



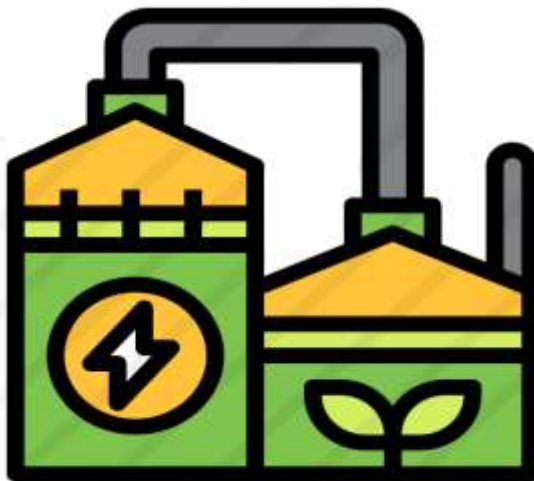
**Εφαρμοσμένες Πολιτικές
και Τεχνικές Προστασίας
Περιβάλλοντος (Ε.Π.Τ.Ε.Π.)**



**Πρόγραμμα
Μεταπτυχιακών Σπουδών
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών**

Διπλωματική Εργασία

**Παραγωγή βιοαερίου από την αναερόβια
χώνευση σύμμεικτων αστικών στερεών
αποβλήτων**



**Κονίδας Κωνσταντίνος
Μηχανικός Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος
Επιβλέπων Καθηγητής: Ανδρέας Ανδρεόπουλος**

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: Παραγωγή βιοαερίου από την αναερόβια
χώνευση σύμμεικτων αστικών στερεών αποβλήτων

Επιβλέπων καθηγητής: Ανδρεόπουλος Ανδρέας

Η Τριμελής Επιτροπή:

Γεώργιος Βαρελίδης

Δημήτριος Αλεξάκης

Παναγιώτης Σινιόρος

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κονίδας Κωνσταντίνος του Αθανασίου, με αριθμό μητρώου 192 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές Προστασίας Περιβάλλοντος» του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



Ευχαριστίες

Το κεφάλαιο της ολοκλήρωσης των σπουδών μου στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές Προστασίας Περιβάλλοντος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτική Αττικής, ολοκληρώνεται με την εκπόνηση της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας σχετική με την μελέτη μιας Μονάδας Παραγωγής Αποβλήτων και συγκεκριμένα με την παραγωγή βιοαερίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης.

Θεωρώ υποχρέωσή μου αρχικά, να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Ανδρέοπουλο Ανδρέα, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου το θέμα της διπλωματικής εργασίας και για την στήριξη και καθοδήγησή του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησής της.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την διπλωματική μου εργασία στους κοντινούς μου ανθρώπους που με υποστήριξαν και μου συμπαραστάθηκαν προκειμένου να ολοκληρώσω το Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών.

Περίληψη

Ξεκινώντας την διπλωματική εργασία θα γίνει λόγος για το πρόβλημα της διαχείρισης των στερεών αστικών αποβλήτων τόσο στην Ευρώπη όσο και την Ελλάδα· θα γνωστοποιηθεί η σύσταση και οι ιδιότητές τους και θα αναφερθούν πρακτικές που ακολουθούνται προκειμένου να διαχειρίζονται ορθά. Επιπλέον θα γίνει αναφορά στην κυκλική οικονομία αλλά και σε εναλλακτικές μορφές ενέργειες.

Στην συνέχεια, γίνεται μια περαιτέρω ανάλυση της τεχνολογίας της αναερόβιας χώνευσης, και συγκεκριμένα, πώς μπορεί να εφαρμοστεί προκειμένου να αποτελέσει μια βασική μέθοδο επεξεργασίας των αστικών στερεών αποβλήτων. Γίνεται μια αναλυτική επισκόπηση της μεθόδου τόσο όσον αφορά στις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία επεξεργασίας των αποβλήτων όσο και στα διάφορα συστήματα που υπάρχουν. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο ολοκληρώνεται με το πώς η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης εφαρμόζεται στην Ελλάδα αλλά και στην Ευρώπη.

Στην επόμενη ενότητα θα γίνει μια αναλυτική αναφορά στο κυριότερο παράγωγο της αναερόβιας χώνευσης, το βιοαέριο, και πώς μέσα από τη σωστή επεξεργασία του μπορεί να αξιοποιηθεί και να αναβαθμιστεί προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως ένα ανανεώσιμο καύσιμο. Κλείνοντας, παρατίθενται τα νομοθετικά πλαίσια που ισχύουν στην Ευρώπη και στην Ελλάδα σχετικά με τα θέματα των αποβλήτων, της αναερόβιας χώνευσης και του βιοαερίου.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Αστικά Στερεά Απόβλητα, Αναερόβια χώνευση, Βιοαέριο, Περιβαλλοντικά Νομοθετικά Πλαίσια

Abstract

Starting the thesis, we will discuss the problem of solid waste management, both in Europe and Greece. Their composition and properties will be disclosed and current practices will be reported relevant to their treatment. In addition, reference will be made to the circular economy and also to alternative energy sources.

Then, there is a further analysis of the anaerobic digestion technology and in particular, how it can be applied in order to become a basic treatment method for municipal solid wastes. A detailed overview of the method is given both in terms of the processes that take place during the waste treatment process and also of the various systems that exist. This chapter concludes with the method of anaerobic digestion applied in Greece and Europe

In the next section, a detailed report will be made on the main product of anaerobic digestion, biogas, and how through its proper treatment it can be utilized and upgraded in order to be used as a renewable fuel.

In closing, the legal frameworks that are in the field of municipal waste, anaerobic digestion, and biogas are analyzed.

KEYWORDS: Municipal Solid Waste, Anaerobic Digestion, Biogas, Environmental Legislation

Συντομογραφίες και Ακρωνύμια

Χ.Υ.Τ: Χώρος Υγειονομικής Ταφής

Χ.Α.Δ.Α: Χώρος Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων

Χ.Υ.Τ.Α: Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

Χ.Υ.Τ.Υ: Χώρος Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων

Ε.Κ.Α: Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων

Α.Χ: Αναερόβια Χώνευση

Ε.Σ.Δ.Α: Εθνικό Σχέδια Διαχείρισης Αποβλήτων

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract.....	6
Συνομογραφίες και Ακρωνύμια	7
Πρόλογος.....	12
Κεφάλαιο 1^ο :Εισαγωγή	12
Κεφάλαιο 2^ο : Διαχείριση Απορριμμάτων	14
2.1 Ορισμοί και Κατηγορίες Αποβλήτων	14
2.3 Σύσταση αστικών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα	15
2.4 Υφιστάμενη κατάσταση σε Ελλάδα	19
2.5 Επεξεργασία Απορριμμάτων και Κυκλική Οικονομία.....	21
2.6 Βιομάζα.....	24
2.7 Βιοκαύσιμα	26
Κεφάλαιο 3^ο : Αναερόβια Χώνευση.....	28
3.1 Εισαγωγή στην Αναερόβια Χώνευση.....	28
3.2 Πρώτη Ύλη για την ΑΧ.....	30
3.3 Στάδια Αναερόβιας Χώνευσης.	33
3.4 Αναερόβια Χώνευση και μικροβιολογία.....	37
3.5 Παράμετροι κατά την Αναερόβια Χώνευση	38
3.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Αναερόβιας Χώνευσης..	40
3.7 Συστήματα αναερόβιας επεξεργασίας	42
3.7 Επεξεργασία αστικών στερεών αποβλήτων με αναερόβια χώνευση .	46
3.8 Το κομπόστ ως προϊόν της αναερόβιας χώνευσης	49

3.9 Η Αναερόβια Χώνευση στην Ελλάδα και την Ευρώπη	53
Κεφάλαιο 4^ο : Βιοαέριο	55
4.1 Βασικά στοιχεία	55
4.2 Ιστορική αναδρομή για την χρήση του Βιοαερίου	56
4.3 Ιδιότητες Βιοαερίου	57
4.4 Βιοαέριο από την αναερόβια χώνευση οργανικών αποβλήτων	58
4.5 Εγκαταστάσεις βιοαερίου στην Ελλάδα	60
4.6 Χρήση του βιοαερίου	63
4.7 Περιβαλλοντικό όφελος από την χρήση του βιοαερίου	64
4.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα βιοαερίου	65
4.9 Τεχνολογίες αναβάθμισης βιοαερίου	67
Κεφάλαιο 5^ο: Νομοθεσία	71
5.1 Ιεραρχία διαχείρισης των αποβλήτων	71
5.2 Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) 2020-2030	72
5.3 Ευρωπαϊκή και Ελληνική νομοθεσία για το βιοαέριο	74
5.4 Νομοθεσία Στην ΕΕ για την Αναερόβια Χώνευση	76
5.5 Νομοθεσία για το κομπόστ στην Ευρωπαϊκή	77
Συμπεράσματα	79
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	81
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	85
Βιβλιογραφία	89

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 : Διεργασίας εντός της βιομάζας	25
Εικόνα 2 : Πηγές Βιομάζας.....	26
Εικόνα 3 : Εφαρμογή των Βιοακαυσίμων	27
Εικόνα 4 : Σύστημα αναερόβιας χώνευσης	29
Εικόνα 5 : Χωνευτήρα τύπου CSTR αντιδραστήρας συνεχούς ανάδευσης	45
Εικόνα 6 : Διεργασίες κατά την κομποστοποίηση	50
Εικόνα 7 : Φάσεις κατά την κομποστοποίηση.....	52
Εικόνα 8: Ο κύκλος του βιοαερίου από την ΑΧ	59
Εικόνα 9: Χάρτης εγκαταστάσεων βιοαερίου ανά περιφέρεια	61
Εικόνα 10: Ισχύς μονάδων ανά περιφέρεια.....	62
Εικόνα 11: Τεχνική προσρόφησης μεταβλητής πίεσης για αναβάθμιση βιοαερίου.....	69
Εικόνα 12 : Διαχωρισμός μέσω μεμβρανών	70
Εικόνα 13 : Πυραμίδα προτεραιότητας διαχείρισης των αποβλήτων	72

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1 : Μέση ποιοτική σύσταση παραγόμενων ΑΣΑ στην Ελλάδα...16	
Σχήμα 2 : Διαχείριση ΑΣΑ στην Ελλάδα	20
Σχήμα 3 : Διάγραμμα κυκλικής οικονομίας	22
Σχήμα 5 : Το σύστημα της κυκλικής οικονομίας	23
Σχήμα 6: Στάδια μετατροπής οργανικού υλικού σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα μέσω της ανερόβιας χώνευσης.....	34
Σχήμα 7 : Μονάδα αναερόβιας χώνευσης στερεών απορριμμάτων.....	48
Σχήμα 8 : Χρήσεις του βιοαερίου.....	63
Σχήμα 9 : Διαχείριση των ΑΣΑ στην Ελλάδα και στην ΕΕ.	74

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Ταξινόμηση αστικών στερεών αποβλήτων με βάση τον ΕΚΑ	17
Πίνακας 2: Ταξινόμηση αστικών στερεών αποβλήτων με βάση τον ΕΚΑ (συνέχεια).....	18
Πίνακας 3 : Ποσότητες μεθανίου και βιοαερίου υλικών πρώτης ύλης...31	
Πίνακας 4 : Βιοαπόβλητα, κατάλληλα για βιολογική επεξεργασία, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων 2007 (EWC)	32
Πίνακας 5 : Θερμικά στάδια και χρόνοι παραμονής	39
Πίνακας 6 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα στην Ελλάδα.	54
Πίνακας 7 : Χημική σύνθεση βιοαερίου	58
Πίνακας 8 : Εκπομπές ρύπων από διάφορες πηγές ενέργειας	64



Πρόλογος

Ο όλο και αυξανόμενος όγκος των στερεών οργανικών αποβλήτων αποτελεί ένα μείζον ζήτημα σε παγκόσμιο επίπεδο, το οποίο έχει φτάσει σε πολύ κρίσιμα επίπεδα. Αυτό που πρέπει να γίνει προκειμένου να αντιμετωπιστεί το ζήτημα της απόρριψης και της διαχείρισης των αποβλήτων είναι να εφαρμοστούν βιώσιμες μέθοδοι προκειμένου να υπάρξει μείωση του φαινομένου. Αυτό αποτέλεσε και την πηγή έμπνευσης ώστε να υλοποιηθεί η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

Η εξέλιξη του ανθρώπινου είδους είναι εξαρτώμενη από την χρήση της ενέργειας. Κάνοντας μια σύντομη ιστορική αναδρομή οι κύριες πηγές ενέργειας που αξιοποιούσε ο άνθρωπος μέχρι τις αρχές του 19^{ου} αιώνα ήταν η χειρωνακτική του δύναμη, η βοήθεια από τα ζώα, η ξυλεία, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Με την βιομηχανική επανάσταση οι γαιάνθρακες πήραν τον κυριότερο ρόλο καύσιμης ύλης παρέχοντας σημαντικά ποσοστά ενέργειας. Όμως κατά τον 20^ο αιώνα και μετά τον 2^ο παγκόσμιο πόλεμο το αργό πετρέλαιο πήρε την θέση των γαιανθράκων. Σήμερα από τους γαιάνθρακες καλύπτεται μέχρι και το 22% της απαίτησης για ενέργεια σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά και ένα ποσοστό της τάξεως του 40% για τον ηλεκτρισμό παγκοσμίως. (Barthel.Fetal.,2000)

Το 1973 με την μεγάλη πετρελαϊκή κρίση έγινε αντιληπτό πως τα ορυκτά καύσιμα δεν αποτελούν μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να ωθήσει την επιστημονική κοινότητα να μελετήσει την αξιοποίηση πηγών ενέργειας φιλικότερες προς το περιβάλλον, όπως είναι η ενέργεια από τον ήλιο, τον άνεμο αλλά και η ενέργεια από τη βιομάζα.

Η όλο και αυξανόμενη ζήτηση ορυκτών καυσίμων και η επίδραση του φαινομένου του θερμοκηπίου μέσω των εκλυόμενων αερίων στο περιβάλλον, με το διοξείδιο του άνθρακα [CO₂] να έχει την κύρια και μεγαλύτερη συνεισφορά, έχει πυροδοτήσει μια σειρά ερευνητικών μελετών γύρω από την παραγωγή εναλλακτικών καυσίμων από βιολογικούς πόρους. Εδώ πρέπει να αναφερθεί πως η ζήτηση ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο παρουσιάζει αυξητική τάση με το 88% της ενέργειας που παράγεται σήμερα να βασίζεται κυρίως σε ορυκτά καύσιμα. (Μακρής Β. κ.α.,2019)

Έτσι και στην περίπτωση της παραγωγής και της αξιοποίησης του βιοαερίου (αερίου που στην περιεκτικότητά του αποτελείται από μεγάλες ποσότητες μεθανίου), βλέπουμε πως πρόκειται για μία εναλλακτική πηγή καυσίμου η οποία προέρχεται με την κατάλληλη επεξεργασία από την βιομάζα και συμβαδίζει με της σημερινές απαιτήσεις για χρήση φιλικότερων προς το περιβάλλον πηγών ενέργειας. Η ενέργεια από το βιοαέριο έχει μικρό περιβαλλοντικό αντίκτυπο και συνεπώς οι προοπτικές για μελλοντική χρήση είναι θετικές. (Glazer, A.N. et al., 1995)

Από τις τεχνολογίες οι οποίες διαχειρίζονται οργανικά απόβλητα, η μέθοδος της αναερόβιας επεξεργασίας είναι αυτή που συνδυάζει τόσο την ελαχιστοποίηση του τελικού όγκου των αποβλήτων όσο και την παραγωγή βιοαερίου. Από τις διάφορες μεθόδους και συστήματα αναερόβιας χώνευσης, αυτό που θεωρείται από τα αποτελεσματικότερα ώστε να παραχθεί ενέργεια, πραγματοποιείται σε ένα σύστημα κλειστού τύπου. (Bernet, N., et al.,2009)

Κεφάλαιο 2^ο: Διαχείριση Απορριμμάτων

2.1 Ορισμοί και Κατηγορίες Αποβλήτων

Σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων ΕΣΔΑ τα απόβλητα αστικού τύπου ορίζονται ως εξής :

- Τα **Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)** με βάση την Οδηγία (ΕΕ) 2018/851, περιλαμβάνουν :
 - 1) Τα σύμμεικτα και τα οικιακά απόβλητα, όπως είναι το χαρτί και το χαρτόνι, το γυαλί, τα μέταλλα, τα πλαστικά, τα βιολογικά απόβλητα, το ξύλο, τα προϊόντα κλωστοϋφαντουργίας, τα απόβλητα συσκευασίας, τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, τα απόβλητα ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών, και ογκώδη απόβλητα, όπως στρώματα και έπιπλα.
 - 2) Τα σύμμεικτα απόβλητα και τα απόβλητα που συλλέγονται χωριστά από διαφορετικές πηγές όπου η σύστασή τους προσομοιάζει τη φύση και τη σύνθεση των οικιακών αποβλήτων.
- **Βιοαποδομήσιμα Αστικά Απόβλητα (ΒΑΑ)** Σύμφωνα με την ΚΥΑ 29407/3508/2002 θεωρούνται τα εξής: Κάθε απόβλητο που μπορεί να επεξεργαστεί αναερόβια ή αερόβια, όπως είναι τα βιοαπόβλητα, τα απόβλητα από κηπουρικές δραστηριότητες, το χαρτί και το χαρτόνι.
- **Βιολογικά Απόβλητα (ΒΑ) ή αλλιώς Βιοαπόβλητα** σύμφωνα με την Οδηγία (ΕΕ) 2018/851 ορίζονται: Τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα απόβλητα τροφίμων και μαγειρειών από σπίτια, γραφεία, εστιατόρια, χονδρεμπόριο, κυλικεία, παρόχους υπηρεσιών εστίασης και απόβλητα από εγκαταστάσεις μεταποίησης τροφίμων.

2.3 Σύσταση αστικών στερέων αποβλήτων στην Ελλάδα

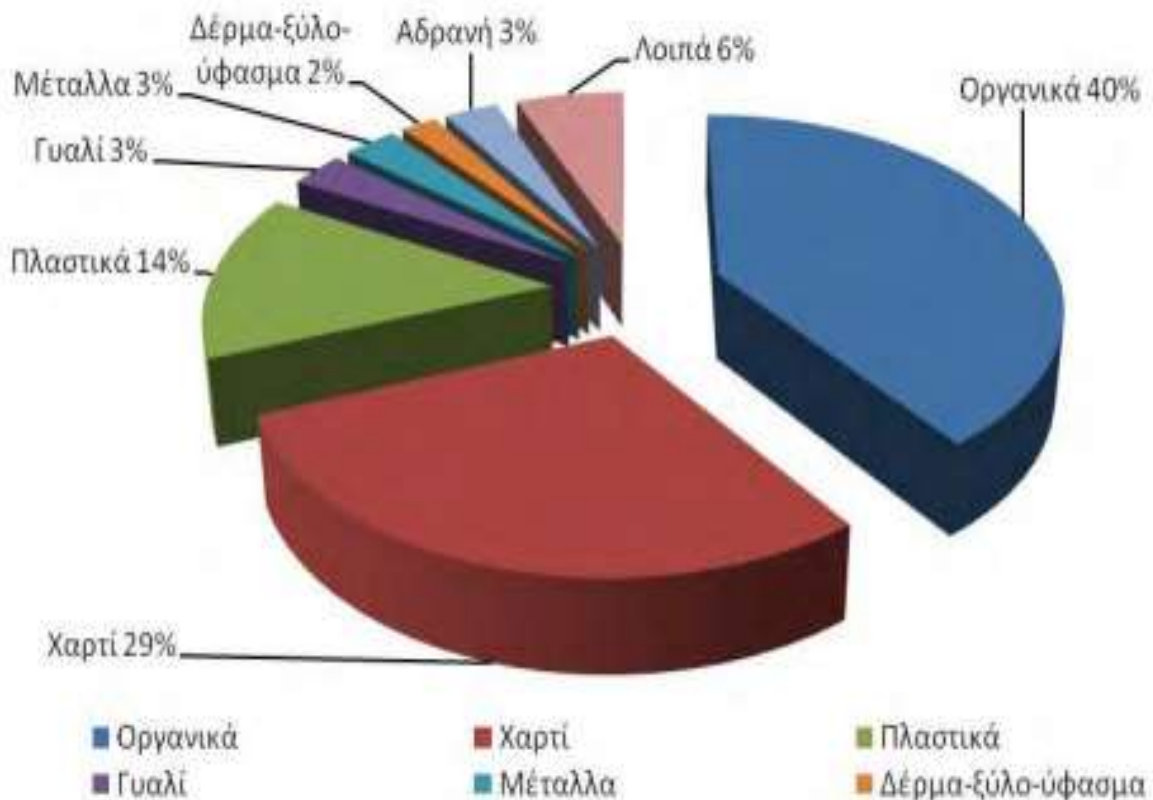
Οι παραγόμενες ποσότητες πλαστικού στην χώρα μας είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές των οργανικών αποβλήτων, συγκριτικά με την δεκαετία του '80 όπου έγιναν οι πρώτες επίσημες καταγραφές. Η μεγάλη διαφορά οφείλεται τόσο στην αύξηση της χρήσης του πλαστικού στα προϊόντα και στις συσκευασίες, όσο και στις μεγάλες αλλαγές των καταναλωτικών συνηθειών. (Παπάζογλου, 2011)

Όσον αφορά τα ποσοστά ανακύκλωσης η Ελλάδα βρίσκεται πολύ χαμηλότερα του ευρωπαϊκού μέσου όρου, περίπου στο ένα τρίτο. Από την συνολική παραγωγή των αστικών αποβλήτων ένα ποσοστό γύρω στο 8,8% ανακυκλώνεται ενώ το 91,2% καταλήγει σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων (ΧΥΤΑ) ή στις παράνομες χωματερές (ΧΑΔΑ). (Παπάζογλου, 2011)

Αναλυτικότερα βλέπουμε τα εξής:

- Το οργανικό κλάσμα που βρίσκεται στο σύνολο των παραγόμενων αστικών αποβλήτων σε ποσοστό 98.5% εναποτίθεται σε ΧΥΤΑ ή ΧΑΔΑ, ενώ το 1.5% που απομένει κομποστοποιείται.
- Από τα υλικά που ανακυκλώνονται (χαρτί, μέταλλα γυαλί και πλαστικό) το 21% οδηγείται προς ανακύκλωση, ενώ το 79% που απομένει πηγαίνει σε ΧΥΤΑ ή σε χωματερές.
- Τα υπόλοιπα υλικά που βρίσκονται στα αστικά απόβλητα καταλήγουν εξολοκλήρου σε ΧΥΤΑ ή χωματερές.
- Χαρακτηριστικό είναι επίσης πως οι χώροι διάθεσης αστικών αποβλήτων ανέρχονται σε 1200, από τους οποίους οι 300 είναι ελεγχόμενοι.

Στο ακόλουθο σχήμα απεικονίζεται η ποσοστιαία σύσταση των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα σύμφωνα με τον ΥΠΕΚΑ - Ιούνιος 2010.



Σχήμα1: Μέση ποιοτική σύσταση παραγόμενων ΑΣΑ στην Ελλάδα

Στην συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (ΕΚΑ) ο οποίος κατατάσσει όλα τα στερεά απόβλητα σε κατηγορίες και υποκατηγορίες με χωριστούς κωδικούς αρίθμησης για τον καθένα. Στον κωδικό 20 περιλαμβάνονται τα Αστικά Στερεά Απόβλητα.

