



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ & ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ
ΣΤΗΝ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ**

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

Αξιοποίηση των κτηνοτροφικών αποβλήτων για την παραγωγή
βιοαερίου: μια βιώσιμη προοπτική

Μαρία Γ. Παναγούλια

Επιβλέπων καθηγητής:
Παππάς Αθανάσιος, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
2022**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

Αξιοποίηση των κτηνοτροφικών αποβλήτων για την παραγωγή
βιοαερίου: μια βιώσιμη προοπτική

Utilization of livestock waste for biogas production:
a sustainable perspective

Μαρία Γ. Παναγούλια

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Παππάς Αθανάσιος, Επίκουρος Καθηγητής (Επιβλέπων)

Τσιμπούκας Κωνσταντίνος, Καθηγητής ΓΠΑ

Γκολιομύτης Μιχαήλ, Επίκουρος Καθηγητής

Αξιοποίηση των κτηνοτροφικών αποβλήτων για την παραγωγή βιοαερίου: μια βιώσιμη προοπτική

*ΔΙΠΜΣ: Επιχειρηματικότητα & Συμβουλευτική στην Αγροτική Ανάπτυξη
Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας & Ανάπτυξης
Τμήμα Ζωικής Παραγωγής*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού, η ανάπτυξη των κοινωνιών και η αύξηση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων έχει οδηγήσει στην υπέρμετρη χρήση των πηγών ενέργειας. Οι συμβατικές πηγές ενέργειας δεν είναι ανεξάντλητες και αυτό αποτελεί τόσο ένα πρακτικό όσο και ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα που χρήζει άμεσης αντιμετώπισης. Λύση σε αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε να αποτελέσει η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι οποίες είναι και ανεξάντλητες. Μία από αυτές τις πηγές είναι το βιοαέριο. Το βιοαέριο αποτελείται από διαφορετικά αέρια τα οποία παράγονται μέσω της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης χωρίς οξυγόνο και παράγεται με την εκμετάλλευση της βιομάζας. Ως βιομάζα περιγράφεται η ύλη βιολογικής προέλευσης που δεν έχει μετατραπεί χημικά και δεν περιέχονται πρόσθετα. Η μετατροπή της βιομάζας σε βιοαέριο γίνεται με την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Η χρήση βιοαερίου έχει πολλά πλεονεκτήματα, τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά και έχει πολλές χρήσεις όπως η παραγωγή ηλεκτρισμού και ενέργειας. Το βιοαέριο αποτελεί επίσης λύση για το πρόβλημα της διάθεσης των κτηνοτροφικών αποβλήτων, η οποία είναι ακριβή. Συνεπώς, τα οφέλη για τους γεωργούς που έχουν συνδυάσει τις αγροτικές τους δραστηριότητες με την παραγωγή βιοαερίου είναι πολλά καθώς έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν εισόδημά τους και να αξιοποιήσουν τα απόβλητά τους με βιώσιμο τρόπο. Όταν αναβαθμίζεται το βιοαέριο παράγεται βιομεθάνιο το οποίο χρησιμοποιείται για τις μεταφορές, τη θέρμανση και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοαερίου και βιομεθανίου μπορεί να είναι απόβλητα βοοτροφείων, αγελαδοτροφικών μονάδων, χοιροστασίων, πτηνοτροφείων, απόβλητα σφαγείου και υπολείμματα τυροκομείων και φυσικά συνδυασμός αυτών. Μια τυπική μονάδα παραγωγής βιοαερίου ουσιαστικά αποτελείται από τέσσερα στάδια, την διαχείριση των πρώτων υλών, την παραγωγή βιοαερίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης, του καθαρισμού και της καύσης του βιοαερίου με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και τέλος την αποθήκευση του χωνεμένου υπολείμματος. Το μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης του βιοαερίου είναι για τον ηλεκτρισμό, ως καύσιμο οχημάτων αλλά και για θέρμανση. Τα επόμενα έτη αναμένεται αύξηση της αγοράς του βιοαερίου, ειδικά με τις εξελίξεις στην παγκόσμια αύξηση της τιμής του ρεύματος και των καυσίμων. Το βιοαέριο αποτελεί μια βιώσιμη οικονομικά και περιβαλλοντικά λύση.

Επιστημονική περιοχή: αξιοποίηση αποβλήτων

Λέξεις κλειδιά: βιοαέριο, απόβλητα, κτηνοτροφία

Utilization of livestock waste for biogas production: a sustainable perspective.

*MSc Entrepreneurship & Consulting in Rural Development
Department of Agriculture Economy & Development
Department of Animal Production Science*

ABSTRACT

The rapid increase of population, the growth of societies and human activities has led to the overuse of natural power resources. Common power resources are not relentless and that's a practical and environmental problem that should be instantly encountered. A solution to this problem could be the use of renewable sources of energy which are relentless. One of them is biogas. Biogas is a mix of multiple gases produced by decomposition of organic matter in the absence of oxygen and is produced using biomass. With the term biomass is described the biological based material which hasn't been transformed with chemicals and is free of additives. The transformation of biomass to biogas is achieved through the process of anaerobic digestion. The use of biogas has multiple benefits, not only economically but also environmentally and has lots of uses such as the produce of electricity and electrical power. Biogas is also a solution for the disposal of livestock waste, which is expensive. Considering all the above, there are a lot of benefits for the farmers who have combined their farming activities with the production of biogas such as utilizing their waste in a sustainable way and increasing their income. Upgrading of biogas leads to the production of biomethane which is used for transports, heating and other activities. Raw materials used for the produce of biogas and biomethane could be cattle, dairy, pig and poultry farms or cheese dairy waste, all of which could also be combined. A standard biogas production unit is consisted of four stages, raw material management, biogas production through anaerobic digestion, cleaning and combusting biogas in order to produce electrical and thermal power and storage of the digested residue. Biogas is mostly used for electricity, as a fuel for vehicles and the production of heat. The biogas market is expected to grow in the years to come, especially with the global increase in electricity and fuel prices. Biogas is an economically and environmentally sustainable solution.

Scientific area: waste management

Keywords: biogas, waste, livestock

ΔΗΛΩΣΗ ΕΡΓΟΥ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Μαρία Παναγούλια, δηλώνω ότι το κείμενο της μελέτης αποτελεί δικό μου, μη υποβοηθούμενο πόνημα. Υποβάλλεται σε μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην Επιχειρηματικότητα και Συμβουλευτική στην Αγροτική Ανάπτυξη του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Δεν έχει υποβληθεί ποτέ πριν για οποιοδήποτε λόγο ή για εξέταση σε οποιοδήποτε άλλο πανεπιστήμιο ή εκπαιδευτικό ίδρυμα της χώρας ή του εξωτερικού.

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της.

ΜΑΡΙΑ ΠΑΝΑΓΟΥΛΙΑ

12/5/22

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε για την απόκτηση του τίτλου μεταπτυχιακών σπουδών του Διατμηματικού Προγράμματος « Επιχειρηματικότητα και Συμβουλευτική στην Αγροτική Ανάπτυξη», του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου και Επίκουρο Καθηγητή ΓΠΑ, κύριο Αθανάσιο Παππά. Η βοήθεια και η διαθεσιμότητά του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής ήταν πολύτιμες.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρία ΤΕΤΩΡΟΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ Α.Ε. και ιδιαίτερα τον κύριο Νικάκη, όπως και την εταιρία Πίνδος και ιδιαίτερα τον γεωπόνο κύριο Τζαμίχα Κωνσταντίνο για τις χρήσιμες πληροφορίες που μου παρείχαν.

Περιεχόμενα

Πίνακας Εικόνων	vii
Πίνακας Πινάκων.....	vii
1. Εισαγωγή.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	4
2.1. Κυκλική οικονομία.....	4
2.2. Οι βίο-οικονομίες.....	5
2.3. Βιομάζα.....	6
2.4. Παραγωγή βιοαερίου.....	9
2.5. Ιδιότητες βιοαερίου	10
2.6. Χρήσεις βιοαερίου	12
2.7. Τρόποι βελτίωσης παραγωγής βιοαερίου.....	13
2.8. Παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή του βιοαερίου	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	15
3.1. Αναερόβια χώνευση.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	19
4.1. Δυνατότητες και προοπτικές	19
4.2. Τα οφέλη της χρήσης του βιοαερίου.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	23
5.1. Το βιομεθάνιο.....	23
5.2. Οι τεχνολογίες αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο.....	25
5.3. Η αξιολόγηση των διαδρομών αναβάθμισης του βιοαερίου	27
5.4. Το βιοαέριο ως καύσιμο οχημάτων.....	27
5.5. Μετατροπή βιοαερίου σε υγροποιημένο βιομεθάνιο: προκλήσεις και μελλοντικές προοπτικές.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	31
6.1. Πρώτες ύλες	31
6.2. Κτηνοτροφικά απόβλητα	32
6.3. Αποδόσεις ανάλογα με την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται.....	35
6.4. Πτηνοτροφικά απόβλητα και αξιοποίηση	35
6.5. Αξιοποίηση αποβλήτων βουστασίου.....	38
6.6. Αξιοποίηση αποβλήτων χοιροστασίου.....	40
6.7. Πιθανότητα παραγωγής βιοαερίου από τα απόβλητα των υδατοκαλλιεργειών ..	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	42

7.1. Μονάδα παραγωγής βιοαερίου	42
Εικόνα 14 Τυπική μονάδα παραγωγής βιοαερίου (Σιούλας, 2008).....	44
7.1.1. Οι αγροτικές μονάδες βιοαερίου	45
7.1.2. Βιομηχανικές μονάδες βιοαερίου	46
7.2. Υποστρώματα	46
7.3. Χωνευτές	47
7.4. Τα είδη των αντιδραστήρων	48
7.5. Κατασκευή δεξαμενών και βιοαντιδραστήρων από ανοξείδωτο χάλυβα	49
7.6. Εξοπλισμός χωνευτήρα	49
7.7. Τεχνολογία ανάδευσης	50
7.8. Καθαρισμός βιοαερίου	51
7.9. Αποθείωση βιοαερίου	51
7.10. Ξήρανση βιοαερίου	51
7.11. Αποθήκευση βιοαερίου	52
7.12. Ασφάλεια της μονάδας βιοαερίου	52
7.13. Κόστος κατασκευής και εγκατάστασης	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	54
8.1. Το βιοαέριο στην Ελλάδα	54
8.2. Οι μονάδες παραγωγής βιοαερίου στην Ελλάδα	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9	56
9.1. Νομοθετικό πλαίσιο	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10	60
10.1. Βιωσιμότητα για το μέλλον και προοπτικές	60
Βιβλιογραφία	65
Ελληνική Βιβλιογραφία	66

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 Η κυκλική οικονομία.....	4
Εικόνα 2 Διεργασία παραγωγής βιομάζας και οξυγόνου	6
Εικόνα 3 Παραγωγή ζωικών αποβλήτων	8
Εικόνα 4 Παραγωγή βιοαερίου	9
Εικόνα 5 Η παραγωγή βιοαερίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης	10
Εικόνα 6 Τελικές χρήσεις βιοαερίου	13
Εικόνα 7 Η διαδικασία της Αναερόβιας Χώνευσης	15
Εικόνα 8 Η σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας υδρόλυσης	16
Εικόνα 9 Τα 4 στάδια της Α.Χ.	17
Εικόνα 10 Η εφοδιαστική αλυσίδα του βιοαερίου	23
Εικόνα 11 Σύγκριση βιοκαυσίμων για τις μεταφορές.....	28
Εικόνα 12 Παραγωγή βιοαερίου και βιομεθανίου	30
Εικόνα 13 Μονάδα Παραγωγής Βιοαερίου.....	43
Εικόνα 14 Τυπική μονάδα παραγωγής βιοαερίου	44
Εικόνα 15 Διαδικασία παραγωγής	44
Εικόνα 16 Διεργασία παραγωγής βιοαερίου στη μονάδα	45
Εικόνα 17 Διαδικασία παραγωγής βιοαερίου.....	47
Εικόνα 18 Παραγωγή βιοαερίου σε βιοαντιδραστήρα.....	48
Εικόνα 19 Μονάδα παραγωγής	50
Εικόνα 20 Παγκόσμια αγορά Βιοαερίου και παγκόσμιο μέγεθος αγοράς	60
Εικόνα 21 Παγκόσμια αγορά βιοαερίου και πρόβλεψη μεγέθους ως το 2025.....	61
Εικόνα 22 Πορεία των τιμών του φυσικού αερίου στην Ευρώπη.....	61
Εικόνα 23 Πορεία τιμών στα καύσιμα	62

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1 Η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	1
Πίνακας 2 Η σύσταση του βιοαερίου (Σιούλας, 2008)	11
Πίνακας 3 Διαχρονική εξέλιξη εγκατάστασης μονάδων βιοαερίου στην Ε.Ε. (Χρυσογιάννη, 2019).....	11
Πίνακας 4 Δαπάνες για περιβαλλοντική προστασία κατά περιβαλλοντικό πεδίο.....	22
Πίνακας 5 Δαπάνες για περιβαλλοντική προστασία κατά περιβαλλοντικό πεδίο (Cystat)	22
Πίνακας 6 Μέσος όρος χαρακτηριστικών κτηνοτροφικών αποβλήτων (kg/ημέρα) (Μαρίνης, 2017).....	34
Πίνακας 7 Παραγόμενα απόβλητα (τόνοι/έτος) και ισχύς (MW) από διάφορες πηγές βιομάζας (Μαρίνης, 2017)	34
Πίνακας 8 Πρώτες ύλες παραγωγής βιοαερίου (Σιούλας, 2008)	35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Εισαγωγή

Οι σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας για τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες όπως οι μεταφορές, η λειτουργία εργοστασίων, η θέρμανση κ.ά. Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού, η ανάπτυξη των κοινωνιών και η αύξηση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων έχει οδηγήσει στην υπέρμετρη χρήση των πηγών ενέργειας. Οι συμβατικές πηγές ενέργειας δεν είναι ανεξάντλητες και αυτό αποτελεί τόσο ένα πρακτικό όσο και ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα που χρήζει άμεσης αντιμετώπισης. Λύση σε αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε να αποτελέσει η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι οποίες θεωρούνται ανεξάντλητες.

Πίνακας 1 Η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας



Στο παραπάνω γράφημα (Πίνακας 1) φαίνεται η παγκόσμια τάση στην παραγωγή ενέργειας. Φαίνεται πως η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας στρέφεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μειώνονται οι λιγνιτικές πηγές παραγωγής ενέργειας (Γιουλδούρη, 2021). Τα ορυκτά καύσιμα είναι πεπερασμένα και ρυπογόνα και το γεγονός αυτό έχει εντατικοποιήσει την αναζήτηση για νέες αποδοτικότερες και πιο φιλικές προς το περιβάλλον ενεργειακές πηγές (Khan, et al., 2021). Το αποτύπωμα άνθρακα των ορυκτών καυσίμων έχει προκαλέσει πληθώρα προκλήσεων σε παγκόσμιο επίπεδο όπως

η υπερθέρμανση του πλανήτη και η κλιματική αλλαγή με δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων. Ένας σοβαρός αντίκτυπος της αύξησης των τιμών στα καύσιμα είναι η οικονομική πίεση των κρατών. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση της αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξάνεται συνεχώς λόγω των χαμηλών αποτυπωμάτων άνθρακα και των θετικών επιδράσεων που παρουσιάζει η χρήση τους στο περιβάλλον (Khan, et al., 2021). Το **βιοαέριο** ορίζεται ως ένα μίγμα διαφορετικών αερίων που παράγονται από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης απουσία οξυγόνου (Khan et al., 2021). Με τον όρο **βιομάζα** περιγράφεται η ύλη βιολογικής προέλευσης που δεν έχει υποστεί χημικά μετατροπή και δεν περιέχει πρόσθετα (Κοντοκώστας, 2009). Η βιομάζα λοιπόν αποτελεί την ύλη, η οποία έχει οργανική προέλευση, προέρχεται δηλαδή από τους έμβιους οργανισμούς είτε άμεσα είτε έμμεσα (Ράπτη, 2019). Η αναερόβια αποικοδόμηση της οργανικής ύλης συναντάται οπουδήποτε οι συνθήκες το επιτρέπουν. Η αναερόβια χώνευση ως διεργασία μετατροπής της οργανικής ύλης σε ανόργανη μειώνει την αρχική μάζα της οργανικής ύλης και συγχρόνως παράγει διαχειρίσιμη και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας με τη μορφή του βιοαερίου (Πούμπουρας, 2015). Η μετατροπή της βιομάζας σε βιοαέριο γίνεται με την διαδικασία της **αναερόβιας χώνευσης (AX)**. Κατά την διεργασία αυτή γίνεται η αποδόμηση σύνθετων οργανικών μορίων προς απλούστερα μόρια και διακρίνεται σε τρεις φάσεις, τη φάση της υδρόλυσης, την όξινη φάση και τη φάση της μεθανοποίησης οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω. Η παραγωγή **βιομεθανίου** προκύπτει από το βιοαέριο και αποτελεί μια ιδανική λύση για θέρμανση, μεταφορές και άλλες χρήσεις. Η παραγωγή και χρήση βιοαερίου έχει υπολογιστεί πως θα διπλασιαστεί μέσα σε μια δεκαετία από 14.5 GW σε 29.5 GW (Gigawatt) (Khan, et al., 2021). Η βιοενέργεια είναι ο φορέας ενέργειας που παράγεται από τη χρήση του βιοαερίου και γενικότερα των βιοκαυσίμων. Η προέλευση της βιομάζας μπορεί να είναι από ενεργειακά φυτά, αγροτικά υπολείμματα, οργανικά παραπροϊόντα και οργανικά απόβλητα (Κοντοκώστας, 2009). Ακολούθως, συνοψίζονται οι ορισμοί που προαναφέρθηκαν.

Βιοαέριο: ως βιοαέριο ορίζεται το παράγωγο της βιολογικής διεργασίας της βιομάζας και παράγεται μέσω της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης της οργανικής ύλης. Αποτελείται σε μεγαλύτερο βαθμό από μεθάνιο (CH_4) 50%-70% και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) 30%-50%, ενώ σε μικρότερες ποσότητες υπάρχουν και άλλα αέρια όπως το υδρογόνο (H_2), το οξυγόνο (O_2), το υδρόθειο (H_2S), το άζωτο (N_2), αλλά και από υδρατμούς (Χρυσόγιαννη, 2019).

Βιομάζα: Η βιομάζα είναι οργανική ύλη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Πρόκειται για το βιοαποδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων βιολογικής προέλευσης από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τους συναφείς κλάδους, συμπεριλαμβανομένων της αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας, καθώς και το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων (Χρυσόγιαννη, 2019).

Βιοκαύσιμο: Κάθε καύσιμο που παράγεται από φυτικές ή ζωικές πρώτες ύλες («βιομάζα»). Οι δύο συνηθέστερες μορφές βιοκαυσίμων είναι η βιοαιθανόλη και το βιοντίζελ (Χρυσόγιαννη, 20219).

Αναερόβια χώνευση: ορίζεται η βιολογική διαδικασία με την οποία τα οργανικά υλικά σε ένα κλειστό δοχείο διασπώνται από μικροοργανισμούς απουσία οξυγόνου και παράγεται βιοαέριο. Κατά την διεργασία αυτή η οργανική ουσία βιοαποδομείται από αναερόβιους μικροοργανισμούς (Κοντοκόστας, 2013).

Βιομεθάνιο: Βιομεθάνιο, γνωστό και ως «πράσινο αέριο», αποτελεί μια νέα, διαφορετική, εναλλακτική λύση που μπορεί να αντικαταστήσει το φυσικό αέριο και είναι φιλική προς το οικοσύστημα. Ως βιομεθάνιο ορίζεται η αναβαθμισμένη μορφή του βιοαερίου, η οποία παράγεται μέσω της αναερόβιας χώνευσης των βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων. (Χρυσόγιαννη, 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1. Κυκλική οικονομία

Η προσοχή της παγκόσμιας ενεργειακής βιομηχανίας έχει επικεντρωθεί τις τελευταίες δεκαετίες στο να ενσωματώσει αρκετές τεχνολογικές καινοτομίες στην καθημερινότητα των ανθρώπων (Bhatnagar, 2022). Το γεγονός αυτό έχει στοχοθετηθεί από εθνικές και διεθνείς συμφωνίες όπως η συνθήκη του Παρισιού (2015) η οποία αποκάλυψε πέραν πάσης αμφιβολίας ότι το γραμμικό μοντέλο της οικονομίας δεν θα μπορέσει μακροπρόθεσμα να καλύψει τις ανάγκες του όλο και αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού (Μαυρουδής, 2018). Με τον όρο γραμμική οικονομία περιγράφουμε το παγκόσμιο επιχειρηματικό μοντέλο ανάπτυξης που αναπτύχθηκε βασισμένο στην θεωρία αφθονίας των πόρων. Ο όγκος των απορριμμάτων τείνει όλο να αυξάνεται τα τελευταία χρόνια. Αυξητική είναι η τάση των βιομηχανικών, γεωργικών και κτηνοτροφικών αποβλήτων. (Γιουλδούρη, 2021).



Εικόνα 1 Η κυκλική οικονομία (Ράπτη, 2019)

Κατά τη διάρκεια της εξόρυξης και της επεξεργασίας των πόρων δημιουργείται περίπου το ήμισυ των συνολικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και

περισσότερο από το 90% της μείωσης της βιοποικιλότητας των υδάτινων οικοσυστημάτων (E.E.T.A.A., 2021).

Λόγω των παραπάνω, δημιουργήθηκε η ανάγκη στροφής στην **κυκλική οικονομία** (E.E.T.A.A., 2021) μια πιο βιώσιμη προοπτική με σαφή περιβαλλοντικά οφέλη. Ο European Environment Agency (EEA) το 2014 όρισε ότι: «Η κυκλική οικονομία αναφέρεται κυρίως στις πτυχές της οικονομίας που χρησιμοποιούν φυσικούς και ανανεώσιμους πόρους - εστιάζει στην ανακύκλωση, τον περιορισμό και την επαναχρησιμοποίηση των φυσικών εισροών στην οικονομία και τη χρήση των απορριμμάτων ως πόρο που οδηγεί σε μειωμένη κατανάλωση πρωτογενών πόρων» (EEA, 2014). Το 2016 έδωσε μια άλλη ερμηνεία: «Μια κυκλική οικονομία παρέχει ευκαιρίες για δημιουργία ευημερίας, ανάπτυξης και θέσεων εργασίας, μειώνοντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές πιέσεις. Η έννοια μπορεί, καταρχάς, να εφαρμοστεί σε όλα τα είδη φυσικών πόρων, συμπεριλαμβανομένων των βιοτικών και αβιοτικών υλικών, του νερού και της γης» (EEA, 2016).

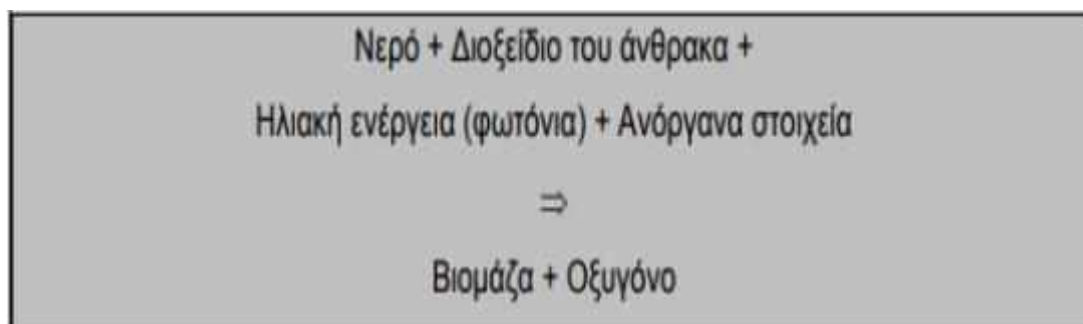
2.2. Οι βίο-οικονομίες

Ως βίο-οικονομίες ορίζονται οι τεχνολογικές διεργασίες που οδηγούν σε μια σημαντική αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων από βιομάζα για την παραγωγή φαρμακευτικών ουσιών, χημικών προϊόντων, βοηθητικών υλικών, καυσίμων μεταφοράς, ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (Γιουλδούρη, 2021). Η πολύ στενά συνδεδεμένη έννοια της «βίο-οικονομίας» συνήθως εστιάζει στην αξιοποίηση της βιομάζας σε πρωτογενείς διαδικασίες παραγωγής στη δασοκομία, στην αλιεία και τη γεωργία, καθώς και στην αυξημένη επαναχρησιμοποίηση των ήδη χρησιμοποιημένων πρώτων υλών. Οι βίο-οικονομίες χαρακτηρίζονται από την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων λόγω της περιεκτικότητάς τους σε χρήσιμες ουσίες. Το οικονομικό αυτό μοντέλο στηρίζεται στην ανάκτηση και επανακυκλοφορία προϊόντων. Στην κυκλική οικονομία τα προϊόντα σχεδιάζονται με σκοπό την ανακύκλωσή τους εξ αρχής με σκοπό τον μετασχηματισμό τους σε εξίσου χρήσιμα και επωφελή για την κοινωνία προϊόντα. Επίσης, βασίζεται στη μείωση της κατανάλωσης των υλικών αποσυνδέοντας ταυτόχρονα, την οικονομία από τον άνθρακα και κάνοντας έτσι ομαλή τη μετάβαση από την οικονομία αγαθών στην οικονομία των υπηρεσιών και φυσικά την

εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και βιοαποικοδομήσιμων υλικών (Γιουλδούρη, 2021).

