



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**«Μελέτη Σταθμού Συμπαγωγής με Βιοαέριο»
«Study of a cogeneration Plant with Biogas»**

**Υπό
ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΚΟΤΡΩΤΣΙΟΣ**

Πτυχιακή Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Πτυχίου του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας

Λάρισα, 2023

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής	Στυλιανός Βαγρόπουλος (Επιβλέπων) Καθηγητής Επίκουρος, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Βασίλειος Νταφόπουλος Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Ιωάννης Χουλιάρης Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Με το παρόν κείμενο βεβαιώνω ότι ο κάτωθι υπογράφων είμαι συγγραφέας της παρούσης πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και η οποία παραδόθηκε, μετά από έγκριση του επιβλέποντας καθηγητή μου, σε έντυπη και ψηφιακή μορφή στη Γραμματεία του Τμήματος. Επίσης δηλώνω πως κάθε πηγή που χρησιμοποίησα (βιβλιογραφία, αρθρογραφία, δικτυογραφία), για την υποστήριξη των υποθέσεων της μελέτης και της ερευνάς μου, είναι πλήρως συμβατή με τα ακολουθούμενα επιστημονικά πρότυπα και, επιπλέον, αναφέρεται ρητά, υπό μορφή αναφοράς-παραπομπής, σε όλο το φάσμα κειμένων της παρούσης εργασίας. Το αυτό ισχύει για τη χρήση δευτερογενών δεδομένων (πινάκων, διαγραμμάτων και εικόνων), ιδεών και λέξεων, τα οποία και αναφέρονται είτε ακριβώς όπως υπάρχουν στις πηγές είτε μεθερμηνεύονται από εμένα.

ΕΠΩΝΥΜΟ	ΚΟΤΡΩΤΣΙΟΣ
ΟΝΟΜΑ	ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ	2919020
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	04\10\2023
ΥΠΟΓΡΑΦΗ	

© 2023. ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας της Σχολής Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί διπλωματική εργασία στα πλαίσια του προπτυχιακού του τμήματος Συστημάτων Ενέργειας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Πριν από την παρουσίαση της διπλωματικής μου εργασίας, αισθάνομαι την υποχρέωση να αναγνωρίσω ορισμένα από τα άτομα που συνάντησα, με τα οποία συνεργάστηκα και τα οποία έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Πρώτο από όλους θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας, Καθηγητή Στυλιανό Βαγρόπουλο για την πολύτιμη καθοδήγηση, την εμπιστοσύνη και εκτίμηση του που μου έδειξε. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου Αντώνιος και Αθανασία, καθώς και την αδερφή μου Μαργαρίτα και την κοπέλα μου Παρασκευή, που με υπομονή και κουράγιο πρόσφεραν την απαραίτητη ηθική συμπαράσταση για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται όλο και περισσότερο η τεχνολογία παραγωγής ενέργειας από βιοαέριο σε όλο τον κόσμο. Αυτό προέκυψε λόγω της υπερβολικής χρήσης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ορυκτών καυσίμων) για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Η ανυπολόγιστη ζημία που έχει υποστεί η ατμόσφαιρα δημιουργήσε την ανάγκη στον Οργανισμό Ηνωμένων εθνών για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως κύριο σκοπό την ανάλυση της παραγωγής ενέργειας από βιοαέριο καθώς επίσης και τους παράγοντες που την επηρεάζουν. Εστιάζει στην περιγραφή της διαδικασίας αναερόβιας χώνευσης και τα βήματα που είναι απαραίτητα για την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Επιπρόσθετα ένας ακόμη στόχος αποτελεί η εμβάθυνση σε εξειδικευμένες εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου και τα στάδια που θα πρέπει κάποιος να ακολουθήσει για την ομαλή λειτουργία τους. Η χρήση εικόνων, διαγραμμάτων αλλά και πινάκων οδηγεί στην καλύτερη κατανόηση και ανάλυση του αντικειμένου. Είναι απαραίτητη η αναφορά τόσο στους κινδύνους που ελλοχεύουν σε μια εγκατάσταση βιοαερίου αλλά και στο νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει στην εκάστοτε χώρα. Στην εργασία αυτή αναπτύσσονται αναλυτικές και αριθμητικές μέθοδοι με την μορφή εξισώσεων. Τέλος οι πηγές από τις οποίες αντλήθηκαν οι πληροφορίες παρατίθενται στο τέλος της εργασίας με την μορφή βιβλιογραφικών αναφορών.

Λέξεις κλειδιά : αναερόβια χώνευση, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, βιοαέριο, συμπαραγωγή, τεχνολογία βιοαερίου

Abstract

In recent years, the technology of biogas production has been increasingly developed around the world. This has arisen due to the excessive use of non-renewable energy sources (fossil fuels) to meet energy needs. The immeasurable damage to the atmosphere has created a need in the United Nations to replace fossil fuels with other renewable energy sources. This thesis has the main purpose of analyzing the production of biogas as well as the factors that influence it. It focuses on describing the process of anaerobic digestion and the steps necessary to produce the final product. In addition, a further objective is to delve into specialized biogas production facilities and the steps one should follow for their smooth operation. The use of images, diagrams and tables leads to a better understanding and analysis of the subject. It is necessary to refer both to the risks inherent in a biogas installation and to the legislative framework in force in each country. In this thesis analytical and numerical methods are developed in the form of equations. Finally, the sources from which the information was obtained are valid and up-to-date and are listed at the end of the thesis in the form of bibliographical references.

Key words: Biogas technology, anaerobic digestion, renewable energy, process description

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Το βιοαέριο	12
1.2 Ιστορική αναδρομή	12
1.3 Σύσταση του βιοαερίου	13
1.4 Πλεονεκτήματα παραγωγής βιοαερίου ως προς την κοινωνία	15
1.4.1 Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας	15
1.4.2 Μείωση των αποβλήτων	16
1.4.3 Ευέλικτη και αποδοτική τελική χρήση του βιοαερίου	16
1.4.4 Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας	17
1.4.5 Υποστήριξη των ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης	17
1.5 Πλεονεκτήματα βιοαερίου ως προς τον αγροτικό τομέα	18
1.5.1 Χαμηλές ανάγκες σε νερό	18
1.5.2 Η παραγωγή κομπόστ και η αξιοποίηση του	18
1.5.3 Κλειστός κύκλος θρεπτικών συστατικών	19
1.5.4 Σημαντική μείωση των οσμών και των εντόμων	19
1.6 Χρήσεις βιοαερίου	20
1.7 Υλοποίηση έργων συμπαραγωγής βιοαερίου στην Ευρώπη και στην Ελλάδα	21
1.7.1 Παρούσα κατάσταση συμπαραγωγής βιοαερίου στην Ευρώπη	21
1.7.2 Παρούσα κατάσταση παραγωγής βιοαερίου στην Ελλάδα	23
1.7.3 Δυναμικό βιοαερίου στην Ελλάδα	27
1.7.3 Προοπτικές του βιοαερίου στην Ελλάδα	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ορισμός συμπαραγωγής	29
2.1 Κριτήρια διαχωρισμού των συστημάτων συμπαραγωγής	31
2.2 Εφαρμογές	31
2.3 Πλεονεκτήματα συμπαραγωγής	32
2.4 Περιγραφή στοιχείων σε μονάδα συμπαραγωγής	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αναερόβια χώνευση βιομάζας (παραγωγή βιοαερίου)	34
3.1 Η βιοχημική αντίδραση της αναερόβιας χώνευσης	34
3.2 Παράμετροι της αναερόβιας χώνευσης	40
3.2.1 Θερμοκρασία	41
3.2.2 Τιμές pH	42
3.2.3 Πτητικά λιπαρά οξέα (VFA)	43
3.2.4 Αμμωνία	44

3.2.5 Ιχνοστοιχεία, θρεπτικές ουσίες και δυνητικά επικίνδυνες χημικές ουσίες	45
3.3 Παράμετροι λειτουργίας.....	46
3.3.1 Ρυθμός οργανικής φόρτωσης	46
3.3.2 Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ).....	46
3.3.3 Παράμετροι λειτουργίας των εγκαταστάσεων βιοαερίου.....	47
3.4 Περιγραφή της διεργασίας	52
3.5 Απόδοση της αναερόβιας χώνευσης	54
3.6 Πλεονεκτήματα αναερόβιας χώνευσης	57
3.7 Μειονεκτήματα αναερόβιας χώνευσης.....	58
3.8 Τύποι χωνευτήρων	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Στάδια-τεχνολογίες παραγωγής βιοαερίου	63
4.1 Μονάδα παραλαβής	67
4.2 Αποθήκευση της πρώτης ύλης	68
4.3 Σύστημα παροχής τροφοδοσίας	69
4.4 Σωληνώσεις	71
4.5 Σύστημα θέρμανσης.....	72
4.6 Τεχνολογίες ανάδευσης	73
4.6.1 Παθητική ανάδευση	73
4.6.2 Μηχανική ανάδευση.....	74
4.6.3 Πνευματική ανάδευση	74
4.6.4 Υδραυλική ανάδευση	75
4.7 Αποθήκευση του βιοαερίου.....	75
4.7.1 Δεξαμενές χαμηλής πίεσης	77
4.7.2 Αποθήκευση βιοαερίου μέσης και υψηλής πίεσης.....	78
4.8 Καθαρισμός του βιοαερίου	79
4.9 Μονάδα ελέγχου.....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Κίνδυνοι των εγκαταστάσεων βιοαερίου	83
5.1 Κίνδυνοι από βιοαέριο	83
5.1.1 Επισκόπηση των κινδύνων σε μονάδες βιοαερίου	87
5.1.2 Ζώνες με κίνδυνο έκρηξης	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Βασικό θεσμικό και κανονιστικό πλαίσιο για τις μονάδες συμπαγωγής βιοαερίου	89
6.1 Νομοθετικό πλαίσιο.....	89
6.2 Διαδικασία αδειοδότησης για τους σταθμούς συμπαγωγής βιοαερίου	92
6.3 Τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας	94

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα	94
Βιβλιογραφία:	96

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1:Απεικόνιση της παγκόσμια παραγωγής πετρελαίου (14)	15
Εικόνα 2: Η διαδικασία παραγωγής βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον (50)	19
Εικόνα 3: (Α) Τα επίπεδα των πτητικών λιπαρών οξέων που έχουν δυσάρεστη οσμή τόσο στον ακατέργαστο όσο και στον χωνεμένο πολτό.. (Β) Η συγκέντρωση της οσμής σε δείγματα αέρα πάνω από τα χωράφια μετρήθηκε μετά την εφαρμογή ανεπεξέργαστης και χωνεμένης κοπριάς. (51)	20
Εικόνα 4:Χρήσεις Βιοαερίου (52)	21
Εικόνα 5: Απεικόνιση των εγκαταστάσεων βιοαερίου των 27 χωρών της Ευρωπαϊκής ένωσης καθώς και του Ηνωμένου Βασιλείου (ξεχωριστή κλίμακα για τη Γερμανία) (17)	22
Εικόνα 6: Παραγωγή βιοαερίου ανά τύπο μονάδας το 2020 στην Ευρώπη* (σε GWh) (17) .	23
Εικόνα 7: Ο αριθμός των εργοστασίων βιοαερίου που λειτουργούν στην Ελλάδα από το 2007 (14)	25
Εικόνα 8: Εργοστάσιο Βιοαερίου στα Άνω Λιόσια (23.5 Mwe) (53)	26
Εικόνα 9:Εργοστάσιο Βιοαερίου στην Ψυττάλεια(11.4Mwe) (53)	27
Εικόνα 10: Εργοστάσιο βιοαερίου στο Ηράκλειο Κρήτης (53).....	27
Εικόνα 11:Αρχή της Συμπαγωγής (24)	30
Εικόνα 12: Τα στάδια της διαδικασίας αναερόβιας χώνευσης (54)	34
Εικόνα 13:Η παραγωγή βιοαερίου μετά την εισαγωγή του υποστρώματος (55).....	35
Εικόνα 14:Τα στάδια της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης (26).....	35
Εικόνα 15:Διαδικασία της Μεθανογένεσης (14)	39
Εικόνα 16:Το ισοζύγιο μάζας της αναερόβιας χώνευσης (26)	40
Εικόνα 17:Η επιρροή της θερμοκρασία και του χρόνος παραμονής στον ρυθμό παραγωγής του βιοαερίου (14)	41
Εικόνα 18:Περιγραφή Διεργασίας (14)	52
Εικόνα 19: Μια κοινή εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης σχεδιασμένη για την παραγωγή τόσο ηλεκτρικής όσο και θερμικής ενέργειας (56)	52
Εικόνα 20: Εγκαταστάσεις εργοστασίου παραγωγής Βιοαερίου (26)	54
Εικόνα 21:Σχηματικό διάγραμμα καλυμμένου χωνευτήρα λιμνοδεξαμενής. (40)	60
Εικόνα 22:Σχηματικό διάγραμμα ενός πλήρως αναμεμιγμένου αναερόβιου χωνευτήρα. (40)	61
Εικόνα 23:Σχηματικό διάγραμμα αναερόβιου χωνευτή με βύσμα ροής. (40)	62
Εικόνα 24:Σχηματικό διάγραμμα ενός αναερόβιου χωνευτή σταθερής μεμβράνης. (40)	63
Εικόνα 25:Κύρια βήματα διεργασίας παραγωγής βιοαερίου (57)	64
Εικόνα 26:Κύρια μέρη των εγκαταστάσεων βιοαερίου (57).....	64
Εικόνα 27: Επισκόπηση της διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου σε διάγραμμα ροής. (57) ..	65
Εικόνα 28:Μονωμένες σωληνώσεις αερίου (58)	72
Εικόνα 29:Σταθμός Θέρμανσης (59).....	73
Εικόνα 30:Βαλβίδες Ασφαλείας (59).....	77
Εικόνα 31:Εξωτερικές δεξαμενές αποθήκευσης αερίου χαμηλής πίεσης (60).....	78
Εικόνα 32:Κάλυμμα χωνευτήρα από αεροστεγή μεμβράνη (61)	78
Εικόνα 33:Σχηματικό διάγραμμα πλύσης με νερό.(37).....	80

Εικόνα 34:Σχηματικό διάγραμμα της προσρόφησης ταλάντευσης πίεσης (37).	81
Εικόνα 35:Αναερόβιοι χωνευτές και ασφάλεια βιοαερίου (48)	83
Εικόνα 36:Τρίγωνο έκρηξης για βιοαέριο (48).....	84
Εικόνα 37:Επισκόπηση των κινδύνων σε μονάδες βιοαερίου (49).....	87

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1:Ποσοστά (%)σύνθεσης βιοαερίου (62)	14
Πίνακας 2: Κατάλογος με τις 22 μεγαλύτερες εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου στην Ελλάδα (63)	26
Πίνακας 3: Εξέλιξη των επιπέδων θερμοκρασίας και μέση διάρκεια του χρόνου παραμονής σε κάθε στάδιο. (14).....	41
Πίνακας 4: Βασικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας των μονάδων βιοαερίου (14).....	48
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά(η ποσότητα του στερεού περιεχομένου, η διάρκεια της υδραυλικής κατακράτησης και η θερμοκρασία) (40)	59
Πίνακας 6: Διαφορετικές τεχνικές καθαρισμού του βιοαερίου, η ποσότητα των εγκαταστάσεων που εφαρμόζουν αυτές τις μεθόδους και οι μέσες τιμές καθαρότητας του παραγόμενου αερίου σε μεθάνιο (CH ₄) (64)	79
Πίνακας 7: Επιπτώσεις Υδρόθειου στον Άνθρωπο (49)	87
Πίνακας 8: Κατάταξη Κινδύνων έκρηξης(49).....	88
Πίνακας 9: Αλλαγές στην αδειοδοτική διαδικασία έργων ΑΠΕ (65)	92

Συντομογραφίες

MW	Megawatts- Μεγαβατώρες
ΧΥΤΑ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων
ΣΗΘ	Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και θερμότητας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
C/N	Carbon/Nitrogen – Άνθρακα /Αζώτου
Gwh	Gigawatts – Γιγαβατώρες
ΕΕΛ	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
MTPII	Μετρικοί τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου
TPII	Τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου
Mwe	Megawatt electric
Kwe	Kilowatt electric
Mwth	Megawatt thermal
Κανονισμός ΕΚ	Κανονισμός Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου
LCFAs	λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας
YPIX	Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής
Ppm	Μέρη ανά εκατομμύριο
HRT	Υδραυλικός Χρόνος Κατακράτησης
PVC	Πολυβινυλοχλωρίδιο
HDPE	Πολυαιθυλένιο
UV	υπεριώδη ακτινοβολία
PSA	προσρόφηση ταλάντευσης πίεσης
LIE-LSE	Συγκέντρωση του καύσιμου αερίου που περιλαμβάνεται στην εκρηκτική του περιοχή
SCBA	Self-contained breathing apparatus
ΠΔ	Προεδρικό Διάταγμα

ΚΥΑ	Κοινή Υπουργική απόφαση
Σ.Η.Θ.Υ.Α	Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης
ΟΤΑ	Οργανισμός Τοπικής Αυτοδιοίκησης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Το βιοαέριο

Το βιοαέριο είναι ένα καύσιμο αέριο που παράγεται μέσω χημικών αντιδράσεων όταν ορισμένοι τύποι μικροοργανισμών, ιδίως βακτήρια, τρέφονται με οργανική ύλη κατά την αποσύνθεση. Αυτά τα βακτήρια είναι ζωντανοί μικροοργανισμοί που αποσυνθέτουν οργανική ύλη, διαδικασία κοινώς γνωστή ως αποσύνθεση ή σήψη, και παράγουν μια σειρά από αέρια που ο άνθρωπος μπορεί να χρησιμοποιήσει ως καύσιμο. Ωστόσο, για να παραχθεί αυτό το αέριο, πρέπει να πληρούνται ορισμένες ειδικές συνθήκες, όπως η παρουσία σε ατμόσφαιρα χωρίς οξυγόνο, δηλαδή σε αναερόβιο περιβάλλον, το οποίο είναι απαραίτητο για την επιβίωση αυτών των βακτηρίων. Η διαδικασία αυτή καθιστά το αέριο χρήσιμο για τον άνθρωπο. Με το διαχωρισμό της οργανικής ύλης σε αναερόβιο χώρο με τα κατάλληλα βακτήρια, το βιοαέριο μπορεί να παραχθεί χωρίς καμία περαιτέρω προσπάθεια λόγω της φυσικής διατροφής που πραγματοποιείται από τους μικροοργανισμούς [1].

1.2 Ιστορική αναδρομή

Το βιοαέριο χρησιμοποιείται για το μαγείρεμα από τον 10ο αιώνα π.Χ. στην Ασσυρία και την αρχαία Κίνα, όπου χρησιμοποιούνταν στερεά απόβλητα [2]. Ο Μάρκο Πόλο ανέφερε τη χρήση καλυμμένων δεξαμενών λυμάτων στην αρχαία κινεζική βιβλιογραφία πριν από περίπου 2000-3000 χρόνια. Ιστορικά έγγραφα από τα μέσα του 19ου αιώνα τεκμηριώνουν τη χρήση του βιοαερίου, όπως η κατασκευή χωνευτήρων στη Νέα Ζηλανδία και την Ινδία και η αξιοποίηση του βιοαερίου από έναν χωνευτήρα λυματολάσπης στο Έξετερ (Ηνωμένο Βασίλειο) για την τροφοδοσία των φώτων του δρόμου το 1890. Ήδη από το 1921 κατασκευάστηκε στην επαρχία Γκουανγκντόνγκ της Κίνας μια υδραυλική δεξαμενή βιοαερίου 8 m³ που τροφοδοτούνταν με σκουπίδια για την εμπορική παραγωγή βιοαερίου. Στη Γερμανία δημιουργήθηκε η πρώτη μονάδα παραγωγής βιοαερίου από την επεξεργασία λυμάτων για την παροχή δημόσιου φυσικού αερίου και η πρώτη μεγάλης κλίμακας γεωργική μονάδα βιοαερίου άρχισε να λειτουργεί γύρω στο 1950. Στη δεκαετία του 1970 και στις

αρχές της δεκαετίας του 1980, το ενδιαφέρον για την τεχνολογία του βιοαερίου αυξήθηκε παγκοσμίως. [3], ως αποτέλεσμα της ραγδαίας αύξησης του κόστους του πετρελαίου και της συνεχιζόμενης αναζήτησης εναλλακτικών ενεργειακών επιλογών. Όλο αυτό ανάγκασε χώρες της Ασίας της Λατινικής Αμερικής και της Αφρικής να αυξήσουν τον ρυθμό παραγωγής αναερόβιων χωνευτήρων.

Ο πρώτος αναερόβιος χωνευτήρας που τροφοδοτείται αποκλειστικά με εμπορικά απόβλητα τροφίμων στη Βόρεια Αμερική (BioCycle London, ON) ξεκίνησε τη λειτουργία του το 2013 [4]. Η μονάδα, ονομάστηκε "Energy Garden", έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας περίπου 70 000 τόνων ετησίως. Τα επεξεργασμένα απόβλητα είναι κυρίως απόβλητα τροφίμων (λίπη, χρησιμοποιημένα έλαια φριτέζας, λίπη και άλλα απόβλητα από εστιατόρια, παντοπωλεία και επεξεργασία τροφίμων). Το CH_4 (Μεθάνιο) που παράγεται αποστέλλεται σε μια γεννήτρια 6 MW που παράγει ηλεκτρική ενέργεια η οποία πωλείται στο πλαίσιο του προτύπου ανανεώσιμης ενέργειας της κυβέρνησης του Οντάριο.

1.3 Σύσταση του βιοαερίου

Το βιοαέριο προέρχεται από [5]:

- Φυτά : Τα φυτά εκπέμπουν μεθάνιο κατά τη διαδικασία της αποσύνθεσης.
- Κτηνοτροφία : Τα ζώα, όπως τα βοοειδή, οι χοίροι και τα πουλερικά, παράγουν κοπριά. Αυτή η διαδικασία αποσύνθεσης της κοπριάς απελευθερώνει αέριο μεθάνιο.
- Λύματα: Οι αναερόβιοι χωνευτές παράγουν αέριο μεθάνιο ως παραπροϊόν κατά την επεξεργασία των λυμάτων.
- Χώροι υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ): Καθώς τα οργανικά απόβλητα διασπώνται, παράγουν μεθάνιο.

Η σύνθεση του βιοαερίου ποικίλει ανάλογα με την πηγή των υλικών που χρησιμοποιούνται στην αναερόβια χώνευση. Το αέριο των χώρων υγειονομικής ταφής περιέχει συνήθως περίπου 50% μεθάνιο, ενώ οι

προηγμένες τεχνολογίες επεξεργασίας αποβλήτων μπορούν να παράγουν βιοαέριο με συγκεντρώσεις μεθανίου που κυμαίνονται από 55% έως 75% [6]. Σε αντιδραστήρες ελεύθερου υγρού, τα επίπεδα μεθανίου μπορούν να φτάσουν το 80% έως 90% με τη χρήση τεχνικών καθαρισμού του αερίου επί τόπου. Το βιοαέριο περιέχει φυσικά υδρατμούς και η ποσότητα των υδρατμών που υπάρχουν σχετίζεται με τη θερμοκρασία του αερίου. Για τον προσδιορισμό του ξηρού όγκου του βιοαερίου, μπορούν να γίνουν προσαρμογές για την περιεκτικότητα σε υδρατμούς και τη θερμική διαστολή με τη χρήση απλών μαθηματικών υπολογισμών. Έτσι προκύπτει ο τυπικός όγκος του βιοαερίου χωρίς υγρασία [7].

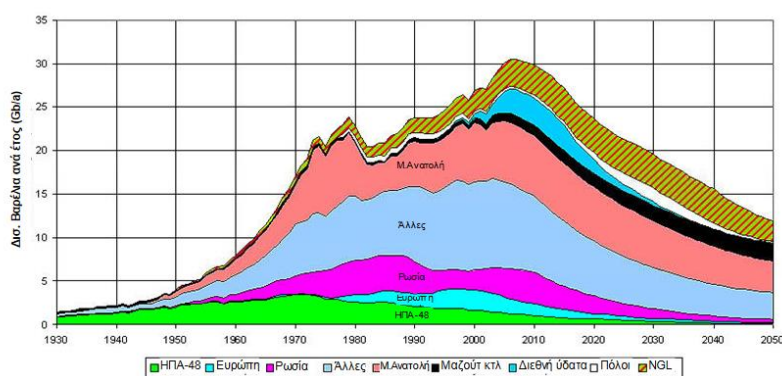
Πίνακας 1: Ποσοστά (%) σύνθεσης βιοαερίου (62)

Συστατικό	Γεωργικά απόβλητα	ΧΥΤΑ	Βιομηχανικά απόβλητα
Μεθάνιο (CH_4)	50-80	50-80	50-80
Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)	30-50	20-50	30-50
Θειούχο υδρογόνο (H_2S)	0.70	0.10	0.80
Υδρογόνο (H_2)	0-2	0-5	0-2
Άζωτο (N_2)	0-1	0-3	0-1
Οξυγόνο (O_2)	0-1	0-1	0-1
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	0-1	0-1	0-1
Αμμωνία (NH_3)	Πολύ μικρή ποσότητα	Πολύ μικρή ποσότητα	Πολύ μικρή ποσότητα
Σιλοξάνια	Πολύ μικρή ποσότητα	Πολύ μικρή ποσότητα	Πολύ μικρή ποσότητα
Νερό (H_2O)	Κορεσμός	Κορεσμός	Κορεσμός

1.4 Πλεονεκτήματα παραγωγής βιοαερίου ως προς την κοινωνία

1.4.1 Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας

Σήμερα, ο παγκόσμιος ενεργειακός εφοδιασμός εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά καύσιμα, όπως το αργό πετρέλαιο, ο λιγνίτης, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. Τα καύσιμα αυτά προέρχονται από τα αρχαία υπολείμματα φυτών και ζώων που έχουν υποστεί γεωλογικές διεργασίες θερμότητας και πίεσης επί εκατομμύρια χρόνια. Παρ' όλα αυτά, αυτοί οι πόροι ορυκτών καυσίμων είναι πεπερασμένοι και εξαντλούνται με ανησυχητικό ρυθμό, ξεπερνώντας το σχηματισμό νέων αποθεμάτων. Ως αποτέλεσμα, οι οικονομίες του κόσμου εξαρτώνται σήμερα από το αργό πετρέλαιο. Ενώ οι επιστήμονες διαφωνούν σχετικά με το πόσο μπορεί να διαρκέσει αυτό το ορυκτό καύσιμο, το γεγονός της "κορύφωσης του πετρελαίου" έχει ήδη συμβεί ή αναμένεται να συμβεί, σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η πυρηνική ενέργεια, γίνονται σταδιακά όλο και πιο δημοφιλείς, αλλά θα χρειαστεί χρόνος για να αντικαταστήσουν πλήρως τα ορυκτά καύσιμα [8]. (Εικόνα 1)



Εικόνα 1:Απεικόνιση της παγκόσμια παραγωγής πετρελαίου (14)

Το βιοαέριο, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, είναι μια αστείρευτη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Παράγεται από βιομάζα, η οποία αποθηκεύει ηλιακή ενέργεια μέσω της φωτοσύνθεσης. Το βιοαέριο παίζει καθοριστικό ρόλο στην ενίσχυση του ενεργειακού ισοζυγίου μιας χώρας και έχει σημαντικά

περιβαλλοντικά οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της διατήρησης των φυσικών πόρων. Με την χρήση του βιοαερίου έναντι των ορυκτών καυσίμων μπορεί να μειωθεί το ενεργό αποτύπωμα του άνθρακα οδηγώντας σε ένα πιο βιώσιμο μέλλον για τις επόμενες γενιές. Επιπλέον, η παραγωγή και η χρήση του βιοαερίου μπορεί να δημιουργήσει ευκαιρίες απασχόλησης, ιδίως σε αγροτικές περιοχές, όπου υπάρχουν πρώτες ύλες όπως γεωργικά υπολείμματα

1.4.2 Μείωση των αποβλήτων

Η παραγωγή βιοαερίου συνεπάγεται σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η δυνατότητα μετατροπής των αποβλήτων σε πολύτιμους πόρους. Το μοντέλο αυτό εφαρμόζεται όλο και πιο συχνά, καθώς πολλές ευρωπαϊκές χώρες αγωνίζονται να διαχειριστούν τα οργανικά απόβλητα που παράγονται από διάφορους τομείς, όπως η βιομηχανία, η γεωργία και τα νοικοκυριά. Η παραγωγή βιοαερίου προσφέρει μια εξαιρετική λύση για την τήρηση των εθνικών και ευρωπαϊκών κανονισμών, μειώνοντας αποτελεσματικά τον όγκο των αποβλήτων και τα έξοδα διάθεσης. Επιπλέον, συμβάλλει στον μετριασμό της περιβαλλοντικής ρύπανσης με την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας και λιπασμάτων. Ως εκ τούτου, η παραγωγή βιοαερίου είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τη διαχείριση των οργανικών αποβλήτων και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον και την κοινωνία [9].