Πίνακας 1: Ταξινόμηση αστικών στερεών αποβλήτων με βάση τον ΕΚΑ

20 01	Χωριστά συλλεγόμενα μέρη (εκτός από το σημείο 15 01)
20 01 01	Χαρτιά και χαρτόνια
20 01 02	Γυαλιά
20 01 08	Βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα κουζίνας και χώρων διαίτησης
20 01 10	Ρούχα
20 01 11	Υφάσματα
20 01 17*	Φωτογραφικά χημικά
20 01 19*	Ζιζανιοκτόνα
20 01 21	Σωλήνες φθορισμού και άλλα απόβλητα περιέχοντα υδραργύρου
20 01 22	Αεροζόλ
20 01 23	Απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει χλωροφθοράνθρακες
20 01 31*	Κυτταροτοξικές και κυτταροστατικές φαρμακευτικές ουσίες
20 01 32	Φάρμακα άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 20 01 31 μπαταρίες και συσσωρευτές που περιλαμβάνονται στα σημεία 16 06 01
20 01 33*	16 06 02 ή 16 06 03 και μεικτές μπαταρίες και συσσωρευτές που περιέχουν τις εν λόγω μπαταρίες
20 01 34	Μπαταρίες και συσσωρευτές άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 20 01

Πίνακας 2: Ταξινόμηση αστικών στερεών αποβλήτων με βάση τον ΕΚΑ
(συνέχεια)

	33 φίλτρων και προστατευτικό ρουχισμό μη προδιαγραφόμενα άλλως
20 01 35*	Απορριπτόμενος ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός άλλος από τον αναφερόμενο στα σημεία 20 01 21 και 20 01 23 που περιέχει επικίνδυνα συστατικά στοιχεία
20 01 36	Απορριπτόμενος ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός άλλος από τον αναφερόμενο στα σημεία 20 01 21, 20 01 23 και 20 01 35
20 01 37*	Ξύλο που περιέχει επικίνδυνες ουσίες
20 01 38	Ξύλο εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στο σημείο 20 01 37
20 01 39	Πλαστικά
20 01 40	Μέταλλα
20 01 41	Απόβλητα από τον καθαρισμό καμινάδων
20 01 99	Άλλα μέρη μη προδιαγραφόμενα άλλως
20 02	Απόβλητα κήπων και πάρκων (περιλαμβάνονται απόβλητα νεκροταφείων)
20 02 01	Βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα
20 02 02	Χώματα και πέτρες
20 02 03	Άλλα μη βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα
20 03	Άλλα δημοτικά απόβλητα
20 03 01	Ανάμεικτα δημοτικά απόβλητα
20 03 02	Απόβλητα από αγορές
20 03 03	Υπολείμματα από τον καθαρισμό δρόμων
20 03 04	Λάσπη σηπτικής δεξαμενής
20 03 06	Απόβλητα από τον καθαρισμό λυμάτων
20 03 07	Ογκώδη απόβλητα
20 03 99	Δημοτικά απόβλητα με προδιαγραφόμενα άλλως

2.4 Υφιστάμενη κατάσταση σε Ελλάδα

Με την πάροδο του χρόνου η χώρα μας έχει επηρεαστεί από την ανεπαρκή διαχείριση των απορριμμάτων και αυτό έχει οδηγήσει στη συνεχή επιβολή προστίμων από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) για τους παράνομους χώρους διάθεσης απορριμμάτων (ΧΑΔΑ). Ωστόσο παρόλο που γίνεται κατά καιρούς εξέταση και αναθεώρηση των ΕΣΔΑ που έχουν ως σκοπό την εφαρμογή νέων τρόπων καλύτερης διαχείρισης με κύριο στόχο την κυκλική οικονομία,, η χώρα μας ακόμη και σήμερα δεν καταφέρνει να επιτεύξει αυτούς τους στόχους. (Παναγιωτακόπουλος Χ., 2007)

Η εναπόθεση των μεγάλων ποσοτήτων των παραγόμενων απορριμμάτων στο νομό Αττικής και ειδικότερα του οργανικού κλάσματος αποτελεί σημαντικό, επίκαιρο και διαχρονικό περιβαλλοντικό πρόβλημα που επηρεάζει άμεσα της ανθρώπινη υγεία, αλλά και το περιβάλλον. Επιπρόσθετα οι ως τώρα λύσεις και κυρίως αυτή της απόρριψης των απορριμμάτων σε χώρους υγειονομικής ταφής (Χ.Υ.Τ.) με βάση τις μελέτες, αλλά και τις τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί, φαίνεται πως είναι από τις πιο αναποτελεσματικές. (Παναγιωτακόπουλος Χ., 2007)

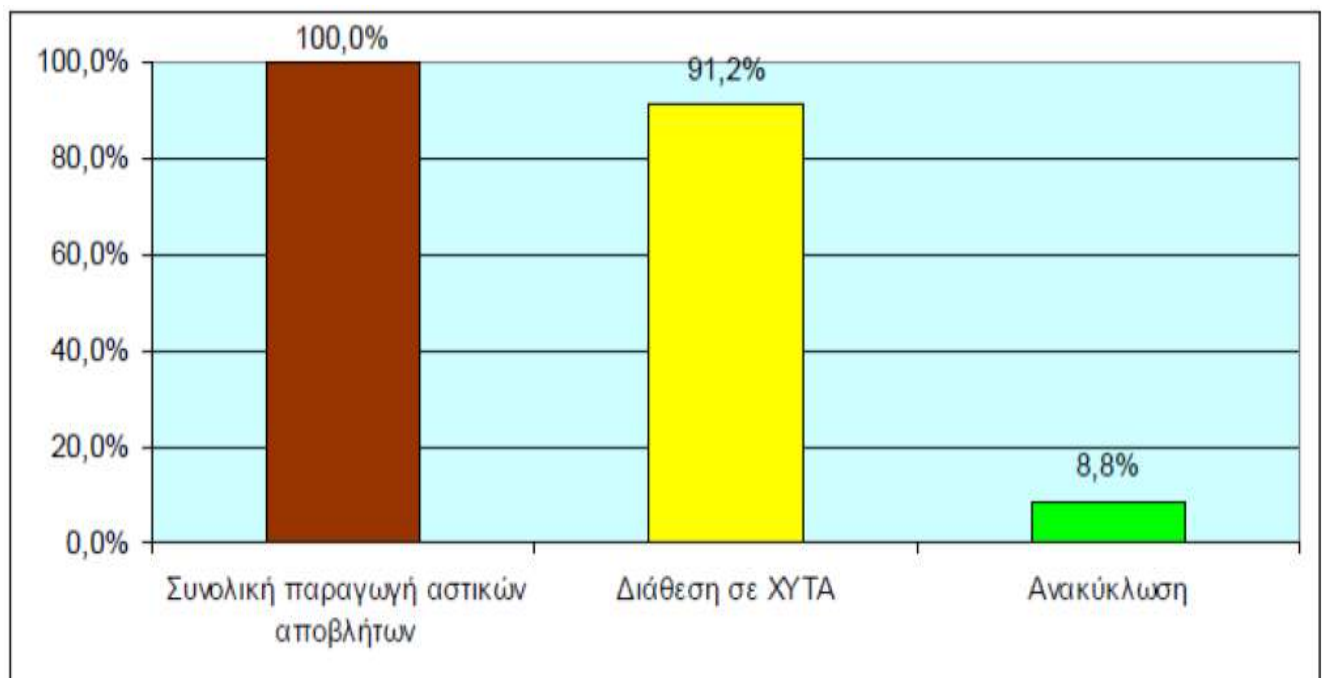
Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί πως (Παναγιωτακόπουλος Χ., 2007):

- 1) Δεν τηρούνται οι βασικές αρχές που καθορίζουν την ολοκληρωμένη διαχείριση των απορριμμάτων και ειδικά η εφαρμογή πρακτικών για την μείωσή τους (ανάκτηση, ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση υλικών).
- 2) Η μεταφορά και η ταφή του μεγαλύτερου μέρους των απορριμμάτων στους Χ.Υ.Τ οδηγεί σε πλήρωσή τους μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα.
- 3) Το ανεπαρκές δίκτυο αξιοποίησης του βιοαερίου που εκλύεται από τα απορρίμματα κατά τη διαδικασία αποσύνθεσής τους στους χώρους

που εναποθέτονται είναι πιθανό να προκαλέσει σοβαρούς κινδύνους τόσο για τους εργαζόμενους όσο και για το περιβάλλον.

- 4) Οι λανθασμένοι περιφερειακοί σχεδιασμοί, και πιο συγκεκριμένα αυτός της Αττικής, δεν προσφέρουν ολοκληρωμένες, αξιόπιστες και εφαρμόσιμες λύσεις. Θα ήταν επιθυμητό να πραγματοποιηθεί επανασχεδιασμός σε εθνική βάση.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί η λειτουργία των παράνομων χωματερών (Χ.Α.Δ.Α) οι οποίες μολύνουν τα εδάφη, τα νερά, τον αέρα και αρκετές φορές προκαλούνται πυρκαγιές σε δασικές εκτάσεις. Παρά το ότι ως τις 31/12/2008 έπρεπε να κλείσουν και να αποκατασταθούν πλήρως, καθώς έχει γίνει επιβολή προστίμων από την ΕΕ που ανέρχονται στο ποσό των 80.000 ευρώ σε ετήσια βάση, για καθεμία από τις 65 περιπτώσεις παράνομων ΧΑΔΑ που υπήρχαν έως το Α' εξάμηνο του 2019, αυτές συνεχίζουν να λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο. (Παναγιωτακόπουλος Χ., 2007 & naftemporiki.gr)



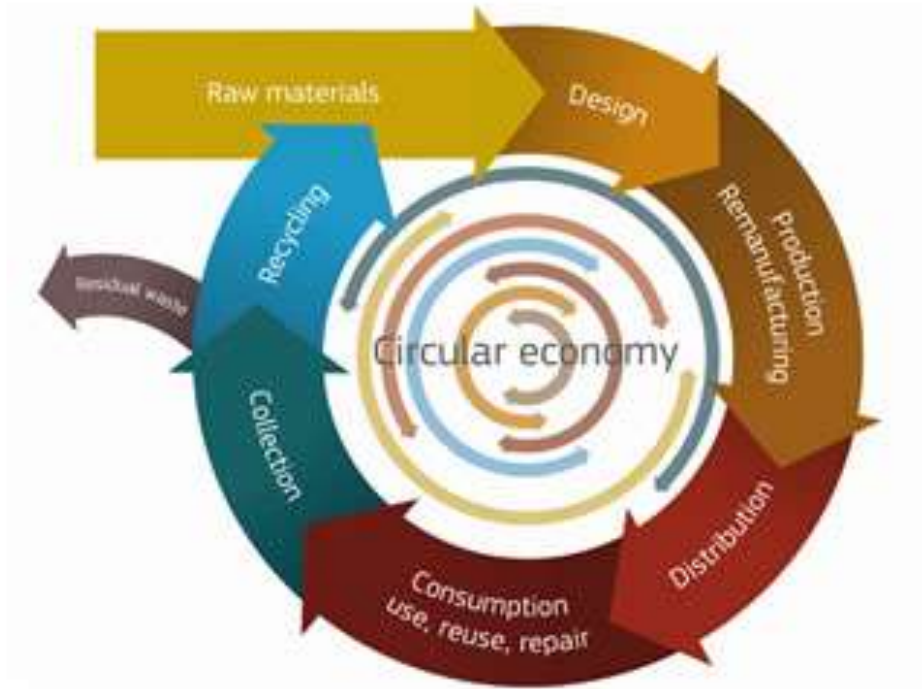
Σχήμα2: Διαχείριση ΑΣΑ στην Ελλάδα

2.5 Επεξεργασία Απορριμμάτων και Κυκλική Οικονομία

Σε όλα σχεδόν τα μέρη του κόσμου, η συσσώρευση των στερεών οργανικών αποβλήτων θεωρείται ότι έχει φτάσει σε κρίσιμο επίπεδο. Αυτό το πρόβλημα πρέπει να λυθεί με έναν οικολογικό τρόπο ώστε να αποφευχθεί η δραματική μείωση των φυσικών πόρων, να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι για την υγεία των ανθρώπων και να διατηρηθεί η συνολική ισορροπία του οικοσυστήματος. Το μοντέλο στο οποίο βασίζεται η διαχείριση των πόρων στις σύγχρονες κοινωνίες είναι η **προμήθεια**, η **παρασκευή** και η **απόρριψη**. Παρατηρείται πως οι βιομηχανίες βασίζονται στους φυσικούς πόρους ώστε να τους χρησιμοποιήσουν για την δημιουργία αγαθών, οι οποίοι στη συνέχεια, μετά την χρήση τους, απορρίπτονται στο περιβάλλον χωρίς κάποιο σχέδιο επαναχρησιμοποίησης ή ελαχιστοποίησης. (Ρεκλείτης, 2020)

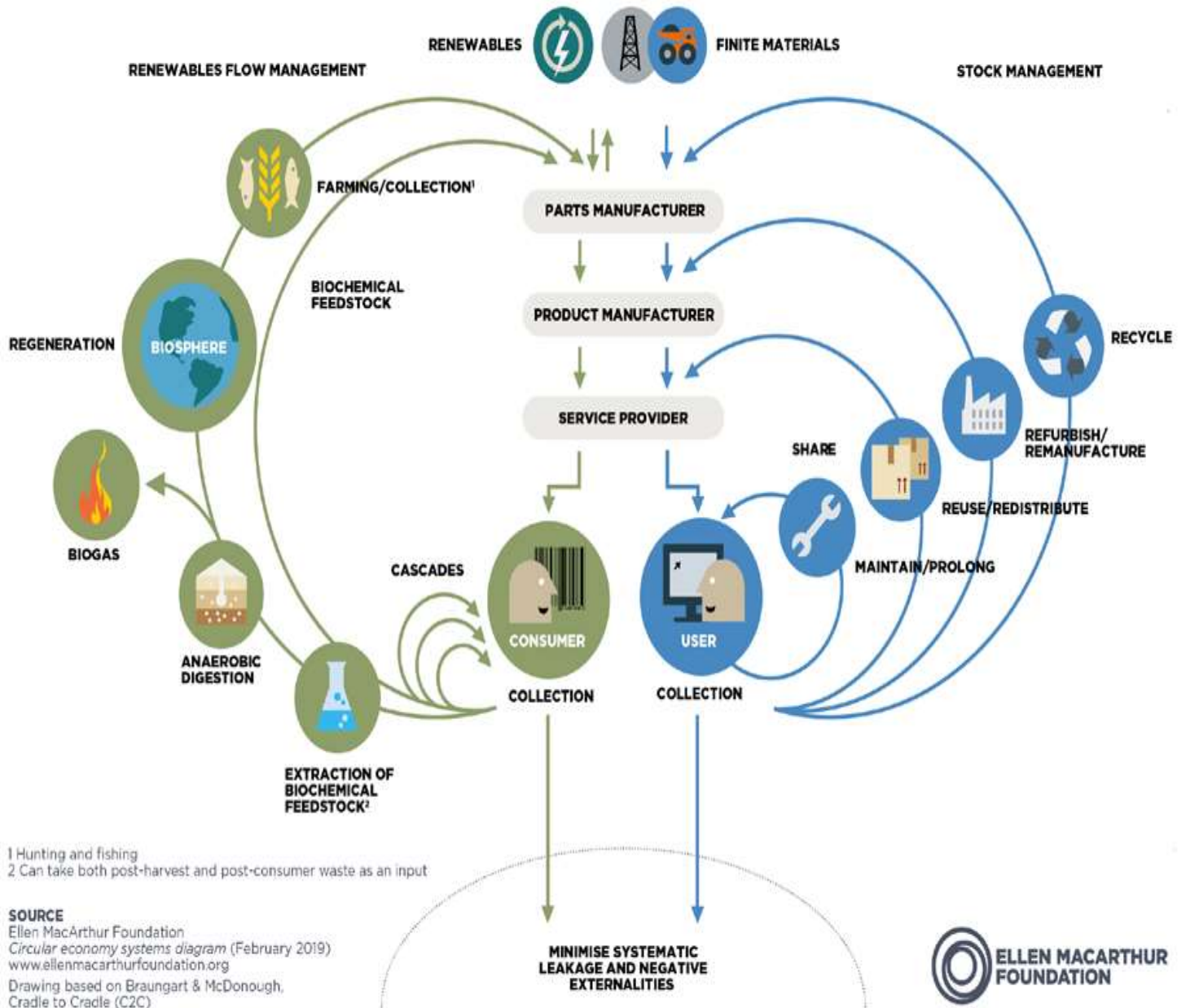
Είναι αξιοσημείωτο πως σήμερα η κατανάλωση των φυσικών πόρων γίνεται με ρυθμό 50% χαμηλότερα από ό,τι μπορούμε να τους αναπληρώσουμε και αν συνεχιστεί με αυτό το ποσοστό μέχρι το 2030 οι απαιτήσεις σε φυσικούς πόρους που θα χρειάζονται θα είναι περίπου όσο δύο πλανήτες. (Hult, 2019)

Με βάση το **Σχήμα 3**, βλέπουμε το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας το οποίο είναι επιθυμητό να εφαρμοστεί στην Ευρώπη αλλά και στην Ελλάδα, με κύριο στόχο να αλλάξει ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιούνται τα υλικά και να δημιουργηθούν κυκλικά συστήματα χρησιμοποίησης. Γίνεται κατανοητό πως οι πόροι είναι ένα προσωρινό τμήμα ενός τελικού προϊόντος το οποίο κατά το τέλος του κύκλου ζωής του θα μπορεί και πάλι να επαναχρησιμοποιηθεί ως ένα νέο προϊόν αφού έχει επεξεργαστεί κατάλληλα. (Merrild, H. et al., 2012)



Σχήμα3: Διάγραμμα κυκλικής οικονομίας (etek.org.cy)

Όσον αφορά την έννοια της κυκλικής οικονομίας πρόκειται ουσιαστικά για μια αλλαγή νοοτροπίας που απευθύνεται κυρίως σε πολίτες που έχουν επίγνωση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής, και τώρα ως λύση, σκοπεύουν να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία και τη γνώση για να εκμεταλλευτούν την αξία των πόρων. Οι δραστηριότητες επεξεργασίας απορριμμάτων που αποτελούνται από πόρους είναι κυρίως δραστηριότητες στις οποίες εφαρμόζονται οι αρχές της κυκλικής οικονομίας. Μέσα από το **Σχήμα 4** απεικονίζεται ένα διάγραμμα της μορφής «butterfly» το οποίο δείχνει την πορεία της κυκλικής οικονομίας. (www.ellenmacarthurfoundation.org)



Σχήμα4: Το σύστημα της κυκλικής οικονομίας (Ίδρυμα EllenMacArthur, 2020)

2.6 Βιομάζα

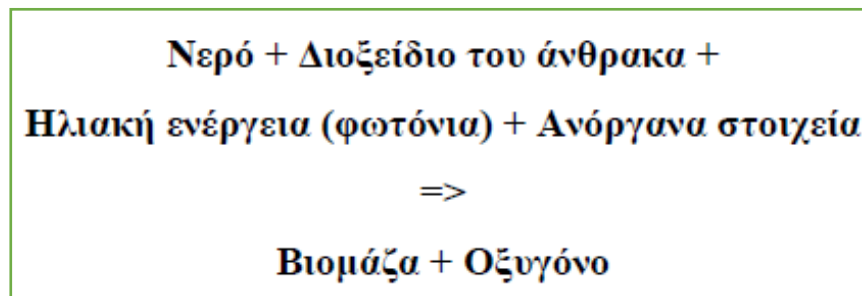
Ως βιομάζα μπορεί να οριστεί η ύλη, η προέλευσή της οποίας είναι βιολογική (οργανική). Δίνοντας μια πιο ευρεία έννοια στον όρο, «βιομάζα» χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε υλικό του οποίου η προέλευση είναι άμεσα ή έμμεσα συνδεδεμένη με τον φυτικό κόσμο. (Αποστολάκης, Κ., κ.α.,1997)

Κάποια βασικά παραδείγματα που εντάσσονται στον ορισμό της βιομάζας είναι τα ακόλουθα(Αποστολάκης, Κ., κ.α.,1997):

- οι φυτικές ύλες που η κύρια προέλευσή τους είναι τα οικοσυστήματα,
- τα κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής,
- επεξεργασμένα προϊόντα των φυτικών υλικών (π.χ. ελαιοπυρηνόξυλα, το πριονίδι κ.α.),
- το βιολογικό κλάσμα των αστικών στερεών απορριμμάτων.

Από την στιγμή που θα σχηματιστεί η βιομάζα πρόκειται ουσιαστικά για μια δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας η οποία είναι αποτέλεσμα της δραστηριότητας της φωτοσύνθεσης των φυτικών οργανισμών που υπάρχουν εντός του υλικού. Η διαδικασία ξεκινάει καθώς η χλωροφύλλη των φυτών μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια με την βοήθεια του CO₂ που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε νερό, αλλά και ανόργανα συστατικά που συναντώνται στο έδαφος.

Γίνεται κατανοητό συνεπώς πως η βιομάζα αποτελεί μια πηγή ενέργειας η οποία είναι ανεξάντλητη και πάνω από όλα φιλική προς το περιβάλλον, ενώ την ίδια στιγμή μπορεί να αντικαταστήσει την όλο και αυξανόμενη ζήτηση σε ορυκτά καύσιμα (π.χ. πετρέλαιο, άνθρακα, φυσικό αέριο). (Αποστολάκης, Κ., κ.α.,1997)



Εικόνα 1: Διεργασίας εντός της βιομάζας (Λυχνάρης Β. κ.α, 2006)

Όσον αφορά στα αστικά στερεά απορρίμματα και τα βιομηχανικά υπολείμματα μπορούν να μετατραπούν σε μια έμμεση πηγή βιομάζας. Χαρακτηριστικό είναι πως στις βιομηχανοποιημένες χώρες γίνεται καθημερινή παραγωγή περίπου 0,9-1,9Kg στερεών αστικών απορριμμάτων κατ' άτομο, τα οποία περιέχουν ενέργεια 4-13 MJ/kg. (IPCC, 1996)

Διάφορες διεργασίες, όπως είναι η καύση των απορριμμάτων, η θερμοχημική αεριοποίηση και η μικροβιακή αποδόμηση τους, μπορούν να μετατρέπουν τα αστικά στερεά απορρίμματα σε ηλεκτρισμό, θερμότητα ακόμα και σε αέρια αλλά και σε υγρά καύσιμα. Επίσης, προβλέπεται ότι στις βιομηχανοποιημένες χώρες έως το έτος 2025 η παραγωγή ενέργειας που μπορεί να προέλθει από τα αστικά απορρίμματα θα φθάσει περίπου τα 3 EJ τον χρόνο, ενώ σε παγκόσμιο επίπεδο τα 6 EJ. (Johansson, T.B., et al., 1993)



Εικόνα 2: Πηγές Βιομάζας (www.uhhe.gr)

2.7 Βιοκαύσιμα

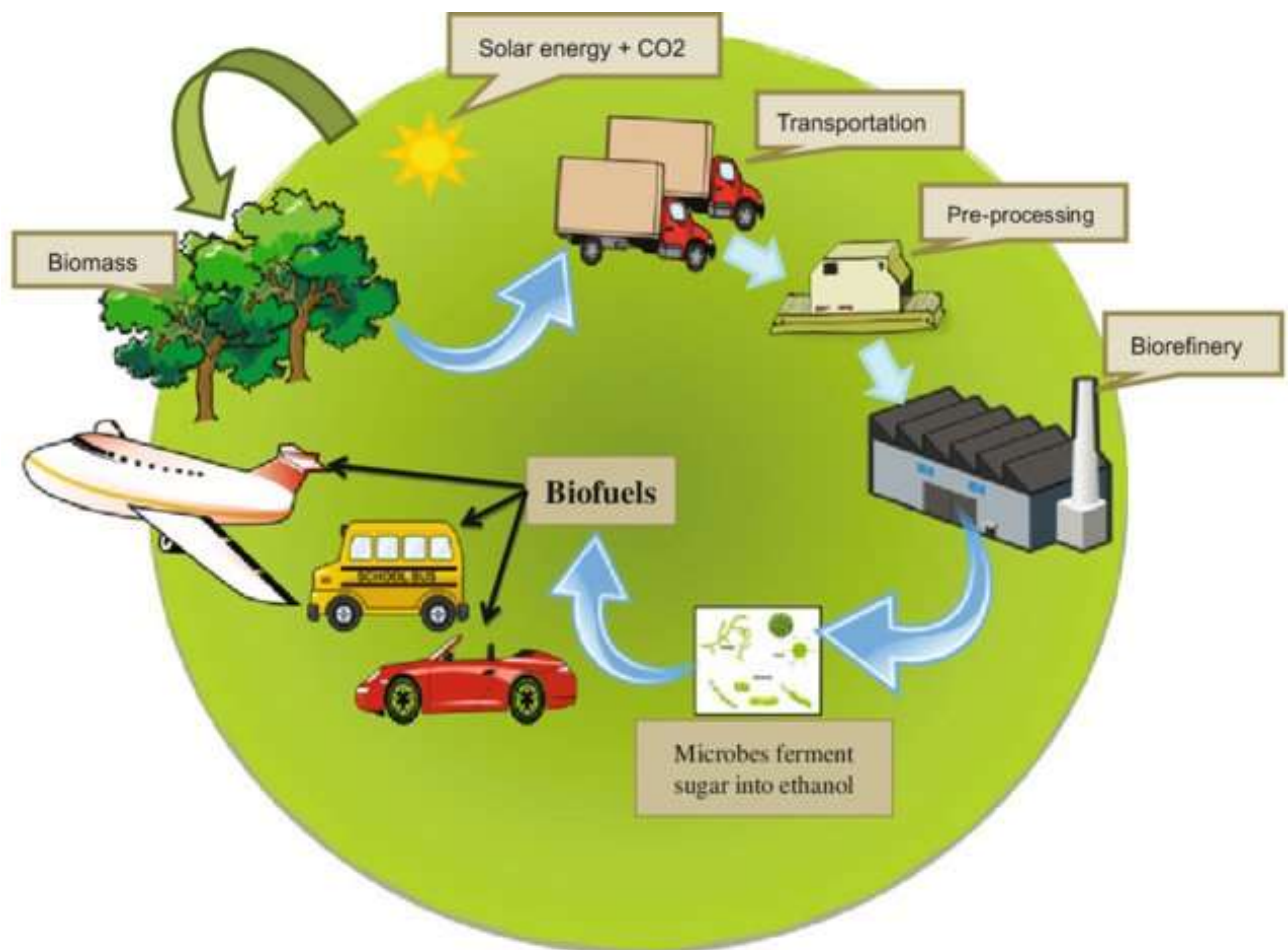
Βιοκαύσιμα (αγγλ. biofuels) χαρακτηρίζονται τα καύσιμα όπως είναι τα στερεά, υγρά ή αέρια τα οποία προέρχονται από τη βιομάζα. Το βιοδιασπώμενο δηλαδή κλάσμα προϊόντων αποβλήτων που προέρχεται από ανθρωπογενής δραστηριότητες. (IENE, 2006)

Η κύρια πηγή από την οποία προέρχονται τα βιοκαύσιμα είναι από οργανικά προϊόντα τα οποία θεωρούνται ανανεώσιμα καύσιμα. Ως ανανεώσιμα καύσιμα έχουν την ιδιότητα, σε θεωρητικό βαθμό τουλάχιστον, των χαμηλότερων εκπομπών CO₂ στο σύνολο του κύκλου ζωής τους σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα.