2.3. Βιομάζα

Ως βιομάζα καλείται το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων, τα οποία προέρχονται από τη γεωργία, και συμπεριλαμβάνουν τις φυτικές και ζωικές ουσίες, τη δασοκομία και τις συναφείς με αυτήν βιομηχανίες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων. Περιγράφεται λοιπόν κάθε οργανική ύλη που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τη φυτική ύλη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως πηγή ενέργειας διότι τα φυτά μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, δομούνται μετατρέποντας την ηλιακή ενέργεια σε αποθηκευμένη χημική ενέργεια. Η βιομάζα είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γνωστή εδώ και πολλά χρόνια και λόγω των ραγδαίων κλιματικών εξελίξεων στα παγκόσμια αποθέματα ορυκτών καυσίμων έρχεται όλο και περισσότερο στο προσκήνιο ως μια βιώσιμη λύση με πολλαπλά περιβαλλοντικά οφέλη. Η βιομάζα αποτελεί μία μορφή της ηλιακής ενέργειας δεσμευμένη και αποθηκευμένη η οποία είναι αποτέλεσμα της φωτοσύνθεσης των φυτικών οργανισμών. Κατά τη φωτοσύνθεση η χλωροφύλλη των φυτικών οργανισμών μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα μέσω μιας σειράς διεργασιών, οι οποίες απεικονίζονται στο επόμενο σχήμα (Εικόνα 2):



Εικόνα 2 Διεργασία παραγωγής βιομάζας και οξυγόνου (Ράπτη, 2019)

Οι τεχνολογικά και οικονομικά ανεπτυγμένες χώρες υιοθετούν νέες τεχνολογίες με αξιοποίηση της βιομάζας ώστε να παράγεται ενέργεια υψηλής απόδοσης με ελάχιστη επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Η χρήση της βιομάζας δεν επιβαρύνει το περιβάλλον με διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) καθώς ανακυκλώνεται. Τα πλεονεκτήματα της

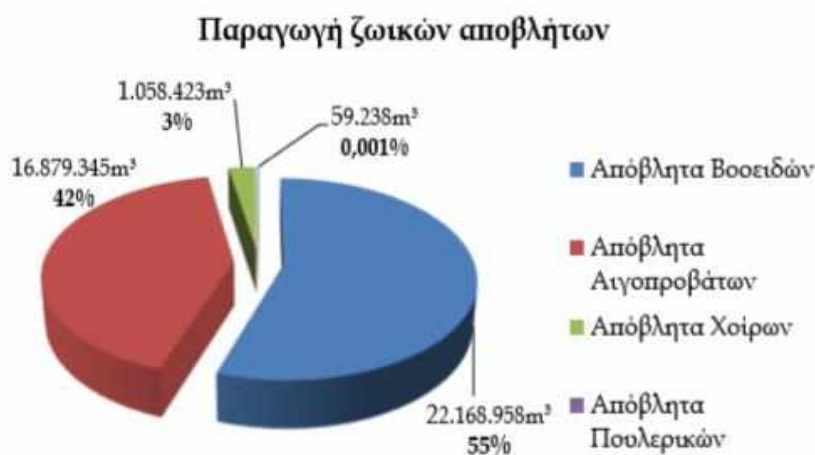
χρήσης της βιομάζας είναι πολλά. Η βιομάζα αποτελεί μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης του ανθρώπου από τα ορυκτά καύσιμα. Επίσης, κάθε κράτος μπορεί να παράξει ενέργεια ανακυκλώνοντας τους ήδη υπάρχοντες πόρους. Το λειτουργικό κόστος είναι μικρό και δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της παγκόσμιας οικονομίας και τις τιμές των υπόλοιπων καυσίμων. Επιπροσθέτως, συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών του CO₂ και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου βοηθώντας παράλληλα την ανάπτυξη των οικονομικά υποβαθμισμένων περιοχών.

Υπάρχουν όμως και κάποια μειονεκτήματα που δυσχεραίνουν τη χρήση της βιομάζας όπως το γεγονός ότι έχουν μικρό συντελεστή απόδοσης, περίπου 30%. Αυτό σημαίνει πως είναι αυξημένο το αρχικό κόστος εφαρμογής και μεγάλες οι απαιτήσεις στη χρήση γης. Συνεπώς, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μοναδική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων. Σημαντικό μειονέκτημα αποτελούν ακόμα οι παροχές και οι αποδόσεις μια τέτοιας πηγής ενέργειας που χαρακτηρίζονται από αστάθεια και μεταβολές που εξαρτώνται από την εποχή του έτος, το κλίμα, το γεωγραφικό πλάτος και άλλους παράγοντες (Ράπτη, 2019).

Οι μονάδες παραγωγής βιοαερίου διακρίνονται ανάλογα με το είδος των αποβλήτων σε βιομηχανικές, αγροτικές και κτηνοτροφικές μονάδες και φυσικά, ανάλογα το είδος της βιομάζας, διαφέρει σημαντικά η δυνατότητα παραγωγής τους. Στις πρώτες πραγματοποιείται ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας που προκύπτει από τις διάφορες αγροκτηνοτροφικές δραστηριότητες όπως τυροκομεία, οινοποιεία και σφαγεία. Η κόπρος και τα φυτικά ενσिरώματα ενεργειακών καλλιεργειών (π.χ. αραβόσιτος, μηδική, τριτικάλε κλπ.) αποτελούν τις δημοφιλέστερες πρώτες ύλες παραγωγή βιοαερίου.. Στις βιομηχανικές μονάδες αναερόβιας χώνευσης η πρώτη ύλη είναι οργανικά απόβλητα από βιομηχανίες, είτε σε στερεή ή σε υγρή μορφή. Το είδος της οργανικής πρώτης ύλης που επεξεργάζεται μια μονάδα αναερόβιας χώνευσης καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη λειτουργία και τη μορφή της. Στις βιομηχανικές μονάδες παραγωγής βιοαερίου απαιτείται, η προεπεξεργασία της πρώτης ύλης σε υψηλές θερμοκρασίας προτού εισέλθει στο χωνευτήρα. Για την αποφυγή της έκλυσης δυσάρεστων οσμών, ο εξοπλισμός επεξεργασίας και τροφοδοσίας των στερεών βιομηχανικών αποβλήτων βρίσκεται εγκατεστημένος σε κλειστό χώρο. Λόγω της πολυπλοκότητας της σύστασης των οργανικών βιομηχανικών αποβλήτων και των διαφορών στο είδος των πρώτων υλών, η αναερόβια χώνευση τέτοιων υλικών είναι

ιδιαίτερα σύνθετη. Απαιτείται φυσικά, μεγάλη εμπειρία και εξειδίκευση τόσο από τους κατασκευαστές όσο και από τους χειριστές της μονάδας.

Στην υπολειμματική βιομάζα συμπεριλαμβάνονται τα αγροτικά και δασικά υπολείμματα και επιπλέον τα αστικά απόβλητα. Όσον αφορά στα αγροτικά υπολείμματα, αυτά αφορούν κυρίως καλλιεργητικά και ζωικά απόβλητα. Τμήματα των φυτών, τα οποία δεν χρησιμοποιούνται κατά τη συγκομιδή ή απορρίπτονται κατά την επεξεργασία της σοδειάς διότι δεν είναι εκμεταλλεύσιμα και αποδοτικά συμπεριλαμβάνονται στα αγροτικά υποπροϊόντα. Επιπλέον, στα ζωικά απόβλητα συμπεριλαμβάνεται η κόπρος από φάρμες εκτροφής ζώων, η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαερίου επίσης μέσω αναερόβιας χώνευσης. Η μέθοδος αυτή παίζει καθοριστικό ρόλο στη μείωση της ρύπανσης και στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Στην Ελλάδα η παραγωγή βιοαερίου αποτελεί λύση στο πρόβλημα των κτηνοτροφικών αποβλήτων καθώς η κτηνοτροφία είναι διαδεδομένη σε ολόκληρη τη χώρα (Ράπτη, 2019).



Εικόνα 3 Παραγωγή ζωικών αποβλήτων (Σιούλας, 2008)

Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζεται η παραγωγή ζωικών αποβλήτων στην Ευρώπη (Εικόνα 3). Το μεγαλύτερο ποσοστό (55%) αφορά σε απόβλητα βοοειδών και το αμέσως μεγαλύτερο ποσοστό (42%) αφορά σε απόβλητα αιγοπροβάτων. Συνεπώς, η αξιοποίηση των αποβλήτων από βοοειδή και αιγοπρόβατα θέτει τη βάση για την παραγωγή βιοαερίου και εναλλακτικής ενέργειας τόσο από μεσαιάς κλίμακας μονάδας

όσο και από μεγάλης κλίμακας εκτροφές καθώς η πρώτη ύλη είναι διαθέσιμη να αξιοποιηθεί και να προσφέρει μια βιώσιμη και οικονομικά συμφέρουσα λύση.

2.4. Παραγωγή βιοαερίου

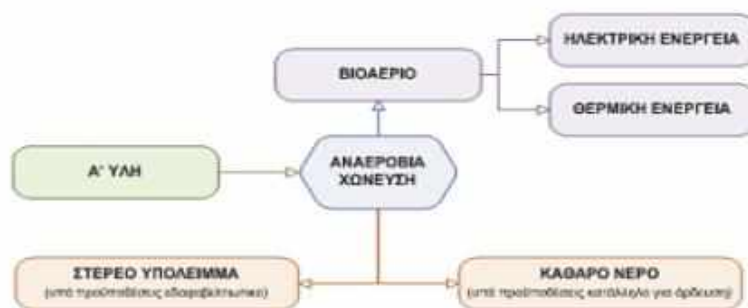


Εικόνα 4 Παραγωγή βιοαερίου (Σιούλας, 2008)

Η παραγωγή βιοαερίου είναι τα τελευταία χρόνια στο προσκήνιο λόγω της εξάπλωσης της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της προσπάθειας μείωσης χρήσης των ορυκτών καυσίμων. Οι ενεργειακοί πόροι αποτελούν ισχυρό αναπτυξιακό μέσο για τις σύγχρονες οικονομίες. Οι όλο και αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες σε παγκόσμιο επίπεδο αποτελούν μια μεγάλη πρόκληση με ευρύ πεδίο δράσης. Το βιοαέριο αποτελεί ιδανική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Διάφορα λύματα και υπολείμματα παραγωγικών διαδικασιών, που στο παρελθόν δεν είχαν καμία χρήση και ήταν δύσκολα στην απόρριψή τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κατάλληλους αναερόβιους χωνευτήρες (Εικόνα 4) για την παραγωγή βιοαερίου (Κοντοκόστας , 2013). Για τη μετατροπή της βιομάζας σε βιοκαύσιμο πρέπει να μεσολαβήσει κάποια χημική διαδικασία όπως η αεριοποίηση, η υγροποίηση, η πυρόλυση, η ζύμωση, η αναερόβια χώνευση ή ακόμη και μια φυσική διαδικασία μετατροπής όπως ο τεμαχισμός και η άλεση. Από τα παραπάνω προκύπτει ο όρος βιοενέργεια που περιγράφει τον φορέα ενέργειας που προέρχεται από τα βιοκαύσιμα. Η παραγωγή βιοαερίου ορίζεται ως η αναερόβια αποσύνθεση κτηνοτροφικών αποβλήτων μέσω της βακτηριακής αποδόμησης σύνθετων οργανικών μορίων σε πιο απλά μόρια όπως το μεθάνιο (CH_4) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που διαρκεί δυο ως τρεις εβδομάδες σε θερμοκρασία μεταξύ 20-55°C.

Η παραγωγή του βιοαερίου χωρίζεται σε πολλές κατηγορίες. Εξαρτάται από τον αριθμό των σταδίων, χαρακτηρίζεται από το αν η διαδικασία αποτελείται από ένα ή δύο στάδια, στον τρόπο λειτουργίας, ανάλογα με τον τρόπο της χώνευσης και από τον αν η χώνευση είναι υγρή ή στερεή. Η αναερόβια χώνευση εμπλέκει την αναερόβια αποσύνθεση της οργανικής μάζας (πολυσακχαρίτες, λιπίδια και πρωτεΐνες) σε μικρότερα οργανικά συστατικά τα οποία θα αποσυντεθούν περαιτέρω για την παραγωγή βιοαερίου (Abdul, et al., 2020).

2.5. Ιδιότητες βιοαερίου



Εικόνα 5 Η παραγωγή βιοαερίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης (Γιουλδούρη, 2021)

Το παραγόμενο βιοαέριο είναι ένα εύφλεκτο αέριο μίγμα που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Σε ορισμένες περιπτώσεις το βιοαέριο περιέχει σιλοξάνες (οργανοπυριτικές ενώσεις). Αυτές δημιουργούνται από την αναερόβια αποσύνθεση υλικών που συνήθως συναντώνται σε σάπωνες και απορρυπαντικά (Εικόνα 5). Κατά την καύση του βιοαερίου το οποίο περιέχει σιλοξάνες, εκλύεται πυρίτιο το οποίο μπορεί να αντιδράσει με το ελεύθερο οξυγόνο ή άλλα συστατικά του αερίου καύσης. Μπορεί να σχηματιστούν αποθέσεις, οι οποίες περιέχουν κυρίως σίλικα (SiO_2) ή άλλα οξείδια του πυριτίου (Si_xO_y) και μπορεί ακόμα να περιέχουν ασβέστιο, θείο, ψευδάργυρο ή φώσφορο. Η θερμογόνος ικανότητα του βιοαερίου είναι περίπου 6 kWh/m^3 ή 20-22 MJ/m^3 και αυτή η ποσότητα ενέργειας είναι περίπου ίση με αυτή μισού λίτρου ντίζελ. Για τη χρήση ως καύσιμο, το βασικό συστατικό είναι το μεθάνιο (Κοντοκόστας, 2013).

Πίνακας 2 Η σύσταση του βιοαερίου (Σιούλας, 2008)

Αέριο	% Περιεκτικότητα
Μεθάνιο (CH ₄)	55-70
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	30-45
Υδροθείο	1-2
Άζωτο	0-1
Μονοξείδιο του άνθρακα	Ίχνη
Οξυγόνο	Ίχνη

Το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοαερίου από την αναερόβια χώνευση είναι χημικά δεσμευμένο στο μεθάνιο. Οι ιδιότητες και η σύσταση του βιοαερίου (Πίνακας 2) ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο και τη δομή της πρώτης ύλης, το σύστημα της μονάδας, τη θερμοκρασία, τον χρόνο παραμονής και άλλους παράγοντες. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η διαχρονική αύξηση της εγκατάστασης μονάδων βιοαερίου στην Ευρωπαϊκή ένωση. Στον κάθετο άξονα απεικονίζεται ο αριθμός μονάδων παραγωγής βιοαερίου και στον οριζόντιο οι χρονιές για τις οποίες παραθέτονται στα στοιχεία (Πίνακας 3).

Πίνακας 3 Διαχρονική εξέλιξη εγκατάστασης μονάδων βιοαερίου στην Ε.Ε. (Χρυσογιάννη, 2019)



2.6. Χρήσεις βιοαερίου

Το βιοαέριο είναι γνωστό για τις πολλές ενεργειακές χρήσεις που το χαρακτηρίζει, ανάλογα με την τοπική ζήτηση για μια συγκεκριμένη μορφή ενέργειας αλλά και ανάλογα με τη φύση της πηγής. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας μέσω άμεσης καύσης, παραγωγή ηλεκτρισμού ή ως καύσιμο οχημάτων (Al Seadi, 2008). Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις αγροτικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις βιοαερίου, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρισμού αλλά και ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανσης. Το βιομεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως καύσιμο για τα μέσα μεταφοράς, καθώς μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και δεν επιβαρύνεται τόσο το περιβάλλον. Αυτό φυσικά απαιτεί ειδικές τροποποιήσεις στους κινητήρες των αυτοκινήτων αλλά και την βελτιστοποίηση του βιοαερίου και την αναβάθμισή του σε ποιότητα φυσικού αερίου με στόχο την αύξηση της περιεκτικότητάς του σε μεθάνιο. Η εξοικονόμηση χρημάτων για τις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις αποτελεί ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης του βιοαερίου, καθώς οι μονάδες μπορούν να χρησιμοποιούν την ενέργεια που παράγουν, συμβάλλοντας παράλληλα στην προστασία του περιβάλλοντος. Συμβάλλει στις μικρότερες εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και μείωση του αποτυπώματος στο περιβάλλον. Συνεπώς, η χρήση βιοαερίου αποτελεί μια οικονομική και περιβαλλοντικά αποδεκτή ανακύκλωση αποβλήτων. Σημαντική είναι η συμβολή στη μείωση των εκπομπών δύσοσμων αερίων από τις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις αλλά και η μείωση του αριθμού των παθογόνων μικροοργανισμών των αποβλήτων. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται οι τελικές χρήσεις βιοαερίου όπως η αναβάθμιση το βιοαερίου και έγχυσή του στο δίκτυο του αερίου ή η χρήση του ως καύσιμο οχημάτων (Εικόνα 6) Ένας όρος που αναφέρεται στην παρακάτω εικόνα είναι η τηλεθέρμανση. Ως τηλεθέρμανση (district heating), ορίζεται η παραγωγή θερμότητας σε μορφή ατμού ή ζεστού νερού σε μια κεντρική μονάδα και η διανομή της σε οικιακούς, εμπορικούς, αγροτικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές μιας περιοχής. Κύριος στόχος είναι η θέρμανση χώρων, θέρμανση νερού χρήσης (πχ λουτρά, κολυμβητήρια) και άλλες θερμικές διεργασίες (Καλημέρης & Κατσαγούνος, 2007).



Εικόνα 6 Τελικές χρήσεις βιοαερίου (Σιούλας, 2008)

2.7. Τρόποι βελτίωσης παραγωγής βιοαερίου

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι βελτίωσης της παραγωγής βιοαερίου (Σιούλας, 2012). Ενδεικτικά αναφέρονται:

- Η προσθήκη χημικών ή βιολογικών ουσιών.
- Η ανακύκλωση του χωνεμένου διηθήματος.
- Η βελτιστοποίηση της θερμοκρασίας (<math>< 55^{\circ}\text{C}</math>) και pH (6.8-7.2).
- Η ειδική επεξεργασία απορριμμάτων πριν τη χώνευση αλλά και η προσαρμογή συγκεκριμένου μεγέθους σωματιδίου των απορριμμάτων (0.088 – 0.40 mm).
- Η βελτιστοποίηση της αναλογίας άνθρακα/αζώτου. Η βέλτιστη τιμή κυμαίνεται μεταξύ 20 έως 30, με πιο πρόσφατη αυτή από 15 έως 20 (Zhang et al, 2013). Οι τιμές αυτές επηρεάζονται από παράγοντες όπως η σύσταση του υποστρώματος, η τεχνολογία της ΑΧ και η παρουσία τοξικών ουσιών κ.α. (Πούμπουρας, 2015).
- Η χρήση δεξαμενών ειδικής κατασκευής με βιομεμβράνες. Χρήση ειδικού στεγανού υλικού επικάλυψης των στρώσεων ώστε να επιτυγχάνεται η αναερόβια χώνευση, εμποδίζοντας την απαέρωση του παραγόμενου βιοαερίου.

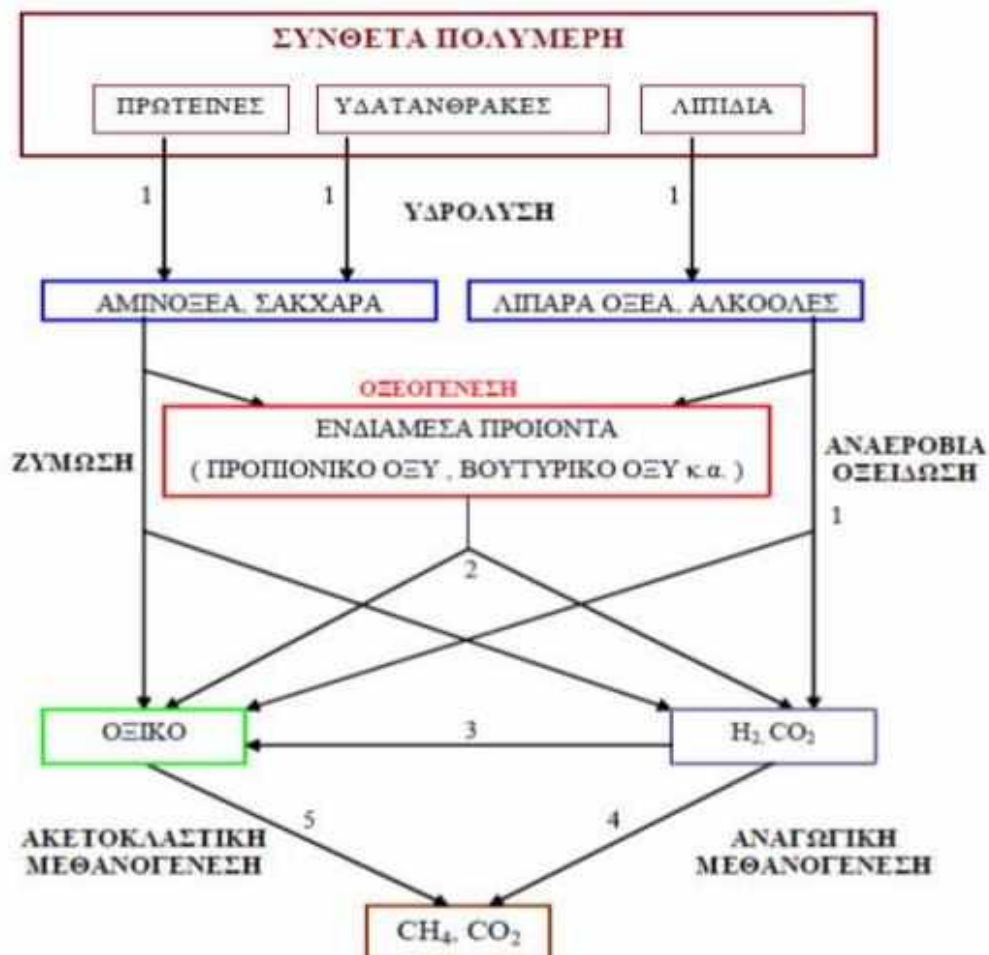
2.8. Παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή του βιοαερίου

- Η αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από τους 60°C, προκαλεί μείωση της παραγωγής του βιοαερίου.
- Το pH επίσης επηρεάζει την παραγωγή βιοαερίου.
- Η χρονική διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης των οργανικών απορριμμάτων.
- Η αναλογία άνθρακα και αζώτου.
- Η θερμαντική δύναμη του βιοαερίου επηρεάζεται σημαντικά από την περιεκτικότητα σε μεθάνιο (Σιούλας, 2012) .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. Αναερόβια χώνευση

Ως αναερόβια χώνευση ορίζεται η βιολογική διαδικασία με την οποία τα οργανικά υλικά σε ένα κλειστό δοχείο διασπώνται από μικροοργανισμούς απουσία οξυγόνου και παράγεται βιοαέριο. Κατά την διεργασία αυτή η οργανική ουσία βιοαποδομείται από αναερόβιους μικροοργανισμούς (Εικόνα 7). Το βιοαέριο αποτελείται στο μεγαλύτερο ποσοστό από μεθάνιο (55-70%) και διοξείδιο του άνθρακα (30-50%) (Κοντοκόστας, 2013). Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως καύσιμο κίνησης ή να εγχυθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου.



