟΟΦ}^2 + 21.182 \times \text{ΟΟΦ} + 4.6292 \quad (R^2 = 1)$$

$$\text{Χ}_\Lambda \text{Χ}_\Lambda = 4.0919 \times \text{ΟΟΦ}^{2.0236} \quad (R^2 = 0.988)$$

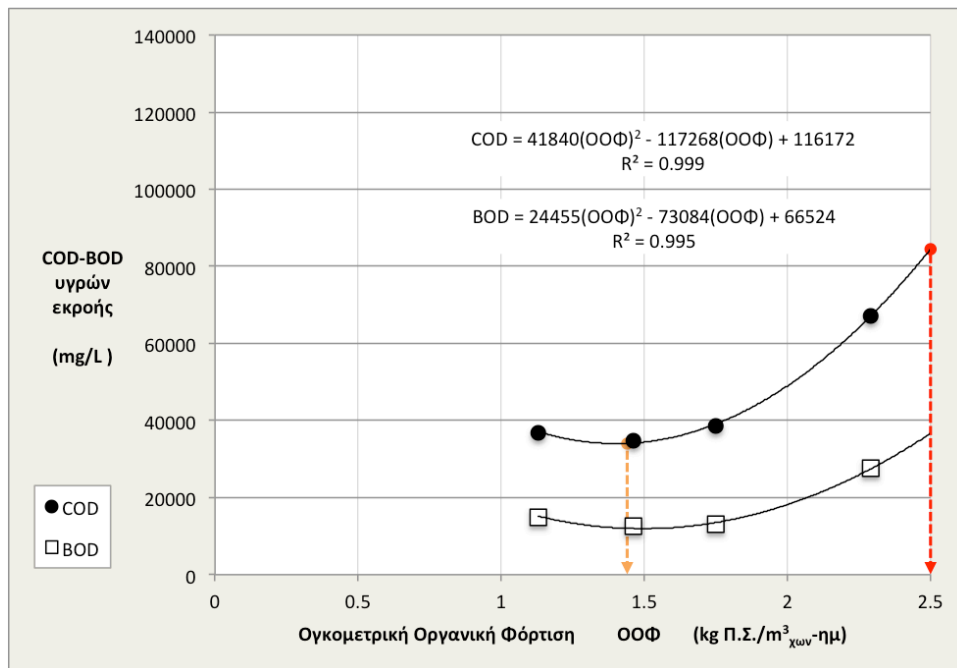
Μείωση οργανικού φορτίου αποβλήτων

Στο παρακάτω διάγραμμα 4.3.3 παρουσιάζεται το ποσοστό μείωσης των Π.Σ. των αποβλήτων μετά τον αναερόβιο χωνευτήρα σε σχέση με την ογκομετρική οργανική φόρτιση (ΟΟΦ). Η σχέση μεταξύ τους είναι πολυωνυμική δευτέρου βαθμού με αυξητική τάση.



Διάγραμμα 4.3.3. Συσχέτιση Ποσοστού Μείωσης Πτητικών Στερεών, COD, BOD₅ και ΟΟΦ.

Στο διάγραμμα 4.3.4, παρουσιάζεται το οργανικό φορτίο των υγρών εξόδου του αναερόβιου χωνευτήρα μετρημένο σε COD και BOD₅ και η σχέση του με την ογκομετρική οργανική φόρτιση (ΟΟΦ). Η σχέση τους είναι και σε αυτή την περίπτωση πολυωνυμικές δευτέρου βαθμού.



Διάγραμμα 4.3.4. Συσχέτιση ΟΟΦ με BOD₅ και COD των υγρών εκροής του αναερόβιου χωνευτήρα.

Η σχέση της μείωσης του οργανικού φορτίου με την ογκομετρική οργανική φόρτιση (ΟΟΦ) που θα χρησιμοποιηθεί στη παρούσα μελέτη είναι:

$$\Phi\Pi\Sigma = -9.1532 \times \text{ΟΟΦ}^2 + 35.089 \times \text{ΟΟΦ} + 64.422 \quad (R^2 = 1)$$

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

1. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ Α, Β & Γ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 500 KW

Η εφαρμογή των περιπτώσεων Α, Β και Γ σε μονάδα βιοαερίου ηλεκτρικής ισχύος 500 kW κατέστη δυνατή μετά από ανάπτυξη υπολογιστικού μοντέλου με το πρόγραμμα Excel. Το υπολογιστικό μοντέλο σχεδιάστηκε με τρόπο τέτοιο ώστε να λαμβάνει την επιθυμητή Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση (ΟΟΦ) στην είσοδο του αναερόβιου χωνευτήρα και σύμφωνα με τις σχέσεις των παραμέτρων παραγωγής βιοαερίου που αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, να διαστασιολογεί τους όγκους του αναερόβιου χωνευτήρα ($V_{\chi\omega\eta\eta}$), των εγκαταστάσεων διαχείρισης των υγρών εκροής ($V_{\lambda\delta\epsilon\eta\eta\tau}$, $V_{\lambda\chi\lambda\lambda}$) και της ισχύος (kW) των αεριστών της αερόβιας δεξαμενής ($V_{\lambda\delta\epsilon\eta\eta\tau}$). Επίσης εισάγονταν στο υπολογιστικό μοντέλο τα στοιχεία των α' υλών (Ο.Σ. και Π.Σ.).

1.1. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α'

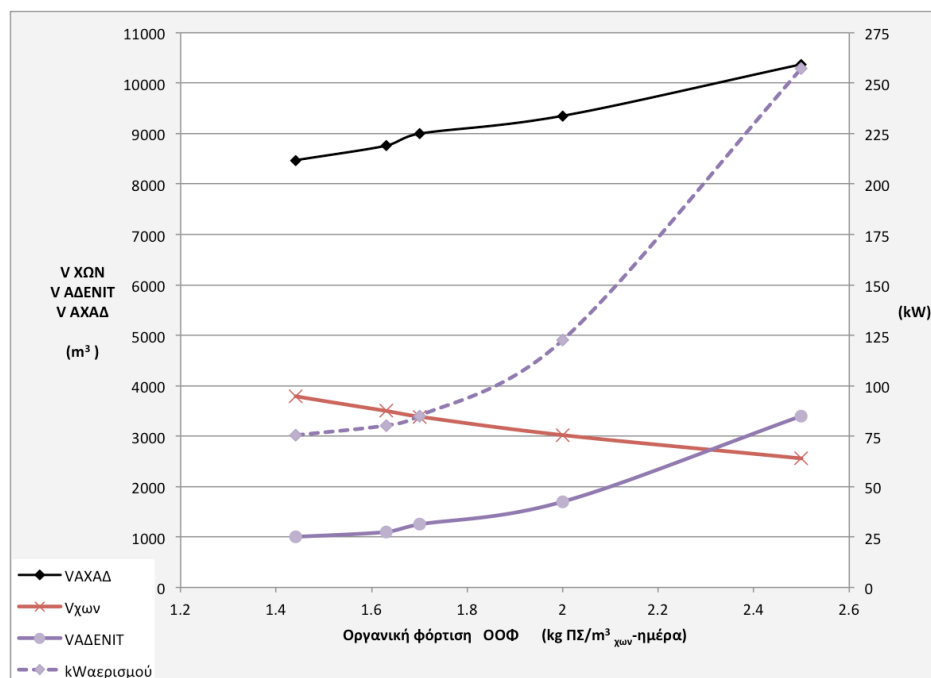
Εφαρμόζοντας τις σχέσεις των παραμέτρων παραγωγής βιοαερίου και μείωσης οργανικού φορτίου της περίπτωση Α' για εύρος τιμών ΟΟΦ (1.44 – 2.5 kg ΠΣ/ m^3 $\chi\omega\eta\eta$ -ημέρα) συμπληρώθηκε ο πίνακας 1.1.1, ο οποίος αποτυπώνει διαφορετικές περιπτώσεις ΟΟΦ με τις αντίστοιχους όγκους εγκαταστάσεων για μονάδα βιοαερίου ισχύος 500 kW.

ΚΟΠΡΙΑ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΟΥ - ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΟΛΥΜΑ						
	min				max	Μονάδες μέτρησης
ΟΟΦ	1.44	1.63	1.7	2	2.5	kg ΠΣ/ m^3 $\chi\omega\eta\eta$ -ημέρα
Νωπό ελαιοπυρηνόλυμα	24.05	25.72	26.28	28.35	30.99	(t/ημ)
Νωπά απόβλητα πτηνοτροφείου	6.44	6.01	5.86	5.31	4.58	(t/ημ)
Τροφοδοσία ΑΧ (χωρίς αραίωση)	30.5	31.7	32.14	33.7	35.6	(t/ημ)
ΟΠΒ	1.15	1.27	1.31	1.50	1.80	(Nm^3 ΒΙΟ/ m^3 $\chi\omega\eta\eta$ -ημέρα)
ΟΠΜ	0.81	0.88	0.91	1.02	1.20	(Nm^3 CH ₄ / m^3 $\chi\omega\eta\eta$ -ημέρα)
ΧΛ	4.1	4.6	4.9	5.8	7.3	(ΠΣ _{ΕΛΛΙΟΠ} /ΠΣ _{ΠΤΗΝΟ})
$V_{\chi\omega\eta\eta}$	3784	3500	3386	3020	2558	(m^3)
ΠΥΧΠ	66	58	56	48	38	(ημέρες)
$V_{\lambda\delta\epsilon\eta\eta\tau}$	1000	1100	1250	1700	3400	(m^3)
kW αερισμού	75	80	85	123	257	(kW)
$V_{\lambda\chi\lambda\lambda}$	8470	8758	8997	9351	10372	(m^3)
BOD₅ OUT (από ΑΧ)	11993	12400	12956	18176	36658	(mg/L)

Πίνακας 1.1.1. Όγκοι α' υλών, παράμετροι παραγωγής βιοαερίου και όγκοι εγκαταστάσεων μονάδας βιοαερίου για διάφορες τιμές οργανικής φόρτισης ΟΟΦ.

Στον αναφερόμενο πίνακα η ελάχιστη τιμή ΟΟΦ=1.44 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα αντιστοιχεί στην μεγαλύτερη μείωση του οργανικού φορτίου στην έξοδο του αναερόβιου χωνευτήρα BOD₅ OUT= 11993 mg/L και κατά επέκταση στο μικρότερο όγκο εγκαταστάσεων διαχείρισης των υγρών εκροών. Επίσης, σε σχέση με τις υπόλοιπες τιμές ΟΟΦ εδώ παρατηρείται η μικρότερη ΟΠΒ= 1.15 Nm³ ΒΙΟ/m³ χων-ημέρα, και κατά επέκταση ο μεγαλύτερο όγκο V_{ΧΩΝ}= 3784 m³. Η μέγιστη τιμή ΟΟΦ= 2.5 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη παραγωγή βιοαερίου ΟΠΒ= 1.8 Nm³ ΒΙΟ/m³ χων-ημέρα και κατά επέκταση στο μικρότερο όγκο V_{ΧΩΝ}= 2558 m³. Επίσης εδώ παρατηρούμε τη μικρότερη μείωση του οργανικού φορτίου στην έξοδο του αναερόβιου χωνευτήρα BOD₅ OUT= 36658 mg/L και κατά επέκταση στο μεγαλύτερο όγκο εγκαταστάσεων διαχείρισης των υγρών εκροών, σε σχέση με τις υπόλοιπες τιμές ΟΟΦ.

Παρατηρούμε (πίνακας 1.1.1) ότι η τιμή ΟΟΦ= 1.63 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα η οποία βρίσκεται ενδιάμεσα της ελάχιστης και μέγιστης ΟΟΦ (1.44 – 2.5), αντιστοιχεί σε V_{ΧΩΝ}= 3500 m³ που ισούται με τον όγκο χωνευτήρα της υπό εξέταση μονάδας βιοαερίου. Άρα διαπιστώνεται ότι η εφαρμογή της περίπτωσης Α' στην υπό εξέταση μονάδα βιοαερίου με V_{ΧΩΝ}= 3500 m³ βρίσκεται πιο κοντά στην ελάχιστη τιμή που έχουμε επιλέξει (ΟΟΦ= 1.44) και αρκετά μακριά από τη μέγιστη (ΟΟΦ= 2.5). Επίσης παρατηρούμε ότι η σύγκριση μεταξύ της περίπτωσης της ελάχιστης ΟΟΦ (1.44) και της υπό εξέταση μονάδας βιοαερίου (1.63) δείχνει μείωση 7.5% του V_{ΧΩΝ}, αύξηση 10% της V_{ΑΔΕΝΙΤ} και αύξηση 3% της V_{ΑΧΑΔ}.