Κατά την διεργασία της καύσης τους, τα βιοκαύσιμα εκλύουν κατά μέσο όρο τις ίδιες ποσότητες CO₂ με τα αντίστοιχα καύσιμα πετρελαϊκής προέλευσης. Η διαφορά ωστόσο παρατηρείται στην οργανική προέλευσή τους, καθώς ο άνθρακας τον οποίο περιέχουν έχει δεσμευτεί κατά την ανάπτυξη της οργανικής ύλης από την ατμόσφαιρα στην οποία επιστρέφει μετά την καύση. Στην πράξη όμως επειδή κατά την παραγωγή και μεταφορά της πρώτης ύλης, αλλά και των ίδιων των βιοκαυσίμων πραγματοποιούνται και άλλες δραστηριότητες κατά τις οποίες εκλύεται

CO, το τελικό όφελος από τα καύσιμα αυτά μπορεί να είναι από πολύ μεγάλο έως μηδενικό. Ωστόσο, για τα ακριβή περιβαλλοντικά οφέλη κάποιον βιοκαυσίμων πρέπει να πραγματοποιηθεί εξειδικευμένη ανάλυση κύκλου ζωής. (Μακρής, Β., κ.α, 2007)

Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται ένας τυπικός κύκλος μετατροπής της ενέργειας σε βιοκαύσιμα και οι εφαρμογές οι οποίες μπορούν να βρουν σε μέσα μεταφοράς, καθώς και η θετική συνεισφορά που έχει η διαδικασία παραγωγής τους στο περιβάλλον.



Εικόνα 3: Εφαρμογή των Βιοκαυσίμων (Afifa Q., et al., 2018)

Κεφάλαιο 3^ο: Αναερόβια Χώνευση

3.1 Εισαγωγή στην Αναερόβια Χώνευση

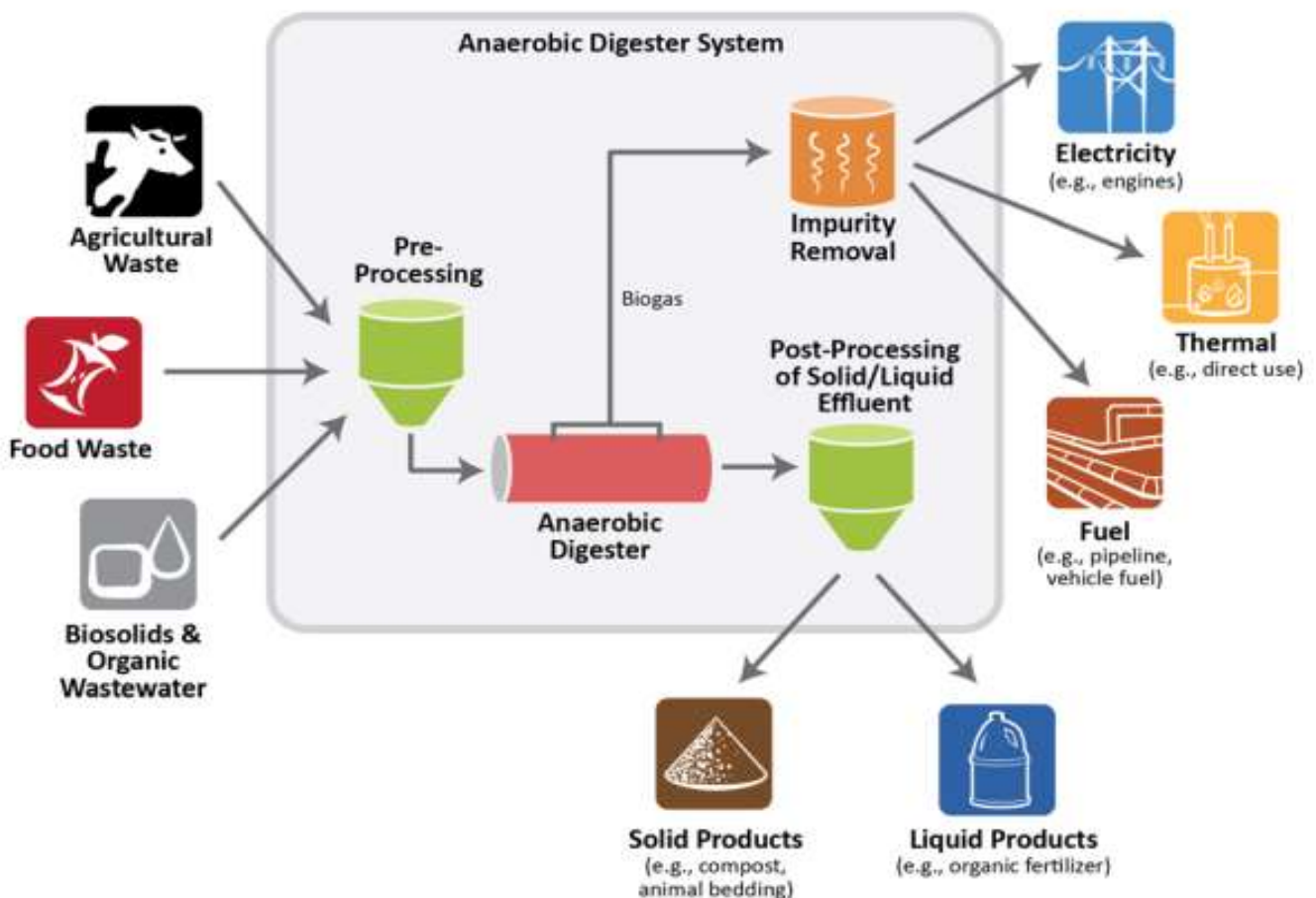
Η αναερόβια χώνευση ή ζύμωση αποτελεί την αποσύνθεση της οργανικής ύλης η οποία συνδυάζει τη δραστηριότητα μικροοργανισμών οι οποίοι ζουν και αναπτύσσονται σε περιβάλλον χωρίς οξυγόνο (O₂) (αναερόβιοι μικροοργανισμοί). Η αναερόβια διεργασία χαρακτηρίζεται επίσης ως μια διεργασία βιολογικής δραστηριότητας κατά την οποία διάφοροι πληθυσμοί μικροβίων αποσυντίθενται και μετατρέπουν μακρομοριακές οργανικές ενώσεις σε άλλες μορφές οργανικών και ανόργανων ενώσεων απουσία οξυγόνου (O₂). Πιο συγκεκριμένα, η αναερόβια χώνευση αποτελεί μια βιολογική διαδικασία στη φύση: μέσω του μεταβολισμού των μικροοργανισμών, η οργανική ύλη μετατρέπεται σε ενδιάμεσα προϊόντα, αλλά δεν μετατρέπεται πλήρως σε τελικά ανόργανα προϊόντα, και σταθερά οργανικά υπολείμματα, με αποτέλεσμα να διατηρείται ενδιάμεσα η οργανική ύλη. (Μακρίδης Λ., κ.α., 2019)

Τα τελευταία χρόνια η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων, αλλά και λυμάτων με σκοπό τόσο την παραγωγή καυσίμου αερίου όσο και τη μείωση του οργανικού φορτίου. Το παραγόμενο μείγμα αερίων που εκλύεται κατά την αναερόβια επεξεργασία της οργανικής ύλης χαρακτηρίζεται ως «βιοαέριο» και η διαδικασία ως «διαδικασία παραγωγής βιοαερίου».

Το ενεργειακό περιεχόμενο από το οποίο αποτελείται κυρίως το βιοαέριο καθορίζεται από την περιεκτικότητα σε μεθάνιο και η κύρια του χρησιμότητα είναι για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Τα υπολείμματα ζύμωσης από την αναερόβια χώνευση

συνεχίζουν να είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λιπάσματα.(Μακρίδης Λ., κ.α., 2019)

Η Α.Χ. αποτελεί μια πολύ αποτελεσματική και χρήσιμη μέθοδο για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων. Ως βασικός στόχος είναι η παραγωγή μεθανίου, το οποίο μέσω κατάλληλης επεξεργασίας, πηγαίνει για καύση ώστε να παραχθεί ηλεκτρισμός ή θερμότητα. Η ΑΧ παρουσιάζεται ως η καταλληλότερη μέθοδος για την επεξεργασία οργανικής ύλης, η οποία έχει υψηλά ποσοστά υγρασίας, όπως τα απόβλητα τροφών.



Εικόνα 4: Σύστημα αναερόβιας χώνευσης (<https://www.globalmethane.org/>)

3.2 Πρώτη Ύλη για την ΑΧ

Ρεύμα εισόδου για την ΑΧ μπορούν να αποτελέσουν τόσο βιοαπόβλητα που έχουν προέλθει από την διαδικασία διαχωρισμού αποβλήτων, που χαρακτηρίζεται ως διαλογή στην πηγή, όσο και βιοαπόβλητα που προέρχονται από την σύμμεικτη συλλογή των αστικών στερεών απορριμμάτων. Ωστόσο, τα βιοαπόβλητα που προέρχονται από σύμμεικτη συλλογή έχουν το μειονέκτημα ότι εμφανίζουν χαμηλότερη ποιότητα εξαιτίας του γεγονότος ότι έχουν «μολυνθεί» από άλλα οικιακά απορρίμματα. (ΕΠΠΕΡΑ, 2012)

Για την παραγωγή βιοαερίου με την τεχνολογία της ΑΧ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια πληθώρα από τύπους βιομάζας ως υπόστρωμα. Οι πιο συνήθεις κατηγορίες πρώτης ύλης οι οποίες χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη για την παραγωγή βιοαερίου είναι οι ακόλουθες (ΕΠΠΕΡΑ, 2012):

- Απόβλητα από ζώα,
- υπολείμματα από την γεωργική δραστηριότητα,
- οργανικά απόβλητα από τρόφιμα και αγροτοβιομηχανίες (φυτικής και ζωικής προέλευσης) που μπορούν να υποστούν χώνευση,
- το οργανικό μέρος από τα αστικά απόβλητα των επιχειρήσεων εστίασης,
- λυματολάσπη
- ειδικές καλλιέργειες που έχουν σκοπό την ενεργειακή εκμετάλλευση.

Στον **Πίνακα 3** βλέπουμε κάποιες πρώτες ύλες και το ποσοστό μεθανίου και βιοαερίου όπου μπορούν να αποδώσουν

Πίνακας 3: Ποσότητες μεθανίου και βιοαερίου υλικών πρώτης ύλης (Sioulas, K., et al., 2009)

Πρώτη ύλη	Παραγωγή μεθανίου (%)	Παραγωγή βιοαερίου (%)
Υγρό κοπριά βοοειδών	60	25
Υγρό κοπριά χοίρων	65	28
Υπολείμματα αποστακτήριων με διαλυτά	61	40
Κοπριά βοοειδών	60	44
Κοπριά χοίρων	60	60
Κοπριά πουλερικών	60	80
Τεύτλα	53	88
Οργανικά απόβλητα	61	100
Γλυκό σόργο	54	108
Τεύτλα	51	111
Σωρός χλόης	54	172
Σωρός καλαμποκιού	52	202

Με βάση τον **Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (ΕΚΑ)** που παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα, βλέπουμε τους κωδικούς των αποβλήτων καθώς επίσης και την περιγραφή των αποβλήτων που εντάσσονται σε αυτόν. Να σημειωθεί πως ο κωδικός των έξι ψηφίων που αναφέρεται στο κάθε είδος αποβλήτου του ΕΚΑ υιοθετήθηκε με Απόφαση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

Πίνακας 4: Βιοαπόβλητα, κατάλληλα για βιολογική επεξεργασία, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων 2007 (EWC)

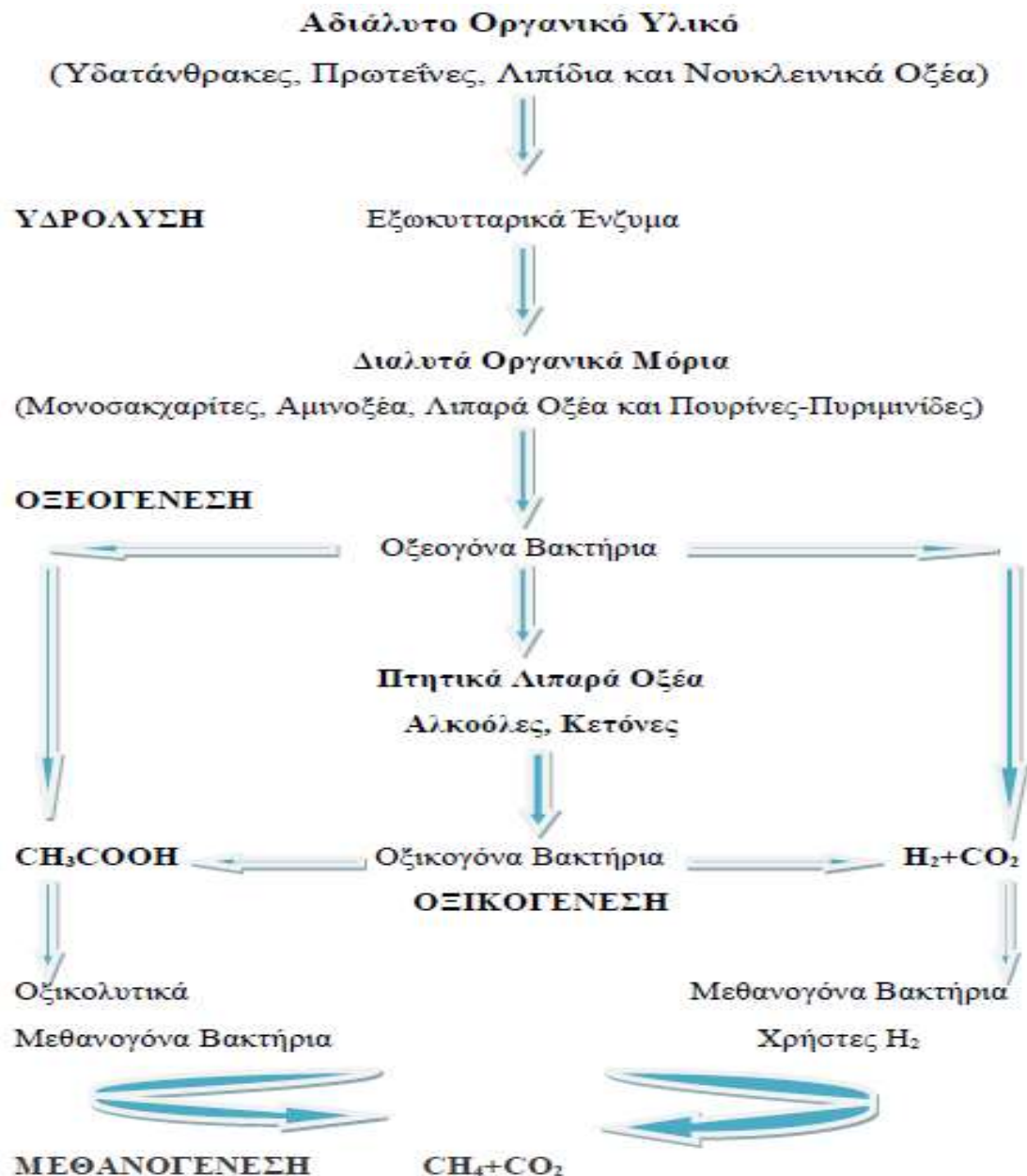
Κωδικός Αποβλήτων	Περιγραφή αποβλήτων
02 00 00	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Απόβλητα από τη γεωργία, τη δενδροκηποκομία, την υδατοκαλλιέργεια, τη δασοκομία, το κυνήγι και την αλιεία ▪ Απόβλητα από την προετοιμασία και την επεξεργασία του κρέατος, των ψαριών και άλλων τροφίμων ζωικής προέλευσης ▪ Απόβλητα από την προετοιμασία και την επεξεργασία των φρούτων, των λαχανικών, των δημητριακών, των ελαίων, του κακάο, του τσαγιού και του καπνού- την κονσερβοποιία - την παραγωγή ζύμης και παραγώγων ζύμης, την προετοιμασία και ζύμωση μελάσσας
03 00 00	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Απόβλητα από την επεξεργασία της ξυλείας και την παραγωγή κουφωμάτων και επίπλων ▪ Απόβλητα από την παραγωγή και την επεξεργασία πολτού, χαρτιού και χαρτονιών
04 00 00	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Απόβλητα από τη βιομηχανία δέρματος και γούνας ▪ Απόβλητα από την κλωστοϋφαντουργία
15 00 00	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Συσκευασίες (συμπεριλαμβανομένων των χωριστά συλλεχθέντων δημοτικών αποβλήτων από συσκευασίες)
19 00 00	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Απόβλητα από την αναερόβια επεξεργασία των αποβλήτων ▪ Απόβλητα από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υδάτων αποβλήτων που δεν διευκρινίζονται αλλιώς ▪ Απόβλητα από την προετοιμασία του πόσιμου νερού ή του ύδατος για βιομηχανική χρήση
20 00 00	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Χωριστά συλλεχθέντα μέρη (εκτός από αυτά του 15 01) ▪ Απόβλητα κήπων και πάρκων (συμπεριλαμβανομένων των αποβλήτων των νεκροταφείων)

3.3 Στάδια Αναερόβιας Χώνευσης

Η ΑΧ όπως προαναφέρθηκε αποτελεί μια μικροβιολογική διαδικασία κατά την οποία γίνεται αποσύνθεση της οργανικής ουσίας χωρίς να υπάρχει οξυγόνο. Τα βασικά προϊόντα τα οποία παράγονται είναι το βιοαέριο και το κομπόστ. Το βιοαέριο αποτελεί ένα αέριο καύσιμο, η κύρια σύσταση του οποίου αποτελείται από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα (αναλυτικότερη περιγραφή θα γίνει σ' επόμενο κεφάλαιο). Το κομπόστ αποτελεί το τελικό προϊόν της ΑΧ το οποίο είναι ένα αποσυντεθειμένο υπόστρωμα. (Sioulas, K., et al., 2009)

Κατά τη διάρκεια της ΑΧ, παράγεται λιγότερη θερμότητα συγκριτικά με την αερόβια αποσύνθεση (δηλαδή με παρουσία οξυγόνου). Με την αερόβια χώνευση επιτυγχάνεται η κομποστοποίηση. Η ενέργεια, η οποία είναι χημικά δεσμευμένη εντός του υποστρώματος που χρησιμοποιείται για την ΑΧ, παραμένει στο βιοαέριο που παράγεται με τη μορφή μεθανίου. Πιο συγκεκριμένα ο σχηματισμός του βιοαερίου είναι ένα αποτέλεσμα συνδυαστικών βημάτων, στα οποία το αρχικό υλικό συνεχώς διασπάται σε μικρότερα στοιχεία. Ειδικές ομάδες μικροοργανισμών εμπλέκονται σε καθένα από τα μεμονωμένα βήματα. Αυτοί οι οργανισμοί αποσυνθέτουν διαδοχικά τα προϊόντα των προηγούμενων βημάτων. (Sioulas, K., et al., 2009)

Τα στάδια των διεργασιών στην ΑΧ παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα που διακρίνονται στα εξής 4 βήματα : 1) Η υδρόλυση, 2) Η οξεογένεση, 3) Η οξικογένεση, και 4) Η μεθανογένεση.



Σχήμα 4: Στάδια μετατροπής οργανικού υλικού σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα μέσω της ανερόβιας χώνευσης ([sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com))

Επιπλέον στις περιπτώσεις των εγκαταστάσεων βιοαερίου, η υδρόλυση, που είναι το πρώτο στάδιο της διεργασίας, είναι αυτό που καθορίζει και τις μετέπειτα φάσεις. Κατά την υδρόλυση, γίνεται παραγωγή μικρών ποσοτήτων βιοαερίου και η αιχμή του φτάνει κατά την μεθανογένεση, το τελευταίο στάδιο της όλης διεργασίας.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί πως τα τέσσερα στάδια που βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα, πραγματοποιούνται παράλληλα στον χώρο και στον χρόνο μέσα στη δεξαμενή χώνευσης. Η ταχύτητα της συνολικής διεργασίας αποσύνθεσης καθορίζεται από την πιο αργή αντίδραση της αλυσίδας. Στην συνέχεια θα γίνει μια πιο αναλυτική περιγραφή των τεσσάρων αυτών σταδίων. (Sioulas, K., et al., 2009)

Υδρόλυση

Το πρώτο στάδιο κατά την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης αποτελεί η υδρόλυση. 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, J. H., et al., 2003)

Ένζυμα δηλαδή όπως η κυτταρινάση, η αμυλάση, η πρωτεάση και η προμάση μεταβολίζουν το οργανικό υλικό σε μόρια όπως αμινοξέα, σάκχαρα, πεπτίδια, αμμωνία, διοξείδιο του άνθρακα. 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. 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. (Miyamoto, K., et al., 1997)

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. (Gujer, W., 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 μικροοργανισμούς που χρειάζονται μεθάνιο για να επιβιώσουν και να προχωρήσει το στάδιο της μεθανιογένεσης. (Ostrem, K., 2004)

Οξικογένεση

Στο στάδιο αυτό ουσιαστικά γίνεται μια περαιτέρω αποδόμηση ορισμένων ενώσεων, όπως βουτυρικού οξέος, διοξειδίου του άνθρακα, υδρογόνο, και οξικού οξέος. Κατά την οξικογένεση δημιουργείται μια σχέση μεταξύ των οξικογόνων και των μεθανιογόνων μικροοργανισμών, καταναλώνοντας το υδρογόνο του συστήματος ώστε να δοθεί 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-Alvarez, J., 2003)

Μεθανογένεση

Οι μεθανογόνοι 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, το οποίο αποτελεί το τελικό προϊόν της αναερόβια χώνευσης. Το υπόστρωμα των μεθανογόνων 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.(Angelidaki, I, et al.,2002)

3.4 Αναερόβια Χώνευση και μικροβιολογία

Οι διάφορες βιοχημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στη φύση αποτελούνται από μικροοργανισμούς, όπως οι αντιδράσεις της ζύμωσης ή οξείδωσης της οργανικής ύλης σε αερόβιες συνθήκες. Κατά τις αερόβιες συνθήκες έχουμε την μετατροπή σε CO₂ και σε H₂O, ενώ στις αναερόβιες σε CO₂ και σε CH₄. Πιο συγκεκριμένα διάφοροι μικροοργανισμοί όπως βακτήρια και μύκητες λειτουργούν ως καταλύτες ώστε να πραγματοποιηθούν χημικές αντιδράσεις από τις οποίες λαμβάνεται ένα ποσοστό από την ενέργεια που παράγεται. (Cillie, G., et all., 1969)

Η ΑΧ πρόκειται για μια πολύπλοκη βιοχημική διεργασία στην οποία οι μικροοργανισμοί αποσυνθέτουν την οργανική ύλη. Συγκεκριμένα εμπλέκονται δυο είδη μικροοργανισμών· Το **πρώτο είδος** μετατρέπει τις πρωτεΐνες, τους υδατάνθρακες και τα λίπη, κυρίως σε πτητικά λιπαρά

οξέα, ενώ το **δεύτερο είδος** αποτελείται από αναερόβια βακτήρια που ονομάζονται μεθανογόνα και μετατρέπουν τα τελικά προϊόντα του μεταβολισμού των μικροοργανισμών του πρώτου είδους σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Σύμφωνα με την παραπάνω διάκριση, καταλαβαίνουμε πως οι μικροοργανισμοί της αναερόβιας χώνευσης διακρίνονται σε μη μεθανογόνους, που δεν παράγουν άμεσα μεθάνιο, και σε μεθανογόνους μικροοργανισμούς, οι οποίοι είναι αυστηρά αναερόβιοι και παράγουν μεθάνιο.(Cillie, G., et all., 1969)

3.5 Παράμετροι κατά την Αναερόβια Χώνευση

Η αποτελεσματικότητα της ΑΧ είναι συνδεδεμένη με παραμέτρους οι οποίες παίζουν καταλυτικό ρόλο τόσο στην κατάλληλη ανάπτυξη των αναερόβιων μικροοργανισμών όσο και στην ορθή λειτουργία όλου το συστήματος. Τόσο η ανάπτυξη όσο και η δραστηριότητά τους επηρεάζεται σημαντικά από παράγοντες όπως είναι ο αποκλεισμός του οξυγόνου, η θερμοκρασία, η τιμή του pH, ο ανεφοδιασμός με θρεπτικές ουσίες, η ένταση της ανάδευσης, καθώς και από τη παρουσία και τη ποσότητα ανασταλτικών παραγόντων (π.χ. αμμωνία). Βλέποντας πιο αναλυτικά κάποιες από τις σημαντικότερες παραμέτρους έχουμε τα εξής (Sioulas, K., et al., 2009):

Θερμοκρασία :

Η διαδικασία της ΑΧ είναι εφικτό να ολοκληρωθεί σε διαφορετικές θερμοκρασίες οι οποίες χωρίζονται σε τρεις θερμοκρασιακές φάσεις: 1) ψυχρόφιλη (κάτω από 25°C), 2) μεσόφιλη (25- 45°C), και 3) θερμόφιλη (45-70°C) οι οποίες διατηρούνται για συγκεκριμένες ημέρες.