Εικόνα 7 Η διαδικασία της Αναερόβιας Χώνευσης (Ράπτη, 2019)

Η αναερόβια χώνευση επηρεάζεται από την μερική πίεση υδρογόνου, την συγκέντρωση μικροοργανισμών, την θερμοκρασία, η οποία δεν επηρεάζει μόνο τις μεταβολικές δραστηριότητες των οργανισμών αλλά και τον ρυθμό μεταφοράς αερίων και το ρυθμό καθίζησης των στερεών. Μια πολύ σημαντική παράμετρος είναι η διατήρηση της θερμοκρασίας σταθερή, καθώς οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας προκαλούν ανισορροπία στη διεργασία. Τέλος, το pH, καθώς η παραγωγή βιοαερίου διενεργείται κάτω από πολύ αυστηρές συνθήκες. Το ιδανικό pH κυμαίνεται μεταξύ 6 και 8,5 (Χαρδαλιά, 2021).

Η αναερόβια χώνευση είναι μια πολύπλοκη βιολογική διεργασία που ολοκληρώνεται σε 4 φάσεις:

1. **Υδρολυτική φάση:** κατά την οποία υδρολυτικά βακτήρια διασπούν μεγαλομοριακές ενώσεις σε απλούστερες (Εικόνα 8). Τα σύνθετα μόρια (πολυμερή) όπως, οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια διασπώνται σε γλυκόζη, γλυκόλη και πουρίνες. Η βέλτιστη θερμοκρασία της υδρόλυσης είναι 30-50°C με βέλτιστο pH 5-7. Ποικίλα βακτήρια συμμετέχουν σ' αυτό το στάδιο όπως *Syntrophobacter wolinii* (αποσυνθέτει προπιονικά), *Syntrophomonos wolfei* (αποσυνθέτει βουτυρικά), *Clostridium spp.*, *peptococcus anaerobes*, *lactobacillus*, και *actinomyces* (συνθέτουν οξέα).

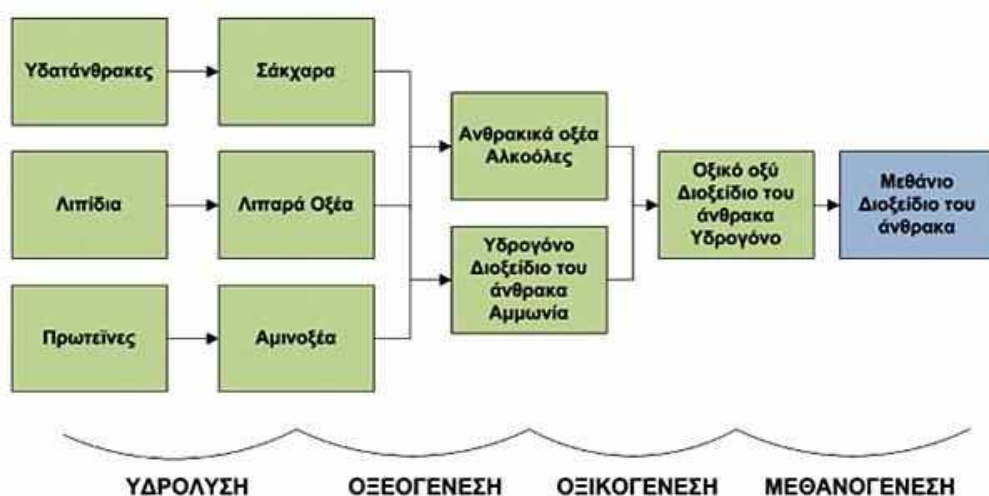


Εικόνα 8 Η σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας υδρόλυσης (Σιούλας, 2008)

2. **Οξεογόνος φάση:** το δεύτερο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης είναι η οξεογένεση. Σε αυτή τη φάση τα οξεογόνα βακτήρια δρουν και ζυμώνουν τα προϊόντα της πρώτης φάσης δίνοντας πτητικά λιπαρά οξέα μικρής αλύσου όπως βουτυρικό και προπιονικό οξύ αλλά και αλκοόλες. Θεωρείται ως η ταχύτερη διαδικασία.

3. **Οξικογόνος φάση:** τα προϊόντα της δεύτερης φάσης μετατρέπονται σε οξικό οξύ. Κατά το στάδιο αυτό, τα προϊόντα που παρήχθησαν κατά την οξεογένεση και δεν μπορούν να μετασηματιστούν άμεσα σε μεθάνιο μετατρέπονται σε μεθανογενή υποστρώματα. Στο στάδιο της μεθανογένεσης που ακολουθεί, το υδρογόνο μετατρέπεται σε μεθάνιο. Για αυτό το λόγο συνήθως οι διεργασίες της οξεογένεσης και της μεθανογένεσης συμβαίνουν ταυτόχρονα.

4. **Μεθανογόνος φάση:** μεθανογόνοι μικροοργανισμοί μετατρέπουν έναν μικρό αριθμό των παραπάνω προϊόντων σε βιοαέριο (Μάρκου, 2016). Κατά τη μεθανογόνο φάση παράγεται λοιπόν το βιοαέριο και διοξείδιο του άνθρακα με τη συμβολή μεθανογενών βακτηρίων. Αυτό είναι και το πιο κρίσιμο στάδιο για την αναερόβια χώνευση και αποτελεί το πιο αργό στάδιο της διαδικασίας που χρειάζεται περίπου (5-16 ημέρες) για να διεξαχθεί. Στο τέλος της μεθανογένεσης γίνεται παύση παραγωγής βιοαερίου με διάρκεια 40 ημερών. Και σε αυτή τη φάση, διάφορα βακτήρια συμμετέχουν όπως τα *Methanobacterium*, *methanobacillus*, *methanococcus*, *methanosarcina*, κ.α. (Εικόνα 9).



Εικόνα 9 Τα 4 στάδια της Α.Χ. (Ράπτη, 2019) Τα πλεονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης είναι σημαντικά.

- Στην αναερόβια χώνευση δεν υπάρχει περιορισμός στην ποσότητα αποβλήτων προς επεξεργασία.
- Υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο καθώς και μη βιοαποδομήσιμων υλικών όπως κυτταρίνες και λιπαρές ουσίες.

- Η εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου μπορεί να χρησιμοποιήσει την παραγόμενη ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών λειτουργίας της.
- Οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί έχουν μικρές ανάγκες σε τροφή γεγονός που τους κάνει ανθεκτικούς στην έλλειψη τροφοδοσίας.

Από την άλλη, η αναερόβια χώνευση έχει και κάποια μειονεκτήματα.

- Απαιτείται μεγάλος χρόνος για την έναρξη της αναερόβιας χώνευσης. Ο χρόνος αυτός είναι μεταξύ 9 και 12 εβδομάδων.
- Το κόστος κατασκευής μιας εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης είναι μεγάλο καθώς απαιτούνται κλειστές και μεγάλες δεξαμενές για την επίτευξη των απαραίτητων συνθηκών.
- Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι πως οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί παρουσιάζουν ευαισθησία στις τοξικές ενώσεις.
- Υπάρχει ευαισθησία στην μεταβολή του pH.
- Η συγκέντρωση των οργανικών ουσιών πρέπει να είναι στα ενδεδειγμένα επίπεδα.

Όπως έχει αναφερθεί, το βιοαέριο και το βιομεθάνιο προέρχονται από τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης και η βιομάζα από τα κτηνοτροφικά απόβλητα και από άλλες πηγές είναι μια εξίσου καλή πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας όπως και τα ορυκτά καύσιμα (Bhatnagar, 2022).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. Δυνατότητες και προοπτικές

Λόγω των συνεχώς αυξανόμενων αναγκών του παγκόσμιου πληθυσμού σε τροφή ο αγροδιατροφικός τομέας αναπτύσσεται ραγδαία και είναι επιτακτική η ανάγκη για προσεκτική συλλογή και διαχείριση των αποβλήτων. Εκτρέφονται εκατομμύρια ζώα στον πλανήτη και οι μέθοδοι παραγωγής συνεχώς εκσυγχρονίζονται λόγω του χώρου και του εξοπλισμού που απαιτούνται για την παραγωγική διαδικασία. Η κόπρος περιλαμβάνει περιττώματα ζώων, ουρία και άλλες εκκρίσεις όπως τρίχωμα αλλά και υπολείμματα τροφής (Giroto & Cossu, 2017). Για παράδειγμα, μια αγελάδα γαλακτοπαραγωγής παράγει περίπου 54 κιλά υγρής κόπρου ανά ημέρα. Τα απόβλητα που παράγονται καθημερινά από μια μόνο αγελάδα ισοδυναμούν με αυτά που παράγουν 20-40 άνθρωποι. Ένας χοίρος παράγει 6.4 κιλά κόπρου την ημέρα, ένα πρόβατο 2.5 και μια όρνιθα περίπου 0.2 κιλά ανά ημέρα. Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η ετήσια παραγωγή φτάνει τους 18.5 δισεκατομμύρια τόνους κόπρου από την αγελαδοτροφία, 1.5 δις από την χοιροτροφία, 0.8 δις από την προβατοτροφία και 34 εκατομμύρια από την πτηνοτροφία (Giroto & Cossu, 2017). Όλα αυτά τα κτηνοτροφικά απόβλητα έχουν τη δυνατότητα να εισάγουν στο περιβάλλον ρυπογόνους παράγοντες όπως θρεπτικά συστατικά (άζωτο και φώσφορο), οργανική ουσία, παθογόνους μικροοργανισμούς, βαρέα μέταλλα, ορμόνες, αντιβιοτικά και αμμωνία στα πόσιμα ύδατα και σε ύδατα που διαβιούν αλιεύσιμα είδη (Giroto & Cossu, 2017). Με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και με την τεράστια σημασία της περιβαλλοντικής προστασίας τα κτηνοτροφικά απόβλητα αντιμετωπίζονται ως μια βιώσιμη πρώτη ύλη παραγωγής βιοαερίου, θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Το βιοαέριο συνιστά το τελικό προϊόν μιας βιολογικής διεργασίας, η οποία είναι γνωστή ως αναερόβια χώνευση, όπου διάφοροι μικροοργανισμοί, ακολουθούν ποικίλες μεταβολικές οδούς για την αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Η διαδικασία είναι γνωστή από την αρχαιότητα και εφαρμόστηκε ευρέως σε νοικοκυριά για την παροχή θερμότητας και ενέργειας για εκατοντάδες χρόνια (Ανθίμου, 2019). Σήμερα, ο τομέας παραγωγής και εκμετάλλευσης βιοαερίου αναπτύσσεται ραγδαία και καινοτόμα επιτεύγματα δημιουργούν το θεμέλιο για τη δημιουργία μονάδων βιοαερίου, ως προηγμένα εργοστάσια βιοενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, οι μονάδες παραγωγής

βιοαερίου αποτελούν τη βάση μιας έννοιας κυκλικής οικονομίας που στοχεύει στην ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών, την ελάττωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, και την παραγωγή βιοκαυσίμων (Ανθίμου, 2019).

Η παγκόσμια ζήτηση για ενέργεια καλύπτεται από πηγές ορυκτών καυσίμων, τόσο λόγω των υψηλών τους αποδόσεων όσο και της ευκολίας εύρεσής τους. Παρά το γεγονός αυτό, η επιβάρυνση του περιβάλλοντος που προκαλεί η χρήση τους έχει στρέψει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας στην εύρεση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Πολλές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν μελετηθεί και αναπτυχθεί για την παραγωγή βιοενέργειας με διασπορά στο 10% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (Abdul, et. al., 2020). Έχει υπολογιστεί πως μέχρι το 2050 θα έχει αυξηθεί η χρήση πηγών βιοενέργειας σε ποσοστό 10-50% (Abdul, et. al., 2020). Ο καθαρισμός και η αναβάθμισή του βιοαερίου οδηγούν στην παραγωγή βιομεθανίου, μια απόλυτα βιώσιμη προοπτική με χρήση στις μεταφορές και στη θέρμανση. Το βιομεθάνιο μπορεί επίσης να μετατραπεί στην υγρή μορφή του, με μια σειρά διεργασιών όπως προετοιμασία, καθαρισμός, αναβάθμιση και υγροποίηση. Παρόλα αυτά οι διαδικασίες και η βιβλιογραφία για το θέμα αυτό δεν έχει ακόμα δημοσιευτεί καθώς πρόκειται για το μέλλον της τεχνολογίας της πράσινης ενέργειας (Abdul, et. al., 2020). Πολλές τεχνολογικές πρόοδοι έχουν επιτευχθεί για την εφαρμογή μικρής και μεγάλης κλίμακας, με όφελος τόσο οικονομικό όσο και ενεργειακό για την παραγωγή υγροποιημένου βιομεθανίου.

4.2. Τα οφέλη της χρήσης του βιοαερίου

Το βιοαέριο αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας οπότε η παραγωγή και η χρήση του συμβάλλει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των σύγχρονων κοινωνιών καθώς τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα συνεχώς καταναλώνονται και προσφέρει μια βιώσιμη προοπτική για τη λύση του ενεργειακού ζητήματος. Το βιοαέριο δηλαδή αποτελεί μια απόλυτα λειτουργική λύση για το πρόβλημα εξάντλησης των πόρων παραγωγής ενέργειας. Η βιομάζα είναι μια ανεξάντλητη πρώτη ύλη που παράγεται συνεχώς από την έμβια ύλη, γεγονός που την καθιστά φιλική προς το περιβάλλον και οικονομικά συμφέρουσα. Το κομπόστ είναι η χωνεμένη βιομάζα και

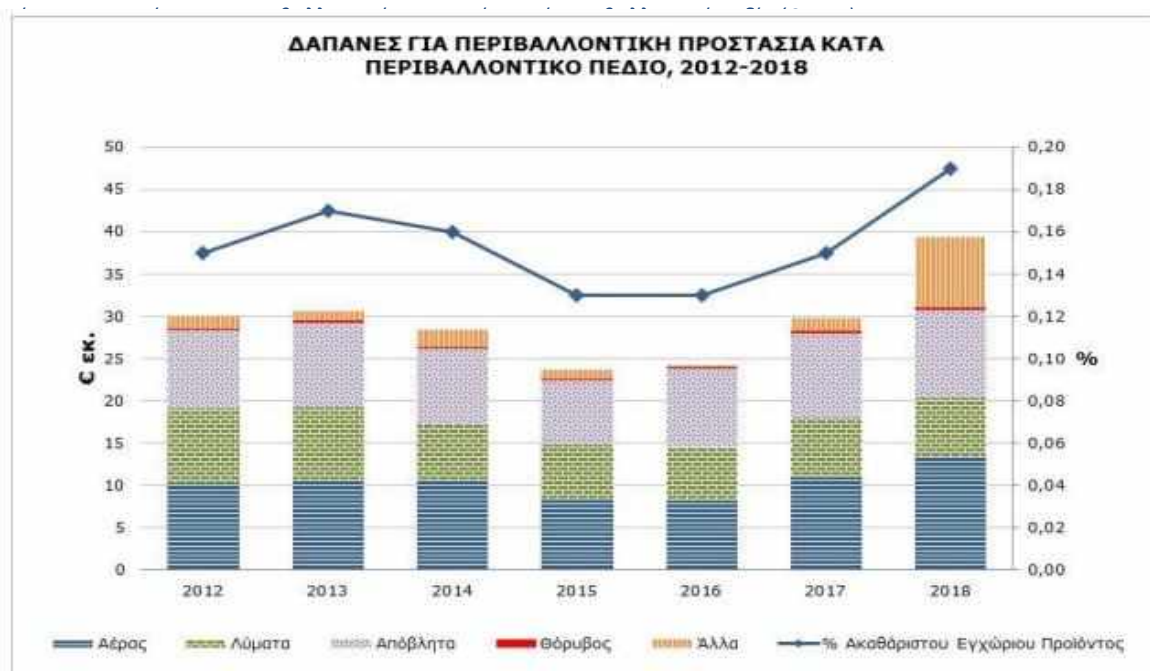
είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά όπως άζωτο, φώσφορο, κάλιο και μικροοργανισμούς ώστε να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα. Η χρήση του κομπόστ παρέχει κτηνιατρική ασφάλεια καθώς η αναερόβια χώνευση συμβάλλει στην υγιεινή του κομπόστ (Χρυσόγιαννη, 2019).

Η χρήση του βιοαερίου συμβάλλει επίσης στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας. Η καύση του βιοαερίου απελευθερώνει CO₂, αλλά αυτό δεν αποτελεί μεγάλο πρόβλημα καθώς ο άνθρακας του βιοαερίου ελήφθη πρόσφατα από την ατμόσφαιρα μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Ο κύκλος άνθρακα με αυτόν τον τρόπο είναι κλειστός και λαμβάνει χώρα σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Ένα ακόμη όφελος από τη χρήση του βιοαερίου είναι η συμβολή στους στόχους της E.E. για την προστασία του περιβάλλοντος. Οι Ευρωπαϊκές οδηγίες και η παγκόσμια πολιτική κατευθύνει τα κράτη να καινοτομήσουν ενεργειακά και να συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος και την εξοικονόμηση των φυσικών πόρων. Φυσικά με όλα τα παραπάνω μειώνεται ο όγκος των αποβλήτων που αν δεν αξιοποιούνταν θα επιβάρυναν το περιβάλλον. Οι ποσότητες αποβλήτων από τη βιομηχανία και την γεωργία είναι τεράστιες και η αξιοποίησή τους μειώνει τις βλαβερές επιπτώσεις που έχει η αποβολή τους στο περιβάλλον αλλά και τις δαπάνες για τη διάθεσή τους.

Επιπροσθέτως, ανοίγουν πολλές θέσεις εργασίας καθώς απαιτείται ανθρώπινο δυναμικό για την εγκατάσταση και τη λειτουργία μιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου. Η ανάπτυξη βιώσιμων λύσεων εμπνέει νέους επιστήμονες να ασχοληθούν με την εξέλιξη του τομέα του βιοαερίου και φέρνει στο προσκήνιο πολλές επιχειρηματικές ιδέες. Τα οφέλη για τους γεωργούς που έχουν συνδυάσει τις αγροτικές τους δραστηριότητες με την παραγωγή βιοαερίου είναι πολλά καθώς έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν εισόδημά τους, να αξιοποιήσουν τα απόβλητά τους με βιώσιμο τρόπο και να παράξουν ενέργεια.

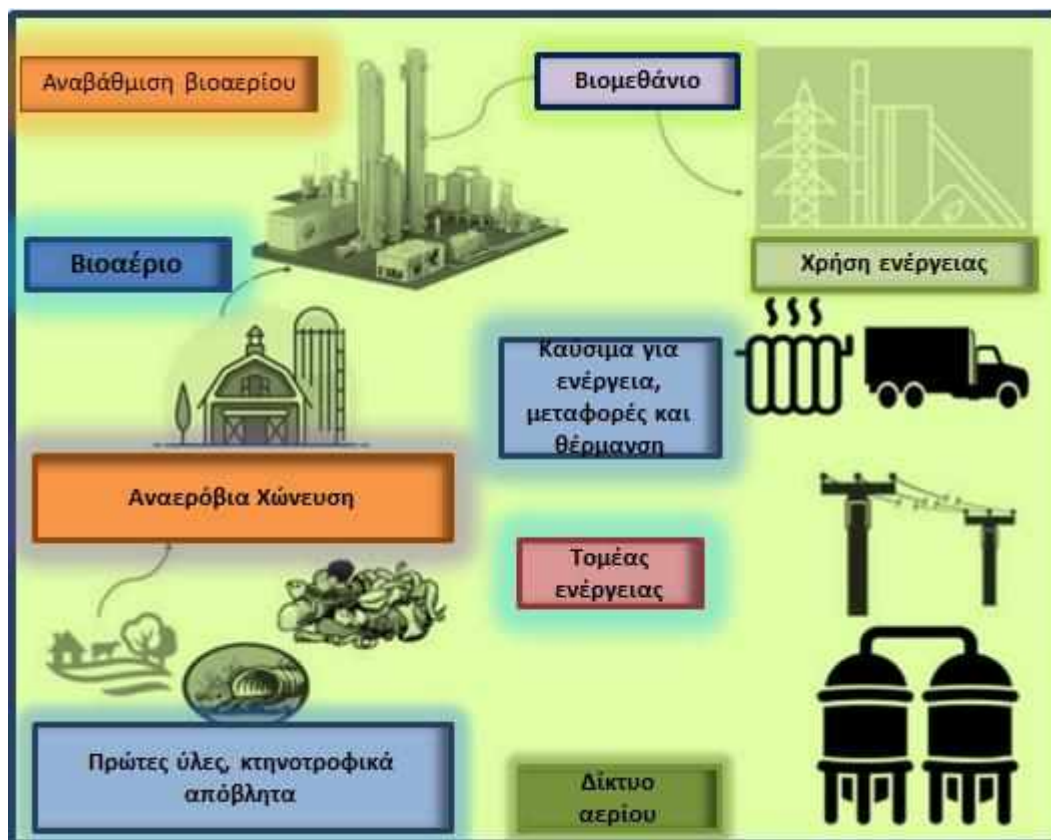
Πίνακας 4 Δαπάνες για περιβαλλοντική προστασία κατά περιβαλλοντικό πεδίο



Στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4) απεικονίζονται οι δαπάνες για την περιβαλλοντική προστασία που επιβαρύνεται η Κυπριακή Δημοκρατία. Το 2018 οι δαπάνες για τη διάθεση των αποβλήτων ανήλθε στα 10 εκατομμύρια ευρώ περίπου που αν συνυπολογιστεί με τις δαπάνες διάθεσης των λυμάτων το συνολικό ποσό ανέρχεται στα 15 περίπου εκατομμύρια ευρώ για το 2018 (Κυθραιώτου, 2018).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1. Το βιομεθάνιο



Εικόνα 10 Η εφοδιαστική αλυσίδα του βιοαερίου (Khan et al., 2021)

Το βιομεθάνιο, γνωστό και ως «πράσινο αέριο», αποτελεί μια νέα εναλλακτική λύση στο φυσικό αέριο, φιλική προς το οικοσύστημα (Εικόνα 10). Σε παγκόσμιο επίπεδο η δημοτικότητα του βιομεθανίου συνεχώς ακολουθεί ανοδική πορεία λόγω του ουδέτερου αποτυπώματος άνθρακα που το χαρακτηρίζει, της αποτελεσματικότητάς του στη διαχείριση των οργανικών αποβλήτων, της παροχής καθαρής ενέργειας και τέλος, η εξαιρετική του προσαρμογή στις αγροτικές και αστικές εφαρμογές. Είναι μια εναλλακτική λύση, απόλυτα απαραίτητη για τις ενεργοβόρες σύγχρονες κοινωνίες (Χρυσογιάννη, 2019).

Η αναερόβια χώνευση παράγει βιοαέριο, ένα μίγμα από CH_4 και CO_2 όπου το CH_4 έχει μικρότερο κόστος, είναι φιλικό προς το περιβάλλον και αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (Khan, et al., 2021). Η χρήση του βιοαερίου αυξάνεται με ραγδαίους

ρυθμούς στην προσπάθεια μείωσης της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από την οργανική βιομάζα. Το βιοαέριο όμως περιέχει ανεπιθύμητες χημικές ενώσεις και συστατικά όπως υδρόθειο, μονοξείδιο του άνθρακα, σιλοξάνες και διοξείδιο του άνθρακα. Για την αφαίρεση των στοιχείων αυτών μπορούν να εφαρμοστούν πολλές τεχνικές οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω. Οι τεχνικές αυτές έχουν όμως κάποια μειονεκτήματα, όπως το υψηλό κόστος των χημικών που χρησιμοποιούνται, οι υψηλές απαιτήσεις ενέργειας και το κόστος λειτουργίας. Φυσικά, οι επιστήμονες καταβάλλουν μεγάλες προσπάθειες για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα και να ξεπεραστούν οι δυσκολίες μέσω της δημιουργίας καινοτόμων ανεπτυγμένων τεχνολογιών όπως ο κρυογονικός διαχωρισμός και η βιολογική αναβάθμιση (Khan, et al., 2021).

