



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΑΓΡΟΔΙΑΤΡΟΦΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ



ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΜΠΛΙΑ ΜΑΡΙΑ-ΕΛΕΝΗ (Α.Μ. 7679)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΡΩΜΑΙΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ (Δρ. Μηχ.)

ΠΑΤΡΑ 2023

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται στην μελέτη μιας μονάδας αναερόβιας χώνευσης για την παραγωγή βιοαερίου αξιοποιώντας υπολείμματα αγροδιατροφικών προϊόντων ως πρώτη ύλη. Είναι γνωστό ότι το βιοαέριο αποτελεί εναλλακτικό τρόπο για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμική ενέργειας. Έτσι λοιπόν, με την συλλογή χιλιάδων ανεκμετάλλευτων τόνων φρούτων και λαχανικών ετησίως, είναι δυνατό να παραχθεί από αυτά αξιοποιήσιμο βιοαέριο, μέσω μιας μονάδας αναερόβιας χώνευσης.

Στην αρχή μελετάται το βιοαέριο και οι δυνατότητες αξιοποίησής του ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Στην συνέχεια αναπτύσσεται η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης και στο τέλος δίνονται αριθμητικοί υπολογισμοί της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου και κατ'επέκταση της παραγόμενης ενέργειας. Συνακόλουθο όλων αυτών, πραγματοποιείται μια πλήρης μελέτη και οικονομοτεχνική ανάλυση για την εγκατάσταση μιας μονάδας αναερόβιας χώνευσης με σκοπό την παραγωγή βιοαερίου κατόπιν επεξεργασίας αγροδιατροφικών και κτηνοτροφικών αποβλήτων.

Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Αλέξανδρο Ρωμαίο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστημίου Πελοποννήσου καθώς και τον Γεώργιο Μάνθο, υποψήσιο διδάσκοντα, του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφεραν για την πραγματοποίηση της Εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την σημαντική στήριξή τους καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης της Πτυχιακής μου Εργασίας.

Μπλια Μαρία-Ελένη

Μάιος 2023

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής

(Ονοματεπώνυμο)

Μπλια Μαρία – Ελένη

(Υπογραφή)



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στην μελέτη μονάδας αναερόβιας χώνευσης για την παραγωγή βιοαερίου, το οποίο κατόπιν επεξεργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θερμική και ηλεκτρική ενέργεια. Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε οκτώ κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται η έννοια της βιομάζας και στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των κτηνοτροφικών αποβλήτων. Έπειτα, στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια εναλλακτική λύση για την παραγωγή ενέργειας φιλική προς το περιβάλλον, το βιοαέριο, όπου στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύεται η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης που απαιτείται για την παραγωγή αυτού.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, περιγράφεται μια μονάδα αναερόβιας χώνευσης και η διεργασία που πραγματοποιείται στην συγκεκριμένη μονάδα παρουσιάζεται στο έκτο κεφάλαιο, δίνοντας έμφαση στον αντιδραστήρα που επιλέχθηκε για την επίτευξη της αναερόβιας χώνευσης.

Για την μελέτη αυτής της μονάδας αναερόβιας χώνευσης, προτείνονται δύο επιπλέον σενάρια πέρα από το βασικό, όπου χρησιμοποιούνται αγροδιατροφικά υπολείμματα προϊόντων. Ειδικότερα, στο έβδομο κεφάλαιο, μέσω διαγράμματος γίνεται αντιληπτό πως η διαθέσιμη ποσότητα των υπολειμμάτων δεν είναι σταθερή καθόλη την διάρκεια του έτους, και ιδίως ορισμένους μήνες θεωρείται μηδαμινή. Για αυτό λοιπόν, στο ένα από τα επιπλέον σενάρια προστίθενται κτηνοτροφικά απόβλητα, στο ήδη υπάρχον μίγμα των αγροδιατροφικών, ούτως ώστε η ποσότητα μίγματος να είναι όμοια όλους τους μήνες του έτους. Στο άλλο σενάριο επιλέγονται οι ίδιες ποσότητες, αλλά με διπλάσια κτηνοτροφικά. Στη συνέχεια, με βάση την παροχή των αποβλήτων του κάθε σεναρίου διαστασιολογείται ο αντιδραστήρας και κατόπιν υπολογισμών προκύπτει η παραγόμενη ποσότητα ενέργειας ετησίως για κάθε σενάριο.

Στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την συγκεκριμένη μελέτη, για την σχέση μεταξύ διαθέσιμων ποσοτήτων αποβλήτων, παραγόμενης ενέργειας και χρόνου απόσβεσης για την παρούσα μονάδα αναερόβιας χώνευσης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	vii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	xiii
1. ΒΙΟΜΑΖΑ	15
1.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	17
1.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	17
1.2.1 Μεγάλη θερμογόνος δύναμη	17
1.2.2 Υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα.....	17
1.2.3 Περιεκτικότητα σε υγρασία.....	18
1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	18
1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	18
1.4.1 Πλεονεκτήματα	18
1.4.2 Μειονεκτήματα	19
2. ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	21
2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	22
2.2 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΒΟΥΣΤΑΣΙΑ.....	23
2.4 ΡΥΠΑΝΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	24
3. ΒΙΟΑΕΡΙΟ	25
4. ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	29
4.1 ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ	30
4.1.1 ΥΔΡΟΛΥΣΗ.....	30

4.1.2 ΟΞΕΟΓΕΝΕΣΗ.....	31
4.1.3 ΟΞΙΚΟΓΕΝΕΣΗ.....	31
4.1.4 ΜΕΘΑΝΟΓΕΝΕΣΗ.....	32
4.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ.....	34
4.2.1 pH.....	35
4.2.2 Θερμοκρασία.....	36
4.2.3 Οργανικός ρυθμός φόρτισης.....	37
4.2.4 Υδραυλικός χρόνος παραμονής.....	38
4.2.5 Ανάδευση.....	39
4.2.6 Πτητικά λιπαρά οξέα.....	39
4.2.8 Θρεπτικά Συστατικά.....	40
4.2.9 Τοξικές ουσίες.....	40
4.2.10 Αλατότητα.....	41
4.3 ΕΙΔΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ.....	41
5. ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΑΓΡΟΔΙΑΤΡΟΦΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ.....	43
5.1 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ.....	43
5.2 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	44
6. ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ.....	47
6.1.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ CSTR.....	49
6.1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ CSTR.....	50
6.1.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ CSTR.....	50
6.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	51
6.3 ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	52
6.3.2 ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ.....	53
6.4 ΥΓΡΟ ΛΙΠΑΣΜΑ.....	53

7. ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	55
7.1 ΠΡΩΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ – ΑΓΡΟΔΙΑΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	55
7.2 ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ	65
7.3 ΤΡΙΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ	71
7.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	75
7.5 ΠΩΛΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	75
7.6 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ .	76
7.7 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ	77
7.8. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ SANKEY	78
7.9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	80
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	82

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΧ : Αναερόβια Χώνευση

ΑΠΕ : Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας

BOD: Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

BOD₅: Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο, την πέμπτη ημέρα

COD: Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

OLR: Οργανικός Ρυθμός Φόρτισης

HRT: Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής

TS: Ολικά στερεά

TSS: Ολικά αιωρούμενα στερεά

VSS: Πτητικά αιωρούμενα στερεά

DO: Διαλυμένο οξυγόνο

VFA: Πτητικά Λιπαρά Οξέα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενέργεια αποτελεί αγαθό πρώτης ανάγκης και είναι εξέχουσας σημασίας για την συνέχιση της ανθρώπινης ανάπτυξης. Άλλωστε, χωρίς ενέργεια, ο συνολικός ιστός της κοινωνίας θα κατέρρευε. Για παράδειγμα, μια εικοσιτετράωρη διακοπή στην παροχή ηλεκτρισμού φέρει σημαντικές επιπτώσεις σε μια πόλη. Φαίνεται λοιπόν η πλήρη εξάρτησή μας από αυτήν την εξαιρετικά χρήσιμη μορφή ενέργειας.

Κατά την διάρκεια της ιστορικής και πολιτισμικής εξέλιξης, η ζήτηση ενέργειας από τον άνθρωπο είχε μια διαρκώς αυξητική πορεία. Η παγκόσμια ζήτηση αυξάνεται ραγδαία, μαζί με την αύξηση του πληθυσμού, την αστικοποίηση και τον εκσυγχρονισμό και αναμένεται να αυξηθεί απότομα τα επόμενα έτη, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Πιο συγκεκριμένα, ο πλανήτης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά καύσιμα για να αντιμετωπίσει τις ενεργειακές απαιτήσεις των ανθρώπων. Ιδίως κατά τους τελευταίους δύο αιώνες η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας σημείωσε μεγάλη αύξηση και στηρίχθηκε κυρίως στα ορυκτά καύσιμα, όπως το κάρβουνο και το πετρέλαιο, τα οποία παρέχουν περίπου το 80% των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών. Όμως, λόγω της ταχείας αύξησης κατανάλωσης των καυσίμων παγκοσμίως, αναμένεται να εξαντληθούν το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, έως το τέλος αυτού του αιώνα.

Έτσι, η εύρεση νέων πηγών ενέργειας, όπως για παράδειγμα η βιομάζα, έχει ζωτική σημασία, καθώς είναι κατάλληλη για την παραγωγή ενέργειας και θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

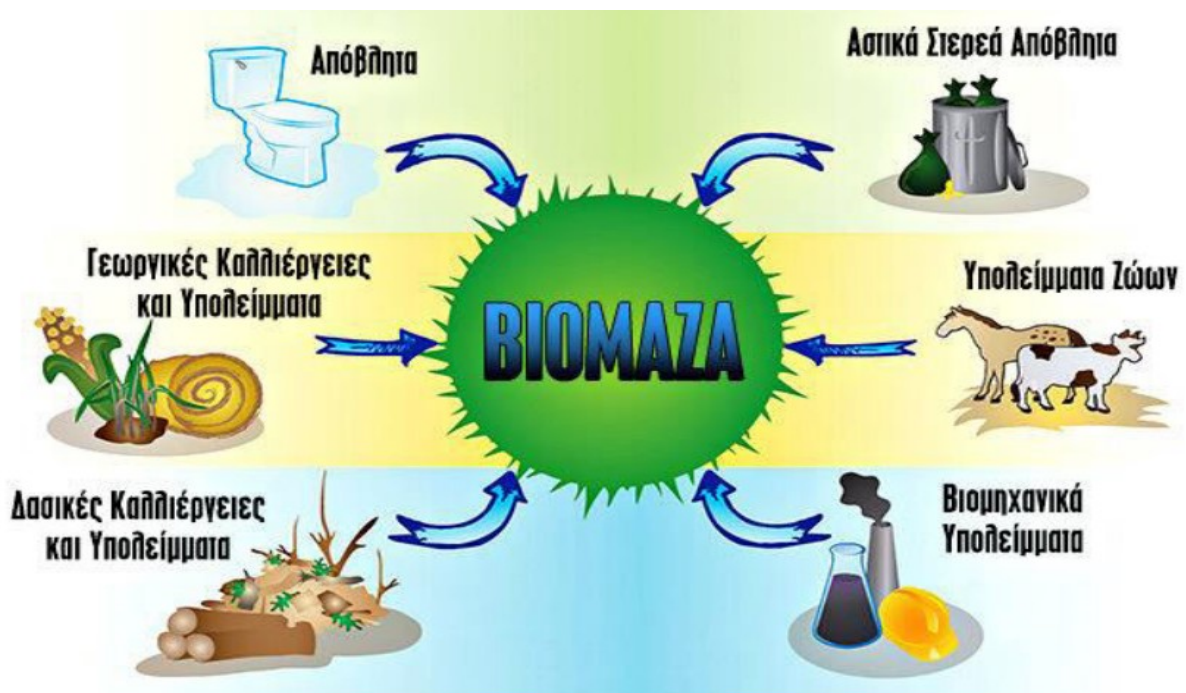
Ειδικότερα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πλέον είναι απαραίτητες στην ζωή μας. Τα συμβατικά καύσιμα χρειάζεται να αντικατασταθούν στο μεγαλύτερο μέρος τους, αν όχι εξολοκλήρου, από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς πλέον η μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης είναι επιτακτική ανάγκη. Γίνεται αντιληπτό πως η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ο ήλιος και ο αέρας, προσφέρουν πολλά οφέλη τόσο οικονομικά, όσο και περιβαλλοντικά.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αξιολογεί, οικονομικά και τεχνικά, την επένδυση σε μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου ισχύος 1MW. Στόχος της συγκεκριμένης επένδυσης είναι η παραγωγή και πώληση ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση βιοαερίου, το οποίο θα παραχθεί μέσω της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης και χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη αγροτικά και κτηνοτροφικά απόβλητα, όπως πατάτα, καρότο, καρπούζι, πορτοκάλι, μανταρίνι και κοπριά βοοειδών. Η επιλογή των συγκεκριμένων αποβλήτων δεν είναι τυχαία, καθώς απορρίπτονται χιλιάδες τόνοι αυτών ετησίως στην χώρα μας.

Αρχικά, γίνεται μια εισαγωγή σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τη ζωτική τους σημασία, καθώς και τα επίπεδα χρήσης τους σε διάφορα χρονικά διαστήματα. Επιπλέον, περιγράφονται οι ορισμοί της βιομάζας και του βιοαερίου, η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης για την παραγωγή του βιοαερίου, αλλά και οι εγκαταστάσεις από τις οποίες αποτελείται μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου. Τέλος, ακολουθεί ανάλυση της σκοπιμότητας με το μείγμα της πρώτης ύλης να αποτελείται από αγροτικά και κτηνοτροφικά απόβλητα.

1. ΒΙΟΜΑΖΑ

Με τον όρο βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό που παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς, όπως είναι το ξύλο και λοιπά προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κλπ. και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Οι κατηγορίες της βιομάζας φαίνονται και στην ακόλουθη εικόνα 1.1.



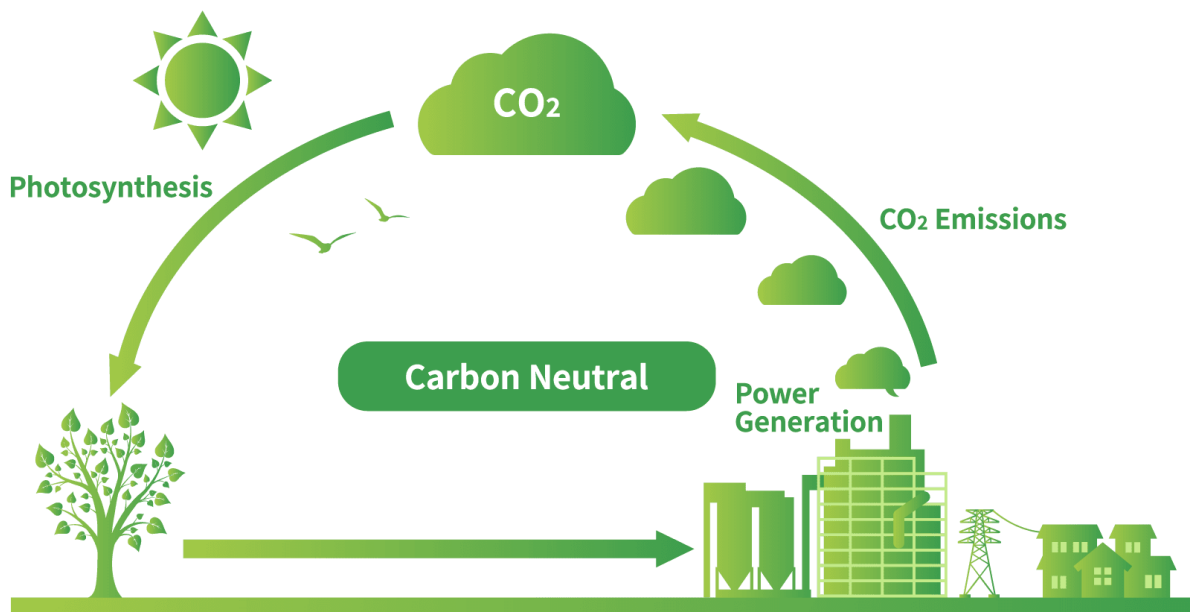
Εικόνα 1.1: Κατηγορίες υλικών βιομάζας

(πηγή: <https://hellenic-college.gr/wp-content/uploads/works/energy-sources/biomaza.htm>)

Πιο συγκεκριμένα, προέρχεται από τη διεργασία της φωτοσύνθεσης, η οποία συντελείται μέσω της αντίδρασης CO_2 και νερού, παρουσία ηλιακού φωτός και χλωροφύλλης. Αποτέλεσμα της παραπάνω αντίδρασης είναι η παραγωγή υδατανθράκων, που δομούν το βασικό στοιχείο της βιομάζας και η έκλυση οξυγόνου. Ειδικότερα, η φωτοσύνθεση γίνεται σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση:



Αξίζει να σημειωθεί ότι, με την διεργασία της φωτοσύνθεσης αποθηκεύεται η ηλιακή ενέργεια, στους χημικούς δεσμούς των δομικών μερών της βιομάζας. Έτσι, η τελευταία δύναται να κατεργαστεί αποτελεσματικά, είτε χημικά, είτε βιολογικά, αποσπώντας την ενέργεια που βρίσκεται εντός των χημικών συστατικών της και να παραχθεί ενέργεια. Στην ακόλουθη εικόνα 1.2 παρουσιάζεται η διεργασία της φωτοσύνθεσης.



Εικόνα 1.2: Διεργασία φωτοσύνθεσης

(πηγή: <https://www.erec.co.jp/en/business/fuel/pks/>)

Στο παρελθόν η απολιθωμένη βιομάζα εξορύχτηκε με απώτερο σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως κάρβουνο και πετρέλαιο. Ωστόσο για να μετατραπεί εκ νέου η βιομάζα σε ορυκτό καύσιμο, απαιτούνται εκατομμύρια χρόνια, γεγονός που

καθιστά αδύνατη την ανανέωση της εν λόγω πηγής ενέργειας εντός ενός ρεαλιστικού χρονικού πλαισίου.

Συνεπώς, ένας μη ανανεώσιμος φυσικός πόρος εξαντλείται με την καύση των ορυκτών καυσίμων, ενώ ταυτόχρονα ελκύεται διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, γεγονός που συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Οι διεργασίες για την μετατροπή της βιομάζας σε ενέργεια επηρεάζονται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της, ανεξάρτητα από την πηγή προέλευσής της.

Για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών, όπως είναι η θέρμανση και ο ηλεκτρισμός, η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί είτε με απευθείας καύση είτε με την μετατροπή της σε αέρια, υγρά ή/και στερεά καύσιμα μέσω θερμοχημικών ή βιοχημικών μεθόδων.

Βέβαια, η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- την αναλογία άνθρακα/αζώτου, C/N, και
- την περιεχόμενη υγρασία στα υπολείμματα όταν συλλέγονται.

1.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Οι τέσσερις κύριες ιδιότητες της βιομάζας είναι η ακόλουθη:

1.2.1 Μεγάλη θερμογόνος δύναμη

Περίπου το 93% της θερμογόνου δύναμης του συμβατικού ντίζελ ανά μονάδα όγκου.

1.2.2 Υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα

Από την μια πηγή βιομάζας στην άλλη μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά η τιμή της περιεκτικότητας σε τέφρα. Σε κάθε περίπτωση, η υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα έχει αρνητική επίπτωση στην ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας από 1% έως και 7%.