Διάγραμμα 1.1.1. Μεταβολή $V_{\chi\Omega\text{N}}$, $V_{\text{AΔENIT}}$, $V_{\text{A}\chi\text{A}\Delta}$ και της ισχύος (kW) των αεριστών της αερόβιας δεξαμενής, για διάφορες τιμές ΟΟΦ εισόδου χωνευτήρα.

Στο διάγραμμα 1.1.1 παρατηρούμε την μεταβολή του όγκου των εγκαταστάσεων διαχείρισης των υγρών εκροών ($V_{\chi\Omega\text{N}}$, $V_{\text{AΔENIT}}$, $V_{\text{A}\chi\text{A}\Delta}$) και της ισχύος (kW) των αεριστών της αερόβιας δεξαμενής, σε σχέση με την αύξηση της ΟΟΦ εισόδου στο χωνευτήρα. Συγκεκριμένα όσο αυξάνεται η ΟΟΦ παρατηρούμε σταδιακή μείωση του $V_{\chi\Omega\text{N}}$ και αύξηση του $V_{\text{A}\chi\text{A}\Delta}$. Επίσης παρατηρούμε ότι ο όγκος $V_{\text{AΔENIT}}$ δείχνει μικρή αύξηση μέχρι τη τιμή ΟΟΦ= 1.8 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα και μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης από εκεί και μετά. Αντίστοιχα η ισχύς των αεριστών στην αερόβια δεξαμενή (AΔENIT) δείχνει μικρή αύξηση μέχρι τη τιμή ΟΟΦ= 1.63 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα και μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης από εκεί και μετά.

1.2. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β'

Εφαρμόζοντας τις σχέσεις των παραμέτρων παραγωγής βιοαερίου και μείωσης οργανικού φορτίου της περίπτωση Β' για εύρος τιμών ΟΟΦ (1.51 – 2.5 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα) συμπληρώθηκε ο πίνακας 1.2.1, ο οποίος αποτυπώνει διαφορετικές περιπτώσεις ΟΟΦ με τους αντίστοιχους όγκους εγκαταστάσεων για μονάδα βιοαερίου ισχύος 500 kW.

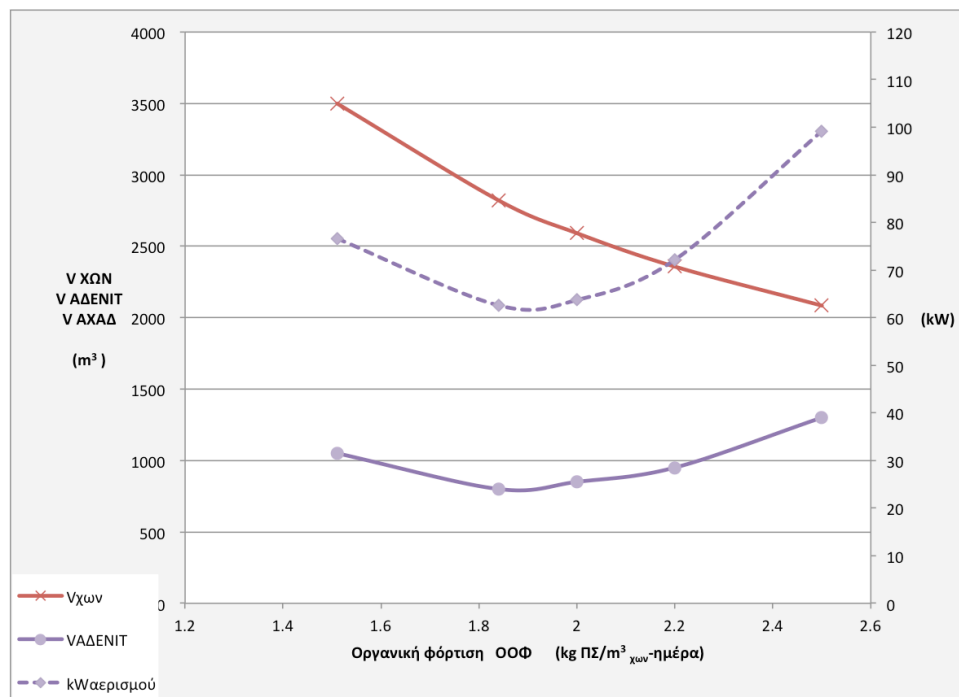
ΚΟΠΡΙΑ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΟΥ - ΤΥΡΟΓΑΛΑ						
		min			max	Μονάδες μέτρησης
ΟΟΦ	1.51	1.84	2	2.2	2.5	kg ΠΣ/m ³ χων-ημέρα
Τυρόγαλα	87.33	86.18	85.78	85.31	84.41	(t/ημ)
Νωπά απόβλητα πτηνοτροφείου	5.07	5.05	5.12	5.28	5.70	(t/ημ)
Τροφοδοσία ΑΧ (χωρίς αραίωση)	92.4	91.2	90.9	90.6	90.1	(t/ημ)
ΟΠΒ	1.33	1.61	1.75	1.92	2.18	(Nm ³ BIO/m ³ χων-ημέρα)
ΟΠΜ	0.88	1.09	1.19	1.30	1.48	(Nm ³ CH ₄ /m ³ χων-ημέρα)
ΧΛ	5.2	5.1	5.0	4.9	4.5	(ΠΣ _{ΕΛΛΑΙΟΠ} /ΠΣ _{ΠΤΗΝΟ})
V_{χων}	3500	2821	2591	2357	2084	(m ³)
ΠΥΧΠ	34	27	25	23	20	(ημέρες)
V_{AΔENIT}	1050	800	850	950	1300	(m ³)
kW_{αερισμού}	77	63	64	72	99	(kW)
V_{A}\chi\text{A}\Delta}	20584	20239	20185	20148	20159	(m ³)
BOD₅ OUT (από ΑΧ)	5090	4213	4305	4893	6764	(mg/L)

Πίνακας 1.2.1. Όγκοι α' υλών, παράμετροι παραγωγής βιοαερίου και όγκοι εγκαταστάσεων μονάδας βιοαερίου για διάφορες τιμές οργανικής φόρτισης ΟΟΦ.

Στον αναφερόμενο πίνακα η ελάχιστη τιμή ΟΟΦ=1.84 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα αντιστοιχεί στην μεγαλύτερη μείωση του οργανικού φορτίου στην έξοδο του αναερόβιου χωνευτήρα BOD₅ OUT= 4213 mg/L και κατά επέκταση στο μικρότερο όγκο εγκαταστάσεων διαχείρισης των υγρών εκροών. Η μέγιστη τιμή ΟΟΦ= 2.5 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη παραγωγή βιοαερίου ΟΠΒ= 2.18 Nm³ ΒΙΟ/m³ χων-ημέρα και κατά επέκταση στο μικρότερο όγκο V_{ΧΩΝ}= 2084 m³. Επίσης εδώ παρατηρούμε τη μικρότερη μείωση του οργανικού φορτίου στην έξοδο του αναερόβιου χωνευτήρα BOD₅ OUT= 6764 mg/L και κατά επέκταση στο μεγαλύτερο όγκο εγκαταστάσεων διαχείρισης των υγρών εκροών, σε σχέση με τις υπόλοιπες τιμές ΟΟΦ.

Παρατηρούμε (πίνακας 1.2.1) ότι η τιμή ΟΟΦ= 1.51 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα αντιστοιχεί σε V_{ΧΩΝ}= 3500 m³ που ισούται με τον όγκο χωνευτήρα της υπό εξέτασης μονάδας βιοαερίου και δείχνει μικρότερη ΟΟΦ (1.51) από την ελάχιστη ΟΟΦ (1.84). Άρα διαπιστώνεται ότι η εφαρμογή της περίπτωσης Β' στην υπό εξέταση μονάδα βιοαερίου με V_{ΧΩΝ}= 3500 m³ βρίσκεται πιο κοντά στην ελάχιστη τιμή που έχουμε επιλέξει (ΟΟΦ= 1.84) αλλά με μικρότερη τιμή αυτής. Επίσης, σε σχέση με τις υπόλοιπες τιμές ΟΟΦ εδώ παρατηρείται η μικρότερη ΟΠΒ= 1.33 Nm³ ΒΙΟ/m³ χων-ημέρα, και κατά επέκταση ο μεγαλύτερο όγκο V_{ΧΩΝ}= 3500 m³.

Τέλος παρατηρούμε ότι η σύγκριση μεταξύ της περίπτωσης της ελάχιστης ΟΟΦ (1.84) και της υπό εξέταση μονάδας βιοαερίου (1.51) δείχνει αύξηση 23% του V_{ΧΩΝ}, αύξηση 31% της V_{ΑΔΕΝΙΤ} και αύξηση 1% της V_{ΑΧΑΔ}.



Διάγραμμα 1.2.1. Μεταβολή $V_{ΧΩΝ}$, $V_{ΑΔΕΝΙΤ}$, $V_{ΑΧΑΔ}$ και της ισχύος (kW) των αεριστών της αερόβιας δεξαμενής, για διάφορες τιμές ΟΟΦ εισόδου χωνευτήρα.

Στο διάγραμμα 1.2.1 παρατηρούμε την μεταβολή του όγκου των εγκαταστάσεων διαχείρισης των υγρών εκροών ($V_{ΧΩΝ}$, $V_{ΑΔΕΝΙΤ}$) και της ισχύος (kW) των αεριστών της αερόβιας δεξαμενής, σε σχέση με την αύξηση της ΟΟΦ εισόδου στο χωνευτήρα, ενώ ο όγκος $V_{ΑΧΑΔ}$ δεν συμπεριλαμβάνεται καθώς η μεταβολή του θεωρείται αμελητέα. Συγκεκριμένα όσο αυξάνεται η ΟΟΦ παρατηρούμε σταδιακή μείωση του $V_{ΧΩΝ}$. Επίσης παρατηρούμε ο όγκος $V_{ΑΔΕΝΙΤ}$ δείχνει μείωση μέχρι την ελάχιστη τιμή ΟΟΦ= 1.84 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα, όπου και παίρνει την μικρότερη τιμή της, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζει αύξηση. Αντίστοιχα η ισχύς των αεριστών στην αερόβια δεξαμενή (ΑΔΕΝΙΤ) δείχνει και αυτή να ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά με τον όγκο της ΑΔΕΝΙΤ και να παρουσιάζει ελάχιστη τιμή (63 kW) για ΟΟΦ 1.84 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα, το οποίο είναι απόλυτα λογικό καθώς η ελάχιστη τιμή ΟΟΦ 1.84 έχει επιλεγεί στην παρούσα έρευνα για την μεγαλύτερη μείωση του οργανικού φορτίου στην έξοδο.

Η εφαρμογή του μίγματος αποβλήτων της περίπτωσης Β' στην υπό εξέταση μονάδα βιοαερίου ($V_{ΧΩΝ}= 3500 \text{ m}^3$) δίνει ΟΟΦ (1.51) εκτός της ελάχιστης και τις μέγιστης τιμής που έχει επιλεγεί για το συγκεκριμένο μίγμα (1.84 - 2.5) οι οποίες αντιστοιχούν σε ένα εύρος όγκου του αναερόβιου χωνευτήρα 2821 - 2084 m³. Συγκεκριμένα αντιστρέφεται το όφελος της χαμηλής ΟΟΦ όταν ξεπεράσει το χαμηλότερο σημείο (1.84), το οποίο είναι ο μικρότερος όγκος της αερόβιας δεξαμενής. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η περίπτωση Β' απορρίπτεται, διότι δεν κρίνεται εφαρμόσιμη στην υπό εξέταση μονάδα βιοαερίου, καθώς αποτελεί περίπτωση με μικρή απόδοση βιοαερίου, άρα μεγάλο όγκο χωνευτήρα, αλλά και μικρή μείωση οργανικού φορτίου, άρα μεγάλο όγκο αερόβιας δεξαμενής.

