

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



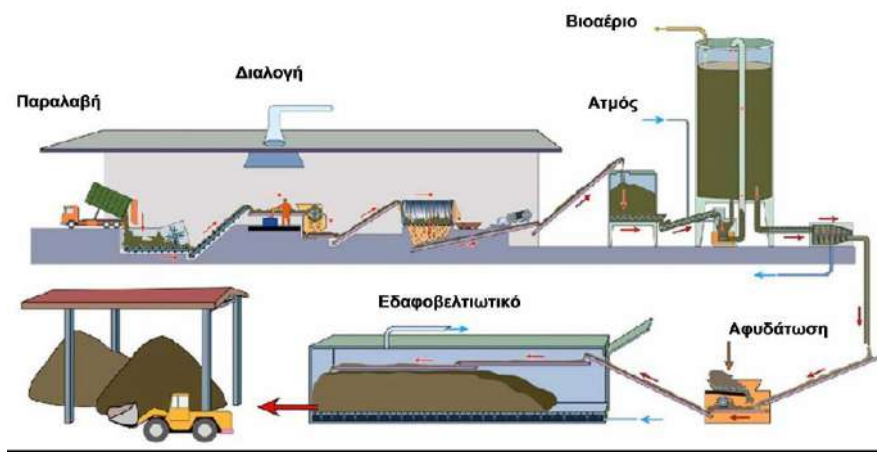
HELLENIC
MEDITERRANEAN
UNIVERSITY
SCHOOL of AGRICULTURAL
SCIENCE

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

DEPARTMENT of AGRICULTURE

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΑΓΡΟΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ»



ΚΡΟΥΣΤΑΛΛΑΚΗ ΕΛΕΝΑ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
"Εφαρμοσμένη Επιστήμη και Τεχνολογία στη Γεωπονία"
(ΙΟΥΛΙΟΣ, 2020)

ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

ΚΑΘ. ΜΑΡΑΓΚΑΚΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΚΑΘ. ΛΟΥΛΑΚΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΚΑΘ. ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΣ ΜΑΝΙΟΣ

**ΤΟ ΕΡΓΟ ΑΥΤΟ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ,
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ (ΕΛΜΕΠΑ)**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή ξεκίνησε και ολοκληρώθηκε με την υποστήριξη του τμήματος Γεωπονίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου. Αυτή τη στιγμή που το έργο έχει ολοκληρωθεί, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια Μαραγκάκη Αγγελική για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στο παρόν θέμα και να προσπαθήσω να το φέρω εις πέρας.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου με στήριξαν σε κάθε μου επιλογή.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ	10
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	11
ABSTRACT	13
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ).....	1
1.2 ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ.....	3
1.2.1 ΣΤΑΘΜΟΙ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	7
1.3 ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	9
1.3.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ.....	13
1.3.2 ΣΤΑΘΜΟΙ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	15
1.3.3 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	17
1.3.4 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	18
1.4 ΒΙΟΜΑΖΑ- ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΗΓΗ.....	20
1.4.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ.....	22
1.4.2 ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ.....	23
1.5 ΒΙΟΑΕΡΙΟ –ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΗΓΗ.....	24
1.6 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΙ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	26
2 ΑΓΡΟΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥΣ	28
2.1 ΓΕΩΡΓΟΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ.....	28
2.1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	28
2.1.2 ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ.....	29
2.1.3 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΛΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ.....	39
2.2 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ.....	43
2.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	43
2.2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΥΡΟΓΑΛΟΥ.....	44
2.2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ-ΤΥΡΟΓΑΛΟΥ.....	46
2.3 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	49
2.3.1 ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΕ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ.....	49
3 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	53
3.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ.....	53
3.2 ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ.....	55

3.2.1	ΥΔΡΟΛΥΣΗ	55
3.2.2	ΟΞΕΟΓΕΝΕΣΗ	55
3.2.3	ΟΞΙΚΟΓΕΝΕΣΗ.....	56
3.2.4	ΜΕΘΑΝΙΟΓΕΝΕΣΗ	56
3.3	ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ	57
3.4	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ- ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ	60
3.5	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ.....	64
3.6	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	64
4	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ	66
4.1	ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ	66
4.1.1	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ ΣΤΑΔΙΟΥ	68
4.1.2	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΟ ΣΤΑΔΙΩΝ	70
4.1.3	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΡΙΩΝ ΣΤΑΔΙΩΝ	71
4.2	ΕΙΔΗ ΧΩΝΕΥΤΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	73
4.2.1	ΧΩΝΕΥΤΕΣ ΔΥΟ ΒΑΘΜΙΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	73
4.2.2	ΧΩΝΕΥΤΕΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕ 1 ΒΑΘΜΙΔΑ.....	74
4.2.3	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΧΩΝΕΥΤΕΣ	74
4.2.4	ΧΩΝΕΥΤΕΣ ΜΕ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΙΛΥΟΣ.....	74
4.2.5	ΧΩΝΕΥΤΕΣ ΑΝΟΔΙΚΗΣ ΡΟΗΣ.....	75
4.2.6	ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΦΙΛΤΡΑ	75
4.3	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ	76
5	ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΤΟ ΚΥΡΙΟ ΠΡΟΙΟΝ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ	81
5.1	ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ	81
5.1.1	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ.....	82
5.2	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ	83
5.3	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	84
5.4	ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΓΙΑ ΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ	85
5.5	ΟΙ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	87
6	ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	89
6.1	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	89
6.1.1	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ.....	89
6.1.2	ΔΕΙΓΜΑ - ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ	90
6.1.3	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	95
6.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	95
6.2.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	95
6.2.2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΩΝ.....	99
6.2.3	ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ / ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ	111
6.2.4	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	112
6.2.5	ΛΙΣΤΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	115
7	ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΧΩΝΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ	117
8	ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ /	
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	121
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι – ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΠΡΟΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	

ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ..... 125

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 127

ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ

Πίνακας 1: Οι συντομεύσεις που χρησιμοποιούνται μέσα στο κείμενο και στις Εικόνες / Σχήματα

Σύντμηση	Πλήρες όνομα
<i>ΑΠΕ</i>	<i>Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας</i>
<i>Α.Χ.</i>	<i>Αναερόβια Χώνευση</i>
<i>ΥΠΕΚΑ</i>	<i>Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας</i>
<i>ΚΑΠΕ</i>	<i>Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας</i>
<i>ΕΣΔΑΕ</i>	<i>Εθνικό Σχέδιο Δράσης και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας</i>
<i>ΡΑΕ</i>	<i>Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας</i>
<i>Ε.Ε</i>	<i>Ευρωπαϊκή Ένωση</i>
<i>ΕΕΣ</i>	<i>Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο</i>
<i>ΙΕΑ</i>	<i>International Energy Agency</i>
<i>FAO</i>	<i>Food and Agricultural Organization of the United Nations</i>
<i>ΤΣΔΑ ΔΗ</i>	<i>Τοπικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων Δήμου Ηρακλείου</i>
<i>ΧΥΤΑ</i>	<i>Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων</i>
<i>Μ.Ε.Κ</i>	<i>Μηχανή Εσωτερικής Καύσης</i>
<i>Σ.Μ.Α</i>	<i>Σταθμό Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων</i>
<i>ΣΗΘΥΑ</i>	<i>Συμπαράγωγής Ηλεκτρικής ενέργειας και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης</i>
<i>ΜΕΥΜΒ</i>	<i>Μονάδα επεξεργασίας υγρών της μονάδας βιοαερίου</i>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε όλες σχεδόν τις περιοχές του κόσμου, η συσσώρευση στερεών οργανικών αποβλήτων φτάνει σε κρίσιμα επίπεδα. Αυτό που πρέπει να γίνει άμεσα για την εξάλειψη του φαινομένου είναι, να αντιμετωπιστεί το ζήτημα απόρριψης των αποβλήτων, με τρόπο βιώσιμο για το περιβάλλον. Με τη σωστή αντιμετώπιση, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην εξαντληθούν οι φυσικοί πόροι σε τόσο μεγάλο βαθμό, ο κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία να ελαχιστοποιηθεί όσο το δυνατόν περισσότερο, αλλά κατά κύριο λόγο, να μειωθούν τα περιβαλλοντικά βάρη και έτσι να επέλθει γενική ισορροπία στο οικοσύστημα.

Υπάρχουν επομένως μέθοδοι, που καλούνται για εφαρμογή ως προς την επεξεργασία και διαχείριση στερεών οργανικών αποβλήτων. Στην παρούσα εργασία, θα γίνει λόγος για την μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων, η οποία και θεωρείται βιώσιμη μέθοδος μεταξύ άλλων, ως προς την ανακύκλωση οργανικού κλάσματος στερεών αποβλήτων. Ανάμεσα σε πληθώρα μεθόδων, είναι από τις παλαιότερες διεργασίες για την σταθεροποίηση στερεών και βιο-στερεών. Έχει γνωρίσει μεγάλη πρόοδο όσον αφορά την διεργασία, τον σχεδιασμό, το μέγεθος δεξαμενών καθώς επίσης και την εφαρμογή της. Ακριβώς για το λόγο ότι δίνει έμφαση στην διατήρηση και πόσο μάλλον στην ανάκτηση της ενέργειας, ήταν, είναι και θα είναι κυρίαρχη μέθοδος για τη σταθεροποίηση ιλύος. Προκειμένου να ολοκληρωθεί δίνοντας το επιθυμητό προϊόν στο τελικό της στάδιο, που είναι το βιοαέριο, ακολουθούν με τη σειρά τρεις τύποι χημικών και βιοχημικών αντιδράσεων. Στη διεργασία αυτή, εκτός από την ύπαρξη υποστρώματος που είναι απαραίτητη, είναι εξίσου σημαντική η παρουσία βακτηρίων και οι ιδανικές συνθήκες.

Το ζήτημα της επεξεργασίας αποβλήτων το οποίο καταλήγει με λίγα λόγια στην παραγωγή βιοαερίου (τελικό προϊόν) και συνεπώς στην δημιουργία ενέργειας χωρίς περιβαλλοντική επιβάρυνση, συνδέεται αυτομάτως με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), και είναι ζήτημα που απασχολεί όχι μόνο την Ελλάδα αλλά και την Ευρώπη. Οι ΑΠΕ είναι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως για παράδειγμα η αιολική, η γεωθερμική, η θερμική, η ηλιακή, τα εκλυόμενα αέρια από χώρους υγειονομικής ταφής και τα βιοαέρια. Από την εκμετάλλευσή τους προέρχεται και η ηλεκτρική ενέργεια. Το βιοαέριο που αποτελεί σημαντική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, αποτελεί μεταξύ άλλων βιοκαύσιμο, όπως επίσης είναι το βιοντίζελ και η βιοαιθανόλη.

Παράγεται από βιομάζα και το σημαντικότερο είναι ότι μπορεί να καθαριστεί, με αποτέλεσμα την αναβάθμισή του σε ποιότητα φυσικού αερίου.

Συνεπώς η παρούσα εργασία σκοπεύει στην εμβάθυνση της μεθόδου της αναερόβιας χώνευσης αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων που άπτονται της εναλλακτικής ηλεκτροπαραγωγής μέσω της καύσης βιοαερίου, το οποίο με τη σειρά του προέρχεται από αξιοποίηση αγροτοβιομηχανικών προϊόντων ή υπολειμμάτων τους. Αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο της αναερόβιας ζύμωσης, η βιβλιογραφική αναζήτηση διαφορετικών αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων τα οποία είναι κατάλληλα για αναερόβια χώνευση και αύξηση της παραγωγής βιοαερίου στις αναερόβιες μονάδες, τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης για επεξεργασία αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων, η νομοθετική κατάσταση για το βιοαέριο στην Ελλάδα και βασικά στοιχεία σχεδιασμού, που ισχύουν πέραν της επιλογής δυναμικότητας μίας ενδεχόμενης επένδυσης. Επιπλέον, θα γίνει μια αναλυτική καταγραφή και αναζήτηση μονάδων αναερόβιας χώνευσης στην Ελλάδα, με καταγραφή των χαρακτηριστικών τους.

Τέλος, αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματα της αξιοποίησης των αγροτοβιομηχανικών προϊόντων για παραγωγή ενέργειας και καταδεικνύονται οι προβληματισμοί, οι σχεδιαστικές και άλλες δυσκολίες καθώς και οι ευκαιρίες από την αξιοποίηση μίας τέτοιας τεχνολογίας μέσα από την καταγραφή ήδη εγκατεστημένων μονάδων.

Λέξεις Κλειδιά: Αναερόβια χώνευση, βιοαέριο, βιομάζα, αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, ΑΠΕ, οργανικά απόβλητα

ABSTRACT

In almost all parts of the world, the accumulation of solid organic wastes reaches critical levels. What needs to be done immediately, to eliminate this phenomenon is to address the issue of waste disposal in an environmentally sustainable way. With proper management, this will not deplete the natural resources to such an extent that the risk to human health is minimized as much as possible, but primarily to reduce environmental burdens and thus achieve a general equilibrium in the environment.

There are therefore methods called for in the treatment and management of solid organic waste. In the present work, we will discuss the method of anaerobic digestion of agro-industrial waste, which is considered as a viable method amongst others for the recycling of organic fraction of solid waste. Among a variety of methods, there are one of the oldest processes for the stabilization of solids and bio-solids. It has made great progress in the process, design, size of the tanks as well as its implementation. Precisely, because it emphasizes conservation and let alone energy recovery, it was, it is and it will be a dominant method for sludge stabilization. In order to complete giving the desired product to its final stage, which is biogas, three types of chemical and biochemical reactions are followed. In this process, in addition to having a substrate that is essential, the presence of bacteria and the ideal conditions are equally important.

The issue of waste treatment which in short leads to biogas production (final product) and therefore to energy generation without environmental burden, is automatically linked to Renewable Energy Sources (RES), and is an issue that concerns not only Greece but also Europe. RES are non-fossil renewable energy sources such as wind, geothermal, thermal, solar, landfill gases and biogas. Electricity comes from their exploitation. Biogas, an important renewable energy source, is a biofuel, including biodiesel and bioethanol. It is produced from biomass and most importantly it can be purified, resulting in upgrading to natural gas quality.

Therefore, the present work aims to deep in the method of anaerobic digestion of agro-industrial wastes related to alternative electricity generation through biogas combustion, which in turn derives from the utilization of agro-industrial products or their residues. The theoretical background of anaerobic fermentation is developed, the bibliographic search for different agro-industrial wastes suitable for anaerobic digestion and increased biogas production in anaerobic plants, anaerobic digestion systems for

agro-industrial and bio-industrial waste treatment for Greece planning, which go beyond the potential of a potential investment. In addition there will be a detailed listing and search of anaerobic digestion units in Greece, with their characteristics recorded.

Finally, the advantages of using agro-industrial products for energy production are highlighted and the concerns, design and other difficulties as well as opportunities for utilizing such technology, through the recording of already installed plants are demonstrated.

Key words: Anaerobic digestion, biogas, biomass, agro-industrial waste, renewable energy sources, organic waste

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)*

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, οι ΑΠΕ, αποτελούν μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με χαρακτηριστικές, την αιολική, την θερμική, την ηλιακή, τη γεωθερμική, την παλιρροιακή, την ενέργεια κυμάτων, την υδραυλική ενέργεια αλλά ακόμη και τα αέρια που εκλύονται από χώρους υγειονομικής ταφής και βιολογικών καθαρισμών και πόσο μάλλον τα βιοαέρια. Με την εκμετάλλευση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας προκύπτει η ηλεκτρική ενέργεια. Από το κάθε είδος ΑΠΕ, η ηλεκτρική ενέργεια προκύπτει με διαφορετικό τρόπο.

Ξεκινώντας με την αιολική ενέργεια, οι ρίζες της βρίσκονται στην αρχαιότητα. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παλαιότερα γινόταν με ανεμόμυλους και ιστιοφόρα, ενώ σήμερα με τη βοήθεια ανεμογεννητριών οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική (ΥΠΕΚΑ, 2020). Στην ηλιακή ενέργεια περιλαμβάνονται μορφές ενέργειας που προέρχονται στη Γη από τον ήλιο. Με την πρόοδο που έχει κάνει η τεχνολογία τα τελευταία χρόνια, η ακτινοβολία που καταφθάνει στον πλανήτη αξιοποιείται με συστήματα θερμικά-ηλιακά, παθητικά και φωτοβολταϊκά. Στα θερμικά ηλιακά συστήματα, κατατάσσεται όπως όλοι γνωρίζουν ο θερμοσίφωνας. Τα παθητικά είναι εκείνα τα συστήματα τα οποία μπορούν και εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια για το φυσικό φωτισμό και τη θερμότητα σε ένα κτίριο. Ενώ τέλος, τα φωτοβολταϊκά δεσμεύουν την ηλιακή ενέργεια με τη βοήθεια της τεχνολογίας και μπορούν να εγκατασταθούν σχεδόν σε κάθε σημείο, όπως πάρκα, οροφές κτιρίων, υπολογιστές, φάρους κ.α (ΥΠΕΚΑ, 2020).

Μια ακόμη Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας και πολύ σημαντική είναι η βιομάζα. Η βιομάζα είναι βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα και προέρχεται από τα απόβλητα, τα υπολείμματα της γεωργίας, της δασοκομίας, τα αστικά απορρίμματα, υπολείμματα βιομηχανιών και πιο συγκεκριμένα είναι φυτικά, ζωικά και δασικά απόβλητα που χρησιμοποιούνται ως πηγή ενέργειας. Από τη βιομάζα παράγεται θερμική και ηλεκτρική ενέργεια, αλλά και υγρά βιοκαύσιμα όπως βιοντίζελ, βιοαιθανόλη και βιοαέριο.

Με την μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης, στόχος είναι η αποσύνθεση οργανικών στοιχείων απουσία οξυγόνου, αλλά ταυτόχρονα με την παρουσία και τη συμμετοχή αναερόβιων μικροοργανισμών. Είναι μια βιοχημική διεργασία, που πραγματοποιείται σε διάφορα είδη περιβαλλόντων, ακόμη και εκεί που δύσκολα πάει ο ανθρώπινος νους, όπως για παράδειγμα το στομάχι των μηρυκαστικών ζώων και από την οποία προκύπτουν βιοαέριο και κομπόστ, όταν πρόκειται ειδικά για εγκατάσταση βιοαερίου. Το βιοαέριο λοιπόν, αποτελεί προϊόν αναερόβιας αποικοδόμησης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια ως βιοκαύσιμο. Είναι δηλαδή, σημαντική η συμβολή του για την ενεργειακή αυτόρκεια μιας χώρας υποκαθιστώντας μεγάλο όγκο ρυπογόνων καυσίμων. Η ανάπτυξη τεχνολογιών σχετικά με την παραγωγή του, έχει δημιουργήσει πλεονεκτήματα ως προς το περιβάλλον και τη διαχείριση απορριμμάτων. Καθώς λοιπόν το βιοαέριο αποτελεί μίγμα αερίων (μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμών και άλλων αερίων), η περιεκτικότητά του σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το τμήμα της πρώτης ύλης που δύναται να βιοαποικοδομηθεί και να παραχθεί στην πορεία βιοαέριο. Η διαφορετική προέλευση πρώτων υλών κάθε φορά, παράγει βιοαέριο με διαφορετική ποσοστιαία περιεκτικότητα σε μεθάνιο. Αυτές οι διαφορές, παρατηρούνται για παράδειγμα μεταξύ πρώτων υλών όπως, υγρά απόβλητα από βουστάσια, χοιροστάσια και ελαιοτριβεία. Στη συνέχεια παραγωγής του βιοαερίου, ακολουθείται μεταξύ άλλων η διαδικασία της καύσης του, γεγονός που θα οδηγήσει σε ένα αποτέλεσμα που επιδιώκουν όλοι όσοι ασχολούνται με την παραγωγή του.

Το αποτέλεσμα αυτό είναι η παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και η κατ'επέκταση η αξιοποίησή τους (Nguyen et.al, 2019). Είναι γεγονός, σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε) το 2019, ότι περίπου 60.000-100.000 τόνοι οργανικών αποβλήτων (όγκος που ποικίλει σύμφωνα με τη σύσταση και το ενεργειακό περιεχόμενο) μπορούν να τροφοδοτήσουν μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου με εγκατεστημένη ισχύ 1MW (ΚΑΠΕ, 2019).

Ακόμη δύο είδη ΑΠΕ, είναι η γεωθερμία, η οποία είναι πρακτικά ανεξάντλητη, προσφέροντας ενέργεια χαμηλού κόστους χωρίς να επιβαρύνει το περιβάλλον με ρύπους και η υδροηλεκτρική που μετατρέπει τη δυναμική ενέργεια του νερού σε κινητική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική (ΥΠΕΚΑ ,2020).

Γενικά, το μερίδιο των ΑΠΕ, για την κατανάλωση ενέργειας στις χώρες της Ε.Ε είναι πολύ υψηλό, με την ηγετική θέση της Νορβηγίας να φτάνει το 50% συμμετοχής στην ΑΠΕ. Από την παραγόμενη «πράσινη ενέργεια» στην Ε.Ε, το 40% προέρχεται από ξύλο, όπου μεγάλο μέρος από την εκμετάλλευσή του προορίζεται για θέρμανση και ένα 20% από υδροηλεκτρική ενέργεια (Masseck, et al 2017).

1.2 ΑΠΕ στην Ευρώπη

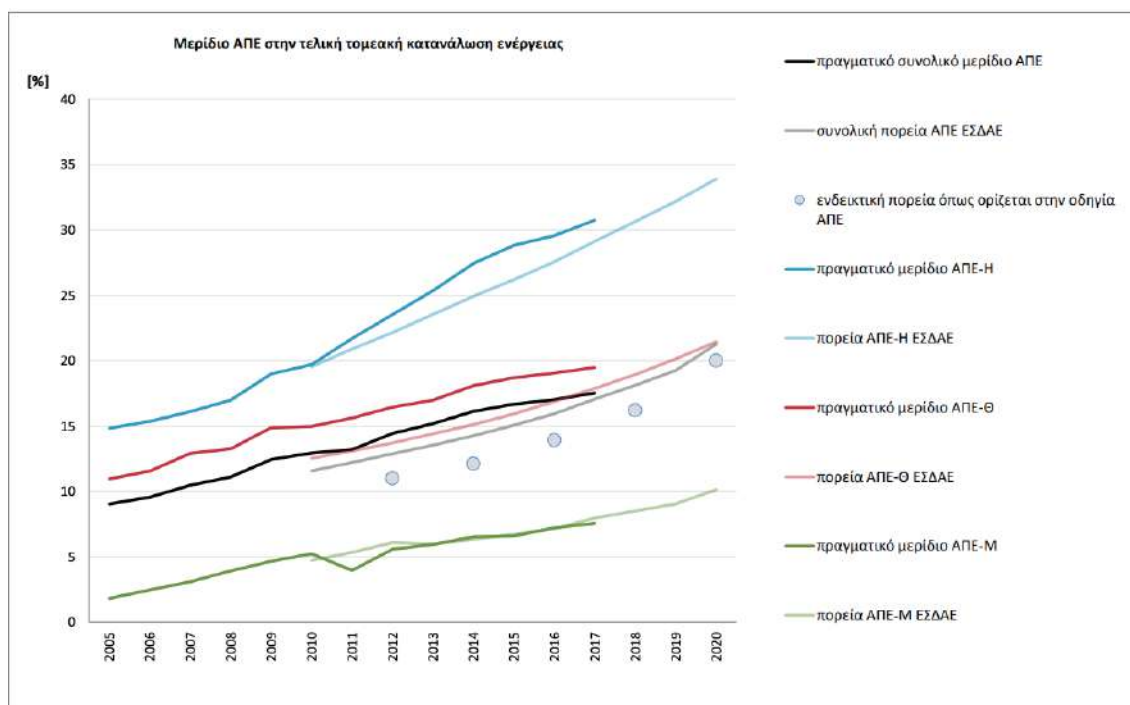
Υπόψη της Οδηγίας 2009/28/EK, η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, είναι από τα μείζονα θέματα που απασχολούν την Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς η ίδια η οδηγία αναφέρεται ως καθοριστικός παράγοντας επίτευξης στόχων σχετικά με την ενέργεια από ΑΠΕ, μέχρι το 2020. Αυτό που τονίζεται είναι ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, προσπαθούν να απαλλάξουν τις χώρες της Ε.Ε από τις εισαγωγές και την χρήση ορυκτών καυσίμων. Η δυνατότητα για χρήση των ΑΠΕ, μείωσε τη ζήτηση ορυκτών καυσίμων κατά ένα σημαντικό αριθμό 143 Mt το 2016, αριθμός που όπως αναφέρεται αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό 12% κατανάλωσης ενέργειας από ορυκτά καύσιμα (European Environment Agency,2020).

Αξίζει επιπλέον να σημειωθεί ότι, η ενέργεια από ΑΠΕ συμβάλλει στην μείωση και αποφυγή εκπομπών άνθρακα, με κυριότερο το CO₂ και συγκεκριμένα το 2016 είχε καταγραφεί αποφυγή 460 Mt ακαθάριστων εκπομπών CO₂, αριθμός που αντιστοιχεί σε ποσότητα μεγαλύτερη από αυτή των αερίων θερμοκηπίου της Ιταλίας για το 2016 και η οποία σαφώς μέσα στα επόμενα χρόνια αναμένεται να γνωρίσει ακόμη μεγαλύτερη εξέλιξη (European Environment Agency,2020).

Είναι γεγονός ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμβάλλουν στον περιορισμό του φαινομένου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ενώ παράλληλα επιδιώκουν να βοηθήσουν αναπτυσσόμενες χώρες όσον αφορά την πρόσβασή τους στην ενέργεια από ΑΠΕ. Η δυναμικότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γνώρισε αύξηση μεταξύ 2011 και 2016 αλλά εκτός από αυτό, αυξήθηκε και ο αριθμός ανθρώπων που επωφελούνται από αυτή (IRENA 2018). Το 2017, το ποσοστό από ΑΠΕ είχε φτάσει το 30,8% στην Ευρώπη, συγκριτικά με το 14,3% όπου βρισκόταν το 2004. Η Δανία, η Σουηδία, η Πορτογαλία, η Αυστρία και η Λετονία είναι χώρες που παράγουν περισσότερο από το 50% της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και

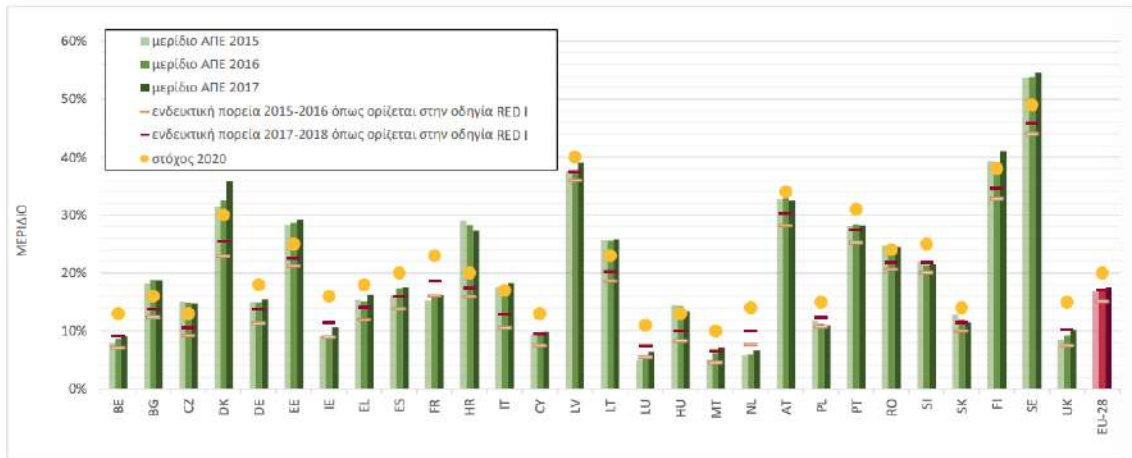
ακολουθούν με ένα 30% η Γερμανία, η Ιταλία και η Ισπανία (Eurostat. Sectoral & Regional Statistic, 2019).

Το μερίδιο ενέργειας από ΑΠΕ επί της ακαθάριστης τελικής ενέργειας στην Ε.Ε για το 2017, αντιστοιχεί σε ποσοστό 17,52% το οποίο πλησιάζει τον σημερινό στόχο, ο οποίος είναι τουλάχιστον 20% και παράλληλα υπερβαίνει το στόχο που είχε τεθεί για το 2016/2017 (European Commission, 2020). Η Ε.Ε βαδίζει σε μια πορεία ικανή να επιτύχει το στόχο της. Παρακάτω, ακολουθεί σχετικό γράφημα στο οποίο παριστάνονται τα μερίδια ενέργειας από ΑΠΕ για την Ε.Ε (2005-2020) σε ποσοστά % (Γράφημα 1).



Γράφημα 1: Πραγματικά και προβλεπόμενα μερίδια ενέργειας από ΑΠΕ για την Ε.Ε (2005-2020 %) (ΕΣΔΑΕ, 2020).

Στην κατανάλωση ενέργειας, χρησιμοποιήθηκαν οι ανανεώσιμες πηγές για την παραγωγή των διαφόρων μορφών ενέργειας. Δηλαδή, για την θέρμανση και την ψύξη χρησιμοποιήθηκε η βιομάζα, για την ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε η υδροηλεκτρική και η αιολική και αντίστοιχα για τις μεταφορές χρησιμοποιήθηκαν τα βιοκαύσιμα. Στη συνέχεια, αναφορικά με το γράφημα που ακολουθεί θα γίνει μια σύντομη αναφορά στα μερίδια ενέργειας από ΑΠΕ, ανάμεσα στα Κράτη-Μέλη, η ενδεικτική πορεία τους και ο στόχος για το 2020 (Γράφημα 2).



Γράφημα 2: Μερίδια ενέργειας από ΑΠΕ της Ε.Ε για τα Κράτη Μέλη επί της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας για το 2015-2017 (Eurostat 2020).

Από τα στοιχεία της Eurostat για το 2017, δεν υπάρχει κάτι διαφορετικό από αυτό που παριστάνεται στο διάγραμμα 2. Συγκεκριμένα 11 κράτη μέλη έχουν επιτύχει το στόχο του 2020 και είναι η Βουλγαρία, η Τσεχική Δημοκρατία, η Δανία, η Εσθονία, η Φιλανδία, η Κροατία, η Ουγγαρία, η Ιταλία, η Λιθουανία, η Ρουμανία και η Σουηδία. Από τα υπόλοιπα κράτη μέλη, τα 10 έχουν επιτύχει ή έχουν ξεπεράσει τον ενδιάμεσο στόχο για το 2017-2018, ενώ τα υπόλοιπα 7 θα πρέπει να προσπαθήσουν ακόμη περισσότερο για τον ενδιάμεσο στόχο έτσι ώστε να επιτύχουν και τον στόχο για το 2020. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα ελλείμματα και τα πλεονάσματα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ στα Κράτη Μέλη σε σχέση με την ενδεικτική τους πορεία (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Ελλείμματα και τα πλεονάσματα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ στα Κράτη Μέλη σε σχέση με την ενδεικτική τους πορεία, (Navigant 2019)

Κράτη Μέλη-/Ετη	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Βέλγιο	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Βουλγαρία	-	372	357	528	641	601	610	691	420	471	411	341
Τσεχική Δημοκρατία	-	0	0	0	0	1145	1039	947	863	892	678	643
Δανία	-	-	694	834	1123	1106	1223	1452	552	619	-	63
Γερμανία	-	-	6895	8436	6546	9390	7272	7911	4130	5976	-	3065
Εσθονία	101	117	135	122	75	94	154	163	186	235	279	296
Ιρλανδία	-	-	-	93	-14	111	79	26	-142	-12	-239	-366
Ελλάδα	-	137	201	320	242	195	137	-162	737	743	683	529
Ισπανία	-	-	2290	3083	2720	3357	1990	2963	2049	2793	-	839
Γαλλία	-	-641	-2708	-1877	-1565	-3721	-4048	-4075	0	0	0	0
Ιταλία	8324	8613	7405	10011	10937	9343	9468	7789	7259	5828	4462	3397
Κύπρος	0	-11	28	44	45	43	29	29	57	34	21	0
Λετονία	-	-	-	-	-	-	-69	-127	-	-	-	-
Λουξεμβούργο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-59	-	-120
Ουγγαρία	-	968	1150	1213	1295	883	970	803	-	-	-	-
Μάλτα	-	-	-	-	-	-	4	10	-	-	-	0
Κάτω Χώρες	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
Αυστρία	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Πολωνία	-	543	729	929	530	93	174	-260	968	968	-	587
Πορτογαλία	-	-	83	82	84	144	128	154	81	131	-4	50
Ρουμανία	1153	1306	794	942	645	692	1089	886	258	405	263	0
Σλοβενία	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σλοβακία	-	-	302	254	142	222	305	364	90	110	-	0
Φινλανδία	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σουηδία	2407	2141	2482	3318	3214	3335	3347	3475	3215	3610	3428	3241

Σύνολο	1198 5	1354 4	2083 8	2833 2	2666 0	2703 3	2390 1	2303 8	2072 2	2275 2	998 2	1256 4
--------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	-----------

Το διάστημα μεταξύ 1990 μέχρι και το 2017, η κατανάλωση στην ηλεκτρική ενέργεια γνώρισε αύξηση κατά ένα ποσοστό 1% ετησίως για την ΕΕ, γεγονός που αριθμητικά σημαίνει ότι αυξήθηκε από 2,2 δις GWh σε 2,8 περίπου (Eurostat 2016).

1.2.1 Σταθμοί Βιομάζας

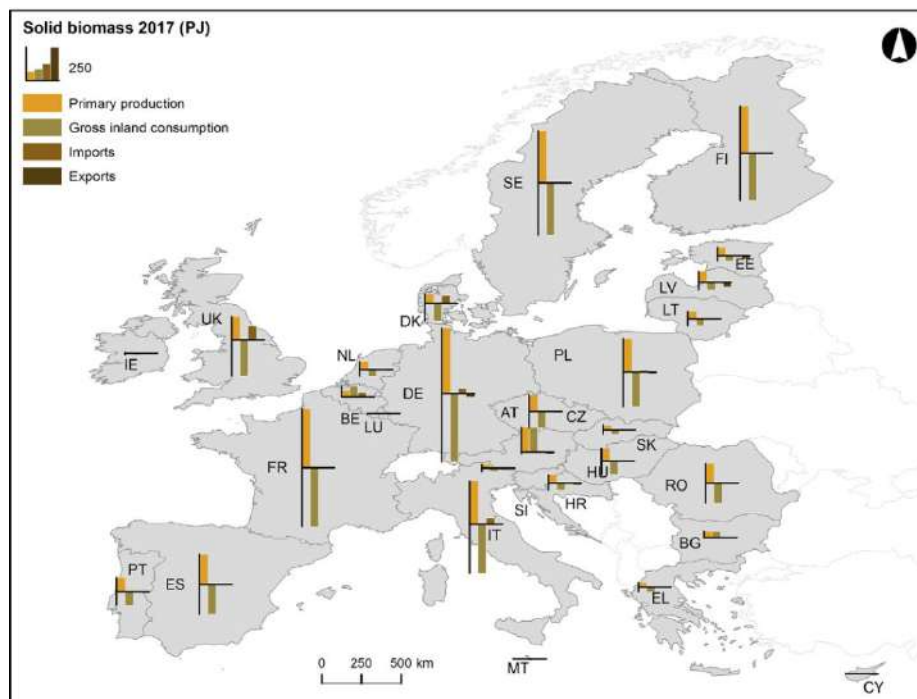
Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, εξαρτάται από ορισμένες παραμέτρους όπως για παράδειγμα από το είδος του βιοκαυσίμου, αλλά και το αν γίνεται ανάμιξη του με κάποιο άλλο ορυκτό καύσιμο. Επίσης το αν η πρώτη ύλη βιομάζας πρόκειται να μεταφερθεί στο σταθμό ή βρίσκεται ήδη εκεί είναι ακόμη ένας λόγος που μπορεί να επηρεάσει, όπως και εάν ο σταθμός ανήκει σε μεγάλης κλίμακας ή μικρής κλίμακας σταθμό βιομάζας, αλλά και τον λόγο που παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια (ιδιοκατανάλωση ή προσφορά στο δίκτυο) κ.α.

Κάθε σταθμός ηλεκτροπαραγωγής, έχει ορισμένα οφέλη και η μεταφορά βιομάζας προς αυτόν είναι παράγοντας που επηρεάζει τη λειτουργία του. Η προκείμενη μεταφορά μπορεί να γίνει με αγωγούς, με φορτηγά, με πλοία ή τρένα με τη βιομάζα να βρίσκεται σε μορφή στερεή, υγρή ή αέρια. Αφού όμως ολοκληρωθεί η επιλογή μεθόδου μεταφοράς η οποία θα είναι η πιο συμφέρουσα και αποδοτική, ακολουθεί στη συνέχεια η επεξεργασία και η αποθήκευσή της.

Ανάλογα με τη μορφή της βιομάζας και τις κλιματολογικές συνθήκες, επιλέγεται και ο χρόνος προσωρινής αποθήκευσης. Σε επόμενο στάδιο της προσωρινής αποθήκευσης, ανήκει η επεξεργασία, όπου σκοπεύει στη μείωση υγρασίας, την αύξηση πυκνότητας και τη μείωση μεγέθους ακατέργαστης βιομάζας, για να παραχθεί έτσι το βιοκαύσιμο προς χρήση. Συγκεκριμένα, για τη βιομάζα που προορίζεται για βιοαέριο, ακολουθείται μια διαφορετική διαδικασία που αξίζει να αναφερθεί έστω και συνοπτικά. Οδηγείται σε συγκεκριμένες δεξαμενές ζύμωσης, στις οποίες θερμαίνεται στους 35-55 βαθμούς Κελσίου και για 15-30 ημέρες αναμιγνύεται. Τέλος, ακολουθεί αποθείωση και μέσω ειδικών αγωγών μεταφοράς, είτε αποθηκεύεται σε δεξαμενές είτε οδηγείται σε αεριομηχανές (Kaltschitt, 2019).

Γενικά είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, η μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο, η αύξηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και η μείωση ενεργειακής εξάρτησης, είναι σήμερα από τους σημαντικότερους στόχους της Ευρώπης. Ο συνδυασμός καύσης βιομάζας και άνθρακα σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, δίνει την ευκαιρία να αυξηθεί το μερίδιο των ΑΠΕ. Ο συνδυασμός αυτός μπορεί να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του θείου, αντιπροσωπεύοντας μια βιώσιμη ενεργειακή ανάπτυξη. Ο άνθρακας έχει τις πιο εντατικές εκπομπές CO₂ ανά kWh ηλεκτρικής ενέργειας και για αυτό το λόγο ο συνδυασμός καύσης βιομάζας και άνθρακα είναι αποτελεσματικό μέτρο για τη μείωση εκπομπών CO₂.

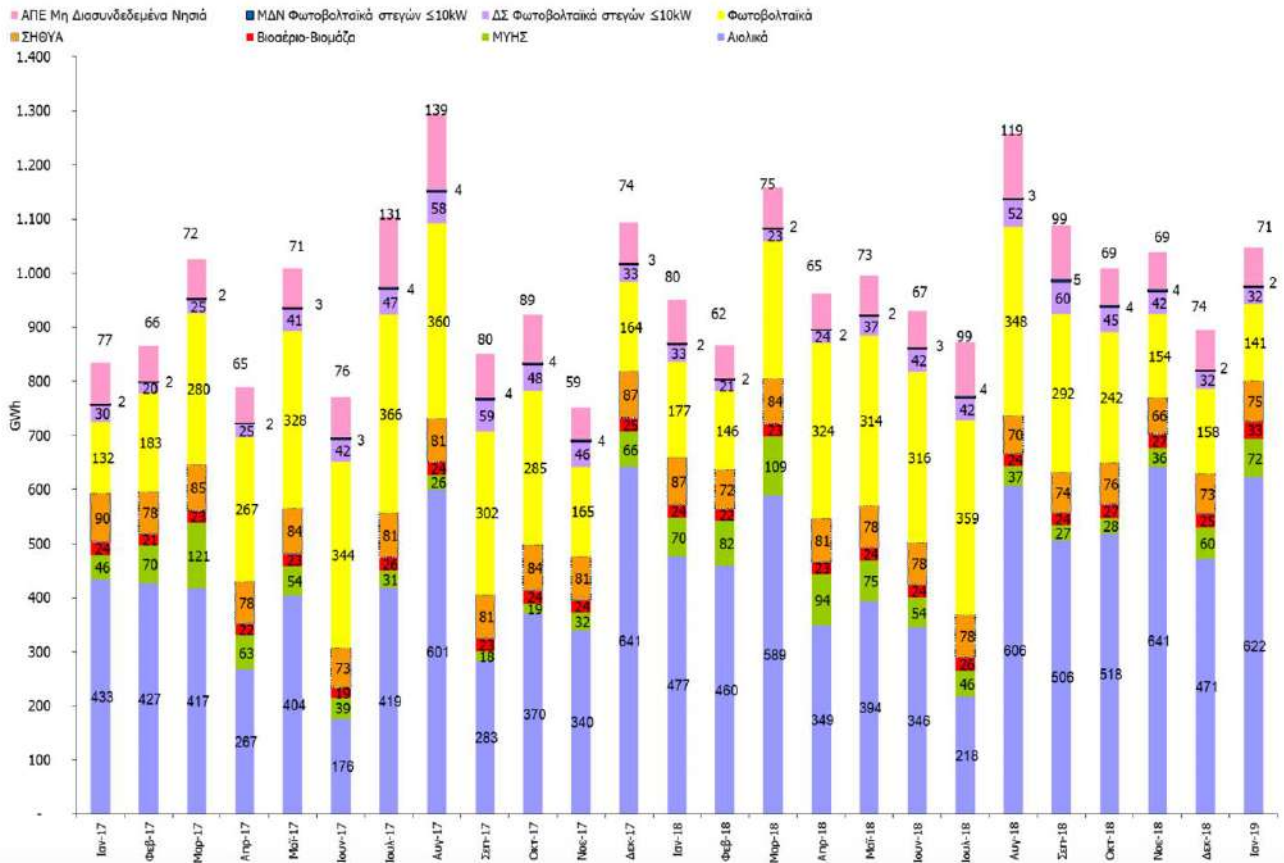
Το 2017, το μερίδιο της άμεσης χρήσης ΑΠΕ για βιομηχανική τελική ενεργειακή κατανάλωση ήταν μικρό και η βιομάζα ήταν η μόνη σημαντική χρήση με ΑΠΕ (93% των ΑΠΕ που χρησιμοποιήθηκαν στη βιομηχανία ήταν στερεά βιομάζα, το 3% ήταν αστικά απόβλητα, το 2% ήταν βιοαέριο). Στην εικόνα που ακολουθεί, (Εικόνα 1), αποτυπώνεται για την Ευρώπη (ΕΕ 28) του 2017, η πρωτογενής παραγωγή, η ακαθάριστη τελική κατανάλωση και οι εισαγωγές- εξαγωγές ενέργειας προερχόμενα από στερεή βιομάζα (Malico et al., 2017).



Εικόνα 1: Η πρωτογενής παραγωγή, η ακαθάριστη τελική κατανάλωση και οι εισαγωγές-εξαγωγές ενέργειας προερχόμενα από στερεή βιομάζα στην Ευρώπη, 2017 (Malico et al., 2017).

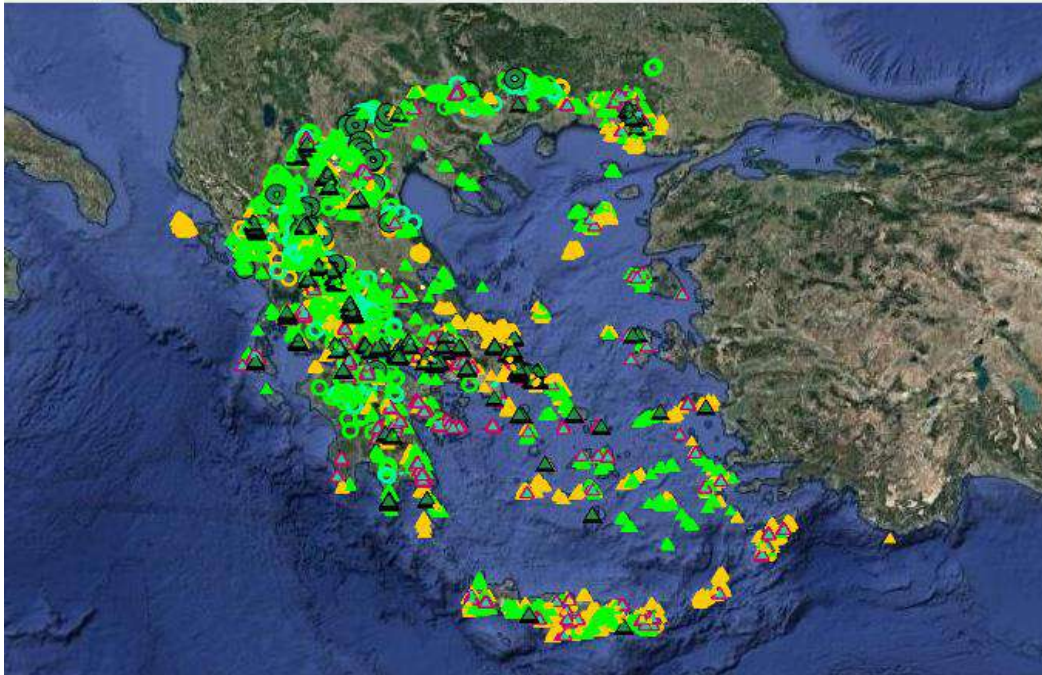
1.3 ΑΠΕ στην Ελλάδα

Ο Ελλαδικός χώρος όπως είναι φανερό και γνωστό από πάντα, έχει την κατάλληλη γεωγραφική θέση. Τα μορφολογικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά του, σε συνδυασμό με τα κλιματολογικά στοιχεία του, ικανοποιούν τέτοιες συνθήκες και προϋποθέσεις ικανές, για την ανάπτυξη εφαρμογής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Αποτελούμενη από 9 γεωγραφικές περιοχές και ως νοτιοανατολική χώρα της Ε.Ε, καλύπτει 131,9 χιλιάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα. Οι ενεργειακές της ανάγκες εξαρτώνται από τα ορυκτά καύσιμα (τοπικό λιγνίτη και φυσικό αέριο). Αξίζει να αναφερθεί ότι το 61%, των εθνικών ενεργειακών αναγκών της καλύπτεται από εισαγόμενα καύσιμα και το 39% από πηγές ενέργειας, με το λιγνίτη να καλύπτει το 77% αυτού του ποσοστού και οι ΑΠΕ το 22%. Το κύριο πεδίο εφαρμογής για τη χώρα είναι η αξιοποίηση των ΑΠΕ στο μέγιστο, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και η μείωση εισαγωγών ορυκτών καυσίμων. Το μερίδιο ενέργειας από ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας έχει αυξηθεί από 6,9% το όπου βρισκόταν το 2004, σε 16,3% το 2017-2018 (Eurostat. Sectoral & Regional Statistic, 2019). Με αυτόν τον τρόπο ενθαρρύνθηκαν πολιτικές στήριξης για τις επενδύσεις ΑΠΕ στη χώρα. Παρακάτω στο γράφημα, παριστάνεται η εθνική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες ΑΠΕ, ΣΗΘΥΑ και Φωτοβολταϊκά Στεγών με λιγότερο από 10kW (Γράφημα 3).