1.2.3 Περιεκτικότητα σε υγρασία

Η υγρασία σε κάποια αγροτικά υπολείμματα, όπως είναι το άχυρο και τα τσόφλια, μπορεί να κυμαίνεται από λιγότερο του 10% και έως 92% για κτηνοτροφικά απόβλητα, όπως η κοπριά.

Το ξύλο έχει κατά μέσο όρο υγρασία μεταξύ 40% και 50% και θεωρείται η βασική πηγή μεγάλων ποσοτήτων βιομάζας.

Γενικότερα, είναι πολύ υψηλή η υγρασία της βιομάζας που προέρχεται από κτηνοτροφικά και οργανικά υγρά απόβλητα, όπως είναι το τυρόγαλα, γεγονός που καθιστά την βιομάζα ευκολότερη στην μεταφορά της μέσω αντλιών.

1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Οι κυριότερες εφαρμογές της βιομάζας ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι για την παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές και ξυλουργικές βιομηχανίες, την θέρμανση θερμοκηπίων και κτιρίων με καύση της βιομάζας είτε σε ατομικούς είτε σε κεντρικούς λέβητες, καθώς και για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε βιομηχανίες και βιοτεχνίες.

1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

1.4.1 Πλεονεκτήματα

- Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και επομένως δεν συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει, διότι η ποσότητα του CO₂ που απελευθερώνεται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύεται εκ νέου από τα φυτά για τη παραγωγή νέας.
- Η περιεκτικότητα της βιομάζας σε θείο είναι χαμηλή και επομένως συμβάλλει στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) στην ατμόσφαιρα, το οποίο καθίσταται υπεύθυνο για την όξινη βροχή.
- Η χρήση της βιομάζας ως καύσιμο συνδράμει σημαντικά στην μείωση της εξάρτησης σε εισαγόμενα καύσιμα, την βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, καθώς και την εξασφάλιση ενεργειακού εφοδιασμού.

- Τέλος, η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας βοηθάει στην αύξηση των εργασιακών θέσεων σε περιοχές αγροκτηνοτροφικού χαρακτήρα, αναπτύσσοντάς τες με αυτόν τον τρόπο τόσο οικονομικά όσο και κοινωνικά.

1.4.2 Μειονεκτήματα

- Η χαμηλή πυκνότητα και παράλληλα η υψηλή περιεκτικότητα της βιομάζας σε υγρασία, αποτελούν δυο πολύ σημαντικούς παράγοντες περιορισμού της ενεργειακής της αξιοποίησης, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Η εποχικότητα της παραγωγής δυσχεραίνει τη συνεχή τροφοδοσία των μονάδων αξιοποίησης βιομάζας, με πρώτη ύλη.
- Οι σύγχρονες τεχνολογίες απαιτούν ένα μεγάλο επενδυτικό κεφάλαιο σε έκταση και εξοπλισμό για την μετατροπή της βιομάζας σε ενέργεια.

2. ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα στον κόσμο αποτελεί η διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων, εξαιτίας των αρνητικών επιπτώσεών τους στην βιοποικιλότητα, το νερό, το έδαφος και την ατμόσφαιρα. Στην ακόλουθη εικόνα 2.1 φαίνονται τα κτηνοτροφικά απόβλητα βουστασίων.



Εικόνα 2.1: Κτηνοτροφικά απόβλητα

(πηγή: <https://www.zitsa.gov.gr/news/agrotika-temata-29/6365-diaceirise-ktenotropikon-apobleton>)

Αναλυτικότερα, εκτιμάται ότι στην Ευρώπη τα απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων συμβάλουν στην παραγωγή αμμωνίας, NH_3 , σε ποσοστό 65%, οξειδίων του αζώτου, σε ποσοστό 40% και μεθανίου σε ποσοστό 10%, έχοντας ως αποτέλεσμα την κλιματική αλλαγή, τον ευτροφισμό κτλ.

Τις τελευταίες δεκαετίες, η εντατικοποίηση των γεωργικών καλλιεργειών στον Ελληνικό χώρο, οδήγησε στην αύξηση της ποσότητας των κτηνοτροφικών αποβλήτων που παράγονται. Για αυτόν τον λόγο, έχει αυξανόμενη τάση η κατασκευή μονάδων εκμετάλλευσης κτηνοτροφικών αποβλήτων για την παραγωγή βιοαερίου και κατ' επέκταση λιπάσματος και ενέργειας.

Όπως προαναφέρθηκε, είναι πλέον επιτακτική ανάγκη η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και κατά συνέπεια έχουν αναπτυχθεί καινοτόμες μέθοδοι ανάκτησης πολύτιμων προϊόντων από κτηνοτροφικά απόβλητα. Βέβαια, τα

προβλήματα που απορρέουν είναι η σωστή διαχείριση αυτών των αποβλήτων, η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας και η ανάκτηση θρεπτικών στοιχείων.

Η στροφή της κοινωνίας προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, λόγω χάρη την βιομάζα, η οποία δεν έχει αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον και αποφέρει οικονομικά οφέλη σε αυτήν, είναι απαραίτητη. Συμπληρωματικά, η βιομάζα που προέρχεται από αγροτικά απόβλητα, μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή βιοαερίου, κατόπιν σωστής επεξεργασίας. Η σωστή διαχείριση των αποβλήτων κτηνοτροφικών μονάδων, κρίνεται επιτακτική σε περιοχές με μεγάλο αριθμό μονάδων, ειδικότερα όταν οι εκτάσεις διάθεσης των αποβλήτων τους δεν επαρκούν.

Η ανάγκη λοιπόν για κατασκευή μονάδων παραγωγής βιοαερίου με την μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης, έχοντας ως πρώτη ύλη κτηνοτροφικά απόβλητα, είναι μεγάλη και προσφέρει πολλαπλά οφέλη τόσο στον κτηνοτρόφο, όσο και στο ίδιο το περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, η ΑΧ αποτελεί τη βασικότερη διεργασία για την διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων, ενώ κρίνεται απαραίτητη η παρεμπόδιση εκπομπής αερίων, υγρών και στερεών κατά τη διεργασία αυτή.

2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τα απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων χαρακτηρίζονται για τη μεγάλη ποσότητα των οργανικών ουσιών που περιέχουν, η οποία ξεπερνά το 70%. Αυτές οι οργανικές ουσίες προέρχονται από τη δυσκολία του ζώου να αφομοιώσει την τροφή του με την διαδικασία της πέψης, καθώς και από τις ζωοτροφές που παρασύρθηκαν ή διασκορπίστηκαν πλησίον της μονάδας.

Αμέσως μετά τη διαδικασία της πέψης, οι οργανικές ουσίες αφομοιώνουν μικροοργανισμούς και μεθανοβακτήρια, τα οποία ολοένα εξελίσσονται, έχοντας ως αποτέλεσμα την παραγωγή H_2O , CO_2 , H_2S , NH_3 , CH_4 , αλλά και δυσάρεστων οσμών (Μαραγκάκη, 2018). Το μέγεθος των οσμών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό, από τον τρόπο με τον οποίο διατηρούνται τα απόβλητα ώσπου να διαχειρισθούν. Ο αρχικός όγκος των αποβλήτων εξαρτάται από την διατροφή του ζώου, τα κιλά του κ.ά. Όμως, ο τελικός όγκος των αποβλήτων εμπλουτίζεται με τα αραιωμένα νερά πλυσίματος των μονάδων, βροχοπτώσεων,

διαρροών ή ακόμη και από την προσθήκη στρωμνής, αυξάνοντας κατά αυτόν τον τρόπο την ποσότητα των αποβλήτων.

2.2 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΒΟΥΣΤΑΣΙΑ

Στα βουστάσια εκτρέφονται δύο κατηγορίες βοοειδών, τα μοσχάρια πάχυνσης και οι αγελάδες γαλακτοπαραγωγής. Επίσης, υπάρχουν δύο είδη σταβλισμού των βοοειδών:

- Ο ελεύθερος σταβλισμός, όπου τα ζώα κινούνται ελεύθερα μέσα σε υπαίθριο χώρο, όπως φαίνεται και από την ακόλουθη εικόνα 2.2, παράγοντας στερεά και ημιστερεά απόβλητα.



Εικόνα 2.2: Ελεύθερος σταβλισμός βοοειδών (πηγή: yraithros.gr)

- Ο περιορισμένος σταβλισμός, όπου τα ζώα κινούνται περιορισμένα μέσα σε κλειστό χώρο, όπως φαίνεται και από την ακόλουθη εικόνα 2.3, παράγοντας μόνο ημιστερεά απόβλητα, των οποίων το BOD και COD είναι αρκετά υψηλά.



Εικόνα 2.3: Περιορισμένος σταβλισμός βοοειδών (πηγή: cyrustimes.com)

2.3 ΔΙΑΘΕΣΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Είναι γνωστό ότι η κοπριά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση του εδάφους, αυτό όμως το γεγονός μπορεί να υποβαθμίσει την ποιότητά του, καθώς και την ποιότητα των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων, αφού η κοπριά περιέχει Ν και Ρ. Έτσι λοιπόν, κατά την εφαρμογή της κοπριάς στο έδαφος, χρειάζεται να πραγματοποιείται εξισορρόπηση των παραπάνω θρεπτικών συστατικών, σύμφωνα με τις ανάγκες του.

2.4 ΡΥΠΑΝΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Το ρυπαντικό φορτίο των κτηνοτροφικών αποβλήτων εξαρτάται τόσο από το είδος του ζώου που προήλθε, όσο και από την σύστασή τους. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ρυπαντικού φορτίου είναι τα πτητικά στερεά, το BOD₅, το COD, το ολικό άζωτο, ο φώσφορος, το κάλιο και το ισοδύναμο πληθυσμού. (Ιωαννίδου, 2017).

Κατά την αναερόβια χώνευση των κτηνοτροφικών αποβλήτων, παράγονται πτητικά στερεά. Υπολογίζοντας τη βιοχημική απαίτηση σε οξυγόνο την πέμπτη ημέρα, υπολογίζεται η βιοχημική απαίτηση σε οξυγόνο των μικροοργανισμών, ώστε να αποσυντεθεί το αποικοδομήσιμο οργανικό φορτίο των αποβλήτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι μικροοργανισμοί καταστρέφονται από τις τοξικές ενώσεις των αποβλήτων. Στον παρακάτω πίνακα 1, περιγράφονται οι παράμετροι που προσδιορίζουν το οργανικό ρυπαντικό φορτίο στα ζωικά απόβλητα.

Πίνακας 1: Παράμετροι προσδιορισμού οργανικού ρυπαντικού φορτίου κτηνοτροφικών αποβλήτων (Πηγή: Burton & Turner, 2003)

Είδος ζώου	Παράμετρος 103 g/g ανά ζώο/ημέρα				
	BOD	COD	Ολικό άζωτο (N)	Φώσφορος (P ₂ O ₅)	Κάλιο (K ₂ O)
Αγελάδες	0,31	1,15	0,23	0,34	0,12
Μοσχάρια	1,61	9,42	0,32	0,18	0,29

3. ΒΙΟΑΕΡΙΟ

Αρχικά, το βιοαέριο τυπικά αναφέρεται σε ένα μείγμα διαφορετικών αερίων, κυρίως μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο παράγεται από την βιολογική διάσπαση της οργανικής ύλης απουσία οξυγόνου κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, μέσω αναερόβιας χώνευσης ακατέργαστων πρώτων υλών, όπως είναι τα αγροτικά και κτηνοτροφικά απόβλητα, η κοπριά, η φυτική ύλη, τα οικιακά και αστικά απορρίμματα, είναι δυνατό να παραχθεί βιοαέριο και στην συνέχεια να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για οποιοδήποτε σκοπό, προσφέροντας θερμική κι ηλεκτρική ενέργεια.

Ειδικότερα, είναι ένα αέριο μη τοξικό, χωρίς χρώμα, οσμή και γεύση και το βιοαέριο χρησιμοποιείται τόσο για την παραγωγή ενέργειας, όσο και για την αποφυγή επιπλέον μολύνσεων του περιβάλλοντος και της ατμόσφαιρας. Αναλυτικότερα, τα αέρια από τα οποία αποτελείται το βιοαέριο, έχουν την δυνατότητα είτε να καούν, είτε να οξειδωθούν με οξυγόνο και επιπλέον, η παραγόμενη ενέργεια από την ΑΧ του βιοαερίου, είναι δεσμευμένη σε μεθάνιο, CH_4 .

Αναλυτικότερα, η χρήση του βιοαερίου συμβάλλει στην επίλυση του προβλήματος της διαχείρισης των αποβλήτων και απορριμμάτων, καθώς τα χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη. Κατόπιν σωστού σχεδιασμού και προγραμματισμού, το βιοαέριο μπορεί να αποτελέσει την πρώτη εναλλακτική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, σε αγροτικές και κτηνοτροφικές χώρες. Η οικονομικότητα μιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου βασίζεται στο γεγονός ότι, η πρώτη ύλη έχει μηδενική κόστος, ενώ τα προϊόντα της έχουν αναμφίβολα εμπορική αξία.

Η ανάπτυξη κι η εγκατάσταση τεχνολογιών βιοαερίου, αποτελεί μια εναλλακτική λύση με σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς συμβάλλει στην επίλυση του προβλήματος της διαχείρισης των αποβλήτων και απορριμμάτων, εφόσον χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη. Κατόπιν σωστού σχεδιασμού και προγραμματισμού, το βιοαέριο μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, φιλική προς το περιβάλλον.

Η οικονομικότητα μιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου βασίζεται στο γεγονός ότι, η πρώτη ύλη έχει μηδενική κόστος, ενώ τα προϊόντα της έχουν αναμφίβολα εμπορική αξία. Επιπλέον, υπολογίζεται ότι ένας Mtn απορριμμάτων παρέχουν αρκετό βιοαέριο για την παραγωγή ενός MW ηλεκτρικού ρεύματος ετησίως για δέκα περίπου χρόνια.

Βέβαια, η σύσταση του βιοαερίου εξαρτάται από την κατηγορία και την δομή των αποβλήτων που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την αναερόβια χώνευση, καθώς επίσης και από τους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την ΑΧ και θα αναφερθούν στην συνέχεια (θερμοκρασία, χρόνος παραμονής, κ.ά.). Συνακόλουθο όλων αυτών, το βιοαέριο είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας αποτελούμενο τυπικά από 55% μεθάνιο (CH₄) και 45% διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), όπως επίσης και από μικροποσότητες άλλων αερίων, λόγω χάρη το υδρόθειο (H₂S) και την αμμωνία (NH₃). Επιπλέον, περιέχει άζωτο, υδρογόνο, και υδρατμούς σε μικρότερα ποσοστά. Στον ακόλουθο πίνακα 2, παρουσιάζεται η συνήθης σύσταση του παραγόμενου βιοαερίου:

Πίνακας 2: Σύσταση βιοαερίου

Αέριο	Χημικός Τύπος	Περιεκτικότητα (% v/v)
Μεθάνιο	CH ₄	50 - 75
Διοξείδιο του Άνθρακα	CO ₂	25 - 45
Υδρατμοί	H ₂ O	2 (20 °C) - 7 (40 °C)
Οξυγόνο	O ₂	< 2
Άζωτο	N ₂	< 2
Αμμωνία	NH ₃	< 1
Υδρογόνο	H ₂	< 1
Υδρόθειο	H ₂ S	< 1

Πιο συγκεκριμένα, η ύπαρξη του O₂ και N₂ στο βιοαέριο οφείλεται στην προσθήκη θερμού αέρα, με σκοπό την απομάκρυνση του H₂S. Βέβαια, η

αποθείωση κρίνεται απαραίτητη, καθώς η παρουσία του H_2S στα απόβλητα οδηγεί πολλές φορές στην παραγωγή χαμηλής ποιότητας βιοαερίου και προκαλεί εκπομπή SO_2 και διάβρωση των σωληνώσεων. Στην συνέχεια, η ύπαρξη της NH_3 οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα των αποβλήτων σε N_2 . Επίσης, η μεγάλη περιεκτικότητα υδρατμών στα απόβλητα έχει ως αποτέλεσμα την αντίδρασή τους με το CO_2 και την παραγωγή ανθρακικού οξέως, H_2CO_3 , η παρουσία του οποίου είναι ομοίως επιζήμια (Μαραγκάκη, 2018).

Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι, η παραγωγή του CH_4 , εξαρτάται από το είδος του αποβλήτου. Για παράδειγμα, από την επεξεργασία της υδαρής, αλλά και στερεής κοπριάς των βοοειδών παράγεται βιοαέριο με περιεκτικότητα 60% σε μεθάνιο. Γενικότερα, το βιοαέριο που παράγεται από οργανικά απόβλητα έχει περιεκτικότητα 61% σε μεθάνιο.

Τέλος, για την υγροποίηση του βιοαερίου είναι απαραίτητο είτε η θερμοκρασία του, είτε η πίεση του να είναι πολύ υψηλή. Όμως, είναι δύσκολο να υγροποιηθεί και για αυτόν τον λόγο, το βιοαέριο αποθηκεύεται μόνο σε αέρια μορφή μέσα σε πλαστικά μπαλόνια ή σε διάφορες άλλες συσκευασίες, για λίγες ώρες. Σε περίπτωση που δεν έχει χρησιμοποιηθεί κάποια ποσότητα βιοαερίου, είναι σημαντικό αυτό να καεί για την προστασία του περιβάλλοντος, διότι αν η περιεκτικότητα του βιοαερίου στον αέρα είναι έως 14%, αυτό το καθιστά εύφλεκτο και εκρηκτικό (Πούμπουρας, 2015).

4. ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Η αναερόβια χώνευση είναι μία βιοχημική διεργασία κατά την διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθενται από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών, απουσία οξυγόνου. Η διεργασία της ΑΧ είναι κοινή σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα, όπως το πεπτικό σύστημα των μηρυκαστικών ζώων ή τα έλη τύρφης. Σε μία εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης, το αποτέλεσμα της διεργασίας είναι το βιοαέριο και το υγρό λίπασμα. Όταν το υπόστρωμα για την αναερόβια χώνευση είναι ένα ομοιογενές μίγμα από δύο ή περισσότερους τύπους πρώτων υλών, όπου στην παρούσα πτυχιακή εργασία είναι τα αγροδιατροφικά και κτηνοτροφικά απόβλητα, τότε έχουμε την λεγόμενη συγχώνευση η οποία συναντάται σε πολλές εφαρμογές παραγωγής και αξιοποίησης του βιοαερίου σήμερα.

Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα τύπων βιομάζας ως υπόστρωμα για την παραγωγή του βιοαερίου από την αναερόβια χώνευση. Ειδικότερα, στην Ευρώπη, οι πιο συνήθεις κατηγορίες πρώτης ύλης που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του βιοαερίου είναι:

- στέρεα και υγρά ζωικά απόβλητα,
- γεωργικά απόβλητα και υποπροϊόντα,
- αστικά και βιομηχανικά απόβλητα
- ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες, λόγω χάρη τριφυλλιού και αραβοσίτου.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αναερόβια χώνευση είναι η μικροβιολογική διαδικασία αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας απουσία οξυγόνου. Το αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας είναι το βιοαέριο και το στερεό ή υγρό υπόλειμμα. Η συνολική χημική αντίδραση της συγκεκριμένης διεργασίας φαίνεται παρακάτω:

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ:



Αναλυτικότερα, η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης συμβάλλει στην σημαντική μείωση του τελικού όγκου του οργανικού υλικού. Σε αντίθεση με την αερόβια αποσύνθεση, όπως είναι η κομποστοποίηση παρουσία οξυγόνου, κατά την διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης παράγεται πολύ λίγη θερμότητα κι η ενέργεια που δεσμεύεται χημικά μέσα στο υπόστρωμα, παραμένει κυρίως στο παραγόμενο βιοαέριο με τη μορφή μεθανίου. Βέβαια, για τον σχηματισμό βιοαερίου χρειάζεται η πρώτη ύλη να διασπαστεί σε μικρότερα στοιχεία. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια ειδικών ομάδων μικροοργανισμών που συμμετέχουν ενεργά στα παρακάτω τέσσερα στάδια της αναερόβιας διεργασίας, εντός της δεξαμενής χώνευσης:

- την υδρόλυση,
- την οξεογένεση,
- την οξικογένεση και τέλος
- την μεθανογένεση.

4.1 ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

4.1.1 ΥΔΡΟΛΥΣΗ

Η υδρόλυση είναι θεωρητικά το πρώτο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης κατά την διάρκεια του οποίου, αναερόβια βακτήρια χρησιμοποιούν ένζυμα για να αποσυνθέσουν αδιάλυτες και πολύπλοκες πολυμερικές ενώσεις. Αυτό γίνεται μέσω του αποπολυμερισμού, δηλαδή την σχάση ενός ομοιοπολικού δεσμού με την χρήση μορίων νερού. Κατόπιν αυτής της διεργασίας, οι πολυμερικές ενώσεις, όπως οι πρωτεΐνες, οι υδατάνθρακες και τα λιπίδια, διασπώνται σε απλούστερες ενώσεις, όπως αμινοξέα, σάκχαρα και λιπαρά οξέα, αντίστοιχα.

Επιπλέον, η υδρόλυση θεωρείται το στάδιο που καθορίζει την ταχύτητα της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης, όντας το πιο αργό. Αυτό συμβαίνει λόγω ορισμένων υποστρωμάτων, τα οποία ενδέχεται είτε να περιέχουν χημικά που αναστέλλουν την δραστηριότητα και ανάπτυξη των βακτηρίων είτε η δομή τους να δυσκολεύει την πρόσβαση των μικροβίων, εξαιτίας της χαμηλής τους επιφάνειας ή της υψηλής κρυσταλλικής δομή τους. Επομένως, εφαρμόζονται διάφορες προεπεξεργασίες, ώστε να σπάσει το πολυμερές και να ενισχυθεί η παραγωγή του βιοαερίου. Αυτές οι τεχνικές είναι φυσικές, χημικές, βιολογικές, καθώς και συνδυασμένες.

4.1.2 ΟΞΕΟΓΕΝΕΣΗ

Η οξεογένεση είναι το δεύτερο και πιο γρήγορο στάδιο σε όλη τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Κατά την διάρκεια αυτού, τα προϊόντα της υδρόλυσης ζυμώνονται ή οξειδώνονται αναερόβια. Πιο συγκεκριμένα, τα αμινοξέα, τα σάκχαρα και τα λιπαρά οξέα αποικοδομούνται, καταλήγοντας στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, αέριου υδρογόνου, αλκοολών, οργανικών οξέων, σε ορισμένες οργανικές ενώσεις του αζώτου και ορισμένες του θείου. Επιπλέον, σε αυτό το στάδιο παρασκευάζονται το οξικό οξύ, το διοξείδιο του άνθρακα, το υδρόθειο και η αμμωνία, αποτελώντας τα αρχικά προϊόντα για την διεργασία παραγωγής μεθανίου. Από τις παραπάνω ενώσεις, ορισμένες όπως το οξικό οξύ, η μεθανόλη, η μεθυλαμίνη, καθώς και το μυρμηκικό οξύ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα για τους μεθανογόνους μικροοργανισμούς του τελευταίου σταδίου. Να σημειωθεί ότι, το οξικό οξύ, είναι το κύριο και σημαντικότερο οργανικό οξύ που χρησιμοποιούν οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί για την παραγωγή του βιοαερίου.

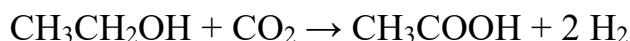
Όμως, ορισμένα πτητικά λιπαρά οξέα, όπως το προπιονικό και το βουτυρικό οξύ, καθώς και η αιθανόλη μπορούν να αξιοποιηθούν από τα μεθανοβακτήρια, αφού πρώτα αποδομηθούν από τα ζυμωτικά βακτήρια σε οξικό οξύ.

Ωστόσο, η αλλαγή της οργανικής ύλης σε οργανικά οξέα προκαλεί πτώση της τιμής του pH, το οποίο επωφελεί τα οξεοβακτήρια και οξικοβακτήρια, λόγω της προτίμησής τους στο όξινο περιβάλλον. Βέβαια, η υδρόλυση και η οξεογένεση μπορούν να ενισχυθούν με την αύξηση της θερμοκρασίας, με τον κίνδυνο όμως συσσώρευσης πτητικών οξέων, γεγονός που οδηγεί στην αναστολή των οξεογόνων και μεθανογόνων βακτηρίων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τα μεθανογόνα βακτήρια να αδυνατούν να αξιοποιήσουν τα ενδιάμεσα προϊόντα και να χρειάζονται επεξεργασία από τους οξεογόνους μικροοργανισμούς.

4.1.3 ΟΞΙΚΟΓΕΝΕΣΗ

Πέρα από τη ζύμωση των διαλυτών οργανικών ενώσεων, είναι δυνατόν να παραχθεί οξικό οξύ και μέσω της οξικογένεσης, η οποία είναι το τρίτο στάδιο της AX. Κατά την διάρκεια αυτού, τα προϊόντα της οξεογένεσης που δεν μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε μεθάνιο από τα μεθανογόνα βακτήρια, χρησιμοποιούνται ως μεθανογενή υποστρώματα. Τα πτητικά λιπαρά οξέα και οι αλκοόλες οξειδώνονται σε μεθανογενή υποστρώματα, όπως οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Επιπρόσθετα, τα πτητικά λιπαρά οξέα με περισσότερα από δύο άτομα στην ανθρακική τους αλυσίδα, καθώς και οι αλκοόλες με περισσότερα από ένα άτομο άνθρακα, οξειδώνονται σε οξικό οξύ και υδρογόνο.

Τα οξικογόνα και μεθανογόνα βακτήρια αναπτύσσονται σε μια συμβιωτική σχέση μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, το οξικό οξύ χρησιμεύει ως υπόστρωμα για τα μεθανογόνα βακτήρια. Για παράδειγμα, όταν η αιθανόλη, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, μετατρέπεται σε οξικό οξύ, καταναλώνεται διοξείδιο του άνθρακα και παράγονται οξικό οξύ και υδρογόνο, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση:



Όπως προαναφέρθηκε, τα οξικογόνα βακτήρια οξειδώνονται και παράγουν οξικό οξύ και υδρογόνο. Όμως, η συσσώρευση του παραγόμενου υδρογόνου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μερικής του πίεσης. Για την επιβίωση των οξικογόνων βακτηρίων, χρειάζεται η ποσότητα του παραγόμενου υδρογόνου στο περιβάλλον, να παραμένει σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις και για αυτόν τον λόγο κρίνεται απαραίτητη η απομάκρυνσή του.

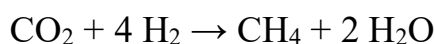
Ειδικότερα, η παραγωγή του οξικού οξέος επιτυγχάνεται μέσω της δραστηριότητας των οξικογόνων μικροοργανισμών, οι οποίοι σχηματίζουν ενώσεις με βακτήρια που συλλέγουν υδρογόνο και κατά αυτόν τον τρόπο μειώνεται η μερική πίεση. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η αναερόβια αντίδραση μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο όταν διατηρείται αρκετά χαμηλή η μερική πίεση του υδρογόνου. Τέλος, η συγκέντρωση του υδρογόνου στον αντιδραστήρα υποδεικνύει την καλή λειτουργία του.

4.1.4 ΜΕΘΑΝΟΓΕΝΕΣΗ

Το τέταρτο και τελευταίο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης είναι η μεθανογένεση, κατά την διάρκεια του οποίου, το οξικό οξύ, το υδρογόνο και το διοξείδιο του άνθρακα, δηλαδή τα προϊόντα της οξικογένεσης, μετατρέπονται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από τους μεθανογόνους μικροοργανισμούς. Η παραγωγή μεθανίου πραγματοποιείται με τους ακόλουθους δύο τρόπους, ανάλογα με το υπόστρωμα που χρησιμοποιούν τα μεθανογόνα βακτήρια:

Πρώτος τρόπος

Το υδρογόνο χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα των υδρογονοτροφικών μεθανογόνων βακτηρίων και σε συνδυασμό με το διαθέσιμο διοξείδιο του άνθρακα, παράγεται μεθάνιο, όπως φαίνεται και από την ακόλουθη χημική εξίσωση:

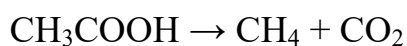


Αξίζει να σημειωθεί ότι, τόσο η συγκέντρωση όσο και η μερική πίεση του υδρογόνου επακόλουθα, παραμένουν σε φυσιολογικά επίπεδα, καθώς τα

μεθανογόνα βακτήρια καταναλώνουν την περίσσεια ποσότητα υδρογόνου, από το προηγούμενο στάδιο, για την παραγωγή μεθανίου. Άλλωστε, οι συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί είναι ευαίσθητοι στο οξυγόνο, υποχρεωτικά αναερόβιοι και για αυτόν τον λόγο συναντώνται σε χερσαία και υδατικά οικοσυστήματα, πλούσια σε αποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις, οι οποίες διασπώνται εύκολα και μέσω της μικροβιακής δραστηριότητας, απομακρύνεται άμεσα το οξυγόνο.

Δεύτερος τρόπος

Το οξικό οξύ καταναλώνεται από τους οξικοτροφικά ή αλλιώς οξικοκλαστικά μεθανογόνα και μέσω της αποκαρβοξυλίωσής του, παράγεται μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, όπως φαίνεται και από την ακόλουθη χημική εξίσωση:



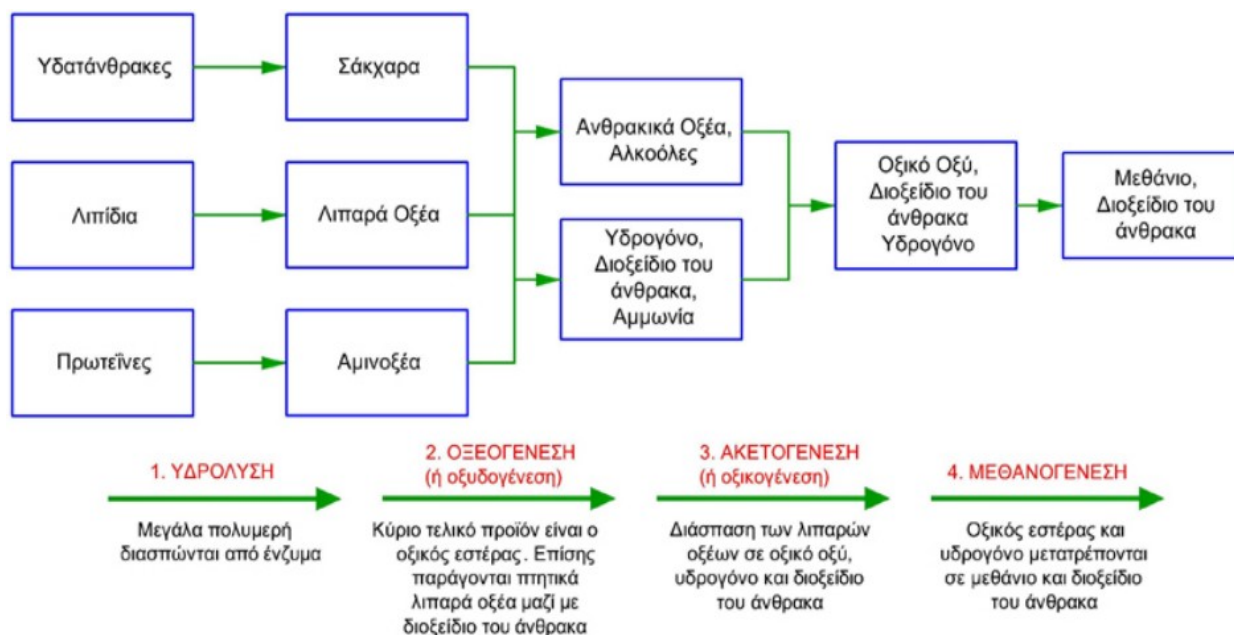
Υπόστρωμα για τον σχηματισμό μεθανίου αποτελούν επίσης ορισμένες οργανικές ενώσεις, όπως η μεθανόλη, η μεθυλαμίνη και το μυρμηκικό οξύ, αλλά σε πολύ μικρότερο ποσοστό. Επιπλέον, όσα οξέα, αλκοόλες ή/και οργανικές ενώσεις του αζώτου δεν αποικοδομούνται από τα μεθανογόνα βακτήρια, τότε αυτά συσσωρεύονται στο υπερκείμενο υγρό της χωνεμένης ιλύος. Βέβαια, η συσσώρευση των συγκεκριμένων ενώσεων ευθύνεται για την σχετικά υψηλή οργανική φόρτιση ή του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου, BOD, του υπερκειμένου υγρού.

Όπως προαναφέρθηκε, τα οξικογόνα και μεθανογόνα βακτήρια συμβιώνουν, καθώς τα απόβλητα του μεταβολισμού των πρώτων, αποτελούν κατάλληλο υπόστρωμα για τη δράση των δεύτερων. Επιπλέον, η ίδια η αναερόβια αντίδραση απαρτίζεται από μια κοινωνία μικροοργανισμών και αναπτύσσει το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας, έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργεί σωστά. Ειδικότερα, η συγκεκριμένη κοινωνία αποτελείται από μια ομάδα, τα μεθανογόνα βακτήρια, τα οποία αξιοποιούν ως ωφέλιμη πρώτη ύλη, τα δίχως χρηστική αξία απόβλητα της άλλης ομάδας, των οξικογόνων βακτηρίων. Έτσι λοιπόν γίνεται αντιληπτό πως, μια κοινωνία μικροοργανισμών έχει καταφέρει ένα τόσο σημαντικό βήμα, που η ανθρώπινη κοινωνία αδυνατεί να καθιερώσει έως και σήμερα.

Ωστόσο, η μεθανογένεση θεωρείται ένα κρίσιμο σημείο, δεδομένου ότι είναι η πιο αργή βιοχημική αντίδραση, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα στάδια της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης. Πιο συγκεκριμένα, επηρεάζεται σοβαρά από ορισμένους παράγοντες, όπως είναι η χημική δομή της πρώτης ύλης, ο ρυθμός τροφοδοσίας, η θερμοκρασία και το pH. Τέλος, η υπερφόρτωση του

χωνευτήρα, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας, καθώς και η αυξημένη παρουσία διαλυμένου οξυγόνου, DO, έχουν σαν αποτέλεσμα την μείωση ή ακόμη και τον τερματισμό της παραγωγής μεθανίου.

Ένα απλουστευμένο διάγραμμα για την κατανόηση της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα 1, όπου παρουσιάζονται τα τέσσερα κύρια στάδια της διεργασίας και τα προϊόντα τους:



Σχήμα 1: Στάδια Αναερόβιας Χώνευσης
(πηγή: www.vioaerio.gr)

4.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

Είναι σημαντικό να αναφερθούν οι παράγοντες κι οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή του pH, η θερμοκρασία, ο οργανικός ρυθμός φόρτισης, OLR, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, HRT κι η ανάμιξη αποτελούν ορισμένες κρίσιμες παραμέτρους από τις οποίες εξαρτώνται τόσο η ανάπτυξη όσο και η δραστηριότητα των αναερόβιων μικροοργανισμών. Επιπλέον, χρειάζεται να αποφεύγεται αυστηρά η παρουσία οξυγόνου, καθώς τα μεθανογόνα βακτήρια είναι ευαίσθητοι αναερόβιοι οργανισμοί και να ελέγχεται

η ποσότητα ανασταλτικών παραγόντων, όπως η αμμωνία, που μπορεί να εντοπιστούν κατά την διεργασία της χώνευσης. Για παράδειγμα, μια αλλαγή στις συνθήκες της διεργασίας μπορεί να επηρεάσει την σταθερότητα της ΑΧ, την απόδοση του βιοαερίου και τη βακτηριακή κοινοπραξία. Έτσι, για μία επιτυχημένη διεργασία ζύμωσης, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη και ταυτόχρονα να ελεγχθούν αρκετοί παράγοντες και τεχνικά χαρακτηριστικά.

Αναλυτικότερα, οι παράγοντες οι οποίοι επιδρούν, επηρεάζουν και πολλές φορές διακόπτουν την αναερόβια χώνευση, είναι οι ακόλουθοι:

4.2.1 pH

Η τιμή του pH είναι μία μεταβλητή ζωτικής σημασίας, η οποία επηρεάζει σημαντικά την ενζυμική δραστηριότητα των μικροοργανισμών και εκφράζεται σε μέρη ανά εκατομμύριο, ppm. Στους αναερόβιους χωνευτές, η τιμή του pH εξαρτάται από τη μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα, αλλά και την συγκέντρωση των αλκαλικών και όξινων συστατικών στην υγρή φάση. Η ρυθμιστική ικανότητα, δηλαδή η αντίσταση του διαλύματος στην αλλαγή του pH, παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην σταθερότητα της διεργασίας. Σε ένα σύστημα με χαμηλή ρυθμιστική ικανότητα, τα οργανικά οξέα έχουν μεγάλη επιρροή στην τιμή του pH.

Η χαμηλή αλκαλικότητα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας των λιπαρών οξέων και κατά συνέπεια την μείωση της τιμής του pH. Επακόλουθο όμως αυτής της συνεχής μείωσης είναι η παύση της διεργασίας της χώνευσης. Το γεγονός αυτό οφείλεται στα παραγόμενα πτητικά λιπαρά οξέα, τα οποία παραμένουν στον χωνευτή, καθώς δεν καταναλώνονται από τους μικροοργανισμούς που συμμετέχουν στην οξικογένεση και μεθανογένεση. Άλλα συστατικά που βρίσκονται στον χωνευτή και επηρεάζουν το pH, όταν συναντώνται σε μεγάλες συγκεντρώσεις, είναι η αμμωνία ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$), το υδρόθειο ($\text{H}_2\text{S}/\text{HS}^-/\text{S}^{2-}$) και το φωσφορικό οξύ ($\text{H}_3\text{PO}_4/\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}/\text{PO}_4^{3-}$).

Έτσι λοιπόν, η υψηλή αλκαλικότητα είναι απαραίτητη προϋπόθεση, ούτως ώστε να παραμείνει η τιμή του pH μέσα στο επιθυμητό εύρος. Η αύξηση της αλκαλικότητας επιτυγχάνεται με την προσθήκη υδροξειδίου του νατρίου, NaOH ή υδροξειδίου του καλίου, KOH ή αμμωνίας, NH_3 ή διττανθρακικού νατρίου NaHCO_3 ή όξινου ανθρακικού καλίου, KHCO_3 (Ward et al., 2008). Εμπειρικά,

όταν οι τιμές του pH έχουν εύρος από 5.5 έως 8.5 περίπου, με βέλτιστο από 7 έως 8, τότε πραγματοποιείται ο σχηματισμός του μεθανίου μέσω μεθανογόνων οργανισμών. Για την ολοκλήρωση της αναερόβιας χώνευσης, η τιμή του pH απαιτείται να είναι πλησίον του 7. Στην πράξη, όταν η θερμοκρασία και ο χρόνος παραμονής έχουν οριστεί, η τιμή του pH θα είναι σε επίπεδα που ωφελούν τους κυρίαρχους μικροοργανισμούς της ΑΧ.