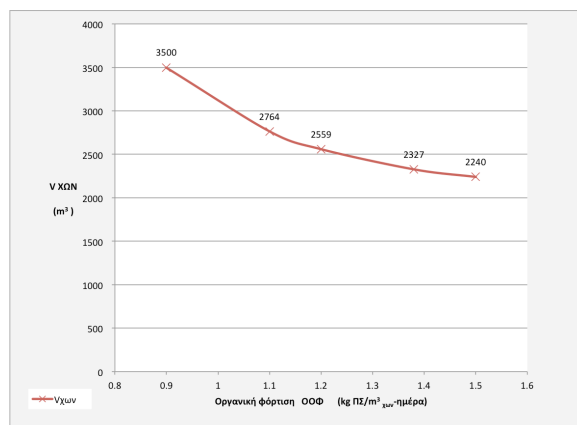
1.3. ΠΕΡΙΤΩΣΗ Γ'

Εφαρμόζοντας τις σχέσεις των παραμέτρων παραγωγής βιοαερίου και μείωσης οργανικού φορτίου της περίπτωση Γ' για εύρος τιμών ΟΟΦ (0.9 – 1.5 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα) συμπληρώθηκε ο πίνακας 1.3.1, ο οποίος αποτυπώνει διαφορετικές περιπτώσεις ΟΟΦ με τις αντίστοιχους όγκους εγκαταστάσεων για μονάδα βιοαερίου ισχύος 500 kW.

ΚΟΠΡΙΑ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ Δ/Χ - ΤΥΡΟΓΑΛΑ						
				max		Μονάδες μέτρησης
ΟΟΦ	0.9	1.1	1.2	<u>1.38</u>	1.5	kg ΠΣ/m ³ χων-ημέρα
Τυρόγαλα	118.8	125.5	130.3	141.2	150.4	(t/ημ)
Απόβλητα βουστασίου Δ/Χ	132.3	92.7	80.7	66.0	59.3	(t/ημ)
Τροφοδοσία ΑΧ	251.1	218.2	211.0	207.2	209.8	(t/ημ)
ΟΠΒ	1.36	1.84	1.98	2.09	2.05	(Nm ³ ΒΙΟ/m ³ χων-ημέρα)
ΟΠΜ	0.88	1.11	1.20	1.32	1.37	(Nm ³ CH ₄ /m ³ χων-ημέρα)
ΧΛ	3.3	5.0	5.9	7.9	9.3	(ΠΣ _{ΕΛΛΙΟΠ} /ΠΣ _{ΠΤΗΝΟ})
V_{χων}	3500	2764	2559	2327	2240	(m ³)
ΠΥΧΠ	14	14	14	12	11	(ημέρες)

Πίνακας 1.3.1. Όγκοι α' υλών, παράμετροι παραγωγής βιοαερίου και όγκοι αναερόβιου χωνευτήρα για διάφορες τιμές οργανικής φόρτισης ΟΟΦ.

Λόγω έλλειψης πειραματικών και βιβλιογραφικών στοιχείων στη περίπτωση Γ' δεν υπολογίστηκαν δεδομένα όγκου εγκαταστάσεων διαχείρισης των υγρών εκροής. Η αναφερόμενη έλλειψη όμως δεν καθιστά προβληματική τη παρούσα έρευνα, καθώς η περίπτωση Γ' απορρίπτεται, όπως θα αναλυθεί και παρακάτω λόγω πολύ μεγάλου όγκου α' υλών τροφοδοσίας και κατά επέκταση σε πολύ μεγάλο κόστος μεταφορικών και προμήθειας α' ύλης. Επίσης η πολύ μικρές τιμές Π.Σ. και Ο.Σ. δείχνουν ότι η εφαρμογή μηχανικού διαχωρισμού πριν τον Α/Χ δεν θα είχε κανένα αποτέλεσμα όσον αφορά το διαχωρισμό της στερεάς φάσης του υλικού.



Διάγραμμα 1.3.1. Μεταβολή V_{χων} για διάφορες τιμές ΟΟΦ εισόδου χωνευτήρα.

2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ (ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ Α, Β & Γ) ΣΤΗΝ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

2.1. ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η εφαρμογή των τριών περιπτώσεων (Α', Β' & Γ') στην υπό εξέταση μονάδα, με $V_{\chi\omega\Omega\Omega} = 3500 \text{ m}^3$ και εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ 500 kW έδωσε τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες, όπως αναλύθηκαν στο προηγούμενο υπό κεφάλαιο.

ΜΙΓΜΑ Α'			
Α' ΥΛΕΣ	ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΠΤΗΝΟ/ΦΕΪΟ Υ	ΑΠΟΒΛΗΤΑ 2ΦΑΣΙΚΟΥ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΙΓΜΑΤΟΣ
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	ΟΟΦ = 1.63 kg ΠΣ/m³ _{χων}-ημέρα.		
Ημερήσια Ποσότητα (t/d)	6	25.7	31.7
Ετήσια Ποσότητα (t/a)	2,100	8,995	11,095
Ολικά Στερεά (%)	27.2%	23.2%	
Πτητικά Στερεά (%)	20.1%	21.8%	
ΟΓΚΟΙ ΥΓΡΩΝ ΑΡΑΙΩΣΗΣ			
Ανακύκλωση υγρών εκροής ΑΧ	25.7	(t/ημ)	
Νερό α' υλών αραίωσης	12	(t/ημ)	
ΣΥΝΟΛΟ Ανακύκλωσης-Αραίωσης	37.7	(t/ημ)	
ΣΥΝΟΛΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΑΧ	66.6	(t/ημ)	
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ			
ΟΟΦ	1.63	(kg ΠΣ/m ³ _{χων} -ημέρα)	
ΟΠΒ	1.27	(Nm ³ ΒΙΟ/m ³ _{χων} -ημέρα)	
ΟΠΜ	0.88	(Nm ³ CH ₄ /m ³ _{χων} -ημέρα)	
ΕΠΒ	0.78	(Nm ³ ΒΙΟ/kg ΠΣ-ημέρα)	
ΕΠΜ	0.54	(Nm ³ CH ₄ /kg ΠΣ-ημέρα)	

ΧΛ	4.6	(ΠΣ _{ΕΛΛΙΟΠ} /ΠΣ _{ΠΤΗΝΟ})
ΠΥΧΠ	58	(ημέρες)
ΤΥΧΠ	23	(ημέρες)
ΦΠΣ	73	(%)

Πίνακας 2.1.1. Αποτελέσματα εφαρμογής μίγματος Α' (ΟΟΦ=1.63) στην υπό εξέταση μονάδα βιοαερίου

Από τον πίνακα 2.1.1 παρατηρείται ότι η εφαρμογή του μίγματος Α' (απόβλητα πτηνοτροφείου και διφασικού ελαιοτριβείου) απαιτεί **ΟΟΦ=1.63 kg ΠΣ/m³ χων-ημέρα** για τη λειτουργία του Α/Χ της υπό εξέταση μονάδας ($V_{ΧΩΝ}=3500 \text{ m}^3$). Για τη λειτουργία του Α/Χ παρατηρείται ότι είναι απαραίτητη η μεταφορά 31.7 t/ημ συνολικών αποβλήτων, εκ των οποίων 6 t/ημ είναι απόβλητα πτηνοτροφείου και 25.7 t/ημ απόβλητα διφασικού ελαιοτριβείου, με τιμές Ο.Σ. κατά βάρος 27.2% και 23.2% αντίστοιχα. Τα παραπάνω πυκνά απόβλητα αραιώνονται έτσι ώστε να καθίσταται δυνατός ο μηχανικός διαχωρισμός τους πριν την εισαγωγή τους στον Α/Χ. Το σύνολο των υγρών αραιώσης των παραπάνω αποβλήτων είναι 37.7 t/ημ και το σύνολο τροφοδοσίας του Α/Χ 66.6 t/ημ. Η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου είναι $1.27 \text{ Nm}^3 \text{ BIO/m}^3 \text{ χων-ημέρα}$, και η μείωση των Π.Σ. μετά τη χώνευση είναι 73%.

ΜΙΓΜΑ Α'		
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ		
$V_{ΧΩΝ}$	3500	m^3
BOD₅ (υγρών εξόδου Α/Χ)	12400	mg/L
$V_{ΑΔΕΝΙΤ}$	1100	m^3
kW _{αερισμού}	80	kW
$V_{ΑΧΑΔ}$	8753	m^3
BOD₅ (υγρών εξόδου ΑΧΑΔ)	620	mg/L

Πίνακας 2.1.2. Όγκοι εγκαταστάσεων και παράμετροι διαχείρισης υγρών αποβλήτων μίγματος Α'

Από τον πίνακα 2.1.2 παρατηρούμε ότι το οργανικό φορτίο των αποβλήτων μετά τον Α/Χ ανέρχεται σε **BOD₅ = 12400 mg/L** και ο όγκος της αερόβιας δεξαμενής είναι $V_{ΑΔΕΝΙΤ} = 1100 \text{ m}^3$, με απαραίτητη ηλεκτρική ισχύ αεριστών 80 kW. Τέλος ο όγκος της ΑΧΑΔ ανέρχεται στα 8753 m^3 με τελική τιμή οργανικού φορτίου στην έξοδο της **BOD₅ = 620 mg/L**, η οποία είναι επιτρεπόμενη τιμή για διάθεση στο έδαφος, καθώς το όριο που θέτει η νομοθεσία είναι 1200 mg/L.

ΜΙΓΜΑ Β'			
Α' ΥΛΕΣ	ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΠΤΗΝΟ/ΦΕΙΟ Υ	ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΥΡΟΚΟΜΕΙΟΥ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΙΓΜΑΤΟΣ
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	ΟΟΦ = 1.51 kg ΠΣ/m³ _{ζων}-ημέρα.		
Ημερήσια Ποσότητα (t/d)	5.1	87.3	92.4
Ετήσια Ποσότητα (t/a)	1,774	30,555	32,340
Ολικά Στερεά (%)	27.2%	-	
Πτητικά Στερεά (%)	20.1%	5.5%	
ΟΓΚΟΙ ΥΓΡΩΝ ΑΡΑΙΩΣΗΣ			
Ανακύκλωση υγρών εκροής ΑΧ	9.85	(t/ημ)	
Νερό α' υλών αραίωσης	3	(t/ημ)	
ΣΥΝΟΛΟ Ανακύκλωσης-Αραίωσης	12.85	(t/ημ)	
ΣΥΝΟΛΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΑΧ	104.8	(t/ημ)	
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ			
ΟΟΦ	1.51	(kg ΠΣ/m ³ _{ζων} -ημέρα)	
ΟΠΒ	1.33	(Nm ³ ΒΙΟ/m ³ _{ζων} -ημέρα)	
ΟΠΜ	0.88	(Nm ³ CH ₄ /m ³ _{ζων} -ημέρα)	
ΕΠΒ	0.88	(Nm ³ ΒΙΟ/kg ΠΣ-ημέρα)	
ΕΠΜ	0.59	(Nm ³ CH ₄ /kg ΠΣ-ημέρα)	
ΧΛ	5.2	(ΠΣ _{ΕΛΛΙΟΠ} /ΠΣ _{ΠΤΗΝΟ})	
ΠΥΧΠ	34	(ημέρες)	
ΤΥΧΠ	24	(ημέρες)	
ΦΠΣ	79.4	(%)	

Πίνακας 2.1.3. Αποτελέσματα εφαρμογής μίγματος Β' (ΟΟΦ=1.51) στην υπό εξέταση μονάδα βιοαερίου

Από τον πίνακα 2.1.3 παρατηρείται ότι η εφαρμογή του μίγματος Β' (απόβλητα πτηνοτροφείου και τυρόγαλα) απαιτεί **ΟΟΦ=1.51 kg ΠΣ/m³ _{ζων}-ημέρα** για τη λειτουργία του Α/Χ της υπό εξέταση μονάδας (V_{ΧΩΝ}= 3500 m³). Για τη λειτουργία του Α/Χ παρατηρείται ότι είναι απαραίτητη η μεταφορά 92.4 t/ημ

συνολικών αποβλήτων, εκ των οποίων 5.1 t/ημ είναι απόβλητα πτηνοτροφείου και 87.3 t/ημ τυρόγαλα, με τιμές Π.Σ. κατά βάρος 20.1% και 5.5% αντίστοιχα. Τα παραπάνω απόβλητα αραιώνονται έτσι ώστε να καθίσταται δυνατός ο μηχανικός διαχωρισμός τους πριν την εισαγωγή τους στον Α/Χ. Το σύνολο των υγρών αραιώσης των παραπάνω αποβλήτων είναι 12.85 t/ημ και το σύνολο τροφοδοσίας του Α/Χ 104.8 t/ημ. Η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου είναι 1.33 Nm³ BIO/m³_{χων-ημέρα}, και η μείωση των Π.Σ. μετά τη χώνευση είναι 79.4%.

