



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Θερμότητας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ**



Επιβλέπων: Ρογδάκης Εμμανουήλ, Καθηγητής ΕΜΠ

Φοιτητής: Σεβαστού Σεβαστός

A.M: 02098661

Αθήνα, 2014

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

Περίληψη

Ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η περιοχή της Μεσογείου, είναι τα απόβλητα (υγρά και στερεά) που προέρχονται από την παραγωγή ελαιόλαδου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ρυπαντική ικανότητα των υγρών αποβλήτων από την επεξεργασία της ελιάς είναι εκατό φορές μεγαλύτερη από αυτή των αστικών αποβλήτων. Τα περισσότερα ελαιουργεία, τα οποία στην πλειοψηφία τους είναι επιχειρήσεις μικρής ή μεσαίας κλίμακας, δεν μπορούν να αντέξουν το κόστος εγκατάστασης συστημάτων επεξεργασίας των παραπροϊόντων που παράγονται, με αποτέλεσμα να επιμένουν στην διαχείριση των συγκεκριμένων αποβλήτων εφαρμόζοντας περιβαλλοντικά και νομικά μη αποδεκτές μεθόδους. Το σημαντικότερο πρόβλημα σε ότι αφορά την διάθεση των αποβλήτων, είναι το ιδιαίτερα υψηλό οργανικό φορτίο τους το οποίο δεν βιοαποικοδομείται εύκολα, ενώ από την άλλη, οι υψηλές συγκεντρώσεις οξέων και πολυφαινολικών ενώσεων οδηγούν στην εμφάνιση φυτοτοξικών φαινομένων, προσδίδουν ανεπιθύμητες φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες και υποβαθμίζουν το φυσικό περιβάλλον

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η τεχνική ανάλυση μιας μονάδας επεξεργασίας αυτών των αποβλήτων, όπου αυτά θα χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου και στη συνέχεια θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Τα οφέλη μια τέτοιας μονάδας θα είναι πολύ μεγάλα καθώς τα απόβλητα πλέον δεν θα εναποτίθενται ανεξέλεγκτα στο περιβάλλον, μειώνοντας έτσι τη ρύπανση, ενώ μέσω της εξασφαλισμένης πώλησης της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και στερεού καυσίμου, που θα παράγονται στη μονάδα, η επένδυση θα καταστεί οικονομικά βιώσιμη. Η μονάδα θα λειτουργεί με βάση τη διαδικασία της Αναερόβιας Συγχώνευσης οργανικών υποστρωμάτων, η οποία αποτελεί μία από τις βέλτιστες προτεινόμενες τεχνολογίες για την αποδόμηση υπολειμμάτων υψηλού οργανικού φορτίου με ελάχιστο τεχνολογικό ρίσκο.

Εξάλλου, οι αναερόβιες βιολογικές διεργασίες είναι ιδιαίτερα αποδοτικές εξαιτίας των γνωστών πλεονεκτημάτων που εμφανίζουν και σχετίζονται με την εξοικονόμηση ενέργειας και χημικών και της μικρής παραγωγής λάσπης. Η εποχιακή λειτουργία των ελαιοτριβείων (Νοέμβριος – Φεβρουάριος) δεν αποτελεί μειονέκτημα για τις αναερόβιες διεργασίες εξαιτίας των χαμηλών παρατηρούμενων ρυθμών αποδόμησης των μεθανογόνων μικροοργανισμών και της εύκολης επαναλειτουργίας των αναερόβιων χωνευτήρων μετά από αρκετούς μήνες μη λειτουργίας.

Λέξεις κλειδιά: *Υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων, Ελαιοπυρηνόξυλο, Αναερόβια χώνευση, Βιοαέριο, Βιομεθάνιο, Συμπααραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.*

Abstract

One of the major environmental problems of the Mediterranean region, the waste (liquid and solid) from the production of olive oil. It should be noted that the polluting capacity of wastewater from the treatment of olives is one hundred times greater than that of municipal waste. Most olive mills, which in the majority of enterprises are of small and medium scale, can not afford the installation of treatment systems for the byproducts, lead to managing their waste with environmentally and legally unacceptable methods. The major problem in terms of disposal of waste is the very high organic content that does not biodegrade easily, while on the other hand, high concentrations of acids and polyphenolic compounds result in phytotoxic phenomena lend undesirable physicochemical and biological properties and also degrade natural environment.

The aim of this work is the technical analysis of a plant processing these agroindustrial wastes, where they will be used as feedstock for energy and solid fuel (pellet) production. The benefits from the operation of such a plant are substantial since wastes will no longer be uncontrollably disposed in the environment, reducing pollution, while through the secured sale of the produced thermal and electric energy and solid fuel the overall investment will be economically viable and attractive to potential investors. Such a plant will be operated using the anaerobic co-digestion process, which is a biological process (included in European best practices) for the degradation of organic residues under conditions of oxygen absence, with minimum technological and economic risk.

As far as biological processes are concerned, anaerobic biological processes are particularly suitable because of their well known advantages related to energy and chemicals saving and to the low production of sludge. The seasonal nature of the operation of olive mills (typically November to February) is not a disadvantage for anaerobic processes because the observed decay rates for methanogens are very low and a digester can be easily restarted following several months of shut-down.

Keywords: *Olive mill wastewater, Olive kernel wood, Anaerobic digestion, Biogas, Biomethane, Cogeneration of heat and electricity.*

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Abstract.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Γενικά περί βιομάζας.....	13
1.1 Εισαγωγή.....	13
1.2 Ιστορική αναδρομή και τάσεις.....	15
1.3 Δυναμικό και αξιοποίηση βιομάζας.....	16
1.4 Πρώτες ύλες.....	20
1.5 Τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας.....	23
1.6 Εφαρμογές της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.....	29
1.7 Αντικείμενο διπλωματικής.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Απόβλητα ελαιοτριβείων	33
2.1 Εισαγωγή.....	33
2.2 Παραπροϊόντα επεξεργασίας της ελιάς	35
2.3 Κατανάλωση νερού	37
2.4 Κατανάλωση ενέργειας.....	37
2.5 Στερεά απόβλητα.....	37
2.6 Αέρια απόβλητα.....	38
2.7 Υγρά απόβλητα.....	38
2.8 Παραγωγή ελαιοπυρηνόξυλου.....	39
2.8.1 Γενικές πληροφορίες	41
2.8.2 Χαρακτηριστικά & Αξιοποίηση Ελαιοπυρηνόξυλου	43
2.8.3 Εφαρμογές αξιοποίησης πυρηνόξυλου.....	45
2.9 Επεξεργασία αποβλήτων ελαιουργείων.....	46
2.9.1 Υγρά απόβλητα.....	46
2.9.2 Στερεά απόβλητα	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αναερόβια χώνευση αποβλήτων ελαιουργείων.....	48
3.1 Εισαγωγή.....	48
3.2 Αναερόβια ζύμωση	48
3.2.1 Περιγραφή σταδίων της διεργασίας.....	49

1. Υδρόλυση.....	49
2. Οξυγένεση.....	49
3. Οξικογένεση	49
4. Μεθανογένεση	49
3.2.2 Υδρόλυση.....	50
3.2.3 Οξυγένεση.....	50
3.2.4 Οξικογένεση.....	51
3.2.5 Μεθανογένεση	52
3.3 Παράγοντες διεργασίας.....	53
3.3.1 Θερμοκρασία	53
3.3.2 pH, αλκαλικότητα και πτητικά οξέα.....	54
3.3.3 Θρεπτικά συστατικά	56
3.3.4 Τοξικότητα.....	56
3.3.5 Διαθέσιμες τεχνολογίες αναερόβιας χώνευσης	57
3.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση αναερόβιας χώνευση αποβλήτων ελαιουργείων.....	58
3.5 Αναερόβια ζύμωση στερεών αποβλήτων - ελαιοπυρήνα	58
3.5.1 Περιγραφή Διαδικασίας.....	60
3.6 Αναερόβια ζύμωση υγρών αποβλήτων ελαιουργείων (ΥΑΕ)	62
3.6.1 Βιοαντιδραστήρες επεξεργασίας ΥΑΕ	65
3.6.2 Προβλήματα διεργασίας	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: :Βιοαέριο και Αναβάθμισή του σε Βιομεθάνιο.....	69
4.1 Γενικά για το βιοαέριο	69
4.2 Χημική Σύσταση	70
4.3 Υποστρώματα για την παραγωγή βιοαερίου	73
4.4 Στάδια Παραγωγής Βιοαερίου	75
4.4.1 Χρήσεις βιοαερίου	80
4.5 Πλεονεκτήματα και οφέλη από τη χρήση του βιοαερίου.....	81
4.6 Δυναμικό παραγωγής βιοαερίου	82
4.7 Χρήση βιοαερίου στην Ε.Ε.....	83
4.8 Χρήση βιοαερίου στην Ελλάδα	84
4.9 Προοπτικές βιοαερίου	87

4.10	Αναβάθμιση Βιοαερίου → Παραγωγή Βιομεθανίου	88
4.11	Περιγραφή Παραγωγής Βιομεθανίου	90
4.11.1	Κόστος Αναβάθμισης σε Βιομεθάνιο	92
4.12	Προδιαγραφές Βιομεθανίου	93
4.13	Έγχυση Βιομεθανίου στο Δίκτυο Φ.Α.	94
4.14	Προβλήματα.....	94
4.15	Χρήση Βιομεθανίου στην Ευρώπη	95
4.16	Παραγωγή Βιομεθανίου στην Ελλάδα.....	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Σχεδιασμός ολοκληρωμένου συστήματος αναερόβιας		
χώνευσης αποβλήτων ελαιουργείων.....		
5.1	Εισαγωγή.....	98
5.2	Επιλογή θέσης μονάδας παραγωγής και αναβάθμισης βιοαερίου	98
5.3	Δυναμικότητα και λειτουργία της εγκατάστασης	101
5.4	Συνιστώσες της εγκατάστασης	104
5.4.1	Παραλαβή της πρώτης ύλης	105
5.4.2	Αποθήκευση πρώτης ύλης	106
5.4.3	Στάδια προεπεξεργασίας.....	109
5.4.4	Σύστημα τροφοδοσίας	111
5.4.5	Χωνευτήρες.....	117
5.4.6	Σύστημα θέρμανσης χωνευτήρων.....	125
5.4.7	Σύστημα ανάδευσης εντός του χωνευτήρα.....	132
5.4.8	Υπολογισμός χωνεμένης ιλύος	135
5.4.9	Αποθήκευση χωνεμένης ιλύος.....	136
5.4.10	Σύστημα αποθήκευσης βιοαερίου.....	138
5.5	Αναβάθμιση βιοαερίου.....	141
5.5.1	Απομάκρυνση υδρατμών	142
5.5.2	Αποθείωση	144
5.5.3	Απομάκρυνση CO ₂	145
5.6	Συμπαγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας (ΣΗΘ).....	147
5.7	Έλεγχος της εγκατάστασης	154
Συμπεράσματα.....		157
Βιβλιογραφία		160

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1: Διαδικασία παραγωγής βιομάζας	14
Εικόνα 1.2: Παγκόσμια ζήτηση ενέργειας (IEA 2009 Bioenergy).....	18
Εικόνα 1.3: Ποσότητα της βιομάζας που χρησιμοποιείται και η δυναμική της στις περισσότερες περιοχές του κόσμου	19
Εικόνα 1.4: Μερίδιο βιοενέργειας στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας (Κούκιος Ε. 2010).....	20
Εικόνα 1.5: Παρουσίαση όλων των διαδικασιών μετατροπής βιομάζας (Κατσίρη Α. 2011)	24
Εικόνα 1.6: Θερμοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας και τα αντίστοιχα προϊόντα της.....	25
Εικόνα 1.7: Χημική αντίδραση που περιγράφει την καύση της βιομάζας	26
Εικόνα 1.8: Βιοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας	27
Εικόνα 1.9: Σχηματικό διάγραμμα διαδικασίας ζύμωσης βιομάζας και τα αντίστοιχα προϊόντα της.....	28
Εικόνα 1.10: Μέθοδος θέρμανσης θερμοκηπίων με χρήση βιομάζας.....	31
Εικόνα 1.11: Η έλικα του Αρχιμήδη.....	31
Εικόνα 2.1: Ισοζύγιο πρώτων υλών και προϊόντων κατά την διαδικασία παραγωγής ελαιολάδου (Βλυσίδης Α.).....	35
Εικόνα 2.2: Παραπροϊόντα κατά την επεξεργασία του ελαιόκαρπου (Γεωργουσάκης Α. 2010)	36
Εικόνα 2.3: Ελαιοπυρηνόξυλο (Γεωργουσάκης Α. 2010).....	37
Εικόνα 2.4: Ποσοστό καθαρού ελαιολάδου σε σχέση με το σύνολο του καρπού και των στερεών και υγρών αποβλήτων (Moreno – Castilla 2001).....	39
Εικόνα 2.5: Κατανομή παραγωγής πυρηνόξυλου στην Ελλάδα (2000) (Βουρδούμπας Γ. 2004).....	40
Εικόνα 2.6: Διαδικασία παραγωγής πυρηνόξυλου σε πυρηνελαιουργείο (Βουρδούμπας Γ. 1998)	41
Εικόνα 2.7: Υποπροϊόντα ελαιοκάρπου.....	42
Εικόνα 3.4.1: Τα κύρια βήματα της αναερόβιας χώνευσης (Κούκιος Ε. 2010)	49
Εικόνα 3.4.2: Ρυθμός παραγωγής βιοαερίου (Βολικάκη Χ. 2008).....	60
Εικόνα 3.4.3: Αναερόβιο σύστημα εξατμισοδιαπνοής + Αερόβια μονάδα + Μembrάνες Τσακίριδης Δ. 2011)	68
Εικόνα 3.4.4: Αναερόβιο σύστημα υψηλού ρυθμού + Αερόβια μονάδα + Μembrάνες (Τσακίριδης Δ. 2011).....	68

Εικόνα 4.1: Σχηματική αναπαράσταση του κλειστού κύκλου της συγκεντρωμένης αναερόβιας χώνευσης (Al Seadi et al., 2001)	70
Εικόνα 4.2: Μοριακή δομή των αντιδρώντων και των προϊόντων της καύσης (www.biofuels.gr).....	71
Εικόνα 4.3: Εγκατάσταση βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος στη Δανία, για συγχώνευση ζωικών πολτών και ενεργειακών καλλιεργειών (groengas.nl)	74
Εικόνα 4.4: Εγκατάσταση βιοαερίου στη Γερμανία, που επεξεργάζεται κοπριάς από χοίρους, πουλερικά και σωρούς χόρτων (www.kriegfischer.de).....	74
Εικόνα 4.5: Εγκατάσταση βιοαερίου στη Γερμανία που κατασκευάστηκε το 2005 για την χώνευση ενεργειακών καλλιεργειών (www.kriegfischer.de).....	75
Εικόνα 4.6: Κύρια βήματα διεργασίας παραγωγής βιοαερίου (Σιούλας Κ. ΚΑΠΕ)...	76
Εικόνα 4.7: Γενικό διάγραμμα ροής της διεργασίας παραγωγής του βιοαερίου (Σιούλας Κ. ΚΑΠΕ).....	77
Εικόνα 4.8: Ολοκληρωμένη μονάδα βιοαερίου (Γιακουμέλος Λ. 2012)	78
Εικόνα 4.9: Σύστημα αποθήκευσης βιοαερίου ((Γιακουμέλος Λ. 2012)	78
Εικόνα 4.10: Ενεργειακή αξιοποίηση βιοαερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (www.jenbacher.com).....	79
Εικόνα 4.11: Εγκατάσταση μονάδας βιοαερίου στη Δανία (www.lemvigbiogas.dk). 79	
Εικόνα 4.12: Χρήσεις βιοαερίου (Σιούλας Κ. ΚΑΠΕ).....	80
Εικόνα 4.13: Ο ευρωπαϊκός χάρτης του φυσικού αερίου και πιθανοί διάδρομοι (κίτρινα) κατάλληλοι για την παραγωγή βιοαερίου και την έγχυση βιομεθανίου (Rutz D. et al. 2008).....	83
Εικόνα 4.14: Μονάδα βιοαερίου στα Α. Λιόσια δυναμικότητας 23,5 MW (www.helektor.gr).....	85
Εικόνα 4.15: Μονάδα βιοαερίου στη Ψυττάλεια δυναμικότητας 11,4 MW (www.rae.gr).....	86
Εικόνα 4.16: Μονάδα βιοαερίου στους Ταγαράδες δυναμικότητας 5 MW (www.helektor.gr).....	87
Εικόνα 4.17: Διαδικασία ελέγχου καυσαερίων (www.dvgw.de)	88
Εικόνα 4.18: Εγκατάσταση συστήματος PSA (αριστερά) και σύνδεση με το δίκτυο φυσικού αερίου (δεξιά) της μονάδας βιομεθανίου στο Pliening, Γερμανία (Rutz et al. 2008)	89
Εικόνα 4.19: Μονάδες αναβάθμισης βιοαερίου στη Σουηδία (Jonsson O. 2008).....	90
Εικόνα 4.20: Σχηματική αναπαράσταση παραγωγής βιοαερίου με αεριοποίηση (Swedish Gas Centre 2001)	91

Εικόνα 4.21: Αναβάθμιση βιοαερίου στο Laholm της Σουηδίας με παροχή – 250 m ³ /h (Jonsson O. 2008)	91
Εικόνα 4.22: Παραγωγή βιοκαυσίμων 1ης και 2ης γενιάς από βιοαέριο (www.lemvigbiogas.dk).....	92
Εικόνα 4.23: Σύγκριση των βιοκαυσίμων μεταφορών σε σχέση με την απόσταση που καλύπτεται από ένα αυτοκίνητο (www.biofuels.gr).....	97
Εικόνα 5.1: Γεωγραφική κατανομή ελαιοτριβείων στην Ελλάδα (Γεωργακαράκος Κ., 2013)	100
Εικόνα 5.2: Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων στην Ελλάδα (Sioulas K. 2009)	101
Εικόνα 5.3: Πλατφόρμα ζύγισης (REnInvest Group 2012).....	106
Εικόνα 5.4: Παράδειγμα κυλινδρικού σιλό από γαλβανισμένο χάλυβα (www.bessemer.co.za/).....	108
Εικόνα 5.5: Παράδειγμα κυλινδρικής δεξαμενής αποθήκευσης (www.filtrowent.com.pl)	109
Εικόνα 5.6: Μηχανή θρυμματισμού του ελαιοπυρηνόξυλου (http://www.woodcrusher-mill.com)	110
Εικόνα 5.7: Αναδευτήρας ομογενοποίησης των υγρών αποβλήτων (www.alfalaval.com).....	111
Εικόνα 5.8: Παράδειγμα μεταφορικής ταινίας για τη μεταφορά του ελαιοπυρηνόξυλου στο χωνευτήρα (www.douglasmanufacturing/.com).....	113
Εικόνα 5.9: Εύρη λειτουργίας των αντλιών Wilo-CronoNorm-NL (www.wilo.gr)..	114
Εικόνα 5.10: Χαρακτηριστική της αντλίας που επιλέχθηκε για την άντληση του κατσίγαρου στο χωνευτήρα(www.productfinder.wilo.com/gr).....	115
Εικόνα 5.11: Βαλβίδες διακοπής (αριστερά) και σύστημα άντλησης (δεξιά) (RUTZ., 2008)	116
Εικόνα 5.12: Μονωμένες σωληνώσεις (αριστερά) και σωληνώσεις για βιομάζα (δεξιά) (RUTZ, 2008).	117
Εικόνα 5.13: Επιτόπου κατασκευή κατακόρυφων χωνευτήρων από σκυρόδεμα (RUTZ,2008)	118
Εικόνα 5.14: Χωνευτήρας μερικούς και πλήρους ανάμιξης (Λαγούδη Α.)	119
Εικόνα 5.15: Σχηματική απεικόνιση της παράλληλης λειτουργίας των χωνευτήρων της εγκατάστασης	122
Εικόνα 5.16: Παράδειγμα χαλύβδινων αναερόβιων χωνευτήρων που φέρουν αεροστεγανό σύστημα προσωρινής αποθήκευσης (REnInvest Group).....	124
Εικόνα 5.17: Σύστημα θέρμανσης μιας εγκατάστασης βιοαερίου (RUTZ, 2008). ...	126

Εικόνα 5.18: Σωληνώσεις θέρμανσης εγκαταστημένες στον χωνευτήρα (AGRINZ GmbH, 2008).	127
Εικόνα 5.19: Παράδειγμα σταθμού θέρμανσης χωνευτήρα (AGRINZ GmbH, 2008).	128
Εικόνα 5.20: Ισολογισμός ενέργειας για τη θέρμανση του χωνευτήρα στερεών αποβλήτων	129
Εικόνα 5.21: Οικονομητήρας για την προθέρμανση του στερεού και του υγρού αποβλήτου	130
Εικόνα 5.22: Ισολογισμός ενέργειας για τη θέρμανση του χωνευτήρα υγρών αποβλήτων	130
Εικόνα 5.23: Ταχύτητα περιστροφής των αναδευτήρων ως προς τη διάμετρο της προπέλας και τις απαιτήσεις ισχύος 46 εμπορικά διαθέσιμων αναδευτήρων (Lemmer A., 2013)	133
Εικόνα 5.24: Αναδευτήρας λάσπης ισχύος 11kW για το χωνευτήρα των στερεών αποβλήτων (www.dcmudcleaningequipment.com)	134
Εικόνα 5.25: Αναδευτήρας για το χωνευτήρα υγρών αποβλήτων ισχύος 15kW (Nanjing Lanshen Pumps(GROUP))	134
Εικόνα 5.26: Δεξαμενές αποθήκευσης καλυμμένες με μεμβράνες (AL SEADI, 2008).	136
Εικόνα 5.27: Ανοικτές τεχνητές λίμνες για την αποθήκευση του κομπόστ (AGRINZ GmbH, 2006)	137
Εικόνα 5.28: Μηχάνημα διασποράς υγρού λιπάσματος	137
Εικόνα 5.29: Συστήματα αποθήκευσης βιοαερίου (Severn Wye Energy Agency)	138
Εικόνα 5.30: Εξωτερικό σύστημα αποθήκευσης βιοαερίου (Agrinz , 2006)	139
Εικόνα 5.31: Πυρσός Καύσης Περίσσειας Βιοαερίου (www.envima.gr)	140
Εικόνα 5.32: Σχηματική αναπαράσταση της μονάδας αναερόβιου χωνευτήρα υγρών αποβλήτων ελαιουργείων καθώς και της ΣΗΘ της μονάδας	141
Εικόνα 5.33: Γενική απεικόνιση εγκατάστασης αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο (Severn Wye Energy Agency)	142
Εικόνα 5.34: Συμπιεστής της μονάδας αποθείωσης ισχύος 60kW της εταιρίας HAUG (www.haug.ch)	145
Εικόνα 5.35: Μονάδα διαχωρισμού CH ₄ / CO ₂ μέσω απορρόφησης με εναλλαγή πίεσης έξι δοχείων (Severn Wye Energy Agency)	146
Εικόνα 5.36: Απεικόνιση της MEK TCG 2020 V12 της εταιρείας MWM (www.mwm.net)	149

Εικόνα 5.37: Γεννήτρια AMG 0400 της εταιρείας ABB της μονάδας ΣΗΘ (www.abb.com).....	150
Εικόνα 5.38: Διάγραμμα Sankey για την περίπτωση τροφοδοσίας της ΣΗΘ με 2,8 MW _f βιομεθανίου.....	151
Εικόνα 5.39: Διάγραμμα Sankey για την περίπτωση τροφοδοσίας της ΣΗΘ με 3 MW _f βιομεθανίου.....	151
Εικόνα 5.40: Απεικόνιση ενός συστήματος παρακολούθησης (AGRINZ GmbH, 2006).	155
Εικόνα 5.41: Οθόνη παρακολούθησης της εγκατάστασης (Λαγούδη Α.).....	156