4.2.2 Θερμοκρασία

Η σταθερότητα της θερμοκρασίας διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο κατά την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Στην πράξη, η θερμοκρασία λειτουργίας επιλέγεται συναρτήσει της χρησιμοποιούμενης πρώτης ύλης και η θερμοκρασία διεργασίας παρέχεται συνήθως από συστήματα θέρμανσης εντός του χωνευτή.

Πολλές σύγχρονες εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου λειτουργούν σε θερμόφιλες θερμοκρασίες διεργασίας, καθώς η θερμόφιλη διεργασία παρέχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την μεσόφιλη και ψυχρόφιλη, όπως για παράδειγμα:

- αποτελεσματική καταστροφή των παθογόνων οργανισμών,
- μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης των μεθανογόνων βακτηρίων σε υψηλότερες θερμοκρασίες,
- μικρότερος χρόνος παραμονής, καθιστώντας γρηγορότερη και αποδοτικότερη την διεργασία της ΑΧ,
- καλύτερη αξιοποίηση των υποστρωμάτων και τέλος
- καλύτερος διαχωρισμός των υγρών και στερεών μερών του μείγματος

Βέβαια, η θερμόφιλη διεργασία, πέρα από σημαντικά πλεονεκτήματα παρέχει και ορισμένα μειονεκτήματα, σε σύγκριση με την μεσόφιλη και ψυχρόφιλη, τα κύρια των οποίων είναι:

- μεγάλος βαθμός ανισορροπίας
- μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας για την επίτευξη της απαιτούμενης υψηλής θερμοκρασίας, καθώς και
- υψηλότερος κίνδυνος παρεμπόδισης της αμμωνίας

Πιο συγκεκριμένα, η θερμοκρασία λειτουργίας επηρεάζει την τοξικότητα της αμμωνίας και με την αύξηση της πρώτης, αυξάνεται και η δεύτερη. Ομοίως, με την μείωση της θερμοκρασίας της διεργασίας μπορεί να ελαττωθεί και η τοξικότητα της αμμωνίας. Εντούτοις, ο ρυθμός αύξησης των θερμόφιλων μικροοργανισμών θα μειωθεί δραστικά, με τη μείωση της θερμοκρασίας στους

50°C ή και λιγότερο, λόγω χαμηλότερου ρυθμού αύξησης από τον πραγματικό HRT (Angelidaki, 2002). Η εμπειρία δείχνει ότι σε χαμηλό HRT ή υψηλή φόρτωση, ένας θερμοφίλος χωνευτήρας έχει υψηλότερη παραγωγή αερίου και μεγαλύτερο ρυθμό μετατροπής σε σχέση με έναν μεσόφιλο.

Τέλος, η θερμοκρασία αποτελεί έναν από τους κυριότερους παράγοντες για την ομαλή ανάπτυξη των αερόβιων και αναερόβιων μικροοργανισμών. Οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί μπορούν να αναπτυχθούν είτε στην μεσόφιλη, είτε στην θερμοφιλή περιοχή, η θερμοκρασία των οποίων κυμαίνεται από 30°C έως 42°C και από 43°C έως 55°C, αντίστοιχα. Οι περισσότεροι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί είναι μεσόφιλοι και ευαίσθητοι στις απότομες αλλαγές. Οι θερμοφιλοί μεθανογόνοι μικροοργανισμοί σε σύγκριση με τους μεσόφιλους, είναι πιο ευαίσθητοι στις αλλαγές θερμοκρασίας, καθώς ακόμη και οι μικρές αλλαγές στην θερμοκρασία, έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της βακτηριακής δραστηριότητας κατά την διεργασία. Επίσης, η θερμοκρασία καθορίζει τα είδη των μικροοργανισμών που θα επιβιώσουν στον αντιδραστήρα. Συνεπώς, είναι σημαντικό για τη μικροβιακή κοινότητα, να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία εντός του αντιδραστήρα, καθώς οι μικροοργανισμοί όταν προσαρμοστούν σε μία θερμοκρασία, επιδέχονται πολύ μικρές αλλαγές σε αυτήν.

Γενικότερα, η αναερόβια διεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμη και στους 0°C, όμως όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο περισσότερο ευνοείται η ΑΧ. (Angelidaki et al., 2003). Πιο συγκεκριμένα, με θερμοκρασίες από 30 °C έως 42 °C κατά την διεργασία της ΑΧ, η παραγόμενη ποσότητα του βιοαερίου είναι μεγαλύτερη, η εξέλιξη του σταδίου της υδρόλυσης γίνεται γρηγορότερα και τέλος δεν απαιτούνται μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου. Αντιθέτως, σε θερμοκρασίες από 43 °C έως 55 °C, η αναερόβια διεργασία καθίσταται οικονομικά απρόσιτη, λόγω της κατανάλωσης ενέργειας που απαιτείται για την επίτευξη της ζητούμενης υψηλής θερμοκρασίας. (Μαραγκάκη, 2018).

4.2.3 Οργανικός ρυθμός φόρτισης

Οργανική φόρτιση είναι ο ρυθμός με τον οποίο, χρησιμοποιείται το υπόστρωμα από τα βακτήρια, για την ολοκλήρωση της αναερόβιας χώνευσης και μεταβάλλεται με την αλλαγή της παροχής των αποβλήτων. Όμως, σε περίπτωση που το σύστημα τροφοδοτείται με μεγαλύτερο από τον ανεκτό OLR,

τότε υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης λιπαρών οξέων στον χωνευτή, τα οποία διακόπτουν την διαδικασία της ΑΧ (Μαραγκάκη, 2018). Πιο συγκεκριμένα, ο μέγιστος δυνατός οργανικός ρυθμός φόρτισης εξαρτάται τόσο από τη θερμοκρασία της διεργασίας, όσο και από τον χρόνο παραμονής. Αναλυτικότερα, όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παραμονής και χαμηλότερη η θερμοκρασία, τόσο μεγαλύτερος OLR μπορεί να επεξεργαστεί. Η εξίσωση βάση της οποίας υπολογίζεται ο οργανικός ρυθμός φόρτισης παρουσιάζεται παρακάτω:

$$OLR = \frac{Q \cdot C}{V} = \frac{C}{HRT}$$

Όπου:

- OLR είναι ο οργανικός ρυθμός φόρτισης [$\text{kgCOD m}^{-3} \text{d}^{-1}$], όπου οι τιμές του κυμαίνονται από 3 έως και 5 [$\text{kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$] στις μεσόφιλες συνθήκες,
- Q είναι η παροχή εισόδου [$\text{m}^3 \text{d}^{-1}$],
- C είναι η συγκέντρωση των πτητικών στερεών στο υπόστρωμα [kgCOD m^{-3}] και τέλος
- V είναι ο όγκος του βιοαντιδραστήρα [m^3].

4.2.4 Υδραυλικός χρόνος παραμονής

Ως υδραυλικός χρόνος παραμονής ορίζεται ο μέσος χρόνος ύπαρξης του κατάλληλου υποστρώματος, εσωτερικά του χωνευτή, όπου απομακρύνονται τα στερεά από τα απόβλητα και παράγεται μεθάνιο, CH_4 . Ωστόσο, υπάρχει ο κίνδυνος έκπλυσης των βακτηρίων που συμμετέχουν στο στάδιο της μεθανογένεσης. Ο υδραυλικός χρόνος υπολογίζεται διαιρώντας την εισαγόμενη ποσότητα των πτητικών στερεών με τον συνολικό όγκο του αντιδραστήρα. Με την παράταση του χρόνου παραμονής των αποβλήτων, μειώνεται το οργανικό φορτίο και αντίστροφα η μείωση του πρώτου, οδηγεί στην αύξηση του δεύτερου και την διακοπή της αναερόβιας διεργασίας (Μαραγκάκη, 2018). Επιπλέον, όσο ελαττώνεται ο υδραυλικός χρόνος, τόσο περισσότερο μειώνεται ο όγκος του χωνευτή, έχοντας ως αποτέλεσμα την μείωση του κόστους του. Τέλος, ο HRT εξαρτάται από τη θερμοκρασία, αλλά και τον οργανικό ρυθμό φόρτισης, OLR, όταν η σύσταση του αποβλήτου είναι σταθερή.

4.2.5 Ανάδευση

Η ανάδευση είναι πολύ σημαντική για την αποτελεσματικότητα της αναερόβιας χώνευσης, καθώς επιτυγχάνει ισομορφία στην συγκέντρωση, τη θερμοκρασία και σε άλλους παράγοντες του υποστρώματος, ενώ παράλληλα αποφεύγεται ο σχηματισμός στερεών και αφρού. Ειδικότερα, η ανάδευση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μέσω ανακυκλοφορίας, είτε μέσω ανάδευσης στο υπόστρωμα, με την εγκατάσταση συσκευών ανάμιξης, όπως προπέλες και αναδευτήρες. Τέλος, για την βέλτιστη ανάμιξη των εισερχόμενων αποβλήτων με το ήδη υπάρχον υπόστρωμα εντός του χωνευτή, είναι απαραίτητο να εκτελείται η διαδικασία ανάδευσης, πολλές φορές κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Η ταχεία όμως ανάδευση του παραπάνω μείγματος, έχει ως αποτέλεσμα πολλές φορές την καταστροφή των βακτηρίων της μεθανογένεσης (Μαραγκάκη, 2018).

4.2.6 Πτητικά λιπαρά οξέα

Η ευστάθεια της διεργασίας της ΑΧ επηρεάζεται από την συγκέντρωση ενδιάμεσων προϊόντων, όπως είναι τα πτητικά λιπαρά οξέα. Τα VFA είναι ενδιάμεσες ενώσεις, όπως οξικά, προπιονικά, γαλακτικά άλατα, τα οποία παράγονται κατά τη διάρκεια της οξικογένεσης, και αποτελούνται από μια αλυσίδα άνθρακα των έξι ή λιγότερων ατόμων. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η αστάθεια της διεργασίας της ΑΧ έχει ως αποτέλεσμα την συσσώρευση VFA εντός του χωνευτήρα και κατά συνέπεια την μείωση της τιμής του pH.

Ωστόσο, η συσσώρευση VFA δεν εκφράζεται πάντοτε ως πτώση του pH, λόγω της ικανότητας παρεμπόδισης μερικών τύπων βιομάζας. Για παράδειγμα, τα ζωικά απόβλητα έχουν ένα πλεόνασμα αλκαλικότητας, το οποίο σημαίνει ότι η συσσώρευση VFA χρειάζεται να υπερβεί ένα ορισμένο επίπεδο, προτού ανιχνευθεί λόγω της σημαντικής μείωσης του pH. Σε αυτή την περίπτωση βέβαια, η συγκέντρωση των οξέων στο χωνευτήρα θα είναι τόσο υψηλή, όπου η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης θα έχει ήδη εμποδιστεί σοβαρά (Σιούλας Κ., 2010).

Στην πράξη, δύο διαφορετικοί χωνευτήρες μπορεί να συμπεριφερθούν τελείως διαφορετικά ως προς την ίδια συγκέντρωση VFA, με την έννοια ότι για την μια δεξαμενή χώνευσης μπορεί να είναι βέλτιστη, αλλά ανασταλτική για την άλλη. Μια από τις πιθανές εξηγήσεις αυτού του φαινομένου είναι ότι η σύνθεση των πληθυσμών μικροοργανισμών ποικίλλει από χωνευτήρα σε χωνευτήρα. Για

αυτόν τον λόγο, τόσο η συγκέντρωση των πτητικών λιπαρών οξέων, όσο και η τιμή του pH, δεν μπορούν να προταθούν ως αυτόνομοι παράμετροι ελέγχου της διεργασίας την αναερόβιας χώνευσης. (Σιούλας Κ., 2010).

4.2.7 Αμμωνία

Κατά την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο η αμμωνία (NH_3), μια χημική ένωση, χαρακτηριστικής αποπνικτικής οσμής που συναντάται συνήθως σε αέρια μορφή, στα τρόφιμα και τα λιπάσματα. Εντούτοις, η πολύ υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας στο κομπόστ είναι υπεύθυνη για την παρεμπόδιση της διεργασίας της ΑΧ, ιδίως κατά την χρήση βιομάζας, προερχόμενη από ζωικά ούρα. Έτσι λοιπόν, η συγκέντρωση της αμμωνίας χρειάζεται να διατηρείται κάτω από 80 mg/L (Σιούλας Κ., 2010).

Αναλυτικότερα, η συγκέντρωση ελεύθερης, μη ιονισμένης, αμμωνίας είναι ευθέως ανάλογη της θερμοκρασίας και επομένως κατά τις θερμοφιλες θερμοκρασίες, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος παρεμπόδισης της αναερόβιας διεργασίας σε σύγκριση με τις μεσόφιλες. Αυτό σημαίνει ότι η αυξανόμενη θερμοκρασία, καθώς και το αυξανόμενο pH, θα οδηγήσουν σε αυξανόμενη παρεμπόδιση των διεργασιών αναερόβιας χώνευσης, δεδομένου ότι οι συγκεκριμένοι παράγοντες αυξάνουν το ποσοστό της ελεύθερης αμμωνίας. Τέλος, η παρεμπόδιση των διεργασιών, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης αμμωνίας, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των VFA, η οποία με την σειρά της θα ελαττώσει την τιμή του pH.

4.2.8 Θρεπτικά Συστατικά

Για την ανάπτυξή τους, οι μικροοργανισμοί τρέφονται με θρεπτικά συστατικά, ώστε να ολοκληρωθεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Τα πιο σημαντικά από αυτά, είναι ο άνθρακας και το άζωτο, η περιεκτικότητα των οποίων εκφράζεται με τον λόγο του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου προς την συγκέντρωση του αζώτου. Επίσης μερικά ιχνοστοιχεία όπως το K, Fe, Mg, Ca, Na, Ba, Zn, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για το στάδιο της μεθανογένεσης, στην μετατροπή του οξικού οξέος, $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ σε μεθάνιο, CH_4 . Τέλος, είναι απαραίτητο η συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών και ιχνοστοιχείων να βρίσκεται σε περίσσεια, σε περίπτωση που χρειαστεί κατά την αναερόβια χώνευση. (Μαραγκάκη, 2018).

4.2.9 Τοξικές ουσίες

Πολλές φορές στα απόβλητα περιέχονται ουσίες, οι οποίες βιοαποδομούνται πολύ δύσκολα. Πιο συγκεκριμένα, οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί επηρεάζονται αρνητικά από την τοξικότητα αυτών των ουσιών, έχοντας ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση του σταδίου της μεθανογένεσης, δηλαδή την

μείωση της παραγόμενης ποσότητας μεθανίου και της τιμής του pH. Ορισμένες τοξικές ουσίες είναι η NH_3 , τα βαρέα μέταλλα, τα ανόργανα στοιχεία, η αλατότητα, όπου η παρουσία της πρώτης, συντελεί στην εμφάνιση λιπαρών οξέων και την αύξηση του pH. Σε περίπτωση που η τιμή του pH είναι μεγαλύτερη του οχτώ, τότε αυξάνεται η τοξικότητα. Τέλος, η εμφάνιση βαρέων μετάλλων, όπως Cr, Pb, Ni, Zn, Fe, Mn, κ.ά, είναι τοξική και δυσκολεύουν την διαδικασία της ΑΧ, (Μαραγκάκη, 2018).

4.2.10 Αλατότητα

Οι μεγάλες συγκεντρώσεις αλατότητας παρεμποδίζουν την αναερόβια διεργασία, γεγονός που οφείλεται στην εμφάνιση αλάτων, όπως είναι τα κατιόντα του Na, του K, του Ca και του Mg (Μαραγκάκη, 2018).

4.3 ΕΙΔΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

Συναντώνται τρία είδη αναερόβιας χώνευσης ανάλογα με την θερμοκρασία διεργασίας, αλλά και τον χρόνο παραμονής στον αντιδραστήρα όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα 3.

Πίνακας 3: είδη αναερόβιας χώνευσης

Θερμικό Στάδιο	Θερμοκρασίες Διεργασίας	Ελάχιστος Χρόνος Παραμονής
ψυχρόφιλη	< 30 °C	70 - 80 ημέρες
μεσόφιλη	30 °C - 42 °C	30 - 40 ημέρες
θερμόφιλη	43 °C - 55 °C	15 - 20 ημέρες

Για την συγκεκριμένη διεργασία, επιλέγεται μία ενδιάμεση τιμή θερμοκρασίας εντός του αντιδραστήρα που είναι στους 37 °C και παραμένει σταθερή μέσω εναλλάκτων θερμότητας εσωτερικά του αντιδραστήρα. Έτσι, με βάση τον παραπάνω πίνακα 2 για θερμοκρασία διεργασίας 37 °C εκτελείται μεσόφιλη αναερόβια χώνευση με ελάχιστο υδραυλικό χρόνο παραμονής (HRT) στον βιοαντιδραστήρα από τριάντα έως σαράντα ημέρες.

Ο λόγος για τον οποίο επιλέγεται μία ενδιάμεση τιμή θερμοκρασίας μεσόφιλων συστημάτων εντός του αντιδραστήρα είναι η ύπαρξη περισσότερων μεσόφιλων αναερόβιων μικροοργανισμών στη φύση σε σύγκριση με τους αντίστοιχους ψυχρόφιλους και θερμοφίλους. Επιπλέον, το κόστος λειτουργίας της μεσόφιλης αναερόβιας χώνευσης είναι μικρότερο από αυτό της θερμοφιλης, αλλά και ο ελάχιστος χρόνος παραμονής μειώνεται κατά 50% από τον αντίστοιχο της ψυχρόφιλης.

5. ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΑΓΡΟΔΙΑΤΡΟΦΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε, η αναερόβια χώνευση αποτελεί μια βιοχημική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθενται απουσία οξυγόνου από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών. Αυτή η διεργασία συναντάται σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα, όπως για παράδειγμα στο στομάχι των μηρυκαστικών ή τα έλη της τύρφης. Το αποτέλεσμα της αναερόβιας χώνευσης είναι η παραγωγή βιοαερίου και υγρού λιπάσματος, γνωστό ως κομπόστ. Σε περίπτωση που το υπόστρωμα για την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης είναι ένα ομοιογενές μίγμα από δύο ή περισσότερους τύπους πρώτων υλών, όπως για παράδειγμα ζωικοί πολτοί και αγροτικά απόβλητα στην προκειμένη πτυχιακή, τότε υπάρχει η λεγόμενη συγχώνευση, η οποία είναι κοινή με πολλές από τις εφαρμογές του βιοαερίου στις μέρες μας.