Θερμικό στάδιο	Θερμοκρασίες διεργασίας	Ελάχιστος χρόνος παραμονής
ψυχρόφιλη	< 20 °C	70 έως 80 ημέρες
μεσόφιλη	30 έως 42 °C	30 έως 40 ημέρες
θερμόφιλη	43 έως 55 °C	15 έως 20 ημέρες

Πίνακας 5: Θερμικά στάδια και χρόνοι παραμονής (Sioulas, K., et al., 2009)

Το να παραμείνει σταθερή η θερμοκρασία σ' όλα τα στάδια, έχει καταλυτική σημασία για την σωστή διεργασία της ΑΧ. Στην πράξη, η θερμοκρασία λειτουργίας επιλέγεται σε συνάρτηση με την χρησιμοποιούμενη πρώτη ύλη και η θερμοκρασία διεργασίας συνήθως παρέχεται από ενδοδαπέδια ή επιτοίχια συστήματα θέρμανσης, μέσα στον χωνευτήρα. (Καραλής, 2015)

Οι περισσότερες σύγχρονες εγκαταστάσεις βιοαερίου λειτουργούν σε θερμόφιλες θερμοκρασίες διεργασίας, καθώς παρέχει αρκετά πλεονεκτήματα, έναντι της μεσόφιλης και ψυχρόφιλης διεργασίας. Κάποια από τα πλεονεκτήματα είναι τα ακόλουθα (Καραλής, 2015) :

- 1) αποτελεσματική καταστροφή των παθογόνων οργανισμών,
- 2) διαχωρισμός των υγρών και στερεών μερών,
- 3) λιγότερος χρόνος παραμονής, κάτι που κάνει την διεργασία γρηγορότερη και αποδοτικότερη.

Τιμές pH :

Η τιμή του pH δηλώνει το μέτρο της οξύτητας/αλκαλικότητας του διαλύματος (αντίστοιχα με το μίγμα του υποστρώματος, στην περίπτωση της ΑΧ) και εκφράζεται σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm). Το pH του υποστρώματος της ΑΧ επηρεάζει την αύξηση των μεθανογενών μικροοργανισμών, και μπορεί να έχει επιπτώσεις στο διαχωρισμό μερικών ενώσεων που έχουν σημασία για την διεργασία της ΑΧ

(αμμωνία, σουλφίδιο, οργανικά οξέα). Ο σχηματισμός του μεθανίου πραγματοποιείται μέσα σε ένα σχετικά μικρό εύρος pH, περίπου από 5,5 έως 8,5, με ένα βέλτιστο εύρος 7-8 για τους περισσότερους μεθανογενείς οργανισμούς. Οι οξικογενείς οργανισμοί έχουν, σε πολλές περιπτώσεις, μια χαμηλότερη τιμή του βέλτιστου pH. (Sioulas, K., et al., 2009)

3.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Αναερόβιας Χώνευσης

■ Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της αναερόβιας επεξεργασίας είναι τα εξής (cres.gr):

- Η αναερόβια χώνευση προσφέρει οφέλη για τον άνθρωπο, το οικοσύστημα και το περιβάλλον καθώς, το οργανικό φορτίο των αποβλήτων μειώνεται μέσω της αναερόβιας επεξεργασίας και έτσι εναποτίθεται με μειωμένο αντίκτυπο προς αυτό.
- Επίσης, η παραγωγή του βιοαερίου, το οποίο καίγεται, έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, ενώ παράλληλα η χωνεμένη λάσπη που παραμένει ως κατάλοιπο στον χωνευτή, χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό.
- Επιπλέον 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.
- Με την ορθή αξιοποίηση του βιοαερίου μπορεί να υπάρξει μείωση των εκπομπών του αερίου 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

■ Μειονεκτήματα

Παρόλα τα πλεονεκτήματα που έχει η διεργασία της αναερόβιας επεξεργασίας χαρακτηρίζεται από κάποια μειονεκτήματα τα οποία είναι τα ακόλουθα (Lettinga, G., et al., 1979):

- Το κόστος κατασκευής μονάδων αναερόβιας επεξεργασίας είναι αρκετά αυξημένο.
- 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 ενώσεις και να μην μπορεί να ολοκληρωθεί η διαδικασία αναερόβιας χώνευσης, είναι ένα ακόμη μειονέκτημα.
- Σημαντικός, μπορεί να αποβεί και ο μεγάλος χρόνος που παραμένουν τα απόβλητα στον αντιδραστήρα προκειμένου να ζυμωθούν.
- Η αναερόβια χώνευση είναι ευαίσθητη στις μεταβολές του pH και παρεμποδίζεται από μια σειρά ουσιών που περιέχονται κυρίως στα βιομηχανικά απόβλητα και την ιλύ όπως είναι για παράδειγμα τα μέταλλα, οι χλωριομένοι υδρογονάνθρακες κ.α.
- Πολλές φορές στην πράξη, επειδή η συγκέντρωση των οργανικών ρύπων κατά την έξοδο της αναερόβιας διεργασίας δεν είναι εντός των ορίων της νομοθεσίας ώστε να γίνει διάθεση στο περιβάλλον, η αναερόβια επεξεργασία πρέπει να συμπληρώνεται και με μια αερόβια.

3.7 Συστήματα αναερόβιας επεξεργασίας

Τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης αποτελούνται κυρίως από αντιδραστήρες που συμβάλλουν στην εκτέλεση μιας σειράς βημάτων μεταβολισμού, τα οποία περιλαμβάνουν τα 4 στάδια της αναερόβιας χώνευσης όπως περιεγράφηκαν σε προηγούμενη ενότητα (υδρόλυση, οξικογένεση, οξεογένεση, μεθανιογένεση). Οι αντιδραστήρες, αποτελούν στην ουσία τον τόπο όπου οι παράγοντες ανάπτυξης (θερμοκρασία, pH, θρεπτικά συστατικά) και οι παράμετροι λειτουργίας, όπως είναι ο 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 έτσι ώστε να ολοκληρωθεί ο μετασχηματισμός. Ένα πολύ μεγάλο RT θα οδηγήσει σε ένα μεγάλο αντιδραστήρα με αποτέλεσμα το μεγάλο κόστος για την λειτουργία της εγκατάστασης. 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 και παραμέτρων λειτουργίας, τον τύπο συστήματος, τον τύπο του αντιδραστήρα αλλά και τον τρόπο που συντονίζονται οι αντιδραστήρες μεταξύ τους στο σύστημα. (PhamVan., et al, 2020)

Η επιλογή της τεχνολογίας του καταλληλότερου χωνευτήρα που θα πραγματοποιηθεί η χώνευση και η σωστή διάταξη είναι το σημαντικότερο στοιχείο για την σωστή λειτουργία μιας εγκατάστασης βιοαερίου. Για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος λαμβάνονται υπ' όψη κυρίως τα χαρακτηριστικά του προς-χώνευση υλικού, όπως το

οργανικό φορτίο, η συγκέντρωση στερεών, η πιθανή παρουσία τοξικών ουσιών και η οικονομικότητα της εγκατάστασης. (Sioulas, K., et al., 2009)

Η σωστή και ολοκληρωμένη λειτουργία ενός συστήματος αναερόβιας χώνευσης εξαρτάται άμεσα από διάφορες συνθήκες οι οποίες μπορούν να προσδιοριστούν ως εξής: (Lettinga, G., et al., 2005)

- υψηλή κατακράτηση της ενεργού βιομάζας στον βιοαντιδραστήρα κατά τη διάρκεια λειτουργίας του,
- επαρκής επαφή μεταξύ της βιομάζας και του διαθέσιμου προς χώνευση αποβλήτου,
- υψηλούς ρυθμούς αντιδράσεων και απουσία περιορισμών από φαινόμενα μεταφοράς,
- ικανότητα προσαρμογής της βιομάζας σε διαφορετικούς τύπους αποβλήτων,
- επικράτηση ευνοϊκών περιβαλλοντικών συνθηκών για όλα τα είδη των μικροοργανισμών στις επιβαλλόμενες λειτουργικές συνθήκες.

Θα μπορούσαμε να κατηγοριοποιήσουμε τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης σε τρεις κατηγορίες (Sutton P.M., 1990):

- 1) **Συμβατική Αναερόβια Χώνευση:** συστήματα που η λειτουργία τους βασίζεται στην ανάπτυξη αιωρούμενων μικροοργανισμών σε υγρό μέσο,
- 2) **Ταχύρρυθμη Αναερόβια Χώνευση:** συστήματα όπου οι μικροοργανισμοί προσκολλώνται σε στερεό πληρωτικό υλικό,
- 3) **Υβριδικοί Αναερόβιοι Χωνευτήρες:** συστήματα που είναι συνδυασμός των παραπάνω ή που λειτουργούν έτσι ώστε να ευνοείται ο σχηματισμός κοκκώδους λάσπης στο εσωτερικό τους.

Βλέποντας πιο αναλυτικά τις προηγούμενες 3 κατηγορίες παρατηρούμε τα ακόλουθα (Sutton P.M., 1990) :

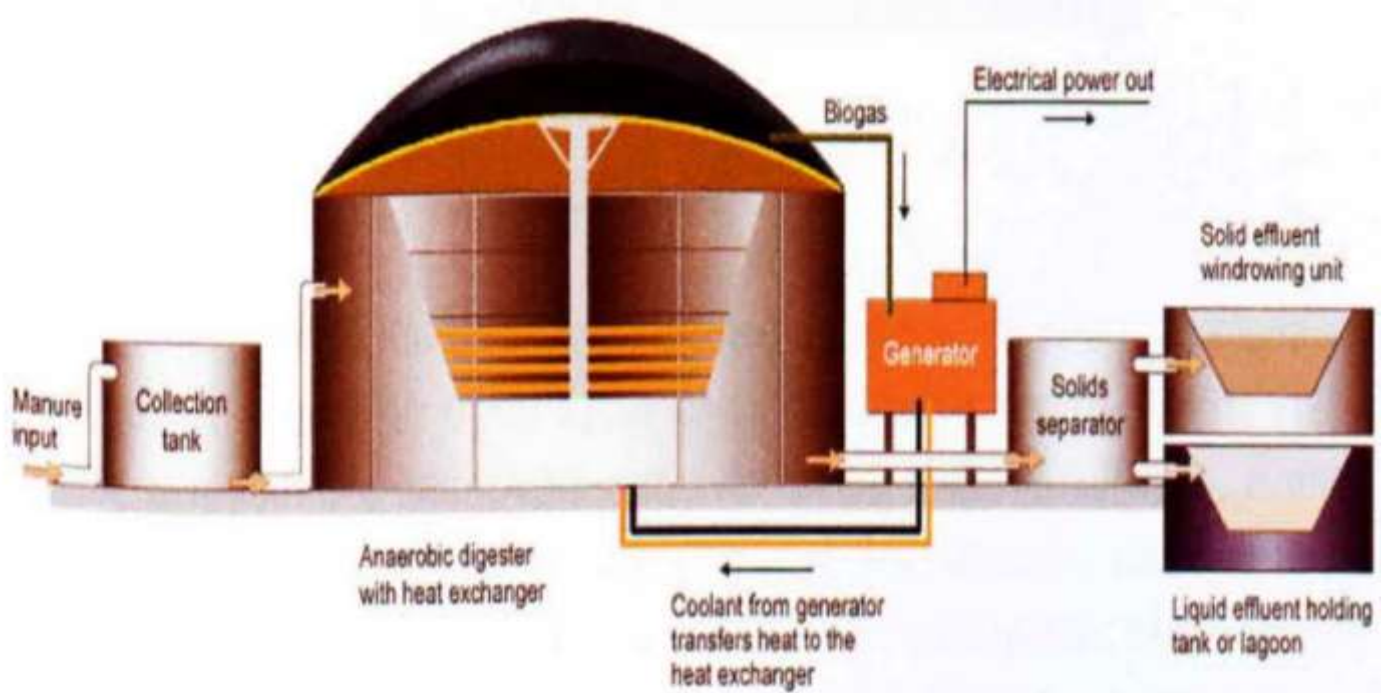
Οι **συμβατικοί αναερόβιοι χωνευτήρες** είναι οι πιο απλοί τύποι χωνευτήρων όσον αφορά τον τρόπο κατασκευή τους. Η κύρια χρησιμότητά τους είναι για ρεύματα στερεών αποβλήτων που απαιτούν μεγάλες χρονικές περιόδους για να ολοκληρωθεί η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Σε αυτά τα συστήματα ο χρόνος παραμονής στερεών είναι ίδιος με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής. Τέτοιου είδους συμβατικοί χωνευτήρες είναι ο CSTR, η διάταξη τύπου αυλωτού αντιδραστήρα (plug-flow digester), τα συστήματα διαλείποντος έργου (Batch) και συσσώρευσης (AC systems).

Οι **χωνευτήρες ταχύρρυθμης αναερόβιας επεξεργασίας** καταφέρνουν υψηλό ρυθμό αποδόμησης υποστρώματος ανά μονάδα όγκου και η κύρια χρήση τους είναι συνήθως για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Είναι εφοδιασμένοι με συστήματα κατακράτησης των αιωρούμενων στερεών, ανάδευσης και ανακυκλοφορίας της λάσπης. Έτσι στα ταχύρρυθμα συστήματα ο χρόνος παραμονής της λάσπης είναι πολύ μεγαλύτερος από τον υδραυλικό χρόνο παραμονής. Τα ταχύρρυθμα αναερόβια συστήματα μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες.

1. Σε αυτά που η λειτουργία τους στηρίζεται στην ανάπτυξη αιωρούμενων σε υγρό μέσο μικροοργανισμών, όπου η συγκράτηση τους στο σύστημα γίνεται με εσωτερική ή εξωτερική καθίζηση. Παραδείγματα τέτοιων αντιδραστήρων είναι ο UASB και ο αναερόβιος αντιδραστήρας εναλλασσόμενης καθοδικής και ανοδικής ροής (ABR).

2. Και σε συστήματα που βασίζονται στην ανάπτυξη προσκολλημένων σε στερεά επιφάνεια μικροοργανισμών όπως είναι το αναερόβιο φίλτρο (AF), η αναερόβια διάταξη ρευστοστερεάς κλίνης και ο PABR.

Τέλος τα **υβριδικά συστήματα χώνευσης** συνδυάζουν τα παραπάνω συστήματα για να τα βελτιώσουν και να ενισχύσουν την λειτουργία τους και την αποτελεσματικότητά τους. Για παράδειγμα η χρήση ενός αναερόβιου φίλτρου σε ένα σύστημα LASE αποτρέπει το ξέπλυμα της βιομάζας που μπορεί να συμβεί κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας του συστήματος κατακρατώντας την βιομάζα και βελτιώνοντας την απόδοση της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης.



Εικόνα 5: Χωνευτήρα τύπου CSTR αντιδραστήρας συνεχούς ανάδευσης (andrew.getux.com)

3.7 Επεξεργασία αστικών στερεών αποβλήτων με αναερόβια χώνευση

Η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης κερδίζει όλο και μεγαλύτερο έδαφος τα τελευταία χρόνια καθώς αποτελεί μια μέθοδο αποδοτικής βιολογικής επεξεργασίας, η οποία επιτυγχάνει την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων (αστικών, βιομηχανικών, ζωικών κ.α.), και προσφέρει τη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας με την εκμετάλλευσή και επεξεργασία του βιοαερίου. Επιπρόσθετα, συμβάλλει και στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η αναερόβια χώνευση, πριν αναπτυχθεί τεχνολογικά σαν μέθοδος, εφαρμόζονταν κυρίως για την επεξεργασία αστικών, αγροτικών λυμάτων και ιλύος, ενώ με το πέρασμα των χρόνων και τη δημιουργία σύγχρονων μονάδων που επεξεργάζονται τόσο αστικά στερεά απόβλητα όσο και βιομηχανικά ή υγρά απόβλητα. Η επιτακτική ανάγκη για να καλυφθούν οι όλο και αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη, προωθούν την τάση για μεγιστοποίηση της παραγωγής του βιοαερίου, βελτιώνοντας έτσι τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. (Χλέτσης, 2009)

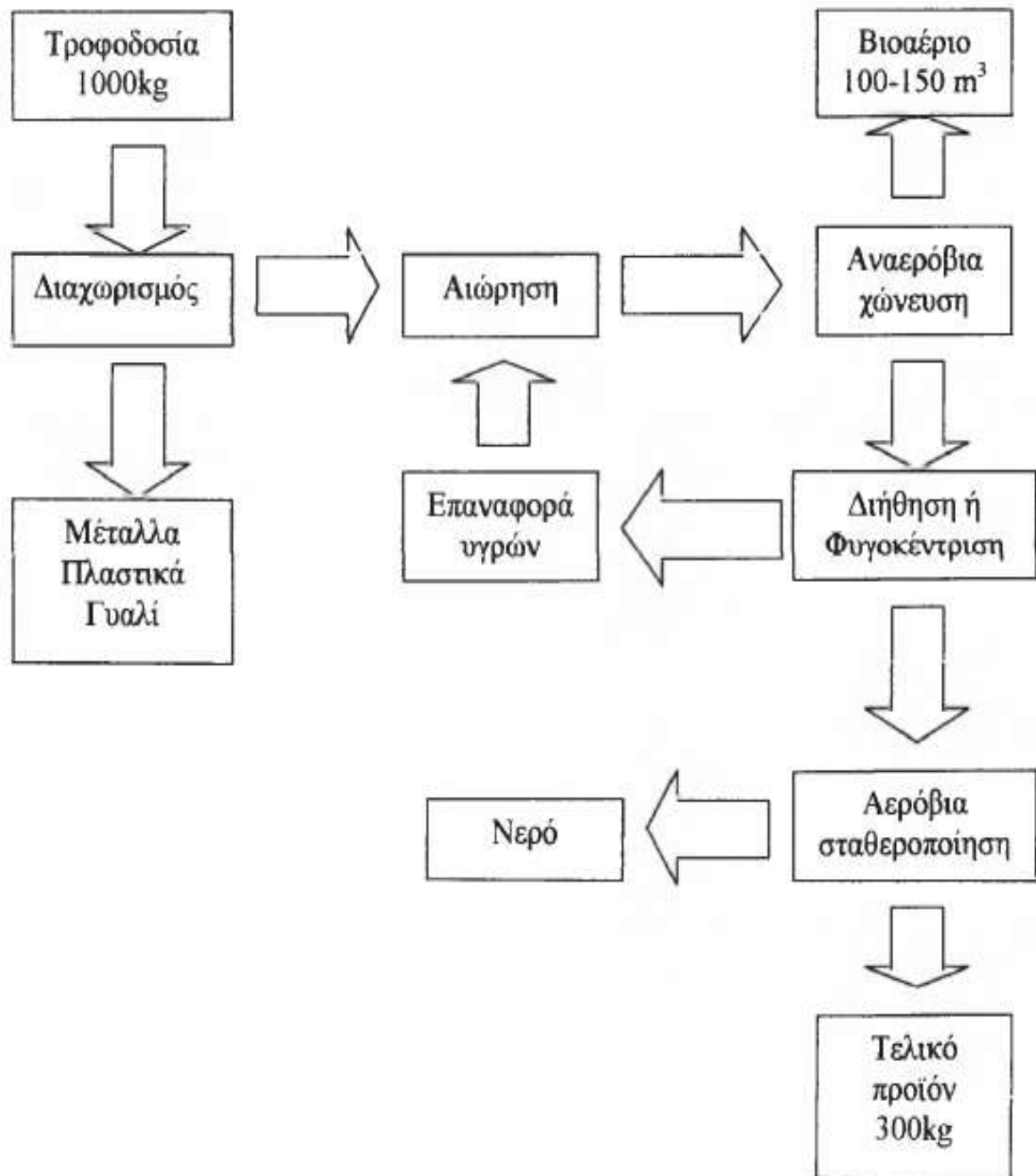
Τα αστικά στερεά απορρίμματα μπορούν να γίνουν μια σημαντική πηγή ενέργειας. Αρχικά, η εκμετάλλευση του βιοαερίου το οποίο παράγεται κατά την υγειονομική ταφή αποτελεί μια από τις πρώτες μεθόδους ανάκτησης ενέργειας από τα απορρίμματα. Η μέθοδος αυτή όμως, αποτελεί πολύ χρονοβόρα διεργασία που μπορεί να διαρκέσει από 5-10 έτη. Η μόνη μέθοδος ώστε να επιταχυνθεί η απελευθέρωση του βιοαερίου και να υπάρξει σταθεροποίηση και αδρανοποίηση του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων είναι με ειδικούς αναερόβιους αντιδραστήρες κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. (Jantsch, T.G., et al., 2002)

Οι συγκεκριμένοι αντιδραστήρες έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν το υπόλειμμα της αποσύνθεσης που απομένει να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω επεξεργασία και χρήση ως εδαφοβελτιωτικό. Η υψηλή συγκέντρωση στερεών στους αναερόβιους χώνευτες των αστικών στερεών αποβλήτων καθιστά τους μικροβιακούς πληθυσμούς πιο ευαίσθητους σε διάφορες περιβαλλοντικές παραμέτρους. Έτσι, η τοξικότητα της αμμωνίας επιδρά στα μεθανογόνα βακτηρίδια με αποτέλεσμα τη παρεμπόδιση της δράσης τους, την αστάθεια του αντιδραστήρα και τη μειωμένη παραγωγή μεθανίου. Η λύση για την ρύθμιση της τοξικότητας της αμμωνίας ώστε να υπάρξει ομαλή λειτουργία είναι η κατάλληλη ρύθμιση του λόγου C/N. (Jantsch, T.G., et al., 2002)

