



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
ΙΣΧΥΟΣ**

Διπλωματική Εργασία

Σωτηρόπουλος Χαράλαμπος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Σεπτέμβριος 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

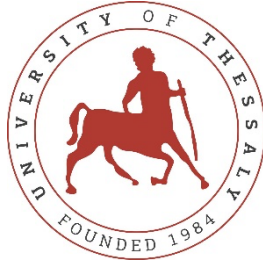
**ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
ΙΣΧΥΟΣ**

Διπλωματική Εργασία

Σωτηρόπουλος Χαράλαμπος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Σεπτέμβριος 2021



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

STUDY OF BIOGAS PLANT FOR POWER GENERATION

Diploma Thesis

Sotiropoulos Charalampos

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

September 2021

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων

Μπαργιώτας Δημήτριος

Αναπληρωτής Καθηγητής/Επιβλέπων, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Σταμούλης Γεώργιος

Καθηγητής/Μέλος, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Τσουκαλάς Ελευθέριος

Καθηγητής/Μέλος, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Με αφορμή την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πολυτεχνείου Θεσσαλίας Δημήτριο Μπαργιώτα για την καθοδήγησή του και την πολύτιμη συμβολή του σε κάθε φάση της δημιουργίας της, καθώς και σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ιδιοκτήτη και τον υπεύθυνο μηχανικό της μονάδας βιοαερίου 1,5Μ, όπου και έγινε η πρακτική μελέτη της παρούσας διπλωματικής εργασίας και οι οποίοι μου έδωσαν την ευκαιρία να παρακολουθήσω από κοντά τη λειτουργία της, βγάζοντας πολύτιμα συμπεράσματα.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Άγγελο Σωτηρόπουλο για τις πολύτιμες συμβουλές και τη βοήθειά του.

Τέλος, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου, η οποία ήταν καθοριστική.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

«Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής».

Ο Δηλών

Σωτηρόπουλος Χαράλαμπος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις σύγχρονες κοινωνίες οι απαιτήσεις για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών είναι πλέον υψηλές. Στην πάροδο των δεκαετιών, και σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και σήμερα, οι συγκεκριμένες ανάγκες εξακολουθούν να καλύπτονται από συμβατικές πηγές ενέργειας. Αυτές κυρίως αφορούν την καύση του πετρελαίου και των παραγώγων του, τα αποθέματα των οποίων εξαντλούνται σιγά σιγά ανά τον κόσμο. Δυστυχώς, τα αποθέματα των συγκεκριμένων πηγών ενέργειας είναι πεπερασμένα και για το λόγο αυτό η στροφή στην εύρεση πιο οικολογικών και αποδοτικών μορφών ενέργειας κρίνεται αναγκαία. Ειδικότερα, η Ευρωπαϊκή Ένωση ενθαρρύνει τα κράτη μέλη της σε αυτή την ενεργειακή στροφή δίνοντας πολλή έμφαση στην παραγωγή ενέργειας από πράσινες (ανανεώσιμες) πηγές που μακροπρόθεσμα θα προσφέρουν περαιτέρω ανάπτυξη και ευημερία στις χώρες αυτές. Αυτές με τη σειρά τους θα βοηθήσουν στο σαφές πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής μέσω της μείωσης των ρύπων, ένα από τα αναρίθμητα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ.

Η παραγωγή βιοαερίου συγκαταλέγεται στις μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το βιοαέριο παράγεται κατά τη διάρκεια της ζύμωσης ενός κύριου υποστρώματος κυρίως οργανικών και γεωργικών αποβλήτων απουσία οξυγόνου. Ύστερα από αλληπάλληλες χημικές αντιδράσεις στο εσωτερικό του αντιδραστήρα παράγεται το ζητούμενο αέριο, το οποίο αφού αρχικά επεξεργαστεί καταλλήλως θα είναι έτοιμο για πληθώρα χρήσεων όπως ως καύσιμο για λέβητες ή για κινητήρες ή θα γίνει έγχυση ως εμπλουτισμένο βιομεθάνιο στο δίκτυο του φυσικού αερίου. Το παραπροϊόν της πέψης, το λεγόμενο κομπόστ, μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ως μέρος του νέου υποστρώματος ή ακόμα αποδοτικότερα ως λίπασμα υψηλής ποιότητας, λόγω του εμπλουτισμού του κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, για γεωργική χρήση.

Η εκμετάλλευση αυτής της μορφής ενέργειας, προϋποθέτει την κατασκευή μονάδων βιοαερίου. Οι μονάδες αυτές, είναι απλές στην κατασκευή τους καθώς αποτελούνται κυρίως από τον αντιδραστήρα της πέψης και το θόλο όπου συγκεντρώνεται το παραγόμενο βιοαέριο. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι αντιδραστήρων που κυριαρχούν στη σύγχρονη βιομηχανία όπου και λαμβάνουν χώρα οι διάφορες φάσεις της αναερόβιας χώνεψης για την τελική παραγωγή του αερίου.

Στην Ελλάδα η χρήση της συγκεκριμένης μορφής ενέργειας δεν έχει υιοθετηθεί στο βαθμό που έχει γίνει στην υπόλοιπη Ευρώπη, με ελάχιστες παραγωγικές μονάδες χαμηλής συνολικά ισχύος. Τα ηνία στην Ευρώπη τα κατέχει η Γερμανία ακολουθούμενη από τη Γαλλία και τις Κάτω Χώρες.

Το οικονομικό κεφάλαιο που απαιτείται για την κατασκευή μιας μονάδας βιοαερίου από αναερόβια χώνεψη ποικίλει ανάλογα τόσο από τη συνολική ισχύ που θα παράγει, όσο και από το είδος του αντιδραστήρα που θα περιλαμβάνει. Επίσης, ένας ακόμα παράγοντας που αφορά το οικονομικό εύρος μιας τέτοιας επένδυσης είναι και η τεχνολογία που θα αγοραστεί για τον εξαγνισμό και τροποποίηση του ακατέργαστου βιοαερίου ώστε να γίνει άμεσα αξιοποιήσιμο για τις πιθανές του εφαρμογές. Για την

ευκολότερη κατανόηση της μελέτης για το βιοαέριο, θεωρήθηκε απαραίτητη η μελέτη μιας υπάρχουσας παραγωγικής μονάδας, η οποία και παρουσιάζεται στην παρούσα μελέτη.

ABSTRACT

In modern societies the demands to meet their energy needs are high. Over the decades and in some cases even today, these needs are still met by conventional sources of energy. These mainly concern the burning of oil and its derivatives, whose reserves are slowly being exhausted around the world. Unfortunately, the stocks of these energy sources are finite and therefore the shift to finding more eco-friendly and efficient forms of energy is needed. In particular, the European Union encourages its Member States in this energy shift by placing a lot of emphasis on the production of energy from green (renewable) sources that in the long run will provide further growth and prosperity in these countries. These will in turn help clear the problem of climate change by reducing pollutants, one of the countless benefits of RES.

Biogas production is one of the forms of renewable energy. Biogas is produced during the fermentation of a main substrate mainly organic and agricultural waste in the absence of oxygen. After repeated chemical reactions inside the reactor, the desired gas is produced, which, after being properly processed, will be ready for a variety of uses such as boiler fuel or fuel for motors or even it would be injected as biomethane in the natural gas grid. The by-product of digestion, the so-called compost, can be reused as part of the new substrate or even more efficiently as a high quality fertilizer, due to its enrichment during fermentation, for agricultural use.

Exploiting this form of energy requires the construction of biogas plants. These units are simple to manufacture as they consist mainly of the digestion reactor and the dome where the biogas produced is concentrated. There are three different types of reactors that dominate the modern industry where the various phases of anaerobic digestion take place for the final gas production.

In Greece, the use of this type of energy has not been adopted to the extent that it has been made in the rest of Europe, with few generating units of low total power. Germany holds the reins in Europe, followed by France and the Netherlands.

The financial capital required to manufacture a biogas plant from anaerobic digestion varies depending on both the total power it generates and the type of reactor it will include. Also, another factor regarding the financial scope of such an investment is the technology that will be purchased to purify and modify the crude biogas to make it immediately applicable to its potential applications.

For an easier understanding of the biogas study, it was considered necessary to study an existing production plant, which is presented in this study.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vii
ABSTRACT.....	ix
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xii
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xiii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Ενέργεια.....	1
1.2 Ανάγκη για ενέργεια – Ενεργειακό πρόβλημα.....	2
1.2.1 Ανάγκη για ενέργεια.....	2
1.2.2 Ενεργειακό πρόβλημα.....	2
1.3 Εναλλακτικές μορφές ενέργειας.....	3
1.3.1 Στροφή σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας.....	3
1.3.2 ΑΠΕ στον Ευρωπαϊκό χώρο και αναπτυξιακοί στόχοι.....	5
1.4 Ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα.....	6
1.4.1 Ιστορική αναδρομή.....	6
1.4.2 Παραγωγή.....	8
1.4.3 Ζήτηση.....	9
1.4.4 Μεταφορά.....	10
1.5 Ενεργειακό τοπίο στην Ελλάδα.....	11
1.5.1 Ενεργειακό ισοζύγιο.....	11
1.5.2 ΑΠΕ στην Ελλάδα.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	14
ΒΙΟΑΕΡΙΟ.....	14
2.1 Ορισμός.....	14
2.1.1 Μεθάνιο.....	15
2.2 Ιστορική αναδρομή.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	20
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	20
3.1 Λειτουργία.....	20
3.1.1 Αναγκαίοι ορισμοί.....	20
3.1.2 Αναερόβια χώνεψη.....	22
3.1.3 Είδη αντιδραστήρων.....	25

3.1.4 Φάσεις παραγωγής βιοαερίου	28
3.1.5 Πρώτες ύλες υποστρώματος.....	31
3.2 Πλεονεκτήματα – Περιορισμοί χρήσης βιοαερίου	34
3.2.1 Πλεονεκτήματα	34
3.2.2 Οφέλη βιοαερίου για τους γεωργούς.....	37
3.2.3 Περιορισμοί.....	38
3.3 Κύριες πηγές πρώτης ύλης.....	42
3.3.1 Οργανική κοπριά ζώων (Πείραμα 1 ^ο).....	43
3.3.2 Οργανικά απόβλητα (Πείραμα 2 ^ο)	45
3.3.3 Οργανική κοπριά ζώων –απόβλητα τροφίμων (Πείραμα 3 ^ο)	50
3.3.4 Σύγκριση (Πείραμα 4 ^ο -Πείραμα 5 ^ο).....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	56
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	56
4.1 Το βιοαέριο στον Ευρωπαϊκό χώρο	56
4.2 Χρήσεις βιοαερίου	59
4.2.1 Καύσιμο για λέβητες.....	60
4.2.2 Καύσιμο για κινητήρες και αεροστροβίλους	61
4.2.3 Καύσιμο για οχήματα.....	62
4.2.4 Χρήση σε κυψέλες καυσίμου	63
4.3 Αναβάθμιση βιοαερίου και χρήση του ως βιομεθάνιο	66
4.4 Οικονομική αξιολόγηση αναβάθμισης του βιοαερίου	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	75
ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ 1,5MW- ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	75
5.1 Περιγραφή εργοστασίου.....	75
5.1.1 Εξοπλισμός – Λειτουργία	76
5.1.2 Συντήρηση- Βλάβες.....	78
5.2 Μελέτη λειτουργίας δυο μηνών	79
5.3 Οικονομική ανάλυση μονάδας	82
5.3.1 Παραγωγή– Έσοδα.....	82
5.3.2 Κόστος – Έξοδα	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο	85
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	87

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Πυρηνική σχάση	4
Εικόνα 2: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	5
Εικόνα 3: Μερίδιο ενέργειας από ΑΠΕ 2014	6
Εικόνα 4: Μερίδιο ενέργειας από ΑΠΕ 2017	6
Εικόνα 5: Παραγωγή ενέργειας από διάφορες πηγές.....	9
Εικόνα 6: Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα	9
Εικόνα 7: Διασυνδεδεμένο ελληνικό δίκτυο	10
Εικόνα 8: Ενεργειακή παραγωγή στην Ελλάδα	12
Εικόνα 9: Ενεργειακή παραγωγή στην πάροδο του χρόνου	12
Εικόνα 10: Ο αειφόρος κύκλος του βιοαερίου	15
Εικόνα 11: Αναερόβιες διαδικασίες αποικοδόμησης του υποστρώματος	23
Εικόνα 12: Τύποι μηχανικής ανάμειξης.....	24
Εικόνα 13: Αντιδραστήρας ροής.....	26
Εικόνα 14: Αντιδραστήρας φουσκώματος	26
Εικόνα 15: Αντιδραστήρας σταθεροποίησης	27
Εικόνα 16: Διαδικασία μεθανιογέννησης	31
Εικόνα 17: Επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό της αναερόβιας χώνεψης	40
Εικόνα 18: Συνολική παραγωγή βιοαερίου	45
Εικόνα 19: Διακύμανση pH στη διάρκεια της χώνεψης	46
Εικόνα 20: Διακύμανση VS και TS στη διάρκεια της χώνεψης.....	46
Εικόνα 21: Ημερήσια αύξηση μεθανίου για την αύξηση περιεχομένου TS.....	49
Εικόνα 22: Καθημερινή αύξηση μεθανίου για αύξηση περιεχομένου TS.....	49
Εικόνα 23: Επίδραση της σύνθεσης στον παραγόμενο όγκο για απόβλητα ρυζιού	51
Εικόνα 24: Πειραματικά δεδομένα παραγωγής βιοαερίου	53
Εικόνα 25: Εβδομαδιαία διακύμανση ποσοστού παραγωγής βιοαερίου.....	55
Εικόνα 26: Παραγωγή βιοαερίου από το 2012-2022ανά τον κόσμο	57
Εικόνα 27: Κατανομή αντιδραστήρων Α.Χ. στην Ε.Ε.	58
Εικόνα 28: Παραγωγή ενέργειας από βιοαέριο από διάφορες πηγές.....	58
Εικόνα 29: Διαδικασία προσρόφησης.....	67
Εικόνα 30: Διαδικασία βιο-διήθησης α)Βιοσυμπιεστής b)Βιοφίλτρο c)Φίλτρο βιολογικού ψεκασμού	68
Εικόνα 31: Διαδικασία εξαχνισμού μέσω νερού υψηλής πίεσης	69
Εικόνα 32: Μονάδα βιοαερίου 1,5 MW	76
Εικόνα 33: Σωληνώσεις επικοινωνίας αντιδραστήρων	77
Εικόνα 34: Σύστημα ψύξης βιοαερίου	78
Εικόνα 35: Δεξαμενή εισαγωγής καλαμποκιού.....	80
Εικόνα 36: Δεξαμενή εισαγωγής υγρών λυμάτων.....	81

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Χημική ανάλυση μεθανίου	16
Πίνακας 2: Σύνθεση του βιοαερίου	16
Πίνακας 3: Παραγωγή βιοαερίου	18
Πίνακας 4: Χρονολογική εξέλιξη χρήσης βιοαερίου	18
Πίνακας 5: Προϊόντα από την αποικοδόμηση της γλυκόζης	29
Πίνακας 6: Χημικές αντιδράσεις παραγωγής μεθανίου	31
Πίνακας 7: Σύνθεση υποστρώματος στο 1ο Πείραμα	44
Πίνακας 8: Σύνθεση οργανικών αποβλήτων τροφίμων	47
Πίνακας 9: Μέση τιμή χημικών χαρακτηριστικών υποστρώματος	48
Πίνακας 10: Δεδομένα παραγωγής βιοαερίου	53
Πίνακας 11: Σύγκριση των δυο υποστρωμάτων για τη χώνεψη	55
Πίνακας 12: Διαφορές στη σύσταση βιοαερίου-φυσικού αερίου	60
Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά ποιότητας βιοαερίου	63
Πίνακας 14: Είδη κυψελών καυσίμου	65
Πίνακας 15: Διαδικασία εξαγνισμού βιοαερίου	71
Πίνακας 16: Οικονομική ανάλυση αναβάθμισης του βιοαερίου	71
Πίνακας 17: Ενεργειακές απαιτήσεις για τις τεχνολογίες αναβάθμισης	72
Πίνακας 18: Κόστος επένδυσης σε κάθε τεχνολογία αναβάθμισης.....	73
Πίνακας 19: Χρήση διαφόρων υποστρωμάτων στη ζύμωση	81
Πίνακας 20: Κατά προσέγγιση παραγωγή σε MWh	81
Πίνακας 21: Βιωσιμότητα έργου	83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ευρύτερη έννοια της ενέργειας και τονίζεται η άμεση ανάγκη για την παραγωγή της. Το ενεργειακό πρόβλημα άλλωστε είναι γνωστό στις σύγχρονες κοινωνίες γεγονός που ενισχύει την παραπάνω ανάγκη. Επίσης παρουσιάζεται η στροφή στις εναλλακτικές μορφές ενέργειας, οι οποίες περιλαμβάνουν κατά ένα μεγάλο ποσοστό τη διεύθυνση των ΑΠΕ τόσο σε ολόκληρο τον κόσμο, όσο και στην Ελλάδα.

1.1 Ενέργεια

Αν και η ενέργεια είναι γενικά μια απροσδιόριστη έννοια θα μπορούσαμε να πούμε πως ορίζεται ως η ικανότητα ενός συστήματος να παράγει έργο. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ζωτικής σημασίας για τη σύγχρονη ζωή, δεδομένης της κατακόρυφης βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου. Κάθε πτυχή της, την περιλαμβάνει γεγονός που αυξάνει καθημερινά τη ζήτηση για την παραγωγή της με χιλιάδες νέους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρο τον κόσμο.

Αρχικά, η παραγωγή της ενέργειας παγκοσμίως βασίστηκε στις συμβατικές και ήδη υπάρχουσες πηγές ενέργειας, οι οποίες κατά κύριο λόγο αφορούσαν την καύση του πετρελαίου. Με δεδομένο όμως το γεγονός ότι τα παγκόσμια αποθέματα σε πετρέλαιο, αλλά και γενικότερα σε ορυκτά καύσιμα είναι περιορισμένα, όπως και ότι η ενεργειακή παραγωγή συνδέεται άμεσα με τη ρύπανση του περιβάλλοντος- καθώς η παραγωγή της σε όλα της τα στάδια, αναμφίβολα προκαλεί την υποβάθμισή του, γεννήθηκε η ανάγκη για στροφή σε διαφορετικές μορφές ενέργειας.

Οι περιβαλλοντικές και οι συνιστώσες της εξαντλησιμότητας των ορυκτών, αποτελούν τα κύρια στοιχεία που συνθέτουν το σύγχρονο ενεργειακό τοπίο και προβάλλουν ως επιτακτική την ανάγκη εξεύρεσης νέων καθαρότερων και αποδοτικότερων πηγών ενέργειας. [1]

1.2 Ανάγκη για ενέργεια – Ενεργειακό πρόβλημα

1.2.1 Ανάγκη για ενέργεια

Η ανάγκη για ενέργεια είναι απαραίτητη για την ανθρώπινη και ιδιαίτερα για τη σύγχρονη ζωή. Από φυσικής άποψης είναι η ικανότητα ενός συστήματος να παράγει έργο ως προς ένα δεύτερο σύστημα. Σχεδόν κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα απαιτεί τεράστια ποσά ενέργειας και η απουσία της μπορεί να επιφέρει διάφορα προβλήματα. Για παράδειγμα, ένα πιθανό έλλειμμα στον ενεργειακό ανεφοδιασμό μιας χώρας, θα μπορούσε να επιφέρει τέτοια αλλαγή ώστε να καταρρεύσει η οικονομία της και το βιοτικό της επίπεδο να πέσει κατακόρυφα. Και αυτό επειδή οι κύριες ανάγκες μιας χώρας σε ενέργεια εντοπίζονται στη βιομηχανία, στις μεταφορές, στη θέρμανση και στην ψύξη, πρωτεύοντες παράγοντες για την ευημερία και την ανάπτυξη μιας χώρας. Τρανό παράδειγμα ότι οι βιομηχανικές επαναστάσεις ανά τους αιώνες στηρίζονταν στην παραγωγή ενέργειας.

1.2.2 Ενεργειακό πρόβλημα

Παρόλο που η σύγχρονη κοινωνία βασίζεται στην ενέργεια, η κατάσταση σήμερα δεν είναι ιδανική. Στα αρχαία χρόνια οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν ξύλα και τους τελευταίους δυο αιώνες ορυκτά καύσιμα (φυσικό αέριο, πετρέλαιο, άνθρακας). Η ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου βασισμένη στη ευρεία χρήση φθηνών πηγών ενέργειας, κυρίως των ορυκτών καυσίμων, οδήγησε στον πυρήνα του ενεργειακού προβλήματος το οποίο είναι η εξάντληση αυτών. Μόνο μερικές χώρες διαθέτουν τα εναπομείναντα αποθέματα των ορυκτών και δεδομένου πως σχεδόν το 85% των δραστηριοτήτων του ανθρώπου βασίζεται σε αυτού του είδους την καύση, γίνεται εύκολα κατανοητό το πρόβλημα.

Το παραπάνω πρόβλημα θα ενταθεί στο εγγύς μέλλον ως αποτέλεσμα της συνεχούς αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού και της αναπόφευκτης αύξησης της κατανάλωσης της ενέργειας. Ένα άλλο μέρος του, είναι η ανικανότητα να προβλέψουμε πότε θα εξαντληθούν τα αποθέματα και τέλος η ρύπανση του περιβάλλοντος, η οποία

μπορεί να προκαλέσει μη αναστρέψιμα προβλήματα όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, τη ρύπανση του νερού και γενικότερα των φυσικών πόρων. [1,2]

1.3 Εναλλακτικές μορφές ενέργειας

1.3.1 Στροφή σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας

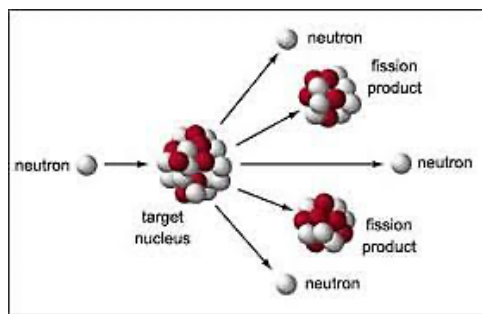
Το βασικό χαρακτηριστικό της ηλεκτρικής ενέργειας που είναι η ευκολία στη μετατροπή της σε άλλες μορφές, την καθιστά την πλέον αναγκαία μορφή ενέργειας για κάθε σύγχρονη κοινωνία. Η κύρια παραγωγή της όμως σήμερα προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων και πιο συγκεκριμένα σε ένα ποσοστό της τάξεως του 48% και για το λόγο αυτό η ηλεκτροπαραγωγή θεωρείται ως ο πλέον ρυπογόνος τομέας σε ολόκληρη την πορεία της ενέργειας από την παραγωγή έως και την κατανάλωση. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η περιβαλλοντική ρύπανση και η εξάντληση των ορυκτών, εντείνουν την ανάγκη για στροφή στην παραγωγή ενέργειας από εναλλακτικές πηγές.

Σύμφωνα με τη μελέτη της World Energy Outlook, μια μελέτη που αφορά την παραγωγή ενέργειας από εναλλακτικές πηγές στη διάρκεια μιας 40ετίας (2000-2040) γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι το μέλλον της ηλεκτροπαραγωγής βρίσκεται εκεί. Η μελέτη αναφέρεται σε ένα υλοποιήσιμο σενάριο ενεργειακής ανάπτυξης κατά την ηλεκτροπαραγωγή για την επίτευξη των διεθνών συμφωνηθέντων στόχων. Δείχνει χαρακτηριστικά τη σταδιακή μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων από το 2015 και τη ραγδαία αύξηση στη χρήση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας κατά μεγάλο ποσοστό. Κατά κύριο λόγο με τον όρο εναλλακτικές μορφές ενέργειας αναφερόμαστε στις ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) και σε ένα ποσοστό στην πυρηνική ενέργεια. [3,4,5]

Πυρηνική ενέργεια: Πυρηνική ή ατομική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που απελευθερώνεται όταν μετασχηματίζονται ατομικοί πυρήνες. Είναι δηλαδή η δυναμική ενέργεια που είναι εγκλωβισμένη στους πυρήνες των ατόμων λόγω της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων που τα συνιστούν. Η πυρηνική ενέργεια απελευθερώνεται κατά τη σχάση (Εικόνα 1) ή τη σύντηξη των πυρήνων και εφόσον οι πυρηνικές αντιδράσεις είναι ελεγχόμενες (όπως συμβαίνει άλλωστε στην καρδιά ενός πυρηνικού αντιδραστήρα) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει υψηλές ενεργειακές ανάγκες. Είναι μια υποσχόμενη εν δυνάμει λύση για το ενεργειακό αδιέξοδο στο οποίο φαίνεται να οδηγούνται οι σύγχρονες κοινωνίες.

Πυρηνική πραγματικότητα σήμερα: Παγκοσμίως υπάρχουν 450 πυρηνικοί σταθμοί μοιρασμένοι σε 31 χώρες συνολικής ισχύος περίπου 392 GW και περίπου 60 ακόμα μονάδες με ισχύ 60 GW σε 16 χώρες υπό κατασκευή. Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία μέχρι και το Νοέμβριο του 2016 στην Ευρώπη υπάρχουν συνολικά 186 πυρηνικοί σταθμοί με συνολική ισχύ 163 GW 58 από τους οποίους βρίσκονται στη Γαλλία που κατέχει την πρώτη θέση με ποσοστό 76,3% στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω πυρηνικών, ακολουθώντας στη σχετική λίστα η Ρωσία και η Ουκρανία. [6,7]

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ): είναι οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δηλαδή η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια των κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, τα αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής, από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και τα βιοαέρια όπως ορίζει η ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ.



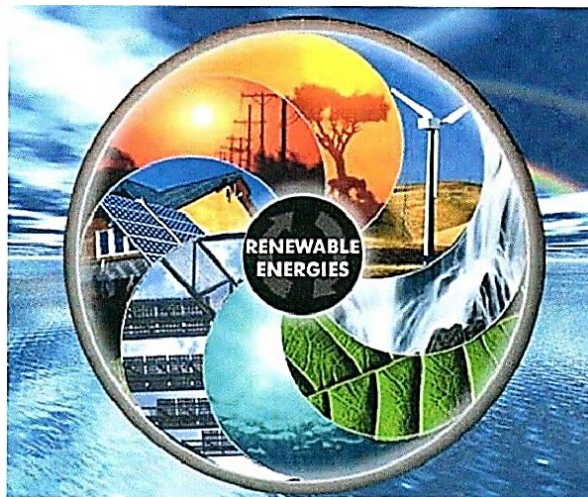
Εικόνα 1: Πυρηνική σχάση [6]

Είναι οι πηγές ενέργειας των οποίων οι πηγές δεν εξαντλούνται είτε ανανεώνονται (Εικόνα 2). Αναμένεται να έχουν κεντρικό ρόλο στην αντιμετώπιση του ενεργειακού προβληματισμού και πιο συγκεκριμένα στη μεταβολή του μίγματος καυσίμου και στην απελευθέρωση της αγοράς, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος και να ενισχυθεί η ανταγωνιστικότητα στον ενεργειακό τομέα διατηρώντας ή ακόμα και βελτιώνοντας την τιμή με την οποία διατίθεται η ενέργεια στην αγορά.

Στις μέρες μας, οι ΑΠΕ αντιπροσωπεύουν το 25% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σημειώνοντας υψηλό βαθμό ανάπτυξης τα τελευταία χρόνια. Αρχικά οι Η.Π.Α και η Κίνα πρωτοστάτησαν και ακολούθησαν η Ευρώπη, η Ασία και η Ιαπωνία. Τέλος, αναγκαίο κρίνεται να σημειωθεί πως μόνο για το έτος 2017 η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ αυξήθηκε κατά 6,3% το οποίο αντιστοιχεί σε 380 TWh. [3]

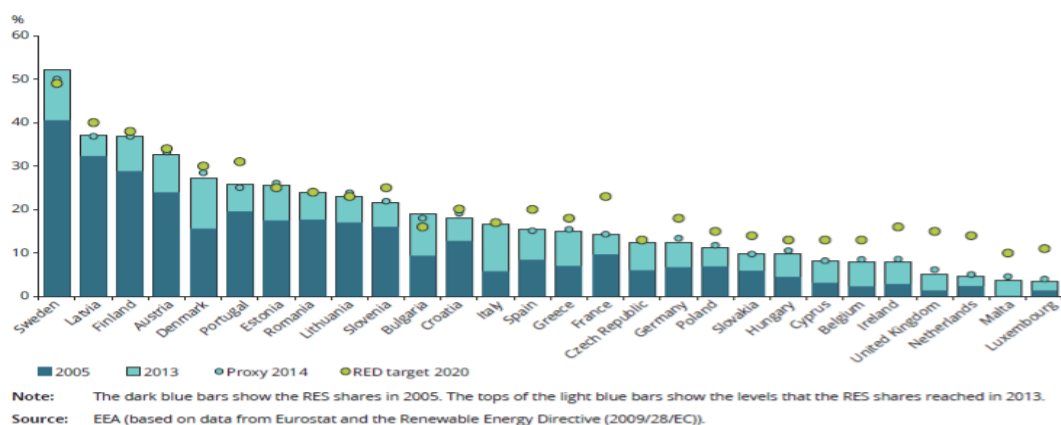
1.3.2 ΑΠΕ στον Ευρωπαϊκό χώρο και αναπτυξιακοί στόχοι

Παραδοσιακά η κύρια πηγή ενέργειας της Ευρώπης αποτελούσε η καύση ορυκτών. Με τα τεράστια περιβαλλοντικά προβλήματα που είναι κάτι παραπάνω από εμφανή στις μέρες μας, λόγω αυτής, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ευαισθητοποιηθεί και έχει θέσει ως βασική της προτεραιότητα τη μείωση των ρύπων. Σύμφωνα με το παραπάνω σκεπτικό η Ευρωπαϊκή Ένωση αποφασίζει την προώθηση της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ σε ποσοστό που αγγίζει το 20% μέχρι το τέλος του 2020. Η επίτευξη των στόχων αυτών θα έρθει μέσα από την υλοποίηση φιλόδοξων αναπτυξιακών προγραμμάτων για κάθε χώρα ξεχωριστά. Και ο λόγος φυσικά, εντοπίζεται στο γεγονός πως το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο κάθε χώρας είναι διαφορετικό και θα οριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση σύμφωνα με τις κοινωνικοπολιτικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε της κράτος.

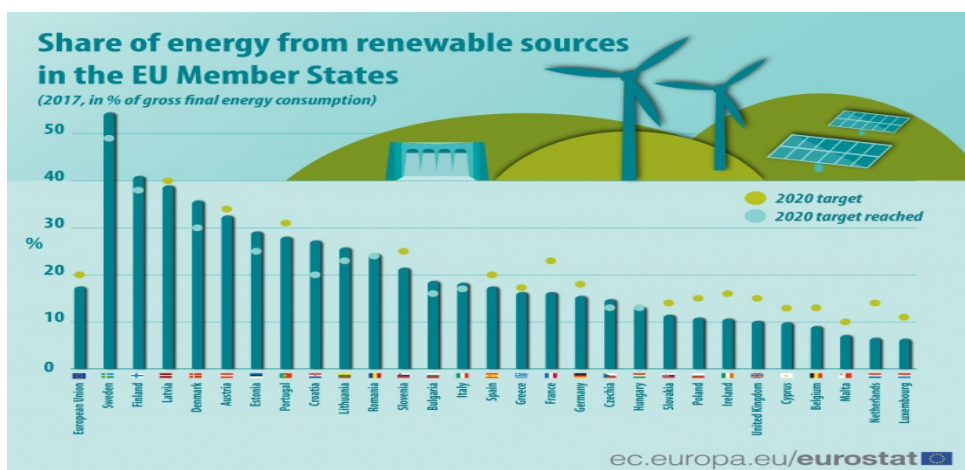


Εικόνα 2: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [10]

Πιο συγκεκριμένα και παρατηρώντας τις Εικόνες 3 και 4 που αποτελούν αποτέλεσμα έρευνας της Eurostat, καταλαβαίνουμε πως στο σύνολό τους οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι αρκετά κοντά στην πραγματοποίηση της επίτευξης των προβλεπόμενων ορίων μέχρι το τέλος του 2020. Ενδεικτικά κράτη όπως η Σουηδία, η Φινλανδία, η Αυστρία και η Κροατία έχουν ήδη καλύψει τα όρια αυτά, ενώ αντίθετα κάποιες άλλες χώρες όπως η Κύπρος, η Σλοβενία, το Βέλγιο και η Ελλάδα θα πρέπει να καταβάλλουν μεγαλύτερη προσπάθεια για τη επίτευξη των στόχων τους.