5.1 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

Για την παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα τύπων βιομάζας ως υπόστρωμα. Στην Ευρώπη, οι πιο κοινές κατηγορίες πρώτης ύλης που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοαερίου είναι οι ακόλουθες:

- Ζωικά απόβλητα
- Γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα
- Οργανικά απόβλητα προερχόμενα από τρόφιμα και αγροτοβιομηχανίες φυτικής και ζωικής προέλευσης
- Αστικά απόβλητα
- Ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες, όπως αραβοσίτου, τριφυλλιού

Η σύσταση του βιοαερίου ποικίλει ανάλογα με την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για την αναερόβια χώνευση. Προχωρημένες τεχνολογίες επεξεργασίας αποβλήτων παράγουν βιοαέριο με ποσοστό συγκέντρωσης

μεθανίου περίπου 55-75%, το οποίο αξιοποιείται για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών, κυρίως ηλεκτρισμού και θερμότητας.

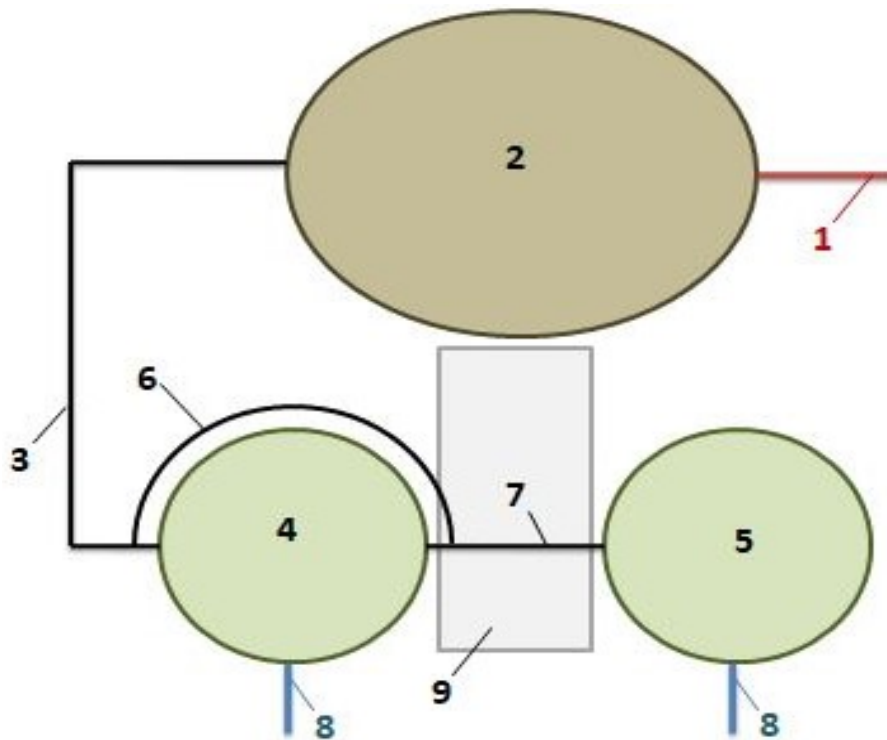
5.2 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η μονάδα παραγωγής βιοαερίου αποτελείται από το σύστημα τροφοδοσίας των πρώτων υλών, δηλαδή των υπολειμμάτων αγροδιατροφικών προϊόντων και των κτηνοτροφικών αποβλήτων βουστασίων. Αποτελείται επίσης από δύο δεξαμενές αναερόβιας χώνευσης, τους βιοαντιδραστήρες, η σύνδεση των οποίων είναι σε σειρά. Κατά την διάρκεια της συντήρησης ή επισκευής βλάβης του ενός βιοαντιδραστήρα, η μονάδα λειτουργεί με τον δεύτερο, έτσι ώστε να ολοκληρώνεται η αναερόβια χώνευση των αποβλήτων χωρίς διακοπή.

Επιπλέον, για την μεταφορά των υγρών και στερεών βοοειδών αποβλήτων από την δεξαμενή στους αντιδραστήρες είναι απαραίτητη η χρήση αντλίας. Σε τέτοιου είδους περιπτώσεις υπάρχουν αντλίες με κοπτήρες στην είσοδό τους για το τεμάχισμα τυχόν μεγάλων στερεών κομματιών αποβλήτων, καθώς και για την ομογενοποίησή τους έως ένα βαθμό. Αναλυτικότερα, για τέτοιες μεταφορές συνιστώνται σωλήνες PVC, λόγω του χαμηλού κόστους αγοράς, με διάμετρο 15-20 cm, ούτως ώστε να αποφθεχθεί ο κίνδυνος φραξίματος του σωλήνα από στερεά απόβλητα.

Το αέριο που δημιουργείται στην οροφή των βιοαντιδραστήρων και της δεξαμενής αποθήκευσης αποθηκεύεται σε ειδικούς αποθηκευτικούς χώρους και αφότου υποστεί επεξεργασία, μπορεί να αξιοποιηθεί αυτό το αέριο ως ενεργειακός φορέας. Επίσης, στην μονάδα υπάρχει και ένας μικρός οικίσκος, για την στέγαση του κέντρου ελέγχου της μονάδας παραγωγής βιοαερίου.

Η μονάδα λειτουργεί όλο το χρόνο με τα απόβλητα του βουστασίου και των αγροδιατροφικών προϊόντων, αλλά ορισμένους μήνες τροφοδοτείται κυρίως με τα πρώτα, καθώς μόνο η ποσότητα των δεύτερων δεν επαρκεί για την διεργασία. Στο σχήμα 2 φαίνονται οι εγκαταστάσεις μιας τυπικής μονάδας αναερόβιας χώνευσης:



Σχήμα 2: Σχέδιο Μονάδας Αναερόβιας Χώνευσης

Αναλυτικότερα, τα σημεία 1 έως 9 αντιστοιχούν σε:

- 1) Τροφοδότηση δεξαμενής με απόβλητα
- 2) Δεξαμενή αποθήκευσης υπολειμμάτων με τρεις κοχλίες
- 3) Σωλήνας μεταφοράς αποβλήτων
- 4) Πρώτος βιοαντιδραστήρας
- 5) Δεύτερος βιοαντιδραστήρας σε σειρά
- 6) Σωλήνας παράκαμψης πρώτου αντιδραστήρα
- 7) Σωλήνας τροφοδότησης (5) όταν δεν λειτουργεί (4)
- 8) Έξοδος παραγόμενου βιοαερίου
- 9) Εξέδρα παρατήρησης (2), (4), (5)

6. ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

Τα περισσότερα είδη πρώτης ύλης μπορούν να αναμιχθούν μεταξύ τους. Η υγρή βιομάζα μπορεί να μεταφερθεί είτε με σύστημα αντλιών και αγωγών, σε περίπτωση που το σημείο παραγωγής της είναι σε μικρή απόσταση από την εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου, είτε με οχήματα σε περίπτωση που η μεταξύ τους απόσταση είναι μεγάλη. Ομοίως, η στέρεη βιομάζα μπορεί να μεταφερθεί στην εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου μέσω οχημάτων για μικρές και μεγάλες αποστάσεις.

Τα υγρά και στερά απόβλητα αποθηκεύονται προσωρινά σε μια δεξαμενή έως ότου χρησιμοποιηθούν και εντός αυτής ομογενοποιούνται με την βοήθεια δύο ή τριών υποβρύχιων αναδευτήρων υψηλής ταχύτητας, η μορφή των οποίων φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα 6.1.



Εικόνα 6.1 : υποβρύχιος αναδευτήρας

(πηγή: <http://www.envima.gr>)

Πιο συγκεκριμένα, τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργούν ταυτόχρονα, ενώ κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης σταματούν ένας προς ένα. Στην αρχή κινούνται αργά οι κοχλίες και έπειτα η συχνότητα περιστροφής αυξάνει βηματικά. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας και ομαλή λειτουργία του κινητήρα όλο το εικοσιτετράωρο κάθε μέρα. Στην ακόλουθη εικόνα 6.2 φαίνεται η μορφή του κοχλία.



Εικόνα 6.2 : Κοχλίας

(πηγή: <http://www.envima.gr>)

Στην συνέχεια, μεταφέρονται στους βιοαντιδραστήρες, οι οποίοι αποτελούν και το κύριο μέρος της όλης εγκατάστασης. Η ανάμιξη της βιομάζας εντός του αντιδραστήρα πραγματοποιείται μέσω επικλινών και υποβρύχιων αναδευτήρων, κατασκευασμένοι από ανοξείδωτο ατσάλι. Με τον ειδικό σχεδιασμό των πτερυγίων και την ακριβή γωνία τοποθέτησης των αναδευτήρων επιτυγχάνονται υψηλές αποδόσεις ανάδευσης, επιτρέποντας την απελευθέρωση του παραγόμενου βιοαερίου στην επιφάνεια και αποφεύγοντας την καθίζηση του υποστρώματος.



Εικόνα 6.3 : Επικλινής Αναδευτήρας

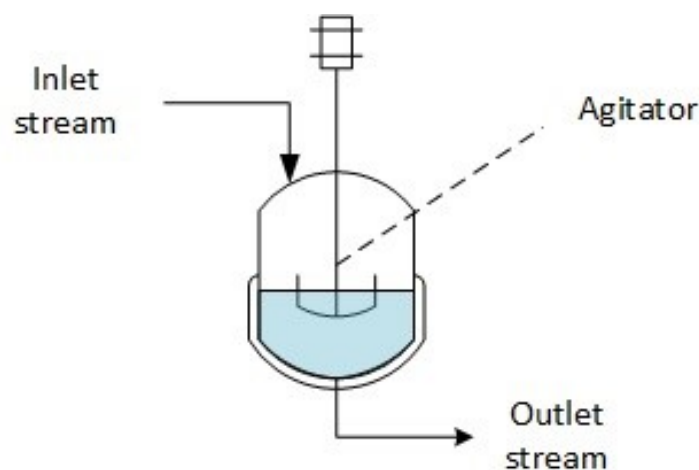
(πηγή: <http://www.envima.gr>)

Αποτέλεσμα της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης είναι το παραγόμενο βιοαέριο και οργανικό λίπασμα, υγρής και στέρεης μορφής. Το βιοαέριο μεταφέρεται σε σύστημα προσωρινής αποθήκευσης, εντός του οποίου η πίεση και η σύνθεση του βιοαερίου εξισορροπούνται, με σκοπό την απομάκρυνση υγρασίας, υδρόθειου και διοξειδίου του άνθρακα και ως επακόλουθο την ρύθμιση των ιδιοτήτων του βιοαερίου.

6.1 ANTIΔΡΑΣΤΗΡΑΣ CSTR

Ο τύπος του αναερόβιου αντιδραστήρα που επιλέχθηκε, ονομάζεται βιοαντιδραστήρας συνεχούς ανάμιξης CSTR (anaerobic Continuous Stirred Tank Reactor). Οι αντιδραστήρες που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία συναντώνται σε πολλές εφαρμογές, καθώς είναι από τους πρώτους αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν και έχουν μελετηθεί περισσότερο, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους, στο πέρασμα των χρόνων. Εφαρμόζονται σε μεγάλης κλίμακας συνεχή παραγωγή, όπου πραγματοποιούνται ομογενείς, ετερογενείς αντιδράσεις και αντιδράσεις πολυμερισμού. Επιπλέον, ο συγκεκριμένος αντιδραστήρας διαχειρίζεται απόβλητα υψηλής συγκέντρωσης στερεών, με TS από 0,5% και άνω.

Ο βιοαντιδραστήρας είναι ερμητικά σφραγισμένος για την επίτευξη συνθηκών πλήρους έλλειψης οξυγόνου και κατασκευασμένος από τσιμέντο ή μέταλλο. Προκειμένου να διαμορφωθούν οι κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, όπως έχουμε προαναφέρει η θερμοκρασία χρειάζεται να διατηρείται σε μεσόφιλη κατάσταση μεταξύ 30 και 42°C, όπου στη προκειμένη πτυχιακή επιλέχθηκε μια ενδιάμεση θερμοκρασία των 37°C. Η επιθυμητή θερμοκρασία διεργασίας εντός αυτού επιτυγχάνεται μέσω ενός δικτύου σωλήνων, το οποίο είτε κατασκευάζεται εντός των τοίχων του αντιδραστήρα είτε τοποθετείται στην εσωτερική πλευρά τους. Παρακάτω στην εικόνα 6.4 παρουσιάζεται η μορφή ενός βιοαντιδραστήρα τύπου CSTR.



Εικόνα 6.4: Βιοαντιδραστήρας CSTR

(πηγή: myengineeringtools.com)

6.1.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ CSTR

Ο συγκεκριμένος βιοαντιδραστήρας έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Η ποσότητα της εισερχόμενης μάζας στον αντιδραστήρα είναι σταθερή και ίση με την εξερχόμενη από αυτόν
- Η ανάδευση γίνεται με συνεχή ή διαλείπων ρυθμό μέσω μηχανικού αναδευτήρα
- Κατάλληλος για τη διεξαγωγή χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα σε υγρή φάση
- Η θερμοκρασία και οι συγκεντρώσεις όλων των συστατικών στην έξοδο του αντιδραστήρα, είναι ίδιες με εκείνες που επικρατούν εντός αυτού
- Η επεξεργασία και η παραμονή των αποβλήτων στον συγκεκριμένο αντιδραστήρα κυμαίνεται από 20 έως 50 ημέρες, με θερμοκρασία διεργασίας από 30 °C έως 42 °C, για την παραγωγή βιοαερίου και κατατάσσεται στην μεσόφιλη αναερόβια χώνευση
- Στο εσωτερικό του αντιδραστήρα, τα οργανικά στοιχεία έρχονται σε πλήρη επαφή με την καλλιέργεια μικροοργανισμών με αποτέλεσμα μέγιστη δυνατή απόδοση μεθανίου από τους μικροοργανισμούς

6.1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΑΝΤΔΡΑΣΤΗΡΑ CSTR

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ένας CSTR αντιδραστήρας είναι τα εξής:

- Ύπαρξη ισχυρής ανάδευσης
- Απλότητα στην κατασκευή και την λειτουργία χρήσης
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας
- Καλός έλεγχος των συνθηκών λειτουργίας και ποιότητας των προϊόντων

6.1.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΑΝΤΔΡΑΣΤΗΡΑ CSTR

Από την άλλη, δεν μπορούν να θεωρηθούν αμελητέα, τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει ο συγκεκριμένος αντιδραστήρας, όπως:

- Χαμηλοί ρυθμοί λειτουργίας
- Χαμηλοί ρυθμοί μεταφοράς θερμότητας ανά μονάδα όγκου
- Σχετικά υψηλό κόστος κατασκευής
- Ακατάλληλος για αντιδράσεις με υψηλή πίεση

6.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η εγκατάσταση μιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου αποτελείται κατά 70-80% από ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και επομένως είναι δυνατόν να ελέγχεται και να λειτουργεί εξολοκλήρου από αυτόματα συστήματα, με παρουσία ενός εξειδικευμένου ατόμου για περίπου δύο ωρών ανά ημέρα. Με την δημιουργία μονάδας αυτόματου ελέγχου της εγκατάστασης παραγωγής βιοαερίου αναπτύσσονται οι ακόλουθες δυνατότητες:

- Έλεγχος το επιπέδου του υποστρώματος μέσω αισθητήρων
- Έλεγχος φόρτωσης και εκφόρτωσης του υποστρώματος εντός και εκτός της δεξαμενής αποθήκευσης με τη βοήθεια αισθητήρων βάρους και επιπέδου, ροομέτρων και ρελέ περίσσειας πίεσης του υποστρώματος
- Έλεγχος θερμοκρασίας εντός των αντιδραστήρων (χωνευτήρων)
- Έλεγχος πίεσης του συστήματος θέρμανσης με τη βοήθεια βαλβίδας επαναφόρτισης του συστήματος
- Έλεγχος πίεσης βιοαερίου με τη βοήθεια αισθητήρα πίεσης αερίου
- Έλεγχος ποσότητας παραγόμενου βιοαερίου με τη βοήθεια ροόμετρου αερίου
- Έλεγχος της ποιότητας βιοαερίου στο σύστημα ανάλυσης αερίου.

Στην εικόνα 6.5 παρουσιάζεται μια προσεγγιστική μονάδα αναερόβιας χώνευσης.



Εικόνα 6.5: Μονάδα Αναερόβιας Χώνευσης

(πηγή: <https://bioenergynews.gr/to-ependytiko-plaisio-ergwn-bioaeriou/>)

6.3 ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (Combined Heat Power units – CHP units) χρησιμοποιούνται για τη συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, η ΣΗΘ αξιοποιεί την παραγόμενη θερμότητα για θέρμανση, λόγω χάρη των αντιδραστήρων και με αυτόν τον τρόπο εξοικονομούνται σημαντικές ποσότητες αερίου, που σε άλλη περίπτωση θα χρησιμοποιούνταν στον λέβητα για την τροφοδοσία των αντιδραστήρων με ζεστό νερό. Εναλλακτικοί τρόποι αξιοποίησης της παραγόμενης θερμικής ενέργειας είναι η τηλεθέρμανση, η ψύξη, τα θερμοκήπια κλπ.

Γενικότερα, η απόδοση αυτών των μονάδων είναι της τάξης του 90% και επιμερίζεται σε ηλεκτρική και θερμική απόδοση από 25 έως 40% και από 50 έως 65%, αντίστοιχα. Στην ακόλουθη εικόνα 6.6 παρουσιάζεται μια προσεγγιστική μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.



Εικόνα 6.6 : Μονάδα ΣΗΘ

(πηγή: envima.gr)

6.3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ

Οι μονάδες ΣΗΘ έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Χαμηλά λειτουργικά κόστη
- Μεγάλο βαθμό απόδοσης, κατά μέσο όρο 85 – 90 %
- Μεγάλο φάσμα εξοπλισμού
- Αυτοματοποιημένο έλεγχο λειτουργίας
- Εύκολη εγκατάσταση και λειτουργία χρήσης
- Αποφυγή ρύπανσης του περιβάλλοντος, καθώς η συμπαραγωγή είναι η φιλικότερη προς το περιβάλλον μέθοδος παραγωγής ενέργειας.

6.3.2 ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ

Η λειτουργία των μονάδων ΣΗΘ βασίζεται σε μία μηχανή εσωτερικής καύσης, η οποία χρησιμοποιεί το βιοαέριο ως καύσιμο και κινεί την γεννήτρια. Τα κύρια μέρη μίας μονάδας ΣΗΘ είναι τα ακόλουθα:

- Μηχανή εσωτερικής καύσης
- Πλαίσιο στήριξης μηχανής
- Εναλλάκτης με τάση 400V και συχνότητα 50Hz
- Πίνακας διανομής ηλεκτρισμού, ο οποίος μπορεί να εξοπλιστεί με σταθεροποιητή για την αποφυγή πτώσεων τάσης
- Σύστημα ψύξης μηχανής με εναλλάκτη θερμότητας
- Σύστημα εξαερισμού και κοντέινερ με ηχομόνωση

6.4 ΥΓΡΟ ΛΙΠΑΣΜΑ

Από τη μονάδα παραγωγής βιοαερίου δεν προκύπτουν απόβλητα, καθώς παράγεται μόνο αξιοποιήσιμο υγρό μίγμα μετά την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης, το οποίο αποθηκεύεται σε δεξαμενή έως ότου πωληθεί.

Το παραγόμενο αυτό μίγμα είναι υγρό λίπασμα, πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, όπως κάλιο και φώσφορο, για τις καλλιέργειες, με υψηλό ιξώδες και ισχυρό μεταλλικό άζωτο, όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα 6.7. Επιπλέον, προσφέρει καλύτερη συμβατότητα με τα φυτά και το έδαφος λόγω των ήδη διασπασμένων δεσμών και της υγρής μορφής του. Η οσμή του συγκεκριμένου υγρού λιπάσματος είναι μειωμένη, καθώς έχει παραμείνει στον αναερόβιο βιοαντιδραστήρα για διάστημα τριάντα πέντε ημερών σε

θερμοκρασία 37 °C. Έτσι λοιπόν θεωρείται παστεριωμένο και άοσμο υγρό λίπασμα, ιδανικό για τις καλλιέργειες.