Μια μονάδα η οποία επεξεργάζεται αστικά στερεά απόβλητα αποτελείται από τα εξής μέρη (Χλέτσης, 2009):

- διαχωρισμός του οργανικού κλάσματος από τα μέταλλα, τα πλαστικά, το γυαλί,
- αναερόβια χώνευση
- διήθηση ή φυγοκέντριση αναερόβιας ιλύος
- αερόβια σταθεροποίηση αναερόβιας ιλύος

Τα στάδια φαίνονται και πιο αναλυτικά στο ακόλουθο σχεδιάγραμμα:



Σχήμα5: Μονάδα αναερόβιας χώνευσης στερεών απορριμμάτων (Χλέτσης, 2009)

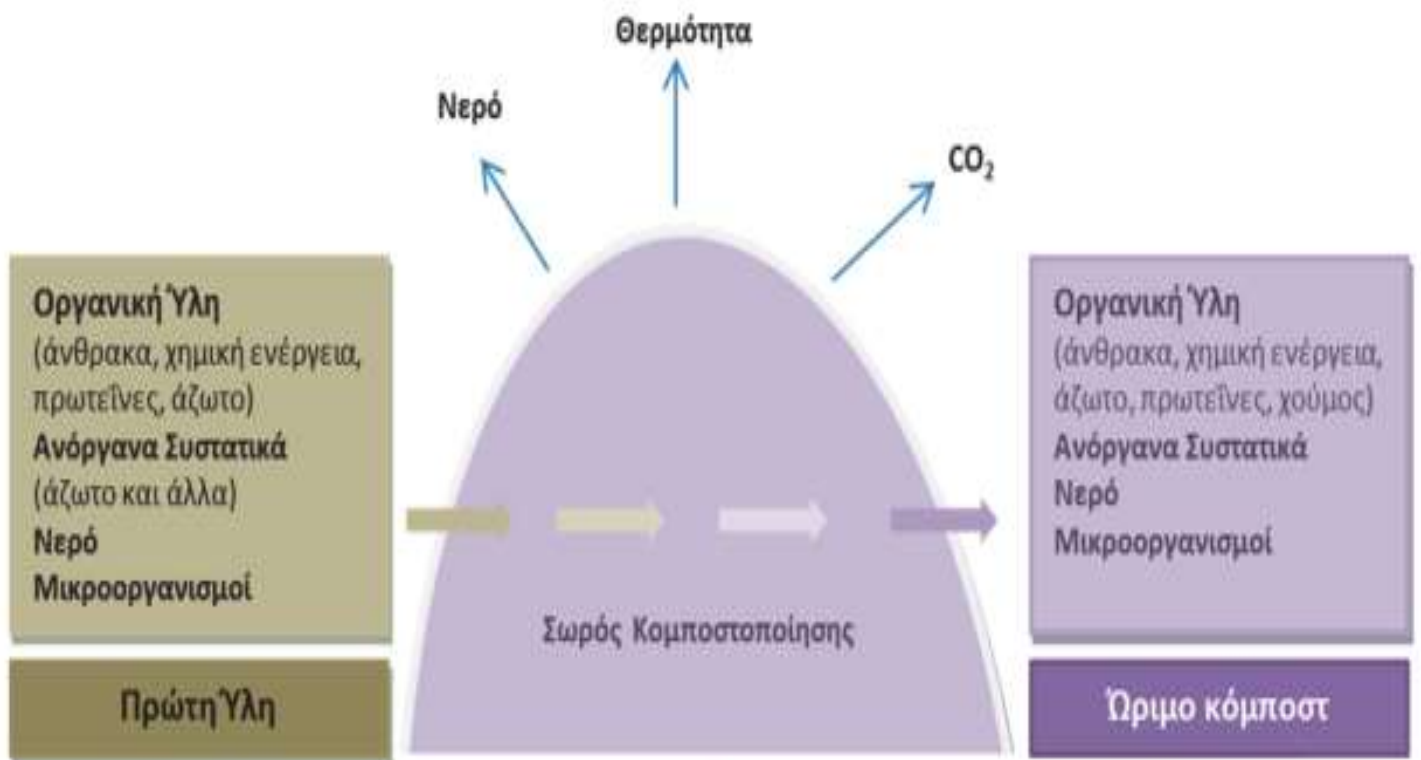
Κατά την προεπεξεργασία γίνεται απομάκρυνση των μετάλλων, του γυαλιού και άλλων ανόργανων υλικών εξασφαλίζοντας την κατάλληλη κοκκομετρική σύσταση. Προστίθεται νερό για επίτευξη συγκέντρωσης στερεών 10-30% ανάλογα με την τεχνολογία για την τροφοδοσία του αντιδραστήρα και στη συνέχεια το αιώρημα οδηγείται σε αντιδραστήρα όπου χωνεύεται επί 2-3 εβδομάδες. Κατά την διεργασία της χώνευσης γίνεται παραγωγή βιοαερίου, το οποίο μέσω της καύσης παράγει θερμική και ηλεκτρική ενέργεια. Η μονάδα συνήθως καταναλώνει ένα ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας για την κάλυψη των δικών της ενεργειακών αναγκών. Το υπόλειμμα που βγαίνει από τον αντιδραστήρα, όπου τα πτητικά στερεά έχουν μειωθεί περίπου 50-65%, αφυδατώνεται σε ποσοστό 60% και τέλος το μίγμα αφήνεται να ωριμάσει και σχηματίζεται το τελικό προϊόν. Το υλικό αυτό είναι σταθεροποιημένο και απαλλαγμένο από παθογόνους οργανισμούς. Η περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα εξαρτάται από το υλικό το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί. Η χρήση του μπορεί να είναι ως εδαφοβελτιωτικό, ως επικαλυπτικό στην υγειονομική ταφή απορριμμάτων αλλά και σε άλλες εφαρμογές. (Χλέτσης, 2009)

3.8 Το κομπόστ ως προϊόν της αναερόβιας χώνευσης

Όπως προαναφέρθηκε το κομπόστ αποτελεί ένα από τα δύο βασικά προϊόντα της αναερόβιας χώνευσης μαζί με το βιοαέριο. Στην συγκεκριμένη ενότητα θα γίνει μια συνοπτική περιγραφή της διαδικασίας της κομποστοποίησης και πώς καταλήγει στο τελικό σταθεροποιημένο προϊόν το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί για αρκετές χρήσεις.

Αρχικά βλέπουμε πως η κομποστοποίηση αποτελεί μια βιολογική αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων. Αυτή η αποσύνθεση πραγματοποιείται σε συγκεκριμένες συνθήκες οι οποίες είναι κατάλληλες

ώστε να αναπτυχθεί θερμότητα μέσω της μεταβολικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών που βρίσκονται εντός του βιοαποδομήσιμου κλάσματος. Το αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας είναι η παραγωγή ενός τελικού προϊόντος βιολογικά σταθεροποιημένου που δεν περιέχει παθογόνους μικροοργανισμούς. Επιπλέον, τα κύρια προϊόντα τα οποία παράγονται κατά την διαδικασία είναι διοξείδιο του άνθρακα, νερό, θερμότητα και το κομπόστ. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί πως το τελικό σταθεροποιημένο προϊόν, το κομπόστ, έχει περίπου 20-40% μικρότερο μέγεθος από την αρχική οργανική ύλη. (Haug, R., 1993)



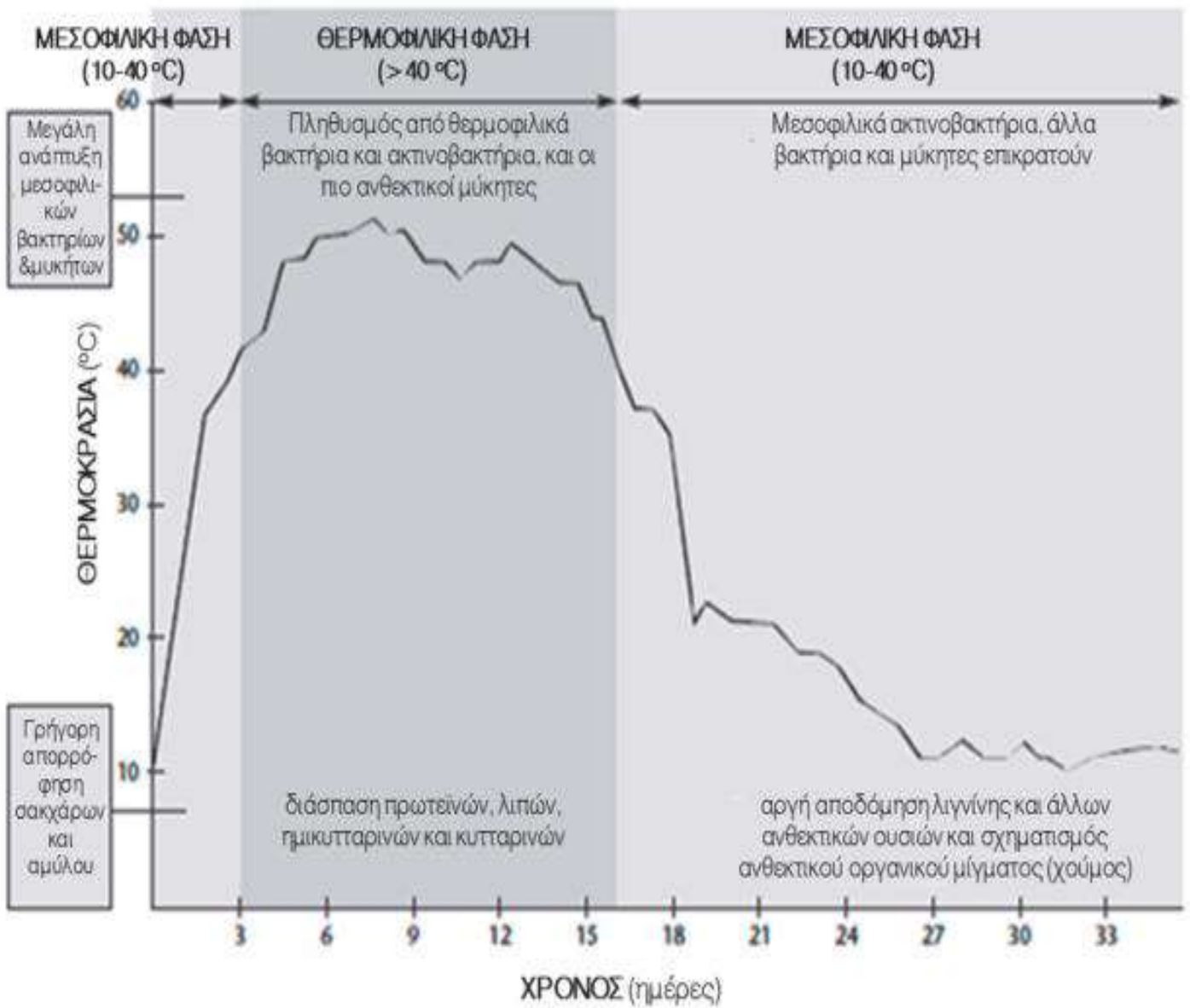
Εικόνα 6: Διεργασίες κατά την κομποστοποίηση. (Rynk et al. 1992)

Προκειμένου να ολοκληρωθεί η διεργασία της κομποστοποίησης παίζουν καταλυτικό ρόλο κάποιοι παράγοντες οι οποίοι θα μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο βασικές ομάδες:

1^η Ομάδα: Περιλαμβάνει τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η διαδικασία της κομποστοποίησης, όπως είναι η ισορροπία των θρεπτικών συστατικών, το pH, το μέγεθος των σωματιδίων αλλά και το πορώδες.

2^η Ομάδα: Ανήκουν οι παράγοντες οι οποίοι εξαρτώνται από τη διαχείριση της διαδικασίας. Τέτοιοι είναι η συγκέντρωση του οξυγόνου, η θερμοκρασία και η περιεκτικότητα σε νερό. (Bishop και Godfrey, 1983)

Τέλος, θα ήταν απαραίτητο να γίνει και μια αναφορά στα στάδια – φάσεις της κομποστοποίησης καθώς κρίνονται απαραίτητα προκειμένου να υπάρξει ένα ομογενοποιημένο τελικό προϊόν. Αυτές οι φάσεις μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις που κατά την διάρκεια αυτών, πραγματοποιούνται τόσο χημικές αντιδράσεις όσο και ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών. Η διάκριση αυτών των φάσεων γίνεται με βάση τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις που πραγματοποιούνται εντός του υλικού που βρίσκεται προς κομποστοποίηση. Η πρώτη είναι η ψυχρόφιλη, ακολουθεί η πρώτη μεσοφιλική φάση, η θερμόφιλη και τέλος, η δεύτερη μεσοφιλική φάση. Στο ακόλουθο διάγραμμα μπορούμε να δούμε αναλυτικότερα την κάθε φάση, τις θερμοκρασίες τις οποίες αναπτύσσουν, αλλά και τι είδους μικροοργανισμοί αναπτύσσονται στην κάθε μία. (Trautmann and Krasny, 2014)



Εικόνα 7: Φάσεις κατά την κομποστοποίηση (Trautmann and Krasny, 2014)

3.9 Η Αναερόβια Χώνευση στην Ελλάδα και την Ευρώπη

Ελλάδα:

Στην συνέχεια θα περιγραφούν κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα σταθμών παραγωγής και αξιοποίησης βιοαερίου στην Ελλάδα με πληροφορίες που αντλήθηκαν από τον επίσημο ισότοπο του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας. (www.cres.gr)

Ο σταθμός των **Άνω Λιωσίων** αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους σταθμούς αξιοποίησης βιοαερίου. Η μονάδα έχει δυνατότητα παραγωγής 8.000 κυβικών μέτρων βιοαερίου την ώρα, ενώ παράγει ταυτόχρονα ηλεκτρισμό και θερμότητα ισχύος 13 και 16 MW. Επίσης, όλα τα προϊόντα της επεξεργασίας είναι αρκετά σταθεροποιημένα. Σε βάθος χρόνου το έργο αναμένεται να συμβάλει σημαντικά στην αναβάθμιση του επιβαρυσμένου περιβάλλοντος της Αττικής αφού ελέγχει την ανεξέλεγκτη έκλυση βιοαερίου από τα απορρίμματα, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τέλος, επιτυγχάνει την εξάλειψη των οσμών και την αποφυγή εκδήλωσης πυρκαγιών κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ο νομός **Ηπείρου**, ο οποίος διαθέτει σημαντικό ενεργειακό δυναμικό βιομάζας. Στην περιοχή υπάρχουν μεγάλες ποσότητες από γεωργικά και ζωικά υπολείμματα τα οποία θα μπορούσαν να καλύψουν ένα πολύ μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών της ευρύτερης περιοχής. Αν και έχουν πραγματοποιηθεί πολλές προσπάθειες για την αξιοποίηση της βιομάζας, συναντώνται αρκετά προβλήματα στην πρακτική εφαρμογή τους. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες αφ' ενός για την ενημέρωση της τοπικής κοινωνίας και αφ' ετέρου για την ανάπτυξη προγραμμάτων με σκοπό την αξιοποίηση του ενεργειακού δυναμικού.

Ένα παράδειγμα συμπαραγωγής είναι το εργοστάσιο βιολογικού καθαρισμού στα **Ιωάννινα**. Στο συγκεκριμένο εργοστάσιο το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται α) για την παραγωγή ενέργειας με σκοπό την κάλυψη των αναγκών του εργοστασίου και β) για την παραγωγή θερμικής ενέργειας που αξιοποιείται στο βιολογικό σταθμό από τα λύματα της περιοχής.

Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα να εφαρμοστούν τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαερίου και σε μικρή κλίμακα όπως σε μονάδες βιολογικούς καθαρισμούς και σε βιομηχανίες τροφίμων. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι στην **Κρήτη** όπου υπάρχει μια μονάδα συμπαραγωγής στην Δημοτική Επιχείρηση Ηρακλείου η οποία λειτουργεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

ΜΟΝΑΔΑ	ΚΑΥΣΙΜΟ	ΕΓΚΑΤΕΣΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ (KW)
Ψυτάλλεια	Ιλύς από αστικά απόβλητα	7.500
Άνω Λιόσια	Βιοαέριο χωματερής	13.200
Βόλος	Ιλύς από αστικά απόβλητα	353
Θεσσαλονίκη	Απορρίμματα	240
Ηράκλειο	Ιλύς από αστικά απόβλητα	193
Χανιά	Ιλύς από αστικά απόβλητα	160
Σύνολο		21.646

Πίνακας 6: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα στην Ελλάδα.
(www.cres.gr)

Ευρώπη:

Η αναερόβια τεχνολογία είναι αρκετά διαδεδομένη εδώ και αρκετά χρόνια σε αρκετές χώρες της Ευρώπης. Για παράδειγμα, η **Γερμανία** έχει 4.000 μονάδες αναερόβιας χώνευσης συμπεριλαμβανομένων γεωργικών εκμεταλλεύσεων (Smith, 2008). Η **Σουηδία** χρησιμοποιεί αναερόβιους χωνευτήρες για την παραγωγή βιοαερίου από 35

εργοστάσια για την παραγωγή βιομεθανίου ως καύσιμο μεταφορών και στην Lille, στην **Γαλλία**, χρησιμοποιούν την αναερόβια χώνευση ως μια ολοκληρωμένη λύση για τη διαχείριση των αποβλήτων, αλλά και για την παραγωγή βιομεθανίου το οποίο χρησιμοποιείται ως καύσιμο.

Η **Δανία** είναι ένα ακόμη παράδειγμα καθώς έχει αναπτύξει ένα κεντρικό σύστημα εγκαταστάσεων βιοερίου που ελέγχεται από τους αγροτικούς συνεταιρισμούς με στόχο την εξυπηρέτηση των αγροτών σε συνδυασμό με την προστασία του περιβάλλοντος. Πολλές από αυτές διαχειρίζονται διαφορετικού τύπου απόβλητα βελτιώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα στην παραγωγή βιοαερίου και το εισόδημα των αγροτών. (Smith L., 2008)

Κεφάλαιο 4^ο: Βιοαέριο

4.1 Βασικά στοιχεία

Το βιοαέριο αποτελεί ένα είδος ανανεώσιμης ενέργειας και η διαφορά που έχει με τα ορυκτά καύσιμα είναι ότι αποτελεί μια "καθαρή" μορφή ενέργειας. Αυτό γίνεται καθώς το συνολικό ισοζύγιο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγεται κατά την καύση του είναι ισοδύναμο αυτού που απορροφάται κατά την παραγωγή του, άρα δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα. (www.cres.gr)

Η κύρια πηγή παραγωγής βιοαερίου προέρχεται από την αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών αποβλήτων καθώς και από αστικά οργανικά απορρίμματα. Αναερόβια χώνευση της βιομάζας, όπως είδαμε αναλυτικά και στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι η βακτηριακή αποδόμηση σύνθετων οργανικών μορίων σε πιο απλά μόρια μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα τα οποία αποτελούν το **65% από μεθάνιο** και **15% από το διοξείδιο του άνθρακα**. Η ενεργειακή του αξιοποίηση γίνεται μέσω της

τροφοδοσίας του σε μηχανές εσωτερικής καύσης, σε καυστήρες αερίου ή σε αεροστρόβιλους, ώστε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα (www.cres.gr).

Το βιοαέριο, μέσω κατάλληλης επεξεργασίας και αναβάθμισης, είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την μετακίνηση οχημάτων με ιδιαίτερα καλή τιμή συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα (π.χ. πετρέλαιο). Στη Σουηδία, για παράδειγμα, λειτουργούν ήδη σταθμοί διανομής βιοαερίου και η μετακίνηση αρκετών οχημάτων γίνεται μέσω αυτού. (www.cres.gr)

4.2 Ιστορική αναδρομή για την χρήση του Βιοαερίου

Οι πρώτες πηγές που αναφέρονται στην αξιοποίηση των οργανικών αποβλήτων με την μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης (Anaerobic Digestion), υπολογίζεται περίπου στα μέσα του 19^{ου} αιώνα. Οι πρώτες μονάδες χωνευτών κατασκευάστηκαν στη Νέα Ζηλανδία, την Ινδία και το Ηνωμένο Βασίλειο όπου έγινε αξιοποίηση του βιοαερίου προκειμένου να γίνει τροφοδοσία λαμπτήρων στους δρόμους περίπου το 1890. (Bond T., et al., 2011)

Προχωρώντας χρονολογικά, περίπου τον 20^ο αιώνα η αναερόβια χώνευση είχε κερδίσει όλο και μεγαλύτερο έδαφος και χρησιμοποιούνταν σε αρκετά μέρη του κόσμου προκειμένου να γίνει επεξεργασία της ιλύος που προέρχεται από τα λύματα. Η εφαρμογή της τεχνολογίας της χώνευσης για αστικά, αλλά και για βιομηχανικά απόβλητα δεν ήταν ακόμη αρκετά διαδεδομένη. (Cillie, G., et al., 1969)

Η τεχνολογική ανάπτυξη του βιοαερίου διαδόθηκε αρκετά γρήγορα μετά το 1970, όταν εξαιτίας των υψηλών τιμών του πετρελαίου κρίθηκε

αναγκαία η έρευνα για την εύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Οι χώρες που είχαν τη μεγαλύτερη ανάπτυξη γύρω από την χρήση του βιοαερίου εκείνη την δεκαετία βρίσκονταν στην Ασία και τη Λατινική Αμερική. (Ni JQ., et al., 1996)

Σήμερα το βιοαέριο θεωρείται ένα ανανεώσιμο καύσιμο το οποίο μπορεί να μετατραπεί σε μορφή που να καλύπτει συγκεκριμένες ενεργειακές ανάγκες με βάση τις διαθέσιμες τεχνολογίες για διάφορες εφαρμογές. Στις αναπτυσσόμενες χώρες η παραγωγή του βιοαερίου γίνεται κυρίως σε μικρούς οικιακούς χωνευτές βιοαερίου με σκοπό την παροχή καυσίμων για μαγείρεμα αλλά και φωτισμό. Οι ανεπτυγμένες χώρες αξιοποιούν το βιοαέριο μέσω μεγάλων μονάδων με σκοπό την παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας, καυσίμων αυτοκινήτων αλλά και παραγωγής υδρογόνου ως καύσιμο για κυψέλες καυσίμου. (Scarlat N., et al., 2018)

4.3 Ιδιότητες Βιοαερίου

Η αναερόβια χώνευση, όπως έχουμε δει προηγουμένως, εκτελείται με απουσία του αέρα και μέσα από μια συγκεκριμένη διαδικασία βιοδιασπάται η προς επεξεργασία οργανική ύλη με τη βοήθεια μικροοργανισμών, και στη συνέχεια προκύπτει το βιοαέριο και η χωνεμένη λάσπη (εδαφοβελτιωτικό). Όσον αφορά το ενεργειακό περιεχόμενο από το οποίο αποτελείται το βιοαέριο, βλέπουμε πως είναι χημικά δεσμευμένο με το μεθάνιο. Επιπλέον, οι ιδιότητες αλλά και η σύνθεση του βιοαερίου διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος και τη σύσταση της πρώτης ύλης, το σύστημα με το οποίο γίνεται η διεργασία, τη θερμοκρασία, τον χρόνο παραμονής και άλλους παράγοντες. Τέλος, ενδεικτικά το βιοαέριο περιέχει 50% μεθάνιο, έχει μέση θερμαντική τιμή περίπου 21 MJ/Nm³, μέση πυκνότητα 1,22 kg/Nm³ και η μάζα του είναι παρόμοια με αυτή του αέρα 1,29 kg/Nm³. Στον ακόλουθο πίνακα

παρουσιάζονται κάποιες από τις μέσες τιμές σύνθεσης του βιοαερίου (RasiS., et al., 2007)