ΜΙΓΜΑ Β'		
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ		
V_{ΧΩΝ}	3500	m ³
BOD₅ (υγρών εξόδου Α/Χ)	5090	mg/L
V_{ΑΛΕΝΙΤ}	1050	m ³
kW_{αερισμού}	77	kW
V_{ΑΧΑΔ}	20584	m ³
BOD₅ (υγρών εξόδου ΑΧΑΔ)	254	mg/L

Πίνακας 2.1.4. Όγκοι εγκαταστάσεων και παράμετροι διαχείρισης υγρών αποβλήτων μιγματος Β'

Από τον πίνακα 2.1.4 παρατηρούμε ότι το οργανικό φορτίο των αποβλήτων μετά τον Α/Χ ανέρχεται σε **BOD₅ = 5090 mg/L** και ο όγκος της αερόβιας δεξαμενής είναι **V_{ΑΛΕΝΙΤ} = 1050 m³**, με απαραίτητη ηλεκτρική ισχύ αεριστών 77 kW. Τέλος ο όγκος της ΑΧΑΔ ανέρχεται στα 20584 m³ με τελική τιμή οργανικού φορτίου στην έξοδο της **BOD₅ = 254 mg/L**, η οποία είναι επιτρεπόμενη τιμή για διάθεση στο έδαφος, καθώς το όριο που θέτει η νομοθεσία είναι 1200 mg/L.

ΜΙΓΜΑ Γ'			
Α' ΥΛΕΣ	ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ Δ/Χ	ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΥΡΟΚΟΜΕΙΟΥ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΙΓΜΑΤΟΣ
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	ΟΟΦ = 0.9 kg ΠΣ/m³ _{χων}-ημέρα.		
Ημερήσια Ποσότητα (t/d)	132.3	118.8	251.1
Ετήσια Ποσότητα (t/a)	46,200	41,300	87,500
Ολικά Στερεά (%)	1.03%	3.8%	
Πτητικά Στερεά (%)	0.6%	2.2%	
ΟΓΚΟΙ ΥΓΡΩΝ ΑΡΑΙΩΣΗΣ			
Ανακύκλωση υγρών εκροής ΑΧ	-	(t/ημ)	
Νερό αραίωσης α' υλών	-	(t/ημ)	
ΣΥΝΟΛΟ Ανακύκλωσης-Αραίωσης	-	(t/ημ)	
ΣΥΝΟΛΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΑΧ	251.14	(t/ημ)	
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ			
ΟΟΦ	0.9	(kg ΠΣ/m ³ _{χων} -ημέρα)	
ΟΠΒ	1.37	(Nm ³ ΒΙΟ/m ³ _{χων} -ημέρα)	
ΟΠΜ	0.89	(Nm ³ CH ₄ /m ³ _{χων} -ημέρα)	
ΕΠΒ	1.52	(Nm ³ ΒΙΟ/kg ΠΣ-ημέρα)	
ΕΠΜ	0.98	(Nm ³ CH ₄ /kg ΠΣ-ημέρα)	
ΧΛ	3.3	(ΠΣ _{ΕΛΛΙΟΠ} /ΠΣ _{ΠΤΗΝΟ})	
ΠΥΧΠ	14	(ημέρες)	
ΤΥΧΠ	15	(ημέρες)	
ΦΠΣ	88.6	(%)	

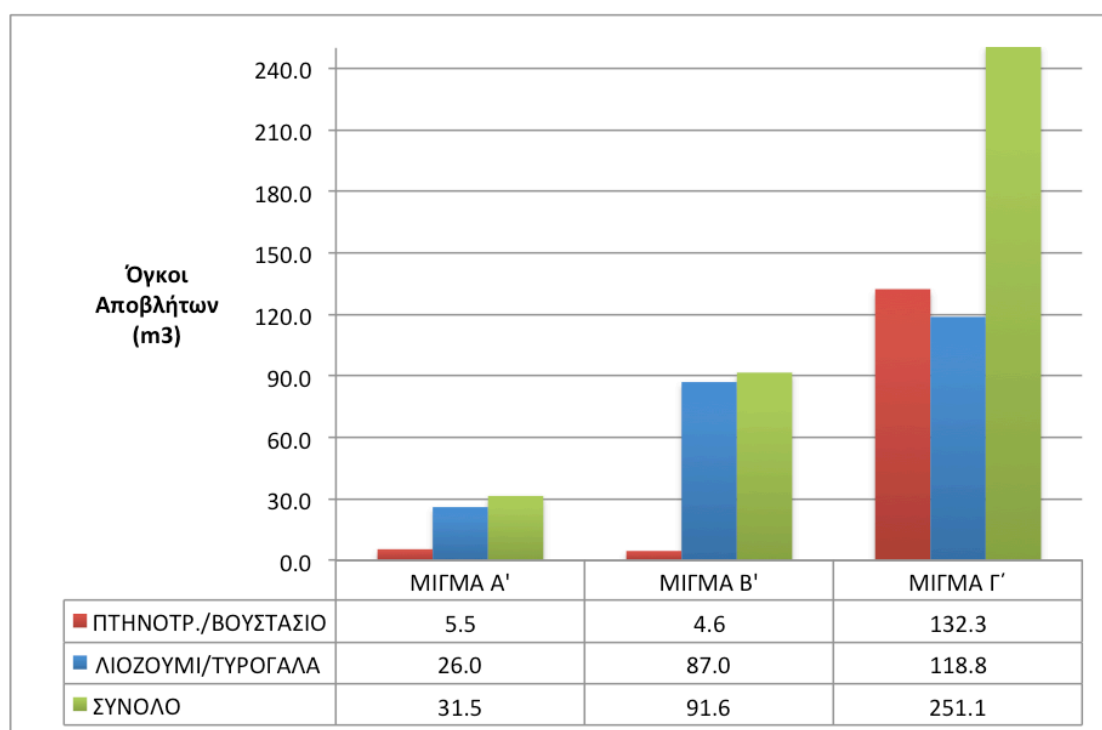
Πίνακας 2.1.5. Αποτελέσματα εφαρμογής μίγματος Γ' (ΟΟΦ=0.9) στην υπό εξέταση μονάδα βιοαερίου

Από τον πίνακα 2.1.5 παρατηρείται ότι η εφαρμογή του μίγματος Β' (απόβλητα βουστασίου μετά από Δ/Χ και τυρόγαλα) απαιτεί **ΟΟΦ=0.9 kg ΠΣ/m³ _{χων}-ημέρα** για τη λειτουργία του Α/Χ της υπό εξέταση μονάδας (V_{ΧΩΝ}= 3500 m³). Για τη λειτουργία του Α/Χ παρατηρείται ότι είναι απαραίτητη η μεταφορά 251.1 t/ημ συνολικών αποβλήτων, εκ των οποίων 132.3 t/ημ είναι απόβλητα βουστασίου μετά

από διαχωρισμό και 118.8 t/ημ τυρόγαλα, με τιμές Ο.Σ. κατά βάρος 1.03% και 3.8% αντίστοιχα. Τα παραπάνω απόβλητα είναι ιδιαίτερος αραιά και για αυτό δεν χρησιμοποιούνται υγρά αραιώσης στη μονάδα. Το σύνολο τροφοδοσίας του Α/Χ είναι 251.1 t/ημ και αποτελούνται εξ ολοκλήρου από απόβλητα που μεταφέρονται στη μονάδα, γεγονός που καθιστά τη περίπτωση του μίγματος Γ' οικονομικά ασύμφορη. Η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου είναι 1.37 Nm³ BIO/m³ χων-ημέρα, και η μείωση των Π.Σ. μετά τη χώνευση είναι 88.6%.

2.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

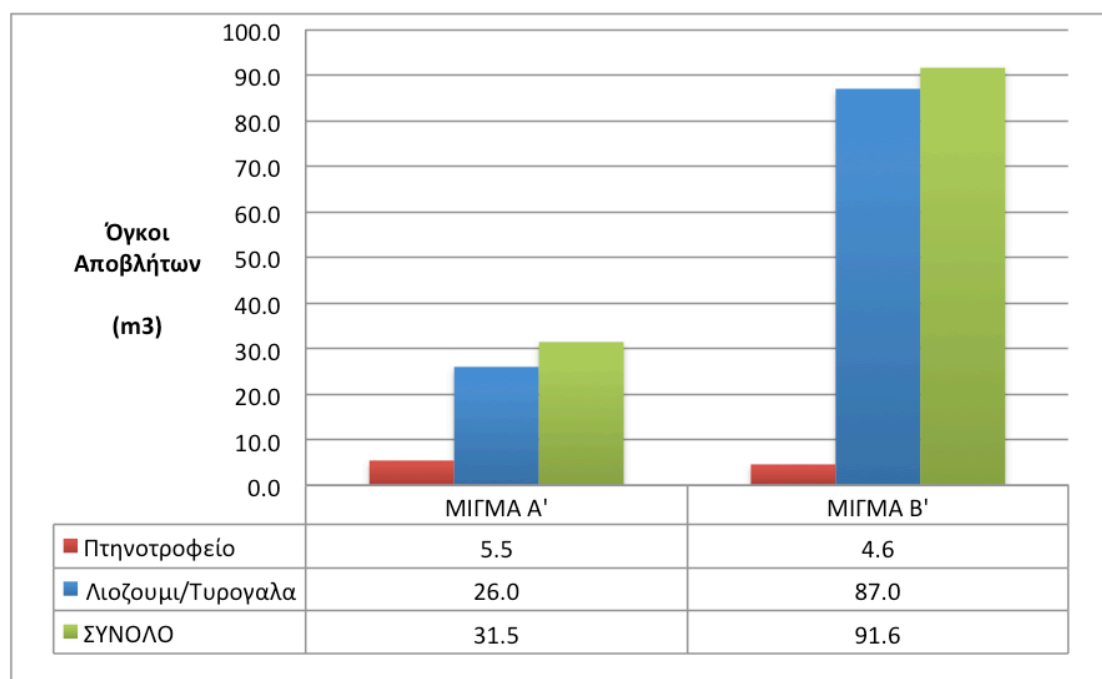
Ακολουθεί σύγκριση των τριών περιπτώσεων εφαρμογής στη μονάδα βιοαερίου, σύμφωνα με τις ποσότητες α' ύλης που είναι απαραίτητες σε κάθε περίπτωση μίγματος και παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα 1, όπως προκύπτουν από τους πίνακες 1, 3 και 5 του προηγούμενου υπο κεφαλαίου.