1.4.3 Ευέλικτη και αποδοτική τελική χρήση του βιοαερίου

Το βιοαέριο είναι ένας ευέλικτος και προσαρμόσιμος φορέας ενέργειας που βρίσκει εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Μια από τις απλούστερες εφαρμογές του βιοαερίου είναι το μαγείρεμα και ο φωτισμός, που εφαρμόζεται ευρέως σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες. Από την άλλη πλευρά, στις ανεπτυγμένες χώρες, το βιοαέριο χρησιμοποιείται για τη συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) ή αναβαθμίζεται και διοχετεύεται στα δίκτυα φυσικού αερίου. Χρησιμεύει επίσης ως καύσιμο για οχήματα ή χρησιμοποιείται σε κυψέλες καυσίμου. Το βιοαέριο παράγεται μέσω αναερόβιας χώνευσης οργανικής ύλης και οι

δυνατότητές του ως φιλική προς το περιβάλλον και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας έχουν αναγνωριστεί ευρέως [10].

1.4.4 Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Η παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης απαιτεί ανθρώπινους πόρους για τα διάφορα στάδια, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής, συλλογής και μεταφοράς πρώτων υλών, καθώς και για την κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση του τεχνικού εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαερίου. Κατά συνέπεια, η δημιουργία ενός εθνικού τομέα βιοαερίου συμβάλλει στην εμφάνιση νέων επιχειρήσεων, ορισμένες με αξιοσημείωτο οικονομικό δυναμικό, ενώ παράλληλα ενισχύει τα εισοδήματα στις αγροτικές περιοχές και δημιουργεί νέες ευκαιρίες απασχόλησης. Συνοψίζοντας, η παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια χώνευση βασίζεται σε διάφορα στάδια και η προώθηση του κλάδου του βιοαερίου μπορεί να αποφέρει ευνοϊκά κοινωνικά και οικονομικά αποτελέσματα.[11].

1.4.5 Υποστήριξη των ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) δίνει μεγάλη σημασία στην αντιμετώπιση του ζητήματος της υπερθέρμανσης του πλανήτη, που προκαλείται κυρίως από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, η ΕΕ έχει θέσει συγκεκριμένους στόχους για τα κράτη μέλη, να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, να ενθαρρύνουν την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας και να υιοθετήσουν πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης αποβλήτων. Είναι ενδιαφέρον ότι η χρήση βιοαερίου που λαμβάνεται μέσω αναερόβιας χώνευσης αποτελεί μια μοναδική ευκαιρία για τις χώρες να επιτύχουν αποτελεσματικά και τους τρεις αυτούς στόχους ταυτόχρονα. Το βιοαέριο χρησιμεύει ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που μπορεί να προέλθει από διάφορα απόβλητα υλικά, μειώνοντας έτσι όχι μόνο

τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αλλά και προάγοντας βιώσιμες πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων. [12].

1.5 Πλεονεκτήματα βιοαερίου ως προς τον αγροτικό τομέα

1.5.1 Χαμηλές ανάγκες σε νερό

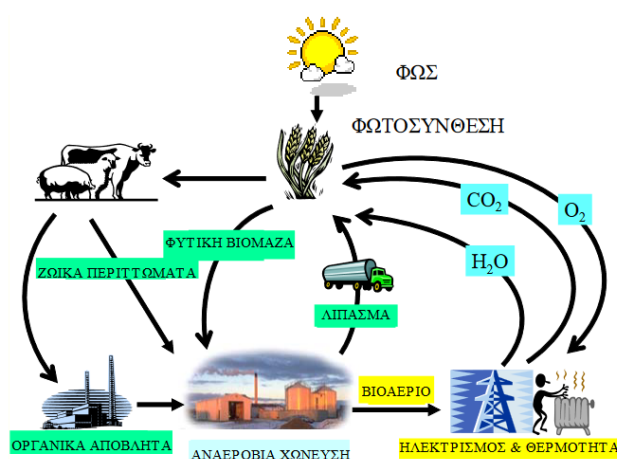
Έχει διαπιστωθεί ότι το βιοαέριο έχει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλους τύπους βιοκαυσίμων. Ένα από τα κύρια οφέλη της παραγωγής βιοαερίου είναι η ελάχιστη κατανάλωση νερού κατά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Αυτό το χαρακτηριστικό ξεχωρίζει το βιοαέριο ως μια φιλική προς το περιβάλλον και βιώσιμη πηγή ενέργειας. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο υπό το πρίσμα της συνεχιζόμενης παγκόσμιας κρίσης νερού, καθώς πολλές περιοχές σε όλο τον κόσμο αναμένεται να αντιμετωπίσουν έλλειψη νερού στο μέλλον. Ενώ το βιοαέριο είναι πράγματι ενεργειακά αποδοτικό, η ελάχιστη απαίτηση νερού είναι εξίσου σημαντικό να ληφθεί υπόψη [13].

1.5.2 Η παραγωγή κομπόστ και η αξιοποίηση του

Εκτός από πηγή παραγωγής ενέργειας ένα εργοστάσιο βιοαερίου, παράγει επίσης κομπόστ το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά λίπασμα. Αυτό το κομπόστ, σε σύγκριση με την ακατέργαστη ζωική κοπριά, είναι πιο αποτελεσματικό λόγω της ομοιομορφίας του, της υψηλότερης διαθεσιμότητας θρεπτικών συστατικών, της βελτιωμένης αναλογίας C/N (Carbon/Nitrogen-Ανθρακα/Αζώτου) και της έλλειψης δυσάρεστης οσμής. Μπορεί να εφαρμοστεί στο έδαφος με τη χρήση τυποποιημένου εξοπλισμού εφαρμογής υγρών λιπασμάτων και πολτού [14].

1.5.3 Κλειστός κύκλος θρεπτικών συστατικών

Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης από την οποία προέρχεται το βιοαέριο προσφέρει ένα αυτοσυντηρούμενο σύστημα ανακύκλωσης θρεπτικών συστατικών και άνθρακα. Ο κύκλος αυτός περιλαμβάνει την παραγωγή μεθανίου (CH_4) που παράγει ενέργεια, ενώ η απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στην ατμόσφαιρα ακολουθείται από την απορρόφησή του από τη βλάστηση μέσω της φωτοσύνθεσης. Η ενσωμάτωση της παραγωγής βιοαερίου μπορεί να αποδειχθεί επιτυχημένο εγχείρημα τόσο στη βιολογική όσο και στη συμβατική γεωργία, προσφέροντας μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στις σημαντικές ποσότητες ενέργειας από ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα για την παραγωγή οργανικών και συμβατικών λιπασμάτων.[15]

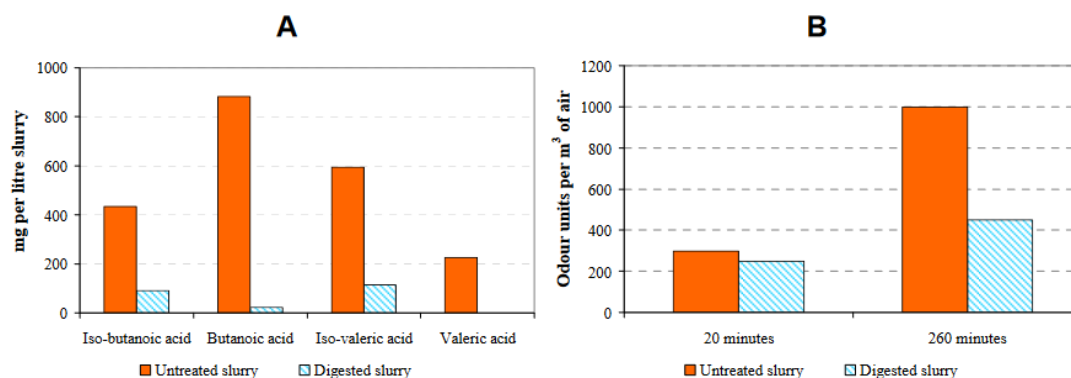


Εικόνα 2: Η διαδικασία παραγωγής βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον (50)

1.5.4 Σημαντική μείωση των οσμών και των εντόμων

Η αποθήκευση και η εφαρμογή ορισμένων τύπων λιπασμάτων, όπως τα υγρά λιπάσματα, η ζωική κοπριά και τα οργανικά λιπάσματα, μπορεί να δημιουργήσουν έντονες, δυσάρεστες οσμές και να προσελκύσουν έντομα. Ωστόσο, η αναερόβια χώνευση είναι μια μέθοδος που μπορεί να μειώσει αυτές τις οσμές έως και 80%, όπως απεικονίζεται στην (Εικόνα 3). Επιπλέον,

η κομποστοποίηση αυτών των λιπασμάτων μπορεί επίσης να είναι αποτελεσματική, καθώς το κομπόστ που προκύπτει έχει συνήθως ελάχιστη έως καθόλου οσμή και τυχόν εναπομείνουσες οσμές αμμωνίας διαλύονται μέσα σε μόλις ελάχιστο χρόνο [14].



Εικόνα 3: (Α) Τα επίπεδα των πτητικών λιπαρών οξέων που έχουν δυσάρεστη οσμή τόσο στον ακατέργαστο όσο και στον χωνεμένο πολτό. (Β) Η συγκέντρωση της οσμής σε δείγματα αέρα πάνω από τα χωράφια μετρήθηκε μετά την εφαρμογή ανεπεξέργαστης και χωνεμένης κοπριάς. (51)

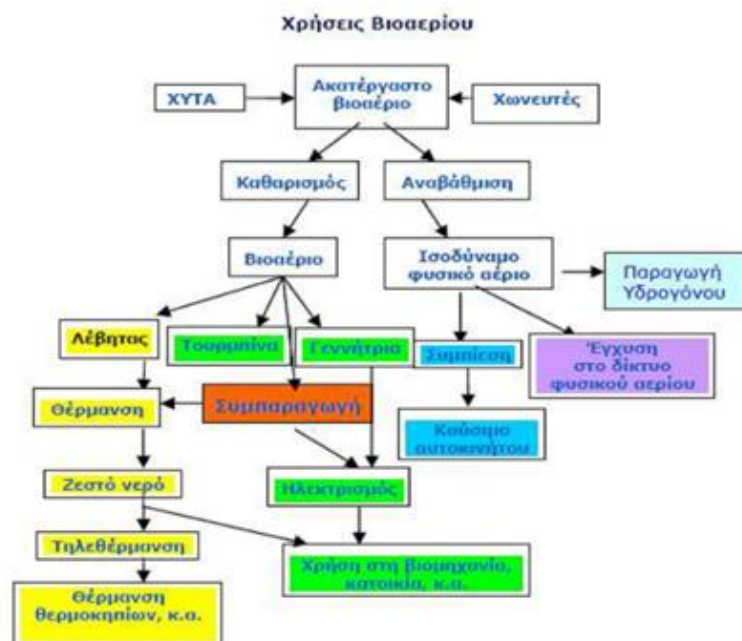
1.6 Χρήσεις βιοαερίου

Το βιοαέριο είναι ένας πολύτιμος ενεργειακός πόρος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τις μοναδικές ενεργειακές ανάγκες μιας συγκεκριμένης περιοχής. Η κύρια εφαρμογή του περιλαμβάνει την παραγωγή θερμότητας μέσω άμεσης καύσης. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση κυψελών καυσίμου ή μικροστροβίλων. Επιπλέον, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για συνδυασμένη θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια (CHP) ή ως εναλλακτικό καύσιμο για οχήματα.

Μερικές Εφαρμογές οι οποίες είναι συμβατές με το Βιοαέριο είναι [16]:

- Στατικά συστήματα άμεσης καύσης
- Κινητά συστήματα άμεσης καύσης

- Το υποπροϊόν του βιοαερίου που είναι γνωστό ως χωνευτικό βοηθά τους αγρότες να λιπαίνουν τις καλλιέργειές τους
- Σε κινητήρες αερίου για τηλεθέρμανση και θέρμανση οικισμών
- Κύριο συστατικό πολλών άλλων χημικών προϊόντων που μέχρι τώρα παρασκευάζονταν από πετρέλαιο στα διυλιστήρια πετρελαίου
- Λέβητες αερίου για την παραγωγή θερμότητας και υδρογόνου
- Σόμπες και λαμπτήρες αερίου
- Χρήση σε φορητές γεννήτριες για διαβίωση εκτός δικτύου



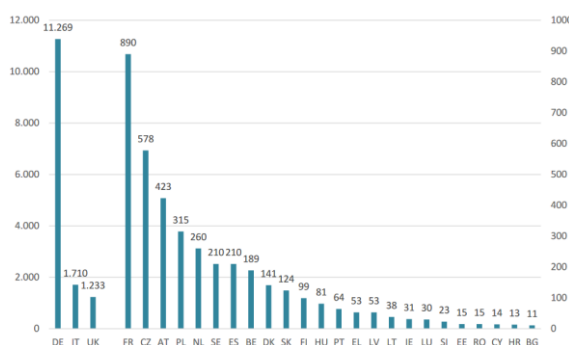
Εικόνα 4:Χρήσεις Βιοαερίου (52)

1.7 Υλοποίηση έργων συμπαραγωγής βιοαερίου στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

1.7.1 Παρούσα κατάσταση συμπαραγωγής βιοαερίου στην Ευρώπη

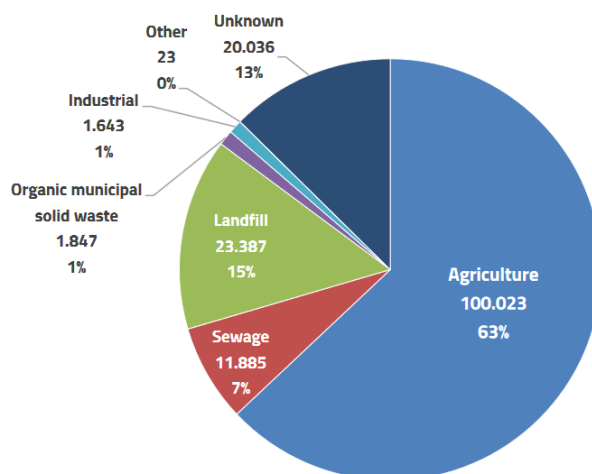
Ο τομέας του βιοαερίου επεκτείνεται και έχει σημειώσει σημαντικές βελτιώσεις την τελευταία δεκαετία όσον αφορά την αποδοτικότητα λόγω της έρευνας και της καινοτομίας. Το 2009 έως το 2014 ήταν μια περίοδος ταχείας ανάπτυξης με μέσο όρο 2.094 νέες μονάδες ανά έτος, με εντυπωσιακή αύξηση 4.067 νέες μονάδες που κατασκευάστηκαν μόνο μεταξύ 2009 και 2010 (ποσοστό αύξησης άνω του 60%). Από το 2014 και μετά, στον

Ευρωπαϊκό χώρο, η ανάπτυξη έχει επιβραδυνθεί με μέσο όρο μόνο 299 νέες μονάδες ανά έτος και τα πιο πρόσφατα στοιχεία, 2019-2020, ήταν ελαφρώς κάτω του μέσου όρου με μόνο 285 νέες μονάδες που προστέθηκαν. Αυτή η μειωμένη ανάπτυξη για τις μονάδες βιοαερίου μπορεί να εξηγηθεί εν μέρει από τη μεγαλύτερη αύξηση των μονάδων βιομεθανίου (πράγματι, αρκετές μικρές μονάδες βιοαερίου μετατρέπονται σε μονάδες παραγωγής βιομεθανίου). Εστιάζοντας στην κατανομή αυτών των εγκαταστάσεων εντός των κρατών μελών, είναι σαφές ότι δεν είναι καθόλου ομοιόμορφη, με 60% των εγκαταστάσεων που έχουν εγκατασταθεί στη Γερμανία (11.269 από τις 18.774 στην Ευρώπη) [17]. Μόνο δύο κράτη μέλη της ΕΕ, η Γερμανία και η Ιταλία, έχουν περισσότερες από 1.000 μονάδες, αλλά είναι πιθανό ότι η Γαλλία θα τις ακολουθήσει τα επόμενα χρόνια, αν διατηρήσει την τρέχουσα ρυθμό ανάπτυξης (+53 εργοστάσια), δεδομένου ότι διαθέτει τον τρίτο μεγαλύτερο αριθμό εργοστασίων στην Ευρωπαϊκή Ένωση [17].



Εικόνα 5: Απεικόνιση των εγκαταστάσεων βιοαερίου των 27 χωρών της Ευρωπαϊκής ένωσης καθώς και του Ηνωμένου Βασιλείου (ξεχωριστή κλίμακα για τη Γερμανία) (17)

Η κατάσταση της παραγωγής βιοαερίου διαφέρει σημαντικά μεταξύ των διαφόρων χωρών, όσον αφορά την παραγωγή (μέσω της αναερόβιας χώνευσης ή θερμοχημικών διεργασιών) αλλά και την εκμετάλλευση των ακατέργαστων υλικών (όπως αέριο από χωματερές, λύματα). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (των 27 χωρών), η παραγωγή βιοαερίου από αναερόβιους χωνευτήρες που χρησιμοποιούν άλλα υλικά εκτός από τα υλικά υγειονομικής ταφής (αέριο και λυματολάσπη), αποτελεί σαφώς την πιο κοινή οδό παραγωγής, με περισσότερο από το 80% των εγκαταστάσεων βιοαερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης να βασίζεται σε αυτό.



Εικόνα 6: Παραγωγή βιοαερίου ανά τύπο μονάδας το 2020 στην Ευρώπη* (σε GWh) (17)

1.7.2 Παρούσα κατάσταση παραγωγής βιοαερίου στην Ελλάδα

Κατά τη δεκαετία του 1980, στην Ελλάδα εφαρμόστηκαν περιορισμένα έργα ανάκτησης ενέργειας από βιοαέριο, τα οποία επικεντρώθηκαν κυρίως στη χρήση κτηνοτροφικών αποβλήτων και αποβλήτων από βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων των αποβλήτων από ελαιοτριβεία, ως πρώτων υλών. Τα έργα αυτά, ορισμένα από τα οποία αρχικά παρουσιάστηκαν ως επιδείξεις και έλαβαν επιστημονική υποστήριξη, τελικά σταμάτησαν να λειτουργούν παρά την αρχική αισιοδοξία και υποστήριξη.

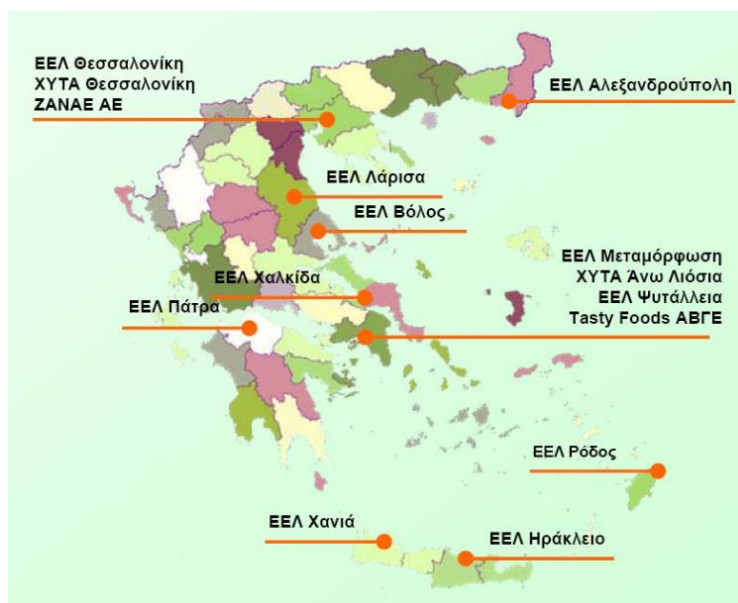
Η χρήση του βιοαερίου αναγνωρίζεται πλέον ευρέως ως μέθοδος διαχείρισης για τους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ). Ωστόσο, παραμένει ανεπαρκής η ευαισθητοποίηση και η γνωστοποίηση, όχι μόνο των επιχειρηματιών αλλά και του βιομηχανικού τομέα και του γενικού πληθυσμού, σχετικά με τις δυνατότητες ανάκτησης ενέργειας από τα απόβλητα, τις διάφορες εφαρμογές της (όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η κάλυψη θερμικών αναγκών, η έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου και η χρήση ως καύσιμο μεταφοράς) και τα οφέλη που επιφέρει.

Το 2006, οι ήπιες μορφές ενέργειας συνεισέφεραν 18.000 ΤΙΠ (τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου) στη συνολική εγχώρια κατανάλωση. Η βιομάζα

αντιπροσώπευε το 56% αυτής της ποσότητας, καλύπτοντας κυρίως τις θερμικές ανάγκες. Το βιοαέριο, το οποίο παράγεται από διάφορες πηγές, όπως οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, οι χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και μερικές βιομηχανικές δραστηριότητες, απέδωσε 36.000 ΤΙΠ κυρίως μέσω της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όλες οι μονάδες βιοαερίου μαζί είχαν συγκεντρώσει μια εγκατεστημένη ισχύς που έφτανε τις 24 MW, στο πλαίσιο της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που ανήλθε σε 3.895 MW. Μέσω του βιοαερίου παράχθηκαν περίπου 92 GWh ηλεκτρικής ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας έτσι περισσότερο από το 1,1% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.

Στην Ελλάδα, το 2007 τέθηκαν σε λειτουργία δεκαπέντε εργοστάσια παραγωγής βιοαερίου στο σύνολο, όπως φαίνεται στο **Εικόνα 7**. Οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούσαν κυρίως βιοαέριο για την κάλυψη των θερμικών τους αναγκών. Ωστόσο, η εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο έφτασε τα 37,4 MW, με αποτέλεσμα την παραγωγή 155,9 GWh ηλεκτρικής ενέργειας. Η πλειονότητα αυτής της παραγωγής ενέργειας προήλθε από την Αθήνα, όπου λειτουργούσαν μονάδες βιοαερίου στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) της Ψυττάλειας και στον ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων. Η ΕΕΛ εστιάζει στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, ενώ ο ΧΥΤΑ ασχολείται με τη διαχείριση στερεών αποβλήτων.

Στον ελλαδικό χώρο η κυριότερη εφαρμογή του βιοαερίου είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και των Μονάδων Βιολογικής Επεξεργασίας. Ωστόσο, η χρήση του για την κάλυψη θερμικών αναγκών είναι εξαιρετικά περιορισμένη και περιορίζεται κυρίως σε εσωτερική χρήση σε εγκαταστάσεις Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ). Επί του παρόντος, η ενεργειακή αγορά βιοαερίου στην Ελλάδα είναι σχετικά ώριμη, αλλά εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη για ενίσχυση του εγχώριου ενεργειακού τομέα. Αυτό θα διευκολύνει την ανάπτυξη των πρωτοβουλιών για το βιοαέριο και θα οδηγήσει σε μείωση των επενδυτικών δαπανών.



Εικόνα 7: Ο αριθμός των εργοστασίων βιοαερίου που λειτουργούν στην Ελλάδα από το 2007 (14)

Από τα τέλη του 2017, στην Ελλάδα λειτουργούν 37 μονάδες βιοαερίου, εκ των οποίων οι 30 είναι μονάδες επεξεργασίας αερίων από χωματερές ή λύματα. Το μεγαλύτερο έργο βιοαερίου της χώρας συνδέεται με μονάδα επεξεργασίας λυμάτων. Λειτουργεί ήδη από το 2004 [18]. Σήμερα, έχουν τεθεί σε λειτουργία περισσότερες από 61 εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου με συνολική ισχύ που ξεπερνάει τις 96,4 MWe που βοηθούν στην εγχώρια οικονομία και τον ενεργειακό τομέα.

Σύμφωνα με τον ΕΣΠΑΒ (Ελληνικός Σύνδεσμος Παραγωγών Βιοαερίου) το 2023 υπάρχουν 45 εγγεγραμμένα μέλη στο σύνδεσμο, με μεγέθη εργοστασιακών μονάδων από 150 έως 5.250 kWe. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των ενεργών ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων-μελών είναι 51,9 MWe [18].

Τα εργοστάσια με την μεγαλύτερη ετήσια παραγωγή βιοαερίου εμφανίζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2: Κατάλογος με τις 22 μεγαλύτερες εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου στην Ελλάδα (63)

	Τοποθεσία Εργοστασίου	Ετήσια παραγωγή ενέργειας βιοαερίου ($\frac{m^3}{year}$)
1	Θεσσαλονίκη	22,000,000
2	Λάρισα	897,120
3	Αχαΐα	577,012
4	Εύβοιας	240,000
5	Έβρου	328,000
6	Ρόδος	90,000
7	Ηράκλειο	672,000
8	Χανιά	200,000
9	Αθήνα	25,774,000
10	Αθήνα	107,000,000
11	Μαγνησίας	50,000
12	Μαγνησίας	3,783,632
	Συνολικά	161,561,764

Στις Εικόνες 8-10 φαίνονται τα τρία μεγαλύτερα (μέχρι και σήμερα) εργοστάσια που εδρεύουν στην Ελλάδα.



Εικόνα 8: Εργοστάσιο Βιοαερίου στα Άνω Λιόσια (23.5 Mwe) (53)

Biogas plant in Ano Liossia - Cogeneration unit



Εικόνα 9: Εργοστάσιο Βιοαερίου στην Ψυττάλεια (11.4Mwe) (53)

Biogas plant in Heraklion-Crete



Source: EDRASIS S.A

Εικόνα 10: Εργοστάσιο βιοαερίου στο Ηράκλειο Κρήτης (53)

1.7.3 Δυναμικό βιοαερίου στην Ελλάδα

Την ευθύνη για τη διαχείριση των αποβλήτων και τη χάραξη πολιτικής στην Ελλάδα έχουν οι Τοπικές Αρχές και οι Περιφερειακοί-Εθνικοί Φορείς. Ενώ τα οικιακά απόβλητα είναι σταθερά διαθέσιμα, τα αγρό-διατροφικά απόβλητα αποτελούν πρόκληση λόγω της ευρείας κατανομής τους. Η περιορισμένη κατανόηση των δυνατοτήτων τους και της εναλλακτικής χρήσης του βιοαερίου εμποδίζει επίσης την πρόοδο. Η σύνθεση και η σταθερότητα των αποβλήτων, ιδίως κατά την εποχιακή παραγωγή, παίζουν ζωτικό ρόλο στην επιτυχία των έργων βιοαερίου στην Ελλάδα.

Στην Ελλάδα, το σενάριο παραγωγής βιοαερίου διαφέρει ελαφρώς σε σύγκριση με άλλες χώρες, με την πλειονότητα του βιοαερίου να παράγεται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ), χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και λίγες βιομηχανικές εφαρμογές. Παρά το σημαντικό δυναμικό της χώρας σε οργανικά απόβλητα, ιδίως από ζωικές πηγές, δεν υπάρχουν επί του παρόντος μονάδες βιοαερίου μικρής κλίμακας σε λειτουργία σε γεωργικές εκμεταλλεύσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι, όταν λαμβάνεται υπόψη μόνο ο πληθυσμός των εκτρεφόμενων ζώων στην Ελλάδα, όπως τα βοοειδή και οι χοίροι, και διάφορες παραδοχές, διάφορες μελέτες έχουν υπολογίσει ότι η θεωρητική ετήσια παραγωγή ζωικών αποβλήτων κυμαίνεται από 10 έως 17 εκατομμύρια τόνους [19].