Εικόνα 3: Μερίδιο ενέργειας από ΑΠΕ 2014 [8]



Εικόνα 4: Μερίδιο ενέργειας από ΑΠΕ 2017 [9]

Γενικότερα, όμως οι ΑΠΕ έχουν διεισδύσει αρκετά στην Ευρωπαϊκή Ένωση και αποδεικτικό στοιχείο είναι πως η τελική κατανάλωση από ΑΠΕ στις χώρες της, έχει διπλασιαστεί αφού το έτος 2004 άγγιζε το 7,5% ενώ το 2016 διαμορφώθηκε στο 17% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται. [8,9]

1.4 Ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα

1.4.1 Ιστορική αναδρομή

Το ηλεκτρικό ρεύμα φτάνει στην Ελλάδα το 1889. Η Γενική Εταιρία Εργοληψιών, κατασκευάζει στην Αθήνα, στην οδό Αριστείδου, την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Τα ανάκτορα θα είναι το πρώτο κτίριο που θα φωτιστεί και σε

πολύ μικρό χρονικό διάστημα ο ηλεκτροφωτισμός θα επεκταθεί και στο ιστορικό κέντρο της πρωτεύουσας. Την ίδια χρονική περίοδο και η τουρκοκρατούμενη Θεσσαλονίκη θα δει το ηλεκτρικό φως καθώς η 'Βελγική Εταιρία' θα αναλάβει απ τις τούρκικες αρχές να φωταγωγήσει και να τροχοδρομήσει την πόλη με την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δέκα χρόνια αργότερα θα κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα πολυεθνικές εταιρίες ηλεκτρισμού. Η Thomson-Houston μια αμερικανική εταιρία με τη συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας Της Ελλάδος ιδρύουν την 'Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρία' που αναλαμβάνει την ηλεκτροδότηση μεγάλων ελληνικών πόλεων. Έως και το 1929 θα έχουν ηλεκτροδοτηθεί 250 περίπου πόλεις με συνολικό πληθυσμό άνω των 5.000 κατοίκων. Στις πλέον αραιοκατοικημένες και απομακρυσμένες περιοχές ήταν ασύμφορο οικονομικά για τις μεγάλες εταιρίες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και για το λόγο αυτό την ηλεκτροδότηση αναλαμβάνουν ιδιώτες ή ιδιωτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια. Το 1950 υπήρχαν στην Ελλάδα περίπου 400 εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ως πρωτογενή καύσιμα χρησιμοποιούσαν το πετρέλαιο και το γαιάνθρακα τα οποία και εισήγαγαν από το εξωτερικό. Η διαίρεση της παραγωγής σε πολλές μικρές μονάδες σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, εκτόξευε την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στα ύψη σε ποσοστό πενταπλάσιο της τιμής των υπόλοιπων ευρωπαϊκών χωρών. Η ηλεκτρική ενέργεια από την αρχή της εμφάνισής της αποτέλεσε αγαθό πολυτελείας αν και τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο και οι διακοπές ήταν συνηθισμένο φαινόμενο.

Τον Αύγουστο του 1950 ιδρύθηκε η ΔΕΗ, ένας δημόσιος φορέας που συγκέντρωσε τις δραστηριότητες της παραγωγής, της μεταφοράς και της διανομής. Η ΔΕΗ στρέφεται προς την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας ενώ ξεκινά η ενοποίηση των δικτύων μεταφοράς σε ένα εθνικά διασυνδεδεμένο σύστημα. Η ΔΕΗ δημιούργησε λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής θέλοντας να εκμεταλλευτεί τα πλούσια κοιτάσματα που είχαν εντοπιστεί στη χώρα και να τα χρησιμοποιήσει ως πρώτη ύλη καύσης. Παράλληλα αξιοποιώντας τη δύναμη των υδάτων ιδρύει τα πρώτα υδροηλεκτρικά εργοστάσια χρησιμοποιώντας τα μεγάλα ποτάμια της Ελλάδας. Από 01/01/2001 η ΔΕΗ λειτουργεί ως ανώνυμη εταιρία και περίπου στις 20/12/2001 θα μπει στα χρηματιστήρια αξιών Αθηνών και Λονδίνου και πλέον θα δραστηριοποιείται σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Σύμφωνα με στοιχεία του 2013 η ΔΕΗ

προμηθεύει το 95% της καταναλισκόμενης ενέργειας και συγχρόνως είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η ΔΕΗ δημιουργεί δυο θυγατρικές εταιρίες της, τον ΑΔΜΗΕ Α.Ε. (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.) και ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.). Ο ΑΔΜΗΕ είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση λειτουργίας, ανάπτυξης και συντήρησης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ενέργειας και των διασυνδέσεών του, ενώ ανάλογες αρμοδιότητες σχετικά με το Ελληνικό Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας έχει ο ΔΕΔΔΗΕ. Μια πρόσφατη νέα θυγατρική εταιρία είναι ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε., μια εταιρία που αφορά τη διαχείριση και την ανάπτυξη του συγκεκριμένου κλάδου. [10,11]

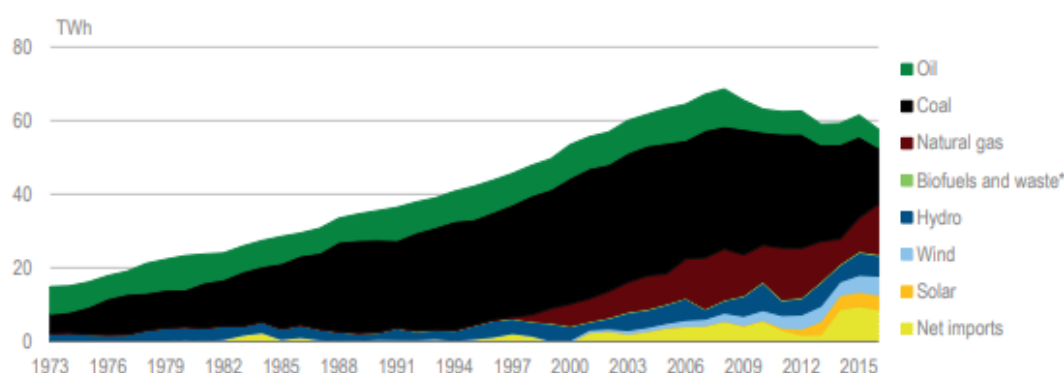
1.4.2 Παραγωγή

Το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας το 2016, η Ελλάδα το παράγει από τον άνθρακα σε ποσοστό 31,6% ακολουθούμενο από αυτό του φυσικού αερίου με 27,8%. Τις 48,8 TWh που παράγει συνολικά η χώρα συμπληρώνει η παραγωγή από υδροηλεκτρικά σε ποσοστό 11,4%, το πετρέλαιο 9,9%, η αιολική ενέργεια με 10,5% και η ηλιακή με 8,1%. Τέλος, το ενεργειακό μίγμα συμπληρώνεται με τη βιομάζα με το χαμηλό ποσοστό του 0,7%.

Αρχικά, η παραγωγή βασίστηκε στην καύση του άνθρακα και του πετρελαίου. Από το 2006 όμως και σε βάθος μιας δεκαετίας, φάνηκε η ελάττωση στη χρήση αυτών των δυο καυσίμων. Σημαντικό ρόλο από την ίδια χρονιά φαίνεται να έπαιξε το φυσικό αέριο και οι ΑΠΕ. Γενικότερα, η Ελλάδα πέτυχε αξιοσημείωτη διαφοροποίηση του μίγματος καυσίμων στον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής με τις ΑΠΕ. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελεί η αύξηση της ηλεκτροπαραγωγής που προέρχεται από τον άνεμο (αιολική ενέργεια) που στο βάθος της δεκαετίας 2006-2016 αυξήθηκε το ποσοστό συμμετοχής της από 2,8 σε 10,5%. Ακόμη μεγαλύτερη αύξηση είχε η ηλιακή ενέργεια όπου το αντίστοιχο ποσοστό από το 2010 έως το 2016 έφτασε το 8,1% από το σχεδόν μηδενικό 0,3%.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι σταθερά η Τρίτη μεγαλύτερη ενεργειακή πηγή της χώρας. Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται η κατανομή της παραγωγής από τις διάφορες πηγές. [12,13]

Παρατηρώντας την Εικόνα 6 για τη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας στη Ελλάδα, γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η ζήτηση δεν καλύπτεται από την εγχώρια παραγωγή, κάνοντας απαραίτητη την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άλλες χώρες. Η ζήτηση για ενέργεια στη χώρα έφτασε τις 56,3 TWh το 2008 και με την πάροδο των ετών και τον ερχομό της οικονομικής κρίσης σε βάθος μιας δεκαετίας έπεσε ελάχιστα όπως φαίνεται στην ίδια εικόνα. Η Ελλάδα είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις γειτονικές της χώρες και αποτελεί καθαρό εισαγωγέα ενέργειας τα τελευταία χρόνια, κάνοντας κατά καιρούς και εξαγωγές στην Ιταλία, στην Τουρκία, στα Σκόπια και τη Βουλγαρία. Ενδεικτικά για το έτος 2016 οι συνολικές εισαγωγές άγγιξαν τις 8,8 TWh. [13]

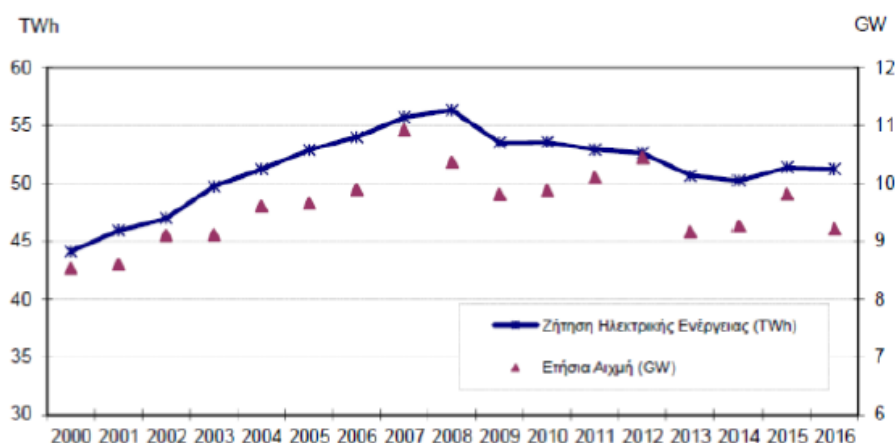


* Negligible.

Note: Data are provisional for 2016.

Source: IEA (2017b), *World Energy Balances 2017*, www.iea.org/statistics/.

Εικόνα 5: Παραγωγή ενέργειας από διάφορες πηγές [12]



Εικόνα 6: Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα [13]

1.4.3 Ζήτηση

Αξιοπρόσεκτο είναι το γεγονός πως η Ελλάδα θα μπορούσε να αυξήσει τα ποσοστά παραγωγής της, τη στιγμή που τα μη ηλεκτρικά διασυνδεδεμένα νησιά της ενσωματωθούν με το υπόλοιπο διασυνδεδεμένο σύστημα. Παραδοσιακά, τα νησιά της

χώρας αποτελούσαν πηγή οικονομίας λόγω του τουρισμού τους τούς καλοκαιρινούς μήνες. Οι ενεργειακές ανάγκες τους είναι αυξημένες τότε και λόγω της μη διασύνδεσής τους με το υπόλοιπο δίκτυο η ηλεκτροδότησή τους γίνεται με τοπικούς αυτόνομους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής κυρίως πετρελαίου. Οι μονάδες αυτές πέρα από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχουν, είναι και πολυδάπανες λόγω της υψηλής τιμής του πετρελαίου. Με τη διασύνδεση των ελληνικών νησιών, προάγεται η αξιοποίηση του πλούσιου δυναμικού των ΑΠΕ, βελτιώνεται η συμμετοχή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας και μειώνονται οι ρύποι προς το περιβάλλον. Βέβαια το κόστος διασύνδεσης είναι αρκετά μεγάλο αλλά θα επιβαρύνει τους καταναλωτές ολόκληρης της χώρας μέσω των Υπηρεσιών Κοινής Ωφέλειας (ΥΚΩ).

Σημαντικά βήματα αποτελούν τα τελευταία χρόνια η διασύνδεση των Κυκλάδων με το κεντρικό δίκτυο και η προγραμματισμένη ολοκλήρωση της διασύνδεσης της Πελοποννήσου με την Κρήτη το 2020. Στην Εικόνα 7 φαίνεται το ελληνικό διασυνδεδεμένο δίκτυο. [12,13,14]



Εικόνα 7: Διασυνδεδεμένο ελληνικό δίκτυο [13]

1.4.4 Μεταφορά

Τη σπονδυλική στήλη του διασυνδεδεμένου συστήματος μεταφοράς αποτελούν οι τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV, που μεταφέρουν ηλεκτρισμό, κυρίως από το σπουδαιότερο για τη χώρα μας ενεργειακό κέντρο παραγωγής της Δυτικής Μακεδονίας. Εκεί παράγεται το 70% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής της χώρας και στη συνέχεια μεταφέρεται για κατανάλωση στα μεγάλα αστικά κέντρα και στην υπόλοιπη χώρα.

Το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς διαθέτει επιπλέον γραμμές των 400KV όπως και εναέριες, υπόγειες γραμμές και υποβρύχια καλώδια των 150 kV που συνδέουν την Άνδρο και τα νησιά της Δυτικής Ελλάδας, Κέρκυρα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθο με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς καθώς και μια υποβρύχια διασύνδεση της Κέρκυρας με την Ηγουμενίτσα στα 66kV.

Την 31^η Δεκεμβρίου 2013 το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς αποτελείτο από 11.232 χιλιόμετρα γραμμών μεταφοράς. Τέλος, την 31^η Δεκεμβρίου 2013 σε 331 υποσταθμούς του διασυνδεδεμένου συστήματος μεταφοράς ήταν εγκατεστημένοι 732 Μ/Σ και αυτομετασχηματιστές με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 55.391 MVA. [13]

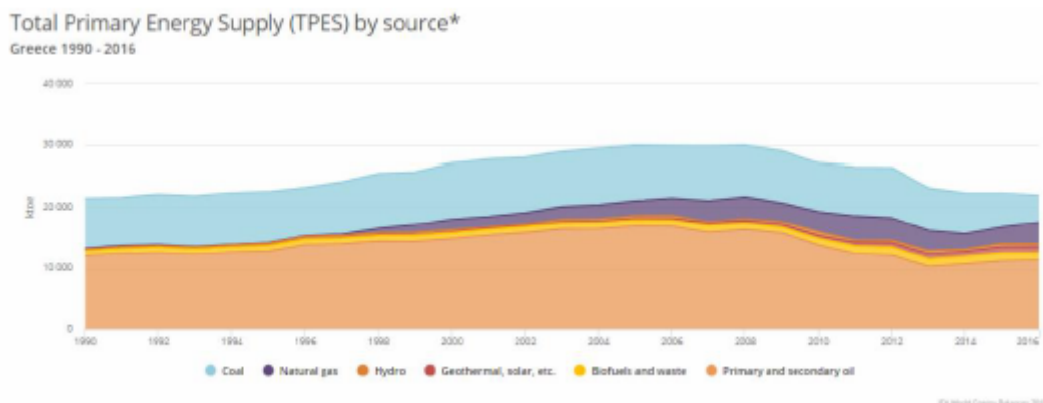
1.5 Ενεργειακό τοπίο στην Ελλάδα

1.5.1 Ενεργειακό ισοζύγιο

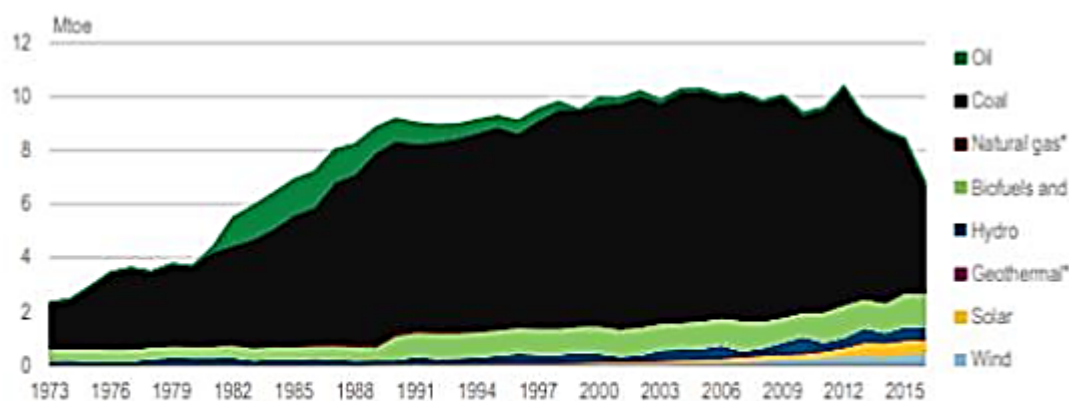
Η οικονομική κρίση που ξέσπασε στην Ελλάδα το 2009, ανάγκασε τη χώρα να ενταχθεί, ένα χρόνο αργότερα, σε ένα πρόγραμμα οικονομικής προσαρμογής της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Διεθνούς Νομισματικού Ταμείου (ΔΝΤ). Πρωταρχικός στόχος του εγχειρήματος ήταν η απελευθέρωση των αγορών και η αύξηση της ανταγωνιστικότητας για τη χώρα μας στο εξωτερικό. Η προσπάθεια για ανταγωνιστικότητα δε θα μπορούσε να μην περιλαμβάνει φυσικά και τον ενεργειακό τομέα. Είναι γεγονός πως η ζήτηση ενέργειας είναι αρκετά μεγαλύτερη από την εγχώρια παραγωγή και για το λόγο αυτό η χώρα εισάγει ηλεκτρική ενέργεια, με αποτέλεσμα ένα σημαντικό οικονομικό ετήσιο πλήγμα.

Πιο συγκεκριμένα και παρατηρώντας τις Εικόνες 8 και 9, η Ελλάδα διαθέτει πλούσια κοιτάσματα άνθρακα, η εκμετάλλευση των οποίων εξασφαλίζει μόνο το 1/3 της συνολικής παραγωγής. Η μεγαλύτερη ενεργειακή εξάρτηση της χώρας εντοπίζεται στο πετρέλαιο και στα υποπροϊόντα του. Το πετρέλαιο αποτελεί το κυρίαρχο καύσιμο και η διάθεσή του στηρίζεται ολοκληρωτικά από το εξωτερικό, καθώς ο τομέας των

μεταφορών είναι αυτός της μεγαλύτερης ενεργειακής κατανάλωσης και η πραγματοποίησή του γίνεται με τη χρήση πετρελαϊκών προϊόντων.



Εικόνα 8: Ενεργειακή παραγωγή στην Ελλάδα [12]



* Negligible.

Note: Data are provisional for 2016.

Source: IEA (2017), *World Energy Balances 2017*, www.iea.org/statistics/.

Εικόνα 9: Ενεργειακή παραγωγή στην πάροδο του χρόνου [15]

Αναλύοντας το ενεργειακό ελληνικό μίγμα, στην κορυφή του θα βρεθεί ο λιγνίτης, ο οποίος αποτελεί τη βάση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος. Ο λιγνίτης αποτελεί το πιο σημαντικό εγχώριο ορυκτό καύσιμο και είναι μια αξιόπιστη πηγή στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Η επίτευξη όμως των περιβαλλοντικών στόχων που έχουν θεσπιστεί, καθιστά αναγκαία τη μείωση της χρήσης του και γενικότερα του άνθρακα. Παράλληλα προτείνεται η στροφή στη χρήση φυσικού αερίου και ΑΠΕ. Αν και η εκμετάλλευση του φυσικού αερίου έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια προβλέπεται η περαιτέρω αξιοποίησή του κυρίως στον οικιακό τομέα, εξαλείφοντας σιγά σιγά τα παλιότερα συστήματα πετρελαίου. Δυστυχώς όμως λόγω των υπάρχουσών καταστάσεων η αποφυγή της χρήσης πετρελαίου δεν είναι πάντοτε εύκολη. Για παράδειγμα, η έλλειψη

ηλεκτρικής διασύνδεσης πολλών ελληνικών νησιών με την υπόλοιπη Ελλάδα, τα αναγκάζει να χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο, γεννήτριες πετρελαίου για την κάλυψη των αναγκών τους σε ηλεκτρικό ρεύμα. Βέβαια το συγκεκριμένο πρόβλημα έχει ξεκινήσει να επιλύεται μέσω μεγάλων έργων διασύνδεσης της Ηπειρωτικής χώρας με τα νησιά. [12]

1.5.2 ΑΠΕ στην Ελλάδα

Η χρήση των ΑΠΕ βρίσκεται σε μικρά επίπεδα σε σύγκριση με το διαθέσιμο και πολύ πλούσιο φυσικό πλούτο της χώρας. Η Ελλάδα τα τελευταία χρόνια έχει αυξήσει κατά πολύ το ποσοστό της ηλεκτροπαραγωγής της από ΑΠΕ και η αύξηση κατά κύριο λόγο οφείλεται στη μεγάλη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας ξεπερνώντας μάλιστα τους προκαθορισμένους στόχους των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Σημαντική αύξηση έχει σημειώσει και το ποσοστό της αιολικής ενέργειας. Και ο λόγος είναι πως η χώρα μας διαθέτει άριστες συνθήκες για την προσοδοφόρα λειτουργία των παραπάνω εγκαταστάσεων. Οι υπόλοιπες ΑΠΕ όπως η βιομάζα και το βιοαέριο κινούνται σε ακόμα χαμηλότερα ποσοστά, καθώς δεν έχουν διεισδύσει όσο η ελληνική κοινωνία θα ήταν έτοιμη να δεχτεί.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στο ΕΣΜΗΕ (Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) ανέρχεται στα 17,5 GW. Το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό μετά από τις θερμικές μονάδες παραγωγής ενέργειας (μονάδες λιγνίτη και φυσικού αερίου), ανήκει στην κατηγορία των ΑΠΕ, καταλαμβάνοντας το 29,2% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος δηλαδή τα 4.872,4 GW. Αξιοσημείωτο είναι πως τα 2.047 MW εξ' αυτών αφορούν αιολικά πάρκα και τα 2.444 MW φωτοβολταϊκούς σταθμούς.

Τα τελευταία χρόνια οι ΑΠΕ γνωρίζουν μεγάλη ανάπτυξη στη χώρα και αναμένεται να γνωρίσουν ακόμα μεγαλύτερη. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό από τον τεράστιο αριθμό αδειών που έχουν εκδοθεί για έργα ΑΠΕ περίπου 30 GW ισχύος σε όλη τη χώρα. Οι άδειες αφορούν κυρίως φωτοβολταϊκά συστήματα και αιολικά πάρκα και σε μικρότερη έκταση υδροηλεκτρικούς σταθμούς και μονάδες βιομάζας ή βιοαερίου. Τέλος, συμπεριλαμβάνονται και σταθμοί συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης (ΣΗΘΥΕ). [12,13]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΒΙΟΑΕΡΙΟ

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται ο ορισμός του βιοαερίου, η παραγωγή του οποίου θα απασχολήσει μεγάλο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στη συνέχεια γίνεται λόγος για το μεθάνιο, το οποίο αποτελεί το βασικό συστατικό του βιοαερίου. Τέλος, μια ιστορική αναδρομή τοποθετεί την παραγωγή του βιοαερίου στο χρόνο ανά τον κόσμο.

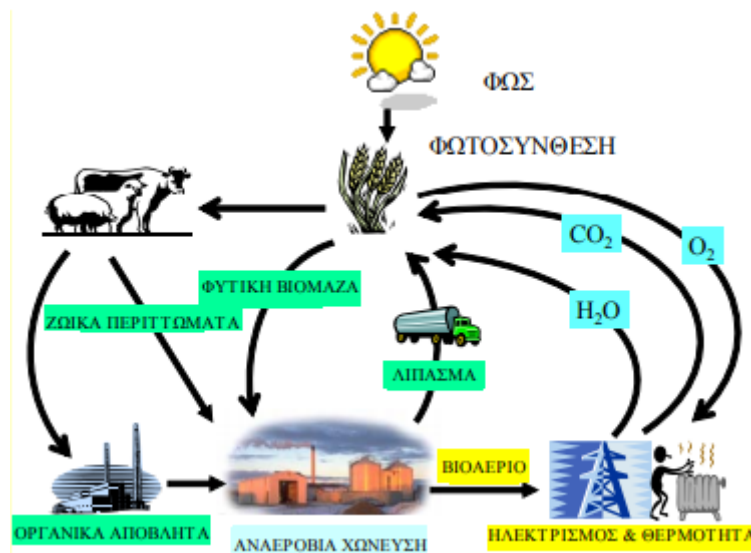
2.1 Ορισμός

Το βιοαέριο είναι ένα εύφλεκτο αέριο καύσιμο μίγμα που έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε πολλές σημαντικές εφαρμογές για την παραγωγή ενέργειας. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και σχηματίζεται από την αναερόβια βακτηριακή αποσύνθεση οργανικών ενώσεων, την αντίδραση δηλαδή απουσία οξυγόνου. Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από 55-70% μεθάνιο, 30-45% διοξείδιο του άνθρακα και μικροποσότητες υδρατμών υδρόθειου (H_2S), υδρογόνου (H_2), οξυγόνου (O_2) και αμμωνίας (NH_3). Η περαιτέρω επεξεργασία του καθορίζεται από το σκοπό της χρήσης του. Τα αέρια που σχηματίζονται είναι τα απόβλητα της αναπνοής των μικροοργανισμών αποσύνθεσης και η σύνθεσή τους εξαρτάται από την ουσία που αποσυντίθεται. Εάν οι υδατάνθρακες και άλλα απλά σάκχαρα είναι το κύριο συστατικό του υλικού τότε η παραγωγή μεθανίου είναι χαμηλή, ενώ αν η περιεκτικότητα σε λιπαρά είναι υψηλή τότε η παραγωγή είναι υψηλότερη.

Το βιοαέριο είναι περίπου 20% ελαφρύτερο από ότι ο αέρας, έχει θερμοκρασία ανάφλεξης από 650°C έως 750°C . Η θερμογόνος δύναμή του είναι 20 MJ/m^3 και συνήθως καίει με 60% αποτελεσματικότητα σε μια συμβατική σόμπα βιοαερίου. Αυτό το αέριο είναι χρήσιμο ως καύσιμο για την αντικατάσταση του καυσόξυλου, της βενζίνης, του υγραερίου και του ντίζελ, ανάλογα με τη φύση του έργου, τις τοπικές συνθήκες και τους διάφορους περιορισμούς. Στην Εικόνα 10 φαίνεται ο αειφόρος του κύκλος. [16]

2.1.1 Μεθάνιο

Το μεθάνιο είναι το κύριο συστατικό του βιοαερίου, οπότε αξίζει να αναφερθούν κάποιες λεπτομέρειες γι' αυτό. Είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο με σημείο βρασμού τους -162°C και καίγεται με μπλε φλόγα. Είναι επίσης το κύριο συστατικό (75-90%) του φυσικού αερίου. Χημικά, ανήκει στα αλκάνια και είναι η απλούστερη δυνατή μορφή αυτών. Σε φυσιολογική θερμοκρασία και πίεση έχει πυκνότητα $0,75 \text{ kg/m}$. Το γεγονός πως το διοξείδιο του άνθρακα είναι βαρύτερο, σημαίνει ότι το βιοαέριο έχει ελαφρώς μεγαλύτερη πυκνότητα, περίπου $1,15 \text{ kg/m}$. Η χημική του ανάλυση και σύνθεση συγκεντρωτικά παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 και 2.



Εικόνα 10: Ο αειφόρος κύκλος του βιοαερίου [16]

Το παγκόσμιο ενδιαφέρον για τις ΑΠΕ αυξάνεται. Η παραγωγή βιοαερίου αυξάνεται σταθερά καθώς τα πλεονεκτήματά της έναντι των άλλων ανανεώσιμων πηγών είναι αρκετά. Επίσης οι διάφορες πιθανές χρήσεις του βιοαερίου και τέλος οι αναρίθμητες προοπτικές του το καθιστούν μια πολύ αξιόπιστη και ταχέως αναπτυσσόμενη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας. Αυτές θα αναφερθούν αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. [16]

Πίνακας 1: Χημική ανάλυση μεθανίου [16]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΙΜΗ
Χημικός τύπος	CH ₄
Μοριακό βάρος	16,043 g/mol
Κρίσιμη θερμοκρασία(1 atm)	-82,59°C
Κρίσιμη πίεση	45,99bar
Πυκνότητα στο κρίσιμο σημείο	162,7 kg/m ³
Θερμοκρασία τήξης	-182,6°C
Θερμοκρασία κορεσμού	-161,6°C
Λανθάνουσα θερμότητα	511kj/kg
Πίεση ατμών	40mm Hg στους -86,3°C
Σχετική πυκνότητα(αέριο /αέρας)	0,554 στους 0°C
Πυκνότητα αερίου(0°C/1atm-1,013bar)	0,7168 kg/m ³
Πυκνότητα αερίου(15°C/1atm-1,013bar)	0,768 kg/m ³
Πυκνότητα αερίου(20°C/1atm-1,013bar)	0,667 kg/m ³
Πυκνότητα αερίου(25°C/1atm-1,013bar)	0,656 kg/m ³
Πυκνότητα υγρού(-162°C /1atm)	422,6 kg/m ³
Ειδικός όγκος στους 25°C και πίεση 1atm	1,52 kg/m ³
Ειδική θερμότητα C _p	2.232 KJ/kg
Διαλυτότητα στο νερό(17°C /1atm)	3,5 mL ανα 100mL νερού
Διαλυτότητα στο νερό(25°C /1atm)	22mg/mol στους 25°C

Πίνακας 2: Σύνθεση του βιοαερίου [17]

Συστατικό	Χημικός τύπος	Περιεκτικότητα
Μεθάνιο	CH ₄	50-75% (v/v)
Διοξειδίσιτου άνθρακα	CO ₂	25-45% (v/v)
Υδρατμοί	H ₂ O	1-5% (v/v)
Άζωτο	N ₂	0-5% (v/v)
Αμμωνία	NH ₃	0-500ppm (v/v)
Υδρόθειο	H ₂ S	0-5000ppm (v/v)

2.2 Ιστορική αναδρομή

Η χρήση βιοαερίου αρχικά χρησιμοποιήθηκε τον 10^ο αιώνα στη Ασσυρία. Λίγους αιώνες αργότερα, τον 16^ο το βιοαέριο χρησιμοποίησαν επίσης οι Πέρσες. Η πρώτη όμως

απόδειξη φυσιολογικής παραγωγής του, έγινε γνωστή από τις αρχές του 17^{ου} αιώνα, όπου παρατηρήθηκε εκροή ενός εύφλεκτου αερίου από την αποσυντιθέμενη ύλη κάτω από τα νερά ενός βάλτου. Οι πρώτες εγκαταστάσεις για τη βιομηχανική του εκμετάλλευση ξεκίνησαν τον 19^ο αιώνα.

Ένα από τα παλιότερα συστήματα βιοαερίου είναι η σηπτική δεξαμενή, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία λυμάτων από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε απομονωμένα μέρη όπου δεν υπάρχει σύστημα αποχέτευσης. Σε αυτόν τον τύπο μονάδας το βιοαέριο δε συλλέγεται, ωστόσο χρησιμοποιείται.

Στη δεκαετία του 1890, ο Άγγλος Donald Cameron δημιούργησε μια ειδική δεξαμενή σήψης από την οποία συλλέχθηκε το αέριο και χρησιμοποιήθηκε για το φωτισμό του δρόμου. Στις αρχές του 1920 κατασκευάστηκαν στη Δανία εγκαταστάσεις βιοαερίου για την επεξεργασία λυμάτων. Το αέριο αρχικά χρησιμοποιήθηκε για τη θέρμανση της δεξαμενής του χωνευτήρα και όχι για την παραγωγή ενέργειας, ώστε να αποσυντίθεται η οργανική ύλη των λυμάτων και να σταθεροποιείται το τελικό προϊόν.

Λίγο αργότερα και μέχρι λίγο μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο σημειώθηκε σημαντική αύξηση στη βιομηχανία του βιοαερίου. Οι χώρες που ήταν υπεύθυνες για αυτό είναι η Γερμανία, η Μεγάλη Βρετανία και η Γαλλία και η τεχνολογία βρήκε σταδιακά το δρόμο της στη γεωργία με κύριο πλέον σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Στα τέλη της δεκαετίας του 1950 η παραπάνω ανάπτυξη σταμάτησε λόγω της στροφής στην καύση ορυκτών καυσίμων και φυσικού αερίου. Το ενδιαφέρον όμως αναζωπυρώθηκε τη δεκαετία του 1970 και σε αυτό συνέβαλε κυρίως η πετρελαϊκή κρίση του 1973.