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.1: Διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας σε παγκόσμια κλίμακα - 2050.....	17
Πίνακας 2.1: Κύριες τεχνολογίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ελαιουργείων	46
Πίνακας 2.2: Κύριες τεχνολογίες στην επεξεργασία των στερεών αποβλήτων	47
Πίνακας 4.1: Τυπική χημική σύσταση του βιοαερίου (www.biomassenegy.gr).....	71
Πίνακας 4.2: Σύσταση βιοαερίου, βιομεθανίου και αερίου σύνθεσης (www.dvgw.de)	93
Πίνακας 4.3: Ποιοτικές απαιτήσεις για την έγχυση του βιοαερίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου της ΕΕ (Marcogaz 2006)	93
Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά βιομεθανίου κίνησης στη Σουηδία, βάσει προδιαγραφών SS 155438 (Swedish Gas Centre 2001)	96
Πίνακας 5.1: Κατανομή ελαιοδέντρων ανά νομό (Γεωργακαράκος Κ., 2013).....	100
Πίνακας 5.2: Ημερήσιες ποσότητες πρώτης ύλης που παραλαμβάνονται από τη μονάδα	102
Πίνακας 5.3: Συγκεντρωτικά στοιχεία δυναμικότητας της μονάδας.....	104
Πίνακας 5.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά απόδοσης της MEK TCG 2020 V12 της εγκατάστασης (www.mwm.net)	148
Πίνακας 5.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας της MEK TCG 2020 V12 της εγκατάστασης (www.mwm.net)	149
Πίνακας 5.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας AMG 0400 της εταιρείας ABB της μονάδας ΣΗΘ (www.abb.com).....	150
Πίνακας 5.7: Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός της εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης.....	152
Πίνακας 5.8: Θερμικές απαιτήσεις της εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης.....	153
Πίνακας 5.9: Παρουσίαση καθαρής παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας	154

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Γενικά περί βιομάζας

1.1 Εισαγωγή

Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ετυμολογικά η βιομάζα προέρχεται από τη λέξη βίος (ζωή) και τη λέξη μάζα. Από τους πρωτόγονους ανθρώπους και μέχρι σήμερα, και κυρίως οι αγροτικοί πληθυσμοί, για να ζεσταθούν, να μαγειρέψουν και να φωτιστούν, χρησιμοποιούν την ενέργεια (θερμότητα) που προέρχεται από την καύση των ξύλων, που είναι ένα είδος βιομάζας. Μετά την ενεργειακή κρίση του 1973, η βιομάζα άρχισε να παίζει όλο και σημαντικότερο ρόλο στην κάλυψη των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών (θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρισμού) και στην παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη, βιοντήζελ κ.α.). Σήμερα, θεωρείται ότι είναι μια σπουδαία πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλει στην ενεργειακή επάρκεια μετά την εξάντληση των αποθεμάτων του αργού πετρελαίου, του ορυκτού άνθρακα και του φυσικού αερίου. Οι αναπτυσσόμενες χώρες παράγουν περίπου το ένα τρίτο της ενέργειάς τους από βιομάζα (Βουρδούμπας Γ. 1998). Στην Ελλάδα, οι κυριότερες εφαρμογές αφορούν σε παραγωγή θερμικής ενέργειας σε γεωργικές και δασικές βιομηχανίες, σε θέρμανση στον οικιακό τομέα, ενώ έχει ξεκινήσει και η παραγωγή βιοντήζελ. Το ενεργειακό περιεχόμενο της βιομάζας μετριέται με την καθαρή θερμιδική της αξία.



Ο όρος **βιομάζα** χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει:

- α)** Τα υλικά ή καλύτερα τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυσικής, ζωικής δασικής, γεωργικής ή και αλιευτικής παραγωγής.
- β)** Τα υποπροϊόντα τα οποία προέρχονται από τη βιομηχανική επεξεργασία των υλικών αυτών.
- γ)** Τα αστικά λύματα και σκουπίδια.

δ) Τις φυσικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα π.χ. αυτοφυή φυτά δάση είτε από τεχνητές φυτείες αγροτικού ή δασικού τύπου.

Η βιομάζα είναι ανανεώσιμη αφού αποτελεί αποθήκη ενέργειας της οποίας πηγή είναι ο ήλιος και επίσης κατά την καύση της δεν παράγεται CO₂.

Άλλο ορισμός για τη **Βιομάζα**, είναι το σύνολο της ύλης που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. (Δήμος Β. 2009). Με τον όρο βιομάζα λοιπόν, περιγράφεται, οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς όπως, τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες, καθώς επίσης και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Η παραγωγή και η χρήση της, δεν ρυπαίνει το περιβάλλον με τοξικές ουσίες.

Δίστανται όμως, οι απόψεις ως προς την επίδραση που έχει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την παγκόσμια θέρμανση. Αν βέβαια θεωρηθεί, ότι το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό που αποδίδει στην ατμόσφαιρα η βιομάζα, το είχε ήδη αφαιρέσει η ίδια από την ατμόσφαιρα κατά την ανάπτυξή της, τότε είναι φανερό πως την καθιστά, ουδέτερη προς το φαινόμενο αυτό. (Δημόπουλος - Μαλαφούρης, 1997)

Βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων που προέρχονται από τη γεωργία, (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τις συναφείς βιομηχανίες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, όπως ορίζει η ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ.

Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια) είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια, που μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Πιο συγκεκριμένα, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη, με την έννοια ότι μετασχηματίζεται, καταστρέφεται και αναπαράγεται. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, είναι το νερό και ο άνθρακας, που είναι άφθονα στη φύση. Η διεργασία αυτή μπορεί να παρασταθεί σχηματικά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.1, ως εξής:



Εικόνα 1.1: Διαδικασία παραγωγής βιομάζας

Η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων, είναι η βιομάζα. Αντίθετα από αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ό,τι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Η βιομάζα λοιπόν, είναι ανανεώσιμη, με την έννοια ότι μετασχηματίζεται, καταστρέφεται και αναπαράγεται. Η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων, οι οποίοι θα αναλυθούν λεπτομερέστερα στην ενότητα 1.6.

1.2 Ιστορική αναδρομή και τάσεις

Μετά τις πετρελαϊκές κρίσεις του 1973 και 1979 και την συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργούν οι συμβατικές πηγές ενέργειας, ο σημαντικότερος τρόπος για να μπορέσει η ΕΕ και τα κράτη μέλη να ανταποκριθούν στους φιλόδοξους στόχους που έθεσαν το 1992, 1997 και 2002 στις συνδιασκέψεις του ΟΗΕ για το περιβάλλον και την βιώσιμη ανάπτυξη στο Ρίο, Κιότο και Γιохάνεσμπουργκ, είναι να αυξήσει το ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στην ακαθάριστη εσωτερική ενεργειακή κατανάλωση, με ποσοτικούς στόχους και δεσμευτικά χρονοδιαγράμματα.

Από το 1997 η ΕΕ έχει καταβάλει προσπάθειες ώστε να επιτευχθεί έως το 2010 ο φιλόδοξος στόχος να είναι 12% το μερίδιο των ΑΠΕ στην ακαθάριστη εσωτερική κατανάλωση ενέργειας, γεγονός που θα επιτρέψει τη δημιουργία άνω των 500.000 θέσεων εργασίας και θα αυξήσει το μερίδιο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ από 14,2 % το 1998 σε 22,1% μέχρι το 2010.

Κατά τις διασκέψεις που πραγματοποιήθηκαν στο Βερολίνο τον Ιανουάριο του 2004, στη Βόννη τον Ιούνιο του 2004 και στο Πεκίνο τον Νοέμβριο του 2005, εξετάστηκε η δυνατότητα παράτασης των συνολικών γενικών στόχων για τις ΑΠΕ πέραν του 2010, συμφωνήθηκε να αυξηθεί το ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών παγκοσμίως έως και 50% μέχρι το 2040 και να βελτιωθεί σημαντικά η ενεργειακή αποδοτικότητα (Ζαφείρης Χ. 2006).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση σήμερα καλύπτει το 4% των ενεργειακών της αναγκών με βιομάζα. Αν αξιοποιούσε πλήρως το δυναμικό της θα διπλασίαζε τη χρήση βιομάζας από 69 εκατ. ΤΠΠ το 2003 σε 185 εκατ. ΤΠΠ το 2010. Σύμφωνα με το Σχέδιο Δράσης για τη Βιομάζα (Biomass action plan) που εγκρίθηκε τον Δεκέμβριο 2005 από την ΕΕ, η συμμετοχή της βιομάζας και η παραγωγή βιοαερίου προβλέπεται να παίξει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ενέργειας σε Ευρωπαϊκό επίπεδο (EU-25), καθώς προβλέπεται να αυξηθεί από 69 εκατ. ΤΠΠ σε 149 εκατ. ΤΠΠ, προκειμένου να καλυφθεί ο στόχος του 12%. Ως άμεσο αποτέλεσμα του στόχου αυτού αναμένεται να είναι η μείωση των αερίων του θερμοκηπίου κατά 209 εκατ. τόννους ισοδυνάμου CO₂ κατ' έτος, η εξασφάλιση 250-300.000 θέσεων εργασίας στις αγροτικές κυρίως

περιοχές, και υπό ιδανικές συνθήκες η πίεση προς τα κάτω των τιμών του πετρελαίου λόγω μειωμένης ζήτησης. Σύμφωνα με το ίδιο σενάριο, μέχρι το 2010 προβλέπεται να εγκατασταθούν μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου συνολικής ισχύος 1000 MWe.

Στη χώρα μας, συμβολή στην ενεργειακή αυτάρκεια, υποκαθιστώντας ρυπογόνα ή εισαγόμενα καύσιμα, μπορεί να έχει το βιοαέριο το οποίο παράγεται κατά την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων και αστικών λυμάτων.

Η ανάπτυξη και εγκατάσταση τεχνολογιών βιοαερίου αποτελεί εναλλακτική λύση με σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς προσφέρει περιβαλλοντικά φιλική ενέργεια και ταυτόχρονα αντιμετωπίζει το θέμα της ανάκτησης/ ανακύκλωσης των στερεών αποβλήτων. Παρόλη τη δυναμική υπάρχει ένας αριθμός ζητημάτων που χρειάζεται να ‘χρεωθεί’ στην εξέλιξη της βιομάζας σε κύκλους ενεργειακών καυσίμων. Η βιομάζα συχνά θεωρείται ως ένα καύσιμο που είναι άβολο, που απαιτεί εκτεταμένη χρήση γης, που οδηγεί σε υψηλά ενεργειακά κόστη και είναι και ύποπτο όσο αφορά τα περιβαλλοντικά οφέλη. Ενώ αυτά τα ζητήματα έχουν να κάνουν περισσότερο με τις αντιλήψεις (ή παρανοήσεις) της μοντέρνας βιομάζας, οι τεχνολογίες και πρακτικές που αναλύονται παρακάτω μαζί με καλή διαχείριση των πηγών βιομάζας μπορούν να συντελέσουν στο να ανακουφισθούν πολλές ανησυχίες (Ζαφείρης Χ. 2006).

1.3 Δυναμικό και αξιοποίηση βιομάζας

Το Διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας αντιπροσωπεύει το ποσοστό του θεωρητικού δυναμικού που μπορεί να αποληφθεί με βάση τοπικούς (π.χ. μορφολογία εδάφους) και άλλους (π.χ. ανταγωνιστικές χρήσεις) περιορισμούς.

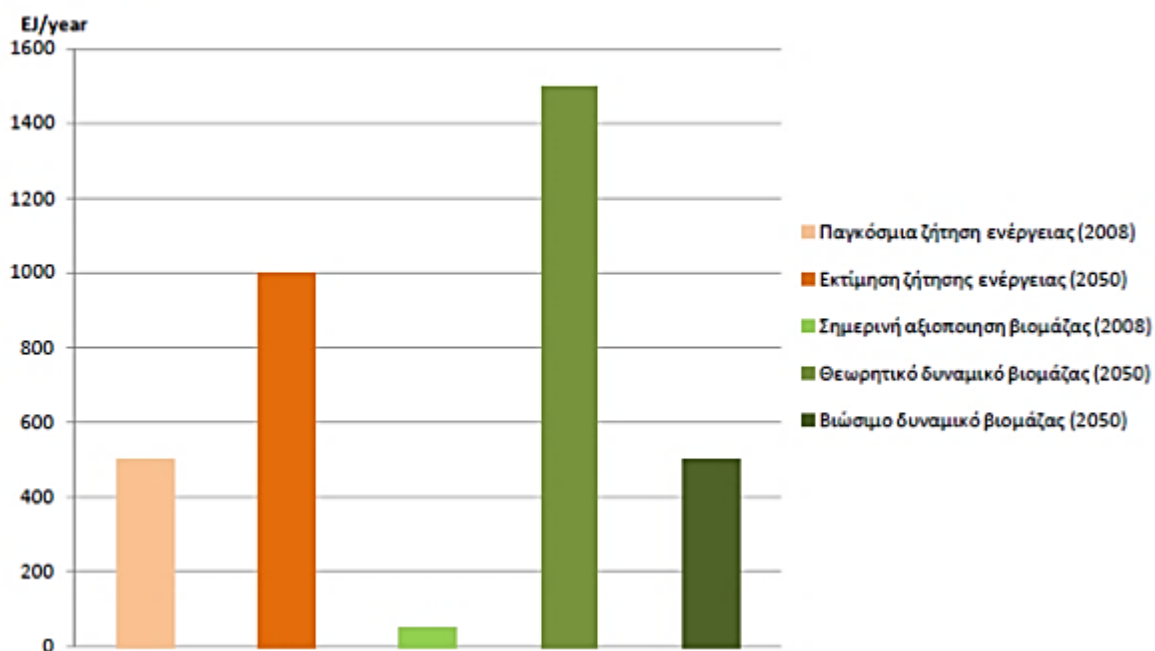
Έτσι ο Πίνακας 1.1 παρουσιάζει το διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας σε παγκόσμια κλίμακα μέχρι το έτος 2050 (Κατσίρη Α. 2011)

Πίνακας 1.1: Διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας σε παγκόσμια κλίμακα - 2050

Κατηγορία βιομάζας	Χαρακτηρισμός	Βασικές παραδοχές	Δυναμικό (EJ/yr)
Ενεργειακές καλλιέργειες (σε καλής ποιότητας εδάφη)	Βιομάζα που μπορεί να παραχθεί σε γεωργική γη μετά την κάλυψη των αναγκών για τρόφιμα και ζωοτροφές 1. Συμβατικές καλλιέργειες (καλαμπόκι, τεύτλα, ζαχαροκάλαμο, σόγια, κράμβη) 2. Λιγνοκυτταρινούχες καλλιέργειες (λεύκα, ιτιά, ευκάλυπτος, μίσχανθος)	Διαθέσιμες εκτάσεις 1-2 Δισ ha (Υψηλότερες τιμές προϋποθέτουν εντατική γεωργία) Απόδοση: 8-12 tonne/ha/year ξηρά ουσία	0 - 700
Ενεργειακές καλλιέργειες (σε χέρσα γη)	Βιομάζα που μπορεί να παραχθεί σε «περιθωριοποιημένη» γη (περιοχές που έχουν προκύψει από καταστροφή δασών, υποβαθμισμένες εκτάσεις γης)	Διαθέσιμες εκτάσεις 1,7 Gha Χαμηλή απόδοση 2-5 tonne/ha/year ξηρά ουσία	<60 - 150
Γεωργικά υπολείμματα	Υπολείμματα από την παραγωγή και επεξεργασία τροφίμων (άχυρο, φλοιοί ρυζιού, εκκοκκιστήρια, ελαιοπυρήνα, βγάση, κλπ)		15-70
Δασικά υπολείμματα	Υπολείμματα από την καλλιέργεια και εκμετάλλευση δασών, πρωτογενή (παράγωγα υλοτομίας) και δευτερογενή (πριονίδια, φλοιοί, κλπ)	Χαμηλές τιμές: αειφόρος διαχείριση δασών Υψηλές τιμές: Θεωρητικό δυναμικό	30-150
Κοπριά	Βιομάζα από κτηνοτροφικά απόβλητα (χοιροστάσια, βουστάσια, πτηνοσφαγεία)	Χαμηλές τιμές: τρέχουσα χρήση Υψηλές τιμές: Θεωρητικό δυναμικό	5-55
Οργανικά απόβλητα	Αστικά απορρίμματα (ΑΣΑ),	Οργανικό μέρος ΑΣΑ (50%)	5 - >50
Σύνολο	Αισιόδοξο σενάριο: Εντατική καλλιέργεια σε καλής ποιότητας εδάφη Απαισιόδοξο σενάριο: Χωρίς ενεργειακές καλλιέργειες, χρήση μόνο υπολειμμάτων		<50 - >1000

Στην Εικόνα 1.2 παρουσιάζεται η αναμενόμενη ζήτηση ενέργειας παγκοσμίως για το 2050, σύμφωνα με εκτιμήσεις που βασίστηκαν στο 2008, αλλά και η αναμενόμενη αξιοποίηση της ενέργειας από βιομάζα για το έτος 2050, από το θεωρητικό δυναμικό μέχρι το βιώσιμο. Παρατηρούμε ότι το βιώσιμο δυναμικό βιομάζας μπορεί να καλύψει σχεδόν το μισό της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας, ενώ από την άλλη το θεωρητικό δυναμικό, το οποίο αντιπροσωπεύει το μέγιστο ποσό της βιομάζας που μπορεί να παραχθεί σε μια συγκεκριμένη περιοχή, υπερκαλύπτει την εκτιμώμενη ζήτηση ενέργειας (Κατσίρη Α. 2011).

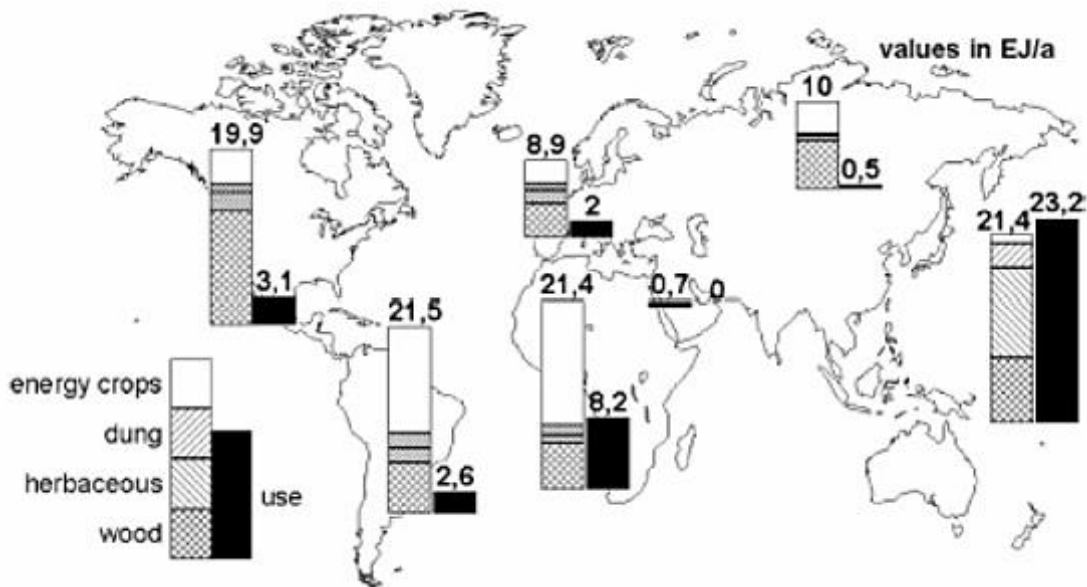
1 EJ = 10¹⁸ J



Εικόνα 1.2: Παγκόσμια ζήτηση ενέργειας (IEA 2009 Bioenergy)

Η τωρινή χρήση της βιομάζας για ενέργεια υπολογίζεται στο 14% περίπου της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας, περισσότερη από την οποία χρησιμοποιείται στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου η βιομάζα καλύπτει μέχρι το 1/3 των ενεργειακών αναγκών (Bauen & Kaltschmitt, 1999).

Αντιθέτως η βιομάζα παρέχει το ανώτερο 3% της ενέργειας στις βιομηχανοποιημένες χώρες. Η τωρινή χρήση της βιομάζας σε σύγκριση με ένα υπολογισμό της πρακτικά αποδεκτής δυναμικής απεικονίζεται στην Εικόνα 1.3.



Εικόνα 1.3: Ποσότητα της βιομάζας που χρησιμοποιείται και η δυναμική της στις περισσότερες περιοχές του κόσμου

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.3, η ποσότητα της βιομάζας που χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο είναι πολύ χαμηλότερη από τη δυναμική της στις περισσότερες περιοχές.

Παρόλα αυτά, η χρήση φαίνεται να υπερβαίνει την υποστηρικτική κατανάλωση σε κάποιες περιοχές, κυρίως στην Ασία. Το να επεκτείνουμε τη χρήση της μοντέρνας βιομάζας έχει επομένως 2 κύριες οδούς:

- Στις αναπτυσσόμενες χώρες, οι προσπάθειες χρειάζεται να προσανατολιστούν σε πιο μοντέρνες και μεγαλύτερης διάρκειας χρήσεις βιομάζας.
- Πιο μοντέρνες και μεγαλύτερης διάρκειας χρήσεις βιομάζας μπορούν να ανακουφίσουν τα τοπικά περιβαλλοντικά προβλήματα συμπεριλαμβανομένων και των σοβαρών συνεπειών στην υγεία που έχει η έκθεση σε προϊόντα καύσεως βιομάζας.
- Επιπλέον και σε αναπτυσσόμενες αλλά και σε βιομηχανικές χώρες, η μοντέρνα βιομάζα μπορεί να έχει πολυάριθμα περιβαλλοντικά και άλλα οφέλη.

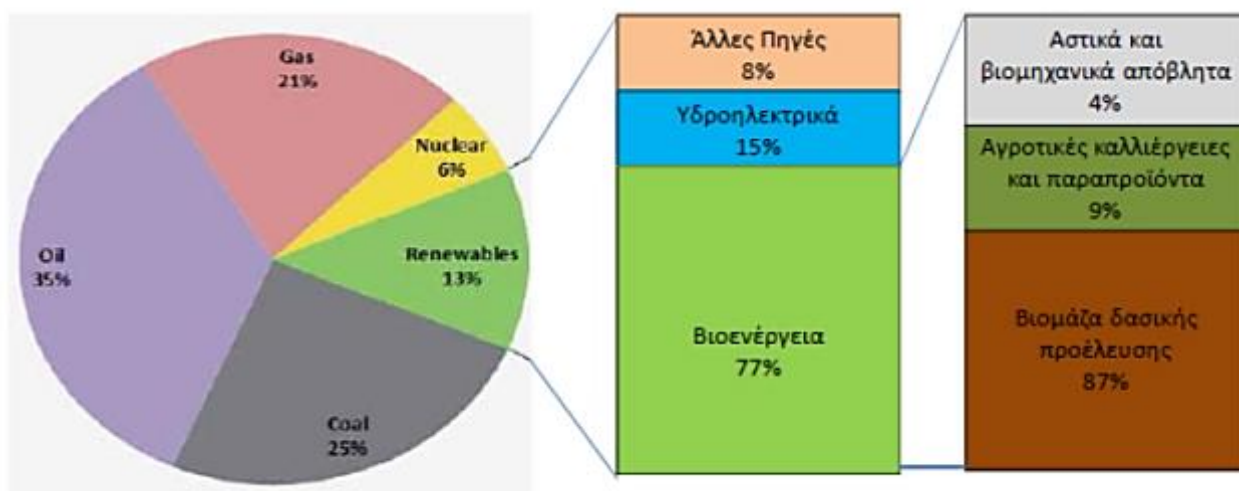
Η μοντέρνα βιομάζα για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού συνεισφέρει περίπου 4% της πρωτογενούς ενέργειας των ΗΠΑ, 11% στην Αυστρία, 20% στη Φιλανδία, 17% στη Σουηδία.