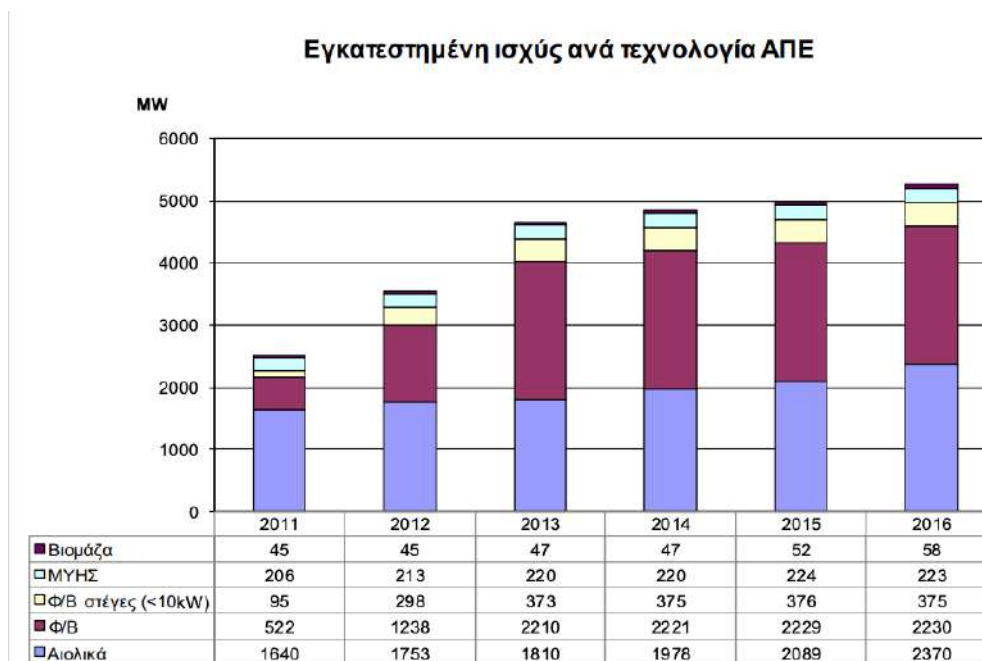
Γράφημα 3: Εθνική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (GWh), μονάδων ΑΠΕ, ΣΗΘΥΑ και Φωτοβολταϊκών Στεγών για λιγότερο από 10kW (2017-2019) (N.3468/2006 ΦΕΚ).

Στον γεωπληροφοριακό χάρτη που ακολουθεί, κατανέμονται τα έργα ΑΠΕ σε ολόκληρη τη χώρα το 2020, σύμφωνα με τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ). Πιο συγκεκριμένα, απεικονίζονται οι Αιολικοί σταθμοί, οι Υβριδικοί σταθμοί, οι Γεωθερμικοί, οι Ηλιοθερμικοί, οι Υ/Η σταθμοί και οι σταθμοί Βιομάζας, οι οποίοι βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια, είτε στάδια εγκατάστασης, είτε λειτουργίας, είτε σε διαδικασία αξιολόγησης.

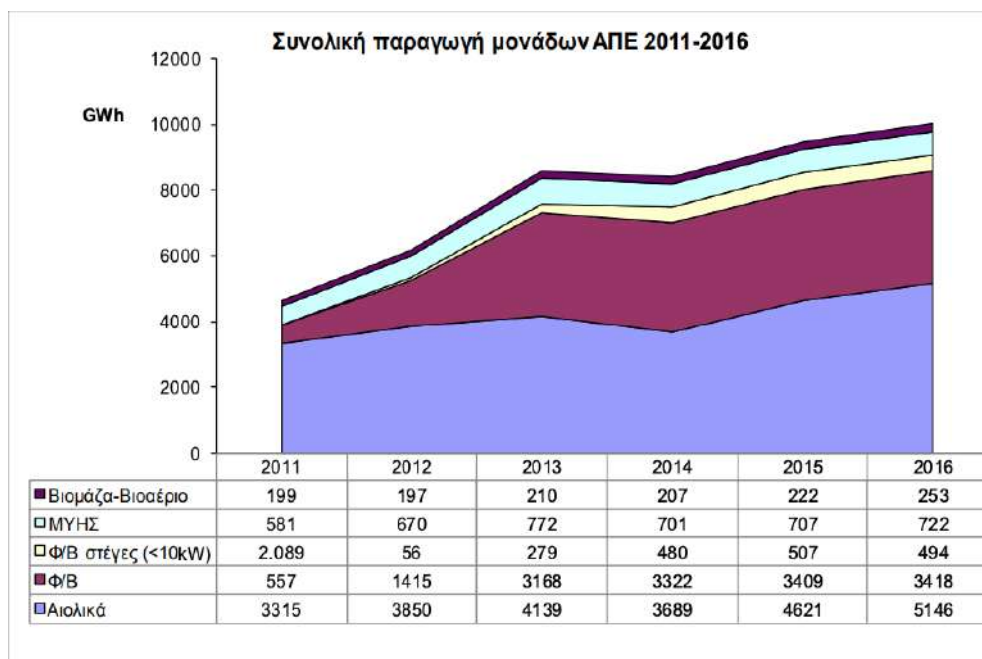


Εικόνα 2: Γεωπληροφοριακός χάρτης – Γενική κατανομή έργων ΑΠΕ στην Ελλάδα (ΡΑΕ, 2020).

Στη συνέχεια, σύμφωνα με δεδομένα της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ), θα παρατεθούν δύο ξεχωριστά γραφήματα σχετικά με την εγκατεστημένη ισχύ ανά τεχνολογία ΑΠΕ και τη συνολική παραγωγή μονάδων ΑΠΕ για το χρονικό διάστημα 2011-2016, μέσα στα οποία διακρίνεται και η συμμετοχή των φωτοβολταϊκών (σε πάρκα ή στέγες), της βιομάζας και της αιολικής ενέργειας στο σύνολο (Γράφημα 4 & 5).



Γράφημα 4: Εγκατεστημένη ισχύς ανά είδος ΑΠΕ (PAE, 2020).



Γράφημα 5: Συνολική παραγωγή μονάδων ΑΠΕ 2011-2016 (PAE, 2020).

1.3.1 Κατανομή Φωτοβολταϊκών

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών για την Ελλάδα, έχει ένα περιβαλλοντικό αποτύπωμα που σχετίζεται με την δέσμευση γης που κατέχει, το νερό που παράγεται, συγκριτικά με την αντίστοιχη παραγωγή του από έναν λιγνιτικό σταθμό, και το διοξείδιο του άνθρακα που απομακρύνεται εξαιτίας της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών. Ξεκινώντας με τη δέσμευση γης, σε οριζόντιο επίπεδο, καταλαμβάνονται περίπου 40.000 στρέμματα. Από τη στιγμή που στη χώρα καλλιεργούνται τα 29,2 εκατ. στρ. από τα 32,8, τα φωτοβολταϊκά καλύπτουν ένα 0,12%, ποσοστό γεωργικής γης, το οποίο είναι 90 φορές μικρότερο από την συνολική ακαλλιέργητη γη (IPCC, 2012). Το 2019, η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά απομάκρυνε αποδεδειγμένα την έκλυση 3,72 εκατ. τόνων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (Solar Power Europe, 2015). Στη συνέχεια, θα αναφερθούν οι τρεις τρόποι μέσω των οποίων μπορεί κάποιος να κινηθεί για επένδυση στον τομέα των φωτοβολταϊκών και αυτοί είναι, η αυτοπαραγωγή με ενεργειακό συμψηφισμό (net-metering), η αυτοπαραγωγή με πώληση έως 20% παραγόμενης ενέργειας (για επιχειρήσεις) και η πώληση παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο (HELAPCO 2020).

Παρακάτω, παρατίθεται πίνακας που αναπαριστά τις εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών που είχαν πραγματοποιηθεί στη χώρα το 2018 και την αντίστοιχη ισχύ τους (MWp) (Πίνακας 3).

Πίνακας 3: Εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων (HELAPCO, 2018)

Νέες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών το 2018		
	MWp	Αριθμός συστημάτων
Φωτοβολταϊκά πάρκα (ηπειρωτικό σύστημα)	33,723	15
Net-metering (ηπειρωτικό σύστημα)	6,181	276
Εικονικό net-metering (ηπειρωτικό σύστημα)	0,116	5
Ειδικό πρόγραμμα (ηπειρωτικό σύστημα)	0,065	8
Φωτοβολταϊκά πάρκα (Μη διασυνδεδεμένα νησιά)	0,036	2
Net-metering (Μη Διασυνδεδεμένα νησιά)	0,958	78
Ειδικό πρόγραμμα (Μη διασυνδεδεμένα νησιά)	0,035	4
	41,114	388

*net-metering=ενεργειακός συμψηφισμός

Τέλος, στο παρακάτω γράφημα που ακολουθεί (Γράφημα 6.), φαίνεται ανά έτος μέχρι και το 2019, η ετήσια και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών στην ελληνική αγορά (HELAPCO, 2020).



Γράφημα 6: Ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών (HELAPCO, 2020).

1.3.2 Σταθμοί Βιομάζας

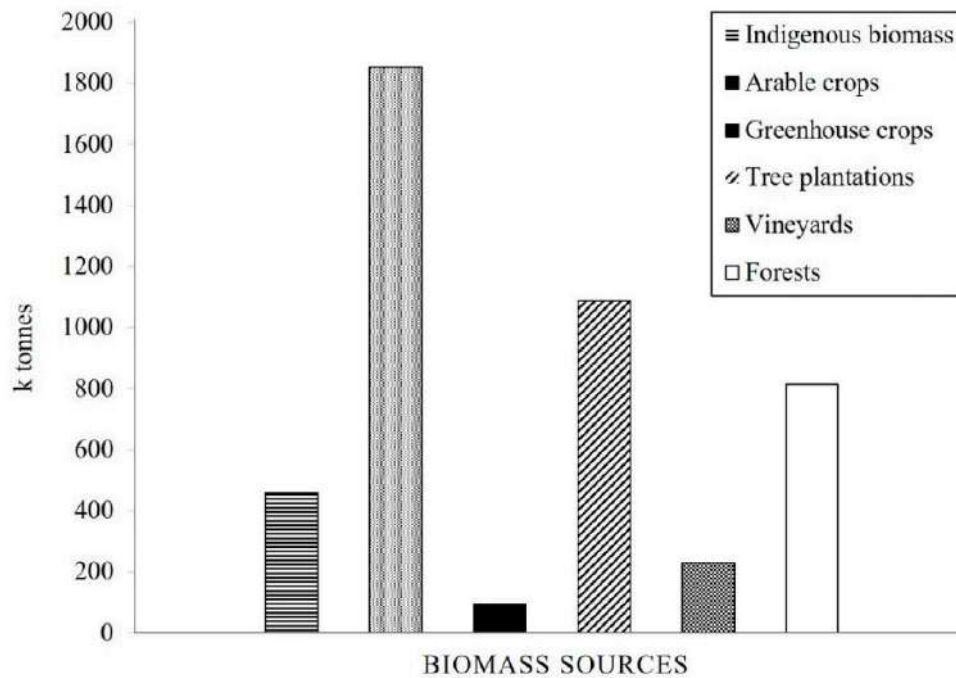
Η αξιοποίηση της βιομάζας, είναι ένα είδος Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας (με θερμικές ή βιολογικές διεργασίες), και συμβάλλει στην επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων. Όταν, συχνά αναφέρεται ο όρος βιομάζα, πίσω από αυτόν κρύβεται η έννοια του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος προϊόντων, αποβλήτων και κατάλοιπων γεωργικής προέλευσης, δασοκομίας, βιομηχανικής, αλιείας και υδατοκαλλιέργειας. Αυτό που κάνει σπουδαίο το ρόλο της βιομάζας είναι, πως όταν καίγεται δεν επιβαρύνει επιπλέον με διοξείδιο του άνθρακα την ατμόσφαιρα. Για τη χρήση της, υπάρχει μια σειρά προτεραιότητας, η οποία είναι:

⇒ Επαναχρησιμοποίηση-ανακύκλωση- βιοενέργεια- διάθεση

Πίσω από την ακολουθία αυτή, κρύβεται το σκεπτικό ότι ο κύκλος ζωής της βιομάζας, πρέπει να μεγιστοποιηθεί για να εξασφαλίσει βιωσιμότητα στη βιοοικονομία και για να υπάρξει ισορροπία στις επιδοτήσεις του τομέα της ενέργειας (Centre for Renewable Energy Sources, 2018).

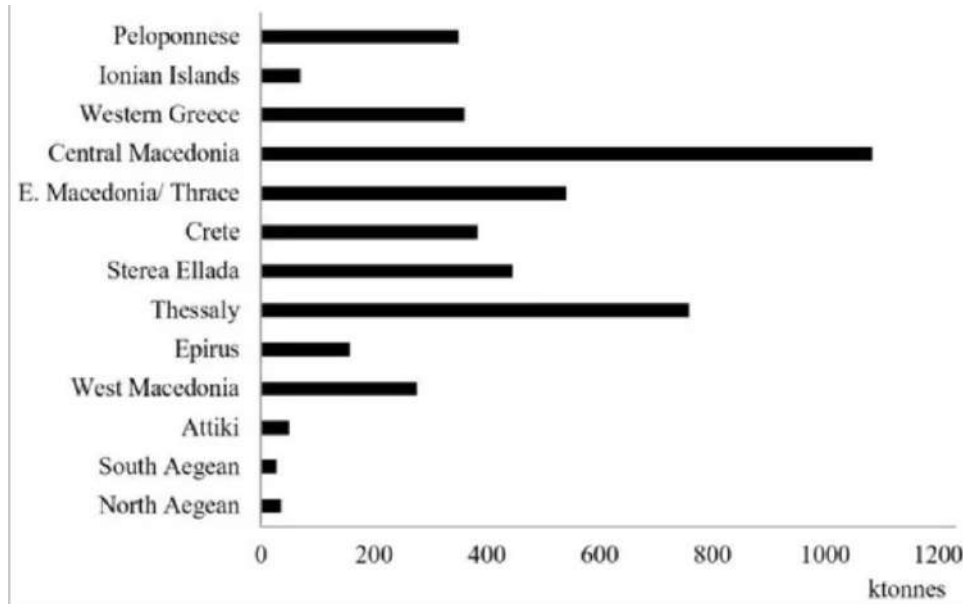
Εκτός από το δυναμικό της βιομάζας, σπουδαίο ρόλο έχουν για τη χρήση της τα βιοχημικά χαρακτηριστικά της, όπως η περιεκτικότητά της σε τέφρα και υγρασία, τα πτητικά στερεά, η πυκνότητά της, τα μέταλλα αλκαλίων και η θερμιδική της αξία. Με τις πιο σημαντικές να είναι η περιεκτικότητα σε τέφρα και υγρασία, καθώς και η θερμιδική αξία. Αυτό συμβαίνει διότι, η τήξη της τέφρας ή ακόμη και το περιεχόμενο της σε κάλιο (K), νάτριο (Na) και πυρίτιο (Si), μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα

στην αξιοποίηση της βιομάζας γενικότερα (Phyllis, 2018). Στη συνέχεια, στα παρακάτω γραφήματα (Γράφημα 7,8), απεικονίζονται οι ποσότητες βιομάζας ανά πηγή και ανά περιοχή αντίστοιχα, για την ελληνική επικράτεια σύμφωνα με δεδομένα του 2018 (Regulatory Authority for Energy, 2018).



Γράφημα 7: Ποσότητες βιομάζας ανά πηγή στην ελληνική επικράτεια (*Regulatory Authority for Energy, 2018*).

Σε πρώτη θέση βρίσκονται οι αροτραίες καλλιέργειες και σε δεύτερη οι φυτείες δέντρων με περίπου 1 εκατ. τόνους.



Γράφημα 8: Ποσότητες ξυλώδους βιομάζας ανά περιοχή στην ελληνική επικράτεια (Regulatory Authority for Energy, 2018).

1.3.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Αναφορικά με την υδροηλεκτρική ενέργεια, μη διασυνδεδεμένα συστήματα ισχύος, θεωρούνται τα περισσότερα νησιά στην Ελλάδα, καλύπτοντας τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας με αυτόνομες μονάδες παραγωγής θερμότητας. Αποτελούν ελκυστικές περιοχές για την ανάπτυξη των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, εξαιτίας του αυξημένου αιολικού δυναμικού και ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και του ειδικού κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ευνοώντας την οικονομική σκοπιμότητα έργων ΑΠΕ. Οι συνολικές μονάδες παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ είναι γνωστές ως υβριδικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής. Στην Ελλάδα συγκεκριμένα, υπάρχει υβριδικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής στην Ικαρία, αποτελούμενος από ένα αιολικό πάρκο, μια μονάδα αποθήκευσης και τις θερμικές γεννήτριες όπως προαναφέρθηκαν (Katsaprakakis et al., 2016).

Τα απομονωμένα συστήματα που σήμερα στην Ελλάδα φτάνουν τα 32, διακρίνονται σε κατηγορίες διαχωρισμού τους. Οι κατηγορίες αυτές είναι τα μικρά συστήματα με μέγιστη ζήτηση 10MW (19) , τα μεσαία με 10-100MW (11) και τα μεγάλα με ζήτηση περισσότερο από 100MW (2). Σύμφωνα με το ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο, ένας υβριδικός σταθμός είναι μια μονάδα παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιεί τουλάχιστον μια μορφή ΑΠΕ, η συνολική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας

που απορροφά από το δίκτυο δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ποσότητας ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του σταθμού και η μέγιστη ισχύς των μονάδων του, δεν πρέπει να ξεπερνά της εγκατεστημένη χωρητικότητά του. Για μεγάλης κλίμακας αποθήκευση, είναι σπουδαία τεχνολογία οι μονάδες αντλίας αποθήκευσης με υδροσυλλέκτη αποτελούμενη από άνω και κάτω δεξαμενή, αντλία, υδρογεννήτρια και υδατικούς πόρους.

1.3.4 Γεωθερμική Ενέργεια

Η Ελλάδα, αποτελεί μια χώρα με υψηλό δυναμικό γεωθερμικής ενέργειας. Πριν 40 χρόνια, εντοπίστηκε μεγάλος αριθμός γεωθερμικών πεδίων, που όμως παρόλα αυτά η αξιοποίησή τους περιορίστηκε. Είναι γεγονός δηλαδή, ότι υπάρχει απουσία παραγωγής ενέργειας από τη γεωθερμική, γεγονός που ξεκίνησε εξαιτίας κακής εμπειρίας από το 1970-80 με έναν πιλοτικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που υπήρξε στη Μήλο. Σφάλματα τότε, οδήγησαν σε ρύπανση περιβάλλοντος και επομένως σε αντιδράσεις ντόπιων κατοίκων, απέναντι στην εκμετάλλευση γεωθερμικών πόρων σε υψηλές θερμοκρασίες.

Ο ενεργειακός συνδυασμός της χώρας, διαφέρει από το μέσο όρο στην ΕΕ-28, σχετικά με τη χρήση πετρελαίου, στερεών καυσίμων και φυσικού αερίου. Σαν χώρα, έχει πολύπλοκη γεωλογική δομή με ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών. Τα γεωθερμικά πεδία βρίσκονται κατά μήκος νοτίου Αιγαίου (στο ηφαιστειακό τόξο). Οι γεωλογικές συνθήκες όμως, ευθύνονται για το γεγονός ότι συνέβαλαν στη δημιουργία σημαντικών γεωθερμικών πεδίων και κάνουν τη χώρα ευνοούμενη όσον αφορά το δυναμικό της.

Πιο αναλυτικά, στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3), όπου απεικονίζεται ο χάρτης της Ελλάδος, επισημαίνονται τα γεωθερμικά πεδία και οι σχετικές θερμοκρασίες για κάθε περιοχή στη χώρα (Karytsas et al., 2018).



Εικόνα 3: Γεωτεχνικά πεδία της Ελλάδος (Karytsas et al., 2018).

1.4 Βιομάζα- Ενεργειακή Πηγή

Η βιομάζα, αποτελεί πόρο, που υπάρχει σε ποικιλία διαφορετικών υλικών όπως είναι το ξύλο, το άχυρο, το πριονίδι, τα απορρίμματα σπόρων, η κοπριά, τα απορρίμματα χαρτιού, τα οικιακά απορρίμματα, τα απόβλητα ελαιοτριβείων, τα απόβλητα τυροκομείων, τα απόβλητα ενεργειακών καλλιεργειών και τα λύματα. Οι πόροι βιομάζας χρησιμοποιούνται παραδοσιακά και η χρήση τους είναι σημαντική όσον αφορά το οικονομικό δυναμικό, καθώς οι όγκοι γεωργικής παραγωγής ετησίως είναι αυξημένοι και των οποίων τα υποπροϊόντα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας και να προωθηθούν ως οι γνωστές «ενεργειακές καλλιέργειες» (Moreno-Perea et al., 2019).

Ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται όπως είναι γνωστό, με ταχύτατους ρυθμούς, σήμερα είναι διπλάσιος από αυτόν του 1960 και πρόκειται να φτάσει έως και τα 9 δις μέχρι το 2050. Αυτή η κατάσταση έχει οδηγήσει στην αύξηση του ποσοστού της ενέργειας που χρησιμοποιείται, για αυτό το λόγο η ενεργειακή βιωσιμότητα αποτελεί πλέον λύση για τον μετριασμό σχετικών προβλημάτων. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), το 90% των κατοίκων των αστικών κέντρων, δυστυχώς υποβάλλεται στην περιβαλλοντική ρύπανση, η οποία υπερβαίνει τα συνιστώμενα όρια. Παρακάτω, αξίζει να σημειωθούν ορισμένα βιοκαύσιμα προερχόμενα από βιομάζα όπως για παράδειγμα καυσόξυλα, ξύλα, μικροί καρποί από φρούτα(αβοκάντο, ελιές καρύδια) κ.α. Τέτοιου είδους υπολείμματα συνθλίβονται και δημιουργούνται στη συνέχεια σφαιρίδια, που το μέγεθός τους ποικίλει ανάλογα την παραγωγική διαδικασία. Η διάμετρος τους κυμαίνεται μεταξύ 6-12mm και σε μήκος ξεκινούν από 10 έως και 30 mm. Καρποί φρούτων και φλούδες, αντιπροσωπεύουν στερεά είδη βιοκαυσίμου. Έχει αποδειχθεί, ότι συγκεκριμένα το κέλυφος από φιστίκι, η φλούδα από ηλίανθο και ο καρπός μάνγκο, έχουν υψηλό ενεργειακό δυναμικό με μεγάλη τιμή θέρμανσης (HHV) (Moreno et al., 2018).

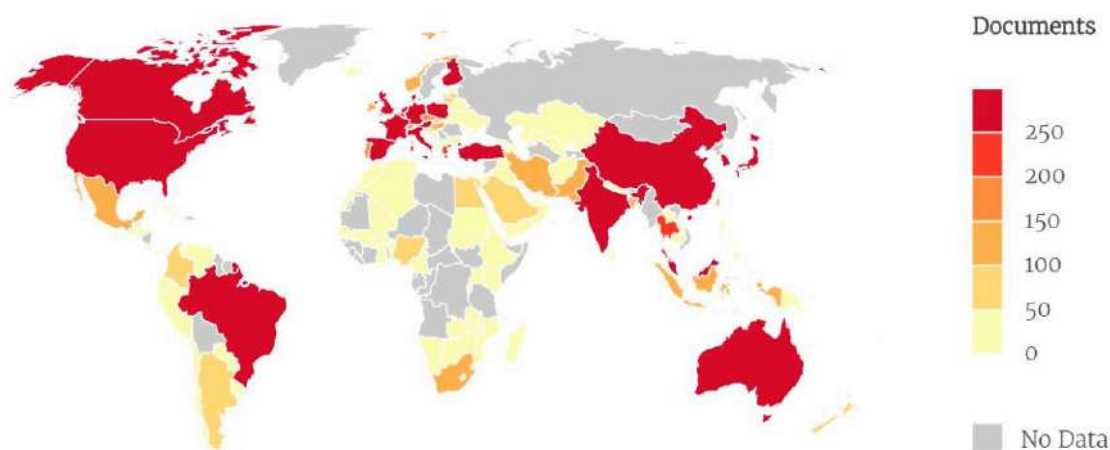
Όλα αυτά σε συνδυασμό με την αυξημένη παγκόσμια παραγωγή, καθιστούν ελκυστικά αυτά τα είδη υπολειμμάτων για την παραγωγή θερμικής ενέργειας και για τη μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η βιομάζα θεωρείται ουδέτερη πηγή ενέργειας από άνθρακα, δεδομένου ότι απορροφά το διοξείδιο άνθρακα της ατμόσφαιρας, που στη συνέχεια απελευθερώνεται σε αυτή κατά την καύση και έτσι προκύπτει μηδενικό υπόλοιπο εκπομπών. Ωστόσο, χάνονται ποσότητες θερμικής

ενέργειας προκειμένου να παραχθεί η ηλεκτρική. Έτσι, η συμπαραγωγή είναι μια τεχνολογία, που χρησιμοποιεί χαμένη θερμότητα προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Το επίκεντρο της παρούσας ενότητας, αλλά και της εργασίας γενικότερα είναι τα αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, τα οποία αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της βιομάζας που χρησιμοποιείται για παραγωγή ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Τεράστιες ποσότητες από αυτά, συσσωρεύονται ετησίως, με αποτέλεσμα εάν δεν αξιοποιηθούν σωστά να επιβαρύνουν το περιβάλλον. Στα αγροτοβιομηχανικά απόβλητα περιλαμβάνονται απόβλητα από βιομηχανίες και εργοστάσια τροφίμων όπως η γαλακτοβιομηχανίες, τα τυροκομεία, βιομηχανίες και εργοστάσια παραγωγής ελαιολάδου αντίστοιχα (ελαιοτριβεία) και απόβλητα από κτηνοτροφικές μονάδες (κοπριές, ενσιλώματα, κ.α.). Είναι απόβλητα με υψηλό ενεργειακό δυναμικό και περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά, για αυτό και αποτελούν κύρια πηγή βιομάζας προς εκμετάλλευση και επεξεργασία με τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης. Τα χαρακτηριστικά τους είναι που τα κάνουν να ξεχωρίζουν ανάμεσα σε πλήθος αποβλήτων, δίνοντας υψηλής ποιότητας βιοαέριο και εδαφοβελτιωτικό εδάφους. Η αναερόβια χώνευση προσφέρει λύση για την διαχείρισή τους, αποφέροντας παράλληλα οφέλη με τα προϊόντα που παράγει, το βιοαέριο και τη σταθεροποιημένη ιλύ-λίπασμα.

Επιπλέον, δίκτυα τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης είναι ένας ακόμη τρόπος για ενσωμάτωση φυσικών πόρων (βιομηχανικής και γεωργικής βιομάζας) και για παράλληλη αύξηση ενεργειακής απόδοσης. Λόγω ευρείας διαθεσιμότητας, η βιομάζας αποτελεί πλέον ανανεώσιμη πηγή ενέργειας με υψηλό δυναμικό ανάπτυξης. Αυτό που πρέπει να επισημανθεί, είναι πως η καύση της δεν είναι πάντα μια εύκολη διαδικασία και κάποιες φορές χρειάζεται να διεξαχθούν φυσικοχημικές ή βιολογικές διεργασίες, προκειμένου να εναρμονιστεί με την ποιότητα συμβατικών καυσίμων (Li et al., 2017).

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 4), απεικονίζεται η παραγωγή βιομάζας ανά χώρα προέλευσης στον παγκόσμιο χάρτη. Πηγαίνοντας από το κόκκινο χρώμα προς το γκρι, επεξηγείται το γεγονός ύπαρξης δημοσιεύσεων σχετικά με την βιομάζα για κάθε χώρα. Όπως φαίνεται, η ΗΠΑ, έχουν τον υψηλότερο αριθμό δημοσιεύσεων και ακολουθούν η Κίνα, η Ινδία, η Γερμανία και η Ιταλία. Επομένως, η χρήση βιομάζας ως ανανεώσιμη ενέργεια στις βιομηχανικές χώρες, αποτελεί βασικό στοιχείο της αειφόρου ανάπτυξης. Στις χώρες αυτές, οι διάφορες πολιτικές των κυβερνήσεων, επιδιώκουν με κάθε τρόπο τη μείωση αερίων του θερμοκηπίου.



Εικόνα 4: Παγκόσμια παραγωγή βιομάζας ως ανανεώσιμη ενέργεια, ανά χώρα προέλευσης (Moreno-Perea M.A. et al., 2019).

Εκτός από τις 5 χώρες που προαναφέρθηκαν (ΗΠΑ, Γερμανία, Κίνα, Ινδία, Ιταλία), οι χώρες με τον μεγαλύτερο αριθμό κατοίκων παγκοσμίως, δείχνουν ενδιαφέρον για χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, και κυρίως ως προς τη χρήση βιομάζας.

1.4.1 Ενεργειακές καλλιέργειες

Η βιοενέργεια, ενέργεια προερχόμενη από βιομάζα, χρησιμοποιείται για τρεις διαφορετικές εφαρμογές, τον ηλεκτρισμό, τη θερμότητα και τα καύσιμα. Αντιμετωπίζει ανταγωνισμό όχι μόνο από τα ορυκτά καύσιμα αλλά και από βιώσιμες πηγές ενέργειας όπως για παράδειγμα την υδροηλεκτρική και την αιολική. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα έχει αξιοσημείωτο ρυθμό ανάπτυξης και η χρήση της εκτιμάται για παραγωγή ενέργειας περίπου στο 14% της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας (Paschalidou et al., 2018).

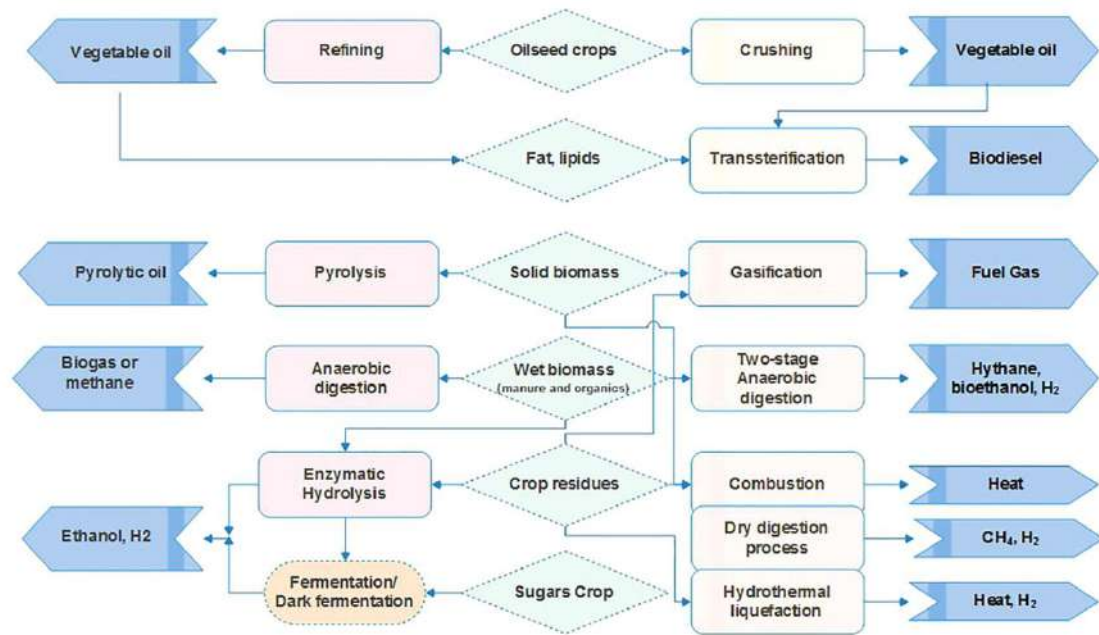
Σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ, 2019), οι ενεργειακές καλλιέργειες ανήκουν στις αυτοφυείς και στις καλλιεργούμενες. Το κύριο προϊόν παραγωγής τους είναι η βιομάζα η οποία χρησιμοποιείται στην πορεία, προκειμένου να παραχθεί θερμική και ηλεκτρική ενέργεια καθώς και υγρά βιοκαύσιμα. Οι ενεργειακές καλλιέργειες διακρίνονται σε παραδοσιακές και νέες με τις πρώτες να αποτελούν το σιτάρι, το κριθάρι, ο αραβόσιτος, τα ζαχαρότευτλα και ο ηλίανθος. Οι καλλιέργειες αυτές χρησιμοποιούνται για να παραχθεί βιοντίζελ και βιοαιθανόλη. Επιπλέον, υπάρχουν δύο ακόμη κατηγορίες ενεργειακών καλλιεργειών, οι δασικές (2 είδη ευκαλύπτων, ψευδακακία) και οι γεωργικές. Οι γεωργικές διακρίνονται σε

πολυετείς και ετήσιες ενεργειακές καλλιέργειες, οι οποίες είναι κατάλληλες για νότιες χώρες της Ευρώπης όπως η Ελλάδα συγκεκριμένα.

1.4.2 Γεωργικά υπολείμματα

Σε όλο το κόσμο, η παραγωγή ενέργειας από κατάλοιπα βιομάζας αποτελεί βασικό τομέα εστίασης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Μεγάλη ποσότητα των καταλοίπων αυτών, παράγεται από τις γεωργικές καλλιέργειες. Εμφανίζονται μετά τη συγκομιδή ως μίσχοι, άχυρα, φύλλα, φλοιός κ.α. Τα χαρακτηριστικά και η ποσότητα των υπολειμμάτων ποικίλουν ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες, τις γεωργικές πρακτικές, τον τύπο καλλιέργειας και τις τιμές παραγωγής καλλιέργειας (Avcioğlu et al., 2019).

Όσον αφορά μελέτες που πραγματοποιούνται στην Ε.Ε σε διαφορετικές χώρες, ανάμεσά τους και η Ελλάδα, ο λόγος του υπολείμματος προϊόντος (RPR), ο βαθμός υγρασίας υπολειμμάτων και οι τιμές θέρμανσης ξηράς ύλης, θεωρούνται καθοριστικές για το δυναμικό ενέργειας τέτοιου είδους βιομάζας που προέρχεται από γεωργικές καλλιέργειες (Lozano & Lozano , 2018). Η ξυλώδης και μη βιομάζα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση βιομηχανικών διεργασιών, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω διαφόρων τεχνολογιών. Στην εικόνα που ακολουθεί παριστάνονται οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται προς παραγωγή ενέργεια από διάφορα είδη γεωργικών υπολειμμάτων (Εικόνα 8).



Εικόνα 5: Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται προς παραγωγή ενέργειας από διάφορα είδη γεωργικών υπολειμμάτων (Prasad *et al.*, 2020).

Η παραγωγή βιώσιμης ενέργειας, είναι κύρια πρόκληση για τον 21^ο αιώνα, ενώ τα πιθανά οφέλη που μπορεί να αντιμετωπίσει η βιοενέργεια προκύπτουν από τις ΑΠΕ υπολειμμάτων καλλιεργειών, οι οποίες αποτελούν κύριες δυνάμεις για την προώθηση παραγωγής και χρήσης της βιοενέργειας. Η διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων στα γεωργικά κατάλοιπα, δύναται να επηρεάσει την παραγωγή ενέργειας αλλά και τις εκπομπές. Είναι γεγονός ότι η παραγωγή βιοαιθανόλης από ένα είδος καλλιέργειας, θα μπορούσε να είναι καλύτερη επιλογή από την παραγωγή βιομεθανίου άλλου είδους καλλιέργειας και γενικά στην παραγωγή βιοαερίου να αρμόζει ένα είδος καλλιέργειας που θα είναι ικανό να αποδώσει την καλύτερη εκδοχή του (Prasad *et al.*, 2020).

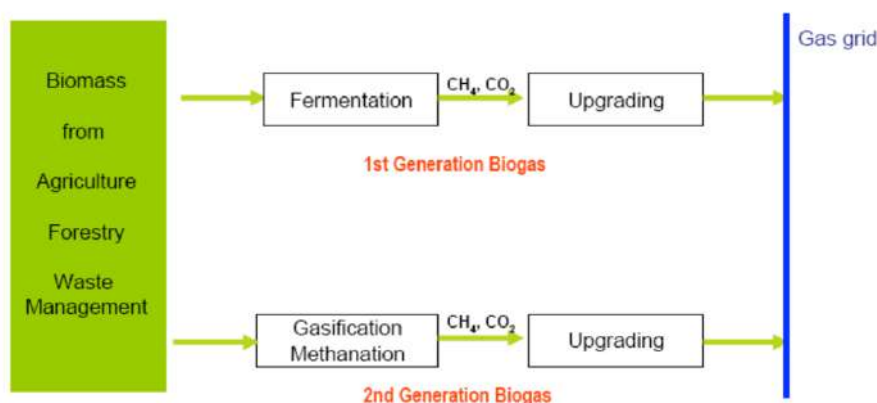
1.5 Βιοαέριο –Ενεργειακή Πηγή

Η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, οι αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις, το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής, έχουν οδηγήσει σε επιτακτική ανάγκη για βιώσιμες μορφές ενέργειας (ΑΠΕ). Όλοι οι παραπάνω λόγοι, οδηγούν στην βιώσιμη επιλογή παραγωγής ενέργειας, με αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου και με πρώτη ύλη για την παραγωγή του, τα οργανικά απόβλητα (Ghosh *et al.*, 2020).

Σήμερα, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας που βασίζονται στη βιομάζα, έχουν καταστεί σημαντικές, έχοντας την τάση για αντικατάσταση κατανάλωσης πετρελαίου, με αποτέλεσμα τη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Ανάμεσα στα βιοκαύσιμα που δύνανται να αντικαταστήσουν το πετρέλαιο, ανήκει το βιοαέριο, που απελευθερώνεται κατά την αναερόβια χώνευση διαφόρων φυσικών οργανικών αποβλήτων. Είναι σε θέση να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή συνθετικών καυσίμων που σε άλλη περίπτωση θα παράγονταν από άνθρακα και πετρέλαιο (Damyanova & Beschkon, 2020).

Γενικά, το βιοαέριο προκύπτει από τη ζύμωση οργανικών αποβλήτων και αποτελεί ενδιαφέρουσα λύση για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και καυσίμου. Οι βιολογικές διεργασίες που ακολουθούνται για απόκτηση ενέργειας και βιοκαυσίμων, βασίζονται σε βακτήρια ή φύκια προκειμένου να ληφθεί το ίδιο το βιοαέριο. Η παραγωγή του από συστήματα αναερόβιας χώνευσης, έχει γίνει στην Ευρώπη ευρέως διαδεδομένη και ενθαρρύνεται η ανάπτυξή τους (Carosciutti et al., 2020).

Αναλυτικότερα για το βιοαέριο, είναι αέριο μίγμα που παράγεται σε κατάλληλους χωνευτές, προκειμένου να εκτελεστεί η διαδικασία της αναερόβιας επεξεργασίας. Αποτελείται από μεθάνιο 55-70%, διοξείδιο του άνθρακα 30-45% και ποσότητα άλλων αερίων όπως υδρογόνο, άζωτο, αμμωνία και υδρόθειο. Η θερμογόνο δύναμή του είναι υψηλή (20-25MJ), τροφοδοτεί μηχανές εσωτερικής καύσης ή αεριοστροβίλους και με αυτόν τον τρόπο καίγεται και παράγεται ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρικής ή θερμικής. Όμως, εκτός από την αναερόβια χώνευση που θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα στην παρούσα εργασία και που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαερίου και την κατ' επέκταση παραγωγή ενέργειας, υπάρχουν και άλλες μέθοδοι όπως η αεριοποίηση (αποδόμηση οργανικού καυσίμου θερμικά) κ.α. που μπορούν να ακολουθήσουν αντίστοιχη διαδικασία παραγωγής ενέργειας από βιοαέριο. Το βιοαέριο, μέσω της αναερόβιας χώνευσης καθαρίζεται, απομακρύνοντας σωματίδια όπως υδρόθειο, αμμωνία και νερό, αναβαθμίζεται στη συνέχεια απομακρύνοντας το διοξείδιο του άνθρακα και τέλος καθαρίζεται από οσμές. Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο από το βιοαέριο παράγεται βιομεθάνιο. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 6) (Moustakas et al., 2020).



Εικόνα 6: Παραγωγή βιοκαυσίμων 2^{ης} γενιάς (βιομεθάνιου) από βιοαέριο (*Wuppertal Institute PSI, 2020*).

Το βιομεθάνιο, χρησιμοποιείται στη μεταφορά σαν καύσιμο, καθώς επίσης και για να παραχθεί βιο-υδρογόνο, ένα αέριο απαραίτητο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Αξίζει να αναφερθεί ότι το βιοαέριο όπως και το βιομεθάνιο που δημιουργείται με αναβάθμισή του βιοαερίου, συνεισφέρουν στην ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού, στην βιωσιμότητα, στη στήριξη του πρωτογενή τομέα, σε τεχνολογικές καινοτομίες και στη δημιουργία θέσεων εργασίας.

1.6 Αντικείμενο και Σκοποί της Πτυχιακής Εργασίας

Το ζήτημα της επεξεργασίας αποβλήτων το οποίο καταλήγει με λίγα λόγια στην παραγωγή βιοαερίου (τελικό προϊόν) και συνεπώς στην δημιουργία ενέργειας χωρίς περιβαλλοντική επιβάρυνση, συνδέεται αυτομάτως με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), και είναι ζήτημα που απασχολεί όχι μόνο την Ελλάδα αλλά και την Ευρώπη. Οι ΑΠΕ είναι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως για παράδειγμα η αιολική, η γεωθερμική, η θερμική, η ηλιακή, τα εκλυόμενα αέρια από χώρους υγειονομικής ταφής και τα βιοαέρια. Το βιοαέριο που αποτελεί σημαντική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, αποτελεί μεταξύ άλλων βιοκαύσιμο, όπως επίσης είναι το βιοντίζελ και η βιοαιθανόλη. Παράγεται από βιομάζα και το σημαντικότερο είναι ότι μπορεί να καθαριστεί, με αποτέλεσμα την αναβάθμισή του σε ποιότητα φυσικού αερίου.

Επιπροσθέτως, η αναερόβια χώνευση αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων παρουσιάζει εξαιρετικό επιστημονικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, καθώς, όπως έχει αποδειχθεί, το προερχόμενο από διαφορετικές πηγές μείγμα οργανικού φορτίου

επιτρέπει τα συνεργατικά αποτελέσματα στον μεταβολισμό των αναερόβιων βακτηρίων, στην ενεργειακή απόδοση, στην επεξεργασία των εναπομεινάντων στερεών και συμβάλει στη μείωση του κόστους, καθώς στην πλειονότητα των περιπτώσεων αυξάνει την απόδοση σε βιοαέριο.

Σε αυτό το πλαίσιο, η συγκεκριμένη εργασία θέτει τους εξής αντικειμενικούς σκοπούς:

- ✓ Να αναζητήσει διαφορετικά αγροτοβιομηχανικά απόβλητα τα οποία είναι κατάλληλα για αναερόβια χώνευση και αύξηση της παραγωγής βιοαερίου στις αναερόβιες μονάδες,
- ✓ Να αναζητήσει κατάλληλα συστήματα αναερόβιας χώνευσης για επεξεργασία Αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων,
- ✓ Να παραθέσει την νομοθετική κατάσταση για το βιοαέριο
- ✓ Να καταγράψει μονάδες Αναερόβιας Χώνευσης στην Ελλάδα και των χαρακτηριστικών λειτουργίας τους, σε μορφή ερωτηματολογίου,
- ✓ Να αναδείξει τα πλεονεκτήματα της αξιοποίησης των αγροτοβιομηχανικών προϊόντων για παραγωγή ενέργειας,
- ✓ Να καταγράψει τις προοπτικές και τους προβληματισμούς για την εφαρμογή της Αναερόβιας Χώνευσης αλλά και τις ευκαιρίες από την αξιοποίηση μίας τέτοιας τεχνολογίας μέσα από την καταγραφή ήδη εγκατεστημένων μονάδων.

Συμπερασματικά σκοπός αυτής της μελέτης είναι η εμβάθυνση της μεθόδου της αναερόβιας χώνευσης αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων που άπτονται της εναλλακτικής ηλεκτροπαραγωγής μέσω της καύσης βιοαερίου, το οποίο με τη σειρά του προέρχεται από αξιοποίηση αγροτοβιομηχανικών προϊόντων ή υπολειμμάτων τους.

2 ΑΓΡΟΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥΣ

2.1 Γεωργοκτηνοτροφικά απόβλητα και τρόποι διαχείρισης

2.1.1 Γενικά

Η γεωργική βιομηχανία, παράγει μια σειρά από τεχνητά και φυσικά απόβλητα, καθένα από τα οποία έχει τις ιδιαιτερότητές του ως προς τη διαχείρισή του. Στα απόβλητα αυτά, περιλαμβάνονται πολτοί, υπολείμματα καλλιεργειών, κοπριά, φυτικά είδη και κατάλοιπα, νεκρά αποθέματα, προϊόντα ενσίρωσης, λύματα, απόβλητα γαλακτοβιομηχανιών, απόβλητα ελαιοτριβείων, κ.α. (Green, 2019).

Είτε βραχυπρόθεσμα είτε μακροπρόθεσμα, τα γεωργικά απόβλητα αποτελούν απειλή για το οικοσύστημα, εάν δεν απορρίπτονται κατάλληλα. Αυτό σημαίνει ότι αποτελούν κίνδυνο για μόλυνση, όχι μόνο υδάτινων σωμάτων, αλλά εδάφους και ατμόσφαιρας. Ειδικότερα, σε περιοχές με έντονο αγροτικό χαρακτήρα, τα γεωργοκτηνοτροφικά απόβλητα αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του συνόλου των αποβλήτων που παράγονται, και για αυτό θα πρέπει να επιδιώκονται ορισμένα μέτρα, σχετικά με τη διαχείρισή τους. Κύριο και σημαντικότερο, είναι η ανάπτυξη δικτύου συλλογής τους, προκειμένου να παράγονται ζωοτροφές αλλά και ενέργεια, μέσω επεξεργασίας παραγόμενου βιοαερίου. Τα συνολικά κλαδέματα και κλαδοκάθαρα, θα πρέπει να υπόκεινται σε κομποστοποίηση για τη δημιουργία κομπόστ και την παροχή του κομπόστ σε αγρότες, ενώ από την άλλη τα υπόλοιπα απόβλητα να υπόκεινται σε αναερόβια χώνευση για να παραχθεί βιοαέριο (ΤΣΔΑ, 2016).

2.1.2 Κτηνοτροφικά απόβλητα

2.1.2.1 Εισαγωγή

Στην Ελλάδα, τα ζώα παράγουν σημαντική ποσότητα αποβλήτων, καθώς η δραστηριότητα αναπαραγωγής τους είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη. Το ελληνικό σύστημα κτηνοτροφίας αποτελείται από εκτροφή προβάτων, αιγών, αγελάδων και μόσχων, χοίρων και πουλερικών. Η εκτροφή πουλερικών και η εκτροφή αιγοπροβάτων αντιπροσωπεύουν το υψηλότερο ποσοστό της κτηνοτροφίας, που αντιστοιχούσε σε πάνω από το 95% του συνόλου των ζώων από το έτος 2012 ήδη (ΕΛΣΤΑΤ, 2020).