Η Δανία ξεκίνησε ένα καινοτόμο πρόγραμμα έρευνας και ανάπτυξης με σκοπό να δοκιμάσει και να υλοποιήσει διαφορετικούς τύπους μονάδων παραγωγής ενέργειας από βιοαέριο, χρησιμοποιώντας κυρίως ζωική κοπριά ως πρώτη ύλη. Το 2006 εγκαθίστανται στη χώρα 60 μονάδες επεξεργασίας λυμάτων. Αυτές οι μονάδες παραγωγής βιοαερίου λαμβάνουν επίσης μεγάλες ποσότητες οργανικών αποβλήτων από τη βιομηχανία τροφίμων και τα σφαγεία. Πέρα όμως από αυτά, υπάρχουν περίπου 60 εγκαταστάσεις που συνδέονται με χώρους υγειονομικής ταφής και με διαφορετικές βιομηχανίες που παράγουν λύματα με υψηλή οργανική περιεκτικότητα, όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 3. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, η περαιτέρω ανάπτυξη του τομέα έμεινε στάσιμη λόγω της έλλειψης οικονομικών κινήτρων. Ωστόσο, με την πολιτική συμφωνία

στο Folketinget το 2008 που αφορά μια ενεργειακή πολιτική που προωθεί την πράσινη ανάπτυξη που παράγεται από βιοαέριο, ο τομέας έχει αρχίσει και ανθίζει πάλι.

Πίνακας 3: Παραγωγή βιοαερίου [16]

	Number	Biogas production in Denmark in 2006(m ³)
Municipal sewage treatment plants	61	40.000
Communal biogas plants	19	73.000
Farm biogas plants	57	33.000
Landfill gas plants	25	18.000
Industrial plants	5	7.000
Total	167	171.000

Η χρήση του βιοαερίου είναι παλιά διαδικασία όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Η τεχνολογία ξεκίνησε ως δραστηριότητα διαχείρισης αποβλήτων και αναπτύχθηκε σε τεχνολογία παραγωγής ενέργειας. Η εξέλιξη αυτή ήταν απόρροια της ανάγκης των ανθρώπων για βελτίωση του βιοτικού τους επιπέδου. Στον Πίνακα 4 συνοψίζεται η ιστορική εξέλιξη της χρήσης του βιοαερίου στο πέρασμα του χρόνου. [16,17,18,19]

Πίνακας 4: Χρονολογική εξέλιξη χρήσης βιοαερίου [19]

DATE	EVENT
4000 BC	Summerians discovered fermentation process
10 th Century	Asserians used biogas to heat water
17 th Century	Jan Baptita Helmont observed the release of combustible gas from decomposing organic biomass
1800	Louis Mouras(France) – patent on scaled cesspool
1808	Sir Humpry Davy confirmed methane as a product of anaerobic digestion of manure
1858-1868	Bechamp conducted fermentation experiments and determined products of anaerobic digestion; development of biogas plant in India
1864	Pasteur scientifically explained fermentation process

1876	Herter established the biomass-methane model; development of the first internal combustion engine
1880	Development of internal combustion engine fueled by producer gas
1895	Development of a septic tank in England from which the biogas obtained was used to light streets of Exeter town
1900	Installation of biogas plants in almost all major cities of England
1904	First dual-purpose tank installed in Hampton, England
1906-1911	Anaerobic digest of sludge in a lagoon in England (successful in 1911)
1907	Imhoff (Germany)- Patent issued for Imhoff (1938)
1930s	Development in microbiology identified the anaerobic bacteria and conditions needed to promote methane production
1939-1945	Increased digestion of manure for methane in France and Germany around World War II
1960s	Intensification of anaerobic digestion aimed at manure treatment for
1970s	Energy crisis encourage funding plug-flow digester for dairy manure was developed
1980	Many digester papers at 4 th International Symposium on Livestock Waste
1980s	Anaerobic digester interest declined because of low-cost fuels and digester problems
1990s	Renewed interest for energy and waste stabilization. Majority plug flow digesters for dairy and remainder a mixture of covered lagoon and complete mix systems mix systems for dairy and swine
2000s to Date	Utilization of biogas as fuel for internal external combustion engines; development of biogas-fueled co-generation and tri-generation systems.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το παρόν κεφάλαιο αναλύει τη λειτουργία μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση του βιοαερίου. Γίνεται λόγος για την αναερόβια χώνεψη, η οποία αποτελεί την κύρια μέθοδο παραγωγής του. Επίσης, παρουσιάζονται αναλυτικά τα διάφορα ήδη αντιδραστήρων που χρησιμοποιούνται, αναλύονται οι φάσεις παραγωγής του αερίου, όπως και τα διάφορα υποστρώματα που τρέφουν την παραγωγή του. Επιπλέον διατυπώνονται τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί της μεθόδου και παρουσιάζονται πέντε πειραματικές μελέτες που αφορούν τη βέλτιστη επιλογή της πρώτης ύλης της αντίδρασης για την παραγωγή του αερίου.

3.1 Λειτουργία

3.1.1 Αναγκαίοι ορισμοί

Για την ευκολότερη κατανόηση των εννοιών που ακολουθούν, ορίζουμε τα εξής:

- **Total Solids (TS):** Τα **ολικά στερεά** είναι μια μέτρηση που περιλαμβάνει το συνδυασμό των ολικών διαλυμένων στερεών σε ένα υγρό. Είναι μια μέτρηση που συχνά χρησιμοποιείται στον κλάδο επεξεργασίας του νερού. Ένα υψηλότερο επίπεδο ολικών στερεών δείχνει πως υπάρχει ένα υψηλό επίπεδο στερεού υλικού σε ένα υγρό δείγμα.
- **Volatile solids (VS):** Τα **πτητικά στερεά** αναφέρονται σε ουσίες που εύκολα μπορούν να μετασχηματιστούν από τη στερεή τους φάση σε αέρια χωρίς να περάσουν καθόλου από την υγρή. Αντιπροσωπεύουν κανονικά την ποσότητα οργανικών στερεών σε νερό και έχουν μεγάλη σημασία στην επεξεργασία του νερού και των λυμάτων.

Η ποσότητα των πτητικών στερεών στα λύματα χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει την αντοχή τους. Όσα περισσότερα πτητικά στερεά υπάρχουν στα λύματα τόσο ισχυρότερο είναι το υγρό μίγμα. Τέλος, αν τα πτητικά στερεά στα

λύματα είναι κατά βάση οργανικά η επίδραση σε μια μονάδα επεξεργασίας είναι μεγαλύτερη από ότι αν είναι επί το πλείστον ανόργανα. [20]

- **Hydraulic Retention Time (HRT):** Είναι ο μέσος χρόνος που παραμένει στον αντιδραστήρα μια ένωση, και υπολογίζεται διαιρώντας τη συνολική χωρητικότητα της δεξαμενής πέψης με το ρυθμό με τον οποίο τροφοδοτείται με την πρώτη ύλη καθημερινά, δηλαδή

$$\text{HRT (days)} = \frac{\text{Όγκος αντιδραστήρα (m}^3\text{)}}{\text{Ημερήσια εισροή αποβλήτων (m}^3\text{/d)}}$$

- **Chemical Oxygen Demand (COD):** Η χημική ζήτηση οξυγόνου είναι μια ενδεικτική μέτρηση της ποσότητας του οξυγόνου που μπορεί να καταναλωθεί από αντιδράσεις. Συχνά εκφράζεται σε μάζα οξυγόνου που καταναλώνεται σε όγκο διαλύματος, το οποίο σε μονάδες SI είναι (mg/L). Μια δοκιμή COD μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύκολη ποσοτικοποίηση της ποσότητας οργανικών ουσιών στο νερό.
- **Ammoniac nitrogen (NH₃-N):** Το **αμμωνιακό άζωτο** είναι ένα μέτρο για την ποσότητα της αμμωνίας, ενός τοξικού ρύπου, που συχνά συναντάται σε απόβλητα όπως η υγρή κοπριά και σε άλλα προϊόντα υγρών οργανικών αποβλήτων. Μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο καθαρότητας του νερού για ποτάμια ή λίμνες.
- **STP (Standard Temperature and Pressure):** Πρότυπη θερμοκρασία και πίεση. Το STP χρησιμοποιείται για τον καθορισμό τυποποιημένων συνθηκών θερμοκρασίας και πίεσης που είναι σημαντικές για τις μετρήσεις διάφορων χημικών διεργασιών. Η STP ορίζεται από την IUPAC (Διεθνής Ένωση Καθαρής και Εφαρμοσμένης Χημείας) ως θερμοκρασία στους 0°C και πίεση 105 Pascal (1 bar).
- **Αέρια χρωματογραφία:** Αποτελεί μέθοδο διαχωρισμού των ενώσεων για τον προσδιορισμό της ταυτότητας (ποιοτική ανάλυση) και ποσότητάς τους. Αναλυτικότερη αναφορά στον τρόπο λειτουργίας της χρωματογραφίας περιγράφεται στο [21] από τον καθηγητή Φαρμακευτικής κ. Κοντογιάννη Χρήστο.
- **Λόγος C/N:** Ο λόγος άνθρακα προς άζωτο είναι ο λόγος της μάζας του άνθρακα με τη μάζα του αζώτου σε μια ουσία. Μπορεί μεταξύ άλλων να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση των ιζημάτων και του κομπόστ στην παραγωγή του βιοαερίου.

- **Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ):** Είναι η ταυτόχρονη παραγωγή αξιοποιήσιμης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία προέρχεται από την ίδια ενεργειακή πηγή. Για τη ΣΗΘ μπορεί να υιοθετηθεί ένα μεγάλο φάσμα τεχνολογιών, με κοινό τους παρονομαστή μια ηλεκτρική γεννήτρια και ένα σύστημα για ανάκτηση της θερμότητας. Στη σύγχρονη εποχή χρησιμοποιούνται κυρίως ατμοστρόβιλοι, αεριοστρόβιλοι, συστήματα συνδυασμένου κύκλου και μηχανές εσωτερικής καύσης. [22]
- **Τόνος Ισοδύναμου Πετρελαίου (ΤΙΠ ή toe):** Ένας ΤΙΠ ισοδυναμεί με την εκλυόμενη ενέργεια από την καύση ενός τόνου αργού πετρελαίου και είναι περίπου ίσος με 42GJ. Ειδικότερα, 1toe = 11.63GWh.

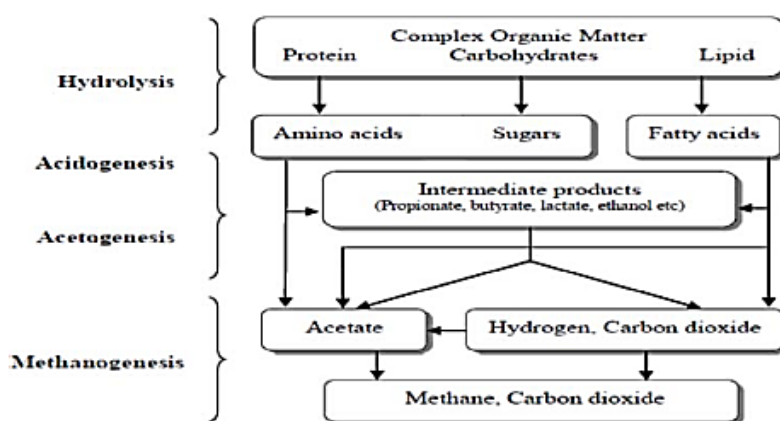
3.1.2 Αναερόβια χώνεψη

Η αναερόβια χώνεψη είναι μια βιοχημική διεργασία, η οποία πραγματοποιείται απουσία οξυγόνου και κατά την οποία αποσυντίθενται σύνθετα οργανικά στοιχεία με τη συμβολή διαφόρων αναερόβιων μικροοργανισμών. Η διεργασία αυτή είναι παρόμοια με πληθώρα διεργασιών του φυσικού περιβάλλοντος, όπως συμβαίνει στο βυθό της θάλασσας (ιζήματα) και στο στομάχι πολλών ζώων (μηρυκαστικά). Σε μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου, το αποτέλεσμα της διεργασίας είναι διπλό. Κατά κύριο λόγο αφορά την παραγωγή του βιοαερίου αλλά περιλαμβάνει και αυτή του κομπόστ, τη χωνευμένη δηλαδή πρώτη ύλη που εισάγεται στον αντιδραστήρα για την παραγωγή του. Όταν το υπόστρωμα που τοποθετείται για τη χώνεψη είναι ένα ομοιογενές μίγμα τότε συμβαίνει η λεγόμενη συγχώνευση διαφορετικά μιλάμε πιο απλά για τη χώνεψη της πρώτης ύλης.

Η αναερόβια χώνεψη αποτελείται από μια σειρά βιοχημικών μετασχηματισμών σύμφωνα με τις οποίες θα αποσυντεθεί η οργανική ύλη που χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα και θα παραχθεί το ζητούμενο βιοαέριο. Η όλη διαδικασία περιλαμβάνει αρκετά ξεχωριστά στάδια, όπως η υδρόλυση, η οξεογένεση, η ακετογένεση και τελικά η μεθανιογένεση που θα δώσει το ζητούμενο μεθάνιο. Στο πρώτο στάδιο, οι πολύπλοκοι υδατάνθρακες, τα λίπη και οι πρωτεΐνες υδρολύονται στη μονομερή τους μορφή από διάφορα ένζυμα. Στο δεύτερο στάδιο τα μονομερή υφίστανται περαιτέρω αποικοδόμηση και μετατρέπονται σε υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και άλατα και στο τρίτο και τελικό στάδιο τα ενδιάμεσα προϊόντα μετατρέπονται σε μεθάνιο και διοξείδιο του

άνθρακα κατά τη μεθανιογένεση. Στην Εικόνα 11 παρουσιάζεται σχηματικά η παραπάνω διαδικασία. Στα επόμενα υποκεφάλαια, τα στάδια αυτά αναλύονται περαιτέρω. [23]

Είναι σαφές πως η πέψη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης της. Παράγοντες όπως το pH, η θερμοκρασία, ο μέσος χρόνος παραμονής στον αντιδραστήρα (HRT) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της αποικοδόμησης του υποστρώματος. Υπάρχουν τρεις θερμοκρασιακές περιοχές στις οποίες μπορεί να διεξαχθεί η αναερόβια χώνεψη και αυτές είναι η ψυχρόφιλη (10-20°C), η μεσόφιλη (20-45°C) και η θερμόφιλη (45-68°C). Η πλέον διαδεδομένη θερμοκρασία για τη πραγματοποίηση της αναερόβιας χώνεψης είναι είτε η μεσόφιλη με βέλτιστη θερμοκρασία τους 35°C, είτε η θερμόφιλη με βέλτιστη τους 55°C. [23]



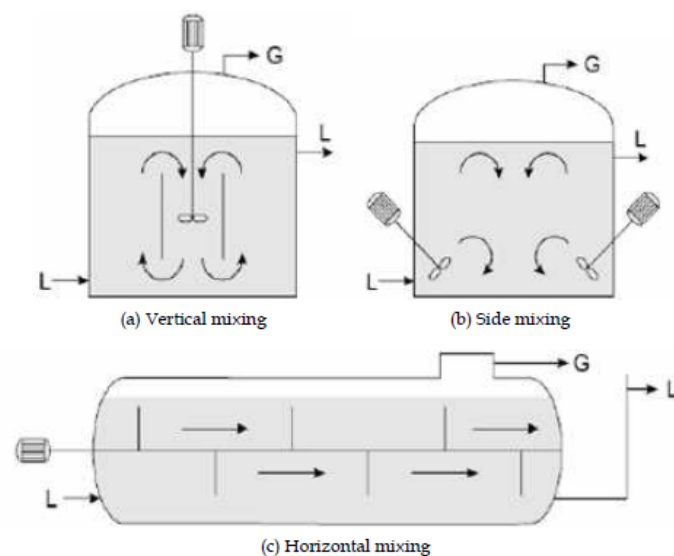
Εικόνα 11: Αναερόβιες διαδικασίες αποικοδόμησης του υποστρώματος [23]

Η αναερόβια χώνεψη μπορεί να πραγματοποιηθεί με δυο μεθόδους όσον αφορά την εισαγωγή της πρώτης ύλης. Στην πρώτη, η βιομάζα προστίθεται στον αντιδραστήρα στην έναρξη της διαδικασίας και μέχρι το τέλος της ο αντιδραστήρας σφραγίζεται. Μετά την ολοκλήρωση της πέψης, το χωνευμένο προϊόν διατηρείται στον αντιδραστήρα και στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την κομποστοποίησή του. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι απλή και απαιτεί χαμηλότερο επίπεδο σχεδιασμού και κατά κύριο λόγο είναι πιο φθηνή στην πραγματοποίησή του. Τέλος, χρησιμοποιώντας παραπάνω από έναν αντιδραστήρα σε ένα εργοστάσιο, εξασφαλίζεται η συνεχής παραγωγή βιοαερίου χωρίς πιθανές διακοπές. Στη δεύτερη μέθοδο, τη μέθοδο συνεχούς πέψης η οργανική ύλη προστίθεται σταδιακά και καθ' όλη τη διάρκεια της πέψης. Τα τελικά προϊόντα απομακρύνονται συνεχώς ή περιοδικά με αποτέλεσμα τη συνεχή και αδιάκοπη.

παραγωγή βιοαερίου. Και στις δυο μεθόδους απαραίτητη για τη βέλτιστη παραγωγή του ζητούμενου βιοαερίου αποτελεί και η μηχανική, κατά κύριο λόγο, ανάμειξη του υποστρώματος. Οι τύποι της μηχανικής ανάμειξης είναι τρεις: η κάθετη ανάμειξη, η οριζόντια ανάμειξη και η πλευρική και η λειτουργία τους είναι προφανής καθώς παρουσιάζονται στην Εικόνα 12. [24,25]

Ο χρόνος παραμονής (HRT) σε ένα χωνευτήρα ποικίλλει ανάλογα με την ποσότητα και τον τύπο του υλικού τροφοδοσίας. Σε ένα τυπικό μεσόφιλο αντιδραστήρα ο χρόνος παραμονής κυμαίνεται από 15 έως 60 ημέρες, ενώ για μια θερμοφιλή πέψη οι χρόνοι παραμονής είναι μικρότεροι και διαρκούν περίπου 14 ημέρες. Βέβαια τα παραπάνω χρονοδιαγράμματα μπορεί να αποκλίνουν από τον ακριβή αριθμό ημερών στους διάφορους αντιδραστήρες όπου και οι αντίστοιχες συνθήκες είναι διαφορετικές. [24]

Τέλος, για την εκκίνηση της χώνεψης απαιτείται η τοποθέτηση ενοφθαλισμάτων (inoculums) στον αντιδραστήρα, εμβολίων δηλαδή τα οποία έχουν υποστεί μια προεπεξεργασία και οι μικροοργανισμοί που τα αποτελούν θα είναι αυτοί που θα ξεκινήσουν τη ζύμωση. Μια πειραματική διάταξη [26] δείχνει την ακριβή λειτουργία και χρησιμότητα αυτών στη συνολική διαδικασία της αναερόβιας χώνεψης.

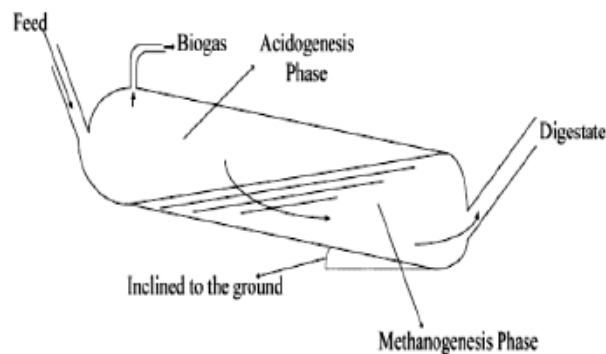


Εικόνα 12: Τύποι μηχανικής ανάμειξης [25]

3.1.3 Είδη αντιδραστήρων

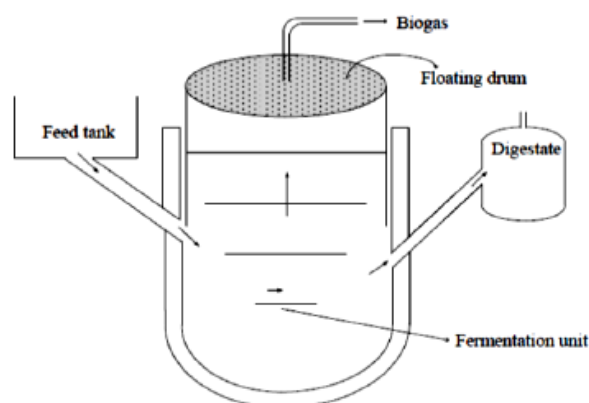
Στη σύγχρονη αγορά πολλά είναι τα είδη των αντιδραστήρων που υπάρχουν για τη διαδικασία της αναερόβιας χώνεψης. Ανάλογα με τον αριθμό των αντιδραστήρων που χρησιμοποιούνται η αναερόβια πέψη χωρίζεται σε πέψη ενός σταδίου ή αντίστοιχα σε πολλών. Κάποια από αυτά όμως κυριαρχούν και παρουσιάζονται παρακάτω:

- Χωνευτήρας ροής (Plug Flow Digesters): Αυτός είναι ένας τύπος αναερόβιου αντιδραστήρα που χρησιμοποιεί μια μακριά στενή και οριζόντια δεξαμενή στην οποία προστίθεται η πρώτη ύλη του υποστρώματος σύμφωνα με ένα σταθερό ρυθμό και ωθεί το προϋπάρχον υλικό να κινηθεί μέσα στη δεξαμενή και να υποστεί πέψη. Συνήθως, το μήκος ενός χωνευτήρα ροής είναι πέντε φορές μεγαλύτερο από το πλάτος του και είναι κατασκευασμένο από χάλυβα, απλό σκυρόδεμα (τσιμέντο) ή υαλοβάμβακα και δεν περιέχει κανένα μέσο ανάδευσης για το υπόστρωμα που είναι για πέψη. Στην πραγματικότητα όμως η ροή της πρώτης ύλης στη δεξαμενή μπορεί να μην είναι ιδανική, επειδή κάποια τμήματά της μπορεί να ταξιδεύουν ταχύτερα σε σχέση με άλλα ή ακόμα και να παραμείνουν στον πάτο της δεξαμενής ανάλογα με τη φύση τους. Η πρώτη τεκμηριωμένη χρήση αυτού του τύπου αντιδραστήρα πραγματοποιήθηκε στη Νότιο Αφρική το 1957. Το κυριότερο πλεονέκτημα του παραπάνω σχεδιασμού είναι πως είναι απλό στην εγκατάσταση και τη λειτουργία και οικονομικό, ωστόσο συγκριτικά με άλλους αντιδραστήρες δεν είναι ο πλέον αποτελεσματικός. Ο λόγος εντοπίζεται στο γεγονός πως το συγκεκριμένο είδος χωνευτήρα περιορίζει την ποικιλία της πρώτης ύλης, επειδή μπορεί να χρησιμοποιήσει για την πέψη μόνο υποστρώματα φτωχά σε άμμο ή σε άλλα σκουπίδια λόγω της πιθανότητας να μείνουν στον πάτο του αντιδραστήρα και να εμποδίζει την εξέλιξη της πέψης, όπως αναλύθηκε παραπάνω. Μονάδες πλήρους ανάμειξης του υποστρώματος είναι πιο δαπανηρές για την εγκατάσταση και τη λειτουργία επειδή απαιτούν το οικονομικό κεφάλαιο για τον εξοπλισμό και την επιπλέον δαπάνη ενέργειας για την ανάμειξη της πρώτης ύλης στο χωνευτήρα. Στην Εικόνα 13 φαίνεται ο αντιδραστήρας ροής. [23]



Εικόνα 13: Αντιδραστήρας ροής [23]

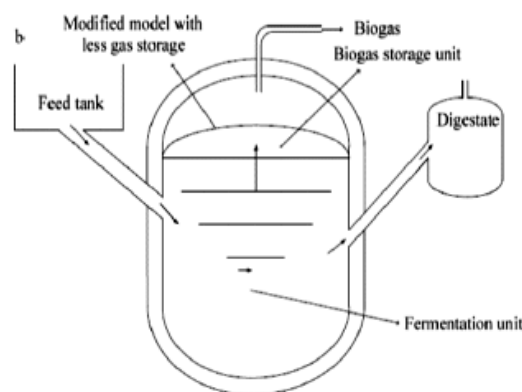
- Χωνευτήρας φουσκώματος (Floating Drum Digesters): Όσον αφορά το συγκεκριμένο τύπο αντιδραστήρα, πρωτοεμφανίστηκε το 1956 ως πρωτοποριακό σχέδιο και καθιερώθηκε μετά από δοκιμές το 1962 όποτε και έγινε παγκοσμίως γνωστό. Από τεχνικής άποψης είναι χωρισμένος σε δυο μέρη. Στην μια του πλευρά υπάρχει η είσοδος για την εισαγωγή του υποστρώματος για την πέψη και στη δεύτερη υπάρχει μια μικρή δεξαμενή υπερχειλίσης όπου τελικά φτάνει το πολτοποιημένο μίγμα μετά τη χημική αντίδραση και την παραγωγή του βιοαερίου. Η ενδιάμεση δεξαμενή είναι κατασκευασμένη από ανοξείδωτο χάλυβα και περιέχει ένα θόλο ο οποίος μεγαλώνει μετά την παραγωγή του βιοαερίου στον αντιδραστήρα. Από το σημείο αυτό και έπειτα από περίπου 50 ημέρες ζύμωσης, μπορεί να γίνει η συλλογή του ζητούμενου αερίου μέσω ενός σωλήνα εξόδου, απ' όπου μπορεί το παραγόμενο αέριο να χρησιμοποιηθεί για τις διάφορες χρήσεις του. Στην Εικόνα 14 φαίνεται ο εν λόγω αντιδραστήρας. [23]



Εικόνα 14: Αντιδραστήρας φουσκώματος [23]

Όσον αφορά τη βάση της κατασκευής του θόλου για τη συγκράτηση του παραγόμενου αερίου, κατασκευάζεται από ξύλο ή χάλυβα και δημιουργεί ένα πλέγμα καθ' όλη την διάμετρό του. Η εύκαμπτη μεμβράνη της συλλογής αερίου, κινείται πάνω ή κάτω ως συνάρτηση της πίεσης του παραγόμενου αερίου. Αποτελείται από μια επίστρωση για την προστασία από τα καιρικά φαινόμενα, έναν εύκαμπτο σωλήνα απ' όπου διοχετεύει το αέριο στις δεξαμενές αποθήκευσής του και από ένα δείκτη στάθμης αερίου, ο οποίος προσδιορίζει το χρονικό σημείο της μεταφοράς του στις δεξαμενές αποθήκευσης. Επίσης, είναι σφραγισμένος αεροστεγώς. Τέλος, και αναφορικά με τα υλικά κατασκευής των δεξαμενών αποθήκευσης του βιοαερίου, χωρίζονται σε μια απλή τσιμεντένια ή πλαστική αεροστεγώς κλεισμένη κατασκευή, ή σε μια ανάλογη κατασκευή από περλίτη, είτε τελικά από επένδυση βυνιλίου. [25]

- Χωνευτήρας σταθεροποίησης (Fixedome Digesters): Ο τελευταίος τύπος αντιδραστήρα που αναφέρεται αποτελείται από τη δεξαμενή και ένα θόλο κατασκευασμένα από τσιμέντο. Πρωτοκατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε στην Κίνα το 1936 και το χαρακτηριστικό τους είναι πως τοποθετούνται υπόγεια. Η λειτουργία τους είναι πανομοιότυπη με αυτή του προηγούμενου αντιδραστήρα με τη μοναδική διαφορά πως ο θόλος σε αυτή την περίπτωση είναι αμετάβλητος με την παραγωγή του αερίου και δεν αυξάνεται, παρόλα αυτά η συλλογή του γίνεται με τον ίδιο σωλήνα εξόδου που αναφέρθηκε και παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα και στην Εικόνα 15 που ακολουθεί βλέπουμε τον αντιδραστήρα αυτό. [23]



Εικόνα 15: Αντιδραστήρας σταθεροποίησης [23]

3.1.4 Φάσεις παραγωγής βιοαερίου

Η πέψη των οργανικών υλικών μπορεί, όπως προαναφέρθηκε, να υποδιαιρεθεί σε τέσσερις φάσεις: την υδρόλυση, την οξεογένεση, την ακετογένεση και την μεθανιογένεση. Αυτές οι φάσεις είναι μια σειρά αλληλοσυνδεδεμένων αντιδράσεων που προχωρούν χωρικά και χρονικά σε διαδοχικά και παράλληλα βήματα και ως εκ τούτου επηρεάζουν τα ένα το άλλο. Η υδρόλυση είναι μια διαδικασία όπου η σύνθετη μακρομοριακή οργανική ύλη που περιλαμβάνει υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λιπαρά οξέα υποβάλλεται σε ενζυματική αποικοδόμηση και μετασχηματίζεται σε μονοσακχαρίτες και αμινοξέα. Η περαιτέρω αναερόβια πέψη οδηγεί τελικά στην οξεογένεση, την ακετογένεση, την μεθανιογένεση και κατ' επέκταση την παραγωγή βιοαερίου. Πιο αναλυτικά:

- Υδρόλυση: Η αναερόβια αποικοδόμηση αρχίζει με την υδρόλυση, κατά την οποία τα οργανικά πολυμερή μετασχηματίζονται σε απλούστερα και πιο διαλυτά με αποτέλεσμα να μπορούν στη συνέχεια να περάσουν την κυτταρική μεμβράνη του κυττάρου. Μόλις λοιπόν, βρεθούν μέσα στο κύτταρο, αυτά τα απλά μόρια χρησιμοποιούνται για την παροχή ενέργειας και συνθέτουν διάφορα κυτταρικά συστατικά. Η συγκεκριμένη φάση ονομάζεται επίσης και υγροποίηση καθώς οι διεργασίες αποικοδόμησης περιλαμβάνουν τη διάσπαση του νερού. Οι υδρολυτικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται με τη βοήθεια έξω-κυτταρικών ενζύμων που εκκρίνονται από βακτήρια. Τα ένζυμα που απελευθερώνονται κατά την διεργασία περιλαμβάνουν κυτταρινάση, κυτταροβιάση και ξυλανάση, στοιχεία βοηθητικά για την αποικοδόμηση των υδατανθράκων σε απλούστερα σάκχαρα. Το συνολικό ποσοστό υδρόλυσης εξαρτάται από το μέγεθος της οργανικής ύλης, το σχήμα του, τη συγκέντρωση της βιομάζας και το αναμειγνυόμενο δεύτερο υπόστρωμα αν αυτό υπάρχει. [27]
- Οξεογένεση: Το βήμα που ακολουθεί την υδρόλυση, ονομάζεται οξεογένεση (λέγεται και ζύμωση) και ορίζεται ως η μικροβιακή διαδικασία που παράγει αναερόβιο οξύ. Οι μονοσακχαρίτες και τα αμινοξέα που προκύπτουν από την υδρόλυση, αποικοδομούνται σε απλούστερα προϊόντα συμπεριλαμβανομένου του προπανικού οξέος, του βουτανικού οξέος και του αιθανικού οξέος. Η αποικοδόμηση των μονοσακχαριτών, όπως η γλυκόζη μπορεί να εκδηλωθεί με

διαφορετικούς τρόπους και κατά συνέπεια θα προκύψει η εμφάνιση διαφορετικών προϊόντων. Οι τρόποι αυτοί εξαρτώνται από παράγοντες όπως η συγκέντρωση του υποστρώματος και το pH. Για παράδειγμα, για πολύ χαμηλό pH <4 όλες οι διαδικασίες μπορεί να σταματήσουν. Η οξεογένεση είναι συχνά το πιο γρήγορο βήμα στην αναερόβια μετατροπή οργανικών ουσιών. Στον Πίνακα 5 αναγράφονται τα διάφορα προϊόντα που μπορεί να προκύψουν από την αποικοδόμηση της γλυκόζης. [27]

- Ακετογένεση: Στο στάδιο αυτό, τα ζυμωμένα προϊόντα οξειδώνονται σε απλούστερες μορφές. Αυτό το βήμα στη διαδικασία της αναερόβιας χώνεψης απαιτεί στενή συνεργασία μεταξύ των μικροβίων που πραγματοποιούν τη οξείδωση και των μεθανογόνων μικροβίων, τα οποία είναι ενεργά και δρουν στο επόμενο στάδιο της μεθανιογένεσης. Το υπόστρωμα της ακετογένεσης αποτελείται από διάφορα λιπαρά οξέα, αλκοόλες και μερικά αμινοξέα. Πέρα από το υδρογόνο (H₂), αυτές οι ενώσεις σχηματίζουν κυρίως οξικό οξύ και διοξείδιο του άνθρακα και προετοιμάζουν το έδαφος για την τελική φάση της μεθανιογένεσης για την παραγωγή του βιοαερίου. [27]

Πίνακας 5: Προϊόντα από την αποικοδόμηση της γλυκόζης [27]

Products	Reaction
Acetate	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$
Propionate + Acetate	$3C_6H_{12}O_6 \rightarrow 4CH_3CH_2COOH + 2CH_3COOH + 2CO_2 + 2H_2O$
Butyrate	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$
Lactate	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CHOHCOOH$
Ethanol	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$

- Μεθανιογένεση: Η μεθανιογένεση αποτελεί το τελευταίο στάδιο του αναερόβιου μεταβολισμού ορισμένων μικροβίων με σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τη ζύμωση ορισμένων οργανικών υποστρωμάτων με τελικό παράγωγο το ζητούμενο μεθάνιο και άλλων υποπροϊόντων. Το στάδιο αυτό επιτελείται από έξι μείζονα μονοπάτια όπου το καθένα χρησιμοποιεί διαφορετικό υπόστρωμα, τα οποία είναι: το διοξείδιο του άνθρακα, η μεθανόλη, το φορμικό οξύ, το οξικό οξύ, η μεθυλαμίνη και το διμεθυλ-θειικό οξύ. Το πιο κοινό μονοπάτι μετατρέπει το διοξείδιο του άνθρακα σε μεθάνιο μέσω της

αναγωγής του υδρογόνου/διοξειδίου του άνθρακα. Ορισμένα μονοπάτια απαιτούν πληθώρα συμπαραγόντων. Το μονοπάτι το οποίο ακολουθείται εξαρτάται αποκλειστικά από τον τύπο των μεθανογενών μικροβίων και τη διαθεσιμότητα των κατάλληλων υποστρωμάτων. Επομένως, το μεθάνιο είναι ένα παραπροϊόν αυτής της αναερόβιας πέψης που στοχεύει στον κατακερματισμό οργανικών οξέων και την παραγωγή ενέργειας για τα ίδια τα μικρόβια. [28]

Τα τρία κύρια μονοπάτια είναι:

1. Μεθανιογένεση μέσω χρήσης μεθυλομάδων, όπως για παράδειγμα η αποκαρβοξυλίωση (αφαίρεση ενός ή περισσοτέρων ατόμων άνθρακα) μεθυλαμίνης,
2. Μεθανιογένεση μέσω χρήσης υδρογόνου, όπως η αναγωγή του υδρογόνου/ διοξειδίου του άνθρακα,
3. Μεθανιογένεση μέσω χρήσης ακετυλικών ομάδων (ακετοκλαστικό μονοπάτι), όπως η αποκαρβοξυλίωση οξικού οξέος.