Η βιομάζα για τηλεθέρμανση (district heating) και συμπαραγωγή (CHP) είναι επίσης καλά οργανωμένη σε Δανία και Γερμανία (UNPP/wec 2000 Bacen,2001).

Η συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από εμπορική βιομάζα υπερβαίνει τις 100 TWh –η βιομάζα έχει σημαντικά μεγαλύτερη εμπειρία αγοράς από οποιαδήποτε άλλη ανερχόμενη ανανεώσιμη επιλογή (IEA, 2000b). Η χρήση της έχει επεκταθεί

σημαντικά σε αρκετές χώρες την τελευταία δεκαετία, κυρίως ως αποτέλεσμα ενός πλαισίου υποστηρικτικής πολιτικής. Η παραγωγή των παράγωγων υγρών καυσίμων βιομάζας για ανάμειξη με συμβατικά καύσιμα οχημάτων είναι καλά οργανωμένη στη Βραζιλία και στις ΗΠΑ (UNPP/WEC,2000).

Τέλος, στην Εικόνα 1.4 φαίνεται το μερίδιο της βιοενέργειας στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας, το οποίο αποτελεί μέρος των ΑΠΕ, αλλά και τα ποσοστά των πρώτων υλών που απαρτίζουν την εκμεταλλεύομενη βιομάζα. Όπως φαίνεται, η βιοενέργεια αποτελεί άνω των 2/3 του μεριδίου διείσδυσης των ΑΠΕ, ενώ τα δασικά υπολείμματα αποτελούν την κύρια πηγή διαθέσιμης βιομάζας.



Εικόνα 1.4: Μερίδιο βιοενέργειας στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας (Κούκιος Ε. 2010)

1.4 Πρώτες ύλες

Οι πηγές προέλευσης της βιομάζας ποικίλλουν - κάθε οργανικό υλικό φυσικής προέλευσης μπορεί να θεωρηθεί βιομάζα. Οι βασικές πρώτες ύλες βιομάζας προέρχονται: (www.biomassenergy.gr)

Από την υλοτομία και τη βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου



Τα ξυλώδη υπολείμματα που λαμβάνονται από την επεξεργασία του ξύλου (πριονίδι, ροκανίδι, θρύμματα ξύλου, κλπ.), καθώς και υπολείμματα ξυλείας που παράγονται κατά την υλοτόμηση των δέντρων και είναι ακατάλληλα για περαιτέρω επεξεργασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διαφορετικούς τρόπους για την παραγωγή βιοενέργειας, είτε για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ή για να καλύψει ανάγκες θέρμανσης.

Από τις γεωργικές δραστηριότητες



Αντίστοιχα με τα παραπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου, τα υπολείμματα από τις γεωργικές δραστηριότητες, όπως π.χ. το άχυρο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά, για την παραγωγή φιλικής προς το περιβάλλον ενέργειας και καύσιμης ύλης. Εκτός από το άχυρο, τα κλαδέματα από τις δενδρώδεις καλλιέργειες (ελαιοκλαδέματα), αντί να παραμένουν στους αγρούς και να αποτελούν εστίες ανάπτυξης πυρκαγιών, μπορούν να αξιοποιηθούν και να μετατραπούν σε υψηλής ποιότητας στερεά βιοκαύσιμα, προσφέροντας, ταυτόχρονα, ένα επιπλέον έσοδο για τους παραγωγούς.

Οι καλλιέργειες ενεργειακών φυτών αποτελεί, επίσης, μια πρακτική παραγωγής βιομάζας. Είναι, δε, αρκετά διαδεδομένη, τα τελευταία χρόνια ακόμα και στη χώρα μας όπου πραγματοποιείται για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων. Οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας, εναλλακτικών αέριων βιοκαυσίμων (βιοαέριο) καθώς και στερεών βιοκαυσίμων (pellets). Για την παραγωγή των στερεών βιοκαυσίμων έχει, επίσης, ξεκινήσει η εγκατάσταση δενδρωδών καλλιεργειών ταχείας ανάπτυξης.

Από τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες



Το βασικό απόβλητο όλων των κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων είναι η ζωική κοπριά. Το ζήτημα της αποτελεσματικής διαχείρισης της γίνεται ακόμα πιο έντονο κατά την μαζική εκτροφή ζώων (συνήθως βοοειδών, χοίρων και πουλερικών) σε περιορισμένους και συστεγασμένους χώρους.

Ο ιδανικότερος τρόπος διαχείρισης αυτών των αποβλήτων είναι η χρησιμοποίησή τους για την παραγωγή βιοενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, με τη βοήθεια της τεχνολογίας της αναερόβιας χώνευσης τα υγρά ζωικά απόβλητα μετατρέπονται σε βιοαέριο, ένα εναλλακτικό και «πράσινο» βιοκαύσιμο.

Μετά την παραγωγή του, το βιοαέριο τροφοδοτείται σε σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, από την πώληση των οποίων προκύπτουν τα πολύ σημαντικά έσοδα της μονάδας βιοαερίου. Επιπλέον έσοδα μπορούν να προκύψουν από την εμπορική εκμετάλλευση του χωνεμένου υπολείμματος της κοπριάς ως βιολογικό λίπασμα.

Η βιομάζα, συνεπώς, που λαμβάνεται από την εκτροφή ζώων ως απόβλητο, όχι μόνο δεν είναι άχρηστη, αλλά αποτελεί μια πολύ σημαντική πηγή εσόδων για τον παραγωγό καθώς και ένα τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με φιλικό για το περιβάλλον και τον άνθρωπο τρόπο. Συνιστά έναν ανεκμετάλλευτο πλούτο, τον οποίο έχουν αναγνωρίσει όλες οι αναπτυγμένες χώρες εδώ και χρόνια, γι αυτό και επενδύουν σε αυτόν διαρκώς.

Από τη βιομηχανία παραγωγής τροφίμων



Τα απόβλητα των βιομηχανιών παραγωγής τροφίμων, είτε βρίσκονται σε στερεά ή σε υγρή μορφή, μπορούν να αξιοποιηθούν ενεργειακά, επίσης μέσω της τεχνολογίας της

αναερόβιας χώνευσης και της παραγωγής βιοαερίου, πράγμα που εξετάσουμε και στην παρούσα διπλωματική.

Έτσι, υγρά απόβλητα που φημίζονται για το υψηλό ρυπαντικό τους φορτίο (π.χ. τυρόγαλα, κατσίγαρος, απόβλητα σφαγείων, απόβλητα χυμοποιείων, ζυθοποιείων και βιομηχανιών επεξεργασίας φρούτων και λαχανικών) και την έντονη ρύπανση που προκαλούν, σε συνδυασμό με τα στερεά απόβλητα (ελαιοπυρηνόξυλο) κατά την ανεξέλεγκτη διάθεση τους, σταματούν, πλέον, να αποτελούν πρόβλημα για τους παραγωγούς καθώς μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια. Με αυτόν τον τρόπο διαχείρισης των αποβλήτων προκύπτουν πολλαπλά οφέλη: διακόπτεται η περιβαλλοντική υποβάθμιση των υδάτινων αποδεκτών από την λειτουργία των ρυπογόνων βιομηχανιών με τρόπο που όχι μόνο δεν κοστίζει στον παραγωγό του αποβλήτου, αλλά του προσφέρει επιπλέον έσοδα από την πώληση της εναλλακτικής ενέργειας και την αποφυγή των υψηλών προστίμων που οφείλει να πληρώνει για την ακατάλληλη διάθεση των αποβλήτων του. Αντιστοίχως και για τα στερεά οργανικά απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων, υπάρχουν αποτελεσματικές τεχνολογίες χρήσης τους για την παραγωγή βιοαερίου και ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την εγκατάσταση μιας τεχνολογικά άρτιας μονάδας παραγωγής βιοενέργειας είναι, συνήθως, αναγκαία η συνεργασία των παραγωγών των ζωικών ή γεωργικών αποβλήτων με εκείνους των οργανικών βιομηχανικών αποβλήτων για την κατασκευή μονάδας συνδυασμένης αναερόβιας χώνευσης. Πέραν των περιβαλλοντικών, και τα οικονομικά οφέλη του φορέα που θα επενδύσει στην υλοποίηση μιας τέτοιας μονάδας εναλλακτικής ηλεκτροπαραγωγής, είναι σημαντικά υψηλότερα.

1.5 Τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας

Οι μέθοδοι μετατροπής της απορριπτόμενης βιομάζας διακρίνονται βασικά σε δύο κατηγορίες:

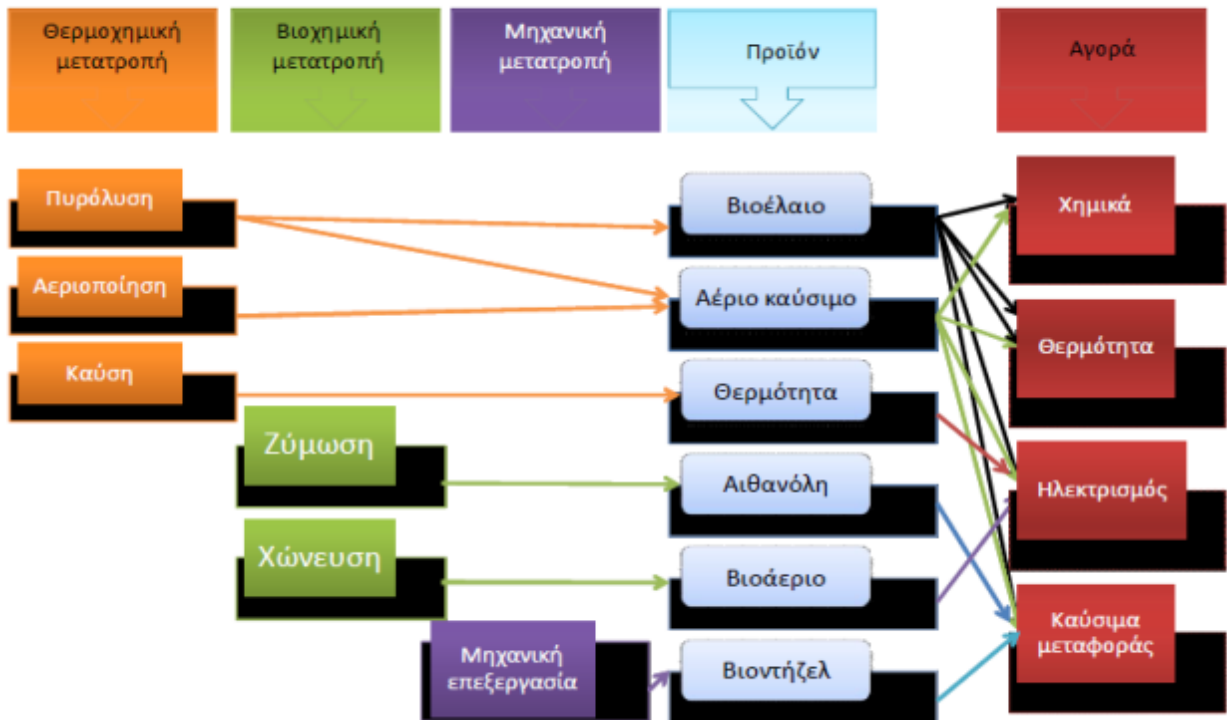
Θερμοχημικές μέθοδοι

Βιοχημικές μέθοδοι

Κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την καταλληλότερη μέθοδο είναι η σχέση C/N και η περιεχόμενη υγρασία της βιομάζας κατά την συλλογή. Οι θερμοχημικές προτιμούνται κυρίως για είδη βιομάζας με σχέση C/N > 30 και υγρασία <50% , ενώ οι βιοχημικές μέθοδοι εφαρμόζονται σε φυτικά είδη που χαρακτηρίζονται από λόγο C/N < 30 και παρουσιάζουν υψηλό ποσοστό υγρασίας άνω των 50%.

Στην Εικόνα 1.5 που ακολουθεί παρουσιάζονται όλες οι κύριες θερμοχημικές και βιοχημικές διαδικασίες μετατροπής βιομάζας, με τα κύρια προϊόντα τους καθώς και την αγορά που απευθύνονται και απορροφούνται.

Διαδικασίες μετατροπής βιομάζας, προϊόντα και αγορές

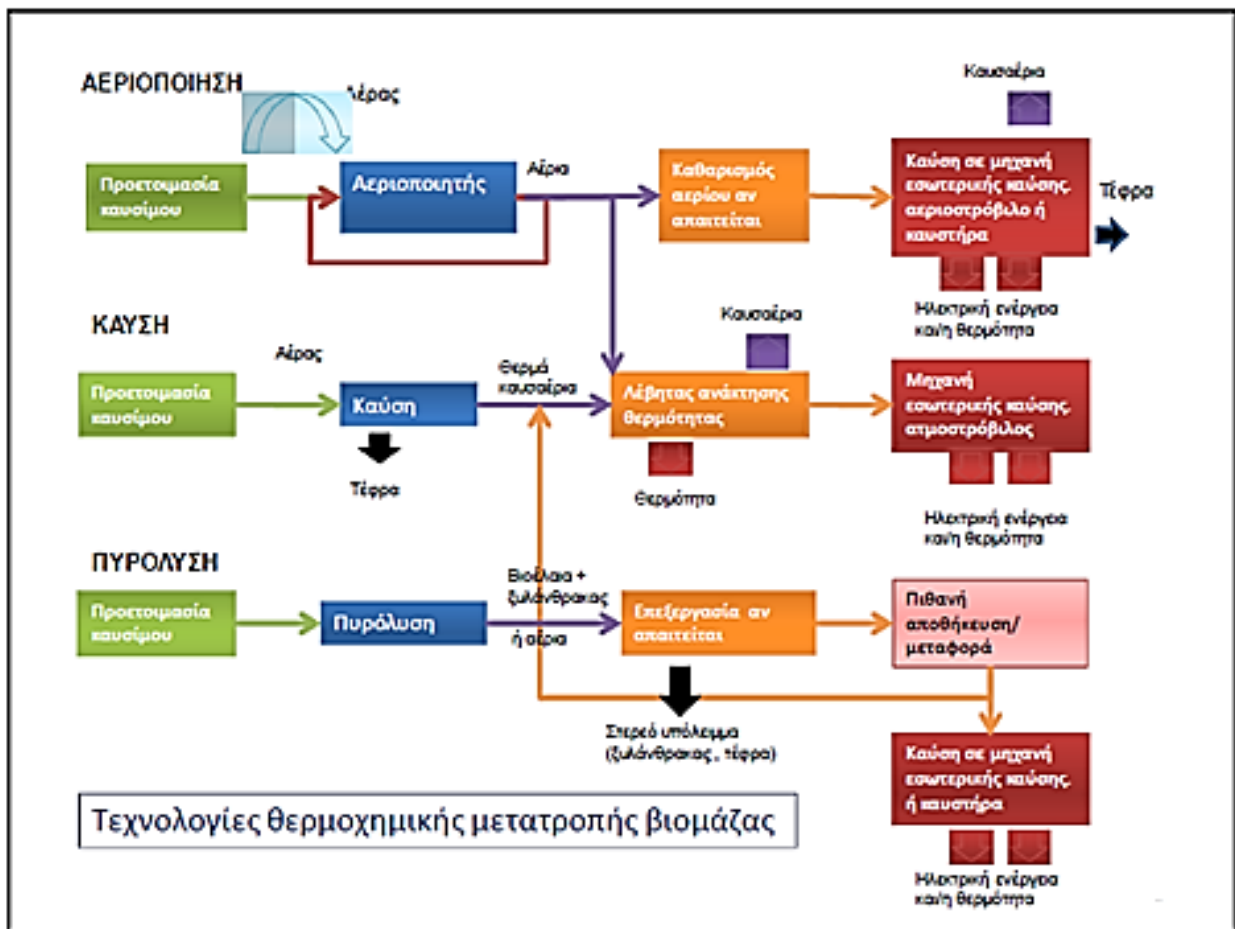


Εικόνα 1.5: Παρουσίαση όλων των διαδικασιών μετατροπής βιομάζας (Κατσιρή Α. 2011)

Οι κύριες διεργασίες που ακολουθούνται για την επεξεργασία και παραγωγή της βιομάζας διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

✓ Α. ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

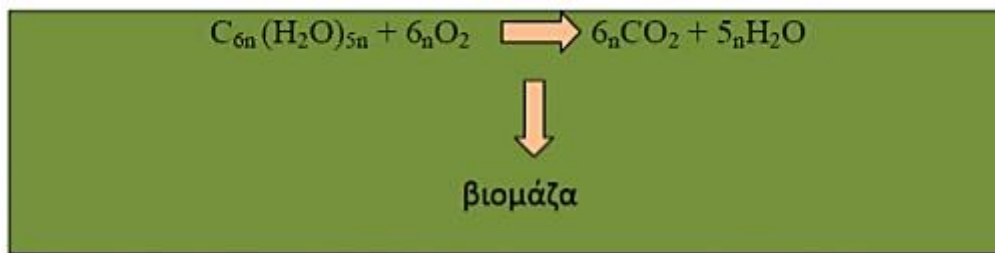
Οι θερμοχημικές τεχνολογίες μετατροπής περιλαμβάνουν την άμεση καύση, την αεριοποίηση, την πυρόλυση και την υγροποίηση. Οι διεργασίες αυτές είναι προτιμητέες όταν η πρώτη ύλη συνίσταται από λιγνοκυτταρινούχα υλικά με χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό. Τα βασικότερα προϊόντα που λαμβάνονται είναι θερμότητα, ατμός, ηλεκτρισμός, ξυλάνθρακας, αέρια και υγρά καύσιμα (όπως μεθανόλη, υδρογονάνθρακες που προκύπτουν με καταλυτική σύνθεση από το αέριο κ.α.). Οι περιγραφόμενες θερμοχημικές τεχνολογίες μετατροπής παρουσιάζονται συνοπτικά στην Εικόνα 1.6 (Κούκιος Ε. 2010).



Εικόνα 1.6: Θερμοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας και τα αντίστοιχα προϊόντα της

✓ *Καύση Βιομάζας*

Η καύση της βιομάζας συνίσταται στη θερμική της διάσπαση παρουσία οξυγόνου (Εικόνα 1.7). Τα κύρια συστατικά της βιομάζας που αντιδρούν με το οξυγόνο είναι ο άνθρακας και το υδρογόνο. Σήμερα η απευθείας καύση είναι η πλέον διαδεδομένη τεχνολογία για τη μετατροπή της βιομάζας σε ενέργεια. Στις αναπτυσσόμενες χώρες χρησιμοποιείται ευρέως για μαγείρεμα και θέρμανση ενώ επιπρόσθετα στις ανεπτυγμένες χώρες χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμότητας ή/και ηλεκτρισμού. Οι κυριότερες πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι: αγροτικά παραπροϊόντα, ξύλο και δασικά υπολείμματα.



Εικόνα 1.7: Χημική αντίδραση που περιγράφει την καύση της βιομάζας

✓ *Αεριοποίηση*

Η αεριοποίηση είναι η θερμική αποικοδόμηση της οργανικής ύλης (ξύλο, αγροτικά παραπροϊόντα, αστικά απορρίμματα κλπ.) παρουσία ελεγχόμενης ποσότητας αέρα ή οξυγόνου προς μείγμα αερίων σε θερμοκρασίες περί των 850 °C. Το καύσιμο αέριο που παράγεται στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί καθαρό οξυγόνο αποτελείται από υδρογόνο, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο και μικρές ποσότητες υδρογονανθράκων (αιθάνιο, αιθυλένιο, κλπ.). (Quaak P. 1999)

✓ *Πυρόλυση*

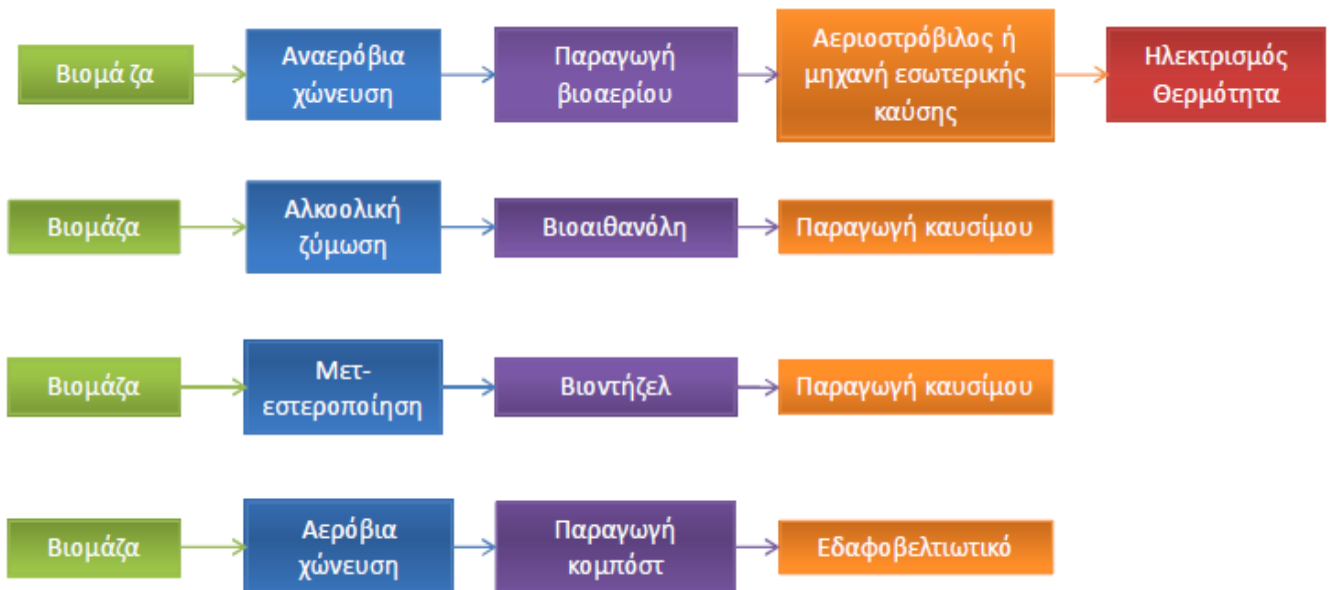
Η πυρόλυση είναι η θερμική διάσπαση κατά προτίμηση βιομάζας με μικρό ποσοστό υγρασίας απουσία οξυγόνου. Η διαδικασία οδηγεί σε ένα μείγμα αερίων, υγρών και στερεών προϊόντων η αναλογία των οποίων ποικίλει ανάλογα με τη θερμοκρασία και το χρόνο παραμονής στους κλιβάνους. Η ταχεία (flash) πυρόλυση κατά την οποία η πρώτη ύλη θερμαίνεται (απουσία οξυγόνου) ταχύτατα ώστε να διασπαστεί σε μείγμα αερίων και στερεών προϊόντων τα οποία στη συνέχεια ψύχονται και υγροποιούνται. Το τελικό προϊόν της αντίδρασης είναι ένα υγρό σκούρου καφέ χρώματος (βιοέλαιο - bio oil) του οποίου η θερμογόνο δύναμη είναι περίπου η μισή αυτής του πετρελαίου. Με την ίδια διεργασία, μπορούν να παραχθούν διάφορα προϊόντα όπως υγρή φαινόλη, κόλλες, μονωτικοί αφροί κ.α.