Διάγραμμα 2.2.1. Ποσότητες α' ύλης (μεταφοράς προς τη μονάδα) για τα διάφορα μίγματα

Από το διάγραμμα 2.2.1 παρατηρείται ότι το μίγμα Γ' αποτελεί τη περίπτωση με τη μεγαλύτερη ποσότητα αποβλήτων (251 t/ημ), γεγονός απόλυτα

δικαιολογημένο, επειδή το μίγμα Γ' δεν δέχεται αραίωση στη μονάδα βιοαερίου όπως τα υπόλοιπα μίγματα (B' & Γ'), αλλά μεταφέρεται ήδη αραιωμένο από της μονάδες προέλευσης του. Για τους παραπάνω λόγους το μίγμα Γ απορρίπτεται καθώς κρίνεται οικονομικά ασύμφορη η μεταφορά τόσο μεγάλης ποσότητας αποβλήτων. Επίσης από το διάγραμμα 2.2.1 παρατηρείται ότι το μίγμα Α' είναι η περίπτωση με τη μικρότερη ποσότητα αποβλήτων (32 t/ημ) έναντι του μίγματος Β' (92 t/ημ). Η μεγάλη διαφορά τους δικαιολογείται στη χρήση πιο αραιής α' ύλης για το μίγμα Β' (τυρογάλα) με Π.Σ= 5.5%, έναντι του πιο πυκνού ελαιοπυρηνολύματος με Π.Σ= 21.8% για το μίγμα Α'. Η διαφορά των α' υλών για τα μίγματα Α' και Β' παρουσιάζεται πιο αναλυτικά και στο διάγραμμα 2.2.2, που ακολουθεί. Παρατηρείται (διάγραμμα 2.2.2) ότι μεταξύ των δυο μιγμάτων (Α' και Β') η ποσότητα αποβλήτων πτηνοτροφείου είναι 6 t/ημ και 5 t/ημ αντίστοιχα, ενώ για το μίγμα Α' η ποσότητα ελαιοπυρηνολύματος είναι 26 t/ημ και για το μίγμα Β' η ποσότητα τυρογάλακτος είναι 87 t/ημ. Συμπεραίνεται εκ των παραπάνω ότι όσο πιο μεγάλη είναι η συγκέντρωση Ο.Σ. στα απόβλητα τόσο μικρότερη είναι και η ποσότητα αποβλήτων που είναι απαραίτητη για μεταφορά προς τη μονάδα βιοαερίου και ως εκ τούτου το μίγμα Α' αποτελεί την πιο οικονομική περίπτωση όσον αφορά το κόστος μεταφοράς των αποβλήτων.

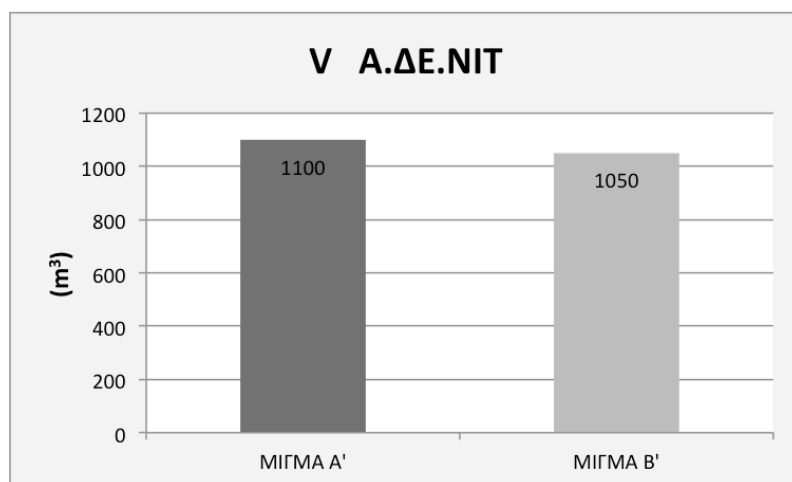


Διάγραμμα 2.2.2. Ποσότητες α' ύλης (μεταφοράς προς τη μονάδα) για τα μίγματα Α' και Β'.

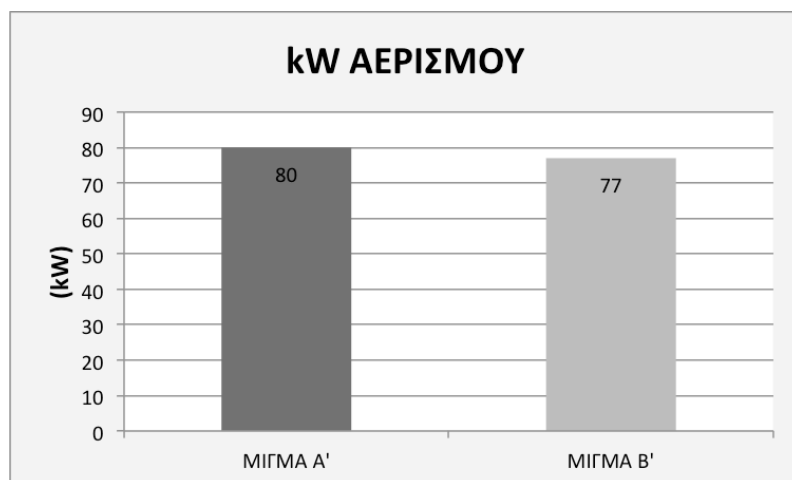
Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση των μιγμάτων Α' και Β', βάση του μεγέθους (m^3) των εγκαταστάσεων διαχείρισης των υγρών εκροών μετά τον αναερόβιο χωνευτήρα καθώς και της ηλεκτρικής ισχύος (kW) του εξοπλισμού αερισμού της αερόβιας δεξαμενής.

Στο διάγραμμα 2.2.3 παρατηρείται ότι το μέγεθος της αερόβιας δεξαμενής για τα μίγματα Α' και Β' είναι $1100 m^3$ και $1050 m^3$ αντίστοιχα, δηλαδή σχεδόν ίδια. Επίσης από το γράφημα 4 παρατηρείται ότι η ηλεκτρική ισχύς των αεριστών είναι 80

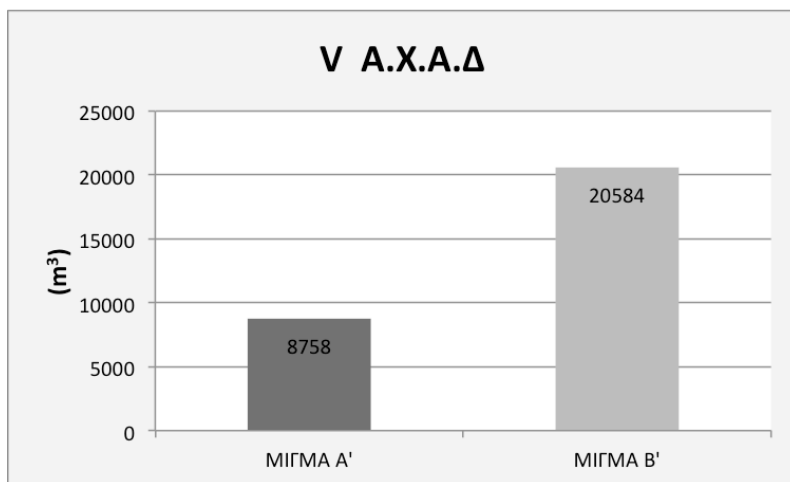
kW και 77 kW για το μίγμα Α' και Β' αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές που αφορούν ουσιαστικά το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας της αερόβιας δεξαμενής (ΑΔΕΝΙΤ), δεν δείχνουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του μίγματος Α' και Β'. Αντίθετα, το μέγεθος της ανοιχτής χωμάτινης αναερόβιας δεξαμενής (ΑΧΑΔ) που παρουσιάζεται στο διάγραμμα 2.2.5, δείχνει μεγάλη διαφορά μεταξύ των δύο μιγμάτων. Συγκεκριμένα για τη περίπτωση του μίγματος Α' (8758 m^3) και του μίγματος Β' (20584 m^3) μεγαλύτερη κατά 135% από την πρώτη. Η μεγάλη διαφορά μεταξύ των δυο μιγμάτων οφείλεται στο μεγαλύτερο χρόνο παραμονής στον Α/Χ του μίγματος Α' (ΠΥΧΠ=58 ημέρες) σε σχέση με του μίγματος Β' (ΠΥΧΠ= 34 ημέρες). Συμπεραίνεται από τα παραπάνω ότι ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στον Α/Χ, αποτελεί ένα κρίσιμο παράγοντα, ο οποίος επηρεάζει με τη σειρά του το κόστος των εγκαταστάσεων διαχείρισης των υγρών εκροής και κυρίως της ΑΧΑΔ. Τέλος συμπεραίνεται ότι το μίγμα Α' μεταξύ των τριών μιγμάτων που εξετάστηκαν, αποτελεί την περίπτωση με το μικρότερο κόστος μεταφοράς αποβλήτων προς τη μονάδα βιοαερίου και με το μικρότερο μέγεθος εγκαταστάσεων διαχείρισης.



Διάγραμμα 2.2.3. Όγκος αερόβιας δεξαμενής για τα μίγματα Α' και Β'.



Διάγραμμα 2.2.4. Ηλεκτρική ισχύς αεριστών αερόβιας δεξαμενής, για τα μίγματα Α' και Β'.



Διάγραμμα 2.2.5. Όγκος ανοιχτής χωμάτινης αναερόβιας δεξαμενής, για τα μίγματα Α' και Β'.

3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΟ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ

Η μονάδα βιοαερίου που εξετάζεται στη παρούσα εργασία εφαρμόζει μηχανικό διαχωρισμό στο χωνεμένο υπόλειμμα μετά τον αναερόβιο χωνευτήρα, σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα. Η πραγματικές ποσότητες αποβλήτων τροφοδοσίας παρουσιάζονται στο πίνακα 1 (Χωρίς Δ/Χ), καθώς επίσης και οι ποσότητες υγρών αποβλήτων στις οποίες έχει εφαρμοστεί μηχανικός διαχωρισμός πριν την εισαγωγή τους στο χωνευτήρα (Με Δ/Χ), όπως έχουν αναλυθεί στα παραπάνω υπο κεφάλαια. Στο πίνακα 3.1 παρατηρείται ότι στη περίπτωση όπου προηγείται ο μηχανικός διαχωρισμός η συνολική ποσότητα αποβλήτων εισαγωγής είναι 66.6 t/d, ενώ η περίπτωση όπου εφαρμόζεται σήμερα στη μονάδα είναι 73 t/d. Επίσης παρατηρείται ότι στη προτεινόμενη περίπτωση το σύνολο των αποβλήτων που μεταφέρονται προς τη μονάδα είναι 32 t/ημ, δηλαδή το 60% της ποσότητας που εφαρμόζεται σήμερα στη μονάδα, όπου είναι 53 t/ημ. Επίσης παρατηρείται η αντίστροφη αναλογία μεταξύ κοπριάς και ελαιοπυρηνόλυμας. Σήμερα εφαρμόζονται μεγαλύτερες ποσότητες κοπριάς σε σχέση με το ελαιοπυρηνόλυμα, σε αντίθεση με τη θεωρητική προσέγγιση της παρούσας εργασίας όπου η κοπριά είναι μικρότερης ποσότητας από το ελαιοπυρηνόλυμα.

Τροφοδοσία αποβλήτων			
Απόβλητα		Δ/Χ μετά	Δ/Χ πριν
Κοπριά κότας	(t/d)	14	6
Κοπριά κουνελιού	(t/d)	10	-
Υγρή κοπριά αγελάδας	(t/d)	12	-
Ελαιοπυρηνόλημα	(t/d)	17	25.7
Νερό/Ανακυκλούμενα Α.Χ.	(t/d)	20	37.7
ΣΥΝΟΛΟ (ΝΩΠΩΝ)	(t/d)	53	32
ΣΥΝΟΛΟ (ΑΡΑΙΩΜΕΝΩΝ)	(t/d)	73	66.6

Πίνακας 3.1. Απόβλητα τροφοδοσίας που δεν έχουν δεχθεί διαχωρισμό (πυκνά) και απόβλητα που έχουν δεχθεί διαχωρισμό (υγρά).

Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι παράμετροι παραγωγής βιοαερίου της υπάρχουσας (πραγματικής) κατάστασης, σε σύγκριση με την επιθυμητή και την εξεταζόμενη στη παρούσα εργασία περίπτωση υγρών εισόδου που έχουν δεχθεί μηχανικό διαχωρισμό. Παρατηρείται ότι η παρούσα κατάσταση με εφαρμογή των αποβλήτων του πίνακα 1 (73 t/d), αποδίδει ηλεκτρική ισχύ 240 kW με παραγωγή μεθανίου 60 Nm³CH₄/ώρα, ενώ η δυναμικότητα (επιθυμητή) είναι 500 kW με τη παραγωγή μεθανίου να πρέπει να φτάσει τα 123 Nm³CH₄/ώρα. Επίσης η ΟΠΒ είναι 0.69 Nm³ BIO/m³ _{χων}-ημέρα ενώ η επιθυμητή είναι 1.43 Nm³ BIO/m³ _{χων}-ημέρα.