Η κύρια οδός παραγωγής μεθανίου από οικιακά απόβλητα γίνεται μέσω της τρίτης οδού, η οποία συμβάλλει σε ποσοστό 70%. Η δεύτερη οδός είναι θερμοδυναμικά υποβοηθούμενη σε σχέση με την τρίτη. Επιπρόσθετα, η δεύτερη απαιτεί υψηλές μερικές πιέσεις υδρογόνου στο περιβάλλον σε σχέση με την τρίτη, η οποία διενεργείται ανεξάρτητα από αυτή. Σε θερμοκρασίες άνω των 30°C η τρίτη οδός ευνοείται θερμοδυναμικά περισσότερο.

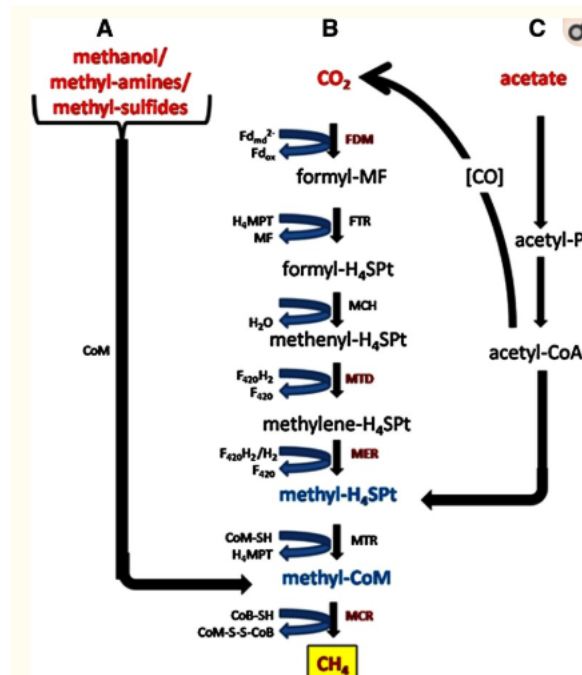
Τα μικρόβια που καταναλώνουν υδρογόνο αποτελούν ένα πληθυσμό ταχέως αναπτυσσόμενων μικροβίων, καθώς ο χρόνος διπλασιασμού τους είναι περίπου έξι ώρες σε αντίθεση με τις 2,6 μέρες που απαιτούνται για το διπλασιασμό των μικροβίων που καταναλώνουν οργανικά οξέα. Συμπερασματικά, η μεθανιογένεση μέσω κατανάλωσης οργανικών οξέων έχει γενικότερα περισσότερους περιορισμούς στην παραγωγή βιοαερίου. Στον Πίνακα 6 και την Εικόνα 16, περιγράφονται οι χημικές αντιδράσεις της παραγωγής του μεθανίου και η διαδικασία της μεθανιογένεσης αντίστοιχα. [27,28]

Πίνακας 6: Χημικές αντιδράσεις παραγωγής μεθανίου [27]

	Reaction	ΔG (KJ mol ⁻¹)
Hydrogenotrophic methanogenesis	$4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$	-135.0
Aceticlastic methanogenesis	$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$	-31.0
Acetate oxidation	$CH_3COOH + 2H_2O \rightarrow 2CO_2 + 4H_2$	+104.0
Homoacetogenesis	$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_3COOH + 2H_2O$	-104.0

3.1.5 Πρώτες ύλες υποστρώματος

Το βιοαέριο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι κυρίως ένα μίγμα μεθανίου με προσμίξεις μικροποσοτήτων υδρόθειου, αμμωνίας και διοξειδίου του άνθρακα. Μπορεί να προέλθει από την αποσύνθεση του μίγματος κοπριάς αγελάδας, επεξεργασμένων απορριμμάτων τροφής, αποβλήτων χορτοφαγίας, άλγης, υπολειμμάτων καλλιεργειών, απόβλητα πουλερικών και άλλων.



Εικόνα 16: Διαδικασία μεθανιογέννησης [28]

Ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι για τη βέλτιστη παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια χώνεψη αποτελεί η αποτελεσματική επιλογή υποστρώματος για την τροφοδοσία του αντιδραστήρα. Τα υποστρώματα ανάλογα με την προέλευσή τους (γεωργικά απόβλητα, κοπριά ζώων, βιομηχανικά απόβλητα, οργανικά απόβλητα τροφίμων) περιέχουν όλο το

δυνατό φάσμα των απλών ή σύνθετων ενώσεων που είναι κατάλληλες για τη διαδικασία της αναερόβιας πέψης. Η βιοχημική σύσταση των ενώσεων αυτών μπορεί να είναι πλούσια σε υδατάνθρακες ή λιπαρά οξέα ή ακόμα και πρωτεΐνες και για το λόγο αυτό η ενεργειακή τους απόδοση στην ένταση της παραγωγής του αερίου θα είναι ανάλογη. Άλλωστε η ταξινόμηση των υποστρωμάτων ανάλογα με τη βιοχημική τους σύνθεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αξιολόγηση για τη βιοδιαθεσιμότητα και βιοδιασπασιμότητά τους. [24]

- Οργανικά υλικά πλούσια σε υδατάνθρακες: Οι υδατάνθρακες ή κοινώς τα σάκχαρα υπάρχουν σε όλου του είδους τα υποστρώματα σε διαφορετικές αναλογίες. Τα απορρίμματα τροφίμων είναι εμπλουτισμένα με απλά σάκχαρα και δισακχαρίτες, τα οποία εύκολα αποσυντίθενται κατά το κομμάτι της μεθανιογένεσης με το σχηματισμό πτητικών λιπαρών οξέων, άκρως κατάλληλα για τη μεθανιογένεση. Υψηλά επίπεδα σακχάρων όμως, μπορεί να προκαλέσουν ανεπιθύμητα αποτελέσματα στη διαδικασία της πέψης όπως δραματική μείωση του pH του μίγματος και καταστολή της μεθανιογένεσης. Για την αποφυγή των παραπάνω, και για μια ισορροπημένη λειτουργία ενός αναερόβιου αντιδραστήρα, η πρώτη ύλη που περιέχει υψηλά ποσοστά σε υδατάνθρακες αναμειγνύεται με απόβλητα τα οποία έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε βιοδιασπώμενα οργανικά υλικά. Στην ίδια κατηγορία των αποβλήτων των τροφίμων και ίσως ο πιο γνωστός πολυσακχαρίτης είναι το άμυλο, το οποίο παρατηρείται σε πληθώρα διατροφικών ειδών όπως το ρύζι, τα ζυμαρικά και οι πατάτες. Αποτελείται κυρίως από γλυκόζη και χωνεύεται σχετικά εύκολα στη διαδικασία της παραγωγής του βιοαερίου.

Όσον αφορά τα προϊόντα φυτικής προέλευσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη στη διαδικασία της πέψης καθώς όλα τα φυτικά υλικά προέρχονται από υποστρώματα πλούσια σε υδατάνθρακες. Η χημική και βιολογική επεξεργασία αυτών όμως απαιτείται για την αποδοτικότερη παραγωγή όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Γενικότερα, η εφαρμογή γεωργικών αποβλήτων χωρίς προ-επεξεργασία ή ανάμειξη με διαφορετικά υποστρώματα, οδηγεί σε χαμηλή απόδοση βιοαερίου λόγω της υψηλής τιμής C/N. Επιπλέον το υλικό μπορεί να είναι μολυσμένο από υπολείμματα φυτοφαρμάκων και ζιζανιοκτόνων, τα οποία ενδέχεται να επηρεάσουν τη δυναμική της διαδικασίας. [24]

- Οργανικά υλικά πλούσια σε πρωτεΐνες: Όπως και οι υδατάνθρακες έτσι και οι πρωτεΐνες μπορούν να βρεθούν σε όλα τα οργανικά υποστρώματα. Απορρίμματα σφαγείων, κοπριά αγελάδας και χοίρων είναι κάποια από τα παραδείγματα οργανικών αποβλήτων με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεϊνικό περιεχόμενο. Τα οικιακά λύματα και τα απόβλητα τροφίμων περιέχουν επίσης πρωτεΐνες αλλά σε χαμηλότερες ποσότητες. Τα πλούσια σε πρωτεΐνες υποστρώματα είναι πλούσια σε ενέργεια και παράγουν σχετικά υψηλή ποσότητα μεθανίου στο βιοαέριο.

Το κοινό και για 20 αμινοξέα είναι ότι έχουν μια κοινή ομάδα αμίνης (NH_2) (αμμώνιο). Η αμμωνία (NH_3) και το αμμώνιο (NH_2) πρέπει να συνυπάρχουν σε ισορροπία μεταξύ τους για να διατηρηθεί η σταθερότητα της διαδικασίας. Η μικροβιακή αποικοδόμηση των πρωτεϊνών έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση ιόντων αμμωνίου, τα οποία είναι ισχυροί αναστολείς της μεθανιογένεσης. Παρόμοια, όταν η συγκέντρωση της αμμωνίας αυξηθεί, το σύστημα οδηγείται σε αστάθεια και πιθανότατα στην αποτυχία. Για τους παραπάνω λόγους, η προ- επεξεργασία των υποστρωμάτων κρίνεται αναγκαία. [24]

- Οργανικά υλικά πλούσια σε λιπαρά οξέα: Τα οργανικά υλικά πλούσια σε λιπαρά οξέα προτείνονται για χρήση στην αναερόβια πέψη καθώς είναι πολύ εύκολα αποικοδομήσιμα. Σημαντικές ποσότητες αποβλήτων πλούσιες σε λίπη παράγονται από τρόφιμα, από τη βιομηχανία μεταποίησης, τα λύματα των σφαγείων, το βρώσιμο λάδι και τη βιομηχανία των γαλακτοκομικών. Ωστόσο, σε υψηλές συγκεντρώσεις, τα λιπίδια προκαλούν διαφορετικά είδη αναερόβιων προβλημάτων με πιο σημαντικό τη μικροβιακή αναστολή, υπεύθυνη για τη παραγωγή του βιοαερίου. Για παράδειγμα, τα λιπαρά οξέα των ελαίων έχουν αρνητική επίδραση στη μεθανιογένεση σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις. Συνεπώς, η μίξη οργανικών υλικών πλούσιων σε λιπαρά οξέα με οργανικά υλικά πλούσια σε υδατάνθρακες θα ήταν βοηθητική για τη διαδικασία να διατηρήσει την ισορροπία της, μέσω του εμπλουτισμού των μικροοργανισμών και τη μείωση των ανασταλτικών παραγόντων της παραγωγής του μεθανίου και κατ' επέκταση του βιοαερίου. [24]

Γενικότερα, η ανάμειξη δυο ή και περισσότερων υποστρωμάτων έχει αποδειχθεί μετά από έρευνες ότι βοηθά στην ισορροπημένη και κατά το δυνατόν πιο σταθερή διεξαγωγή

ολόκληρης της ζύμωσης, καθώς κάθε υπόστρωμα ξεχωριστά αδυνατεί να δώσει το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα στην παραγωγή του βιοαερίου. Επιπρόσθετα, η ανάμειξη των πρώτων υλών είναι ζωτικής σημασίας για την εξέλιξη της πέψης επειδή χωρίς αυτή θα πάψει η ομοιογένεια με αποτέλεσμα ακόμη και τη διακοπή της διαδικασίας. Η απουσία ανάδευσης μειώνει σε σημαντικό βαθμό την τελική παραγόμενη ποσότητα του αερίου. Άλλωστε, η ανάμειξη βοηθά το συνδυασμό του φρέσκου εισερχόμενου υλικού με τους υπάρχοντες μικροοργανισμούς, εμποδίζει τη δημιουργία αφρού στο χωνευτήρα και διατηρεί την ομοιομορφία στη συγκέντρωση του υποστρώματος για την καλύτερη δυνατή απόδοση. [24]

3.2 Πλεονεκτήματα – Περιορισμοί χρήσης βιοαερίου

3.2.1 Πλεονεκτήματα

Η παραγωγή και χρήση του βιοαερίου από αναερόβια χώνεψη παρέχει πολλά περιβαλλοντικά και κοινωνικό-οικονομικά οφέλη για όλους τους εμπλεκόμενους με αυτή. Η τιμή της παραγωγής του βιοαερίου ενισχύει την τοπική οικονομία, προστατεύει τις θέσεις εργασίας στις αγροτικές περιοχές και αυξάνει την περιφερειακή αγοραστική δύναμη. Βελτιώνει το βιοτικό επίπεδο και συμβάλλει στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη.

Η παραπάνω διαδικασία της αναερόβιας χώνεψης για την παραγωγή βιοαερίου δυστυχώς δεν είναι ιδανική. Αν και τα πλεονεκτήματά της είναι πολυάριθμα υπάρχουν και κάποιοι περιορισμοί που τοποθετούν αυτή την ανανεώσιμη μορφή ενέργειας σε κατώτερη θέση έναντι άλλων πηγών όπως του ήλιου ή του ανέμου.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα αυτά παραθέτονται παρακάτω:

- Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας: Ο παγκόσμιος ενεργειακός ανεφοδιασμός σήμερα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις πηγές ορυκτών καυσίμων όπως του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και του λιγνίτη. Πρόκειται για απολιθωμένα υπολείμματα νεκρών φυτών και ζώων που έχουν εκτεθεί σε θερμότητα και πίεση στο υπέδαφος της γης για εκατομμύρια χρόνια. Για το λόγο αυτό, τα ορυκτά καύσιμα είναι μη ανανεώσιμοι πόροι, τα αποθέματα των οποίων εξαντλούνται

πολύ ταχύτερα από ότι σχηματίζονται νέα. Μεταξύ της επιστημονικής κοινότητας υπάρχει έντονη διαφωνία για την ακριβή ημερομηνία εξάντλησης αυτών. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, το βιοαέριο από την αναερόβια χώνεψη είναι μόνιμα ανανεώσιμο καθώς παράγεται από τη βιομάζα που στην πραγματικότητα πολλαπλασιάζεται φυσικά καθημερινά. Τέλος, αυτή η πηγή ενέργειας όχι μόνο θα βελτιώσει το ενεργειακό ισοζύγιο μιας χώρας αλλά και θα συμβάλλει σημαντικά στη διατήρηση των φυσικών πόρων και στην προστασία του περιβάλλοντος. [16]

- Συμβολή στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα: Οι περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες εισάγουν ενέργεια κατά κύριο λόγο από περιοχές πλούσιες σε ορυκτό πλούτο όπως τη Ρωσία και τις χώρες της Μέσης Ανατολής. Η ανάπτυξη συστημάτων ΑΠΕ όπως αυτή του βιοαερίου από την αναερόβια χώνεψη που βασίζεται σε εθνικούς και περιφερειακούς πόρους βιομάζας, θα αυξήσει την ασφάλεια του εθνικού ενεργειακού ανεφοδιασμού και θα μειώσει με τον τρόπο αυτό την άμεση εξάρτηση από τα εισαγόμενα καύσιμα. [16]
- Συμβολή στη μείωση των αποβλήτων: Η μετατροπή των αποβλήτων σε πολύτιμο πόρο για την αναερόβια χώνεψη αποτελεί αδιαμφισβήτητα ένα σπουδαίο πλεονέκτημα της παραγωγής του βιοαερίου. Πολλές Ευρωπαϊκές χώρες αντιμετωπίζουν τεράστια προβλήματα που σχετίζονται με την υπερπαραγωγή οργανικών αποβλήτων από τη βιομηχανία, τη γεωργία και τα νοικοκυριά. Η παραγωγή βιοαερίου είναι ένας εξαιρετικός τρόπος αποτελεσματικής διαχείρισης των παραπάνω αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας ακολουθούμενη από την ανακύκλωση του υποστρώματος που έχει υποστεί τη πέψη (χώνεψη) ως λίπασμα. Γενικότερα, η αναερόβια χώνεψη μπορεί να συμβάλλει στη μείωση του όγκου των αποβλήτων και του κόστους διάθεσής τους. [16]
- Συμβολή στη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου: Η χρήση των ορυκτών καυσίμων όπως ο λιγνίτης, ο λιθάνθρακας, το αργό πετρέλαιο και το φυσικό αέριο μετατρέπει τον άνθρακα που είναι αποθηκευμένος για εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια στο φλοιό της γης και τον απελευθερώνει ως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Η αύξηση της υφιστάμενης συγκέντρωσης CO₂ στην ατμόσφαιρα προκαλεί την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας δεδομένου

ότι το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα αέριο του φαινομένου του θερμοκηπίου (ΑΦΘ).

Η καύση του βιοαερίου επίσης απελευθερώνει CO₂ αλλά η κύρια διαφορά, όταν συγκρίνεται με ορυκτά καύσιμα, είναι ότι ο άνθρακας στο βιοαέριο ελήφθη πρόσφατα από την ατμόσφαιρα μέσω της φωτοσύνθεσης των φυτών. Έτσι, ο κύκλος του άνθρακα είναι κλειστός σε ένα βραχύ χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από ένα ως λίγα έτη. Επίσης η παραγωγή του βιοαερίου από αναερόβια χώνεψη μειώνει και τα επίπεδα εκπομπής του μεθανίου (CH₄) και του νιτρώδους οξειδίου (N₂O) λόγω της αποθήκευσης και της χρήσης της ζωικής στερεής κοπριάς ως ενισχυμένο λίπασμα.

Το δυναμικό ΑΦΘ του μεθανίου είναι περίπου 23 φορές και του νιτρώδους οξειδίου 296 φορές υψηλότερο από ότι του διοξειδίου του άνθρακα. Η χρήση του βιοαερίου υποκαθιστά τα ορυκτά καύσιμα από την παραγωγή ενέργειας και τις μεταφορές και μειώνει έτσι τις εκπομπές του CO₂, του CH₄ και του N₂ συμβάλλοντας στο να μετριάσει την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. [16]

- Ευελιξία στη χρήση του βιοαερίου: Το βιοαέριο αποτελεί ένα ενεργειακό φορέα που είναι κατάλληλος για διάφορες χρήσεις. Ενδεικτικά, μια κάποιες από τις πιο απλές του εφαρμογές αποτελεί το μαγείρεμα και ο φωτισμός, όπως άλλωστε συμβαίνει σε πληθώρα αναπτυσσόμενων χωρών, ενώ στις αναπτυγμένες χώρες χρησιμοποιείται για τη συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας ή αναβαθμίζεται και τροφοδοτείται στα δίκτυα φυσικού αερίου και χρησιμοποιείται ως καύσιμο οχημάτων ή σε κυψέλες καυσίμου, όπως θα αναλύεται παρακάτω στο ανάλογο κεφάλαιο.
- Ευελιξία στη χρήση διαφορετικών πρώτων υλών: Για την παραγωγή βιοαερίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι πρώτης ύλης. Για παράδειγμα ζωική κοπριά και πολτοί, υπολείμματα καλλιεργειών, οργανικά απόβλητα από την παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων, από βιομηχανίες τροφίμων, στερεά αστικά απόβλητα ή από νοικοκυριά καθώς και από ενεργειακές καλλιέργειες. Τέλος, μπορεί να συλλεχθεί βιοαέριο μέσω ειδικών εγκαταστάσεων από χώρους υγειονομικής ταφής.

Ένα κύριο πλεονέκτημα της παραγωγής βιοαερίου είναι η ικανότητα

χρήσης τύπων 'υγρής βιομάζας' ως πρώτης ύλης που χαρακτηρίζονται από υγρασία υψηλότερη από 60–70%. Τα τελευταία χρόνια, πολλές ενεργειακές καλλιέργειες (δημητριακά, καλαμπόκι) έχουν χρησιμοποιηθεί σαν πρώτη ύλη σε μεγάλο βαθμό σε χώρες όπως η Αυστρία ή η Γερμανία. Ακόμα όλων των ειδών τα γεωργικά κατάλοιπα και κατεστραμμένες καλλιέργειες, ακατάλληλες για τροφή λόγω δυσμενών καιρικών φαινομένων που επηρέασαν ανεπανόρθωτα την καλλιέργεια μπορούν να αποτελέσουν πρώτη ύλη. Τέλος, ορισμένα ζωικά υποπροϊόντα που επίσης δεν είναι κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία χώνεψης σε εγκαταστάσεις βιοαερίου. [16]

- Χαμηλές ανάγκες σε νερό: Η παραγωγή βιοαερίου ακόμα και όταν συγκρίνεται με άλλα βιοκαύσιμα έχει περισσότερα πλεονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι πως για να γίνει η διεργασία της αναερόβιας χώνεψης χρειάζεται μικρή ποσότητα νερού. Αυτή η πτυχή είναι τόσο σημαντική όσο και η ενεργειακή αποδοτικότητα του βιοαερίου, λόγω των αναμενόμενων μελλοντικών ελλείψεων υδάτινων πόρων σε αρκετές περιοχές του κόσμου. [16]
- Κοινωνικά οφέλη: Ένας άλλος τομέας όπου η παραγωγή βιοαερίου βρίσκει πλεονεκτήματα είναι ο κοινωνικός. Η λειτουργία μιας τέτοιας μονάδας απαιτεί εργατική δύναμη για την παραγωγή, τη συλλογή και τη μεταφορά της πρώτης ύλης, την κατασκευή του τεχνικού εξοπλισμού, την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρηση των εγκαταστάσεών της. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι σε εθνικό επίπεδο επιτυγχάνεται ανάπτυξη για την ίδρυση νέων επιχειρήσεων, μερικές από τις οποίες με σημαντικό οικονομικό δυναμικό, αυξάνεται το εισόδημα στις αγροτικές περιοχές και δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας. [16]

3.2.2 Οφέλη βιοαερίου για τους γεωργούς

Δε θα μπορούσαν να παραληφθούν και τα πλεονεκτήματα της παραγωγής βιοαερίου από αναερόβια χώνεψη όσον αφορά τους γεωργούς, οι οποίοι εμπλέκονται άμεσα με αυτή. Αυτά εντοπίζονται παρακάτω αναλυτικότερα:

- Χρήση χωνευμένου υπολείμματος ως εξαιρετικό γεωργικό λίπασμα: Μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου δεν είναι μόνο προμηθευτής ενέργειας. Ορισμένες ενώσεις άνθρακα παραμένουν στο πεπτικό σύστημα βελτιώνοντας την περιεκτικότητα σε άνθρακα και έτσι το υπόστρωμα πέψης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα πολύτιμο λίπασμα εδάφους, πλούσιο σε άζωτο, φώσφορο, κάλιο και άλλα συστατικά τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν σε εδάφη ως υγρή κοπριά. Σε σύγκριση με την απλή ζωική κοπριά το χωνευμένο μίγμα έχει βελτιωμένη απόδοση λόγω της υψηλότερης ομοιογένειας και της διαθεσιμότητας θρεπτικών συστατικών, όπως και της σημαντικά μειωμένης οσμής του. Με άλλα λόγια, η παραγωγή βιοαερίου μπορεί να ενσωματωθεί απόλυτα στη συμβατική και βιολογική γεωργία όπου το πεπτικό σύστημα αντικαθιστά τα χημικά λιπάσματα που παράγονται με την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ορυκτής ενέργειας. [16,18]
- Πρόσθετη πηγή εσόδων για τους γεωργούς: Η παραγωγή της πρώτης ύλης για τη λειτουργία μιας μονάδας βιοαερίου καθιστά τις τεχνολογίες του οικονομικά ελκυστικές για τους γεωργούς και συμβάλλει άμεσα στην αύξηση του εισοδήματός τους. Ακόμα οι γεωργοί αποκτούν και νέο κοινωνικό ρόλο ως προμηθευτές ενέργειας και ως υπεύθυνοι για την επεξεργασία των αποβλήτων. [29]
- Κτηνιατρική ασφάλεια: Η χρήση του χωνευμένου υπολείμματος ως λίπασμα βελτιώνει την κτηνιατρική ασφάλεια, όταν συγκρίνεται με τη μη επεξεργασμένη στερεή κοπριά. Προκειμένου να καταστεί κατάλληλο για χρήση ως λίπασμα το μίγμα πρέπει να υποστεί μια διεργασία ελεγχόμενης υγιεινής. Η "απολύμανση" του χωνευμένου μίγματος επιτυγχάνεται μέσω της ίδιας διαδικασίας της αναερόβιας χώνεψης, καθώς υπάρχει ένας ελάχιστος χρόνος παραμονής του στο χωνευτή σε θερμόφιλη θερμοκρασία, ενώ μπορεί να επιτευχθεί σε επιμέρους τμήμα της διαδικασίας με παστερίωση ή αποστείρωση υπό πίεση, ανάλογα με τον τύπο της χρησιμοποιούμενης πρώτης ύλης. Σε κάθε περίπτωση, ο στόχος είναι να αδρανοποιηθούν τα παθογόνα μικρόβια, να καθαριστούν οι σπόροι και οι άλλοι βιολογικοί κίνδυνοι και να αποφευχθεί η μετάδοση ασθενειών μέσω της εφαρμογής του χωνευμένου υπολείμματος ως γεωργικό λίπασμα. [18,29]

3.2.3 Περιορισμοί

Όπως αναλύθηκε παραπάνω η παραγωγή ενέργειας από το βιοαέριο μέσω αναερόβιας χώνεψης, χαρακτηρίζεται από πολλά πλεονεκτήματα σε πολλούς τομείς. Πέρα όμως από τα πλεονεκτήματα αυτά, υπάρχουν και ορισμένοι περιορισμοί που αξίζει να αναφερθούν, καθώς οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία είναι αρκετοί και θα μπορούσαν να επηρεάσουν δυσμενώς τη διαδικασία παραγωγής του.

- Η επίδραση του μεθανίου στο κλίμα: Οι ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η εκτροφή βοοειδών, οι διάφορες καλλιέργειες και η συσσώρευση αποβλήτων σε μεγάλες εγκαταστάσεις διάθεσης αποβλήτων, στην πάροδο των ετών, πιστεύεται ότι προκάλεσαν διπλασιασμό της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης μεθανίου στα σημερινά επίπεδα. Το μεθάνιο αποτελεί μέρος των χημικών διεργασιών στην ατμόσφαιρα και είναι επίσης ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου (22 φορές πιο ισχυρό από το διοξείδιο του άνθρακα) που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ως αποτέλεσμα, το μεθάνιο ευθύνεται περίπου για το 20% της συνολικής αύξησης του φαινομένου του θερμοκηπίου που έχει προκληθεί από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αφορά την αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη μας, όπου το κύριο πρόβλημα λόγω αυτής είναι το λιώσιμο των πάγων στους πόλους γεγονός που θα απελευθερώσει τεράστιες ποσότητες μεθανίου στο περιβάλλον όταν τα οργανικά υλικά αποσυντεθούν σταδιακά. Αυτό, προφανώς θα το επιδεινώσει περαιτέρω. Επίσης, το μεθάνιο σε μεγάλες ποσότητες καταστρέφει το όζον. Οι αυξανόμενες εκπομπές του μπορούν ως εκ τούτου να έχουν ατυχείς συνέπειες για τη στιβάδα του όζοντος που βοηθά στην προστασία της Γης από την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου. [16]

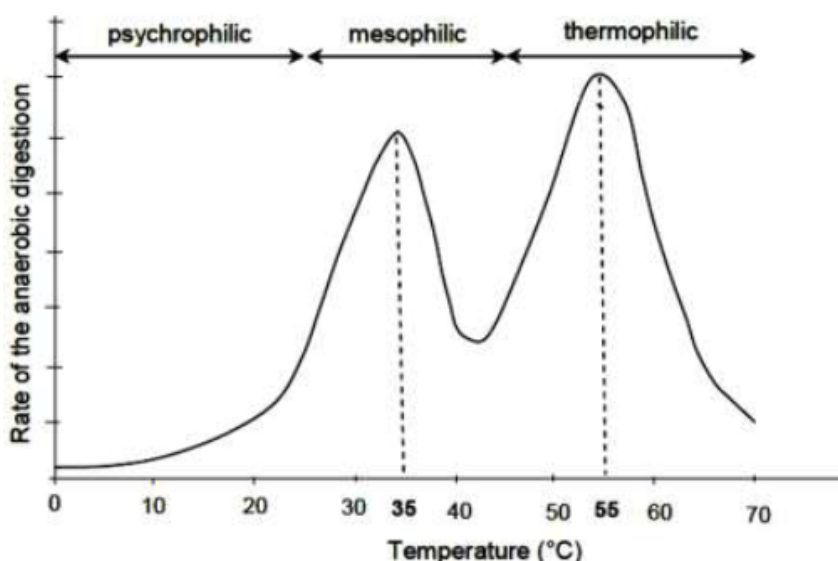
Μια μονάδα βιοαερίου μπορεί να μετρηθεί μελετώντας και παρακολουθώντας τη μεταβολή των παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, το pH, η ανάμειξη πρώτων υλών και άλλα, καθώς μια απότομη αλλαγή σε αυτά θα μπορούσε να επηρεάσει δραματικά τη διαδικασία παραγωγής του. Παρακάτω περιγράφονται λεπτομερώς:

- Επίδραση της θερμοκρασίας: Η θερμοκρασία είναι ένας από του κύριους παράγοντες επιβίωσης των μικροοργανισμών κατά την αναερόβια χώνεψη. Το

εύρος της θερμοκρασίας είναι η κύρια τεχνική με την οποία διαφοροποιούνται οι διαδικασίες της πέψης. Υπάρχουν τρεις διαφορετικές λειτουργικές θερμοκρασίες που συναντάμε σε αναερόβιο χωνευτή. Τη ψυχρόφιλη (25°C), τη μεσόφιλη (35°C) και τη θερμόφιλη (55°C). Οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται καλύτερα σε μεσόφιλα και θερμόφιλα περιβάλλοντα. Γενικά, η αυξημένη θερμοκρασία έχει θετικό αποτέλεσμα στο μεταβολικό ρυθμό των μικροοργανισμών και επιταχύνει τη διαδικασία της πέψης, όμως οι ανάγκες σε ενέργεια για τη διατήρηση του περιβάλλοντος αυτού στον αντιδραστήρα είναι αυξημένες. Η μεταβολή της θερμοκρασίας μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη των μικροβίων και να μειώσει την παραγωγή του βιοαερίου σε σημαντικό βαθμό.