Το βιοαέριο, αποτελεί προϊόν της αναερόβιας χώνευσης όπως έχει αναφερθεί ξανά και αποτελείται βασικά από μεθάνιο (CH_4) (50 – 70%) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) (30 – 50%). Σε μικρότερες συγκεντρώσεις υπάρχουν και άλλες ενώσεις, όπως για παράδειγμα το άζωτο (N_2), σε συγκεντρώσεις 0-3%, υδρατμοί (H_2O) σε συγκεντρώσεις 5-10%, οξυγόνο (O_2) σε συγκεντρώσεις από 0 – 1%, υδρόθειο (H_2S) σε συγκέντρωση 0-10.000 ppm, αμμωνία (NH_3) που προέρχονται από την υδρόλυση πρωτεϊνών, υδρογονάνθρακες σε συγκεντρώσεις 0-200 mg/m³ και σιλοξάνες σε συγκεντρώσεις 0-41 mg/m³. Εκτός από το CH_4 , όλα τα άλλα αέρια που περιέχονται στο βιοαέριο είναι ανεπιθύμητα. Το ενεργειακό περιεχόμενο του μεθανίου είναι 50.4 MJ/kg ή 36 MJ/m³. Όσο λοιπόν υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε CO_2 ή N_2 , τόσο χαμηλότερο είναι το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοαερίου που παράγεται (Χρυσογιάννη, 2019). Οι σύγχρονες τάσεις οδηγούν προς τον καθαρισμό του βιοαερίου από προσμίξεις οι οποίες είναι ανεπιθύμητες και φυσικά στοχεύουν στην αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο.

5.2. Οι τεχνολογίες αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο

Το βιοαέριο μπορεί να διανεμηθεί τόσο μέσω των ήδη υπαρχόντων δικτύων φυσικού αερίου και να χρησιμοποιηθεί για τους ίδιους σκοπούς με το φυσικό αέριο όσο και να συμπιεστεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την κίνηση οχημάτων και για την εξυπηρέτηση των μεταφορών. Πριν από τη χρήση του για έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου ή ως καύσιμο οχημάτων, το βιοαέριο πρέπει να υποστεί μία διαδικασία αναβάθμισης κατά την οποία καθαρίζεται από προσμίξεις και διοξείδιο του άνθρακα και ενισχύεται το περιεχόμενό του σε μεθάνιο. Η ενίσχυση του μεθανίου οδηγεί από το συνηθισμένο 50-75% σε επίπεδα μεγαλύτερα από 95% (Al Seadi, 2008). Από την αναβάθμιση του βιοαερίου προκύπτει το βιομεθάνιο. Η αύξηση της περιεκτικότητας του μεθανίου που περιέχεται στο βιομεθάνιο μπορεί να επιτευχθεί μέσω διάφορων τεχνολογιών με στόχο την αφαίρεση των μολυσματικών ουσιών. Η αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα είναι απαραίτητη να γίνεται προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη ποιότητα. Κατά την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα από το βιοαέριο απομακρύνονται ακόμη και μικρές ποσότητες μεθανίου. Το μεθάνιο αποτελεί ένα αέριο του θερμοκηπίου περίπου 23 φορές ισχυρότερο από το CO₂ (δηλ. ένα μόριο μεθανίου είναι 23 φορές αποδοτικότερο ως προς τη δέσμευση της θερμότητας από τη γη από ένα μόριο CO₂) (Al Seadi, 2008). Είναι σημαντικό να κρατηθούν χαμηλές αυτές οι απώλειες μεθανίου, εξίσου για οικονομικούς και για περιβαλλοντικούς λόγους. Υπάρχουν δύο συνήθεις τρόποι για την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα, η απορρόφηση (καθαρισμός μέσω ύδατος ή οργανικού διαλύτη) και η προσρόφηση (προσρόφηση με μετάπτωση πίεσης) (Al Seadi, 2008).

Το κόστος για τον καθαρισμό και την αναβάθμιση του βιοαερίου είναι συνέπεια του κόστους της επένδυσης, της λειτουργία της μονάδας και της συντήρησης του εξοπλισμού. Για το κόστος επένδυσης, ένας σημαντικός παράγοντας είναι το μέγεθος της μονάδας. Το συνολικό κόστος επένδυσης αυξάνεται με την αύξηση της δυναμικότητας, αλλά το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος είναι χαμηλότερο για τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις σε σχέση με τις μικρές. Για τις λειτουργικές δαπάνες το μεγαλύτερο μέρος της επεξεργασίας αφορά στην αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα. Καθώς η αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο συνεχώς αυξάνεται, οι μονάδες παραγωγής βιομεθανίου όλο και πληθαίνουν. Οι τεχνολογίες που απαιτούνται για τη μετατροπή του βιοαερίου σε βιομεθάνιο περιγράφονται παρακάτω και είναι φυσικές, χημικές και βιολογικές:

- **Τεχνολογίες απορρόφησης:** Περιγράφονται οι τεχνολογίες που βασίζονται στη διαφορετική διαλυτότητα των συστατικών του αερίου σε ένα υγρό διάλυμα. Τα συστατικά που πρέπει να αφαιρεθούν από το βιοαέριο, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, είναι περισσότερο διαλυτά στα υγρά συγκριτικά με το αέριο και με αυτόν τον τρόπο απομακρύνονται από το αέριο ρεύμα. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η εξαιρετική ποιότητα του παραγόμενου βιομεθανίου με τις λιγότερες δυνατές απώλειες (Al Seadi, 2008).
- **Τεχνολογία προσρόφησης:** Ως προσροφητικά υλικά συνήθως χρησιμοποιούνται διαφορετικά είδη ενεργού άνθρακα τα οποία προσροφούν εκλεκτικά το CO₂ από το βιοαέριο, εμπλουτίζοντας το με μεθάνιο. (Χρυσογιάννη, 2019).
- **Τεχνολογία μεμβρανών:** Οι μεμβράνες αυτής της τεχνικής, αποτελούνται από πολυμερή υλικά, όπως πολυσουλφόνη, πολυαμίδιο ή πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο, που είναι διαπερατά για το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό και την αμμωνία. Το υδρόθειο, το οξυγόνο και το άζωτο διαπερνούν τη μεμβράνη σε βαθμό μεγαλύτερο από αυτόν που διαπερνά το βιομεθάνιο (Χρυσόγιαννη, 2019)
- **Κρυογονική τεχνολογία:** Η τεχνική αυτή αναβάθμισης βασίζεται στους διαφορετικούς βαθμούς υγροποίησης του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα (-161 °C και -78.5 °C αντίστοιχα). Μετά την υγροποίηση του μεθανίου γίνεται η αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα. Ο διαχωρισμός αυτός πραγματοποιείται έπειτα από ξήρανση και συμπίεση του βιοαερίου ως τα 80 bar και σταδιακή πτώση της θερμοκρασίας στους -110°C (Al Seadi, 2008).
- **Τεχνολογία αεριοποίησης βιομάζας:** Μέσω της τεχνικής αυτής γίνεται η μετατροπή της στερεής βιομάζας σε αέριο με υψηλή περιεκτικότητα σε μεθάνιο (περίπου 95%).

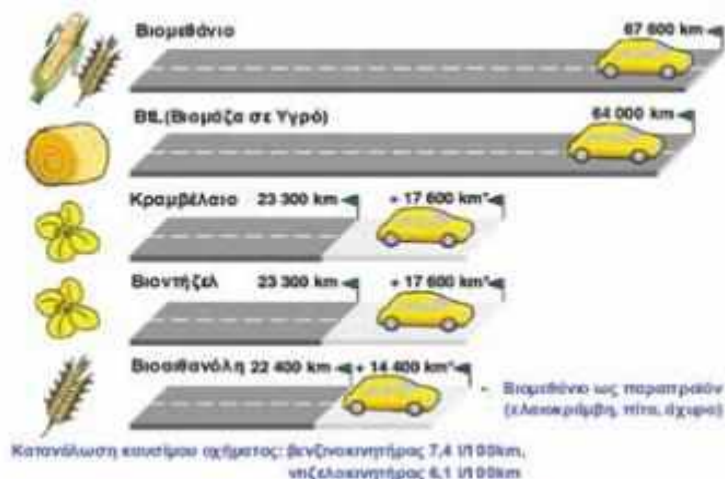
5.3. Η αξιολόγηση των διαδρομών αναβάθμισης του βιοαερίου

Η αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο μέσω της αφαίρεσης του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων περιεχομένων είναι μια διαδικασία που επιτρέπει στο αέριο που παράγεται να αποκτήσει τις προδιαγραφές για την χρησιμοποίησή του ως αντικαταστάτη του φυσικού αερίου. Είναι δυνατή η έγχυση του βιομεθανίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου για τη χρήση του στις μεταφορές (Lorenzi, 2019). Στόχος είναι η μετατροπή της υγρής βιομάζας σε ένα άριστο υποκατάστατο του φυσικού αερίου. Ωστόσο, το ενσωματωμένο CO₂ θα μπορούσε να ανακυκλωθεί άμεσα σε μεθάνιο μέσω μιας υψηλής θερμοκρασιακής συν-ηλεκτρόλυσης, μια διαδικασία που ακολουθείται από ένα βήμα μεθανοποίησης και έτσι, αυξάνεται η απόδοση παραγωγής βιομεθανίου (Lorenzi, 2019). Το βιομεθάνιο είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και πολλές διαφορετικές τεχνολογίες είναι πλέον διαθέσιμες για την αναβάθμιση του βιοαερίου. Όλες στηρίζονται στην απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα και στη διατήρηση ενός αερίου πλούσιου σε μεθάνιο. Το διοξείδιο του άνθρακα που έχει διαχωριστεί συνήθως απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Αυτό συνεπάγεται ότι το σημαντικό μέρος του βιοαερίου εξατμίζεται με αρνητικό αντίκτυπο στην απόδοση παραγωγής του βιομεθανίου. Οι μεγαλύτερες αποδόσεις βιομεθανίου προκύπτουν από την ανακύκλωση του CO₂ σε CH₄. Η τεχνική της ηλεκτρόλυσης με αυξημένη θερμοκρασία και το στάδιο μεθανοποίησης που αναφέρθηκε είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος για την ανακύκλωση του διοξειδίου του άνθρακα. Αυτή η διαδικασία θεωρείται ως μια διαδρομή από την ενέργεια προς το αέριο (power to gas) καθώς κάνει χρήση της ενέργειας με χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα με σκοπό την παραγωγή ενός συνθετικού καυσίμου (Lorenzi, 2019).

5.4. Το βιοαέριο ως καύσιμο οχημάτων

Το βιομεθάνιο αποτελεί μια καθαρή πηγή ενέργειας με ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως η αντικατάσταση του φυσικού αερίου και η έγχυση του βιομεθανίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου. Αποτελεί ένα φιλόδοξο σχέδιο με σαφή περιβαλλοντικά οφέλη. Επιπροσθέτως, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού, θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα ακόμη φιλόδοξο σχέδιο είναι η αντικατάσταση του πεπεσμένου φυσικού αερίου και του πετρελαίου ντίζελ ως καύσιμο για μεταφορές και μετακινήσεις

(Χρυσογιάννη, 2019). Η χρησιμοποίηση του βιοαερίου στον τομέα των μεταφορών είναι μια τεχνολογία με μεγάλο δυναμικό και σημαντικά οφέλη. Το βιοαέριο χρησιμοποιείται ήδη ως καύσιμο σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες σαν τις Σκανδιναβικές (Σουηδία, Φινλανδία, Νορβηγία) και τις χώρες της κεντρικής Ευρώπης με μεγάλη οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη όπως η Ελβετία και η Γερμανία. Ο αριθμός των ιδιωτικών οχημάτων, των οχημάτων δημόσιας χρήσης, και των φορτηγών που κινούνται με αέριο αυξάνεται ραγδαία (Al Seadi, 2008). Το βιομεθάνιο χρησιμοποιείται ως καύσιμο με τον ίδιο τρόπο στα οχήματα όπως και το φυσικό αέριο, με μερικές αλλαγές στους κινητήρες και γενικότερα στη μηχανική κατασκευή. Η τάση που επικρατεί στην Ευρώπη είναι η αντικατάσταση των μέσων μαζικής μεταφοράς τα οποία κινούνται με πετρέλαιο με οχήματα τα οποία χρησιμοποιούν βιομεθάνιο για τη λειτουργία τους. Τα οχήματα αυτά υπερέχουν σημαντικά από τα οχήματα που κινούνται με τα συμβατικά καύσιμα. Οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μειώνονται όπως και οι εκπομπές σωματιδίων. Στην παρακάτω εικόνα συγκρίνονται τα βιοκαύσιμα μεταφορών (Εικόνα 11) με την απόσταση που διανύεται από τα οχήματα τα οποία κινούνται με βιοκαύσιμα τα οποία παράγονται από βιομάζα υπολλειμμάτων ενός εκταρίου καλλιεργούμενης γης (Al Seadi, 2008).



Εικόνα 11 Σύγκριση βιοκαυσίμων για τις μεταφορές (Σιούλας, 2008)

5.5. Μετατροπή βιοαερίου σε υγροποιημένο βιομεθάνιο: προκλήσεις και μελλοντικές προοπτικές

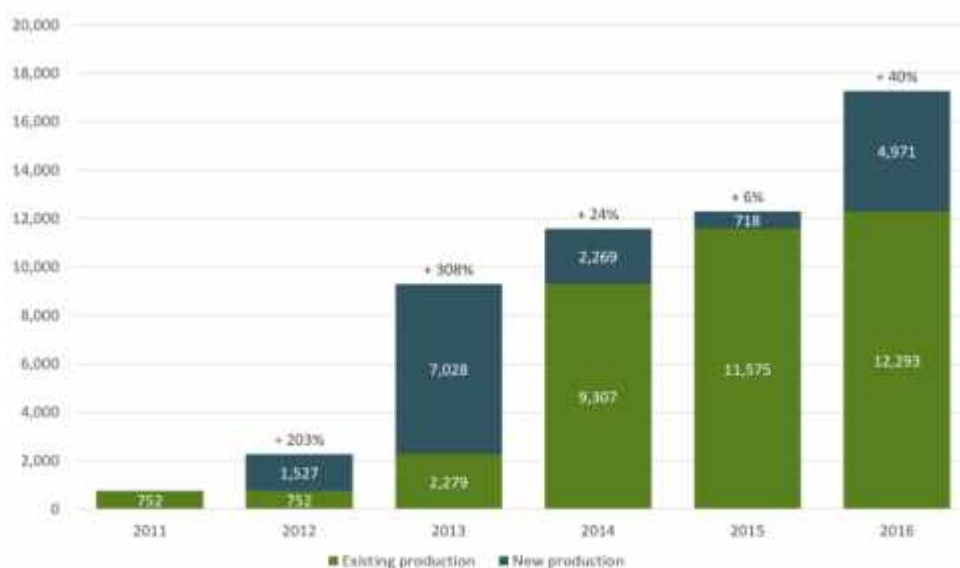
Καθώς τα περιβαλλοντικά προβλήματα και οι επιπτώσεις στην δημόσια υγεία έχουν συνδεθεί με την ευρεία χρήση των ορυκτών καυσίμων, το ερώτημα για την συνέχιση της χρήσης τους αλλά και την ένταση της χρήσης αυτής είναι πιο επίκαιρο από ποτέ. Τα ερωτήματα είναι πολλά, όπως π.χ.: «Είναι ωφέλιμο να συνεχιστεί η χρήση των ορυκτών καυσίμων;» «Πρέπει να περιοριστεί η χρήση τους;», «Πως θα καλυφθούν οι όλο και αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες σε παγκόσμιο επίπεδο;», «Με τί θα αντικατασταθούν τα ορυκτά καύσιμα ως μια πιο βιώσιμη επιλογή;». Αν και είναι αρκετά δύσκολο να δοθούν όλες οι απαντήσεις, το σίγουρο είναι ότι το βιοαέριο έχει πολλές προοπτικές για τη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα (Abdul, et al., 2020).

Παγκοσμίως, η ικανότητα παραγωγής βιοαερίου έχει φτάσει τα 16.9 GW (Gigawatt) το 2017 συγκριτικά με το 2008 που ήταν 6.7 GW. Ανάλογα με τα ενεργειακά προγράμματα της κάθε χώρας αλλά και τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες, αναπτύσσονται διαφορετικά συστήματα παραγωγής βιοαερίου, διαφορετικά μεγέθη παραγωγής βιοαερίου, διαφορετικός αριθμός και μέγεθος μονάδας παραγωγής και υπάρχουν κάθε κλίμακας παραδείγματα. Η Ευρώπη έχει αναδειχθεί ως ηγέτιδα στην αγορά και την εξέλιξη του βιοαερίου, με παραγωγή πάνω από το 60% της παγκόσμιας παραγωγής βιοαερίου. Η ευρωπαϊκή επιτροπή βιοαερίου (European Biogas Association – EBA), έχει αναφέρει πως η Ευρώπη είχε 6.227 εγκαταστάσεις το 2009 και αυξήθηκαν σε 17.662 το 2016. Το 2010 η ανάπτυξη της Ευρώπης είχε εστιάσει στην ανάπτυξη της βιομηχανίας του βιοαερίου, με στόχο μια πράσινη ενεργειακή παραγωγή. Τα τελευταία χρόνια η προσοχή των ευρωπαϊκών κρατών έχει στραφεί στην αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο. Η παραγωγή του βιομεθανίου έχει αναπτυχθεί ραγδαία από 752 GWh το 2011 σε 17.264 το 2016. Κατά το 2016 η παραγωγή βιομεθανίου στην Ευρώπη αυξήθηκε κατά 40% (Abdul, et al., 2020). Οι χώρες που παρουσίασαν τη μεγαλύτερη ανάπτυξη ήταν η Γερμανία, η Γαλλία και η Σουηδία. Αντιθέτως, σε χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία, η παραγωγή βιοαερίου πραγματοποιείται σε οικιακό επίπεδο. Στην Κίνα από το 2003 ως το 2013 χτίστηκαν 42 εκατομμύρια εγκαταστάσεις βιοαερίου. Επίσης, οι εγκαταστάσεις σε Μαλαισία και Ταϊλάνδη αναπτύσσονται σε τροχιά στόχου. Η Ταϊλάνδη έχει θέσει στόχο την

παραγωγή βιοενέργειας στα 5570 MW (MegaWatt) ως το 2036, η Μαλαισία τα 1065 MW ως το 2020 και η Ινδονησία σκοπεύει να πετύχει 810 MW ως το 2025.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο την μείωση των εκλύσεων αερίων θερμοκηπίου κατά 80-95% μέχρι το 2050. Οι πολιτικές και οι στόχοι της Ε.Ε. για το 2030, έχουν θεσπιστεί με κύριους στόχους την κατά 40% μείωση της έκλυσης των αερίων του θερμοκηπίου συγκριτικά με τα στοιχεία του 1990, το λιγότερο 27% μερίδιο ανανεώσιμης ενέργειας κατανάλωσης και τουλάχιστον 27% εξοικονόμηση ενέργειας συγκριτικά με τις συνήθειες δραστηριότητες.

Το βιοαέριο και το βιομεθάνιο μπορούν να αποτελέσουν βιώσιμες και αποδοτικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με την αντίστοιχη οικονομική και πολιτική στήριξη.



Εικόνα 12 Παραγωγή βιοαερίου και βιομεθανίου στην Ευρώπη (Abdul, 2020)

Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζεται η ήδη παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από το 2011 ως το 2016 και η καινούργια παραγωγή βιοαερίου για τα ίδια έτη στην Ευρώπη. Επισημαίνεται το ποσοστό αύξησης ώστε να είναι κατανοητή η αυξητική τάση της αγοράς (Εικόνα 12).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1. Πρώτες ύλες

Οι αγροτικές μονάδες λαμβάνουν μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών ανεξαρτήτως του μεγέθους τους. Οι βασικοί λόγοι της διαφοροποίησης τους είναι η δυσκολία στην προμήθεια, η αύξηση του κόστους των πρώτων υλών, το κόστος μεταφοράς και εξοπλισμού (Κεμαλμά, 2020). Τα είδη των πρώτων υλών είναι:

1. Υγρές κοπριές από στάβλους: Συνήθως προέρχονται από εγκαταστάσεις βοοειδών και χοιροτροφεία. Η χρήση των αποβλήτων για παραγωγή βιοαερίου απαλλάσσει τις μονάδες από την υποχρέωση διάθεσης των αποβλήτων.
2. Στερεές κοπριές: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι κοπριές από μικρότερες εγκαταστάσεις βοοειδών, από εγκαταστάσεις πτηνοτροφείων, ποιμνιοστασίων αιγοπροβάτων και μονάδων εκτροφής γουνοφόρων. Το αρνητικό στην κατηγορία αυτή είναι η ύπαρξη υλικών όπως πέτρες και μεταλλικών αντικειμένων μέσα στην κοπριά τα οποία προέρχονται από τον χώρο σταυλισμού.
3. Υπολείμματα παραγωγής βιοκαυσίμων: Στην κατηγορία αυτή ανήκει η γλυκερίνη. Απαιτείται αποθήκευσή της σε θερμαινόμενο χώρο και παρουσιάζει και αυτή το πλεονέκτημα της υψηλής θερμοκρασίας με αποτέλεσμα τη μείωση του θερμικού φορτίου μέσα στο χωνευτήρα. Η τιμή της εξαρτάται από την καθαρότητα της και από τη ζήτηση.
4. Υπολείμματα μεταποίησης γάλακτος και υπολείμματα τυροκομείου: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν κυρίως το τυρόγαλο και τα ληγμένα τυροκομικά προϊόντα. Η χρήση του τυρόγαλου στις μονάδες βιοαερίου δίνει λύση στους ιδιοκτήτες των τυροκομείων που είναι υπόχρεοι για τη διάθεσή του. Το τυρόγαλο έχει πολύ υψηλή θερμοκρασία και αυτό βοηθάει στη μείωση του θερμικού φορτίου μέσα στο χωνευτήρα. Το μειονέκτημα του τυρόγαλου είναι η εποχικότητα, δηλαδή υπάρχει έντονη εξάρτηση από τα τυροκομεία.
5. Υπολείμματα καλλιεργειών: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν υπολείμματα σίτου, αραβοσίτου και άλλων φυτικών ειδών. Τα υπολείμματα διαχωρίζονται σε υγρά και στερεά απόβλητα. Στα υγρά απόβλητα ανήκουν τα υπολείμματα

ελαιουργίας και ζυθοποιίας ενώ στα στερεά απόβλητα ανήκουν οι κεφαλές τεύτλων και τα ληγμένα φρούτα.

6. Υπολείμματα σφαγείων: όπως οστά, αίμα και κρέας. Λόγω της επικινδυνότητας που παρουσιάζουν για τη δημόσια υγεία απαιτείται η αποτέφρωσή τους (Κεμαλμά, 2020).

Έπειτα από επικοινωνία με τον αγροτικό πτηνοτροφικό συνεταιρισμό Πίνδος συγκεντρώθηκαν περαιτέρω πληροφορίες για τον τρόπο με το οποίο γίνεται η αξιοποίηση των υποπροϊόντων σφαγείου. Η εν λόγω εταιρία διαθέτει κλίβανους αποστείρωσης για την αξιοποίηση των πτηναλεύρων σε ζωοτροφές. Πιο συγκεκριμένα, τα υποπροϊόντα του σφαγείου (κεφαλές πτηνών, πτερά, πόδια κ.α.) μένουν στον κλίβανο αποστείρωσης για 5-6 ώρες μέχρι να φτάσουν τη θερμοκρασία των 133°C για 20 λεπτά. Ακολουθεί ο διαχωρισμός λίπους όπου και παράγονται δυο διαφορετικά υποπροϊόντα, το ζωικό λίπος και το άλευρο. Το ζωικό λίπος χρησιμοποιείται για την παραγωγή ζωοτροφών (pet food) και παραγωγή βιοντίζελ ενώ τα παραγόμενα άλευρα χρησιμοποιούνται για ζωοτροφές.

Η εταιρία Πίνδος διαθέτει ακόμη μονάδα κομποστοποίησης για την αξιοποίηση της κοπριάς. Μετα την ολοκλήρωση της εκτροφής των κρεοπαραγωγικών ορνιθίων συλλογή της κόπρου από τον χώρο σταύλισης αλλά και τα φυτικά υπολείμματα της στρωμνής όπως άχυρο και ριζοφλοιός. Η μονάδα κομποστοποίησης διαθέτει 6 κανάλια επί 60 μέτρα, συσκευές ζύμωσης και ξήρανσης με σκοπό την παραγωγή ενός εμπορεύσιμου εδαφοβελτιωτικού το οποίο παράγεται μέσω ανάδευσης και δίμηνης επεξεργασίας (Τζαμίχας, Κ., προσωπική επικοινωνία, Μάιος 2022).