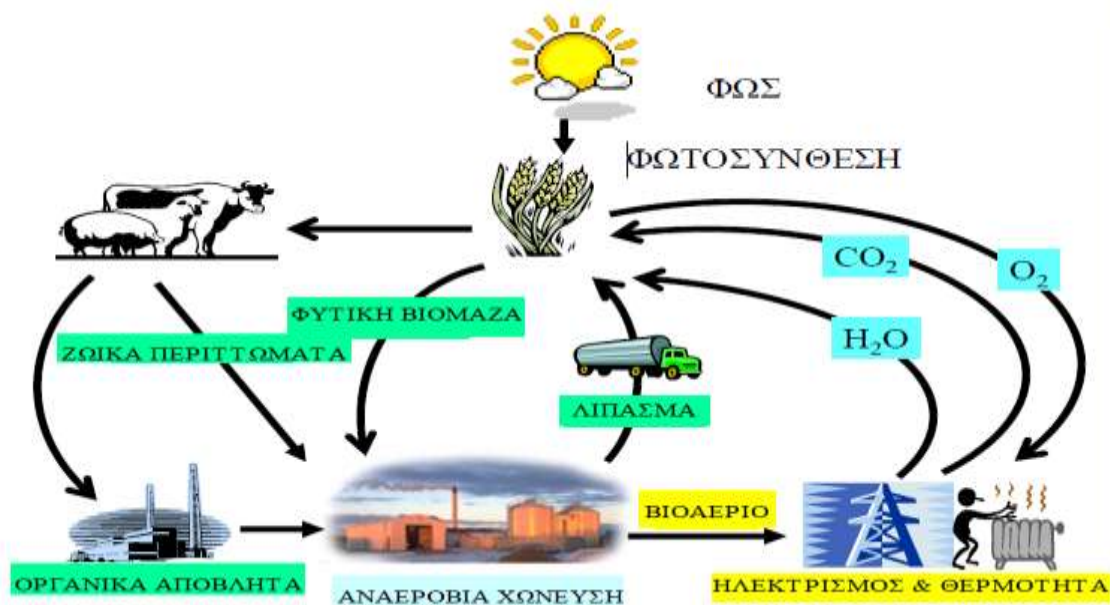
Συστατικό	Χημικός τύπος	Περιεκτικότητα (Vol. %)
Μεθάνιο	CH ₄	50-75
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	25-45
Υδρατμοί	H ₂ O	2 (20°C) -7 (40°C)
Οξυγόνο	O ₂	<2
Άζωτο	N ₂	<2
Αμμωνία	NH ₃	<1
Υδρογόνο	H ₂	<1
Υδρόθειο	H ₂ S	<1

Πίνακας 7: Χημική σύνθεση βιοαερίου (Al Seadi, T., et al., 2004)

4.4 Βιοαέριο από την αναερόβια χώνευση οργανικών αποβλήτων

Οργανικά απόβλητα παράγονται διαρκώς από πολλούς κλάδους μέσα στην κοινωνία. Στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων τα απόβλητα τροφίμων παράγονται τόσο σε νοικοκυριά όσο και σε σούπερ μάρκετ, εστιατόρια και εγκαταστάσεις παραγωγής τροφίμων. Σε μια κοινωνία όπου οι πόροι χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά, αυτό που προηγουμένως θεωρήθηκε ως απόβλητο συμπεριλαμβάνεται εν συνεχεία σε έναν κύκλο παραγωγής όπου το οργανικό υλικό και τα θρεπτικά συστατικά όπως το άζωτο και ο φώσφορος επιστρέφουν στο έδαφος για να αντικαταστήσουν τα χημικά λιπάσματα. Όταν χωνεύονται τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα τροφίμων, όπως απόβλητα από σούπερ μάρκετ και εστιατόρια ή απόβλητα σφαγείων, παράγεται βιοαέριο και

συσσωρεύονται πολύτιμα θρεπτικά συστατικά στο χωνεμένο υλικό όπου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα ως λίπασμα. Ένα τυπικό διάγραμμα αυτού του κυκλικού μοντέλου μετατροπής του βιοαερίου φαίνεται στο επόμενο σχήμα. (Al Seadi T., et al., 2003)



Εικόνα 8: Ο κύκλος του βιοαερίου από την ΑΧ (www.big-east.eu)

Για να υπάρξει αποτελεσματικότητα στην διεργασία της αναερόβιας χώνευσης ώστε να παραχθεί ένα καλής ποιότητας και ακίνδυνο τελικό προϊόν, παίζει σημαντικό ρόλο η καθαρότητα του οργανικού υλικού που επεξεργάζεται. Για να επιτευχθεί αυτό, το υλικό πρέπει να έχει χαμηλό ποσοστό ξένων προσμίξεων και δεν πρέπει να οποίες δεν πρέπει να ξεπερνάνε το 0,1%. Ο ολοκληρωμένος διαχωρισμός των οργανικών οικιακών αποβλήτων προσφέρει καθαρή και υψηλής ποιότητας πρώτη ύλη για να πραγματοποιηθεί η αναερόβια χώνευση. Επιπλέον, μειώνεται το ρεύμα των οργανικών αποβλήτων που θα κατέληγε σε χώρους υγειονομικής ταφής ή προς καύση ενισχύοντας έτσι την ανακύκλωση και την ανάκτηση υλικών. (Favoïno E., 2002)

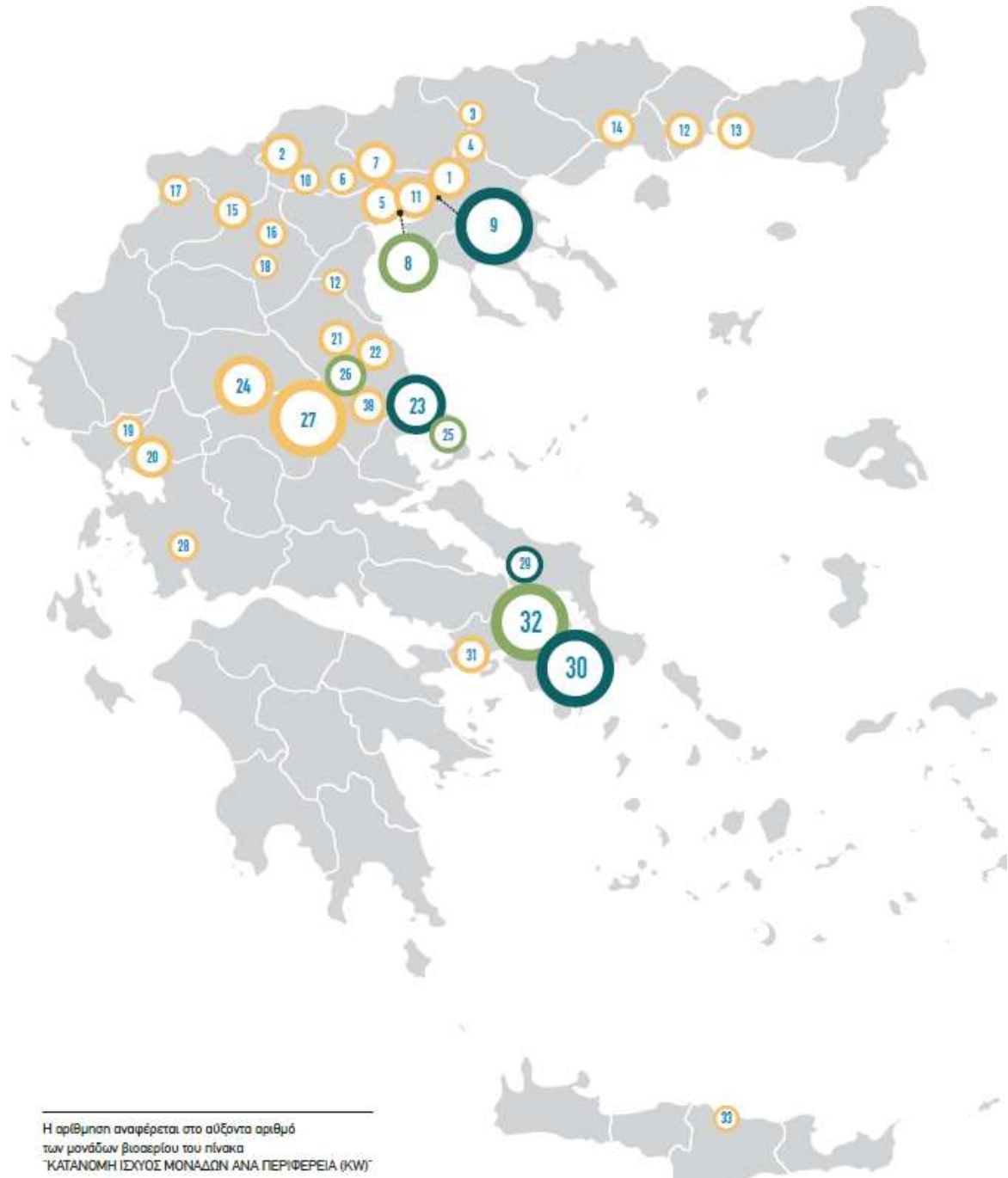
Αναφορικά με τα οργανικά οικιακά απόβλητα παρατηρείται πως έχουν πλούσια περιεκτικότητά σε θρεπτικά συστατικά κάτι το οποίο προσφέρει υψηλή βιοδιασπασιμότητα αλλά και μεγάλη παραγωγή μεθανίου, επιπλέον ευνοεί τον μεταβολισμό των αναερόβιων μικροοργανισμών. Ωστόσο, επειδή τα οργανικά απορρίμματα περιέχουν αρκετούς παθογόνους μικροοργανισμούς (π.χ. μύκητες), πρέπει να πραγματοποιείται απολύμανση ώστε να γίνεται αποτελεσματική απενεργοποίησή τους. (Zhang B., et al., 2016).

4.5 Εγκαταστάσεις βιοαερίου στην Ελλάδα

Τα πρώτα έργα στην Ελλάδα όπου πραγματοποιούνταν ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου, υλοποιήθηκαν στις αρχές του 1980 με πρώτη ύλη, η οποία προέρχονταν κυρίως από κτηνοτροφικά απόβλητα και απόβλητα βιομηχανίας επεξεργασίας τροφίμων (π.χ. απόβλητα ελαιοτριβείων). Ωστόσο τα περισσότερα από αυτά τα έργα, μετά τον αρχικό ενθουσιασμό, δεν είχαν την κατάλληλη επιστημονική υποστήριξη, αλλά και κονδύλια με αποτέλεσμα να διακοπεί η λειτουργία τους. (www.cres.gr)

Με βάση τα πιο πρόσφατα στατιστικά στοιχεία το 2018 στην Ελλάδα, είναι εγκατεστημένες και σε λειτουργία τριάντα τρεις μονάδες παραγωγής βιοαερίου και ενέργειας οι οποίες επεξεργάζονται αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, αστική ιλύς αλλά και το παραγόμενο βιοαέριο από τους ΧΥΤΑ. Στις περισσότερες από αυτές η εκμετάλλευση του βιοαερίου καλύπτει κάποιες από τις θερμικές ανάγκες των μονάδων. Παρ' όλα αυτά η συνολική κατανομή ισχύς των μονάδων από όλες τις περιφέρειες ανήλθε σε 63.092kWe. (www.habio.gr)

Στην ακόλουθη εικόνα βλέπουμε τον χάρτη της Ελλάδος με τις τοποθεσίες των μονάδων παραγωγής βιοαερίου και στην αμέσως επόμενη τις αναλυτικές πληροφορίες για την τοποθεσία της κάθε μονάδας αλλά και την συνολική ισχύ παραγωγής τους.



Εικόνα 9: Χάρτης εγκαταστάσεων βιοαερίου ανά περιφέρεια (www.habio.gr)

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ (kWe)

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

ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΙΣΧΥΣ kWe)



ΑΓΡΟ
Αγροτικά

22.274 (kWe)



ΧΥΤΑ
Χώρος υγειονομικής
ταφής απορριμμάτων

25.965 (kWe)



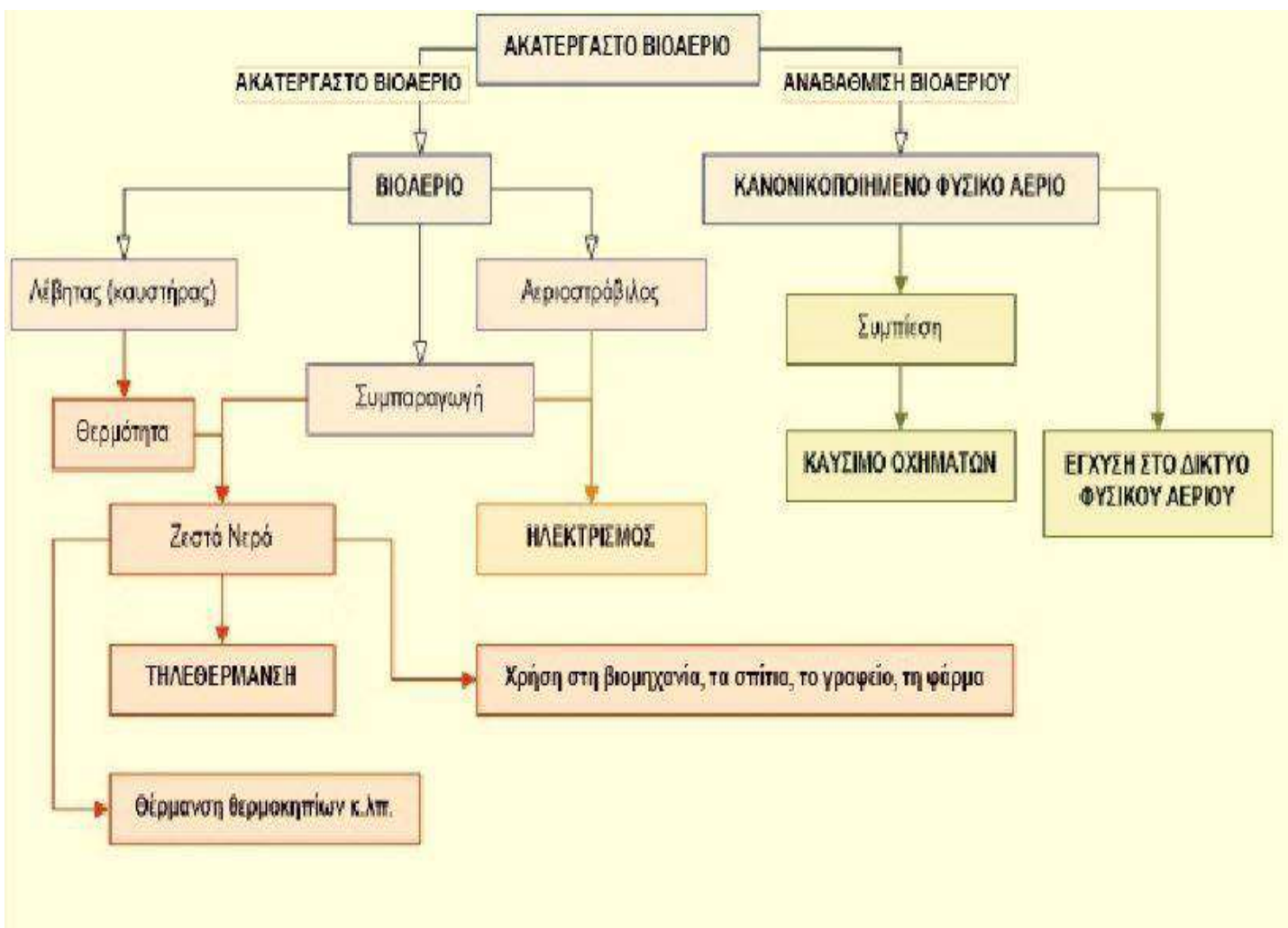
ΚΕΑ
Κέντρο επεξεργασίας
λυμάτων

14.853 (kWe)

Εικόνα 10: Ισχύς μονάδων ανά περιφέρεια (kWe) (www.habio.gr)

4.6 Χρήση του βιοαερίου

Το βιοαέριο, όπως προαναφέρθηκε, μπορεί να έχει μια ποικιλία από ενεργειακές χρήσεις. Αυτό εξαρτάται από τη φύση του τελικού προϊόντος, αλλά και της πηγής όπου προορίζεται να εφαρμοστεί. Ενδεικτικά κάποιες από τις χρήσεις του βιοαερίου είναι η χρήση για την παραγωγή θερμότητας μέσω άμεσης καύσης, η παραγωγή ηλεκτρισμού από κυψέλες καυσίμου, η συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού με μικροστροβίλους ή ως καύσιμο οχημάτων. Στο σχήμα που ακολουθεί μπορεί να γίνει μια τυπική επισκόπηση των χρήσεων του βιοαερίου. (www.agroenergy.gr)



Σχήμα 6: Χρήσεις του βιοαερίου

4.7 Περιβαλλοντικό όφελος από την χρήση του βιοαερίου

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 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 γνωρίζεται μείωση η παραγωγή των επιβλαβών κυρίως για την ατμόσφαιρα και το περιβάλλον αερίων ρύπων (www.cres.gr)

Πίνακας 8: Εκπομπές ρύπων από διάφορες πηγές ενέργειας

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

4.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα βιοαερίου

Το παγκόσμιο ενδιαφέρον στρέφεται όλο και περισσότερο στην αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η παραγωγή βιοαερίου παρουσιάζει μία όλο και περισσότερο αυξητική τάση καθώς δημιουργούνται περισσότερες μονάδες παραγωγής. Στην συνέχεια, περιγράφονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του βιοαερίου ώστε να αποκτήσουμε μια καθαρότερη εικόνα για το τι είναι δυνατό να προσφέρει. (www.homebiogas.com)

➤ Πλεονεκτήματα

- **Το βιοαέριο είναι φιλικό προς το περιβάλλον:**

Το βιοαέριο είναι μια ανανεώσιμη, καθώς και μια καθαρή, πηγή ενέργειας. Δεν λαμβάνει χώρα καύση στη διαδικασία, που σημαίνει ότι υπάρχει μηδενική εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

- **Ένα άλλο πλεονέκτημα του βιοαερίου είναι πως η διαδικασία δημιουργίας του είναι φυσική:**

Πιο συγκεκριμένα δεν απαιτεί ενέργεια για τη διαδικασία παραγωγής και οι περισσότερες πρώτες ύλες που αξιοποιούνται ώστε να παραχθεί βιοαέριο είναι στην πλειοψηφία ανανεώσιμες.

- **Η παραγωγή βιοαερίου μειώνει τη ρύπανση του εδάφους και των υδάτων:**

Ένα άλλο πλεονέκτημα του βιοαερίου είναι ότι η παραγωγή βιοαερίου μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του νερού. Επιπλέον, η αναερόβια χώνευση απενεργοποιεί παθογόνους μικροοργανισμούς και παράσιτα. Ως εκ τούτου, είναι επίσης αρκετά αποτελεσματικό στη μείωση της συχνότητας των υδατογενών ασθενειών.

- **Η παραγωγή βιοαερίου παράγει οργανικό λίπασμα:**

Το υποπροϊόν της διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου είναι το οργανικό χωνεμένο υπόλειμμα το οποίο αποτελεί συμπλήρωμα ή υποκατάστατο των χημικών λιπασμάτων.

- **Είναι μια απλή και χαμηλού κόστους τεχνολογία που ευνοεί την κυκλική οικονομία:**

Σε μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου υπάρχει η δυνατότητα να συμπιεστεί για να επιτευχθεί η ποιότητα του φυσικού αερίου και να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία αυτοκινήτων αλλά και να καλύψει ενεργειακές ανάγκες του εργοστασίου. Η κατασκευή τέτοιων εγκαταστάσεων απαιτεί σχετικά χαμηλές επενδύσεις κεφαλαίου και δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας.

- **Χρήση μικρών βιοχωνευτήρες στο σπίτι:**

Τα τεχνολογικά μέσα που απαιτούνται ώστε να παραχθεί βιοαέριο είναι αρκετά φθηνά, ενώ το βιοαέριο είναι εύκολο στην εγκατάσταση και χρειάζεται μικρή επένδυση όταν χρησιμοποιείται σε μικρή κλίμακα. Οι βιοχωνευτήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας στο σπίτι, χρησιμοποιώντας απορρίμματα κουζίνας και ζωική κοπριά.

➤ **Μειονεκτήματα**

- **Υπάρχει πιθανότητα να περιέχει κάποιες προσμείξεις ρύπων:**

Μετά τον καθαρισμό και τη συμπίεση, το βιοαέριο, εάν δεν έχει επεξεργαστεί κατάλληλα, μπορεί να περιέχει ρύπους. Για παράδειγμα, εάν το τελικό προϊόν χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο αυτοκινήτων, θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα στα μεταλλικά μέρη του κινητήρα. Αυτή η διάβρωση θα αυξήσει το κόστος συντήρησης.

- **Επίδραση της θερμοκρασίας στην παραγωγή βιοαερίου:**

Τόσο η παραγωγή βιοαερίου όσο και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. ηλιακή, αιολική) επηρεάζονται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Η κατάλληλη θερμοκρασία που χρειάζονται

τα βακτήρια που είναι υπεύθυνα για την πέψη των απορριμμάτων είναι γύρω στους 37°C. Σε ψυχρότερα κλίματα οι χωνευτές, προκειμένου να διατηρήσουν μια σταθερή παροχή βιοαερίου, απαιτούν θερμική ενέργεια.

- **Δεν μπορεί να διαχειριστεί επικίνδυνα απόβλητα:**

Σε περίπτωση ανάμειξης υλικών με επικίνδυνα απόβλητα, το τελικό προϊόν του βιοαερίου θα έχει αρκετά κακή ποιότητα και θα απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία.

- **Η μεγάλη διασπορά των μονάδων παραγωγής:**

Η βιομάζα έχει αρκετά μεγάλο όγκο και αυτό μπορεί να δημιουργήσει δυσκολία στην συλλογή, την επεξεργασία, τη μεταφορά και την αποθήκευση της. Για τον λόγο αυτόν η αξιοποίηση γίνεται κοντά στις μονάδες παραγωγής οι οποίες βρίσκονται σε μακρινή απόσταση από τα αστικά κέντρα, οπότε και απαιτούνται αρκετές μετακινήσεις. Αυτό θα μπορούσαμε να πούμε πως θα έχει κάποια επίπτωση στις εκπομπές CO₂ από τα οχήματα μεταφοράς, εάν πρόκειται για συμβατικά οχήματα και όχι για οχήματα που μετακινούνται με την τεχνολογία του βιοαερίου.

4.9 Τεχνολογίες αναβάθμισης βιοαερίου

Προκειμένου το βιοαέριο να έχει μια αποτελεσματική ενσωμάτωση στον ενεργειακό τομέα, είναι απαραίτητη η αναβάθμισή του καθώς έτσι γίνεται εφικτό να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μετακίνησης για τα οχήματα ή να ενσωματωθεί στο δίκτυο του φυσικού αερίου.