Για παράδειγμα τα περισσότερα βακτήρια τείνουν να είναι πιο αποτελεσματικά όσον αφορά την απόδοση του αερίου σε θερμόφιλο περιβάλλον αν και ενεργοποιούνται και σε μεσόφιλες θερμοκρασίες, όμως με πολύ αργό ρυθμό ανάπτυξης. Επίσης, είναι ευαίσθητα στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και στις περιβαλλοντικές μεταβολές. [30]

Γενικότερα, η θερμόφιλη θερμοκρασία πλεονεκτεί έναντι των άλλων δεδομένου ότι έχει ως αποτέλεσμα ταχύτερη και υψηλότερη παραγωγή μεθανίου και μια λιγότερο έντονη μείωση μεθανίου μετά τη σίτιση. Η Εικόνα 17 δείχνει αναλυτικότερα την επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό της αναερόβιας χώνεψης.



Εικόνα 17: Επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό της αναερόβιας χώνεψης [30]

- Επίδραση του pH: Η τιμή του pH είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία της πέψης. Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί προτιμούν ένα ουδέτερο pH. Το ιδανικότερο εύρος βέβαια κυμαίνεται από 6,8-7,2. Στη διαδικασία της πέψης οι μικροοργανισμοί μεθανόλης είναι πολύ ευαίσθητοι στις μεταβολές του pH και προτιμούν μια ουδέτερη τιμή γύρω στο 7. Οι οργανισμοί οξεογένεσης είναι πιο ανθεκτικοί και μπορούν να υποστηρίξουν ένα εύρος από 4–8,5.

Η βέλτιστη τιμή του pH είναι ένας από τους κύριους λόγους για το διαχωρισμό ορισμένων χωνευτών σε λειτουργία δυο φάσεων, της όξινης φάσης και της φάσης της μεθανόλης.

Η συν πέψη (μίξη διαφόρων πρώτων υλών στο χωνευτή) είναι ένα περιβάλλον όπου μπορεί πιο εύκολα να διατηρηθεί σταθερή η τιμή του pH, σε σύγκριση με την πέψη μεμονωμένου υποστρώματος. [24]

- Ανάγκη για ανάμειξη πρώτων υλών: Η ανάμειξη απαιτείται σε ένα χωνευτή για να διατηρηθεί η ομοιογένεια καθώς η σταθερότητα αποτρέπει τη στερεή εναπόθεση στο κάτω μέρος του και δημιουργεί υψηλότερη απόδοση σε μεθάνιο. Αυτό εξασφαλίζει την ομοιογένεια μεταξύ των μικροοργανισμών και τελικά οδηγεί σε βελτιωμένη διαδικασία πέψης. Η απουσία ανάδευσης έχει βρεθεί πως έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής του αερίου μεταξύ υποστρώματος και μικροοργανισμών. Τέλος, η ανάμειξη βοηθά το συνδυασμό του φρέσκου εισερχόμενου υλικού με τους ήδη υπάρχοντες μικροοργανισμούς και εμποδίζει το σχηματισμό αφρού στο χωνευτή, γεγονός που επηρεάζει άμεσα τη βέλτιστη παραγωγή βιοαερίου. [30]
- Ανάγκη για προ επεξεργασία πρώτων υλών: Η προεργασία της πρώτης ύλης για την παραγωγή βιοαερίου διαπιστώθηκε πως αυξάνει την απόδοση μεθανίου στην αναερόβια πέψη. Δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για τη βίο αποικοδόμηση των μικροοργανισμών με τη χρήση της μεθόδου των υπερήχων. Η μέθοδος αυτή αποσκοπεί στην αποσύνθεση των σωματιδίων εντός της βιομάζας. Με τον τρόπο αυτό η προ επεξεργασία αυξάνει την ημερήσια παραγωγή βιοαερίου μειώνοντας τα πτητικά στερεά κατά τη διάρκεια της χώνεψης.

Οι μηχανικές προ επεξεργασίες επίσης, όπως η άλεση, χρησιμοποιείται στη διεργασία της αναερόβιας χώνεψης μειώνοντας το μέγεθος σωματιδίων της πρώτης ύλης προτού γίνει εισαγωγή στο χωνευτή. Μια επιπλέον έρευνα πραγματοποιήθηκε για να συγκρίνει την υγρή με την ξηρή άλεση της πρώτης ύλης, δείχνει ότι ο τελικός δείκτης κρυσταλλικότητας μετά από ενζυματική υδρόλυση συνήθως μειώνεται μετά την υγρή άλεση και αυξάνεται μετά από την ξηρή.

Τέλος, το μέγεθος των σωματιδίων αποτελεί μια από τις σημαντικές παραμέτρους που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην παραγωγή του βιοαερίου. Μικρότερο μέγεθος σωματιδίων τείνει να αυξάνει τη χρήση του υποστρώματος επειδή μικρότερο μέγεθος σωματιδίων παρέχει σαφώς αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα, οπότε γίνεται εύκολα κατανοητή η ανάγκη για γενικότερη προ επεξεργασία των πρώτων υλών πριν την τελική χώνεψη. [30]

- Χρόνος υδραυλικής συγκράτησης: Είναι ο μέσος χρόνος που παραμένει στον αντιδραστήρα μια ένωση, και υπολογίζεται διαιρώντας τη συνολική χωρητικότητα της δεξαμενής πέψης με το ρυθμό με τον οποίο τροφοδοτείται με την πρώτη ύλη. Ο χρόνος κατακράτησης των αποβλήτων που υποβάλλονται σε επεξεργασία σε ένα μεσόφιλο χωνευτή κυμαίνεται από 15 έως 30 μέρες και από 12 έως 14 για θερμοφίλους.

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε, όπου η θερμοκρασία λειτουργίας ρυθμίστηκε από 30°C έως 55°C ο μέσος χρόνος κυμάνθηκε από 8–12 ημέρες. Τα ποσοστά βιοαερίου και παραγωγής μεθανίου από θερμοφίλους χωνευτήρες ήταν υψηλότερα από αυτά των μεσόφιλων ανεξαρτήτου ημερών παραμονής στον αντιδραστήρα. Αν και η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου παρατηρήθηκε για παραμονή 10 ημερών, η απόδοση μεθανίου ήταν σαφώς υψηλότερη στον χωνευτήρα για παραμονή 12 ημερών.

Τέλος, σε μια επιπρόσθετη έρευνα παραμονής της πρώτης ύλης 12 – 20 ημερών στον αντιδραστήρα δεν έδειξε καμία επίδραση στη σταθερότητα της ζύμωσης, το pH παρέμεινε σταθερό μεταξύ 6,8 και 7,6 (σχεδόν ουδέτερο) και παρατηρήθηκε μια μικρή αναστολή των βακτηριδίων σε παραμονή κάτω των 12 ημερών. Την 20^η όμως ημέρα υπήρξε μια αποδοτικότητα μετατροπής 75% της χωνευμένης ύλης σε βιοαέριο με πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε μεθάνιο 64%. [30]

3.3 Κύριες πηγές πρώτης ύλης

3.3.1 Οργανική κοπριά ζώων (Πείραμα 1°)

Στα υποκεφάλαια 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3 και 3.3.4 παρουσιάζονται πέντε πειράματα για την καλύτερη κατανόηση της ενεργειακής απόδοσης της κάθε πηγής. Σε καθένα από αυτά, οι συνθήκες διεξαγωγής τους είναι αυστηρές, συγκεκριμένες και αναφέρονται.

Για το πρώτο πείραμα χρησιμοποιήθηκε κοπριά αγελάδας, η οποία συλλέχθηκε και αραιώθηκε με νερό βρύσης και αναλογία 1:1 και στη συνέχεια οι ίνες της κοσκινίστηκαν μέσω κόσκινου μεγέθους 0,5cm x 0,5cm. Το παρασκευασμένο υπόστρωμα αποθηκεύτηκε στους 4°C πριν από τη χρήση. Χρησιμοποιήθηκε αντιδραστήρας δέκα λίτρων εξοπλισμένος με ανιχνευτή pH, αναδευτήρα, θυρίδες δειγματοληψίας και συσκευή ελέγχου της θερμοκρασίας. Ο όγκος του βίο αντιδραστήρα διατηρήθηκε στα επτά λίτρα και έτρεξε κάτω από ανεξέλεγκτο pH και δεν περιείχε καμία προσθήκη οξέος ή βάσης. Πραγματοποιήθηκε σε θερμοφίλη θερμοκρασία 53°C με κυκλοφορία νερού από θερμοστάτη και η ανάμιξη του μίγματος γινόταν με τη βοήθεια μηχανικού αναδευτήρα.

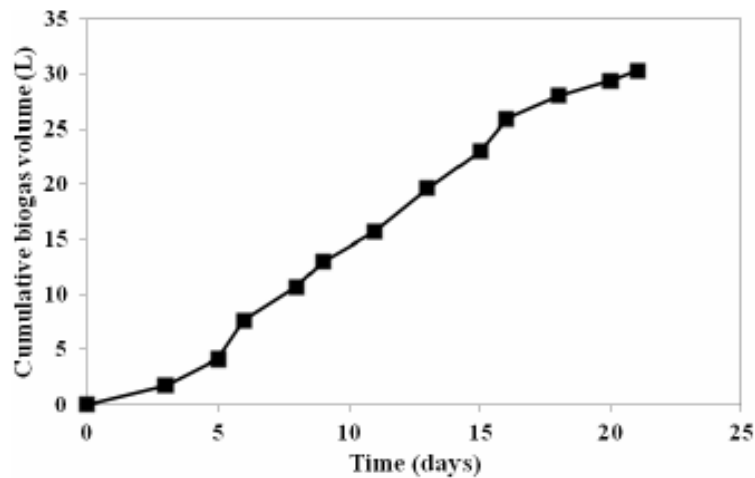
Τα ληφθέντα δείγματα αναλύθηκαν για ολικά στερεά (TS), πτητικά στερεά (VS) και για χημική ζήτηση οξυγόνου (COD) χρησιμοποιώντας την τυπική μέθοδο [31]. Το αμμωνιακό άζωτο ($\text{NH}_3\text{-N}$) εξετάστηκε χρησιμοποιώντας το φασματοφωτόμετρο (HACH, DR / 2500). Η σύνθεση του παραγόμενου βιοαερίου αναλύθηκε με τη χρήση αέριας χρωματογραφίας εξοπλισμένης με θερμική αγωγιμότητα ανιχνευτή (TCD). Ο εγχυτήρας, ο κλίβανος και οι θερμοκρασίες του ανιχνευτή ρυθμίστηκαν στους 150, 60 και 200°C αντίστοιχα. Η απόδοση της κοπριάς αγελάδων διερευνήθηκε βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις εξής διαδικασίες: μείωση VS, μείωση TS, αναλογία VS/TS, μείωση COD, συγκεκριμένη συγκέντρωση $\text{NH}_3\text{-N}$ και pH, περιεκτικότητα βιοαερίου σε μεθάνιο. Αν και παρατηρήθηκαν αρκετές εναλλαγές στην απόδοση του αντιδραστήρα στην αρχική περίοδο της πέψης, το παρατηρούμενο pH ήταν εντός της αποδεκτής κλίμακας (6,65-7,81) για τις συνολικές λειτουργίες της χώνεψης. Γενικότερα η παραγωγή του βιοαερίου ξεκίνησε ουσιαστικά μετά την τρίτη μέρα της πέψης.

Η συσσωρευμένη παραγωγή βιοαερίου φαίνεται και στην Εικόνα 18 αναλυτικότερα. Παρατηρήθηκε πως ήταν αργή στην αρχή και στο τέλος της μελέτης.

Κατά τη διάρκεια των τριών πρώτων ημερών η παραγωγή του βιοαερίου ήταν μικρή κυρίως λόγω της υστέρησης της μικροβιακής ανάπτυξης, ενώ αισθητή αύξηση της παραγωγής παρατηρήθηκε μεταξύ της 4^{ης} και της 6^{ης} ημέρας, με υψηλότερο ρυθμό παραγωγής βιοαερίου την 6^η. Στην έναρξη της ημι-συνεχιζόμενης πέψης, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της παραγωγής του βιοαερίου και αυτό πιθανώς οφείλεται στη μη ρύθμιση του pH, η οποία ταυτόχρονα οδήγησε σε αύξηση της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται η διαδικασία της πέψης. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται από τον Chen Ye[32], η υψηλή συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου είναι τοξική για την αναερόβια χώνεψη και θα μειώσει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας. Ακόμα, οι διακυμάνσεις στην καθημερινότητα θα μπορούσαν να αποδοθούν στη μεταβλητή εισροή του φορτίου VS. Στο τέλος της παρατήρησης, η αθροιστική απόδοση της παραγωγής του βιοαερίου ήταν 0,15L/Kg (VS), γεγονός που κατατάσσει την κοπριά αγελάδας στις αποδοτικές πρώτες ύλες για αναερόβια χώνεψη και η οποία θα μπορούσε να ενισχύσει σημαντικά την παραγωγή του παρόλο που το pH δε ρυθμίστηκε καθ' όλη τη διαδικασία. Η περιεκτικότητα σε μεθάνιο ήταν περίπου 47%, αποτέλεσμα που δείχνει αποδίδει στην κοπριά αγελάδας μεγαλύτερη ισορροπία και σταθερότητα στη γενικότερη λειτουργία. Η σύνθεση της ακατέργαστης κοπριάς φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 7. Ενδεικτικές είναι οι Εικόνες 18, 19 και 20 που ακολουθούν. [33]

Πίνακας 7: Σύνθεση υποστρώματος στο 1ο Πείραμα [33]

Parameters	Composition
TS(mg/L)	156
VS(mg/L)	32.5
COD(mg/L)	2,200
NH ₃ -N(mg/l)	680
pH	7.1-7.4
Moisture content (%)	41.2

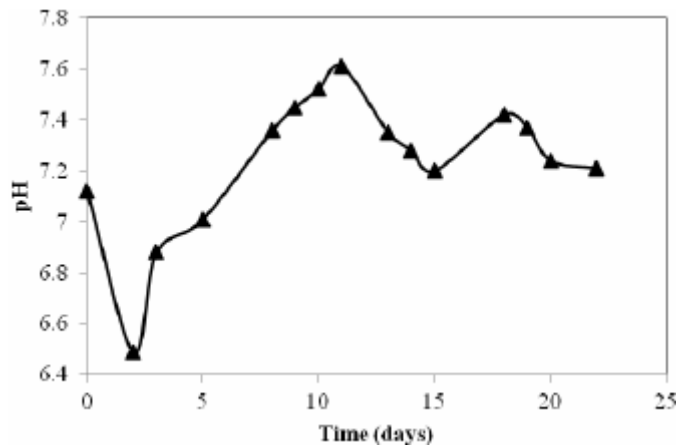


Εικόνα 18: Συνολική παραγωγή βιοαερίου [33]

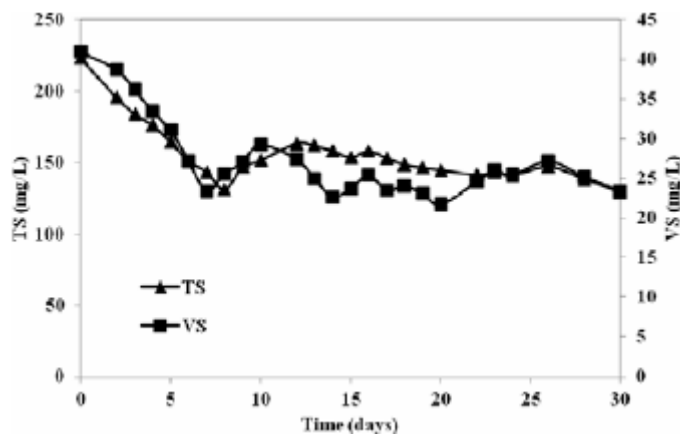
Τέλος, τα αποτελέσματα του λόγου VS/TS έδειξαν πολύ μικρές διακυμάνσεις, οι οποίες υποδηλώνουν επαρκή απόδοση ανάμειξης. Εντούτοις, υπήρξαν κάποιες ενδείξεις αναστολής της αμμωνίας πιθανώς λόγω της μη ελεγχόμενης τιμής του pH. [33]

3.3.2 Οργανικά απόβλητα (Πείραμα 2^ο)

Τα οργανικά απόβλητα, αποτελούνται κυρίως από απόβλητα τροφίμων και άλλα υποκατάστατα οργανικών αποβλήτων, όπως ξερά φύλλα και κλαδιά, απανθισμένα άνθη και κουρεμένο γρασίδι, δηλαδή όλα τα υπολείμματα κηποτεχνίας. Επίσης, σε αυτή την κατηγορία ανήκει το άχυρο, το χαρτί σε πολλές εκδοχές του όπως αυγοθήκες, ρολά κουζίνας, τα τσόφλια των αυγών, η στάχτη των καυσόξυλων και διάφορα οργανικά λιπάσματα (φυτόχωμα). Λόγω της υψηλής βιοδιασπασιμότητας και περιεκτικότητάς τους σε υγρασία καθίσταται δυσκολότερη η διαχείρισή τους. Η αδιάκριτη αποσύνθεση των αποβλήτων αυτών έχει ως αποτέλεσμα την εκτεταμένη μόλυνση της γης, των υδάτων και του αέρα και για το λόγο αυτό προτείνεται η χρήση τους ως πρώτη ύλη στην αναερόβια πέψη για την πλέον αποτελεσματική τους διαχείριση.



Εικόνα 19: Διακύμανση pH στη διάρκεια της χώνεψης [33]



Εικόνα 20: Διακύμανση VS και TS στη διάρκεια της χώνεψης [33]

Σκοπός της δεύτερης πειραματικής μελέτης είναι ο προσδιορισμός της παραγωγής μεθανίου (CH_4) και η περιεκτικότητα σε μεθάνιο των οικιακών οργανικών αποβλήτων κατά την αναερόβια διαδικασία χώνεψης. Είναι η διεξαγωγή μιας περιεκτικής σύγκρισης των μεσόφιλων αναερόβιων χωνευτήρων που επεξεργάζονται οργανικά οικιακά απόβλητα με (TS) να κυμαίνονται από 5–15% για τη μελέτη των επιδόσεών τους σε παραγωγή CH_4 . Τα συνθετικά οικιακά οργανικά απόβλητα που χρησιμοποιούνται προδιαγράφονται ως απορρίμματα τροφίμων και περιγράφονται αναλυτικότερα στο [34]. Αυτό έχει ως στόχο την παροχή συνέπειας και τη μείωση πιθανών παρεμβολών καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η πρώτη ύλη διατηρήθηκε κατεψυγμένη στους -2°C μέχρι τη χρήση της και αναλυτικά αναγράφεται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Σύνθεση οργανικών αποβλήτων τροφίμων [34]

Composition	Value (%)
Moisture content	65-80
Ash	3-5
Volatile Matters	18-30
Carbohydrate	40-60
Protein	10-30
Fat	15-40
Carbon	45-65
Hydrogen	6-7
Nitrogen	1-3
Oxygen	40-50
C/N	15-40

Η αναερόβια χώνεψη οικιακών οργανικών αποβλήτων εξετάστηκε χρησιμοποιώντας πειράματα τριών παρτίδων σε στερεά περιεχόμενα σε ποσοστά 5%, 10% και 15%. Οι δοκιμασίες διεξήχθησαν σε οικιακό βιολογικό αντιδραστήρα 200 λίτρων με συνολικό όγκο εργασίας 160 λίτρων. Ο αντιδραστήρας ενσωματώθηκε με δυο εισόδους διαφορετικών θυρίδων για διαφορετική λειτουργία τροφοδοσίας, μέτρησης και συλλογής βιοαερίου που συνδέεται με τυποποιημένο δοχείο αερίου 40 λίτρων κατασκευασμένο από πολυπροπυλένιο με μονή έξοδο για την απαραίτητη δειγματοληψία. Τα δείγματα υγρών και αερίων ελήφθησαν σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η ανάδευση σε κάθε χωνευτήριο γινόταν χειροκίνητα μια φορά την ημέρα. Η τυπική θερμοκρασία και πίεση του όγκου παραγωγής του βιοαερίου μετρήθηκε περιοδικά με τη μέθοδο εκτόπισης νερού και υπολογίστηκε ως όγκος σε κατάσταση STP. Τα δείγματα υποστρώματος αναλύθηκαν δυο φορές την εβδομάδα για την παρακολούθηση των ολικών στερεών (TS), των πτητικών στερεών (VS), της αλκαλικότητας, του συνολικού αζώτου, του συνολικού οργανικού άνθρακα, της χημικής ζήτησης οξυγόνου (COD) και του αμμωνιακού αζώτου (NH₃-N). Ολόκληρη η αναλυτική παρακολούθηση προσδιορίστηκε σύμφωνα με τις τυπικές μεθόδους (2005) όπως αναγράφονται αναλυτικά στο [35]. Η στοιχειακή ανάλυση όπως ο συνολικός άνθρακας, το συνολικό θείο και το ολικό άζωτο αναλύθηκαν βάσει της μεθόδου υγρής έγχυσης, ενώ οι αναλύσεις της σύνθεσης του βιοαερίου (CH₄ και CO₂) διεξήχθησαν με διαχωρισμό αερίου χρωματογραφίας με ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας. Ο εγχυτήρας, ο κλίβανος και οι θερμοκρασίες του ανιχνευτή ήταν 35°C και 230°C.

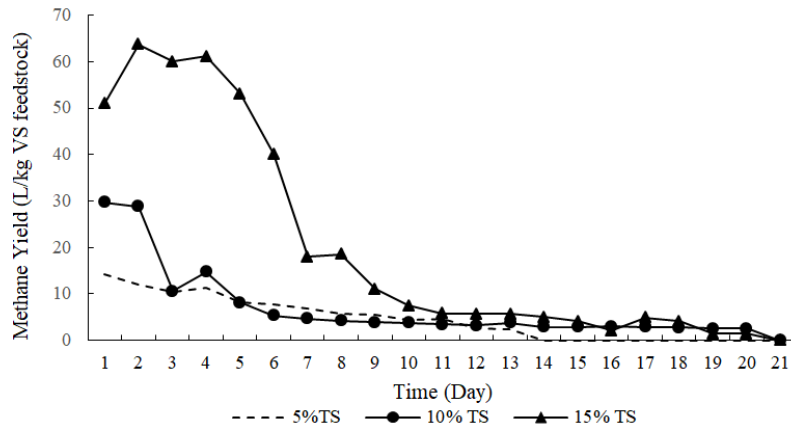
Ο Πίνακας 9 δείχνει το φυσικοχημικό χαρακτηρισμό του υποστρώματος, του εμβολίου (εκκινητή) και των αρχικών υποστρωμάτων που λειτουργούν σε διαφορετικές περιεκτικότητες TS. Τα πειράματα ολοκληρώθηκαν όταν δεν υπήρχαν σημαντικές μεταβολές στην παραγωγή μεθανίου (<1%). Επιπλέον, διατηρήθηκε η σταθερότητα του αντιδραστήρα και η πέψη πραγματοποιήθηκε κανονικά επειδή διατηρήθηκε ένα σταθερό pH για κάθε ξεχωριστή δοκιμή. Η μέση τιμή του pH ήταν περίπου 6,8, 7,6 και 7,2 για περιεκτικότητες 5, 10 και 15% TS αντίστοιχα. Αυτές οι τιμές ήταν εντός του επιτρεπόμενου εύρους για 6,5-8,5. [36]

Πίνακας 9: Μέση τιμή χημικών χαρακτηριστικών υποστρώματος [36]

Parameter	Home organic waste	Inoculum	Mix1	Mix2	Mix3
PH	5.8	7.4	6.4	6.3	6
TS (%)	82	4	5	10	15
Moisture content (%)	70.1	64.8	76.5	70.5	66.3
COD (mg/L)	7380	6879	5452	6380	6550
C:N	18.5	14.2	11.2	18.3	24.5

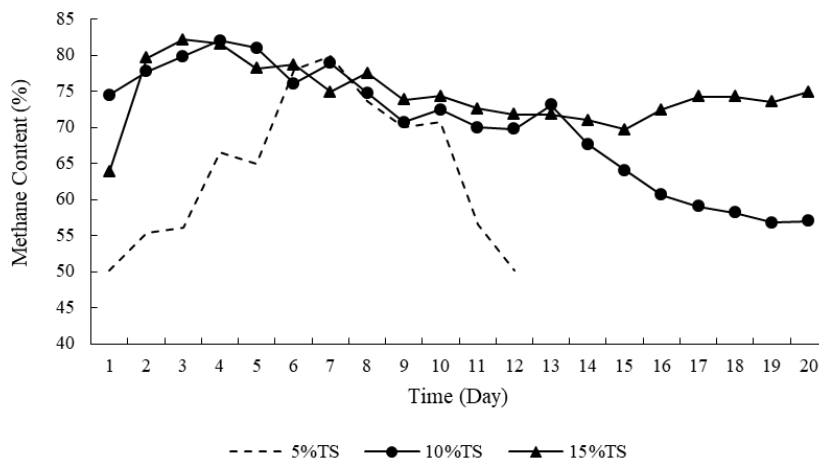
Τα πειραματικά αποτελέσματα ελήφθησαν μετά από περίοδο 20 ημερών για περιεκτικότητες 10 και 15% TS και για βραχύτερη περίοδο για αντιδραστήρα βιοαερίου 5% TS (13 ημέρες), όταν οι δοκιμαστικές παρτίδες έληξαν με παραγωγή μεθανίου κάτω του 1%. Η Εικόνα 21 δείχνει την ημερήσια παραγωγή μεθανίου κατά τη διάρκεια του πειράματος που λειτουργεί σε διαφορετικά ποσοστά TS. Η παραγωγή CH₄ με περιεκτικότητα 15% είναι υψηλότερη με 63,7L ακολουθούμενη από εκείνη του 10% με 27,8L. Τόσο η παραγωγή μεθανίου όσο και η περιεκτικότητα σε μεθάνιο παρουσίασαν αυξητική τάση με την αύξηση των περιεκτικότητων TS. Το αποτέλεσμα αυτό αντιτίθεται στο αποτέλεσμα προηγούμενης έρευνας[37], όπου οι αντιδραστήρες με μικρότερο περιεχόμενο TS έδειξαν υψηλότερη παραγωγή βιοαερίου και ποσοστό μεθανίου στην αναερόβια χώνεψη απορριμμάτων τροφίμων. Η αύξηση της περιεκτικότητας TS σε 5-15% στον αντιδραστήρα βιοαερίου προκάλεσε αύξηση 30-60% στην παραγωγή μεθανίου. Η

μείωσή του παρατηρείται στην αρχή της εβδομής ημέρας μέχρι το τέλος των πειραμάτων λόγω της κατανάλωσης της οργανικής ύλης.



Εικόνα 21: Ημερήσια αύξηση μεθανίου για την αύξηση περιεχομένου TS [36]

Η ημερήσια περιεκτικότητα σε μεθάνιο (%) παρατηρείται στην Εικόνα 22 για τις διάφορες περιεκτικότητες (5–10–15%). Η υψηλότερη που παράχθηκε ήταν 82,1% και η σταθερή της κατάσταση παρατηρήθηκε μεταξύ της 5^{ης} και της 9^{ης} ημέρας στο 80%. Η επίδραση και η σταθερότητα της παραγωγής μεθανίου παρατηρείται επίσης μεταξύ της 10^{ης} και της 14^{ης} ημέρας ενώ η διαδικασία της πέψης έχει σταματήσει για το χωνευτήρα με περιεκτικότητα 5% TS.



Εικόνα 22: Καθημερινή αύξηση μεθανίου για αύξηση περιεχομένου TS [36]

Η αύξηση των περιεχομένων TS μπορεί να ενισχύσει τη σταθερότητα της διεργασίας της χώνεψης λόγω της ισορροπίας της αναλογίας του άνθρακα προς το άζωτο (C:N).

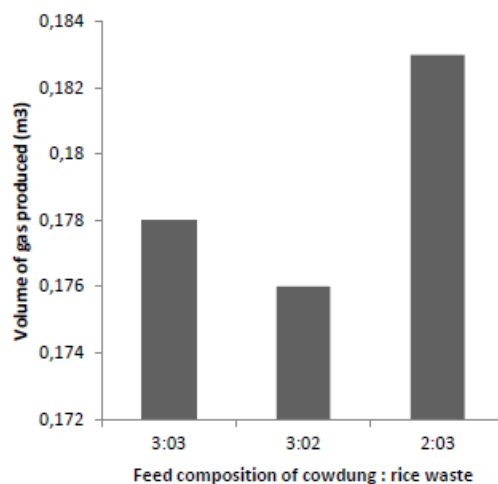
Συμπερασματικά, η προσαρμογή των αυξημένων περιεχομένων TS στην αναερόβια χώνεψη οικιακών οργανικών αποβλήτων καθορίστηκε για περίοδο 13-20 ημερών. Η πειραματική απόδοση μεθανίου ενισχύθηκε κατά 30–70% αντίστοιχα με την αύξηση της περιεκτικότητας από 5–15% TS. Το μέγιστο ποσοστό περιεκτικότητας σε μεθάνιο παρατηρήθηκε σε ένα εύρος της τάξης του 50–80% από τις διάφορες λειτουργίες και η περιεκτικότητά του κυμαίνεται λόγω της ομοιογένειας της πρώτης ύλης σε κάθε αντιδραστήρα. [36]

3.3.3 Οργανική κοπριά ζώων –απόβλητα τροφίμων (Πείραμα 3^ο)

Στο τρίτο κατά σειρά πείραμα, για την περιγραφή παραγωγής βιοαερίου από αναερόβια χώνεψη, πραγματοποιήθηκε η ανάμιξη κοπριάς ζώων και συγκεκριμένα αγελάδας με διάφορες κατηγορίες οργανικών αποβλήτων, κυρίως απόβλητα τροφίμων για την εξέταση του ενεργειακού αποτελέσματος, καθώς αποδεδειγμένα παράγεται υψηλότερη ποσότητα βιοαερίου από μίγμα ζωικής κοπριάς και φυτικών αποβλήτων σε αντίθεση με μεμονωμένη χρήση αυτών.

Πιο συγκεκριμένα και όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πειράματος, η πρώτη ύλη της χώνεψης προήλθε από απόβλητα φαγητού ενός ξενοδοχείου με ημερήσιο ρυθμό 2–20 kg αυτού αναμειγμένα με συγκεκριμένη ποσότητα οργανικής κοπριάς αγελάδας. Αρχικά, έγινε ο διαχωρισμός των ξηρών και των υγρών οικιακών αποβλήτων της κουζίνας που χρησιμοποιήθηκαν. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε επαρκής ποσότητα κοπριάς αγελάδας, η οποία αναμίχθηκε όπως και τα παραπάνω οικιακά απόβλητα με νερό σε ισόποσες αναλογίες. Το ολικό μίγμα αφού αναδεύτηκε κατάλληλα τροφοδοτήθηκε στον αντιδραστήρα. Ο κύκλος της τροφοδοσίας αυτής επαναλαμβανόταν κάθε δυο μέρες. Επίσης, στο τέλος της κάθε ημέρας γινόταν ο έλεγχος στην ποσότητα του παραγόμενου αερίου μέσω της καύσης του για τον ακριβή υπολογισμό. Οι συνθήκες θερμοκρασίας και pH παρέμειναν σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας για τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση. Τέλος, όσον αφορά τις αναλογίες της τροφοδοσίας διαπιστώθηκε πως η παραγωγή γίνεται

μέγιστη με την εισαγωγή κοπριάς αγελάδας σε συνδυασμό με απόβλητα ρυζιού σε αναλογία 2:3, αφού νωρίτερα προστέθηκε κοπριά αγελάδας με νερό σε αναλογία 1:1 και ποσότητα κοπριάς με απόβλητα λαχανικών ή ρυζιού σε αναλογίες 3:3 και 3:2 με σαφώς χαμηλότερα ενεργειακά αποτελέσματα. Το διάγραμμα της Εικόνας 23 επιβεβαιώνει τον παραπάνω ισχυρισμό καθώς με τη μείωση της κοπριάς και την αύξηση των αποβλήτων ρυζιού είναι εμφανής και η αύξηση στο παραγόμενο αέριο. [38]



Εικόνα 23: Επίδραση της σύνθεσης στον παραγόμενο όγκο για απόβλητα ρυζιού [38]

Συμπερασματικά, η τεχνολογία παραγωγής βιοαερίου από οικιακά απορρίμματα είναι αρκετά ανεπτυγμένη ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα σπίτι ή σε κάποιο ξενοδοχείο (όπως στο παραπάνω Πείραμα) καθώς τα απορρίμματά τους αποτελούν εξαιρετικά αποδοτική πρώτη ύλη. Η τελική αναλογία κοπριάς ρυζιού με τη μέγιστη απόδοση είναι 2:3 και όπως αναφέρθηκε οι τιμές της θερμοκρασίας και pH παρέμειναν σταθερές στο 6,2–6,5. [38]

3.3.4 Σύγκριση (Πείραμα 4^ο-Πείραμα 5^ο)

Αναλύοντας παραπάνω τις κύριες πηγές πρώτης ύλης θα άξιζε να αναφερθούν παρακάτω δυο ακόμα πειραματικές διατάξεις με σκοπό να συγκρίνουν την ενεργειακή απόδοση αυτών, για να γίνει όσο το δυνατόν πιο ξεκάθαρο ποια πρώτη ύλη είναι η πλέον προσοδοφόρα για την παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια χώνεψη. Τα

πειράματα που ακολουθούν, αν και διαφέρουν ως προς τα αποτελέσματά τους, καταλήγουν τελικά, πως η ενεργειακή απόδοση των παραπάνω πρώτων υλών είναι παρόμοια και αναλύονται λεπτομερώς παρακάτω.