6.2. Κτηνοτροφικά απόβλητα

Η αύξηση της κτηνοτροφικής παραγωγής έχει τόσο θετικό όσο και αρνητικό αντίκτυπο στη ζωή των ανθρώπων και στο περιβάλλον. Η όλο και αυξανόμενη εκτροφή ζώων έχει θετικό αντίκτυπο λόγω της επάρκειας της τροφής και της χαμηλής τιμής αλλά και λόγω του ανοίγματος θέσεων εργασίας για πολλούς ανθρώπους. Όσον αφορά στον αρνητικό αντίκτυπο που έχει η κτηνοτροφία στο περιβάλλον, πρόσφατες έρευνες έδειξαν πως η

ζωική παραγωγή παράγει το 14.5% των συνολικών εκλύσεων αερίου του θερμοκηπίου (Halmaciu, et al., 2017). Η εκτροφή των ζώων και ευρύτερα η κτηνοτροφική και αγροτική δραστηριότητα προκαλεί αύξηση της παραγωγής στερεών και υγρών αποβλήτων. Τα απόβλητα αυτά είναι αποτέλεσμα του μεταβολισμού της τροφής και του ύδατος που καταναλώνεται από τα ζώα για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών. Είναι σύνηθες να γίνεται αποβολή κόπρου και υπολειμμάτων της τροφής στους χώρους σταυλισμού των ζώων με αποτέλεσμα την παραγωγή αποβλήτων, την αύξηση του μικροβιακού φορτίου και την έκλυση δυσάρεστων οσμών. Φυσικά, η έκλυση αυτή είναι ανάλογη της εντατικοποίησης της εκτροφής. Οι οργανικές ενώσεις εμπεριέχονται στα κτηνοτροφικά απόβλητα σε ποσοστό μεγαλύτερο του 70%. Οι οργανικές αυτές ουσίες προέρχονται κυρίως από τις τροφές που δεν αφομοιώθηκαν από το πεπτικό σύστημα των ζώων και ελευθερώθηκαν στο περιβάλλον και δευτερευόντως από την τροφή και το νερό που χύθηκαν κατά την εκτροφή. Συνεπώς, απελευθερώνονται στο χώρο εκτροφής πολλοί μικροοργανισμοί, βλαβεροί για την υγεία των ζώων και την υγιεινή του χώρου. Αυτοί οι μικροοργανισμοί βρίσκουν άφθονο οργανικό υπόστρωμα και αναπτύσσονται με υψηλό ρυθμό ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες του περιβάλλοντος. Τέτοιες συνθήκες είναι η θερμοκρασία και το pH. Τα προϊόντα που προκύπτουν από την ανάπτυξη των μικροοργανισμών που αναλύθηκαν είναι το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα, το υδρόθειο, η αμμώνια, το μεθάνιο και διάφορες άλλες δύσοσμες ουσίες. Οι οσμές αυτές διαφέρουν σε ένταση ανάλογα με τις συνθήκες συντήρησης των αποβλήτων και ο όγκος τους εξαρτάται από το είδος και την ηλικία ή το βάρος των ζώων αλλά και από τη διατροφή (Μαρίνης, 2017).

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά των κτηνοτροφικών αποβλήτων από τρία διαφορετικά είδη εκτρεφόμενων ζώων (τους χοίρους, τα βοοειδή και τα πτηνά) ανά μονάδα ζώου και σε κιλά ανά ημέρα. Η ρυπογόνος ικανότητα των αποβλήτων γίνεται με τις εξής παραμέτρους: τα πτητικά στερεά (Π.Σ.), το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο 5 ημερών (BOD5) και το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD) (Μαρίνης, 2017).

Πίνακας 6 Μέσος όρος χαρακτηριστικών κτηνοτροφικών αποβλήτων (kg/ημέρα) (Μαρίνης, 2017)

Μέσος Όρος Χαρακτηριστικών Κτηνοτροφικών αποβλήτων(kg/day)			
Παράμετρος	Χοίροι	Βοοειδή	Πουλερικά(κότες)
Οργανικά υλικά(Organic Matter)	0,448	0,755	0,026
Αιωρούμενα Υλικά(Suspended Matter)	0,470	0,728	0,029
COD	0,726	1,259	0,047
BOD5	0,191	0,180	0,012
Ολικό Άζωτο	0,041	0,036	0,002
Άζωτο Αμμωνιακών	0,022	0,011	0,002
Φώσφορος	0,014	0,011	0,001
Νάτριο	0,016	0,036	0,001

Πίνακας 7 Παραγόμενα απόβλητα (τόνοι/έτος) και ισχύς (MW) από διάφορες πηγές βιομάζας (Μαρίνης, 2017)

Πηγές	Ζωικές Μονάδες	Απόβλητα(Τόνοι/ χρόνο)	Ισχύς(MW)
Βουστάσια	755665 βοοειδή	13601970	233
Χοιροτροφεία	147920 χοιρομητέρες	2227072	36
Πτηνοτροφεία	33875054 κοτόπουλα	813001	86
Μεταποίηση γάλακτος	1175319 αγελάδες	822723	14
Σύνολο		17514766	369

Στην χώρα μας παράγεται πλήθος ζωικών αποβλήτων. Η ετήσια παραγωγή βιομάζας από οργανικά απόβλητα στη χώρα μας κυμαίνεται από 14 -17 εκατομμύρια τόνους (Skoulou et al. 2005), και έχει υπολογιστεί πως αν τα απόβλητα της κτηνοτροφίας, τα αγροτικά υπολείμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων υποστούν αναερόβια χώνευση υπάρχει επάρκεια για την τροφοδοσία μονάδων παραγωγής συνολικής ισχύος 350 MW (Ζαφείρης 2007).

Οι δύο χώρες που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη παραγωγή βιοαερίου στην Ευρώπη είναι η Γερμανία 65.300 GWh/y και η Ιταλία με 20.839 GWh/y, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 3.455 MWe και 1.075 MWe, αντιστοίχως. Στην Γερμανία, ο κύκλος εργασιών είναι στα 6,9 δισεκατομμύρια ευρώ ενώ ο αριθμός των εργαζομένων υπολογίστηκε τους 54.000 εργαζόμενους (Χρυσογιάννη, 2019).

6.3. Αποδόσεις ανάλογα με την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται

Πίνακας 8 Πρώτες ύλες παραγωγής βιοαερίου (Σιούλας, 2008)

ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ%	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ m ³ ΤΟΝΟΣ ΦΡΕΣΚΙΑΣ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ
ΥΓΡΗ ΚΟΠΡΙΑ ΒΟΟΕΙΔΩΝ	60	25
ΥΓΡΗ ΚΟΠΡΙΑ ΧΟΙΡΩΝ	65	28
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΙΩΝ ΔΙΑΛΥΤΑ	61	40
ΚΟΠΡΙΑ ΒΟΟΕΙΔΩΝ	60	45
ΚΟΠΡΙΑ ΧΟΙΡΩΝ	60	60
ΚΟΠΡΙΑ ΠΟΥΛΕΡΙΚΩΝ	60	80
ΤΕΥΤΛΑ	53	88
ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	61	100
ΓΛΥΚΟ ΣΟΡΓΟ	54	108
ΣΩΡΟΣ ΧΛΟΗΣ	54	172
ΣΩΡΟΣ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ	52	202

Στην Ελλάδα το βιοαέριο παράγεται και αξιοποιείται μέσω της επεξεργασίας αστικών και κτηνοτροφικών λυμάτων και από καλλιεργητικά υπολείμματα. Τέτοια λύματα προέρχονται από αγροδιατροφικές μονάδες (σφαγεία, ελαιουργεία, τυροκομεία κλπ.) και λύματα από την αποσύνθεση των απορριμμάτων. Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται η παραγωγή μεθανίου % από τις διάφορες πρώτες ύλες. Παρατηρείται πως η μεγαλύτερη % παραγωγή μεθανίου προέρχεται από τη χρήση της υγρής κόπρου των χοίρων ενώ η μικρότερη από τον αραβόσιτο (Γιακουμάκης, 2012).

6.4. Πτηνοτροφικά απόβλητα και αξιοποίηση

Όπως αναφέρθηκε στόχος της κυκλικής οικονομίας είναι η επαναξιοποίηση των φυσικών πόρων και ο μετασχηματισμός τους σε ωφέλιμες για το περιβάλλον μορφές. Τα κτηνοτροφικά απόβλητα χαρακτηρίζονται από υψηλό οργανικό και ανόργανο φορτίο αλλά και από μεγάλη περιεκτικότητα σε παθογόνους μικροοργανισμούς (Μάρκου, 2016). Η εντατικοποίηση της πτηνοτροφικής παραγωγής δημιούργησε και την ανάγκη για αναζήτηση λύσεων ώστε να μειωθεί το αποτύπωμα στο περιβάλλον και να αξιοποιηθούν προϊόντα τα οποία μέχρι πρόσφατα απορρίπτονταν. Στον τομέα της ελληνικής κτηνοτροφίας η πτηνοτροφία αποτελεί τον πιο δυναμικό κλάδο καθώς

καλύπτει το 95-97% των αναγκών της εγχώριας κατανάλωσης πτηνοτροφικών προϊόντων. Λόγω των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλεί η έκλυση των αποβλήτων στο έδαφος και στα ύδατα, η διαχείρισή τους καθίσταται δύσκολη. Όπως είναι γνωστό τα απόβλητα περιέχουν σημαντικές ποσότητες οργανικού και ανόργανου αζώτου. Καθώς τα πτηνοτροφικά απόβλητα θεωρούνται βιομάζα μπορούν να συμμετέχουν στην παραγωγή βιοκαυσίμων και ενέργειας (Μάρκου, 2016). Πιο συγκεκριμένα, τα πτηνοτροφικά απόβλητα έχουν δείξει πως αποτελούν ποιοτική πρώτη ύλη, με πολλά περιβαλλοντικά οφέλη κατά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Όμως, τα πτηνοτροφικά απόβλητα δεν ήταν τόσο δημοφιλή συγκριτικά με τα απόβλητα από βοοειδή και χοίρους λόγω της υψηλής τους περιεκτικότητας σε άζωτο και σε λιγνίνη (Bhatnagar, 2022). Το γεγονός όμως ότι η παγκόσμια πτηνοτροφία αυξάνεται ραγδαία και συνεπώς εναποτίθενται στο περιβάλλον τα απόβλητα των εκτροφών αυτών κάνει επιτακτική την ανάγκη διαχείρισής τους. Η σύγχρονη επιστήμη έχει παρουσιάσει τρόπους για να ξεπεραστούν αυτές οι προκλήσεις και να διαφανούν τα οφέλη χρήσης των πτηνοτροφικών αποβλήτων στην αναερόβια χώνευση.

Σύμφωνα με το ν.3851/2010 όπως τροποποιήθηκε με τον Ν.4254/2014 οι μονάδες βιοαερίου διακρίνονται σε 3 κατηγορίες με βάση την εγκατεστημένη ισχύ τους (Pinstalled) ως ακολούθως:

- Pinstalled \leq 500 kW
- 500 kW < Pinstalled \leq 1MW
- Pinstalled > 1 MW

και καθορίζεται το σύνολο των απαιτούμενων αδειών ανά κατηγορία, σύμφωνα με τα παρακάτω (Κεμαλμά, 2020):

A. Εγκατεστημένη Ισχύς μονάδας \leq 500 kW (P<installed \leq 500 kW)

- Δεν απαιτείται Άδεια Παραγωγής από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ).
- Πρέπει να χορηγηθεί αίτηση για την διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης προς τον αρμόδιο Διαχειριστή. Χορηγείται Προσφορά Σύνδεσης καταρχήν μη δεσμευτική. Αυτή οριστικοποιείται και καθίσταται δεσμευτική μετά το τέλος της περιβαλλοντικής αδειοδότηση , όπου απαιτείται.

- Απαιτείται η έκδοση βεβαίωσης απαλλαγής από την υποχρέωση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ). Αυτή εκδίδεται από την ΔΙ.ΠΕ.ΧΩ. της οικείας Περιφέρειας εντός αποκλειστικής προθεσμίας 20 ημερών, μετά την άπρακτη παρέλευση της οποίας θεωρείται αυτή χορηγηθείσα (Ν.3851, αρθ.3). Κατ' εξαίρεση απαιτείται ΕΠΟ εάν: α) το έργο εγκαθίσταται εντός περιοχής Natura 2000 ή σε απόσταση < 100m από αιγιαλό, ή β) γειτνιάζει σε απόσταση <150m με άλλο σταθμό ίδιας τεχνολογίας, η δε αθροιστική ισχύς υπερβαίνει το όριο των 500 kW.
- Εφόσον πρόκειται να εκτελεσθούν δομικά έργα, πρέπει να ληφθούν οι απαραίτητες Οικοδομικές Άδειες.
- Απαιτείται Σύμβαση Σύνδεσης.
- Απαιτείται Σύμβαση Αγοραπωλησίας.
- Δεν απαιτείται Δοκιμαστική Λειτουργία.
- Δεν απαιτείται Άδεια Εγκατάστασης ούτε Άδεια Λειτουργίας (Ν.3468/2006, αρθ.8, όπως τροποποιήθηκε με το αρθ.3, §2 του Ν.3851 και ισχύει).

B. 500 kW < Εγκατεστημένη Ισχύς μονάδας ≤1 MW (500 kW < P_{installed} ≤ 1MW)

- Δεν απαιτείται Άδεια Παραγωγής ΡΑΕ.
- Πρέπει να υποβληθεί αίτηση για την διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης προς τον Διαχειριστή. Χορηγείται Προσφορά Σύνδεσης καταρχήν μη δεσμευτική. Αυτή οριστικοποιείται και καθίσταται δεσμευτική μετά το τέλος της περιβαλλοντικής αδειοδότησης, όπου απαιτείται.
- Απαιτείται ΕΠΟ. Η οποία χορηγείται κατόπιν αιτήσεως που συνοδεύεται από Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) τύπου ανάλογου με την κατηγορία του έργου.
- Εφόσον πρόκειται να εκτελεσθούν δομικά έργα, πρέπει να ληφθούν οι απαραίτητες Οικοδομικές Άδειες.
- Απαιτείται Σύμβαση Σύνδεσης.
- Απαιτείται Σύμβαση Αγοραπωλησίας.
- Δεν απαιτείται Δοκιμαστική Λειτουργία.
- Δεν απαιτείται Άδεια Εγκατάστασης ούτε Άδεια Λειτουργίας

C. Εγκατεστημένη Ισχύς μονάδας > 1 MW (Pinstalled > 1 MW)

- Απαιτείται Άδεια Παραγωγής ΡΑΕ.
- Πρέπει να υποβληθεί αίτηση για την διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης προς τον αρμόδιο Διαχειριστή. Χορηγείται Προσφορά Σύνδεσης καταρχήν μη δεσμευτική. Αυτή οριστικοποιείται και καθίσταται δεσμευτική μετά το τέλος της περιβαλλοντικής αδειοδότησης, όπου απαιτείται.
- Απαιτείται ΕΠΟ. Χορηγείται κατόπιν αιτήσεως που συνοδεύεται από ΜΠΕ τύπου ανάλογου με την κατηγορία του έργου.
- Απαιτείται Άδεια Εγκατάστασης
- Εφόσον πρόκειται να εκτελεσθούν δομικά έργα, πρέπει να ληφθούν οι απαραίτητες Οικοδομικές Άδειες.
- Απαιτείται Σύμβαση Σύνδεσης.
- Απαιτείται Σύμβαση Αγοραπωλησίας.
- Απαιτείται Προσωρινή Σύνδεση για Δοκιμαστική Λειτουργία. Εφόσον επιτευχθεί απροβλημάτιστη λειτουργία 15 ημερών, ο Διαχειριστής εκδίδει βεβαίωση επιτυχούς περάτωσης των δοκιμών (ΥΑ.13310/2007, ΦΕΚ.Β'1153, άρθ.14).
- Απαιτείται Άδεια Λειτουργίας.

6.5. Αξιοποίηση αποβλήτων βουστασίου

Στην Ελλάδα, η βοοτροφία αποτελεί έναν υποβαθμισμένο κλάδο της κτηνοτροφίας, με πολλά προβλήματα. έχει παρατηρηθεί μείωση του πληθυσμού των αγελαδοτροφικών μονάδων και συγκεκριμένα των γαλακτοπαραγωγών αγελάδων. Συνεπώς, πρόβλημα για τον κλάδο της κτηνοτροφίας αποτελεί η μείωση του παραγόμενου γάλακτος. Παρ' όλα αυτά οι αγελαδοτροφικές μονάδες που διατηρούνται στην Βόρεια Ελλάδα κυρίως, επηρεάζουν την ποιότητα του περιβάλλοντος μέσω της διάθεσης των αποβλήτων τους στο περιβάλλον και ιδιαίτερα όταν αυτά διατίθενται στους υδάτινους αποδέκτες. Αυτό προκαλεί σημαντική υποβάθμιση του υδάτινου περιβάλλοντος. Τα βουστάσια διακρίνονται σε βουστάσια γαλακτοπαραγωγής και βουστάσια πάχυνσης μόσχων. τα απόβλητα που προκύπτουν από τα βουστάσια γαλακτοπαραγωγής είναι στερεής, ημιστερεής μορφής ή και υγρά ανάλογα την εποχή και τη χρήση στρωμνής. τα

απόβλητα βουστασίου είναι πυκνά απόβλητα, μικρού όγκου και μεγάλου οργανικού φορτίου συγκριτικά με τα αστικά λύματα και αυτά των αγροτικών βιομηχανιών (Κουτσούρης, 2015). Τα απόβλητα των βουστασίων προέρχονται από τα προαύλια άσκησης των αγελάδων, τους χώρους ανάπαυσης με τα στέγαστρα και τα αμελκτήρια και αποτελούνται από νερό, ούρα, κοπριές και υπολείμματα τροφής που αναμιγνύονται με τα απόβλητα και αποβάλλονται στο περιβάλλον.

Επίσης, υπάρχουν τα απόβλητα από τυροκομικές μονάδες. Τα απόβλητα που παράγονται από τα τυροκομεία είναι το τυρόγαλο το οποίο είναι βιοαποδομήσιμο και πλούσιο σε πρωτεΐνη, λακτόζη και άλατα, ο όξινος ορός γιαούρτης από τα στραγγιστά γιαούρτια ενώ το αποπρωτεϊνομένο τυρόγαλα εξακολουθεί να είναι ένας ρυπογόνος παράγοντας λόγω της υψηλής συγκέντρωσης σακχάρων που διαθέτει. Αυτοί είναι οι λόγοι που η απευθείας διάθεσή του στο περιβάλλον μπορεί να προκαλέσει πλήθος περιβαλλοντικών προβλημάτων όπως φαινόμενα ευτροφισμού, μείωση του διαθέσιμου οξυγόνου σε λίμνες ακόμη και εξόντωση της υδρόβιας ζωής. Το τυρόγαλο μπορεί όμως να επεξεργαστεί με κατάλληλο τρόπο και όχι μόνο να μειωθούν τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται στο περιβάλλον αλλά και να παραχθούν προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας όπως για παράδειγμα πρωτεΐνη ορού γάλακτος (Κουτσούρης, 2015).

Η ανάμειξη των αποβλήτων βουστασίου και των τυροκομικών αποβλήτων αποτελεί ένα σπουδαίο υπόστρωμα για την παραγωγή εναλλακτικής ενέργειας. Αποτελούν μεγάλης σημασίας πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας. Είναι πλέον σύνηθες να χρησιμοποιούνται διαφορετικής προέλευσης απόβλητα στους βιοαντιδραστήρες καθώς με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η απόδοσή τους. Η αναερόβια συν-χώνευση όπως χαρακτηρίζεται, έχει αποδειχθεί πιο επωφελής στην παραγωγή βιοαερίου από τη χρήση κάθε είδους αποβλήτου ξεχωριστά (Sakar et al. 2009).

Τα απόβλητα βουστασίου (κοπριά) έχουν χαμηλή συγκέντρωση ολικών στερεών και περιέχονται σε αυτά ίνες από άχυρο στρωμνής. Λόγω της κυτταρίνης που περιέχεται στο άχυρο, είναι ανθεκτικό το άχυρο στη βιοδιάσπαση και εξέρχεται από τον βιοαντιδραστήρα σχεδόν άθικτο. Η κοπριά λόγω της περιεκτικότητάς της σε νερό και ίνες δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτική για την παραγωγή βιοαερίου αλλά ο συνδυασμός με τα απόβλητα των βιομηχανιών με έμφαση στα τυροκομεία είναι εξαιρετικό υπόστρωμα για την αναερόβια χώνευση (Κουτσούρης, 2015).

6.6. Αξιοποίηση αποβλήτων χοιροστασίου.

Η παγκοσμίως αυξανόμενη ζήτηση χοιρινού κρέατος οδήγησε στην αύξηση των χοιροτροφικών εγκαταστάσεων. Συνέπεια αυτού, είναι η αυξημένη παραγωγή και αποβολή χοιροτροφικών λυμάτων από τις εκμεταλλεύσεις. Η συνολική παραγωγή λυμάτων σε μια χοιροτροφική μονάδα δυναμικότητας 400 χοιρομητέρων υπολογίζεται σε 8000 τόνους ετησίως (Zhu, 2012). Η εκμετάλλευση των αποβλήτων των χοιροτροφικών αποβλήτων μέσω της παραγωγής βιοαερίου είναι επιτακτική κυρίως λόγω της αύξησης της τιμής των καυσίμων αλλά και της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος. Τα προβλήματα από τα απόβλητα προκαλούνται λόγω του αυξημένου μικροβιακού φορτίου, της ουρίας, των υπολειμμάτων τροφής και των νερών πλύσης των χώρων σταυλισμού. Φυσικά οι ανόργανες ουσίες όπως το νάτριο και ο φώσφορος προκαλούν την ανόργανη ρύπανση του αποδέκτη.

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων σε μια μονάδα πρέπει να διακρίνεται από απλότητα, ευκολία στην καθαριότητα, να είναι συμβατή με τους υγειονομικούς κανόνες εργασίας των εργαζομένων και να υπάρχει ευελιξία στην επέκτασή της.