Με βάση προβλέψεις που παρέχονται από το ΚΑΡΕ [20], η χρήση της αναερόβιας χώνευσης για ζωικά απόβλητα, απόβλητα σφαγείων και γαλακτοκομικά απόβλητα έχει τη δυνατότητα να παράγει περίπου 1.121.389 MWe ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως. Αυτό θα ήταν αρκετό για να τροφοδοτήσει μονάδες συμπαραγωγής με συνδυασμένη ισχύ 350 MW.

1.7.3 Προοπτικές του βιοαερίου στην Ελλάδα

Εκτός από την παραγωγή βιοαερίου με τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης και την εφαρμογή του για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, ως καύσιμο μεταφοράς ή για την τροφοδοσία του δικτύου φυσικού αερίου, τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί σημαντική έμφαση σε διάφορους προβληματισμούς, όπως αναδεικνύεται από την έρευνα που διεξήχθη από τους Ζαφείρη Χ. και Γιακουμέλο Λευτέρη [21] [22].

- Ανάπτυξη τεχνογνωσίας στην κατασκευή, εγκατάσταση και λειτουργία νέων χωνευτών.
- Βελτίωση και αναβάθμιση ολοκληρωμένων συστημάτων καταμερισμού θερμότητας και αερίου.

- Βελτίωση μεθόδων αναβάθμισης βιοαερίου για την αύξηση της διείσδυσής του στο δίκτυο φυσικού αερίου και ως καύσιμο μεταφοράς για την αστική κυκλοφορία και τα γεωργικά μηχανήματα
- Παραγωγή βιοαερίου από ενεργειακά φυτά με την διαδικασία της υγρής και ξηρής χώνευσης που γίνεται κυρίως στην Γερμανία.

Όσον αφορά την Ελλάδα, είναι ζωτικής σημασίας η ενίσχυση της νομοθετικής δομής και των οικονομικών πτυχών, με στόχο την ενθάρρυνση της δημιουργίας εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαερίου. Για να γίνει πιο συγκεκριμένο, υπάρχει ανάγκη για βελτιώσεις στους ακόλουθους τομείς:

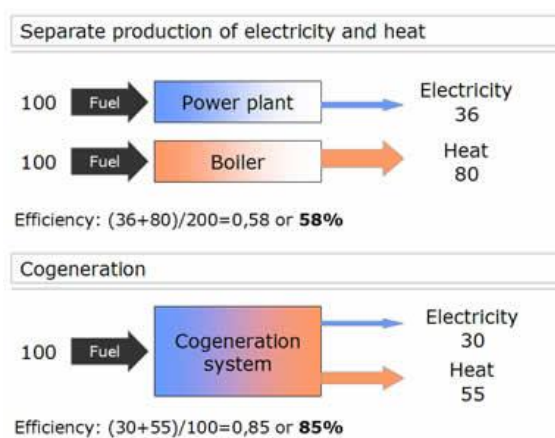
- Η οργανωτική δομή και η ευθυγράμμισή της με τη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, και συγκεκριμένα με τον κανονισμό (ΕΚ) 1774/2002 (άρθρο 15), για την επικύρωση των εγκαταστάσεων βιοαερίου και κομποστοποίησης.
- Τα οικονομικά εργαλεία, με το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα του ΚΠΣ «Ανταγωνιστικότητα», τον νέο Αναπτυξιακό Νόμο 2601, τη χρηματοδότηση της ΕΕ για προγράμματα ΑΠΕ, όπως «Ευφυής Ενέργεια για την Ευρώπη» (2007-2013), το Έβδομο Πρόγραμμα Πλαίσιο για την έρευνα (2007-2013), το σύστημα τιμολόγησης για την ηλεκτροπαραγωγή ΑΠΕ, σύμφωνα με τον Ν.3468/2006.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ορισμός συμπαραγωγής

Η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άλλες διεργασίες, αποτελεί σήμερα πεδίο σημαντικού ενδιαφέροντος. Οι γεννήτριες ηλεκτρικής ενέργειας, γνωστές και ως ηλεκτρογεννήτριες, είναι υπεύθυνες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ανεξάρτητα από το μέγεθος ή την ισχύ τους. Το αξιοσημείωτο είναι ότι οι γεννήτριες αυτές παράγουν σημαντικά ποσά θερμικής ενέργειας κατά τη

διαδικασία, είτε μέσω καυσαερίων είτε μέσω κυκλωμάτων ψύξης. Τα τελευταία χρόνια, έχει δοθεί όλο και μεγαλύτερη έμφαση στην αξιοποίηση αυτής της θερμικής ενέργειας αντί να σπαταλάτε. Αυτή η προσέγγιση, γνωστή ως συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ), έχει επανέλθει λόγω της ενεργειακής κρίσης και της αυξανόμενης έμφασης στη βελτιστοποίηση των ενεργειακών πόρων. Αν και δεν αποτελεί νέα ή καινοτόμο τεχνολογία, η συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού έχει ανακτήσει την προβολή της ως βιώσιμη λύση. Συνοψίζοντας, η συμπαραγωγή είναι ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας που είναι ιδιαίτερα αποδοτικό, επειδή παράγει ταυτόχρονα ηλεκτρική και θερμική ενέργεια από μια πρωτογενή πηγή ενέργειας κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Συνήθως, αυτή η πρωτογενής πηγή ενέργειας προέρχεται από ορυκτά καύσιμα όπως το φυσικό αέριο ή το πετρέλαιο [23].

Η αρχή της συμπαραγωγής είναι απλή. Η συμβατική παραγωγή ενέργειας, κατά μέσο όρο, είναι μόνο 35% αποδοτική - έως και το 65% του ενεργειακού δυναμικού απελευθερώνεται ως απορριπτόμενη θερμότητα. Η πιο πρόσφατη παραγωγή συνδυασμένου κύκλου μπορεί να βελτιώσει το ποσοστό αυτό στο 55%, εξαιρουμένων των απωλειών για τη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Μέσω της αξιοποίησης της θερμότητας, η απόδοση των εγκαταστάσεων συμπαραγωγής μπορεί να φτάσει το 90% ή και περισσότερο [24].



Εικόνα 11: Αρχή της Συμπαραγωγής (24)

2.1 Κριτήρια διαχωρισμού των συστημάτων συμπαραγωγής

Το βασικότερο κριτήριο είναι το μέγεθός τους:

- Μεγάλης κλίμακας χαρακτηρίζονται οι μονάδες που έχουν ισχύ άνω των 10 MW
- Μεσαίας κλίμακας με ισχύ από 1 έως και 10 MW
- Μικρής κλίμακας με ισχύ από 50 kW έως και 1 MW
- Πολύ μικρής κλίμακας αυτά που παράγουν ισχύ από 1kW έως και 50 kW

2.2 Εφαρμογές

Υπάρχουν τέσσερις μεγάλες κατηγορίες εφαρμογών συμπαραγωγής:

- Συστήματα συμπαραγωγής μικρής κλίμακας, συνήθως σχεδιασμένα για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης χώρων και νερού σε κτίρια, που βασίζονται σε παλινδρομικές μηχανές ανάφλεξης με σπινθήρα.
- Συστήματα συμπαραγωγής μεγάλης κλίμακας, που συνήθως συνδέονται με την αύξηση του ατμού σε βιομηχανικές εφαρμογές και εφαρμογές σε μεγάλα κτίρια και βασίζονται σε παλινδρομικές μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση, αμοστροβίλους ή αεριοστροβίλους.
- Συστήματα συμπαραγωγής μεγάλης κλίμακας για τηλεθέρμανση που βασίζονται γύρω από σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή αποτεφρωτήρα αποβλήτων με ανάκτηση θερμότητας που τροφοδοτεί τοπικό δίκτυο θέρμανσης
- Συστήματα συμπαραγωγής που τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα οποία μπορούν να είναι οποιασδήποτε κλίμακας [25].

Έχει σημειωθεί σημαντική τεχνολογική πρόοδος τα τελευταία 15 χρόνια, η οποία επιτρέπει την ευρεία εφαρμογή της τεχνολογίας κινητήρων και στροβίλων και την προώθηση πιο αποκεντρωμένων μορφών συμπαραγωγής και παραγωγής ενέργειας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την οικονομική

αποδοτικότητα και τη μείωση των εκπομπών. Υπάρχει ένας αυξανόμενος αριθμός ποικίλων εφαρμογών στη βιομηχανία και σε οικιστικές περιοχές και οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές θέρμανσης και ψύξης.

2.3 Πλεονεκτήματα συμπαραγωγής

Η συμπαραγωγή έχει το πλεονέκτημα ότι είναι ιδιαίτερα ενεργειακά αποδοτική και επιτρέπει την αξιοποίηση τόσο της θερμότητας όσο και της ηλεκτρικής ενέργειας σε μια ενιαία διαδικασία. Σε αντίθεση με τη συμβατική μέθοδο, όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας απαιτούν ξεχωριστές εγκαταστάσεις, οι εγκαταστάσεις συμπαραγωγής βρίσκονται κοντά στο σημείο κατανάλωσης, εξαλείφοντας τις διακυμάνσεις της τάσης και την ανάγκη μεταφοράς σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτό όχι μόνο βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση αλλά και μειώνει την εκτιμώμενη απώλεια 25-30% της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη μεταφορά στα παραδοσιακά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, ένα ακόμη σημαντικό προτέρημα αποτελεί η χρήση λιγότερων ορυκτών καυσίμων οδηγώντας σε εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, με αποτέλεσμα να μειωθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση και να γίνει προώθηση της περιφερειακής ανάπτυξης μέσω της δημιουργίας θέσεων εργασίας.

2.4 Περιγραφή στοιχείων σε μονάδα συμπαραγωγής

Τα κυριότερα στοιχεία μιας μονάδας συμπαραγωγής είναι τα εξής:

- Μια κύρια πηγή ενέργειας: στην οποία βασιζόμαστε είναι τα ορυκτά καύσιμα, όπως το φυσικό αέριο, το ντίζελ και το μαζούτ.
- Ένας κινητήρας: είναι ζωτικής σημασίας καθώς μετατρέπει τη θερμική ή χημική ενέργεια σε μηχανική. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κινητήρων, όπως αεριοστρόβιλοι, ατμομηχανές και εναλλακτικοί κινητήρες, ανάλογα με τη συγκεκριμένη μονάδα και τον σκοπό της.
- Μια μονάδα συμπαραγωγής: χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της μηχανικής ενέργειας, συνήθως με τη μετατροπή της σε

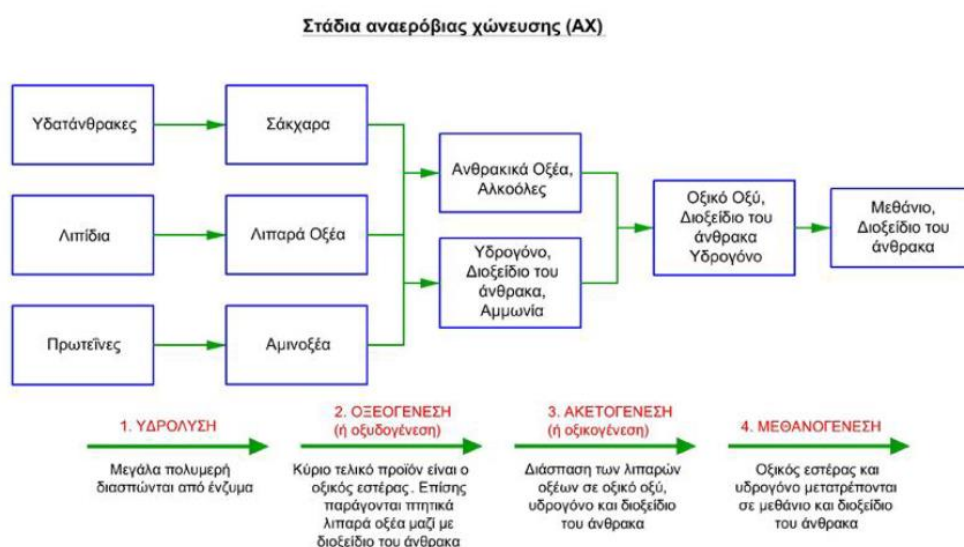
ηλεκτρική μέσω ενός εναλλάκτη. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η μηχανική ενέργεια χρησιμοποιείται απευθείας σε συστήματα όπως οι συμπιεστές ή οι αντλίες.

- Ένα σύστημα: για την αποτελεσματική αξιοποίηση της παραγόμενης θερμότητας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση λεβήτων για την ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαέρια, οι οποίοι μπορούν επίσης να λειτουργήσουν ως ξηραντήρες ή εναλλάκτες θερμότητας.
- Ένα σύστημα ψύξης: το οποίο αντιμετωπίζει το πλεόνασμα ενέργειας που προέρχεται από την συμπαραγωγή. Η θερμότητα που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μονάδα πρέπει να απομακρυνθεί και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται πύργοι ψύξης. Αυτοί οι πύργοι, όπως συμπυκνωτές αερίου ή εναλλάκτες θερμότητας, συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση της σπατάλης θερμότητας που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.
- Ένα Σύστημα επεξεργασίας νερού: είναι απαραίτητο τόσο για το σύστημα ψύξης όσο και για τη χρήση της παραγόμενης θερμότητας.
- Ένα Σύστημα ελέγχου: είναι απαραίτητο για τη διαχείριση των εγκαταστάσεων.
- Ένα ηλεκτρικό σύστημα: είναι απαραίτητο να υπάρχει σε μια εγκατάσταση συμπαραγωγής, που να εξασφαλίζει την παροχή ενέργειας στον βοηθητικό εξοπλισμό της μονάδας. Αυτό το σύστημα είναι υπεύθυνο για την εισαγωγή ή εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες για τη διατήρηση μιας ισορροπημένης παροχής ενέργειας. Επιτρέπει στη μονάδα να συνεχίσει να λειτουργεί ακόμη και σε περιόδους έλλειψης ηλεκτρικής ενέργειας από το εξωτερικό δίκτυο. Ως αποτέλεσμα, η μονάδα παραμένει λειτουργική και έτοιμη να επαναλάβει την κανονική λειτουργία της μόλις βελτιωθούν οι συνθήκες [25].

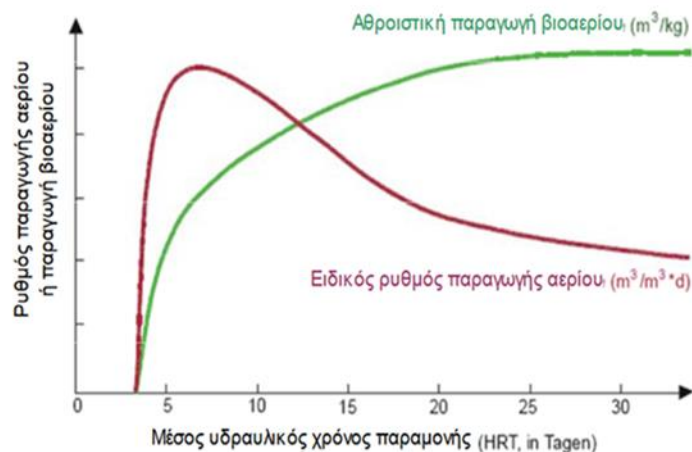
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αναερόβια χώνευση βιομάζας (παραγωγή βιοαερίου)

3.1 Η βιοχημική αντίδραση της αναερόβιας χώνευσης

Η αναερόβια χώνευση είναι μια διαδικασία κατά την οποία τα βακτήρια εκτελούν μια σειρά περίπλοκων αντιδράσεων χώνευσης απουσία οξυγόνου. Οι διεργασίες αποικοδομούν πολύπλοκα οργανικά μόρια βιομάζας σε απλούστερες χημικές ενώσεις, κυρίως οργανικά οξέα, τα οποία μετατρέπονται περαιτέρω σε αέρια, όπως υδρογόνο, υδρόθειο, αμμωνία, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο. Σε αντίθεση με την αερόβια χώνευση που παράγει σημαντική θερμότητα, η αναερόβια χώνευση παράγει πολύ λίγη θερμότητα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ενέργεια που περιέχεται χημικά στο υπόστρωμα διατηρείται στο βιοαέριο, το οποίο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο. Η διαδικασία σχηματισμού βιοαερίου είναι αποτέλεσμα πολλών συνδυασμένων βημάτων όπου το αρχικό υλικό διασπάται συνεχώς σε μικρότερες μονάδες. Σε κάθε στάδιο, συγκεκριμένοι τύποι μικροβίων διασπούν τα προϊόντα του προηγούμενου βήματος. Η υδρόλυση, η ακετογένεση, η οξεογένεση και η μεθανογένεση είναι τα τέσσερα βασικά στάδια της αναερόβιας χώνευσης.

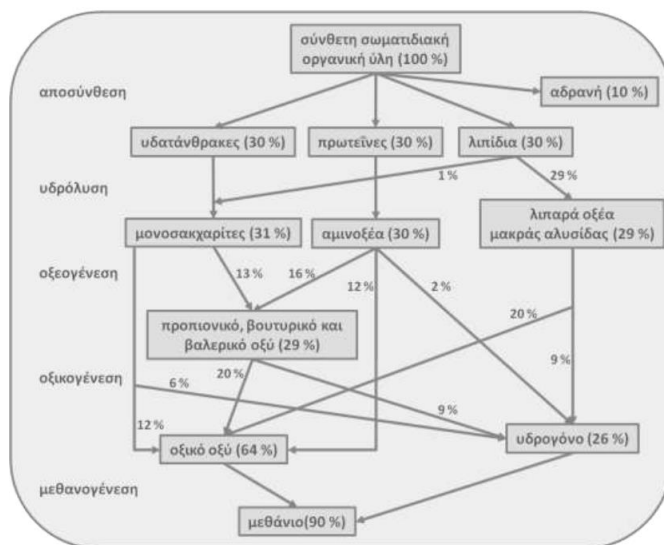


Εικόνα 12: Τα στάδια της διαδικασίας αναερόβιας χώνευσης (54)



Εικόνα 13: Η παραγωγή βιοαερίου μετά την εισαγωγή του υποστρώματος (55)

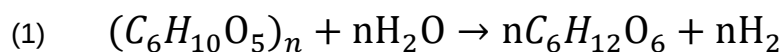
Στο Σχήμα 12 απεικονίζονται τα βήματα της διαδικασίας που συμβαίνουν ταυτόχρονα στο χρόνο και στον τόπο, εντός της δεξαμενής χώνευσης. Η ταχύτητα με την οποία πραγματοποιείται η αποσύνθεση εξαρτάται από την πιο αργή αντίδραση στην αλυσίδα. Κατά την επεξεργασία φυτικών υποστρωμάτων που περιέχουν λιγνίνη, κυτταρίνη ή ημικυτταρίνη, κατά τη συνολική διαδικασία αποσύνθεσης η ταχύτητα περιορίζεται από έναν καθοριστικό παράγοντα που είναι η υδρόλυση. Κατά την διάρκεια της φάσης της υδρόλυσης, παράγονται μόνο μικρές ποσότητες βιοαερίου. Ωστόσο, η παραγωγή βιοαερίου φτάνει στο υψηλότερο σημείο της κατά τη διάρκεια της μεθανογένεσης, η οποία είναι το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας διεργασίας. Το βιοαέριο παράγεται σε περιορισμένες ποσότητες κατά την υδρόλυση. Κατά τη διάρκεια της μεθανογένεσης, η παραγωγή βιοαερίου κορυφώνεται [14].



Εικόνα 14: Τα στάδια της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης (26)

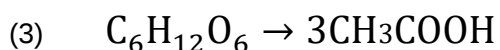
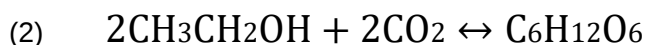
Η αναερόβια χώνευση είναι μια σύνθετη βιοχημική διαδικασία που διεξάγεται μέσω πολλαπλών διαδοχικών σταδίων στα οποία οι μικροοργανισμοί διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο. Κάθε ένα από αυτά τα στάδια πραγματοποιείται από μια ξεχωριστή ομάδα μικροοργανισμών που ωριμάζουν με διαφορετικούς ρυθμούς και ανταποκρίνονται διαφορετικά στις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως το pH, η μερική πίεση και η πίεση υδρογόνου. Επιπλέον, αυτές οι ομάδες μικροοργανισμών είναι διαφορετικές ως προς την ευαισθησία τους στις περιβαλλοντικές συνθήκες σε σύγκριση με άλλες ομάδες μικροοργανισμών. Αυτά τα στάδια της αναερόβιας χώνευσης είναι αλληλένδετα και η επιτυχία ενός σταδίου εξαρτάται από την απόδοση του προηγούμενου σταδίου. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να θεωρηθεί ως μια σειρά βημάτων που βασίζονται το ένα στο άλλο για την επιτυχία.[26].

- Η διαδικασία της αποσύνθεσης περιλαμβάνει τη διάσπαση σύνθετων σωματιδιακών υλικών, όπως η βιομάζα, στα οργανικά πολυμερή που τα αποτελούν. Αυτά τα πολυμερή περιλαμβάνουν υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λιπίδια.
- Τα υδρολυτικά βακτήρια μπορούν να απελευθερώσουν εξωκυτταρικά ένζυμα που μετατρέπουν υδατάνθρακες, λιπίδια και πρωτεΐνες σε σάκχαρα, λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας (LCFAs) και αμινοξέα, αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας υδρόλυσης [27]. Τα προϊόντα υδρόλυσης μπορούν να διαπεράσουν τις κυτταρικές μεμβράνες των οξεογόνων βακτηρίων μετά από ενζυματική διάσπαση [28]. Ωστόσο, λόγω των πολύπλοκων δομών τους, ορισμένα υποστρώματα, όπως η λιγνίνη, η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη, μπορεί να είναι δύσκολο να διασπαστούν και να είναι απρόσιτα στους μικροοργανισμούς- συχνά προστίθενται ένζυμα για να επιταχυνθεί η υδρόλυση αυτών των υδατανθράκων [29]. Η εξίσωση (1) απεικονίζει τη γενική διαδικασία υδρόλυσης.



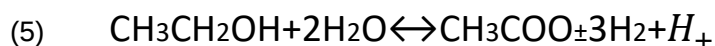
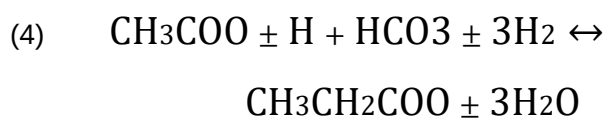
Η υδρόλυση, η διαδικασία διάσπασης αδιάλυτου μοριακού υλικού, περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα μικροοργανισμών. Αυτοί οι μικροοργανισμοί παράγουν ένζυμα που πραγματοποιούν υδρόλυση, με αποτέλεσμα την παραγωγή αποικοδομημένων προϊόντων που διασπώνται περαιτέρω από άλλους μικροοργανισμούς. Τα διασπασμένα προϊόντα μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για μεταβολικές διεργασίες. Σε γενικές γραμμές, η υδρόλυση έχει ιδανική θερμοκρασία 30-50 °C και pH 5-7, αν και δεν υπάρχουν στοιχεία που να υποστηρίζουν βελτιωμένη υδρολυτική δραστηριότητα πάνω από pH 7.

- Η διάσπαση απλών οργανικών ενώσεων, όπως σάκχαρα, αμινοξέα και λιπαρά οξέα, σε ένα μείγμα πτητικών λιπαρών οξέων (όπως βαλερικό, βουτυρικό, προπιονικό και οξικό), αλκοολών και άλλων απλούστερων οργανικών ενώσεων, καθώς και αερίων, όπως διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο είναι γνωστή ως οξεογένεση. Τα πτητικά λιπαρά οξέα (VFA) και οι αλκοόλες αποτελούν το 30% ενώ το υπόλοιπο 70 % των ενώσεων ανάγεται σε οξικό άλας, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο. Η οξεογένεση, σε αντίθεση με άλλες διεργασίες, θεωρείται ότι πραγματοποιείται με ταχύτερο ρυθμό από όλες τις άλλες φάσεις της αναερόβιας χώνευσης, με τα οξεογόνα βακτήρια να έχουν χρόνο αναγέννησης μικρότερο από 36 ώρες [30]. Δεδομένης της ταχύτητας αυτού του σταδίου, είναι ζωτικής σημασίας να τονιστεί ότι, ενώ η παραγωγή VFA παράγει άμεσες πρόδρομες ουσίες για το τελικό στάδιο της μεθανογένεσης, η οξίνιση των VFA έχει συχνά αναφερθεί ως αιτία αποτυχίας του χωνευτήρα [31]. Η οξεογένεση είναι γενικά μια εξαιρετικά γρήγορη διαδικασία και υπάρχει η πιθανότητα συσσώρευσης VFA στον χωνευτή, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε τοξικότητα του χωνευτή, εάν δεν ρυθμιστεί καλά. Οι χημικές διεργασίες στο στάδιο της οξεογένεσης παρουσιάζονται στις εξισώσεις (2)-(3).



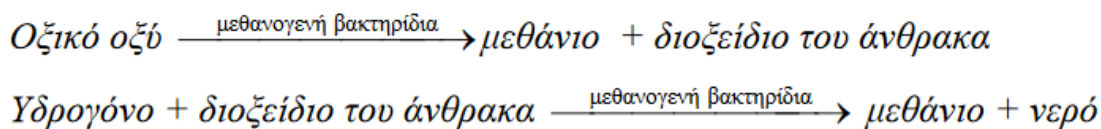
- Ενώ η ακετογένεση παράγει υδρογόνο, η υψηλή μετρική πίεση είναι τοξική για τα ακετογόνα βακτήρια [32]. Ωστόσο, όταν υπάρχουν υδρογονοτροφικά μεθανογόνα, το υδρογόνο μπορεί να καταναλώνεται γρήγορα, διατηρώντας παράλληλα τη μερική πίεση του υδρογόνου σε επίπεδο που ευνοεί την ακετογένεση, με αποτέλεσμα μια εξεργονική αντίδραση [31].

Συγχρόνως, τα λιπίδια διέρχονται από μια ξεχωριστή οδό οξεογένεσης μέσω της οξεογένεσης και της β-οξειδωσης, όπου η οξεογένεση σχηματίζει οξικό άλας από γλυκερόλη και η β-οξειδωση παράγει οξικό άλας από LCFAs. Έχοντας αυτό κατά νου, θα ήταν χρήσιμο να έχουμε κατά νου ότι μόνο τα LCFAs με ζυγό αριθμό υδατανθράκων μπορούν να αποικοδομηθούν σε οξικό άλας- τα LCFAs με περιττό αριθμό υδατανθράκων αποικοδομούνται πρώτα σε προπιονικό. Η παραγωγή υδρογόνου αυξάνει τη μερική του πίεση, παρεμποδίζοντας έτσι τον μεταβολισμό των ακετογόνων βακτηρίων. Αυτό το υπόλειμμα της ακετογένεσης μετατρέπεται συνήθως σε μεθάνιο κατά τη μεθανογένεση. Και οι δύο διεργασίες συμβαίνουν ταυτόχρονα, ως συμβίωση μεταξύ δύο ομάδων οργανισμών. Οι χημικές διεργασίες στο στάδιο της οξεογένεσης παρουσιάζονται στις εξισώσεις (4)-(5).