Στη συγκεκριμένη πειραματική μελέτη (Πείραμα 4^ο), χρησιμοποιήθηκε ένας πιλοτικός αντιδραστήρας που αποτελείται από συνθετικό υλικό από μουςαμά και οι διαστάσεις του είναι 2,3 x 2,3 x 4,5m. Αρχικά, εισήχθησαν στο χωνευτήρα εξακόσια λίτρα κοπριάς αγελάδας. Στη συνέχεια, προστέθηκαν πενήντα λίτρα πολτού βιοαερίου για να λειτουργήσουν ως εκκινητής για τα βακτήρια της κοπριάς που θα παράγουν τελικά το βιοαέριο. Η συνολική μελέτη πραγματοποιήθηκε κάτω από συγκεκριμένη θερμοκρασία που κυμάνθηκε από 28–32°C. Μετά από είκοσι ημέρες, ξεκίνησε η παραγωγή του βιοαερίου με όγκο παραγωγής τα 0,3m³ για πρώτη φορά και για διάρκεια τριών ημερών. Στις δοκιμές (trials) 1–4 προστίθενται στη διάταξη δώδεκα λίτρα πολτού κοπριάς αγελάδας. Ο ρυθμός παραγωγής παρατηρείται και καταγράφεται στον Πίνακα 10. Μετά την ολοκλήρωση της μελέτης για την κοπριά αγελάδας, η ίδια διάταξη χρησιμοποιήθηκε για τα απόβλητα τροφίμων.

Στο δοκιμαστικό χωνευτήρα προστέθηκαν για αρκετές δοκιμές ακόμα δώδεκα λίτρα καλά πολτοποιημένων απορριμμάτων τροφίμων και πιο συγκεκριμένα το μαγειρεμένο ρύζι χρησιμοποιήθηκε για την παραπάνω μελέτη. Δυο ημέρες αργότερα, δεν παρατηρήθηκε παραγωγή βιοαερίου μέσα στον αντιδραστήρα και για το λόγο αυτό προστέθηκαν εκ νέου έξι κιλά θρυμματισμένων φύλλων με έξι λίτρα νερού. Η παραγωγή ξεκίνησε την επόμενη ημέρα και η μέγιστη απόδοσή του παρατηρήθηκε την τρίτη μέρα. Ο όγκος παραγωγής παρατηρήθηκε για συνεχείς δοκιμές.

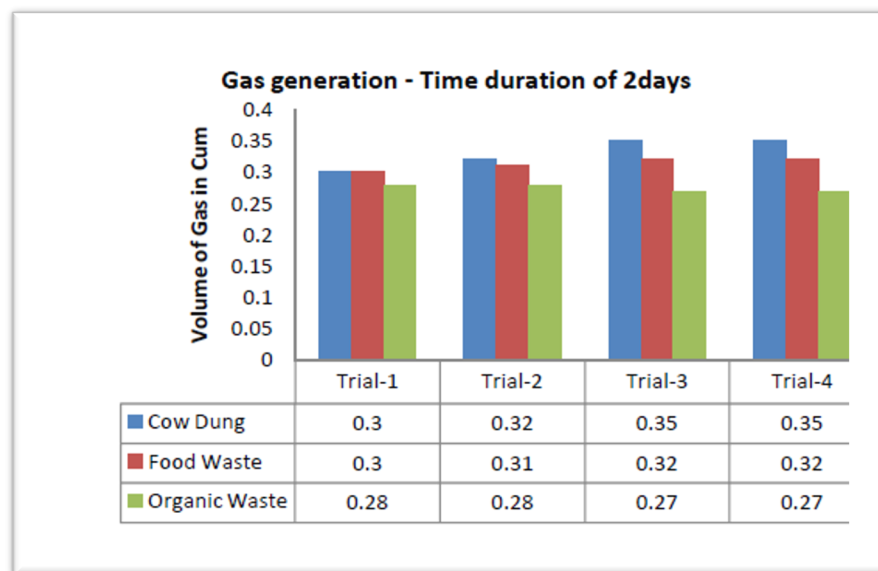
Τέλος, διεξήχθη δοκιμή καύσης και ο μέσος χρόνος καύσης αερίου από κοπριά αγελάδας ήταν εβδομήντα λεπτά, από απόβλητα τροφίμων εξήντα επτά και από νωπά οργανικά απόβλητα ήταν εξήντα λεπτά. Ο μέσος χρόνος βρασμού ενός λίτρου νερού στη συγκεκριμένη μελέτη ήταν τελικά δεκαέξι λεπτά.

Συμπερασματικά, από την πειραματική μελέτη ελήφθησαν τα ακόλουθα αποτελέσματα. Η κοπριά αγελάδας παρήγαγε 0,35m³ βιοαερίου, τα απόβλητα τροφίμων 0,32m³ και τα νωπά οργανικά απόβλητα 0,27m³. Ολόκληρη η μελέτη διεξήχθη υπό την ίδια κατάσταση λειτουργίας, στην ίδια θερμοκρασία απουσία ηλιακού φωτός. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα πως η παραγωγή βιοαερίου από κοπριά αγελάδας και απορρίμματα

τροφών είναι σχεδόν η ίδια, κάτι που αποδεικνύεται και από τον Εικόνα 24, απόρροια της πειραματικής μελέτης. [20]

Πίνακας 10: Δεδομένα παραγωγής βιοαερίου [20]

Sl. No	Type of waste	Volume of Gas Generated(m ³)			
		Trial-1	Trial-2	Trial-3	Trial-4
1	Cow Dung	0.3	0.32	0.35	0.35
2	Food waste	0.3	0.31	0.32	0.32
3	Organic Waste	0.28	0.28	0.27	0.27



Εικόνα 24: Πειραματικά δεδομένα παραγωγής βιοαερίου [20]

Στο τελευταίο κατά σειρά πείραμα (5^ο), αξιολογήθηκε ο ρυθμός παραγωγής βιοαερίου με τη χρήση των απορριμμάτων κουζίνας όπως και με κοπριά αγελάδας, τα οποία τοποθετήθηκαν σε δυο ξεχωριστούς αλλά παρόμοιους αντιδραστήρες. Για το πείραμα αυτό, χρησιμοποιήθηκαν αντιδραστήρες χωρητικότητας τριάντα κιλών πρώτης ύλης και οι οποίοι τοποθετήθηκαν πάνω από την επιφάνεια της γης με σκοπό ο κάθε χωνευτής και ο αντίστοιχος θόλος του, να μπορούν να λαμβάνουν άμεσα την ηλιακή

ακτινοβολία. Όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, η διάμετρος των δυο αντιδραστήρων είναι 0,34 και 0,38m, και αντίστοιχα την ίδια διάμετρο έχουν και οι θόλοι με ύψη 0,3 και 0,35m. Επίσης, το βάρος των θόλων είναι ίδιο και ίσο με 0,18kg. Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της διαδικασίας τόσο στο περιβάλλον όσο και στο πολτοποιημένο μίγμα είναι ελεγχόμενη με μια ελάχιστη διακύμανση της τάξεως των 0,1°C. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω των παρατηρήσεως στην πειραματική διάταξη που πραγματοποιήθηκαν κατά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες (9πμ, 1μμ και 5μμ) με σκοπό την παρουσία του ηλιακού φωτός και την εύρεση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, όπως και τη μέση θερμοκρασία που επικράτησε στο χωνευτήρα. Η παραγωγή του βιοαερίου καταγραφόταν σε καθημερινή βάση παρατηρώντας τη διακύμανση στο ύψος του θόλου. Το ύψος αυτό, πολλαπλασιάζεται με $2\pi r$ (r = ακτίνα του θόλου) και έτσι υπολογίζεται συνολικός παραγόμενος όγκος του βιοαερίου στον αντιδραστήρα. Το μίγμα προστέθηκε μια φορά στον αντιδραστήρα για τη συνολική διάρκεια της διαδικασίας και παρατηρήθηκε πως η παραγωγή του βιοαερίου εξαρτήθηκε από τη θερμοκρασία και την ηλιακή ένταση. Η διάρκεια του πειράματος διήρκησε δώδεκα εβδομάδες και πιο συγκεκριμένα από την 1^η Ιουλίου μέχρι και τις 28 Σεπτεμβρίου 2010. Στην αρχή, και για διάρκεια δυο εβδομάδων, η ηλιακή ένταση αυξανόταν αλλά στη συνέχεια μειώθηκε λόγω της επικράτησης συννεφιασμένου καιρού. Η θερμοκρασία του μίγματος ήταν πάντα υψηλότερη της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος και στις δυο μονάδες παραγωγής βιοαερίου. Τέλος, η αναλογία ανάμειξης αποβλήτων και νερού στην πειραματική διάταξη ήταν 1:2 με συγκεκριμένη ποσότητα βακτηρίων εκκινήτων για την παραγωγή αερίου (inoculums). [33]

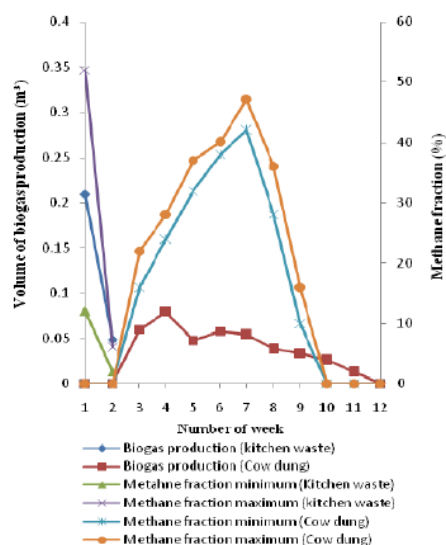
Στην περίπτωση της κοπριάς αγελάδας, η παραγωγή του βιοαερίου και το κλάσμα του μεθανίου (ποσοστό μεθανίου στο παραγόμενο αέριο) ξεκίνησε την δεύτερη και την Τρίτη εβδομάδα (20^η ημέρα) της τροφοδοσίας του χωνευτήρα με το μίγμα της κοπριάς. Τα ποσοστά της παραγωγής του βιοαερίου αυξήθηκαν από τη 2^η έως την 4^η εβδομάδα και στη συνέχεια ξεκίνησε η μείωσή του λόγω της βακτηριακής δραστηριότητας στην ίδια την κοπριά αγελάδας. Αντίθετα, στην περίπτωση των αποβλήτων κουζίνας, τα οποία στο συγκεκριμένο πείραμα είναι πλούσια σε άνθρακα και άζωτο και αποτελούνταν από ρύζι, φασόλια, πατάτες και ψωμί, η σύνθεση του αερίου ξεκίνησε πολύ νωρίτερα, μόλις τη 2^η ημέρα τροφοδοσίας στον αντιδραστήρα με το κλάμα μεθανίου να εμφανίζεται την

επόμενη ημέρα. Με το πέρας της 15^{ης} ημέρας η παραγωγή του βιοαερίου σταμάτησε λόγω της αποσύνθεσης των παραπάνω τροφών από τα αναερόβια μικρόβια, καθώς έχουν λιγότερο στερεό περιεχόμενο (οργανικό υλικό) σε σύγκριση με την κοπριά των ζώων, των οποίων η διάρκεια παραγωγής συνεχίστηκε μέχρι και την 90^η περίπου ημέρα.

Συμπερασματικά, και παρατηρώντας τον Πίνακα 11 και την Εικόνα 25 έχουμε καλύτερη απόδοση σε παραγωγή βιοαερίου από τα απόβλητα τροφίμων συγκριτικά με την κοπριά αγελάδας, κατά την οποία παράγεται 0.258m³ σε 15 ημέρες χώνεψης ενώ 0.410m³ παράγονται από τρόφιμα σε περίοδο 90 ημερών. Αναμενόμενο είναι πως και το κλάσμα του μεθανίου είναι μεγαλύτερο επίσης από οργανικά απόβλητα τροφίμων. [39]

Πίνακας 11: Σύγκριση των δυο υποστρωμάτων για τη χώνεψη [39]

Characters	Cow dung	Kitchen waste
Capacity of biogas production	0.018m ³	0.018m ³
Slurry capacity	30kg(15kg cow dung + 15lt water)	30kg(8kg kitchen waste + 16lt water + 6kg inoculums)
pH	7.2	7.3
Biogas production in days(start and stop)	15 and 70	2 and 15
Methane fraction (%)	20 and 58	3 and 10
Maximum methane fraction (%)	47	52
Total biogas production(m ³)	0.410(90days)	0.258(15days)



Εικόνα 25: Εβδομαδιαία διακύμανση ποσοστού παραγωγής βιοαερίου [39]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

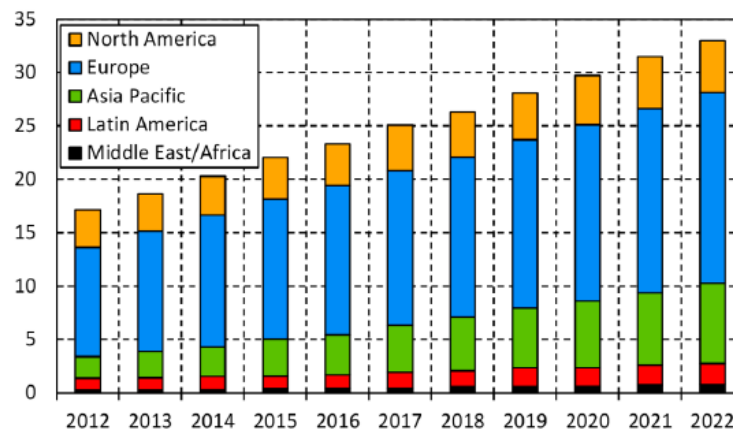
Το παρόν κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας αναλύει τις διάφορες εφαρμογές και χρήσεις του βιοαερίου, οι οποίες ποικίλουν. Ακόμα γίνεται αναφορά για την αναβάθμιση του αερίου σε βιομεθάνιο και παρουσιάζεται η οικονομική αξιολόγηση της αναβάθμισης αυτής.

4.1 Το βιοαέριο στον Ευρωπαϊκό χώρο

Η υψηλή θερμιδική αξία του βιοαερίου το κατατάσσει σε μια πολλά υποσχόμενη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για το μέλλον, μιας και χρήζει ακόμα πολλής μελέτης για την εξέλιξη της τεχνολογίας της. Η διείσδυσή του στον Ευρωπαϊκό χώρο αλλά και γενικότερα στον υπόλοιπο κόσμο την τελευταία δεκαετία είναι αξιοπρόσεκτη και από ότι φαίνεται θα γίνει ακόμα μεγαλύτερη στο κοντινό μέλλον. Η παγκόσμια παραγωγή βιοαερίου είναι αμελητέα σε σύγκριση με τις αντίστοιχες ενεργειακές ανάγκες και ακόμα μικρότερη σε σύγκριση με την παγκόσμια παραγωγή βιοκαυσίμων. Ωστόσο από το 2000, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εφαρμόσει διάφορες πολιτικές για την προώθηση της παραγωγής της. Τα κράτη μέλη της ανέπτυξαν την τελευταία δεκαετία διάφορες μορφές κινήτρων για την υιοθέτηση αυτής της μορφής ενέργειας. Το παραπάνω ενδιαφέρον της Ε.Ε. για την επίτευξη των αυτών των στόχων συνδέεται με τη σταθερή της πρόθεση να παράγει ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προκειμένου να βελτιωθεί η σταθερότητα της ευρωπαϊκής ενεργειακής αγοράς και να μειωθούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που ευθύνονται για την κλιματική αλλαγή. Για τους λόγους αυτούς, η Ε.Ε., τα τελευταία είκοσι χρόνια κατέστη παγκόσμιος ηγέτης στην παραγωγή βιοαερίου με μερίδιο παραγωγής που αντιστοιχεί στο 60% της παγκόσμιας αγοράς. Στην Εικόνα 26 φαίνεται καλύτερα η εν λόγω κατανομή για τη δεκαετία 2012- 2022. [40]

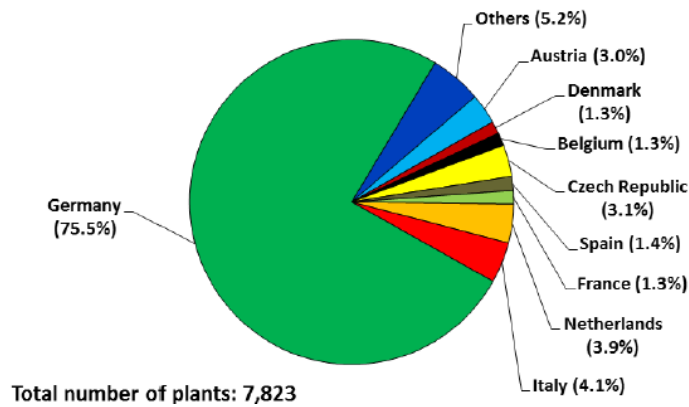
Η παραγωγή βιοαερίου στην Ε.Ε. στοχεύει στην απομάκρυνση από τους παραδοσιακούς χώρους υγειονομικής ταφής των αστικών αποβλήτων, αυξάνοντας την παραγωγή μέσω

μονάδων χώνεψης που τροφοδοτούνται από αυτές ή άλλες πηγές οργανικών αποβλήτων όπως τα υπολείμματα της βιομηχανίας γεωργικών προϊόντων, τα ζωικά απόβλητα και τα γεωργικά κατάλοιπα. Σήμερα, υπάρχουν 7.823 μονάδες παραγωγής συνολικής χωρητικότητας 290 εκατομμυρίων τόνων επεξεργασμένων οργανικών αποβλήτων, με παραγόμενη ισχύ περίπου τις 35.956GWh για το 2011. Η Γερμανία είναι ο αδιαμφισβήτητος ηγέτης στην παραγωγή βιοαερίου με συνεισφορά σε ποσοστό της τάξης του 50,2% της συνολικής παραγωγής στην Ε.Ε., ακολουθούμενη από το Ηνωμένο Βασίλειο, την Ιταλία και τη Γαλλία με συνολικό ποσό που φτάνει μόλις το 31,8%. Είναι επίσης απαραίτητο να σημειωθεί πως στις τρεις αυτές χώρες η παραγωγή βιοαερίου εξακολουθεί να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους χώρους υγειονομικής ταφής, αν και ενθαρρύνονται οι προσπάθειες για την κατασκευή αναερόβιων μονάδων που τροφοδοτούνται από επιλεγμένες βιομάζες.



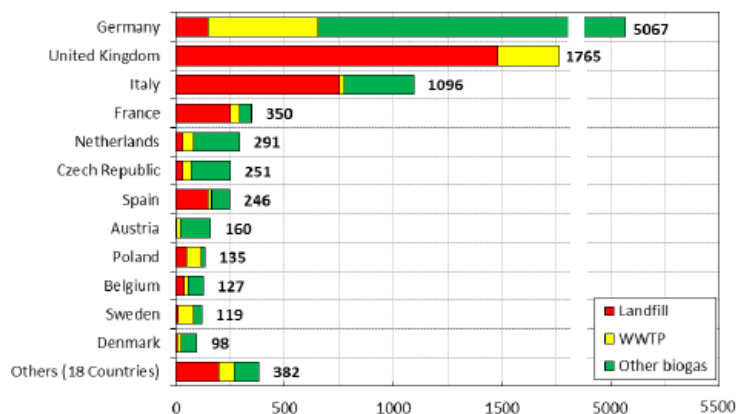
Εικόνα 26: Παραγωγή βιοαερίου από το 2012-2022 ανά τον κόσμο [40]

Ενδεικτικά, την τελευταία δεκαετία, η Γερμανία προώθησε την πιο αξιόπιστη και αποτελεσματική πολιτική όσον αφορά αυτή τη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας, μέσω της κατασκευής πολλών μονάδων πέψης που τροφοδοτούνται από επιλεγμένες οργανικές πηγές. Το 2011 οι αναερόβιοι αντιδραστήρες ανέρχονταν σε 5.905 από τους 7.823 που υπήρχαν στην Ε.Ε., ενώ το ίδιο έτος ανατέθηκαν 1.305 νέες εγκαταστάσεις. Η Εικόνα 27 δείχνει την κατανομή αυτή αναλυτικότερα. [40]



Εικόνα 27: Κατανομή αντιδραστήρων Α.Χ. στην Ε.Ε. [40]

Μια πιο λεπτομερής σύγκριση της παραγωγής βιοαερίου (ανά πηγή και συνολικά) στις χώρες της Ε.Ε. παρουσιάζεται στη Εικόνα 28. Είναι φανερό πως η Γερμανία και η Αυστρία είναι οι χώρες που έχουν σημειώσει τη μεγαλύτερη πρόοδο όσον αφορά την παραγωγή βιοαερίου από εγκαταστάσεις αναερόβιας πέψης σε ποσοστά που αγγίζουν το 87,1 και 87,4% αντίστοιχα. Ακόμα, ενδιαφέροντα είναι τα ποσοστά της Δανίας με 74,6%, της Τσεχίας με 71,8% και των Κάτω Χωρών με συνολικό ποσοστό 71,4%. Το ποσοστό αυτό μειώνεται στο 54,9% για το Βέλγιο, ενώ η Ιταλία και η Ισπανία παρά το γεγονός πως δείχνουν σημαντική πρόοδο τα τελευταία χρόνια, κατέχουν μόνο το 29,5% και το 33,3% της παραγωγής βιοαερίου από αντιδραστήρες αναερόβιας χώνεψης.



Εικόνα 28: Παραγωγή ενέργειας από βιοαέριο από διάφορες πηγές [40]

Τέλος, η πρόοδος στην παραγωγή του βιοαερίου από αναερόβια χώνεψη υποστηρίχθηκε έντονα στις χώρες της Ε.Ε., μέσω διαφόρων κινήτρων πολλά από τα οποία αφορούσαν το μέγεθος της εγκατάστασης και τον τύπο της παραγόμενης ενέργειας. Γενικά τα κίνητρα που χορηγήθηκαν στους παραγωγούς και τους χρήστες του βιοαερίου αφορούσαν: τη χρήση μειωμένου τιμολογίου τροφοδότησης για τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας

από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που κυρίως αφορά στην υποστήριξη μικρών μονάδων παραγωγής, τη μειωμένη φορολόγηση για τη χρήση του βιοαερίου στις μεταφορές και γενικότερα την ευνοϊκότερη μεταχείριση σε παραγωγούς και καταναλωτές της συγκεκριμένης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας.

Άλλωστε, σύμφωνα με το National Renewable European Action Plans (NREAP) η παραγωγή βιοαερίου στην Ε.Ε. αναμένεται να φτάσει τις 325.640.000GWh (3700GWh το χρόνο) έως το 2022. Σημαντική ανάπτυξη εκτιμάται επίσης στην περιοχή της Ασίας, ενώ μικρότερη προβλέπεται για τη Λατινική Αμερική και για την Αφρική, όπου το βιοαέριο θα συνεχίσει να περιορίζεται στην ικανοποίηση των αναγκών πρωτογενούς ενέργειας των αγροτικών περιοχών (φωτισμός-μαγείρεμα) λόγω κυρίως του χαμηλού βιοτικού επιπέδου των χωρών αυτών. [40]

4.2 Χρήσεις βιοαερίου

Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς τρόπους στις μέρες μας, κάποιιοι από τους οποίους κυριαρχούν και είναι:

- Η απευθείας καύση του σε λέβητες για την παραγωγή θερμότητας
- Η επεξεργασία για την παραγωγή βιομεθανίου και χρήση ως καύσιμο κίνησης οχημάτων
- Η αντικατάσταση του ειδικά επεξεργασμένου βιομεθανίου για να αντικαταστήσει το φυσικό αέριο, το οποίο είναι μη ανανεώσιμο καύσιμο και
- Η διοχέτευσή του σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ενέργειας και θερμότητας από ένα σύστημα συμπαραγωγής (ΣΗΘ).

Η αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο, απομακρύνει το διοξείδιο του άνθρακα και τις ακαθαρσίες που υπάρχουν σε αυτό, φέρνοντάς το σε παρόμοια χημική σύσταση με αυτή του φυσικού αερίου. Ως εκ τούτου το βιοαέριο μπορεί να συμπεριληφθεί σε ένα ακόμα μεγαλύτερο φάσμα στον τομέα της ενεργειακής του χρήσης. Γενικά, η αναβάθμιση του βιοαερίου χωρίζεται σε δυο κατηγορίες, στον εμπλουτισμό και χρήση του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα, με το επεξεργασμένο μεθάνιο να επικρατεί στις διάφορες χρήσεις και για το λόγο αυτό στα επόμενα υποκεφάλαια

παρουσιάζονται ορισμένα σενάρια για τις πιθανές χρήσεις του ως επεξεργασμένο βιοαέριο, το λεγόμενο βιομεθάνιο.

4.2.1 Καύσιμο για λέβητες

Το φυσικό αέριο είναι κοινό καύσιμο για τους οικιακούς λέβητες. Το βιοαέριο, όπως προαναφέρθηκε, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική λύση έναντι του φυσικού αερίου με την προϋπόθεση να ακολουθούνται τα σχετικά πρότυπα ασφαλείας [41] για την ορθή του χρήση. Οι οικιακές σόμπες φυσιολογικά τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο κάτω από συγκεκριμένη πίεση και συγκεκριμένα τα 20mbar. Σε αυτή την πίεση, η θερμαντική αξία του φυσικού αερίου είναι πολύ υψηλότερη από την αντίστοιχη του βιοαερίου. Για την αντικατάστασή του, θα πρέπει είτε να αυξηθεί η συγκέντρωση του βιοαερίου σε μεθάνιο κατά 100% χωρίς καμία πρόσθετη μετατροπή στο λέβητα, είτε να εισαχθεί στο λέβητα με την υπάρχουσα συγκέντρωση μεθανίου αλλά με αρκετά αυξημένη πίεση τροφοδοσίας της πενταπλάσιας τάξης του φυσικού αερίου, δηλαδή 100mbar. Επιπλέον, η συγκέντρωση του υδρόθειου (H₂S) που υπάρχει στο βιοαέριο θα πρέπει να διατηρείται σε πολύ χαμηλά επίπεδα χαμηλότερα των 10ppm λόγω των τοξικών και διαβρωτικών του ιδιοτήτων. Στον Πίνακα 12 αναγράφονται οι διαφορές στη σύσταση των δυο αερίων.

Πίνακας 12: Διαφορές στη σύσταση βιοαερίου-φυσικού αερίου [42]

Parameter	Units	Landfill gas	Biogas from AD	Natural gas
Lower heating value	MJ/N m ³	16	23	39
CH ₄	% (mol)	35-65	60-70	85-92
Heavy hydrocarbons	% (mol)	0	0	9
H ₂	% (mol)	0-3	0	-
CO ₂	% (mol)	15-40	30-40	0.2-1.5
H ₂ O	% (mol)	1-5	1-5	-
N ₂	% (mol)	15	0.2	0.3
O ₂	% (mol)	1	0	-
H ₂ S	Ppm	0-100	0-4000	1.1-5.9
NH ₃	Ppm	5	100	-
Total Cl	Mg/N m ³	5	100	-

Η ανοχή ενός λέβητα κατά την καύση του βιοαερίου είναι μεγάλη και το γεγονός αυτό προσφέρει τη δυνατότητα χρήσης του χωρίς καμία προ-επεξεργασία. Αρκετοί μεγάλοι λέβητες είναι εξοπλισμένοι με συστήματα αποθείωσης καυσαερίων, δηλαδή δεν απαιτείται η απομάκρυνση του διαβρωτικού θείου από το ακατέργαστο βιοαέριο. Ωστόσο, οι περισσότερες μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) απαιτούν τη στάθμη του H_2S να είναι αυστηρά κάτω από 250 ppm για την αποφυγή της εκτεταμένης διάβρωσης του λέβητα και της φθοράς του λιπαντικού ελαίου μόνωσης. Συμπερασματικά, οι υψηλές απαιτήσεις για την καθαρότητα του μεθανίου για τη χρήση του βιοαερίου καθιστούν την επεξεργασία του, μάλλον αναγκαία για την καλύτερη ενεργειακή του απόδοση. Η τεχνολογική οδός που θα ακολουθηθεί για την παραπάνω επεξεργασία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες κυρίως οικονομικής φύσεως και ειδικότερα για το H_2S το οποίο περιέχεται σε σημαντικό ποσοστό στη σύσταση του βιοαερίου ώστε να διαβρώσει και να καταστρέψει ολόκληρο το λέβητα αν υπάρχει σε συγκεντρώσεις πάνω του προτεινόμενου για αυτόν ορίου. [42]

4.2.2 Καύσιμο για κινητήρες και αεροστροβίλους

Οι παλινδρομικοί κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι οποίοι είναι οι πιο διαδεδομένοι κινητήρες, έχουν ιστορία στο να χρησιμοποιούν βιοαέριο ως καύσιμο για τη λειτουργία τους. Φυσιολογικά, μπορούν να λειτουργήσουν με ένα μίγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα με το κατώτερο ποσοστό σε μεθάνιο να είναι το 21%, προκειμένου να διατηρηθούν οι συνθήκες για την βέλτιστη καύση. Στην πραγματικότητα αυτού του τύπου οι μηχανές συχνά απαιτούν περισσότερο απ 30% περιεκτικότητα σε μεθάνιο για να προσεγγίσουν τη βέλτιστη καύση. Για παράδειγμα, ο κινητήρας Stirling που είναι μια μηχανή εσωτερικής καύσης με υψηλή απόδοση, μπορεί να χρησιμοποιήσει το βιοαέριο ως καύσιμο με ελάχιστη συγκέντρωση 35% σε μεθάνιο για την αποδοτικότερή του χρήση.

Το βιοαέριο μέχρι στιγμής δεν έχει χρησιμοποιηθεί ως συμβατικό καύσιμο για αεροστροβίλους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως ο τυπικός στάσιμος στρόβιλος καύσης λειτουργεί με ισχύ 5MW και πλέον, μια ανάγκη που μια τυπική εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου δε μπορεί εύκολα να καλύψει. Γενικότερα, αν και δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις όσον αφορά τη συγκέντρωση του βιοαερίου σε μεθάνιο για τη χρήση του σε

αεροστροβίλους, η χαμηλή θερμοδογόνος δύναμή του αποτελεί τροχοπέδη για την χρησιμοποίησή του σε συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ), ειδικότερα αν το μεθάνιο βρίσκεται σε αρκετά χαμηλά ποσοστά. Άλλωστε, οι κινητήρες και οι αεροστρόβιλοι θα μπορούσαν να πετύχουν υψηλότερη απόδοση αυξάνοντας τη συγκέντρωση του μεθανίου, παρόλο που δεν είναι υποχρεωτική η αναβάθμισή του. Το ερώτημα, όμως είναι το ποια τεχνολογία αναβάθμισης θα πρέπει να ακολουθηθεί ώστε να γίνει η αντιστάθμιση κόστους και απόδοσης για τη βελτιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας.