Ωστόσο, η εκτροφή αιγοπροβάτων είναι εκτεταμένη και έτσι η παραγόμενη κοπριά απλώνεται σε όλη τη βοσκή. Η εντατική κτηνοτροφία αποτελείται από βοοειδή, χοιρομητέρες και πουλερικά. Όλα αυτά τα ζώα παράγουν σημαντική ποσότητα αποβλήτων. Αυτά τα ζωϊκά απόβλητα που εξαπλώνονται στις ελληνικές αγροτικές περιοχές, προέρχονται κυρίως από μεσαίες και μεγάλης κλίμακας κτηνοτροφικές μονάδες και τοποθετούνται σε όλη τη χώρα. Ο μέσος όγκος των περιττωμάτων και των ούρων διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από τον ένα τύπο ζώου στον άλλο και εξαρτάται κυρίως από την ηλικία και τη διάρκεια ζωής τους (Vlyssides & Barampouti, 2015).

2.1.2.2 Χαρακτηριστικά κοπριών

Μια σειρά από παραμέτρους, χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν το βιολογικό / οργανικό φορτίο των αποβλήτων και ισχύουν για κάθε κτηνοτροφική μονάδα και για κάθε τύπο κοπριάς ζώου. Οι παράμετροι αυτοί είναι τα πτητικά στερεά (TVS), το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD_5) (η ποσότητα οξυγόνου που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί για να αποσυνθέσουν το μέρος του οργανικού φορτίου που βιοαποικοδομείται), το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) (ποσότητα οξυγόνου που χρειάζεται για να οξειδωθεί η οργανική ουσία), και η περιεκτικότητα του οργανικού άνθρακα (TOC). Έτσι, με τον προσδιορισμό πτητικών στερεών, μπορούν να προσδιοριστούν και τα ολικά στερεά (TTS), που είναι ουσιαστικά τα στερεά συστατικά των αποβλήτων, ενώ τα πτητικά αποτελούν την συνολική οργανική ουσία που περιέχεται σε αυτά. Επομένως, οι ποσότητες αζώτου και φωσφόρου που περιέχονται στα απόβλητα, καταλήγουν σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, επιβαρύνοντας το περιβάλλον ευρύτερα αφού προκαλούν ευτροφισμό, τοξικότητα στα ψάρια και στο

πόσιμο νερό εξαιτίας νιτρικών. Οι τιμές BOD₅ κυμαίνονται συνήθως, μεταξύ 30.000 και 50.000 ppm και οι τιμές COD μεταξύ 60.000 και 80.000 αντίστοιχα (Kim et al., 2017).

Γενικά η κοπριά, είναι οργανικό υλικό, ωφέλιμο προς το έδαφος, το οποίο συλλέγεται και αποθηκεύεται, είτε σε στερεή, είτε σε υγρή μορφή. Στην υγρή μορφή, ανήκουν τα περιττώματα από τα ζώα, το νερό εκπλύσεων και το νερό βροχής, ενώ στη στερεή ανήκουν τα στερεά υλικά όπως άχυρο, υπολείμματα σιτηρεσίου κ.α. Η οργανική ουσία που περιέχεται στα κτηνοτροφικά απόβλητα, προέρχεται εν μέρει από τις ζωοτροφές, που δεν αφομοιώθηκαν από το πεπτικό σύστημα των ζώων κατά τη διέλευση, αλλά και από το σύνολο των ζωοτροφών που διασκορπίστηκαν στο χώρο ή παρασύρθηκαν με κάποιο τρόπο. Ο όγκος των παραγόμενων αποβλήτων εξαρτάται κυρίως από την ηλικία, τη διατροφή και το βάρος του ζώου, ο οποίος λόγω αραίωσης με νερό βροχής ή πλυσίματος των ζώων αυξάνει σε όγκο.



Εικόνα 7: Κτηνοτροφική μονάδα αιγοπροβάτων (Υραιθρος.gr, 2020)

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4), σύμφωνα με βιβλιογραφική ανασκόπηση, παρουσιάζονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά για κοπριά αιγοπροβάτων. Η βιβλιογραφία για τις κοπριές αιγοπροβάτων πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι πλούσια εξαιτίας του τρόπου εκτροφής τους, αλλά και της ποσότητάς τους.

Πίνακας 4: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά κοπριάς αιγοπροβάτων (Lopez Cano et al., 2016).

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	Κοπριά αιγοπροβάτων (μέση τιμή)
pH	9,1
EC (mS cm ⁻¹)	10,4
C (kg m ⁻³)	28,5
N (kg m ⁻³)	2,43
NH ₄ ⁺ N (kg m ⁻³)	1195
OM (kg m ⁻³)	59,5
TS (g/kg)	870,1
VS (g/kg)	470
COD _{tot} (g/l)	19,2
NO ₃ ⁻ N (kg m ⁻³)	92,1



Εικόνα 8: Κτηνοτροφική μονάδα χοίρων (Υραιθρος.gr, 2020).

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5), περιγράφονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά κοπριάς χοίρων, που βρέθηκαν για κάθε στάδιο της ζωής τους ξεχωριστά, σύμφωνα με διεθνή βιβλιογραφία (Antezana et al., 2016).

Πίνακας 5: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά κοπριάς χοίρων (Antezana et al., 2016).

Παράμετροι	Αναπαραγωγοί χοίροι	Κυοφορούντες χοίροι
<i>Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά</i>	Μέση τιμή Τυπική απόκλιση	Μέση τιμή Τυπική απόκλιση
EC (mS cm ⁻¹)	25,7 ± 52,1	21,6 ± 37
pH	7,4 ± 5,7	7,8 ± 1,8
Dry Matter (kg m ⁻³)	57,0 ± 71,7	56 ± 92,4
Org.Matter (kg m ⁻³)	43,5 ± 75,8	41,1 ± 94,9
N (kg m ⁻³)	6 ± 60	4,4 ± 54
P (kg m ⁻³)	0,8 ± 63,3	1,3 ± 106
C (kg m ⁻³)	24,5 ± 74,9	21 ± 92
TAN (kg m ⁻³)	3,9 ± 59	2,9 ± 37,5
Org.N (kg m ⁻³)	2 ± 87	1,6 ± 91,9
NH ₃ (g m ⁻² day ⁻¹)	12 ± 42	9,4 ± 41,2
CH ₄ (m ³ m ⁻³)	14,4 ± 98	4 ± 103,5
	Χοίροι που θηλάζουν	Βρεφικά χοιρίδια
<i>Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά</i>	Μέση τιμή Τυπική απόκλιση	Μέση τιμή Τυπική απόκλιση
EC (mS cm ⁻¹)	15,5 ± 38,5	19 ± 61,5
pH	7,7 ± 3,6	7,4 ± 7,5
Dry Matter (kg m ⁻³)	35,6 ± 63,1	36,8 ± 67,2

Org.Matter (kg m ⁻³)	25,9 ± 66,3	26,7 ± 70,7
N (kg m ⁻³)	3,4 ± 39	3,7 ± 74,4
P (kg m ⁻³)	0,7 ± 80,7	0,6 ± 68,3
C (kg m ⁻³)	13,8 ± 66,2	15,4 ± 70,5
TAN (kg m ⁻³)	1,9 ± 36,5	2,3 ± 80,2
Org.N (kg m ⁻³)	1,2 ± 58,3	1,3 ± 79,7
NH ₃ (g m ⁻² day ⁻¹)	7,3 ± 34,6	8,4 ± 51,6
CH ₄ (m ³ m ⁻³)	4,4 ± 101	7,3 ± 107

Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί ότι η κοπριά των χοίρων περιέχει παθογόνους μικροοργανισμούς και σε περίπτωση μη επαρκούς επεξεργασίας μπορεί να θεωρηθεί επικίνδυνη για ζώα και άνθρωπο. Συγκεκριμένα η κοπριά τους μπορεί να περιέχει παθογόνα όπως *Ascaris*, *Taenia*, *Cryptosporidium*, *Yersinia*, *Salmonella*, *Campylobacter*, τα οποία ανήκουν σε ομάδες εντεροβακτηριοειδών, εντερόκοκκων και άλλων πολλών παθογόνων. Ιδιαίτερη προσοχή, θα πρέπει να δίνεται στο υλικό της στρωμνής των χοίρων, διότι μπορεί να αποτελέσει αιτία μετάδοσης του παθογόνου (ΥΠΑΑΤ, 2019).



Εικόνα 9: Πτηνοτροφική μονάδα (Υραιθρος.gr, 2020).

Στα πτηνοτροφικά απόβλητα, συγκαταλέγονται απόβλητα με οργανικό φορτίο που ξεπερνάει το 80% των ολικών στερεών. Αποτελούνται από φτερά, νεκρά σώματα πουλερικών, υπολείμματα σπασμένων αυγών και τροφών, κοπριές κ.α. Αυτό που κάνει τα απόβλητα πτηνοτροφικών μονάδων να διαφέρουν από αυτά της κρεοπαραγωγής, είναι η περιεκτικότητά τους σε υγρασία, με αυτή των πρώτων να είναι 65-80%, σε αντίθεση με των δεύτερων που κυμαίνεται μεταξύ 35-45%. Παράγοντες που επηρεάζουν την περιεκτικότητα της κοπριάς πτηνών σε υγρασία, αλλά και τη σύστασή της σε φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, εξαρτώνται από τις συνθήκες εκτροφής των πτηνών, την ηλικία τους, το είδος τους, το σιτηρέσιο που τους χορηγείται, την ποσότητα στρωμνής, και γενικότερα τις πρακτικές μεταχείρισής τους (Singh et al., 2018).

Επιπλέον, ανάλογα με το είδος των πουλερικών, διαφέρει και η περιεκτικότητα κοπριάς σε υγρασία. Για παράδειγμα τα κοτόπουλα πάχυνσης παράγουν κοπριά στεγνή, με μικρότερη ποσότητα σε υγρασία, συγκριτικά με τις αυγοπαραγωγές όρνιθες, που η υγρασία στα περιττώματά τους μπορεί να φτάσει ακόμη και το 80-85%. Εννοείται όμως, πως η διατροφή, το κλίμα, ο εξαερισμός και γενικότερα το περιβάλλον που αναπτύσσονται τα πουλερικά, θα συμβάλλει στην τελική σύσταση της κοπριάς, σε υγρασία και θρεπτικά. Με την διάθεσή της στο έδαφος σαν εδαφοβελτιωτικό, αποφέρει

οφέλη προσθέτοντας οργανική ουσία και μειώνοντας της διάβρωση. Η εφαρμογή της στα εδάφη είναι σημαντική μεν για την εξοικονόμηση ανόργανων λιπασμάτων και δε για το περιβάλλον, λόγω της ικανότητάς της να εμπλουτίζει το έδαφος με θρεπτικά, γεγονός που εκτός από τα εδάφη συμβάλλει και στην προστασία επιφανειακών νερών και υπόγειων υδάτων. Η κοπριά πουλερικών, εκτός από εδαφοβελτιωτικό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν πρώτη ύλη για να παραχθεί βιοαέριο όπως και τα υπόλοιπα είδη κοπριάς (Singh et al., 2018).

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6), περιγράφονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά κοπριάς πουλερικών, που βρέθηκαν σύμφωνα με διεθνή βιβλιογραφία.

Πίνακας 6: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά κοπριάς πουλερικών (Huang et al., 2017; Song et al., 2019).

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	Κοπριά πουλερικών
TS (%)	39,6 ± 2,2
VS (%)	20,6 ± 1,8
VS/TS (%)	50
pH	7,6 ± 0,2
TN (mg/gWT)	8,24 ± 0,5
Ashes (g/100g)	37,6 ± 0,5
C (gkg ⁻¹)	19 ± 0,1
N (gkg ⁻¹)	46,8
C/N	8
NO ₃ ⁻ N (gkg ⁻¹)	0,1
NH ₄ ⁺ N (gkg ⁻¹)	4,9



Εικόνα 10: Μονάδα εκτροφής αγελάδων (*Yraithros.gr*, 2020).

Η κοπριά των βοοειδών, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε αγροτικούς αγρούς και η λιπασματοποιημένη μορφή της προτιμάται από τη φρέσκια, για να εξαλειφθεί ο κίνδυνος απώλειας αζώτου, μέσω έκπλυσης και απορροής από την επιφάνεια, να αυξηθεί η οργανική ύλη του εδάφους, να κατασταλούν παθογόνα και να μετριαστούν εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Οι λιπασματοποιήσεις της κοπριάς βοοειδών έχουν αναγνωριστεί ως ζωτική γεωργική πρακτική, για τη βελτίωση γονιμότητας και παραγωγικότητας του εδάφους. Τα απόβλητα βουστασίου είναι συνήθως μικρού όγκου και μεγάλου οργανικού φορτίου. Ανάλογα με τις συνθήκες εκτροφής των ζώων, το σιτηρέσιο που τους χορηγείται, την ηλικία τους, το περιβάλλον αλλά και το είδος των αγελάδων, ποικίλει και η σύσταση και μορφή της κοπριάς τους. Η υγρή διατροφή οδηγεί και σε υγρής μορφής κοπριά, ενώ η ενσιρωμένη μορφή και η κοκκώδης επίσης, δημιουργεί κοπριά με παχύρρευστη υφή. Κατά μέσο όρο μια αγελάδα περίπου 600 κιλών, παράγει την ημέρα κοπριά βάρους 30 κιλών περίπου και 15 κιλά ούρα. Αυτό δείχνει ότι μια αγελάδα παράγει περισσότερη κοπριά ημερησίως, απ' ότι γάλα. Τα απόβλητα του βουστασίου αλλά και ο τρόπος που πρόκειται να επεξεργαστούν, εξαρτώνται από τα φυσικά χαρακτηριστικά τους που είναι το χρώμα τους, η θερμοκρασία, η οσμή, η πυκνότητα, το βάρος κ.α. (Risberg et al., 2017; Liu et al., 2018).

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7), παρατίθενται σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά κοπριάς βοοειδών.

Πίνακας 7: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά κοπριάς βοοειδών (*Barret M. et al., 2013*).

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	Κοπριά Βοοειδών
COD _{tot} (g/l)	106± 35
COD _{dol} (g/l)	13±3
TS (g/l)	81±20
VS (g/l)	67±17
TSS (g/l)	71±18
VSS (g/l)	61±16
N-NH ₃ (g/l)	2,1±0,4
pH	7,4±0,2
Αλκαλικότητα	13±3

Παράλληλα, για τη σύγκριση απόδοσης παραγόμενου βιοαερίου από τα διάφορα είδη κοπριάς έγινε εκτίμηση απόδοσης για κάθε περίπτωση και ποσοτικοποιήθηκε σε ολικά στερεά, υποθέτοντας κανονική πίεση και θερμοκρασία (298 K και 101,3 kPa) (Πίνακας 8) (*Meyer, et al., 2018*).

Πίνακας 8: Εκτίμηση απόδοσης βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης τριών διαφορετικών ειδών κοπριάς (*Meyer, et al., 2018*).

Αγροτοβιομηχανική μονάδα	Είδος κοπριάς	Απόδοση βιοαερίου TS (m ³ .t ⁻¹)
Χοιροστάσιο	Κοπριά χοίρων (υγρή)	370
Βουστάσιο	Κοπριά πουλερικών	400
Πτηνοτροφείο	Κοπριά βοοειδών/αγελάδων (υγρή)	240

Όπως φαίνεται από τον πίνακα, η απόδοση του βιοαερίου που παράγεται με αναερόβια χώνευση και πρώτη ύλη την κοπριά πουλερικών είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με αυτή των άλλων δύο περιπτώσεων. Σαφώς, η σύνθεση των ζωοτροφών, ο χρόνος αποθήκευσης και διαχείρισης της κοπριάς πριν την εφαρμογή της για παραγωγή βιοαερίου, αλλά και οι παράγοντες που προαναφέρθηκαν, επηρεάζουν αυτό το αποτέλεσμα.

2.1.2.3 Διαχείριση κοπριάς μέσω της Αναερόβιας Χώνευσης προς παραγωγή δύο τελικών προϊόντων

Η αναερόβια χώνευση είναι μια βιολογική διαδικασία που παράγει βιοαέριο από βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα και με τη βοήθεια βακτηρίων, χωρίς συνθήκες οξυγόνου. Τις δύο τελευταίες δεκαετίες, η αναερόβια χώνευση έχει εφαρμοστεί ως αποτελεσματική τεχνολογία για την επίλυση της ενεργειακής έλλειψης και των περιβαλλοντικών προβλημάτων ρύπανσης των βιομηχανιών. Γενικά, η αναερόβια χώνευση μπορεί να επιτύχει δύο βασικούς στόχους: την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα και τη σταθεροποίηση οργανικών αποβλήτων, δίνοντας δύο τελικά προϊόντα: βιοαέριο (ενεργειακό καύσιμο) και σταθεροποιημένη λάσπη - λίπασμα αντίστοιχα (Neshta & Lahijani, 2017).

Η κοπριά κτηνοτροφικών ζώων, δύνανται μέσω κατάλληλης επεξεργασίας να συμβάλλει ως πρώτη ύλη για παραγωγή βιοαερίου και κατ' επέκταση ενέργειας. Αξίζει να αναφερθεί ότι, η διαχείριση κοπριάς κτηνοτροφικών ζώων προς παραγωγή εδαφοβελτιωτικού και βιοαερίου δεν επιτυγχάνεται μόνο με τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, αλλά και με άλλες μεθόδους όπως η αεριοποίηση και η πυρόλυση. Στην προκειμένη περίπτωση όμως, θα γίνει λόγος για την διαχείριση τους μέσω αναερόβιας χώνευσης (Kolodynskij & Baltrenas, 2017).

Σαν τεχνολογία μετατροπής οργανικού υλικού, σε βιοαέριο πλούσιο σε ενέργεια αλλά και σε υπόλειμμα πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, διαθέτει ευελιξία που σημαίνει ότι διάφοροι τύποι οργανικών υλικών καθίστανται κατάλληλοι, ως πρώτη ύλη και πόσο μάλλον τα γεωργικά απόβλητα, όπως η κοπριά. Η αναερόβια χώνευση της κοπριάς των ζώων θεωρείται θετική, δεδομένου ότι το προϊόν της πέψης έχει υψηλότερες αναλογίες θρεπτικών ουσιών που περιέχουν φυτικά ορυκτά, συγκριτικά με την ακατέργαστη κοπριά. Το περιεχόμενο αυτό των φυτικών μακροθρεπτικών συστατικών και οργανικών

συστατικών, εξαρτάται από την προέλευση του υποστρώματος αλλά και τη διαδικασία της πέψης που υπόκειται. Σαφώς, η σύνθεση κάθε είδους κοπριάς ποικίλει, λόγω παραγόντων όπως ο τύπος ζώου (παμφάγο, μηρυκαστικό κ.α.), το φύλο, η ηλικία, η διατροφή καθώς και οι κλιματολογικές και γεωγραφικές συνθήκες. Στο οργανικό υπόλειμμα που προκύπτει από την αναερόβια χώνευση, η αναλογία αμμωνίου είναι υψηλή και έχει μεγάλη σημασία αυτό για ένα λίπασμα. Επιπλέον, η κοπριά των ζώων μπορεί επίσης να περιέχει βαρέα μέταλλα, υπολείμματα αντιβιοτικών και οργανικούς ρύπους. Αυτό θα μπορούσε να εξηγήσει το λόγο που διαφορετικά οργανικά λιπάσματα προκαλούν τόσο θετικά όσο και αρνητικά αποτελέσματα στη μικροβιακή κοινότητα του εδάφους. Πιθανές αρνητικές ή θετικές επιπτώσεις στη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους από την εφαρμογή οργανικών λιπασμάτων κοπριάς, μπορούν να αξιολογηθούν με εκτίμηση μεταβολικής δραστηριότητας της κοινότητας μικροβιακών ομάδων. Ένας παράγοντας που μπορεί να παρέχει τέτοιες πληροφορίες είναι η αναπνοή του εδάφους και από την άλλη η οξείδωση του αμμωνίου μέσω της οποίας δύνανται να ανιχνευτεί πιθανή παρουσία τοξικών ενώσεων (Risberg et al., 2017).

2.1.3 Απόβλητα ελαιοτριβείων

Η βιομηχανία ελαιολάδου, αναπτύσσεται συνεχώς ανά τον κόσμο, με καλλιέργεια 750 εκατομμυρίων ελαιόδεντρων, παράγοντας μεγάλες ποσότητες ελαιολάδου, περίπου 2,95 εκατομμύρια τόνους ετησίως. Το μεγαλύτερο ποσοστό (98%), της παραγωγής ελαιολάδου παράγεται στη Μεσόγειο, με ταυτόχρονη ετήσια παραγωγή αποβλήτων ελαιοτριβείων που ξεπερνούν τα 30 εκατομμύρια κυβικών μέτρων. Αν και υπάρχουν και έχουν αναπτυχθεί ευρεσιτεχνίες για την διαχείριση, αξιοποίηση και αποτοξίνωση των αποβλήτων, η εφαρμογή τους είναι συχνά ακριβή. Η ανεξέλεγκτη απόρριψη τους στο έδαφος, μπορεί να προκαλέσει φυτοτοξικά αποτελέσματα, να αυξήσει την υδροφοβικότητα του εδάφους, να μειώσει την κατακράτηση νερού, να επηρεάσει την οξύτητα και την αλατότητα, τη μικροβιακή δραστηριότητα, την ακινητοποίηση αζώτου, την έκπλυση θρεπτικών αλλά και τη συγκέντρωση οργανικών οξέων, φαινολών και λιπιδίων. Εκτός από τις ιδιότητες του εδάφους, μπορεί να επηρεάσει τα επιφανειακά νερά, μειώνοντας την περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο, αυξάνοντας την οργανική ύλη αλλά και τα περιεχόμενα καλίου, σιδήρου, μαγγανίου και ψευδαργύρου. Αντιθέτως, η ιλύς που απομένει μετά την

εξάτμιση υγρού κλάσματος των αποβλήτων, περιέχει περίπου 94% οργανική ύλη και παρόλο που θα μπορούσε να φανεί εξαιρετικά ωφέλιμη για το έδαφος, έχει αποδειχθεί ότι περιέχει τοξικές ενώσεις και λάδι, που αυξάνουν την εδαφική υδροφοβία και κατακράτηση νερού (Doula et al., 2017).

2.1.3.1 Χαρακτηριστικά κατσίγαρου

Η διαδικασία επεξεργασίας ελαιοκάρπου στα ελαιοτριβεία, δίνει ένα υγρό απόβλητο, το οποίο έχει υψηλό ρυπαντικό φορτίο και ονομάζεται «κατσίγαρος» ή αλλιώς «μούργα» (Ulusoy & Ulukardesler, 2017).

Έχουν εντοπιστεί στον κατσίγαρο, φάσμα φαινολικών ενώσεων, όπως τα φαινολικά οξέα και τα φλαβονοειδή. Μικρό ποσοστό αυτών, μπορεί να βρεθεί στο εκχυλισμένο ελαιόλαδο, ενώ το υπόλοιπο περίπου 98% διατηρείται στον κατσίγαρο. Ο κατσίγαρος είναι λιγνοκυτταρινικό οργανικό υλικό, με χαμηλή πεπτικότητα και υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο. Η ανακύκλωση και η χρήση του μπορεί να φανεί χρήσιμη, σαν εναλλακτική πηγή ενέργειας για τη διατροφή μηρυκαστικών, αλλά και ευρύτερα για οικονομικούς και περιβαλλοντικούς λόγους. Γενικά, τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων τα οποία θεωρούνται ως ένας σημαντικός παράγοντας ρύπανσης έχουν ορισμένες ιδιότητες που τα χαρακτηρίζουν όπως είναι το σκούρο καφέ χρώμα τους, η δυσάρεστη και έντονη οσμή, το υψηλό οργανικό φορτίο, το όξινο pH και η υψηλή περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες και στερεό υλικό. Συγκεκριμένα για τον κατσίγαρο, ο τύπος του ελαιοτριβείου, οι κλιματικές συνθήκες στην περιοχή, η ποικιλία της ελιάς, τα χρησιμοποιούμενα λιπάσματα και η ωριμότητα του ελαιοκάρπου στο στάδιο συγκομιδής, επηρεάζουν την παραγόμενη ποσότητά του, αλλά και τη σύστασή του (Alhamad et al., 2017).

Σε μελέτη που διεξήχθη το 2017, διερευνήθηκε η ζύμωση του κατσίγαρου, για αξιολόγηση φυσικοχημικών ιδιοτήτων, συνολικών φαινολικών, αντιοξειδωτικών ενεργειών και γενικά του φαινολικού του προφίλ. Η χημική σύνθεσή του, δείχνει ότι είναι πλούσιο σε ακατέργαστες ίνες και υδατάνθρακες, περιέχοντας μέτριες ποσότητες ακατέργαστης πρωτεΐνης, λίπους και τέφρας. Με τη ζύμωση τα φαινολικά μειώθηκαν, ενώ δεν παρατηρήθηκε μεταβολή σε αντιοξειδωτικές δραστηριότητες και ποσοστά αζώτου και άνθρακα (Alhamad et al., 2017).



Εικόνα 11: Παραγωγή κατσίγαρου από ελαιοτριβείο (*Υραιθρος.gr, 2020*).

Αναλυτικότερα, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά αποβλήτων ελαιοτριβείου (κατσίγαρος) που αναφέρονται σε διεθνή βιβλιογραφία παρουσιάζονται στον πίνακα (Πίνακας 9). Ο πίνακας αναφέρεται σε απόβλητα ελαιοτριβείων και συγκεκριμένα στον κατσίγαρο (olive mill wastewater) .

Πίνακας 9: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά αποβλήτων ελαιοτριβείου-κατσίγαρος (*Rincon et al., 2013; Sheng et al., 2019*).

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	Κατσίγαρος (olive mill wastewater-OMW)
pH	4,7 - 5,7
BOD ₅ (mg/l)	41.300 – 46.000
COD (mg/l)	16.500 – 190.000
TS (mg/l)	32.000 – 300.000
Total Nitrogen (mg/l)	300-1500
P (mg/l)	3000-11.000
Mg (mg/l)	600-2200
Ca (mg/l)	100-800
Phenol Content (g/100g)	2-80.000

2.1.3.2 Επεξεργασία κασιίγαρου

Η διαχείριση αποβλήτων ελαιουργικής και πυρηνελαιουργικής δράσης, αποτελεί δύσκολη υπόθεση για την Ευρώπη. Στην Ελλάδα, ετησίως παράγονται εκατομμύρια τόνοι κασιίγαρου. Το βασικότερο πρόβλημα σχετικά με τον κασιίγαρο, είναι η δύσκολη μεταχείρισή του, χωρίς να ρυπαίνει το περιβάλλον. Δύο είναι οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να εξαχθεί ελαιόλαδο, η φυγοκέντρωση τριών και δύο φάσεων αντίστοιχα. Με την δεύτερη, εξοικονομείται νερό και παράγεται μικρότερος όγκος υγρών αποβλήτων, παρόλο που παράγεται ελαιοπυρήνα υψηλής υγρασίας. Το πρόβλημα του κασιίγαρου όμως παραμένει και μια λύση για τη διαχείρισή του είναι η εξάτμιση και η αναερόβια χώνευση για παραγωγή ενέργειας. Η τριφασική πυρήνα συνδυαστικά με τον κασιίγαρο, αλλά και η διφασική που τον περιέχει, ζυμώνονται σε αναερόβιο χωνευτήρα μαζί με οργανικά απόβλητα και υπολείμματα ελαιουργείου, προκειμένου να παραχθεί ενέργεια. Ενδεικτικά στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 10), διατυπώνονται οι δύο φάσεις επεξεργασίας κασιίγαρου και τα παραγόμενα απόβλητα που προκύπτουν (Agroenergy, 2019).

Μετά την ολοκλήρωση της αναερόβιας χώνευσης με πρώτη ύλη τον κασιίγαρο, η δημιουργία οργανικού λιπάσματος, η μετέπειτα καύση του παραγόμενου βιοαερίου κατά την αναερόβια επεξεργασία με σκοπό την παραγωγή ενέργειας και η ανάκτηση αντιοξειδωτικών ουσιών όπως οι πολυφαινόλες, είναι τεχνολογίες που συμβάλλουν στην αντιμετώπιση του προβλήματος διαχείρισης τέτοιου είδους αποβλήτων, προς όφελος όχι μόνο του περιβάλλοντος αλλά και των βιομηχανιών. Αυτομάτως το γεγονός αυτό, προμηνύει την σπουδαιότητα της διαχείρισης του κασιίγαρου, ως προϊόν γεωργικής παραγωγής και που παρόλες τις δυσκολίες διαχείρισής του, διαθέτει αναπτυξιακή προοπτική (Nanis et al., 2020).

Πίνακας 10: Παραλαβή ελαιολάδου και αποβλήτων με 3 διαφορετικά είδη επεξεργασίας (Agroenergy, 2019).

Επεξεργασία	Είσοδος	Ποσότητα	Έξοδος
Παραδοσιακή	Ελιές	1 tn	Ελαιόλαδο Πυρήνα υγρή (26% νερό-7% λάδι) Κασιίγαρος (88% νερό)

Τριφασική	Ελιές- Νερό	1 tn 250-400 lt	Ελαιόλαδο Πυρήνα υγρή (50% νερό, 5% λάδι) Κατσίγαρος (94% νερό 1% λάδι)
Διφασική	Ελιές- Νερό	1 tn 0 lt	Ελαιόλαδο Πυρήνα υγρή (65% νερό, 4% λάδι) Κατσίγαρος

2.2 Απόβλητα από γαλακτοβιομηχανία και τρόποι διαχείρισης

2.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά γαλακτοβιομηχανικών αποβλήτων

Η γαλακτοκομική βιομηχανία ως μια από τις σημαντικότερες διεθνώς, αποτελεί κύρια πηγή λυμάτων παράγοντας εκατομμύρια τόνους απόβλητα ετησίως (περίπου 1-3 φορές τον όγκο του γάλακτος που υπόκειται σε επεξεργασία). Τα λύματα προέρχονται κυρίως από διαδικασίες παστερίωσης αλλά και με την παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων όπως βούτυρο, τυρί και γάλα σε σκόνη. Στο σύστημα καθαρισμού του εξοπλισμού των βιομηχανιών, χρησιμοποιούνται διαλύματα για πλύσιμο και ξέβγαλμα, που περιέχουν ουσίες όπως υδροξείδιο του νατρίου, φωσφορικό και νιτρικό οξύ και εν τέλει γίνονται μέρος των παραγόμενων λυμάτων. Η απελευθέρωση των λυμάτων στο έδαφος, επηρεάζει την ποιότητα και τη δομή του εδάφους, καθώς επίσης μέσω της έκπλυσης αυτών επιβαρύνονται και τα υπόγεια ύδατα. Το πρόβλημα, εντείνεται όταν τα λύματα αυτά απορρίπτονται στο περιβάλλον, χωρίς κάποια προ-επεξεργασία. Για τους παραπάνω λόγους, επιδιώκεται η αξιοποίηση λυμάτων από τις μονάδες επεξεργασίας γάλακτος, δημιουργώντας μια λάσπη χαμηλής περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα και υψηλής ποσότητας αποικοδομήσιμου άνθρακα, αποτρέποντας έτσι την εξάντληση θρεπτικών συστατικών του εδάφους, όταν απορρίπτονται σε αυτό (Tikariha & Sahu, 2014).

Σε μια εγκατάσταση γαλακτοβιομηχανίας, η παραγωγική διαδικασία, οδηγεί σε απόβλητα διαφόρων μορφών (υγρά, στερεά, αέρια), που καθένα από αυτά επιφέρει διαφορετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα απόβλητα γενικά από μια βιομηχανία γάλακτος, προέρχονται από τον καθαρισμό εγκαταστάσεών της, από τα οχήματα μεταφοράς, από τη γραμμή παραγωγής που χρησιμοποιεί χημικά σκευάσματα και

καύσιμα και από τα επιστρεφόμενα προϊόντα. Το τυρόγαλο, έχει το σημαντικότερο ρυπαντικό φορτίο ως παραγόμενο απόβλητο, καθώς επίσης και ορισμένα υπολείμματα τυροπήγματος που βοηθούν να αυξηθεί η τιμή των αιωρούμενων στερεών, εντός των υγρών αποβλήτων (Tikariha & Sahu, 2014).

Η συγκέντρωση παραγόμενων γαλακτοβιομηχανικών αποβλήτων, είναι υψηλή σε θρεπτικά συστατικά, βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) καθώς και οργανικό αλλά και ανόργανο περιεχόμενο. Επιπλέον, μπορούν να περιέχουν παράγοντες αποστείρωσης και ένα ευρύ φάσμα οξέων αλκαλικών απορρυπαντικών. Λόγω του υψηλού οργανικού περιεχομένου, τα απόβλητα γαλακτοκομικών βιομηχανιών, αποτελούν απειλή για το περιβάλλον. Ετησίως απελευθερώνονται περίπου 4-11 εκατομμύρια τόνοι στο περιβάλλον, γεγονός που αποτελεί κίνδυνο για τη βιοποικιλότητα αλλά και την εξάντληση διαλυμένου οξυγόνου. Αυτό συμβαίνει, αφού εξαιτίας εκροών λαδιού και λίπους, σχηματίζονται φυσαλίδες στις επιφάνειες υδάτων και εμποδίζεται η μεταφορά οξυγόνου, άρα δυσχεραίνεται η ζωή υδρόβιων οργανισμών. Από την άλλη, τα υπόγεια ύδατα επιβαρύνονται και δύνανται να μολυνθούν, εξαιτίας του νιτρικού αζώτου και της αμμωνίας που υπάρχουν στο νωπό γάλα. Δημιουργούνται έτσι, τοξικές συνθήκες για ψάρια και φύκια, με σταδιακό θάνατο (Ahmad et al., 2019).

Παράλληλα, εξαιτίας της παρουσίας υψηλής συμπυκνωμένης οργανικής ύλης στη ροή των αποβλήτων αυτών, προκύπτουν σοβαρά προβλήματα. Μπορούν να προκληθούν κλιματικές διακυμάνσεις εξαιτίας της επιρροής που έχουν απέναντι στο οικοσύστημα. Κατά την απόρριψη τους, δημιουργούνται συνθήκες διάδοσης για επικίνδυνες ασθένειες όπως η ελονοσία, ο κίτρινος πυρετός, δάγκειος πυρετός κ.α. Επομένως, τα γαλακτοκομικά απόβλητα, μπορούν να μεταβάλλουν τη χημική και φυσική σύνθεση του περιβάλλοντος. Το διαταράσσουν, από τη στιγμή που περιέχουν διαλυτά οργανικά αιωρούμενα στερεά και ιχνοστοιχεία, που απελευθερώνοντάς τα δημιουργούνται δυσάρεστες οσμές, δίνοντας χρώμα και θολότητα στα ύδατα, προωθώντας έτσι και τον ευτροφισμό (Ahmad et al., 2019).

2.2.2 Χαρακτηριστικά τυρόγαλου

Στα κυριότερα παραγόμενα απόβλητα μιας γαλακτοκομικής βιομηχανίας, ανήκει ο ορός γάλακτος ή τυρόγαλο (cheese whey). Εξαιτίας των χημικών ιδιοτήτων

του, ταξινομείται στα ρυπογόνα λύματα (υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικές ύλες, βιοχημικά απαιτούμενο και χημικά απαιτούμενο οξυγόνο). Με δεδομένο ότι στο τυρόγαλο περιέχεται μικρή ποσότητα γάλακτος, γίνεται αντιληπτή η σημασία της διαχείρισης αυτού του αποβλήτου. Το τυρόγαλο, είναι βιοαποικοδομήσιμο, πλούσιο σε πρωτεΐνες, λακτόζη, γαλακτικό οξύ κ.α. που αν διατεθεί ακατέργαστο στο περιβάλλον, προκαλεί σοβαρές επιπτώσεις, αυξάνοντας την ικανότητα απορρόφησης οξυγόνου στα ύδατα, προκαλώντας υπερτροφισμό κ.α. Χαρακτηρίζεται ως απόβλητο, από έντονο χρώμα με οσμή δυσάρεστη, υψηλή τιμή λιπαρών και λαδιού και υψηλή οργανική περιεκτικότητα σε COD και BOD (χημικά και βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο αντίστοιχα) (Meneses et al., 2020).

Ο ορός γάλακτος ή τυρόγαλο, είναι υποπροϊόν παραγωγής τυριών ή καζεϊνών και έχει πρασινοκίτρινο χρώμα. Η καθίζηση της καζεΐνης σε αυτό, οδηγεί στο σχηματισμό όξινου ορού γάλακτος (pH<5) μετά τη ζύμωση ή προσθήκη οργανικών ή ανόργανων οξέων και αντίστοιχα στο σχηματισμό βασικού ορού γάλακτος (pH=6-7) με προσθήκη πρωτεολυτικών ενζύμων, όπως η χυμοσίνη. Ένα παράδειγμα αναλογίας θρεπτικών σε ορό γάλακτος από βοοειδή είναι, 70-80% λακτόζη, 9% πρωτεΐνες και 8-20% ανόργανα άλατα και άλλα συστατικά όπως πεπτίδια, λιπίδια και καζεΐνες. Με λίγα λόγια, το τυρόγαλο θεωρείται σημαντικό ρύπος, όχι μόνο λόγω υψηλού οργανικού φορτίου, αλλά και εξαιτίας μεγάλου όγκου παραγωγής του (Carvalho et al., 2013).



Εικόνα 12: Απόβλητο τυροκομείου- τυρόγαλο.

Στη συνέχεια στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 11), παρουσιάζονται αναλυτικά τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του τυρόγαλου, σύμφωνα με διεθνή βιβλιογραφία.

Πίνακας 11: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τυρόγαλου (*Saddoud et al., 2007*).

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	Τυρόγαλο
pH/EC	4,9±0,3
LA (g/l)	45,9±0,8
Λίπη (g/l)	9,4±1,1
BOD ₅ (g/l)	37,7±2,8
COD (g/l)	68,6±3,3
TS (g/l)	5,9±0,4
TSS (g/l)	1,3±0,06
TVS (g/l)	5,6±0,4
TKN (g/l)	1,1±0,01
N-NH ₄ ⁺ (g/l)	0,1
P-PO ₄ ⁻³ (g/l)	0,3

Όλοι οι παράμετροι εκφράζονται σε g/l με εξαιρέσεις: EC (ms/cm)

2.2.3 Μέθοδοι επεξεργασίας γαλακτοβιομηχανικών αποβλήτων-τυρόγαλου

Η γαλακτοβιομηχανική δραστηριότητα, χρησιμοποιεί ποικιλία μεθόδων και συγκεκριμένα την αναερόβια επεξεργασία. Οι υπόλοιπες μέθοδοι, έστω και αναφορικά είναι, η αερόβια επεξεργασία, η επεξεργασία με μεμβράνες, η κατασκευή υγροτόπων, η πήξη/κροκίδωση/καθίζηση και η βιοαποκατάσταση. Κυρίως για γαλακτοβιομηχανίες, χρησιμοποιούνται η αναερόβια και η αερόβια επεξεργασία και επίσης μέθοδοι φιλτραρίσματος, για να επιτυγχάνεται η απομόνωση πρωτεϊνών από το τυρόγαλα (*Jurgensen et al., 2018*).

Εστιάζοντας λοιπόν στην αναερόβια επεξεργασία, αξιοποιείται από τη μια πλευρά η οργανική ύλη προς παραγωγή βιοαερίου, εντός αεροστεγών δεξαμενών και η μετέπειτα αξιοποίηση του, προς θερμική και ηλεκτρική ενέργεια, ενώ από την άλλη,

γίνεται χρήση και αξιοποίηση του χωνέματος που προκύπτει από τη διαδικασία, ως εδαφοβελτιωτικού. Σαν μέθοδος, θεωρείται αποτελεσματική για απόβλητα υψηλών οργανικών φορτίων, όπως το τυρόγαλο, πλεονεκτώντας ως προς τον υψηλό βαθμό σταθεροποίησης αποβλήτων, των χαμηλών απαιτήσεων σε θρεπτικά, την παραγωγή μεθανίου και την μη απαίτηση συνθηκών αερισμού. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ο ορός γάλακτος αποτελεί ιδανικό υπόστρωμα για αναερόβια χώνευση. Ανάμεσα στις υπόλοιπες διεργασίες, θεωρείται ως η πλέον αποτελεσματικότερη για μονάδες γαλακτοκομικών προϊόντων και παραγωγή τυριού και γάλακτος. Εφαρμόζεται για βοήθεια στους αγρότες, προκειμένου να αξιοποιήσουν τα οργανικά προϊόντα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα, που προέρχονται από τα βοοειδή. Τα γαλακτοκομικά απόβλητα, είναι πιθανές πρώτες ύλες για αναερόβια χώνευση και χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία βιομεθανοποίησης. Το λίπασμα, που προκύπτει από την όλη διαδικασία, αποτελείται από κόπρανα, ούρα και λάσπη με ρυθμό παραγωγής κοπριάς βοοειδών που φτάνει τα 30 κιλά/ημέρα/κεφαλή. Αποτελεί στην ουσία, σύνθετο υπόστρωμα που περιέχει οργανική διαλυμένη αλλά και αδιάλυτη ύλη (Jurgensen et al., 2018; Chandra et al., 2018).

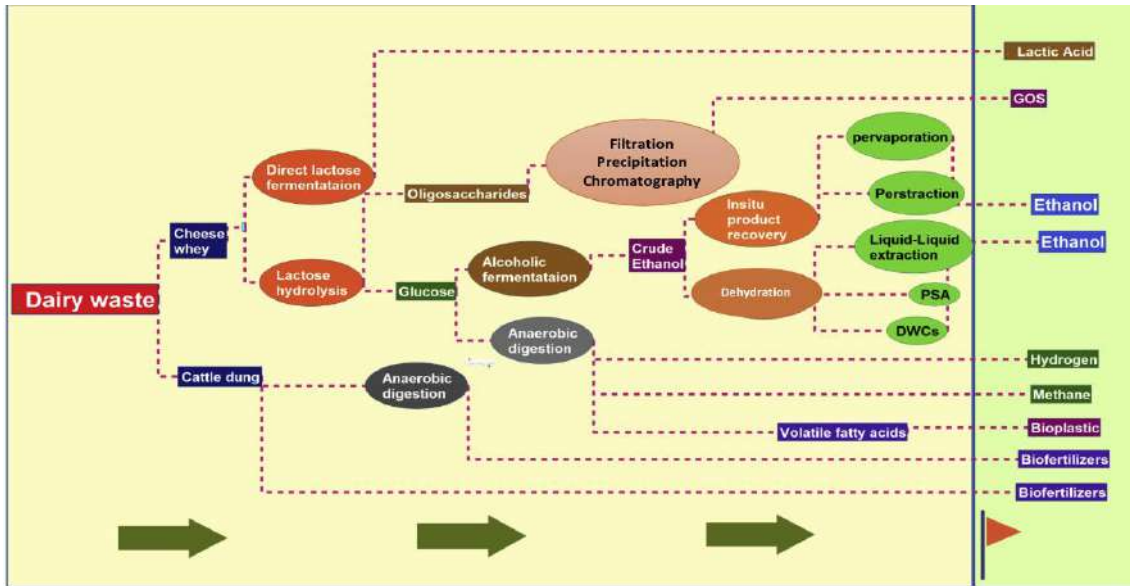
Εν αντιθέσει με τα πλεονεκτήματά της, μειονεκτεί εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών και λιπιδίων στα παραγόμενα απόβλητα και των προβλημάτων που δημιουργεί ο ακατέργαστος ορός γάλακτος, λόγω χαμηλής αλκαλικότητας διττανθρακικών αλάτων και υψηλής συγκέντρωσης COD (χημική ζήτηση οξυγόνου). Μπορεί σαν διαδικασία, να έρχεται αντιμέτωπη με την μικρή δυναμικότητα που έχουν τα τυροκομεία στην Ελλάδα, την εποχιακή λειτουργία και τη διασπορά τους στο χώρο, όμως παρόλα αυτά καθίσταται η πλέον κατάλληλη, για επεξεργασία τέτοιου είδους αποβλήτων (Jurgensen et al., 2018).

Κάτι που ακόμη αξίζει να αναφερθεί είναι, ότι το τυρόγαλο, αποτελεί πρώτη ύλη για επεξεργασία, με σκοπό την ανάκτηση προστιθέμενης αξίας. Η επεξεργασία επικεντρώνεται κυρίως σε μια διαδικασία, τη βιομεθάνωση. Εκτός από αυτήν, αξιοποιείται επίσης και η αντίστροφη ώσμωση, για επαναχρησιμοποίηση με τελικό σκοπό τον καθαρισμό αποβλήτων και εν τέλει τη θέρμανση και την ψύξη. Τα προερχόμενα λύματα από τα εργαστήρια ελέγχου ποιότητας των γαλακτοβιομηχανιών διαφέρουν από αυτά των εργοστασίων, διότι υπάρχουν χημικά που χρησιμοποιούνται

στη συντήρηση του γάλακτος. Το είδος αυτό των λυμάτων, επεξεργάζεται με αντιδραστήρα αναερόβιου φίλτρου σε βιομηχανική κλίμακα (Chandra et al., 2018).

Είναι γνωστό ότι χρησιμοποιούνται αντιβιοτικά σε γαλακτοβιομηχανίες, τα οποία ανιχνεύονται σε ορισμένα απόβλητα, μεταξύ αυτών και το τυρόγαλο και αυτά που εντοπίζονται είναι τετρακυκλίνη, σουλφαμίδια, φθοροκινολόνες κ.α. Από την άλλη, στα γαλακτοκομικά απόβλητα υπάρχουν οργανικές ενώσεις όπως πρωτεΐνες και λιπίδια, τα οποία κατά την υδρόλυση μετατρέπονται σε σάκχαρα λιπαρά οξέα και αμινοξέα. Το υδρογόνο, αποτελεί επίσης υποσχόμενη εναλλακτική πηγή καύσιμου και πλεονεκτεί σε σχέση με άλλες διεργασίες. Έχει πραγματοποιηθεί έρευνα για παραγωγή υδρογόνου, από υλικά που είναι πλούσια σε υδατάνθρακες, αποτελώντας μια προσέγγιση αποδοτική και είναι σε θέση να παράγει ανανεώσιμη ενέργεια, από οργανικά απόβλητα. Η περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες, είναι το πιο σημαντικό μέρος του οργανικού κλάσματος του τυρόγαλου, που είναι στην ουσία σχεδόν μόνο λακτόζη και αυτός είναι ο λόγος που μπορούν και υπόκεινται σε αναερόβια επεξεργασία προς παραγωγή βιοαερίου (Chandra et al., 2018).

Παρακάτω στην εικόνα (Εικόνα 13), απεικονίζεται ένα πρότυπο βιοδιυλιστηρίου για απόβλητα γαλακτοκομικών προϊόντων ως πρώτη ύλη και λεπτομέρειες ως προς τη διεργασία αυτών φτάνοντας στα τελικά προϊόντα, που δεν είναι άλλα πέρα από χημικές ενώσεις και λιπάσματα, που έχουν παραχθεί και με τη βοήθεια αναερόβιας χώνευσης ενδιάμεσα (Chandra et al., 2018).



Εικόνα 13: Λειτουργία πρότυπου βιοδυλιστήριου με επεξεργαζόμενη πρώτη ύλη, απόβλητα γαλακτοκομικών προϊόντων (Chandra et al., 2018).