- Η μεθανογένεση είναι μια διαδικασία που οδηγεί στη δημιουργία μεθανίου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω δύο ξεχωριστών μηχανισμών: μεθανογόνα που χρησιμοποιούν οξύ και αναπτύσσονται με οξικό οξύ και μεθανογόνα που χρησιμοποιούν υδρογόνο και αναπτύσσονται με

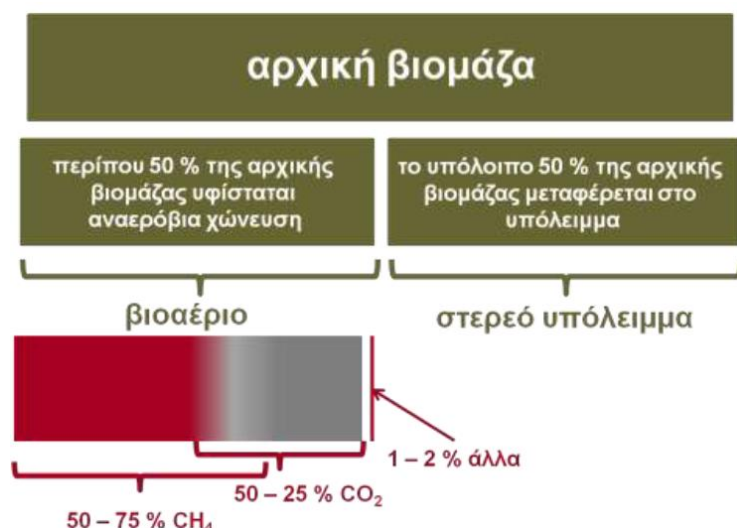
οξικό οξύ. Τα τελευταία είναι υπεύθυνα για την παραγωγή του μεγαλύτερου μέρους του βιοαερίου, περίπου 70%. Η διαδικασία περιλαμβάνει την κατανάλωση υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα, τα οποία αντιδρούν με τρόπο που απεικονίζεται (στην Εικόνα 15).



Εικόνα 15: Διαδικασία της Μεθανογένεσης (14)

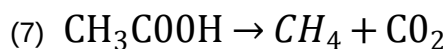
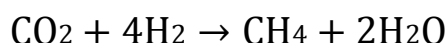
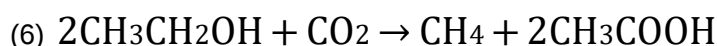
Η μεθανογένεση παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία της πέψης και θεωρείται το πιο αργό βήμα της βιοχημικής αντίδρασης. Η διαδικασία αυτή είναι ευαίσθητη σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας που μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την απόδοσή της. Η μεθανογένεση μπορεί να επηρεαστεί από παραμέτρους όπως η σύνθεση της πρώτης ύλης, ο ρυθμός τροφοδοσίας, η θερμοκρασία και το pH. Όταν υπάρχει υπερβολικό φορτίο στον χωνευτήρα, απότομες αλλαγές στη θερμοκρασία ή υψηλά επίπεδα εισόδου οξυγόνου, η παραγωγή μεθανίου συνήθως σταματά.

Το βιοαέριο που παράγεται κατά τη διαδικασία περιέχει συνήθως 98-99% μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, με μικρές ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα, αμμωνίας, υδρόθειου και άλλων αερίων. Η αναλογία μεθανίου προς διοξείδιο του άνθρακα στο βιοαέριο μπορεί να κυμαίνεται από 1:1 έως 3:1. Επιπλέον, το υπόλειμμα της διεργασίας που παράγεται (αποτελούμενο από στερεά και υγρά απόβλητα) έχει υψηλά επίπεδα μεταλλικών αλάτων που προέρχονται από το ανόργανο τμήμα της βιομάζας, τα οποία μπορούν να χρησιμεύσουν ως λίπασμα. Η εικόνα 16 παρουσιάζει το ισοζύγιο μάζας της αναερόβιας χώνευσης [26].



Εικόνα 16: Το ισοζύγιο μάζας της αναερόβιας χώνευσης (26)

Οι αντιδράσεις σε αυτό το στάδιο απεικονίζονται στις εξισώσεις (6)-(7).



3.2 Παράμετροι της αναερόβιας χώνευσης

Αρκετά κρίσιμα κριτήρια επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της αναερόβιας χώνευσης. Κατά συνέπεια, είναι κρίσιμο να δημιουργηθούν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη και τη δραστηριότητα των αναερόβιων μικροβίων. Η στέρηση οξυγόνου, η θερμοκρασία, η τιμή του pH, η παροχή θρεπτικών ουσιών, η ένταση της ανάδευσης και η αφθονία των αναστολέων (όπως η αμμωνία) έχουν σημαντική επίδραση στους αναερόβιους μικροοργανισμούς. Τα βακτήρια του μεθανίου είναι ένας περίπλοκος αναερόβιος μικροοργανισμός που καθιστά δύσκολη τη διατήρηση συνθηκών χωρίς οξυγόνο για τη διαδικασία πέψης.

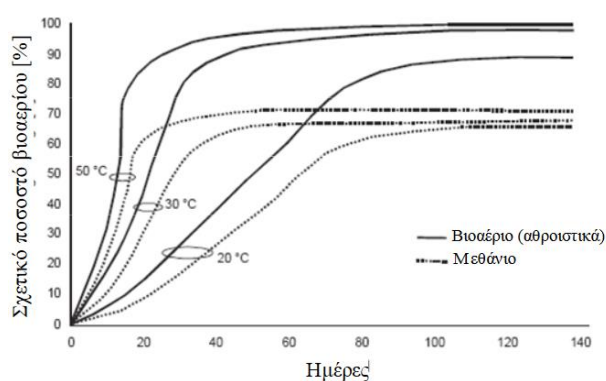
3.2.1 Θερμοκρασία

Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να διεξαχθεί σε διαφορετικές θερμοκρασίες, οι οποίες κατηγοριοποιούνται σε τρία επίπεδα θερμοκρασίας, δηλαδή ψυχρό (κάτω από 25°C), μεσόφιλο ($25-45^{\circ}\text{C}$) και θερμόφιλο ($45-70^{\circ}\text{C}$) [33]. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία της διεργασίας συσχετίζεται άμεσα με τον ΥΠΧ (Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής), όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Εξέλιξη των επιπέδων θερμοκρασίας και μέση διάρκεια του χρόνου παραμονής σε κάθε στάδιο. (14)

Θερμικό Στάδιο	Θερμοκρασίες διεργασίας	Ελάχιστος Χρόνος Παραμονής
Ψυχρόφιλη	$< 20^{\circ}\text{C}$	70 έως και 80 ημέρες
Μεσόφιλη	30 έως και 42°C	30 έως και 40 ημέρες
Θερμόφιλη	43 έως και 55°C	15 έως και 20 ημέρες

Η συνέπεια της θερμοκρασίας είναι κρίσιμη για την αναερόβια χώνευση. Στην πραγματικότητα, η θερμοκρασία λειτουργίας επιλέγεται με βάση την πρώτη ύλη και η θερμοκρασία διεργασίας παρέχεται συχνά από ενδοδαπέδια ή επιτοιχία συστήματα θέρμανσης εντός του χωνευτήρα. Στο Σχήμα 17 απεικονίζονται οι σχετικοί ρυθμοί παραγωγής βιοαερίου ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και του χρόνου παραμονής.



Εικόνα 17: Η επιρροή της θερμοκρασίας και του χρόνου παραμονής στον ρυθμό παραγωγής του βιοαερίου (14)

Η θερμοκρασία επηρεάζει την απομάκρυνση των σωματιδίων μέσω της επίδρασης στη μετατροπή της οργανικής ύλης και στο ιξώδες των αποβλήτων. Οι αλλαγές στη θερμοκρασία μπορούν να επηρεάσουν τη δραστηριότητα των μικροσκοπικών οργανισμών τόσο με φυσιολογικό όσο και με φυσικό τρόπο,

καθώς το ιξώδες του νερού συνδέεται εγγενώς με τη θερμοκρασία. Η αύξηση της θερμοκρασίας των υγρών αποβλήτων έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της ανάμιξης μέσω της μείωσης του ιξώδους, την αύξηση της υδραυλικής τύρβης σε έναν αντιδραστήρα, τη βελτίωση της καθίζησης και της προσρόφησης λόγω της επαφής μεταξύ της ιλύος και των σωματιδίων και την αύξηση της παραγωγής βιοαερίου [31]. Μια γρήγορη μεταβολή της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων, οι οποίες μπορεί να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο σχεδιασμό και τη λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας..

3.2.2 Τιμές pH

Το επίπεδο pH ενός διαλύματος δείχνει την οξύτητα ή την αλκαλικότητά του, το οποίο, στο πλαίσιο της αναερόβιας χώνευσης, αναφέρεται στο μείγμα υποστρώματος. Τα μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν τη μέτρηση. Η τιμή του pH του υποστρώματος έχει αντίκτυπο στην ανάπτυξη των μεθανογόνων μικροοργανισμών και μπορεί επίσης να επηρεάσει τον διαχωρισμό βασικών ενώσεων που είναι ζωτικής σημασίας για τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, όπως η αμμωνία, το θειούχο και τα οργανικά οξέα. Σύμφωνα με έρευνες, ο σχηματισμός μεθανίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από ένα στενό εύρος pH, συνήθως μεταξύ 6,2 και 8 [34]. Οι περισσότεροι μεθανογόνοι οργανισμοί προτιμούν ένα εύρος pH 7-8. Οι οξεογόνοι οργανισμοί συχνά τα καταφέρνουν καλύτερα σε χαμηλότερες τιμές pH.

Στους αναερόβιους αντιδραστήρες, το επίπεδο pH ρυθμίζεται κυρίως μέσω του συστήματος κατακράτησης διττανθρακικών. Έτσι, η τιμή του pH των χωνευτών βιοαερίου επηρεάζεται από την ποσότητα του CO₂ και την παρουσία όξινων ή αλκαλικών συστατικών στην υγρή φάση. Η ανασταλτική ικανότητα ρυθμίζει τις μεταβολές του pH μέχρι ενός ορισμένου σημείου σε περίπτωση συσσώρευσης βάσεων ή οξέων. Εάν η ικανότητα συγκράτησης του συστήματος ξεπεραστεί, ενδέχεται να υπάρξουν σημαντικές διακυμάνσεις στις τιμές του pH που μπορεί να οδηγήσουν σε αναστολή της διεργασίας.

Κατά συνέπεια, οι τιμές pH δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μοναδική παράμετρος ελέγχου για τη διαχείριση της διεργασίας.

Ο McCarty [35] ανέφερε ότι ένα βέλτιστο εύρος το pH της αναερόβιας χώνευσης είναι περίπου 7,0 έως 7,2, αλλά μπορεί να λειτουργήσει αρκετά καλά με εύρος pH από περίπου 6,6 έως 7,6.. Σε όξινες συνθήκες το παραγόμενο προϊόν μπορεί να γίνει αρκετά τοξικό για τα βακτήρια του μεθανίου. Ως εκ τούτου, είναι κρίσιμο να μην επιτραπεί η πτώση του pH κάτω από το 6,2 για σημαντικό χρονικό διάστημα

3.2.3 Πτητικά λιπαρά οξέα (VFA)

Η σταθερότητα της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης εξαρτάται από την ποσότητα των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA), τα οποία είναι ενδιάμεσες ενώσεις όπως τα άλατα και έχουν αλυσίδα άνθρακα με έξι ή λιγότερα άτομα, που παράγονται κατά την οξεογένεση. Εάν υπάρχει αστάθεια στη διαδικασία, τότε τα VFA μπορεί να συσσωρευτούν, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε πτώση του επιπέδου pH. Ωστόσο, η συσσώρευση VFA μπορεί να μην οδηγήσει πάντα σε πτώση του pH, καθώς κάποια βιομάζα μπορεί να την εμποδίζει. Τα περιπτώματα των ζώων, για παράδειγμα, έχουν πλεόνασμα αλκαλικότητας και απαιτούν σημαντική συσσώρευση VFA για να ανιχνευθεί σημαντική πτώση του pH. Σε ένα ορισμένο σημείο, η συγκέντρωση οξέων στον χωνευτήρα μπορεί να γίνει αρκετά υψηλή ώστε να παρεμποδίσει σοβαρά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης.

Με βάση την πρακτική εμπειρία, έχει παρατηρηθεί ότι δύο διαφορετικοί χωνευτές μπορεί να παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά ως απόκριση στην ίδια συγκέντρωση VFA. Αυτό σημαίνει ότι ένα ορισμένο επίπεδο συγκέντρωσης VFA που θεωρείται βέλτιστο για έναν χωνευτή μπορεί να αποδειχθεί ανασταλτικό για έναν άλλο. Πιθανόν αυτή η διαφορετική συμπεριφορά να οφείλεται στην ποικιλία των παρόντων μικροοργανισμών, οι οποίοι μπορεί να διαφέρουν από τον ένα χωνευτή στον άλλο. Επομένως, όπως και το pH, η συγκέντρωση VFA δεν μπορεί να προσφερθεί ως ξεχωριστή παράμετρος ελέγχου της διεργασίας. Οι πληροφορίες αυτές

αποσκοπούν στην ενημέρωση των ενημερωμένων αναγνωστών σε έναν ουδέτερο και γενικό τομέα.

3.2.4 Αμμωνία

Η αμμωνία (NH_3) διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην αναερόβια χώνευση και αποτελεί σημαντικό θρεπτικό συστατικό για τα τρόφιμα και τα λιπάσματα. Συνήθως απαντάται ως αέριο με έντονη οσμή και προέρχεται κυρίως από πρωτεΐνες. Ωστόσο, η υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας, ιδίως στη μη ιονισμένη μορφή, μπορεί να εμποδίσει τη διαδικασία, ιδίως όταν χωνεύονται ζωικά περιττώματα με υψηλή συγκέντρωση ουρίας. Είναι ζωτικής σημασίας να διατηρείται η περιεκτικότητα σε αμμωνία κάτω από $80 \frac{ml}{l}$ για την αποφυγή αυτής της αναστολής. Τα μεθανογόνα βακτήρια είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στην αναστολή της αμμωνίας, η οποία είναι ευθέως ανάλογη της θερμοκρασίας. Επομένως, ο κίνδυνος αναστολής είναι μεγαλύτερος σε θερμοφιλες συνθήκες από ό,τι σε μεσόφιλες. Οι πληροφορίες αυτές αποσκοπούν στην ενημέρωση όσων έχουν γνώσεις επί του θέματος, σε ουδέτερο και επίσημο τόνο [32].

Η σχέση ισορροπίας χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης ελεύθερης αμμωνίας:

$$(8) [NH_3] = \frac{T-NH_3}{\left(1 + \frac{H^+}{K_a}\right)}$$

Όπου $[NH_3]$ και $[T-NH_3]$ είναι οι συγκεντρώσεις της ελεύθερης και της ολικής αμμωνίας, αντίστοιχα, και K_a είναι η σταθερά διαχωρισμού που εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Αυτό δείχνει ότι η αύξηση του pH και της θερμοκρασίας θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη αναστολή, δεδομένου ότι οι παράμετροι αυτές θα αυξήσουν την ποσότητα της ελεύθερης αμμωνίας. Εάν η αμμωνία συμμετέχει σε μια διεργασία και η συγκέντρωση των VFA αυξάνεται,

το επίπεδο pH θα μειωθεί. Ως αποτέλεσμα, η επίδραση της αμμωνίας θα εξουδετερωθεί εν μέρει λόγω της πτώσης της συγκέντρωσης της ελεύθερης αμμωνίας.

3.2.5 Ιχνοστοιχεία, θρεπτικές ουσίες και δυνητικά επικίνδυνες χημικές ουσίες

Ιχνοστοιχεία όπως ο σίδηρος, το νικέλιο, το κοβάλτιο, το σελήνιο, το μολυβδαίνιο και το βολφράμιο διαδραματίζουν εξίσου ζωτικό ρόλο στην επιβίωση και την ανάπτυξη των μικροοργανισμών που συμμετέχουν στην αναερόβια χώνευση, παράλληλα με τα βασικά θρεπτικά συστατικά όπως ο άνθρακας, το άζωτο, ο φώσφορος και το θείο, των οποίων η βέλτιστη αναλογία είναι περίπου 600:15:5:1. Εάν η παροχή αυτών των θρεπτικών συστατικών και ιχνοστοιχείων είναι ανεπαρκής ή εάν το υπόστρωμα είναι ιδιαίτερα εύπεπτο, μπορεί να οδηγήσει σε αναστολές και διαταραχές στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης.

Μια άλλη βασική πτυχή που επηρεάζει τη δραστηριότητα των αναερόβιων μικροβίων είναι η παρουσία επιβλαβών χημικών ουσιών. Αυτές οι επικίνδυνες χημικές ουσίες μπορεί να εισέλθουν στο σύστημα αναερόβιας χώνευσης με την πρώτη ύλη ή να δημιουργηθούν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Ο καθορισμός οριακών τιμών για τα τοξικά υλικά είναι ένα δύσκολο έργο, επειδή διάφορες χημικές διεργασίες μπορούν να δεσμεύσουν αυτά τα υλικά και οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί έχουν την ικανότητα να προσαρμόζονται στις περιβαλλοντικές συνθήκες με κάποιους περιορισμούς, ακόμη και παρουσία τοξικών ουσιών. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες των τοξικών ενώσεων για τον προσδιορισμό των επιπτώσεών τους στη δραστηριότητα των αναερόβιων μικροοργανισμών και στη συνολική απόδοση της διεργασίας αναερόβιας χώνευσης.

3.3 Παράμετροι λειτουργίας

3.3.1 Ρυθμός οργανικής φόρτωσης

Κατά την κατασκευή μιας μονάδας βιοαερίου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο οικονομικοί όσο και τεχνικοί παράγοντες. Αν και ένας χωνευτήρας μεγάλου μεγέθους είναι απαραίτητος για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής παραγωγής βιοαερίου από την πλήρη χώνευση του υποστρώματος, η πρακτικότητα υπαγορεύει ότι ο τύπος και το μέγεθος του συστήματος πρέπει να επιλέγονται με βάση έναν συμβιβασμό μεταξύ της μέγιστης παραγωγής βιοαερίου και της οικονομικής σκοπιμότητας [36]. Ως εκ τούτου, το οργανικό φορτίο χρησιμεύει ως κρίσιμη λειτουργική παράμετρος που δηλώνει τη δυνητική ποσότητα οργανικής ξηράς ύλης που παρέχεται στον χωνευτήρα ανά m^3 όγκου για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$(9) B_R = m * \frac{c}{V_R}$$

Όπου:

B_R : το οργανικό φορτίο $[\frac{Kg}{d} * m^3]$

m : η μάζα τροφοδοτούμενου υποστρώματος ανά μονάδα χρόνου $[\frac{Kg}{d}]$

c : η συγκέντρωση της οργανικής ουσίας [%]

V_R : ο όγκος του χωνευτήρα $[m^3]$

3.3.2 Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ)

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ) είναι ένα σημαντικό μέγεθος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαστασιολόγηση ενός χωνευτήρα. Πρόκειται για τη μέση περίοδο κατακράτησης του υποστρώματος στη δεξαμενή του χωνευτήρα και μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον όγκο του χωνευτήρα (V_R) και την ποσότητα του υποστρώματος που περιέχεται ανά μονάδα χρόνου, όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$(10) \text{ YXP} = \frac{V_R}{V}$$

Όπου:

YXP είναι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής [ημέρες]

V_R είναι ο όγκος του χωνευτήρα [m^3]

V είναι ο όγκος του υποστρώματος που τροφοδοτείται στην μονάδα χρόνου [$\frac{m^3}{d}$]

Με βάση τη συγκεκριμένη εξίσωση, το οργανικό φορτίο και το YXP συσχετίζονται αντιστρόφως ανάλογα, πράγμα που σημαίνει ότι η αύξηση του οργανικού φορτίου οδηγεί σε μείωση του YXP. Για να διατηρηθεί μια ισορροπημένη ποσότητα βακτηρίων στα λύματα κατά τη διάρκεια της κατακράτησης, ο χρόνος κατακράτησης πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος ώστε να αποτρέπεται η απομάκρυνση μεγαλύτερης ποσότητας βακτηρίων από την ποσότητα που αναπαράγεται. Το YXP πρέπει να προσαρμοστεί ώστε να προσαρμόζεται στον ρυθμό με τον οποίο αποσυντίθενται τα υποστρώματα σε μια μικρή YXP, καθώς παρέχει άφθονη παροχή αλλά υστερεί σε παραγωγή αερίων. Ο υπολογισμός του απαραίτητου όγκου του χωνευτήρα είναι δυνατός λαμβάνοντας υπόψη τη στοιβαγμένη YXP, την ημερήσια εισροή πρώτων υλών και τον ρυθμό αποσύνθεσης των υποστρωμάτων.

3.3.3 Παράμετροι λειτουργίας των εγκαταστάσεων βιοαερίου

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα παραμέτρων για την αξιολόγηση και τη σύγκριση των μονάδων βιοαερίου. Οι παράμετροι αυτές παρατίθενται στον Πίνακα 4 και χρησιμεύουν ως πολύτιμα εργαλεία για την εκτίμηση των επιδόσεων και της αποδοτικότητας.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες παραμέτρων:

- Οι μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό λειτουργικών στοιχείων.

- Οι παράμετροι που μπορούν να υπολογιστούν από τα παρατηρούμενα δεδομένα

Πίνακας 4: Βασικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας των μονάδων βιοαερίου (14)

	Παράμετρος	Σύμβολο	Μονάδα	Τρόπος Καθορισμού
1	Θερμοκρασία	T	°C	Μέτρηση κατά τη λειτουργία
2	Πίεση λειτουργίας	P	m_{bar}	Μέτρηση κατά τη λειτουργία
3	Ικανότητα Ρυθμο-απόδοσης	V	$\frac{m^3}{d}, \frac{t}{d}$	Μέτρηση
4	Όγκος αντιδραστήρα	V_R	m^3	Καθορισμένο ς από την κατασκευή
5	Ποσότητα αερίου	V ανά ημέρα V ανά έτος	$\frac{m^3}{d}, \frac{m^3}{a}$	Μέτρηση κατά τη λειτουργία και μετατροπή σε Nm3
6	Χρόνος παραμονής (υδραυλικός, ελάχιστος εγγυημένος)	ΥΧΠ, ΕΕΧΠ	d	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
7	Οργανικό φορτίο		$\frac{k_g * TS}{m^3 * d}$	Υπολογισμός από τα στοιχεία

				Λειτουργίας
8	Συγκέντρωση μεθανίου στο Βιοαέριο	CH_4	%	Μέτρηση κατά τη λειτουργία
9	Ειδική παραγωγή βιοαερίου		%	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
10	Ειδική παραγωγή βιοαερίου		$\frac{m^3}{m^3}$	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
11	Ακαθάριστη ενέργεια		kWh	Προσδιορισμός από την ποσότητα του βιοαερίου και την συγκέντρωση μεθανίου
12	Παραγωγή ηλεκτρισμού		kWh	Μέτρηση στη γεννήτρια ΒΤΤΡ
13	Τροφοδοσία στο δίκτυο		kWh	Μέτρηση μετά από τη γεννήτρια ΒΤΤΡ
14	Αποδοτικότητα του ΒΤΤΡ	H	%	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας

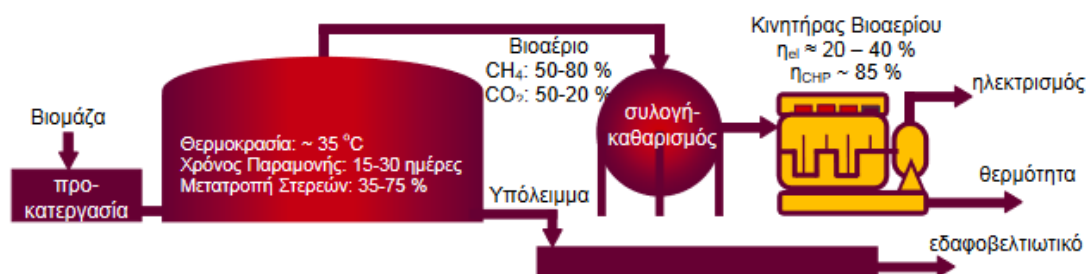
15	Ανεφοδιασμός σταθμού θερμικός/ηλεκτρικός		kWh	Βάσει σχεδιασμού, κατόπιν μέτρηση κατά τη λειτουργία
16	Ειδικός ανεφοδιασμός σταθμού θερμικός/ηλεκτρικός		$\frac{Kwh}{m^3}$ Input $\frac{Kwh}{GV}$	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
17	Παραγωγή ενέργειας		%	Άθροισμα της ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
18	Αποδοτικότητα εγκατάστασης		%	Η καθαρή ενέργεια που προέρχεται από την ακαθάριστη ενέργεια
19	Διαθεσιμότητα		%	Ποσοστό των ωρών σε ένα έτος κατά τις οποίες λειτουργεί

				πλήρως η εγκατάσταση
20	Χρήση		%	Αναλογία της πραγματικής ποσότητας εισόδου προς την προβαλλόμενη ικανότητα
21	Συνολική επένδυση		€	Όλες οι δαπάνες που προκαλούνται όλες από την εγκατάσταση βιοαερίου
22	Επιχορηγήσεις		€	Προκαθορισμός ενός
23	Ποσοστό επιχορήγησης		%	Ποσοστό όλων των επιχορηγήσεων ως προς τις συνολικές επενδύσεις
24	Ειδικές επενδύσεις		$\frac{\text{€}}{m^3}$ χωνευτήρα $\frac{\text{€}}{GV}$	Λογικό μόνο όταν χρησιμοποιείται πρώτιστα ως κοπριά από την κτηνοτροφική

				παραγωγή
25	Ειδικές δαπάνες επεξεργασίας		$\frac{\text{€}}{m^3}$ εισόδου $\frac{\text{€}}{GV}$	Υπολογισμός

3.4 Περιγραφή της διεργασίας

Στην Εικόνα 18 παρουσιάζεται εν συντόμως ένας κύκλος διεργασίας της συμπαραγωγής βιοαερίου.



Εικόνα 18:Περιγραφή Διεργασίας (14)

Το διάγραμμα αναπαριστά μια κοινή εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης που μέσω της συγχώνευσης γεωργικών και ζωικών αποβλήτων παράγεται θερμική και ηλεκτρική ενέργεια. Τα κύρια συστατικά αυτής της μονάδας είναι τα εξής:



Εικόνα 19: Μια κοινή εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης σχεδιασμένη για την παραγωγή τόσο ηλεκτρικής όσο και θερμικής ενέργειας (56)

Η περιγραφή της διεργασίας γίνεται με τα παρακάτω βήματα:

- **Κατά τη διαδικασία προετοιμασίας της βιομάζας**, πρέπει να γίνουν διάφορα βήματα ανάλογα με τον τύπο της βιομάζας. Τα βήματα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν την αποθήκευση της πρώτης ύλης, την άλεση, τον εξευγενισμό μέσω έκθεσης σε υψηλές θερμοκρασίες και τον συνδυασμό διαφορετικών πρώτων υλών. Μπορεί επίσης να εμπλέκονται πρόσθετες διαδικασίες όπως αραίωση, ρύθμιση του pH, προθέρμανση και εξωκυτταρική υδρόλυση. Οι ενέργειες αυτές γίνονται για να διασφαλιστεί η καταστροφή τυχόν παθογόνων μικροοργανισμών και να βελτιωθεί τελικά η ποιότητα του τελικού προϊόντος.
- Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης λαμβάνει χώρα σε μία ή περισσότερες ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές, όπου η βιομάζα οργανικών αποβλήτων διατηρείται σε επιλεγμένη θερμοκρασία και χρόνο ώστε να διευκολύνεται η διάσπαση της οργανικής ύλης. Το πλούσιο σε ενέργεια βιοαέριο που παράγεται στις δεξαμενές διοχετεύεται προς τη μονάδα παραγωγής ενέργειας μέσω της οροφής του αντιδραστήρα, ενώ το στερεό υπόλειμμα μεταφέρεται στις δεξαμενές ξήρανσης μέσω του πυθμένα του αντιδραστήρα.
- **Η διαδικασία καθαρισμού και συλλογής του βιοαερίου** είναι ζωτικής σημασίας για την εξισορρόπηση της ροής προς τη μονάδα συμπαραγωγής. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει ένα σύστημα κατιονισμού που χρησιμοποιεί νερό για την εξάλειψη της αμμωνίας και του υδρόθειου
- Αφού ληφθεί **το στερεό υπόλειμμα** από την αναερόβια χώνευση, αποστέλλεται **σε δεξαμενές ξήρανσης**. Αυτές οι δεξαμενές ξηραίνουν το υπόλειμμα σε στάδια πριν αυτό είτε μετατραπεί σε υγρή μορφή για ψεκασμό σε γεωργικές εκτάσεις είτε συσκευαστεί σε ξηρή μορφή για να πωληθεί ως λίπασμα στην αγορά.