✓ *Υγροποίηση*

Τα στερεά λιγνοκυτταρινούχα υλικά κατά την κατεργασία τους υπό πίεση, παρουσία υδρογόνου και καταλύτη μετατρέπονται (με θέρμανση) σε υγρό που αποτελείται από έλαια και νερό. Έχει αποδειχθεί ότι η απόδοση της μεθόδου αυτής σε έλαια ευνοείται σημαντικά από την αρχική πίεση του υδρογόνου. Επιπλέον, στην περίπτωση που η βιομάζα πρώτα εκχυλίζεται με οργανικούς διαλύτες και μετά υγροποιείται, προκύπτουν ελαφρά και μέσου βάρους λάδια σχεδόν ελεύθερα από οξυγόνο (Koecker and Nelte, 1988).

➤ Β. ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

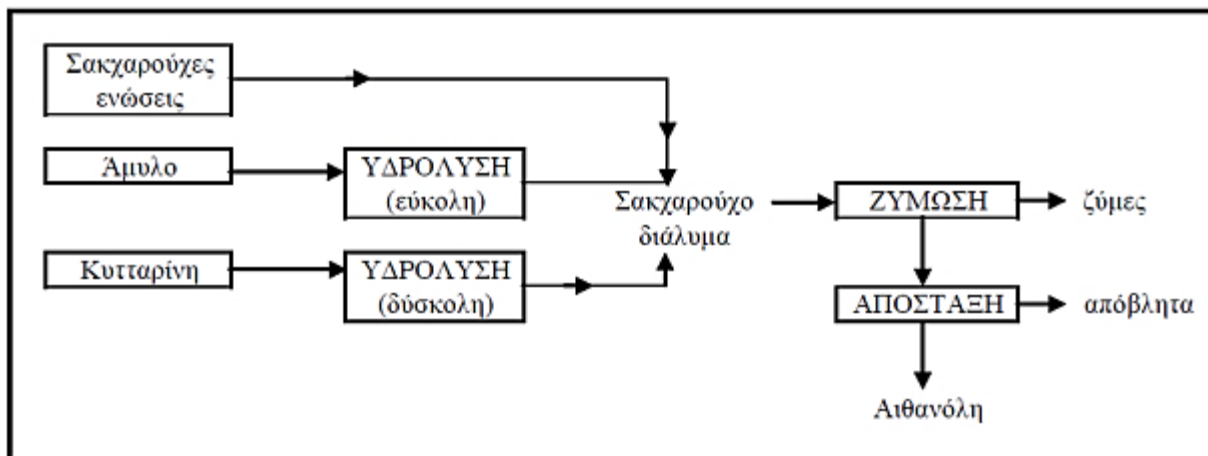
Οι βιοχημικές μέθοδοι (ζύμωση και αναερόβια χώνευση) εφαρμόζονται κυρίως σε υποστρώματα που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό. Η ζύμωση χρησιμοποιείται για την παραγωγή κυρίως αιθανόλης αλλά και άλλων προϊόντων όπως το γαλακτικό οξύ. Οι κυριότερες πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της ζύμωσης είναι η γλυκόζη, το άμυλο, η μελάσσα, το τυρόγαλα κλπ. Η αναερόβια χώνευση χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαερίου από υγρά/στερεά απόβλητα, κοπριά, σκουπίδια, κατσίγαρο κλπ.



Εικόνα 1.8: Βιοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας

✓ Ζύμωση

Η σημαντικότερη ζύμωση που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενεργειακών προϊόντων από βιολογικές πρώτες ύλες είναι η αλκοολική ζύμωση κατά την οποία η γλυκόζη μετατρέπεται σε αιθανόλη με τη βοήθεια μικροοργανισμών (ζύμες) σε αναερόβιες συνθήκες. Η πρώτη ύλη που συνήθως χρησιμοποιείται είναι αμυλούχα και/ή κυτταρινούχα προϊόντα. Χαρακτηριστικό διάγραμμα διαδικασίας ζύμωσης φαίνεται στην Εικόνα 1.9 (IEA 2009 Bioenergy).



Εικόνα 1.9: Σχηματικό διάγραμμα διαδικασίας ζύμωσης βιομάζας και τα αντίστοιχα προϊόντα της

✓ Αναερόβια Χώνευση

Η διαδικασία συνίσταται στην αναερόβια αποικοδόμηση φυτικών υπολειμμάτων, ζωικών (κοπριά) και αστικών αποβλήτων. Κύριος σκοπός της αναερόβιας χώνευσης είναι η σταθεροποίηση του οργανικού υλικού με ταυτόχρονη μείωση των οσμών, της συγκέντρωσης των παθογόνων μικροοργανισμών και της μάζας του οργανικού υλικού που χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία. Το βιοαέριο που παράγεται αποτελείται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα σε αναλογίες που ποικίλουν ανάλογα με την πρώτη ύλη και τη διεργασία που ακολουθείται. Η αναερόβια χώνευση του οργανικού υλικού οδηγεί και στο σχηματισμό ιλύος (ως παραπροϊόν) η οποία είναι πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία και σε ιχνοστοιχεία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα. Από το βιοαέριο μπορεί να παραχθεί θερμική και ηλεκτρική ενέργεια.

Κλείνοντας, θα ήθελα να εστιάσουμε στο θέμα των προκατεργασιών, οι οποίες σκοπό έχουν να μεγιστοποιήσουν την απόδοση των διεργασιών μετατροπής των λιγνοκυτταρινούχων υλικών.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την μετατροπή της κυτταρίνης είναι το πορώδες του υλικού (προσβάσιμότητα επιφάνειας), η κρυσταλλικότητα των ινών της κυτταρίνης καθώς και η περιεκτικότητα σε λιγνίνη και ημικυτταρίνη (McMillan, 1994). Μέθοδοι προεπεξεργασίας, που στοχεύουν στην απομάκρυνση της λιγνίνης και της ημικυτταρίνης, στη μείωση της κρυσταλλικότητας των ινών της κυτταρίνης και στην αύξηση του πορώδους του υλικού, μπορούν να αυξήσουν σε σημαντικό βαθμό την απόδοση των προαναφερθέντων μεθόδων μετατροπής της κυτταρίνης.

Γενικά, οι μέθοδοι προεπεξεργασίας των λιγνοκυτταρινούχων υλικών θα πρέπει: (α) να ενισχύουν το σχηματισμό των σακχάρων ή τη δυνατότητα του επακόλουθου σχηματισμού τους με περαιτέρω υδρόλυση, (β) να ελαχιστοποιούν την απώλεια των υδατανθράκων, (γ) να αποτρέπουν το σχηματισμό παραπροϊόντων που μπορούν να

δράσουν παρεμποδιστικά για τις διεργασίες της ενζυμικής υδρόλυσης και της αναερόβιας χώνευσης και (δ) να είναι οικονομικά βιώσιμες (Sun& Cheng, 2002).

Η αναερόβια χώνευση θα μελετηθεί και περιγραφεί λεπτομερέστερα στο Κεφάλαιο 3, μιας και αποτελεί αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής.

1.6 Εφαρμογές της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας

- *Ως βιοκαύσιμο*



Τα πλέον διαδεδομένα βιοκαύσιμα είναι:

➔ Το βιοντήζελ, που παράγεται από φυτικά έλαια και ζωικά λίπη με μία διαδικασία που ονομάζεται μετεστεροποίηση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους υπάρχοντες πετρελαιοκινητήρες είτε αυτούσιο είτε σε ανάμιξη με το πετρέλαιο κίνησης.

➔ Η βιοαιθανόλη που παράγεται από σακχαρούχα, κυτταρινούχα και αμυλούχα φυτά με αλκοολική ζύμωση. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονη ερευνητική δραστηριότητα για την παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες, όπως άχυρο και ξύλο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ανάμιξη με την βενζίνη στους υπάρχοντες βενζινοκινητήρες μετά από ελάχιστες ή και καθόλου μετατροπές ανάλογα με την περιεκτικότητα του μίγματος.

➔ Το βιοαέριο που παράγεται από την αναερόβια χώνευση έχει μια σειρά από πιθανές χρήσεις σε μηχανές εσωτερικής καύσης, σε συστήματα με αεριοστρόβιλους και γεννήτριες ηλεκτροπαραγωγής, παραγωγής θερμότητας σε εμπορικές και οικιακές χρήσεις και σε ειδικά τροποποιημένα οχήματα ως καύσιμο κίνησης. (Quaak P. 1999)

- *Παραγωγή ηλεκτρισμού*

Ο ηλεκτρισμός, ως παράγωγο επεξεργασίας της βιομάζας, είναι μια μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας και μπορεί να φέρει την σφραγίδα του «πράσινου καυσίμου».

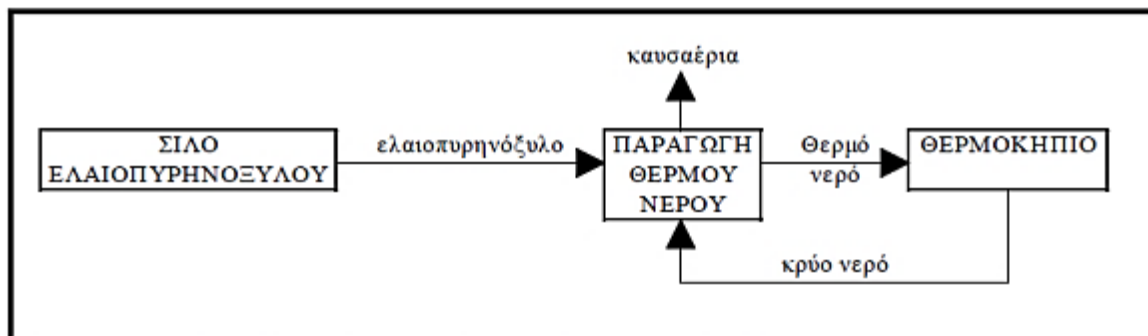


- *Παραγωγή θερμότητας*

Η παλαιότερη χρήση της βιομάζας είναι η καύση. Επιτυγχάνεται παρουσία αέρα σε θερμοκρασίες, που κυμαίνονται από 1000-1500°C και παρέχει θερμότητα, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Μεγάλες ποσότητες βιομάζας χρησιμοποιούνται σήμερα με καύση κυρίως για παραγωγή θερμότητας σε παραδοσιακά τζάκια που έχουν βαθμό απόδοσης, που κυμαίνεται μεταξύ 10-20%, ενώ σε μερικές σύγχρονες κατασκευές τζακιών επιτυγχάνουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης της τάξης του 60-80%. (Quaak P. 1999)

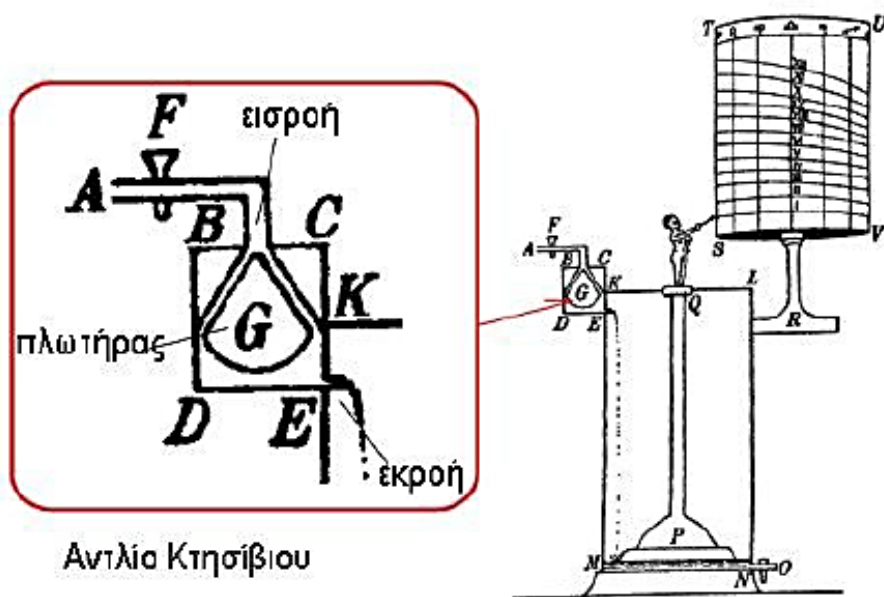
➤ *Θέρμανση θερμοκηπίων με ελαιοπυρηνόξυλο*

Η αξιοποίηση της βιομάζας σε μονάδες παραγωγής θερμότητας για τη θέρμανση θερμοκηπίων, αποτελεί μια ενδιαφέρουσα και οικονομικά συμφέρουσα προοπτική για τους ιδιοκτήτες τους. Ήδη, στο 10% περίπου της συνολικής έκτασης των θερμαινόμενων θερμοκηπίων της χώρας, αξιοποιούνται διάφορα είδη βιομάζας. Μια σχετικά νέα μέθοδος θέρμανσης θερμοκηπίων με χρήση βιομάζας αποτελεί η θέρμανση με ελαιοπυρηνόξυλο. Το πυρηνόξυλο από κατάλληλα σιλό μεταφέρεται σε ένα καυστήρα - λέβητα, και το θερμό νερό που παράγεται κυκλοφορώντας σε επιδαπέδιο σύστημα σωληνώσεων που βρίσκεται εντός του θερμοκηπίου, θερμαίνει το χώρο. Το πυρηνόξυλο μεταφέρεται αυτόματα σε μια κοχλιωτή έλικα του Αρχιμήδη (Εικόνα 1.11) στον καυστήρα, ενώ με ένα ανεμιστήρα διοχετεύεται αέρας στον καυστήρα για να διευκολύνει την καύση. Στην περίπτωση επιδαπέδιου συστήματος πλαστικών σωληνώσεων, η θερμοκρασία του θερμού νερού κυμαίνεται στους 55°C περίπου και η θερμοκρασία του νερού επιστροφής 5-8°C χαμηλότερα.



Εικόνα 1.10: Μέθοδος θέρμανσης θερμοκηπίων με χρήση βιομάζας

Τα συστήματα αυτά, βρίσκουν τελευταία πολλές εφαρμογές για θέρμανση κτιρίων και θερμοκηπίων, καθώς παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως, το χαμηλό κόστος καυσίμου, τη δυνατότητα πλήρους αυτοματισμού και την ύπαρξη τοπικά, της ενεργειακής πρώτης ύλης. Σημαντικότερο πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι αυτοματοποιούνται πλήρως και μπορούν να επιτύχουν πλήρη έλεγχο της θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου. Έτσι συνήθίζεται ο καλλιεργητής να φροντίζει για τη μεταφορά του πυρηνόξυλου από ένα πυρηνελαιουργείο της περιοχής του σε μία αποθήκη δίπλα στο θερμοκήπιο. Η αποθήκη πρέπει να είναι στεγασμένη για να αποφεύγονται τα φαινόμενα ύγρανσης του πυρηνόξυλου με τις βροχοπτώσεις, γιατί τότε είναι δύσκολος ο αποτελεσματικός χειρισμός του. Από την αποθήκη το πυρηνόξυλο μεταφέρεται με μία έλικα του Αρχιμήδη σε κατάλληλο σιλό και από εκεί πάλι με τον ίδιο μηχανισμό στον καυστήρα. Όταν το θερμοκήπιο που χρησιμοποιεί ελαιοπυρηνόξυλο βρίσκεται κοντά σε κατοικημένες περιοχές, μπορούν να παρουσιασθούν προβλήματα με τους κατοίκους της περιοχής για δύο κυρίως λόγους. Πρώτα, λόγω δυσοσμίας του πυρηνόξυλου που βρίσκεται στην αποθήκη και μετά λόγω του καπνού που εξέρχεται από την καμινάδα του καυστήρα (Βουρδούμπας Γ. 1998).



Αντλία Κτησίβιου

Εικόνα 1.11: Η έλικα του Αρχιμήδη

Ο καλλιεργητής, ενώ στην πρώτη περίπτωση δεν μπορεί να παρέμβει αποτρεπτικά, στη δεύτερη θα πρέπει να εγκαταστήσει ένα σύστημα μείωσης του καπνού και των σωματιδίων που εξέρχονται από την καπνοδόχο στην ατμόσφαιρα. Ο καυστήρας του πυρηνόξυλου θα πρέπει να συντηρείται τακτικά και σωστά. Η σωστή συντήρηση του καυστήρα - λέβητα περιλαμβάνει τη τακτική απομάκρυνση των επικαθήσεων από τις σωληνώσεις διέλευσης του νερού.

1.7 Αντικείμενο διπλωματικής

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη της περίπτωσης αναερόβιας χώνευσης με πρώτη ύλη τα στερεά και υγρά απόβλητα ελαιουργείων, για την παραγωγή βιομεθανίου, μέσω της αναβάθμισής του από το παραγόμενο βιοαέριο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Απόβλητα ελαιοτριβείων

2.1 Εισαγωγή

Κατά την κατεργασία του ελαιοκάρπου στα ελαιουργεία, παράλληλα με το ελαιόλαδο παράγεται και μία σειρά παραπροϊόντων. Αυτά είναι ο ελαιοπυρήνας, που αποτελείται από τα αλεσμένα στερεά συστατικά του καρπού (κυρίως του κουκουτσιού), τα ελαιόφυλλα που έχουν μεταφερθεί με τον ελαιόκαρπο και μια σημαντική σε όγκο και οργανικό φορτίο ποσότητα υγρών αποβλήτων, που είναι γνωστά ως "κατσίγαρος" ή "μούργα", που διεθνώς είναι γνωστό με την ονομασία olive mill waste water (OMW ή OMWW).

Οι παραδοσιακές μέθοδοι επεξεργασίας του ελαιόλαδου εκτιμάται ότι παράγουν μεταξύ 400 και 600 λίτρα *alpechin* (λύματα) ανά τόνο επεξεργασμένων ελιών. Τα επίπεδα λυμάτων ελαιοτριβείων από τις διαδικασίες τριών φάσεων είναι πολύ υψηλότερα, και παράγουν από 800 έως 1000 λίτρα λυμάτων ελαιοτριβείου ανά τόνο επεξεργασμένων ελιών. Με τη διαδικασία δύο φάσεων δεν παράγονται σχεδόν καθόλου λύματα, αν και τα απόβλητα έχουν την τάση να έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε υγρά που έχουν υψηλό κόστος επεξεργασίας.

Συνολικά, εκτιμάται ότι παράγονται περίπου 4,6 εκατομμύρια τόνοι λυμάτων ελαιοτριβείου το χρόνο σε ευρωπαϊκό επίπεδο και μεγάλη ποσότητα από αυτά είναι στην ουσία νερό (80- 83%). Οι οργανικές συνθέσεις (κυρίως φαινόλες, πολυφαινόλες και τανίνες) αποτελούν το 15- 18% του περιεχομένου των λυμάτων, ενώ τα ανόργανα στοιχεία (όπως τα άλατα καλίου και τα φωσφορικά άλατα) αποτελούν το υπόλοιπο 2%.

Αυτά τα ποσοστά διαφοροποιούνται ανάλογα με παράγοντες που σχετίζονται με το κλίμα και τις συνθήκες του εδάφους, τη διαχείριση αγροκτημάτων, τις μεθόδους συγκομιδής και τις διαδικασίες εξαγωγής ελαιόλαδου.

Η παρουσία πρωτεϊνών, ανόργανων ουσιών και πολυσακχαριδίων στα λύματα σημαίνει ότι τα λύματα ελαιοτριβείων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα καθώς και στην άρδευση. Ωστόσο, οι ευκαιρίες επαναχρησιμοποίησης περιορίζονται από την αφθονία των φαινολικών ενώσεων που είναι τόσο αντιμικροβιακές όσο και φυτοτοξικές.

Αυτές οι φαινόλες καθαρίζονται δύσκολα και δεν ανταποκρίνονται καλά στη συμβατική αποδόμηση με τη χρήση τεχνικών που βασίζονται στα βακτήρια.

Επομένως τα ρυπαντικά φορτία των ελαιοτριβείων είναι σημαντικά με επίπεδα BOD 5 (βιολογικός απαιτούμενο οξυγόνο σε 5 ημέρες) και COD (χημικός απαιτούμενο οξυγόνο) της τάξης των 20.000 και 35.000 mg ανά λίτρο. Αυτό αντιπροσωπεύει ένα ιδιαίτερα μεγάλο φορτίο οργανικής ύλης συγκριτικά με τα συνήθη αστικά λύματα, με επίπεδα μεταξύ 400 mg και 800 mg ανά λίτρο. Η αναερόβια χώνευση των λυμάτων

ελαιοτριβείων οδηγεί σε αφαίρεση μόνο του 80 με 90% του COD και αυτή η επεξεργασία παραμένει ανεπαρκής για να επιτρέψει τη διάθεση των λυμάτων ελαιοτριβείου στο περιβάλλον. Η απόρριψη μη ασφαλών λυμάτων ελαιοτριβείων στα υδάτινα συστήματα μπορεί να οδηγήσει σε ταχεία αύξηση στον αριθμό των μικροοργανισμών. Αυτοί οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες οξυγόνου στο νερό και μειώνουν επομένως το μερίδιο που είναι διαθέσιμο για τους άλλους ζωντανούς οργανισμούς. Αυτό μπορεί πολύ γρήγορα να κλυδωνίσει την ισορροπία ενός ολόκληρου οικοσυστήματος. Περαιτέρω ανησυχίες προκαλούνται από τις υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου στα λύματα ελαιοτριβείων, δεδομένου ότι εάν αυτός απελευθερωθεί στα υδάτινα ρεύματα μπορεί να ενθαρρύνει και να επιταχύνει την ανάπτυξη φυκών. Οι έμμεσες επιπτώσεις περιλαμβάνουν τον ευτροφισμό που μπορεί να καταστρέψει την οικολογική ισορροπία τόσο στα υπόγεια όσο και στα επιφανειακά υδάτινα συστήματα. Ο φώσφορος παραμένει δύσκολος στην αποδόμηση και έχει την τάση να διασκορπίζεται μόνο σε μικρές ποσότητες με εναποθέσεις μέσω των τροφικών αλυσίδων (φυτά – ασπόνδυλα – ιχθείς – πτηνά κλπ). Η παρουσία μεγάλων ποσοτήτων φωσφορικών θρεπτικών ουσιών στα λύματα ελαιοτριβείων επιτρέπει στους παθογόνους οργανισμούς να πολλαπλασιάζονται και να μολύνουν τα ύδατα. Αυτό μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες στην τοπική υδάτινη ζωή, καθώς και στους ανθρώπους και τα ζώα που έρχονται σε επαφή με το νερό. Τα λύματα των ελαιοτριβείων μπορούν να προκαλέσουν αρκετά άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα. (Γεωργακαράκος Κ. 2013)

Αυτά περιλαμβάνουν τα εξής:

- Λιπίδια στα λύματα ελαιοτριβείων που παράγουν μια αδιαπέραστη μεμβράνη στην επιφάνεια των ποταμών, στις όχθες τους και στις γειτονικές αγροτικές γαίες. Αυτή η μεμβράνη στερεί το ηλιακό φως και το οξυγόνο από τους μικροοργανισμούς στο νερό με αποτέλεσμα τη μειωμένη ανάπτυξη των φυτών στις όχθες των ποταμών και τη συνεπαγόμενη διάβρωση του εδάφους.
- Τα οξέα, οι ανόργανες και οι οργανικές ουσίες στα λύματα ελαιοτριβείων μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την κατιοανταλλακτική ικανότητα (CEC) των εδαφών. Η CEC χρησιμοποιείται ως μέσο μέτρησης της γονιμότητας του εδάφους και αναφέρεται στην ικανότητα κάποιου εδάφους να ανταλλάσσει κατιόντα (θετικά φορτισμένα ιόντα) μεταξύ του εδάφους και του διαλύματος εδάφους.
- Μπορεί να δημιουργηθούν δυσάρεστες οσμές σε εκτεταμένη περιοχή λόγω της ζύμωσης των λυμάτων ελαιοτριβείων που διατίθενται στο φυσικό περιβάλλον, με την εκπομπή μεθανίου και άλλων δύσοσμων αερίων, όπως το υδρόθειο.