6.7. Πιθανότητα παραγωγής βιοαερίου από τα απόβλητα των υδατοκαλλιεργειών

Η σημερινή παγκόσμια παροχή ενέργειας βασίζεται, όπως αναφέρθηκε, στα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, λιγνίτης, κάρβουνο, φυσικό αέριο). Τα ορυκτά καύσιμα είναι μια μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και τα αποθέματά τους μειώνονται με ταχύ ρυθμό. Αντίθετα, με τα ορυκτά καύσιμα, το βιοαέριο είναι μια απολύτως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας επειδή παράγεται από τη βιομάζα. Τα πλεονεκτήματα του βιοαερίου είναι προφανή: α) βελτίωση της ενεργειακής ισορροπίας μιας χώρας, β) σημαντική συνεισφορά στη διατήρηση των φυσικών πηγών ενέργειας, γ) βελτίωση της περιβαλλοντικής κατάστασης και δ) μείωση της κλιματικής αλλαγής και της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας. Άλλη μία μεγάλη περιβαλλοντική πρόκληση για τη σύγχρονη κοινωνία είναι η αύξηση της ποσότητας των αποβλήτων συμπεριλαμβανομένων και των οργανικών. Ο έλεγχος της ρίψης οργανικών αποβλήτων στις χωματερές δεν είναι η βέλτιστη πρακτική καθώς οι περιβαλλοντικές οδηγίες γίνονται όλο και αυστηρότερες. Οι υδατοκαλλιέργειες είναι μια από τις πιο γρήγορα

αναπτυσσόμενες αλυσίδες τροφίμων στον κόσμο σήμερα. Οι όλο και αυξανόμενες απαιτήσεις για τρόφιμα οδήγησε στη γρήγορη ανάπτυξη των υδατοκαλλιιεργειών. Από το 3,2% της παγκόσμιας παραγωγής ιχθύων το 1950 έχουμε πλέον φτάσει στο 50% λόγω των μειωμένων φυσικών πηγών ενέργειας και της γρήγορης αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού. Η παραγωγή βιοαερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο τομέα της δημόσιας μετακίνησης, στην γεωργία ακόμη και στην παραγωγή θερμότητας». Το 2016 ο όγκος παραγωγής από τον τομέα της υδατοκαλλιιεργείας ήταν 788 τόνοι. Μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες υδατοκαλλιιεργειών είναι η εταιρεία «Nagli». Η εν λόγω εταιρεία είναι μεγαλύτερη εταιρεία παραγωγής ιχθύων, όχι μόνο στη Λετονία αλλά και σε ολόκληρη τη βαλτική. Είναι μία φάρμα υδατοκαλλιιεργειών η οποία διαθέτει υλικό παραγωγής κυπρίνων και λούτσων το οποίο γεννιέται, επωάζεται και αναπτύσσεται ώστε να διατεθεί στη αγορά. Οι εγκαταστάσεις των υδατοκαλλιιεργειών καλύπτουν μια περιοχή 2000 εκταρίων στα οποία περιλαμβάνονται λίμνες, φράγματα, εκκολαπτήρια ιχθύων, εργαστήρια και δεξαμενή από την οποία ανεφοδιάζονται με νερό οι λίμνες από τον ποταμό Malta. Πιθανώς η εν λόγω εταιρεία μπορεί να παράξει πάνω από 1500 τόνους ιχθύων ανά έτος. Την ίδια στιγμή η ποσότητα των αποβλήτων που παράγεται από τον κύκλο ζωής των ψαριών είναι επίσης 1500 τόνοι ανά έτος. Είναι σαφώς πολύ μεγάλο πρόβλημα να απορριφθούν τέτοιες μεγάλες ποσότητες αποβλήτων, αλλά από την άλλη πλευρά, τα απόβλητα από την εκτροφή ιχθύων είναι καλή πηγή θρεπτικών υλικών για τα φυτά βιοαερίου. Για παράδειγμα, ένα φυτό βιοαερίου με ηλεκτρική χωρητικότητα 100 KW, χρειάζεται περίπου 6 τόνους από θρεπτικά υλικά καθημερινά (Osipovs et al., 2021). Η έρευνα αυτή εξετάζει τις πιθανότητες εξαγωγής βιοαερίου από τα απόβλητα των υδατοκαλλιιεργειών. Δείγματα από λάσπη η οποία περιεχόταν στις δεξαμενές εκτροφής ψαριών λήφθηκαν από την περιοχή Kraslava της Λετονίας. Πριν την πειραματική ζύμωση και εξαγωγή του βιοαερίου, τα δείγματα αναλύθηκαν με σκοπό να καθοριστεί η υγρασία και η οργανική ουσία. Με σκοπό να αυξηθεί η διαθεσιμότητα της ξηράς ουσίας για ζύμωση, η λάσπη αναμείχθηκε με θραύσματα καλαμιού. Το βιοαέριο λήφθηκε από τα δείγματα σε διάφορες αναλογίες λάσπης και υπολειμμάτων από καλάμια. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων λήφθηκαν 3,81 λίτρα βιοαερίου από ένα μείγμα με λάσπη προερχόμενη από τις δεξαμενές υδατοκαλλιιεργείας και θραυσμάτων καλαμιών με μάζα καλαμιών 100 γραμμάρια. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως τα υπολείμματα των υδατοκαλλιιεργειών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοαερίου (Osipovs et al., 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1. Μονάδα παραγωγής βιοαερίου

Η παραγωγική διαδικασία χωρίζεται σε τέσσερα βασικά στάδια.

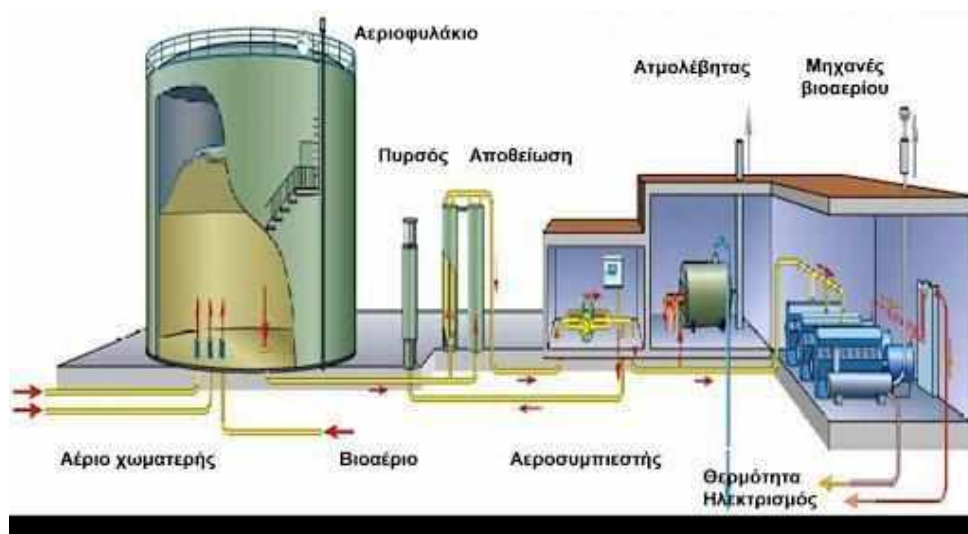
1. Διαχείριση πρώτων υλών: αφορά την μεταφορά, παραλαβή, αποθήκευση και προ επεξεργασία των πρώτων υλών.
2. Παραγωγή βιοαερίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης.
3. Καθαρισμός και καύση βιοαερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.
4. Επεξεργασία και αποθήκευση χωνεμένου υπολείμματος.

Η διαχείριση των πρώτων υλών περιλαμβάνει τη μεταφορά τους στη μονάδα, την αποθήκευσή τους και την κατάλληλη προετοιμασία τους για την μετέπειτα τροφοδοσία στους αντιδραστήρες αναερόβιας χώνευσης. Η μεταφορά των πρώτων υλών θα γίνεται με αγωγούς ή βυτιοφόρα. Τα ενσιρώματα των φυτών μεταφέρονται με φορτηγά και αποτίθεται απευθείας εντός των ειδικών αποθηκευτικών μονάδων (σιλό), οι οποίες είναι κατασκευασμένες από σκυρόδεμα (Κεμαλμά, 2020). Έπειτα οι πρώτες ύλες οδηγούνται στον πρωτεύοντα χωνευτήρα για αναερόβια επεξεργασία. Ο πρωτεύοντας χωνευτήρας είναι σχεδιασμένος ώστε να μπορεί να παραλάβει τόσο τη ρευστή πρώτη ύλη, όσο και στερεά. Ο πρωτεύοντας χωνευτήρας είναι εξοπλισμένος με τρεις περιμετρικά τοποθετημένους αναμικτήρες οι οποίοι εξασφαλίζουν την ομογενοποίηση του περιεχομένου οργανικού υποστρώματος. Για τη θέρμανση του υποστρώματος χρησιμοποιείται διάταξη θέρμανσης αποτελούμενη από εναλλάκτη θερμότητας τοποθετημένο στο εσωτερικό του χωνευτήρα. Στη συνέχεια το παραχθέν βιοαέριο και χωνευμένο υπόλειμμα οδηγείται στον δευτερεύοντα χωνευτήρα. Ο δευτερεύων χωνευτήρας έχει διπλό ρόλο λειτουργίας: ως συμπληρωματικός χωνευτήρας προσφέροντας έως 22 ημέρες πρόσθετου χρόνου παραμονής αυξάνοντας έτσι σημαντικά την απόδοση και ευελιξία της μονάδας και ως δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης τόσο του βιοαερίου όσο και του χωνεμένου υπολείμματος. Στο άνω μέρος του πρωτεύοντα και δευτερεύοντα χωνευτήρα υπάρχει αεριοφυλάκιο μεταβλητού όγκου, διπλής μεμβράνης, όπου και συλλέγεται το παραγόμενο βιοαέριο. Μεταξύ των δύο στρωμάτων διαβιβάζεται αέρας ο οποίος εξασφαλίζει την μη επαφή

των μεμβρανών καθώς και την δημιουργία κατάλληλης πίεσης για την εξαγωγή του βιοαερίου (Κεμαλμά, 2020).

Το παραγόμενο βιοαέριο περιέχει ποσότητες υδρόθειου και νερού τα οποία πρέπει να απομακρυνθούν για τη χρησιμοποίηση του βιοαερίου στον κινητήρα ηλεκτροπαραγωγής. Η παρουσία υδρόθειου είναι βλαβερή για τον τεχνολογικό εξοπλισμό. Το παραγόμενο βιοαέριο είναι κορεσμένο σε υγρασία, γεγονός που δυσχεραίνει την καύση του και επιδρά διαβρωτικά στα μεταλλικά μέρη του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Το βιοαέριο μετά την αποθείωση, οδηγείται στον συμπυκνωτήρα υγρασίας (gas-cooler). Το απαλλαγμένο από υγρασία βιοαέριο οδηγείται σε φίλτρο ασφαλείας από ενεργό άνθρακα.

Τέλος, ακολουθεί ο διαχωρισμός του υπολείμματος της χώνευσης σε στερεή και υγρή μορφή. Το στερεό κλάσμα ξηραίνεται και παράγεται ένα υψηλής ποιότητας λίπασμα και εδαφοβελτιωτικό. Το υγρό χρησιμοποιείται ως υγρό λίπασμα (Κεμαλμά, 2020).

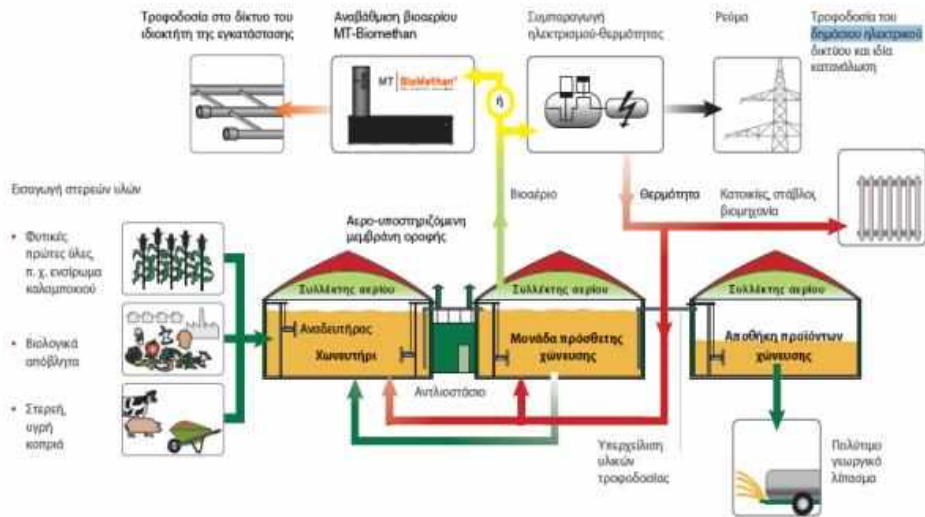


Εικόνα 13 Μονάδα Παραγωγής Βιοαερίου

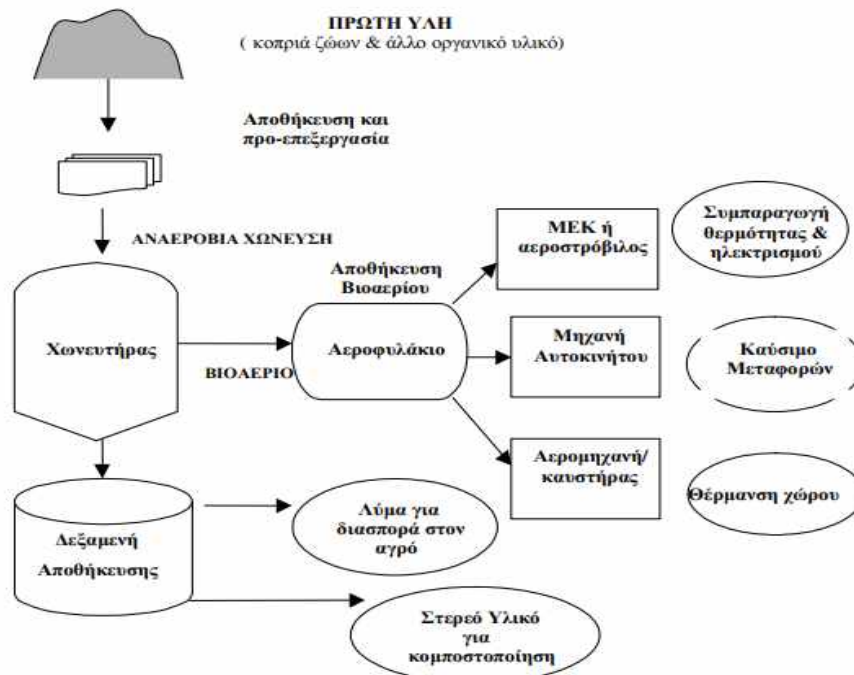
Μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου αποτελείται από (Εικόνα 13):

- Βιοαντιδραστήρα επεξεργασίας λυμάτων και απορριμμάτων.
- Αεροσυμπιεστή για την παροχή αέρα υψηλής πίεσης.
- Φίλτρο της μονάδας παραγωγής βιοαερίου.
- Δεξαμενή αποθήκευσης αερίου.

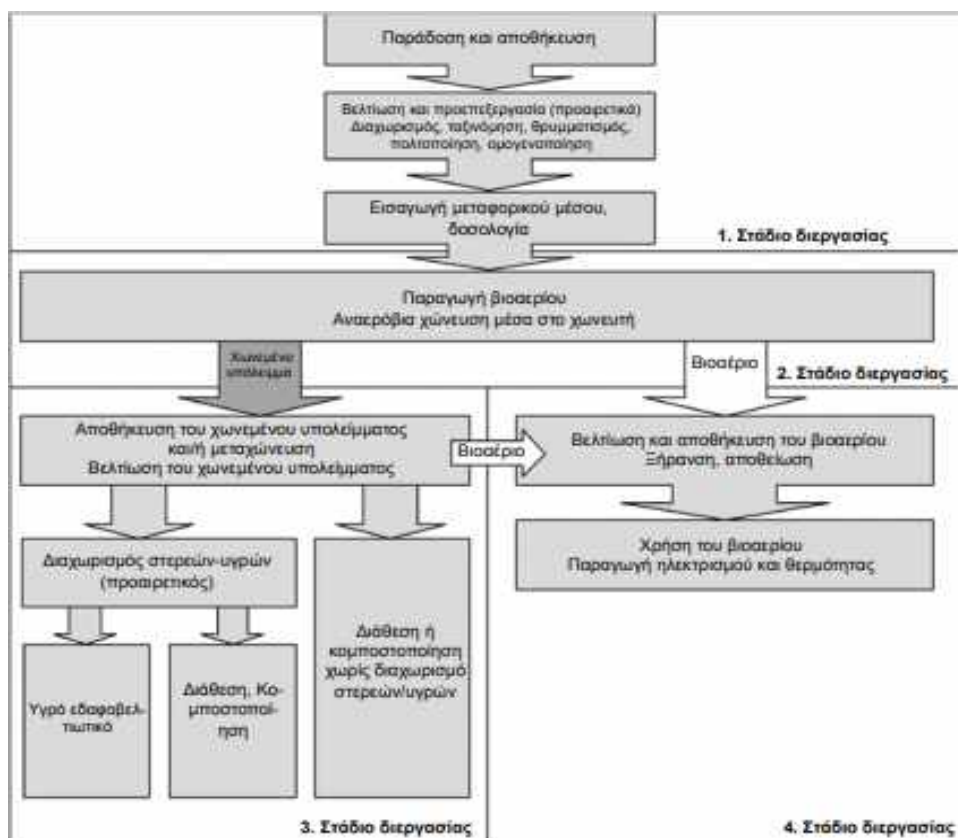
- Μετρητή αερίου.
- Μετρητή pH
- Διαχωριστήρα CO₂ (Εικόνα 14)



Εικόνα 14 Τυπική μονάδα παραγωγής βιοαερίου (Σιούλας, 2008)



Εικόνα 15 Διαδικασία παραγωγής (Σιούλας, 2008)



Εικόνα 16 Διεργασία παραγωγής βιοαερίου στη μονάδα

Το πρώτο στάδιο παραγωγής βιοαερίου είναι η αποθήκευση και προ-επεξεργασία της πρώτης ύλης (Εικόνα 15). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του διαχωρισμού, της ταξινόμησης, του θρυμματισμού και της πολτοποίησης (Εικόνα 16). Η αναερόβια χώνευση πραγματοποιείται στο χωνευτήρα και το παραγόμενο βιοαέριο αποθηκεύεται στο αεροφυλάκιο με σκοπό τη χρήση του ως καύσιμο μεταφορών ή θέρμανσης. Αν από την άλλη προορίζεται για κομποστοποίηση ή ως λύμα διασπορά στον αγρό τότε από τον χωνευτήρα οδηγείται στην δεξαμενή αποθήκευσης.

7.1.1. Οι αγροτικές μονάδες βιοαερίου

Οι αγροτικές μονάδες βιοαερίου επεξεργάζονται τα υποστρώματα πρώτης ύλης που προέρχονται από την αγροτική παραγωγή και τις φυτικές καλλιέργειες. Τα πιο συνηθισμένα είδη πρώτης ύλης είναι η ζωική στερεή και η υδαρής κοπριά, τα υπολείμματα και τα υποπροϊόντα από τη συγκομιδή λαχανικών και άλλων αγροτικών υποπροϊόντων αλλά και οι ενεργειακές καλλιέργειες. Η στερεή και η υδαρής κοπριά από βουστάσια και χοιροτροφεία είναι η κύρια πρώτη ύλη των περισσότερων μονάδων βιοαερίου που χρησιμοποιούν κτηνοτροφικά απόβλητα. Ο αριθμός των εγκαταστάσεων

που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη τις ενεργειακές καλλιέργειες αυξάνεται συνεχώς τα τελευταία χρόνια .Οι ενεργειακές καλλιέργειες αποτελούνται από φυτά που δεν καλλιεργούνται για εμπορικούς σκοπούς και το τελικό προϊόν προορίζεται για παραγωγή ενέργειας. Τέτοιες καλλιέργειες είναι ο μίσχανθος και το καλάμι. Για την παραγωγή βιοκαυσίμων στην Ελλάδα καλλιεργούνται η σόγια, η ελαιοκράμβη και ο ηλίανθος (Al Seadi, 2008).

7.1.2. Βιομηχανικές μονάδες βιοαερίου

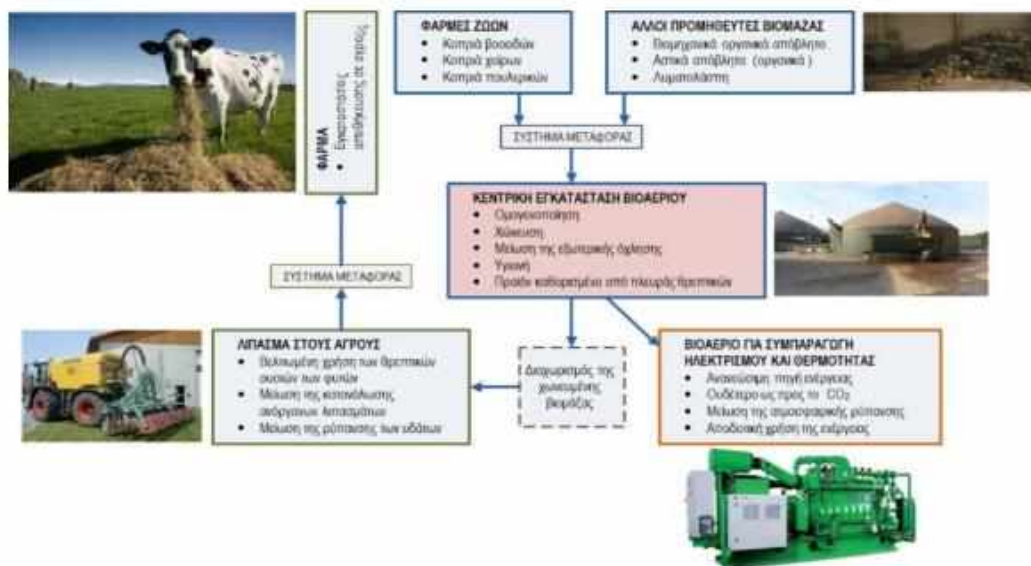
Οι αναερόβιες διεργασίες χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των βιομηχανικών και των υγρών λυμάτων για περισσότερο από έναν αιώνα. Η αναερόβια χώνευση των αποβλήτων είναι σήμερα μια γνωστή τεχνολογία επεξεργασίας διάφορων βιομηχανικών υγρών λυμάτων. Ακόμη, τα υπολείμματα αυτά μπορεί να ανήκουν, όπως έχει αναφερθεί ξανά, σε βιομηχανίες και φαρμακοβιομηχανίες. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την προ-επεξεργασία των πλούσιων σε οργανικά στοιχεία βιομηχανικών υγρών αποβλήτων πριν από την τελική διάθεσή τους. Με τις πρόσφατες βελτιώσεις στις τεχνολογίες επεξεργασίας μπορούν επίσης να χωνευθούν τα αραιωμένα βιομηχανικά υγρά απόβλητα (Al Seadi, 2008).

7.2. Υποστρώματα

Με τον όρο υπόστρωμα περιγράφονται τα οργανικά απόβλητα που συγκεντρώνονται σε μια μονάδα βιοαερίου και προορίζονται για αναερόβια ζύμωση. Η μεταφορά και η παράδοση της πρώτης ύλης είναι σημαντικές για τη σωστή λειτουργία της εγκατάστασης. Εξίσου σημαντικός είναι ο σταθερός και συνεχής εφοδιασμός με πρώτη ύλη στην κατάλληλη ποιότητα και ποσότητα (Παπαζηλάκης, 2013). Από την εναπόθεσή τους στο έδαφος μέχρι την τροφοδοτήσή τους στο βιοαντιδραστήρα, τα λύματα αποθηκεύονται σε ειδικά στεγασμένες δεξαμενές ώστε να μην υπάρχουν διαρροές. Η δεξαμενή αποθήκευσης συνήθως τοποθετείται σε υψηλότερο επίπεδο σε σχέση με το βιοαντιδραστήρα, έτσι ώστε η υδραυλική κλίση να εξαλείφει την ανάγκη για εξοπλισμό μεταφοράς (αντλίες) και να συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας.

7.3. Χωνευτές

Ως πυρήνας μιας μονάδας βιοαερίου ορίζεται ο χωνευτής: ένας αεροστεγής αντιδραστήρας όπου πραγματοποιείται η αποσύνθεση της πρώτης ύλης, απουσία οξυγόνου, και παράγεται το βιοαέριο (Σιούλας, 2008). Οι χωνευτές διαφέρουν μεταξύ τους, αλλά τα ίδια χαρακτηριστικά όλων τους, εκτός από την αεροστεγανότητα, είναι το σύστημα τροφοδότησης της πρώτης ύλης που διαθέτουν, και τα συστήματα εξαγωγής του βιοαερίου και του χωνεμένου υπολείμματος. Στις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην Ευράπη οι αναερόβιοι χωνευτές πρέπει να μονώνονται και να θερμαίνονται για τη σωστή λειτουργία τους. Υπάρχουν πολλοί τύποι χωνευτών βιοαερίου που λειτουργούν στην Ευρώπη και παγκοσμίως. Κατασκευάζονται από τούβλο, σκυρόδεμα, χάλυβα ή πλαστικό, κατασκευάζονται ως σιλό, σκάφες, λεκάνες ή λιμνούλες και μπορεί να τοποθετηθούν υπόγεια ή επιφανειακά. Το μέγεθος των μονάδων βιοαερίου εξαρτάται από το μέγεθος των χωνευτών, το οποίο ποικίλλει από λίγα κυβικά ως και μερικές χιλιάδες κυβικά μέτρα στις μεγάλες εμπορικές εγκαταστάσεις με αρκετούς χωνευτές. Η επιλογή του σχεδίου και ο τύπος του χωνευτή εξαρτώνται από το περιεχόμενο σε ξηρή ουσία του χωνεμένου υποστρώματος. Στην παρακάτω εικόνα αναγράφονται τα βασικά στοιχεία που διαθέτει η κεντρική εγκατάσταση βιοαερίου. (Εικόνα 17) (Σιούλας, 2008).