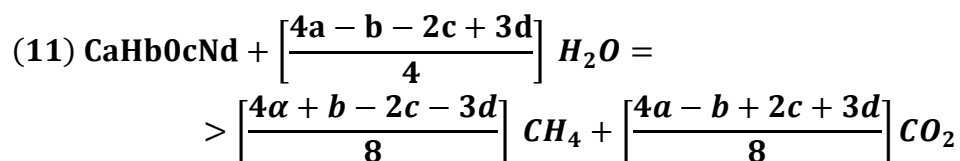
Η εμπορική αξιοποίηση της παραγόμενης θερμότητας και η παραγωγή λιπασμάτων είναι ουσιαστικοί παράγοντες για τη διατήρηση της οικονομικής σκοπιμότητας της εγκατάστασης. Αν και η κατασκευή δικτύων τηλεθέρμανσης σε γειτονικές κοινότητες μπορεί να είναι δαπανηρή και χρονοβόρα, μπορεί να είναι απαραίτητη. Μια άλλη επιλογή είναι η τοποθέτηση της εγκατάστασης σε κοντινή απόσταση από οικισμούς που μπορούν να αξιοποιήσουν αποτελεσματικά την παραγόμενη θερμότητα σε λογική τιμή.



Εικόνα 20: Εγκαταστάσεις εργοστασίου παραγωγής Βιοαερίου (26)

3.5 Απόδοση της αναερόβιας χώνευσης

Ακολουθεί η αντίδραση (11) που περιγράφει την αναερόβια χώνευση:



Ωστόσο, αποτελείται από σημαντικό αριθμό ενδιάμεσων ενζυμικών διεργασιών που εκτελούνται από διαφορετικές μικροβιακές κοινότητες και μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες ομάδες.

Οι ενζυματικές αντιδράσεις οξεογένεσης ταξινομούνται ως εξής [26]:

- Αντιδράσεις υδρόλυσης **εξωκυτταρικών ενζύμων** στις οποίες κατά τη διαδικασία της ζύμωσης, οι μικροοργανισμοί εκλύουν ένζυμα που διασπούν σύνθετα μόρια όπως κυτταρίνη και

λιγνίνη, πρωτεΐνες, λίπη και άλλους πολυσακχαρίτες σε απλούστερες μορφές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τροφή και

- Αντιδράσεις **ενδοκυτταρικής ενζυμικής** οξεογένεσης, κατά τις οποίες οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν μικρότερα μόρια, τα οποία διασπώνται σε πτητικά οργανικά οξέα, όπως προπιονικό, βουτυρικό, βαλερικό, καθώς και σε μικρότερες ποσότητες αλκοολών και αμινών μέσω του πεπτικού τους συστήματος.

Αντιδράσεις **ενζυμικής οξικογένεσης**, στις οποίες άλλοι μικροοργανισμοί είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή των προαναφερθέντων οξέων σε οξικό οξύ κατά τη διαδικασία της πέψης, η οποία οδηγεί επίσης στην απελευθέρωση υδρογόνου.

Αντιδράσεις **ενζυμικής μεθανογένεσης**, Κατά τη διαδικασία της αποικοδόμησης, μια συγκεκριμένη ομάδα μικροοργανισμών χρησιμοποιεί οξικό οξύ, αλκοόλες και αμίνες, μαζί με υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και διοξείδιο, για την παραγωγή μεθανίου. Αυτή η ομάδα είναι διαφορετική από τις άλλες που εμπλέκονται στη διαδικασία.

Κατά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, περίπου το 40% του συνολικού περιεχόμενου άνθρακα χαρακτηρίζεται ως σταθερός και συνεπώς δεν συμμετέχει στις βιοχημικές αντιδράσεις. Αυτός ο σταθερός άνθρακας ανέρχεται σε περίπου 20% του συνολικού άνθρακα της βιομάζας ή των συνολικών στερεών που εισάγονται στον αναερόβιο χωνευτή.

Σύμφωνα με την έρευνα, η αναερόβια χώνευση παρουσιάζει μέγιστο ρυθμό σε δύο συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Από αυτή την άποψη, η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε διακριτές ομάδες [14].

- μεσόφιλες, που εμφανίζεται μεταξύ 35 και 40 βαθμών Κελσίου
- θερμόφιλες, που εμφανίζεται μεταξύ 55 και 60 βαθμών Κελσίου

Οι θερμόφιλες διεργασίες έχουν συνήθως ταχύτερους ρυθμούς αντίδρασης σε σύγκριση με τις μεσόφιλες διεργασίες, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη μετατροπή στερεών και παραγωγή βιοαερίου για τον ίδιο όγκο χωνευτήρα και υδραυλικό χρόνο παραμονής. Ωστόσο, το ενεργειακό κόστος που σχετίζεται με τη θέρμανση της πρώτης ύλης και του νερού αραίωσης αυξάνεται και απαιτεί υψηλότερη επένδυση στη θερμομόνωση της δεξαμενής, γεγονός που αντισταθμίζει αυτά τα πλεονεκτήματα.

Εκτός από την προαναφερθείσα κατηγοριοποίηση, οι τεχνικές αναερόβιας χώνευσης ταξινομούνται επίσης με βάση τη συνολική ποσότητα στερεών που υπάρχει στην τροφοδοσία της δεξαμενής τους.

- Με περιεκτικότητα σε στερεά λιγότερα από 10 % κατά βάρος, έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε στερεά.
- ημι-αποξηραμένα στερεά με περιεκτικότητα σε στερεά που κυμαίνεται από 10 έως και 25 % κατά βάρος
- υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά (περιεκτικότητα σε στερεά άνω του 25 % κατά βάρος)

Ο υδραυλικός χρόνος κατακράτησης (Hydraulic Retention Time-HRT) αναφέρεται στη διάρκεια για την οποία το μείγμα βιομάζας και νερού πρέπει να διατηρηθεί για να μετατραπούν πλήρως τα πτητικά στερεά σε βιοαέριο. Ο χρόνος αυτός καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως ο τύπος της βιομάζας, η θερμοκρασία της διεργασίας και ο χρόνος αναπαραγωγής των μικροοργανισμών. Σε έναν χωνευτή με μία στερεή και μία υγρή φάση, υποθέτονται δύο χρόνοι παραμονής, T_i και T_s , οι οποίοι τείνουν να είναι ίσοι υπό ορισμένες συνθήκες. Εμπειρικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι η μετατροπή

των πτητικών στερεών σε βιοαέριο επηρεάζεται από τον υδραυλικό χρόνο παραμονής σε διεργασίες χαμηλής περιεκτικότητας σε στερεά.

Μεσόφιλη διεργασία : μετατροπή $V_s = 17,9 \times \ln_{HRT} - 3,9$

Θερμόφιλη διεργασία : μετατροπή $V_s = 19,8 \times \ln_{HRT} + 14,9$

όπου η HRT αντιπροσωπεύει την υδραυλική διάρκεια παραμονής και συνήθως μετράται σε ημέρες. Αυτή η παράμετρος καθορίζει τον απαιτούμενο όγκο του χωνευτήρα για να φιλοξενήσει έναν συγκεκριμένο ογκομετρικό ρυθμό ροής του μίγματος νερού και βιομάζας.

$$(12) \quad V_{υγρής \ φάσης} = Q * HRT$$

Η συνήθης διάρκεια τροφοδοσίας συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 5 και 30 ημερών, με συνηθέστερη τις 10 έως 20 ημέρες. Εκτός από την υγρή φάση, ο χωνευτής περιλαμβάνει επίσης έναν επιπλέον χώρο για την απελευθέρωση του βιοαερίου. Συνήθως, ο χώρος αυτός είναι περίπου το ένα τρίτο του όγκου της υγρής φάσης, με αποτέλεσμα ο συνολικός όγκος του χωνευτήρα να υπολογίζεται ανάλογα.

$$(13) \quad V_{\chiωνευτή=\frac{4}{3} V_{υγρής \ φάσης}}$$

3.6 Πλεονεκτήματα αναερόβιας χώνευσης

Μερικά πλεονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης είναι τα εξής:

- Η αναερόβια χώνευση είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί άμεσα διαθέσιμα υλικά που βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη ότι τα απόβλητα έχουν ήδη επιβλαβείς οικολογικές επιπτώσεις, η διαχείριση και η αξιοποίησή τους μέσω της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να θεωρηθεί ως ευεργετική πτυχή [37].
- Το βιοαέριο, αφού υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία, έχει σημαντική ποσότητα ενέργειας και μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή

ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Αυτό μετριάζει αποτελεσματικά την εξάρτηση από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα.

- Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μειώνονται.
- Εξάλειψη των ανεπιθύμητων οσμών που προέρχονται από τα απόβλητα.
- Απαιτεί λιγότερη ενέργεια και δεν απαιτεί οξυγόνο σε σύγκριση με τις αερόβιες λειτουργίες.
- Οι νέες επενδύσεις οδηγούν σε οικονομικά πλεονεκτήματα και οφέλη.

3.7 Μειονεκτήματα αναερόβιας χώνευσης

Μερικά μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης είναι τα εξής:

- Η απόκτηση των απαραίτητων κεφαλαίων για την εγκατάσταση συστημάτων επεξεργασίας βιοαερίου, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για τη μεγιστοποίηση της χρήσης του βιοαερίου, μπορεί να είναι αρκετά δαπανηρή και δύσκολη [39].
- Τα μεθανογόνα βακτήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι εξαιρετικά ευάλωτα στις επικίνδυνες χημικές ουσίες [39].
- Ο σχεδιασμός και η λειτουργία του εργοστασίου απαιτούν υψηλό βαθμό δεξιοτήτων.
- Η έναρξη της διαδικασίας, που περιλαμβάνει την προσαρμογή της μικροβιακής καλλιέργειας, απαιτεί σημαντικό χρονικό διάστημα. Η φάση έναρξης μπορεί να διαρκέσει αρκετές εβδομάδες.
- Η έλλειψη ενός κατάλληλου συστήματος συγκέντρωσης βιοαερίου, και η παρουσία υδρόθειου στο βιοαέριο μπορεί να οδηγήσει σε δυνητική δημιουργία δυσάρεστων οσμών.

- Συχνά είναι απαραίτητη η ρύθμιση των επιπέδων pH των αποβλήτων με την προσθήκη $CaCO_3$, προκειμένου να διατηρηθούν αποδεκτά όρια για τη ρύθμιση της αλκαλικότητας.

3.8 Τύποι χωνευτήρων

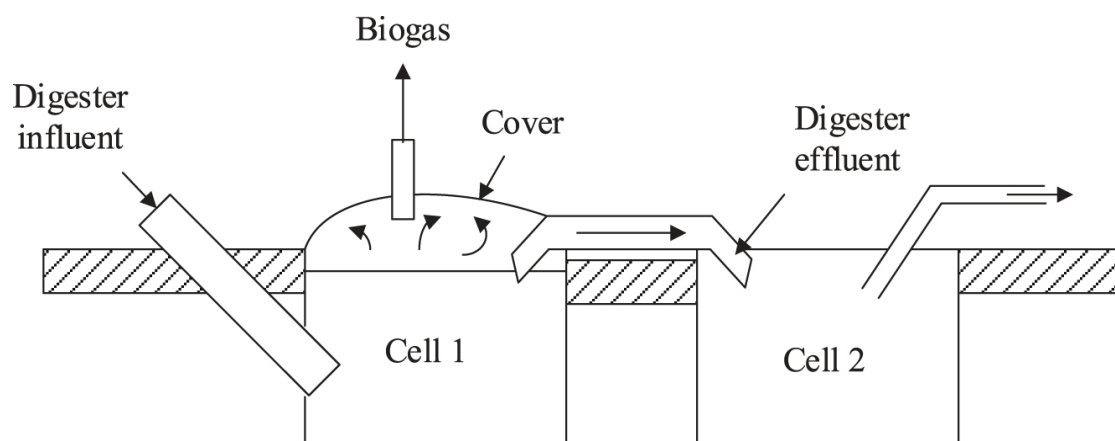
Υπάρχουν διάφορα τυποποιημένα σχέδια χωνευτήρων. Η βέλτιστη επιλογή του σχεδιασμού του χωνευτήρα εξαρτάται από πολλαπλές εκτιμήσεις, συμπεριλαμβανομένης της σύνθεσης της πρώτης ύλης, της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας και των μικροβιακών απαιτήσεων. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τα βασικά χαρακτηριστικά των σχεδίων των χωνευτήρων. Ακολουθεί λεπτομερής ανάλυση των τυποποιημένων σχεδίων των χωνευτήρων στην επόμενη παράγραφο [40].

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά(η ποσότητα του στερεού περιεχομένου, η διάρκεια της υδραυλικής κατακράτησης και η θερμοκρασία) (40)

Τύπος Χωνευτήρα	Συνολικά στερεό (%)	HRT (ημέρες)	Εύρος θερμοκρασίας
Covered lagoon	0.5–2	30–40	Ψυχρόφιλη
Χωνευτής πλήρους μίγματος	3–10	10–25	Μεσόφιλη/θερμόφιλη
Χωνευτής με βύσμα ροής	10–15	10–25	Μεσόφιλη/θερμόφιλη
Χωνευτής Σταθερής Μεμβράνης	1–5	>5	Μεσόφιλη/θερμόφιλη

➤ Covered Lagoon:

Είναι η πιο απλή τεχνολογία αναερόβιων χωνευτών, όπου οι πρώτες ύλες αποθηκεύονται σε μια υπόγεια λιμνοδεξαμενή, η οποία καλύπτεται με ένα ελαστικό κάλυμμα που είναι στεγανό από αέρια, όπως φαίνεται στο σχήμα 4. Οι λιμνοθάλασσες χρησιμεύουν ταυτόχρονα ως αποθήκη και αντιδραστήρας. Μια καλυμμένη λιμνοδεξαμενή αποτελείται μερικές φορές από δύο συνδεδεμένες λιμνοδεξαμενές σε σειρά. Η πρώτη (κελί 1) λειτουργεί ως χωνευτής για την παραγωγή βιοαερίου. Η δεύτερη (κελί 2) περιέχει τα απόβλητα του χωνευτήρα για περαιτέρω επεξεργασία. Αυτοί οι χωνευτές είναι καταλληλότεροι για θερμότερες περιοχές όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι επαρκής για να παρέχει την απαιτούμενη θερμοκρασία χώνευσης. Οι πρώτες ύλες με χαμηλή περιεκτικότητα σε στερεά (0,5-2%) είναι βέλτιστες για αυτό τον τύπο χωνευτήρα λόγω του εύκολου και φθηνού χειρισμού μεγαλύτερων όγκων. Η τυπική διάρκεια ζωής είναι 30-45 ημέρες. Συχνά, η διαλογή των μεγαλύτερων στερεών σωματιδίων από την πρώτη ύλη είναι απαραίτητη για να αποφευχθεί ο σχηματισμός κρούστας στην επιφάνεια της λιμνοδεξαμενής που μειώνει την απόδοση της παραγωγής βιοαερίου.

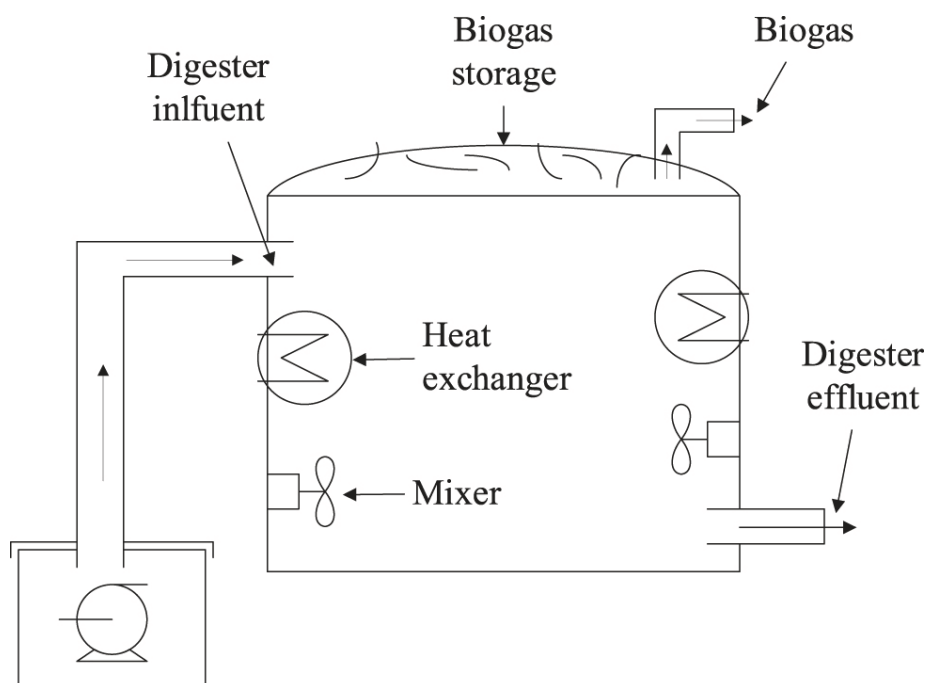


Εικόνα 21: Σχηματικό διάγραμμα καλυμμένου χωνευτήρα λιμνοδεξαμενής. (40)

➤ Χωνευτής πλήρους μίγματος:

Ένας χωνευτής πλήρους μίγματος είναι μια υπέργεια δεξαμενή από μονωμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 22. Ένα άκαμπτο

ή εύκαμπτο κάλυμμα χρησιμοποιείται για τη συγκράτηση του παραγόμενου βιοαερίου και τη μετέπειτα συλλογή του μέσω σωλήνων συλλογής αερίου. Οι εναλλάκτες θερμότητας διατηρούν τη θερμοκρασία της χώνευσης και, γενικά, επισυνάπτεται ένα μηχανικό σύστημα ανάμιξης για να εξασφαλιστεί η πλήρης ανάμιξη της πρώτης ύλης. Οι χωνευτές πλήρους μίγματος μπορούν να χειριστούν μη ομοιογενή πρώτη ύλη με υψηλότερη περιεκτικότητα σε στερεά (3-10%) και είναι κατάλληλοι για οποιοσδήποτε συνθήκες περιβάλλοντος. Η HRT είναι χαμηλότερη από ό,τι για μια καλυμμένη λιμνοδεξαμενή και συνήθως κυμαίνεται από 10 έως 25 ημέρες [40].

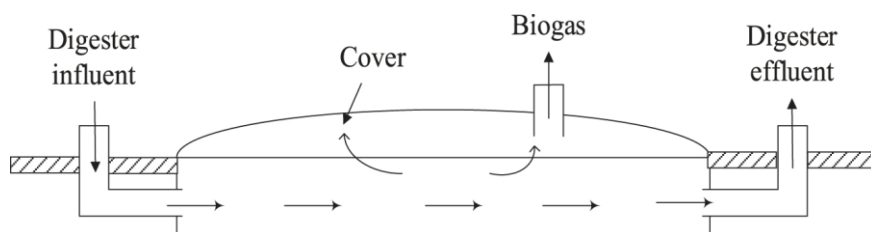


Εικόνα 22: Σχηματικό διάγραμμα ενός πλήρως αναμεμιγμένου αναερόβιου χωνευτήρα. (40)

➤ Χωνευτής με βύσμα ροής:

Οι χωνευτές με βύσμα ροής λειτουργούν παρόμοια με τους χωνευτές πλήρους μίγματος, εκτός από το γεγονός ότι η πρώτη ύλη δεν αναμιγνύεται μηχανικά. Ο χωνευτής βύσματος ροής είναι ένας οριζόντιος αντιδραστήρας κυλινδρικού σχήματος όπου η πρώτη ύλη εισέρχεται από το ένα άκρο και το χωνεμένο απόβλητο εξέρχεται από το άλλο άκρο, όπως φαίνεται στο σχήμα 23. Η εισερχόμενη πρώτη ύλη ωθεί προς τα έξω ίση ποσότητα υποστρώματος, ενώ η χώνευση λαμβάνει χώρα κατά μήκος της διαδρομής. Οι

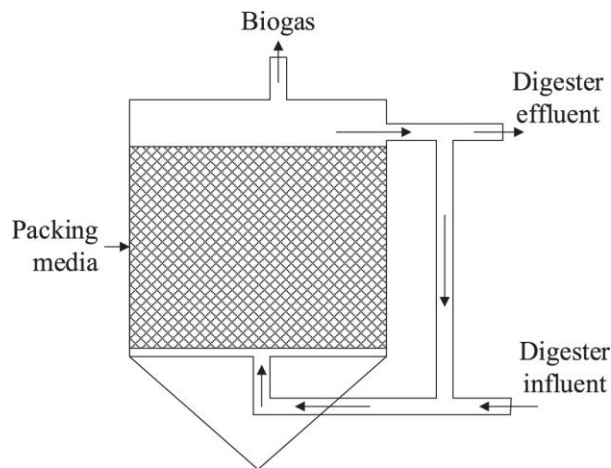
χωνευτές βυθιζόμενης ροής είναι συνήθως επίγειοι και καλύπτονται με ένα εύκαμπτο κάλυμμα. Η περιεκτικότητα της πρώτης ύλης σε στερεά υλικά πρέπει να είναι υψηλή (<10-15%) για να διασφαλίζεται η κίνηση των ρευστών μέσα στον αντιδραστήρα [40].



Εικόνα 23:Σχηματικό διάγραμμα αναερόβιου χωνευτή με θύσμα ροής. (40)

➤ Χωνευτής Σταθερής Μεμβράνης:

Αυτός ο σχεδιασμός του χωνευτήρα υποστηρίζει τη μικροβιακή ανάπτυξη ως ένα λεπτό φιλμ στην επιφάνεια, που συχνά ονομάζεται βιοφιλμ. Στο εσωτερικό του χωνευτήρα τοποθετείται μια στήλη γεμάτη με υποστηρικτικά μέσα, όπως ένας μικρός πλαστικός δακτύλιος ή ξυλοτεμαχίδια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 24. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα υποστρώματα για αυτόν τον τύπο χωνευτήρα, καθώς η συσκευασμένη στήλη έχει πολύ στενό χώρο για τη ροή του υποστρώματος. Η αποδεκτή περιεκτικότητα σε στερεά για αυτόν τον τύπο χωνευτήρα είναι 1-2%- υψηλότερα στερεά μπορούν να φράξουν τη ροή του υποστρώματος μέσω του μέσου του χωνευτήρα. Ένα μικρότερο HRT, συνήθως 2-6 ημέρες, είναι το κύριο χαρακτηριστικό αυτού του τύπου χωνευτήρα, με αποτέλεσμα μικρότερο όγκο χωνευτήρα [40].



Εικόνα 24:Σχηματικό διάγραμμα ενός αναερόβιου χωνευτή σταθερής μεμβράνης. (40)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Στάδια-τεχνολογίες παραγωγής βιοαερίου

Μια μονάδα βιοαερίου αποτελείται από πολλαπλά στοιχεία και η δομή της επηρεάζεται από τον τύπο και την ποσότητα της χρησιμοποιούμενης πρώτης ύλης. Στις μονάδες βιοαερίου χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνικές και σχέδια για την επεξεργασία διαφόρων τύπων πρώτων υλών, προέλευσης και συνθηκών λειτουργίας. Ομοίως, μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικές τεχνολογίες για την αναβάθμιση, την αποθήκευση και τη χρήση του βιοαερίου ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις κάθε μονάδας. Όσον αφορά το κομπόστ, η κύρια εφαρμογή του έγκειται στη λίπανση, με τα αντίστοιχα μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος να είναι υψίστης σημασίας.

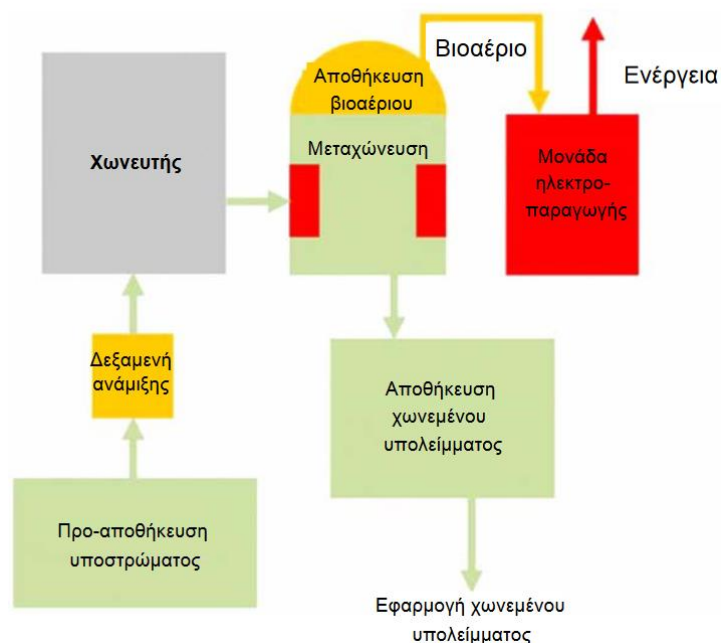
Στην Εικόνα 25 παρουσιάζονται τα βασικά στάδια που εμπλέκονται σε μια μονάδα βιοαερίου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα βήματα που επισημαίνονται με πλάγια γράμματα δεν εφαρμόζονται συνήθως στις γεωργικές εγκαταστάσεις βιοαερίου. Η διάκριση μεταξύ υγρής και ξηρής αναερόβιας ζύμωσης είναι ουσιαστικά θεωρητική, καθώς οι μικροβιακές διεργασίες λαμβάνουν πάντα χώρα σε υγρό περιβάλλον. Η κατηγοριοποίηση μεταξύ υγρής και ξηρής χώνευσης καθορίζεται από τη δυνατότητα άντλησης της πρώτης ύλης. Εάν η περιεκτικότητα σε ξηρή ύλη υπερβαίνει το 15%, καθιστώντας το υλικό μη αντλήσιμο, τότε η διαδικασία χώνευσης θεωρείται ξηρή. Η απευθείας έγχυση σχετικά ξηρής πρώτης ύλης στον χωνευτήρα,

όπως η χορτονομή, αυξάνει το επίπεδο οργανικής ύλης του συνδυασμού πρώτων υλών.

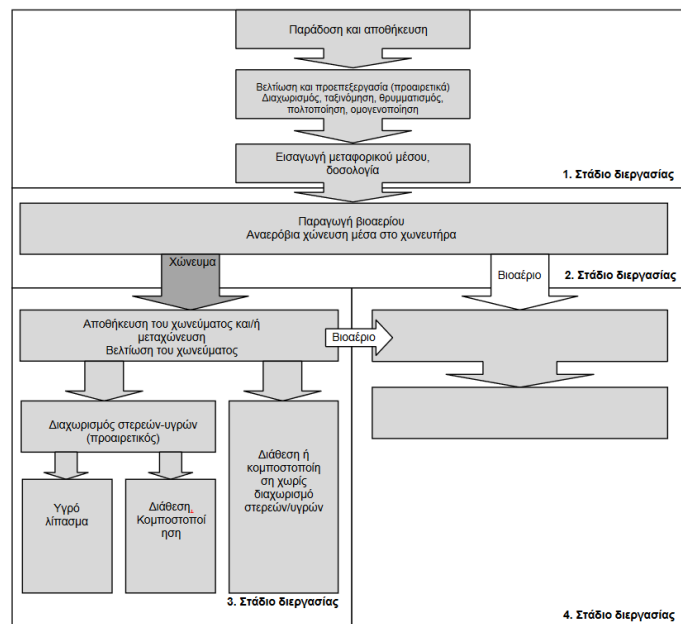


Εικόνα 25:Κύρια θήματα διεργασίας παραγωγής βιοαερίου (57)

Ο χωνευτής (η δεξαμενή του αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης) είναι το κύριο εξάρτημα μιας τέτοιας μονάδας, το οποίο συνοδεύεται από ορισμένα άλλα εξαρτήματα (εικόνα 26).