Αρχικά από τους χωνευτές, αλλά και τους ΧΥΤΑ, γίνεται παραγωγή βιοαερίου, το οποίο βρίσκεται σε ακατέργαστη μορφή και προκειμένου να αξιοποιηθεί περαιτέρω, θα υποβληθεί αρχικά σε καθαρισμό και σε

μετέπειτα φάση σε αναβάθμιση. Το βιοαέριο το οποίο έχει υποβληθεί σε αναβάθμιση χαρακτηρίζεται ως βιομεθάνιο και συνήθως αποτελείται από ~ 97% CH₄ και ~ 3% CO₂. Ουσιαστικά η μετατροπή του γίνεται προκειμένου οι φυσικοχημικές του ιδιότητες να προσομοιάζονται με αυτές του φυσικού αερίου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της απομάκρυνσης του CO₂, των υδρατμών (H₂O), του υδρόθειου (H₂S), της αμμωνίας (NH₃), του σιλοξανίου και άλλων σωματιδίων και ακαθαρσιών. Ο βασικός στόχος της αναβάθμισης του βιοαερίου είναι να απομακρυνθεί το CO₂ το οποίο οφείλεται στην μείωση της θερμογόνου δύναμης του μεθανίου (CH₄). (Petersson, A. et al., 2009)

Στην συνέχεια της αναβάθμισης βλέπουμε πως το βιομεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να εφαρμοστεί όπου χρησιμοποιείται φυσικό αέριο. Αρχικά, είναι εφικτό να διανεμηθεί μέσω των ήδη υπαρχόντων δικτύων φυσικού αερίου ώστε να χρησιμοποιηθεί για τους ίδιους σκοπούς με το φυσικό αέριο. Επιπλέον, μπορεί να υποβληθεί σε συμπίεση και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων. Πρέπει να αναφερθεί πως η επεξεργασία του ακατέργαστου βιοαερίου για την παραγωγή βιομεθανίου μπορεί να προσφέρει και τη δυνατότητα ανάπτυξης από μια πληθώρα καινοτόμων εφαρμογών. Μεταξύ αυτών είναι η χρήση του CO₂, όπου απομακρύνεται ώστε να παραχθεί ξηρός πάγος αλλά και αέριο λίπανσης για τα θερμοκηπιακά φυτά εμπλουτίζοντας τον αέρα που τους διοχετεύεται. Επιπλέον, μπορεί να γίνει και παραγωγή υδρογόνου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κυψέλες καυσίμου ώστε να γίνει αποθήκευση της ενέργειας. (Μακρίδης Λ., κ.α., 2019)

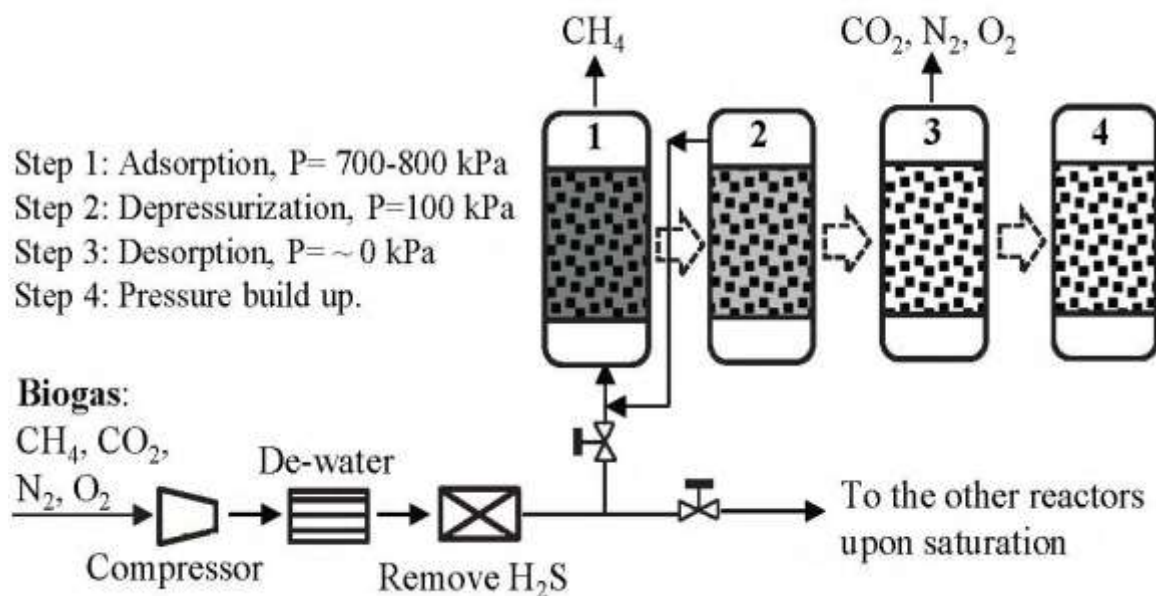
Όσον αφορά τις τεχνολογίες αναβάθμισης του βιοαερίου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής: (Petersson, A. et al., 2009)

1. Τεχνολογίες καθαρισμού (Scrubbing Technologies)

Οι συγκεκριμένες τεχνολογίες επιλέγονται προκειμένου να απομακρυνθούν διάφορες ανεπιθύμητες προσμείξεις που βρίσκονται στο βιοαέριο και η τεχνική τους βασίζεται στην διαλυτότητα αυτών· επιπλέον αυτή η τεχνολογία χωρίζεται σε φυσική και χημική.

2. Τεχνολογία προσρόφησης με εναλλαγή πίεσης (Pressure swing adsorption)

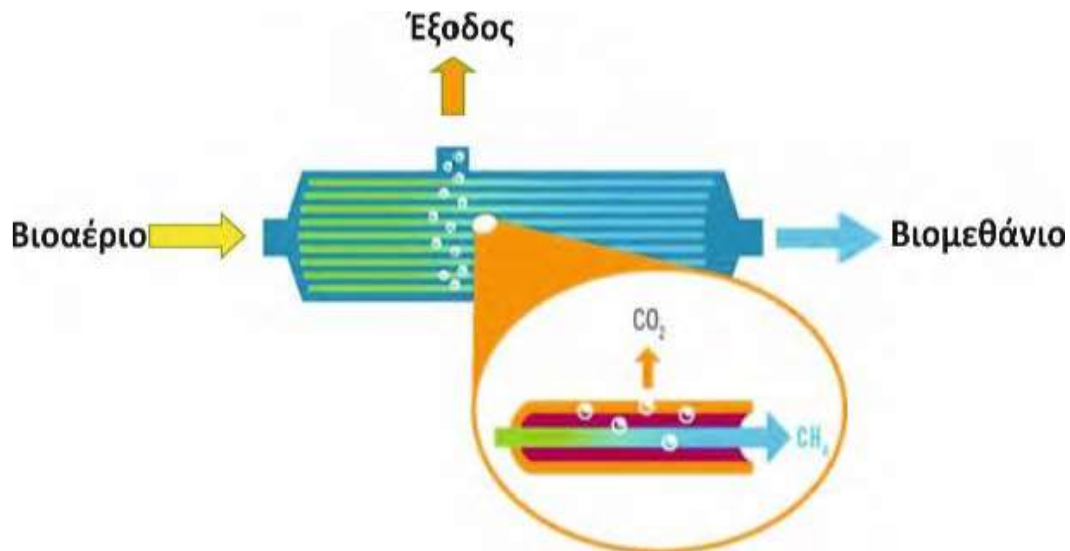
Στην προσρόφηση μεταβλητής πίεσης (Pressure Swing Adsorption) το CO_2 και οι άλλες προσμείξεις που πρέπει να απομακρυνθούν διαχωρίζονται από το βιοαέριο με την τεχνική της προσρόφησης, η οποία γίνεται σε μια επιφάνεια υπό υψηλή πίεση. Στην εικόνα 11 φαίνεται μια τυπική διάταξη μιας τέτοιας τεχνολογίας.



Εικόνα 11: Τεχνική προσρόφησης μεταβλητής πίεσης για αναβάθμιση βιοαερίου (Pressure Swing Adsorption,) (Wang, X.J., et al., 2012)

3. Τεχνολογία μεμβρανών

Η χρήση της τεχνολογίας των μεμβρανών προκειμένου να αναβαθμιστεί το βιοαερίου βασίζεται στην αρχή λειτουργίας ότι τα αέρια διέρχονται μέσω ενός πορώδους υλικού το οποίο είναι ανάλογο του μεγέθους των μορίων των αερίων.



Εικόνα 12: Διαχωρισμός μέσω μεμβρανών(Wang, X.J., etal., 2012)

4. Κρυογονική τεχνολογία

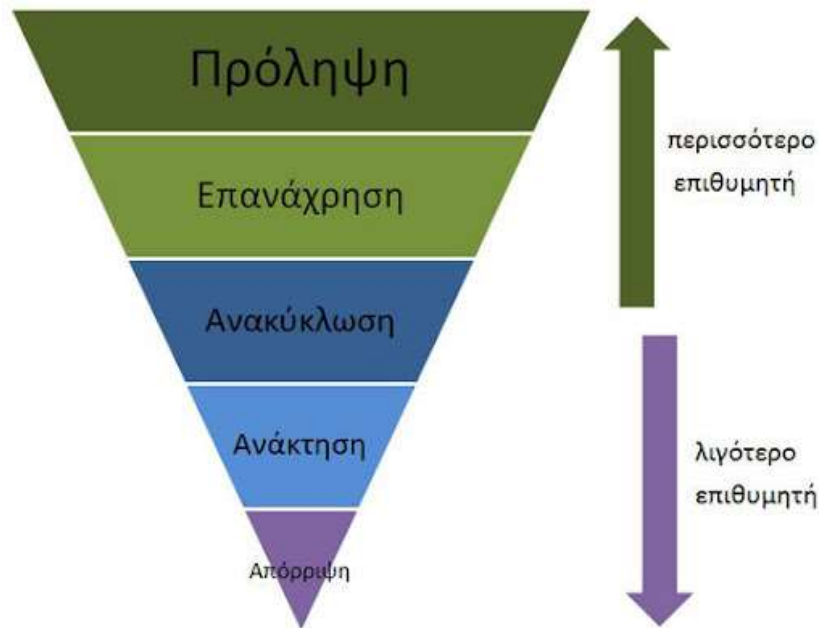
Η αναβάθμιση που χρησιμοποιεί η κρυογονική τεχνολογία βασίζεται στα διαφορετικά σημεία βρασμού/εξάχνωσης των διαφόρων αερίων και κυρίως για τον διαχωρισμό του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου. Αρχικά το βιοαέριο ψύχεται στις θερμοκρασίες όπου το CO₂ συμπυκνώνεται ή εξατμίζεται και έτσι μπορεί να διαχωριστεί ως υγρό ή στερεό κλάσμα, ενώ το μεθάνιο συσσωρεύεται στην αέρια φάση.

Κεφάλαιο 5^ο: Νομοθεσία

5.1 Ιεραρχία διαχείρισης των αποβλήτων

Η διεθνής νομοθεσία που σχετίζεται με τα στερεά απόβλητα έχει ως βασικό στόχο τη μείωση των παραγόμενων αποβλήτων και την αύξηση της ανακύκλωσης, με κεντρικό άξονα την κυκλική οικονομία. Αυτή η πολιτική στοχεύει στην ανάπτυξη μιας κοινωνίας που ανακυκλώνει, που χρησιμοποιεί τα απόβλητα ως πόρο και ελαχιστοποιεί την δημιουργία νέων.

Η πολιτική που σχετίζεται με τα απόβλητα στα περισσότερα κράτη βασίζεται στην έννοια η οποία είναι γνωστή ως **ιεραρχία διαχείρισης των αποβλήτων**. Στη συγκεκριμένη έννοια εντάσσονται εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης οι οποίες έχουν ως κεντρικό γνώμονα την προστασία του ανθρώπου, αλλά και του περιβάλλοντος. Μερικές από τις αρχές που διέπει η συγκεκριμένη πολιτική είναι η πρόληψη για την δημιουργία νέων αποβλήτων, η ανακύκλωση ή λιπασματοποίηση του προϊόντος, η ανάκτηση της ενέργειας μέσω αποτέφρωσης και η διάθεση σε χώρο υγειονομικής ταφής. (www.ypen.gov.gr)



Εικόνα 13: Πυραμίδα προτεραιότητας διαχείρισης των αποβλήτων
(www.envidawn.gr)

5.2 Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) 2020-2030

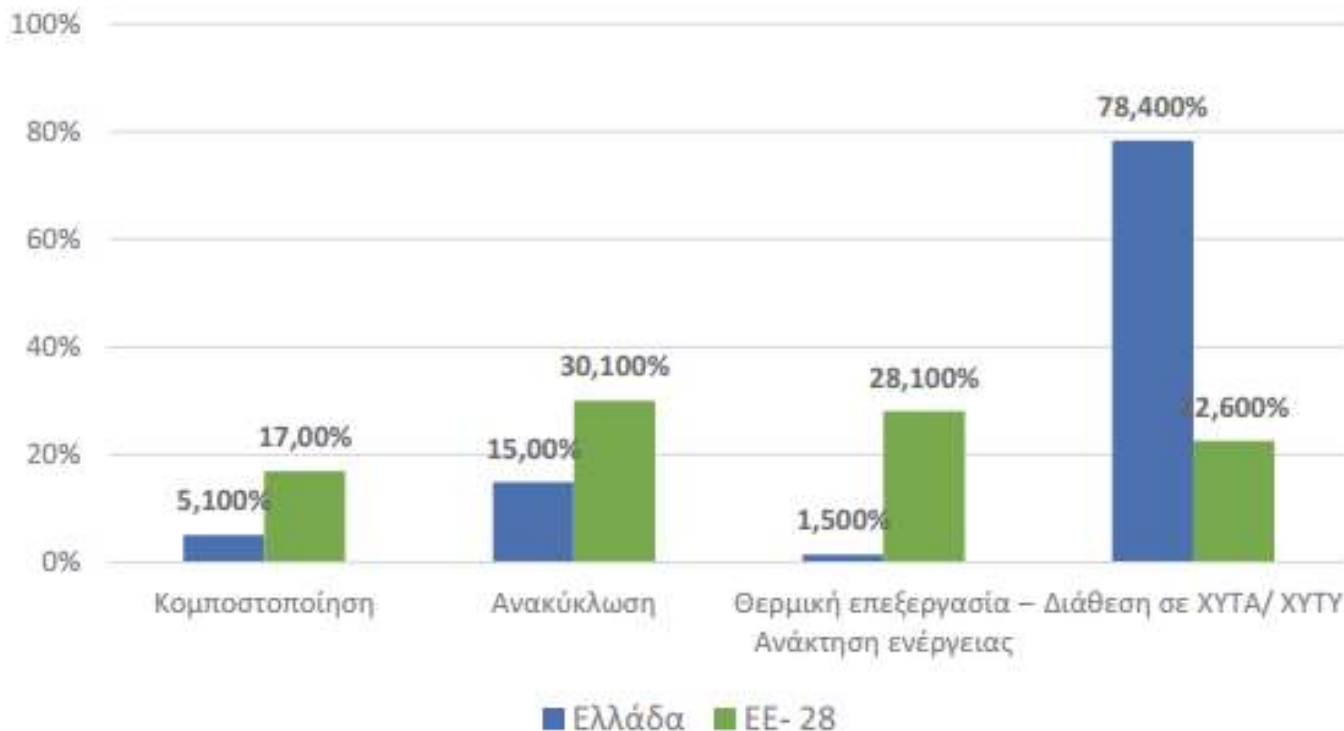
Οι πληροφορίες που αναλύονται στις επόμενες ενότητες αντλήθηκαν από τον επίσημο ιστότοπο του ΥΠΕΝ (www.ypen.gov.gr)

Το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) αποτελεί έναν στρατηγικό και πολιτικό σχεδιασμό της χώρας με στόχο τη διαχείριση των αποβλήτων. Η δημιουργία Σχεδίων Διαχείρισης αποτελεί υποχρέωση των κρατών μελών της ΕΕ και απορρέει από το άρθρο 28 της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα. Το ΕΣΔΑ αφορά περίοδο δέκα ετών και αξιολογείται κάθε πέντε χρόνια και, εφόσον απαιτείται, αναθεωρείται σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στον ν.4685/2020(Α'92). Το ΕΣΔΑ καθορίζει την πολιτική, τις στρατηγικές, τους άξονες, καθώς και τους ποιοτικούς και ποσοτικούς στόχους διαχείρισης αποβλήτων και των επιμέρους ρευμάτων του, θέτοντας παράλληλα τους άξονες δράσεων και μέτρων για την επίτευξη των στόχων που θέτει τόσο η εθνική όσο και η νομοθεσία της ΕΕ για τη διαχείριση των αποβλήτων.

Το συγκεκριμένο Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) αφορά την περίοδο 2020-2030 και έχει καταρτιστεί σύμφωνα με τις διατάξεις των άρθρων 22 και 35 του ν/ 4042/2012 (Α'24), όπως τροποποιήθηκαν με το άρθρο 83 του ν.4685/2020 (Α'92). Περιλαμβάνει όλες τις απαιτήσεις του άρθρου 28 της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ καλύπτοντας ταυτόχρονα όλες τις νέες υποχρεώσεις και όλα τα νέα στοιχεία που εισήχθησαν στο άρθρο αυτό μέσω της Οδηγίας (ΕΕ) 2018/851 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου της 30^{ης} Μαΐου 2018, καθώς και της κατευθυντήριας οδηγίας ΕΕ «The role of Waste-to-Energy in the circular economy» COM (2017) 34 final/26.02.2017. Σύμφωνα με στοιχεία των Εκθέσεων του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας ΥΠΕΝ, δηλώνεται ότι οι στόχοι του υφιστάμενου ΕΣΔΑ 2015-2020 δεν επιτεύχθηκαν καθώς ήταν υπέρμετρα φιλόδοξοι με πολύ μικρό χρονοδιάγραμμα επίτευξης με αποτέλεσμα η Ελλάδα να υστερεί στη διαχείριση ΑΣΑ σε σχέση με την υπόλοιπη ΕΕ (ΕΣΔΑ, 2020).

Ο βασικός στόχος του ΕΣΔΑ είναι η ανάπτυξη και ο καθορισμός της στρατηγικής, των πολιτικών, των στόχων, των κατευθύνσεων και των κατάλληλων μέτρων που αποσκοπούν στην προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, έμφαση δίνεται στην πρόληψη και μείωση της παραγωγής αποβλήτων, στον περιορισμό της χρήσης των φυσικών πόρων βελτιώνοντας την αποδοτικότητά τους, με τελικό σκοπό τη μετάβαση σε μια κυκλική και αειφόρο οικονομία. Για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης ανταγωνιστικότητας, την προώθηση της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης και τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, το σχέδιο αυτό συνδυάζεται με το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) στο πλαίσιο της μετάβασης σε μια κλιματικά ουδέτερη Ευρώπη μέχρι το 2050.

Στο ακόλουθο διάγραμμα συγκρίνεται η θέση της Ελλάδας με τον μέσο όρο της ΕΕ στην διαχείριση των ΑΣΑ και γίνεται εμφανές πόσο υστερεί σε όλες τις κατηγορίες.



Σχήμα7: Διαχείριση των ΑΣΑ στην Ελλάδα και στην ΕΕ.

5.3 Ευρωπαϊκή και Ελληνική νομοθεσία για το βιοαέριο

Παρακάτω βλέπουμε κάποια βασικά νομοθετικά πλαίσια που εφαρμόζονται στην Ευρωπαϊκή Ένωση γύρω από την εφαρμογή του βιοαέριου:

- **Οδηγία 2009/28/ΕΚ**-Προώθηση και παραγωγή της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, τροποποίηση και στη συνέχεια κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ: Θεσπίζει κοινό νομοθετικό πλαίσιο για τη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές προκειμένου να περιοριστούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να γίνει προώθηση καθαρότερων μεταφορών.

- **Οδηγία 2008/98/ΕΚ-Απόβλητα:** Προβλέπει ένα γενικό πλαίσιο απαιτήσεων διαχείρισης αποβλήτων και καθορίζει τους βασικούς ορισμούς διαχείρισης αποβλήτων για την ΕΕ.
- **Οδηγία 1999/31/ΕΚ-Υγειονομική ταφή:** Αποσκοπεί στην πρόληψη ή τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την υγειονομική ταφή αποβλήτων με την εισαγωγή αυστηρών τεχνικών απαιτήσεων για τα απόβλητα και τους χώρους υγειονομικής ταφής.
- **Οδηγία 2008/1/ΕΚ-Ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης:** Ορίζει τις υποχρεώσεις που θέτονται σε βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες με υψηλό ποσοστό ώστε να συμμορφωθούν.
- **Οδηγία 2009/73 / ΕΚ-Κανόνες για την εσωτερική αγορά φυσικού αερίου:** Αποσκοπεί στην καθιέρωση κοινών κανόνων για τη μετάδοση, διανομή, προμήθεια και αποθήκευση φυσικού αερίου. Αφορά κυρίως φυσικό αέριο, υγροποιημένο φυσικό αέριο, βιοαέριο και αέριο από βιομάζα.
- **Οδηγία 2012/27 / ΕΚ-Ενεργειακή απόδοση:** Η παρούσα οδηγία θεσπίζει ένα κοινό πλαίσιο μέτρων για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- **Οδηγία 2000/60 / ΕΚ-Πολιτική για τα ύδατα:** θεσπίζει ένα κοινό πλαίσιο κοινωνικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, συμπεριλαμβανομένων βασικών μέσων για την προστασία των υδάτων από γεωργικές πιέσεις που σχετίζονται με τα νιτρικά άλατα.

Ελληνικό πλαίσιο

Συγκεκριμένη ελληνική νομοθεσία σχετικά με το βιοαέριο δεν υπάρχει, και έτσι η αξιοποίησή του εντάσσεται κυρίως στο πλαίσιο της γενικότερης νομοθεσίας που εφαρμόζεται για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Η ανάπτυξη και χρήση των ΑΠΕ τα τελευταία χρόνια έχει συνεισφέρει στην ενίσχυση του ενεργειακού συστήματος και της προστασίας του περιβάλλοντος ακολουθώντας τους άξονες πολιτικής της ΕΕ σχετικά με την εφαρμογή καλών πρακτικών. Βασικοί στόχοι της ελληνικής πολιτικής είναι η διασφάλιση της ενεργειακής τροφοδοσίας της ενεργειακής αγοράς, η ενίσχυση της χρήσης των ΑΠΕ και των βιοκαυσίμων στο ενεργειακό σύστημα και η ανάπτυξη ενεργειακών υποδομών. Σχετικά με την υλοποίηση έργων βιοαερίου, απαιτείται προσεκτικός και αναλυτικός σχεδιασμός λαμβάνοντας υπόψη τόσο περιβαλλοντικούς όσο και τεχνοοικονομικούς παράγοντες. Με την ανάπτυξη του ενεργειακού τομέα και της νομοθεσίας στην Ελλάδα, η παραγωγή και χρήση του βιοαερίου μπορεί να ενισχυθεί ακόμη περισσότερο. Περαιτέρω ανάλυση της Ελληνικής νομοθεσίας σχετικά με τις ΑΠΕ και το βιοαέριο θα γίνει στο **παράρτημα Α**.

5.4 Νομοθεσία Στην ΕΕ για την Αναερόβια Χώνευση

Έχουν δημιουργηθεί αρκετές πολιτικές σχετικά με τη βιώσιμη ανάπτυξη που αφορά την επεξεργασία αποβλήτων, όπως είναι τα στερεά αστικά απόβλητα, την παραγωγή ιλύος, και τα ζωικά απόβλητα. Στην Ευρώπη έχουν γίνει προσπάθειες, καθώς και πολιτικές, για την στήριξη της μείωσης και ανακύκλωσης των αποβλήτων, και προσπάθειες να παράγεται ενέργεια απ' αυτά. Έτσι η **οδηγία 1991/31/ΕΚ** επιβάλλει την μείωση της συνολικής ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που προορίζονται για υγειονομική ταφή σε κράτη μέλη της

ΕΕ. Η **οδηγία 86/278/ΕΚ** ευνοεί τη χρήση της παραγωγής ιλύος στη γεωργία (μετά από κατάλληλη μεταχείριση και υπό τον όρο ότι η προσθήκη επί του εδάφους είναι αβλαβής. Η **οδηγία 1991/676/ΕΚ** αντιμετώπισε την μείωση της ελευθέρωσης των νιτρικών αλάτων από γεωργικές δραστηριότητες στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα και επίσης ευνοεί την βιώσιμη ανακύκλωση των ζωικών αποβλήτων.

5.5 Νομοθεσία για το κομπόστ στην Ευρωπαϊκή

Ως ένα από τα βασικότερα προϊόντα της αναερόβιας χώνευσης, θα ήταν χρήσιμο να αναφερθούν κάποιες βασικές νομοθετικές διατάξεις οι οποίες ορίζουν την τελική ποιότητα, την μέθοδο διαχείρισης αλλά και την τελική διάθεση του κομπόστ.

Υπάρχουν πολλές νομοθεσίες στην ΕΕ οι οποίες σχετίζονται με την διαχείριση των βιοαποβλήτων. Η κύρια κατεύθυνση, στην οποία κινείται η Ευρωπαϊκή νομοθεσία, σχετίζεται με την ενθάρρυνση των κρατών μελών να συλλέγουν χωριστά και να ανακυκλώνουν τα βιολογικά απόβλητα ενώ παράλληλα ορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις που τίθενται για την διαχείρισή τους. Επιπλέον, ορίζουν κριτήρια σχετικά με την ποιότητα των προϊόντων που χρησιμοποιούνται ως εδαφοβελτιωτικά. Αναλυτικός πίνακας με τις κυριότερες νομοθεσίες σχετικά με το κόμποστ παρατίθεται στο **Παράρτημα Β**.

Από τις σημαντικότερες οδηγίες που πρέπει να αναφερθούν είναι η 2008/98/ΕΚ η οποία θεσπίζει νέα μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας και επιπλέον δίνει έμφαση στις ελάχιστες απαιτήσεις όσον αφορά τα προγράμματα διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού, τη πρόληψη, αλλά και την ανάκτηση των αποβλήτων.