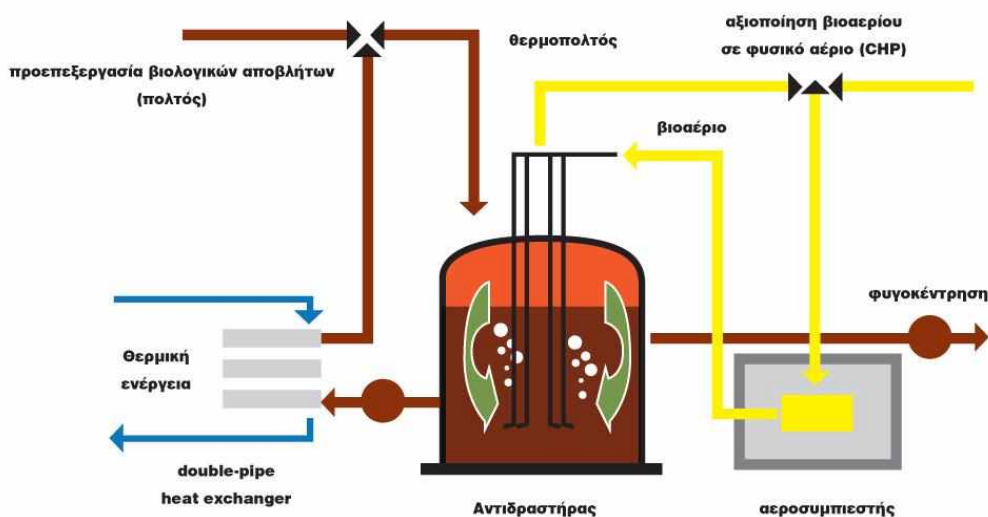


Εικόνα 17 Διαδικασία παραγωγής βιοαερίου (Ράπη, 2019)

7.4. Τα είδη των αντιδραστήρων

Ο βιοαντιδραστήρας είναι το μέρος που εναποτίθεται το υπόστρωμα (βιομάζα) ώστε με τη βοήθεια θερμότητας και των αναδευτήρων να πραγματοποιηθεί αναερόβια χώνευση και παραγωγή βιοαερίου (Εικόνα 18). Η επιλογή της τεχνολογίας του βιοαντιδραστήρα και της καταλληλότερης διάταξης είναι το κρισιμότερο στοιχείο για την σωστή λειτουργία μιας εγκατάστασης βιοαερίου. Για την επιλογή του συστήματος λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά του προς χώνευση υλικού (οργανικό φορτίο, συγκέντρωση στερεών, πιθανή παρουσία τοξικών ουσιών) και η οικονομικότητα της εγκατάστασης (Παπαζηλάκης, 2013). Τα διαφορετικά είδη αντιδραστήρων διακρίνονται σε:

- Αντιδραστήρας σταθερού θόλου.
- Αντιδραστήρας κινητού θόλου.
- Χωνευτής καλυμμένης λίμνης.
- Χωνευτής στρωτής ροής.
- Αντιδραστήρες πλήρους χώνευσης. CSTR χωνευτές (Continuously Stirred Tank Reactor).
- Αντιδραστήρας αιωρούμενων σωματιδίων (Μπουσκουτάς, 2017).



Εικόνα 18 Παραγωγή βιοαερίου σε βιοαντιδραστήρα (Σιούλας 2008)

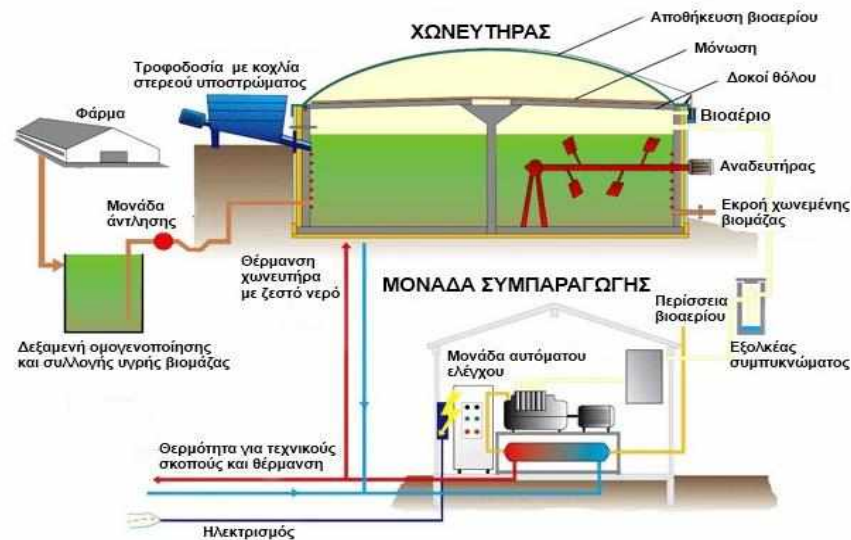
7.5. Κατασκευή δεξαμενών και βιοαντιδραστήρων από ανοξείδωτο χάλυβα

Οι ανοξείδωτες δεξαμενές χάλυβα κατασκευάζονται από άκαμπτο ανοξείδωτο φύλλο. Ο τρόπος αυτός με τον γίνεται η κατασκευή βοηθά στην γρήγορη διεκπεραίωση του έργου και την εξατομίκευση της κατασκευής. Είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθεί υψηλής ποιότητας και ανθεκτικό στη διάβρωση υλικό για τη χρήση σε όλες τις κλιματικές ζώνες. Επιπροσθέτως, η χρήση του ανοξείδωτου χάλυβα εγγυάται το χαμηλό κόστος κατασκευής.

7.6. Εξοπλισμός χωνευτήρα

- Θερμομόνωση. (Εικόνα 19)
- Επένδυση με προφίλ από αλουμίνιο για προστασία από τις καιρικές συνθήκες.
- Διπλή μεμβράνη οροφής υποστηριζόμενη από αέρα με αποθήκευση αερίου.
- Ένδειξη μεταβλητού επιπέδου φόρτισης.
- Θέρμανση σωλήνων από ανοξείδωτο χάλυβα.
- Πλατφόρμα λειτουργίας στο ζυμωτήρα.
- Αναδευτήρας (εξωτερικός ή/ και υποβρύχιος).
- Γυαλιά οράσεως με σύστημα καθαρισμού.
- Μονάδα αποθείωσης.
- Χωρίς συντήρηση προστασία για υπό και υπέρ πίεση.
- Αισθητήρας θερμοκρασίας με χιτώνιο εμβάπτισης.
- Φρεάτια από ανοξείδωτο χάλυβα.
- Θέση δειγματοληψίας.
- Εξαρτήματα για την εγκατάσταση συνεχούς μέτρησης pH και αισθητήρες αφρού.

- Σωλήνες αερίου από ανοξείδωτο χάλυβα (V4A).



Εικόνα 19 Μονάδα παραγωγής (Ράπη, 2019)

7.7. Τεχνολογία ανάδευσης

Στο 90% περίπου των μονάδων βιοαερίου γίνεται μηχανική ανάδευση. Το περιεχόμενο του χωνευτή αναδευτεί αρκετές φορές ημερησίως προκειμένου να αναμειχθεί σωστά η πρώτη ύλη με το υπάρχον υπόστρωμα μέσα στο χωνευτήρα. Μετά από την αρχική φόρτωση και την εκκίνηση της μονάδας, με βάση την εμπειρία και τον έλεγχο καθορίζεται η βέλτιστη διάρκεια και η συχνότητα των διαστημάτων ανάδευσης, καθώς επίσης και οι ρυθμίσεις στους αναδευτήρες. Ο βιοαντιδραστήρας εξοπλίζεται με αναδευτήρες. Πολλοί αναδευτήρες θα μπορούσαν να είναι υποβρύχιοι. Η επιλογή του κατάλληλου αναδευτήρα που θα χρησιμοποιηθεί συμβάλλει στην καλύτερη ανάδευση του υποστρώματος στο πυθμένα και στον κατακερματισμό του καθώς πρέπει να αποφευχθεί ο κίνδυνος δημιουργίας μεγάλων σβόλων που θα δημιουργούσαν πρόβλημα στην κυκλοφορία στις αντλίες, στις σωληνώσεις και στις αποθήκες. Μια εξελιγμένη τεχνολογία ανάδευσης είναι απαραίτητη για την αξιόπιστη και αποτελεσματική ανάμειξη των υποστρωμάτων της ζύμωσης και χρησιμεύει ως βάση για την βέλτιστη απόδοση αερίου. Το ύψος βύθισης και ο βαθμός περιστροφής μπορούν να ρυθμιστούν μεμονωμένα (Παπαζηλάκης, 2013).

7.8. Καθαρισμός βιοαερίου

Το βιοαέριο εξέρχεται από το χωνευτή διαποτισμένο με υδρατμούς και περιέχει μεθάνιο κατά 54,5%, διοξείδιο του άνθρακα και ποσότητες υδρόθειου. Το υδρόθειο είναι τοξικό και χαρακτηρίζεται από μια δυσάρεστη οσμή. Σε συνδυασμό με τους υδρατμούς δημιουργείται θειικό οξύ (Παπαζηλάκης, 2013). Το θειικό οξύ είναι αρκετά διαβρωτικό και είναι πιθανό να προκαλέσει φθορές στις μηχανές παραγωγής ηλεκτρισμού, στις καμινάδες και στις σωληνώσεις του αερίου. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η αποθείωση και η ξήρανση του βιοαερίου. (Σιούλας, 2008).

7.9. Αποθείωση βιοαερίου

Το βιοαέριο παράγεται κατά τη συγχώνευση της ζωικής στερεάς κόπρου με άλλα υποστρώματα και συνήθως περιέχει διάφορα επίπεδα $H_2 S$. Όταν το βιοαέριο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές αερίου, το περιεχόμενο σε υδρόθειο οφείλει να είναι κάτω από 700 ppm, ώστε να αποφευχθεί η υπερβολική διάβρωση. Η απομάκρυνση του υδρόθειου από το παραχθέν βιοαέριο μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά του χωνευτή με βιολογικό ή χημικό τρόπο (Σιούλας, 2008).

7.10. Ξήρανση βιοαερίου

Η υγρασία του βιοαερίου μέσα στο χωνευτή είναι 100% καθώς το αέριο είναι διαποτισμένο με υδρατμούς. Με σκοπό προστασία της κατασκευής από τη διάβρωση και από ενδεχόμενες βλάβες, είναι σκόπιμη η αφαίρεση του νερού από το παραγόμενο βιοαέριο. Η ποσότητα του νερού που τελικά περιέχεται στο βιοαέριο είναι εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία. Ένα μέρος των υδρατμών συμπυκνώνεται κατά την ψύξη του αερίου. Αυτό συμβαίνει στις σωληνώσεις που μεταφέρουν το βιοαέριο. Προϋπόθεση για την αποτελεσματική ψύξη του βιοαερίου στις σωληνώσεις είναι το ικανοποιητικό μήκος τους. Εάν οι σωληνώσεις του αερίου είναι υπόγειες, το αποτέλεσμα της ψύξης είναι ακόμα καλύτερο. Ο διαχωριστής συμπυκνώματος πρέπει να προστατεύεται από πάγο και να είναι εύκολα προσβάσιμος, για να εκκενώνεται τακτικά. (Σιούλας, 2008).

7.11. Αποθήκευση βιοαερίου

Η παραγωγή του βιοαερίου πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν πιο σταθερή και συνεχής. Μέσα στο χωνευτήρα, το βιοαέριο σχηματίζεται σε κυμαινόμενες ποσότητες και με αιχμές απόδοσης. Στη εκάστοτε μονάδα παραγωγής βιοαερίου μπορεί να μεταβάλλεται η παραγόμενη ποσότητά του. Φυσικά είναι απαραίτητη η σωστή αποθήκευση του βιοαερίου. Η πιο απλή λύση είναι η αποθήκευση του βιοαερίου στο πάνω μέρος των χωνευτήρων με τη χρήση μιας ειδικής μεμβράνης, η οποία επίσης χρησιμοποιείται ως κάλυμμα του χωνευτή (Παπαζηλάκης, 2013).

7.12. Ασφάλεια της μονάδας βιοαερίου

Η κατασκευή και η λειτουργία μιας μονάδας βιοαερίου πρέπει να συνάδει απόλυτα με τους κανόνες για την ασφάλεια. Τα παρακάτω σημεία αποτελούν υποχρεωτικές απαιτήσεις για τη λειτουργία της μονάδας:

- Αποφυγή έκρηξης
- Θερμική ασφάλεια
- Στατικότητα της κατασκευής
- Ηλεκτρική ασφάλεια
- Αντικεραυνική προστασία
- Πρόληψη πυρκαγιάς
- Προστασία από εκπομπές θορύβου
- Αποφυγή των ρυπογόνων εκπομπών αερίων
- Πρόληψη για διαρροές στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα
- Αποφυγή της απελευθέρωσης ρύπων
- Αντιπλημμυρική ασφάλεια

7.13. Κόστος κατασκευής και εγκατάστασης

Τα χαρακτηριστικά και τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή της δεξαμενής χώνευσης είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας, οι σωληνώσεις υγρών κατασκευάζονται από PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο) και οι σωληνώσεις αερίου από PP (πολυπροπυλένιο). Το κόστος κατασκευής ανάλογα με τη δυναμικότητα της κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης ποικίλει. Ενδεικτικά, για μια μονάδα 500 kWel (Kilowatt-electric (kWe): Χίλια watts ηλεκτρικής ενέργειας), το κόστος ανέρχεται από 2.000.000 ως 2.500.000€ (Τετώρος Μηχανήματα). Η εγκατάσταση χρειάζεται 4-6 μήνες για 500 kWel και 6-8 μήνες για 1 MWel (MegaWatt-electric). Οι διαφοροποιήσεις στις κατασκευές ανάλογα με το είδος του ζώου συμβαίνουν μόνο όταν έχουμε στερεές πρώτες ύλες π.χ. αχυροστρωμνή στα μοσχάρια κρεοπαραγωγικής κατεύθυνσης, ενσιρώματα και απόβλητα πρασίνου κλπ. Σε αυτές τις περιπτώσεις γίνεται χρήση σπαστήρων και μηχανημάτων πολτοποίησης και ομογενοποίησης των υλικών με σκοπό την γρηγορότερη και καλύτερη αποδόμηση του έργου. Το είδος ζώου που είναι οικονομικά πιο ωφέλιμο για την παραγωγή βιοαερίου είναι τα πτηνά καθώς τα πτηνοτροφικά απόβλητα έχουν σημαντική ενεργειακή απόδοση. Φυσικά, για να είναι οικονομικά ωφέλιμη μια τέτοια επένδυση πρέπει να είναι ορισμένης δυναμικότητας. Οικονομοτεχνικά στο 1 MWel (Νικάκης, Κ., προσωπική επικοινωνία, Απρίλιος 2020).

Το κόστος είναι μικρό σε σχέση με το 500 kW (ανά kW) και τα έσοδα διπλάσια. Το βιοαέριο που παράγεται, υπολογίζεται στα 220 m³/ώρα, αυτό όμως εξαρτάται από την δυναμική της εκάστοτε μονάδας. Για παράδειγμα μια μονάδα 500 kW και 450-500 m³ παράγει 1MW.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8.1. Το βιοαέριο στην Ελλάδα

Ο ενεργειακός τομέας στην Ελλάδα αντιμετωπίζει ραγδαίες εξελίξεις κυρίως λόγω των Ευρωπαϊκών και Εθνικών πολιτικών στα θέματα ενέργειας και περιβάλλοντος. η υλοποίηση έργων βιοαερίου απαιτεί σχεδιασμό και προσοχή στους οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Είναι δύσκολο να υλοποιηθούν κάποια έργα λόγω της ιδιαιτερότητας των περιοχών αλλά και της διαθεσιμότητας των πρώτων υλών και των υποστρωμάτων. Αν και το νομοθετικό πλαίσιο, το οποίο θα αναλυθεί παρακάτω και οι οικονομικές συνθήκες έχουν βελτιώσει τις συνθήκες για την εντατικοποίηση παραγωγής βιοαερίου, υπάρχουν ακόμη εμπόδια, ειδικά όσον αφορά στην δημιουργία μονάδων μικρής κλίμακας. ένας παράγοντας που πιθανώς ευθύνεται είναι η έλλειψη εμπειρίας και ενημέρωσης, το υψηλό κόστος εγκατάστασης και η διαδικασία αδειοδότησης (Κουτσούρης, 2015).

8.2. Οι μονάδες παραγωγής βιοαερίου στην Ελλάδα

Οι μονάδες αναερόβιας χώνευσης συνήθως κατασκευάζονται από ατσάλι, με υπερσύγχρονες λειτουργίες και κορυφαίες αποδόσεις. η τεχνολογία κατασκευής έχουν εξελιχθεί για τη διασφάλιση της μακροχρόνιας ποιοτικής και αποδοτικής λειτουργίας. Η εξέλιξη της τεχνολογίας επιτρέπει πλέον τον έλεγχο της μονάδας από απόσταση και την ενημέρωση με SMS για τυχόν δυσλειτουργίες και προβλήματα. υπάρχει ακόμη η δυνατότητα απομακρυσμένης παρακολούθησης. Στην οικονομική ανάλυση ενός εργοστασίου αναερόβιας τα υποστρώματα διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο. Είναι απαραίτητη η τήρηση των κανόνων λειτουργίας και η προετοιμασία των σωστών εγγράφων για την καθημερινή διαχείριση της μονάδας. Μελετήθηκε το επιχειρηματικό έργο της εταιρείας Τετώρος Μηχανήματα Α.Ε. η οποία έχει κατασκευάσει 18 μονάδες σε όλη τη χώρα με συνολική δυναμικότητα 8 MW.

Η πρώτη μονάδα που θα μελετηθεί είναι βρίσκεται στη Φιλιπιάδα με χρήση αποβλήτων χοιροστασίων και πτηνοτροφείων και δυναμικότητα -2,4 MW. Η ετήσια παραγωγή βιοαερίου ανέρχεται στα 20.000 Nm³ (κανονικό κυβικό μέτρο) και ποσοστό μεθανίου > 60%.

Μια μονάδας στην Κομοτηνή η οποία χρησιμοποιεί συνδυασμό αποβλήτων εκτροφής μοσχαριών, απόβλητα αγελαδοτροφείου και απόβλητα ελαιουργείων. η δυναμικότητα

της συγκεκριμένης μονάδας 1 MW. Η ετήσια παραγωγή βιοαερίου ανέρχεται σε 13.138 Nm³ και ποσοστό μεθανίου > 60%.

Σε μονάδα παραγωγής βιοαερίου στην Πτολεμαΐδα έγινε ο συνδυασμός αποβλήτων χοιροστασίου με απόβλητα σφαγείου. Η δυναμικότητα της μονάδας είναι - 1 MW. Η ετήσια παραγωγή βιοαερίου ανέρχεται σε 5.000 Nm³ και ποσοστό μεθανίου > 60%.

Στα πλαίσια της διπλωματική αυτής ενημερωθήκαμε για τις λεπτομέρειες μιας προσφοράς για το σχεδιασμό, τη μελέτη, την προμήθεια του βασικού εξοπλισμού, την εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία μονάδας παραγωγής και καύσης βιοαερίου για ηλεκτροπαραγωγή ισχύος **0.5 MW**. Η συνολική τιμή μαζί με τη μεταφορά, τη συσκευασία και την ασφάλιση του έργου ανέρχεται στα **2.000.000,00 ευρώ**. Στην τιμή περιλαμβάνεται ένας χωνευτήρας 4.436 m³ μικτού όγκου, μια ανοξείδωτη δεξαμενή όγκου 4.436 m³, Ø (σύνολο) 29,94μ., ύψους : 6,30 μ., διπλά διαφράγματα αποθήκευσης αερίου για το χωνευτήρα, διπλό διάφραγμα με στέγη με αποθήκευση αερίου Ø29,94μ., συστήματα μόνωσης για το χωνευτήρα Ø29,94μ. Υ=6,30μ., υποβρύχιοι αναδευτήρες TMR 11 kw, αναδευτήρας μακριού βραχίονα 11 kw, διπλές πλατφόρμες εργασίας με διάφορα εξαρτήματα, σκαλοπάτια για την πλατφόρμα, γαλβανιζέ για το χωνευτήρα ύψους 6,30 μ., σωληνώσεις αερίου με βαλβίδα ασφαλείας, εξοπλισμός για θυρίδες επίβλεψης, εξαρτήματα ασφαλείας με φλάντζες και βαλβίδες, θυρίδες επίβλεψης 800 X 700 mm με καπάκι από διπλό ατσάλι, εξοπλισμός για το σημείο δειγματοληψίας, εξοπλισμός για τη σύνδεση του βυτιοφόρου, εξοπλισμός για τη σύνδεση των σωληνώσεων, εξοπλισμός για τη σύνδεση των σωληνώσεων, εξοπλισμός για το σύστημα θέρμανσης, εξοπλισμός με μονάδα έγχυσης αέρα (0,44 kW) για την αποθείωση του βιοαερίου, τεχνικός για την εγκατάσταση του χωνευτήρα 4.436 m³, βασικός εξοπλισμός για τις σωληνώσεις αερίου, μηχανή συμπαραγωγής ηλεκτρικής – θερμικής ενέργειας, ικανότητας 530 kw, γεννήτρια CHP ικανότητας 530 kw της εταιρείας MAN για βιοαέριο, δεξαμενή λαδιού 250 λίτρων για τη μηχανή, είσοδος για την κυκλοφορία αέρα για τη γεννήτρια έως 500 kw, ανοξείδωτος σιγαστήρας για τη γεννήτρια, φίλτρο ενεργού άνθρακα για τον καθαρισμό του βιοαερίου, προειδοποίηση αερίου για τη γεννήτρια, μετρητής ροής για τη γεννήτρια, έλεγχος πυρκαγιάς και προστασία από το θόρυβο στο χώρο της γεννήτριας, έλεγχος πυρκαγιάς στο χώρο της γεννήτριας, διακόπτης αλλαγής δικτύου/γεννήτριας έκτακτης ανάγκης 250 kw/30 kw, υποβρύχια αντλία υψηλής πίεσης 11 kW για τις προ-δεξαμενές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9.1. Νομοθετικό πλαίσιο

Η ευρωπαϊκή στρατηγική ωθεί τις χώρες να αναπτύξουν τις στρατηγικές του για μείωση των εκλύσεων αερίων του θερμοκηπίου. Οι προσπάθειες των ευρωπαϊκών κρατών κινούνται προς μια φιλική προς το περιβάλλον κατεύθυνση με μείωση των εκλύσεων των αερίων του θερμοκηπίου και προς την δημιουργία ουδέτερου κλίματος έως το 2050. Τα θεμέλια μιας ευρωπαϊκής πολιτικής στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπήκαν το 1997, όταν το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο και Κοινοβούλιο υιοθέτησαν συνθήκη για κοινή στρατηγική και σχέδιο δράσης, τη στιγμή που το μερίδιο συμμετοχής των ΑΠΕ ανέρχονταν μόλις στο 6% της κατανάλωσης ενέργειας εντός ΕΕ. Το 2007, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε ένα πακέτο ενεργειακής και κλιματικής αλλαγής και τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής στους 2°C, ως το 2020 και μετά. Αυτό περιλάμβανε και τη δέσμευση της ΕΕ για μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% ως το 2020 σε σύγκριση με αυτές του 1990 και υποχρεωτικό στόχο επίτευξης ποσοστού 20%. Μακροπρόθεσμα, η ΕΕ έθεσε το φιλόδοξο στόχο δημιουργίας μιας ανταγωνιστικής οικονομίας χαμηλή σε εκπομπές ρύπων ως το 2050, και να φτάσει το 80-95% μείωσης εκπομπών ρύπων ως το 2050. Για το 2030 η ΕΕ έχει ήδη υιοθετήσει πλαίσιο για το κλίμα και την ενέργεια, και έχει ορίσει τους στόχους της για το 2030: 40% μείωση ρύπων σε σχέση με το 1990, τουλάχιστον 27% μερίδιο συμμετοχής ανανεώσιμων στην κατανάλωση και τουλάχιστον 27% εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με το σενάριο «business as usual». Οι στόχοι αυτοί αποτελούν σημαντικό βήμα στην επίτευξη των μακροπρόθεσμων στόχων του 2050.