Εικόνα 6.7 : Υγρό λίπασμα σε καλλιέργειες

(πηγή: <https://www.yraithros.gr/praktikes-pou-meionoun-kostos-ayksanoun-apodoseis-xorafi/>)

7. ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Όπως προαναφέρθηκε, στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία θα χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη, υπολείμματα αγροδιατροφικών προϊόντων του συνεταιρισμού Bionet West Hellas. Βέβαια, η ετήσια ποσότητά τους δεν επαρκεί για την παραγωγή της επιθυμητής ποσότητας βιοαερίου και για αυτόν τον λόγο θα προσθέσουμε κτηνοτροφικά απόβλητα στο ήδη υπάρχον μείγμα. Έτσι λοιπόν, θα αναλυθούν παρακάτω τρία σενάρια με διαφορά στην διαθέσιμη ποσότητα αποβλήτων και προφανώς στην παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου και ενέργειας:

- 1) το βασικό σενάριο μόνο με αγροδιατροφικά
- 2) το σενάριο Β όπου προστίθενται και κτηνοτροφικά
- 3) το σενάριο Γ όπου προστίθενται τα διπλάσια κτηνοτροφικά

7.1 ΠΡΩΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ – ΑΓΡΟΔΙΑΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Φορτίο Εισόδου Πατάτας

Το βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο της πατάτας είναι:

- $BOD_{(in)} = 2.067 \text{ [mg/l]} \rightarrow BOD_{(in)} = 2,067 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Από τον πίνακα 5 προκύπτει πως η ετήσια ποσότητα πατάτας είναι 2.500 [tn/year], δηλαδή η ημερήσια παροχή της πατάτας είναι:

- $Q = 2.500 \text{ [tn/year]} = 2.500 \text{ [m}^3\text{/year]} \rightarrow Q = 6,85 \text{ [m}^3\text{/day]}$

Πίνακας 7.1: Ετήσια κατανομή διαθέσιμων ποσοτήτων αγροδιατροφικών αποβλήτων μετρούμενη σε τόνους

Πρώτη ύλη	Ποσότητα (tn/year)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Πατάτες	2.500	500			250	375	375	625				125	250
Καρπούζια	3.000						750	1050	1200				
Καρότα	350	31,5	31,5	31,5	31,5	28	28	28	28	28	28	28	28
Εσπεριδοειδή (Πορτοκάλια & Μανταρίνια)	3.500	875	700	525	175							350	875
ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΟ:	9.350	1.407	732	557	457	403	1.153	1.703	1.228	28	28	503	1.153

Επομένως, με βάση την ακόλουθη εξίσωση το φορτίο εισόδου της πατάτας προκύπτει:

$$CM_{(in)} = Q \times BOD_{(in)} = 6,85 \text{ [m}^3/\text{day]} \times 2,067 \text{ [kg/m}^3] \rightarrow CM_{(in)} = 14,16 \text{ [kg BOD/day]}$$

Για χρόνο παραμονής 35 ημερών προκύπτει:

$$C = 14,16 \text{ [kg BOD/day]} \times 35 \text{ [days]} \rightarrow C = 495,51 \text{ [kg BOD/ 35 days]}$$

Φορτίο Εξόδου Πατάτας

Ισχύει ότι το BOD της εξόδου ισούται με το 10% του BOD εισόδου. Επομένως:

$$BOD_{(out)} = BOD_{(in)} \times 10\% = 2.067 \text{ [mg/l]} \times 0,10$$

$$\rightarrow BOD_{(out)} = 206,7 \text{ [mg/l]} = 0,2067 \text{ [kg/m}^3]$$

Με βάση την ακόλουθη εξίσωση το φορτίο εξόδου της πατάτας προκύπτει:

$$CM_{(out)} = Q \times BOD_{(out)} = 6,85 \text{ [m}^3/\text{day]} \times 0,2067 \text{ [kg/m}^3]$$

$$\rightarrow CM_{(out)} = 1,42 \text{ [kg BOD/day]}$$

Επομένως, το βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο θα έχει ελαττωθεί από 14,16 [kgBOD/day] στην οριακή τιμή των 1,42 [kgBOD/day], μετά την επεξεργασία της αναερόβιας χώνευσης και της κλίνης ξήρανσης ιδανικά.

Φορτίο Εισόδου Καρπουζιού

Το βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο του καρπουζιού είναι:

- $BOD_{(in)} = 420 \text{ [mg/l]} \rightarrow BOD_{(in)} = 0,42 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Από τον πίνακα 5 προκύπτει πως η ετήσια ποσότητα καρπουζιού είναι 3.000 [tn/year], δηλαδή η ημερήσια παροχή του είναι:

- $Q = 3.000 \text{ [tn/year]} = 3.000 \text{ [m}^3\text{/year]} \rightarrow Q = 8,22 \text{ [m}^3\text{/day]}$

Επομένως, με βάση την ακόλουθη εξίσωση το φορτίο εισόδου του καρπουζιού προκύπτει:

$$CM_{(in)} = Q \times BOD_{(in)} = 8,22 \text{ [m}^3\text{/day]} \times 0,42 \text{ [kg/m}^3\text{]} \rightarrow CM_{(in)} = 3,45 \text{ [kg BOD/day]}$$

Για χρόνο παραμονής 35 ημερών προκύπτει:

$$C = 3,45 \text{ [kg BOD/day]} \times 35 \text{ [days]} \rightarrow C = 120,82 \text{ [kg BOD/ 35 days]}$$

Φορτίο Εξόδου Καρπουζιού

Ισχύει ότι το BOD της εξόδου ισούται με το 10% του BOD εισόδου. Επομένως:

$$BOD_{(out)} = BOD_{(in)} \times 10\% = 420 \text{ [mg/l]} \times 0,10$$

$$\rightarrow BOD_{(out)} = 42 \text{ [mg/l]} = 0,042 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Με βάση την ακόλουθη εξίσωση το φορτίο εξόδου του καρπουζιού προκύπτει:

$$CM_{(out)} = Q \times BOD_{(out)} = 8,22 \text{ [m}^3\text{/day]} \times 0,042 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rightarrow CM_{(out)} = 0,35 \text{ [kg BOD/day]}$$

Επομένως, το βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο θα έχει ελαττωθεί από 3,45 [kgBOD/day] στην οριακή τιμή των 0,35 [kgBOD/day], μετά την επεξεργασία της αναερόβιας χώνευσης και της κλίνης ξήρανσης ιδανικά.

Φορτίο Εισόδου Καρότου

Το βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο του καρότου είναι:

- $BOD_{(in)} = 2.780 \text{ [mg/l]} \rightarrow BOD_{(in)} = 2,78 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Από τον πίνακα 5 προκύπτει πως η ετήσια ποσότητα καρότου είναι 350 [tn/year], δηλαδή η ημερήσια παροχή του είναι:

- $Q = 350 \text{ [tn/year]} = 350 \text{ [m}^3\text{/year]} \rightarrow Q = 0,96 \text{ [m}^3\text{/day]}$

Επομένως, με βάση την ακόλουθη εξίσωση το φορτίο εισόδου του καρότου προκύπτει:

$$CM_{(in)} = Q \times BOD_{(in)} = 0,96 \text{ [m}^3\text{/day]} \times 2,78 \text{ [kg/m}^3\text{]} \rightarrow CM_{(in)} = 2,67 \text{ [kg BOD/day]}$$

Για χρόνο παραμονής 35 ημερών προκύπτει:

$$C = 2,67 \text{ [kg BOD/day]} \times 35 \text{ [days]} \rightarrow C = 93,3 \text{ [kg BOD/ 35 days]}$$

Φορτίο Εξόδου Καρότου

Ισχύει ότι το BOD της εξόδου ισούται με το 10% του BOD εισόδου. Επομένως:

$$BOD_{(out)} = BOD_{(in)} \times 10\% = 2.780 \text{ [mg/l]} \times 0,10$$

$$\rightarrow BOD_{(out)} = 278 \text{ [mg/l]} = 0,278 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Με βάση την ακόλουθη εξίσωση το φορτίο εξόδου του καρότου προκύπτει:

$$CM_{(out)} = Q \times BOD_{(out)} = 0,96 \text{ [m}^3\text{/day]} \times 0,278 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rightarrow CM_{(out)} = 0,27 \text{ [kg BOD/day]}$$

Επομένως, το βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο θα έχει ελαττωθεί από 2,67 [kgBOD/day] στην οριακή τιμή των 0,27 [kgBOD/day], μετά την επεξεργασία της αναερόβιας χώνευσης και της κλίνης ξήρανσης ιδανικά.

Φορτίο Εισόδου Εσπεριδοειδών

Το βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο των εσπεριδοειδών είναι:

- $BOD_{(in)} = 1.000 \text{ [mg/l]} \rightarrow BOD_{(in)} = 1 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Από τον πίνακα 5 προκύπτει πως η ετήσια ποσότητα εσπεριδοειδών, δηλαδή πορτοκαλιών και μανταρινιών είναι 3.500 [tn/year], οπότε η ημερήσια παροχή τους είναι:

- $Q = 3.500 \text{ [tn/year]} = 3.500 \text{ [m}^3\text{/year]} \rightarrow Q = 9,59 \text{ [m}^3\text{/day]}$

Επομένως, με βάση την ακόλουθη εξίσωση το φορτίο εισόδου των εσπεριδοειδών προκύπτει:

$$CM_{(in)} = Q \times BOD_{(in)} = 9,59 \text{ [m}^3\text{/day]} \times 1 \text{ [kg/m}^3\text{]} \rightarrow CM_{(in)} = 9,59 \text{ [kg BOD/day]}$$

Για χρόνο παραμονής 35 ημερών προκύπτει:

$$C = 9,59 \text{ [kg BOD/day]} \times 35 \text{ [days]} \rightarrow C = 335,62 \text{ [kg BOD/ 35 days]}$$

Φορτίο Εξόδου Εσπεριδοειδών

Ισχύει ότι το BOD της εξόδου ισούται με το 10% του BOD εισόδου. Επομένως:

$$BOD_{(out)} = BOD_{(in)} \times 10\% = 1.000 \text{ [mg/l]} \times 0,10$$

$$\rightarrow BOD_{(out)} = 100 \text{ [mg/l]} = 0,1 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Με βάση την ακόλουθη εξίσωση το φορτίο εξόδου των εσπεριδοειδών προκύπτει:

$$CM_{(out)} = Q \times BOD_{(out)} = 9,59 \text{ [m}^3\text{/day]} \times 0,1 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rightarrow CM_{(out)} = 0,96 \text{ [kg BOD/day]}$$

Επομένως, το βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο θα έχει ελαττωθεί από 9,59 [kgBOD/day] στην οριακή τιμή των 0,96 [kgBOD/day], μετά την επεξεργασία της αναερόβιας χώνευσης και της κλίνης ξήρανσης ιδανικά.

Η πυκνότητα των συγκεκριμένων αγροδιατροφικών προϊόντων είναι περίπου ίση με 1 tn/m³. Επομένως, οι ημερήσιες παροχές αυτών των αποβλήτων φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα 5.

Πίνακας 5: ημερήσια παροχή αποβλήτων για το πρώτο σενάριο

Πρώτη ύλη	Q (m³/d)
Πατάτες	6,85
Καρπούζια	8,22
Καρότα	0,96
Εσπεριδοειδή (Πορτοκάλια & Μανταρίνια)	9,59
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	25,62

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Όγκος του αντιδραστήρα

Ο όγκος του αναερόβιου κυλινδρικού βιοαντιδραστήρα υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Όπου:

- HRT είναι ο υδραυλικός χρόνος [days]
- V είναι ο όγκος του αντιδραστήρα [m³]
- Q είναι η παροχή του αντιδραστήρα [m³/day]

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα 5 η ημερήσια παροχή του αντιδραστήρα είναι 25,62 [m³/day]. Επομένως, από την εξίσωση (1), προκύπτει ο **όγκος του αντιδραστήρα**:

$$V = \text{HRT} \times Q \rightarrow V = 35 \text{ [days]} \times 25,62 \text{ [m}^3\text{/day]}$$

$$\rightarrow V = 896,7 \text{ [m}^3\text{]} \cong 897 \text{ [m}^3\text{]}$$

Ακτίνα του αντιδραστήρα

Για όγκο $V = 897 \text{ [m}^3\text{]}$ προκύπτει **ακτίνα, r**:

$$V \text{ [m}^3\text{]} = \frac{\pi \times r^3}{4} \rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{897 \text{ [m}^3\text{]} \times 4}{\pi}} \rightarrow r = 10,45 \text{ [m]} \cong 10,5 \text{ [m]}$$

Ύψος του αντιδραστήρα

Ισχύει ότι το **ύψος, h**, του αντιδραστήρα είναι το μισό της ακτίνας του, οπότε:

$$h = \frac{r}{2} \rightarrow h = \frac{10,5 \text{ [m]}}{2} \rightarrow h = 5,25 \text{ [m]} \cong 5,2 \text{ [m]}$$

Συνολικό Φορτίο Εισόδου

$$\Sigma \text{BOD}_{(\text{in})} = (2,067 + 0,42 + 2,78 + 1) [\text{kg}/\text{m}^3]$$

$$\rightarrow \Sigma \text{BOD}_{(\text{in})} = 6,267 [\text{kg}/\text{m}^3]$$

$$\Sigma \text{CM}_{(\text{in})} = Q \times \Sigma \text{BOD}_{(\text{in})} = 25,62 [\text{m}^3/\text{day}] \times 6,267 [\text{kg}/\text{m}^3]$$

$$\rightarrow \Sigma \text{CM}_{(\text{in})} = 160,56 [\text{kg BOD}/\text{day}]$$

Για χρόνο παραμονής 35 ημερών προκύπτει:

$$\Sigma C = 160,56 [\text{kg BOD}/\text{day}] \times 35 [\text{days}]$$

$$\rightarrow \Sigma C = 5.619,6 [\text{kg BOD}/ 35 \text{ days}]$$

Συνολικό Φορτίο Εξόδου

$$\Sigma \text{BOD}_{(\text{out})} = \Sigma \text{BOD}_{(\text{in})} \times 10\% = 6,267 [\text{kg}/\text{m}^3] \times 0,10$$

$$\rightarrow \text{BOD}_{(\text{out})} = 0,63 [\text{kg}/\text{m}^3]$$

$$\Sigma \text{CM}_{(\text{out})} = Q \times \Sigma \text{BOD}_{(\text{out})} = 25,62 [\text{m}^3/\text{day}] \times 0,63 [\text{kg}/\text{m}^3]$$

$$\rightarrow \Sigma \text{CM}_{(\text{out})} = 16,14 [\text{kg BOD}/\text{day}]$$

Επομένως, το βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο θα έχει ελαττωθεί από 160,56 [kgBOD/day] στην οριακή τιμή των 16,14 [kgBOD/day], μετά την επεξεργασία της αναερόβιας χώνευσης και της κλίνης ξήρανσης ιδανικά.

Οργανικός ρυθμός φόρτωσης (OLR)

$$\text{OLR} = \frac{Q \cdot C}{V}$$

Όπου:

- OLR είναι ο οργανικός ρυθμός φόρτωσης [kgCOD / (m³ day)],
- Q = 25,62 [m³/day] είναι η παροχή εισόδου,
- C = 120 [kgCOD/ m³] είναι η συγκέντρωση των πτητικών στερεών στο υπόστρωμα και

- $V = 897 \text{ [m}^3\text{]}$ είναι ο όγκος του βιοαντιδραστήρα.

Επομένως, για τις παραπάνω τιμές ο οργανικός ρυθμός φόρτωσης προκύπτει:

$$\text{OLR} = \frac{25,62 \text{ [m}^3\text{/day]} \cdot 120 \text{ [kgCOD/ m}^3\text{]}}{897 \text{ [m}^3\text{]}} = 3,4 \text{ [kgCOD / (m}^3 \text{ day)]}.$$

Παραγόμενη ποσότητα οργανικού υλικού

$$Q_{\text{org}} = Q \times \text{TSS} \times \text{VSS} = 25,62 \text{ [m}^3\text{/day]} \times 60\% \times 45\%$$

$$\rightarrow Q_{\text{org}} = 9,4 \text{ [tn/day]} \times 60\% \times 45\%$$

$$\rightarrow Q_{\text{org}} = 2,7495 \text{ [tn/day]} = 2.749,5 \text{ [kg/day]}$$

Όπου :

- $\text{VSS} = 45 \text{ [%]}$ είναι τα πτητικά αιωρούμενα στερεά απόβλητα
- $\text{TSS} = 60 \text{ [%]}$ είναι τα ολικά αιωρούμενα στερεά απόβλητα
- Q είναι η παροχή

Παραγωγή βιοαερίου

Ισχύει ότι η παραγωγή του βιοαερίου είναι $0,6 \text{ [m}^3\text{/kg]}$ του οργανικού υλικού

$$V_{\text{biogas}} = 0,6 \text{ [m}^3\text{/kg]} \times Q_{\text{org}}$$

$$\rightarrow V_{\text{biogas}} = 0,6 \text{ [m}^3\text{/kg]} \times 2.749,5 \text{ [kg/day]} \times 365 \text{ [days]}$$

$$\rightarrow V_{\text{biogas}} = 602.140,5 \text{ [m}^3 \text{ biogas / year]}$$

Παραγωγή μεθανίου

Όπως είναι γνωστό από την θεωρία το βιοαέριο αποτελείται τυπικά από 55% μεθάνιο και 45% διοξείδιο του άνθρακα. Επομένως, η παραγωγή μεθανίου για παραγωγή βιοαερίου $602.140,5 \text{ [m}^3 \text{ biogas / year]}$ είναι:

$$V_{\text{CH}_4} = 55\% \times V_{\text{biogas}} = 55\% \times 602.140,5 \text{ [m}^3 \text{ biogas / year]}$$

$$\rightarrow V_{\text{CH}_4} = 331.177,3 \text{ [m}^3 \text{ CH}_4 \text{ / year]}$$

Παραγόμενη ενέργεια

$$E_{\text{total}} = \text{K}\Theta\Delta \times V_{\text{CH}_4} = 35,7 \text{ [MJ/ m}^3] \times 331.177,3 \text{ [m}^3 \text{ CH}_4 \text{ / year]}$$

$$\rightarrow E_{\text{total}} = 11.823.028,7 \text{ [MJ/year]}$$

Ισχύει ότι **1 [MJ] = 0.277778 [kWh]** άρα:

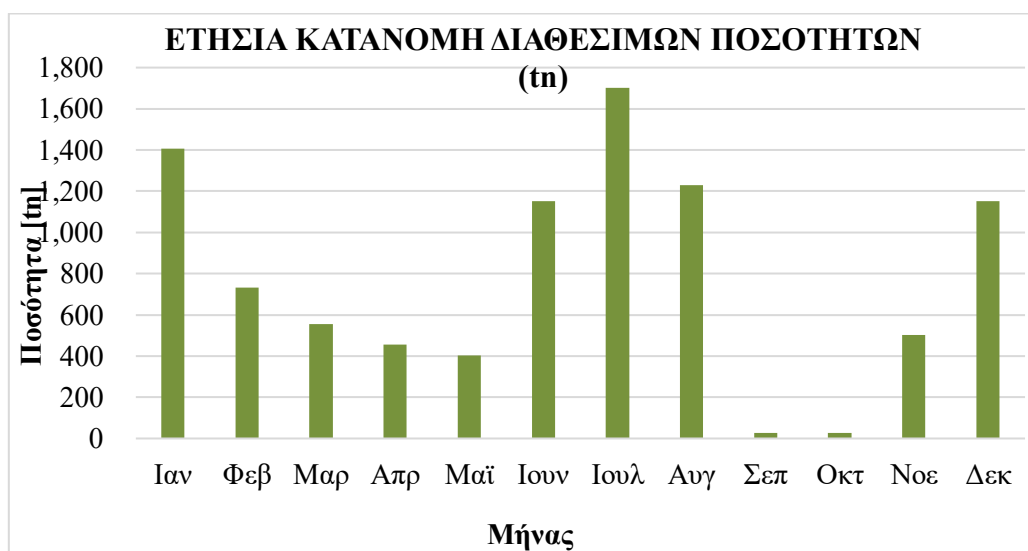
$$E_{\text{total}} = 3.284.177 \text{ [kWh/year]} \rightarrow E_{\text{total}} = 3.284,2 \text{ [MWh/year]}$$

Όπου:

- $\text{K}\Theta\Delta = 35,7 \text{ [MJ/ m}^3]$ είναι η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του μεθανίου
- $V_{\text{CH}_4} = 331.177,3 \text{ [m}^3 \text{ CH}_4 \text{ / year]}$ είναι η παραγόμενη ποσότητα μεθανίου

Από το ακόλουθο διάγραμμα 1 γίνεται αντιληπτό πως η παροχή μόνο αγροδιατροφικών αποβλήτων δεν επαρκεί ιδίως του μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Η μέγιστη μηνιαία ποσότητα αγροτικών αποβλήτων είναι τον Ιούλιο με τιμή 1703 tn. Για αυτό το λόγο είναι απαραίτητη τόσο η παροχή επιπλέον ποσότητας κτηνοτροφικών αποβλήτων όσο και η εγκατάσταση δεξαμενής αποθήκευσης της πρώτης ύλης έως ότου χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοαερίου.