Επίσης από τον πίνακα 3.2 γίνεται σύγκριση με την προτεινόμενη εφαρμογή μηχανικού διαχωριστή πριν τον αναερόβιο χωνευτήρα, η οποία δείχνει μικρότερη ΟΟΦ (1.63) σε σχέση με την εφαρμοζόμενη (2.9), λόγω του διαχωρισμού των αποβλήτων με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μεγαλύτερη ειδική παραγωγή βιοαερίου (0.778 Nm³ BIO/kg ΠΣ-ημ) σε σχέση με την επιθυμητή της μονάδας σύμφωνα με την εφαρμοζόμενη περίπτωση (0.461 Nm³ BIO/kg ΠΣ-ημ).

Παράμετροι βιοαερίου	παραγωγής	Δ/Χ μετά (πραγματικό)	Δ/Χ μετά (επιθυμητό)	Δ/Χ πριν
ΟΟΦ	(kg ΠΣ _μ /m ³ _{χων} -ημ)	2.9	2.9	1.63
ΟΠΒ	(Nm ³ BIO/m ³ _{χων} -ημ)	0.69	1.43	1.27
ΕΠΒ	(Nm ³ BIO/kg ΠΣ-ημ)	0.237	0.461	0.778
Βιοαέριο	(Nm ³ BIO/ώρα)	100	208	196
Μεθάνιο	(Nm ³ CH ₄ /ώρα)	60	123	123
Μεθάνιο	(%)	62	62	66
Ηλεκτρική ισχύς	(kW)	240	500	500

Πίνακας 3.2. Παράμετροι παραγωγής βιοαερίου αποβλήτων που δεν έχουν δεχθεί διαχωρισμό (Χωρίς Δ/Χ) και απόβλητα που έχουν δεχθεί διαχωρισμό (Με Δ/Χ).

4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΟ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ

Οι εγκαταστάσεις διαχείρισης των αποβλήτων μετά την αναερόβια χώνευση, όπως έχουν περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο διαφέρουν μεταξύ των εφαρμοζόμενων και αυτών που προτείνονται στη παρούσα εργασία, ως η πρόταση του εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών Γ.Π.Α. Στο πίνακα 4.1 παρουσιάζονται συγκριτικά οι παράμετροι της πρώτης αερόβιας δεξαμενής (ΑΔΕΝΙΤ). Παρατηρείται ότι στην εφαρμοζόμενη περίπτωση ο όγκος της δεξαμενής (300 m³) είναι πολύ μικρότερος του προτεινόμενου (750 m³), με διαφορά στα kW αερισμού 30 και 57 αντίστοιχα. Η χωρική επιβάρυνση με οργανικό φορτίο της κάθε δεξαμενής (ΟΟΦ_{ΑΔΕΝΙΤ}) εκφρασμένη σε Kg BOD₅ ανά m³ την ημέρα στη δεξαμενή, δείχνει ότι η εφαρμοζόμενη περίπτωση αερόβιας δεξαμενής είναι “υπερφορτωμένη” (0.79) σε σχέση με την προτεινόμενη (0.31). Τέλος παρατηρείται (πίνακας 1) ότι ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στη δεξαμενή στην εφαρμοζόμενη περίπτωση είναι 6 ημέρες, ενώ στη προτεινόμενη 14.

Από τον πίνακα 4.1 γίνεται ακόμα σύγκριση μεταξύ των εγκαταστάσεων που προτείνονται στην παρούσα εργασία εάν εφαρμοζόταν μηχανικός διαχωριστής πριν τον χωνευτήρα (προτεινόμενη περίπτωση με Δ/Χ) με αυτή που δεν εφαρμόζεται διαχωρισμός (προτεινόμενη περίπτωση χωρίς Δ/Χ).

Παρατηρείται ότι όταν δεν εφαρμόζεται διαχωρισμός, ο όγκος της δεξαμενής (750 m³) είναι μικρότερος από την περίπτωση που εφαρμόζεται (1100 m³). Η διαφορά αυτή δεν οφείλεται στον όγκο των αποβλήτων εισόδου την ημέρα, ο οποίος δεν έχει μεγάλη διαφορά, αλλά στο οργανικό φορτίο (BOD₅) το οποίο είναι παραπάνω από διπλάσιο στη περίπτωση με Δ/Χ (12 kg/m³) έναντι (4.5 kg/m³) της περίπτωσης που δεν εφαρμόζεται. Σημειώνεται εδώ ότι η διαφορά στις τιμές BOD₅ δεν οφείλεται στην εφαρμογή του μηχανικού διαχωρισμού, αλλά στην διαφορετική προέλευση των αποβλήτων μεταξύ των δυο περιπτώσεων.

Τα kW αερισμού είναι 57 και 80 αντίστοιχα, ενώ η χωρική επιβάρυνση με οργανικό φορτίο της κάθε δεξαμενής (ΟΟΦ_{ΑΔΕΝΙΤ}) είναι (0.31 kg BOD/m³_{Δεξ.}-ημ) και (0.44 kg BOD/m³_{Δεξ.}-ημ).

Παράμετροι ΑΔΕΝΙΤ	Εφαρμοζόμενη περίπτωση <i>Δ/Χ μετά</i>	Προτεινόμενη περίπτωση <i>Δ/Χ μετά</i>	Προτεινόμενη περίπτωση <i>Δ/Χ πριν</i>	Μονάδες μέτρησης
V ΑΔΕΝΙΤ	300	750	1100	m ³
V αποβλήτων εισόδου	53	53	41	m ³ /ημ
BOD ₅ εισόδου	4.5	4.5	12	kg/m ³
ΟΟΦ _{ΑΔΕΝΙΤ}	0.795	0.318	0.447	kg BOD/m ³ _{Δεξ.} -ημ
Χρόνος παραμονής	6	14	27	ημ
Ισχύς αεριστών	30	57	80	kW
Τύπος αεριστών	Διάχυσης	Επιφανειακός	Επιφανειακός	-
Δεξαμενή καθίζησης	Εξωτερική	Ενσωματωμένη	Ενσωματωμένη	-

Πίνακας 4.1. Παράμετροι δεξαμενής αερισμού ΑΔΕΝΙΤ για την εφαρμοζόμενη περίπτωση και για τις προτεινόμενες με μηχανικό διαχωριστή και χωρίς.

Στο πίνακα 4.2 παρατηρείται η διαφορά στον όγκο των τελικών δεξαμενών αποθήκευσης των αποβλήτων μετά και την αερόβια επεξεργασία τους. Η υπάρχουσες εγκαταστάσεις είναι συνολικού όγκου 2000 m³, ενώ οι προτεινόμενες στη παρούσα εργασία όπως έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, έτσι ώστε να καλύπτεται το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η διάθεση των αποβλήτων στο έδαφος είναι απαγορευτική είναι 11300 m³. Παρατηρείται λοιπόν και εδώ μια σημαντική απόκλιση από τις προτεινόμενες εγκαταστάσεις.

Τέλος από τον πίνακα 4.2, μπορούμε να δούμε ότι στη περίπτωση που εφαρμόζεται μηχανικός διαχωρισμός η τελική ΑΧΑΔ είναι 8760 m³, δηλαδή μικρότερη από την προτεινόμενη χωρίς Δ/Χ, γεγονός που δικαιολογείται από τις ποσότητες αποβλήτων προς επεξεργασία, οι οποίες είναι λιγότερες όταν εφαρμόζεται μηχανικός διαχωρισμός.

Δεξαμενές τελικής αποθήκευσης	Εφαρμοζόμενη περίπτωση <i>Δ/Χ μετά</i>	Προτεινόμενη περίπτωση <i>Δ/Χ μετά</i>	Προτεινόμενη περίπτωση <i>Δ/Χ πριν</i>
V Δεξαμενών (m ³)	2000	11300	8760
Τύπος δεξαμενής	Κλειστή τσιμεντένια	Ανοιχτή χωμάτινη	Ανοιχτή χωμάτινη
Λειτουργία	Αποθήκευση	Αποθήκευση και απονιτροποίηση	Αποθήκευση και απονιτροποίηση

Πίνακας 4.2. Χαρακτηριστικά δεξαμενής αποθήκευσης για την εφαρμοζόμενη περίπτωση και για τις προτεινόμενες με μηχανικό διαχωριστή και χωρίς.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Μελετήθηκε για πρώτη φορά η θεωρητική εφαρμογή μιγμάτων αποβλήτων πτηνο-κτηνοτροφικών μονάδων και βιομηχανιών τροφίμων στα οποία έχει εφαρμοστεί μηχανικός διαχωρισμός, σε υπάρχουσα μονάδα βιοαερίου λειτουργίας σύμφωνα με τα Γερμανικά πρότυπα.
2. Η περίπτωση Α' (πτηνοτροφικά απόβλητα και ελαιοπυρηνόλυμα) είναι η μοναδική εκ των τριών που εξετάστηκαν, η οποία κρίνεται αποδεκτή και εφαρμόσιμη στην υπάρχουσα μονάδα βιοαερίου, ηλεκτρικής ισχύος 500 kW και όγκου χωνευτήρα 3500 m³.

Αποτελεί την περίπτωση με το μικρότερο κόστος μεταφοράς αποβλήτων προς τη μονάδα βιοαερίου και με το μικρότερο μέγεθος εγκαταστάσεων διαχείρισης.

Η προτεινόμενη ποσότητα τροφοδοσίας της περίπτωσης Α' είναι **66.6 t/ημ**, με Πραγματικό Υδραυλικό Χρόνο Παραμονής στο χωνευτήρα **ΠΥΧΠ=52 ημ**. Τα απόβλητα που μεταφέρονται στη μονάδα είναι 31.7 t/ημ ή 11,095 t/a. Τα υγρά ανακύκλωσης του αναερόβιου χωνευτήρα και τα νερά που χρησιμοποιούνται στην αραίωση των αποβλήτων είναι 37.7 t/ημ.

Αντίστοιχα σύμφωνα με τα Γερμανικά πρότυπα, η ποσότητα τροφοδοσίας είναι **74 t/ημ**, με Πραγματικό Υδραυλικό Χρόνο Παραμονής στο χωνευτήρα **ΠΥΧΠ=49 ημ**.

Τα απόβλητα που μεταφέρονται στη μονάδα είναι 53 t/ημ ή 18,550 t/a. Τα υγρά ανακύκλωσης του αναερόβιου χωνευτήρα που χρησιμοποιούνται στην αραίωση των αποβλήτων είναι 20 t/ημ.

3. Η περίπτωση Β' (πτηνοτροφικά απόβλητα και τυρόγαλα) κρίνεται συμφέρουσα σε μονάδες βιοαερίου με ωφέλιμο όγκο χωνευτήρα 2820 – 2080 m³. Η περίπτωση Β' διαθέτει μεγαλύτερη ΑΧΑΔ κατά 135% σε σχέση με τη περίπτωση Α' (20580 έναντι 8760 m³) καθώς και πολύ μεγαλύτερες ποσότητες αποβλήτων (92 έναντι 32 t/ημ). Άρα κρίνεται μη εφαρμόσιμη στη παρούσα μονάδα ($V_{\chi\omega\nu}=3500 \text{ m}^3$).
4. Η περίπτωση Γ' (αραιά υγρά απόβλητα βουστασίου και απόβλητα τυροκομείου) κρίνεται μη εφαρμόσιμη στη παρούσα μονάδα, λόγω πολύ μεγάλων ποσοτήτων τροφοδοσίας (210 t/ημ) που είναι αποτέλεσμα των

αρκετά αραιών πρώτων υλών (Π.Σ.= 0.6 - 3.76 %), καθώς και λόγω μη εφαρμογής του μηχανικού διαχωρισμού πριν τον A/X.