Τέλος, θα ήταν σημαντικό να αναφερθούμε στις προδιαγραφές ποιότητας του κομπόστ, αν και διαφοροποιούνται ανάμεσα στα μέλη της ΕΕ τόσο λόγω της φιλοσοφίας τους, όσο και των παραμέτρων που

προσδιορίζονται από τα θεσμοθετημένα όριά τους και τα συστήματα πιστοποίησης. Ωστόσο κοινός στόχος όλων είναι η προστασία του εδάφους και του περιβάλλοντος καθώς οι διάφορες οργανικές και τοξικές ενώσεις που εντοπίζονται στο κομπόστ, όπως PCBs, PAHs, NPE και φθαλικές ενώσεις, μπορούν να γίνουν επιβλαβείς. Στο **παράρτημα Β** βλέπουμε τον πίνακα με τις οριακές τιμές όπως αυτές ορίζονται με βάση την Απόφαση οικ. 56366/ 4351/2014 -ΦΕΚ 3339/Β/12-12-2014.

Συμπεράσματα

Ο κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής έρευνας ήταν να εξετάσει τη μέθοδο της Αναερόβιας Χώνευσης των Αστικών Στερεών Αποβλήτων, η οποία αποτελεί μια τεχνολογία που έχει ως σκοπό την μείωση του όγκου των αποβλήτων με τρόπο αξιοποιήσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον.

Αρχικά είδαμε πως στην Ελλάδα ο τομέας των αποβλήτων αποτελεί μια σημαντική πηγή ρύπανσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η χώρα μας δεν διαθέτει ένα σωστό και οργανωμένο σύστημα διαχείρισης αποβλήτων, ή αν υπάρχουν κάποια, είναι σε πιλοτικό-πειραματικό στάδιο και εφαρμόζονται σε νομούς ή δήμους με μικρό πληθυσμό. Σ' αντίθεση με αρκετές ευρωπαϊκές χώρες όπου τα απόβλητα αξιοποιούνται και αποτελούν μια σημαντική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας.

Ειδικότερα, γίνεται αντιληπτό πως μέσω της τεχνολογίας της αναερόβιας χώνευσης αξιοποιείται ένα μέρος του ενεργειακού περιεχομένου των οργανικών υπολειμμάτων των αστικών στερεών αποβλήτων, και έτσι προκύπτει η παραγωγή του βιοαερίου και του κομπόστ τα οποία μέσω της κατάλληλης επεξεργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια πληθώρα εφαρμογών. Επίσης, είδαμε ακόμη πως το βιοαέριο αρχίζει και χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο ευρέως ως μορφή ενέργειας σε όλο τον κόσμο.

Έτσι το παραγόμενο βιοαέριο που προκύπτει από τις μονάδες χρησιμοποιείται κυρίως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και σε κάποιες περιπτώσεις για θέρμανση χωνευτών. Το βιοαέριο αποτελεί το μεγαλύτερο όφελος της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης προς μείωση αέριων ρύπων, μείωση φαινομένου του θερμοκηπίου και

αποφυγή χρήσης άλλων ειδών καυσίμων με αποτέλεσμα να εξελίσσεται και να γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη στη χώρα η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης.

Λόγω της μεγάλης αξιοποίησης του βιοαερίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης τα τελευταία χρόνια, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει αυστηρά όρια και νομοθεσίες για τη χρήση του προκειμένου να γίνεται μια ορθότερη διαχείριση των αποβλήτων.

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει συγκεκριμένη νομοθεσία προκειμένου να υλοποιηθούν μονάδες μικρής ή και μεγάλης κλίμακας για την παραγωγή βιοαερίου. Η ανάπτυξη αυτών των έργων και η εκμετάλλευση του βιοαερίου εντάσσεται κυρίως στο πλαίσιο των διατάξεων της γενικότερης νομοθεσίας για τις ΑΠΕ και στην ελληνική περιβαλλοντική πολιτική για τη διαχείριση των αποβλήτων.

Συμπερασματικά, ο σχεδιασμός τέτοιου είδους μονάδων δεν είναι απλή υπόθεση, αλλά αντιθέτως είναι μια διαδικασία κατά την οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες. Ωστόσο δεν θα πρέπει να σταθούν εμπόδια, αλλά να εφαρμοστούν και να τηρηθούν όλοι οι κανόνες προκειμένου η κατασκευή μονάδων αναερόβιας χώνευσης να ωφελήσει και τον άνθρωπο και το περιβάλλον με στόχο να εξελιχθεί και να διαδοθεί ακόμη περισσότερο ο τρόπος και οι μέθοδοι λειτουργίας της όπου αυτό είναι δυνατό.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Στο συγκεκριμένο παράρτημα παρουσιάζεται αναλυτικά η νομοθεσία που έχει θεσπιστεί στην Ελλάδα σχετικά με της ΑΠΕ με την εφαρμογή του βιοαερίου σύμφωνα με την **Ετήσια Έκθεση της Υπηρεσίας Α.Π.Ε., 2010**

Νομοθετικό Πλαίσιο	Περιγραφή
<p>Νόμος 1559/85 (ΦΕΚ 135/Α/85): Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις</p>	<p>Ο νόμος αυτός αποτελεί το πρώτο νομοθέτημα για τις ΑΠΕ αν και οι διατάξεις του περί ηλεκτροπαραγωγής εφαρμόστηκαν σε περιορισμένο βαθμό.</p>
<p>Νόμος 2244/94 (ΦΕΚ 168/Α/94) : Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις</p>	<p>Ο νόμος 2244/94 ήταν το πρώτο βήμα στην ανάπτυξη ενός συστηματικού πλαισίου δράσης και το κύριο κανονιστικό μέσο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεξάρτητους παραγωγούς. Μέσω αυτού του νόμου, η παραγωγή από τους αυτοπαραγωγούς και τους ανεξάρτητους παραγωγούς απελευθερώθηκε μέχρι τα 50 MW. Ο νόμος στόχευε στην παροχή κινήτρων για την ενθάρρυνση των επενδύσεων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Ο νόμος αυτός αντικαταστάθηκε από το νόμο 2773/99.</p>
<p>Νόμος 2773/99 (ΦΕΚ 286/Α/99): «Ρύθμιση θεμάτων Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις»</p>	<p>Ο νόμος αυτός ενσωματώνει πολλές από τις ρυθμίσεις του νόμου 2244/99 και καθιερώνει μία νέα άδεια, την άδεια παραγωγής, η οποία αποτελεί σήμερα την πρώτη άδεια που απαιτείται στην αδειοδοτική διαδικασία ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ σε μία σειρά που περιλαμβάνει την άδεια παραγωγής, την έγκριση περιβαλλοντικών όρων κ.α.</p>

Νομοθετικό Πλαίσιο	Περιγραφή
<p>Νόμος 2941/01 (ΦΕΚ 201/Α/01): Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. 'ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ' και άλλες διατάξεις.</p>	<p>Ο νόμος αυτός συμπλήρωσε το νόμο 2773/99 με σημαντικές διατάξεις σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές όπως: α) τις προϋποθέσεις εγκατάστασης έργων ΑΠΕ σε δάση, β) το χαρακτηρισμό όλων των έργων ΑΠΕ ως έργα δημόσιας ωφέλειας, γεγονός που τους εξασφαλίζει τα ίδια δικαιώματα και προνόμια σε διαδικασίες απαλλοτρίωσης γης, όπως αυτές που περιέχονται στα δημόσια έργα, ανεξάρτητα από το νομικό καθεστώς του κυρίου του έργου (ιδιωτικά ή δημόσια).</p>
<p>Νόμος 3010/2002 (ΦΕΚ 91/Α/02): Εναρμόνιση του Ν. 1650/1986 με τις Οδηγίες 97/11/Ε.Ε. και 96/61/Ε.Ε., διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορέματα και άλλες διατάξεις.</p>	<p>Ο νόμος αυτός εναρμονίζει το εθνικό δίκαιο με την Οδηγία 96/61/ΕΚ (Οδηγία IPPC) θέτοντας τη νέα περιβαλλοντική διαδικασία αναθεωρώντας τον βασικό νόμο για το περιβάλλον 1650/86.</p>
<p>Νόμος 3423/2005 (ΦΕΚ 304/Α/05): Εισαγωγή στην Ελληνική Αγορά των Βιοκαυσίμων και των άλλων Ανανεώσιμων Καυσίμων</p>	<p>Η Οδηγία 2003/30/ΕΚ μεταφέρθηκε στο εθνικό δίκαιο μέσω αυτού του νόμου για την προώθηση των βιοκαυσίμων.</p>
<p>Νόμος 3468/2006 (ΦΕΚ 129/Α/06): Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και 41 λοιπές διατάξεις</p>	<p>Ο νόμος αυτός, μεταξύ άλλων: α) θέτει νέες διοικητικές διαδικασίες για την προώθηση των ΑΠΕ και απλουστεύει την αδειοδότηση, β) θεσπίζει ένα νέο σύστημα τιμολόγησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ και γ) αποσκοπεί στο να διαδραματίσει έναν κύριο ρόλο προς τον εθνικό στόχο για 20,1% της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ μέχρι το 2010 και 29%, μέχρι το 2020. Με το νόμο αυτό η Οδηγία 2001/77/ΕΚ για την προαγωγή της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ μεταφέρεται στο εθνικό δίκαιο.</p>

Νομοθετικό Πλαίσιο	Περιγραφή
<p>ΚΥΑ 49828/2008 (ΦΕΚ 2464/Β/2008): Ειδικό πλαίσιο χωροταξικού σχεδιασμού και αειφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας</p>	<p>Ειδικό πλαίσιο χωροταξικού σχεδιασμού και αειφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας». Το Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο & Αειφόρου Ανάπτυξης για τις ΑΠΕ θέτει κανόνες χωροθέτησης ώστε να αποκλείσει μερικές περιοχές και χρήσεις γης από την εκμετάλλευση του βιοαερίου. Το πλαίσιο δεν καθορίζει συγκεκριμένες περιοχές (όπως για παράδειγμα στα αιολικά πάρκα). Σε ότι αφορά το βιοαέριο ως κατάλληλοι χώροι θεωρούνται οι χώροι που βρίσκονται κοντά στην παραγωγή και διάθεση της πρώτης ύλης. Οι τοπικές και περιφερειακές αρχές συμμετέχουν με τον έναν ή τον άλλο τρόπο στη διαδικασία αδειοδότησης ενός έργου παραγωγής βιοαερίου και πρέπει να γνωρίζουν όχι μόνο τη διαδικασία, αλλά και τις νομοθετικές διατάξεις και τις χρήσεις γης.</p>
<p>Νόμος 3851/2010 (ΦΕΚ 85/Α/2010): Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής</p>	<p>Τροποποίηση της νομοθεσίας των ΑΠΕ και κυρίως του νόμου 3468/2006 σε ό,τι αφορά την αδειοδότηση και λειτουργία τους</p>

Νομοθετικό Πλαίσιο	Περιγραφή
<p>Νόμος 3428/2005 (ΦΕΚ 313/Α/05): Απελευθέρωση Αγοράς Φυσικού Αερίου</p>	<p>Ρυθμίζει το καθεστώς λειτουργίας της αγοράς φυσικού αερίου στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα σύμφωνα με το άρθρο 39: «Η χρήση Συστημάτων Φυσικού Αερίου κατά τις διατάξεις του νόμου αυτού επιτρέπεται και για τη διακίνηση βιοαερίου, αερίου που παράγεται από Βιομάζα και άλλων τύπων αερίων, εφόσον αυτή είναι δυνατή, από τεχνική άποψη και πληρούνται οι προδιαγραφές ασφάλειας, αφού ληφθούν υπόψη οι απαιτήσεις ποιότητας και τα χημικά χαρακτηριστικά των αερίων αυτών». Ο νόμος μεταφέρει στο εθνικό δίκαιο την Οδηγία 2003/55/ΕΚ.</p>
<p>Νόμος 3734/2009 (ΦΕΚ 8/Α/2009): Προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις</p>	<p>Ο νόμος αυτός μεταφέρει στην εθνική νομοθεσία την 42 Οδηγία 2004/8/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 11ης Φεβρουαρίου 2004, για την προώθηση της συμπαραγωγής ενέργειας και για την τροποποίηση της Οδηγίας 92/42/ΕΟΚ (ΕΕ L 52/50) και συμπληρώνει το νομικό πλαίσιο για την προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας. Ο νόμος περιλαμβάνει διατάξεις για την τροποποίηση των νόμων 3468/2006 και 3199/2003.</p>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Νομοθετικό Πλαίσιο	Περιγραφή
Οδηγία 2008/98/ΕΚ	Οδηγία του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών
Οδηγία 2008/50/ΕΚ	Οδηγία για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη, η οποία συσσωματώνει την 96/62/ΕΚ και τις τρεις θυγατρικές της (1999/30/Εκ, 2000/69/ΕΚ και 2002/3/Εκ), όπως και την απόφαση 97/101/ΕΚ για την καθιέρωση διαδικασίας για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης από μεμονωμένους σταθμούς και δίκτυα
Κανονισμός αριθ. 889/2008/ΕΚ	Κανονισμός της επιτροπής της 5ης Σεπτεμβρίου 2008 σχετικά με τη θέσπιση λεπτομερών κανόνων εφαρμογής του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 834/2007 του Συμβουλίου για τη βιολογική παραγωγή και την επισήμανση των βιολογικών προϊόντων όσον αφορά τον βιολογικό τρόπο παραγωγής και τον έλεγχο των προϊόντων.

Νομοθετικό Πλαίσιο	Περιγραφή
Κανονισμός αριθ. 1069/2009/ΕΚ	Κανονισμός του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Οκτωβρίου 2009 περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο και για την κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1774/2002 (κανονισμός για τα ζωικά υποπροϊόντα)
Κανονισμός αριθ. 142/2011/ΕΕ	Κανονισμός της επιτροπής της 25ης Φεβρουαρίου 2011 για την εφαρμογή του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δε προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο και για την εφαρμογή της οδηγίας 97/78/ΕΚ του Συμβουλίου όσον αφορά ορισμένα δείγματα και τεμάχια που εξαιρούνται από κτηνιατρικούς ελέγχους στα σύνορα οι οποίοι αναφέρονται στην εν λόγω οδηγία.
Απόφαση 2006/799/ΕΚ	Απόφασή της επιτροπής της 3ης Νοεμβρίου 2006 περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους.
Απόφαση 2007/64/ΕΚ	Απόφασή της επιτροπής της 15ης Δεκεμβρίου 2006 περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε καλλιεργητικά μέσα.

Νομοθετικό Πλαίσιο	Περιγραφή
Απόφαση 2011/753/ΕΕ	Απόφασή της επιτροπής της 18ης Νοεμβρίου 2011 περί θεσπίσεως κανόνων και μεθόδων υπολογισμού για τον έλεγχο της συμμόρφωσης προς τους στόχους του άρθρου 11 παράγραφος 2 της οδηγίας 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου
Απόφαση οικ. 56366/4351/2014 -ΦΕΚ 3339/Β/12-12-2014	Καθορισμός απαιτήσεων (προδιαγραφών) για εργασίες επεξεργασίας στο πλαίσιο της μηχανικής-βιολογικής επεξεργασίας των σύμμεικτων αστικών αποβλήτων και καθορισμός χαρακτηριστικών των παραγόμενων υλικών ανάλογα με τις χρήσεις τους, σύμφωνα με το εδάφιο β της παραγράφου 1 του άρθρου 38 του Ν. 4042/2012 (Α'/24).
Οδηγία (ΕΕ) 2018/851	Τροποποίηση της οδηγίας 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα

Παράμετρος	Οριακές τιμές	Πρότυπα Εργαστηριακών Ελέγχων
Cd (<i>mgkg</i> /)	≤ 3	EN 13650:2001
Cr (<i>mgkg</i> /)	≤ 250	EN 13650:2001
Cu (<i>mgkg</i> /)	≤ 400	EN 13650:2001
Hg (<i>mgkg</i> /)	≤ 2.5	ISO 16772
Ni (<i>mgkg</i> /)	≤ 100	EN 13650:2001
Pb (<i>mgkg</i> /)	≤ 300	EN 13650:2001
Zn (<i>mgkg/dm</i>)	≤ 1200	EN 13650:2001
As (<i>mgkg</i> /)	≤ 10	EN 13650:2001
Πολυχλωριωμένα ΔιφαινόλιαPCBs (<i>mgkg</i> /)	≤ 0.4	EN 10382:2002
Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες PAHs (<i>mgkg</i> /)	≤ 3	ISO 18287:2006

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Al Seadi, T.; Holm Nielsen J., (2004): ‘Utilisation of waste from food and agriculture: Solid waste: Assessment, Monitoring, and Remediation; Waste management series 4; ELSEVIER; ISBN 0080443214.

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

Ahring, B. K., Z. Mladenovska, R. Iranpour, P. Westermann (2002): State of the art and future perspectives of thermophilic anaerobic digestion, *Water Sci. Technol*, 45 (2002), pp. 298-308

AfifaQidwai, Shashi Kant Shukla, Rajesh Kumar, Anand Pandey, and Anupam Dikshit (2018): Introduction of Nanotechnology in the Field of Biofuel Production.

Barthel, F., Cabrera, M., Faaij, A., Giroux, M., Hall, D., Kagramanian, V., Kononov, S., Lefevre, T., Moreira, R., Notstaller, R., Odell, P. and Taylor, M., (2000): Energy resources. In *World Energy Assessment, part II*, pp.135-171.

Bernet, N., Beline, F., (2009): Challenges and innovations on biological treatment of livestock effluents. *Bioresour. Technol*, pp5431-5436.

Bishop PL, Godfrey C, (1983): Nitrogen transformations during sludge composting. *BioCycle*, pp.34–39

Bond T. and M. R. Templeton (2011): History and future of domestic biogas plants in the developing world, *Energy for Sustainable Development* pp. 28-354

Cillie, G., M. Henzen, G. Stander, R. Baillie (1969): Anaerobic digestion (IV). The application of the process in waste purification, pp. 623– 643.

Favoino E. (2002): Drivers for separate collection in the EU, optimization, and cost assessment of high capture schemes. Proceedings of EC Conference on Biological Treatment of Biodegradable Waste.

Gujer, W., Zehnder, A. J. B., (1983): Conversion processes in anaerobic digestion pp. 33-39.

Glazer, A.N. and Nikaido, H., (1995): Microbial Biotechnology, pp.662

Haug, R., (1993): The Practical Handbook of Compost Engineering.

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (1996): Climate change 1995. In Facts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific technical Analysis. Edited by R.T. Watson, M.C. Zinyowera, and R.H. Moss. Cambridge: Cambridge University Press.

Jantsch, T.G., Angelidaki, I., Schmidt, J.E., De Hvidsten, B.E. and Ahring, B.K., (2002): Anaerobic biodegradation of spent sulfite liquor in a UASB reactor. Bioresource Technology, pp. 15-20.

Johansson, T.B., Kelly, H., Reddy, K.N. and Williams, R.H., (1993): A renewable-intensive global energy scenario. In Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity.

Lettinga, G., Antoni van Leeuwenhoek., (2005): Anaerobic digestion and wastewater treatment systems. pp. 3-28.

Lettinga, G., Van Velsen, L., De Zeeuw, W., Hobma, S.W., (1979): The application of anaerobic digestion to industrial pollution treatment. Applied Science Publishers. pp. 143-145.

Mata-Alvarez, J., (2003): Fundamentals of the anaerobic digestion process in Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes, IWA Publishing. pp. 80-98.

Merrild, H., Larsen, A. W., and Christensen, T., (2012): Assessing recycling versus incineration of key materials in municipal waste: The importance of efficient energy recovery and transport distances, Waste Management. pp. 1009–1018.

Miyamoto, K., (1997): Renewable biological systems for alternative sustainable energy production.pp. 156-160

Ni JQ, Nyns EJ., (1996): New concept for the evaluation of rural biogas management in developing countries.Energy Conversion and Management pp.1525-34.

Ostrem, K., (2004): Greening Waste: Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes. Science and education. pp. 100-122.

Petersson, A. &Wellinger, A. (2009): Biogas upgrading technologies - developments and innovations: IEA Bioenergy.

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. pp.1-17

Rasi S., A. Veijanen, J. Rintala., (2007): Trace compounds of biogas from different biogas production plants pp. 1375-1380

Reith, J. H., Wijffels, R. H., Barten, H., (2003): Bio-methane & Biohydrogen. Status and perspectives of biological methane and hydrogen production, Dutch Biological Hydrogen Foundation. Chapter 5.

Rink, Robert & Kamp, M. and Willson, G. &Singley, M. & Richard, Tom &Kolega, J. & Gouin, F. &Laliberty, L. & Kay, David & Murphy, D. &Hoitink, H. & Brinton, Will., (1992): On-Farm Composting Handbook.

Scarlat N., J.F. Dallemand, F. Fahl (2018):Biogas: Developments and perspectives in Europe., pp. 457-472

Sioulas, K., Teodorita A.S., Dominik R, Heinz P., Kottner M., Tobias F., Silke V, Rainer J., (2009): Biogas Handbook.

Sutton P.M., (1990): Anaerobic Treatment of High Strength Wastes: System Configuration and Selection, presented at Anaerobic Treatment of High Strength Wastes, University of Wisconsin-Milwaukee.

Smith L., (2008): Plan for anaerobic digesters in every town to recycle leftovers, The Times.

Trautmann, N. and Krasny, M. (2014): Composting in the Classroom: Scientific Inquiry for High School Students.

Wang, X.J., Yang, G.H., Feng, Y.Z., Ren, G.X., 2012. Potential for biogas production from anaerobic co-digestion of dairy and chicken manure with corn stalks. Adv. Mat. Res. 347, 2484–2492

Zhang B., Chen B., (2016): Sustainability accounting of a household biogas project based on energy.

Ελληνική

Αποστολάκης Κ., Κυρίτσης Σ., Σούτερ Χ., (1997): «Το ενεργειακό δυναμικό της βιομάζας γεωργικών και δασικών υποπροϊόντων»

ΕΠΠΕΡΑ, (2012): Οδηγός εφαρμογής προγραμμάτων Διαλογή στη Πηγή & συστημάτων διαχείρισης των βιοαποβλήτων.

IENE, (2006): Κερδίζουν έδαφος τα βιοκαύσιμα, ημερίδα του ΠΑΣΕΓΕΣ.

Καραλής Νικόλας, (2015) : Μεταπτυχιακή Διπλωματική με τίτλο : Κάλυψη των ενεργειακών αναγκών αστικής-ημιαστικής περιοχής με πληθυσμό 25000 κατοίκων, με χρήση της παραγόμενης βιομάζας από αγροτικές καλλιέργειες στην περιφερειακή ενότητα Ηλείας. Πάτρα 2015

Λυχναράς Β., (2006):«Ενεργειακές Καλλιέργειες», Τμήμα βιομάζας, ΚΑΠΕ..

Μακρής Β., Κέκος Δ., &Χριστακόπουλος Π., (2017):«Καινοτομίες στην παραγωγή βιοαιθανόλης ως βιοκαύσιμο.

Μακρίδης Λεάνδρου και Μαρδάνη Γεωργίου, (2019):Διπλωματική Εργασία με τίτλο : Μελέτη Της Αναερόβιας Χώνευσης Για Παραγωγή Βιοαερίου.

Παναγιωτακόπουλος Χ. Δημήτριος, (2007), Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων.

Παπάζογλου Δάφνη- Ιωάννα, (2011) :Διπλωματική Εργασία με τίτλο : Αερόβια Χώνευση Στερεών Αποβλήτων, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Τμήμα Γεωγραφίας

Ρεκλείτης Γρηγόριος (2020): Διδακτορική Διατριβή με τίτλο: Βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, της λειτουργίας και της ποιότητας προϊόντων μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας.

ΥΠΕΚΑ (2013): Υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης αποβλήτων και αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης.

Χλέτσης Αλέξανδρος (2009):Μεταπτυχιακή Εργασία : Παραγωγή Βιοαερίου από Αστικά Απόβλητα και Στερεά Απορρίμματα.

Πηγές Διαδικτύου

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/infographic>

<https://etek.org.cy/>

www.uhhe.gr

<https://www.globalmethane.org/>

<http://www.cres.gr/cres/index.html>

<http://andrew.getux.com>

https://www.big-east.eu/downloads/IR-reports/ANNEX%20241_WP4_D4.2_Handbook-Greece.pdf

<https://habio.gr/wp-content/uploads/2019/08/%CE%A7%CE%91%CE%A1%CE%A4%CE%97%CE%A3.pdf>

www.agroenergy.gr

<https://www.homebiogas.com/advantages-and-disadvantages-of-biogas/>

<http://www.envidawn.gr/anakyklosi.aspx>

<https://ypen.gov.gr/diacheirisi-apovliton/sterea-apovlita/>