Διάγραμμα 1: ετήσια κατανομή διαθέσιμων ποσοτήτων αγροτικών



7.2 ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

Αγροδιατροφικά Απόβλητα και Κτηνοτροφικά Απόβλητα

Ο σκοπός του δεύτερου σεναρίου είναι η παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας βιοαερίου και θα επιτευχθεί με την προσθήκη κτηνοτροφικών αποβλήτων στο ήδη υπάρχον μίγμα των αγροδιατροφικών. Οι ποσότητες στερεής και υγρής κοπριάς προέκυψαν με βάση την μεταξύ τους αναλογία, η οποία είναι περίπου 1:100, καθώς επίσης και από την ανάγκη για σταθερή παροχή αποβλήτων, με μια ενδιάμεση τιμή των 1.400 τόνων κάθε μήνα του χρόνου περίπου. Στον ακόλουθο πίνακα 6 παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές όλων των χρησιμοποιούμενων αποβλήτων.

Πίνακας 6: ετήσιες διαθέσιμες ποσότητες αγροδιατροφικών και κτηνοτροφικών αποβλήτων

Πρώτη ύλη	Ποσότητα (tn/year)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Πατάτες	2.500,0	500			250	375	375	625				125	250
Καρπούζια	3.000,0						750	1050	1200				
Καρότα	350,0	31,5	31,5	31,5	31,5	28	28	28	28	28	28	28	28
Εσπεριδοειδή (Πορτοκάλια & Μανταρίνια)	3.500,0	875	700	525	175							350	875
Υγρή κοπριά βοοειδών	7.682,5		661,5	835,5	934,5	987	245		170	1358	1358	888	245
Στερεή κοπριά βοοειδών	77,0		7	8	9	10	2		2	14	14	9	2
ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΟ:	17.109,5	1.406,5	1.400,0	1.400,0	1.400,0	1.400,0	1.400,0	1.703,0	1.400,0	1.400,0	1.400,0	1.400,0	1.400,0

Φορτίο Εισόδου Υγρής κοπριάς

Το βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο της υγρής κοπριάς είναι:

- $BOD_{(in)} = 25.000 \text{ [mg/lt]} \rightarrow BOD_{(in)} = 25 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Από τον πίνακα 6 προκύπτει πως η ετήσια ποσότητα υγρής κοπριάς είναι 7.682,5 [tn/year], δηλαδή η ημερήσια παροχή της είναι:

- $Q = 7.682,5 \text{ [tn/year]} = 7.682,5 \text{ [m}^3\text{/year]} \rightarrow Q = 21 \text{ [m}^3\text{/day]}$

Επομένως, με βάση την ακόλουθη εξίσωση το φορτίο εισόδου της υγρής κοπριάς προκύπτει:

$$CM_{(in)} = Q \times BOD_{(in)} = 21 \text{ [m}^3\text{/day]} \times 25 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rightarrow CM_{(in)} = 526,2 \text{ [kg BOD/day]}$$

Για χρόνο παραμονής 35 ημερών προκύπτει:

$$C = 526,2 \text{ [kg BOD/day]} \times 35 \text{ [days]} \rightarrow C = 18.417 \text{ [kg BOD / 35 days]}$$

Φορτίο Εξόδου Υγρής κοπριάς

Ισχύει ότι το BOD της εξόδου ισούται με το 10% του BOD εισόδου. Επομένως:

$$BOD_{(out)} = BOD_{(in)} \times 10\% = 25 \text{ [kg/m}^3\text{]} \times 0,10$$

$$\rightarrow BOD_{(out)} = 2,5 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Με βάση την ακόλουθη εξίσωση το φορτίο εξόδου της υγρής κοπριάς προκύπτει:

$$CM_{(out)} = Q \times BOD_{(out)} = 21 \text{ [m}^3\text{/day]} \times 2,5 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rightarrow CM_{(out)} = 52,6 \text{ [kg BOD/day]}$$

Επομένως, το βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο θα έχει ελαττωθεί από 526,2 [kgBOD/day] στην οριακή τιμή των 52,6 [kgBOD/day], μετά την επεξεργασία της αναερόβιας χώνευσης και της κλίνης ξήρανσης ιδανικά.

Φορτίο Εισόδου Στερεής κοπριάς

Το βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο της στερεής κοπριάς είναι:

- $BOD_{(in)} = 25.000 \text{ [mg/lt]} \rightarrow BOD_{(in)} = 25 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Από τον πίνακα 6 προκύπτει πως η ετήσια ποσότητα στερεής κοπριάς είναι 154 [tn/year], δηλαδή η ημερήσια παροχή της είναι:

- $Q = 154 \text{ [tn/year]} = 154 \text{ [m}^3\text{/year]} \rightarrow Q = 0,4 \text{ [m}^3\text{/day]}$

Επομένως, με βάση την ακόλουθη εξίσωση το φορτίο εισόδου της στερεής κοπριάς προκύπτει:

$$CM_{(in)} = Q \times BOD_{(in)} = 0,4 \text{ [m}^3/\text{day]} \times 25 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rightarrow CM_{(in)} = 10,5 \text{ [kg BOD/day]}$$

Για χρόνο παραμονής 35 ημερών προκύπτει:

$$C = 10,5 \text{ [kg BOD/day]} \times 35 \text{ [days]} \rightarrow C = 369,2 \text{ [kg BOD/ 35 days]}$$

Φορτίο Εξόδου Στερεής κοπριάς

Ισχύει ότι το BOD της εξόδου ισούται με το 10% του BOD εισόδου. Επομένως:

$$BOD_{(out)} = BOD_{(in)} \times 10\% = 25 \text{ [kg/m}^3\text{]} \times 0,10$$

$$\rightarrow BOD_{(out)} = 2,5 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Με βάση την ακόλουθη εξίσωση το φορτίο εξόδου της στερεής κοπριάς προκύπτει:

$$CM_{(out)} = Q \times BOD_{(out)} = 0,4 \text{ [m}^3/\text{day]} \times 2,5 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rightarrow CM_{(out)} = 1,1 \text{ [kg BOD/day]}$$

Επομένως, το βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο θα έχει ελαττωθεί από 10,5 [kgBOD/day] στην οριακή τιμή των 1,1 [kgBOD/day], μετά την επεξεργασία της αναερόβιας χώνευσης και της κλίνης ξήρανσης ιδανικά.

Η πυκνότητα των συγκεκριμένων αγροδιατροφικών προϊόντων είναι περίπου ίση με 1 tn/m³. Επομένως, οι ημερήσιες παροχές αυτών των αποβλήτων φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα 7.

Πίνακας 7: ημερήσια παροχή αποβλήτων για το δεύτερο σενάριο

πρώτη ύλη	Q (m ³ /d)
Πατάτες	6,85
Καρπούζι	8,22
Καρότα	0,96
Εσπεριδοειδή (Πορτοκάλια & Μανταρίνια)	9,59
Υγρή κοπριά	21
Στερεή κοπριά	0,4
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	47,02

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Όγκος του αντιδραστήρα

Ο όγκος του αναερόβιου κυλινδρικού βιοαντιδραστήρα υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Όπου:

- HRT είναι ο υδραυλικός χρόνος [days]
- V είναι ο όγκος του αντιδραστήρα [m³]
- Q είναι η παροχή του αντιδραστήρα [m³/day]

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα 7 η ημερήσια παροχή του αντιδραστήρα είναι 47,02 [m³/day]

Επομένως, από την εξίσωση (1), προκύπτει ο **όγκος του αντιδραστήρα**:

$$V = \text{HRT} \times Q \rightarrow V = 35 \text{ [days]} \times 47,02 \text{ [m}^3/\text{day]}$$

$$\rightarrow V = 1.645,7 \text{ [m}^3] \cong 1.646 \text{ [m}^3]$$

Ακτίνα του αντιδραστήρα

Για όγκο $V = 1.646 \text{ [m}^3]$ προκύπτει ακτίνα, r :

$$V \text{ [m}^3] = \frac{\pi \times r^3}{4} \rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{1.646 \text{ [m}^3] \times 4}{\pi}} \rightarrow r = 12,8 \text{ [m]} \cong 13 \text{ [m]}$$

Ύψος του αντιδραστήρα

Ισχύει ότι το ύψος, h , του αντιδραστήρα είναι το μισό της ακτίνας του, οπότε:

$$h = \frac{r}{2} \rightarrow h = \frac{13 \text{ [m]}}{2} \rightarrow h = 6,5 \text{ [m]}$$

Οργανικός ρυθμός φόρτωσης (OLR)

$$\text{OLR} = \frac{Q \cdot C}{V}$$

Όπου:

- OLR είναι ο οργανικός ρυθμός φόρτωσης [$\text{kgCOD} / (\text{m}^3 \text{ day})$],
- $Q = 47,02 \text{ [m}^3/\text{day}]$ είναι η παροχή εισόδου,
- $C = 120 \text{ [kgCOD/ m}^3]$ είναι η συγκέντρωση των πτητικών στερεών στο υπόστρωμα και
- $V = 1.646 \text{ [m}^3]$ είναι ο όγκος του βιοαντιδραστήρα.

Επομένως, για τις παραπάνω τιμές ο οργανικός ρυθμός φόρτωσης προκύπτει:

$$\text{OLR} = \frac{47,02 \text{ [m}^3/\text{day}] \cdot 120 \text{ [kgCOD/ m}^3]}{1.646 \text{ [m}^3]} = 3,4 \text{ [kgCOD / (m}^3 \text{ day)]}.$$

Παραγόμενη ποσότητα οργανικού υλικού

$$Q_{org} = Q \times TSS \times VSS$$

$$\rightarrow Q_{org} = 47,02 \text{ [m}^3/\text{day]} \times 60\% \times 45\% = 16,6 \text{ [tn/day]} \times 60\% \times 45\%$$

$$\rightarrow Q_{org} = 4.855,5 \text{ [kg/day]}$$

Όπου :

- VSS = 45 [%] είναι τα πτητικά αιωρούμενα στερεά απόβλητα
- TSS = 60 [%] είναι τα ολικά αιωρούμενα στερεά απόβλητα
- Q είναι η παροχή

Παραγωγή βιοαερίου

Ισχύει ότι η παραγωγή του βιοαερίου είναι 0,6 [m³/kg] του οργανικού υλικού, οπότε:

$$V_{biogas} = 0,6 \text{ [m}^3/\text{kg]} \times Q_{org}$$

$$\rightarrow V_{biogas} = 0,6 \text{ [m}^3/\text{kg]} \times 4.855,5 \text{ [kg/day]} \times 365 \text{ [days]}$$

$$\rightarrow V_{biogas} = 1.063.354,5 \text{ [m}^3 \text{ biogas / year]}$$

Παραγωγή μεθανίου

Όπως είναι γνωστό από την θεωρία το βιοαέριο αποτελείται τυπικά από 55% μεθάνιο και 45% διοξείδιο του άνθρακα. Επομένως, η παραγωγή μεθανίου για παραγωγή βιοαερίου 602.140,5 [m³ biogas / year] είναι:

$$V_{CH_4} = 55\% \times V_{biogas} = 55\% \times 1.063.354,5 \text{ [m}^3 \text{ biogas / year]}$$

$$\rightarrow V_{CH_4} = 584.845 \text{ [m}^3 \text{ CH}_4/\text{ year]}$$

Παραγόμενη ενέργεια

$$E_{total} = K\Theta\Delta \times V_{CH_4} = 35,7 \text{ [MJ/ m}^3] \times 584.845 \text{ [m}^3 \text{ CH}_4/\text{ year]}$$

$$\rightarrow E_{total} = 20.878.965,6 \text{ [MJ/year]}$$

Ισχύει ότι 1 [MJ] = 0.277778 [kWh] άρα: $E_{total} = 5.799,7 \text{ [MWh/year]}$

Όπου:

- $K\Theta\Delta = 35,7 \text{ [MJ/ m}^3\text{]}$ είναι η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του μεθανίου
- $V_{\text{CH}_4} = 584.845 \text{ [m}^3 \text{ CH}_4\text{/ year]}$ είναι η παραγόμενη ποσότητα μεθανίου

7.3 ΤΡΙΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

Αγροδιατροφικά Απόβλητα με διπλάσια ποσότητα Κτηνοτροφικών Αποβλήτων Δεύτερου Σεναρίου

Ο σκοπός του τρίτου σεναρίου είναι η παραγωγή ακόμη μεγαλύτερης ποσότητας βιοαερίου από αυτή του δεύτερου σεναρίου και θα επιτευχθεί με την προσθήκη διπλάσιων κτηνοτροφικών αποβλήτων στο ήδη υπάρχον μίγμα. Στον ακόλουθο πίνακα 8 παρουσιάζονται αναλυτικά οι παροχές όλων των χρησιμοποιούμενων αποβλήτων, οι οποίες είναι ίδιες με τον πίνακα 7, εκτός από την υγρή και στερεή κοπριά, οι οποίες τώρα έχουν διπλάσια παροχή, δηλαδή 42 και 0,8 $[\text{m}^3/\text{d}]$, αντίστοιχα.

Πίνακας 8: ημερήσια παροχή αποβλήτων για το τρίτο σενάριο

πρώτη ύλη	Q (m ³ /d)
Πατάτες	6,85
Καρπούζι	8,22
Καρότα	0,96
Εσπεριδοειδή (Πορτοκάλια & Μανταρίνια)	9,59
Υγρή κοπριά	42
Στερεή κοπριά	0,8
Συνολική Παροχή	68,42

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Όγκος του αντιδραστήρα

Ο όγκος του αναερόβιου κυλινδρικού βιοαντιδραστήρα υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Όπου:

- HRT είναι ο υδραυλικός χρόνος [days]
- V είναι ο όγκος του αντιδραστήρα [m³]
- Q είναι η παροχή του αντιδραστήρα [m³/day]

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα 8 η ημερήσια παροχή του αντιδραστήρα είναι 68,42 [m³/day]

Επομένως, από την εξίσωση (1), προκύπτει ο **όγκος του αντιδραστήρα**:

$$V = \text{HRT} \times Q \rightarrow V = 2.395 \text{ [m}^3\text{]}$$

Ακτίνα του αντιδραστήρα

Για όγκο $V = 1.646 \text{ [m}^3\text{]}$ προκύπτει **ακτίνα, r**:

$$V \text{ [m}^3\text{]} = \frac{\pi \times r^3}{4} \rightarrow r = 15 \text{ [m]}$$

Ύψος του αντιδραστήρα

Ισχύει ότι το **ύψος, h**, του αντιδραστήρα είναι το μισό της ακτίνας του, οπότε:

$$h = \frac{r}{2} \rightarrow h = 7,5 \text{ [m]}$$

Οργανικός ρυθμός φόρτωσης (OLR)

$$\text{OLR} = \frac{Q \cdot C}{V}$$

Όπου:

- OLR είναι ο οργανικός ρυθμός φόρτωσης [$\text{kgCOD} / (\text{m}^3 \text{ day})$],
- $Q = 68,42 \text{ [m}^3/\text{day]}$ είναι η παροχή εισόδου,
- $C = 120 \text{ [kgCOD/ m}^3]$ είναι η συγκέντρωση των πτητικών στερεών στο υπόστρωμα και
- $V = 2.395 \text{ [m}^3]$ είναι ο όγκος του βιοαντιδραστήρα.

Επομένως, για τις παραπάνω τιμές ο οργανικός ρυθμός φόρτωσης προκύπτει:

$$\text{OLR} = 3,4 \text{ [kgCOD / (m}^3 \text{ day)]}.$$

Παραγόμενη ποσότητα οργανικού υλικού

$$Q_{\text{org}} = Q \times \text{TSS} \times \text{VSS}$$

$$\rightarrow Q_{\text{org}} = 68,42 \text{ [m}^3/\text{day}] \times 60\% \times 45\%$$

$$\rightarrow Q_{\text{org}} = 24,16 \text{ [tn/day]} \times 60\% \times 45\%$$

$$\rightarrow Q_{\text{org}} = 7.066,8 \text{ [kg/day]}$$

Όπου :

- $\text{VSS} = 45 \text{ [%]}$ είναι τα πτητικά αιωρούμενα στερεά απόβλητα
- $\text{TSS} = 60 \text{ [%]}$ είναι τα ολικά αιωρούμενα στερεά απόβλητα
- Q είναι η παροχή

Παραγωγή βιοαερίου

Ισχύει ότι η παραγωγή του βιοαερίου είναι $0,6 \text{ [m}^3/\text{kg}]$ του οργανικού υλικού, οπότε:

$$V_{\text{biogas}} = 0,6 \text{ [m}^3/\text{kg}] \times Q_{\text{org}}$$

$$\rightarrow V_{\text{biogas}} = 0,6 \text{ [m}^3/\text{kg}] \times 7.066,8 \text{ [kg/day]} \times 365 \text{ [days]}$$

$$\rightarrow V_{\text{biogas}} = 1.547.629,2 \text{ [m}^3 \text{ biogas / year]}$$

Παραγωγή μεθανίου

Όπως είναι γνωστό από την θεωρία το βιοαέριο αποτελείται τυπικά από 55% μεθάνιο και 45% διοξείδιο του άνθρακα. Επομένως, η παραγωγή μεθανίου για παραγωγή βιοαερίου 602.140,5 [m³ biogas / year] είναι:

$$V_{\text{CH}_4} = 55\% \times V_{\text{biogas}} \rightarrow V_{\text{CH}_4} = 851.196,1 \text{ [m}^3 \text{ CH}_4 \text{ / year]}$$

Παραγόμενη ενέργεια

$$E_{\text{total}} = \text{K}\Theta\Delta \times V_{\text{CH}_4} = 35,7 \text{ [MJ/ m}^3\text{]} \times 584.845 \text{ [m}^3 \text{ CH}_4 \text{ / year]}$$
$$\rightarrow E_{\text{total}} = 30.387.699,3 \text{ [MJ/year]}$$

Ισχύει ότι **1 [MJ] = 0.277778 [kWh]** άρα: $E_{\text{total}} = 8.441,03 \text{ [MWh/year]}$

Όπου:

- $\text{K}\Theta\Delta = 35,7 \text{ [MJ/ m}^3\text{]}$ είναι η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του μεθανίου
- $V_{\text{CH}_4} = 851.196,1 \text{ [m}^3 \text{ CH}_4 \text{ / year]}$ είναι η παραγόμενη ποσότητα μεθανίου

7.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Στον ακόλουθο πίνακα 9 φαίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των υπολογισμών που προέκυψαν για κάθε σενάριο ξεχωριστά. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως αυξάνοντας την παροχή αποβλήτων στον αντιδραστήρα αυξάνεται και η παραγόμενη ποσότητα ενέργειας, καθώς παράγεται περισσότερο βιοαέριο.