5. Η εξεταζόμενη μονάδα παραγωγής βιοαερίου, καθώς δεν βρίσκεται κοντά ή εντός κάποιας πτηνο-κτηνοτροφικής μονάδας, είναι εξαρτώμενη από τη μεταφορά αποβλήτων (α΄ ύλης) προς αυτήν. Η ποσότητα αποβλήτων προς μεταφορά εξαρτάται κυρίως από την πυκνότητα τους. Βέλτιστη είναι η μεταφορά των πιο πυκνών αποβλήτων, ώστε να επιτυγχάνεται ο μικρότερος όγκος προς μεταφορά, άρα και μείωση του κόστους.
6. Η χρησιμοποίηση μηχανικού διαχωριστή πριν τον αναερόβιο χωνευτήρα (προτεινόμενη περίπτωση Α΄) χρησιμοποιεί μικρότερες ποσότητες πρώτης ύλης αποβλήτων (**31.7 t/ημ**) σε σχέση με την εφαρμοζόμενη περίπτωση (**53 t/ημ**).
7. Η εφαρμογή μηχανικού διαχωρισμού πριν τον A/X, ενώ οδηγεί στην εφαρμογή μικρότερης ΟΟΦ (1.63 kg ΠΣ_μ/m³_{ΧΩΝ-ημ}) σε σχέση με την εφαρμοζόμενη (2.9 kg ΠΣ_μ/m³_{ΧΩΝ-ημ}), εντούτοις καταλήγει σε μεγαλύτερο οργανικό φορτίο εξόδου του A/X 12000 mg/L, έναντι 4500 mg/L του εφαρμοζόμενου.

Μια εξήγηση στο παραπάνω αποτελεί η χρησιμοποίηση μεγαλύτερων ποσοτήτων ελαιοπυρηνολύματος, το οποίο είναι υψηλού οργανικού φορτίου.

Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι οι διαφορές στις εγκαταστάσεις διαχείρισης των εκροών του αναερόβιου χωνευτήρα (ΑΔΕΝΙΤ και ΑΧΑΔ), όπου για τη προτεινόμενη περίπτωση εφαρμογής μηχανικού διαχωρισμού είναι $V_{ΑΔΕΝΙΤ} = 1100 \text{ m}^3$ με 80 kW και $V_{ΑΧΑΔ} = 8760 \text{ m}^3$. Οι αντίστοιχες προτεινόμενες εγκαταστάσεις στην εφαρμοζόμενη περίπτωση (χωρίς μηχανικό διαχωρισμό) είναι $V_{ΑΔΕΝΙΤ} = 750 \text{ m}^3$ με 57 kW και $V_{ΑΧΑΔ} = 11300 \text{ m}^3$.

Η εφαρμογή του μηχανικού διαχωρισμού και η χρησιμοποίηση των αποβλήτων τις περιπτώσεις Α΄ έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου της ΑΔΕΝΙΤ κατά 46% (1100 έναντι 750 m³) και των kW αερισμού κατά 40% (80 έναντι 57 kW). Αντίστοιχα όμως και την μείωση του όγκου της ΑΧΑΔ κατά 22% (8760 έναντι 11300 m³).

8. Πλεονέκτημα της εφαρμογής μηχανικού διαχωριστή πριν τον A/X, αποτελεί η μη συσσώρευση αδρανούς υλικού στο πυθμένα του A/X, άρα και αποφυγή της αναγκαίας διακοπής και ανοίγματος του ώστε να απομακρυνθεί το συσσωρευμένο υλικό. Η κατάργηση αυτής της διαδικασίας οδηγεί σε μείωση του κόστους συντήρησης και λειτουργίας της μονάδας βιοαερίου.

9. Η εφαρμογή μηχανικού διαχωριστή πριν τον A/X προϋποθέτει την ύπαρξη πρώτης ύλης πλούσιας σε άνθρακα C, όπως είναι τα απόβλητα ελαιοτριβείου, σε κοντινή απόσταση από την μονάδα βιοαερίου. Η συγκεκριμένη κατηγορία αποβλήτων έχει τη μεγαλύτερη αναλογία στο μίγμα τροφοδοσίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση:

- Γεωργακάκης Δ. (2010a), Δευτεροβάθμια (Βιολογική) Επεξεργασία Γεωργο-Βιομηχανικών Αποβλήτων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τεύχος 3ο Μέρος Α', Αθήνα: Έκδοση ΓΠΑ.
- Γεωργακάκης Δ. (2010b) Επεξεργασία και Διάθεση Αποβλήτων Γεωργο-κτηνοτροφικών Μονάδων και Γ. Βιομηχανιών, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Αθήνα: Έκδοση ΓΠΑ.
- 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.
- Μάρμολος Γ. (2007) Μηχανικός Διαχωρισμός.
- Νταρακάς Ε. (2014), Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.
- 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

Ξενόγλωσση:

- Ahring B.K. (2003) 'Perspectives for Anaerobic Digestion', Biomethanation I – Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, vol. 81, pp. 1 – 30.
- Agroenergy A.E. 2012
- Animal Production and Technology 2008.
- 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.
- Biogas Handbook 2009, Al Seadi T., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R. (2009)
- Biomass Energy 2012
- Dennis A. & Burke P.E. (2001) Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook - Options for Recovering Beneficial Products from Dairy Manure, Olympia, WA: Environmental Energy Company.
- Deublein D., Steinhauser A. (2011) Biogas from waste and renewable resources: an introduction, Germany: Wiley-Vch.
- Ferry J.G. (1993) Methanogenesis- Ecology, Physiology, Biochemistry & Genetics, New York: Chapman & Hall.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
 - Metcalf & Eddy Inc., Tchobanoglous G., Burton F. L., Stensel H. D. (2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4rd 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.
 - Rosillo-Calle F. & Woods J. (2007) The Biomass Assessment Handbook – Bioenergy for a sustainable environment, 1st ed., London: EarthScan.
 - 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.
 - 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.
 - 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.
 - 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
- Agroenergy A.E. 2012 www.agroenergy.gr
- Autev Engineering A.E. www.autev-engineering.eu
- Big East – Biogas for Eastern Europe www.big-east.eu
- Biofuels – The fuel of the future www.biofuel.org.uk
- Biogas IN www.biogasin.org/
- Biomass Energy www.biomassenergy.gr

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Υπολογιστικό μοντέλο διαστασιολόγησης εγκαταστάσεων (Excel):

	A	B	C	D	E	F	
1	ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΟΥ ΑΥΓΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΦΑΣΙΚΟΥ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ						
2							
3	ΣΧΕΣΗ BOD5/ΠΣ =		ΟΠΒ	ΤΥΧΠ	Φ%(ΠΣ)	Φ%(BOD5)	
4	ΟΟΦ_μ =	2.5	1.80	14.7	44.9	52.7	
5	ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΣΤΗ ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (kW_μ)=	500	ΟΠΜ	ΠΥΧΠ	ΧΛ	Φ%(COD)	
6			1.20	38	7.3	55.0	
7	ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ						
8							
9	ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΟΥ	Νωπά	ΟΣ(%)	27.2	ΜΗ ΑΡΑΙΩΜΕΝΑ		
10		Μετά Δ/Χ	ΠΣ(%)	20.1	ΑΡΑΙΩΜΕΝΑ		
11			ΟΣ(%)	7			
12			ΠΣ(%)	4.7			
13							
14	ΑΠΟΒΛΗΤΑ 2ΦΑΣΙΚΟΥ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ	Νωπά	ΟΣ(%)	23.2			
15		Μετά Δ/Χ	ΠΣ(%)	21.8			
16			ΟΣ(%)	13.2			
17			ΠΣ(%)	11.8			
18							
19	ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ						
20	ΟΟΦ	ΟΟΦ					
21	Νωπό ελαιοπτηνόλυμα (t/ημ)	30.99					
22	Νωπά απόβλητα πτηνοτροφείου (t/ημ)	4.58					
23	Σύνολο μίγματος τροφοδοσίας ΑΧ (χωρίς την αραίωση) (t/ημ)	35.56					
24	ΟΠΒ	1.80					
25	ΟΠΜ	1.20					
26	ΧΛ	7.3					
27	V _{μικρ}	2,558					
28	ΠΥΧΠ	38					
29	V _{αερίων}	1,100					
30	kW _{αερίων}	257					
31	V _{αερίων}	9,517					
32	BOD _{5, ολικό} (από ΑΧ)	36,658					
33	%μείωση BOD ₅ (στον ΑΧ)	52.7					
34	Τελική τιμή BOD ₅ στα υγρά εκροές της ΑΧΑΔ, mg/L	1833					
35	TKN	4,596					
36	%μείωση TKN	10					
37	Αναμενόμενη τιμή TKN στα τελικά υγρά της ΑΧΑΔ, mg/l	230					
38	Ποσότητα εφαρμογής υγρών εκροής στα έδαφος, m ³ /στρ [με βάση το όριο 25kg/στρ]	109					
39	Ποσότητα εφαρμογής υγρών εκροής στα έδαφος, m ³ /στρ [με βάση το όριο 17kg/στρ]	74					
40	Ετήσια ποσότητα υγρών ΑΧΑΔ για εδαφική διάθεση, m ³	13,407					
41	Απαιτούμενη εδαφική έκταση για τη διάθεση των ετήσιων υγρών της ΑΧΑΔ για λίπανση (25 kg/στρ)	123					
42	Απαιτούμενη έκταση εδαφικού-φυτικού φίλτρου ανάπτυξης αυτοφύων (25 kg/στρ)	49					
82	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ						
83	ΟΠΒ = 0,6167(ΟΟΦ _μ) + 0,2628 (R ² = 0,971) = Nm ³ ΒΙΟ/μ ³ αερίων-ημέρα		ΟΠΒ	1.31		Nm ³ ΒΙΟ/μ ³ αερίων-ημέρα	
84	ΟΠΜ = 0,3672(ΟΟΦ _μ) + 0,2839 (R ² = 0,970) = Nm ³ CH ₄ /m ³ αερίων-ημέρα		ΟΠΜ	0.91		Nm ³ CH ₄ /m ³ αερίων-ημέρα	
85	X _ε = 3,1055(ΟΟΦ _μ) - 0,4198 (R ² = 0,992) = (ΠΣ _{ελαίου/ΠΣ_{πτηνο})}		X _ε	4.9		(ΠΣ _{ελαίου/ΠΣ_{πτηνο})}	
86	ΤΥΧΠ = 36,479(ΟΟΦ _μ) - 0,993 (R ² = 1,0) = ημέρες		ΤΥΧΠ	21.5		ημέρες	
87	ΠΥΧΠ = 94,58(ΟΟΦ _μ) ^{0.596} (R ² = 0,996) = ημέρες		ΠΥΧΠ	56		ημέρες	
88	ΟΠΒ/Α = ΟΠΒxΠΥΧΠ = 1,31x56 = Nm ³ ΒΙΟ/μ ³ αερίων		ΟΠΒ/Α	73.49		Nm ³ ΒΙΟ/μ ³ αερίων	
89	ΟΠΜ/Α = ΟΠΜxΠΥΧΠ = Nm ³ CH ₄ /m ³ αερίων		ΟΠΜ/Α	50.90		Nm ³ CH ₄ /m ³ αερίων	
90	ΕΠΒ = ΟΠΒ/ΟΟΦ = Nm ³ ΒΙΟ/kg ΠΣ-ημέρα		ΕΠΒ	0.771		Nm ³ ΒΙΟ/kg ΠΣ-ημέρα	
91	ΕΠΜ = ΟΠΜ/ΟΟΦ = Nm ³ CH ₄ /kg ΠΣ-ημέρα		ΕΠΜ	0.534		Nm ³ CH ₄ /kg ΠΣ-ημέρα	
92	BOD ₅ = 24,455(ΟΟΦ) ² - 73,084(ΟΟΦ) + 66,524 (R ² = 0,995) = mg/L		BOD ₅	12,956		mg/L	
93	COD = 41,840(ΟΟΦ) ² - 117,268(ΟΟΦ) + 116,172 (R ² = 0,999) = mg/L		COD	37,734		mg/L	
94	ΔBOD ₅ = -17,727(ΟΟΦ) ² + 44,486(ΟΟΦ) + 52,309 (R ² = 0,995) = %		ΔBOD ₅	76.7		%	
95	ΔCOD = -28,819(ΟΟΦ) ² + 84,827(ΟΟΦ) + 23,052 (R ² = 0,990) = %		ΔCOD	84.0		%	
96	ΔΠΣ = -30,816(ΟΟΦ) ² + 94,818(ΟΟΦ) + 0,4167 (R ² = 0,999) = %		ΔΠΣ	72.5		%	
65	Β) ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ						
66	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΜΕΘΑΝΙΟΥ = 10,0 kWh/Nm ³ CH ₄ ή 13,944 kWh/kg CH ₄		Ενεργειακό περιεχόμενο CH ₄	10		kWh/Nm ³ CH ₄	
67	ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ = 10,0xΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ (0,407 ΣΗΜΕΡΑ)		Δυναμικό Ηλεκτρ/γωγιής	40.7			
68	ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΘΕΡΜΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ = 10,0xΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ (0,415 ΣΗΜΕΡΑ)		Δυναμικό Θερμ/γωγιής	41.5			
69	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΘΕΡΜΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ = 10,0xΟΛΙΚΟ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ (0,822 ΣΗΜΕΡΑ)		Συνολικό δυναμικό	82.2			
70	ΜΕΣΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΕ ΜΕΘΑΝΙΟ (%)		Περιεκτικότητα ΒΙΟ σε CH₄ (%)	66			
71	ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ/ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ [kW _ε /kWh _ε /Nm ³ CH ₄] = Nm ³ CH ₄ /ΩΡΑ ή Nm ³ ΒΙΟ/ΩΡΑ		Ωριαία παραγωγή	122.85		Nm ³ CH ₄ /ώρα	
72	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ/ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ, Nm ³ CH ₄ /ΗΜΕΡΑ ή Nm ³ ΒΙΟ/ΗΜΕΡΑ		Ημερήσια παραγωγή	2,948		Nm ³ CH ₄ /ημέρα	
73	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ/ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ, Nm ³ CH ₄ /ΕΤΟΣ ή Nm ³ ΒΙΟ/ΕΤΟΣ		Ετήσια παραγωγή	1,076,167		Nm ³ CH ₄ /έτος	
74	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ % ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΣΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ		Συντ. Ασφαλείας	0.95			
75	ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΩΡΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΜΕΡΗΣΙΩΣ/ΕΤΗΣΙΩΣ		Ωρες λειτουργίας	22		ώρες ημερησίως	
76	ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ/ΩΡΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΤΗΣΙΩΣ		Ημέρες λειτουργίας	350		ημέρες ετησίως	
77	ΜΕΣΗ ΚΑΘΑΡΗ ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ/ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΠΡΟΣΔΥΣΗΣΕΙΣ, Nm ³ CH ₄ /ΩΡΑ ή Nm ³ ΒΙΟ/ΩΡΑ		Καθαρή ωριαία παραγωγή	139.8		Nm ³ CH ₄ /ώρα	
78	ΜΕΣΗ ΚΑΘΑΡΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ/ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΠΡΟΣΔΥΣΗΣΕΙΣ, Nm ³ CH ₄ /ΗΜΕΡΑ ή Nm ³ ΒΙΟ/ΗΜΕΡΑ		Καθαρή ημερ. παραγωγή	3,075		Nm ³ CH ₄ /ημέρα	
79	ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, kWh		Ετήσια Ηλεκτρική	4,360,728		kWh	
80	ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, kWh _{th}		Ετήσια Θερμική	4,466,093		kWh _{th}	

ΔΟΣΕΙΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ				
101				
102	$PΣ_2 = PΣ_{\text{ΓΑΛΙΟΝ}} + PΣ_{\text{ΠΤΗΝΟ}} = \text{kg ΠΣ/ημ}$		ΠΣμ	6,196
103	$PΣ_{\text{ΓΑΛΙΟΝ}}/PΣ_{\text{ΠΤΗΝΟ}} = X$, οπότε :			
104	$PΣ_{\text{ΠΤΗΝΟ}} = \text{kg/ημ}$		ΠΣ _{πτηνο}	1,098
105	$PΣ_{\text{ΓΑΛΙΟΝ}} = \text{kg/ημ}$		ΠΣ _{γαλιον}	5,098
106	$Q_{\text{ΓΑΛΙΟΝ}} = \text{t/ημ (αραιωμένα)}$ META Δ/X		Q _{γαλιον}	43.20
107	ή t/ημ νωπού ελασιοτηρηλούματος			23.38
108	$Q_{\text{ΠΤΗΝΟ}} = \text{t/ημ (αραιωμένα)}$ META Δ/X		Q _{πτηνο}	23.36
109	ή t/ημ νωπά απόβλητα πτηνοτροφείου			5.46
110	$Q_{\text{μ}} = \text{t/ημ νωπών α' υλών}$		Q _μ	28.85
111	$Q_{\text{μ}} = \text{t/ημ νωπών α' υλών} + \text{νερό αραίωσης (1)+ υγρά αραίωσης (2) [Επιθυμητή σχέση νωπών α' υλών με υγρά αραίωσης: 1/1 κ.ό.]$		Q _{μ (1)}	40.85
112	$Q_{\text{αραιωσης}} = \text{t/ημ ανακυκλούμενων υγρών εκροής του AX και νερού αραίωσης}$		Q _{αραιωσης}	37.72
113	Κατανάλωση νερού αραίωσης σε υποκατάσταση αντίστοιχης ποσότητας ανακυκλούμενων υγρών του AX		Νερό αραίωσης	12.00
114	Ανακυκλούμενα υγρά εκροής AX		Υγρά ανακύκλωσης	25.72
115	Συντελεστής αύξησης ωφέλιμου όγκου AX από V_{αδ} σε V_{αλ}		Συντελεστής	1.15
116	$V_{\text{αδ}} = (\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ημ})/(\text{Nm}^3/\text{m}^3 \text{αδ} \cdot \text{ημ}) = \text{m}^3$		V _{αδ}	3,484
117	$V_{\text{αλ}} = V_{\text{αδ}} \times \text{Συντ. αύξησης όγκου AX} = \text{m}^3$		V _{αλ}	4,007
118	Για h _{αλ} = m, η διάμετρος (d) είναι = [(όγκος AX/h)*4/3,14] ^{0.5} = m		h _{αλ (m)}	7.0
119	Εσωτερική επιφάνεια τοιχωμάτων του AX = 3,14x d x h = m ²		S _{τοίχ}	594
120	Επιφάνεια διατέδου του AX = [3,14x(d) ²]/4 = m ²		S _{δαν}	572
121	Πραγματικός χρόνος παραμονής μίγματος στον AX, ημέρες		ΠΥΧΠ'	85
ΔΙΑΤΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΔΕΝΙΤ				
46	Q _{αερίων εισόδου στην ΑΔΕΝΙΤ} = t/ημ (έλεγχος μίγματος με EC)		Q _α	41.22
47	Φορτίο BOD ₅ = mg/L		BOD ₅	12,956
48	F/M = Q _α BOD ₅ /(VxMLSS) =		F/M	0.21
49	Συνκέντρωση αερόβιων μικροοργανισμών στα υγρά της ΑΔΕΝΙΤ (MLSS)		MLSS	2600
50	ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΟΒΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ (V)		V	1,000
51	ΒΑΘΟΣ ΥΓΡΩΝ ΑΔΕΝΙΤ (h'), m		h'	3
52	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΔΕΝΙΤ, m ²		επιφάνεια ΑΔΕΝΙΤ	333
53	Έλεγχος : F/V = Q _α BOD ₅ /V = <500 (okay)		Έλεγχος : F/V	534
54	ΥΠ(ΑΔΕΝΙΤ) = V/Q = >8 ημ (okay)		ΥΠ(ΑΔΕΝΙΤ)	24
55	Επιφανειακοί (πολύστρωφοί) αεριστές :			2.5
56	kg O ₂ /kW-h F = kg O ₂ /kW-h		kg O ₂ /kW-h	1.5
57	Ανάδευση : Vx0,03 = kW (και προπέλα αν χρειαστεί)		Ανάδευση	30
58	BOD ₅ = Q _α BOD ₅ /1.000 = kg BOD ₅ /ημ x kg O ₂ /kg BOD ₅ = kg O ₂ /0,877 x μείωση φορτίου x ώρες/ημέρα = kW		Ώρες/ημέρα	20
59	Αεριστές : 10 πολύστρωφοί των 9 kW ο καθένας		Ισχύς αεριστή (Kw)	9
60	Τελική τιμή BOD ₅ των υγρών εκροής της ΑΔΕΝΙΤ : BOD ₅ x (1-μείωση φορτίου στην ΑΔΕΝΙΤ) = mg/L		Μείωση φορτίου στην ΑΔΕΝΙΤ	0.9
61	Q = V/Q = t/ημ (πληρέχεια ποσότητα απομάκρυνσης υγρών ΑΔΕΝΙΤ προς ΑΧΑΔ και ισοποίηση επιστροφή υγρών ΑΧΑΔ)		Θς (ημέρες)	25
62	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΧΑΔ ΑΝΤΙ ΝΕΡΟΥ, t/ημ (μέχρι το σύνολο του νερού ανακύκλωσης, πχ 12 t/ημ) [πχ επιλογή 10 t/ημ]		μέχρι	12
63				10
Ζ) ΤΕΛΙΚΗ ΑΧΑΔ (ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΓΡΩΝ) (ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ)				
142	Βασικός όγκος της ΑΧΑΔ = (Q _{αερίων} ΑΔΕΝΙΤ-50% νερού αραίωσης, t/ημ) x ΥΠ + επεφ. ΑΔΕΝΙΤ x ύψος βροχής(**) (10ετίας) = m ³		V _{βασικός}	4,934
143	ΥΠ(ΑΧΑΔ), ημέρες		ΥΧΠ	120
144	h _{αδ} = το συνολικό βάθος της δεξαμενής = 6,0 m		h _{αδ}	6
145	h _{αδ} = το ύψος που αντιστοιχεί στον όγκο ασφαλείας της δεξαμενής = 1,0 m		h _{ασφ}	1
146	h _{βρ} = Μέγιστο ύψος βροχής δεκαετίας στην περιοχή (μέση ετήσια βροχόπτωση x 1,3) = 0,845 m		h _{βρ}	0.45
147	h _{μειωμ} = Ελάχιστο ύψος εξάτμισης (παράλειπεται για λόγους ασφαλείας)		h _{μειωμ}	1
148	h = το ύψος της στάθμης των υγρών μέσα στη δεξαμενή (h _{αδ} - h _{αδ} - h _{βρ} - h _{μειωμ})		h	3.4
149	V _{αδ} = Ο βασικός όγκος της ΑΧΑΔ (αντιστοιχεί στο ύψος h), m ³			
150	α ₁ , β ₁ = διαστάσεις πυθμένα			
151	α ₂ , β ₂ = άνω διαστάσεις δεξαμενής (κορυφή τοιχωμάτων)		β ₂	50
152	α ₁ ' , β ₁ ' = διαστάσεις υγρής επιφάνειας στο ύψος της στάθμης των υγρών (h)			
153	k = κλίση τοιχωμάτων = οριζόντιο/κατακόρυφο, πχ 1/1,5=0,67		k	0.67
154	β ₁ = β ₂ - 2 x k x h _{αδ} (στρογγυλοποίηση)		β ₁	42
155	β ₁ ' = β ₁ + 2 x k x h, (στρογγυλοποίηση)		β ₁ '	47
156	α ₁ = [V _{αδ} / (h x (β ₁ ' - k x h))] - k x h		α ₁	30
157	α ₁ ' = α ₁ + 2 x k x h _{αδ} (στρογγυλοποίηση)		α ₁ '	35
158	α ₂ = α ₁ + 2 x k x h _{αδ}		α ₂	38
159	Ο κατασκευαστικός όγκος της δεξαμενής υπολογίζεται από τη σχέση :			
160	V _{ολ} = (h _{αδ} /3) x [α ₂ x β ₂ + α ₁ x β ₁ + (α ₂ x β ₂ x α ₁ x β ₁) ^{0.5}], m ³		V _{ολ}	9,517
161	Όγκος υγρών προς διάθεση, m ³ /έτος (Βασικός όγκος + νερά βροχής στην ΑΧΑΔ + υγρά για (365-ΥΠ) x Q _{αερίων})		V _{υγρών}	13,407
162	Ποσοστό μείωσης BOD ₅ στην ΑΧΑΔ		Μείωση BOD%	50
163	Τελική τιμή BOD ₅ στα υγρά εκροής της ΑΧΑΔ : BOD ₅ in x (1-%μείωση), mg/L		Τελική BOD ₅	1833