Στην Ελλάδα, με τον Νόμο 2773/1999, εισάγεται η έννοια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και οι μορφές αυτής, μεταξύ αυτών και η βιομάζα/βιοαέριο. Το Εθνικό Σχέδιο Δράσης 20-20-20, για την επίτευξη της συμβολής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20% έως το 2020, απορρέει από την 20 Οδηγία 2009/28/ΕΚ, και περιλαμβάνει εκτιμήσεις για την εξέλιξη του ενεργειακού τομέα και τη διεύθυνση των τεχνολογιών των ΑΠΕ έως το 2020. Το Εθνικό Σχέδιο Δράσης και η πρόοδος στην εφαρμογή του θα εξετάζεται ανά δύο χρόνια και θα επικαιροποιείται, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι εξελίξεις της αγοράς και της βελτίωσης των τεχνολογιών, αλλά και η ζήτηση της ενέργειας. Ο Νόμος 3468/2006, «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή

Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις» εισάγει την έννοια του βιοαερίου και καθορίζει διαδικασίες αδειοδότησης και τιμών έργων ΑΠΕ, μεταξύ αυτών και μονάδων βιοαερίου. Το 2010, με το Νόμο 3851, «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής», ορίζονται Εθνικοί Δεσμευτικοί Στόχοι για τη συμμετοχή των ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια. Τέλος, ο νόμος 4414/2016, «Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης- Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των κλάδων προμήθειας και διανομής στην αγορά του φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις» ανακαθόρισε όλο το πλαίσιο στήριξης των ΑΠΕ, προέβλεψε νέες Τιμές Αναφοράς (Ταρίφες) ανά κατηγορία σταθμών ΑΠΕ και εισήγαγε νέες έννοιες. Το 2020, προβλέπονται νέες νομοθετικές ρυθμίσεις, για την αναμόρφωση του θεσμικού πλαισίου αδειοδότησης σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Κεμαλμά, 2020).

Για την κατασκευή και την λειτουργία μονάδων παραγωγής βιοαερίου υπάρχει νομικό και θεσμικό πλαίσιο, κατά το οποίο οι μονάδες έχουν συγκεκριμένες υποχρεώσεις. Είναι επίσης απαραίτητο να πληρούν πολλές προϋποθέσεις ώστε να λάβουν μια σειρά αδειοδοτήσεων από διαφορετικούς φορείς προκειμένου να ξεκινήσουν την λειτουργία τους.

Ειδικότερα, το νομικό πλαίσιο περιγράφεται από τους κάτωθι νόμους:

- Νόμο 1650/1986 (ΦΕΚ 160/Α/16-10-1986) "Για την προστασία του περιβάλλοντος".
- Νόμο 3010/2002 (ΦΕΚ 91/Α/25-04-2002) "Εναρμόνιση του Ν.1650/86 με τις Οδηγίες 97/11/ΕΕ και 96/61/ΕΕ., διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορέματα και άλλες διατάξεις".
- 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."
- Απόφαση Αριθμ. ΗΠ 11014/703/Φ104/14-3-2003 (ΦΕΚ 332/Β/20-3-2003) "Διαδικασία Π.Π.Ε.Α. & έγκρισης περιβαλλοντικών όρων (Ε.Π.Ο), σύμφωνα

με το άρθρο 4 του Ν. 1650/1986 όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 2 του Ν.3010/2002".

- ΚΥΑ Αριθμ. 13727/724/2003 (ΦΕΚ 1087/Β/05-8-2003) "Αντιστοίχιση των κατηγοριών των βιομηχανικών και βιοτεχνικών δραστηριοτήτων με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στα πολεοδομικά διατάγματα." όπως τροποποιήθηκε με την ΚΥΑ Αριθμ. Δ6/Φ1/οικ.19500/2004 (ΦΕΚ 1671/Β/11-11-2004).
- 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".
- Απ. 50910/2727 (ΦΕΚ 1909/Β/22-12-2003) "Μέτρα και όροι για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων. Εθνικός και περιφερειακός σχεδιασμός διαχείρισης".
- Απόφαση Αριθμ. Οικ. 104248/ΕΥΠΕ/ΥΠΕΧΩΔΕ (ΦΕΚ 663/Β/26-05-2006) "Περιεχόμενο. Δικαιολογητικά και λοιπά στοιχεία των Προμελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΠΠΕ). των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), καθώς και συναφών μελετών περιβάλλοντος, έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)".
- Νόμος 3468/2006 (ΦΕΚ 119/Α/27-06-2006) "Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις."
- Νόμος 2244/1994 «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 68/Α/94).
- 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 απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας (ενσωματώνει σε σημαντικό βαθμό το Νόμο 2244/94). Ο Νόμος 2773/99 εισήγαγε την Άδεια Παραγωγής, η οποία είναι η πρώτη άδεια που απαιτείται να εξασφαλιστεί για την πραγματοποίηση του ενεργειακού έργου με μια αδειοδοτική διαδικασία που περιλαμβάνει, προκαταρκτική περιβαλλοντική εκτίμηση και αξιολόγηση, έγκριση περιβαλλοντικών όρων, άδεια παραγωγής, άδεια εγκατάστασης, άδεια λειτουργίας κ.λπ.

- 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 ΑΠΕ, τις προϋποθέσεις εγκατάστασης έργων ΑΠΕ σε δάση και το χαρακτηρισμό όλων των έργων ΑΠΕ ως έργα κοινής 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 3010/2002 «Εναρμόνιση του Ν. 1650/1986 με τις Οδηγίες 97/11/ΕΕ και 96/61/ΕΕ, 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 και αναθεωρώντας το βασικό νόμο 1650/86 για το περιβάλλον.
- Νόμος 3175/2003 «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 207/Α/03). Σχετίζεται με την χρήση της γεωθερμικής ενέργειας και θέτει τους βασικούς κανόνες για την εκμετάλλευσή της.
- Νόμος 3423/2005 «Εισαγωγή στην Ελληνική Αγορά των Βιοκαυσίμων και των άλλων Ανανεώσιμων Καυσίμων» (ΦΕΚ 304/Α/05). Μέσω αυτού του νόμου η Οδηγία 2003/30/ΕΚ μεταφέρθηκε στο εθνικό δίκαιο για την προώθηση των βιοκαυσίμων.
- Για την αδειοδότηση σταθμών παραγωγής ενέργειας με τη χρήση βιοαερίου, υπάρχουν ορισμένα κριτήρια για την χωροθέτησή τους, καθώς είναι απαραίτητη η περιβαλλοντική αδειοδότηση και άλλου είδους γνωμοδοτήσεις. Ο νόμος Κ.Υ.Α 49828/2008 (ΦΕΚ 2464/Β/03-12-2008), παρέχει τα κριτήρια και συγκεκριμένα το άρθρο 18 του νόμου, παρέχει τα κριτήρια για την χωροθέτηση των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης ενέργειας από βιομάζα ή βιοαέριο, με την παράγραφο 2, να ορίζει και κάποιες ζώνες αποκλεισμού από την εγκατάσταση (διατηρητέα μνημεία, παγκόσμιας εθνικής κληρονομιάς, αρχαιολογικές ζώνες προστασίας Α, περιοχές προστασίας της φύσης, υγράτοποι διεθνούς σημασίας, εθνικοί δρυμοί, οικότοποι περιοχών NATURA).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

10.1.Βιωσιμότητα για το μέλλον και προοπτικές

Η παγκόσμια παραγωγή βιοκαυσίμων που χρησιμοποιούνται στον τομέα των μεταφορών για το 2018 παρουσίασε ετήσια αύξηση σχεδόν 7% φτάνοντας τα 153 δις λίτρα. Οι κυρίαρχες χώρες στην παραγωγή βιοκαυσίμων είναι οι ΗΠΑ και Βραζιλία, επιτυγχάνοντας και οι δύο μαζί 69% του συνόλου των παραγόμενων βιοκαυσίμων και ακολουθούν με μεγάλη διαφορά η Κίνα, η Γερμανία και η Ινδονησία. Όσον αφορά την χρήση της βιοενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, αυτή αυξήθηκε κατά 6,5% παγκοσμίως για το έτος 2018 φτάνοντας τα 130GW. Και σε αυτόν τον τομέα η Ευρώπη είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός με ετήσια αύξηση 6% για το 2018 (Κεμαλμά, 2020).



Εικόνα 20 Παγκόσμια αγορά Βιοαερίου και παγκόσμιο μέγεθος αγοράς (GVR, 2020)

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται η παγκόσμια αγορά βιοαερίου ανάλογα με τη χρήση του. Το μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης του βιοαερίου είναι για τον ηλεκτρισμό, χρήση ως καύσιμο οχημάτων αλλά και για θέρμανση. Το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς βιοαερίου ανέρχεται σε 57,5 δισεκατομμύρια δολάρια για το έτος 2020 (Εικόνα 20)). Φαίνεται πως η πρόβλεψη για το μέγεθος της αγοράς του βιοαερίου είναι ιδιαίτερα αισιόδοξη καθώς ως το 2025 προβλέπεται η αύξηση της αγοράς κατά 30 δισεκατομμύρια ευρώ περίπου. Το νούμερο αυτό απεικονίζει την γενικότερη εικόνα

της αγοράς και τις προσπάθειες που καταβάλλονται για την εγκατάσταση μονάδων βιοαερίου και την στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

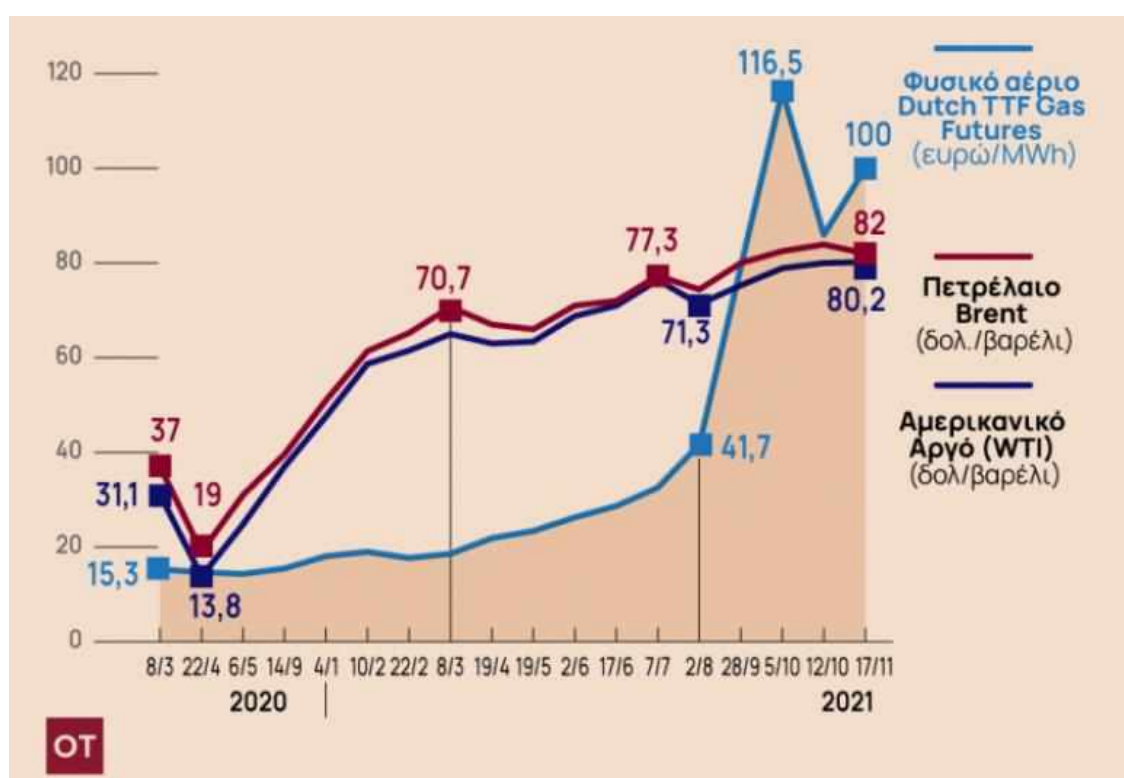


Εικόνα 21 Παγκόσμια αγορά βιοαερίου και πρόβλεψη μεγέθους ως το 2025 (The business Research Company)



Εικόνα 22 Πορεία των τιμών του φυσικού αερίου στην Ευρώπη (Οικονομικός Ταχυδρόμος)

Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζεται η άνοδος της τιμής του φυσικού αερίου στην Ευρώπη από τις 11/07/19 ως τις 23/12/21 (Εικόνα 21), (Dutch TTF – Title Transfer Facility – εικονικό σημείο συναλλαγών για το φυσικό αέριο στην Ολλανδία). Η άνοδος είναι ραγδαία και το ερώτημα που γεννάται είναι αν η χρήση του φυσικού αερίου μπορεί να συνεχίσει να αποτελεί μια βιώσιμη λύση. Με την αύξηση των τιμών σε Ευρωπαϊκό επίπεδο είναι απαραίτητη η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. η υψηλότερη τιμή σημειώνεται στα τέλη Δεκεμβρίου του 2021 ύψους 179 ευρώ ανά MWh (Εικόνα 22).



Εικόνα 23 Πορεία τιμών στα καύσιμα (Οικονομικός ταχυδρόμος)

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται η αύξηση των τιμών του φυσικού αερίου, του πετρελαίου και του Αμερικανικού Αργού από τον Μάρτιο του 2020 ως τον Νοέμβριο του 2021 (Εικόνα 23). Η τιμή του φυσικού αερίου σημειώνει την μεγαλύτερη αύξηση συγκριτικά με τις τιμές των άλλων καυσίμων. Η ραγδαία αύξηση στην τιμή του φυσικού αερίου σημειώθηκε κατά το φθινόπωρο του 2021 και η μεγαλύτερη τιμή που σημειώθηκε ανέρχεται στα 116,5 ευρώ ανά MWh, τιμή υπερδιπλάσια από αυτήν που σημειώθηκε στις 2/8.

Οι γεωπολιτικές εξελίξεις και ο πόλεμος μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας φαίνεται πως θα φέρουν πολλές αλλαγές στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Ευρωπαϊκής ένωσης καθώς το 1/3 της ευρωπαϊκής ζήτησης για φυσικό αέριο καλύπτεται μέσω των αγωγών που έρχονται από τα κοιτάσματα της Σιβηρίας. Αν αποκοπεί η Ευρώπη από αυτές τις ροές θα οδηγηθούν στα ύψη οι τιμές του φυσικού αερίου και θα σημειωθούν διακοπές στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Τη δυσοίωση αυτή προοπτική αντιμετωπίζουν ήδη οι κυβερνήσεις που βλέπουν τις υψηλές τιμές της ενέργειας να τροφοδοτούν τον πληθωρισμό. Τα επόμενα χρόνια, με την συνεχή ανάπτυξη της τεχνολογίας και την αύξηση των ενεργειακών αναγκών του παγκόσμιου πληθυσμού, θα είναι επιτακτική η αύξηση της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου. Τα ενεργειακά ζητήματα είναι πιο επίκαιρα από ποτέ και ίσως η χρήση του βιοαερίου και η μαζική του παραγωγή μέσω της αξιοποίησης της βιομάζας μπορεί να δώσει λύσεις στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στην Ελλάδα, ο ενεργειακός τομέας αντιμετωπίζει σημαντικές αλλαγές λόγω των Ευρωπαϊκών και παγκόσμιων εξελίξεων και φυσικά μεγάλο ρόλο διαδραματίζουν οι ευρωπαϊκές και εθνικές πολιτικές για την ενέργεια και ο περιβάλλον. Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση εγκαταστάσεων βιοαερίου απαιτεί προσεχτικό σχεδιασμό και να ληφθούν υπόψιν όλοι οι οικονομικοί, περιβαλλοντικοί και τεχνικοί παράγοντες (Κουτσούρης, 2015). Σύμφωνα με την ετήσια έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Βιοαερίου (EBA) για το 2018, παρατηρήθηκε σταθερή αύξηση του αριθμού των μονάδων παραγωγής βιοαερίου στην Ευρώπη, αποδεικνύοντας την ισχυρή καθιέρωση της αγοράς βιοαερίου που την καθιστά ικανή να μην επηρεάζεται από την πολιτική αστάθεια που έχει επηρεάσει αρκετές χώρες της γηραιάς ηπείρου. Οι εν λειτουργία μονάδες βιοαερίου στην Ευρώπη στα τέλη του 2017 ήταν 17.783 και των μονάδων βιομεθανίου 540. Η συνολική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς συνέχισε να αυξάνεται με ένα ρυθμό 5% περίπου φτάνοντας τα 10,5GW και παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια ίση με 65.179 GWh (Κεμαλμά, 2020).

Το βιοαέριο ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, μπορεί να δώσει λύσεις στο πολυδιάστατο πρόβλημα της ενεργειακής αναζήτησης. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναλάβει το δύσκολο και απαιτητικό έργο για την προστασία του περιβάλλοντος με την αναζήτηση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την εκμετάλλευση των ήδη υπαρχόντων στο έπακρο και τέλος με τη συμμόρφωση, ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των κρατών μελών της. Στο μέλλον οι ευρωπαϊκές χώρες στοχεύουν στην μείωση των εκλύσεων

των αερίων του θερμοκηπίου, στην προστασία του περιβάλλοντος και στην προσπάθεια για την ευρύτερη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τόσο στις μεταφορές όσο και στη θέρμανση. Στόχος των περισσότερων επιχειρήσεων είναι η αξιοποίηση των αποβλήτων μέσω επενδύσεων εγκατάστασης μονάδων αξιοποίησης των αποβλήτων. Τα διαφορετικά τελικά προϊόντα που παράγονται από τις μονάδες βιοαερίου: ενέργεια και λιπάσματα, είναι αποτέλεσμα αγροτικών, κυρίως, αποβλήτων και ως εκ τούτου η λειτουργία των μονάδων αυτών είναι συμβατή με την έννοια της κυκλικής οικονομίας, η οποία είναι ένα οικονομικό μοντέλο αειφόρου ανάπτυξης, παρά το γεγονός ότι το επενδυτικό τους κόστος είναι ακόμα αρκετά υψηλό.

Βιβλιογραφία

1. Abdul, M. Q., Junaid, H., Kinza, Q., Valentina, V., Amin, K., Muhammad, Y., Lee, M. (2020). Biogas to liquefied biomethane: Assessment of 3P's - Production, processing and Prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 119.
2. Bhatnagar, N., Ryan, D., Murphy, R., & Enright, A. M. (2022). A comprehensive review of green policy, anaerobic digestion of animal manure and chicken litter feedstock potential - Global and Irish perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 154.
3. Eman Bedier Abd-Elbaset Ali, & Hesham, A. M. (2021). Practical Approach to Improve Biogas Produced from Poultry Manure. *International Journal of Engineering Research and Tecnology (IJERT)*.
4. Girotto, F., & Cossu, R. (2017). *Animal Waste: opportunities and challenges*. Padova: University of Padova.
5. Halmaciu, I. A. et al., 2017. Challenges and performance evaluation of livestock waste energy content. Timisoara, s.n.
6. Khan, M., En Lee, J., Bashir, M. A., Dissanayake, P. D., Ok, Y. S., Shariati, M. A., . . . Ahring, K. B. (2021). Current status of biogas upgrading for direct biomethane use: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149.
7. Lamb, J. J. (2020). *Uses of Biogas and Biomethane*. Norway.
8. Lorenzi, G., Gorgoroni, M., Silva, C., & Sntarelli, M. (2019). Life Cycle Assessment of biogas upgrading routes. *Energy Procedia* 158, σσ. 2012-2018.
9. Mojan, S., & Jakadesaan, K. (2013). Production of biogas by using food waste. *International journal of Engineering Research and Applications*, σσ. 390-394.
10. Newton, L., Sheppard, C., Watson, D., Burtle, G., & Dove, R. (2005). *Using the black soldier fly, Hermetia illucens, as a value-added tool for the management of swine manure*. Raleigh: North Carolina State University.
11. Osipovs, S., Puckins, A., Pupins, M., Kirilova, J., & Soms, J. (2021). Biogas production possibility from Aquaculture waste. *Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference. Volume I*, (σσ. 195-199). Latvia.
12. Scholz, M., Melin, T., & Wessling, M. (2013). Transforming biogas into biomethane using membrane technology. *Renewable and Sustainable Energy Review* 17, σσ. 199-212.
13. Teodorita Al Seadi, D. R. (2008). *Biogas Handbook*. Esbjerg.
14. Zhang T, Liu L, Song Z, Ren G, Feng Y, Han X, et al. Biogas production by co-digestion of goat manure with three crop residues. *PLoS One* 2013;8:e66845.
15. Zhu, F., Wang, W., Hong, C., Feng, M., Xue, Z., Chen, X., & Yu, M. (2012). Rapid production of maggots as feed supplement and organic fertilizer by the two-stage composting of pig manure. *Bioresource technology*, σσ. 489-491.

Ελληνική Βιβλιογραφία

16. Ανθίμου, Χ. (2019). *Αξιοποίηση γεωργικών-κτηνοτροφικών αποβλήτων για παραγωγή βιοαερίου. Δυνατότητες και προοπτικές για τη χώρα μας*. Γιαννιτσά: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
17. Βλασακίδης, Α. (2018). *Μελέτη βιωσιμότητας και επενδυτικές ευκαιρίες μονάδων παραγωγής βιοαερίου*. Χίος.
18. Γιακουμάκης, Ν. (2012). *Παραγωγή βιοαερίου από ενσίρωμα βιομάζας και από κτηνοτροφικά απόβλητα*. Μεσολόγγι.
19. Γιουλδούρη, Σ. (2021). *Το βιοαέριο στην κυκλική οικονομία*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
20. Καλημέρης, Π. & Κατσαγούνος, Η., 2007. «Η συμβολή της Τηλεθέρμανσης (District Heating) στην βελτίωση της διαχείρισης των φυσικών πόρων. , Αθήνα: s.n.
21. Κεμαλά, Β. (2020). Χρηματοοικονομική αξιολόγησης μονάδας βιοαερίου.
22. Κοντοκόστας, Γ. (2013). *Τεχνο-οικονομική ανάλυση κύκλου συμπαραγωγής αξιοποιώντας ζωικά απόβλητα και ενεργειακές καλλιέργειες για καύσιμο βιοαέριο*. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
23. Κυθραιώτου, Μ. (2018). Cystat.gov.cy. Retrieved from <https://www.cystat.gov.cy/el/PressRelease?id=60200>
24. Μαρίνης, Ι. (2017). *Διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων και εξεύρεση βέλτιστου συστήματος επεξεργασίας*. Αθήνα.
25. Μάρκου, Γ. (2016). *Πτηνοτροφικά απόβλητα (κοπριές): Μια ανασκόπηση των κυριότερων τεχνολογιών διαχείρισης και αξιοποίησής τους*. Αθήνα.
26. Μαυρουδής, Α. (2018). *Κυκλική οικονομία και τουρισμός*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
27. Μπουσκουτάς, Χ. (2017). *Τεχνο-οικονομική μελέτη μονάδας παραγωγής ενέργειας από βιοαέριο σε κτηνοτροφική μονάδα*. Θεσσαλονίκη.
28. Παπαζηλάκης, Χ. (2013). *Τεχνο-οικονομική μελέτη για μονάδα παραγωγής*. Αθήνα.
29. Πούμπουρας, Γ. (2015). Σχεδίαση, κατασκευή και λειτουργία πρότυπης εγκατάστασης παραγωγής βιοαερίου από μίγμα ενσιρωμένου αραβοσίτου και υγρών μηχανικού διαχωρισμού αποβλήτων βουστασίου γαλακτοπαραγωγής. Μεταπτυχιακή διατριβή, Αθήνα. Ανακτήθηκε στις 30/11/2020 από: http://dspace.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/6606/Poumpouras_G.pdf?sequence=3
30. Ράπτη, Σ. (2019). *Σχεδιασμός και ανάλυση μονάδας παραγωγής βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα*. Αθήνα.
31. Σιούλας, Κ. (2008). *Εγχειρίδιο Βιοαερίου*. Αθήνα: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ).
32. Σιούλας, Κ. (2012). *Χρηματοδότηση έργων βιοαερίου*. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ).
33. Συκιώτης, Δ. (2021). *Σχεδιασμός μονάδας παραγωγής ενέργειας από κτηνοτροφικά απόβλητα μεγάλης μονάδας σε ελληνικό νησί*. Αθήνα.
34. Χαρδαλιά, Π. (2021). *Οικονομοτεχνική αξιολόγηση εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα*. Πειραιάς.
35. Χρυσογιάννη, Μ. (2019). *Παραγωγή βιοαερίου από βιομάζα και αναβάθμιση προς βιομεθάνιο. Διεύρυνση χρήσης του παραγόμενου βιομεθανίου ως καυσίμου μεταφορών ή σύνδεσής του στο δίκτυο φυσικού αερίου στο Ν. Περίας*. Πάτρα.