2.3 Υποστρώματα για παραγωγή βιοαερίου

2.3.1 Κατάλληλα υποστρώματα για παραγωγή βιοαερίου σε Ελλάδα και εξωτερικό

Από τις πιο κοινές κατηγορίες πρώτων υλών στην Ευρώπη, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα για παραγωγή βιοαερίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης, είναι τα γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα τους, τα ζωικά περιττώματα, τα οργανικά απόβλητα είτε φυτικής είτε ζωικής προέλευσης, η λυματολάσπη, το οργανικό μέρος των αστικών αποβλήτων αλλά και οι ενεργειακές καλλιέργειες (αραβόσιτος, σόργο, τριφύλλι κλπ). Ορισμένες πρώτες ύλες όπως τα ζωικά περιττώματα, πλεονεκτούν ως προς τη χρήση τους για πρώτη ύλη παραγωγής βιοαερίου, εξαιτίας της περιεκτικότητας τους σε νερό (που λειτουργεί ως διαλύτης), του περιεχομένου τους σε αναερόβια βακτηρίδια, του χαμηλού κόστους που έχουν, αλλά και της εύκολης εύρεσης τους, διότι βρίσκονται παντού (Agroenergy, 2020).

Οι ενεργειακές καλλιέργειες, αποτελούν μια πολύ καλή επιλογή υποστρώματος ωστόσο, διότι καλλιεργούνται κυρίως για αυτό το σκοπό, την παραγωγή ενέργειας άρα και βιοαερίου. Αυτές, μπορεί να είναι πώδεις κυρίως (χλόη, αραβόσιτος κ.α.) αλλά και ξυλώδεις, παρόλο που δεν είναι η καλύτερη επιλογή ως υπόστρωμα, διότι απαιτούν

ειδική προ-επεξεργασία για απολιγνίτωση. Γενικά, η ταξινόμηση των υποστρωμάτων, γίνεται σύμφωνα με ορισμένες παραμέτρους, όπως είναι η ποσότητά τους σε ξηρά ουσία, η προέλευσή τους και η ικανότητά τους να αποδώσουν μεθάνιο. Σημαντικός παράγοντας λοιπόν, στην επιλογή υποστρώματος, εκτός από την περιεκτικότητα σε σάκχαρα, λιπίδια και πρωτεΐνες, είναι και η περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία. Όταν αυτή είναι χαμηλότερη από 20%, όπως ισχύει με κοπριές και υγρά οργανικά απόβλητα, τότε γίνεται χρήση τους για υγρή χώνευση. Αντιθέτως, για περιεκτικότητα υψηλή σε ξηρά ουσία (35%), πραγματοποιείται ξηρή χώνευση, όπως συμβαίνει με τις ενεργειακές καλλιέργειες και τα ενσιρώματα (Agroenergy, 2020).

Παρακάτω, πρόκειται να παρατεθούν πληροφορίες, σύμφωνα με πραγματοποιηθείσες μελέτες, όσον αφορά τα είδη υποστρωμάτων που επιλέγονται για αναερόβια χώνευση, καθώς και την επίδρασή του καθενός στο παραγόμενο βιοαέριο. Τα τελευταία 15 χρόνια, η παραγωγή βιοαερίου από αναερόβιο χωνευτήρα έχει γνωρίσει αύξηση κατά 11%, με πρώτες ύλες κυρίως, γεωργικά υπολείμματα, κοπριά, λάσπη λυμάτων και οικιακά απορρίμματα. Με χρήση διαφόρων υλικών ως συν-υποστρώματα, όλες αυτές οι πρώτες ύλες έχουν συγχωνευθεί για να βελτιωθεί η παραγωγικότητα του βιοαερίου. Πράγματι, η συγχώνευση αυτή, μπορεί να βελτιώσει την ισορροπία σε θρεπτικά συστατικά, αλλά και την επίδραση μικροοργανισμών στο υπόστρωμα. Το να βρεθούν τα καταλληλότερα συν-υποστρώματα και οι βέλτιστες αναλογίες τους, είναι μια πρόκληση για εγκαταστάσεις στις οποίες παράγεται βιοαέριο. Από αυτή την οπτική λοιπόν, ο αλεσμένος καφές, ένα σχεδόν ανεκμετάλλευτο υπόστρωμα για παραγωγή βιοαερίου, που έχει αυξήσει την παραγωγή του σημαντικά τα τελευταία χρόνια, απορρίπτεται μετά τη χρήση του ως αλεσμένος (σχεδόν το 90% σε ξηρό βάρος). Μια σωστή επιλογή σύνθεσης υποστρώματος, οδηγεί σε ισορροπία συστήματος και σε αυξημένη παραγωγή μεθανίου. Ο αλεσμένος καφές φαίνεται να αποτελεί κατάλληλο υπόστρωμα, για αναερόβια χώνευση (Orfanoudaki et al., 2019).

Για πρώτη φορά, εξετάστηκε η συγχώνευση υγρής κοπριάς χοίρων με αλεσμένο καφέ κατά τη διάρκεια μελέτης το 2019, όπου μέσω πειράματος προσδιορίστηκε το βιοχημικό δυναμικό μεθανίου του αλεσμένου καφέ και παράλληλα πραγματοποιήθηκε ένα διαφορετικό πείραμα σε αντιδραστήρα δεξαμενής συνεχούς ανάδευσης, για τον προσδιορισμό απόδοσης μεθανίου μείγματος υγρής κοπριάς χοίρων και αλεσμένου καφέ. Παράλληλα, σε υπόστρωμα κοπριάς χοίρων που παρακολουθήθηκε, φάνηκε ότι η

ποσότητα μεθανίου που μπορεί να παραχθεί αυξάνεται από 0,12 L biogas/L reactor/d σε 0,14 L biogas/L reactor/d με την προσθήκη αλεσμένου καφέ. Εντυπωσιακά ήταν όμως και τα αποτελέσματα από τη συγχώνευση κοπριάς χοίρων με αλεσμένο καφέ, όπου η παραγωγή βιοαερίου αυξήθηκε από 22 σε 240 L/d, μετά την προσθήκη του καφέ, λόγω συνεργιστικών επιδράσεων. Αποδείχθηκε ότι, η αναλογία C/N βελτιώνεται μαζί με την τιμή pH της υγρής κοπριάς των χοίρων. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι, η παραγωγή βιοαερίου γνωρίζει βελτίωση μέσω της αναερόβιας χώνευσης συγχωνευμένων υποστρωμάτων (Orfanoudaki et al., 2019).

Επίσης από μια επιπλέον μελέτη το 2014, προέκυψε το συμπέρασμα ότι, ύστερα από ανάμιξη κοπριάς κοτόπουλου, μείγματος γεωργικών αποβλήτων από υπολείμματα καρύδας και αλεσμένου καφέ, αυξήθηκε η παραγωγή μεθανίου κατά 93%, γεγονός που αποδεικνύει τις ενδιαφέρουσες ιδιότητες του αλεσμένου καφέ (Abouelenien et al., 2014).

Γενικά, όπως ήδη είναι γνωστό, η κοπριά των ζώων είναι από τα κύρια χρησιμοποιούμενα υποστρώματα παραγωγής βιοαερίου. Η χρήση μονάχα της κοπριάς, αποδεικνύεται ότι έχει χαμηλές αποδόσεις σε βιοαέριο, εκτός κι αν χρησιμοποιηθεί μαζί με άλλα είδη υποστρωμάτων, όπως τα αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, η γλυκερόλη και το τυρόγαλο. Τέτοια είδη είναι πλούσια σε αναλογία C/N. Παρομοίως και ο αλεσμένος καφές, έχει περιεκτικότητα σε άνθρακα πάνω από 50% και αναλογία C/N μεγαλύτερη του 20% (Kim et al., 2017).

Σύμφωνα με μελέτη του 2018, για συγχώνευση υποστρωμάτων προς παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης, διαπιστώνεται ότι η απόρριψη απόβλητων ελαιοτριβείων έχει περιοριστεί εξαιτίας χαμηλής αλκαλικότητας και pH, έλλειψης αζώτου και αμμωνίου, καθώς και υψηλής περιεκτικότητα οργανικών και φαινολικών ενώσεων. Έχει αποδειχθεί ότι η πιο αποδοτική διαδικασία για ανάκτηση ενέργειας χρησιμοποιεί τεχνική συγχώνευσης αποβλήτων ελαιοτριβείων, με άλλα υποστρώματα. Τα υποστρώματα αυτά διαθέτουν υψηλό επίπεδο αζώτου και αλκαλικότητας αμμωνίου αντισταθμίζοντας τις ελλείψεις του. Παράλληλα, το τυρόγαλο είναι υποπροϊόν παραγωγής τυριών με υψηλή οργανική περιεκτικότητα, χαμηλή αλκαλικότητα και εξαιρετικά βιοαποικοδομήσιμο. Η συγχώνευση του με κοπριά γαλακτοπαραγωγής παρέχει τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά και την απαιτούμενη ρυθμιστική ικανότητα.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, έδειξαν ότι η ανάμιξη και συγχώνευση αποβλήτων τυρογάλακτος, λυμάτων ελαιοτριβείων λάσπη λυμάτων και αποξηραμένων τροφίμων, αποτελεί υποσχόμενη προοπτική, εξαιτίας της αύξησης παραγόμενου μεθανίου που παρατηρείται. Το μίγμα που δημιουργείται από την συγχώνευση των παραπάνω αποβλήτων, βελτιώνει το ρυθμό παραγωγής αερίου και συγκεκριμένα μετά τη συγχώνευση η συνολική παραγωγή βιοαερίου ήταν 170% υψηλότερη, που είναι ένα πολύ ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Ο ρυθμός παραγωγής βιοαερίου παρέμεινε σταθερός, αλλά η απόδοση μεθανίου βελτιώθηκε, όπως επίσης βελτιώθηκε η παραγωγή βιοαερίου μέσω της συγχώνευσης κατά 1,2-2,7 φορές (Maragkaki et al., 2018).

3 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

3.1 Εφαρμογές Αναερόβιας Χώνευσης

Η αναερόβια χώνευση (Α.Χ), είναι μια διαδικασία η οποία μπορεί να εκτελεστεί αυθόρμητα στο περιβάλλον, αλλά κατά κύριο λόγο γίνεται σε ειδικές εγκαταστάσεις υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Είναι η πιο διαδεδομένη και αποτελεσματική τεχνολογία μετατροπής οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων αγροδιατροφικού τομέα, σε ενέργεια. Ο αριθμός των μονάδων στην Ε.Ε είναι αυξημένος περίπου στις 17.500 (2016), με εγκατεστημένη ισχύ κατά μέσο όρο 125-1000 kWel. Στην Ελλάδα συγκεκριμένα, λειτουργούν περισσότερες από 20 μονάδες παραγωγής βιοαερίου, με σημαντική εγκατεστημένη ισχύ που πρόκειται να αναλυθούν διεξοδικά σε επόμενο κεφάλαιο (European Biogas Association, 2017). Η αναερόβια χώνευση είναι μια αποδοτική μέθοδος επεξεργασίας βιολογικών αποβλήτων, για το λόγο ότι το παραγόμενο βιοαέριο, υπόκειται σε καύση προς παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τυχόν κατάλοιπα που παραμένουν στον χωνευτή, ανακυκλώνονται μέσω της χρήσης τους στη γεωργία ως εδαφοβελτιωτικό. Σαν μέθοδος, χρησιμοποιείται μαζί με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, για να μειωθούν κυρίως οι αέριες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (Weiland, 2000).

Κύριο στόχος της πέρα από την μεγιστοποίηση παραγόμενου μεθανίου, είναι η αποφυγή και μείωση περιβαλλοντικών προβλημάτων και επιπτώσεων. Ως μικροβιακή διεργασία, αποτελείται από επιμέρους στάδια (4), τα οποία θα περιγραφούν στην πορεία το καθένα ξεχωριστά. Μέσα από την αναερόβια χώνευση, μπορεί να ελεγχθεί όπως ήδη αναφέρθηκε, η ρύπανση, αλλά και η ανάκτηση ενέργειας. Ιδανικά για αναερόβια χώνευση, θεωρούνται απόβλητα γεωργικής, κτηνοτροφικής και βιομηχανικής προέλευσης, που έχουν αυξημένα επίπεδα βιοδιασπώμενων υλικών (Weiland, 2000).

Προκειμένου όμως, να επιλεγεί η κατάλληλη πρώτη ύλη για να παραχθεί βιοαέριο μέσω αυτής, λαμβάνονται υπόψη ορισμένα κριτήρια όπως, το δυναμικό παραγωγής βιοαερίου ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t}$), δηλαδή η ποσότητα που μπορεί να παραχθεί από νωπή βιομάζα (σε τόνους) και το δυναμικό παραγωγής γενικά, αλλά εκφρασμένο κατ'όγκο για να μπορεί με αυτόν τον τρόπο, να αξιολογείται ο όγκος του βιοαντιδραστήρα, ο αποθηκευτικός χώρος και η ποσότητα υγρών/στερεών εξαγωγής, για περαιτέρω επεξεργασία. Επιπλέον, δύο παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι τα βιοχημικά χαρακτηριστικά (C/N, pH, τα πτητικά στερεά, οι τοξικές ουσίες, οι παρεμποδιστές) και τα φυσικά χαρακτηριστικά όπως είναι το ειδικό βάρος, η υγρασία, η υφή κ.α. (European Biogas Association, 2017). Σε περιπτώσεις μειωμένης απόδοσης μεθανίου ή αστάθειας στο σύστημα, σημαίνει ότι υπάρχουν ανασταλτικές ουσίες που παρεμποδίζουν τη δράση του αναερόβιου χωνευτή, όταν αυτές βρίσκονται στα απόβλητα (Chen et al., 2008).

Στη μελέτη αυτή, καταδεικνύεται το τεράστιο δυναμικό βιοαερίου σε ολόκληρη την Ευρώπη, όχι μόνο για την παραγωγή ενέργειας ως αποτέλεσμα της καύσης του, αλλά και ως υποπροϊόν επεξεργασίας διαφορετικών ειδών αποβλήτων. Η έννοια της αναερόβιας χώνευσης, έχει εισαχθεί γύρω στο 1870, μαζί με την ανάπτυξη του συστήματος σηπτικής δεξαμενής από τον Jean-Louis Mouras. Ο Louis Paster επίσης, είχε αναφέρει ότι το βιοαέριο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση και φωτισμό. Η ανάπτυξη του βιοαερίου παρουσίασε σημείο καμψής στις ενεργειακές ελλείψεις του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου, αλλά και κατά της διάρκειας της πετρελαϊκής κρίσης το 1970. Από τότε μέχρι σήμερα, έχει μελετηθεί μικροβιολογικά και έχει αποτελέσει τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων και στερεών αποβλήτων. Υπό αυτήν την έννοια, σαν μέθοδος δίνει λύση στην παραγωγή ενέργειας, πλεονεκτεί ως προς τα οφέλη της προς το περιβάλλον και έχει χαμηλό κόστος σε σύγκριση με άλλες τεχνικές. Στην πραγματικότητα, κάθε είδος βιομάζας μπορεί να αποτελέσει υπόστρωμα για παραγωγή βιοαερίου, εφόσον περιέχει υδατάνθρακες, λίπη, πρωτεΐνες, κυτταρίνη και ημικυτταρίνες, ως κύρια συστατικά. Χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο ειδικά στην Ευρώπη και εις βάρος κάποιων άλλων μεθόδων, όπως η αποτέφρωση και η διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής (XYTA). Αποτελεί σήμερα, τον πιο βιώσιμο τρόπο χρήσης της ενέργειας που υπάρχει στη βιομάζα και στα απόβλητα, ακριβώς

επειδή αυξάνει την ανάκτηση θρεπτικών συστατικών και μειώνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Grando et al., 2017).

3.2 Στάδια Αναερόβιας Χώνευσης

Όπως προαναφέρθηκε, η αναερόβια χώνευση ως μικροβιακή διεργασία, αποτελείται από 4 επιμέρους στάδια και αυτά είναι με τη σειρά, η υδρόλυση, η οξεογένεση, η οξικογένεση και η μεθανιογένεση (Σχήμα 3.1). Όταν στο σύστημα υπάρχει ισορροπία, οποιοδήποτε προϊόν παράγεται από ένα μεταβολικό στάδιο, πρόκειται να καταναλωθεί στο επόμενο με αποτέλεσμα να παράγεται βιοαέριο στο τέλος, αφού ολοκληρωθεί και το στάδιο της μεθανιογένεσης, χωρίς να συσσωρεύονται προϊόντα ενδιάμεσα. Εάν δεν υπάρχει αυτή η ισορροπία, τότε μεταβάλλονται και τα ενδιάμεσα παραγόμενα προϊόντα (λιπαρά οξέα, υδρογόνο κλπ).

3.2.1 Υδρόλυση

Η υδρόλυση αποτελεί το πρώτο στάδιο κατά την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Είναι ουσιαστικά το στάδιο κατά το οποίο, το σύνθετο οργανικό υλικό (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια) μεταβολίζεται σε μικρότερα μόρια (σάκχαρα, αμινοξέα, λιπαρά οξέα), με τη βοήθεια υδρολυτικών ενζύμων που έχουν ήδη εκκριθεί από υδρολυτικά βακτήρια του υποστρώματος (Reith et al., 2003).

Ένζυμα δηλαδή όπως, κυτταρινάση, αμυλάση, πρωτεάση και προμάση μεταβολίζουν το οργανικό υλικό σε μόρια όπως αμινοξέα, σάκχαρα, πεπτιδία, αμμωνία, διοξείδιο του άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα, η κυτταρίνη διασπάται σε γλυκόζη με τη βοήθεια του ενζύμου κυτταρινάση, και τα λιπίδια σε λιπαρά οξέα και γλυκερόλη με τη βοήθεια του ενζύμου λιπάση. Ενώ οι πρωτεάσες, που βοηθούν τη διαδικασία υδρόλυσης πρωτεϊνών σε αμινοξέα, διακρίνονται σε ενδοπρωτεάσες και εξωπρωτεάσες, ανάλογα με τη θέση των πεπτιδικών δεσμών που βρίσκονται στην πεπτιδική αλυσίδα (Reith et al., 2003; Miyamoto 1997).

3.2.2 Οξεογένεση

Η οξεογένεση είναι το δεύτερο στάδιο που ακολουθεί της υδρόλυσης, επομένως χρησιμοποιεί τα προϊόντα της υδρόλυσης. Οξεογόνοι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν τα προϊόντα της υδρόλυσης σαν υπόστρωμα, για να παράγουν πτητικά λιπαρά οξέα,

αιθανόλη, μεθανόλη, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά το μεταβολισμό των λιπαρών οξέων μεγάλου μοριακού βάρους, παράγονται αμινοξέα μικρότερου (Gujer et al., 1983). Η οξεογένεση είναι η πιο γρήγορη αντίδραση κατά την αναερόβια χώνευση στην υγρή φάση, με τελικά προϊόντα κυρίως το υδρογόνο και το διοξείδιο του άνθρακα, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μεθανιογόνους μικροοργανισμούς στο στάδιο της μεθανιογένεσης (Schink, 1997). Παρακάτω, παρουσιάζονται μια σειρά από αντιδράσεις όπου η γλυκόζη μεταβολίζεται ανά περίπτωση σε αιθανόλη, προπιονικό οξύ και οξικό οξύ αντίστοιχα (Ostrem, 2004).

3.2.3 Οξικογένεση

Στο στάδιο αυτό ουσιαστικά γίνεται μια περαιτέρω αποδόμηση ορισμένων ενώσεων όπως βουτυρικού, βαλερικού, CO₂, H₂ και οξικού οξέος. Κατά την οξικογένεση, δημιουργείται μια σχέση μεταξύ των οξικογόνων και των μεθανιογόνων μικροοργανισμών, καταναλώνοντας το υδρογόνο του συστήματος και έτσι δίνεται η δυνατότητα στους οξικογόνους μικροοργανισμούς να λειτουργήσουν. Πολύ σημαντικός είναι ο ρόλος του οξυγόνου στην οξικογένεση, η οποία θα πραγματοποιηθεί, μόνο εάν η μερική πίεση του οξυγόνου είναι χαμηλή για να επιτρέψει τη μετατροπή οξέων (Mata et al., 2003).

3.2.4 Μεθανιογένεση

Οι μεθανιογόνοι μικροοργανισμοί που συντελούν στο στάδιο αυτό είναι αναερόβιοι, δηλαδή λειτουργούν υπό συνθήκες έλλειψης οξυγόνου και επίσης είναι ευαίσθητοι σε αλλαγές περιβαλλοντικών συνθηκών, για αυτό η μεθανιογένεση αποτελεί καθοριστικό στάδιο για την αναερόβια χώνευση. Αυτό που κάνουν ουσιαστικά οι μεθανιογόνοι μικροοργανισμοί είναι να μετατρέπουν κάποιες ενώσεις σε μεθάνιο, όπου είναι και το τελικό προϊόν της αναερόβια χώνευσης. Το υπόστρωμα των μεθανιογόνων μικροοργανισμών είναι το διοξείδιο του άνθρακα μαζί με το υδρογόνο, το οξικό οξύ, τις μεθυλαμίνες, τη μεθανόλη και το διμεθυλσουλφίδιο. Το μεθάνιο παράγεται κυρίως μέσω οξικού οξέος, υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα. Αξίζει επιπλέον να σημειωθεί ότι οι μεθανιογόνοι μικροοργανισμοί διακρίνονται σε ομάδες, όσοι μετατρέπουν το οξικό οξύ σε μεθάνιο, όσοι μετατρέπουν το υδρογόνο και το διοξείδιο του άνθρακα σε μεθάνιο και τέλος όσοι μετατρέπουν τη μεθανόλη και τις μεθυλαμίνες σε μεθάνιο (Angelidaki & Schmidt, 2002).

3.3 Μικροβιολογία της Αναερόβιας Χώνευσης

Προκειμένου να μετατραπούν οργανικές ενώσεις υψηλού μοριακού βάρους σε μεθάνιο, συμμετέχουν στη διαδικασία αυτή πλήθος μικροοργανισμών. Οι μικροοργανισμοί αυτοί, παρίστανται στο στάδιο της μη μεθανογόνου φάσης και παραδείγματα αυτών που επικρατούν είναι τα βακτήρια, καθώς όμως συνυπάρχουν και με μύκητες και πρωτόζωα μαζί. Ο αριθμός και το είδος τους σχετίζεται άμεσα με τα χαρακτηριστικά των υποστρωμάτων που χρησιμοποιούνται. Στους μικροοργανισμούς που λαμβάνουν δράση στα στάδια υδρόλυσης, οξικογένεσης και οξεογένεσης υπάρχουν αναερόβια βακτήρια τα οποία μπορεί να είναι είτε χημειολιθότροφα, είτε χημειοργανότροφα, είτε φωτοργανότροφα. Τέτοιου είδους μικροοργανισμοί απομονώνονται από χωνευτήρες αναερόβιους και είναι το *Clostridium spp.*, *Corynebacterium spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Actinomyces*, *Esherichia coli* κ.α. Από την άλλη όμως, οι μικροοργανισμοί που εξαιτίας τους παράγεται μεθάνιο, είναι τα αρχαιοβακτήρια τα οποία είναι αναερόβιοι, υποχρεωτικά, οργανισμοί. Πιο συγκεκριμένα, τα πρωτόζωα συναντώνται κυρίως σε βιολογικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων, ενώ οι αναερόβιοι μύκητες στα προστόμαχα των μηρυκαστικών λόγω υψηλής ενεργότητας ενζύμων (Hobson et al., 1974).

Πιο συγκεκριμένα, στα στάδια της υδρόλυσης, της οξεογένεσης και της οξικογένεσης, συμμετέχουν αναερόβια βακτήρια, ενώ στο στάδιο της μεθανιογένεσης μεθανογενή. Όμως, οι κυριότερες ομάδες που παίρνουν μέρος είναι βακτήρια ζύμωσης, οξικογόνα βακτήρια που παράγουν είτε καταναλώνουν οξυγόνο, μεθανιογόνα που ανάγουν το διοξείδιο του άνθρακα και ακετοκλαστικά μεθανιογόνα βακτήρια. Είναι πολύ σημαντικό, για να μπορέσουν να καταταχτούν οι μικροοργανισμοί σε μια σειρά, να είναι γνωστή η σχέση της κυτταρικής λειτουργίας τους με το οξυγόνο. Στον πίνακα που ακολουθεί, (Πίνακας 12) παρουσιάζεται η κατάταξη των μικροοργανισμών σε σχέση με τη χρήση του οξυγόνου (Hobson et al., 1974).

Πίνακας 12: Κατάταξη μικροοργανισμών με κριτήριο τη σχέση κυτταρικής λειτουργίας και οξυγόνου (Αγγελής, 2000).

Μικροοργανισμοί	Ιδιότητα
1. Αερόβιοι	Χρησιμοποιούν το μοριακό οξυγόνο

2. Προαιρετικά αναερόβιοι	Χρησιμοποιούν το μοριακό οξυγόνο αλλά επιβιώνουν και με το ζυμωτικό
3. Υποχρεωτικά αναερόβιοι	Δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν το μοριακό οξυγόνο
3α. Αδιάφοροι αναερόβιοι	Μπορούν να επιβιώσουν και σε αναερόβιες συνθήκες
3β. Ανθεκτικοί στον αέρα αναερόβιοι	Έχουν όριο ανοχής στη συγκέντρωση οξυγόνου στο περιβάλλον τους
3γ. Αυστηρά αναερόβιοι	Πεθαίνουν ακόμη και με ίχνη ελεύθερου οξυγόνου στο περιβάλλον τους

Η λειτουργική και μικροβιακή δυναμική του πληθυσμού στον αναερόβιο μετασχηματισμό της οργανικής ύλης, διερευνάται συνεχώς σε πραγματική κλίμακα. Η θερμοκρασία, η ανάδευση, ο ρυθμός οργανικού φορτίου και η διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών μεταξύ άλλων, τείνουν να επηρεάσουν τον μικροβιακό μεταβολισμό. Οι παράμετροι αυτοί, είναι που επιτρέπουν στους μικροοργανισμούς να καθορίσουν μια απαραίτητα και επαρκή πυκνότητα πληθυσμού για να παραχθεί βιοαέριο (Quintero et al., 2019).

Λίγο πιο αναλυτικά ωστόσο περιγράφεται η συμμετοχή βακτηρίων και αρχαίων στην διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης και προσδιορίζεται η ευρύτερη εικόνα μικροβιολογίας της όλης διαδικασίας. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης λοιπόν, ξεκινάει με την βακτηριακή υδρόλυση σύνθετων βιοαποικοδομήσιμων πολυμερών (πολυσακχαρίτες) σε διαλυτή μορφή (απλά σάκχαρα), κάνοντας τα διαθέσιμα για άλλα βακτήρια τα οποία αποκτώνται από υδρολυτικά ζυμωτικά βακτήρια. Τα συγκεκριμένα (υδρολυτικά ζυμωτικά βακτήρια) , αποτελούνται από πολλά βακτηριακά είδη. Πολλά από αυτά, είναι υποχρεωτικά και άλλα προαιρετικά αναερόβια. Επίσης παρόντα, είναι και εντερικά βακτήρια (*Streptococci*). Στον αναερόβιο χωνευτή όμως κυριαρχούν βακτήρια αναερόβια που ανήκουν σε διαφορετικά γένη όπως *Bacteroides*, *Butyrivibrio*, *Clostridium*, *Eubacterium*, *Ruminococcus* κ.α. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλη διαδικασία της υδρόλυσης, επιτυγχάνεται κυρίως με εξωκυτταρικά ένζυμα. Όμως, η υδρόλυση ενός σύνθετου, αδιάλυτου υποστρώματος εξαρτάται από διαφορετικές παραμέτρους όπως το

μέγεθος σωματιδίων, το pH, η παραγωγή, η διάχυση και η προσρόφηση ενζύμων (Munisami et al., 2017).

Στη συνέχεια, στο στάδιο της οξεογένεσης, αναερόβια βακτήρια και αρχαία, χρησιμοποιούν το μονοπάτι γαλακτικού οξέος και άλλων οδών ζύμωσης συμπεριλαμβανομένου μεταξύ άλλων, του προπιονικού οξέος. Τα αμινοξέα που έχουν προέλθει από υδρόλυση πρωτεϊνών, αποκαρβοξυλιώνονται και αποαμινώνονται σε οργανικά οξέα και άλλα προϊόντα. Αμινοξέα όπως βαλίνη και λευκίνη ζυμώνονται σε βουτυρικό και ισοβαλικό οξύ, ενώ αρωματικά αμινοξέα όπως η φαινυλαλανίνη, μεταβολίζεται σε φαινυλο-οξικό οξύ. Τα λιπίδια υδρολύονται σε λιπαρά οξέα και τα λιπαρά οξέα μετατρέπονται σε οξικό, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα (Munisami et al., 2017).

Στη συνέχεια κατά την οξικογένεση, τα οξικογόνα/ακετογόνα είναι υποχρεωτικά αναερόβια βακτήρια που χρησιμοποιούν το αναγωγικό ακετύλιο (CoA) μονοπάτι, ως κύριο μηχανισμό για τη διατήρηση της ενέργειας και τη σύνθεση του ακετυλο-CoA και του κυτταρικού άνθρακα από διοξείδιο του άνθρακα. Τα ακετογόνα, είναι αυστηρά αναερόβια βακτήρια, που αναπτύσσονται με μετατροπή υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα, σε οξικό οξύ. Αναπτύσσονται σε διάφορα υποστρώματα, όπως εξόζες και ενώσεις άνθρακα (Munisami et al., 2017).

Στο τέταρτο και τελευταίο στάδιο αναερόβιας χώνευσης, την μεθανιογένεση, λαμβάνει χώρα η παραγωγή μεθανίου από τα αρχαία μέσω βιολογικής διαδικασίας, με έναν τύπο αρχαίων που εμφανίζει προκαρυωτικά βιοχημικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με μελέτες, αυτοί οι οργανισμοί είναι φυλογενετικά διακριτοί από προκαρυωτικούς και ευκαρυωτικούς. Η ύπαρξη των μεθανοβακτηρίων αυτών είναι γνωστή ως ύπαρξη μεθανοαρχαίων. Στη φάση της μεθανιογένεσης, τα 2/3 περίπου του συνόλου του μεθανίου προέρχονται από καρβοξυλίωση οξικού άλατος, ενώ το 1/3 από μείωση διοξειδίου του άνθρακα. Οι διάφορες μετατροπές κατά τη μεθανιογένεση (μείωση διοξειδίου του άνθρακα, μείωση φορμυλικής ομάδας σε επίπεδο φορμαλδεΰδης, μετατροπή μεθυλίου σε μεθάνιο, αναγωγική απομεθυλίωση κ.α.), επιτυγχάνονται από δύο ομάδες μεθανοαρχαίων, όπως το διοξείδιο του άνθρακα που μειώνει τα μεθανογόνα, και οξικό που χρησιμοποιεί μεθανογόνα και ακετοκλαστικά μεθανογόνα. Το παραγόμενο στον αναερόβιο βιοαντιδραστήρα μεθάνιο μπορεί να υπολογιστεί με χρήση υπολογισμών μάζας (Munisami et al., 2017).

3.4 Περιβάλλον Ανάπτυξης- Παράγοντες επιρροής

Κάθε ομάδα μικροοργανισμών εξαιτίας της διαφορετικής της φυσιολογίας, αντιδρά και αναπτύσσεται υπό διαφορετικές συνθήκες η καθεμία. Σε συνθήκες μη ισορροπίας του συστήματος Α.Χ., όπου αποτελεί πιθανό ενδεχόμενο, συσσωρεύονται ενδιάμεσα προϊόντα, όπως πτητικά λιπαρά οξέα και αλκοόλες, με αποτέλεσμα να επέρχεται αστάθεια στο σύστημα. Χαρακτηριστικοί φυσικοχημικοί παράγοντες επιρροής της αναερόβιας χώνευσης είναι, η θερμοκρασία, το pH, τα θρεπτικά στοιχεία, οι τοξικές ουσίες, ο χρόνος παραμονής (SRT), ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (HRT), πτητικά λιπαρά οξέα και η αμμωνία. Για να πραγματοποιηθεί σωστά η αναερόβια χώνευση στο χωνευτή πρέπει να γίνεται τακτικός έλεγχος των παραπάνω παραγόντων και να τηρούνται ορισμένες προϋποθέσεις.

- Θερμοκρασία:

Η θερμοκρασία, επηρεάζει τη σταθερότητα και την απόδοση όλης της διεργασίας. Για το λόγο ότι οι μεθανιογόνοι μικροοργανισμοί είναι αρκετά ευαίσθητοι σε θερμοκρασιακές αλλαγές, είναι πολύ σημαντική η επιλογή της θερμοκρασίας στην οποία θα λειτουργεί ο αναερόβιος αντιδραστήρας, η οποία θα πρέπει και να διατηρείται σε σταθερά επίπεδα. Οι μικροοργανισμοί γενικά, διακρίνονται σε 3 κατηγορίες ανάλογα με την αντοχή τους στη θερμοκρασία. Οι ομάδες αυτές είναι η θερμοφιλή (άνω των 50 °C), η μεσόφιλη (30 °C -40 °C) και η ψυχρόφιλη (κάτω από 20 °C) (Angelidaki & Schmidt, 2002).

Η συνηθέστερη τιμή θερμοκρασίας είναι 35 °C, για την μεσόφιλη περιοχή, μια θερμοκρασία που αυξάνει την απόδοση του αντιδραστήρα. Είναι γεγονός, ότι εάν αυξηθεί η θερμοκρασία από τη μεσόφιλη, στη θερμοφιλή φάση, επιταχύνεται η μεθανιογενής δραστηριότητα (Hartmann et al., 2005). Η διάρκεια της μεσόφιλης φάσης είναι 25-30 ημέρες, ενώ της θερμοφιλης 12-14 ημέρες (Vandevivere et al., 2003).

- pH:

Το pH, επηρεάζει την απόδοση του συστήματος και οι ιδανικές τιμές που θα πρέπει να πάρει είναι μεταξύ 6,8 και 7,2, παρόλο που υπάρχουν βακτήρια όπως τα οξεογόνα που προτιμούν τιμές μεταξύ 5,5 και 6,5. Όμως, μπορεί να παραχθεί μεθάνιο, ακόμη και σε βασικό και όξινο περιβάλλον παρόλα αυτά (Maestrojuan

et al., 1991). Αξίζει να αναφερθεί επίσης, ότι κατά την αναερόβια χώνευση, το pH μπορεί να μεταβληθεί και συγκεκριμένα να μειωθεί όταν αυξάνονται τα πτητικά λιπαρά οξέα και η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα, ενώ αντιθέτως μπορεί να αυξηθεί εξαιτίας της αμμωνίας στο σύστημα (Veecken et al., 2000).

- Θρεπτικά στοιχεία:

Η σύσταση ενός υποστρώματος που χρησιμοποιείται κατά την αναερόβια χώνευση, σαφώς μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία της. Βασικά θρεπτικά στοιχεία που βρίσκονται σε αυτό είναι το άζωτο, ο φώσφορος και ο άνθρακας. Συγκεκριμένα, μεταξύ άνθρακα και αζώτου θα πρέπει να υπάρχει μια αναλογία που να κυμαίνεται μεταξύ 20/1 έως 30/1 C/N (Oreopoulou et al., 2007). Φυσικά εκτός από τα τρία αυτά στοιχεία, υπάρχουν και άλλα όπως νικέλιο (Ni), κοβάλτιο (Co), μαγνήσιο (Mg), ασβέστιο (Ca), κάλιο (K) και σίδηρος (Fe) που υποβοηθούν στη διεργασία, αλλά σε κάθε περίπτωση η συγκέντρωση του καθενός στοιχείου θα πρέπει να είναι ελεγχόμενη, διότι εάν αυξηθεί αρκετά, μπορεί να αποβεί τοξικό και ανασταλτικό το ίδιο το στοιχείο για το σύστημα. Τα ίδια τα θρεπτικά στοιχεία, αλλά και ενώσεις όπως αμμωνία, λιπαρά οξέα, βαρέα μέταλλα και θειικά ιόντα, σε αυξημένες συγκεντρώσεις καθίστανται τοξικά (Mignone, 2005).

- Χρόνος παραμονής και υδραυλικός χρόνος παραμονής:

Όταν γίνεται λόγος για χρόνο παραμονής, εννοείται ο χρόνος παραμονής του υλικού προς αποδόμηση (των αποβλήτων) στον αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης. Εάν ο χρόνος είναι σωστός, τότε σημαίνει ότι μέσα στον αντιδραστήρα υπάρχει σημαντικό ποσοστό πτητικών αιωρούμενων στερεών (VSS). Ο χρόνος παραμονής (SRT), σχετίζεται με τον τύπο μικροοργανισμών που υπάρχουν στον αντιδραστήρα. Γενικά όμως, για να είναι αποτελεσματική η αναερόβια χώνευση στερεών στους 30 °C, θα πρέπει ο χρόνος παραμονής SRT να είναι μεγαλύτερος από 15 ημέρες, και όσο μειώνεται η θερμοκρασία, να αυξάνονται οι χρόνοι παραμονής.

Από την άλλη, η σχέση που περιγράφει τον υδραυλικό χρόνο παραμονής δίνεται παρακάτω:

$$\text{HRT} = \frac{V}{F}$$

Όπου,

V: Ο λειτουργικός όγκος του αντιδραστήρα (m^3),

F: Η ημερήσια ογκομετρική παροχή στον αντιδραστήρα (m^3 /ημέρα).

Καλό θα ήταν, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής να είναι μεγάλος, έτσι ώστε τα αναερόβια βακτήρια να ολοκληρώσουν το μεταβολισμό τους και να πολλαπλασιαστούν (Maharaj et al., 2001).

- Κινητική της Αναερόβιας Χώνευσης:

Την κινητική της A.X. μπορούν να περιγράψουν 2 διαφορετικά μοντέλα, το μοντέλο πρώτης τάξης και το μοντέλο Monod (Chowdhury & Fulford, 1992).

Μοντέλο πρώτης τάξης:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{s_0 - s}{\theta} - ks \quad (1)$$

Όπου

S: Η συγκέντρωση των πτητικών στερεών (kg/m^3),

S₀: Η αρχική συγκέντρωση πτητικών στερεών,

θ: Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής,

k: Σταθερά πρώτης τάξης

Ο ρυθμός παραγωγής βιοαερίου (m^3/d) εξαρτάται από της ελάττωση της συγκέντρωσης των πτητικών στερεών και δίνεται από τη σχέση:

$$g = yB_0 (S_0 - S)v \quad (2)$$

Όπου y: Η ειδική παραγωγή μεθανίου (m^3/kg)

Μοντέλο Monod:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{s_0 - s}{\theta} - \frac{\mu X}{y} \quad (3)$$

$$\frac{dx}{dt} = \mu X - \frac{x}{\theta} \quad (4)$$

Όπου

Y: Ο συντελεστής απόδοσης και

μ: Ο συντελεστής ανάπτυξης των βακτηρίων, ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$\mu = \mu_m (s/k_s + s) \quad (5)$$

Όπου μ_m είναι ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης και K_s σταθερά που αντιστοιχεί στην τιμή του S για $\mu = \mu_m/2$.

Σε συνθήκες ισορροπίας οι εξισώσεις (3) και (4) γίνονται:

$$X = Y(S_0 - S) \quad (6)$$

$$S = K_s / (\theta \mu_m - 1) \quad (7)$$

- Πτητικά Λιπαρά Οξέα (VFAs):

Τα πτητικά λιπαρά οξέα, είναι ενώσεις που προκύπτουν από τα ενδιάμεσα στάδια της αναερόβιας χώνευσης και τα οποία είναι απαραίτητα, προκειμένου η οργανική ύλη να μετατραπεί σε βιοαέριο. Όταν αυτές οι ενώσεις συσσωρεύονται και δημιουργούνται πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις, τότε καθίστανται αναποτελεσματικές για την λειτουργία των μικροοργανισμών. Γενικά, στον αντιδραστήρα όπου γίνεται η ζύμωση, δεν υπάρχει μόνο ένας τύπος πτητικών λιπαρών οξέων αλλά πολλοί και διαφορετικοί, για τους οποίους λαμβάνεται υπόψη συνεχώς το γεγονός ότι μπορούν να δράσουν όλοι μαζί, έναντι της δράσης των μεθανιογόνων και έτσι να ανασταλεί η διαδικασία. Συγκεκριμένα, όταν οι συγκεντρώσεις των VFAs, ξεπεράσουν τα 2000mg/l τότε αναστέλλεται η αποδόμηση της κυτταρίνης, ενώ όταν ξεπεράσουν τα 4000mg/l, τότε επέρχεται ασθενής αναστολή της γλυκόζης (Siegert & Banks, 2005).

- Αμμωνία:

Όταν αποδομούνται αζωτούχες ενώσεις, παράγεται αμμωνία και επειδή γενικά είναι διαπερατή όσον αφορά τις κυτταρικές μεμβράνες, αυτός είναι και ο λόγος που μπορεί να γίνει ανασταλτική και να φέρει αστάθεια στο σύστημα. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις της, ευαισθητοποιούν τους μεθανιογόνους μικροοργανισμούς, ενώ ιόντα μαγνησίου, καλίου και ασβεστίου ανταγωνίζονται την ανασταλτική της δράση. Για παράδειγμα, όταν η συγκέντρωση της αμμωνίας ξεπερνά τα 1500 mg/l σε pH μεγαλύτερο από 7,4 τότε η μικροβιακή αύξηση σταματά. Αντιθέτως, όταν η συγκέντρωσή της είναι μικρότερη από 200 mg/l, τότε επιδρά ευεργετικά, γιατί ας μην ξεχνιέται το γεγονός ότι το άζωτο είναι απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο σε κάθε διεργασία της φύσης και πόσο

μάλλον στην παρούσα (McCarty et al., 1961).

3.5 Πλεονεκτήματα και οφέλη

Η αναερόβια χώνευση προσφέρει οφέλη για τον άνθρωπο, το οικοσύστημα και το περιβάλλον ευρύτερα. Για το περιβάλλον υπάρχει όφελος διότι, το οργανικό φορτίο των αποβλήτων μειώνεται μέσω της αναερόβιας επεξεργασίας και έτσι εναποτίθενται με μειωμένο αντίκτυπο προς αυτό. Επίσης, το βιοαέριο ως παραγόμενο προϊόν της όλης διεργασίας, καίγεται με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, ενώ παράλληλα η χωνεμένη λάσπη που παραμένει ως κατάλοιπο στον χωνευτή, χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό στον αγροτικό τομέα. Το βιοαέριο λειτουργεί σαν καύσιμο και έτσι η χρήση ξύλων μειώνεται, με άμεση συνέπεια την προστασία δασών την αύξηση οξυγόνου και κατανάλωσης διοξειδίου του άνθρακα.

Το βιοαέριο, μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Συνολικά, η αναερόβια χώνευση σαν μέθοδος, συμβάλλει στη μείωση εκπομπών μεθανίου και υποξειδίου του αζώτου, που προκύπτουν από τη ζωϊκή παραγωγή, μέσω των φαινομένων νιτροποίησης και απονιτροποίησης. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι, ένα ακόμη όφελος είναι η δημιουργία εναλλακτικού εισοδήματος και οι νέες θέσεις εργασίας, συμβάλλοντας έτσι στον κλάδο της οικονομίας.

Τέλος, για έναν ακόμη λόγο που προτιμάται η αναερόβια χώνευση και η καύση του βιοαερίου προς παραγωγή ενέργειας, είναι η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας και της υγείας εξαιτίας της καύσης ξύλων και γεωργικών υπολειμμάτων, αφού εκλύονται σωματίδια μονοξειδίου του άνθρακα, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, (ΥΠΕΚΑ, ΚΑΠΕ, 2020).

3.6 Μειονεκτήματα

Παρόλα τα θετικά που μπορεί να έχει η μέθοδος της αναερόβιας επεξεργασίας αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων, χαρακτηρίζεται από κάποια μειονεκτήματα ως προς την διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου να πραγματοποιηθεί. Από σχετικές μελέτες, φαίνεται ότι το κόστος κατασκευής μονάδων αναερόβιας επεξεργασίας είναι αρκετά αυξημένο. Επίσης υψηλό είναι και το κόστος μεταφοράς των αποβλήτων που χρησιμοποιούνται ως υπόστρωμα και πρόκειται να ζυμωθούν στους αντιδραστήρες για

να προκύψει το τελικό προϊόν της αναερόβιας χώνευσης. Η πιθανότητα οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί να είναι ευαίσθητοι σε τοξικές ουσίες και να μην μπορεί να ολοκληρωθεί η διαδικασία αναερόβιας χώνευσης, είναι ένα ακόμη μειονέκτημα που φέρει δυσκολίες κατά την εκτέλεση των επιμέρους σταδίων της. Για αυτό το λόγο, γίνεται συνεχώς κάποια προσπάθεια να βρεθεί ένας τρόπος αποδόμησης τοξικών ουσιών, έτσι ώστε να μην εμποδίζουν την ολοκλήρωση της διεργασίας. Σημαντικό μειονέκτημα, μπορεί να αποβεί και ο μεγάλος χρόνος που παραμένουν τα απόβλητα στον αντιδραστήρα προκειμένου να ζυμωθούν, πράγμα που καθίσταται ασύμφορο χρονικά (Lettinga, 1997).

Με λίγα λόγια, η αναερόβια χώνευση είναι προφανές ότι σαν διεργασία δεν γίνεται να διακατέχεται μόνο από πλεονεκτήματα, αλλά σαφώς είναι πολύ περισσότερα από τα μειονεκτήματά της και πολύ πιο σπουδαία για την δημιουργία ανανεώσιμης μορφής ενέργειας (μέσω καύσης βιοαερίου) και την αντιμετώπιση και ελαχιστοποίηση περιβαλλοντικών προβλημάτων. Αυτός μεταξύ άλλων είναι ένας λόγος που προτιμάται εν αντιθέσει με άλλες μεθόδους στο είδος της.

4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

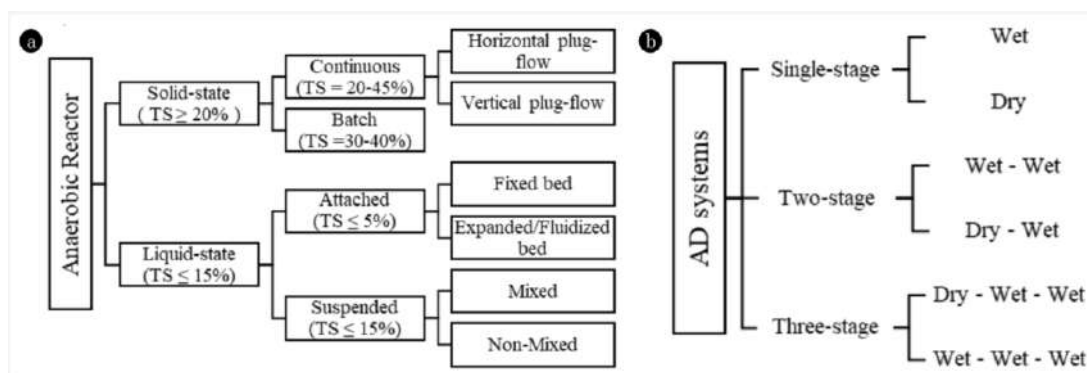
4.1 Γενικά για τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης

Το σύστημα της αναερόβιας χώνευσης, δημιουργείται από βιο-αντιδραστήρες για να εκτελεστούν μια σειρά από βήματα μεταβολισμού που περιλαμβάνουν την υδρόλυση, την οξεογένεση, την οξικογένεση και τη μεθανιογένεση. Λαμβάνοντας υπόψη τον φυσικό διαχωρισμό των παραπάνω σταδίων πέψης, τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης μπορούν να ταξινομηθούν σε ένα στάδιο (όλα τα στάδια σε ένα αντιδραστήρα) και σε πολλαπλά στάδια (κάθε στάδιο πέψης σε διαφορετικό αντιδραστήρα ή ανά δύο στάδια σε κάθε αντιδραστήρα). Η λειτουργία των συστημάτων δεν εξαρτάται μόνο από τον τύπο του συστήματος πέψης, αλλά επίσης από την αλληλεπίδραση μεταξύ αυξητικών παραγόντων (θερμοκρασία, pH, θρεπτικά συστατικά), τον τύπο του αντιδραστήρα και τις παραμέτρους λειτουργίας (χρόνος συγκράτησης, ρυθμός οργανικής φόρτωσης) (Pham Van et al., 2020).

Τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης, αποτελούνται κυρίως από αντιδραστήρες, που συμβάλλουν στην εκτέλεση μιας σειράς βημάτων μεταβολισμού, που περιλαμβάνουν τα 4 στάδια της αναερόβιας χώνευσης (υδρόλυση, οξικογένεση, οξεογένεση, μεθανιογένεση). Οι αντιδραστήρες, αποτελούν στην ουσία τον τόπο όπου οι παράγοντες ανάπτυξης (θερμοκρασία, pH, θρεπτικά συστατικά) και οι παράμετροι λειτουργίας (χρόνος συγκράτησης (RT) και οργανικός ρυθμός φόρτωσης (ORL), ελέγχονται για να επιτρέψουν ένα ή περισσότερα στάδια της πέψης. Το RT, καθορίζει το χρόνο επαφής μεταξύ μικροοργανισμού και υποστρώματος έτσι ώστε να είναι αρκετά μεγάλος, και έτσι να ολοκληρωθεί ο μετασχηματισμός. Ένα πολύ μεγάλο RT, θα οδηγήσει σε ένα μεγάλο αντιδραστήρα, με συνεπαγόμενη αύξηση κόστους και λειτουργίας της επένδυσης. Το OLR στη συνέχεια, καθορίζει την ποσότητα της καθημερινής οργανικής ύλης που υποβάλλεται σε επεξεργασία, από ένα ορισμένο όγκο

αντιδραστήρα. Και τα δύο (RT, OLR), βασίζονται σε αυξητικούς παράγοντες και στον τύπο του αντιδραστήρα. Αυτό σημαίνει ότι, η απόδοση των συστημάτων της αναερόβιας χώνευσης, καθορίζεται από την πολυπλοκότητα των σχέσεων μεταξύ αυξητικών παραγόντων, παραμέτρων λειτουργίας, τύπου συστήματος, τύπου του αντιδραστήρα και του συντονισμού των αντιδραστήρων μεταξύ τους στο σύστημα (Pham Van et al., 2020).

Ο αναερόβιος αντιδραστήρας (χωνευτής) είναι η καρδιά των πεπτικών συστημάτων, ακριβώς επειδή ενθαρρύνει τους αναερόβιους μικροοργανισμούς να ευδοκιμήσουν στο εσωτερικό του και να ανταποκριθούν στα στάδια της αναερόβιας χώνευσης. Η θερμοκρασία στο εσωτερικό, επηρεάζει τη δράση των μικροβιακών ομάδων αλλά και την κατάσταση των υποστρωμάτων όπως τη διαλυτότητα, το μεταβολικό ρυθμό, την ισορροπία ιονισμού. Για αυτό, και ανάλογα με τα θερμοκρασιακά εύρη, κατηγοριοποιούνται οι μικροοργανισμοί σε θερμοφίλους (45-70°C), ψυχρόφιλους (4-15°C), μεσόφιλους (20-40°C). Όμως, εκτός από τους μικροοργανισμούς, κατηγοριοποιούνται και οι χωνευτές, σε ξηρούς και υγρούς τύπους, ανάλογα με τα συνολικά στερεά (TS). Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 14) στο σκέλος (α), συνοψίζεται η κατηγοριοποίηση αναερόβιων αντιδραστήρων. Στο σκέλος (β) του σχήματος, ταξινομούνται οι υποκατηγορίες υποσυστημάτων αναερόβιας χώνευσης με βάση τον τύπο (υγρό ή ξηρό) του αντιδραστήρα που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Δηλαδή, επί του παρόντος, τα συστήματα πέψης πολλαπλών σταδίων περιλαμβάνουν συστήματα δύο και τριών σταδίων, αντίστοιχα. Το σύστημα δύο σταδίων, εκτελεί υδρόλυση και μεθανιογένεση σε δύο ξεχωριστούς αντιδραστήρες, ενώ αυτό των τριών ξεχωρίζει μεταξύ τους ανά δύο, υδρόλυση/οξεογένεση, οξικογένεση και μεθανιογένεση (Pham Van et al., 2020).



Εικόνα 14: Ταξινόμηση αντιδραστήρων και συστημάτων αναερόβιας χώνευσης (Pham Van et al., 2020).

4.1.1 Συστήματα ενός σταδίου

Για το σύστημα πέψης ενός σταδίου, οι συνθήκες περιβάλλοντος πρέπει να βελτιστοποιηθούν για να πραγματοποιηθεί η μεθανιογένεση. Ένα τέτοιο σύστημα απαιτεί αναλογία C/N 15-30, pH κυμαινόμενο μεταξύ 6,8-7,4 και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (HRT) να είναι ίσος με 30 d σε μεσοφιλική θερμοκρασία, 20 d σε θερμοφιλική και 50 d σε ψυχοφιλική (Pham Van et al., 2020).

- Υγρό σύστημα ενός σταδίου

Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιείται υγρού τύπου αντιδραστήρας, και μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε ομάδα με χαμηλό ρυθμό ($OLR=0,5-1,6 \text{ kg-VS/m}^3\text{d}^{-1}$) και με υψηλό ρυθμό ($OLR=1,6-4,8\text{kg-VS/m}^3\text{d}^{-1}$).

- Υγρό σύστημα χαμηλού ρυθμού

Είναι παλαιότερος και απλούστερος τύπος με βασικά χαρακτηριστικά μεγάλο χρόνο RT (30-60 d) και με όχι τόσο καλή διαδικασία ανάμιξης και θέρμανσης. Είναι πολύ απλή η λειτουργία και πολύ χαμηλή η απόδοση. Τέτοια συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί σε κλίμακα νοικοκυριού και αγροτικής κλίμακας αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία, το Βιετνάμ κ.α. Εντός των αντιδραστήρων που χρησιμοποιούνται υπάρχει μια διαστρωμάτωση με 4 ζώνες, ένα υγρό στρώμα αφρού, ένα στρώμα πέψης, στερεά και στρώμα στερεών που έχουν υποστεί πέψη. Με τη χρήση ενός τέτοιου συστήματος, η καθημερινή πρώτη ύλη λαμβάνει όγκο περίπου 1/40 - 1/50 του όγκου του αντιδραστήρα.

- Υγρό σύστημα υψηλής ταχύτητας

Η πρώτη ύλη σε αυτά τα συστήματα θερμαίνεται, αναμιγνύεται και δίνει ένα ομοιόμορφο περιβάλλον, με αποτέλεσμα ο αντιδραστήρας να είναι περισσότερο αποτελεσματικός. Το σύστημα αυτό έχει εφαρμοστεί κυρίως για κοπριά με συμπαγή περιεκτικότητα (11-14%) και υδραυλικό χρόνο παραμονής (HRT) 15-20 d. Επίσης, ένας αντιδραστήρας λιγάκι πιο περίπλοκος, ονομαζόμενος ως αντιδραστήρας συνεχούς αναδευομένης δεξαμενής (CSTR) απαιτεί δραστηριότητες εσωτερικής ανάμιξης. Το σύστημα αυτό λειτουργεί σε μεσοφιλική θερμοκρασία με OLR 1,5-5 kg-VS/m³d⁻¹ και RT 15-20 d. Στο CSTR, τα βακτήρια ξεπλένονται μαζί με τα λύματα από τον αντιδραστήρα και για να φτάσει ο αντιδραστήρας σε υψηλό OLR χρειάζεται υψηλότερη συγκέντρωση βακτηρίων που διατηρείται στο εσωτερικό του.

- Ξηρά συστήματα ενός σταδίου

Οι ξηροί χωνευτές έχουν φτιαχτεί για να αντιμετωπίζουν υψηλά στερεά απόβλητα. Τα κύρια ζητήματα από τη σύγκριση υγρών και ξηρών συστημάτων είναι η ανάμιξη και η άντληση υποστρώματος με υψηλό ιξώδες. Με την τεχνολογική εξέλιξη μειώθηκαν όμως τα ζητήματα αυτά. Σήμερα στην Ευρώπη, τα πιο συχνά εφαρμοζόμενα συστήματα πιλοτικών σχεδίων είναι οι Dranco, Valorga, Kompogas και Biocell. Τα ξηρά είναι γενικά πιο ισχυρά από τα υγρά, λόγω μεγαλύτερης σταθερότητας ακόμη και με συγκέντρωση αμμωνίας έως 2,5-3 g/L και VFAs 23-24 g/L.

Στο σύστημα Dranco, όπου ο χωνευτής ροής είναι κατακόρυφος, ένα μέρος του προϊόντος πέψης επιστρέφεται στην αντλία ανάμιξης και αναμιγνύεται με φρέσκα υλικά για εμβολιασμό με αναλογία 6-8:1. Μετά, το μίγμα εισάγεται στην κορυφή του αντιδραστήρα και κινείται προς τον πυθμένα. Το υπόλοιπο του χωνέματος αφυδατώνεται πριν λιπασματοποιηθεί. Ακριβώς επειδή δεν υπάρχει στον αντιδραστήρα ενεργή ανάμιξη, το 20-30% του βιοαερίου μπορεί να χαθεί λόγω ατελούς πέψης. Το σύστημα αυτό γνωρίζει επιτυχία, όταν πρόκειται για στερεά απόβλητα με TS μεταξύ 20-50% (Pham Van et al., 2020).

Στο σύστημα Kompogas, χρησιμοποιείται οριζόντιος χωνευτής ροής με ρότορες εσωτερικούς βοηθώντας την απαέρωση και την ομογενοποίηση αποβλήτων. Τα εισερχόμενα απορρίμματα (μεγέθους <50mm σωματίδια), αναμιγνύονται με το υγρό χωνέματος για να επιτευχθεί TS στο εύρος 23-28% για μια σωστή ροή. Σε υψηλότερες τιμές TS, λόγω υψηλού ιξώδους το μίγμα δύσκολα θα ρέει. Το σύστημα λειτουργεί σε

θερμοφιλική κατάσταση (55-60°C) με HRT 14-20 d. Το προϊόν πέψης αφυδατώνεται με κοχλία και κομποστοποιείται με αερισμό εντός 2-3 εβδομάδων. Για ένα τόνο απορριμμάτων συγκεκριμένα, το σύστημα μπορεί να παράγει βιοαέριο (130-150 m³, 500kg λίπασμα και 300L υγρό λίπασμα (Pham Van et al., 2020).

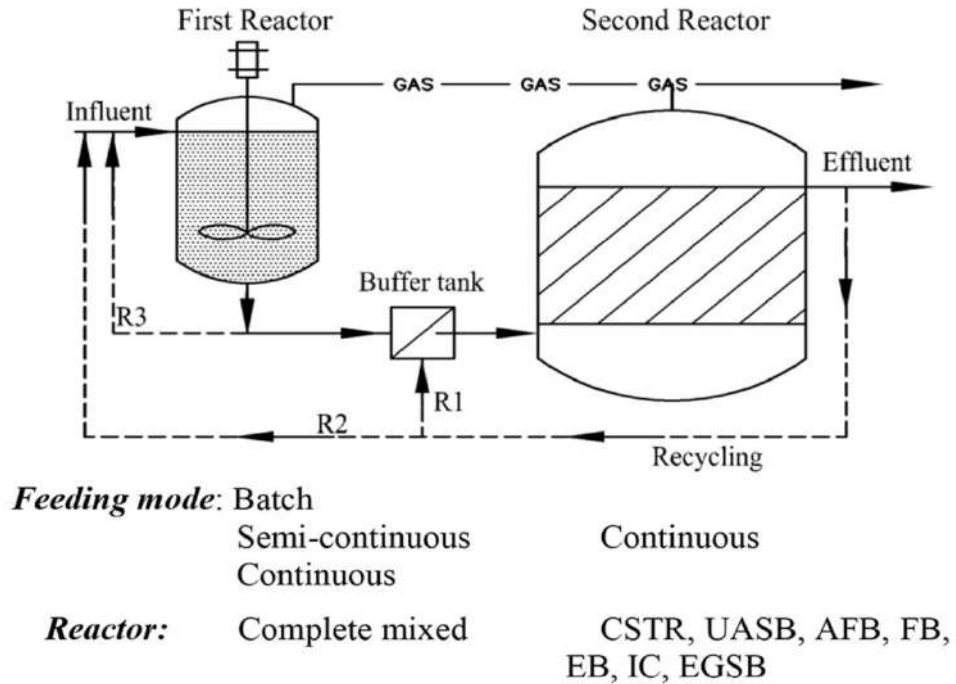
Από την άλλη το σύστημα Valorga, χρησιμοποιώντας κατακόρυφο αντιδραστήρα ροής, δέχεται πρώτη ύλη με σωματίδια μεγέθους < 30mm και έχει προϊόν πέψης με TS ρυθμισμένο στο εύρος 25-30%. Με συγκέντρωση TS μικρότερη από 20%, τα σωματίδια θα καθίσουν στον πυθμένα και θα φράξουν τους πόρους του αερίου που ανακυκλώνεται. Το παρόν σύστημα, παράγει περίπου 140 κυβικά βιοαέριο ανά τόνο αποβλήτων με ρυθμό VS 50%. Για το υπόστρωμα το pH είναι μεταξύ 7,8-8. Για λόγους ανάμιξης και διατήρησης υλικών, ένα μέρος βιοαερίου εγχέεται στον πυθμένα του αντιδραστήρα με πίεση 5 bar (υψηλή). Τέλος, το σύστημα λειτουργεί σε μεσόφιλη θερμοκρασία με απόδοση βιοαερίου 220-270 L/kg-VS. Μετά την αναερόβια χώνευση, το λίπασμα κομποστοποιείται εντός 2-3 εβδομάδων (Pham Van et al., 2020).

4.1.2 Συστήματα δύο σταδίων

Στο σύστημα δύο σταδίων, γίνεται διαχωρισμός της πέψης σε δύο αντιδραστήρες. Η πρώτη δεξαμενή επιτρέπει την υδρόλυση και οξικογένεση και η δεύτερη βελτιστοποιεί την οξεογένεση και μεθανιογένεση. Υπάρχει όμως και μια άλλη προοπτική που υποστηρίζει ότι τα τρία πρώτα στάδια πρέπει να γίνουν στον πρώτο αντιδραστήρα και μόνο η μεθανιογένεση στον δεύτερο.

Όμως, η παραγωγή υδρογόνου από Α.Χ. δεν είναι οικονομικά βιώσιμη σε αυτήν την περίπτωση, λόγω υψηλού κόστους για εμπλουτισμό αερίου υδρογόνου, ώστε να πληρούνται τα εμπορικά πρότυπα και επίσης τα μεθανογόνα και ακετογόνα πρέπει να συνεργάζονται στενά, καθώς τα δεύτερα είναι επίσης ευαίσθητα και αυστηρά αναερόβια. Όλα αυτά συνεπάγονται ότι η προοπτική αυτή δεν είναι λογική και εφικτή. Στην εικόνα (Εικόνα 15), φαίνεται και το διάγραμμα σταδίων. Μεταξύ δύο αντιδραστήρων, λόγω των διαφορετικών περιβαλλοντικών συνθηκών, υπάρχει μια δεξαμενή αποθήκευσης μεταξύ τους για σκοπούς όπως απομάκρυνση μη υδρολυόμενων υλικών, έλεγχος pH κ.α. Επίσης όπως φαίνεται στην εικόνα (Εικόνα 15), το σύστημα χρησιμοποιεί βρόγχους ανακυκλοφορίας (R1, R2 R3) σε περίπτωση ανάγκης. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης τους είναι περαιτέρω έλεγχος του pH (π.χ. μείωση οξύτητας

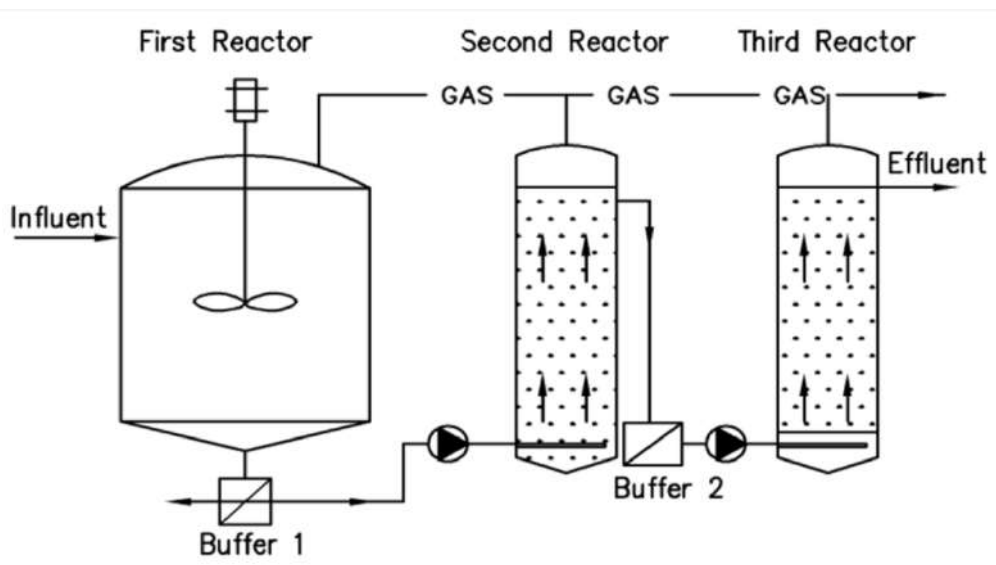
λόγω αλκαλικότητας εκροής από τον δεύτερο αντιδραστήρα), ανάμιξη πρώτης ύλης και βελτίωση δραστηριοτήτων βακτηρίων. Η υδρόλυση και οξικογένεση χρησιμοποιούν συνήθως CSTR, ενώ η μεθανιογένεση υγρούς αντιδραστήρες υψηλού ρυθμού (CSTR, UASB, AEB, FB, EB, IC, και EGSB) (Pham Van et al., 2020).



Εικόνα 15: Η διαμόρφωση του συστήματος αναερόβιας χώνευσης δύο σταδίων (Pham Van et al., 2020).

4.1.3 Συστήματα τριών σταδίων

Η ιδέα αναερόβιας πέψης τριών σταδίων, βγήκε για να διαχωρίσει την υδρόλυση/οξικογένεση, την οξικογένεση και την μεθανιογένεση σε διάφορους αντιδραστήρες. Το μοντέλο αυτό έχει διαδοχικά τα εξής στάδια, ατελής υδρόλυση, υδρόλυση/οξικογένεση και οξικογένεση/μεθανιογένεση. Αυτό θα αυξήσει τον υδρολυτικό ρυθμό πρώτης ύλης στον πρώτο αντιδραστήρα. Το υδρογόνο μπορεί να ληφθεί από τον πρώτο και δεύτερο αντιδραστήρα, παρόλο που η συλλογή του δεν είναι οικονομική. Το διάγραμμα του συστήματος αυτού φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 16) (Pham Van et al., 2020).



Εικόνα 16: Διάγραμμα συστήματος τριών σταδίων αναερόβιας χώνευσης (Pham Van et al., 2020).

Η ροή αποβλήτων στο σύστημα αυτό, πρέπει να υποβληθεί σε μηχανική προκατεργασία (με μέγεθος σωματιδίων <math><15\text{mm}</math>), μερικές φορές ωστόσο προστίθεται νερό στην πρώτη ύλη, για να ρυθμιστεί το TS (με μέγιστο 15%). Ο CSTR αντιδραστήρας, χρησιμοποιείται συχνά και στον οποίο πραγματοποιείται η υδρόλυση και μετά την ολοκλήρωσή της τα μη υδρολυτικά υλικά απομακρύνονται προς την ρυθμιστική δεξαμενή. Σε αυτό το σημείο, η συγκέντρωση pH και το VFAs του υποστρώματος μπορεί να διορθωθεί. Στη συνέχεια, ο δεύτερος αντιδραστήρας είναι CSTR ή UASB. Η εκροή του που πηγαίνει προς τον τρίτο, πρέπει να περάσει μέσω μιας ρυθμιστικής δεξαμενής για έλεγχο pH και συγκέντρωσης οξικού οξέος (Pham Van et al., 2020).

Ο πρώτος αντιδραστήρας, είναι βελτιστοποιημένος για υδρόλυση, με μείωση μεγέθους πρώτης ύλης. Σε αυτή τη φάση παράγεται βιοαέριο που περιέχει κυρίως CO_2 . Στον αντιδραστήρα αυτόν οι όξινες συνθήκες επιτρέπεται να αυξήσουν το ρυθμό διάσπασης των σωματιδίων και της υδρόλυσης. Μερικές φορές η πτώση του pH κάτω από 4, οδηγεί σε αναστολή της υδρόλυσης. Ο δεύτερος αντιδραστήρας, καθίσταται κατάλληλος για οξεογένεση και οξικογένεση και παράγεται σε αυτή τη φάση βιοαέριο που περιέχει κυρίως CO_2 και υδρογόνο. Οι δυο παραπάνω αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα ωστόσο, ευδοκιμούν σε pH 5,5-6,5 και 6-6,2 αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι η καλύτερη τιμή για τον δεύτερο αντιδραστήρα είναι το 6 και προτιμάται μεσοφιλική θερμοκρασία. Τέλος, η ολοκλήρωση του σταδίου γίνεται με μετατροπή VFAs σε οξικό

οξύ. Παρομοίως και ο τρίτος αντιδραστήρας είναι της ίδιας φιλοσοφίας με τον δεύτερο, απλά με pH που κυμαίνεται μεταξύ 7-7,2 (Pham Van et al., 2020).

4.2 Είδη χωνευτών που χρησιμοποιούνται στην αναερόβια επεξεργασία

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων παίζουν σπουδαίο ρόλο, έτσι ώστε μια αναερόβια βιοδιεργασία να φέρει αποτέλεσμα. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μια σειρά διαφόρων εγκαταστάσεων υπό ορισμένες συνθήκες. Τέτοιες τύποι εγκαταστάσεων, μπορεί να είναι :

- Χωνευτές 2 βαθμίδων υψηλής ταχύτητας
- Χωνευτές χαμηλής ταχύτητας με 1 βαθμίδα (ανάδευση και θέρμανση)
- Συμβατικοί χωνευτές (χωρίς ανάδευση και κάποιες φορές χωρίς θέρμανση)
- Χωνευτές με κυκλοφορία ιλύος για αύξηση συγκέντρωσης μικροοργανισμών
- Χωνευτές ανοδικής ροής
- Βιολογικά αναερόβια φίλτρα

Για καθεμία από τις παραπάνω περιπτώσεις εγκαταστάσεων, για τις οποίες θα γίνει λόγος ξεχωριστά παρακάτω, είναι απαραίτητο να πληρούνται προϋποθέσεις, έτσι ώστε και το σύστημα αναερόβιας επεξεργασίας να έχει αποτέλεσμα. Θα πρέπει για παράδειγμα, η βιομάζα στο χωνευτή να παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα για να μπορέσει να ζυμωθεί, η απόδοση της αντίδρασης να είναι υψηλή, η βιομάζα να έχει καλή επαφή με το υπόστρωμα αλλά και να μπορεί να εγκλιματιστεί με κάθε είδους απόβλητο και τέλος να ευνοείται όλη η διαδικασία από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Lettinga, 1995).

4.2.1 Χωνευτές δύο βαθμίδων υψηλής ταχύτητας

Στους χωνευτές αυτής της κατηγορίας εφαρμόζεται πλήρης ανάδευση και θέρμανση. Στόχος είναι να καταναλωθεί μεγάλο μέρος του υποστρώματος με σχετικά μικρό χρόνο παραμονής του στον αντιδραστήρα. Το βιοαέριο που παράγεται από αυτή τη διαδικασία συλλέγεται και αποθηκεύεται σε θερμοκρασίες της θερμοφιλικής περιοχής. Σε αυτά τα συστήματα, επεξεργάζεται η παραγόμενη ιλύς και τα βιομηχανικά απόβλητα. Η σύσταση του βιοαερίου που παράγεται είναι 65-70% μεθάνιο και 30-35% διοξείδιο του άνθρακα μαζί με μικρές ποσότητες από άλλα αέρια όπως υδρόθειο. Το

παραγόμενο βιοαέριο μπορεί και αποθηκεύεται είτε μέσα στο χωνευτή, είτε σε ξεχωριστό δοχείο συλλογής. Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί ότι οι ίδιοι οι χωνευτές υψηλής ταχύτητας διακρίνονται σε 2 επιπλέον κατηγορίες, στα ταχύρρυθμα αερόβια συστήματα ανάπτυξης αιωρούμενης βιομάζας και στα ταχύρρυθμα αερόβια συστήματα ανάπτυξης προσκολλημένης βιομάζας (Lettinga, 1995).

4.2.2 Χωνευτές χαμηλής ταχύτητας με 1 βαθμίδα

Στην περίπτωση αυτού του τύπου χωνευτή, ο ελάχιστος χρόνος παραμονής της ύλης στο χωνευτή είναι 4 ημέρες προκειμένου οι μεθανιογόνοι μικροοργανισμοί να μπορούν να διατηρηθούν. Ενώ από την άλλη ο κρίσιμος χρόνος είναι μεγαλύτερος, δηλαδή 10 ημέρες που όμως σε αυτή τη περίπτωση μειώνεται κατά πολύ η απόδοση. Με αυτή τη μέθοδο, υγρά απόβλητα επεξεργάζονται καλύτερα, όμως υπάρχει περίπτωση κατά τη μέθοδο αυτή να συμβεί απαέρωση, μια φάση κατά την οποία η παραγωγή υδροθείου θα εμποδίσει την παραγωγή μεθανίου (Lettinga, 1995).

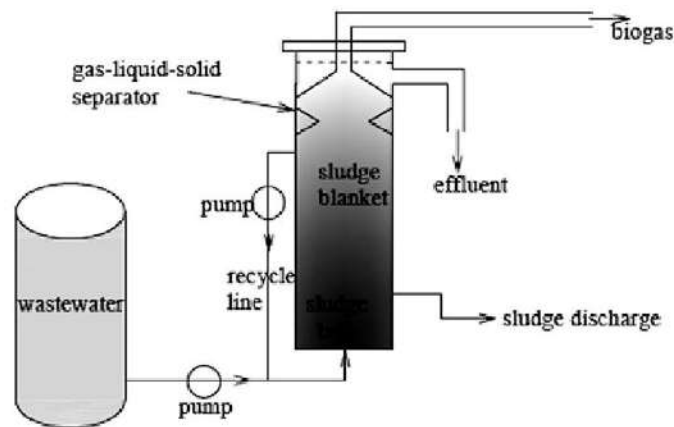
4.2.3 Συμβατικοί χωνευτές

Τέτοιου τύπου χωνευτές, θεωρούνται ως οι πιο απλοί που κατά τη φάση της χώνευσης δεν πραγματοποιείται ούτε ανάδευση ούτε θέρμανση. Αυτό που συμβαίνει είναι να διαχωρίζονται μέσα στο χωνευτή σε 3 διαφορετικά στρώματα, το υγρό (επάνω στρώμα), η ζώνη αναερόβιας χώνευσης στη μέση και η ύλη στον πυθμένα. Τέτοιου τύπου χωνευτές χρησιμοποιούνται για επεξεργασία μικρής ποσότητας αποβλήτων συνήθως (Lettinga, 1995).

4.2.4 Χωνευτές με κυκλοφορία ύλης

Σε αυτή τη κατηγορία χωνευτών χρησιμοποιείται αντιδραστήρας τύπου UASB , δηλαδή δοχείο κυλινδρικό, συγκεκριμένων διαστάσεων, με τα απόβλητα να κινούνται στο εσωτερικό με συγκεκριμένη ταχύτητα, περίπου 3m/s. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι οι συνθήκες στο εσωτερικό του αντιδραστήρα όπως pH και θερμοκρασία διατηρούνται ,παρόλο που αυτού του είδους ο αντιδραστήρας φέρει πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Πλεονεκτεί εξαιτίας του απλού σχεδιασμού του, της υψηλής συγκέντρωσης της βιομάζας, του χρόνου παραμονής των στερεών που είναι μεγάλος,

του μικρού όγκου του, αλλά και την ομαλή του λειτουργία. Αντιθέτως, όταν τα απόβλητα έχουν υψηλή συγκέντρωση, τότε καθίσταται απαγορευτικός παράγοντας για να γίνει η διεργασία, αφού η καθίζηση μπορεί να προκαλέσει προβλήματα και επίσης με το να σχηματίζονται κόκκοι θα πρέπει να ελέγχονται διάφοροι άλλοι παράμετροι. Παρακάτω απεικονίζεται ένας αντιδραστήρας τύπου UASB (Εικόνα 17) (Lettinga, 1995).



Εικόνα 17: Αντιδραστήρας UASB-Σχηματική απεικόνιση (Mao et al., 2015; Weide et al., 2020).

4.2.5 Χωνευτές ανοδικής ροής

Στους χωνευτές αυτής της κατηγορίας υπάρχουν 2 διαφορετικές περιπτώσεις. Διακρίνονται στους αναερόβιους χωνευτές προσκολλημένης βιομάζας σε σταθερό μέσο και από την άλλη σε αναερόβιους χωνευτές σε αιωρούμενο μέσο. Η πρώτη κατηγορία χωνευτών απευθύνεται σε αραιά απόβλητα βιομηχανιών περιλαμβάνοντας αναερόβια βιολογικά φίλτρα, ενώ επίσης υπάρχει σταθερό πληρωτικό υλικό, δηλαδή πλαστικό. Από την άλλη, στον δεύτερο τύπο χωνευτών η βιομάζα παραμένει σε αιώρηση, η οποία μπορεί και διατηρείται καθώς ρέουν τα απόβλητα (Lettinga, 1995).

4.2.6 Βιολογικά αναερόβια φίλτρα

Τα αναερόβια φίλτρα μπορεί να είναι είτε ανοδικής είτε καθοδικής ροής και απευθύνονται κυρίως σε επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων αλλά και αποβλήτων οργανικής προέλευσης. Επειδή όμως είναι απαραίτητα για τα φίλτρα, η ύπαρξη

πληρωτικού υλικού (πλαστικού) που κοστίζει, για αυτό και παρουσιάζουν αυτό το μειονέκτημα. Είναι απαραίτητη συχνή συντήρησή τους και η προσεκτική λειτουργία τους έτσι ώστε να έχει αποτέλεσμα η λειτουργία του συστήματος συνολικά (Lettinga, 1995).

4.3 Εγκατεστημένες μονάδες παραγωγής βιοαερίου στο εξωτερικό

Σχετικά με τις εγκατεστημένες μονάδες και σταθμούς παραγωγής βιοαερίου στην Ευρώπη, θα γίνει μια αναφορά στα διάφορα είδη αντιδραστήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αναερόβια χώνευση στις εγκαταστάσεις τους (Πίνακας 13), ενώ στη συνέχεια θα παρατεθούν ορισμένα ζωντανά παραδείγματα αυτών των μονάδων, καθώς και κάποια από τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 13: Είδη βιο-αντιδραστήρων και τα χαρακτηριστικά τους (Mao et al., 2015; Weide et al., 2020).

Είδος βιο-αντιδραστήρα	Χαρακτηριστικά
Αναερόβιος αντιδραστήρας παρτίδας προσδιορισμού αλληλουχίας (ASBR)	Επιτρέπει διακυμάνσεις στη συγκέντρωση, όταν πρόκειται για λύματα, δείχνει καλύτερο έλεγχο της διαδικασίας και υψηλότερη απόδοση, εκτελεί λειτουργίες εξισορρόπησης, αερισμού και καθίζησης, επεξεργάζεται ευρύ φάσμα όγκων εκροής, πλεονεκτεί ως προς την απλότητα λειτουργικά, τον αποτελεσματικό ποιοτικό έλεγχο λυμάτων και την ευελιξία χρήσης.
Αντιδραστήρας συνεχούς αναδευόμενης ροής (CSTR)	Επεξεργασία λυμάτων με υψηλά επίπεδα αιωρούμενων στερεών (υγρή κοπριά, υψηλής περιεκτικότητας σε οργανικά), για υγρούς χωνευτήρες συνεχούς ανάδευσης, το σύστημα CSTR δύο σταδίων είναι δημοφιλές, λόγω της απλότητας σχεδιασμού και της λειτουργίας χαμηλού κόστους σε σύγκριση με το CSTR ενός σταδίου.
Αναερόβιος αντιδραστήρας βύσματος	Παρέχει χαμηλές συγκεντρώσεις VFAs στα

<p>(APFR)</p>	<p>λύματα, υψηλό βαθμό κατακράτησης λάσπης και σταθερή απόδοση αντιδραστήρα, βρίσκεται πάνω στο έδαφος και από άποψη απόδοσης και βιομετατροπής είναι ελκυστικός συγκριτικά με το μονοφασικό CSTR, δεν διαθέτει εσωτερική ανάδευση, επεξεργάζεται κοπριά και λειτουργεί σε μεσοφιλική θερμοκρασία, με χρόνο διατήρησης 15-20 ημέρες.</p>
<p>Αναερόβιος αντιδραστήρας επαφής (ACR)</p>	<p>Για εκροές με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών, είναι αποτελεσματικός για αποσύνθεση και μετατροπή οργανικής ύλης σε βιοαέριο, πλεονεκτεί ως προς το ρυθμό μεταφοράς βιομάζας από τους συμβατικούς, όπως για παράδειγμα τον UASB, τα πλεονεκτήματά του, έχουν να κάνουν με τη διαδικασία επαφής, τους χρόνους σταθερής κατάστασης λόγω ανάμιξης, τους χρόνους υδραυλικής συγκράτησης και το pH.</p>
<p>Αναερόβιος αντιδραστήρας λάσπης άνω ροής (UASB)</p>	<p>Απλή φθηνή τεχνολογία που χρησιμοποιείται για λύματα.</p>
<p>Αντιδραστήρας στερεής κατάστασης άνω ροής (UASS)</p>	<p>Διφασικός δύο σταδίων δηλαδή, χρησιμοποιήθηκε για πρόληψη συσσώρευσης VFAs και εκτίμηση λιγνοκυτταρινικής βιομάζας.</p>
<p>Αναερόβιος αντιφατικός αντιδραστήρας (ABR)</p>	<p>Η λειτουργία του με κόκκους, βελτιώνει τη σταθερότητα στο σύστημα, έτσι διαχωρίζεται το SRT από το HRT με αφαίρεση COD και στερεών, παράγοντας χαμηλή ποσότητα ιλύος και μικρό αποτύπωμα.</p>
<p>Αντιδραστήρας εσωτερικής κυκλοφορίας (IC)</p>	<p>Λειτουργεί παράλληλα με το UASB, έχει δύο μονάδες διαχωρισμού τριών φάσεων ενώ ο USBR έχει μόνο μία. Λόγω αυτού, ο IC μπορεί</p>

	να διαχωρίσει το αέριο το υγρό και τη βιομάζα βελτιώνοντας την κατακράτηση της βιομάζας.
Αναερόβιο φίλτρο (AF)	Παρέχει χρόνο συγκράτησης της βιομάζας μεγαλύτερο από τον υδραυλικό χρόνο παραμονής (HRT).
Αναερόβιος αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης (AFBR)	Επεξεργάζεται μικρά αδρανή σωματίδια (λεπτή άμμο, αλουμίγια) που αιωρούνται μετά από ανοδική ροή εισερχόμενων λυμάτων. Η ανάπτυξη βιοφίλμ σε αυτά τα σωματίδια και η προσκόλληση τους στη βιομάζα επιτρέπουν καλή απόδοση μεταφοράς μάζας στον AFBR. Συγκριτικά με την AF, είναι πιο αποτελεσματική τεχνολογία, όπως επίσης η απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών σωματιδίων οικιακών λυμάτων είναι καλύτερη από αυτή του UASB.

Παρακάτω περιγράφονται τα χαρακτηριστικά μονάδων αναερόβιας χώνευσης αλλά και τα είδη των αντιδραστήρων τα οποία χρησιμοποιούνται για τα συγκεκριμένα απόβλητα.

Η παραγωγή βιοαερίου σε εγκατεστημένη μονάδα στην Κροατία, βασίζεται κυρίως σε κοπριά και υποπροϊόντα από τη γεωργία και τη βιομηχανία τροφίμων και τα σφαγεία, δηλαδή αγροτοβιομηχανικά απόβλητα. Το παραγόμενο βιοαέριο που λαμβάνεται, χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον για να παραχθεί ηλεκτρισμός και θερμότητα (Tominač-Petravić et al., 2020).

Η πρώτη μονάδα στην Κροατία που άρχισε να χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πρώτες ύλες για παραγωγή βιοαερίου, με μονάδα συμπαραγωγής, για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, άρχισε να λειτουργεί το 2009 με εγκατεστημένη ισχύ 1 MW. Αργότερα, το 2013 λειτουργούσαν ήδη 10 μονάδες, ενώ μεταξύ 2015-2018 παρατηρήθηκε αύξηση σταθμών παραγωγής ενέργειας από βιοαέριο. Το 2018 συγκεκριμένα, υπήρχαν 38 διαφορετικές μονάδες παραγωγής βιοαερίου με συμβόλαιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η καθεμία.. Το 94,22% (δηλαδή 40,732 MW)

παράγεται σε 37 σταθμούς παραγωγής βιοαερίου που εφαρμόζουν την τεχνολογία αναερόβιας χώνευσης (Tominac-Petravic et al., 2020).

Στις εγκαταστάσεις αυτές, χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις τύποι αντιδραστήρων, οι συμβατικοί αναερόβιοι αντιδραστήρες (βιοαντιδραστήρας διαλείποντος έργου, βιοαντιδραστήρας συνεχούς ανάδευσης), βιοαντιδραστήρες συγκράτησης λάσπης (αναερόβιος αντιδραστήρας επαφής, αντιδραστήρας εσωτερικής κυκλοφορίας) και αντιδραστήρες αναερόβιας μεμβράνης (αντιδραστήρας φίλτρου, αντιδραστήρας αναερόβιας ρευστοποιημένης κλίνης) (Tominac-Petravic et al., 2020).

Πιο συγκεκριμένα, μια κτηνοτροφική μονάδα στο Ivankovo, Syrmia της Κροατίας (Osatina) ασχολείται με την παραγωγή γάλακτος, ζωοτροφών, λιπασμάτων και διαθέτει εγκατεστημένο σταθμό βιοαερίου. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιεί είναι ως επί το πλείστον, κτηνοτροφικά απόβλητα και ενσιρωμένο καλαμπόκι, διαθέτοντας 3 αντιδραστήρες αναερόβιας ζύμωσης, ως επί το πλείστον τύπου UASB ή και CSTR, μονάδα δοσολογίας ενσίρωσης καλαμποκιού, μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, δεξαμενή αποθήκευσης υγρών λυμάτων, μονάδα υποσταθμού, δοχεία μεσόφιλης και θερμοφιλης ζύμωσης, δοχεία αποθήκευσης βιοαερίου και γεννήτριες (International Conference on Electricity Distribution, 2020). Την ημέρα τροφοδοτείται με κτηνοτροφικά απόβλητα κατά το 60-70% και εκτιμάται ότι παράγει βιοαέριο 4.000.000 m³/έτος (Παραδείγματα Σταθμών Βιοαερίου στην Ευρώπη, 2020).

Ένα άλλο παράδειγμα εγκατεστημένου σταθμού παραγωγής βιοαερίου στην Ευρώπη, βρίσκεται στο Kerken της Γερμανίας και είναι σταθμός παραγωγής βιοαερίου και καλλιέργειας φυτών σε θερμοκήπια (Biogas Rahm GbR in cooperation with Greenhouses Wetzel). Σύμφωνα με στοιχεία του European Biogas Association (2017), η Γερμανία είναι η χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή βιοαερίου στην Ευρώπη, με 10.849 μονάδες και συνολική εγκατεστημένη ισχύ 4.635 MWe. Σκοπός του σταθμού είναι να παρέχει θερμότητα στο φυτώριο και σε δεύτερη φάση να δύναται να παραχωρεί ενέργεια στο δίκτυο. Επεξεργάζεται κτηνοτροφικά απόβλητα, διαθέτοντας δεξαμενή ανάμειξης, χωνευτήρα συνεχούς αναδεδυόμενης ροής (CSTR) και δεξαμενή χωνεμένου υποστρώματος. Το παραγόμενο από τη μονάδα βιοαέριο εισέρχεται στη μονάδα συμπαραγωγής του σταθμού (6.800m³ ημερησίως), η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (4,3 εκατ.kWh/έτος) διοχετεύεται στο δίκτυο και τέλος η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται πρώτα για τη θέρμανση θερμοκηπίου (Envitec- Biogas, 2020).

Εν συνεχεία, ο σταθμός παραγωγής βιοαερίου (Holbaek Bioenergi I/S) στην πόλη Skaerbaek της Δανίας, παράγει βιοαέριο και ενέργεια με χρήση κτηνοτροφικών αποβλήτων, καλαμποκιού κ.α. Είναι περίπτωση μικρού μεγέθους κτηνοτροφική μονάδα που ξεκίνησε το 2011, αλλά με καλή στρατηγική και διαχείριση. Διαθέτει 4 χωνευτήρες CSTR (χώνευση που διαρκεί 180 ημέρες), μια μονάδα αποθήκευσης βιοαερίου, έχοντας αναμενόμενη παραγωγή βιοαερίου 3.000.000 m³ /έτος. Επιπλέον μειώνει τις εκπομπές CO₂ κατά 3.600 tn/έτος, δίνοντας επίσης θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια (Παραδείγματα Σταθμών Βιοαερίου στην Ευρώπη, 2020).

Τελειώνοντας με έναν ακόμη εγκατεστημένο σταθμό, το Praktijkcentrum De Marke, στο Hengelo της Ολλανδίας, αποτελεί μέρος του Ερευνητικού Τμήματος Κτηνοτροφίας του Πανεπιστημίου Wageningen. Υπάρχει λοιπόν εκεί, μια μονάδα βουστασίων με στόχο την μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων από αυτή προς το περιβάλλον. Στην εγκατάσταση βρίσκεται χωνευτήρας με συνεχή ανάδευση, κατακόρυφος. Οι πρώτες ύλες του σταθμού για παραγωγή βιοαερίου, είναι απόβλητα βοοειδών και επιπρόσθετης ξηρής βιομάζας, ενώ παράλληλα γίνονται προσπάθειες για αναβάθμιση του βιοαερίου, που χρησιμοποιείται σαν καύσιμο στη μονάδα και έτσι και η απόδοση της μηχανής βελτιώνεται, αλλά και οι εκπομπές ρύπων (CO₂, NO_x) προς το περιβάλλον μειώνονται (Παραδείγματα Σταθμών Βιοαερίου στην Ευρώπη, 2020).

Συνεπώς μέσα από την αναζήτηση μονάδων παρατηρείται ότι χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο συμβατικοί αναερόβιοι χωνευτές συνεχούς λειτουργίας με ανάδευση (CSTR) με συνεχή τροφοδότηση και συνεχή απορροή.

5 ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΤΟ ΚΥΡΙΟ ΠΡΟΙΟΝ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

5.1 Γενικά για το βιοαέριο

Η αναερόβια χώνευση όπως έχει ειπωθεί προηγουμένως, εκτελείται απουσία αέρα και μέσα από μια συγκεκριμένη διαδικασία βιοδιασπάται η προς επεξεργασία οργανική ύλη, με τη βοήθεια μικροοργανισμών και προκύπτει στη συνέχεια το βιοαέριο και η χωνεμένη λάσπη (εδαφοβελτιωτικό). Η σύσταση του βιοαερίου είναι η ακόλουθη, 50-75% μεθάνιο, 20-45% διοξείδιο του άνθρακα και το υπόλοιπο ποσοστό καλύπτεται από άλλα στοιχεία όπως άζωτο, υδρογόνο, αμμωνία και υδρόθειο. Από πλευράς μικροοργανισμών, αναερόβια βιοαποδόμηση μπορεί να πραγματοποιηθεί στη φύση σε έλη, σε λίμνες αλλά και στο στομάχι μηρυκαστικών ζώων. Απλά ο άνθρωπος, έχει τη δυνατότητα να προσομοιάζει τις συνθήκες που επιθυμεί σε ελεγχόμενα συστήματα, έτσι ώστε να επιτύχει την παραγωγή βιοαερίου σε επιθυμητό επίπεδο (ΥΠΕΚΑ, 2020).

Συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα, το βιοαέριο έχει περισσότερα οφέλη και θετικά στοιχεία. Είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, επιτρέπει τη διατήρηση φυσικών πόρων, το περιβάλλον προστατεύεται με την προώθηση της χρήσης του και το ενεργειακό ισοζύγιο μιας χώρας βελτιώνεται χάρη σε αυτό. Χρησιμοποιείται σε μικρές μονάδες, πολλές φορές για την κάλυψη αναγκών σε θερμότητα και ηλεκτρισμό ύστερα από την καύση του, ενώ σε μεγάλες μονάδες χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (ΥΠΕΚΑ, 2020).

Από την καύση του βιοαερίου παράγεται διοξείδιο του άνθρακα, όπως ήδη έχει ειπωθεί προηγουμένως. Ο άνθρακας όμως, που υπάρχει ήδη στο παραγόμενο βιοαέριο έχει προσληφθεί προηγουμένως από την ατμόσφαιρα και με τη βοήθεια της λειτουργίας

της φωτοσύνθεσης. Οι εκπομπές μεθανίου και διοξειδίου του αζώτου μειώνονται με την παραγωγή βιοαερίου και αυτό που αξίζει να τονιστεί είναι ότι το βιοαέριο μπορεί και υποκαθιστά τα ορυκτά καύσιμα, ως προς την παραγωγή ενέργειας, με αποτέλεσμα όχι μόνο να συμβάλει στη μείωση εκπομπών αερίων όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και το οξείδιο του αζώτου αλλά και στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής (OECD, 2020).

5.1.1 Περιβαλλοντικό όφελος

Το πιο σπουδαίο που επιτυγχάνεται με την παραγωγή βιοαερίου είναι η αποτροπή διαφυγής του μεθανίου στην ατμόσφαιρα, πράγμα που θα επέφερε ρύπανση εάν συσσωρευόταν σε μεγάλες ποσότητες. Για να επισημανθεί η σπουδαιότητά του, συγκριτικά με το πετρέλαιο, ένα κυβικό μέτρο βιοαέριο υποκαθιστά μισό κιλό πετρέλαιο, προκειμένου να παραχθεί ενέργεια. Αυτό, αυτόματα σημαίνει μειωμένη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, αναλογικά κατά 2,6 Kg. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 14), καταγράφονται σύμφωνα με την OECD (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης), οι εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα από διάφορες πηγές, κατά μέσο όρο. Είναι φανερό από τον πίνακα, ότι το βιοαέριο ως πηγή ενέργειας, παράγει την μικρότερη ποσότητα κάθε τύπου αερίου ρύπου, επομένως μέσω της χρήσης του γνωρίζει μείωση η παραγωγή των επιβλαβών κυρίως για την ατμόσφαιρα και το περιβάλλον, αερίων ρύπων (ΚΑΠΕ, 2020).