Πέρα όμως από τα ποσοστά του μεθανίου, η συγκέντρωση του υδρόθειου πρέπει να είναι εντός των επιτρεπτών ορίων δηλαδή μεταξύ 200-1000ppm, ανάλογα με το μέγεθος του στροβίλου, προκειμένου να διασφαλιστεί η ομαλή του λειτουργία. Λόγω του χαμηλού κόστους μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική αποθείωσης του βιοαερίου, το οποίο όντας διαβρωτικό ή ακόμα και τοξικό, θα μπορούσε να οδηγήσει σε πλήρη αστοχία στη λειτουργία του στροβίλου, ειδικότερα αν αναφερόμαστε σε μικροστροβίλους. [42]

4.2.3 Καύσιμο για οχήματα

Το ενδιαφέρον για τη χρήση του βιοαερίου ως καύσιμο σε οχήματα έχει αυξηθεί ειδικότερα τα τελευταία χρόνια και κυρίως στις χώρες της Βόρειας Ευρώπης, όπως η Σουηδία. Η ανάγκη όμως για την αναβάθμισή του ώστε να πληρούνται οι προδιαγραφές για τη ομαλή του χρήση σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Energiforsk, μιας ενεργειακής Σουηδικής εταιρίας πρωτοπόρας στον τομέα[43], φαίνεται να αποτελεί ακόμα εμπόδιο στην πιο ευρεία του διάδοση ως καύσιμο οχημάτων. Ο Πίνακας 13 δείχνει την προτεινόμενη σύσταση του βιοαερίου για τη συγκεκριμένη χρήση.

Ως εκ τούτου, μια σχετικά υψηλότερη συγκέντρωση μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο, είναι απαραίτητη για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε σύγκριση με την έγχυσή του στο δίκτυο του φυσικού αερίου, όπως επίσης προτείνεται και η υψηλότερη συγκέντρωση υδρογόνου για τη συγκεκριμένη χρήση. Πιο συγκεκριμένα και μελετώντας τον Πίνακα 13, διαπιστώνεται πως το ποσοστό αυτό πρέπει να προσεγγίζει το 95- 97% μεθανίου.

Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά ποιότητας βιοαερίου [42]

	EU	USA	E.ON
Min. CH ₄ (% mol)	70-98	93.5-95.5	>96
Max. CO ₂ (% mol)	1-8	2-3	3
Max. O ₂ (% mol)	0.01-1	0.2-3	1
Max. N ₂ (% mol)	2-10	-	5
Max. H ₂ (% mol)	0.1	0.1	4
Max. H ₂ S	2-15 mg/m ³	6-88 mg/m ³	5 mg/m ³
Max. Total sulphur	10-150 mg/m ³	265 mg/m ³	-
Water dew point	-5°C/8.4mPa -0°C	-	-
Water content	0.05-1 g/m ³	65 mg/m ³	-

Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτού εντοπίζονται στο γεγονός πως τα συγκεκριμένα αυτοκίνητα είναι εμφανώς πιο αθόρυβα από τα συμβατικά και δεύτερον πως οι ρύποι τους είναι σαφώς μειωμένοι καθώς το βιοαέριο που τείνει να προσομοιώσει το φυσικό αέριο κάνει καλύτερη καύση από ένα βενζινοκινητήρα ή ακόμα χειρότερα ένα πετρελαιοκινητήρα. Ενδεικτικό παράδειγμα όπως αναφέρθηκε, αποτελεί η Σουηδία που είναι πρωτοπόρα στον τομέα και σήμερα κυκλοφορούν 4.000 οχήματα με τον τρόπο αυτό σε ολόκληρη τη χώρα και ο αριθμός αυξάνεται συνεχώς. [29,42]

4.2.4 Χρήση σε κυψέλες καυσίμου

Οι **κυψέλες καυσίμων** είναι ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν ένα είδος καυσίμου που εισέρχεται σε αυτές σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο ηλεκτρισμός παρέχεται με συνεχές ρεύμα. Η πρώτη κυψέλη δημιουργήθηκε το 1839 από τον Sir William Grove. Μια τυπική κυψέλη καυσίμου, συνδυάζει το υδρογόνο ως καύσιμο και το οξυγόνο για τη συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Αποτελούνται από δυο

ηλεκτρόδια, την αρνητική άνοδο και τη θετική κάθοδο, τα οποία χωρίζονται από τον ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης είναι ένα πολυμερές υλικό που επιτρέπει τη διέλευση των ιόντων αλλά όχι των ηλεκτρονίων στη συνολική διαδικασία της παραγωγής της ενέργειας. Ένα είδος καυσίμου που περιέχει υδρογόνο (το βιοαέριο στην προκειμένη περίπτωση), εισάγεται στην πλευρά της ανόδου, όπου τα θετικά φορτισμένα ιόντα του ελευθερώνονται και μέσω του ηλεκτρολύτη φτάνουν στην κάθοδο, όπου ενώνονται με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και το οξυγόνο και παράγεται νερό. Στη συνέχεια, επιτυγχάνεται ο ιονισμός του υδρογόνου με τη βοήθεια ενός καταλύτη υψηλής αγωγιμότητας. Η παραγωγή ενέργειας θα συνεχίζεται για όσο είναι δυνατός ο ανεφοδιασμός με το εν λόγω καύσιμο. Ολόκληρη η διαδικασία είναι ηλεκτροχημική και όχι καύση, οπότε είναι καθαρή, ήσυχη και υψηλής απόδοσης, σχεδόν δυο με τρεις φορές πιο αποτελεσματική της παραγωγής από καύση. Τέλος, το υψηλό κόστος κατασκευής και η ελάχιστη διάρκεια ζωής τους, είναι η βασικοί λόγοι για τους οποίους εμποδίζεται η ευρεία τους διάδοση. [29]

Όπως προαναφέρθηκε, το καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας από κυψέλες καυσίμων μπορεί να είναι υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, φυσικό αέριο, διάλυμα νερού/μεθανόλης ή και βιοαέριο (βιομεθάνιο). Υπάρχουν πολλά είδη κυψελών και αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 14 και διαφοροποιούνται ανάλογα με τη θερμοκρασία λειτουργίας τους, τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιούν, τον ηλεκτρολύτη που χωρίζει τα δυο της ηλεκτρόδια, την παραγόμενη ισχύ και τις διάφορες εφαρμογές της. Οι δυο πιο ευρέως διαδεδομένοι τύποι είναι ο MCFC (molten carbonate fuel cell) και ο SOFC (solid oxide fuel cell), οι οποίοι χρησιμοποιούν σαν καύσιμο το φυσικό αέριο ή το βιοαέριο που το προσομοιώνει σε αρκετά μεγάλο βαθμό. Οι θερμοκρασίες λειτουργίας τους κυμαίνονται από 600–1000°C και ο βαθμός απόδοσης τους είναι περίπου 50-60%. Η βασική τους διαφορά εντοπίζεται στο γεγονός πως ο MCFC παράγει πολύ περισσότερη ενέργεια από τον SOFC αναλογικά με την εισαγωγή του αντίστοιχου καυσίμου και για το λόγο αυτό ο πρώτος τύπος κυψέλης χρησιμοποιείται περισσότερο στην εμπορική και βιομηχανική παραγωγή ενώ ο δεύτερος στην οικιακή.

Πιο λεπτομερής ανάλυση για τη λειτουργία των κυψελών καυσίμων παρουσιάζεται στο[44].

Πίνακας 14: Είδη κυψελών καυσίμου [29]

	AFC	PEMFC	DMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Ηλεκτρολύτης	Υδροξείδιο του καλίου	Πολυμερές	Πολυμερές	Φωσφορικό οξύ	Μίγμα ανθρακικών αλκαλίων	Σταθεροποιημένο ζιρκόνιο
Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C)	60-90	70-100	90	150-220	600-700	650-1000
Θερμότητα από συμπαραγωγή	Καθόλου	Χαμηλής ποιότητας	Καθόλου	Αποδεκτή για αρκετές εφαρμογές	Υψηλή	υψηλή
Βαθμός απόδοσης	50-70%	40-50%	25-40%	40-45%	50-60%	50-60%
Καύσιμο	H ₂ Απαραίτητη η απομάκρυνση CO ₂ από τα αέρια της ανόδου και της καθόδου	H ₂ Αν αυτό προέρχεται από αναμόρφωση, η περιεκτικότητά σε CO να είναι <10ppm	Διάλυμα νερού/μεθανόλης	H ₂ Και από αναμόρφωση	H ₂ , CO, Φυσικό αέριο	H ₂ , CO, Φυσικό αέριο
Ισχύς	Μέχρι 20kW	Μέχρι 250kW	<10kW	>50kW	>1MW	>200kW
Εφαρμογές	Μικρές μονάδες. Χρήση σε διαστημικές εφαρμογές	Οικιακή και εμπορική παραγωγή. Συστήματα κίνησης οχημάτων	Φορητές συσκευές	Εμπορική παραγωγή. Μεγάλα οχήματα (λεωφορεία)	Εμπορική και βιομηχανική παραγωγή. Μονάδες	Οικιακή, εμπορική και βιομηχανική παραγωγή (μεγάλη ισχύς)

					μεγάλης ισχύος	
Χρόνος εκκίνησης (h)	<0.1	<0.1	<0.2	1-4	>10	5-10

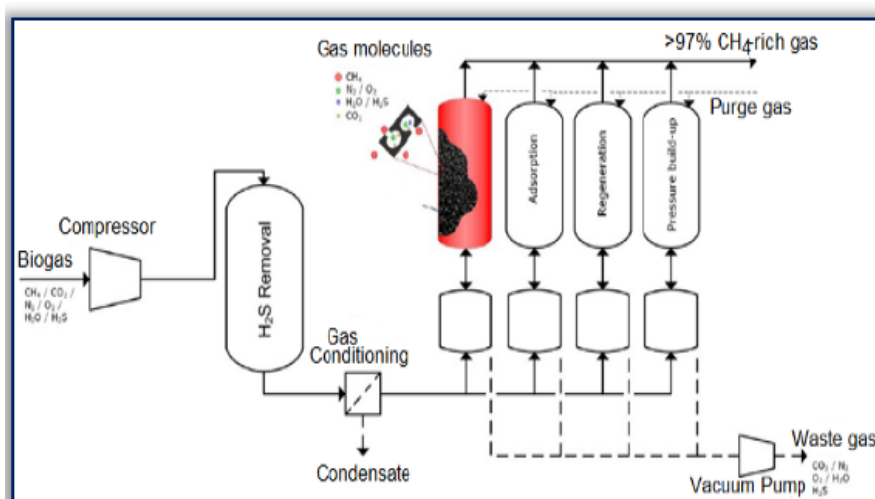
4.3 Αναβάθμιση βιοαερίου και χρήση του ως βιομεθάνιο

Όπως προαναφέρθηκε το βιοαέριο προσφέρει μια αρκετά μεγάλη ποικιλία επιλογών για την αξιοποίησή του, από καύση σε συμβατικούς λέβητες έως και τη χρήση σε κυψέλες καυσίμου. Η πλέον διαδεδομένη όμως, και λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός της συγγενικότητάς του με το φυσικό αέριο λόγω της παρόμοιας χημικής τους σύστασης, είναι η έγχυσή του στο δίκτυο του φυσικού αερίου και η χρήση του ως ένα υποκατάστατό του. Για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι απαραίτητη η προεπεξεργασία του βιοαερίου για τον εξαγνισμό του από τις αχρειαστες και επικίνδυνες ουσίες που περιέχει, όπως το υδρόθειο και ο εμπλουτισμός του ώστε το προκύπτον βιομεθάνιο να είναι αντάξιας χημικής σύστασης και αποδοτικότητας του φυσικού αερίου.

Ο καθαρισμός του βιοαερίου είναι μια διαδικασία συγκράτησης ανεπιθύμητων συστατικών του προτού χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε εφαρμογή του. Οποιοσδήποτε και να είναι άλλωστε ο τελικός προορισμός του, είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθεί σε ακατέργαστη κατάσταση, καθώς το μοναδικό ανακυκλώσιμο συστατικό του είναι το μεθάνιο. Οι ουσίες που κατά κύριο λόγο απομακρύνονται είναι τα διοξείδιο του άνθρακα, το νερό και το τοξικό υδρόθειο. Ο κύριος λόγος της βελτίωσης της ποιότητάς του είναι η ανάγκη να πληρούνται οι Ευρωπαϊκές απαιτήσεις για τη σύσταση του αερίου ως καύσιμο σε οποιαδήποτε μηχανή παραγωγής. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σήμερα περιλαμβάνουν την προσρόφηση (Adsorption), τη βιο-διήθηση (Bio Filtration), τη χρήση πεπιεσμένου νερού (Pressurized Water Scrubbing) και την ψύξη (Refrigeration), οι οποίες και αναλύονται στη συνέχεια. [45]

- Προσρόφηση (Adsorption): Η προσρόφηση είναι η διαδικασία κατά την οποία, το βιοαέριο διαπερνά μια στερεή και πολύ πορώδη επιφάνεια στην οποία προσκολλώνται τα ζητούμενα μόρια των ανεπιθύμητων ενώσεων του αερίου. Η επιφάνεια επειδή είναι τόσο πορώδης, αυξάνει σημαντικά την ικανότητα της

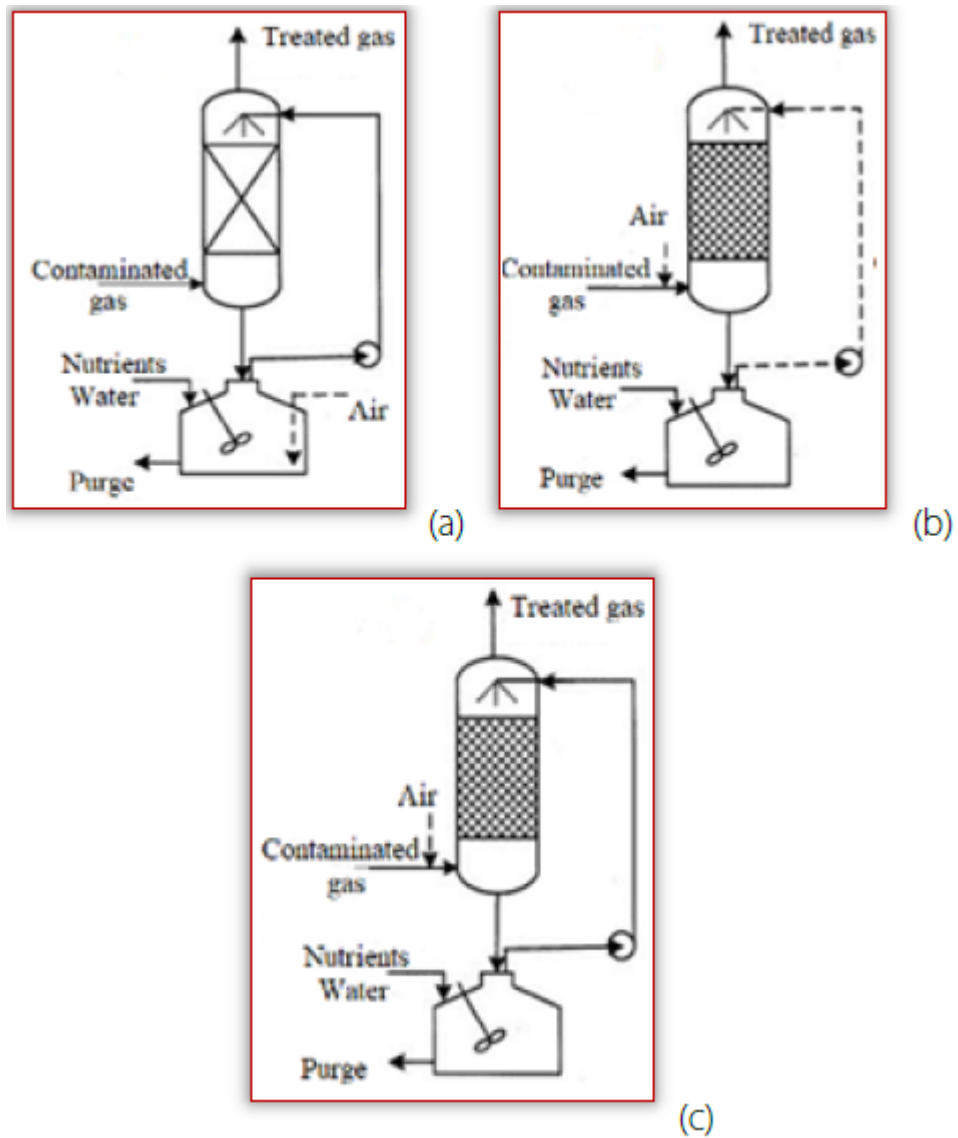
συλλογής των παραπάνω ουσιών. Η προσρόφηση είναι μια μέθοδος για το διαχωρισμό του διοξειδίου του άνθρακα από το μεθάνιο με τη χρήση ζεόλιθου ή ενεργού άνθρακα. Συνήθως, οι απορροφητικές επιφάνειες αποτελούνται από ζεόλιθο ή μοριακό κόσκινο από άνθρακα απλά από ενεργό άνθρακα, λόγω του χαμηλού τους κόστους, του μεγάλου όγκου των πόρων και εξαιρετική θερμική σταθερότητά τους απαραίτητη για τη διαδικασία. Επίσης, είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε το μέγεθος των πόρων του να είναι μικρότερο από τα μόρια των ουσιών που επιθυμείται να μην την περάσουν και να περάσει το καθαρότερο αέριο. Στην Εικόνα 29 παρουσιάζεται η προσρόφηση με τη χρήση μοριακών κοσκίνων άνθρακα υπό συγκεκριμένη πίεση. Τέλος, το απορροφητικό υλικό πρέπει να αντικατασταθεί τη στιγμή που θα έχει γεμίσει από τις ζητούμενες ουσίες ή όταν έχει χρησιμοποιηθεί για αρκετές φορές. Αυτό βέβαια αυξάνει το συνολικό κόστος αλλά κρίνεται αναγκαίο. [45]



Εικόνα 29: Διαδικασία προσρόφησης [45]

- Βιο-Διήθηση (Bio-Filtration): Η βιο-διήθηση βασίζεται στο φυσικό βιολογικό μεταβολισμό των βακτηρίων του οξειδίου του θείου, όπου μετατρέπεται το υδρόθειο σε στοιχειακό θείο ή θειικό άλας. Τα συγκεκριμένα συστήματα σχεδιάζονται για να εξασφαλιστεί υψηλή πυκνότητα μικροβίων με σκοπό τη μεγιστοποίηση της επαφής μεταξύ των μικροοργανισμών και του αερίου τροφοδοσίας. Ένα βιολογικό φίλτρο συνδυάζει τον καθαρισμό του νερού και τη βιολογική αποθείωση, όπου το βιοαέριο πριν την είσοδό του σε αυτό, αναμιγνύεται με αέρα σε ποσοστό 4 με 6%. Τα συστήματα βιο-διήθησης μπορούν να ρυθμιστούν σε τρεις διαφορετικές διατάξεις, στο βιο-συμπιεστή, στο βιο-

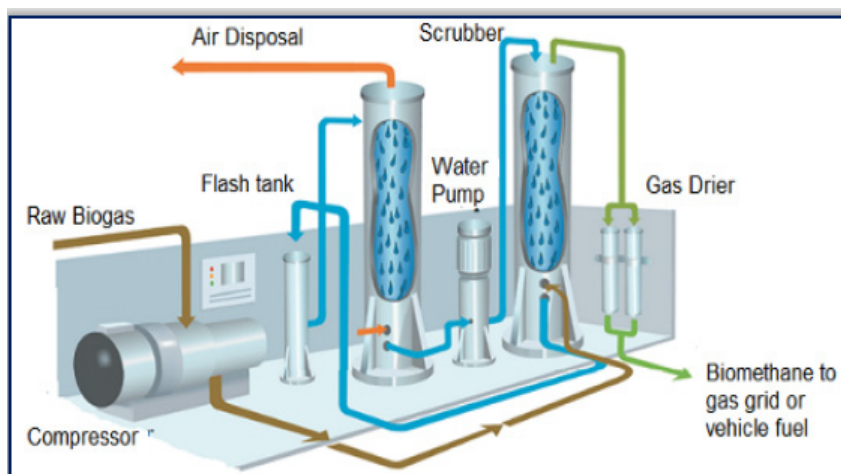
φίλτρο και στο φίλτρο βιολογικού ψεκασμού όπως φαίνονται στην Εικόνα 30. Σε ένα βιο-συμπιεστή οι διάφοροι ρύποι απορροφώνται από ένα υγρό που ρέει αντίστροφα της στήλης απορρόφησης που περιέχει. Το υγρό στη συνέχεια αποστέλλεται σε βιο-αντιδραστήρα ειδικών μικροβίων όπου και θα γίνει η αποικοδόμηση των ρύπων. Ένα βιο-φίλτρο περιέχει ένα οργανικό υλικό που διεγείρει την ανάπτυξη ενός βιο-φιλμ μέσω του οποίου το υγροποιημένο αέριο αντλείται. Οι ανεπιθύμητες ουσίες του βιοαερίου προσκολλώνται στο βιο-φιλμ και αλληλεπιδρούν στο σημείο εκείνο με τα μικρόβια για την επίτευξη του εξαγνισμού τους.



Εικόνα 30: Διαδικασία βιο-διήθησης α) Βιοσυμπιεστής β) Βιοφίλτρο γ) Φίλτρο βιολογικού ψεκασμού [45]

Η Τρίτη διάταξη, το φίλτρο βιολογικού ψεκασμού, επιτελεί παρόμοια λειτουργία με το βιο-φίλτρο. Τέλος, τα συγκεκριμένα συστήματα είναι αποτελεσματικά για τον εξαγνισμό τόσο χαμηλών όσο και υψηλών επιπέδων υδρόθειου, δηλαδή από 50-100ppm έως 2000-4000ppm με αποτέλεσμα την απομάκρυνσή του σε ποσοστά από 89-99,9% και με ρυθμό 20-125g H₂S/m³/hour. Η ιδανική θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι οι 30°C σε ουδέτερο pH, περιβάλλον δηλαδή ιδανικό για τη βακτηριακή ανάπτυξη. [45]

- Πεπιεσμένο νερό (Pressurized Water Scrubbing): Ο καθαρισμός του βιοαερίου από νερό υπό υψηλή πίεση, αποτελεί μια από τις πιο χρησιμοποιούμενες μεθόδους επεξεργασίας του. Οι ρυπογόνες ενώσεις του, μπορούν να διαλυθούν σε ένα υγρό διάλυμα. Το σχηματικό διάγραμμα αυτής της μεθόδου φαίνεται στην Εικόνα 31.



Εικόνα 31: Διαδικασία εξαγνισμού μέσω νερού υψηλής πίεσης [45]

Για την ενίσχυση της απορρόφησης του διοξειδίου του άνθρακα και του υδρόθειου, το βιοαέριο συνήθως συμπιέζεται στα 900- 1200 kPa και στη συνέχεια εισάγεται στο δοχείο του απορροφητήρα. Στο εσωτερικό του, το βιοαέριο ρέει αντίστροφα της ροής του νερού, το οποίο ψεκάζεται από την κορυφή του και σταδιακά ξεκινά η διαδικασία. Το ακατέργαστο βιοαέριο εισάγεται στο κάτω μέρος της στήλης και ρέει προς τα πάνω, ενώ το νερό εισάγεται στην κορυφή της στήλης και ρέει προς τα κάτω. Οι συνθήκες του απορροφητήρα επιτρέπουν την αποτελεσματική επαφή μεταξύ του νερού και του

αερίου για τη διαδικασία της απορρόφησης. Είναι πολύ σημαντικό να αφαιρεθεί πρώτα το υδρόθειο και στη συνέχεια το διοξείδιο του άνθρακα καθώς το πρώτο είναι ιδιαίτερα διαβρωτικό και θα έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη διάρκεια ζωής για το συνολικό σύστημα εξαγνισμού. Στο τέλος της διαδικασίας το παραγόμενο αέριο περιέχει συγκέντρωση μεγαλύτερη του 96% σε μεθάνιο.

Επίσης, η διαδικασία μέσω καθαρισμού από νερό, είναι η πλέον εφαρμόσιμη για τον καθαρισμό του διοξειδίου του άνθρακα σε γεωργικά περιβάλλοντα, λόγω της απλότητας, του χαμηλού κόστους και της χαμηλής του τοξικότητας. Ακόμα ένα πλεονέκτημα εντοπίζεται στο γεγονός της εύκολης διάθεσης του νερού για τον εξαγνισμό του αερίου, σε αντίθεση με την πιθανή δύσκολη και πολλές φορές πολυδάπανη εύρεση χημικών ουσιών που απαιτούν άλλες διαδικασίες καθαρισμού για τη λειτουργία τους.

Το μειονέκτημά του, τέλος, είναι πως είναι λιγότερο αποτελεσματικό από τις υπόλοιπες διαδικασίες, τόσο από την άποψη απώλειας μεθανίου, όσο και της ενέργειας. [45]

- Ψύξη (Refrigeration): Η ψύξη του αερίου είναι η απλή διαδικασία κατά την οποία αφαιρείται η υγρασία από αυτό κάτω υπό πολύ χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας. Όταν το αέριο ψύχεται τυπικά σε μια θερμοκρασία της τάξεως από -18 έως και -2°C , οι υδρατμοί συμπυκνώνονται και με τον τρόπο αυτό είναι εύκολη η συλλογή των ρύπων για αφαίρεση. Όσο πιο κοντά είναι η ψύξη του αερίου στο απόλυτο μηδέν τόσο πιο εύκολη γίνεται και η αφαίρεση οποιασδήποτε ουσία από αυτό. Δυστυχώς, όμως η προσέγγιση σε αυτό το σημείο είναι τόσο δαπανηρή που αποφεύγεται. Ομοίως με τις υπόλοιπες διαδικασίες εξαγνισμού, το υδρόθειο, όντας το πιο τοξικό στοιχείο του βιοαερίου, πρέπει να αφαιρείται πριν από την ψύξη για την προστασία κι την ευκολότερη συντήρηση των μονάδων ψύξης. [45]

Στον Πίνακα 15 παρουσιάζεται η σύγκριση των παραπάνω διεργασιών εξάλειψης των ανεπιθύμητων ουσιών του ακατέργαστου βιοαερίου, κάθε μια από τις οποίες μπορεί να αντιμετωπίσει το πρόβλημα σε διαφορετικό βαθμό. Με "*" δηλώνεται η αφαίρεση της

ουσίας σε κάποιο βαθμό, ενώ με ‘**’ δηλώνεται η σαφής αφαίρεση της ουσίας σε ικανοποιητικότερο βαθμό της προηγούμενης.

Πίνακας 15: Διαδικασία εξαγνισμού βιοαερίου [45]

Biogas Cleaning Process	H ₂ S	O ₂	N ₂	VOCs	NH ₃	Siloxanes	H ₂ O
Adsorption	**	/	-	**	*	**	**
Water Scrubbing	**	--	--	**	**	**	--
Biofiltration	**	--	--	**	/	/	--
Refrigeration	/	-	-	/	**	*	**

4.4 Οικονομική αξιολόγηση αναβάθμισης του βιοαερίου

Η σχετική τεχνική διαθεσιμότητα, λειτουργία και συντήρηση των διαφόρων τεχνολογιών αναβάθμισης του βιοαερίου συγκεντρώνονται στον Πίνακα 16.

Πίνακας 16: Οικονομική ανάλυση αναβάθμισης του βιοαερίου [46]

Technology	Technical availability per year (%)	Maintenance cost (Euro/year)	Cost (Euro/m ³)
PSA(Adsorption)	94	56.000	0.26
HPWS (Water scrubbing)	96	15.000	0.15
MS (Bio-filter)	98	25.000	0
CS(Refrigeration)	0	0	0.4

Η διαθεσιμότητα διαχωρισμού μεμβράνης (Bio filter), καθαρισμού νερού (Water scrubbing) και ψύξης (refrigeration) είναι η υψηλότερη, λόγω του χαμηλού κόστους συντήρησής τους. Αξίζει να σημειωθεί πως οι οικονομικές διαφορές στις διάφορες τεχνολογίες ποικίλει. Το κόστος συντήρησης αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες για την επιλογή κάποιας τεχνολογίας αναβάθμισης, καθώς η επιλογή αυτή αυξάνει αρκετά το λειτουργικό κόστος της διαδικασίας. Ένας επιπρόσθετος παράγοντας για την επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας εξαγωγισμού του βιοαερίου, είναι η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την εκάστοτε λειτουργία. Ο Πίνακας 17 συνοψίζει τις ενεργειακές απαιτήσεις των διαφόρων τεχνολογιών και καταλήγει στο συμπέρασμα πως ο καθαρισμός νερού (Water scrubbing) και η ψύξη (refrigeration) είναι οι φθηνότερες επιλογές. Αντίθετα, η προσρόφηση (Adsorption) καθιστά τη διαδικασία δαπανηρή λόγω της ανάγκης για συχνή εναλλαγή στις απορροφητικές της επιφάνειες. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στη συνολική δαπάνη παίζει και το μέγεθος της χωρητικότητας του εργοστασίου όπου συμβαίνει η αναερόβια χώνεψη για την παραγωγή βιοαερίου, δηλαδή όσο μικρότερη είναι αυτή, τόσο υψηλότερο θα είναι και το κόστος. [46]

Πίνακας 17: Ενεργειακές απαιτήσεις για τις τεχνολογίες αναβάθμισης [46]

Technology	Energy requirement (KWh/m ³ of upgraded biogas)		
	Experiment_1	Experiment_2	Experiment_3
PSA (Adsorption)	0.5-0.6	0.24	0.285
HPWS (Water scrubbing)	0.3	0.2	0.391
MS (Bio-filter)	0.0	0.19	0.0
CS	0.0	0.0	0.42

(Refrigeration)			
-----------------	--	--	--

Πιο συγκεκριμένα, για ένα εργοστάσιο χαμηλής χωρητικότητας θα χρησιμοποιηθεί ο ίδιος αριθμός αισθητήρων, αγωγών και γενικότερα εξοπλισμού με ένα αντίστοιχο μεγαλύτερης χωρητικότητας, οπότε στη βιομηχανία προτιμώνται οι μεγαλύτερες μονάδες από οικονομικής άποψης. Στον Πίνακα 18 παρουσιάζονται ενδεικτικά κόστη για την επιλογή της κάθε τεχνολογίας αναβάθμισης του ακατέργαστου παραγόμενου βιοαερίου. Οι οικονομικές απαιτήσεις των παραπάνω διεργασιών αναβάθμισης του βιοαερίου ποικίλουν και σε κάποιες περιπτώσεις είναι αυξημένες. Η ανάγκη, όμως για τον εμπλουτισμό και τον εξαγνισμό του παραγόμενου ακατέργαστου βιοαερίου για τις διάφορες χρήσεις του, είναι ουσιαστική και για το λόγο αυτό επιβάλλονται. Η παραπάνω επιλογή τα τεχνολογίας για τον καθαρισμό του και τη μετέπειτα χρήση του ως βιομεθάνιο, αποτελεί μέρος της ευρύτερης οικονομικής μελέτης μιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου και παρουσιάζεται αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 5. [46]

Πίνακας 18: Κόστος επένδυσης σε κάθε τεχνολογία αναβάθμισης [46]

Technology	Cost
PSA (Adsorption)	0.40 Euros/N m ³ of biogas Capital costs for 250,500,600 and 1000m ³ /h are 5.5 3.2,2.4 and 2.2 kUSD/(m ³ /h)
HPWS (Water scrubbing)	0.13 Euros/N m ³ of biogas Capital costs for 250,500,600 and 1000m ³ /h are 1.22 2.7,2.78 and 2 kUSD/(m ³ /h)
MS (Bio-filter)	0.12 Euros/Nm ³ of biogas Capital costs for 100,600 and 700-1400m ³ /h are 6.6 2.5 and 2.2 kUSD/(m ³ /h)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ 1,5MW- ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας ενός εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του παραγόμενου βιοαερίου, κρίθηκε απαραίτητη η μελέτη μιας υπάρχουσας μονάδας στην περιοχή της Θεσσαλίας. Ο ιδιοκτήτης και ο υπεύθυνος επιβλέπων μηχανικός μου έδωσαν την ευκαιρία να μελετήσω από κοντά τη διαδικασία της παραγωγής του αναλυτικά, μου έδωσαν αριθμητικά δεδομένα, τα οποία αναφέρονται παρακάτω, αφορούν τη λειτουργία του και σε συνδυασμό με τις γνώσεις που έλαβα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που προηγήθηκε, προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα για τη συγκεκριμένη μορφή ΑΠΕ. Στην Εικόνα 32 φαίνεται η εν λόγω μονάδα.