Εικόνα 26:Κύρια μέρη των εγκαταστάσεων βιοαερίου (57)



Εικόνα 27: Επισκόπηση της διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου σε διάγραμμα ροής. (57)

Μια ξεχωριστή περίπτωση αποτελούν οι αγροτικές εγκαταστάσεις βιοαερίου οι οποίες ακολουθούν ένα διαφορετικό μοτίβο όπου για να τεθεί σε λειτουργία μια τέτοια μονάδα χρειάζονται τέσσερα στάδια διεργασίας (εικόνα 27):

- Μεταφορά, παράδοση, αποθήκευση και προεπεξεργασία πρώτων υλών.
- Παραγωγή βιοαερίου (αναερόβια χώνευση).
Αποθήκευση, προοπτική βελτίωσης και εφαρμογή του κομπόστ.
- Αποθήκευση, βελτίωση και εφαρμογή βιοαερίου

Ο τύπος και ο σχεδιασμός μιας μονάδας βιοαερίου καθορίζονται κυρίως από τη διαθέσιμη πρώτη ύλη, συμπεριλαμβανομένης της ποσότητας και της ποιότητάς της. Η ποσότητα της πρώτης ύλης καθορίζει το μέγεθος του χωνευτήρα, τη χωρητικότητα αποθήκευσης και τη μονάδα συμπαραγωγής. Η ποιότητα της πρώτης ύλης, όπως η περιεκτικότητα σε ξερή ουσία, η δομή και η προέλευση, επηρεάζει την επιλογή της τεχνολογίας διεργασίας. Ανάλογα με τη σύνθεση της πρώτης ύλης, ορισμένα μέτρα όπως ο διαχωρισμός προβληματικών υλικών, ο τεμαχισμός της πρώτης ύλης ή η προσθήκη νερού

μπορεί να είναι απαραίτητα για τη δημιουργία ενός αντλήσιμου μίγματος. Οι επιρρεπείς σε μόλυνση πρώτες ύλες απαιτούν ένα βήμα υγιεινής στο συνολικό σχεδιασμό της εγκατάστασης.

Η υγρή αναερόβια χώνευση είναι μια δημοφιλής μέθοδος για την κατεργασία οργανικών αποβλήτων, ιδίως σε μονάδες αναερόβιας χώνευσης ενός σταδίου που χρησιμοποιούν διαδικασία ροής. Ωστόσο, σε μια πιο εξελιγμένη προσέγγιση γνωστή ως διεργασία διπλού σταδίου, ενσωματώνεται ένας προ-χωνευτής πριν από τον κύριο χωνευτή για να βελτιωθεί η αποδοτικότητα και η απόδοση. Ο προ-χωνευτής εξυπηρετεί τον κρίσιμο ρόλο της δημιουργίας βέλτιστων συνθηκών για τα δύο αρχικά στάδια της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης, δηλαδή την υδρόλυση και τον σχηματισμό οξέων. Μόλις ολοκληρωθούν αυτά τα στάδια στον προ-χωνευτή, η προκύπτουσα πρώτη ύλη μεταφέρεται στον κύριο χωνευτή για να προχωρήσουν τα επόμενα στάδια της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης. Αφού υποβληθεί στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, το χωνεμένο υπόστρωμα, που αναφέρεται ως κομπόστ, εξάγεται από τον χωνευτήρα. Για να εξασφαλιστεί η σωστή αποθήκευσή του χρησιμοποιούνται δεξαμενές αποθήκευσης. Οι δεξαμενές αυτές είναι εφοδιασμένες με αεροστεγείς μεμβράνες, που τις σφραγίζουν αποτελεσματικά από το περιβάλλον. Αυτό το ελεγχόμενο περιβάλλον επιτρέπει τη συνεχή παραγωγή και συλλογή βιοαερίου, ακόμη και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η φάση αυτή, η οποία λαμβάνει χώρα μετά τη χώνευση, είναι γνωστή ως μεταχώνευση. Μια άλλη μέθοδος αποθήκευσης του κομπόστ περιλαμβάνει τη χρήση ανοικτών δοχείων. Για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών από την επιφάνεια, τα δοχεία αυτά είναι εξοπλισμένα είτε με ένα φυσικό είτε με ένα τεχνητό επιπλέον στρώμα. Αυτό το επιπλέον στρώμα λειτουργεί ως φράγμα, μειώνοντας την έκλυση αερίων στην ατμόσφαιρα.

4.1 Μονάδα παραλαβής

Η διαδικασία μεταφοράς και παράδοσης της πρώτης ύλης είναι μια κρίσιμη πτυχή της λειτουργίας των μονάδων βιοαερίου. Η διασφάλιση της σταθερής και αδιάλειπτης προμήθειας πρώτης ύλης στην κατάλληλη ποσότητα και ποιότητα είναι υψίστης σημασίας. Όταν ο φορέας εκμετάλλευσης της μονάδας βιοαερίου είναι και ο παραγωγός της πρώτης ύλης, εγγυάται την παροχή υψηλής ποιότητας. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις, οι μονάδες βιοαερίου βασίζονται στην προμήθεια πρόσθετων πρώτων υλών από γειτονικές γεωργικές εκμεταλλεύσεις, βιομηχανίες ή νοικοκυριά. Σε τέτοια σενάρια, καθίσταται απαραίτητη η εφαρμογή πρακτικών διαχείρισης ποιότητας για την αποτελεσματική παρακολούθηση, αξιολόγηση και προσαρμογή των εισερχόμενων υλικών. Αρχικά, η οπτική επιθεώρηση κάθε παρτίδας πρώτης ύλης είναι απολύτως απαραίτητη. Αυτή η αρχική αξιολόγηση επιτρέπει τον εντοπισμό τυχόν ορατών ζητημάτων ή ασυνεπειών. Επιπλέον, είναι επιτακτική ανάγκη να τεκμηριώνονται κρίσιμες πληροφορίες, όπως το βάρος παράδοσης και συγκεκριμένες λεπτομέρειες της πρώτης ύλης, συμπεριλαμβανομένων του προμηθευτή, της ημερομηνίας, της ποσότητας, του τύπου, της προέλευσης και των διαδικασιών ποιότητας. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στους τύπους πρώτων υλών που εμπίπτουν στην κατηγορία των αποβλήτων, καθώς ενδέχεται να υπάρχουν κανονιστικές υποχρεώσεις και νομικοί περιορισμοί που σχετίζονται με το χειρισμό τους. Η συμμόρφωση με αυτές τις υποχρεώσεις είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας και της νομικής συμμόρφωσης της μονάδας βιοαερίου. Η ενδελεχής διαχείριση των πρώτων υλών διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στη διατήρηση της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας των μονάδων βιοαερίου. Τηρώντας τα μέτρα ποιοτικού ελέγχου και παρακολουθώντας στενά τις διαδικασίες μεταφοράς και παράδοσης, οι φορείς εκμετάλλευσης μονάδων βιοαερίου μπορούν να διασφαλίσουν τη συνεπή προμήθεια πρώτης ύλης υψηλής ποιότητας.

4.2 Αποθήκευση της πρώτης ύλης

Ο πρωταρχικός σκοπός της αποθήκευσης πρώτων υλών είναι η διαχείριση των εποχιακών διακυμάνσεων της προσφοράς και η δυνατότητα ανάμειξης διαφορετικών συστατικών στον χωνευτήρα. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης εξαρτώνται από τον τύπο της πρώτης ύλης, με σιλό για στερεές πρώτες ύλες και δεξαμενές για υγρές πρώτες ύλες. Τα σιλό μπορούν να αποθηκεύσουν υλικό για πάνω από ένα έτος, ενώ οι δεξαμενές κοπριάς διατηρούν υλικό για αρκετές ημέρες. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κατακόρυφα κυλινδρικά σιλό για σιτηρά ή κοπριά. Το μέγεθος των εγκαταστάσεων αποθήκευσης εξαρτάται από τις ανάγκες αποθήκευσης, τα διαστήματα παράδοσης και τις καθημερινές απαιτήσεις τροφοδοσίας του χωνευτήρα.

➤ Αποθήκες τύπου σιλό:

Οι αποθήκες σιλό σχεδιάστηκαν αρχικά για την αποθήκευση ζωοτροφών, εξυπηρετώντας τον σκοπό της διατήρησης μιας ισορροπημένης προσφοράς ζωοτροφών κατά τη διάρκεια των διαφόρων εποχών. Ωστόσο, τον τελευταίο καιρό, αυτή η μέθοδος αποθήκευσης έχει κερδίσει δημοτικότητα για την αποθήκευση πρώτων υλών που προορίζονται για την παραγωγή βιοαερίου, ιδίως ενεργειακών καλλιεργείων. Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι η ζωοτροφή που αποθηκεύεται έχει την κατάλληλη περιεκτικότητα σε υγρασία, η οποία συνήθως κυμαίνεται από 55% έως 70%. Αυτή η περιεκτικότητα σε υγρασία επηρεάζεται από διάφορες συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της χρησιμοποιούμενης τεχνικής αποθήκευσης, του βαθμού συμπίεσης και της ποσότητας νερού που χάνεται κατά τη διαδικασία αποθήκευσης. Η χορτονομή υφίσταται μια διαδικασία ζύμωσης μέσα στο σιλό, η οποία διευκολύνεται από τη δραστηριότητα των βακτηρίων ζύμωσης. Αυτά τα βακτήρια απαιτούν ενέργεια για να πραγματοποιήσουν τη ζύμωση και ως αποτέλεσμα παράγονται πτητικά λιπαρά οξέα (VFA), όπως οξικό, προπιονικό, λακτόζη και βουτυρικό. Αυτά τα VFA συμβάλλουν στη διατήρηση της ζωοτροφής. Ωστόσο,

αξίζει να σημειωθεί ότι η διαδικασία ζύμωσης οδηγεί σε μείωση της ενεργειακής περιεκτικότητας της χορτονομής σε σύγκριση με τον αρχικό φυτικό ιστό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ορισμένοι από τους υδατάνθρακες που υπάρχουν στη χορτονομή χρησιμοποιούνται από τα βακτήρια ζύμωσης για την παραγωγή των VFA.

➤ Αντλήσιμες δεξαμενές αποθήκευσης πρώτων υλών:

Η αντλούμενη πρώτη ύλη διατηρείται σε ειδικές δεξαμενές στο έδαφος. Αυτές οι δεξαμενές είναι ισχυρές και μπορούν να χωρέσουν αρκετό υλικό για μια ή δύο ημέρες. Για να διατηρείται ο αέρας καθαρός, οι δεξαμενές πρέπει να καλύπτονται. Το κάλυμμα πρέπει να ανοίγει εύκολα και να αφαιρεί τα πράγματα που κολλάνε στο κάτω μέρος. Αν η δεξαμενή είναι ψηλότερα από το μηχάνημα που μετατρέπει το υλικό σε ενέργεια, δεν χρειαζόμαστε αντλίες και εξοικονομούμε ενέργεια. Μπορούμε να αναμίξουμε διαφορετικούς τύπους υλικού μαζί στη δεξαμενή για να διευκολύνουμε τη μετακίνηση. Θέλουμε να αποφύγουμε να κολλήσουν ή να διαχωριστούν τα πράγματα στη δεξαμενή, επομένως έχουμε εργαλεία που ανακατεύουν τα πάντα. Τα εργαλεία είναι τα ίδια που χρησιμοποιούμε στο μηχάνημα που μετατρέπει το υλικό σε ενέργεια.

4.3 Σύστημα παροχής τροφοδοσίας

Η πρώτη ύλη της αναερόβιας χώνευσης εισάγεται στον χωνευτήρα αφού αποθηκευτεί και προεπεξεργαστεί. Η τεχνική που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία εξαρτάται από τον τύπο και τη δυναμικότητα της αντλίας του υλικού. Τα αντλήσιμα υλικά, όπως οι ζωικές λάσπες και τα υγρά οργανικά απόβλητα, μεταφέρονται από τις δεξαμενές αποθήκευσης στον χωνευτήρα με τη χρήση αντλιών. Τα μη αντλήσιμα υλικά, όπως τα ινώδη υλικά και η κοπριά με υψηλή περιεκτικότητα σε άχυρο, μεταφέρονται στο σύστημα τροφοδοσίας με φορτωτή και στη συνέχεια τροφοδοτούνται στον χωνευτή. Τόσο τα αντλήσιμα όσο και τα μη αντλήσιμα υλικά μπορούν να τροφοδοτούνται στον χωνευτήρα ταυτόχρονα, ενώ τα μη αντλήσιμα υλικά τροφοδοτούνται κατά

προτίμηση μέσω παρακαμπτήριων οδών. Για να διατηρηθεί η σταθερότητα στη διαδικασία της Αναερόβιας Χώνευσης, η συνεχής ροή της πρώτης ύλης είναι ιδανική, αλλά στην πράξη, η πρώτη ύλη προστίθεται σε πολλαπλές δόσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας για εξοικονόμηση ενέργειας. Ο μηχανισμός τροφοδοσίας που επιλέγεται καθορίζεται από την ποιότητα της πρώτης ύλης, δηλαδή την αντλησιμότητά της και τα διαστήματα τροφοδοσίας. Η θερμοκρασία της πρώτης ύλης που εισέρχεται στον χωνευτήρα πρέπει να παρακολουθείται καθώς σημαντικές διαφορές θερμοκρασίας μπορούν να διαταράξουν τη βιολογία της διεργασίας και να μειώσουν την παραγωγή αερίου. Ως εκ τούτου, η αποφυγή διαφορών θερμοκρασίας είναι σημαντική.

Για τη μεταφορά της αντλήσιμης πρώτης ύλης χρησιμοποιούνται αντλίες δύο ειδών.

➤ Η φυγοκεντρική αντλία

Η φυγοκεντρική αντλία είναι μια δυναμική συσκευή που χρησιμοποιείται για την αύξηση της ταχύτητας ενός ρευστού με τη χρήση μιας περιστρεφόμενης πτερωτής. Η αντλία αυτή λειτουργεί επιτρέποντας στο ρευστό να εισέλθει είτε απευθείας μέσω είτε σε κοντινή απόσταση από τον περιστρεφόμενο άξονα και, στη συνέχεια, επιταχύνοντάς το ταχέως προς τα έξω με ακτινικό τρόπο σε ένα θάλαμο διασκορπισμού ή σπειροειδές θάλαμο. Από εκεί, το ρευστό απορρίπτεται στο κατάντη σύστημα σωληνώσεων. Η πρωταρχική λειτουργία των φυγοκεντρικών αντλιών είναι να διευκολύνουν τη μετακίνηση υγρών μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων, γεγονός που τις καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμες για εργασίες όπως η διαχείριση υγρής κοπριάς και πολτού.

➤ Η αντλία μετατόπισης πίεσης

Οι αντλίες εκτόπισης πίεσης (όπως οι αντλίες με περιστροφικό έμβολο και οι αντλίες με έκκεντρο κοχλία) χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μεταφορά παχύρρευστων υγρών υλικών με υψηλή περιεκτικότητα σε ξηρή ύλη. Η ταχύτητα περιστροφής της αντλίας ελέγχει την ποσότητα του μεταφερόμενου

υλικού, επιτρέποντας την ακριβή δοσολογία. Αυτές οι αντλίες είναι αυτό-αναρροφώμενες, προσφέρουν πιο σταθερή πίεση σε σύγκριση με τις φυγοκεντρικές αντλίες και εξαρτώνται λιγότερο από τις διαφορές ύψους. Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούνται από την περιεκτικότητα σε ίνες στα αντλούμενα υλικά, συνιστάται ο εξοπλισμός αυτών των αντλιών με κόφτες και διαχωριστές για την προστασία των σωματιδίων και των ινών.

4.4 Σωληνώσεις

Στα συστήματα παραγωγής βιοαερίου πρέπει να χρησιμοποιούνται σωληνώσεις ανθεκτικές στη διάβρωση και ικανές να διαχειρίζονται βιοαέριο και υλικά βιομάζας. Η επιλογή των υλικών για τους σωλήνες εξαρτάται από το συγκεκριμένο φορτίο και τις απαιτήσεις πίεσης, οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν επιλογές όπως PVC, HDPE (πολυαιθυλένιο), χάλυβα ή ανοξείδωτο χάλυβα. Είναι σημαντικό τα εξαρτήματα, όπως οι σύνδεσμοι, οι πύλες ατμού, οι βαλβίδες πεταλούδας, τα ανοίγματα καθαρισμού και τα μανόμετρα, να είναι εύκολα προσβάσιμα, να συντηρούνται εύκολα και να προστατεύονται από το πάγωμα. Επιπλέον, μπορεί να υπάρχουν περιπτώσεις όπου είναι απαραίτητη η μόνωση των σωλήνων (εικόνα 28). Για να διασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία των εγκαταστάσεων βιοαερίου, είναι ζωτικής σημασίας να πληρούνται οι ελάχιστες απαιτήσεις για τα υλικά των σωλήνων και των εξαρτημάτων όσον αφορά τις ιδιότητές τους, τα χαρακτηριστικά ασφαλείας και την αντοχή στη διαρροή.



Εικόνα 28: Μονωμένες σωληνώσεις αερίου (58)

Η εγκατάσταση των σωληνώσεων αερίου θα πρέπει να περιλαμβάνει την τοποθέτησή τους σε κεκλιμένη θέση και τον εξοπλισμό τους με βαλβίδες για την αποβολή τυχόν συμπυκνωμάτων. Είναι ζωτικής σημασίας να αποφευχθεί η συσσώρευση ακόμη και μικρών ποσοτήτων συμπυκνώματος, καθώς αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε πλήρη απόφραξη των σωληνώσεων αερίου λόγω ανεπαρκούς πίεσης στο σύστημα.

4.5 Σύστημα θέρμανσης

Η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας είναι καθοριστικής σημασίας για την αποτελεσματική λειτουργία και τη βέλτιστη παραγωγή βιοαερίου. Η ελαχιστοποίηση των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας, είτε αυτές οφείλονται σε εποχιακές αλλαγές, είτε σε καιρικές συνθήκες, είτε σε διαφοροποιήσεις εντός των διαφόρων τμημάτων του χωνευτήρα, είναι απαραίτητη. Σημαντικές μεταβολές της θερμοκρασίας μπορούν να διαταράξουν τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης και, στη χειρότερη περίπτωση, να προκαλέσουν την πλήρη αποτυχία της διαδικασίας.

Για να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία μέσα σε ένα χωνευτήρα και να αποτρέπεται η διαφυγή θερμότητας, πρέπει να καλύπτεται και να θερμαίνεται από εξωτερικές πηγές. Η πιο κοινή πηγή θερμότητας είναι η επιπλέον θερμότητα που παράγεται από τη μονάδα βιοαερίου. Οι πρώτες ύλες

μπορούν να ζεσταθούν πριν μπουν στον χωνευτήρα, όσο βρίσκονται μέσα στον χωνευτήρα ή με τη βοήθεια ατμού. Το ζέσταμα των πρώτων υλών πριν μπουν στον χωνευτήρα βοηθά στη διατήρηση της θερμοκρασίας σταθερή. Για τη θέρμανση των πρώτων υλών, ορισμένες εγκαταστάσεις βιοαερίου συνδυάζουν και τις δύο διεργασίες.



Εικόνα 29: Σταθμός Θέρμανσης (59)

4.6 Τεχνολογίες ανάδευσης

4.6.1 Παθητική ανάδευση

Η παθητική ανάδευση στον χωνευτήρα πραγματοποιείται μέσω της εισαγωγής νέας πρώτης ύλης, των ρευμάτων μεταφοράς θερμότητας και της ανοδικής ροής φυσαλίδων αερίου. Ωστόσο, η ενεργητική ανάδευση με τη χρήση μηχανικού, υδραυλικού ή πνευματικού εξοπλισμού είναι απαραίτητη για τη βέλτιστη λειτουργία. Ο μηχανικός εξοπλισμός χρησιμοποιείται συνήθως στο 90% περίπου των μονάδων βιοαερίου. Η ανάδευση είναι ζωτικής σημασίας για την ανάμειξη της νέας πρώτης ύλης με το υπάρχον υπόστρωμα, την αποτροπή του σχηματισμού κρούστας και ιζημάτων, τη μεταφορά βακτηρίων, τη διευκόλυνση της ροής φυσαλίδων αερίου και τη διασφάλιση της ομοιόμορφης κατανομής της θερμότητας και των θρεπτικών συστατικών. Οι αναδευτήρες μπορούν να λειτουργούν συνεχώς ή διακοπτόμενα, με τα

βέλτιστα διαστήματα να καθορίζονται μέσω εμπειρικής βελτιστοποίησης με βάση παράγοντες όπως το μέγεθος της δεξαμενής, η ποιότητα της πρώτης ύλης και η τάση του επιπλέον στρώματος. Η διάρκεια, η συχνότητα και οι ρυθμίσεις των διαστημάτων ανάδευσης καθορίζονται μέσω της εμπειρίας και των δοκιμών μετά την αρχική φόρτωση και εκκίνηση της μονάδας.

4.6.2 Μηχανική ανάδευση

Η μηχανική ανάδευση στους χωνευτήρες επιτυγχάνεται με τη χρήση αναδευτήρων που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως αναδευτήρες υψηλής ταχύτητας, αναδευτήρες μεσαίας ταχύτητας ή αναδευτήρες χαμηλής ταχύτητας. Στους κατακόρυφους χωνευτήρες χρησιμοποιούνται συνήθως υποβρύχιοι αναδευτήρες με έλικες, οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με ηλεκτροκινητήρες χωρίς γρανάζια. Αυτοί οι αναδευτήρες διαθέτουν στεγανά προστατευτικά καλύμματα και αντιδιαβρωτικές επιστρώσεις και ψύχονται από το περιβάλλον υγρό. Πλήρως βυθισμένοι μέσα στην πρώτη ύλη, διαθέτουν συνήθως δύο ή τρεις έλικες που είναι γεωμετρικά βελτιστοποιημένοι. Οι αναδευτήρες είναι εξοπλισμένοι με ένα σωληνοειδές σύστημα καθοδήγησης, το οποίο αποτελείται από ικρίωμα, βαρούλκο καλωδίου και τμήμα οδηγού, επιτρέποντας ρυθμίσεις ύψους, κλίσης και πλάγιες ρυθμίσεις.

4.6.3 Πνευματική ανάδευση

Η πνευματική ανάδευση περιλαμβάνει τη χρήση του βιοαερίου που αναδύεται από τη βάση του χωνευτήρα για την ανάδευση της πρώτης ύλης βιομάζας. Οι ανερχόμενες φουσαλίδες αερίου δημιουργούν μια κατακόρυφη κίνηση που αναδύει την πρώτη ύλη. Ένα πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι ο απαιτούμενος εξοπλισμός (π.χ. αντλίες και συμπιεστές) βρίσκεται εκτός του χωνευτήρα, με αποτέλεσμα τη μειωμένη φθορά. Παρόλο που η πνευματική ανάδευση δεν χρησιμοποιείται συνήθως σε γεωργικές μονάδες βιοαερίου, προσφέρει μια αποτελεσματική λύση για την επεξεργασία

λεπτόρρευστων υγρών πρώτων υλών με ελάχιστο κίνδυνο σχηματισμού στρώματος επίπλευσης [41].

4.6.4 Υδραυλική ανάδευση

Κατά την εφαρμογή της υδραυλικής ανάδευσης, η πρώτη ύλη συμπιέζεται μέσω αντλιών και οριζόντιων και κάθετων περιστρεφόμενων σχισμών εντός του χωνευτήρα. Είναι ζωτικής σημασίας να διασφαλιστεί η αποτελεσματική ανάδευση του περιεχομένου του χωνευτήρα μέσω του κατάλληλου σχεδιασμού της αναρρόφησης και της απόρριψης της πρώτης ύλης. Τα μηχανικά εξαρτήματα των αναδευτήρων είναι τοποθετημένα εκτός του χωνευτήρα, γεγονός που αποτελεί πλεονέκτημα των υδραυλικών συστημάτων ανάδευσης, με αποτέλεσμα τη μειωμένη φθορά και τη διευκόλυνση της συντήρησης. Η υδραυλική ανάδευση είναι πρωτίστως κατάλληλη για την εξάλειψη των επιπλεόντων στρωμάτων σε περιστασιακή βάση και, παρόμοια με την πνευματική ανάδευση, χρησιμοποιείται για λεπτόρρευστη πρώτη ύλη που δεν τείνει να σχηματίζει εύκολα επιπλέουσα στρώση [41].

4.7 Αποθήκευση του βιοαερίου

Η παραγωγή βιοαερίου θα πρέπει να στοχεύει στη σταθερότητα και στη συνέχεια για τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητάς της. Ωστόσο, ο σχηματισμός του βιοαερίου εντός του χωνευτήρα μπορεί να είναι ασυνεπής, ως αποτέλεσμα, προκύπτουν ξεχωριστές ποσότητες και μέγιστες επιδόσεις. Επιπλέον, η ζήτηση για βιοαέριο, ιδίως σε εφαρμογές όπως οι μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ), μπορεί επίσης να παρουσιάζει διακυμάνσεις. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, καθίσταται αναγκαία η προσωρινή αποθήκευση του βιοαερίου σε κατάλληλες εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Επί του παρόντος, υπάρχουν πολλαπλές επιλογές για την αποθήκευση βιοαερίου. Η απλούστερη προσέγγιση περιλαμβάνει τη χρήση μιας ειδικής μεμβράνης στην κορυφή των χωνευτήρων, η οποία χρησιμεύει τόσο ως κάλυμμα για τον χωνευτήρα όσο και

ως χώρος αποθήκευσης του βιοαερίου. Σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται συνήθως ξεχωριστές δεξαμενές αποθήκευσης βιοαερίου. Οι δεξαμενές αυτές μπορεί να είναι αυτόνομες κατασκευές ή ενσωματωμένες σε κτίρια αποθήκευσης. Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης βιοαερίου μπορούν να λειτουργούν σε χαμηλή, μεσαία ή υψηλή πίεση, ανάλογα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις. Η σωστή επιλογή και διαστασιολόγηση του συστήματος αποθήκευσης είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της αποδοτικότητας, της αξιοπιστίας και της ασφάλειας των εγκαταστάσεων βιοαερίου. Αυτό διαδραματίζει θεμελιώδη ρόλο στη διατήρηση σταθερής παροχής βιοαερίου με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των απωλειών. Όλες οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης βιοαερίου πρέπει να πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια για να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητά τους. Πρέπει να είναι αεροστεγείς και ανθεκτικές στην πίεση. Στις περιπτώσεις που οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης δεν προστατεύονται από κτίρια, πρέπει επίσης να είναι ανθεκτικές στη θερμοκρασία, στις καιρικές συνθήκες και στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Πριν από τη θέση σε λειτουργία της εγκατάστασης, είναι απαραίτητο να διενεργηθεί ενδελεχής έλεγχος στεγανότητας στις δεξαμενές αποθήκευσης αερίου. Για λόγους ασφαλείας, οι δεξαμενές αυτές πρέπει να είναι εξοπλισμένες με βαλβίδες ασφαλείας (εικόνα 30) για την αποφυγή πιθανών ζημιών που προκαλούνται από καταστάσεις υποπίεσης ή υπερπίεσης. Εκτός από τα μέτρα ασφαλείας, πρέπει επίσης να υπάρχουν μέτρα προστασίας από εκρήξεις, καθώς και η απαίτηση για έναν πυρσό έκτακτης ανάγκης. Η δεξαμενή αποθήκευσης πρέπει να έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης τουλάχιστον του ενός τετάρτου της ημερήσιας παραγωγής βιοαερίου. Τυπικά, συνιστάται να έχει αποθηκευτική ικανότητα παραγωγής μιας έως δύο ημερών. Με την τήρηση αυτών των κατευθυντήριων γραμμών, εξασφαλίζεται σταθερή παροχή βιοαερίου, ενώ διατηρείται βελτιστοποιημένη απόδοση και ασφάλεια καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας παραγωγής και αξιοποίησης του βιοαερίου.