Εικόνα 2.1: Ισοζύγιο πρώτων υλών και προϊόντων κατά την διαδικασία παραγωγής ελαιολάδου (Βλυσίδης Α.)

2.2 Παραπροϊόντα επεξεργασίας της ελιάς

Η Ελλάδα μετά την Ισπανία και την Ιταλία, είναι η τρίτη ελαιοπαραγωγός χώρα στον κόσμο. Περίπου 3.500 ελαιοτριβεία λειτουργούν στην Ελλάδα διασκορπισμένα κυρίως σε επαρχίες της Κρήτης, της Πελοποννήσου, των Ιόνιων νησιών και της Λέσβου. Η λειτουργία των ελαιοτριβείων είναι εποχιακή από το Νοέμβριο ως τον Μάρτιο και κάποιες φορές ως τον Ιούνιο. Η καλλιέργεια της ελιάς στην Ελλάδα καταλαμβάνει έκταση 7.970.293 στρεμμάτων (στοιχεία ΕΣΥΕ, 2005). Στην Πελοπόννησο είναι συγκεντρωμένο το 28% των εκτάσεων αυτών, 22% στην Κρήτη, 13% στα νησιά του Αιγαίου, 7% στην Θεσσαλία, 4% στη Μακεδονία και 3% στην Ήπειρο. (Βουρδούμπας Γ. 2004)

Ο καρπός της ελιάς χρησιμοποιείται σήμερα για τη παραγωγή διαφόρων προϊόντων και παραπροϊόντων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2. Η επεξεργασία του ελαιοκάρπου στο ελαιουργείο οδηγεί στην παραγωγή λιόζουμων και ελαιόλαδου ενώ το υπόλειμμα που παραμένει (ελαιοπυρήνας) επεξεργάζεται στο πυρηνελαιουργείο και παράγεται πυρηνέλαιο, το οποίο μετά από ραφινάρισμα οδηγείται στην παραγωγή βρώσιμου πυρηνελαίου. Το στερεό υπόλειμμα που παραμένει από την επεξεργασία του πυρηνελαίου αποτελεί το πυρηνόξυλο. Ταυτόχρονα η πάστα που παράγεται κατά την εξουδετέρωση του πυρηνελαίου χρησιμοποιείται για την παραγωγή σαπουνιών. (Βορδούμπας Γ. 2007)



Εικόνα 2.2: Παραπροϊόντα κατά την επεξεργασία του ελαιοκάρπου (Γεωργουσιάκης Α. 2010)

Εκτός όμως από την παραγωγή χρήσιμων διατροφικών προϊόντων από το δέντρο της ελιάς, τα παραπροϊόντα και τα απόβλητα της βιομηχανίας επεξεργασίας του ελαιοκάρπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για

την παραγωγή θερμικής, ηλεκτρικής και μηχανικής ενέργειας (καύσιμα οχημάτων). Η παραγωγή χρήσιμης ενέργειας από τα προϊόντα της ελιάς μπορεί να προέλθει από:

Τα κλαδέματα των δένδρων

Τα ξύλα του κορμού των δένδρων

Το ελαιοπυρηνόξυλο

Τα οργανικά απόβλητα του ελαιουργείου

Το υπολειμματικό λάδι των αποβλήτων του ελαιουργείου

Τα αέρια απόβλητα του ξηραντηρίου του πυρηνελαιουργείου.

Από τα παραπροϊόντα επεξεργασίας του ελαιοκάρπου, το σημαντικότερο από ενεργειακή άποψη είναι το ελαιοπυρηνόξυλο (Εικόνα 2.3) που ήδη χρησιμοποιείται ως εναλλακτική πηγή ενέργειας για γεωργικές και βιομηχανικές χρήσεις.



Εικόνα 2.3: Ελαιοπυρηνόξυλο (Γεωργουσάκης Α. 2010)

2.3 Κατανάλωση νερού

Οι καταναλώσεις νερού στα διάφορα στάδια κατεργασίας του ελαιοκάρπου ποικίλουν και εξαρτώνται από τη φύση και την κατάσταση του, από τη μέθοδο κατεργασίας (έκθλιψη ή φυγοκέντριση), καθώς και από τις πρακτικές και την τακτική του ελαιοτριβείου. Διακυμάνσεις μεγάλες παρουσιάζονται στην πλύση του ελαιοκάρπου, όπου είναι δυνατό να έχουμε μία κατανάλωση από 0-50% επί του αρχικού βάρους. Ωστόσο, για λόγους οικονομίας, στα περισσότερα ελαιοτριβεία αποφεύγεται όσο το δυνατό, η μεγάλη κατανάλωση νερού για το πλύσιμο του ελαιοκάρπου.

2.4 Κατανάλωση ενέργειας

Η πιο συνηθισμένη μορφή ενέργειας που χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις του κλάδου είναι η ηλεκτρική ενέργεια. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από την ισχύ του εγκατεστημένου εξοπλισμού που είναι συνήθως ανάλογη της δυναμικότητας των μονάδων.

2.5 Στερεά απόβλητα

Τα στερεά απόβλητα αποτελούνται από ένα μίγμα στερεών συστατικών, όπως τον ελαιοπυρήνα και τα φύλλα των ελαιόδεντρων που συλλέχθηκαν κατά τη συγκομιδή του ελαιοκάρπου. Ο ελαιοπυρήνας μεταφέρεται σε ειδικές εγκαταστάσεις (πυρηνελουργεία), μετά από ξήρανση στους 60°C, εξάγεται με διάλυμα εξανίου για την παραγωγή του πυρηνέλαιου. Από τη διαδικασία αυτή παράγονται ετησίως περίπου 170000 τόνοι λαδιού και 1600000 τόνοι πυρηνόξυλου το οποίο χρησιμοποιείται σαν καύσιμο και καλύπτει πλήρως ή μερικώς τις ενεργειακές

ανάγκες των ελαιοτριβείων, σε φούρνους, σε ειδικά ημιαυτόματα συστήματα κεντρικής θέρμανσης σπιτιών, θερμοκηπίων, ακόμη σε μονάδες παραγωγής ασβέστη και για κομποστοποίηση ως εδαφοβελτιωτικό. Συνήθως η μεταφορά και η επεξεργασία του ελαιοπυρήνα από τα φυγοκεντρικά ελαιοτριβεία είναι ασύμφορη, λόγω μεγάλης απόστασης των ελαιουργείων από τα πυρηνεργεία και λόγω υψηλής υγρασίας του πυρήνα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο ελαιοπυρήνας να μένει ανεκμετάλλευτος και να δημιουργείτε καινούργια εστία ρύπανσης. Τα φύλλα των ελαιόδεντρων και τα κλαδιά, ένα μικρό μέρος τους χρησιμοποιούνται ως ζωοτροφή.

Πρόσφατα άρχισε η περαιτέρω αξιοποίηση τους για την παρασκευή χουμικών και εδαφοβελτιωτικών υλικών διότι η περιεκτικότητα των φύλλων σε άζωτο και κάλιο είναι πλούσια. (Ιωαννίδης Θ. 2009)

2.6 Αέρια απόβλητα

Τα μοναδικά αέρια που παράγονται κατά την παραγωγική διαδικασία των ελαιοτριβείων είναι τα μηχανήματα εσωτερικής καύσης και τα καυσαέρια καύσης του ελαιοπυρήνα. Το γεγονός ότι τα περισσότερα ελαιοτριβεία εγκαθίστανται εκτός αστικών περιοχών, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει επιβάρυνση για τις κατοικημένες περιοχές. Για αυτούς τους αέριους ρύπους που εκπέμπονται σε σχέση με τον όγκο του ατμοσφαιρικού αποδέκτη, οδηγούμαστε στο τελικό συμπέρασμα ότι η επιβάρυνση της ατμόσφαιράς από τις αέριες εκπομπές των ελαιοτριβείων θεωρούνται αμελητέες. . (Ιωαννίδης Θ. 2009)

2.7 Υγρά απόβλητα

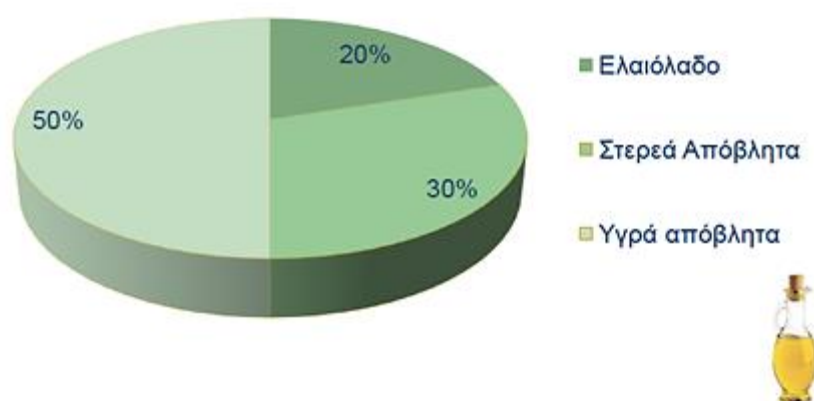
Το κύριο πρόβλημα στα ελαιοτριβεία είναι τα υγρά απόβλητα, καθώς παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλούς δείκτες ρύπανσης (BOD, COD, αιωρούμενα στερεά) και περιέχουν φυσικές χρωστικές ουσίες που είναι πολύ δύσκολο να απομακρυνθούν με τις κλασικές μεθόδους καθαρισμού. Στα ελαιοτριβεία δεν εκλύονται σημαντικές ποσότητες αέριων αποβλήτων, αν και υπάρχει η πιθανότητα έκλυσης οσμών, λόγω κακής αποθήκευσης των ελαίων και των ελαιοπυρήνων.

Τα κύρια απόβλητα κατά την παραγωγή ελαιόλαδου είναι υγρά απόβλητα και προέρχονται από το στάδιο της έκθλιψης (εφόσον χρησιμοποιείται ως μέθοδος εξαγωγής ελαιόλαδου), το στάδιο του τελικού φυγοκεντρικού διαχωρισμού και το στάδιο της πλύσης του ελαιόκαρπου με καθαρό νερό.

Υγρά απόβλητα είναι τα φυτικά υγρά του ελαιοκάρπου, αυξημένα με το νερό κατεργασίας (πλύση ελαιοκάρπου, αραίωση ελαιοζύμης, πρόσθετο νερό διαχωριστήρων, καθαρισμός ελαιοτριβείου κλπ).

Ο όγκος των αποβλήτων για τα μικρά ελαιοτριβεία κλασσικά συστήματα (3 πιεστήρια), υπολογίζεται σε 1 m³/τόνο ελαιοκάρπου ή σε 5 m³/τόνο ελαιόλαδου με πιθανή διακύμανση από 3,0-5,5 m³/τόνο ελαιόλαδου (Κακαράς Ε. Δουκέλης Δ.).

Το 16-20% των αποβλήτων προέρχεται από το στάδιο της πλύσης, το 76-80% από το στάδιο της έκθλιψης και διαχωρισμού και το 4% είναι υγρά απόβλητα απολάσπωσης από το στάδιο του τελικού διαχωρισμού. Συνολικά τα απόβλητα (υγρά και στερεά) αποτελούν το 80% της εισαχθείσας ποσότητας ελαιοκαρπού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4: Ποσοστό καθαρού ελαιόλαδου σε σχέση με το σύνολο του καρπού και των στερεών και υγρών αποβλήτων (Moreno – Castilla 2001)

2.8 Παραγωγή ελαιοπυρηνόξυλου

Η παραγωγή ελαιοπυρηνόξυλου στην Ελλάδα ανέρχεται περίπου σε 300.000 τόνους/έτος, και προέρχεται από τους 460.000 τόνους ελαιοπυρήνα που παράγονται στα ελαιοτριβεία της Ελλάδας. Στην Εικόνα 2.5 που ακολουθεί παρουσιάζεται η παραγωγή πυρηνόξυλου στους κυριότερους ελαιοπαραγωγούς νομούς της χώρας για το έτος 2000.

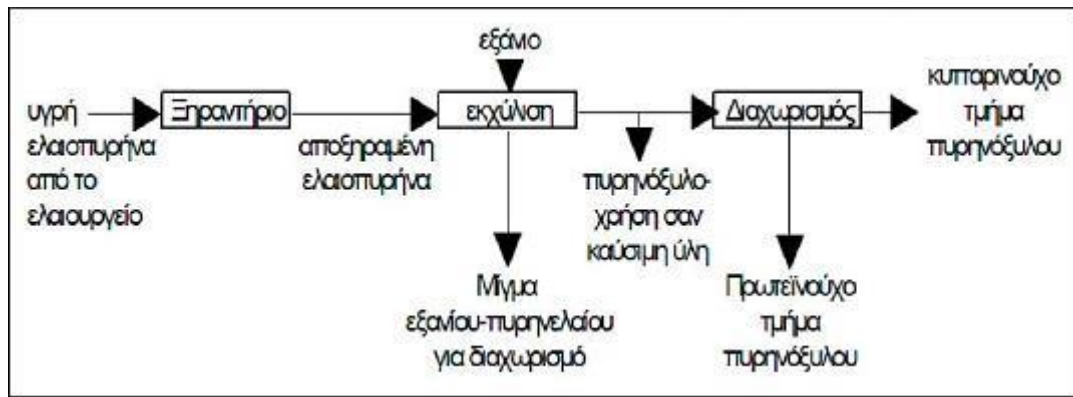
Η διαδικασία παραγωγής του πυρηνόξυλου είναι η εξής: αρχικά επεξεργάζεται η ελιά στο ελαιοτριβείο και λαμβάνεται ελαιόλαδο και ελαιοπυρήνας. Ο ελαιοπυρήνας αποτελείται από το κουκούτσι και την σάρκα της ελιάς που απέμεινε μετά από την πρώτη έκθλιψη και έχει μεγάλη υγρασία. Ο ελαιοπυρήνας οδηγείται, στη συνέχεια, στα πυρηνελαιουργεία όπου διαχωρίζεται το πυρηνόξυλο από την υπολειμματική - από το προηγούμενο στάδιο - σάρκα και υπόκειται σε περαιτέρω επεξεργασία για την παραγωγή πυρηνελαίου πρώτης (σάρκα) και δεύτερης ποιότητας (πυρήνας), από όπου και παράγεται ως κύριο παραπροϊόν το ελαιοπυρηνόξυλο. (Σκούλου Β. 2006)



Εικόνα 2.5: Κατανομή παραγωγής πυρηνόξυλου στην Ελλάδα (2000) (Βουρδούμπας Γ. 2004)

Συγκεκριμένα, στο πυρηνελαιουργείο ο ελαιοπυρήνας αλέθεται και ξηραίνεται σε περιστροφικά ξηραντήρια κυλινδρικού τύπου μέχρι να μειωθεί η υγρασία του σε 10% με 15%. Στη συνέχεια με εξάνιο ως διαλυτικό εκχυλίζεται το πυρηνέλαιο και λαμβάνεται το ελαιοπυρηνόξυλο. Ο διαχωρισμός του ελαίου από το εξάνιο γίνεται με απόσταξη σε κατάλληλες στήλες (αποστακτήρες) όπου λαμβάνεται το εξάνιο και χρησιμοποιείται ξανά. Ορισμένα ελαιοουργεία διαθέτουν μονάδες διαχωρισμού του πυρηνόξυλου σε 2 τμήματα, το ένα πλούσιο σε κυτταρίνες και το άλλο πλούσιο σε πρωτεΐνες, το οποίο χρησιμοποιείται στη βιομηχανία ζωοτροφών. Το κυτταρινούχο τμήμα του πυρηνόξυλου έχει μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη από το ελαιοπυρηνόξυλο πριν το διαχωρισμό. Η διαδικασία παραγωγής περιγράφεται στην Εικόνα 2.6.

Να τονιστεί ότι το ελαιοπυρηνόξυλο, πριν την ξήρανση του, περιέχει υγρασία περίπου της τάξης του 50%, ξυλώδες μέρος 45%, μικρές ποσότητες ελαίου καθώς και οργανικές και ανόργανες ενώσεις της τάξης του 5%. Οι οργανικές ενώσεις (κετόνες, οργανικά οξέα κ.ά.) που περιέχονται στο ελαιοπυρηνόξυλο σε μικρές ποσότητες ευθύνονται για την δυσάρεστη οσμή που εκπέμπεται από τα πυρηνελαιουργεία και κατά την απελευθέρωση τους στο περιβάλλον το μολύνουν. Κάτι τέτοιο προς το παρόν αντιμετωπίζεται με την κατακράτηση των οσμών στα πυρηνελαιουργεία από τα διάφορα συστήματα απόσμησης, ενώ η υγρασία εξατμίζεται στους ξηραντήρες των μονάδων. (Σκούλου Β. 2006)



Εικόνα 2.6: Διαδικασία παραγωγής πυρηνόξυλου σε πυρηνελαιουργείο (Βουρδούμπας Γ. 1998)

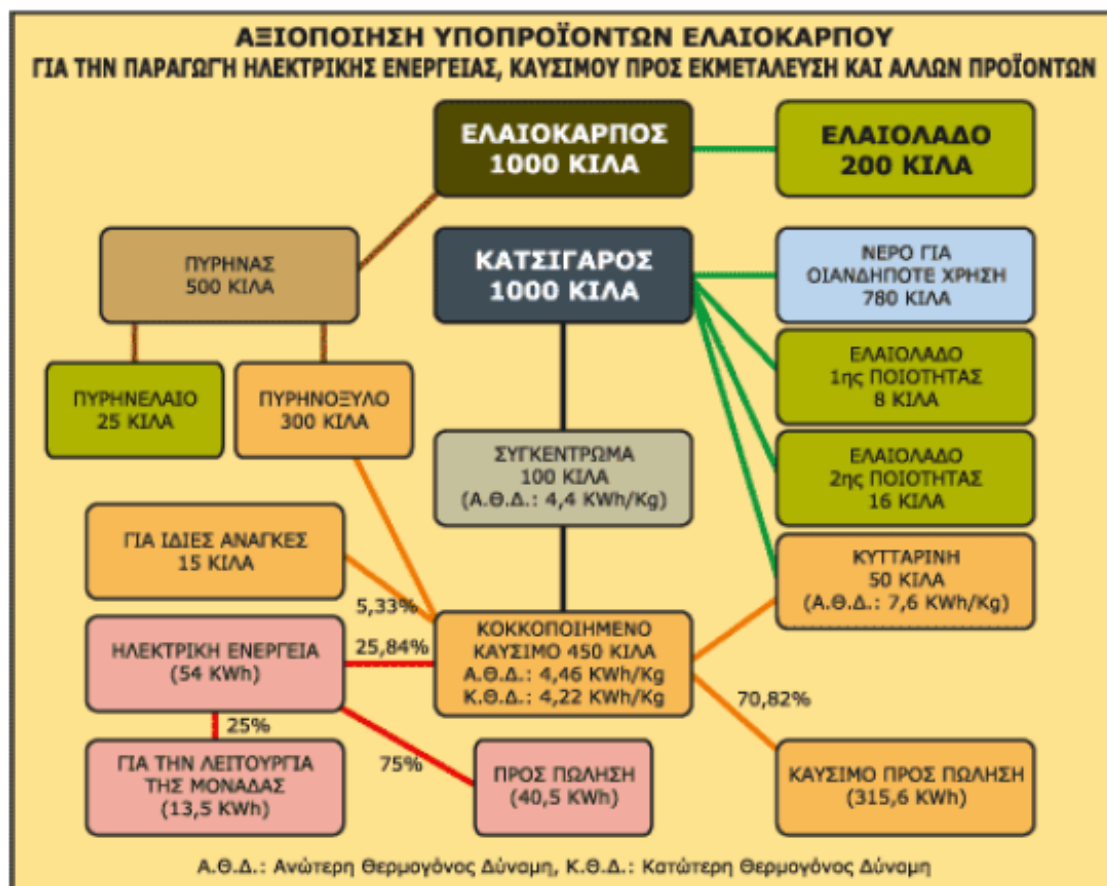
2.8.1 Γενικές πληροφορίες

Το πυρηνόξυλο αποτελεί ένα σημαντικό ενεργειακό πόρο για όλα τα μέρη όπου καλλιεργείται η ελιά. Η καλλιέργεια της ελιάς σε όλη την Ελλάδα καταλαμβάνει έκταση 7.802.913 στρεμμάτων (Ε.Σ.Υ.Ε., 2002). Συγκεκριμένα στην Πελοπόννησο βρίσκεται το 30% των εκτάσεων αυτών, αντίστοιχα στην Κρήτη το 22%, στη Στερεά Ελλάδα το 19%, στα νησιά του Αιγαίου το 10%, στα νησιά του Ιονίου το 6%, στη Μακεδονία το 6%, στη Θεσσαλία το 4% και στην Ήπειρο το 3%. Τα περισσότερα από τα παραπροϊόντα που παράγονται κατά την καλλιέργεια της ελιάς, αλλά και κατά την επεξεργασία του ελαιόκαρπου, όπως τα φύλλα, τα κλαδιά, οι ρίζες, το πυρηνόξυλο κ.ά., μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Η ενέργεια αυτή μπορεί να παραχθεί είτε απευθείας, με καύση του υλικού, σε κατάλληλους καυστήρες, είτε με πιο προηγμένες μεθόδους, όπως με αεριοποίηση της βιομάζας και χρήση του παραγόμενου αερίου, μετά από καύση, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατά την επεξεργασία του ελαιοκάρπου όπου παράγεται το ελαιόλαδο, προκύπτουν ως παραπροϊόντα τα εξής: φύλλα ελιάς, ελαιοπυρήνια και τα υγρά απόβλητα. Οι σχετικές μέσες ποσότητες ελαιολάδου, στερεών υπολειμμάτων που προκύπτουν από την επεξεργασία 100kg ελαιοκάρπου είναι 44kg ελαιοπυρήνας, 25kg ελαιόλαδο (Δ/νση Γεωργίας, Ν. Λέσβου). Ο ελαιοπυρήνας που προέρχεται από τον διαχωριστήρα (decanter), που διαχωρίζει τα υγρά από τα στερεά μέρη του ελαιοκάρπου, περιέχει : υγρασία 38 % για τα τριφασικά ελαιουργεία (πλειονότητα των ελαιουργείων στον ελλαδικό χώρο) και 55 - 65% για τα διφασικά, ξυλώδες μέρος, σταγονίδια ελαίου καθώς επίσης ανόργανες και οργανικές ενώσεις. Για να γίνει η εξαγωγή πυρηνελαίου στα πυρηνελαιουργεία (εκχύλιση με εξάνιο), ο πυρήνας πρέπει να έχει υγρασία 8%. Αν ο πυρήνας είχε υγρασία 60-70% τότε θα απαιτούσε τεράστιες εγκαταστάσεις ξήρανσης με μεγάλο κόστος, στο οποίο προστίθεται και το αυξημένο κόστος μεταφοράς του πυρήνα λόγω της υγρής του κατάστασης. Σημειωτέων, οι οργανικές ενώσεις (αλδεϋδες, κετόνες, οργανικά οξέα κ.λπ.) που

περιέχονται σε μικρές ποσότητες ευθύνονται για τις οσμές που εκπέμπονται από τα πυρηνελαιουργεία.