5.1 Περιγραφή εργοστασίου

Το εν λόγω εργοστάσιο όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, βρίσκεται στην περιοχή της Θεσσαλίας. Η αιτία για την επιλογή της συγκεκριμένης τοποθεσίας εντοπίζεται στο γεγονός της άμεσης ανάγκης του για ανατροφοδότηση σε πρώτη ύλη ώστε να επιτυγχάνεται η αδιάκοπή του λειτουργία. Η παραπάνω ανάγκη καλύπτεται καθώς ο Θεσσαλικός κάμπος είναι πλούσιος σε σιτηρά και ειδικότερα σε καλλιέργειες καλαμποκιού, όπως επίσης αριθμεί χιλιάδες χοιροστάσια και βουστάσια, τα λύματα των οποίων αποτελούν τις κύριες πηγές πρώτης ύλης για αυτό. Βέβαια η διαθεσιμότητά τους δεν είναι πάντοτε εξασφαλισμένη με αποτέλεσμα τη στρόφη σε διαφορετικές πηγές, όπως λύματα προβάτων ή απόβλητα βιομηχανιών γάλακτος με σαφώς χαμηλότερη ενεργειακά απόδοση για την παραγωγή του αερίου. Είναι γεγονός πως υπάρχουν και πρώτες ύλες που από την οπτική της ενεργειακής απόδοσης είναι σαφώς καλύτερες από τις προαναφερθείσες που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη μονάδα και χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ελαιόλαδο, το οποίο έχει σχεδόν την τριπλάσια απόδοση από το καλαμπόκι, αλλά το υψηλό κόστος παραγωγής και εμπορίας τους τις καθιστά απρόσιτες.

Η ονομαστική ισχύς της συγκεκριμένης μονάδας ανέρχεται στο 1,5MW και η χρήση του παραγόμενου βιοαερίου είναι ως καύσιμο για τη μηχανή του εργοστασίου, η οποία θα το χρησιμοποιήσει για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια που θα εγχυθεί απευθείας στο δίκτυο της ΔΕΗ. Η λειτουργία της ξεκίνησε πριν δυο χρόνια και για το λόγο αυτό οι εγκαταστάσεις της (Εικόνα 32) περιορίζονται στα απαραίτητα για την παραγωγή ενέργειας. Για την εκκίνηση των αντιδράσεων της ζύμωσης στους αντιδραστήρες, χρησιμοποιήθηκαν 1000m³ ήδη χωνευμένου υλικού (μίγματος) από υπάρχων εργοστάσιο παραγωγής βιοαερίου, το οποίο βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία. Τα μακροπρόθεσμα σχέδιά της είναι η δημιουργία βοηθητικής μονάδας επεξεργασίας του πολτοποιημένου μίγματος (κομπόστ), όπου το προϊόν μετά από συγκεκριμένη επεξεργασία θα καθαρίζεται και είτε μέρος αυτού θα επαναχρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη, είτε θα παράγεται ένα γεωργικό λίπασμα υψηλής ποιότητας, μέσω της πώλησης του οποίου θα υπάρχει επιπρόσθετη συνεισφορά στην αύξηση της εισροής των εσόδων.



Εικόνα 32: Μονάδα βιοαερίου 1,5 MW

5.1.1 Εξοπλισμός – Λειτουργία

Η μονάδα, λοιπόν, αποτελείται από τρεις κύριους αντιδραστήρες που επικοινωνούν μεταξύ τους και όπου λαμβάνει χώρα η ζύμωση των πρώτων υλών. Το ύψος του κάθε αντιδραστήρα φτάνει τα εννιά μέτρα και ο θόλος τους καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγής του αερίου δεν ξεπερνά τα επτά. Οι χωνευτήρες είναι τύπου

φουσκώματος (Floating Drum Digesters) και η παραγωγή του αερίου όπως και η ανατροφοδότηση είναι συνεχείς. Το μίγμα της πολτοποίησης φτάνει τα οκτώ μέτρα σε ύψος και ανά τακτά χρονικά διαστήματα ανακατεύεται μέσω τεσσάρων μηχανικών αναδευτήρων που είναι τοποθετημένοι περιμετρικά του κάθε αντιδραστήρα. Αυτό βοηθά την αποφυγή δημιουργίας ιζήματος στους πυθμένες τους και ενισχύεται έτσι η παραγωγή σε βιοαέριο. Οι χωνευτήρες επικοινωνούν μέσω συνδεδεμένων σωληνώσεων, στους οποίους ρέει το ακατέργαστο βιοαέριο με τελικό προορισμό τη μηχανή παραγωγής ενέργειας του εργοστασίου, η οποία και θα το χρησιμοποιήσει ως καύσιμο για να λειτουργήσει. Πριν, όμως φτάσει εκεί, σε όλο το μήκος της σωλήνωσης, έχει τοποθετηθεί τριχλωριούχο θείο που δεσμεύει σε αρκετά μεγάλο βαθμό το τοξικό για τη μηχανή υδρόθειο (H_2S), πριν το βιοαέριο ξανά φιλτραριστεί και ξανά καθαριστεί στο σύστημα ψύξης, το οποίο αποτελεί και το τελικό σημείο επεξεργασίας και όπου αποβάλλεται η υγρασία του και τελικά οδηγείται στη μηχανή. Στις Εικόνες 33 και 34 φαίνονται οι σωληνώσεις και το σύστημα ψύξης για την επεξεργασία του παραγόμενου αερίου.



Εικόνα 33: Σωληνώσεις επικοινωνίας αντιδραστήρων

Το βιοαέριο απαλλαγμένο, πλέον, σε μεγάλο βαθμό από τις τοξικές του ουσίες (κυρίως H_2S), και σε ποσοστό 53-55% περίπου σε μεθάνιο, το οποίο είναι και το ελάχιστο κατώφλι λειτουργίας για τη μηχανή, είναι ικανό να χρησιμοποιηθεί από τη μηχανή της μονάδας.



Εικόνα 34: Σύστημα ψύξης βιοαερίου

Για την αδιάκοπη λειτουργία του κινητήρα απαιτούνται 750m^3 βιοαερίου σε καθημερινή βάση. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως οι ανάγκες σε πρώτες ύλες για κάθε αντιδραστήρα κυμαίνονται περίπου στα 2500m^3 μίγματος/μέρα. Δεδομένης της συνεχούς παραγωγής, συνεχής θα είναι και η ανατροφοδότηση των χωνευτήρων που συμβαίνει κάθε μισή ώρα και είναι της τάξης των $125\text{m}^3/30\text{min}$, σε συνδυασμό με τη μηχανική ανάδευσή τους.

Η θερμοκρασία που πραγματοποιείται η χώνεψη κυμαίνεται αυστηρά από $40\text{--}42^\circ\text{C}$, πρόκειται δηλαδή για 'μεσόφιλη' χώνεψη. Στη διατήρηση της θερμοκρασίας αυτής συντελεί και η ίδια η μηχανή του εργοστασίου, καθώς διαθέτει σύστημα ανάκτησης της παραγόμενης θερμότητας. Μια διαδικασία που επιτρέπει την αξιοποίηση μέρους της θερμότητας που απορρίπτεται στο περιβάλλον από τη μηχανή μέσω της χρήσης ενός εναλλάκτη θερμότητας. Η τάση λειτουργίας της μηχανής είναι 420V και το παραγόμενο εναλλασσόμενο ρεύμα στέλνεται απευθείας στον υποσταθμό μέσης τάσης της ΔΕΗ στα 20KV . Τέλος, το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η πρώτη ύλη παραμένει στις δεξαμενές (HRT) μέχρι να δώσει το μέγιστο ενεργειακό της περιεχόμενο και να αντικατασταθεί με μια νέα είναι $55\text{--}60$ ημέρες.

5.1.2 Συντήρηση- Βλάβες

Για την εύρυθμη λειτουργία μια μονάδας βιοαερίου κρίνεται αναγκαία η αδιάκοπη παρακολούθηση κάθε της λειτουργίας και σαφώς η συντήρηση όλων των εγκαταστάσεων για την αποφυγή βλαβών, οι οποίες θα θέσουν το εργοστάσιο εκτός λειτουργίας με σημαντικό οικονομικό αντίκτυπο.

Η συντήρηση αυτή αφορά κυρίως το μηχανολογικό εξοπλισμό των εγκαταστάσεων, ο οποίος όντας αναλώσιμος, και σε βάθος χρόνου θα χρειαστεί να επισκευαστεί ή ακόμα και να αντικατασταθεί. Για παράδειγμα, οι σωληνώσεις που μεταφέρουν το ακατέργαστο και γεμάτο καυστικό υδρόθειο βιοαέριο, προς τη μηχανή, σε βάθος χρόνου θα φθαρούν τόσο ώστε να γίνουν μη λειτουργικοί. Ακόμα ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα φθοράς του εξοπλισμού αφορά και το σύστημα ψύξης από όπου το παραγόμενο βιοαέριο περνά από πιο λεπτομερική επεξεργασία αφαίρεσης του υδρόθειου. Το κομμάτι αυτό λοιπόν, επηρεάζεται άμεσα από την καυστικότητα και χρήζει αλλαγής.

Όσον αφορά τη συντήρηση του κύριου εξοπλισμού της εγκατάστασης, τη μηχανή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, την έχει αναλάβει εξ' ολοκλήρου και αποκλειστικά μια ξένη εταιρία συντήρησης και ελέγχει την ομαλή της λειτουργία ανά συγκεκριμένους κύκλους ωρών. Για παράδειγμα, μια τυπική συντήρηση γίνεται έπειτα από 2.000 ώρες λειτουργίας, όταν και γίνεται ο κατάλληλος μηχανολογικός έλεγχος.

Οι βλάβες που μπορεί να προκύψουν είτε αφορούν το μηχανολογικό εξοπλισμό, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είτε αφορούν θέματα δικτύου. Οι πτώσεις τάσης που είναι συχνό φαινόμενο στην περιοχή και ειδικότερα την περίοδο του καλοκαιριού όποτε και οι ανάγκες για πότισμα τεράστιων εκτάσεων γης είναι αυξημένες, μπορούν εύκολα να θέσουν το εργοστάσιο εκτός λειτουργίας και ανάλογα με τις ώρες που θα συμβαίνει αυτό, θα προκύψουν και οι ανάλογες οικονομικές απώλειες.

5.2 Μελέτη λειτουργίας δυο μηνών

Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζονται αριθμητικά δεδομένα για τη μελέτη του εργοστασίου τους μήνες Δεκέμβριο 2019 και Ιανουάριο 2020. Τα δεδομένα αυτά προέκυψαν από προσωπική ανάλυση γενικότερων δεδομένων που μου δόθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια της παρουσίας μου στο χώρο της συγκεκριμένης μονάδας. Η κύρια πηγή πρώτης ύλης στη παραπάνω μονάδα παραγωγής βιοαερίου είναι μια μίξη λυμάτων

αγελάδας και χρήσης καλαμποκιού. Κατά προσέγγιση η αναλογία αυτή είναι 2,5:1 και ο λόγος είναι καθαρά οικονομικός αφού η ενεργειακή δυναμική του καλαμποκιού είναι τριπλάσια αυτής των υγρών αποβλήτων των αγελάδων. Άλλωστε το σχεδόν μηδενικό κόστος προμήθειας για τα υγρά λύματα, είναι αυτό που τα καθιστά κύρια πηγή πρώτης ύλης. Σε περίπτωση που κάποια από τις βασικές πηγές εκλείψει, αν και αυτό το σενάριο είναι απίθανο, καθώς ο προγραμματισμός της εισαγωγής και της εμπορίας της πρώτης ύλης γίνεται συνήθως σε ετήσιο άξονα, τότε χρησιμοποιούνται δευτερεύουσες πηγές. Αυτές, αν και ενεργειακά είναι σαφώς υποδεέστερες χρησιμοποιούνται για να συμπληρώσουν την απαιτούμενη καθημερινή ποσότητα για να παραμείνει η μονάδα λειτουργική και παραγωγική. Παράδειγμα αποτελούν τα απόβλητα χοίρων, προβάτων όπως και τα παραπροϊόντα της γαλακτοβιομηχανίας (τυρόγαλο). Συνήθως, αποτελούν μόνο το 10–15% της συνολικής πρώτης ύλης για τη χώνεψη. Στις Εικόνες 35 και 36 παρουσιάζονται οι δεξαμενές εισαγωγής των υλών στους αντιδραστήρες μέσω υπόγειων αγωγών.

Παρατηρώντας τους Πίνακες 19 και 20 που ακολουθούν, γίνεται κατανοητή η ποσοτική χρήση των διαφόρων πρώτων υλών και η κατά προσέγγιση ημερήσια και μηνιαία παραγωγή σε MWh.



Εικόνα 35: Δεξαμενή εισαγωγής καλαμποκιού



Εικόνα 36: Δεξαμενή εισαγωγής υγρών λυμάτων

Πίνακας 19: Χρήση διαφόρων υποστρωμάτων στη ζύμωση

ΜΗΝΑΣ	ΛΥΜΑΤΑ ΑΓΕΛΑΔΑΣ (tn)	ΛΥΜΑΤΑ ΧΟΙΡΩΝ(tn)	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ (tn)	ΤΥΡΟΓΑΛΑ(tn)	ΣΥΝΟΛΟ (tn)	CH ₄ %
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2019	4.000	500	1.800	400	6.700	53%
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2020	4.100	500	2.000	200	6.800	53%

Πίνακας 20: Κατά προσέγγιση παραγωγή σε MWh

ΜΗΝΑΣ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (MWh)	ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (MWh)
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2019	690	1.000	23	33,3
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2020	705	1.050	23,5	35

5.3 Οικονομική ανάλυση μονάδας

Η οικονομική ανάλυση που ακολουθεί αφορά προσωπική εκτίμηση και είναι αποτέλεσμα προσωπικών μου υπολογισμών σε συνάρτηση με τα δοθέντα ρεαλιστικά οικονομικά δεδομένα της επιχείρησης.

5.3.1 Παραγωγή– Έσοδα

Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, η μονάδα λειτουργεί σχεδόν αδιάκοπα κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, με μέσο όρο ωρών λειτουργίας τις 23-24. Δεδομένης λοιπόν της συνεχιζόμενης παραγωγής και λαμβάνοντας υπόψιν την ονομαστική ισχύ της μηχανής του εργοστασίου που ανέρχεται στο 1,5MW, εύκολα προκύπτει η μηνιαία παραγωγή ενέργειας. Πολλαπλασιάζοντας, λοιπόν, την ονομαστική ισχύ με τις ώρες λειτουργίας τού εκάστοτε μήνα (Δεκέμβριος: 690 ώρες και Ιανουάριος: 705 ώρες)* 1,5 MW προκύπτουν περίπου 1.000MWh παραγόμενης ενέργειας. Αν θελήσουμε να κάνουμε την αναγωγή της παραγωγής σε κάθε ημέρα του μήνα, τότε διαιρώντας τις 1.000MWh με το 30 (ημέρες) έχουμε την ημερήσια παραγωγή, η οποία κυμαίνεται από 33-34MWh ή 1,3-1,4 MWh/ώρα λειτουργίας.

Επιπλέον, και αναλογιζόμενοι την τιμή της πώλησης της KWh στη ΔΕΗ, η οποία κυμαίνεται στα 22-23 λεπτά/KWh, μπορεί να διαμορφωθεί μια εικόνα των εσόδων της επιχείρησης με κάθε επιφύλαξη, βέβαια. Αν προχωρήσουμε στην πράξη 36.000KWh * 22,5 λεπτά/KWh, καταλήγουμε σε ένα ημερήσιο ποσό της τάξεως των 8.100€, το οποίο στηριζόμενο σε μια ομαλή λειτουργία της μονάδας ανταποκρίνεται στο μηνιαίο ποσό των 250.000€ και ανάλογα στο ετήσιο ποσό των 3.000.000€. Η κύρια πηγή εσόδων προς το παρόν περιορίζεται μόνο στην πώληση του παραγόμενου ρεύματος στο δίκτυο της ΔΕΗ, καθώς όπως σημειώθηκε και παραπάνω, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας του πολτοποιημένου υποστρώματος που θα αποτελέσουν πηγή νέων εσόδων, βρίσκονται ακόμα σε αρχικό στάδιο σχεδιασμού.

5.3.2 Κόστος – Έξοδα

Κλείνοντας και αναφορικά με το κόστος, αυτό χωρίζεται στο κόστος κατασκευής του εργοστασίου και στα πάγια και μη έξοδά του. Το κόστος που αφορά την κατασκευή

μιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου από αναερόβια χώνεψη σχετίζεται άμεσα με την εγκατεστημένη συνολική ισχύ που θα μπορεί αυτή να παράγει. Γενικότερα, και έπειτα από τη βιβλιογραφική μελέτη αλλά και από τα στοιχεία της ίδιας της επιχείρησης, το συνολικό κόστος κατασκευής ανέρχεται στα 3,5–4,5 εκατομμύρια €/MW εγκατεστημένης ισχύος. Για το παρόν εργοστάσιο, όμως, μιας και στα οικονομικά του σχέδια έχουν συμπεριληφθεί και οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας των χωνευμένων λυμάτων, το ποσό της επένδυσης ανεβαίνει και φτάνει συνολικά τα 5,5 εκατομμύρια €. Σημαντικό μέρος του υψηλού αυτού ποσού οφείλεται στην μηχανή παραγωγής ενέργειας, η οποία κοστολογείται στις 800.000 €, με τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις των αντιδραστηρίων και του λοιπού εξοπλισμού να συμπληρώνουν το ποσό.

Επίσης, ακόμα μια πηγή εξόδων αποτελούν και τα λειτουργικά έξοδα της μονάδας. Αυτά αφορούν κυρίως την εξασφάλιση των υποστρωμάτων της χώνεψης, αλλά και τις διάφορες επισκευές σε περιπτώσεις μηχανικών βλαβών. Για παράδειγμα η συντήρηση της μηχανής, η οποία γίνεται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα κοστίζει περίπου 5€/ώρα λειτουργίας και το ένα από τα δυο κύρια υλικά της ζύμωσης, το καλαμπόκι περίπου 45€/τόνος. Δεδομένης της παραπάνω τιμής και ενός μέσου όρου χρήσης καλαμποκιού το μήνα που ανέρχεται στα 1.800 με 2.000 κιλά (Πίνακας 19), το κόστος φτάνει τα 80.000 € το μήνα και περίπου τα 900.000 € το χρόνο. Τα έξοδα που αφορούν τα λύματα δε λαμβάνονται υπόψιν λόγω του σχεδόν μηδενικού τους κόστους. Στον Πίνακα 21 φαίνεται σχηματικά η παραπάνω οικονομική υπόθεση, και παρουσιάζονται τα οικονομικά μεγέθη της επένδυσης.

Πίνακας 21: Βιωσιμότητα έργου

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΕΝΟΣ ΕΤΟΥΣ					
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΟΣΟ €	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ (ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ)	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΣ	ΛΟΙΠΑ ΕΞΟΔΑ(ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ)
ΕΠΕΝΔΥΣΗ	5.500.000€	-	-	-	-
ΕΞΟΔΑ	1.440.000€	-	900.000€	40.000€	400.000- 500.000€
ΕΣΟΔΑ	3.000.000€	3.000.000€	-	-	-

Τέλος, τα λειτουργικά και πάγια έξοδα σε συνδυασμό με το συνολικό κεφάλαιο της επένδυσης είναι ζωτικής σημασίας για τη βιωσιμότητα του έργου καθώς αυτά θα καθορίσουν τη διάρκεια ζωής της επένδυσης. Όπως υποθέσαμε παραπάνω, το συνολικό κόστος κατασκευής την εν λόγω εταιρίας δεν ξεπερνά τα 5,5 εκατομμύρια € και τα ετήσια έσοδά της αγγίζουν τα 3.000.000 €/χρόνο. Επίσης, τα κύρια έξοδά της που αφορούν την τροφοδοσία αγγίζουν περίπου τα 900.000 €/χρόνο και τη συντήρηση της μηχανής που φτάνει τα 40.000 €/ χρόνο (με δεδομένη την αδιάκοπη λειτουργία της, περίπου 8.000 ώρες/χρόνο). Σύμφωνα με τον παραπάνω συλλογισμό, τα καθαρά ετήσια κέρδη μιας τέτοιας επιχείρησης ξεπερνούν το 1,5 εκατομμύριο € γεγονός που σημαίνει πως το αρχικό κεφάλαιο είναι αποσβέσιμο σε μια περίοδο 5-6 ετών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ύστερα από την ανάλυση που έγινε στην παρούσα διπλωματική εργασία για την κατάσταση που επικρατεί σήμερα στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά, θεωρήθηκε ωφέλιμο να τονισθεί η ανάγκη στροφής στην εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας με πιο πράσινες μεθόδους ωφελεί μακροπρόθεσμα όλες τις χώρες που τις υιοθετούν, τόσο στον οικονομικό όσο και στον τομέα της κοινωνικής τους ανάπτυξης. Δεν είναι, άλλωστε, τυχαίο που η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί τη συγκεκριμένη μορφή ενέργειας τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Ειδικότερα, οι συνθήκες που επικρατούν στη χώρα μας θεωρούνται ιδανικές για την εκμετάλλευση των ΑΠΕ, γεγονός που σημαίνει πως θα έπρεπε να τις περιλαμβάνει σε μεγαλύτερο ποσοστό στο ενεργειακό της ισοζύγιο.

Μια μορφή ΑΠΕ αποτελεί και η παραγωγή βιοαερίου από την αναερόβια χώνεψη των μικροβίων των διάφορων υποστρωμάτων. Η Ελλάδα όντας μια καθαρά αγροτική χώρα θα μπορούσε να επενδύσει σε αυτή τη μορφή ενέργειας για παραγωγή καθώς θα κάλυπτε με ευκολία τις ανάγκες για την τροφοδότηση των μονάδων αυτών. Το κόστος όπως αναλύθηκε στην παρούσα εργασία ποικίλει ανάλογα το μέγεθος και τις τεχνολογίες κατασκευής της μονάδας, αλλά τελικά είναι αποσβέσιμο κάτω από φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας, κάτι που σημαίνει πως η ανανεώσιμη αυτή μορφή ενέργειας, μακροπρόθεσμα, θα αποφέρει κέρδη τόσο στους παραγωγούς όσο και στους καταναλωτές της. Επιπλέον, η χρήση του χωνευμένου υποστρώματος (κομπόστ) θα μπορούσε να παρέχεται ως λίπασμα υψηλότερης αποδοτικότητας σε σχέση με τα συμβατικά και να δώσει έτσι άλλη μια οικονομική ανάσα στη γεωργική οικονομία της χώρας.

Οι πιθανές αρνητικές επιδράσεις κατασκευής μιας τέτοιας μονάδας είναι μάλλον μηδενικές και προφανώς θα έπρεπε να απασχολούν περισσότερες επενδυτικές εταιρίες από ότι συμβαίνει ακόμα στις μέρες μας. Άλλωστε τόσο η γενική συνολική μελέτη, όσο και η μελέτη στο συγκεκριμένο εργοστάσιο που έγιναν κατά τη διάρκεια της παραπάνω μελέτης, το αποδεικνύουν από οικονομικής, περιβαλλοντικής και άποψης

πλεονεκτημάτων για όλους τους εμπλεκόμενους. Επιπρόσθετα, άλλο ένα πρόβλημα που φαίνεται να λύνει η στροφή στην παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια χώνεψη, είναι ο περιορισμός των ΧΥΤΑ (Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων), όπου θάβονται τόνοι σκουπιδιών με ανεξέλεγκτες για το περιβάλλον επιπτώσεις. Μέρος λοιπόν, των απορριμμάτων αυτών θα μπορούσαν να τροφοδοτήσουν ένα εργοστάσιο παραγωγής Βιοαερίου καθώς το μεγαλύτερο μέρος των αστικών σκουπιδιών που καταλήγουν στους ΧΥΤΑ είναι οργανικά, μια από τις βασικές κατηγορίες, δηλαδή πηγή, πρώτης ύλης για τις παραπάνω μονάδες αναερόβιας πέψης. Γενικότερα, είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που ενδέχεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε μεγάλες μελλοντικές επενδύσεις παράλληλα με την ακόμα μεγαλύτερη ανάπτυξη και εισχώρηση των ΑΠΕ για την παραγωγή ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ανδρίτσος Ν, Ενέργεια και Περιβάλλον, Διδακτικές σημειώσεις, Βόλος Οκτώβριος 2008, Διαθέσιμο:
http://users.auth.gr/users/8/3/010438/public_html/tdk/Teaching/BOOK_1.pdf
- [2] Christakis I. and Athanasopoulos I., Wind energy in Greece – economic evaluation, TEI of Crete
- [3] International Energy Agency – IEA “Global energy and CO₂ status report- electricity”, Available:<https://www.iea.org/geco/electricity/>
- [4] World Energy Outlook – WEO (Scenarios), Available: <https://www.iea.org/weo/>
- [5] Eurostat Statistics Explained, Available:
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Net_electricity_generation,_EU-28,_2015_\(%25_of_total,_based_on_GWh\)_YB17.png&oldid=344549](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Net_electricity_generation,_EU-28,_2015_(%25_of_total,_based_on_GWh)_YB17.png&oldid=344549)
- [6] World nuclear association/organization, Available: <http://www.world-nuclear.org>
- [7] ΣΤΕΦ.Χ.ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ, Εισαγωγή στην πυρηνική φυσική, Φεβρουάριος 2002, Μετάφραση Σαρηγιάννης Καλλιμάχος, Επιμέλεια Παπανικόλας Ν. Κ.
- [8] European Environment Agency, Available:
<https://www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe-2016>
- [9] Eurostat Statistics Explained, Available:
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics
- [10] dei.gr, Available: <https://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/omilos-dei-ae/dei-ae>
- [11] rae.gr, Available:
http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/history.csp
- [12] European Environment Agency, Available:
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyPoliciesofIEACountriesGreeceReview2017.pdf>
- [13] admie.gr, Available:
<http://www.admie.gr/to-systima-metaforas/anaptyxi-systimatatos/meletes/>

- [14] rae.gr , Available: <https://www.eyploia.gr/nhsia/>
- [15] European Environment Agency: Available:
<https://www.iea.org/statistics/?country=GREECE&year=2016&category=Energy%20supply&indicator=TPESbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES>
<http://www.iosrjournals.org/iosr-jac/papers/vol8-issue2/Version-1/B08210508.pdf>
- [16] Dr. Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal , ADVANTAGES AND LIMITATIONS OF BIOGAS TECHNOLOGIES, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Nile Valley University, Atbara-Sudan,
- [17] K.C. Sundera, Devin Takara, Andrew G. Hashimoto, Samir Kumar Khanal, Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and Challenges, Department of Molecular Bioscience and Bioengineering (MBBE), University of Hawaii, December 2013
- [18] Dornack Christina, Biogas production from organic waste and biomass – fundamentals and current situation, Technical University of Cottbus , Germany, Siemens-Halske-Ring, January 2012
- [19] Rufai, I.A, REVIEW OF THE EVOLUTION AND DEVELOPMENT OF ANAEROBIC DIGESTION TECHNOLOGY, JOURNAL OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY (JET), FEBRUARY 2010, Mechanical Engineering Department, Bayero University, Kano, PMB 3011, Kano-Nigeria
- [20] V.Venugopalan, Comparative study on biogas production from cow dung, food waste and organic waste, Research Scholar, Department of Civil Engineering, Karpagam University Coimbatore, Tamilnadu, India February 2017
- [21] Κοντογιάννης Χρήστος, Ανοιχτά Μαθήματα Πανεπιστημίου Πατρών, Ενόργανη Ανάλυση, Διαθέσιμο:
<https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/PHA1610/%CE%91%CE%BD%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CF%84%CE%AC%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1/%CE%91%CE%AD%CF%81%CE%B9%CE%B1%20%CE%A7%CF%81%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B1.pptx>
- [22] ypeka.gr, Διαθέσιμο: <http://www.ypeka.gr/rescampaign2008/sith-ti-einai.html>

- [23] Ishmael M Ramatsa, Esther T. Akinlabi, Daniel M. Madyira, Robert Huberts, Design of the Bio-digester for Biogas Production: A Review, World congress of engineering, 22-24 October, San Francisco, USA, October 2014
- [24] Kiroshagos, Jianpeng Zong, Dongxue Li, Chang Liu, Xiaohua Lu, Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives, Nanjing Tech University, China November 2016
- [25] M. Samer, Biogas Plant Constructions, Cairo University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Engineering, Egypt, March 2012
- [26] Onakughotor Ejiro Dennis, Effects of Inoculums in Biogas Yield, IOSR Journal of Applied Chemistry, Petroleum and Natural Gas Processing Department, Delta State, Nigeria, February 2015
- [27] Michael Schon, Numerical modeling of anaerobic digestion processes in agricultural biogas plant
- [28] Ramansu Goswami, An overview of physic-chemical mechanisms of biogas production by microbial communities: a step towards sustainable waste management, Article published December 2016, published February 2009
- [29] Σταυριανή Ν. Ρογκάκου, Αξιοποίηση βιοαερίου για παραγωγή ενέργειας και δυνατότητα ανατροφοδότησης στο δίκτυο φυσικού αερίου, διπλωματική εργασία, Διαθέσιμο Οκτώβριος 2012
- [30] Edward Kwaku Armah and Thomas Armah, Biogas production from anaerobic digestion a systematic review, Department of Chemical Engineering, Durban University of Technology Department of Port and Shipping, Regional Maritime University, November 2017
- [31] American Public Health Association 1998. Standard Method for the Examination of Wastewater 15th Ed. Washington, APHA, USA, Published 2017
- [32] Chen Y, Cheng J.J and Creamer, Inhibition of anaerobic digestion process: A review, Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University, March 2007
- [33] Baba Shehu Umar Ibn Abubakari and Nasir Ismail, Anaerobic digestion of cow dung for biogas production, Department of Civil and Waste Resources Engineering, University of Maiduguri, Nigeria, Department of Chemical and Environmental Engineering, University Putra Malaysia, February 2012

- [34] Chang JI and Hsu TE, Effects of Comparison on Food Waste Composting, Bio resource Technology, published 7 May 2008
- [35] APHA Standard Methods for the Examination Water and Wastewater, 21st edition. American Public Association, America Water Works Association, Water Environment Federation Washington, DC , 2005
- [36] Corresponding author: Department of Environmental Sciences, Faculty of Environmental Studies, University Putra Malaysia, Biogas Production and Biodegradability on Increasing Total Solid of Household Organic Waste, August 2016
- [37] Li YQ Zhang RH, Liu GQ, Chen C, He YF, Liu XY, Comparison of methane production potential, biodegradability and kinetics of different organic substrates Bio resource. Technology, published 2013
- [38] Pradeep Virupakshappa Badiger, Rahul Kedarnath Badiger, Mallikarjun Nagur, Manjunath Ashok Vijapur, Shiraganahalli Honnaiah Manjunath, Biogas from Biodegradable Kitchen Waste, Department of Mechanical Engineering, Sapthagiri College of Engineering Bangalore, December 2015
- [39] Ravi P. Agrahari G. N. Tiwari, Comparative Study of Biogas Production: Utilization of Organic Waste, published 2013
- [40] Massimo Raboni, Giordano Urbini, Production and use of biogas in Europe: a survey of current status and perspectives, Department of Chemistry, Materials, Chemical Engineering “Giulio Natta”, Department of Biotechnologies and Life Sciences, June 2014
- [41] SIS – Industriteknik. Domestic cooking appliances burning gas Part 2-1:Rational use of energy – general. Swedish Standard: SS-EN 30-2-1/A2:2005.
Stockholm, Sweden: Swedish Standards Institute (SIS). Available at:
<http://www.sis.se/en/domestic-and-commercial-equipment-entertainment-sports/kitchen-equipment/cooking-ranges-working-tables-ovens-and-similarappliances/ss-en-30-2-1-a22005>
- [42] Qie Sun, Selection of appropriate biogas upgrading technology- a review of biogas cleaning, upgrading and utilization, Institute of Thermal Science and Technology, Shandong University, Jinan China &

Zhixin Yu, Department of Petroleum Engineering, University of Stavanger, N-4036 Stavanger Norway, June 2015

- [43] Eriksson H. Future quality aspects of biogas injected to natural gas grid. Sweden Available at: [http://www.elforsk.se/PageFiles/2163/Bilaga_5_H%C3%A5kan Eriksson Eon.pdf](http://www.elforsk.se/PageFiles/2163/Bilaga_5_H%C3%A5kan_Eriksson_Eon.pdf), August 2010
- [44] Μαλαματής Μιχαλάκης & Μαριλένα Φυτιλή, Κυψέλες καυσίμου τύπου SOFC χαμηλών και ενδιάμεσων θερμοκρασιών λειτουργίας με τροφοδοσία υδρογόνου, Διπλωματική Εργασία Διαθέσιμο: <http://ir.lib.uth.gr/bitstream/handle/11615/13656/P0013656.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, Οκτώβριος 2016
- [45] Bianca Stefania Zabava, Methods of biogas purification – A Review, University Politehnica of Bucharest, Faculty of Biotechnical Systems Engineering, Romania, March 2019
- [46] Imran Ullah Khan, Biogas as a renewable energy fuel – A review of biogas upgrading, utilization and storage, Faculty of Chemical and Energy Engineering, University of Malaysia, 81310 Skudai, Johor, Malaysia, August 2017