Πίνακας 14: Εκπομπές ρύπων από διάφορες πηγές ενέργειας (OECD, 2019).

Πηγές Ενέργειας	SO ₂ (kg/TJ)	NO _x (kg/TJ)	Dust (kg/TJ)	CO ₂ (g/TJ)
Πετρέλαιο	140	90	20	90
Φυσικό αέριο	3	90	2	70
Άνθρακας	300	150	20	100
Ξύλο	100	64	100	130
Άχυρο	170	340	200	300
Βιοαέριο	3	50	3	50

5.2 Ενεργειακή αξιοποίηση βιοαερίου παγκοσμίως

Σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, τα περασμένα χρόνια και συγκεκριμένα τις χρονιές 1997 και 1992, η Ε.Ε. και τα Κράτη Μέλη έθεσαν στόχους σχετικά με το περιβάλλον και τη βιώσιμη ανάπτυξη, σε συνδιάσκεψη του ΟΗΕ. Πέρα από τις πετρελαϊκές κρίσεις το 1973 και το 1979, οι συμβατικές πηγές ενέργειας ήταν εκείνες που είχαν προκαλέσει περιβαλλοντικά ζητήματα που προβλημάτισαν την Ε.Ε. και η οποία σκόπευε και σκοπεύει στην ανταπόκριση και επίλυσή τους. Πρώτο μέλημα της Ε.Ε. επομένως, από τότε μέχρι και σήμερα είναι να αυξήσει τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας με δεσμευτικά χρονοδιαγράμματα για να υπάρξει αποτέλεσμα. Οι προσπάθειες ξεκίνησαν από το 1997, και πιο συγκεκριμένα, ο στόχος στον οποίο σκόπευαν και επετεύχθη έως σήμερα κατά ένα μεγάλο ποσοστό, ήταν οι ΑΠΕ να αποκτήσουν μεγαλύτερο μερίδιο στην εσωτερική κατανάλωση ενέργειας, γεγονός που θα επωφελήσει όχι μόνο το περιβάλλον αλλά και τον εργασιακό τομέα ανοίγοντας νέες θέσεις εργασίας. Ουσιαστικά επειδή η Ε.Ε. καλύπτει ένα μικρό ποσοστό ενεργειακών αναγκών μέσω της χρήσης βιομάζας, γίνεται προσπάθεια έτσι ώστε να διπλασιαστεί αυτό το ποσοστό από τη στιγμή που υπάρχει η δυνατότητα (ΚΑΠΕ, 2020).

Με αφορμή τις συνθήκες υπερθέρμανσης του πλανήτη, αλλά και την έκλυση επιβλαβών αερίων καθημερινά ολοένα και περισσότερο, όπως CH_4 , CO_2 , N_2O και άλλα αέρια του θερμοκηπίου, υπάρχει άμεση ανάγκη για δράση. Σύμφωνα με τους Nielsen και Madsen το 2006, πρωτοξεκίνησαν σε Γερμανία και Αυστρία νέες μορφές ενέργειας από πλευράς παραγωγών τροφίμων και αγροτών. Η περιορισμένη χρήση ορυκτών άνθρακα ήταν αυτή που ξεκίνησε στην Ευρώπη και στη συνέχεια αντικαταστάθηκε εν μέρει από παραγωγή ΑΠΕ. Το αποτέλεσμα ήταν η ευημερία που ήρθε όσον αφορά την ηλιακή, την αιολική και οποιαδήποτε μορφής ενέργεια που βασίζεται σε βιομάζα. Την ίδια στιγμή είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί η ανάπτυξη που γνωρίζει ο τομέας της απασχόλησης, διότι η Ε.Ε. χρειάζεται εξέλιξη γενικά, και ειδικά σε κοινωνίες με ανεπτυγμένη τεχνολογία. Ανεξάρτητα από το αν μια χώρα βρίσκεται σε τροπική, υποτροπική, ή εύκρατη ζώνη, έχει τη δυνατότητα υπό κατάλληλες συνθήκες πάντα, να παράγει βιομάζα γεγονός που θα οδηγήσει στην παραγωγή βιοαερίου και εν τέλει στην ενεργειακή του αξιοποίηση. Οι συνθήκες αυτές, για να παραχθεί βιομάζα, είναι η

ύπαρξη ηλιακού φωτός, η θερμοκρασία να ξεπερνά τους 5 βαθμούς Κελσίου και το ποσοστό νερού να είναι αρκετό για το ριζικό σύστημα. Το συμπέρασμα που προήλθε από όλα τα παραπάνω είναι ότι η βιομάζα αποτελεί για τον 21^ο αιώνα πηγή ενέργειας (Nielsen et al., 2006).

5.3 Ενεργειακή αξιοποίηση βιοαερίου στην Ελλάδα

Σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, το βιοαέριο παράγεται κατά την Αναερόβια Χώνευση, κυρίως από γεωργικά και κτηνοτροφικά απόβλητα, όπως για παράδειγμα λύματα από χοιροστάσια, βουστάσια, πτηνοτροφεία, απόβλητα τυροκομείων, ελαιοτριβείων κ.α. Το πιο σημαντικό για το βιοαέριο είναι ότι συμβάλει στην ενεργειακή αυτάρκεια μιας χώρας υποκαθιστώντας τα καύσιμα, ενώ αποτελεί φιλική ενέργεια επιλύοντας το πρόβλημα διαχείρισης απορριμμάτων.

Η Ελλάδα, σαν γεωργική χώρα παράγει αρκετά μεγάλες ποσότητες υπολειμμάτων καλλιέργειας αλλά και κοπριάς ζωικού κεφαλαίου. Η χρήση των αποβλήτων ως συνιστώσα για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, είναι η κατάλληλη προκειμένου η ενεργειακή ασφάλεια να γνωρίσει βελτίωση. Σύμφωνα με μελέτη του 2015, έχουν εκτιμηθεί ποσότητες υπολειμμάτων καθώς και οι ενεργειακές τους δυνατότητες. Για βιομηχανικά υπολείμματα από σιτάρι, πατάτες, λαχανικά, γαλακτοκομικά, ξηρούς καρπούς και άλλα, το εκτιμώμενο ετήσιο δυναμικό ανέρχεται σε 19.005.490 τόνους/ έτος. Επιπλέον, οι θεωρητικές δυνατότητες ζωικής κοπριάς και κτηνοτροφικών υπολειμμάτων από βοοειδή, πρόβατα, χοίρους, κασίκες ανέρχεται σε 26.952.500 τόνους/έτος. Αυτό που λαμβάνεται υπόψη όμως είναι κατά πόσο τα υπολείμματα καθίστανται βιοαποικοδομήσιμα και η ποσότητα λιπάσματος που μπορεί να παραχθεί από αυτά. Με δεδομένο στην Ελλάδα, την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, θα μπορεί περίπου το 3,9 % ενεργειακής ανάγκης να αντικαθίσταται από ηλεκτρική ενέργεια η οποία προηγουμένως είχε παραχθεί από γεωργικά υπολείμματα. Το συμπέρασμα λοιπόν είναι ότι τα υπολείμματα κοπριάς και γενικότερα τα γεωργικά υπολείμματα συμβάλλουν με τον τρόπο τους στο ελληνικό ενεργειακό ισοζύγιο (Vlyssides et al., 2015).

Στον Ελλαδικό χώρο, εγκατεστημένες μονάδες παραγωγής και ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου που βρίσκονται σε λειτουργία, πρόκειται να αναφερθούν σε

επόμενο κεφάλαιο, με αναλυτική περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας τους, της εγκατεστημένης ισχύος, του είδους πρώτων υλών που χρησιμοποιούν προς αναερόβια επεξεργασία, του εξοπλισμού που χρησιμοποιούν κ.α. Ενδεικτικά ορισμένες ελληνικές μονάδες παραγωγής βιοαερίου, με φθίνουσα σειρά εγκατεστημένης ισχύος είναι, *Επίλεκτος Βιοαερίου Φαρσάλων Α.Ε.* (5.252 kW), *Βιοαέριο Θράκης (I,II,III)* (2.956 kW), *Φάρμα Χήτας* (1780 kW), *Βιοαέριο Πέλλας Α.Ε.* (1000 kW), *Βιομεστή Ι.Κ.Ε* (999 kW), *Άβατο Βιοαέριο Ξάνθης Ι.Κ.Ε* (999 kW), *Βιοαέριο Λαγκαδά Α.Ε.* (998 kW) κ.α.

5.4 Νομοθεσία στην Ελλάδα για το βιοαέριο

Στην Ελλάδα, η δημιουργία και εγκατάσταση ενός σταθμού παραγωγής ενέργειας με χρήση βιοαερίου δεν είναι ένα απλό ζήτημα. Υπάρχουν μια σειρά από κριτήρια για την χωροθέτησή του, καθώς και μια σειρά από νομοθεσίες που θεσπίζει το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ανάπτυξης, για να μπορέσουν από τη μια να λειτουργήσουν τέτοιου είδους σταθμοί και από την άλλη να μην επιβαρυνθεί το οικοσύστημα και κατ' επέκταση η ανθρώπινη υγεία. Σχετικά λοιπόν με την αδειοδότηση σταθμών παραγωγής ενέργειας με τη χρήση βιοαερίου, υπάρχουν ορισμένα κριτήρια για την χωροθέτησή τους, καθώς είναι απαραίτητη η περιβαλλοντική αδειοδότηση και άλλου είδους γνωμοδοτήσεις. Ο νόμος Κ.Υ.Α 49828/2008 (ΦΕΚ 2464/Β/03-12-2008), παρέχει τα κριτήρια και συγκεκριμένα το άρθρο 18 του νόμου, παρέχει τα κριτήρια για την χωροθέτηση των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης ενέργειας από βιομάζα ή βιοαέριο, με την παράγραφο 2, να ορίζει και κάποιες ζώνες αποκλεισμού από την εγκατάσταση. Αναλυτικότερα, οι περιοχές που υπάγονται στην κατηγορία στην οποία δεν επιτρέπεται η εγκατάσταση σταθμών είναι, κηρυγμένα διατηρητέα μνημεία παγκόσμιας εθνικής κληρονομιάς, αρχαιολογικές ζώνες προστασίας Α, περιοχές προστασίας της φύσης, υγρότοποι διεθνούς σημασίας, εθνικοί δρυμοί, οικότοποι περιοχών NATURA, περιοχές εντός σχεδίου πόλεως πριν το 1932 ή με λιγότερους από 2000 κατοίκους, θεματικά πάρκα, τουριστικοί λιμένες, κολυμβητικές ακτές και άλλες διάφορες περιοχές.

Στη συνέχεια, στην παράγραφο 3 του νόμου Κ.Υ.Α 49828/2008 (ΦΕΚ 2464/Β/03-12-2008) και άρθρου 18, αναφέρονται οι αποστάσεις που θα πρέπει να τηρούνται για την εγκατάσταση σταθμών, από τα παραπάνω είδη περιοχών. Για παράδειγμα οι ελάχιστες αποστάσεις από οικισμούς, πόλεις, ιερές μονές, μεμονωμένες

κατοικίες και άλλες, με περισσότερους από 2000 κατοίκους ή και λιγότερους και για μονάδες έως 500 kW_e δεν τίθεται κάποιος περιορισμός. Όμως για μονάδες με περισσότερο από 500 kW_e, η εγκατάσταση απαγορεύεται. Για άλλες περιοχές, όπως είναι οι περιοχές πολιτιστικής κληρονομιάς, τα δίκτυα τεχνικών υποδομών, περιοχές ορνιθοπανίδας, ακτές κολύμβησης και άλλα, παίρνονται αποφάσεις κατά περίπτωση στο πλαίσιο διαδικασίας περιβαλλοντικής αδειοδότησης.

Προκειμένου να δοθεί άδεια εγκατάστασης ενός σταθμού, κάθε φορά ανάλογα με το είδος του έργου και τις δραστηριότητες που ακολουθούνται σε ένα σταθμό, αναλαμβάνει τις αρμοδιότητες αδειοδότησης, η αντίστοιχη υπηρεσία. Μεταξύ αυτών είναι οι Υ.ΠΕ.Κ.Α, η Αποκεντρωμένη Διοίκηση και η Περιφέρεια. Για παράδειγμα, για εγκαταστάσεις αποθήκευσης ανακυκλώσιμων αστικών στερεών αποβλήτων όπως χαρτί και γυαλί, με $-Q$ απόβλητα) μεγαλύτερο από 1000 τόνους το έτος, εκτός ορίων οικισμών, και μεγαλύτερο από 200 εντός ορίων, τότε αναλαμβάνει την αδειοδότηση η Αποκεντρωμένη Διοίκηση, ενώ στην αντίθετη περίπτωση την αναλαμβάνει η Περιφέρεια.

Η εγκατάσταση και η λειτουργία ενός σταθμού παραγωγής ενέργειας με τη χρήση βιοαερίου, εκτός από τα θετικά χαρακτηριστικά που μπορεί να έχει, δημιουργεί και μια σειρά από επιπτώσεις και περιβαλλοντικά θέματα. Γενικά ένας σταθμός, περιλαμβάνει κάποια στάδια για την ομαλή του λειτουργία όπως τη μεταφορά και την αποθήκευση πρώτων υλών, την προεπεξεργασία αποβλήτων, την αναερόβια χώνευση και την παραγωγή βιοαερίου, την επεξεργασία, τον καθαρισμό και την καύση βιοαερίου, την παραγωγή ενέργειας καθώς και την επεξεργασία και διαχείριση χωνεμένης ιλύος. Τα κυριότερα από τα θέματα που μπορεί να προκύψουν κατά τη λειτουργία του είναι, οι διάφορες οσμές από τη μεταφορά αποβλήτων (εγκατάσταση απόσμησης, φίλτρα ενεργού άνθρακα), η απελευθέρωση υδροθείου στην ατμόσφαιρα (αποθείωση βιοαερίου) και η απαέρια καύση βιοαερίου με τα παρακάτω όρια **CO < 650 mgr/Nm³**, **NO_x < 500 mgr/Nm³**, **SO₂ < 350 mgr/Nm³**, **H₂S < 5 mgr/Nm³**, που ισχύουν για κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας στους μηδέν βαθμούς Κελσίου, πίεση 1 bar και περιεκτικότητα σε οξυγόνο 5%. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί για την ιλύ που προκύπτει από την αναερόβια χώνευση, ότι είναι πλούσια σε άζωτο, φωσφόρο, κάλιο και οργανικά υποστρώματα, για αυτό επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν λίπασμα. Η εναπόθεσή της γίνεται κυρίως σε ανοιχτές στεγανοποιημένες χωματοδεξαμενές, με

διαχωρισμό υγρού και στερεού κλάσματος και με μηχανική επεξεργασία (Διεύθυνση Περιβάλλοντος και Χωρικού Σχεδιασμού Θεσσαλίας, 2019).

5.5 Οι δυσκολίες στην Ελλάδα και οι προοπτικές από την αξιοποίηση βιοαερίου

Στην Ελλάδα, από την δεκαετία του 1980, επιχειρήθηκε η εκμετάλλευση ενέργειας από το βιοαέριο. Με πρώτη ύλη κυρίως ζωικά απόβλητα, απόβλητα ελαιοτριβείων, απόβλητα τυροκομείων και απόβλητα βιομηχανιών, άρχισε η όλη η διαδικασία παραγωγής ενέργειας με την αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου. Ακόμη πιο παλιά και από τη δεκαετία του '80, η ευαισθητοποίηση του κόσμου ήταν λιγότερη, αλλά το γεγονός αυτό συμπληρωνόταν από την ακατάλληλη έως τότε νομοθεσία. Μετά από κάποια χρόνια, εγκαταλελειμμένα έργα χρηματοδοτήθηκαν και υποστηρίχτηκε η όλη κατάσταση που υπήρχε. Το βιοαέριο, παράγεται από μεγάλο εύρος ενδογενών πηγών βιομάζας, συνεισφέροντας στον ενεργειακό εφοδιασμό της χώρας αλλά και της Ε.Ε γενικότερα. Η χρήση των ΑΠΕ, βοηθάει και εντείνει την αξιοποίηση και διαχείριση οργανικών αποβλήτων οδηγώντας στην παραγωγή του. Στηρίζοντας σαν χώρα τις δυνατότητες που παρέχει η παραγωγή βιοαερίου, αλλά και τα οφέλη που προσδίδει, όχι μόνο σε οικονομικό αλλά και σε κοινωνικό, εργασιακό και περιβαλλοντικό επίπεδο, υποστηρίζεται και προωθείται κατά συνέπεια και ο πρωτογενής τομέας, η τεχνολογική καινοτομία και ο τομέας των θέσεων εργασίας.

Τα ρίσκα και οι κίνδυνοι που γνώρισε ο άνθρωπος προκειμένου να δημιουργήσει εγκαταστάσεις και σταθμούς παραγωγής ενέργειας, αφορούσαν σε αρχική φάση τις γνώσεις που κατείχε και τα πιθανά πολιτικά εμπόδια που θα συναντούσε στο δρόμο του. Επιπλέον, η μικρή κλίμακα έργων, το αυξημένο κόστος επενδύσεων και το ρίσκο για σχεδιασμό προγραμμάτων προκειμένου να αντιμετωπιστούν προβλήματα όπως το πρόβλημα οσμής, ήταν επιπλέον κίνδυνοι που θα έπρεπε να ληφθούν υπόψη. Ένα ακόμη σύνηθες πρόβλημα, ήταν και είναι η αστάθεια των τιμών στα καύσιμα. Παρόλο που βελτιώνεται το θεσμικό πλαίσιο και οι νόμοι, στην Ελλάδα δεν εφαρμόζεται σωστά η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», με αποτέλεσμα η ΔΕΗ να έχει ηγετική θέση στην παραγωγή ενέργειας, συνεπώς και προμήθεια. Παρόλο που η παραγωγή του βιοαερίου, είναι η κύρια πηγή βιοενέργειας, βοηθώντας την μείωση φαινομένου του θερμοκηπίου, τη δημιουργία θέσεων εργασίας,

την ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού αλλά και την ανάπτυξη τοπικών εγκαταστάσεων σε διάφορες πόλεις της Ελλάδος, οι διοικητικοί φραγμοί που υπάρχουν στη χώρα, αλλά και το γραφειοκρατικό σύστημα που πάσχει δυστυχώς εν μέρει, δημιουργούν εμπόδιο στην περιβαλλοντική αδειοδότηση και στο σύστημα εγκρίσεων για το ζήτημα του βιοαερίου (Zafiris, 2007).

6 ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

6.1 Μεθοδολογία έρευνας

6.1.1 Ανάπτυξη ερωτηματολογίου

Στο παρόν κεφάλαιο, θα γίνει λόγος για τις μονάδες παραγωγής βιοαερίου και ενέργειας, μέσω της αναερόβιας χώνευσης, που είναι εγκατεστημένες στον ελλαδικό χώρο.

Στην παρούσα εργασία, η έρευνα διεξήχθη με τη χρήση ερωτηματολογίου, το οποίο σχεδιάστηκε κατάλληλα ώστε να εξυπηρετεί τους σκοπούς της παρούσας μελέτης. Το ερωτηματολόγιο κατασκευάστηκε με βάση τα χαρακτηριστικά των μονάδων αυτών και περιλαμβάνει ερωτήσεις κλειστού τύπου (με δεδομένες απαντήσεις προς επιλογή) αλλά και ανοικτού τύπου λόγω της ιδιαιτερότητας της κάθε μονάδας.

Το ερωτηματολόγιο αποτελείται από πέντε (5) μέρη. Το 1^ο μέρος αφορά τα γενικά στοιχεία της μονάδας (όνομα επιχείρησης, νομός, στοιχεία επικοινωνίας κτ). Το 2^ο μέρος αποτελείται από ερωτήσεις ώστε να αντληθούν στοιχεία για τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούν αλλά και τα χαρακτηριστικά αυτών. Το 3^ο μέρος αποτελείται από ερωτήσεις ώστε να αντληθούν στοιχεία για την μονάδα (όγκος αντιδραστήρων, υδραυλικός χρόνος παραμονής κτ). Το 4^ο μέρος αποτελείται από ερωτήσεις για τα παραγόμενα προϊόντα της μονάδας. Τέλος το 5^ο μέρος οι μονάδες ερωτούνται για πιθανή συνεργασία με το Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο. Συνεπώς για τις μονάδες αυτές, έχουν ήδη συλλεχθεί πληροφορίες σχετικά με τις διαθέσιμες προς επεξεργασία πρώτες

ύλες για παραγωγή βιοαερίου, τα παραγόμενα προϊόντα τους, τις συνθήκες παραγωγής τους, καθώς και την διαθεσιμότητα τους να συνεργαστούν με το Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, ως προς την δωρεάν αποστολή δείγματος βιο-ενισχυτή για αύξηση του βιοαερίου στις εγκαταστάσεις τους. Αναλυτικότερα, η μορφή του ερωτηματολογίου και το περιεχόμενο των ερωτήσεων, βρίσκεται στο παράρτημα της παρούσας εργασίας (βλ. Παράρτημα Ι).

6.1.2 Δείγμα - Μονάδες αναερόβιας χώνευσης

Το δείγμα της παρούσας έρευνας αποτελείται από τις εγκατεστημένες μονάδες αναερόβιας χώνευσης στην Ελλάδα. Στην Ελλάδα, μέχρι και σήμερα, απαριθμούνται τριάντα τρεις (33) εγκατεστημένες και σε λειτουργία μονάδες παραγωγής βιοαερίου και ενέργειας, επεξεργασίας αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων, αστικής ιλύς αλλά και ΧΥΤΑ. Αποτελούν μονάδες που έχουν ενεργοποιηθεί, σύμφωνα με στοιχεία του Ελληνικού Συνδέσμου Παραγωγών Βιοαερίου (ΕΣΠΑΒ) 2018-2019. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αυτών των μονάδων προέρχεται από Χώρους Υγειονομικής Ταφής (Χ.Υ.Τ.Α), μονάδες επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων και μονάδες επεξεργασίας λυμάτων.

Στη συνέχεια στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 15) παρουσιάζονται και οι (33) μονάδες που επεξεργάζονται αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, λυματολάσπη αλλά και ΧΥΤΑ στην Ελλάδα, για την παραγωγή βιοαερίου και ενέργειας, μαζί με την εγκατεστημένη ισχύ της καθεμίας και το είδος αποβλήτων που επεξεργάζεται.

Συνεπώς οι μονάδες αναερόβιας χώνευσης όπου επεξεργάζονται αγροτοβιομηχανικά απόβλητα είναι είκοσι τέσσερις (24) με συνολική εγκατεστημένη ισχύς 22.579 kW.

Πίνακας 15: Μονάδες ΣΗΘΥΑ Βιοαερίου, 2020.

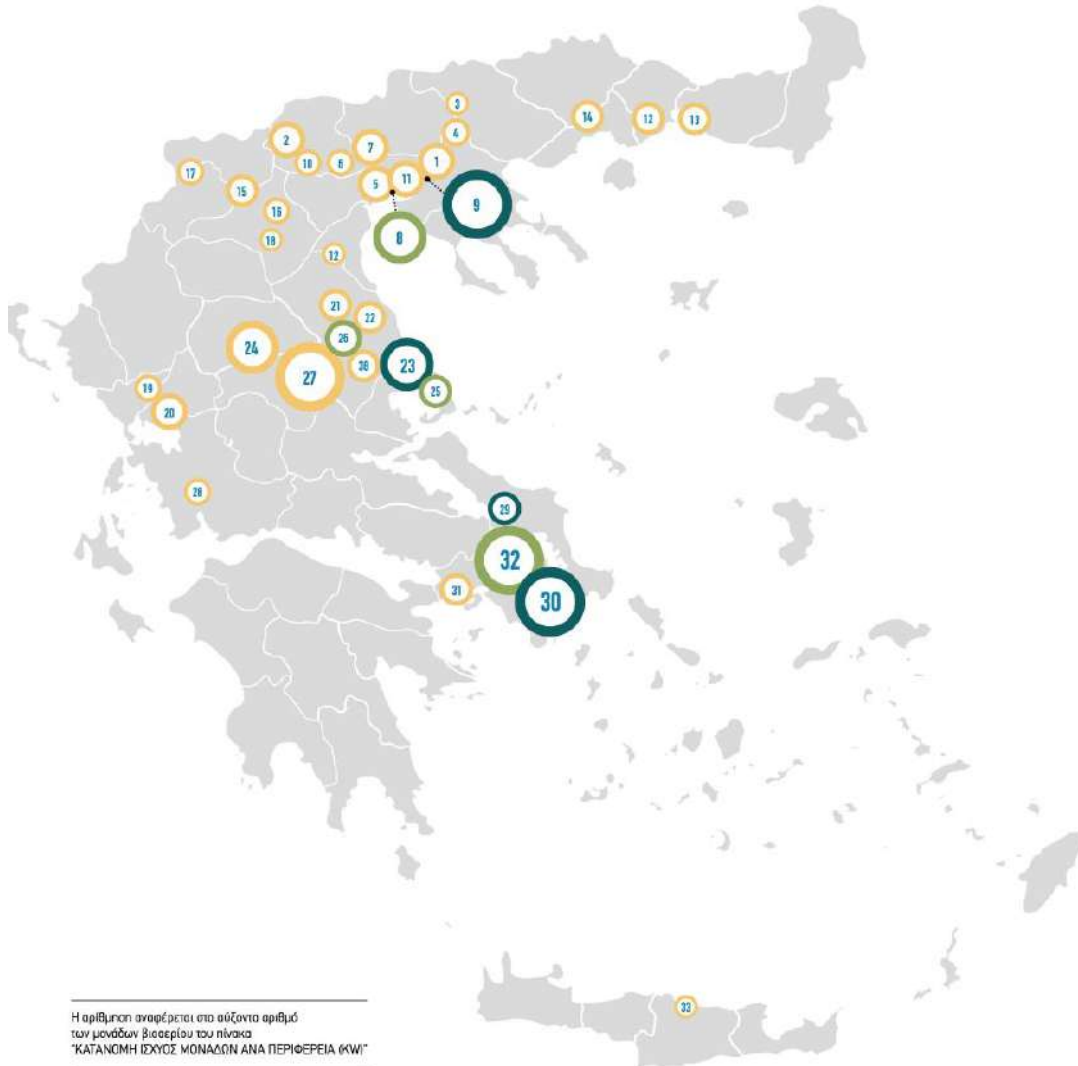
Επωνυμία	Εγκατεστημένη Ισχύς (kW)	Είδος
ΒΙΟΑΕΡΙΟ - ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ Α.Ε.	24.543	Χ.Υ.Τ.Α
ΕΥΔΑΠ Α.Ε. ΑΤΤΙΚΗΣ	11.400	Επεξεργασία Λυμάτων
ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΥΔΡΕΥΣΕΩΣ ΚΑΙ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ Α.Ε.	10.000	Επεξεργασία Λυμάτων

ΕΠΙΛΕΚΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΦΑΡΣΑΛΩΝ Α.Ε.	5.252	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε.	5.048	Χ.Υ.Τ.Α
ΦΑΡΜΑ ΧΗΤΑΣ	1.780	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ Α.Ε.	1.500	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ Α.Ε. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ Α.Ε.	1.250	Χ.Υ.Τ.Α
ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΠΕΛΛΑΣ Α.Ε.	1.000	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΔΕΛΤΑ ΑΞΙΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Ε.	1.000	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΒΟΡΕΙΟΕΛΛΑΔΙΚΗ ΑΕΙΦΟΡΙΑ Α.Β.Ε.Ε.	999	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ Α.Ε.	999	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΑΒΑΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΞΑΝΘΗΣ Ι.Κ.Ε	999	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΛΑΓΚΑΔΑ Α.Ε.	998	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ ΝΙΓΡΙΤΑΣ Ο.Ε.	998	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ Α.Ε.	995	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΦΑΡΜΑ ΧΑΛΑΣΤΡΑΣ Α.Ε.	993	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΟΧΟΥ Ο.Ε.	844	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ	600	Επεξεργασία Λυμάτων
ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΜΕΓΑΡΩΝ Α.Ε. .	500	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΗΛΙΟΤΟΠ Α.Ε.	500	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων

ΚΑΡΑΝΙΚΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΕΠΕ	500	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΑΦΟΙ ΣΕΪΤΗ Α.Ε.	500	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΡΗΤΗΣ	500	Επεξεργασία Λυμάτων
ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΤΕΜΠΩΝ Ι.Κ.Ε.	498	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΔΕΥΑ ΜΕΙΖΟΝΟΣ ΒΟΛΟΥ	353	Επεξεργασία Λυμάτων
ΒΙΟΑΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Ο.Ε.	350	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
Α.Κ. ΚΑΤΡΗΣ Α.Ε. ΣΤ. ΕΛΛΑΔΑΣ	328	Χ.Υ.Τ.Α
ΑΦΟΙ ΤΣΙΑΜΑΚΗ ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΚΕΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ SIVISTA Α.Ε	300	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΜΑΝΤΜΟΥΑΖΕΛ Α.Β.Ε.Ε	252	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΓΚΑΣΝΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ Α.Ε.	250	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΓΡΗΓΟΡΙΑΔΗΣ ΚΑΙ ΣΟΦΟΛΟΓΗΣ Ο.Ε.	120	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων
ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΚΗ-ΑΦΟΙ ΙΩΑΝΝΟΥ ΜΠΗΣΙΡΙΤΣΑ	99	Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων

Ο χάρτης κατανομής των μονάδων (βλ. Χάρτη 1, Εικόνα 21) ανά περιφέρεια ακολουθεί παρακάτω, υπολογίζοντας και την συνολική εγκατεστημένη ισχύ (kW) ανά περιφέρεια στη χώρα. Το μεγαλύτερο τμήμα ενέργειας (31.167 kW), προέρχεται από την Αττική και συγκεκριμένα από τις 3 πρώτες μονάδες που βρίσκονται στην περιφέρεια αυτή.

ΧΑΡΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ



Χάρτης 1: Χάρτης κατανομής μονάδων παραγωγής βιοαερίου ανά περιφέρεια (*Bioenergynews.gr, 2018*).

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ (kWe)

1	ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΛΑΓΚΑΔΑ Α.Ε.	15.079 kWe Κεντρική Μακεδονία
2	ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΠΕΛΛΑΣ Μ.Ε.Π.Ε.	
3	ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ ΝΙΓΡΙΤΑΣ Ο.Ε.	
4	ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΟΧΟΥ Ο.Ε.	
5	ΒΟΡΕΙΟΕΛΛΑΔΙΚΗ ΛΕΙΦΟΡΙΑ Α.Β.Ε.Ε.	
6	ΓΚΑΣΝΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ Α.Ε.	
7	ΔΕΛΤΑ ΑΞΙΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Ε.	
8	ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΥΔΡΕΥΣΕΩΣ ΚΑΙ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Α.Ε. (Ε.Υ.Α.Θ. Α.Ε.)	
9	ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε.	
10	ΚΑΡΑΝΙΚΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ Ε.Π.Ε.	
11	ΦΑΡΜΑ ΧΑΛΑΣΤΡΑΣ Α.Ε.	
12	ΑΒΑΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΞΑΝΘΗΣ Ι.Κ.Ε.	1.995 kWe Αν. Μακεδονία & Θράκη
13	ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ Α.Ε.	
14	ΗΛΙΟΤΟΡ Α.Ε. (ΗΛΙΣΤΟΠ Α.Ε.)	
15	ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ	1.470 kWe Δυτική Μακεδονία
16	ΓΡΗΓΟΡΙΑΔΗΣ ΚΑΙ ΣΟΦΟΛΟΓΗΣ Ο.Ε.	
17	ΜΑΝΤΜΟΥΖΑΣΕΛ Α.Β.Ε.Ε.	
18	ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΚΗ - ΑΦΟΙ ΙΩΑΝΝΟΥ ΜΠΙΣΙΡΙΤΣΑ Α.Ε.	
19	ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Ο.Ε.	2.230 kWe Ήπειρος
20	ΦΑΡΜΑ ΧΗΤΑΣ Α.Ε.	
21	ΒΙΟΑΕΡΙΟ - ΑΦΟΙ ΣΕΪΤΗ Α.Ε.	9.951 kWe Θεσσαλία
22	ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΤΕΜΠΩΝ Ι.Κ.Ε.	
23	ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ Α.Ε.	
24	ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ Α.Ε.	
25	ΔΕΥΑ ΜΕΙΖΟΝΟΣ ΒΟΛΟΥ	
26	ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ (ΔΕΥΑΛ)	
27	ΕΠΙΛΕΚΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΦΑΡΣΑΛΩΝ Α.Ε. (Ε.ΒΙ.Φ. Α.Ε.)	
28	ΑΦΟΙ ΤΣΙΑΜΑΚΗ ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΚΕΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ SIVISTA Α.Ε.	
29	Α.Κ. ΚΑΤΡΗΣ Α.Ε.	400 kWe Στερεά Ελλάδα
30	ΒΙΟΑΕΡΙΟ - ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ Α.Ε. (ΒΕΑΛ Α.Ε.)	31.167 kWe Αττική
31	ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΜΕΓΑΡΩΝ ΑΕ	
32	ΕΥΔΑΠ Α.Ε.	
33	ΤΕΧΝΙΚΗ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΡΗΤΗΣ ΕΕ	500 kWe Κρήτη
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ		63.092 kWe

Εικόνα 21: Μονάδες βιοαερίου ανά περιφέρεια (kWe), (*Bioenergynews.gr, 2018*).

6.1.3 Διαδικασία Συλλογής Δεδομένων

Η διαδικασία συλλογής δεδομένων για τα χαρακτηριστικά των μονάδων παραγωγής βιοαερίου, την διαθέσιμη πρώτη ύλη, τα παραγόμενα προϊόντα και τον απαιτούμενο εξοπλισμό, έγινε με τη βοήθεια ερωτηματολογίου απευθυνόμενο προς τις μονάδες αυτές. Το ερωτηματολόγιο συντάχθηκε επιδιώκοντας μια καλύτερη προσέγγιση ως προς τα χαρακτηριστικά για κάθε μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου ξεχωριστά και το περιεχόμενο των ερωτήσεων ήταν επακόλουθο της έρευνας που έχει γίνει στη παρούσα εργασία, για το ζήτημα της παραγωγής βιοαερίου και ενέργειας από μονάδες αναερόβιας χώνευσης και ΧΥΤΑ. Το πλήθος ερωτήσεων στο παρόν ερωτηματολόγιο φτάνει τις είκοσι-εννέα (29). Απευθύνθηκε σε μονάδες παραγωγής βιοαερίου εγκατεστημένες αλλά και σε λειτουργία, στον ελλαδικό χώρο. Οι μονάδες αυτές φτάνουν σε αριθμό τις 33 από τις οποίες λήφθηκαν απαντήσεις, αλλά όχι από όλες. Η ανταπόκριση δεν ήταν η επιθυμητή, διότι από το δείγμα 33 μονάδων, λήφθηκαν απαντήσεις από 6 και συγκεκριμένα τις μονάδες Βιοαέριο Λαγκαδά Α.Ε., Βιοενέργεια Νιγριτάς Α.Ε., Βιοενεργειακή Κρήτης Α.Ε., Βιοαέριο Πέλλας Α.Ε., Φάρμα Χαλάστρας Α.Ε. και Εταιρία Ύδρευσης Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης. Οι απαντήσεις των ερωτήσεων χρονικά δεν ξεπερνούσαν τα δέκα λεπτά. Οι υποβληθέντες ερωτήσεις είχαν ως επιλογή προς απάντηση, απαντήσεις πολλαπλής επιλογής ή απάντηση με κείμενο.

6.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων

6.2.1 Περιγραφική ανάλυση αποτελεσμάτων

Ύστερα από την ολοκλήρωση του ερωτηματολογίου και την αποστολή του σε μονάδες βιοαερίου της Ελλάδος, τα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν σε πίνακες και διαγραμματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα Microsoft Excel 2010. Τα Γραφήματα πρόκειται να παρατεθούν στη συνέχεια προς διευκόλυνση κατανόησης των αποτελεσμάτων αλλά και για περαιτέρω σχολιασμό τους. Πιο αναλυτικά, τα συμπεράσματα που διεξάγονται, σύμφωνα πάντα με τις απαντήσεις των ερωτηθέντων μονάδων και σαφώς με μια απόκλιση από το ακριβές αποτέλεσμα, από τη στιγμή που ορισμένες μονάδες δεν έδωσαν απάντηση σε κάποιες ερωτήσεις (κενά πεδία στους πίνακες), παρατίθενται στη συνέχεια.

Αρχικά, ως προς την διαδικασία της παστερίωσης, παρατηρείται ότι πραγματοποιείται σε μεγάλο ποσοστό των μονάδων, συγκεκριμένα στο 83,3% (το ποσοστό αναφέρεται στο σύνολο των μονάδων οι οποίες απάντησαν), καθώς επίσης στο ίδιο ποσοστό κυμαίνεται και η προ-επεξεργασία πρώτων υλών, σχετικά με τα εισερχόμενα απόβλητα σε μια μονάδα. Η παστερίωση, αποτελεί διαδικασία κατά την οποία τα απόβλητα και ιδιαίτερα όταν πρόκειται για ζωικά, παραλαμβάνονται σε μεταλλικές δεξαμενές όπου θρυμματίζονται και οδηγούνται στη συνέχεια σε παστεριωτή (θέρμανση στους 70 °C για 1 ώρα). Εκεί καταστρέφονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που περιέχονται στα απόβλητα, μια διαδικασία που εκτελείται σε κλειστό χώρο υπό συνεχή πίεση. Αξίζει επιπλέον να σημειωθεί ότι, προκειμένου να εκτελεστεί η διαδικασία της παστερίωσης χρησιμοποιείται θερμική ενέργεια που έχει παραχθεί στις εγκαταστάσεις βιοαερίου. Στον πίνακα (Πίνακας 16) που ακολουθεί επιβεβαιώνεται το παραπάνω συμπέρασμα.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα ποσοστά που προέκυψαν από τις απαντήσεις που δόθηκαν από τις μονάδες.

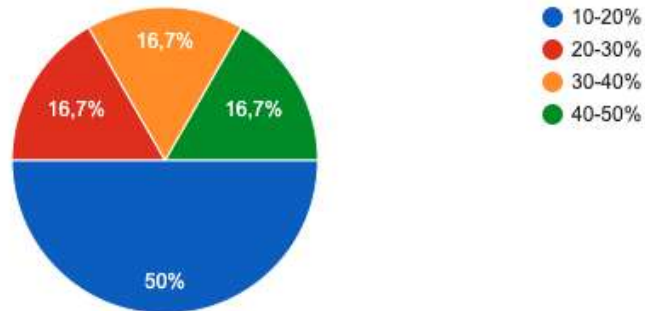
Πίνακας 16: Ποσοστιαία (%) ανάλυση των μονάδων που εκτελούν τη διαδικασία της παστερίωσης και της προεπεξεργασίας πρώτων υλών.

<u>Εκτελούν</u> Παστερίωση & Προεπεξεργασία (%)	<u>Δεν εκτελούν</u> Παστερίωση & Προεπεξεργασία (%)
83,3	16,7

Στη συνέχεια, όσον αφορά τα πτητικά στερεά τροφοδοσίας (VS) των μονάδων, παρατηρείται ότι το 50% αυτών κυμαίνεται στην κλίμακα ποσοστού 10-20%, ενώ οι υπόλοιπες μονάδες κυμαίνονται στις κατηγορίες στερεών τροφοδοσίας 20-30%, 30-40%, 40-50% με ποσοστό συμμετοχής 16,7% σε καθεμία κατηγορία από αυτές (βλ. Γράφημα 3).

Πτητικά Στερεά Τροφοδοσίας (VS)

6 απαντήσεις

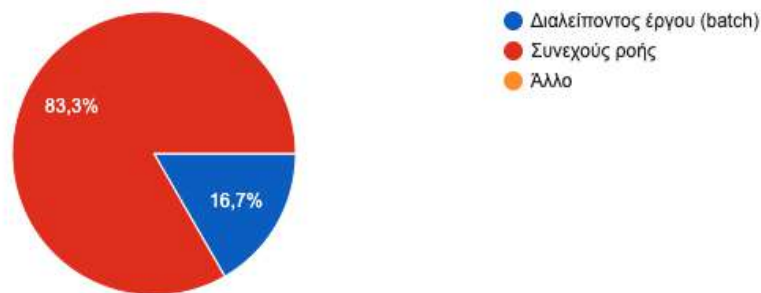


Γράφημα 3: Ποσοστιαία (%) ανάλυση των πτητικών στερεών τροφοδοσίας των μονάδων.

Τέλος, σχετικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των χωνευτών που χρησιμοποιούν οι μονάδες, το 83,3%, χρησιμοποιεί χωνευτές συνεχούς ροής και ένα πολύ μικρό ποσοστό (16,7%) όπως φαίνεται, χρησιμοποιεί χωνευτές διαλείποντος έργου (batch). Αντίστοιχα το 83,3% χρησιμοποιεί χωνευτές με υλικό κατασκευής ενισχυμένο σκυρόδεμα και το υπόλοιπο 16,7% χωνευτές χαλύβδινους (βλ. Γράφημα 4, Γράφημα 5).

Τύπος χωνευτών

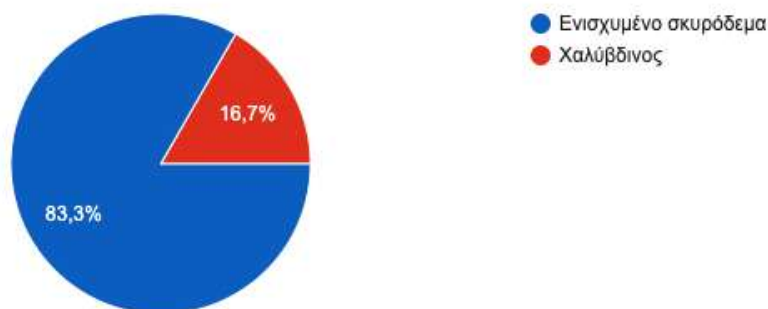
6 απαντήσεις



Γράφημα 4: Ποσοστιαία (%) ανάλυση των μονάδων ως προς τον τύπο χωνευτών που χρησιμοποιούν.

Υλικό κατασκευής χωνευτών

6 απαντήσεις



Γράφημα 5: Ποσοστιαία (%) ανάλυση των μονάδων ως προς το υλικό κατασκευής των χωνευτών που χρησιμοποιούν.

Αξίζει επιπλέον να σημειωθεί ότι, σχετικά με την τελευταία ερώτηση στο ερωτηματολόγιο, για το εάν υπήρχε ενδιαφέρον από πλευράς των μονάδων για αποστολή δωρεάν δείγματος βιο – ενισχυτή για αύξηση βιοαερίου, το 60% απάντησε θετικά στην ερώτηση, σε αντίθεση με το υπόλοιπο 40%. Στο ποσοστό που απάντησε θετικά, ανήκουν οι μονάδες Εταιρία Ύδρευσης Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης, Βιοαέριο Λαγκαδά Α.Ε. και Βιοαέριο Πέλλας Α.Ε. ΒΙ.ΠΕΛ .

Τέλος, σύμφωνα με τις συντεταγμένες X και Y που δόθηκαν από κάθε μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου χωριστά, και αφορούν την τοποθεσία των εγκαταστάσεων τους, εντοπίστηκαν στο χάρτη και στη συνέχεια δημιουργήθηκε χάρτης κατανομής τους στον ελλαδικό χώρο (βλ. Χάρτη 2).



Χάρτης 2: Κατανομή μονάδων παραγωγής βιοαερίου που ανταποκρίθηκαν στο ερωτηματολόγιο.

6.2.2 Χαρακτηριστικά και περιγραφή μονάδων

Παρακάτω πρόκειται να παρατεθούν, τα χαρακτηριστικά εγκατεστημένων και σε λειτουργία μονάδων παραγωγής βιοαερίου στην Ελλάδα, οι οποίες ανταποκρίθηκαν

στο ερωτηματολόγιο που τους χορηγήθηκε και σύμφωνα με τις απαντήσεις τους συμπληρώθηκαν οι παρακάτω πίνακες. Το περιεχόμενο του ερωτηματολογίου αφορούσε τα χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεών τους ως προς τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούν, τις ποσότητες των παραγόμενων προϊόντων τους αλλά και ορισμένα επιπλέον στοιχεία σχετικά με τις συνθήκες λειτουργίας τους. Επίσης στο τέλος, ερωτήθηκε εάν υπάρχει ενδιαφέρον από την πλευρά των μονάδων για συνεργασία με το Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, ως προς την αποστολή δωρεάν δείγματος βιοενισχυτή για αύξηση βιοαερίου των εγκαταστάσεών τους.

Βιοαέριο Λαγκαδά Α.Ε 998 kW

Η μονάδα αναερόβιας χώνευσης του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής Βιοαέριο Λαγκαδά Α.Ε., παράγει βιοαέριο ύστερα από την επεξεργασία αποβλήτων, εισερχόμενης ποσότητας περίπου 78.500 τόνους ετησίως, αλλά και ηλεκτρική ενέργεια μέσω της καύσης του βιοαερίου (ισχύος 0,998 MW). Το είδος βιομάζας που χρησιμοποιεί είναι κυρίως γεωργοκτηνοτροφικά απόβλητα και υπολείμματα.

Το χωνεμένο υπόλειμμα που προκύπτει από τη μονάδα, χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό. Αναλυτικότερα, τα κτηνοτροφικά λύματα της μονάδας που αξιοποιούνται είναι σε ημίρρευστη μορφή (18-25% στερεά ουσία) και μαζί με τα υγρά αποθηκεύονται στην ίδια δεξαμενή. Αντίθετα, η στερεή κόπρος που δεν έχει μεταποιηθεί, οδηγείται προς τεμαχισμό σε τεμαχίδια διαμέτρου κάτω των 50mm. Αυτή, μαζί με τη στερεή ομογενοποιούνται, και μειώνεται ακόμη περισσότερο το μέγεθός τους. Από εκεί οδηγούνται σε δεξαμενές παστερίωσης για εξυγίανση σε θερμοκρασία 133 °C και πίεση 3 bar. Στη συνέχεια ψύχονται, και τέλος καταλήγουν στον αντιδραστήρα για αναερόβια επεξεργασία. Επιπλέον, προκειμένου να αποφευχθούν δυσάρεστες οσμές και κατά την προ-επεξεργασία αλλά και κατά την παστερίωση της μη μεταποιημένης κόπρου, τοποθετούνται ειδικά φίλτρα και έτσι μειώνεται η διάδοση οσμών σε ακτίνα περίπου έως και 75 μέτρα. Στους βιοαντιδραστήρες ζύμωσης, το μίγμα πρώτων υλών παραμένει 50 ημέρες, μια διαδικασία απαραίτητη για την ολοκλήρωση παραγωγής βιοαερίου. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης γίνεται στους 40 °C με 42 °C, και η θερμοκρασία έχει φτάσει σε αυτό το επίπεδο χάρη στο ζεστό νερό από το νερό ψύξης ηλεκτρομηχανών. Τα βασικότερα μέρη του εξοπλισμού της μονάδας ακολουθούν παρακάτω:

- 1 δεξαμενή υγρών λυμάτων και κτηνοτροφικών λυμάτων, όγκου 314 m³,
- 1 ορθογώνια αποθήκη τύπου σιρού,
- 6 δεξαμενές παστερίωσης (χωρητικότητας περίπου 7 m³ /ημέρα),
- 4 δεξαμενές ψύξης,
- 2 βιοαντιδραστήρες χωρητικότητας 5.652 m³ (διαμέτρου 30 m και ύψους 8 m),
- 3 δεξαμενές μετατροπής του χωνεμένου υπολείμματος σε υγρό λίπασμα,
- 1 πυρσό καύσης του βιοαερίου σε έκτακτες περιπτώσεις,
- 1 σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος που αποτελείται από μια μηχανή εσωτερικής καύσης και μία ηλεκτρογεννήτρια).