Ο ελαιοπυρήνας μετά το ελαιοουργείο οδηγείται στο πυρηνελαιουργείο, όπου αλέθεται και ξηραίνεται σε περιστροφικά ξηραντήρια κυλινδρικού τύπου σε δύο φάσεις. Στο προξηραντήριο πραγματοποιείται μερική ξήρανση του μέχρι να μειωθεί η υγρασία σε 25% και ακολούθως, στο τελικό ξηραντήριο, ολοκληρώνεται η διαδικασία ξήρανσης όταν ο πυρήνας έχει αποκτήσει υγρασία περίπου 8-12%. Στη συνέχεια, γίνεται η διαδικασία εκχύλισης του πυρηνελαίου με εξάνιο, και λαμβάνεται το πυρηνόξυλο. Το πυρηνέλαιο διαχωρίζεται από το εξάνιο με απόσταξη σε κατάλληλες στήλες (αποστακτήρες), όπου λαμβάνεται καθαρό το έλαιο και ανακτάται το εξάνιο, το οποίο χρησιμοποιείται ξανά. Η πρόσληψη του υπολειμματικού διαλύτη από τους εκχυλισμένους πυρήνες γίνεται με τη βοήθεια ατμού. Λόγω του υψηλού κόστους της διαδικασίας αυτής τα πυρηνελαιουργεία σπανίως καταφεύγουν στην πλήρη ανακύκλωση του εξανίου. Το εξάνιο που διαφεύγει κατά τη διαδικασία εκχύλισης του πυρηνελαίου δεν επιβαρύνει μόνο το κόστος παραγωγής αλλά και την ατμόσφαιρα.



Εικόνα 2.7: Υποπροϊόντα ελαιοκάρπου

Ορισμένα πυρηνελαιουργεία διαθέτουν μονάδες διαχωρισμού του ελαιοπυρηνόξυλου σε δύο τμήματα, το ένα πλούσιο σε κυτταρίνες και το άλλο πλούσιο σε πρωτεΐνες το

οποίο χρησιμοποιείται στην βιομηχανία ζωοτροφών. Τα κυτταρινούχο τμήμα του ελαιοπυρηνόξυλου μετά τον διαχωρισμό του έχει μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη από ότι είχε πριν τον διαχωρισμό (3500 - 4000 kcal/kg). Από την άλλη το πυρηνέλαιο που παράγεται, για να μετατραπεί σε βρώσιμο υφίσταται μια επεξεργασία που αφορά την εξουδετέρωση των οξέων του, του αποχρωματισμού και της απόσμησής του.

Το πυρηνόξυλο χρησιμοποιείται ήδη "παραδοσιακά" π.χ. στη Λέσβο κυρίως σε καμίνια για παραγωγή ασβέστη. Επίσης ένα μέρος της παραγωγής χρησιμοποιείται στα ελαιουργεία και πυρηνελαιουργεία ως καύσιμο για τη λειτουργία των μηχανημάτων επεξεργασίας του ελαιόκαρπου. Ο καθορισμός της εμπορικής τιμής του ελαιοπυρήνα καθορίζεται από αρμόδιους φορείς κάθε χρόνο και εξαρτάται από τον τύπο ελαιουργείου που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή λαδιού καθώς και τις συνθήκες επεξεργασίας.

2.8.2 Χαρακτηριστικά & Αξιοποίηση Ελαιοπυρηνόξυλου

Τα κύρια χαρακτηριστικά του πυρηνόξυλου είναι:

Η μέση θερμογόνο δύναμη του είναι 3500 - 4000 Kcal/kg

Αποτελεί καύσιμο χαμηλού κόστους (0,05 €/kg, στοιχεία 2005) σε σχέση με τη θερμική του αξία

Τα καυσαέρια από τη καύση του δεν περιέχουν ενώσεις του θείου.

Έχει υγρασία 12 - 15%

Έχει περιεκτικότητα σε τέφρα 2,5 - 4,5 % κ.β.

Έχει πυκνότητα (850 kg/m^3), γεγονός που επιτρέπει την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων σε μικρούς σχετικά χώρους

Το πυρηνόξυλο χρησιμοποιείται ήδη ως καύσιμη ύλη σε λέβητες θέρμανσης βιοτεχνιών (τυροκομεία, φούρνοι), αγροτικών βιομηχανιών (ελαιουργεία, σαπωνοποιεία) καθώς και σε θερμοκήπια, ενώ έχει χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση ξενοδοχείων, κατοικιών και δημόσιων κτιρίων. Αποτελεί πολύ σημαντικό ενεργειακό πόρο με θερμογόνο δύναμη 3500 - 4500 kcal/kg, η τιμή της οποίας εξαρτάται από το είδος του δένδρου της ελιάς, το στάδιο βιολογικού κύκλου που βρίσκεται ο ελαιόκαρπος και το ποσοστό των περιεχομένων οργανικών υλών ή χώματος. (Βουτυράκης Μ. ΣΠΑΠΕΚΕΕΚ)

Μεγαλύτερη απήχηση έχει στην Κρήτη, όπου λειτουργούν 10 πυρηνελαιουργεία τα οποία επεξεργάζονται περίπου 200.000 τόνους ελαιοπυρήνα το χρόνο. Σημαντικό μέρος της παραγόμενης ποσότητας πυρηνόξυλου στην Κρήτη, καταναλώνεται στα ίδια τα πυρηνελαιουργεία για την κάλυψη των θερμικών τους αναγκών και 40.000 - 50.000 ton/έτος διατίθεται στην ελεύθερη αγορά. Ενδεικτικά, το 2000, τα πυρηνελαιουργεία της Κρήτης παρήγαγαν 110.000 τόνους πυρηνόξυλο, συνολικής

ενεργειακής αξίας 38510^9 kcal (θεωρώντας θερμογόνο δύναμη 3500kcal/kg), η οποία ισοδυναμεί με 37.000 τόνους πετρελαίου. Από την ποσότητα αυτή, αυτοκατανάλωσαν για την κάλυψη των θερμικών τους αναγκών 43.000 τόνους και οι υπόλοιποι 57.000 τόνοι διατέθηκαν προς πώληση.

Τα τελευταία χρόνια, κάποιες ποσότητες πυρηνόξυλου εξάγονται στην Ευρώπη όπου χρησιμοποιούνται σαν πρώτη ύλη για παραγωγή μπρικετών, δηλαδή pellets (συσσωμάτων) διαμέτρου μεγαλύτερη των 25mm. Τα pellets είναι στερεά καύσιμα που παράγονται με μηχανική επεξεργασία βιομάζας, χωρίς προσθήκη χημικών. Η κύρια πρώτη ύλη τους είναι γεωργικά και δασικά υπολείμματα, καθώς και κουκούτσια καρπών (ροδάκινα, ελιές, σταφύλια κτλ.). Στην Ελλάδα υπάρχουν αρκετά εργοστάσια παραγωγής pellets, με πρώτη ύλη κυρίως ελαιοκλαδέματα, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις και πυρηνόξυλο.

Πέρα από την ενεργειακή αξιοποίηση του πυρηνόξυλου, έρευνες κατέληξαν στα πλεονεκτήματα χρήσης του ως εδαφοβελτιωτικό. Αναμιγνύοντας πυρηνόξυλο με υγρά απόβλητα ελαιουργείου (κατσίγαρο) και υποβάλλοντας το μίγμα σε αερόβια ζύμωση (κομποστοποίηση) παράχθηκε βελτιωτικό εδάφους και λίπασμα, απαλλαγμένο από βαρέα μέταλλα και αφλατοξίνες. Δεδομένου ότι τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων είναι εξαιρετικά ρυπογόνα και ότι η Ελλάδα εισάγει ετησίως μεγάλες ποσότητες εδαφοβελτιωτικών τύπου κομπόστας, η δυνατότητα αυτή μπορεί να συμβάλει στην οριστική λύση του προβλήματος διάθεσης και διαχείρισης των παραπροϊόντων και αποβλήτων των ελαιουργείων, με προφανές όφελος στην ιδιωτική και εθνική οικονομία. Ακόμα, η στάχτη που προκύπτει από την καύση του πυρηνόξυλου είναι πολύ καλό λίπασμα. (Ισραηλίδης Κ. ΕΘΙΑΓΕ)

Άλλες χρήσεις του πυρηνόξυλου περιλαμβάνουν την παραγωγή ενεργού άνθρακα, ενός ανθρακώδους μικροπορώδους υλικό με πολύ μεγάλη ειδική επιφάνεια και πορώδες, χαρακτηριστικά που του προσδίδουν εξαιρετικές ιδιότητες στην αφαίρεση ανεπιθύμητων χρωμάτων και χρωστικών. Από το πυρηνόξυλο μπορεί επίσης να παραχθεί φουρφουάλη με όξινη υδρόλυση της ξυλόζης, της πεντόζης που αφθονεί στο πυρηνόξυλο. Η φουρφουάλη έχει βρει πολλές εφαρμογές ως διαλύτης ή ως βάση για σύνθεση διαλυτών. Τέλος, το πυρηνόξυλο τυχάνει χρήσης ως πλαστικό πρόσθετο, λειαντικό, προσροφητικό μετάλλων και για την παραγωγή ρητίνης φαινόλης - φορμαλδεΐδης.

Μέχρι σήμερα στην Ελλάδα το πυρηνόξυλο έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως για την παραγωγή θερμικής ενέργειας μέσω λεβήτων θέρμανσης, όπου ο βαθμός απόδοσης της μετατροπής αυτής είναι αρκετά υψηλός, 70-80%. Θα μπορούσε όμως να χρησιμοποιηθεί και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μετά από καύση και παραγωγή ατμού. Ο βαθμός απόδοσης μιας τέτοιας μετατροπής είναι χαμηλός, της τάξης του 20%. Εκτός από την απευθείας καύση, οι τεχνολογίες της αεριοποίησης και της πυρόλυσης του πυρηνόξυλου δεν βρίσκονται προς το παρόν στο στάδιο της εμπορικής εφαρμογής. (Κουτρότσιος Γ. 2009)

Συνοψίζοντας, τα κύρια πλεονεκτήματα του πυρηνόξυλου για την Ελλάδα είναι:

Αποτελεί εγχώριο ενεργειακό πόρο

Έχει χαμηλή τιμή σε σχέση με την ενεργειακή του αξία, οπότε αποτελεί μια οικονομική καύσιμη πρώτη ύλη που μπορεί να συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα συμβατικά καύσιμα

Οι επιπτώσεις της χρήσης του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κρίνονται «ουδέτερες» καθώς αποτελεί ανανεώσιμο πόρο

2.8.3 Εφαρμογές αξιοποίησης πυρηνόξυλου

Σήμερα η αξιοποίηση του πυρηνόξυλου στην βιομηχανία είναι υψηλή λόγω των πολύ καλών ιδιοτήτων του. Γνώστες εφαρμογές με εμπορική λειτουργία είναι :

Παραγωγή ενεργού άνθρακα από πυρηνόξυλο για την βιομηχανία τροφίμων, την χημική και φαρμακευτική βιομηχανία για την αφαίρεση χρωστικών , οσμών, γεύσεων και βαρέων μετάλλων (αρσενικό As - αλουμίνιο Al) (Σταυρόπουλος - Ζαμπανιώτου, 2005).

Παραγωγή υγρών και αερίων καυσίμων

Παραγωγή φουρφουάλης που χρησιμοποιείται ως διαλύτης

Ως πρόσθετο στην παραγωγή θερμοπλαστικών

Ως λειαντικό στην βιομηχανία λόγω της ανθεκτικότητας του στην θραύση και την παραμόρφωση

Στην κοσμετολογία (απολέπιση δέρματος).

Ως στερεό προσροφητικό μέσο για την αφαίρεση ιόντων βαρέων μετάλλων (Pb, Cd, Ni, Cn) από υγρά απόβλητα

Παραγωγή ρητίνης φαινόλης - φορμαλδεΰδης που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για μόνωση σε ηλεκτρικές και μηχανικές συσκευές λόγω των χαρακτηριστικών τους (χαμηλό κόστος, υψηλή αντοχή , χημική ανθεκτικότητα).

Η ετήσια παραγωγή πυρηνόξυλου στην Ελλάδα υπολογίζεται περίπου στους 300,000 tn το χρόνο και προέρχεται από τους 460,000 tn ελαιοπυρήνα που παράγονται στα 3500 ελαιουργεία της Ελλάδας ενώ οι χρήσεις του περιορίζονται σε αυτή του καυσίμου για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων των ελαιουργείων.

2.9 Επεξεργασία αποβλήτων ελαιουργείων

2.9.1 Υγρά απόβλητα

Η ρυπαντική ικανότητα των υγρών αποβλήτων από την επεξεργασία της ελιάς είναι εκατό φορές μεγαλύτερη από τα αστικά απόβλητα. Ο απλούστερος τρόπος διάθεσης είναι η εφαρμογή τους στο έδαφος, γεγονός που δημιουργεί προβλήματα λόγω της τοξικής επίδρασης των πολυφαινολών και της ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Μόνο το νερό από το πλύσιμο του ελαιόκαρπου μετά την παράδοσή του στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, επειδή έχει χαμηλό οργανικό φορτίο. Η μέθοδος που συνιστάται μέχρι σήμερα για τη σχετική επεξεργασία αποβλήτων, περιλαμβάνει εξουδετέρωση της οξύτητας σε συνδυασμό με κροκίδωση και στη συνέχεια καθίζηση. Η εξουδετέρωση και κροκίδωση μπορεί να γίνει με προσθήκη ασβέστη σε δεξαμενή συγκρατήσεως 30-60' εφοδιασμένη με μηχανική ανάδευση. Η απαιτούμενη ποσότητα ασβέστη υπολογίζεται σε 5 kg CaO/t ελαιόκαρπο ή ακόμη σε ποσοστό 2% CaO στα απόβλητα. Η καθίζηση πρέπει να είναι τουλάχιστον 2 ωρών με συνεχή αφαίρεση της λάσπης και άμεση διάθεση στους αγρούς ή χώνευση και στράγγιση σε κλίνες ξήρασης. Γενικά η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων μπορεί να διακριθεί σε τρία μέρη ανάλογα με το είδος της επεξεργασίας:

Πίνακας 2.1: Κύριες τεχνολογίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ελαιουργείων

Μηχανική επεξεργασία	Καθίζηση, μηχανικός διαχωρισμός, επίπλευση, εσχαρισμός
Βιολογική επεξεργασία	Διάθεση στο έδαφος, εξάτμιση σε ανοικτές δεξαμενές, επεξεργασία ενεργού ιλύος, αναερόβια επεξεργασία
Φυσικοχημική επεξεργασία	Κατακρήμνιση, κροκίδωση, επίπλευση, οξείδωση/αναγωγή, προσρόφηση, αποτέφρωση, εξάτμιση, διαχωρισμός με μεμβράνες

(ΤΕΕ - Υγρά απόβλητα ελαιουργείων 1980)

2.9.2 Στερεά απόβλητα

Τα στερεά απόβλητα όπως ο ελαιοπυρήνας, που αποτελείται από τα αλεσμένα στερεά συστατικά του καρπού (κυρίως του κουκουτσιού), τα ελαιόφυλλα που έχουν μεταφερθεί με τον ελαιόκαρπο από την επεξεργασία του ελαιόκαρπου, προκαλούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Περιέχουν υψηλό οργανικό και ανόργανο φορτίο το οποίο είναι δύσκολο στη διαχείριση, όπως ακριβώς και τα υγρά απόβλητα από την επεξεργασία των ελιών. Τα στερεά απόβλητα έχουν υψηλό περιεχόμενο COD και BOD5, πολυφαινόλες που εμποδίζουν τη δραστηριότητα βακτηρίων και μυκήτων, υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα, κλπ. Η απόρριψη των αποβλήτων στο περιβάλλον ή η διάθεση τους στο έδαφος χωρίς προηγούμενη επεξεργασία, δεν αποτελεί λύση του προβλήματος, αλλά καθιστά την κατάσταση χειρότερη δεδομένου ότι υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Γενικά η μέθοδοι επεξεργασίας που είναι δυνατό επεξεργασία των στερεών αποβλήτων μπορεί να διακριθεί σε τρία μέρη ανάλογα με το είδος της επεξεργασίας:

Πίνακας 2.2: Κύριες τεχνολογίες στην επεξεργασία των στερεών αποβλήτων

Μηχανική επεξεργασία (προ-επεξεργασία)	Μηχανικός διαχωρισμός, ταξινόμηση, διαλογή, συμπίεση, ξήρανση
Βιολογική επεξεργασία	Εφαρμογή στο έδαφος, κομποστοποίηση, αναερόβια ζύμωση / χώνευση
Θερμική επεξεργασία	Πυρόλυση, αεριοποίηση, αποτέφρωση
Απόθεση	Διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής

(ΤΕΕ - Υγρά απόβλητα ελαιουργείων 1980)

Αναφορικά με τις μεθόδους επεξεργασίας των στερεών και υγρών αποβλήτων των ελαιουργείων, θα επικεντρωθούμε, στο Κεφάλαιο 3, στην αναερόβια χώνευση/ζύμωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αναερόβια χώνευση αποβλήτων ελαιουργείων

3.1 Εισαγωγή

Η αναερόβια επεξεργασία αποτελεί κατάλληλη μέθοδο για την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου από ιδιαίτερα μολυσμένα υγρά απόβλητα. Πραγματοποιείται από βακτήρια που δεν χρειάζονται οξυγόνο για την αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων από τα υγρά απόβλητα και την μετατροπή τους σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Η αναερόβια επεξεργασία γίνεται όμως με βραδύτερο ρυθμό από την αερόβια, επειδή αυτοί οι μικροοργανισμοί έχουν χαμηλότερη μεταβολική δραστηριότητα αποικοδόμησης από ότι οι αερόβιοι. Αυτός ο λόγος καθιστά την αναερόβια επεξεργασία περισσότερο ευαίσθητη. Τα OMWW (oil mill waste water) είναι κατάλληλα για αναερόβια επεξεργασία, καθώς το ρυπαντικό φορτίο αποτελείται από οργανικές και διαλυτές ενώσεις, όπως σάκχαρα, πηκτίνη, κ.α. Η αναερόβια επεξεργασία των αποβλήτων εφαρμόζεται όλο και περισσότερο επειδή επιτρέπει την ανάκτηση σημαντικής ποσότητας μεθανίου για χρήση ως πηγή ενέργειας και επειδή παράγονται σημαντικά μικρότερες ποσότητες ιλύος (λάσπης). Η επεξεργασία αυτή των υγρών αποβλήτων έχει καταστεί όλο και πιο σημαντική, ως αποτέλεσμα της νομοθεσίας σχετικά με την αύξηση του ενεργειακού κόστους και τα προβλήματα εναπόθεσης της περίσσιας λάσπης η οποία σχηματίζεται κατά τις αερόβιες συνθήκες. (Γεωργακάκης Δ. 1983)

3.2 Αναερόβια ζύμωση

Κατά την αναερόβια βιολογική επεξεργασία (αναερόβια ζύμωση), πραγματοποιείται ελεγχόμενη αποδόμηση των οργανικών ουσιών με τη βοήθεια δράσης μικροοργανισμών κάτω από συνθήκες απουσίας οξυγόνου. Το αποτέλεσμα της διεργασίας είναι η παραγωγή σταθεροποιημένου οργανικού υλικού και αερίου. Από τη μια, το σταθεροποιημένου οργανικό υλικό μετά από περαιτέρω αερόβια σταθεροποίηση μπορεί να μετατραπεί σε κομπόστ (εδαφοβελτιωτικό, λίπασμα). Από την άλλη, το παραγόμενο αέριο, που καλείται βιοαέριο, αποτελείται κυρίως από υψηλής περιεκτικότητας μεθάνιο (CH_4) μέχρι και 60% και από διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Ωστόσο περιέχει και μικρές συγκεντρώσεις σε CO , H_2 , N_2 , O_2 .

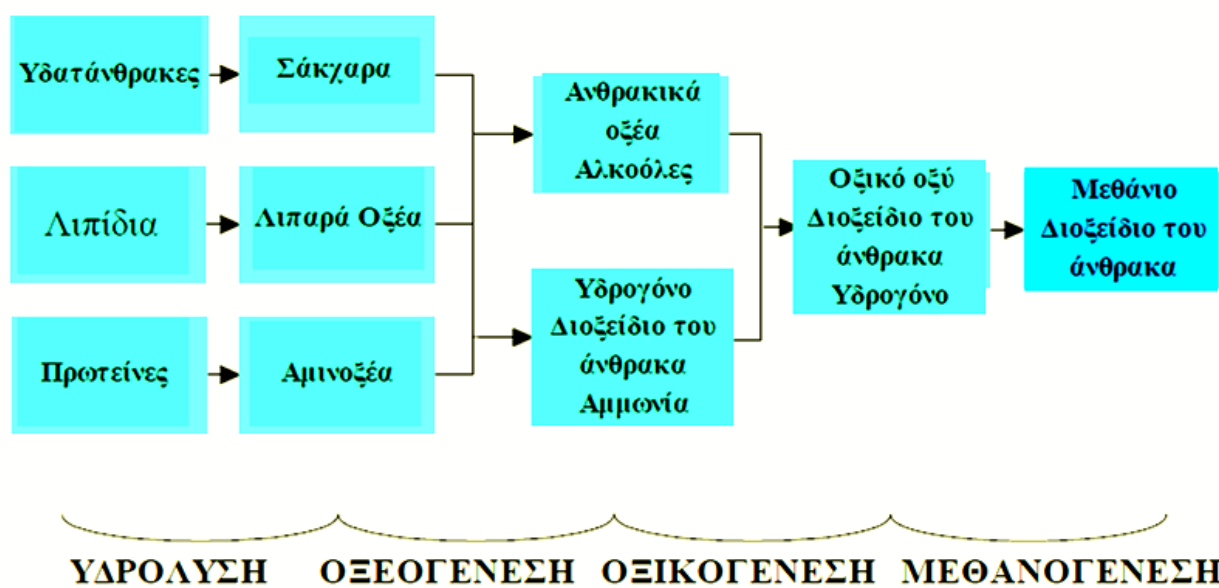
Πιο συγκεκριμένα, η αναερόβια χώνευση είναι μια διεργασία που λαμβάνει χώρα στην υγρή φάση και χρησιμοποιείται σε υποστρώματα με σχετικά χαμηλή συγκέντρωση στερεών, και υγρασία που κυμαίνεται από 60% έως 95%. Επομένως, θα πρέπει πρώτα πριν την έναρξη της διαδικασίας τα αστικά απορρίμματα να υποστούν μια προεπεξεργασία, έτσι ώστε να διαχωριστεί το υγρό από το ξηρό οργανικό κλάσμα. (Κούκιος Ε. 2010)

3.2.1 Περιγραφή σταδίων της διεργασίας

Η αναερόβια χώνευση αποτελεί μία βιολογική διαδικασία αποδόμησης οργανικών υποστρωμάτων απουσία οξυγόνου. Ο κύριος σκοπός της είναι η σταθεροποίηση του οργανικού υλικού με ταυτόχρονη μείωση των οσμών, της συγκέντρωσης των παθογόνων μικροοργανισμών και της μάζας του οργανικού υλικού που χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της βιολογικής μετατροπής του οργανικού υλικού σε μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) υπό αναερόβιες συνθήκες (απουσία οξυγόνου). Συντελείται από πλήθος αυστηρά ή μερικώς αναερόβιων ετερότροφων και αυτότροφων βακτηρίων τα οποία συνεργάζονται ή ανταγωνίζονται μεταξύ τους για την εξασφάλιση της απαραίτητης ενέργειας που χρειάζονται για την δόμηση της κυτταρικής τους μάζας (Dupla et al., 2004)

Η περιγραφή της αναερόβιας χώνευσης του οργανικού υλικού απλουστεύεται χρησιμοποιώντας ένα σχήμα τεσσάρων σταδίων (Εικόνα 3.4.1). Τα στάδια αυτά περιλαμβάνουν (Κούκιος Ε. 2010):

1. Υδρόλυση
2. Οξυγένεση
3. Οξικογένεση
4. Μεθανογένεση



Εικόνα 3.4.1: Τα κύρια βήματα της αναερόβιας χώνευσης (Κούκιος Ε. 2010)

Ακολουθεί η περιγραφή του κάθε σταδίου αναλυτικά.