Εικόνα 30:Βαλβίδες Ασφαλείας (59)

4.7.1 Δεξαμενές χαμηλής πίεσης

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες δεξαμενές χαμηλής πίεσης έχουν εύρος υπερπίεσης 0,05 έως 0,5 mbar και κατασκευάζονται με τη χρήση εξειδικευμένων μεμβρανών που πρέπει να πληρούν πολλαπλές απαιτήσεις ασφαλείας. Οι δεξαμενές μεμβρανών εγκαθίστανται ως εξωτερικές δεξαμενές αερίου ή ως οροφές/καλύμματα πάνω από τον χωνευτή. Εξωτερική δεξαμενές χαμηλής πίεσης μπορούν να σχεδιαστούν με τη μορφή μαξιλαριών μεμβράνης (εικόνα 28). Αυτά τα μαξιλάρια μεμβράνης εγκαθίστανται σε κατασκευές για να παρέχουν προστασία από τις καιρικές συνθήκες ή συμπληρώνονται με μια δεύτερη μεμβράνη. Εάν ο χωνευτήρας ή ο μεταχωνευτήρας χρησιμοποιείται για την αποθήκευση βιοαερίου, πρέπει να καλύπτεται με αδιάβροχα καλύμματα μεμβράνης (δεξαμενές διπλής μεμβράνης) που προσαρμόζονται στην κορυφή του χωνευτήρα. Όταν ο χωνευτήρας είναι άδειος, μπορεί να κατασκευαστεί μια κατασκευή στήριξης για τη συγκράτηση της μεμβράνης. Η μεμβράνη διαστέλλεται ανάλογα με τον όγκο του αερίου που υπάρχει. Ένα ειδικό πλέγμα μπορεί να τοποθετηθεί γύρω από τη μεμβράνη για να περιορίσει τη διαστολή της [42].



Εικόνα 31:Εξωτερικές δεξαμενές αποθήκευσης αερίου χαμηλής πίεσης (60)



Εικόνα 32:Κάλυμμα χωνευτήρα από αεροστεγή μεμβράνη (61)

4.7.2 Αποθήκευση βιοαερίου μέσης και υψηλής πίεσης

Το βιοαέριο μπορεί επίσης να διατηρείται σε δεξαμενές μέσης και υψηλής πίεσης, με πιέσεις που κυμαίνονται από 5 έως 250 bar, χρησιμοποιώντας χαλύβδινα δοχεία πίεσης και φιάλες. Ωστόσο, αυτές οι επιλογές αποθήκευσης συνεπάγονται υψηλό λειτουργικό κόστος και υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Για δεξαμενές αερίου έως 10 bar, οι ενεργειακές απαιτήσεις πρέπει να εκτιμηθούν έως $0,22 \frac{KWH}{m^3}$, ενώ για δεξαμενές υψηλής πίεσης που κυμαίνονται από 200 έως 300 bar, οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι περίπου $0,31 \frac{KWH}{m^3}$. Λόγω του σημαντικού κόστους τους, αυτού του είδους οι λύσεις αποθήκευσης

βιοαερίου σπάνια χρησιμοποιούνται σε γεωργικές εγκαταστάσεις βιοαερίου [42].

4.8 Καθαρισμός του βιοαερίου

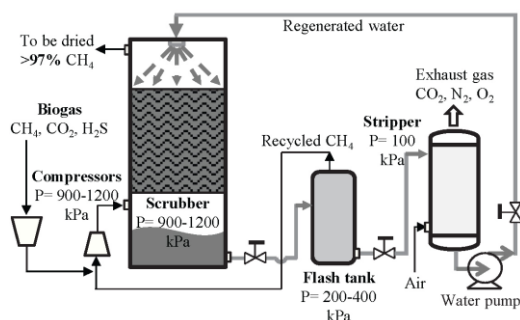
Όταν το βιοαέριο προορίζεται για θέρμανση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει να απομακρυνθούν μόνο το νερό και το H_2S (υδρόθειο). Ωστόσο, οι περισσότερες από τις αέριες ακαθαρσίες πρέπει να απομακρυνθούν για την έγχυση σε αγωγούς και τη μετατροπή σε καύσιμο μεταφοράς. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές αγωγών των ΗΠΑ, η έγχυση φυσικού αερίου σε αγωγούς απαιτεί καθαρισμένο βιοαέριο με περιεκτικότητα σε CO_2 (διοξειδίου του άνθρακα), νερό και H_2S μικρότερη από 3%, 112 mg/m³ και 4 ppm, αντίστοιχα [43]. Για το υγροποιημένο βιομεθάνιο, το βιοαέριο πρέπει να καθαρίζεται μέχρι να περιέχει λιγότερο από 25 ppm, 4 ppm και 1 ppm CO_2 , H_2S και H_2O , αντίστοιχα, για να αποφευχθεί ο σχηματισμός ξηρού πάγου και η διάβρωση. Επομένως, η ανάγκη για καθαρισμό και αναβάθμιση του βιοαερίου εξαρτάται από την εφαρμογή.

Πίνακας 6: Διαφορετικές τεχνικές καθαρισμού του βιοαερίου, η ποσότητα των εγκαταστάσεων που εφαρμόζουν αυτές τις μεθόδους και οι μέσες τιμές καθαρότητας του παραγόμενου αερίου σε μεθάνιο (CH_4) (64)

Μέθοδος	Αριθμός εργοστασίων	Μέση Καθαρότητα σε Μεθάνιο, %
Καθαρισμός με νερό	107	96.1
Προσρόφηση με ταλάντευση πίεσης	55	95.8
Χημική απορρόφηση	53	94.6
Διαπερατότητα των μεμβρανών	22	90.3

Κρυογονική διαδικασία	1	88.0
-----------------------	---	------

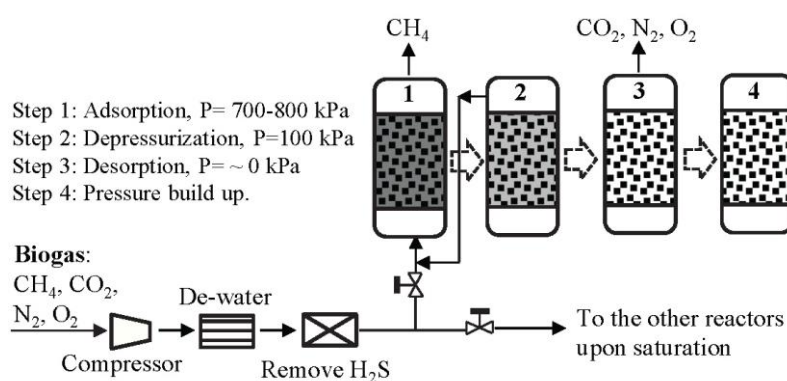
Η πλύση με νερό (Εικόνα 33) απομακρύνει ταυτόχρονα τόσο το CO_2 όσο και το H_2S , εκμεταλλευόμενη τη μεγαλύτερη διαλυτότητά τους στο νερό σε σύγκριση με το CH_4 . Για να ενισχυθεί η απορρόφηση, το βιοαέριο συνήθως συμπιέζεται. Μετά την απορρόφηση στον καθαριστή, το καθαρισμένο βιοαέριο, το οποίο περιέχει περισσότερο από 97% CH_4 , συλλέγεται από την κορυφή του καθαριστή, ενώ τα υγρά απόβλητα που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις CO_2 και ασήμαντη ποσότητα CH_4 επεξεργάζονται σε δεξαμενή εκτόνωσης για την ανάκτηση του CH_4 . Στη συνέχεια, το νερό ανανεώνεται στον απογυμνωτή με αέρα που διοχετεύεται (air sparging) στον αντιδραστήρα [44].



Εικόνα 33:Σχηματικό διάγραμμα πλύσης με νερό.(37)

Η προσρόφηση ταλάντευσης πίεσης (PSA, Εικόνα 34) χρησιμοποιεί τον εξαρτώμενο από την πίεση ρυθμό προσρόφησης αερίων του προσροφητικού υλικού για τη δέσμευση των προτιμώμενων αερίων σε υψηλή πίεση και, στη συνέχεια, την απελευθέρωση των προσροφημένων ουσιών σε χαμηλή πίεση για την αναγέννηση του προσροφητικού υλικού. Στο δοχείο υπό πίεση (βήμα 1), προσροφώνται προσμίξεις που έχουν υψηλούς ρυθμούς προσρόφησης αερίων, ενώ το εμπλουτισμένο CH_4 συλλέγεται από την κορυφή του δοχείου. Στη συνέχεια, το κορεσμένο δοχείο αποσυμπιέζεται σε περίπου ατμοσφαιρικές συνθήκες (βήμα 2) για την εκρόφηση των

προσμίξεων. Καθώς το αέριο που απελευθερώνεται σε αυτό το βήμα περιέχει τόσο προσμίξεις όσο και μικρή ποσότητα CH_4 , ανακυκλώνεται. Η πίεση μειώνεται περαιτέρω σε σχεδόν κενό στο βήμα 3, το οποίο αποπροσοφά τα συλληφθέντα αέρια και αναγεννά τα προσροφητικά. Το αέριο που εξέρχεται από το δοχείο σε αυτό το στάδιο αποτελείται κυρίως από CO_2 , N_2 και O_2 . Στο βήμα 4 δημιουργείται πίεση για τον επόμενο κύκλο [45].



Εικόνα 34: Σχηματικό διάγραμμα της προσρόφησης ταλάντευσης πίεσης (37).

Η κρυογονική τεχνολογία εκμεταλλεύεται τα διαφορετικά σημεία βρασμού των αερίων και ψύχει σταδιακά το βιοαέριο για να λάβει υψηλής καθαρότητας CH_4 . Οι περισσότεροι ρύποι μπορούν να συμπυκνωθούν στους -25°C , ενώ το CO_2 μπορεί να παγώσει και να απομακρυνθεί από το ρεύμα αερίου στους $-78,5^\circ\text{C}$. [46].

Τα οφέλη και τα μειονεκτήματα ποικίλλουν μεταξύ αυτών των μεθόδων. Το πλύσιμο με νερό είναι σε θέση να απομακρύνει ταυτόχρονα CO_2 , H_2S , NH_3 και σκόνη, αλλά χρειάζεται πολύ νερό. Η προσρόφηση ταλάντευσης πίεσης απαιτεί χαμηλή εισροή ενέργειας, αλλά χρειάζεται προεπεξεργασία για την απομάκρυνση του H_2S και του νερού, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν βλάβη στα προσροφητικά μέσα. Η απορρόφηση με αμίνες παρουσιάζει συνήθως χαμηλές απώλειες CH_4 και παράγει υψηλής ποιότητας CO_2 , αλλά είναι ενεργοβόρα. Τα συστήματα διαπερατότητας με μεμβράνες είναι συμπαγή και εύκολα στη λειτουργία, αλλά με σχετικά χαμηλή καθαρότητα CH_4 [44].

4.9 Μονάδα ελέγχου

Η μέθοδος ελέγχου της μονάδας βιοαερίου περιλαμβάνει τη μέτρηση του υποστρώματος βιομάζας μέσω μιας συσκευής μέτρησης και τη ρύθμιση μιας παραμέτρου διεργασίας με τη χρήση ενός αυτόματου ελεγκτή. Η δεξαμενή ζύμωσης στη μονάδα βιοαερίου είναι εξοπλισμένη με έναν μηχανισμό ελέγχου που αναθέτει μια ονομαστική τιμή παραμέτρου στον ελεγκτή και συνδέει με αυτόν πομπούς πραγματικών τιμών. Οι πομποί συγκρίνουν την παρατηρούμενη μετατόπιση με την ονομαστική τιμή και παρέχουν ένα σήμα ρύθμισης με βάση έναν εκχωρήσιμο αλγόριθμο ελέγχου. Οι βιομάζες ελέγχου, αποθηκευμένες σε υγρή ή κοκκώδη μορφή, μετρούνται από μια διάταξη μέτρησης ελέγχου και επηρεάζουν την παράμετρο διεργασίας κατά τη ζύμωση. Ένας υπολογιστής, που ενεργεί ως αυτόματος ελεγκτής ή αναθέτει ονομαστικές τιμές σε μια υποδεέστερη συσκευή μέτρησης ελέγχου, αποθηκεύει την επιρροή των βιομαζών ελέγχου ως πρόγραμμα ή χαρακτηριστικό διάγραμμα. Οι παράμετροι της διεργασίας, που ανιχνεύονται με τη χρήση τεχνικών οργάνων και χαρακτηριστικών του ζυμούμενου υποστρώματος και του βιοαερίου, λαμβάνονται μέσω ηλεκτρικών μετατροπών που υπάγονται σε αισθητήρες. Τα δοχεία αποθήκευσης ελέγχου είναι τοποθετημένα σε μια μπαταρία με κοινή γραμμή μεταφοράς και η μέτρηση ελέγχου πραγματοποιείται στη δεξαμενή ζύμωσης ή στη συσκευή μέτρησης υποστρώματος. Χρησιμοποιείται ένα σύστημα κλιμακωτού ελέγχου, με τη ρύθμιση της βιομάζας ελέγχου να χρησιμεύει ως ρύθμιση καθοδήγησης που επικαλύπτει μια επόμενη ρύθμιση. Ως αλγόριθμος ελέγχου χρησιμοποιείται ένας αναλογικός-ολοκληρωτικός-παραγωγικός αλγόριθμος [47].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Κίνδυνοι των εγκαταστάσεων βιοαερίου

Καθώς η κοπριά επεξεργάζεται μέσω αναερόβιας χώνευσης, το παραγόμενο βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, με μικρές ποσότητες υδρόθειου, αμμωνίας και άλλων αερίων.



Εικόνα 35: Αναερόβιοι χωνευτές και ασφάλεια βιοαερίου (48)

Καθένα από αυτά τα αέρια ενέχει κίνδυνο για την ασφάλεια. Η έκρηξη, η ασφυξία, η ασθένεια και η δηλητηρίαση από υδρόθειο αποτελούν πιθανούς κινδύνους από το βιοαέριο. Όταν εργάζεται κάποιος με το βιοαέριο, απαιτείται εξαιρετική προσοχή. Ο κατάλληλος αερισμός, τα προληπτικά μέτρα, οι άριστες πρακτικές εργασίας, ο μηχανικός έλεγχος και ο κατάλληλος ατομικός προστατευτικός εξοπλισμός θα μειώσουν τους κινδύνους που σχετίζονται με το βιοαέριο. Όπου είναι εφικτό, οι εργασίες και η συντήρηση που σχετίζονται με τους χωνευτές θα πρέπει να εκτελούνται χωρίς να

εισέρχονται σε χώρους με περιορισμούς, όπως οι λάκκοι. Τα συστήματα θα πρέπει να κατασκευάζονται έτσι ώστε η συντήρηση να μην απαιτεί την είσοδο σε στενά σημεία [48].

5.1 Κίνδυνοι από βιοαέριο

Όλοι οι ακόλουθοι κίνδυνοι μπορούν εύκολα να μετριαστούν εάν η υγεία και η ασφάλεια λαμβάνονται υπόψη σε όλες τις φάσεις ανάπτυξης ενός έργου βιοαερίου. Οι κίνδυνοι περιλαμβάνουν, για παράδειγμα:

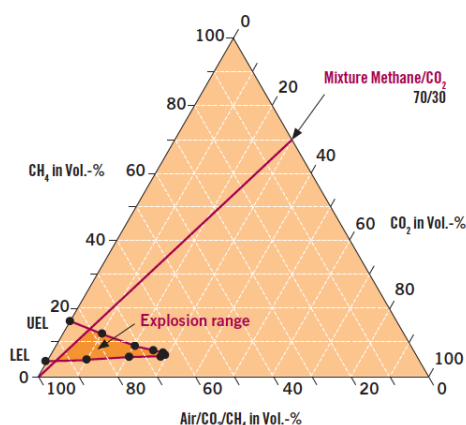
➤ Πυρκαγιά ή έκρηξη

Το μεθάνιο, το οποίο αποτελεί περίπου το 60% του βιοαερίου, παράγει εκρηκτικούς συνδυασμούς στην ατμόσφαιρα. Υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης εάν το βιοαέριο αραιωθεί μεταξύ 10% και 30% με αέρα. Αρκετές εκρήξεις σε καναδικές χοιροτροφικές μονάδες ήταν ύποπτες ότι προκλήθηκαν από έκρηξη

μεθανίου βιοαερίου το 2003. Η αμμωνία και το υδρόθειο είναι επίσης εξαιρετικά επικίνδυνα. Δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιούνται ανοικτές φλόγες κοντά σε χωνευτήρα λόγω του κινδύνου έκρηξης. Οι μεγάλες μηχανές και οι ηλεκτρικές γεννήτριες, για παράδειγμα, πρέπει να είναι οικολογικά αποδεκτές, ώστε ένας σπινθήρας να μην αναφλέξει το αέριο. Θα πρέπει να χρησιμοποιείται εκρηκτικός εξοπλισμός και ηλεκτρική υπηρεσία, καθώς και εργαλεία που δεν προκαλούν σπινθήρες, γύρω από χωνευτήρες και βιοαέριο. Απαγορεύεται το κάπνισμα κοντά στον χωνευτήρα ή σε οποιουδήποτε συνδεδεμένους σωλήνες ή εξοπλισμό βιοαερίου.

Για να δημιουργηθεί εκρηκτική ατμόσφαιρα, πρέπει να πληρούνται ταυτόχρονα οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Παρουσία καύσιμου αερίου: μεθάνιο (CH_4)
- Παρουσία οξειδωτικού: οξυγόνο από τον αέρα
- Παρουσία πηγής ανάφλεξης
- Συγκέντρωση του καύσιμου αερίου που περιλαμβάνεται στην εκρηκτική του περιοχή (LIE-LSE)
- Παρουσία περιορισμού.



Εικόνα 36:Τρίγωνο έκρηξης για βιοαέριο (48)

Για ένα βιοαέριο που αποτελείται από 60% μεθάνιο και 40% διοξείδιο του άνθρακα, το εύρος των συγκεντρώσεων του βιοαερίου στον αέρα που

απαιτούνται για την επίτευξη της εκρηκτικής περιοχής κυμαίνεται μεταξύ 8,5 και 20,7.

- Ασφυξία που προκαλούνται από αέρια όπως (Θειούχο υδρογόνο, Διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο)

Σε μια περιφραγμένη τοποθεσία όπου διατηρείται κοπριά, η ασφυξία από το βιοαέριο αποτελεί κίνδυνο. Οι Osbern και Crapo (1981) περιγράφουν τρεις ανθρώπους που πέθαναν από ασφυξία που προκλήθηκε από αέριο χοιροστασίου σε περιφραγμένο περιβάλλον. Ακόμη και οι ανοιχτοί λάκκοι κοπριάς μπορούν να απελευθερώσουν αρκετό μεθάνιο ώστε να εκτοπίσουν τον αέρα πάνω από την κοπριά και να στερήσουν την περιοχή από οξυγόνο. Κανείς δεν πρέπει να εισέρχεται ποτέ σε εγκαταστάσεις όπου αποθηκεύεται κοπριά ή όπου υπάρχει υποψία διαρροής βιοαερίου, καθώς ο φυσικός εξαερισμός δεν μπορεί να αραιώσει επαρκώς τον κίνδυνο έκρηξης. Ο αερισμός μιας εγκατάστασης δεν προσδίδει ασφάλεια, καθώς ορισμένα από τα παραγόμενα αέρια είναι βαρύτερα από τον αέρα. Το μεθάνιο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και αναμένεται να συσσωρευτεί στα ανώτερα επίπεδα του κτιρίου. Σε ποσότητες που κυμαίνονται από 5% έως 15%, είναι καταστροφικό. Αν και το μεθάνιο δεν είναι επιβλαβές αέριο, εκτοπίζει τον αέρα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται περιβάλλον με έλλειψη οξυγόνου σε περιορισμένο χώρο. Σκοτώνει με αυτόν τον τρόπο. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα άοσμο, βαρύτερο από τον αέρα αέριο. Το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να συσσωρευτεί κοντά στο δάπεδο σε ένα ήρεμο περιβάλλον. Τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα που είναι ελαφρώς ανεβασμένα αυξάνουν τον καρδιακό ρυθμό και τον ρυθμό της αναπνοής. Υψηλότερες ποσότητες εξαντλούν την παροχή οξυγόνου στην κυκλοφορία του αίματος, με αποτέλεσμα την απώλεια των αισθήσεων και την καρδιακή ανακοπή. Το υδρόθειο είναι ένα εξαιρετικά δηλητηριώδες αέριο, βαρύτερο από τον αέρα. Μυρίζει σαν χαλασμένα αυγά σε χαμηλές συγκεντρώσεις και μπορεί να προκαλέσει δυσφορία στα μάτια. Εξαλείφει την αίσθηση της όσφρησης και προκαλεί αναπνευστική παράλυση σε επιβλαβείς δόσεις. Έτσι, δεν υπάρχει καμία δυσοσμία που να προειδοποιεί για την ύπαρξή του σε επικίνδυνα και θανατηφόρα επίπεδα.

➤ Ασθένειες

Βακτήρια, ιοί και ίσως παράσιτα μπορούν να βρεθούν στα κόπρανα των ζώων. Το βιοαέριο δημιουργείται από την αναερόβια χώνευση της κοπριάς, η οποία συμβαίνει ως αποτέλεσμα των βακτηρίων που βρίσκονται στα ζωικά απόβλητα, ορισμένα από τα οποία μπορεί να προκαλέσουν ρύπανση. Για να αποφύγετε την επαφή με την κοπριά, χρησιμοποιήστε κατάλληλα μέτρα κατά τη διαχείριση των αποβλήτων και φορέστε εξοπλισμό ατομικής προστασίας. Διατηρώντας την εγκατάσταση χωνευτήρα καθαρή θα μειωθούν οι κίνδυνοι ασθενειών καθώς και η εξάπλωση των οσμών και των πληθυσμών μυγών στην εγκατάσταση χωνευτήρα.

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τις επιπτώσεις του υδρόθειου στην υγεία σε διάφορες συγκεντρώσεις.

Parts per million (ppm)	Πιθανές επιπτώσεις στην υγεία
0.01-0.3	Η οσμή είναι ανιχνεύσιμη
1-10	Μέτρια έως έντονη οσμή Ναυτία Δάκρυα Πονοκέφαλοι Απώλεια ύπνου
10-150	Ερεθισμός των ματιών Ερεθισμός των πνευμόνων
150-750	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία Ο θάνατος γίνεται πιο πιθανός
>750	Ο θάνατος μπορεί να επέλθει μέσα

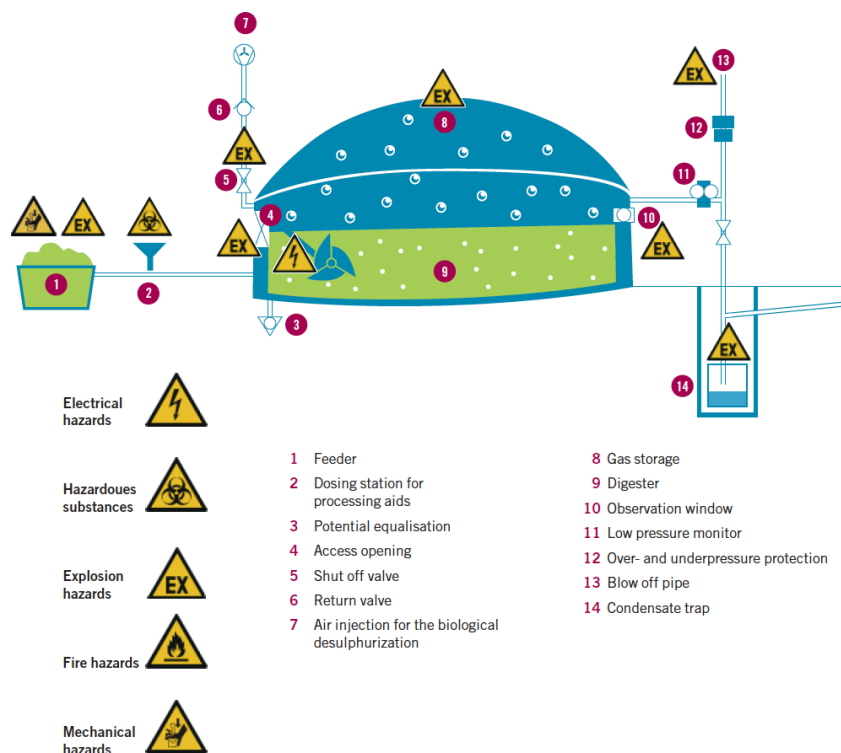
Πίνακας 7: Επιπτώσεις Υδρόθειου στον Άνθρωπο (49)

- Κίνδυνος διαρροής αερίων ή υγρών υψηλής πίεσης

Οι διαρροές αερίου ή υγρού υψηλής πίεσης συμβαίνουν όταν η πίεση στις δεξαμενές είναι χαμηλότερη ή υψηλότερη από την κανονική. Για παράδειγμα, μια βλάβη της δεξαμενής μπορεί να προκαλέσει πλημμύρα του χωνεμένου υγρού στο χώρο του εργοταξίου. Το χωνεμένο υπόλειμμα εξαπλώνεται σε κοντινά εδάφη, εάν η πλημμύρα δεν περιοριστεί εγκαίρως.

- Κίνδυνοι που συνδέονται με τον περιστρεφόμενο μηχανικό εξοπλισμό

5.1.1 Επισκόπηση των κινδύνων σε μονάδες βιοαερίου



Εικόνα 37: Επισκόπηση των κινδύνων σε μονάδες βιοαερίου (49)

5.1.2 Ζώνες με κίνδυνο έκρηξης

Πίνακας 8: Κατάταξη Κινδύνων έκρηξης(49)

εξοπλισμός	ζώνη ATEX		πιθανές αποτυχίες
χωνευτής μεταχωνευτής	εσωτερικό : αέριος ουρανός	ζώνη 2	εισαγωγή αέρα
	εξωτερικά: περίπτωση εύκαμπτης μεμβράνης	ζώνη 2: περίβλημα ακτίνας 3μέτρων	εξωτερική διαρροή
	εξωτερικά: περίπτωση σκληρού εξωφύλλου		
δεξαμενή αποθήκευσης βιοαερίου	εσωτερικά	ζώνη 2	εισαγωγή αέρα
	εξωτερικά	ζώνη 2: περίβλημα ακτίνας 3μέτρων	εξωτερική διαρροή
βαλβίδες χωνευτήρα-δεξαμενών			εσωτερική υπερπίεση που προκαλεί διαρροή αερίου προς τα έξω
μονάδα καύσης			διαρροή στην παροχή βιοαερίου
θαμμένο φρεάτιο			συσσώρευση

συμπυκνώματος		αερίου
καλυμμένη τάφρος χωνευμένου υπολείμματος	εσωτερικό : αέριος ουρανός	συσσώρευση αερίου
τεχνικός χώρος	εσωτερικά	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Βασικό θεσμικό και κανονιστικό πλαίσιο για τις μονάδες συμπαραγωγής βιοαερίου

Στον τομέα της κατασκευής και λειτουργίας μονάδων βιοαερίου, υπάρχει ένα ισχυρό νομικό και θεσμικό πλαίσιο που επιβάλλει συγκεκριμένες υποχρεώσεις στις εγκαταστάσεις αυτές. Επιπλέον, η απόκτηση διαφόρων αδειών από διάφορες αρχές είναι ζωτικής σημασίας για την απρόσκοπτη έναρξη της λειτουργίας τους.