Πίνακας 18: Παράμετροι λειτουργίας της μονάδας Βιοαέριο Λαγκαδά Α.Ε.

ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΛΑΓΚΑΔΑ Α.Ε.	Παράμετρος	Τιμή
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Εγκατεστημένη ισχύς μονάδας (kW)	998
	Όγκος Βιοαντιδραστήρων/Χωνευτών (m³)	8.000
	Τύπος χωνευτών	Συνεχούς ροής
	Υλικό κατασκευής χωνευτών	Ενισχυμένο σκυρόδεμα
	Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας MWh	8.500
	Ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας MWh	8.500
	Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ημέρες)	50
	Θερμοκρασία αναερόβιας χώνευσης °C)	40-42
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ	Ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου (m³/ημέρα)	11.500
	Μεθάνιο (%)	60
	Χρήση παραγόμενου βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια
	Παραγόμενο χώνεμα (tn/ημέρα)	170
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	Είδη εισερχόμενων πρώτων υλών	Κοπριές, κουτσουλίες, τυρόγαλα, κατσίγαρος, πούλπες φρούτων,

		ενσιρώματα
	Ποσότητα πρώτης ύλης (tn/έτος)	70.000
	Μονάδα παραλαβής αποβλήτων (m²)	350
	Ρυθμός τροφοδοσίας (tn/ημέρα)	180
	Αποθήκευση (m²)	16.000
	Προ-επεξεργασία	Όχι
	Παστερίωση	Ναι
	Πτητικά στερεά τροφοδοσίας (VS)	10-20%

Βιοαέριο Νιγριτάς Α.Ε. 1000 kW

Το αντικείμενο της μονάδας Βιοαέριο Νιγριτάς Α.Ε. είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα με παραγωγή βιοαερίου και καύση του. Η χρησιμοποιούμενη βιομάζα αποτελείται από κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά υπολείμματα. Το παραγόμενο βιοαέριο από τη μια χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε μηχανές εσωτερικής καύσης για παραγωγή ενέργειας, ενώ το χωνεμένο υπόλειμμα που προκύπτει, μετά από κατάλληλη επεξεργασία και έλεγχο ποιότητάς του διατίθεται ως εδαφοβελτιωτικό. Αξίζει να αναφερθεί ότι ένα μέρος της παραγόμενης θερμικής ενέργειας από τη μηχανή εσωτερικής καύσης θα διοχετεύεται στους αντιδραστήρες χώνευσης της μονάδας παραγόμενου βιοαερίου και η περίσσεια θερμότητας με τη σειρά της θα απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.

Πίνακας 19: Παράμετροι λειτουργίας της μονάδας Βιοαέριο Νιγριτάς Α.Ε.

ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ ΝΙΓΡΙΤΑΣ Α.Ε.	Παράμετρος	Τιμή
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Εγκατεστημένη ισχύς μονάδας (kW)	998
	Όγκος Βιοαντιδραστήρων/Χωνευτών (m³)	4.200
	Τύπος χωνευτών	Συνεχούς ροής
	Υλικό κατασκευής χωνευτών	Ενισχυμένο σκυρόδεμα
	Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας MWh	8.525,35

	Ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας MWh	-
	Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ημέρες)	40
	Θερμοκρασία αναερόβιας χώνευσης °C)	42
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ	Ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου (m³/ημέρα)	12.000
	Μεθάνιο (%)	55
	Χρήση παραγόμενου βιοαερίου	παραγωγή ενέργειας & πώληση
	Παραγόμενο χώνεμα (tn/ημέρα)	78
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	Είδη εισερχόμενων πρώτων υλών	ενσιρώματα καλαμποκιού, υπολείμματα ελαιοτριβείων, λιπαρά οξέα, κοπριές, τυρογάλατα, υπολείμματα βιομηχανίας τροφίμων
	Ποσότητα πρώτης ύλης (tn/έτος)	30.650
	Μονάδα παραλαβής αποβλήτων (m²)	747,59
	Ρυθμός τροφοδοσίας (tn/ημέρα)	90
	Αποθήκευση (m²)	459,97
	Προ-επεξεργασία	Ναι
	Παστερίωση	Ναι
	Πτητικά στερεά τροφοδοσίας (VS)	10-20%

Εταιρία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης 998 kW

Στις εγκαταστάσεις της Εταιρίας Ύδρευσης και Αποχέτευσης στη Θεσσαλονίκη, με εγκατεστημένη ισχύ 998 kW, καθημερινά επεξεργάζονται μεγάλες ποσότητες αστικών λυμάτων και παχυμένη ιλύος προς παραγωγή βιοαερίου αλλά και χωνεμένου υπολείμματος. Ο εξοπλισμός που υπάρχει στις εγκαταστάσεις της ΕΥΑΘ είναι :

- το συγκρότημα υποδοχής – αποθήκευσης – προ-επεξεργασίας – ανάμιξης της πρώτης ύλης,
- 2 βιοαντιδραστήρες κυλινδρικού σχήματος, χωρητικότητας 3500 m³ έκαστος,
- 2 μηχανές εσωτερικής καύσης και σιλό.

Πίνακας 20: Παράμετροι λειτουργίας της Εταιρίας Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης.

ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ	Παράμετρος	Τιμή
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Εγκατεστημένη ισχύς μονάδας (kW)	1.000
	Όγκος Βιοαντιδραστήρων/Χωνευτών (m³)	21.500
	Τύπος χωνευτών	Συνεχούς ροής
	Υλικό κατασκευής χωνευτών	Ενισχυμένο σκυρόδεμα
	Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας MWh	-
	Ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας MWh	-
	Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ημέρες)	25
	Θερμοκρασία αναερόβιας χώνευσης °C)	34
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ	Ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου (m³/ημέρα)	6.500
	Μεθάνιο(%)	67
	Χρήση παραγόμενου βιοαερίου	θέρμανση χωνευτών
	Παραγόμενο χώνεμα (tn/ημέρα)	900
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	Είδη εισερχόμενων πρώτων υλών	παχυμένη ίλύς
	Ποσότητα πρώτης ύλης (tn/έτος)	330.000
	Μονάδα παραλαβής αποβλήτων (m²)	-
	Ρυθμός τροφοδοσίας (tn/ημέρα)	24
	Αποθήκευση (m²)	-
	Προ-επεξεργασία	Ναι
	Παστερίωση	Όχι
	Πτητικά στερεά τροφοδοσίας (VS)	40-50%

[Φάρμα Χαλάστρας Α.Ε. 993 kW](#)

Στην εταιρία Φάρμα Χαλάστρας Α.Ε. η μονάδα παραγωγής βιοαερίου και ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου, έχει εγκατεστημένη ισχύ 993 kW και ετήσια ποσότητα εισερχόμενων αποβλήτων προς επεξεργασία 26.000 περίπου τόνους. Βρίσκεται στη Δημοτική Κοινότητα Χαλάστρας, της Περιφερειακής Ενότητας Θεσσαλονίκης και περιλαμβάνει κατάλληλο εξοπλισμό για την παραγωγή βιοαερίου και ενέργειας. Συγκεκριμένα, διαθέτει δεξαμενή εξισορρόπησης 60 m³, δεξαμενή προχώνευσης (predigestion) 100 m³, δεξαμενή αερισμού μονάδας με βιαντιδραστήρες MBR, δοσιμετρικό σύστημα θειϊκού σιδήρου, δεξαμενή συλλογής καθαρών και μονάδα αφυδάτωσης λάσπης.

Πίνακας 21: Παράμετροι λειτουργίας της μονάδας Φάρμα Χαλάστρας Α.Ε.

ΦΑΡΜΑ ΧΑΛΑΣΤΡΑΣ Α.Ε.	Παράμετρος	Τιμή
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Εγκατεστημένη ισχύς μονάδας (kW)	993
	Όγκος Βιοαντιδραστήρων/Χωνευτών (m³)	8.000
	Τύπος χωνευτών	Συνεχούς ροής
	Υλικό κατασκευής χωνευτών	Ενισχυμένο σκυρόδεμα
	Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας MWh	8.000
	Ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας MWh	9.000
	Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ημέρες)	40
	Θερμοκρασία αναερόβιας χώνευσης °C)	42
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ	Ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου (m³/ημέρα)	10.000
	Μεθάνιο(%)	60
	Χρήση παραγόμενου βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση χωνευτών, παστερίωση
	Παραγόμενο χώνεμα (tn/ημέρα)	140
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	Είδη εισερχόμενων πρώτων υλών	Κοπριές, απόβλητα σφαγείου, κατσίγαρος, φυτικά υπολείμματα
	Ποσότητα πρώτης ύλης (tn/έτος)	50.000

	Μονάδα παραλαβής αποβλήτων (m²)	200
	Ρυθμός τροφοδοσίας (tn/ημέρα)	150
	Αποθήκευση (m²)	200
	Προ-επεξεργασία	Ναι
	Παστερίωση	Ναι
	Πτητικά στερεά τροφοδοσίας (VS)	30-40%

Βιοαέριο Πέλλας Α.Ε. ΒΙ.ΠΕΛ 950 kW

Η μονάδα Βιοαέριο Πέλλας, δραστηριοποιείται στην παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια χώνευση αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων, διαθέτοντας επίσης μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από την καύση του βιοαερίου που παράγει. Έχει δυναμικότητα 0,95 MW και επεξεργάζεται απόβλητα 28.872 τόνους/έτος. Χρησιμοποιεί δεξαμενές παραλαβής (2), βάσεις από σκυρόδεμα στις οποίες εγκαθιστά container (3), αλλά χρησιμοποιεί και για χώρο ωρίμανσης του στερεού οργανικού λιπάσματος, κυκλικές δεξαμενές αναερόβιας χώνευσης, δεξαμενή για να αποθηκεύει το υγρό λίπασμα και ράμπα πλύσης οχημάτων. Η μονάδα διαθέτει εξοπλισμό κατάλληλο προς παραγωγή βιοαερίου, θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας και παρατίθεται παρακάτω:

- 2 δεξαμενές παραλαβής,
- 3 βάσεις σκυροδέματος, στις οποίες θα εγκατασταθούν containers,
- 2 κυκλικές δεξαμενές αναερόβιας χώνευσης, διαστάσεων D=25mm και H=8m,
- 1 βάση σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθεί ως χώρος ωρίμανσης του στερεού οργανικού λιπάσματος,
- 1 στεγανή τεχνητή λιμνοδεξαμενή (lagoon) αποθήκευσης του υγρού λιπάσματος,
- 1 ράμπα πλύσης των οχημάτων.

Η μονάδα παραλαμβάνει γενικά τις στερεές πρώτες ύλες, τις οποίες εκφορτώνει σε δεξαμενή στερεών, από την οποία στη συνέχεια οδηγούνται στον κεντρικό χωνευτήρα. Οι υγρές πρώτες ύλες συλλέγονται σε άλλη δεξαμενή ομογενοποίησης και αυτές που βρίσκονται σε ημίρρεστη κατάσταση οδηγούνται σε νέα δεξαμενή ανάμιξης, στην οποία προστίθενται και τα νερά πλύσης οχημάτων.

Σχετικά με τη μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης φτάνει περίπου το 40%, ενώ η μέγιστη θερμική ισχύς που μπορεί να παραχθεί από τη μηχανή είναι 582 kWth και ο μέγιστος θερμικός βαθμός απόδοσης είναι 24,8%. Ένα μέρος της θερμικής ενέργειας χρησιμοποιείται για τις ανάγκες της αναερόβιας χώνευσης, διότι είναι μια διαδικασία θερμοφιλή που απαιτεί θερμοκρασία περίπου 40 βαθμούς Κελσίου. Αντίστοιχα, ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής της μονάδας, διαθέτει όλη την ηλεκτρική ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Από την μονάδα παράγεται υγρό χωνεμένο υπόλειμμα, το οποίο δεν διαχωρίζεται και οδηγείται σε δεξαμενή τύπου lagoon. Έχει περιεκτικότητα 5,3% σε στερεά και η ομογενοποίηση του διασφαλίζεται με ανάδευση συνεχή σε δευτερεύον χωνευτήρα. Τέλος, το υγρό χωνεμένο υπόλειμμα αντλείται από τη δεξαμενή και μέσω βυτίου διατίθεται στις καλλιέργειες ως εδαφοβελτιωτικό.

Πίνακας 22: Παράμετροι λειτουργίας της μονάδας Βιοαέριο Πέλλας Α.Ε. ΒΙ.ΠΕΛ.

ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΠΕΛΛΑΣ Α.Ε. ΒΙ.ΠΕΛ	Παράμετρος	Τιμή
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Εγκατεστημένη ισχύς μονάδας (kW)	950
	Όγκος Βιοαντιδραστήρων/Χωνευτών (m³)	10.000
	Τύπος χωνευτών	Συνεχούς ροής
	Υλικό κατασκευής χωνευτών	Χαλύβδινος
	Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας MWh	8.000
	Ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας MWh	9.500
	Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ημέρες)	125
	Θερμοκρασία αναερόβιας χώνευσης °C)	40
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ	Ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου (m³/ημέρα)	12.000
	Μεθάνιο(%)	60
	Χρήση παραγόμενου βιοαερίου	-
	Παραγόμενο χώνεμα (tn/ημέρα)	70
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	Είδη εισερχόμενων πρώτων υλών	Φρούτα, λαχανικά, κοπριάς, ζωικά απόβλητα, τυρόγαλο

	Ποσότητα πρώτης ύλης (tn/έτος)	28.500
	Μονάδα παραλαβής αποβλήτων (m²)	300
	Ρυθμός τροφοδοσίας (tn/ημέρα)	80
	Αποθήκευση (m²)	300
	Προ-επεξεργασία	Ναι
	Παστερίωση	Ναι
	Πτητικά στερεά τροφοδοσίας (VS)	20-30%

Βιοενεργειακή Κρήτης Α.Ε 999 kW

Η μονάδα ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο, ισχύος 999kW, βρίσκεται στο Ηράκλειο της Κρήτης στην βιομηχανική περιοχή ΒΙ.ΠΕ Ηρακλείου. Αξιοποιεί οργανικά απόβλητα κτηνοτροφικής προέλευσης τα οποία είναι ενεργειακά μη επικίνδυνα. Συγκεκριμένα επεξεργάζεται απόβλητα κτηνοτροφείων, ελαιοτριβείων, τυροκομείων με σκοπό εν τέλει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της καύσης σε μηχανές εσωτερικής καύσης, του παραγόμενου από τη μονάδα βιοαερίου. Όμως αξίζει και πρέπει να αναφερθεί ότι εκτός από το βιοαέριο, παράγεται στη μονάδα και χωνεμένο υπόλειμμα, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό εδάφους.

Το χωνεμένο υπόλειμμα που θα παραλαμβάνεται, διαχωρίζεται σε υγρό και στερεό κλάσμα, εντός φυγόκεντρου διαχωριστή, με το υγρό να διοχετεύεται σε εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του Ηρακλείου για βιολογική επεξεργασία και μείωση μικροβιολογικού φορτίου, BOD και COD και το στερεό χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό.

Γενικά σε ημερήσια βάση, παρέχονται στο σταθμό απόβλητα 99 περίπου τόνων με περιεκτικότητα περίπου 12% σε στερεά, που αραιώνονται με νερό. Το αραιωμένο μίγμα οδηγείται σε δεξαμενή ειδική όπου θα παράγεται βιοαέριο μέσω της αναερόβιας χώνευσης. Πιο ειδικά, για τα απόβλητα σφαγείων, γίνεται κατάλληλη επεξεργασία με θρυμματισμό τους, προκειμένου να καταστραφεί πλήθος παθογόνων μικροοργανισμών.

Η παραγόμενη από τη μονάδα θερμική ενέργεια, διοχετεύεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στην εγκατάσταση βιοαερίου και συγκεκριμένα στο σύστημα παστερίωσης, στον αναερόβιο χωνευτή και ευρύτερα στις ηλεκτροπαραγωγικές ανάγκες της μονάδας. Από την άλλη το παραγόμενο βιοαέριο, ύστερα από καθαρισμό του και αφού η υγρασία

φτάσει σε επιθυμητά επίπεδα, οδηγείται στις μηχανές εσωτερικής καύσης, προκειμένου να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια. Παράλληλα, το σύστημα θα παράγει και θερμότητα εκτός από ηλεκτρική ενέργεια, που θα μπορεί να χρησιμοποιείται για να καλύπτει ανάγκες της μονάδας. Επιπλέον στη Μ.Ε.Κ θα υπάρχουν ειδικοί μηχανισμοί που θα ελέγχουν τα απορριπτόμενα στο περιβάλλον καυσαέρια.

Τέλος, αναφέρεται παρακάτω μια λίστα εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις της Βιοενεργειακής Κρήτης, προς παραγωγή ενέργειας και βιοαερίου :

- 2 υπέργειες, κυλινδρικές δεξαμενές όγκου 119 m³ έκαστη, για την αποθήκευση στερεής εισερχόμενης πρώτης ύλης,
- 2 υπόγειες, από οπλισμένο σκυρόδεμα δεξαμενές όγκου 80 m³ έκαστη, για την ανάμιξη και την αποθήκευση υγρών εισερχόμενων πρώτων υλών,
- 2 υπέργειες, μεταλλικές δεξαμενές όγκου 10 και 64 m³ αντίστοιχα, για την υποδοχή των αποβλήτων σφαγείων και για την ανάμιξη αυτών μετά το θρυμματισμό,
- 1 Βιοαντιδραστήρα: υπέργεια μεταλλική κυλινδρική δεξαμενή ωφέλιμου όγκου 3.898 m³ , όπου θα λαμβάνει χώρα η διεργασία αναερόβιας χώνευσης,
- 1 υπόγεια δεξαμενή όγκου 144 m³ , για την προσωρινή αποθήκευση του (στερεού/υγρού) χωνεμένου υπολείμματος πριν τον διαχωριστή,
- 1 φυγοκεντρικό διαχωριστή του χωνεμένου υπολείμματος (στερεού/υγρού), ισχύος 30kW,
- παστεριωτής, θρυμματιστής, πλάστιγγα, κλπ,
- 1 υπέργεια από οπλισμένο σκυρόδεμα δεξαμενή όγκου 100 m³ , για την αποθήκευση του στερεού χωνεμένου υπολείμματος,
- 2 μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) έκαστη συνδεδεμένη με ηλεκτρογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 250 kW_e,
- 1 πυρσό καύσης έκτακτου ανάγκης,
- μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης για την σύνδεση της μονάδας με το δίκτυο μέσης τάσης,
- 1 ορθογώνιο μεταλλικό κτίριο επιφάνειας 1.105 m² , όπου θα συστεγάζονται το σύστημα παραλαβής των πρώτων υλών, η παστερίωση, το σύστημα ελέγχου της μονάδας καθώς και ο υποσταθμός ανύψωσης τάσης,
- 1 εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της μονάδας.

Πίνακας 23: Παράμετροι λειτουργίας της μονάδας Βιοενεργειακή Κρήτης Α.Ε.

ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε	Παράμετρος	Τιμή
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Εγκατεστημένη ισχύς μονάδας (kW)	999
	Όγκος Βιοαντιδραστήρων/Χωνευτών (m³)	9.000
	Τύπος χωνευτών	Διαλείποντος έργου (batch)
	Υλικό κατασκευής χωνευτών	Ενισχυμένο σκυρόδεμα
	Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας MWh	-
	Ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας MWh	-
	Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ημέρες)	150
	Θερμοκρασία αναερόβιας χώνευσης °C)	40
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ	Ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου (m³/ημέρα)	-
	Μεθάνιο(%)	73
	Χρήση παραγόμενου βιοαερίου	Ηλεκτροπαραγωγή
	Παραγόμενο χώνεμα (tn/ημέρα)	60
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	Είδη εισερχόμενων πρώτων υλών	Κοπριά χοίρων, πουλερικών, ζωικά υποπροϊόντα σφαγείων, τεμαχιστηρίων και κρεοπωλείων, ληγμένα τρόφιμα από υπεραγορές, ορός γάλακτος
	Ποσότητα πρώτης ύλης (tn/έτος)	12.000
	Μονάδα παραλαβής αποβλήτων (m²)	1.800
	Ρυθμός τροφοδοσίας (tn/ημέρα)	60
	Αποθήκευση (m²)	-
	Προ-επεξεργασία	Ναι
	Παστερίωση	Ναι
	Πτητικά στερεά τροφοδοσίας (VS)	10-20%

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται η παραγωγική διαδικασία των μονάδων αναερόβιας χώνευσης και το σύνηθες διάγραμμα ροής, ο απαιτούμενος

σχεδιασμός και οι απαιτήσεις των μονάδων αυτών αλλά και ο απαιτούμενος εξοπλισμός σύμφωνα με τις απαντήσεις οι οποίες δόθηκαν.

6.2.3 Παραγωγική διαδικασία / Διάγραμμα ροής

Οι πρώτες ύλες όπως ενσιρώματα, απόβλητα τυροκομείων, ελαιουργείων, βιομηχανιών, κοπριές κ.λπ. που οδηγούνται προς επεξεργασία, σε μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου, συλλέγονται και αποθηκεύονται σε δεξαμενές χωρητικότητας, ενώ τα στερεά απόβλητα οδηγούνται σε δοχείο μίξης, όπου και αραιώνονται με μικροβιακή λάσπη.

Μετά την προ-επεξεργασία στην οποία υπόκεινται οι πρώτες ύλες, οι οποίες διαφέρουν ανάλογα με τη μονάδα παραγωγής βιοαερίου, τα απόβλητα οδηγούνται σε δεξαμενές για να ξεκινήσει η μετατροπή τους σε βιοαέριο και η αποδόμηση οργανικών ενώσεων. Τα υγρά απόβλητα από τη μονάδα, συλλέγονται σε κεντρική δεξαμενή, αναμιγνύονται και καταλήγουν στη μονάδα επεξεργασίας υγρών της μονάδας βιοαερίου (MEYMB). Η μονάδα αυτή περιλαμβάνει σύστημα διαχωρισμού στερεών, σύστημα επίπλευσης και εξισορρόπησης παροχής-φορτίου, καθώς και δεξαμενές διαφόρων χρήσεων (προαερισμού-καθίζησης, απονιτροποίησης, απομάκρυνσης φωσφόρου, καθαρών αποβλήτων, αφυδατωμένης ιλύος).

Ο εμβολιασμός των αποβλήτων πραγματοποιείται εντός δεξαμενών, παρουσία αναδευτήρων. Στη συνέχεια, τα απόβλητα αναμιγνύονται πλήρως και υδρολύονται τα βιοπολυμερή. Ακολουθεί η διαδικασία μεθανοποίησης οργανικού άνθρακα, όπου γίνεται μετατροπή οργανικού φορτίου σε βιοαέριο. Το παραγόμενο βιοαέριο σε επόμενο στάδιο, οδηγείται προς καθαρισμό, έτσι ώστε στη συνέχεια να υποστεί καύση στη Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ.). Στη πορεία, συλλέγεται και οδηγείται σε μονάδα αποθείωσης, προς απομάκρυνση θείου και υπολειμμάτων αυτού. Με έγχυση αντιοξειδωτικού οδηγείται στον πυθμένα δεξαμενών, στη συνέχεια οξειδώνεται παρουσία υγρού απόβλητου και τέλος οδηγείται στην επόμενη μονάδα συμπίκνωσης. Στο στάδιο του καθαρισμού, ψύχεται προκειμένου να απομακρυνθεί η υγρασία του.

Αξίζει να αναφερθεί ότι από το παραγόμενο βιοαέριο, ένα μέρος θερμογόνου δύναμης μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και μεγάλο μέρος της υπόλοιπης ανακτάται ως θερμική, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αναερόβια επεξεργασία για να διατηρήσει θερμοφιλες συνθήκες.

Εκτός από το παραγόμενο βιοαέριο σε μια μονάδα, προκύπτει και χωνεμένο υπόλειμμα (στερεά λάσπη), σχετικά με το οποίο, γίνεται διαχείριση, αποθηκεύεται προσωρινά για περίπου 2 μήνες σε κατάλληλη δεξαμενή, πριν μεταφερθεί ως εδαφοβελτιωτικό στους αγρούς. Συγκεκριμένα, παραμένει εντός δεξαμενών για να καταστραφούν όλες οι βλαβερές ουσίες και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό σε καλλιέργειες. Η διάθεση του πραγματοποιείται είτε με μορφή πολτού, είτε ύστερα από διαχωρισμό υγρής και στερεής φάσης.

6.2.4 Σχεδιασμός – Απαιτήσεις Μονάδων Βιοαερίου

6.2.4.1 Διαστασιολόγηση μονάδων βιοαερίου

Προκειμένου να εγκατασταθεί μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου, λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράμετροι όπως για παράδειγμα το να συμβάλλει ένα τέτοιο έργο στην προστασία του περιβάλλοντος και μείωση αποβλήτων, καθώς και να έχει ορισμένα κίνητρα οικονομικά αλλά και μη. Με την ανάπτυξη τέτοιων μονάδων, ασχολούνται κυρίως γεωργοί, παραγωγοί, ομάδες παραγωγών κλπ. Όμως για να έρθει εις πέρας ένα τέτοιο έργο χρειάζεται για αρχή η ιδέα και στη συνέχεια μια μελέτη σκοπιμότητας, συγκεκριμένη άδεια που εκδίδεται για την εγκατάσταση μονάδας και την παραγωγή βιοαερίου, ο σχεδιασμός κάθε λεπτομέρειας που αφορά τη μονάδα ως προς τις πρώτες ύλες, την παραγωγική διαδικασία, τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιεί κ.α.

Σε πρώτη φάση και πριν από κάθε άλλο βήμα, χρειάζεται να καταγραφούν οι διαθέσιμες πρώτες ύλες (τύπος και ποσότητα) που υπάρχουν στην περιοχή που πρόκειται να εγκατασταθεί η μονάδα. Ανάλογα με την κατηγορία των πρώτων υλών (ενεργειακές καλλιέργειες, κτηνοτροφικά και βιομηχανικά απόβλητα) και τη σύστασή τους, αξιολογείται προηγουμένως η δυναμικότητα που έχουν σε μεθάνιο και η περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά. Τα χαρακτηριστικά των πρώτων υλών δίνουν πληροφορίες για τη διεργασία που πρόκειται να ακολουθήσει. Αυτό που θα πρέπει να λαμβάνεται επίσης υπόψη σχετικά με την πρώτη ύλη, είναι οι δαπάνες που θα καταβάλλονται για την προμήθειά της στις εγκαταστάσεις μιας μονάδας (Achinis et al., 2016).

Ακολούθως, ανάλογα με το είδος των πρώτων υλών που εισέρχονται σε μια μονάδα, γίνεται διαστασιολόγηση ως προς το περιεχόμενο τους σε ξηρά ουσία, σε

μεθάνιο, καθώς και την ικανότητά τους για παραγωγή βιοαερίου. Για παράδειγμα όταν πρόκειται για πρώτη ύλη κτηνοτροφικής προέλευσης όπως στερεή ζωϊκή κοπριά από βοοειδή και χοίρους, διαφέρει το περιεχόμενό της ως προς τα διάφορα συστατικά σε κάθε περίπτωση. Το ίδιο συμβαίνει αντίστοιχα όταν πρόκειται και για υπολείμματα τροφών ως πρώτη ύλη. Αυτό που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι προκειμένου να υπολογιστεί για μια μονάδα βιοαερίου το μέγεθός της αλλά και η εγκατεστημένη ισχύς της όταν τροφοδοτείται από στερεή κοπριά ή υπολείμματα τροφίμων και καλλιεργειών, θα πρέπει αρχικά να υπολογιστούν ορισμένοι παράμετροι. Δηλαδή, θα πρέπει να καθοριστεί, ποιος θα είναι ο όγκος τους (m^3) που θα εισέρχεται στη μονάδα σε ημερήσια βάση προς επεξεργασία, αλλά και η περιεκτικότητα σε ολικά στερεά στην περίπτωση για παράδειγμα της κοπριάς. Αυτό που γίνεται προκειμένου να υπολογιστεί η δυνητική ηλεκτρική ισχύς είναι να πολλαπλασιαστεί ο ημερήσιος όγκος πρώτης της με τα αντίστοιχα kW που αντιστοιχούν στα κυβικά μέτρα (όγκο) της πρώτης ύλης ανά ημέρα. Το αποτέλεσμα που θα προκύψει, δίνει την πιθανή απάντηση για την ηλεκτρική εγκατεστημένη ισχύ μιας μονάδας βιοαερίου που πρόκειται να δημιουργηθεί. Ανάλογα με την προέλευση της πρώτης ύλης που θα επεξεργάζεται μια μονάδα, θα διαφέρει και το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος. Επίσης μια μονάδα με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη από 250kW δύσκολα επιβιώνει και θα πρέπει να βρει άλλους τρόπους για να μπορέσει να γίνει οικονομικά κερδοφόρα (ΥΠΕΚΑ, 2020). Οι πρώτες ύλες με περιεκτικότητα σε ξηρή ύλη λιγότερο από 20-25% χρησιμοποιούνται για υγρή χώνευση και ανήκουν σε αυτές τα οργανικά απόβλητα συνήθως και τα υπολείμματα από βιομηχανίες τροφίμων. Για ξηρή χώνευση, χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες με περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία 35%. Ο τύπος και η ποσότητα πρώτης ύλης που θα αποτελέσει και το μίγμα υποστρώματος για την αναερόβια χώνευση, εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε ξηρά ύλη (%DM) αλλά και από την αντίστοιχη περιεκτικότητα σε σάκχαρα, λιπίδια και πρωτεΐνες.

6.2.4.2 Χωροθέτηση και εφοδιασμός μονάδων με πρώτη ύλη

Μια μονάδα βιοαερίου που πρόκειται να εγκατασταθεί σε μια περιοχή δεν είναι απλή υπόθεση. Προκειμένου λοιπόν για την επιτυχή εγκατάστασή της, πρέπει να ληφθούν υπόψη παράμετροι που θα επιτρέψουν την υλοποίηση ενός τέτοιου έργου

αλλά και θα τη διευκολύνουν σημαντικά. Κατάλληλη θεωρείται μια θέση που βρίσκεται μακριά από κατοικημένες περιοχές για αποφυγή θορύβου και οσμών, που η κατεύθυνση του αέρα είναι τέτοια ώστε πιθανή παραγωγή οσμών να μην μεταφερθεί προς κατοικημένες περιοχές, μια θέση με εύκολη πρόσβαση στο δίκτυο ηλεκτρισμού σε περίπτωση παραγωγής ενέργειας και πώλησής της στη συνέχεια αλλά και κοντά σε οδικό δίκτυο για την μεταφορά πιθανής παραγωγής χωνέματος από τη μονάδα. Επιπλέον, πριν την κατασκευή της, γίνεται υποχρεωτικά έλεγχος των εδαφολογικών στοιχείων της περιοχής και πιθανών κινδύνων από φυσικά φαινόμενα όπως η πλημμύρα. Όσο πιο κοντά στην παραγωγή πρώτης ύλης βρίσκεται, ελαχιστοποιούνται οι αποστάσεις αλλά και ο χρόνος για τη μεταφορά της στη μονάδα. Από την άλλη, η έκταση στην οποία πρόκειται να εγκατασταθεί μια μονάδα βιοαερίου εξαρτάται από την εγκατεστημένη ισχύ που θα έχει και την τεχνολογία που έχει επιλεγεί για τη λειτουργία της μονάδας. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη η εγκατεστημένη ισχύς, τόσο μεγαλύτερη και η έκταση που απαιτείται.

Σε επόμενη φάση, προσχεδιάζονται οι πιθανοί τύποι εφοδιασμού μονάδας βιοαερίου με πρώτη ύλη. Τα πιθανά σχήματα εφοδιασμού μπορεί να είναι ένας ή και πολλοί προμηθευτές. Ένας προμηθευτής, για παράδειγμα ένας παραγωγός θα πρέπει να διαθέτει αρκετή πρώτη ύλη (γεωργοκτηνοτροφικά απόβλητα κλπ) για να μπορεί να εφοδιάζει μια μονάδα και από την άλλη οι αρκετοί προμηθευτές (παραγωγοί, αγροκτήματα) συνεργάζονται προς εφοδιασμό μονάδων βιοαερίου με πρώτη ύλη. Το σημαντικό και στις δύο περιπτώσεις είναι να εξασφαλίζεται ο μακροχρόνιος εφοδιασμός, κάτι που στην περίπτωση του ενός προμηθευτή είναι απλό, ενώ στην περίπτωση των αρκετών απαιτείται σύμβαση που θα ορίζει το χρόνο, την ποσότητα και ποιότητα της πρώτης ύλης, αλλά και τις προϋποθέσεις σχετικά με τις πληρωμές.

6.2.4.3 Αδειοδότηση και έναρξη λειτουργίας μονάδων βιοαερίου

Για την οικοδομική άδεια απαιτείται συμμόρφωση του έργου με την εθνική νομοθεσία κυρίως για ζητήματα ως προς το χειρισμό, τις εκπομπές της μονάδας, το θόρυβο, την ασφάλεια κατά την εργασία, τις πιθανές επιπτώσεις σε υπόγεια ύδατα κ.α. Από την άλλη, η έναρξη λειτουργίας μιας μονάδας διεξάγεται από ανθρώπους που είναι εξοικειωμένοι ως προς το σχεδιασμό της. Πριν τη λειτουργία της, ελέγχονται όλοι οι παράμετροι που πρέπει να τηρούνται σχετικά με την οικοδομική άδεια, καθώς για να τεθεί σε λειτουργία είναι απαραίτητη η παρουσία και ο χειρισμός της εκκίνησης από

την εταιρία που σχεδίασε τη μονάδα. Σε επόμενο στάδιο, ξεκινούν ένα ένα τα στάδια παραγωγικής διαδικασίας να λαμβάνουν χώρα και να εκτελείται η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Ελέγχονται οι χρόνοι λειτουργίας, η θερμοκρασία κατά τη θέρμανση πρώτης ύλης, ο χρόνος συντήρησης και πολλοί άλλοι βασικοί παράμετροι που συμβάλλουν στην ομαλή λειτουργία της μονάδας (ΥΠΕΚΑ, 2020; ΦΕΚ Α' 129/2006).

6.2.4.4 Ασφάλεια μονάδων και πιθανοί κίνδυνοι

Μια μονάδα βιοαερίου μπορεί να λειτουργήσει σωστά και με ασφάλεια, προλαμβάνοντας προηγουμένως για πιθανούς κινδύνους ως προς το προσωπικό που εργάζεται αλλά και ως προς το περιβάλλον. Για αυτό το λόγο κατά την έκδοση οικοδομικής άδειας ελέγχονται και εγκρίνονται διάφορα ζητήματα ασφαλείας που είναι απαραίτητα προκειμένου να αποφευχθούν βλάβες από πιθανή πυρκαγιά, μηχανικούς κινδύνους, απελευθέρωση ρύπων κατά τη διάθεση αποβλήτων, πλημμύρα, εκπεμπόμενο θόρυβο κλπ. Έτσι ελέγχονται σε κάθε περίπτωση η ηλεκτρική και θερμική ασφάλεια, η υγιεινή, η στατικότητα συσκευών, η πρόληψη διαρροών και οι αντικεραυνικοί κίνδυνοι.

Πιο συγκεκριμένα, ο κίνδυνος πυρκαγιάς είναι μεγαλύτερος κυρίως κοντά σε δεξαμενές αερίου και χωνευτές, για αυτό και τηρούνται συγκεκριμένα μέτρα ασφαλείας και προστασίας. Αξίζει να αναφερθεί ότι, ορισμένες ιδιότητες του βιοαερίου είναι υπεύθυνες και το καθιστούν εύφλεκτο, όπως για παράδειγμα σε ποια θερμοκρασία αναφλέγεται, ποια είναι η πυκνότητά του και η θερμογόνο δύναμη αλλά και ποια η αναλογία πυκνότητας αερίου προς τον αέρα. Άλλος ένας κίνδυνος είναι η τοξική επίδραση που έχει το υδρόθειο και αναλόγως σε ποια συγκέντρωση βρίσκεται στο βιοαέριο, μπορεί να προκαλέσει από ερεθισμό έως και γρήγορο θάνατο ή παράλυση. Όμως εκτός από τους κινδύνους δηλητηρίασης και ασφυξίας, πιθανοί είναι και οι κίνδυνοι από ατυχήματα και τραυματισμούς κατά τη χρήση μηχανημάτων (ηλεκτροπληξίες, εγκαύματα, πτώσεις κ.α.) (Agroenergy, 2020).

6.2.5 Λίστα εξοπλισμού

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, όλοι οι σταθμοί παραγωγής βιοαερίου, θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, συνοδεύονται από μια λίστα εξοπλισμού η οποία για κάθε μονάδα είναι διαφορετική ως προς το είδος, το μέγεθος, τα απόβλητα που επεξεργάζεται, το αν παράγει ενέργεια ή όχι και τα βασικά τεχνικά

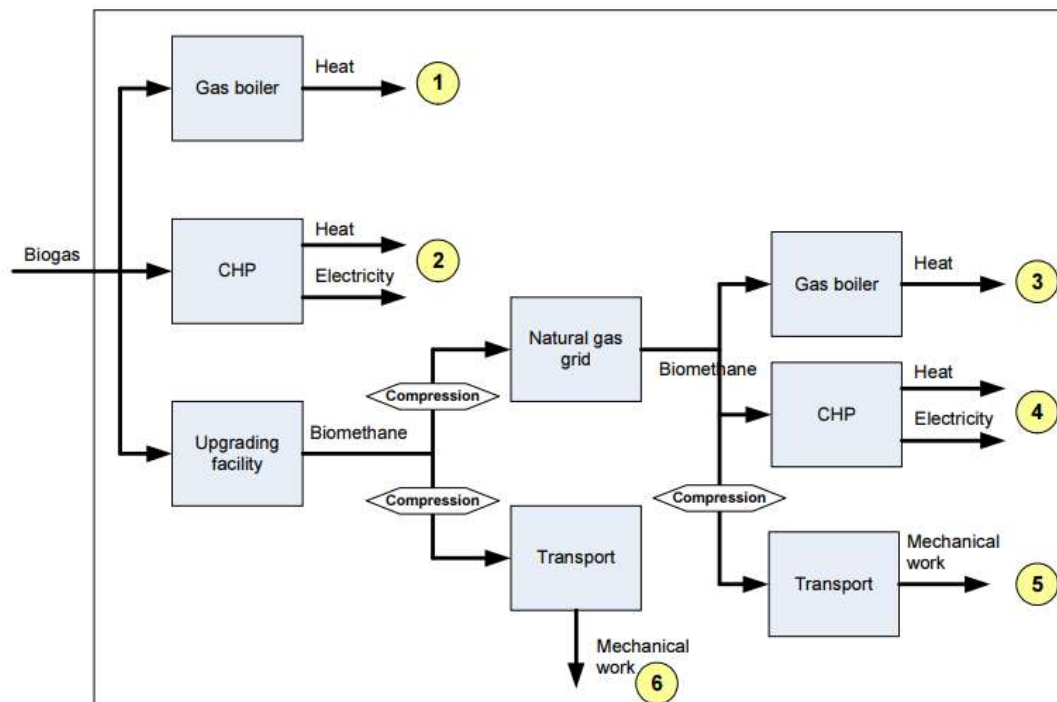
χαρακτηριστικά της. Όμως για όλες τις μονάδες από τη στιγμή που παράγεται βιοαέριο, είναι δεδομένη η ύπαρξη αντιδραστήρων ζύμωσης πρώτων υλών. Για τις πρώτες ύλες, είναι απαραίτητες οι δεξαμενές υποδοχής στο αρχικό στάδιο που εισέρχονται στη μονάδα, οι δεξαμενές ανάμειξης και ομογενοποίησής τους, αλλά και οι δεξαμενές παστερίωσης, μόνο στην περίπτωση που λαμβάνει χώρα ως διαδικασία σε μια μονάδα. Στη συνέχεια για την παραγωγή βιοαερίου το ομογενοποιημένο και παστεριωμένο δείγμα οδηγείται σε αντιδραστήρες χώνευσης, προκειμένου να λάβει χώρα η αναερόβια χώνευση και να ξεκινήσει η παραγωγή βιοαερίου. Ενώ, σε μονάδες που παράγεται ηλεκτρική είτε θερμική ενέργεια, διότι αυτό δεν συμβαίνει σε όλες, απαιτείται η ύπαρξη μηχανών εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) στις οποίες επρόκειτο να καεί το βιοαέριο προς παραγωγή ενέργειας. Στην περίπτωση παραγωγής ενέργειας σε μια μονάδα, οι μηχανές εσωτερικής καύσης συνδέονται με ηλεκτρογεννήτριες, επομένως είναι απαραίτητη στη λίστα εξοπλισμού η ύπαρξή τους. Σε κάθε μονάδα επομένως όπου παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο, βρίσκεται εγκατεστημένος σταθμός ηλεκτροπαραγωγής και συνήθως εάν η μονάδα παρέχει ηλεκτρική ενέργεια κάπου αλλού, τότε υπάρχει σύνδεση με δίκτυο διανομής.

Γενικά για την περαιτέρω επεξεργασία βιοαερίου αφού παραχθεί σε μια μονάδα, ακολουθούν διεργασίες που είναι απαραίτητες προτού αυτό χρησιμοποιηθεί. Οι διεργασίες αυτές αφορούν στην απομάκρυνση υδροθείου και υδρατμών και εκτελούνται με τη βοήθεια συστημάτων αποθείωσης και αφύγρανσης. Επιπλέον, από μια μονάδα όπως είναι γνωστό δεν προκύπτει μόνο βιοαέριο αλλά και χωνεμένο υπόλειμμα το οποίο διαχωρίζεται σε στερεή και υγρή φάση και οδηγείται σε κατάλληλες δεξαμενές αποθήκευσης, προκειμένου να ελεγχθούν τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά, προτού διατεθεί για γεωργική χρήση ως εδαφοβελτιωτικό (Ελληνικός Σύνδεσμος Παραγωγών Βιοαερίου, 2020).

7 ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΧΩΝΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

Το βιοαέριο, θα αποτελέσει για το μελλοντικό ενεργειακό εφοδιασμό ένα πολύ σημαντικό τμήμα του, διότι αναμένεται να συμβάλλει σε υψηλό ποσοστό για Ανανεώσιμη Ενέργεια στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Κατά την παραγωγή του, καίγεται σε λέβητες έτσι ώστε να παρέχει θερμότητα ή ηλεκτρισμός, καθώς επίσης μπορούν να δημιουργηθούν χημικές ενώσεις εξαιτίας του, αλλά μπορεί και να τροφοδοτήσει αγωγό. Αποτελείται κατά κύριο λόγο από, μεθάνιο 55%-70%, διοξείδιο του άνθρακα 30-45% και ελάχιστη ποσότητα άλλων αερίων όπως υδρογόνο, υδρόθειο, αμμωνία και άζωτο. Έχει κατώτερη θερμογόνο δύναμη 20-25 MJ/m³, και προκειμένου να παραχθεί ενέργεια και θερμότητα, προηγείται η τροφοδοσία καυστήρων αερίου ή αεροστροβίλων. Από το 2016, αναμενόταν έως και το 2020, να είχε επιτευχθεί από τουλάχιστον 10 Κράτη Μέλη συνολικό πλεόνασμα 2% της συνολικής ΑΠΕ, συγκριτικά με το στόχο για το μερίδιο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα, το βιοαέριο σαν προϊόν της Αναερόβιας Χώνευσης, καίγεται παράγοντας έτσι θερμότητα και ηλεκτρισμό ή μπορεί να μεταποιηθεί σε ανανεώσιμο φυσικό αέριο (το βιομεθάνιο), καθώς και καύσιμα μεταφοράς. Πολύ σημαντικό είναι να τονιστεί, ότι οι αποδόσεις του βιοαερίου εξαρτώνται από την βιοαποικοδομησιμότητα του υποστρώματος που χρησιμοποιείται, τον τύπο και το μείγμα των πρώτων υλών, τις μεθόδους προκαταρκτικής επεξεργασίας (χημική, ατμού, ενζυμική, ανάμιξη), τα θρεπτικά συστατικά που συμβάλλουν για την ανάπτυξη βακτηρίων, το pH, την θερμοκρασία και το κλίμα. Για περισσότερη κατανόηση, ένα εργοστάσιο παραγωγής βιοαερίου με την μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης, μπορεί να μοιάζει με το παρακάτω στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 18) (Capodaglio et al., 2016).



Εικόνα 18: Απεικόνιση λειτουργίας εργοστασίου παραγωγής βιοαερίου (Carpodaglio et al., 2016).

Αναφορικά με την χρήση του παραγόμενου βιοαερίου, και τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να αξιοποιηθεί, αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει η δυνατότητα να υποβληθεί σε μεταγενέστερη επεξεργασία προς αφαίρεση διοξειδίου του άνθρακα, νερού και υδροθείου, προκειμένου να μετατραπεί σε βιομεθάνιο και να έχει υψηλότερη θερμική περιεκτικότητα, αλλά και να είναι λιγότερο διαβρωτικό, αντιπροσωπεύοντας έτσι ένα πολύτιμο καύσιμο. Από τις πιο συνηθισμένες μετεπεξεργασίες είναι η τεχνολογία καθαρού νερού και η τεχνολογία PSA (Swing Adhesion). Αφού ολοκληρωθούν τέτοιου είδους επεξεργασίες, το υπολειμματικό αέριο περιέχει συνήθως ένα ποσοστό μεθανίου μεγαλύτερο από 97%, με πιθανές τελικές χρήσεις που δεν διαφέρουν και πολύ από αυτές του φυσικού αερίου. Η τελική χρήση που θα προτιμηθεί, εξαρτάται προφανώς από τις συνθήκες της χώρας παραγωγής. Εάν δηλαδή προτιμάται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ως επί το πλείστον, τότε το ακατέργαστο βιοαέριο αναβαθμίζεται σε βιομεθάνιο.