3.2.2 Υδρόλυση

Η υδρόλυση του σύνθετου και συνήθως αδιάλυτου οργανικού φορτίου είναι απαραίτητη για τη μετατροπή του σε μορφή και μέγεθος τέτοιο ώστε να μπορούν οι ενώσεις να διαπεράσουν το κυτταρικό τοίχωμα των βακτηρίων και να χρησιμοποιηθούν ως πηγή θρεπτικών υλικών ή ενέργειας (Uemura et al.,1995). Το μεγαλύτερο μέρος των συστατικών του υποστρώματος είναι αδιάλυτο και δε μπορεί να αφομοιωθεί ως έχει από τα βακτήρια. Ουσιαστικά, αυτό που πραγματοποιείται είναι η μετατροπή των πιο σύνθετων συστατικών σε διαλυτές ουσίες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα βακτήρια. Η υδρόλυση πραγματοποιείται μέσω της δράσης εξωκυτταρικών υδρολυτικών ενζύμων, που παράγονται και εκκρίνονται από ειδικά βακτήρια. Η σταθεροποίηση του σύνθετου οργανικού υλικού δε μπορεί να πραγματοποιηθεί αν το αρχικό στάδιο της υδρόλυσης δεν εξελιχθεί ομαλά (Moonil et al.,2002).

Βέβαια δε μπορούν όλα τα είδη των οργανικών υλικών να υδρολυθούν σε απλές ενώσεις, αφομοιώσιμες από τα βακτήρια, εξαιτίας της δομής τους, της παρουσίας σύνθετων δεσμών που δεν υδρολύονται και άλλων παραγόντων. Αυτά τα συστατικά ονομάζονται μη αποικοδομήσιμα.

3.2.3 Οξυγένεση

Οι διαλυτές ουσίες, που έχουν προκύψει στο στάδιο της υδρόλυσης είναι μακριάς αλυσίδας οργανικά οξέα, σάκχαρα, αμινοξέα, τα οποία με τη σειρά τους διασπώνται σε μικρότερα οργανικά οξέα όπως είναι το προπιονικό, βουτυρικό και βαλερικό οξύ (Gonzalez et al.,1998). Αυτή η φάση λέγεται φάση οξυγένεσης. Κατά τη φάση αυτή, δεν προκαλείται σταθεροποίηση όλου του συστήματος. Απλά, το μεγαλύτερο μέρος του οργανικού υλικού αλλάζει μορφή και ένα πολύ μικρό μέρος του καταναλώνεται (σταθεροποιείται).

Γενικά, η οξυγένεση ορίζεται ως η αναερόβια βιολογική διεργασία παραγωγής οξέων κατά την οποία δεν απαιτείται επιπρόσθετος δότης ή δέκτης ηλεκτρονίων. Η οξυγένεση (σε αντίθεση με την οξικογένεση) δεν απαιτεί δέκτη ηλεκτρονίων. Εξαιτίας των υψηλότερων ελεύθερων ενεργειών, οι αντιδράσεις μπορούν να λάβουν χώρα σε υψηλές συγκεντρώσεις υδρογόνου και μυρμηκικού οξέος και να έχουν υψηλούς συντελεστές παραγωγής κυτταρικής μάζας (Elefsiniotis et al.,1994).

Τα βακτήρια που προκαλούν την παραγωγή των οξέων μπορεί να είναι προαιρετικά ή αυστηρά αναερόβια. Ανάλογα με τη σύνθεση της τροφοδοσίας, η ποσότητα και το είδος των βακτηρίων διαφέρει σημαντικά. Τα αυστηρά αναερόβια βακτήρια είναι

γενικά πολύ περισσότερα από τα προαιρετικά αναερόβια. Έτσι, στην εφαρμογή της αναερόβιας χώνευσης, τα προαιρετικά αναερόβια βακτήρια διαδραματίζουν το σημαντικότερο ρόλο.

Στα βακτήρια, η αναγωγική δράση προωθείται με την υδρογονάση NADH (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Hydrogenase). Η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας κατά την οξείδωση προς NAD (Nicotinamide Adenine Dinucleotide) και H₂ γίνεται αρνητική όταν η μερική πίεση του υδρογόνου είναι κατώτερη από 10-3atm (Paulo et al., 2003). Επομένως, με χαμηλή μερική πίεση υδρογόνου, η βιολογική πορεία κατευθύνεται ευνοϊκά προς το σχηματισμό CO₂, H₂ και οξικού οξέος. Αντίθετα, όταν η μερική πίεση του υδρογόνου αυξηθεί, ευνοείται ο σχηματισμός ανώτερων προϊόντων όπως τα οξέα: προπιονικό, βουτυρικό, βαλερικό, γαλακτικό και καπροϊκό. Τα οξυγενή βακτήρια δεν επηρεάζονται από τη συνακόλουθη μείωση του pH ώσπου αυτό να φτάσει το 4,5.

3.2.4 Οξικογένεση

Στο επόμενο στάδιο της οξικογένεσης, τα προϊόντα του προηγούμενου σταδίου μετατρέπονται σε οξικό οξύ, υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα οργανικά οξέα μικρού μοριακού βάρους. Η αποδόμηση των οργανικών οξέων σε οξικό οξύ είναι ένα στάδιο οξείδωσης χωρίς ενδογενή δέκτη ηλεκτρονίων. Επομένως, τα βακτήρια που οξειδώνουν τα οργανικά οξέα απαιτούν έναν

επιπρόσθετο δέκτη ηλεκτρονίων όπως το ιόν υδρογόνου ή το διοξείδιο του άνθρακα, προκειμένου να παράγουν αέριο υδρογόνο ή μυρμηκικό οξύ αντίστοιχα. Αυτοί οι φορείς ηλεκτρονίων πρέπει να διατηρούνται σε χαμηλή συγκέντρωση ώστε να είναι θερμοδυναμικά εφικτή η αντίδραση οξείδωσης (Elefsiniotis et al., 1994).

Το υδρογόνο παίζει ρόλο «κλειδί» στον έλεγχο της παραγωγής και της κατανάλωσης των οργανικών οξέων. Αν η μερική πίεση του υδρογόνου είναι μεγαλύτερη από 10-4 atm, παρεμποδίζεται η παραγωγή του μεθανίου, CH₄, και η συγκέντρωση των οργανικών οξέων αυξάνεται. Επομένως για να είναι αποτελεσματική η αναερόβια χώνευση προς CH₄, το επίπεδο του υδρογόνου πρέπει να διατηρείται κάτω από το προαναφερόμενο όριο (Paulo et al. 2004). Στη διατήρηση χαμηλών συγκεντρώσεων συμβάλλει και η παρουσία επαρκούς και σταθερού πληθυσμού μεθανοπαραγωγών βακτηρίων, που ανάγουν το CO₂. Λόγω του σημαντικού ρυθμιστικού του ρόλου, το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της αποτελεσματικότητας της αναερόβιας χώνευσης (Paulo et al. 2004).

Πιο συγκεκριμένα, η θερμοδυναμική ορίζει ότι οι αντιδράσεις οξυγένεσης και μεθανογένεσης από CO₂ και H₂ είναι δυνατές μόνο σε μια στενή περιοχή συγκεντρώσεων υδρογόνου ή μυρμηκικού οξέος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την περίπτωση της μαθηματικής προσομοίωσης, καθώς οι θερμοδυναμικοί

περιορισμοί καθορίζουν την παρεμπόδιση του μοριακού υδρογόνου καθώς και τις σταθερές κορεσμού (Paulo et al. 2004, Uemura et al. 1995).

3.2.5 Μεθανογένεση

Τελικό προϊόν της αναερόβιας αποδόμησης είναι το μεθάνιο, το οποίο αποτελεί το τελικό στάδιο οποιουδήποτε «δρόμου» αναερόβιων βιοαντιδράσεων. Επομένως, η μεθανογένεση αποτελεί την έξοδο-«εκτόνωση» του συστήματος και τα μεθανογενή βακτήρια τους «κλειδοκράτορες» του, καθότι ο ρυθμός ανάπτυξής τους καθορίζει τον ρυθμό ανάπτυξης όλου του αναερόβιου οικοσυστήματος (Moonil et al.2002, Uemura et al. 1995).

Τα μεθανογενή βακτήρια είναι μέλη μιας πολύ χαρακτηριστικής ομάδας βακτηρίων που αναπτύσσεται μόνο σε απόλυτα αναερόβιο περιβάλλον. Χαρακτηρίζουν τη φάση ολοκλήρωσης της αναερόβιας αποσύνθεσης και οδηγούν στο τελικό προϊόν, το βιοαέριο. Έχουν αυστηρά περιορισμένη δυνατότητα σε υπόστρωμα αφού μεταβολίζουν αποκλειστικά οξικό οξύ, μίγμα CO₂ και H₂, μυρμηκικό οξύ, μεθανόλη και μεθυλαμίνη (Elefsiniotis et al.1994).

Επομένως, στα συνήθη αναερόβια συστήματα δύο είναι οι βασικές έξοδοι παραγωγής μεθανίου: η έξοδος μέσω του H₂ και CO₂ και η έξοδος μέσω του οξικού οξέος. Το H₂ αποτελεί ένα ενδιάμεσο προϊόν αποδόμησης των οργανικών μεγαλομορίων σε οργανικά πτητικά οξέα (C1–C8) ενώ το οξικό οξύ αποτελεί το τελικό προϊόν αποδόμησης όλων των οργανικών πτητικών οξέων. Από θερμοδυναμική άποψη, η πρώτη έξοδος είναι πολύ ευκολότερη από την δεύτερη. Όμως, η δεύτερη αποτελεί την βασική δίοδο για την εκτόνωση του οργανικού άνθρακα.

Χαρακτηριστική ιδιότητα των μεθανογενών βακτηριδίων είναι πως όλα αξιοποιούν το υπόστρωμα CO₂ και H₂ προς μεθάνιο και πολλά δημιουργούν την κυτταρική τους μεμβράνη από μεταβολισμό του CO₂. Όμως λίγα χρησιμοποιούν το οξικό οξύ ως υπόστρωμα σε περιβάλλον *in vitro*, παρότι στους αναερόβιους χωνευτήρες το οξικό οξύ αποτελεί το κύριο υπόστρωμα ανάπτυξης των μεθανογενών βακτηρίων (Uemura et al. 1995).

Ταυτόχρονα, η υψηλή συγκέντρωση τόσο του H₂, όσο και των πτητικών οξέων παρεμποδίζουν την ανάπτυξη όλων των μεθανογενών βακτηρίων (Paulo et.al. 2004). Έτσι, κατά την έναρξη της αναερόβιας αποδόμησης παρατηρείται συσσώρευση H₂, CO₂ και πτητικών οξέων. Η παραγωγή μεθανίου, κατ' αρχήν από H₂ και CO₂, δημιουργεί τις προϋποθέσεις ενεργοποίησης και της δεύτερης εξόδου, η οποία αξιοποιεί το όποιο παραγόμενο οξικό οξύ από την αποδόμηση των πτητικών οξέων που ακολουθεί. Αν για διάφορους παρεμποδιστικούς λόγους, δεν προλάβει να «ανοίξει» η δεύτερη έξοδος, τότε αυξάνεται η συγκέντρωση των πτητικών οξέων, λόγω συσσώρευσής τους, και από κάποιο σημείο και πέρα διακόπτεται

αναντίστρεπτα η συνέχεια των αντιδράσεων. Επειδή μακροσκοπικά, η φάση της αναντίστρεπτης αδυναμίας «εκτόνωσης» του συστήματος προς μεθάνιο, χαρακτηρίζεται από χαμηλό pH του χωνευτήρα (<6) γι' αυτό η κατάσταση αυτή ονομάζεται «οξύνιση» του χωνευτήρα. Γενικά τα μεθανογενή βακτήρια είναι τα πλέον ευάλωτα βακτήρια σε κάθε είδους τοξικότητα του υποστρώματος (Yu et al. 2002). Οι πλέον συνηθισμένες τοξικότητες αναφέρονται στις υψηλές συγκεντρώσεις του H₂, του H₂S, της NH₃ και των μη ιοντισμένων πτητικών οξέων.

Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Για τη βέλτιστη αναερόβια επεξεργασία αποβλήτων, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες: θερμοκρασία, pH, θρεπτικά, τοξικές ουσίες και άλλοι (Yu et al. 2002). Σε σχέση με τα υπόλοιπα βακτήρια, τα μεθανογενή είναι πιο ευαίσθητα στην αλλαγή ενός από τους παραπάνω παράγοντες (Yu et al. 2002). Μια αλλαγή σε κάποια από αυτές τις συνθήκες μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση των πτητικών οξέων, η οποία προκαλεί ελάττωση στην τιμή του pH και στην απόδοση της εγκατάστασης και τελικά μπορεί να σταματήσει τελείως η διεργασία της χώνευσης.

3.3 Παράγοντες διεργασίας

3.3.1 Θερμοκρασία

Για την αναερόβια χώνευση προσφέρονται τρεις θερμοκρασιακές περιοχές: η ψυχρόφιλη περιοχή (10-18°C) με κύκλο ολοκλήρωσης 80 ημέρες, η μεσόφιλη περιοχή (30-38°C) με κύκλο ολοκλήρωσης 20-30 ημέρες και η θεرمόφιλη περιοχή (50-60 °C) με κύκλο ολοκλήρωσης 5-12 ημέρες. Εκείνο όμως που έχει σημασία είναι η θερμοκρασία να διατηρείται σταθερή, ώστε κάποιο είδος μικροοργανισμού να βρίσκεται στη βέλτιστη θερμοκρασία για ανάπτυξη. Τα περισσότερα συστήματα, που δουλεύουν με αστικά λύματα, έχουν σχεδιαστεί για τη μεσόφιλη φάση, καθώς η θεرمόφιλη φάση παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα (Uemura et. al., 1995):

Οι πολύπλοκες βιολογικές διεργασίες δρουν παράλληλα με αποτέλεσμα η συγκέντρωση των πτητικών οξέων στους θεرمόφιλους αναερόβιους χωνευτήρες να είναι αρκετά υψηλότερη (6 φορές μεγαλύτερη από ότι στη μεσόφιλη), καθώς και η αναλογία πτητικών οξέων προς αλκαλικότητα (0,4 έναντι 0,1 της μεσόφιλης).

Η ειδίκευση των οξυγενών και μεθανογενών βακτηριδίων προς το υπόστρωμα και η αντοχή στην τοξικότητα εξασθενούν από τη μεγάλη ταχύτητα και την υψηλή θερμοκρασία της βιολογικής επεξεργασίας.

Τα μεθανογενή βακτήρια έχουν στενή θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας (0,8°C έναντι 2,8°C της μεσόφιλης). Έτσι σε μεταβολές της θερμοκρασίας δείχνουν υψηλή ευαισθησία (Uemura et al., 1995). Τα θειοβακτήρια είναι περισσότερο ανταγωνιστικά

στη θερμοφιλή περιοχή. Υφίσταται επιπλέον απαίτηση θερμότητας για τη συντήρηση της υψηλότερης θερμοκρασίας στους χωνευτήρες.

Παρ' όλα αυτά η θερμοφιλή επεξεργασία έχει κάποια πλεονεκτήματα (Liu et al., 2002): Έχει μεγαλύτερη παραγωγή μεθανίου ανά μονάδα απομειούμενου COD ($0,42 \text{ L} \cdot \text{g}^{-1} \text{ CODr}$ έναντι $0,35 \text{ L} \cdot \text{g}^{-1} \text{ CODr}$ της μεσόφιλης). Η επιπλέον αυτή παραγωγή του μεθανίου στη θερμοφιλή περιοχή είναι συνήθως ικανή να υπερκαλύψει την επιπλέον απαίτηση θερμότητας. Έχει μεγαλύτερη ταχύτητα βιοαποικοδόμησης οργανικών υποστρωμάτων, με αποτέλεσμα ο όγκος των χωνευτήρων να είναι σημαντικά μικρότερος από ότι στη μεσόφιλη.

Η παραγωγή κυτταρικής μάζας είναι μικρότερη από ότι είναι στη μεσόφιλη περιοχή ($0,11 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BODr}$ έναντι $0,16 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BODr}$). Έτσι, το πρόβλημα διάθεσης της λάσπης είναι μικρότερο. Επίσης, η θερμοφιλή βιολογική λάσπη αφυδατώνεται ευκολότερα από ότι η μεσόφιλη. Ελαττώνεται πολύ ο αριθμός των παθογόνων μικροοργανισμών γιατί είναι λιγότερο ανθεκτικοί στις θερμοκρασίες της θερμοφιλής περιοχής από ότι της μεσόφιλης.

3.3.2 pH, αλκαλικότητα και πτητικά οξέα

Έχει αποδειχθεί ότι η αναερόβια βιολογική επεξεργασία πραγματοποιείται σε πολύ στενό εύρος pH. Και αυτό ισχύει διότι το στάδιο της μεθανογένεσης είναι πολύ ευαίσθητο στο pH, καθώς τα μεθανογενή βακτήρια αναπτύσσονται σε pH 6,4-7,5 (Lahav et al. 2002).

Υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας του χωνευτήρα, οι βιοχημικές αντιδράσεις τείνουν να διατηρήσουν το pH στα επιτρεπτά επίπεδα. Αν και παράγονται πτητικά οξέα κατά την αποσύνθεση των σύνθετων οργανικών ενώσεων, τα οποία τείνουν να ελαττώσουν το pH, η δράση αυτή αντισταθμίζεται με την καταστροφή των πτητικών οξέων και το σχηματισμό όξινης ανθρακικής αλκαλικότητας κατά την παραγωγή μεθανίου. Αν όμως, διαταραχθεί η λειτουργία του χωνευτήρα για κάποιο λόγο, τα οξυγενή-οξικογενή βακτήρια υπερτερούν των μεθανογενών και παρατηρείται συσσώρευση πτητικών οξέων στο σύστημα. Αν η διαταραχή συνεχιστεί, θα ξεπεραστεί η ρυθμιστική ικανότητα (buffering capacity) του αντιδραστήρα και θα λάβει χώρα μια απότομη μείωση του pH (Yu et al., 2002). Το χαμηλό pH θα σταματήσει την παραγωγή μεθανίου πλήρως, αλλά θα παρακωλύσει την παραγωγή οξέων μόνο ελάχιστα. Έτσι, θα δημιουργηθεί ένας «όξινος» χωνευτήρας (sour digester) (Uemura et al., 1995). Η αποκατάσταση των συνθηκών λειτουργίας σε έναν τέτοιο αντιδραστήρα απαιτεί πολύ χρόνο λόγω του χαμηλού ρυθμού παραγωγής των μεθανογενών βακτηριδίων (Marchaim et al., 1992).

Η αλκαλικότητα σε έναν αναερόβιο χωνευτήρα εκφράζει την ρυθμιστική ικανότητά του (buffering capacity) και παίζει το λόγο του σταθεροποιητή ως προς τις αλλαγές του pH (Marchaim et al., 1992). Για το λόγο αυτό, η σταθερότητα ενός χωνευτήρα

ενισχύεται από υψηλές συγκεντρώσεις αλκαλικότητας. Η αλκαλικότητα δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για τη μετατροπή του υποστρώματος σε μεθάνιο, καθώς παρέχει τα απαραίτητα ηλεκτρόνια στην αλυσίδα μεταφοράς. Μείωση της αλκαλικότητας κάτω από το επίπεδο ομαλής λειτουργίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης επερχόμενης αστοχίας, μιας και θα οδηγήσει σε γρήγορη αλλαγή του pH. Υπό συνθήκες συνθήκες λειτουργίας, το κύριο σύστημα σταθεροποίησης είναι η ισορροπία διοξειδίου του άνθρακα – διττανθρακικών με το αμμωνιακό ιόν ως κύριο κατιόν (Uemura et al., 1995). Η αλκαλικότητα εξαρτάται από τη σύσταση και τη συγκέντρωση της τροφοδοσίας. Η έλλειψη λοιπόν αυτής αντανακλάται στη συνολική απόδοση του συστήματος. Απόβλητα με υψηλές συγκεντρώσεις πρωτεϊνών εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές αλκαλικότητας εξαιτίας της παραγωγής αμμωνίας από τις πρωτεΐνες. Απόβλητα με υψηλές συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές αλκαλικότητας. Όταν η διαδικασία της χώνευσης πραγματοποιείται ικανοποιητικά, η αλκαλικότητα κυμαίνεται από 1 έως $5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ενώ η συγκέντρωση των πτητικών οξέων πρέπει να είναι μικρότερη από $250\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι για τη διόρθωση ενός χαμηλού pH σε έναν αντιδραστήρα. Η πρώτη μέθοδος αφορά στην παύση της τροφοδοσίας ώστε τα μεθανογενή βακτήρια να έχουν αρκετό χρόνο για να καταναλώσουν τη συγκέντρωση των πτητικών οξέων και επομένως το pH να ανέλθει σε επιτρεπτά επίπεδα (6,8). Η παύση της τροφοδοσίας μειώνει τη δράση των υδρολυτικών και οξυγενών μικροοργανισμών και επομένως μειώνει την παραγωγή οξέων. Από τη στιγμή που το pH θα επανέλθει σε φυσιολογικά επίπεδα, η τροφοδοσία θα ξεκινήσει με ήπια φόρτιση και θα αυξάνεται σταδιακά, ώστε να αποφευχθεί περαιτέρω μείωση του pH. Η δεύτερη μέθοδος αφορά στην προσθήκη χημικών που αυξάνουν το pH και παρέχουν επιπρόσθετη ρυθμιστική ικανότητα. Ένα πλεονέκτημα της χημικής προσθήκης είναι ότι το pH σταθεροποιείται άμεσα και οι πληθυσμοί των βακτηρίων μπορούν να επανέλθουν γρηγορότερα.

Έχει αναφερθεί από πολλούς ερευνητές (Paulo Paula et al., 2004) ότι η αναλογία πτητικών οξέων και όξινης ανθρακικής αλκαλικότητας είναι εκείνη που αποτελεί βασικό παράγοντα σταθερότητας κάθε αναερόβιου συστήματος και εκφράζει την ρυθμιστική ικανότητα (buffering capacity) του αντιδραστήρα. Όσο μικρότερος ο λόγος αυτός, τόσο πιο αποτελεσματικό το ισοζύγιο των οξυγενών και μεθανογενών βακτηρίων. Στην πράξη, όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, ο λόγος αυτός πρέπει να διατηρείται κάτω από 0,3 ώστε να εξασφαλίζεται μια πολύ καλή λειτουργία του αντιδραστήρα. Αυτό σημαίνει ότι η απόλυτη τιμή των πτητικών οξέων δεν είναι τόσο σημαντική, όσο ο προαναφερόμενος λόγος δηλαδή ένας βιοαντιδραστήρας μπορεί να λειτουργεί με ασφάλεια και σε πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις πτητικών οξέων, αρκεί αυτές να συνοδεύονται και από ανάλογες συγκεντρώσεις όξινης ανθρακικής αλκαλικότητας.