Πίνακας 9: Σύγκριση των Σεναρίων Α, Β & Γ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ	M.M.	ΣΕΝΑΡΙΟ Α	ΣΕΝΑΡΙΟ Β	ΣΕΝΑΡΙΟ Γ
HRT	[days]	35		
Q αντιδραστήρα	[m ³ /day]	26	47	68
V αντιδραστήρα	[m ³]	897	1.646	2.395
r αντιδραστήρα	[m]	10,5	13	15
h αντιδραστήρα	[m]	5,2	6,5	7,5
OLR	[kgCOD/(m ³ /day)]	3,4	3,4	3,4
Q _{org}	[kg/day]	2.750	4.856	7.067
V _{biogas}	[m ³ biogas / year]	602.140	1.063.354	1.547.629
V _{CH₄}	[m ³ CH ₄ / year]	331.177	584.845	851.196
E _{total}	[MJ/year]	11.823.029	20.878.966	30.387.699
E_{total}	[MWh/year]	3.284	5.800	8.441

7.5 ΠΩΛΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Μετά από τον καθαρισμό του παραγόμενου βιοαερίου έως το επίπεδο του βιομεθανίου, το οποίο είναι αντίστοιχο του φυσικού αερίου, με συγκέντρωση μεθανίου 90 με 97%, υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί το βιοαέριο ως καύσιμο οχημάτων ή να διοχετευτεί στο δίκτυο φυσικού αερίου. Σύμφωνα με την ΦΕΚ η τιμή πώλησης του βιοαερίου στο δίκτυο διανομής αερίων είναι 0,25 [€/ kWh] για μη επιδοτούμενο έργο μονάδας αναερόβιας χώνευσης με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση του 1MW. Στον ακόλουθο πίνακα 10

φαίνονται συγκεντρωτικά οι παραγόμενες ποσότητες για κάθε σενάριο και τα αντίστοιχα έσοδα που προκύπτουν από την πώληση του παραγόμενου βιοαερίου.

Πίνακας 10: Εκτιμώμενο κέρδος πώλησης βιοαερίου

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ	M.M.	ΣΕΝΑΡΙΟ Α Έσοδα [€]	ΣΕΝΑΡΙΟ Β Έσοδα [€]	ΣΕΝΑΡΙΟ Γ Έσοδα [€]
V _{biogas}	[m ³ biogas/year]	602.140,5	1.063.354,5	1.547.629,2
V _{CH₄}	[m ³ CH ₄ /year]	331.177,3	584.845	851.196,1
E _{total}	[MJ/year]	11.823.028	20.878.965	30.387.699
E _{total}	[kWh/year]	3.284.200	5.799.700	8.441.030
Τιμή πώλησης βιοαερίου	0,25 [€/ kWh]	821.050	1.449.925	2.110.258

7.6 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

Στον ακόλουθο πίνακα 11 φαίνονται συγκεντρωτικά τα κόστη κατασκευής μιας μονάδας αναερόβιας χώνευσης για το κάθε σενάριο ξεχωριστά. Βέβαια, λόγω των προσαυξήσεων δεν μπορούμε να γνωρίζουμε ακριβώς το κόστος τους και για αυτό το λόγο οι παρακάτω τιμές είναι προσεγγιστικές. Αξίζει να σημειωθεί πως τέτοιου είδους μονάδες είναι προτιμότερο να έχουν μέγεθος 0,5 MW και άνω, καθώς το κόστος κατασκευής τους είναι μεγάλο ανεξαρτήτως μεγέθους και δεν διπλασιάζεται το κόστος της αν διπλασιαστεί το μέγεθός της. Λόγου χάρη αν μια μονάδα είναι 0,5 MW και κοστίζει 3.000.000€, τότε μια του 1MW δεν θα κοστίζει 6.000.000€. Τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται για τετοιες μονάδες είναι συνήθως 0,5 με 1MW.

Πίνακας 11: Εκτιμώμενο κόστος κατασκευής μονάδας

Δαπάνες	ΣΕΝΑΡΙΟ Α Κόστος [€]	ΣΕΝΑΡΙΟ Β Κόστος [€]	ΣΕΝΑΡΙΟ Γ Κόστος [€]
Αναερόβιοι αντιδραστήρες	600.000	1.000.000	1.500.000
Ηλεκτρικός εξοπλισμός	350.000	450.000	500.000
μηχανολογικός εξοπλισμός	420.000	550.000	650.000
δεξαμενή αποθήκευσης	200.000	300.000	400.000
εγκαταστάσεις	600.000	800.000	1.000.000
Απρόβλεπτα	250.000	350.000	400.000
μισθοί εργαζομένων	400.000	550.000	750.000
Συνολικό Κόστος	2.820.000	4.000.000	5.200.000

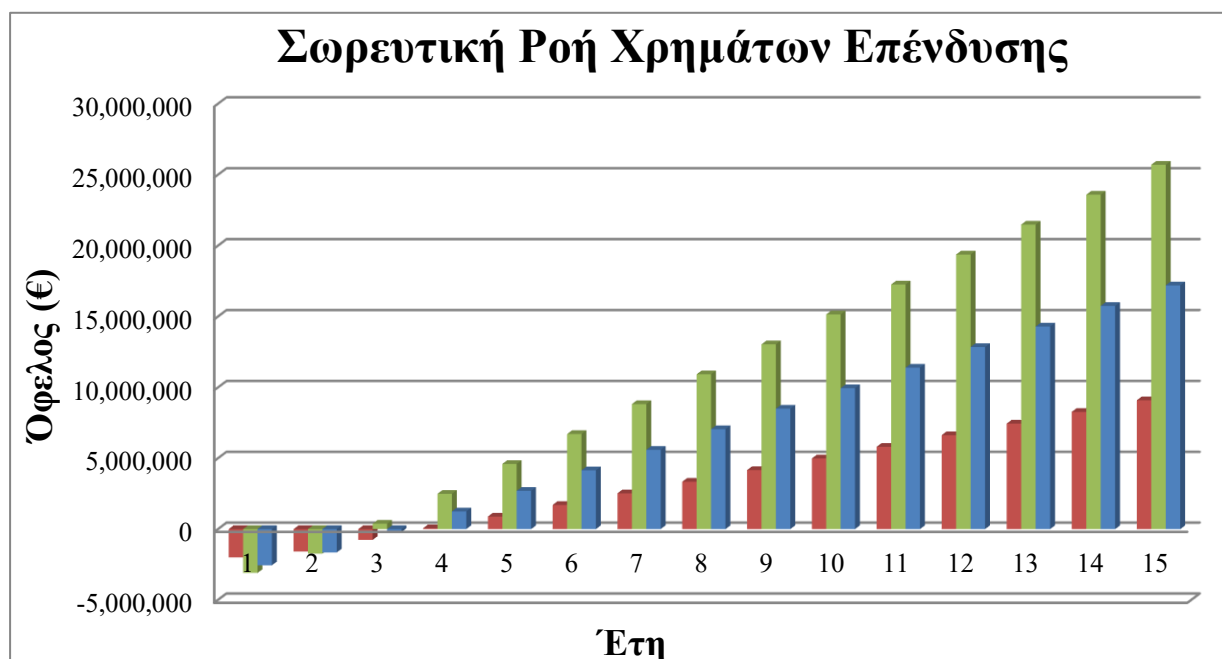
7.7 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Στον ακόλουθο πίνακα 12, με βάση τους πίνακες 10 και 11 προκύπτει ότι ο χρόνος απόσβεσης της μονάδας είναι 3, 3.5 και 4 χρόνια για τα σενάρια Γ, Β και Α αντίστοιχα, χωρίς όμως να έχει συμπεριληφθεί το ετήσιο κόστος λειτουργίας της μονάδας.

Πίνακας 12: Χρόνος απόσβεσης μονάδας

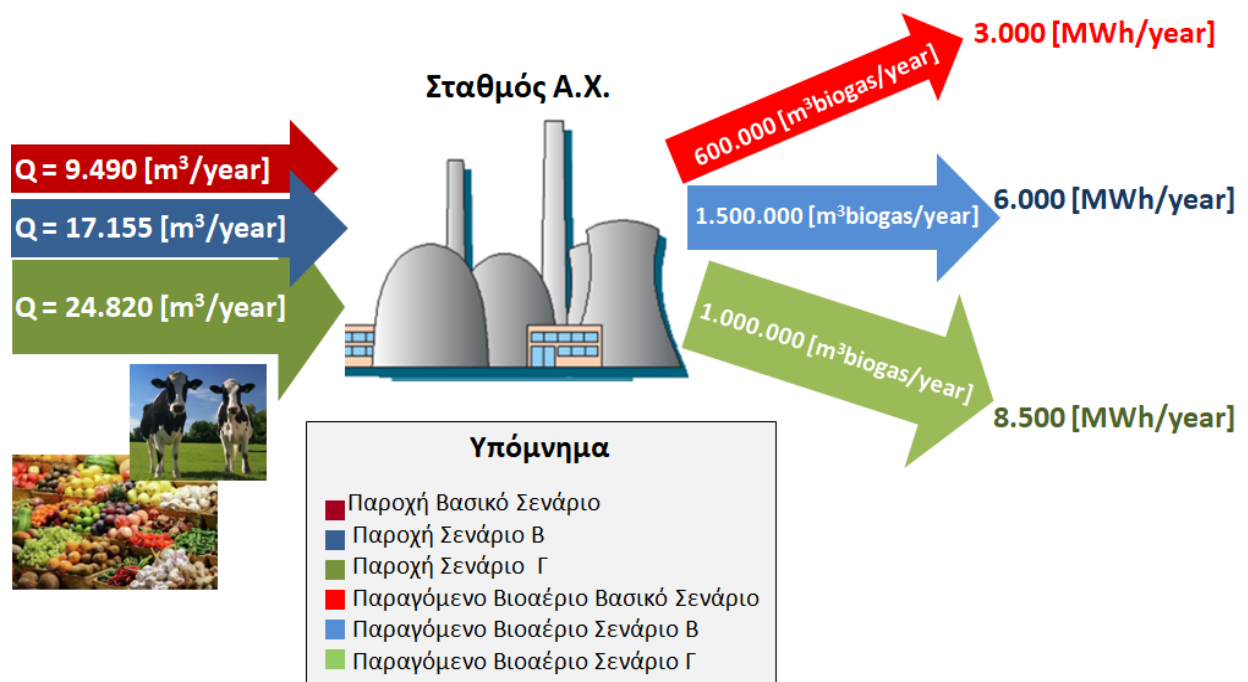
Σενάριο Α		Σενάριο Β		Σενάριο Γ	
Έτη	Όφελος (€)	Έτη	Όφελος (€)	Έτη	Όφελος (€)
1	-1.998.950	1	-2.550.075	1	-3.089.743
2	-1.577.900	2	-1.650.150	2	-1.729.485
3	-756.850	3	-200.225	3	380.773
4	64200	4	1.249.700	4	2.491.030
5	885.250	5	2.699.625	5	4.601.288
6	1.706.300	6	4.149.550	6	6.711.545
7	2.527.350	7	5.599.475	7	8.821.803
8	3.348.400	8	7.049.400	8	10.932.060
9	4.169.450	9	8.499.325	9	13.042.318
10	4.990.500	10	9.949.250	10	15.152.575
11	5.811.550	11	11.399.175	11	17.262.833
12	6.632.600	12	12.849.100	12	19.373.090
13	7.453.650	13	14.299.025	13	21.483.348
14	8.274.700	14	15.748.950	14	23.593.605
15	9.095.750	15	17.198.875	15	25.703.863

Διάγραμμα 2: Σωρευτική Ροή Χρημάτων Επένδυσης για 15 Έτη



7.8. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ SANKEY

Στο ακόλουθο διάγραμμα Sankey συνοψίζονται οι ποσότητες που έχουν προαναφερθεί. Αρχικά, στην αριστερή πλευρά του σταθμού αναερόβιας χώνευσης απεικονίζονται οι ετήσιες παροχές αποβλήτων για το κάθε σενάριο ξεχωριστά, οι οποίες θα αξιοποιηθούν για την παραγωγή βιοαερίου. Στην συνέχεια, αναφέρονται στην δεξιά πλευρά του σταθμού αναερόβιας χώνευσης, οι ετήσιες παραγόμενες ποσότητες βιοαερίου, καθώς επίσης και οι MWh ενέργειας που προκύπτουν από αυτές για το κάθε σενάριο.



7.9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η παραγωγή βιοαερίου πραγματοποιείται μέσω αναερόβιας χώνευσης, στην οποία χρησιμοποιούνται συνήθως ως υποστρώματα οργανικά, κτηνοτροφικά και γεωργικά υπολείμματα. Προκειμένου το παραγόμενο βιοαέριο να έχει τις κατάλληλες ιδιότητες, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η αποδοτικότερη και καθαρότερη παραγωγή βιοενέργειας, είναι απαραίτητο να απομακρυνθεί το H_2S μέσω της αποθείωσης, διότι μπορεί να καταστεί διαβρωτικό και τοξικό. Κατά αυτόν τον τρόπο, εξαλείφεται το 75% του υδρόθειου, το οποίο περιέχεται στο βιοαέριο και το προϊόν της αναερόβιας χώνευσης διαχωρίζεται σε υγρό και στερεό κλάσμα. Το πρώτο μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί, αφού πρώτα διαχωριστεί και το δεύτερο κλάσμα, δηλαδή η παραγόμενη ιλύς, επιδέχεται περαιτέρω επεξεργασία, ώστε να επαναχρησιμοποιηθεί ως υψηλής ποιότητας λίπασμα, σε διάφορα είδη αγροτικών καλλιεργειών.

Ο στόχος της παρούσης πτυχιακής εργασίας είναι η δημιουργία μίας μονάδας αναερόβιας χώνευσης, η οποία θα συμβάλλει στην διαχείριση τόσο των αγροδιατροφικών αποβλήτων του συνεταιρισμού BioNet West Hellas όσο και των αποβλήτων των νόμιμα υφιστάμενων κτηνοτροφικών μονάδων στην Ελλάδα, έχοντας ως απώτερο στόχο την αποφυγή ρύπανσης του περιβάλλοντος με την ρήξη αυτών, αλλά και την τροποποίησή τους σε λίπασμα υψηλής ποιότητας για τις αγροτικές καλλιέργειες.

Προτού αναζητηθούν οι προϋποθέσεις για την δημιουργία μιας τέτοιας μονάδας, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων αποβλήτων, η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης και στη συνέχεια η εγκατάσταση για την επεξεργασία τους. Αυτή η μονάδα, θα λαμβάνει κτηνοτροφικά απόβλητα από βουστάσια, στην μικρότερη δυνατή απόσταση από την προβλεπόμενη εγκατάσταση και με την μεγαλύτερη παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων. Προκειται για μια εγκατάσταση, η οποία θα αποτελείται από δύο αναερόβιους αντιδραστήρες, στους οποίους θα πραγματοποιείται η αναερόβια χώνευση των παραπάνω αποβλήτων, με αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαερίου.

Σε περίπτωση εγκατάστασης μονάδας συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας μέσω αυτής. Ειδικότερα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πουληθεί στη ΔΕΗ, ενώ η παραγόμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διατήρηση της θερμοκρασίας των χωνευτών. Επιπλέον, η παραγόμενη ποσότητα βιομεθανίου μπορεί να αξιοποιηθεί ως καύσιμο της

μηχανής της μονάδας ΣΗΘ, καύσιμο οχημάτων αλλά ακόμη και να διατεθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου, κατόπιν επεξεργασίας.

Υπολογίζοντας τις ποσότητες βιοαερίου που μπορούν να παραχθούν στα τρία σενάρια επεξεργάζοντας διαφορετικές ποσότητες αποβλήτων κάθε φορά, έγινε αντιληπτό πως η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί ετησίως είναι ευθείς ανάλογη της ποσότητας των αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, όσο περισσότερα υπολείμματα επεξεργάζονται τόσο αυξάνεται η παραγόμενη ενέργεια ετησίως. Συνακόλουθο όλων αυτών, το σενάριο Γ συμβάλλει στην αντιμετώπιση του προβλήματος διαχείρισης αποβλήτων, καθώς και στην παραγωγή ικανοποιητικής ποσότητας ενέργειας, με συντομότερο χρόνο απόσβεσης έργου σε σύγκριση με τα δύο προηγούμενα σενάρια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ασημακόπουλος, Αραμπατζής, Δημάκης, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Δυναμικό και Τεχνολογίες, Εκδόσεις σοφία Α.Ε., 2015

Δέσποινα Βαμβούκα, ΒΙΟΜΑΖΑ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ

Κάρναβος, Λάππας και Μαρνέλλος, Βιοκαύσιμα Αειφόρος Ενέργεια, συγγραφείς, εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ

Κούγκολος, Περιβαλλοντική Μηχανική, Ρύπανση & Προστασία Περιβάλλοντος, εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ

Εικόνα εξωφύλλου:: <https://www.b2green.gr/>

<http://oceanis.lib2.uniwa.gr/>

<https://dspace.lib.ntua.gr/>

<https://dione.lib.unipi.gr/>

<https://apothesis.eap.gr/>

<https://cyprustimes.com/>

http://www.envima.gr/el/biogas_plants/pws_leitourgei_mia_monada

http://www.envima.gr/el/biogas_plants/fotografies_stoixeiwn_egkatastasis_bioa_eriou

<https://demo.openeclass.org/modules/document/index.php?course=DEMO-A1172&download=/4da4432fja0q/4da4437a7kop.pdf>

https://gvpress.com/journals/IJEIC/vol11_no2/2.pdf

https://elinyae.gr/sites/default/files/2021-11/4855b_2021.pdf

<https://www.sciencedirect.com/>

<https://www.proquest.com/>

<http://digilib.teiemt.gr/jspui/bitstream/123456789/2175/1/012012014.pdf>

<http://estia.hua.gr/file/lib/default/data/8324/theFile>

<http://www.agroenergy.gr/>

<http://pse.cheng.auth.gr>

<http://greeklipidforum.gr/>

<https://ikee.lib.auth.gr/>

<http://okeanis.lib.teipir.gr/>