Η αναβάθμιση του βιοαερίου από την άλλη, είναι μια τεχνολογία όχι μόνο σχετικά νέα αλλά και δαπανηρή. Σε κάποιες χώρες κιάλας, όπως για παράδειγμα στην Ισπανία η παραγωγή του είναι προαιρετική, σε αντίθεση με χώρες όπως Αυστρία, Ελβετία, Σουηδία, Γερμανία όπου η παραγωγή είναι πιο διάχυτη και το βιομεθάνιο

είναι πιο ακριβό από το φυσικό αέριο. Γενικότερα, το βιοαέριο μπορεί να ακολουθήσει διάφορες διαδρομές είτε μέσω καύσης για παραγωγή θερμότητας, είτε με συνδυαστική παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΘ), είτε να αναβαθμιστεί σε βιομεθάνιο και να χρησιμοποιηθεί αργότερα ως καύσιμο οχημάτων ή να εγχυθεί σε δίκτυο φυσικού αερίου. Ανταγωνίζεται το φυσικό αέριο και συμβάλλει στην επίτευξη στόχων ΑΠΕ. Για κάθε μια χώρα ξεχωριστά, συμβάλλει περισσότερο σε έναν τομέα. Υπάρχουν διάφοροι οδοί για τη μετατροπή του σε ενέργεια όπως για παράδειγμα η θέρμανση, η συμπαραγωγή θερμότητας και ενέργειας (CHP), η θέρμανση βιομεθανίου, βιομεθάνιο και CHP, βιομεθάνιο με έγχυση για μεταφορά και απευθείας μεταφορά βιομεθανίου (Dzene et al., 2014).

Αξίζει εκτός από τη χρήση του βιοαερίου στην αναερόβια χώνευση και στην παραγωγή ενέργειας, να αναφερθούν τα περιβαλλοντικά οφέλη που αποφέρει. Επειδή, μέσα από όλη την παραπάνω διαδικασία η αξιοποίηση αποβλήτων είναι υποχρεωτική για να επέλθει το επιθυμητό αποτέλεσμα, ελαττώνονται κατά πολύ οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Το πραγματικό όφελος από την αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων με βιοαέριο, θα εξαρτηθεί από τη σύνθεση του υποστρώματος που χρησιμοποιείται και από άλλους λειτουργικούς παράγοντες. Για αυτό το λόγο, άμεση επίπτωση στην ένταση περιβαλλοντικών προβλημάτων έχει η επιλογή υποστρώματος, η τεχνολογία που υιοθετείται και οι πρακτικές που επιχειρούνται (Dzene et al., 2014).

Στη δεύτερη φάση επεξεργασίας αποβλήτων, λαμβάνει χώρα εκτός από την παραγωγή βιοαερίου και η παραγωγή χωνέματος. Το χώνεμα, αποτελεί το υπόλειμμα που παραμένει στον χωνευτή όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία της Α.Χ. και έχει παραχθεί ήδη το βιοαέριο. Καθίσταται εξαιρετικό εδαφοβελτιωτικό, κατάλληλο ως οργανικό λίπασμα αφού εκτελεστούν πρώτα οι αντίστοιχες σε κάθε περίπτωση πρακτικές. Ορισμένες από αυτές τις πρακτικές είναι η ιζηματογένεση, ο διαχωρισμός, η αντίστροφη όσμωση, η υπερδιήθηση, όπου μπορούν να μετατρέψουν το χώνεμα σε υγρό ή στερεό λίπασμα καλής ποιότητας, ανάλογα πάντα από την τεχνική που ακολουθείται. Είναι πλέον προφανές σε αρκετές περιπτώσεις, ότι το χωνεμένο υπόλειμμα διανέμεται σε αγρούς σαν εδαφοβελτιωτικό και έχει γνωρίσει μεγάλη επιτυχία, γεγονός που διαπιστώνεται αφού έχει διπλασιαστεί η παραγωγή και τα έξοδα σε λιπάσματα έχουν μειωθεί σημαντικά. Το χώνεμα μπορεί να προσφέρει στο έδαφος

ιδιότητες οι οποίες θα φανούν σημαντικές για την ανάπτυξη φυτών. Όσο παραμένει στον αγρό, με τη βοήθεια μικροοργανισμών μετατρέπεται σε οργανική ουσία η οποία στην πορεία αποσυντίθενται και είναι διαθέσιμη προς αξιοποίηση από τα φυτά. Το χωνεμένο υπόλειμμα με λίγα λόγια αποτελεί λύση ως προς την βελτίωση γονιμότητας υποβαθμισμένων γεωργικών εδαφών, αφού τα στοιχεία που εμπεριέχει είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την γεωργική παραγωγή (Dzene et al., 2014).

8 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ / ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διαδικασία της Αναερόβιας Χώνευσης εφαρμόζεται αρκετά χρονιά στην Ελλάδα και ευτυχώς έχει γνωρίσει μεγάλη εξέλιξη εξαιτίας της εξέλιξης της μικροβιολογίας του βιοαερίου. Όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και στην Ευρώπη, η διαδικασία παραγωγής βιοαερίου από γεωργοκτηνοτροφικά απόβλητα και υπολείμματα, προωθείται και συγκεκριμένα γνωστοποιείται ο ρόλος της μεθόδου (A.X.) που χρησιμοποιείται για τον σκοπό αυτό. Είναι αξιοσημείωτα ευχάριστο το γεγονός ότι γίνονται προσπάθειες και στρέφεται μεγάλο ενδιαφέρον γύρω από την παραγωγή βιοαερίου και κατ' επέκταση ενέργειας. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματά της, συγκαταλέγεται η παραγωγή ενέργειας και βιοαερίου το οποίο στη συνέχεια μπορεί να καθαριστεί από προσμίξεις αλλά και να καεί και να δώσει ενέργεια θερμική καθώς και ηλεκτρική. Επιπλέον η δαπάνη ενέργειας που απαιτείται κατά την αναερόβια επεξεργασία είναι μικρή προκειμένου να επεξεργαστούν απόβλητα. Από την άλλη όμως, είναι μια μέθοδος σχετικά αργή, με μικρό ρυθμό ανάπτυξης μεθανογόνων βακτηρίων, μια μέθοδος που δημιουργεί δυσοσμία κατά την εκτέλεση και στην οποία με δυσκολία καταστρέφονται παθογόνοι μικροοργανισμοί. Παρόλα αυτά, είναι μια σύγχρονη τεχνολογία για την Ελλάδα, από την οποία η χώρα παραδειγματίζεται και επιδιώκει την αλλαγή ειδικότερα στον τομέα της εκπομπής ρύπων προς το περιβάλλον και κατά συνέπεια της μείωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Όσον αφορά τα προβλήματα ή τα εμπόδια που μπορούν να προκληθούν εξαιτίας της αναερόβιας χώνευσης ή μάλλον κατά την διάρκεια εκτέλεσής της, αφορούν περισσότερο τεχνικά ζητήματα. Συγκεκριμένα, ένα πρόβλημα μπορεί να εστιάσει σε

ξένες ύλες (πέτρες κ.α.) που μπορεί να βρίσκονται μέσα στα απόβλητα που στη συνέχεια υπόκεινται σε επεξεργασία και οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν πρόβλημα στα μηχανήματα που υπάρχουν στη μονάδα όπως για παράδειγμα στις αντλίες, στους αναδευτήρες κ.α. Από την άλλη, είναι πολύ σημαντικό να ελέγχεται πάντα πριν από οποιαδήποτε επεξεργασία, η σύνθεση της πρώτης ύλης και του υποστρώματος που επιλέγονται. Αυτό θα πρέπει να γίνεται επιμελώς, διότι η αρχική σύνθεση στην πρώτη ύλη θα επηρεάσει και την τελική σύνθεση του βιοαερίου που θα παραχθεί. Εκτός όμως από τη σύνθεση του επιλεγμένου υποστρώματος, κρίσιμη καθίσταται και η περιεκτικότητά του σε νερό που ως λογικό επακόλουθο είναι η επιρροή που ασκεί στο παραγόμενο βιοαέριο.

Παράλληλα με την ανάπτυξη της διαδικασίας την αναερόβιας χώνευσης στην Ελλάδα, η προώθηση των ΑΠΕ βασίζεται στις προτεραιότητες που έχει θέσει η χώρα για την ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την μείωση αερίων του θερμοκηπίου αλλά και στο δυναμικό της. Η υλοποίηση γενικότερα έργων σχετικά με το βιοαέριο απαιτεί να ληφθούν διάφοροι παράγοντες υπόψη όπως τεχνολογικοί, κοινωνικοί, περιβαλλοντικοί και οικονομικοί που κρίνονται απαραίτητοι για τον προσεκτικό σχεδιασμό έργων βιοαερίου.

Στην Ελλάδα, προκειμένου να υλοποιηθούν μονάδες μικρής αλλά και μεγάλης κλίμακας για την παραγωγή βιοαερίου, παρόλα τα εμπόδια σχετικά με την ενημέρωση, την εμπειρία, τα κέρδη, τις διαδικασίες αδειοδότησης, τα χρηματοοικονομικά μεγέθη και άλλα που πρέπει να ξεπεραστούν, η νομοθεσία θα πρέπει παράλληλα με την οικονομία να βελτιώσουν ακόμη περισσότερο το πλαίσιο παραγωγής βιοαερίου στη χώρα, με σκοπό να ξεπεραστούν τυχόν εμπόδια που συνεχίζουν να δυσχεραίνουν την όλη διαδικασία. Το νέο νομοθετικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ, σε συνδυασμό με τα μεγάλα πλεονεκτήματα που διαθέτει το βιοαέριο, μπορούν να εξασφαλίσουν την αιεφορία της ελληνικής βιομηχανίας και κτηνοτροφίας, όπως άλλωστε σε πολλές χώρες της ευρωπαϊκής ένωσης.

Στην παρούσα εργασία, αναπτύχθηκε η αναερόβια χώνευση αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων, μια καινοτόμα μέθοδος διαχείρισης αποβλήτων η οποία έρχεται να βοηθήσει στη διαχείριση και επεξεργασία αυτών, προς όφελος της οικονομίας αλλά και του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, οι μονάδες που απασχολούνται στην Ελλάδα με την επεξεργασία αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων είναι 24 και από

αυτές, ανταποκρίθηκαν στο ηλεκτρονικό ερωτηματολόγιο οι 6. Γενικά, για μια χώρα όπως είναι η Ελλάδα, οι μονάδες αναερόβιας χώνευσης για αγροτοβιομηχανικά απόβλητα είναι αρκετές και αυξήθηκαν απότομα, με την πάροδο των χρόνων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν από το ηλεκτρονικό ερωτηματολόγιο, προέκυψαν στοιχεία σχετικά με το είδος των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται, τις συνθήκες επεξεργασίας τους, τη χρήση παραγόμενου βιοαερίου, αλλά και τα υλικά κατασκευής χωνευτών. Τα κυριότερα είδη πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται προς επεξεργασία από τις μονάδες αναερόβιας χώνευσης, είναι το ενσίρωμα καλαμποκιού, υπολείμματα ελαιοτριβείων, κοπρίες (χοίρων, πουλερικών, υποπροϊόντα σφαγείων), τυρόγαλο, κατσίγαρος, φυτικά υπολείμματα, πούλπες φρούτων και υπολείμματα βιομηχανιών τροφίμων. Ωστόσο, με σημαντικό ποσοστό (83,3%) ανταποκρίθηκαν θετικά οι μονάδες σχετικά με την εκτέλεση παστερίωσης στις εγκαταστάσεις τους. Το μεγαλύτερο ποσοστό μονάδων χρησιμοποιεί χωνευτές από ενισχυμένο σκυρόδεμα, συνεχούς ροής με θερμοκρασία αναερόβιας χώνευσης που κυμαίνεται μεταξύ 40 και 42 βαθμούς Κελσίου. Το παραγόμενο βιοαέριο που προκύπτει από τις μονάδες χρησιμοποιείται κυρίως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και σε κάποιες περιπτώσεις για θέρμανση χωνευτών και παστερίωση. Το βιοαέριο αποτελεί το μεγαλύτερο όφελος της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης, προς μείωση αέριων ρύπων, μείωση φαινομένου του θερμοκηπίου, αποφυγή χρήσης άλλων ειδών καυσίμων, με αποτέλεσμα να εξελίσσεται και να γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη στη χώρα η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης.

Επιπλέον, ένας λόγος που η κατασκευή μονάδων αναερόβιας χώνευσης για τη διαχείριση αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων αξίζει, είναι η παραγωγή χωνεμένου υπολείμματος και η μετέπειτα χρήση του. Ημερησίως, παράγεται από τις μονάδες αυτές για τις οποίες συλλέχθηκαν στοιχεία, χωνεμένο υπόλειμμα σε ποσότητα εύρους 60-900 τόνους. Αυτό σημαίνει ότι η παραγωγή χωνεμένου υπολείμματος αποφέρει οφέλη στη συνέχεια για τις καλλιέργειες από τη στιγμή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό εδάφους στους αγρούς. Το ερώτημα που προκύπτει από όλα τα παραπάνω είναι, εάν οι μονάδες που υπάρχουν στη χώρα είναι αρκετές για να διαχειριστούν τα παραγόμενα απόβλητά της. Η απάντηση είναι σχετική, διότι κάθε μονάδα αναερόβιας χώνευσης έχει διαφορετική εγκατεστημένη ισχύ, άρα και διαφορετική δυναμικότητα, συνεπώς και άλλη δυνατότητα επεξεργασίας αποβλήτων προς παραγωγή αντίστοιχης ποσότητας

βιοαερίου σε κάθε περίπτωση. Ευτυχώς, είναι μια μέθοδος και μια διαδικασία που έχει γνωρίσει ο άνθρωπος και προς όφελος δικό του, αλλά και του περιβάλλοντος πρωτίστως, αποφέρει σημαντικά οφέλη, προκειμένου για την μείωση επιβαρύνσεων που προκαλούν τυχόν αέριοι ρύποι και ορυκτά καύσιμα. Από τη στιγμή που η περιβαλλοντική επιβάρυνση του πλανήτη εντείνεται εξαιτίας διαφόρων επιβλαβών πηγών, ποτέ δεν θα είναι αρκετός ο αριθμός μονάδων αναερόβιας χώνευσης, γιατί πάντα θα υπάρχουν και αδυναμίες ως προς το οικονομικό, το τεχνικό κομμάτι κατασκευής τέτοιου είδους μονάδων, αλλά και ως προς τη διαδικασία που ακολουθείται για να κατασκευαστούν από πλευράς νομοθεσίας, χωροθέτησης και αδειοδοτήσεων.

Συμπερασματικά, ο σχεδιασμός τέτοιου είδους μονάδων δεν είναι απλή υπόθεση, αλλά αντιθέτως είναι μια εκτενής διαδικασία κατά την οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες όπως για παράδειγμα, παράμετροι χωροθέτησης εγκαταστάσεων, νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με τα παραγόμενα προϊόντα και τις πρώτες ύλες, σχετικές αδειοδοτήσεις εγκατάστασης της μονάδας, επεξεργασίας προϊόντων και παραγωγής τους. Θα πρέπει να ληφθούν επίσης υπόψη παράγοντες σχετικά με πιθανούς κινδύνους και προβλήματα προς αποφυγή στις εγκαταστάσεις κ.α. Χωρίς δεύτερη σκέψη όμως, η κατασκευή μονάδων αναερόβιας χώνευσης αν αναλογιστούμε τα οφέλη της και παρόλα τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργεί, τα πρώτα είναι περισσότερα και αξίζει την προσπάθεια να συνεχίσει να λαμβάνει χώρα, να εξελιχθεί ακόμη περισσότερο και να διαδοθεί ο τρόπος και οι μέθοδοι λειτουργίας της όπου αυτό είναι δυνατό.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι – ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΠΡΟΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

1. Γενικά στοιχεία Μονάδας Αναερόβιας Χώνευσης (ΑΧ)

Όνομα Επιχείρησης :

.....
.....

Νομός:

.....
.....

Δήμος/Κοινότητα:

.....
....

Διεύθυνση:

.....
.....

Συντεταγμένες Θέσης: Χ:.....Υ:

Τηλέφωνο επικοινωνίας:

.....

Υπεύθυνος επικοινωνίας:

.....

Email:

.....
.....

Εγκατεστημένη ισχύς Μονάδας (kW):

.....

2. Πρώτες ύλες

Είδη Εισερχόμενων πρώτων υλών:

.....

Ποσότητες (tn/έτος):

.....

Μονάδα Παραλαβής αποβλήτων (m²):

.....

Αποθήκευση (m²):

.....

.....

Προ-επεξεργασία: Ναι Όχι

Παστερίωση: Ναι Όχι

Πτητικά στερεά τροφοδοσίας (VS): 10-20% 20-30% 30-40% 40-50%

3. Μονάδα AX

Όγκος βιοαντιδραστήρων – χωνευτών (m³):

.....

Υλικό κατασκευής χωνευτών: Ενισχυμένο σκυρόδεμα Χαλύβδινος

Τύπος χωνευτών: Διαλείποντος έργου (Batch) Συνεχούς ροής Άλλο:

.....

Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ημέρες):

.....

Θερμοκρασία αναερόβιας χώνευσης (°C):

.....

Ρυθμός τροφοδοσίας (tn/ημέρα):

.....

4. Προϊόντα Μονάδας AX

Ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου (m³/ημέρα):

.....

Μεθάνιο

(%):.....

.....

Ετήσια Παραγωγή θερμικής ενέργειας (MW):

.....

Ετήσια Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MW):

.....

Χρήση παραγόμενου βιοαερίου:

.....

Παραγόμενο Χώνεμα (tn/ημέρα):

.....

5. Συνεργασία με Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Θα σας ενδιέφερε να σας σταλεί ΔΩΡΕΑΝ δείγμα βιο-ενισχυτή για αύξηση του βιοαερίου: Ναι Όχι

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

1. Abouelenien, F., Namba, Y., Kosseva, M., Nishio, N., Nakashimada, Y., 2014. Enhancement of methane production from co-digestion of chicken manure with agricultural wastes. *Bioresour. Technol.* 159, 80–87.
2. Achinas, S., Euverink, G.L.W., 2016. Theoretical analysis of biogas potential prediction from agricultural waste. *Resource efficient technol.* 2, 143-147.
3. Ahmad, T., Aadil, R.M., Ahmed, H., Rahman, U., Soares, B., Souza, S.L.Q., Pimentel, T.C., Scudino, H., Guimaraes, T., Esmerino, E.A., Freitas, M., Almada, R.B., Vendramel, S.M.R., Silva, M.C., Cruz, A.G., 2019. Treatment and utilization of dairy industrial waste. *Food science and technology*, 39, 3.
4. Alatzas, S., Moustakas, K., Malamis, D., Vakalis, S., 2019. Biomass Potential from Agricultural Waste for Energetic Utilization in Greece. *Energies techn.*, 12, 1095.
5. Alhamad, M., Rababah, T.M., Al-udatt, M., Ereifej, K., Esoh, R., Yang, W., 2017. The physicochemical properties, total phenolic, antioxidant activities, and phenolic profile of fermented olive cake. *Journal of Chemistry*, 54(1).
6. Angelidaki, I., Ahring, B.K., 1992. Effects of free long chain fatty acids on thermophilic anaerobic digestion, *Applied Microbiology and Biotechnology*. *Applied Microb. Technol.* 37(6), 808-812.
7. Angelidaki, I., Ellegard, L., Kioer Ahring, B., 2003. Applications of the Anaerobic Digestion Process, *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, Springer. *Applied Microb. Technol.* 145-147.
8. Angelidaki, I., Ahring, B.K., Deng, H., Schmidt, J.E. 2002. Anaerobic digestion of olive mill effluents together with swine manure in UASB reactors. *Water Science and Technology*, 02(04): 314-321.
9. Avcioglu, A.O., Dayioglu, M.A., Turker, U., 2019. Assessment of the energy potential of agricultural biomass residues in Turkey. *Renewable Energy*, 3, 138.

10. Azbar, N., Bayram, A., Filibeli, A., Muezzinoglu, A., Sengul, F., Ozer, A., 2004. A Review of Waste Management Options in Olive Oil Production. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. Critical reviews and environmental technology, 43, 80-93.
11. Barret, M., Gagnon, N., Topp, E., Masse, L., Masse, D., Talbot, G., 2013. Physico-chemical characteristics and methanogen communities in swine and dairy manure storage tanks: Spatio-temporal variations and impact on methanogenic activity. *Water research*, 47,195-198.
12. Bentsen, N.S., 2012. Biomass for energy in the EU- a review of bioenergy resource assessments. *European bioenergy resources*. *Biotechnology for biofuels*, 3, 120-127.
13. Capodaglio, A.G., Callegari, A., Lopez, M.V., 2016. European Framework for the diffusion of Biogas Uses: Emerging Technologies, Acceptance, Incentive Strategies and Institutional Regulatory Support, 8(4), 298.
14. Caposciutti, G., Baccioli, A. , Ferrari, L., Desideri, U., 2020. Biogas from Anaerobic Digestion: Power Generation or Biomethane Production. *Bio2energy*. *Toscane*.13, 743.
15. Carvalho, F., Prazeres, A.R., Rivas, L., 2013. Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of the total environ*. 445-446.
16. Chandra, R., Castillo-Zacarias, C., Delgado, P., Parra-Salvidar, R., 2018. A biorefinery approach for dairy wastewater treatment and product recovery towards establishing a biorefinery complexity index. 183, 1184-1196.
17. Chen, Y., Jay, J., Cheng Creamer, K.S., 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: A review, *Bioresource Technology*. *Biotechnology*, 99 (10), 4044-64.
18. Cherubin, M.R., Oliveira, D.M.S., Feigl, B.J., Pimentel, L.G., Lisboa, I.P., Gmach, M.R., Varanda, L.L., Morais, M. C., Satiro, L. S., Popin, G. V., Paiva, S.R., Santos, A.K.V., Vasconcelos, A. L. S., Melo, P.L.A, Cerri, C.E.P., Cerri, C.C., 2018. Crop residue harvest for bioenergy production and its implications on soil functioning and plant growth: a review, *Sci. Agric.*, 75, 255-272.
19. Chowdhury, R.B.S., Fulford, D.J., 1992. Batch and semi-continuous anaerobic digestion systems, *Renewable energy*. *Renewable Energy*. 2(4), 391-400.

<Εδώ μπορείτε να τοποθετήσετε μια συντομογραφία του τίτλου της πτυχιακής εργασίας σας – το πολύ έως 6 λέξεις – Διαφορετικά να μείνει κενό

20. Chynoweth, D., Isaacson, R., 1987. Anaerobic Digestion of Biomass. Applied Science Publishers. Biomass and Bioenergy, 13, 83-114.
21. Damyanova, S., Beschkov, V., 2020. Biogas as a Source of Energy and Chemicals. 10, 5772.
22. Debowski, M., Zielinski, M., Grala, A., Dudek, M., 2013. Algae biomass as an alternative substrate in biogas production technologies, Renewable and Sustainable Energy, 27, 596-604.
23. Desai, M., Patel, V., Madamwar, D., 1994. Effect of temperature and retention time on bio methanation of cheese whey–poultry waste–cattle dung Environ. Pollut., 311-315.
24. Doula, M.K., Moreno-Ortego, J.L., Tinivella, F., Inglezakis, V.J., Sarris, A., Komnitsas, K., 2017. Olive mill waste: recent advances for the sustainable development of olive oil industry. Recent advances for sustainable management, 29-56.
25. Dzene, I., Romagholi, F., Seile, G., Blumberga, D., 2014. Comparison of different biogas use pathways for Latvia: biogas use in CHP vs biogas upgrading. Environmental engineering, 1-10.
26. Edwards, D.R., Daniel, T.C., 1992. Environmental Impacts of On-Farm Poultry Waste Disposal, Biological and Agricultural Engineering Department, Department of Agronomy, University of Arkansas, USA, 83-85.
27. Fabbri, Claudio, 2010. Co-digestion plant in dairy cattle farm in Emiglia Romania: Centro Ricerche Produzioni Animali, 57-62.
28. Fouad, M., Jaroslaw, Z., 2010. An evaluation of biomass co-firing in Europe, Biomass and Bioenergy. 99, 344-354.
29. Gemmeke, B., Rieger, C., Weiland, P., 2009. Biogas-Messprogramm II, 61 Biogasanlagen im Vergleich. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow. 80, 65-68.
30. Ghosh, P., Shah, G., Sahota, S., Singh, L., Vijar, K.V., 2020. Biogas production from waste technical overview, Progress and challenges. 93, 54-58.
31. Gomez-Caravaca, A.M., Segura-Carretero, A., Martinez-Ferez, A., Orchoando-Pulido, L.M., 2017. Recovery of phenolic compounds from olive oil mill wastewater by physicochemical methodologies. Chemical techn. 30, 145-148.

32. Grando, R.L., Antune, A.M., Fonseca, F., Sanchez, A., Barrena, R., Font, X., 2017. Technology overview of biogas production in anaerobic digestion plants: A European evaluation of research and development. 3, 81-84.
33. Green, A., 2019. Agricultural Waste and Pollution. Environ. Techn. 5, 33-38.
34. Gujer, W., Zehnder, A. J. B., 1983. Conversion processes in anaerobic digestion. 7, Chem. techn. 33-39.
35. Hartmann, H., Ahring, K. B., 2005. Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: Influence of co-digestion with manure, Water resource. 2, 85-92.
36. Hatziargyriou, N., Margaris, I., Stavropoulou, I., Papathanassiou, S., Dimeas, A., 2017. Noninterconnected Island Systems: The Greek Case. IEEE Electrifi. 6, 50-55.
37. Hobson, P. N., Bousfield, S., Summers, R., 1974. "Anaerobic digestion of organic matter". CRC Critical Reviews in Environmental Control. 7, 30-34.
38. Huang, J., Yu, Z., Gao, H., Yan, X., Chang, J., Wang, C., Hu, J., Zhang, L., Mao, J., 2017. Chemical structures and characteristics of animal manures and composts during composting and assessment of maturity indices. Chemical contr. 5, 88-94.
39. Jurgensen, L., Ehimen, E.A., Born, J., Holm-Nielsen, L., 2018. A combination anaerobic digestion scheme for biogas production from dairy effluent—CSTR and ABR, and biogas upgrading. Biomass and bioenergy, 8, 80-86.
40. Kaltschitt, M., 2019. Energy from Organic Materials (Biomass): A Volume in the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. Springer Reference Second Edition. L,1445.
41. Karytsas ,S., Polyzou, O., Karytsas, K., 2018. Social Aspects of Geothermal Energy in Greece. Energy Production, 2, 121-128.
42. Katsaprakakis, D. Al., 2015. Hybrid power plants in non-interconnected insular systems. Applied Energy. 3, 80-90.

43. Katsaprakakis, D.A., Voumvoulakis, M., 2018. A hybrid power plant towards 100% energy autonomy for the island of Sifnos, Greece, Perspectives created from energy cooperatives. 4, 77-82.
44. Kim, J.K., Lee, J. D., Ravindran, B., Jeong, K.H., Wong, W.C., Selvam, A., Karthikeyan, P., Kwang, J.H., 2017. Evaluation of integrated ammonia recovery technology and nutrient status with an in-vessel composting process for swine manure. Chem. Techn. 50, 220-228.
45. Kim, J., Kim, H., Baek, G., Lee, C., 2017. Anaerobic co-digestion of spent coffee grounds with different waste feedstocks for biogas production. Waste Manag. 60, 322–328.
46. Kolodynskiy, V., Baltrenas P., 2017. Experimental Research of Biogas Yield and Quality Produced from Chicken Manure. 30, 320-329.
47. Leite A.I.N., Alves, R.C., Soares, F.D., Otenio, M.H., Paula, V.R., 2018. Characterization of solid waste generated by the dairy industry.44, 126-130.
48. Lettinga, G., Van Velsen, L., De Zeeuw, W., Hobma, S.W., 1979. The application of anaerobic digestion to industrial pollution treatment. Applied Science Publishers. 56, 143-145.
49. Li, Y., Rezgui, Y., Zhu, H., 2017. District heating and cooling optimization and enhancement—towards integration of renewables, storage and smart grid. Appl. Sc. 52, 332-337.
50. Liu, C., Guo, T., Chen, Y., Meng, Q., Zhu, C., Huang, H., 2018. Physicochemical characteristics of stored cattle manure affect methane emissions by inducing divergence of methanogens that have different interactions with bacteria. Appl.Sc. 30, 256-260.
51. Liu, X., Chen ,Y., Du, G., Cheh, J., 2008. Effects of organic matter and initial carbon-nitrogen ratio on the bioconversion of volatile fatty acid from sewage sludge, Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 25, 332-336.
52. Loumakis, S., Giannini, E., Maroulis, Z., 2019. Renewable Energy Sources Penetration in Greece: Characteristics and Seasonal Variation of the Electricity Demand Share Covering. Laboratory of Process Analysis and Design. National Technical University of Athens. 62, 310-315.

53. Lopez-Cano, I., Roig, A., Cayuela, M. L., Albuquerque, L. A., Sanchez-Monedero, M. A., 2016. Biochar improves N cycling during composting of olive mill waste and sheep manure. *Waste management*, 49, 553-559.
54. Lozano, F.J., Lozano, R., 2019. Assessing the potential sustainability benefits of agricultural residues: Biomass conversion to syngas for energy generation or to chemicals production. *Journal of cleaner production*, pp. 4162-4169.
55. Malico, I., Pereira, R. N., Goncalves, C., Sousa, A.M.O., 2017. Current status and future perspectives for energy production from solid biomass in the European industry. 112, 960-977.
56. Meneses, R.B., Maciel, L., Rocha-Leao, M.H., Conte-Junior, C.A., 2020. Physicochemical characteristics of Milk By-Products, *Chemical Engineering Transactions*. 79, 37-42.
57. Maestrojuan, G., and Boone, D. 1991. Characterization of *Methanosarcina barkeri* MST and 227, *Methanosarcina mazei* S-6T, and *Methanosarcina vacuolata* Z-761T, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 77, 2782-2858.
58. Maharaj, I., Elefsiniotis, P., 2001. The role of HRT and low temperature on the acid-phase anaerobic digestion of municipal and industrial wastewaters, *Bioresource Technology*. 76, 191-197.
59. Mao, C., Feng, Y., Wang, X., Ren, G., 2015. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. 45, 540-555.
60. Maragkaki, A.E., Vasileiadis, I., Fountoulakis, M., Kyriakou, A., Lasaridi, K. Manios, T., 2018. Improving biogas production from anaerobic co-digestion of sewage sludge with a thermal dried mixture of food waste, cheese whey and olive mill wastewater. *Wastewater management*, 71, 644-651.
61. Maseck, T., Valkenburg, R., Ouden, E., 2017. Roadmaps for Energy (R4E): A Systemic Approach to the Renewable Energy Transition of Smart Communities. *Energy Procedia*, 115, 390–396
62. Mata-Alvarez, J., 2003. Fundamentals of the anaerobic digestion process in Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes, IWA Publishing. 7, 80-98.

<Εδώ μπορείτε να τοποθετήσετε μια συντομογραφία του τίτλου της πτυχιακής εργασίας σας – το πολύ έως 6 λέξεις – Διαφορετικά να μείνει κενό

63. McCarty, P.L., 1982. Anaerobic digestion: Proceedings of the second international symposium on anaerobic digestion, Amsterdam: Elsevier Biomedical Press. 3-22.
64. Meyer, A.K.P., Ehimen, E.A., Holm-Nielsen, J.B., et al, 2018. Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. 111, 154-164.
65. Mignone, N. 2005. Biological inhibition / toxicity control in 208 municipal anaerobic digestion facilities.
66. Miyamoto, K., (Ed.), 1997. Renewable biological systems for alternative sustainable energy production, FAO, Osaka. Sustain. Energ. 4, 156-160.
67. Moreno-Perea, M.A., Sameron-Manzano, E., Moreno-Perea, A.J., 2019. Biomass as Renewable Energy: Worldwide Research Trends. 90, 230-236.
68. Moustakas, K., Parmaxidou, P., Vakalis, S., 2020. Anaerobic digestion for energy production from agricultural biomass waste in Greece: Capacity assessment for the region of Thessaly. Vol.191 ©.
69. Mulinacci, N., Romani, A., Galardi, C., Pinelli, P., Giaccherini, C., Vincieri, F.F., 2001. Polyphenolic Content in Olive Oil Waste Waters and Related Olive Samples, Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49, 3509-3514.
70. Munisami, P., Ravichandran, M., Natarajan, S. D., Varadhaaraju, C., 2017. Biological aspects of anaerobic digestion and its kinetics: an overview. Zorg Biogas. 6, 1090-1097.
71. Nanis, I., Hatzikamari, M., Katharopoulos, E., Boukouvala, E., Ekateriniadou, L., Litopoulou-Tzanetaki, E., Gerasopoulos, D., 2017. Microbiological and physicochemical changes during fermentation of solid residue of olive mill wastewaters: Exploitation towards the production of an olive paste-type product. Molecules MDPI. 7, 88-93.
72. Neshta, S., Lahijani, P., 2017. Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. Digester DOC. 8, 144-150.

73. Nielsen, J.B., Madsen, M., Popiel, P.O., 2006. Predicted Energy Crop Potentials for Bioenergy Worldwide and for EU-25, Conference on Biomass for Energy, Sweden. 43, 156-170.
74. Nielsen, H.J.B., Seadi, T.A.P., Oleskowicz-Popiel, 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization, *Bioresource Technology*. 5, 220-225.
75. Nguyen, D., Nitayavardhana, S., Sawatdeenarunat, C., Surendra, K.C., Khanal, S. K., 2019. Biogas Production by Anaerobic Digestion: Status and Perspectives, *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels (Second Edition)*, Chapter 31.
76. Oreopoulou, V, Russ, W., 2007. Utilization of By-Products and treatment of waste in the food industry: Integrating safety and environmental knowledge into food studies toward European sustainable development, Springer Science and Business Media LLC. 34, 65-69.
77. Orfanoudaki, A., Makridakis, G., Maragkaki, A., Fountoulakis, M.S., Kallithrakas, Kontos, N. G., Manios, T., 2019. Anaerobic Co-digestion of Pig Manure and Spent Coffee Grounds for Enhanced Biogas Production. *Waste and Biomass Valorization*. 3, 100-105.
78. Ostrem, K., 2004. Greening Waste: Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes. *Science and education*. 20, 100-122.
79. Park, J., Kim, B., Lee, J.W., 2016. In-situ transesterification of wet spent coffee grounds for sustainable biodiesel production. *Bioresour. Technol.* 221, 55–60.
80. Parawira, W., Myrto, L., Mattiasson, B., 2004. Anaerobic batch digestion of solid potato waste alone and in combination with sugarbeet leaves, *Renewable Energy*. 29, 1811-1823.
81. Paschalidou, A., Tsatiris, M., Kitikidou, K., Papadopoulou, C., 2018. *Bioenergy-Biomass-Energy Crops. Using Energy Crops for Biofuels or Food: The Choice*. Springer International Publishing. 11-24.
82. Perea-Moreno, A.-J., Perea-Moreno, M.-A., Dorado, M.P., Manzano-Agugliaro, F., 2018. Mango stone properties as biofuel and its potential for reducing CO2 emissions. *Sustainability*. 11 (3), 863.

<Εδώ μπορείτε να τοποθετήσετε μια συντομογραφία του τίτλου της πτυχιακής εργασίας σας – το πολύ έως 6 λέξεις – Διαφορετικά να μείνει κενό

83. Pham Van, D., Fujiwara, T., Tho, B.L., Toan, P., Minh, G.H., 2020, A review of anaerobic digestion systems for biodegradable waste: Configurations, operating parameters and current trends. *Environmental Engineering Research*. 25 (1), 1-17.
84. Prasad, S., Singh, A., Korres, E. N., Rathore, D., Sevda, S., Pant, D., 2020. Sustainable utilization of crop residues for energy generation: A life cycle assessment (LCA) perspective.
85. Psarros, G.N., Nanou, S.I., Papaefthymiou, S.V., Papathanassiou, S.A., 2018. Generation scheduling in non-interconnected islands with high RES penetration. *Energies MDPI*. 12(12) 2441.
86. Quintero, M., Alzate, M., Patino, F., Arboleda, A., Pinzon, Y., Mantilla, A., Escalante, H., 2019. Physicochemical and microbiological monitoring of anaerobic digestion at laboratory and low cost tubular digester. *Bioresource Technology*. 219, 80-90.
87. Reamis, J., Chen, L., Seto, E., 2009. Leveraging Rural Energy Investment for Parasitic Disease Control: Schistosome Ova Inactivation and Energy Co-benefits of Anaerobic Digesters in rural China. *Science gov*. 10, 1371.
88. Reith, J. H., Wijffels, R. H., Barten, H., 2003. Bio-methane & Bio-hydrogen. Status and perspectives of biological methane and hydrogen production, Dutch Biological Hydrogen Foundation. Chapter 5.
89. Richard, A., Baidoo, M.F., Antwi, E., 2011. Biogas as a potential renewable energy source: A Ghanaian case study, *Renewable Energy*, 36, 5.
90. Risberg, K., Cederlund, H., Pell, M., Arthurson, V., Schnurer, A., 2017. Comparative characterization of digestate versus pig slurry and cowmanure – Chemical composition and effects on soil microbial activity. *Europe PMC*, 61, 529-538.
91. Saddoud, A., Hassaïri, I. Sayadi, S., 2007. Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey. *Bioresour Technol*, 98 (11), 2102-2108.
92. Sheng Lee, Z., Chin, S.Y., Lim, J., Witoon, T., Cheng, C.K., 2019. Treatment technologies of palm oil mill effluent (POME) and olive mill wastewater (OMW): A brief review. *Food and Agriculture Organization*. 15(21).

93. Schink, B., 1997. Energetics of syntrophic cooperation in methanogenic degradation. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 61, 1092-2172.
94. Siegert, I., Banks, C., 2005. The effect of volatile fatty acid additions on the anaerobic digestion of cellulose and glucose in batch reactors, *Process Biochem*. 40 (11), 3412-3418.
95. Singh, G., Shamsuddin, M.R., Aqsha, Lim, S.W., 2018. Characterization of Chicken Manure from Manjung Region. *IOP Science*. 458.
96. Song, L., Song, Y., Li, D., Liu, R., Niu, Q., 2019. The auto fluorescence characteristics, specific activity, and microbial community structure in batch tests of mono-chicken manure digestion. *Europe PMC*, 83, 57-67.
97. Tikariha, A., Sahu, O., 2014. Study of Characteristics and Treatment of Dairy Industry Waste Water. *Academia*. 1, 16-22.
98. Tonymac-Petrovic, V., Nastav, N., Buljubasic, M., Santek, B., 2020. Current state of biogas production in Croatia. *Energy Sustainability and Society*, 8, 2165-2170.
99. Ulusoy, Y., Ulukardesler, A.H., 2017. Biogas production potential of olive-mill wastes in Turkey. *Fuels and combustion in engineering journal*, 80, 123-134.
100. Vandevivere, P., De Baere, L., Verstraete, W., 2003. Types of anaerobic digesters for solid wastes, In *Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes*. Univeristy Gent, 1, 111-140.
101. Veeken, A., Kalyuzhnyi, S., Scharff, H., Hamelers, B., 2000. Effect of pH and VFA on Hydrolysis of Organic Solid Waste, *Journal of Environmental Engineering*. 126 (12), 1076-1081.
102. Villadsen, S.N.B., Fosbol, P., Angelidaki, I., Woodley, J., Nielsen, L., Moller, P., 2019. The Potential of Biogas; the Solution to Energy Storage. *DTU Orbit*. 12 (10), 2147-2153
103. Vlyssides, A., Mai, S., Barampouti, E.M., 2015. Energy generation potential in Greece from agricultural residues and livestock manure by anaerobic digestion technology, *Springer*. 80, 120-123.
104. Weide, T., Baquero, C.D., Schomaker, M., Brugging, E., Wetter, C., 2020. Effects of enzyme addition on biogas and methane yields in the batch anaerobic

<Εδώ μπορείτε να τοποθετήσετε μια συντομογραφία του τίτλου της πτυχιακής εργασίας σας – το πολύ έως 6 λέξεις – Διαφορετικά να μείνει κενό

digestion of agricultural waste (silage, straw and animal manure). Biomass and Bioenergy, 132.

105. Zafiris, C., 2007. Biogas in Greece: Current situation and perspectives, European biogas workshop, 143.

Ελληνική

1. Αγγελής, Γ., 2000. Ολοκληρωμένη διαχείριση αποβλήτων ελαιουργείων με χρήση αυτόνομων και συνδυασμένων βιοτεχνολογικών μεθόδων επεξεργασίας. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών.

2. Αλεξιάδου, Μ., 2008. Επίδραση της υγιεινής του νερού στην ποιότητα τροφίμων.

3. Αποστολάκη, Μ., Κυρίτση Σ., Σούτερ Χ., (1987). Το ενεργειακό δυναμικό της βιομάζας γεωργικών και δασικών υποπροϊόντων.

4. Γερασίμου, Α., 2013. Η Αγροτική βιομάζα και οι δυνατότητες αξιοποίησής της στην Ελλάδα, Αθήνα .

5. Καλογεράκης, Ν., Νικολαΐδης Π.Ν., 2008. Μέτρα φιλικά προς το περιβάλλον: 10 Εναλλακτικές Προτάσεις Επεξεργασίας Αποβλήτων Ελαιουργείων, Environmental Friendly Technologies for Rural Development.

6. Καπλάνης, 2003. Περιβάλλον και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.

7. Σιούλας, Κ., 2020. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

8. Μαραγκάκη, Α., 2018. Αναερόβια συν-χώνευση αστικής ιλύος και αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων για τη βέλτιστη παραγωγή βιοαερίου, Διδακτορική Διατριβή, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

Πηγές Διαδικτύου

1. European Commission. 2020. Manure the sustainable fuel for the farm [on line] available <<https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/bioenergy-farm-ii>> [accessed 01/02/2020].
2. Sebigas, 2020. [on line] available<<https://www.sebigas.it/en/technology/>>[accessed 15/01/2020].
3. Helapco, 2020. [on line] available <https://helapco.gr/pdf/HELAPCO_PV_Investment_Guide.pdf>[accessed 03/04/2020].
4. European Environment Agency. 2020. [on line] available <<https://www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe-2018>> [accessed 14/06/2020].
5. European Commission. 2020. [on line] available <https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/national-renewable-energy-action-plans-2020_en?redir=1> [accessed 20/05/2020].
6. Οδηγία 2009/28/EK, 2009. [on line] available <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0028>> [accessed 12/03/2020].
7. Regulatory Authority for Energy Greece, 2018. Electricity Production. [online] available http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/production.csp [accessed 12/03/2020].
8. Phyllis, M., 2018. Database for Biomass and Waste. [on line] available <https://www.ecn.nl/phyllis2/> [accessed 12/03/2020].
9. Centre for Renewable Energy Sources and Saving, 2019. Potential Biomass of Solid Waste. [on line] available <Geodata.gov> [accessed 18/05/2020].
10. Hellenic Electricity Market Operator, 2020. Monthly Statistics of Specific Account for Renewable Energy Sources. [on line] available <<http://www.lagie.gr>>[accessed 18/05/2020].
11. Hellenic Electricity Market Operator, 2020. Renewable Energy Sources and CHP Monthly Statistics. [on line] available < <http://www.lagie.gr>> [accessed 18/05/2020].

<Εδώ μπορείτε να τοποθετήσετε μια συντομογραφία του τίτλου της πτυχιακής εργασίας σας – το πολύ έως 6 λέξεις – Διαφορετικά να μείνει κενό

12. Regulatory Authority for Energy (RAE). 2018. Electrical System Operation Code for Non-Interconnected Islands (Version 2). [on line] available <<https://www.deddie.gr/el/themata-tou-diaxeiristi-midiasundedemenwn-nisiwn/ruthmistiko-plaisio-mdn/kwdikas-diaxeirisis-ilektrikwn-sustimatwn-mdn/kwdikas-diaxeirisis-mdn/>> [accessed 18/05/2020].
13. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2020. Global Forest Resources Assessment. [on line] available <<http://www.fao.org/forest-resources-assessment/en/>> [accessed 06/05/2020].
14. Εθνική Στατιστική Υπηρεσία, 2020. [on line] available <https://www.statistics.gr/> [accessed 06/05/2020].
15. Agroenergy, 2020. [on line] available <http://www.agroenergy.gr/> [accessed 06/05/2020].
16. European Biogas Association, 2017. [on line] available <http://european-biogas.eu/2017/12/14/eba-statistical-report-2017-published-soon/> European Biogas Association [accessed 06/05/2020].
17. International Conference on Electricity Distribution, 2020. [on line] available <www.cired.be/CIRED09/pdfs/CIRED2009_0785_Paper.pdf> [accessed 02/05/2020].
18. Envitec- Biogas, 2020. [on line] available <http://www.envitec-biogas.de/> [accessed 02/05/2020].
19. Geronim Biogas, 2020. Παραδείγματα Σταθμών Βιοαερίου στην Ευρώπη. [on line] available <http://www.cea.org.cy/TOPICS/Renewable%20Energy/2013/Biogas_Plants_Europe_GeronimoII.pdf> [accessed 02/05/2020].
20. Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας. 2020. [on line] available <https://www.who.int/> [accessed 02/05/2020].
21. Bioenergynews, 2020. [on line] available <<http://bioenergynews.gr/to-bioaerio-stin-ee-kai-stin-ellada/>> [accessed 02/05/2020].
22. IPCC, 2012. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation - Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [on line] available <https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf> [accessed 10/05/2020].

23. Solar Power Europe , 2015. Sustainability of photovoltaic systems: the water. [on line] available <<https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2018/08/SolarPower-Europe-Input-Paper-v20170913-final.pdf>> [accessed 10/05/2020].
24. IRENA, 2018. Off-grid Renewable Energy Solutions: Global and Regional Status and Trends. [on line] available <[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jul/IRENA_Off-grid RE Solutions 2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jul/IRENA_Off-grid_RE_Solutions_2018.pdf)> [accessed 10/05/2020].
25. Rincón, B., Bujalance, L., Feroso, F. G., Martín, A., Borja, R., 2013. Biochemical methane potential of two-phase olive mill solid waste: influence of thermal pretreatment on the process kinetics. Bioresource Technology. [on line] available https://ampts.bioprocesscontrol.com/?gclid=EAIAIQobChMIyfut1ej_6gIVSbDtCh2-ogN7EAAAYASAAEgIL0PD_BwE [accessed 10/05/2020].
26. Weiland, P., 2000. Anaerobic Waste Digestion in Germany- Status and Recent Developments, Biodegradation. [on line] available https://ampts.bioprocesscontrol.com/?gclid=EAIAIQobChMIyfut1ej_6gIVSbDtCh2-ogN7EAAAYASAAEgIL0PD_BwE [accessed 10/04/2020].
27. Διεύθυνση Περιβάλλοντος και Χωρικού Σχεδιασμού Θεσσαλίας, 2020. Νομοθεσία και Διαδικασία Περιβαλλοντικής Αδειοδότησης σταθμών συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με χρήση βιοαερίου. [on line] available <https://yperdiavgeia.gr/search/Data/organization_id:50200> [accessed 10/04/2020].
28. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). 2020. [on line] available < <http://www.cres.gr/cres/index.html>> [accessed 10/04/2020].
29. Ελληνικός Σύνδεσμος Παραγωγών Βιοαερίου, 2020. [on line] available <<https://habio.gr/el/>> [accessed 10/04/2020].
30. ΤΣΔΑ, Τοπικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων, Δήμου Ηρακλείου, 2020. [on line] available < <https://www.heraklion.gr/files/tsda%20hrakleiou.pdf>> [accessed 10/04/2020].
31. Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (OECD), 2020. [on line] available <<https://gr.euronews.com/tag/oecd>> [accessed 30/04/2020].

<Εδώ μπορείτε να τοποθετήσετε μια συντομογραφία του τίτλου της πτυχιακής εργασίας σας – το πολύ έως 6 λέξεις – Διαφορετικά να μείνει κενό