6.1 Νομοθετικό πλαίσιο

Το κύριο νομοθετικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ είναι το ακόλουθο (66):

- **Νόμος 1559/1985** «Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 135/Α/85). Ο νόμος αυτός αποτελεί την απαρχή των ΑΠΕ αν και εφαρμόστηκε σε περιορισμένο βαθμό.
- **Νόμο 1650/1986** (ΦΕΚ 160/Α/16-10-1986) "Για την προστασία του περιβάλλοντος"
- **Νόμος 2244/1994** «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 68/Α/94). Ο νόμος καταρτίστηκε με πρότυπο τον γερμανικό νόμο (Stromeinspeisungsgesetz), και αποτέλεσε την ουσιαστική αρχή για την ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα. Ο νόμος αυτός αντικαταστάθηκε από το Νόμο 2773/99.
- **Νόμος 2773/99** «Ρύθμιση θεμάτων Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 286/Α/99). Ο νόμος αυτός αποτελεί την βάση σε θέματα

ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας (ενσωματώνει σε σημαντικό βαθμό το Νόμο 2244/94). Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει νόμος σχετικά με την θερμική ενέργεια. Ο Νόμος 2773/99 εισαγάγει μία νέα άδεια την Άδεια Παραγωγής η οποία σήμερα είναι η πρώτη άδεια που απαιτείται να εξασφαλίσει κανείς για την υλοποίηση ενός ενεργειακού έργου με μια αδειοδοτική διαδικασία που περιλαμβάνει μεταξύ των άλλων προκαταρκτική περιβαλλοντική εκτίμηση και αξιολόγηση, έγκριση περιβαλλοντικών όρων, άδεια παραγωγής, άδεια εγκατάστασης, άδεια λειτουργίας κλπ.

- **Νόμος 2941/2001** «Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. 'ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ' και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 201/Α/01). Ο νόμος αυτός συμπλήρωσε το νόμο 2773/99 με σημαντικές διατάξεις σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές τις προϋποθέσεις εγκατάστασης έργων ΑΠΕ σε δάση και το χαρακτηρισμό όλων των έργων ΑΠΕ ως έργα δημόσιας ωφέλειας.
- **Νόμος 3017/2002** «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος» (ΦΕΚ 117/Α/02). Με το Νόμο αυτό το ελληνικό κράτος επισημοποίησε τις δεσμεύσεις της χώρας για δράσεις ενάντια στην κλιματική αλλαγή.
- **Νόμος 3468/2006** «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις (ΦΕΚ 129/Α/06). Ο νέος Νόμος για της ΑΠΕ (Ν. 3468/2006) επιχειρεί να προωθήσει τις ΑΠΕ, να απλοποιήσει την αδειοδοτική διαδικασία και να αναμορφώσει την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ. Ο Νόμος αυτός θέτει το νέο περιβάλλον ηλεκτροπαραγωγής, η εγγυημένη τιμή ενέργειας αυξάνεται και η πώληση ενέργειας επεκτείνεται από 10 σε 20 χρόνια. Η νέα εγγυημένη τιμή πώλησης της ενέργειας από ΑΠΕ & Συμπαράγωγή ανέρχεται σε 73€/MWh (75,82€/MWh για το 2007) για τα έργα βιοαερίου.
- **Νόμος 3010/2002** «Εναρμόνιση του Ν. 1650/1986 με τις Οδηγίες 97/11/Ε.Ε. και 96/61/Ε.Ε., διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορέματα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 91/Α/02). Ο νόμος αυτός εναρμονίζει το εθνικό δίκαιο με την Οδηγία 96/61/ΕΚ (Οδηγία IPPC)

θέτοντας τη νέα περιβαλλοντική διαδικασία αναθεωρώντας τον βασικό νόμο για το περιβάλλον 1650/86.

- **Νόμος 3423/2005** «Εισαγωγή στην Ελληνική Αγορά των Βιοκαυσίμων και των άλλων Ανανεώσιμων Καυσίμων» (ΦΕΚ 304/Α/05). Η Οδηγία 2003/30/ΕΚ μεταφέρθηκε στο εθνικό δίκαιο μέσω αυτού το νόμου για την προώθηση των βιοκαυσίμων.
- **Ν. 3199/2003 (ΦΕΚ 280/Α/09-12-2003)** "Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000".
- **ΚΥΑ Η.Π: 15393/2332 (ΦΕΚ 1022/05-08-2002)** "Κατάταξη δημόσιων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, σύμφωνα με το άρθρο 3 του Ν.1650/86 όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 1 του Ν.3010/2002.
- **Απ. 50910/2727 (ΦΕΚ 1909/Β/22-12-2003)** "Μέτρα και όροι για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων. Εθνικός και περιφερειακός σχεδιασμός διαχείρισης".
- **Π.Δ. 211/2006 (ΦΕΚ 211/Α/05-10-2006)** "Συμπληρωματικά μέτρα εκτέλεσης του Κανονισμού 1774/2002/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 3^{ης} Οκτωβρίου 2002 για τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο".
- **Νόμος 3851/2010 (ΦΕΚ 85Α/04-06-2010):** Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματική Αλλαγής.
- **Ν. 4399/2016:** «Παραγωγή αιφόρων βιοκαυσίμων τα οποία δεν είναι βασιζόμενα σε εδώδιμα φυτά και δεν υπόκεινται σε υποχρέωση εφοδιασμού ή ανάμειξης, σύμφωνα με το άρθρο 41 Γ.Α.Κ. (αριθ. 651/2014 Γενικός Απαλλακτικός Κανονισμός της Ευρωπαϊκής Επιτροπής), καθώς και μετατροπής υφιστάμενων μονάδων παραγωγής βιοκαυσίμων βασιζόμενων σε εδώδιμα φυτά σε μονάδες παραγωγής αιφόρων βιοκαυσίμων, τα οποία δεν βασίζονται σε εδώδιμα φυτά και δεν υπόκεινται σε υποχρέωση εφοδιασμού ή ανάμειξης, σύμφωνα με το άρθρο 41 Γ.Α.Κ.»

6.2 Διαδικασία αδειοδότησης για τους σταθμούς συμπαραγωγής βιοαερίου

Ακολουθούν οι σημαντικότερες αλλαγές στη διαδικασία αδειοδότησης (Πίνακας 9).

Πίνακας 9: Αλλαγές στην αδειοδοτική διαδικασία έργων ΑΠΕ (65)

παλαιό νομοθετικό πλαίσιο	νέο νομοθετικό πλαίσιο
διαδικασία αδειοδότησης	
1) άδεια εγκατάστασης	
η μέση διάρκεια από την αίτηση έως την έκδοση εκτιμάται σε τρία έτη.	η άδεια εγκατάστασης εκδίδεται εντός ενός έτους από την κατάθεση της αντίστοιχης αίτησης αδειοδότησης παραγωγής.
2) εξαίρεση από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής	
συστήματα ΑΠΕ μέχρι 20kW	α) γεωθερμικά συστήματα $\leq 0,5\text{MW}$ β) βιομάζα ή βιοκαύσιμα $\leq 100\text{kW}$ γ) φωτοβολταϊκά συστήματα $\leq 150\text{kW}$ δ) συστήματα αιολικής ενέργειας ➤ απομονωμένα μικροδίκτυα: $\leq 20\text{kW}$ ➤ μη διασυνδεδεμένα νησιά: $\leq 40\text{kW}$ ➤ διασυνδεδεμένο σύστημα: $\leq 50\text{kW}$ ε) από άλλα συστήματα ΑΠΕ: $\leq 50\text{kW}$
3) πλαίσιο λειτουργίας για υπεράκτια αιολικά πάρκα, υβριδικούς σταθμούς και γεωθερμικές εγκαταστάσεις	
δεν υπήρχε	για πρώτη φορά καθορίζεται και επιβάλλεται μια συστηματική διαδικασία αδειοδότησης για την

	κατασκευή και λειτουργία γεωθερμικών και υβριδικών σταθμών παραγωγής ενέργειας.
4) το ανώτατο όριο των 50MW για την έκδοση άδειας λειτουργίας καταργήθηκε.	
5) προνομιακή μεταχείριση των αιτήσεων για άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που υποβάλλονται από επιχειρήσεις με πολλούς ενδιαφερόμενους (λαϊκής βάσης) και συμμετοχή της τοπικής αυτοδιοίκησης .	
τιμολογιακή πολιτική	
οι τιμές καθορίζονται από την τιμολογιακή πολιτική της ΔΕΗ.	οι τιμές για την ενέργεια που παράγεται από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α δεν βασίζονται στο τιμολογιακό σχέδιο της ΔΕΗ και διαφέρουν ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία.
1) εξισορρόπηση της αποζημίωσης των αυτοπαραγωγών για την πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται από σταθμούς ΑΠΕ με εκείνη των ανεξάρτητων παραγωγών	
2) διάρκεια σύμβασης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α.	
δεκαετής σύμβαση για την πώληση ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ	εξασφάλιση 10ετούς σύμβασης για την πώληση ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ, με δυνατότητα επέκτασης για επιπλέον 10 έτη.
ειδικό τέλος προς Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ)	
το ποσό του ειδικού τέλους που επιβάλλεται στις τοπικές κυβερνήσεις καθορίζεται σε 2%.	το ειδικό τέλος που επιβάλλεται στην τοπική αυτοδιοίκηση αυξήθηκε στο 3%, αλλά οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές που χρησιμοποιούν ηλιακά συστήματα απαλλάσσονται από την καταβολή του.

εγγυήσεις προέλευσης	
δεν προβλεπόταν	αναπτύσσεται μηχανισμός για τη χορήγηση εγγυήσεων προέλευσης για την ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ.

6.3 Τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας

Σύμφωνα με το νόμο 4254/2014, ο Διαχειριστής της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, ΛΑΓΗΕ Α.Ε., διαχειρίζεται τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Η αμοιβή περιλαμβάνεται στη σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που υπογράφεται μεταξύ της ΛΑΓΗΕ Α.Ε. και της αντίστοιχης παραγωγικής μονάδας. Η σύμβαση περιλαμβάνει επίσης άλλες διατάξεις που συμφωνούνται αμοιβαία από τα εμπλεκόμενα μέρη, όπως η ρύθμιση αποκλειστικής αγοράς για όλη την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον ΛΑΓΗΕ, η διάρκεια της σύμβασης, οι όροι πληρωμής, οι διαδικασίες μέτρησης, η τήρηση του νομικού πλαισίου και άλλοι σχετικοί όροι. Πριν από τη σύμβαση με τον ΛΑΓΗΕ, πρέπει να καταρτιστεί συμφωνία σύνδεσης με τον ΔΕΔΔΗΕ, τον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

Φτάνοντας στο τέλος της εργασίας βγαίνουν ορισμένα συμπεράσματα που πρέπει να αναφερθούν. Πρώτα από όλα το βιοαέριο είτε από θέμα αποθεμάτων είτε από θέμα ενεργειακής απόδοσης αποτελεί μια ισχυρή πηγή που μπορεί να βασιστεί ο άνθρωπος μελλοντικά καθώς είναι πηγή ενέργειας φιλική προς το περιβάλλον. Στο άμεσο μέλλον μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως τα ορυκτά καύσιμα, με αποτέλεσμα την μείωση των ρύπων που θα δημιουργούνταν. Ωστόσο για να χτιστεί ένα εργοστάσιο του συγκεκριμένου βελινεκούς θα πρέπει ο επενδυτής να λάβει υπόψην του όλους του παραπάνω παράγοντες για τον ομαλό σχεδιασμό αλλά και την λειτουργικότητα της υποψήφιας μονάδας. Οφείλει να παραμείνει ενήμερος διότι γίνονται διαρκώς αλλαγές στο νομοθετικό πλαίσιο του συγκεκριμένου

κλάδου διότι η ανάπτυξη πραγματοποιείται με γρήγορους ρυθμούς. Τέλος η παραγωγή ενέργειας από βιοαέριο με την σωστή διαχείριση μπορεί να προσφέρει αρκετά πράγματα και στον γενικό πληθυσμό αλλά και στο ίδιο το περιβάλλον.

Βιβλιογραφία:

1. el. Green., [<https://el.green-ecolog.com/15339204-what-is-biogas-and-its-uses>, Ανακτήθηκε 01/05/2023].
2. He, Pin Jing. "Anaerobic Digestion: An Intriguing Long History in China." Waste Manage, (2010) [<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.002>. Ανακτήθηκε 1/05/2023].
3. Ni, Ji-Qin, and Edmond-Jacques N. "New Concept for the Evaluation of Rural Biogas Management in Developing Countries." Energy Conversion and Management, (2005) [[https://doi.org/10.1016/0196-8904\(95\)00354-1](https://doi.org/10.1016/0196-8904(95)00354-1). Ανακτήθηκε 1/05/2023].
4. Miller, Rill A. "Anaerobic Digest - BioCycle.", (2013), [www.biocycle.net/anaerobic-digest-25/. Ανακτήθηκε 1/05/2023].
5. Γιακουμέλος, Λ. "Τεχνολογίες Παραγωγής Και Αξιοποίησης Του Βιοαερίου - PDF ΔΩΡΕΑΝ Λήψη." Docplayer.gr, (2012), [<https://docplayer.gr/4057303-Tehnologies-paragogis-kai-axiopoiiisis-toy-vioaerioy.html>,Ανακτήθηκε 25/05/2023].
6. Richards, Brian K "In Situ Methane Enrichment in Methanogenic Energy Crop Digesters.", Department of Agricultural and Biological Engineering, Riley-Robb Hall, Cornell University, Ithaca, New York, (1994) [[https://doi.org/10.1016/0961-9534\(94\)90067-1](https://doi.org/10.1016/0961-9534(94)90067-1), Ανακτήθηκε 25/05/2023].
7. White, Thomas, and Jewell W. "Methods for Kinetic Analysis of Methane Fermentation in High Solids Biomass Digesters." Biomass and Bioenergy, Department of Agricultural and Biological Engineering, Riley-Robb Hall, Cornell University, Ithaca, NY, U.S.A., (2003) [[https://doi.org/10.1016/0961-9534\(91\)90028-B](https://doi.org/10.1016/0961-9534(91)90028-B), Ανακτήθηκε 25/05/2023].
8. Petersson A., Wellinger A. Biogas upgrading technologies - Developments and innovations. Task 37: Energy from biogas and Landfill Gas. Paris, France: IEA Bioenergy; (2006). [<https://www.ieabioenergy.com/publications/biogas-upgrading-technologies-developments-and-innovations/>, Ανακτήθηκε 25/05/2023].
9. Tomassetti L, Segreto M, Torre M, Environmental impact of biogas in Europe. In: Biomass Sustainability, Impacts and Policies, Lisbon, Portugal. (2019),[https://www.researchgate.net/profile/Valerio-Paolini-2/publication/334697370_Environmental_Impact_of_Biogas_in_Europe/links/5d3ac3ea92851cd0468719f6/Environmental-Impact-of-Biogas-in-Europe.pdf , Ανακτήθηκε 25/05/2023].
10. Κωστόπουλος, Γ. (2021), ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΥΡΟΚΟΜΕΙΩΝ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΧΑΝΙΩΝ, Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος,
[file:///C:/Users/xkotr/Downloads/Kostopoulos_Giorgos_Dip_2021.pdf,Ανακτήθηκε 25/05/2023].

11. Adnan AI, Ong MY, Nomanbhay S, Chew KW, Show PL. Technologies for biogas upgrading to biomethane: A review. Bioengineering. (2019), [https://www.mdpi.com/2306-5354/6/4/92, Ανακτήθηκε 25/05/2023]
12. AgroEnergy. “Πλεονεκτήματα.” Agroenergy.gr, [www.agroenergy.gr/content/%CF%80%CE%BB%CE%B5%CE%BF%CE%BD%CE%B5%CE%BA%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1., Ανακτήθηκε 26/05/2023].
13. Bond T, Templeton MR. History, and future of domestic biogas plants in the developing world. Energy for Sustainable Development. (2011), [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0973082611000780, Ανακτήθηκε 25/05/2023].
14. Σιούλας, Κ., Εγχειρίδιο Βιοαερίου. 1st έκδοση., Αυστρία, (2010), [eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TMC233/%CE%92%CE%B9%CE%B2%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B1/Biogas_Handbook-Greece.pdf., Ανακτήθηκε 26 /05/ 2023].
15. Turco M, Ausiello A, Micoli L. Treatment of Biogas for Feeding High Temperature Fuel Cells: Removal of Harmful Compounds by Adsorption Processes. Cham, (2016), [https://shorturl.at/hKTW1, Ανακτήθηκε 26/05/2023].
16. Anaerobic Digestion Community. “The Many Uses of Biogas: A Sustainable Energy Source.” (2019), [anaerobic-digestion.com/10-uses-of-biogas/. Ανακτήθηκε 27/05/2023].
17. Calderón, C., and Geelen J. “Bioenergy Europe Statistical Report.” Report Biogas, (2022), [www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/07/SR22_Biogas_Fullversion.pdf. Ανακτήθηκε 27/05/2023].
18. Ελληνικός Σύνδεσμος Παραγωγών Βιοαερίου. “Ιστορικό – Ελληνικός Σύνδεσμος Παραγωγών Βιοαερίου – ΕΣΠΑΒ.” [habio.gr/%ce%b9%cf%83%cf%84%ce%bf%cf%81%ce%b9%ce%ba%cf%8c/, Ανακτήθηκε 28 /05/2023].
19. Ζαφείρης Χ., Biogas in Greece. Current situation and perspectives. European Biogas Workshop proceedings “The Future of Biogas in Europe – III”, University of Southern Denmark Esbjerg, (2007), [http://ramiran.uvlf.sk/doc07/Biogas%20III/Proceedings%20Biogas.pdf, Ανακτήθηκε 20/7/2023].
20. ΚΑΠΕ. “ΚΑΠΕ.”, [www.cres.gr/cres/index.html., Ανακτήθηκε 28/05/2023].
21. Γιακουμέλος Λ , Τεχνολογίες Παραγωγής και Αξιοποίησης του Βιοαερίου Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), (2012) ,[http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/biogazin_prevaza_oktob/04_E.Giakou melos_BiogasIN_05102012_Preveza.pdf, Ανακτήθηκε 19/08/2023].

22. Ζαφείρης Χ. Ενεργειακή Αξιοποίηση Βιοαερίου: Τάσεις και Προοπτικές, Δελτίο Πανελληνίου Συλλόγου Χημικών Μηχανικών, (2008), [<https://www.iene.gr/energyB2B/articlefiles/biomaza/zafeiris-kape.pdf>, Ανακτήθηκε 19/08/2023].
23. Portillo, “Τι είναι η συμπαραγωγή”; (2016), [www.renovablesverdes.com/el/cogeneracion/]. Ανακτήθηκε 1/06 2023].
24. EUBIA. “Cogeneration – European Biomass Industry Association.” European Biomass Industry Association, (2021), [www.eubia.org/cms/wiki-biomass/combustion/cogeneration/]. Ανακτήθηκε 30 /05/ 2023].
25. pb.edu.pl. “COGENERATION SYSTEMS.” Buildings, (2018), [<https://pb.edu.pl/oficyna-wydawnicza/wp-content/uploads/sites/4/2018/12/Buildings-2020-part2-rozdz7.pdf>, Ανακτήθηκε 30/05/2023].
26. Μαρνέλλος,Γ., << Ειδικά Κεφάλαια Παραγωγής Ενέργειας>>, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών , Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας , (2017) , [https://eclass.uowm.gr/modules/document/file.php/MECH101/%CE%94%CE%99%CE%91%CE%9B%CE%95%CE%9E%CE%95%CE%99%CE%A3%0_%CE%95%CE%B9%CF%83%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE_oc.pdf, Ανακτήθηκε 30/05/2023].
27. B. Amigun and H. V. Blottnitz, “Investigation of scale economies for African biogas installations,” Energy Conversion and Managment, (2007),[<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890407001458>, Ανακτήθηκε 15/06/2023].
28. D. Kour, K. L. Rana, N. Yadav, Technologies for biofuel production: current development, challenges, and prospects, (2019), [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-14463-0_1, Ανακτήθηκε 12/05/2023].
29. M. Mohammad, W. W. Mohamad, “Natural gas as a key alternative energy source in sustainable renewable energy transition: a mini review,” Frontiers in Energy Research, (2021), [<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2021.625023/full>, Ανακτήθηκε 11/08/2023].
30. J. Arogo, J. Ignosh, and E. Bendfeldt, Biomethane production technology, (2018) ,[https://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/442/442-881/BSE-240.pdf, Ανακτήθηκε 05/06/2021].
31. T. Bond and M. R. Templeton, “History and future of domestic Biogas plants in the developing world,” Energy for sustainable Development, (2011), [<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0973082611000780>, Ανακτήθηκε 15/06/2023].

32. A. Karlsson, A. Björn, S. S. Yekta, and B. Svensson, Improvement of the biogas production process, (2014), [<http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:776575/FULLTEXT01.pdf>, Ανακτήθηκε 17/07/2023].
 33. Dinopoulou G., Rudd T., Lester J.N. Anaerobic acidogenesis of a complex wastewater: I. The influence of operational parameters on reactor performance. *Biotechnol.* (2015), [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18584703/>, Ανακτήθηκε 14/05/2023].
 34. P. C. Ghimire, A report on selection of biogas plant design and formulation of quality control framework, publication, (2022) [<https://www.hindawi.com/journals/jen/2022/8750221/>, Ανακτήθηκε 04/08/2023].
 35. P. L. McCarty, "Anaerobic waste treatment fundamentals," Public Works, (1964). [https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/Chapter_16_-_Anaerobic_Wastewater_Treatment.pdf, Ανακτήθηκε 30/08/2023].
- Borja, R, Sánchez, E, Weiland, P. Influence of ammonia concentration on thermophilic anaerobic digestion of cattle manure in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors. *Process Biochem* (1996), [[https://doi.org/10.1016/0032-9592\(95\)00099-2](https://doi.org/10.1016/0032-9592(95)00099-2), Ανακτήθηκε 07/06/2023]
36. OHIO UNIVERSITY. "Economic Implications of Anaerobic Digestion for Bioenergy Production and Waste Management." (2018), [ohioline.osu.edu/factsheet/fabe-6611, Ανακτήθηκε 06/07/2023].
 37. Zafar |, "The Benefits of Anaerobic Digestion of Organic Wastes." *EcoMENA*, (2023), [www.ecomena.org/merit-anaerobic-digestion/, Ανακτήθηκε 04/05/2023].
 38. Stuart, P., The Advantages and Disadvantages of Anaerobic Digestion as A Renewable Energy Source, (2003), [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiU36_WntiBAxVQ3AIHHW17CmMQFnoECBsQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.maths.tcd.ie%2F~jlennon%2Fminiprojects%2Fbiomass.doc&usg=AOvVaw0ZqgztYRsVkbqMRjpdtebm&opi=89978449, Ανακτήθηκε 10/06/2023].
 39. Md Mosleh, Uddin. "Anaerobic Digestion Fundamentals, Challenges, and Technological Advances." (2022), [www.degruyter.com/document/doi/10.1515/psr-2021-0068/html#j_psr-2021-0068_eq_001, Ανακτήθηκε 08/08/2023].

40. Energypedia. "Biogas Recovery - Energypedia." Energypedia.info, (2016), [energypedia.info/wiki/Biogas_Recovery, Ανακτήθηκε 18/08/2023].
41. Zafar |, Salman. "Types of Biogas Storage Systems | BioEnergy Consult." Bioenergy Consult, (2021), [www.bioenergyconsult.com/biogas-storage/, Ανακτήθηκε 18/08/2023].
42. Assessment, US EPA National Center for Environmental. "Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th Edition." (2009), [hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/5016581. Ανακτήθηκε 26/04/2023].
43. Carlsson C. Production of Liquid Biogas, LBG, with Cryogenic and Conventional Upgrading Technology -Description of Systems and Evaluations of Energy Balances Institutionen. (2008), [https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=4468178&fileId=4469242, Ανακτήθηκε 12/07/2023].
44. Augelletti P, "Pressure Swing Adsorption for Biogas Upgrading. A New Process Configuration for the Separation of Biomethane and Carbon Dioxide." Journal of Cleaner Production, (2017), [https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.013, Ανακτήθηκε 04/08/2023].
45. Riva, Mauro, et al. "Solid–Liquid–Vapor Equilibrium Models for Cryogenic Biogas Upgrading." Industrial & Engineering Chemistry Research, (2014), [https://doi.org/10.1021/ie502957x, Ανακτήθηκε 18/06/2023].
46. Bürger A., Control Method for Biogas Installations, (2009), [patents.google.com/patent/EP1762607A1/en, Ανακτήθηκε 18/06/2023].
47. Patricia A., "Anaerobic Digesters and Biogas Safety – Farm Energy., (2019), [farm-energy.extension.org/anaerobic-digesters-and-biogas-safety/. Ανακτήθηκε 14/08/2023].
48. Marjolaine. "Risks and Safety Measures for Anaerobic Digestion: How Can You Make Your Plant Safer? • BiogasWorld.", (2019), [www.biogasworld.com/news/safety-precautions-anaerobic-digestion-systems/, Ανακτήθηκε 02/08/2023].
49. Yusaf, T.F. MILD COMBUSTION: THE FUTURE for LEAN and CLEAN COMBUSTION. Kuantan, Malaysia, (2013), [file:///C:/Users/xkotr/Downloads/ICMER2013-ProfTalalYusafKeynotePaper.pdf., Ανακτήθηκε 30/08/2023].

50. Zare, Mansour, "Studying the Efficiency of Respiratory Masks Used by Workers in Refractory Companies for Controlling Exposure to Refractory Ceramic Fibers and Particles in a Steel Industry." (2018), [<https://doi.org/10.5812/jhealthscope.63941>. Ανακτήθηκε 18/7/2023].
51. Ζαφείρης, Χ. "Η Ενεργειακή Αξιοποίηση Του Βιοαερίου (Α')." Πεμπτούσια, (2013), [www.pemptousia.gr/2013/06/i-energiaki-axiopiisi-tou-vioaerio/. Ανακτήθηκε 04/09/2023].
52. Zafiris, C., and European Biogas Workshop. Biogas in Greece: Current Situation and Perspectives. (2007),[Christos_Zafiris (uulf.sk), Ανακτήθηκε 04/09/2023].
53. Μανέτα Ν., «Παραγωγή Βιομεθανίου από Στερεά Απόβλητα», ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ, (2019) ,[https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/9668/Maneta_Nikoletta.pdf?sequence=1&isAllowed=y, Ανακτήθηκε 04/05/2023].
54. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (STMUGV) (2004) [www.ustmugv.bayern.de, Ανακτήθηκε 10/08/2023].
55. "Company." Bioceta, [bioceta.com/company/. Ανακτήθηκε 04/09/2023].
56. Prassl H. The Biogas Market in Southern and Eastern Europe: Promoting Biogas by Non-technical Activities. - Proceedings of the 16th European Biomass Conference and Exhibition; (2008), [<https://research.utwente.nl/en/publications/upgrading-of-bio-liquids-for-co-processing-in-standard-refinery-u>, Ανακτήθηκε 04/09/2023].
57. KESHENG CHEMICAL. "Home." Keshengchem, [www.keshengchemical.com/. Ανακτήθηκε 04/07/2023].
58. Envima. "Φωτογραφίες Στοιχείων Εγκατάστασης Βιοερίου" [Www.envima.gr,www.envima.gr/el/biogas_plants/fotografies_stoixeiwn_egkatastasis_bioaeriou. Ανακτήθηκε 04/09/2023].
59. Agrotel. "External Gas Storage." Agrotel, [agrotel.eu/en/produkt/externer-gasspeicher/. Ανακτήθηκε 04/09/2023].
60. WesTech. "Digester Covers.", [www.westech-inc.com/products/digester-covers., Ανακτήθηκε 04/09/2023].
61. J. I. Huertas, N. Giraldo and S. Izquierdo, Mass transfer in chemical engineering processes, J. MarkošIntech, (2011), [https://www.studmed.ru/markos-j-ed-mass-transfer-in-chemical-engineering-processes_3e7cfd01023.html, Ανακτήθηκε 04/09/2023].
62. Zafiris, C. Biogas in Greece: Actual Situation and Perspectives. (2016), [<https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Praesentationen/2016/120531-im>

ifat-10-griechenland.pdf?__blob=publicationFile&v=7&fbclid=IwAR20DxkC7yvl-DePrUc-LrUhTzSHHGYu96V_2xGCl8KrXNJ6Rbl-l_cyEWo, Ανακτήθηκε 04/09/2023].

63. IEA Bioenergy. "Plant Lists - IEA Bioenergy Task 37.", [www.iea-biogas.net/plant-list.html., Ανακτήθηκε 05/09/2023].