3.3.3 Θρεπτικά συστατικά

Τα θρεπτικά συστατικά διαχωρίζονται σε *micro* και *macro* θρεπτικά (Liu et al., 2002). Τα *macro* θρεπτικά, όπως το άζωτο και ο φώσφορος, είναι απαραίτητα για τις αναερόβιες διεργασίες μετατροπής. Η συνηθισμένη μορφή με την οποία βρίσκεται το άζωτο είναι $C_5H_7O_2N$ και χρησιμοποιείται για την παρασκευή πρωτεΐνης, ενζύμων, RNA και DNA. Ο φώσφορος απαιτείται για την σύνθεση των ATP, RNA και DNA. Η απαίτηση σε φώσφορο αποτελεί συνήθως το 20% της απαίτησης σε άζωτο.

Τα μεθανογενή βακτήρια έχουν ειδικές απαιτήσεις θρεπτικών, οι οποίες δεν καλύπτονται από το άζωτο και το φώσφορο. Η απουσία των *micro* θρεπτικών αποτελεί το μειονέκτημα πολλών εγκαταστάσεων αναερόβιας επεξεργασίας. Τέσσερα είναι τα κύρια στοιχεία, σίδηρος, κοβάλτιο, νικέλιο και θείο, που έχει αποδειχθεί ότι καλύπτουν τις απαιτήσεις των μεθανογενών βακτηρίων (Paulo Paula et al. 2004). Ως *micro* μέταλλα αναφέρονται το μολυβδαίνιο και το σελήνιο. Τα μέταλλα πρέπει να είναι σε διάλυση έτσι ώστε να είναι διαθέσιμα για την ανάπτυξη βακτηρίων (Gonzalez-Gil et al. 1998).

3.3.4 Τοξικότητα

Τα μεθανογενή κυρίως βακτήρια εμφανίζουν μεγάλη ευαισθησία σε τοξικές ουσίες. Μια συχνή παρανόηση για την αναερόβια χώνευση είναι ότι η διεργασία δεν μπορεί να ανεχτεί τοξικές ουσίες. Εξαιτίας των μικρών ρυθμών παραγωγής των βακτηρίων, ο χρόνος που απαιτείται για να

ανακάμψει το σύστημα μπορεί πράγματι να είναι πολύ μεγάλος, εάν η τοξική ουσία είναι βακτηριοκτόνα. Ωστόσο, μελέτες έχουν δείξει ότι κάποιες τοξικές ουσίες έχουν αντίστροφα αποτελέσματα στους μεθανογενείς μικροοργανισμούς σε χαμηλές συγκεντρώσεις που συνήθως συναντώνται (Uemura et al., 1995).

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες όπως το pH, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, τα ολικά στερεά και η φόρτιση επηρεάζουν την ευαισθησία των βακτηρίων, την απόκρισή τους στην τοξικότητα και τα χαρακτηριστικά εγκλιματισμού τους (Lahav et al., 2002). Για παράδειγμα, υψηλοί χρόνοι παραμονής αυξάνουν την πιθανότητα εγκλιματισμού και γενικά μειώνουν τη δριμύτητα των επιπτώσεων της τοξικότητας.

Τα βαρέα μέταλλα έχουν συχνά γίνει η αιτία κακής απόδοσης αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας εξαιτίας της μεγάλης τοξικότητάς τους. Έχει αναφερθεί ότι αναερόβια βακτήρια δεν αναπτύσσονταν όταν οι συγκεντρώσεις ψευδαργύρου, μόλυβδου, νικελίου, χρωμίου, τρισθενούς σιδήρου, κασσίτερου, καδμίου και κοβαλτίου ξεπερνούσαν το 10^{-3} – 10^{-4} M. Επαρκής ανάπτυξη σημειώθηκε μόνο εφόσον η συγκέντρωση μειώθηκε σε 10^{-5} – 10^{-6} Σε αναερόβιο περιβάλλον, η αναγωγή των θειικών ιόντων σε υδρόθειο ενοείται από την παραγωγή μεθανίου. Τα βακτήρια για

την αναγωγή των θεικών είναι λιγότερο ευαίσθητα στη θερμοκρασία και στο pH. Για αυτό, όταν υπάρχουν θειικά στον αντιδραστήρα, αναπτύσσονται τα θειοβακτήρια και παράγεται H₂S. Το υδρόθειο είναι τοξικό για τα μεθανογενή βακτήρια. Η συγκέντρωση BOD και το pH είναι κρίσιμοι παράγοντες γιατί επηρεάζουν την απογύμνωση του αερίου υδρόθειου. Γενικά συγκεντρώσεις του υδρόθειου μέχρι 4-5% κ.ο. στο βιοαέριο είναι αποδεκτές.

Κατά την επεξεργασία αποβλήτων πλούσια σε άζωτο, όπως πρωτεϊνών και αλάτων αμμωνίας, το πρόβλημα της τοξικότητας της αμμωνίας μπορεί να ανακύψει (Uemura et al., 1995). Οι McCarty και McKinney μελέτησαν το ρόλο του pH στην τοξικότητα του αμμωνιακού ιόντος και κατέληξαν ότι η μοριακή αμμωνία είναι ο τοξικός παράγοντας. Συγκεντρώσεις άνω των 150 mg·L⁻¹ προκαλούν σοβαρή τοξικότητα.

Συχνά απαντάται τοξικότητα λόγω υπερβολικής ποσότητας πολλών κοινών, σχετικά μη τοξικών, οργανικών και ανόργανων ουσιών, που καθίστανται τοξικά σε υψηλές φορτίσεις. Το επίπεδο τοξικότητας των ανόργανων ουσιών ποικίλλει ανάλογα με το εάν οι ουσίες αυτές δρουν μόνες τους, συνεργητικά ή ανταγωνιστικά με άλλες. Ανόργανα κατιόντα όπως Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Fe²⁺ ή NH₄⁺, τα οποία γενικά έχουν θετική επίδραση σε χαμηλές συγκεντρώσεις, δρουν ως παρεμποδιστές σε υψηλότερες συγκεντρώσεις. Όμως έχει αναφερθεί ότι δισθενή κατιόντα όπως το ασβέστιο, το μαγνήσιο και ο σίδηρος είναι λιγότερο τοξικά από μονοσθενή ιόντα όπως το νάτριο και το κάλιο. Ανόργανα ιόντα όπως SO₄²⁻, NO₃⁻, παρεμποδίζουν πιθανώς τη μεθανογένεση καθώς μπορεί να καταστούν εναλλακτικοί δέκτες ηλεκτρονίων. Το θείο που είναι απαραίτητο για τα περισσότερα μεθανογενή βακτήρια είναι τοξικό σε συγκεντρώσεις άνω των 200mg·L⁻¹ και καθιζάνει ως ίζημα όταν υπάρχουν βαρέα μέταλλα (Hyun-Joon et al., 2003).

3.3.5 Διαθέσιμες τεχνολογίες αναερόβιας χώνευσης

Οι διατιθέμενες τεχνολογίες αναερόβιας χώνευσης περιλαμβάνουν (ΚΑΠΕ, “Οδηγός Βιομάζας):

- ❖ Αντιδραστήρες συνεχούς λειτουργίας πλήρους ανάδευσης (CSTR)
- ❖ Αντιδραστήρες με επιστροφή τη βιομάζας (contact reactors)
- ❖ Αντιδραστήρες ανοδικής ροής μέσω κλίνης βιομάζας (UASB)
- ❖ Αναερόβια βιόφιλτρα (ανοδικής ροής και καθοδικής ροής)
- ❖ Αντιδραστήρες ρευστοστερεάς κλίνης (διαστελόμενης ή μη)
- ❖ Αναερόβια χώνευση δύο σταδίων όπου διαχωρίζονται οι διεργασίες οξυγένεσης από τις διεργασίες μεθανογένεσης
- ❖ Αντιδραστήρες διαδοχικής υπερχειλίσης (Anaerobic baffled reactor, ABR).

Η αναερόβια χώνευση είναι η πλέον διερευνημένη τεχνική που εφαρμόστηκε για την αποδόμηση των ΟΜWW και αυτό διότι η αναερόβια χώνευση είναι η πλέον

ενδεδειγμένη τεχνική για βιώσιμη οικονομικά αποδόμηση αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο όπως είναι τα απόβλητα των ελαιοτριβείων. Επιπλέον έχει τα εξής πλεονεκτήματα: απαιτεί χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, παράγει ένα καύσιμο αέριο το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί και να ελαττώσει περισσότερο το κόστος επεξεργασίας και τέλος παράγει μικρές ποσότητες βιομάζας σαν παραπροϊόν της διεργασίας. Από την άλλη πλευρά όμως είναι μία αργή διεργασία με μεγάλη αστάθεια λόγω αυξημένης ευαισθησίας των μεθανογενών βακτηρίων στις τοξικότητες του υποστρώματος (Fiestas et al., 1992).

3.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση αναερόβιας χώνευση αποβλήτων ελαιουργείων

Ακολούθως παρουσιάζεται μια λεπτομερής βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε πάνω σε θεωρίες, μελέτες και πειράματα σχετικά με τη βιολογική επεξεργασία, μέσω αναερόβιας χώνευσης, των αποβλήτων ελαιουργείων (υγρών και στερεών).

3.5 Αναερόβια ζύμωση στερεών αποβλήτων - ελαιοπυρήνα

Η αναερόβια χώνευση των στερεών αποβλήτων είναι μια διαδικασία που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη διαχείριση των αποβλήτων και αποτελεί μια ευρέως εφαρμοσμένη τεχνολογία. Μια τεχνολογική λύση είναι η ρύθμιση της υδατοπεριεκτικότητας των αποβλήτων σε 90 % τουλάχιστον (υγρή ζύμωση) και η επεξεργασία τους σε μικτό βιολογικό αντιδραστήρα (που χρησιμοποιείται επίσης και για τα υγρά απόβλητα). Η δεύτερη λύση είναι η επεξεργασία των αποβλήτων, με περιεκτικότητα νερού 60 – 70 %, σε βιο-αντιδραστήρα σταθερής κλίνης.

Το πρώτο στάδιο στην αναερόβια επεξεργασία είναι η οξίνιση, όπου λαμβάνει χώρα υδρόλυση των οργανικών ουσιών. Το δεύτερο στάδιο που είναι αυστηρά αναερόβιο είναι ο σχηματισμός του μεθανίου. Υπάρχουν διαφορετικές τεχνολογικές προσεγγίσεις: τα δύο στάδια μπορεί να πραγματοποιηθούν σε έναν αντιδραστήρα (διαδικασία ενός σταδίου, one step process) ή σε δύο χωριστούς αντιδραστήρες (διαδικασία δύο σταδίων, two step process). Ποσοστό 40 – 50 % περίπου της οργανικής ουσίας μετατρέπεται σε βιοαέριο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. (Βουρδούμπας Γ. 1998, Βολικάκη Χ. 2008)

Η αναερόβια χώνευση της βιομάζας των στερεών αποβλήτων (γενικά της βιομάζας) μπορεί να γίνει σε 3 θερμοκρασιακές ζώνες (ΚΑΠΕ, “Οδηγός Βιομάζας):

Τη ψυχρόφιλη ζώνη (περίπου 20°C)

Τη μεσόφιλη ζώνη (περίπου 35°C)

Τη θερμόφιλη ζώνη (περίπου 55°C)

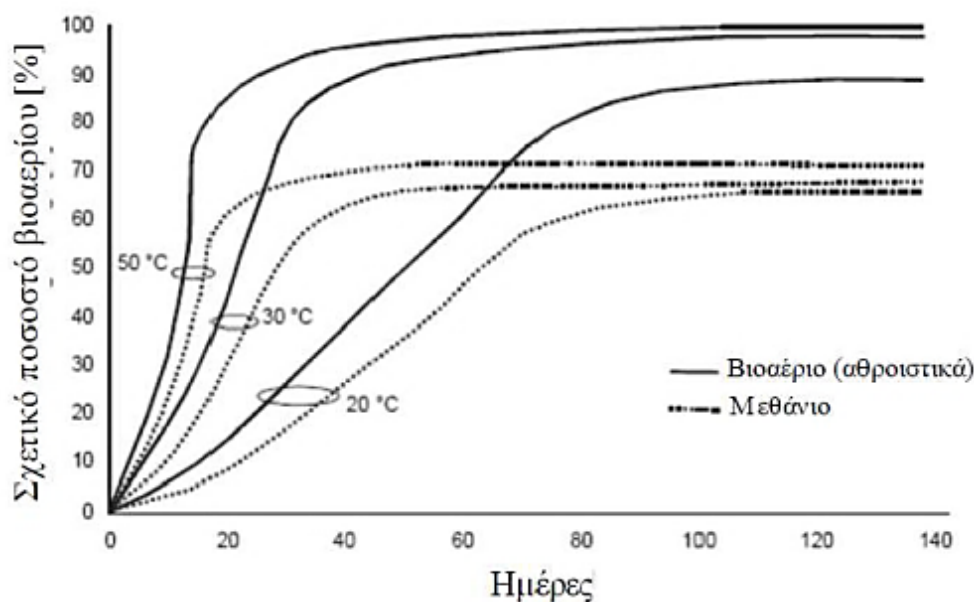
Όταν η χώνευση γίνεται στη ψυχρόφιλη ζώνη, ο χρόνος χώνευσης είναι τουλάχιστον 14 ημέρες. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες η χώνευση γίνεται ταχύτερα και η απόδοση αυξάνεται. Ανάλογα με τη σύσταση της βιομάζας, ποσοστό περίπου 40 - 50% της οργανικής ουσίας μετατρέπεται σε βιοαέριο. Από εφαρμογές σε υγρά απόβλητα ελαιουργείων στην Κρήτη, οι αποδόσεις παραγωγής βιοαερίου έφτασαν τα 6 m³ βιοαερίου ανά m³ αποβλήτων των ελαιουργείων. Τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων υφίσταντο ένα απλό διαχωρισμό σε δύο διαλύματα με διαφορετική πυκνότητα, σε μια δεξαμενή καθίζησης, και στη συνέχεια οδηγούνται σε ξεχωριστές δεξαμενές αναερόβιας χώνευσης. Η ζύμωση γίνεται στη μεσόφιλη περιοχή με χρόνους παραμονής στον αντιδραστήρα 5-15 ημερών. (ΚΑΠΕ, “Οδηγός Βιομάζας)

Η θερμογόνο δύναμη του βιοαερίου κυμαίνεται περίπου στα 5.000 kcal/Nm³ οπότε λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση σε m³ βιοαερίου του κάθε m³ υγρών αποβλήτων και την ετήσια παραγωγή ελαιοκαρπού στην Κρήτη (περίπου 500.000 τόνοι ελαιοκαρπού που αντιστοιχούν σε 750.000 m³ υγρών αποβλήτων) η ενεργειακή αξία του βιοαερίου που μπορεί να παραχθεί ετησίως στην Κρήτη ανέρχεται σε 2,25 10¹⁰ kcal/έτος. Η χρήση του βιοαερίου κρίνεται ιδανική για μηχανές εσωτερικής καύσης προς παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Παράλληλα, τα υγρά και στερεά παραπροϊόντα της επεξεργασίας του ελαιοπυρήνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως οργανικό λίπασμα για τις καλλιέργειες. (Βουρδούμπας Γ., Γεωργουσάκης Α)

Εντούτοις, η αναερόβια χώνευση του ελαιοπυρήνα παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως είναι η παραγωγή λάσπης (ιλύος) χαμηλής αξίας καθώς και η παρουσία του H₂S στο βιοαέριο το οποίο προσδίδει διαβρωτική δράση και απαιτείται η απομάκρυνσή του πριν τη χρήση του βιοαερίου. Άλλα προβλήματα που αντιμετωπίζει η διεργασία αυτή είναι η χαμηλή περιεκτικότητα νερού των στερεών αποβλήτων που προκύπτουν από την επεξεργασία με άμεση συνέπεια συχνές αποφράξεις καθώς και η υποχρεωτική προσθήκη ύδατος στην έναρξη της διαδικασίας. Τέλος, η αποθήκευση του βιοαερίου είναι ακόμα ένα θέμα το οποίο δύναται να επιβαρύνει σημαντικά τα λειτουργικά έξοδα της επένδυσης. (Γεωργακάκης Δ.& Νταλής Δ. 983)

3.5.1 Περιγραφή Διαδικασίας

Το βιοαέριο παράγεται μέσα από την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης της βιομάζας, στην περίπτωση μας του ελαιοπυρηνόξυλου (ξηρή ζύμωση). Ο ρυθμός παραγωγής του βιοαερίου φαίνεται στην Εικόνα 3.4.2 (Βολικάκη Χ. 2008).



Εικόνα 3.4.2: Ρυθμός παραγωγής βιοαερίου (Βολικάκη Χ. 2008)

Τα κύρια μειονεκτήματα της θερμοφίλης διεργασίας είναι (Κατσίρη Α 2011):

ο μεγάλος βαθμός ανισορροπίας,

η μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας λόγω της υψηλής θερμοκρασίας,

ο υψηλότερος κίνδυνος παρεμπόδισης της αμμωνίας.

Η αποδοτικότητα της μεθόδου (ολική απόδοση 10 - 15 % ηλεκτρική) εξαρτάται από μερικές κρίσιμες παραμέτρους, έτσι είναι σημαντικό να παρέχονται οι κατάλληλοι όροι για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς. Συγκεκριμένα οι παράμετροι καλής λειτουργίας είναι (Κατσίρη Α. 2011):

Η θερμοκρασία της διεργασίας.

Η τιμή του pH, του οποίου η βέλτιστη περιοχή είναι 5.5 - 8.5 .

Η παρουσία των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA), που παράγονται κατά την διάρκεια της οξικογένεσης.

Η παρουσία της ελεύθερης αμμωνίας (χαρακτηριστική οσμή)

Η παρουσία ιχνοστοιχείων (σίδηρο, νικέλιο, κοβάλτιο, σελήνιο), θρεπτικών ουσιών καθώς και τοξικών ουσιών

Η διεργασία ευνοείται από υγρό, θερμό και σκοτεινό περιβάλλον

Οι βιοαντιδραστήρες χώνευσης της βιομάζας μπορεί να είναι συνεχούς ή διαλείποντος έργου. Για τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας είναι απαραίτητη η μόνωση και πιθανώς η θέρμανση του βιοαντιδραστήρα. Το βιοαέριο που παράγεται μπορεί να αποθηκευθεί. Εφόσον αποθηκευθεί υπό συνήθη πίεση, απαιτούνται μεγάλοι αποθηκευτικοί χώροι αλλά εάν συμπιεσθεί και υγροποιηθεί, απαιτούνται υψηλές πιέσεις. Έτσι, για οικονομικούς λόγους προτιμάται η άμεση καύση του είτε για παραγωγή θερμότητας είτε για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα υγρά απόβλητα που απομένουν έχουν χαμηλότερο ρυπαντικό φορτίο από τα αρχικά απόβλητα και είναι σχετικά σταθεροποιημένα. Έχει μειωθεί η δυσοσμία τους, περιέχουν όμως παθογόνους μικροοργανισμούς. Ενδείκνυται η διάθεσή τους με προσοχή στους αγρούς για λίπανση λόγω της υψηλής λιπασματικής τους αξίας. Συνήθως όμως απαιτούνται αποθηκευτικοί χώροι που η κατασκευή τους κοστίζει αρκετά. (Βουρδούμπας Γ. 2007)

Το παραπροϊόν που προκύπτει από την αναερόβια χώνευση του ελαιοπυρηνόξυλου είναι το κομπόστ (= χωνευτή α' ύλη βιομάζας πλούσια σε άζωτο, κάλιο, φώσφορο και θρεπτικούς οργανισμούς), που χρησιμοποιείται κατά κόρον ως λίπασμα, ενώ λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε νερό έχει μεγάλο όγκο γεγονός που καθιστά αναγκαία την περαιτέρω επεξεργασία του για να βελτιστοποιηθεί η δυνατότητα αποθήκευσης του (μπορεί να φτάσει και τους 6 μήνες). Η διάθεση των υγρών μπορεί να γίνει, για πρακτικούς λόγους, μαζί με το νερό άρδευσης με τα συνήθη συστήματα άρδευσης της περιοχής. Με τον τρόπο αυτό υποκαθίστανται πλήρως οι ανάγκες χημικής λίπανσης για τα κύρια λιπαντικά στοιχεία, το άζωτο, το κάλιο και εν μέρει το φώσφορο. (Βουρδούμπας Γ)

Συγκρινόμενο με το ακατέργαστο ζωικό λίπασμα έχει βελτιωμένη αποδοτικότητα λίπανσης λόγω της ομοιογένειας και της υψηλής διαθεσιμότητας θρεπτικών συστατικών, την καλύτερη αναλογία C/N και την σχεδόν πλήρη απώλεια οσμών (οσμή αμμωνίας που όμως εξαφανίζεται πολύ γρήγορα). Η αποδοτικότητα εξαρτάται από τον χρόνο παραμονής της α' ύλης μέσα στον χωνευτήρα, την θερμοκρασία της διεργασίας, την τεχνική ανάδευσης και τον τύπο του χωνευτήρα. (Κούκιος Ε 2010, Βουρδούμπας Γ. 2007)

Η χρήση του κομπόστ ως λίπασμα βελτιώνει την κτηνιατρική ασφάλεια, όταν συγκρίνεται με τα μη επεξεργασμένα περιττώματα ζώων και τους πολτούς. Η ΑΧ υπονοεί την ελεγχόμενη υγιεινή του κομπόστ, προκειμένου να είναι κατάλληλο για τη χρήση του ως λίπασμα. Η υγιεινή του κομπόστ μπορεί να παρασχεθεί μέσω της παραμονής στη θερμόφιλη θερμοκρασία χώνευσης, την παστερίωση ή την αποστείρωση υπό πίεση, ανάλογα με τον τύπο της χρησιμοποιούμενης πρώτης ύλης. Σε όλες τις περιπτώσεις, ο στόχος είναι να αδρανοποιηθούν τα παθογόνα, να καθαριστούν οι σπόροι και οι άλλοι βιολογικοί κίνδυνοι και να σπάσει η αλυσίδα της μετάδοσης ασθενειών (π.χ κύκλος διάδοσης ζιζανίων). Πριν από την έξοδό του από

την εγκατάσταση βιοαερίου, το παραγόμενο κομπόστ αναλύεται και καθορίζονται τα θρεπτικά συστατικά του (CO, VS, N, P, K, pH). Οι αγρότες παραλαμβάνουν μόνο εκείνη την ποσότητα του κομπόστ που από το νόμο επιτρέπεται να διασκορπιστεί στους αγρούς. Η περίσσεια πωλείται ως λίπασμα στους καλλιεργητές της περιοχής. Σε κάθε περίπτωση, το κομπόστ ενσωματώνεται στο σχέδιο λίπανσης κάθε αγροκτήματος, αντικαθιστώντας τα ανόργανα λιπάσματα. (Βολικάκη Χ. 2008, Κατσίρη Α 2011)

3.6 Αναερόβια ζύμωση υγρών αποβλήτων ελαιουργείων (ΥΑΕ)

Οι βιολογικές διεργασίες για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων θεωρούνται φιλικές προς το περιβάλλον, αξιόπιστες και σε αρκετές περιπτώσεις οικονομικά βιώσιμες λύσεις. Ωστόσο, οι βιολογικές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή και στον εγκλιματισμό των μικροοργανισμών, λόγω της αντιμικροβιακής δράσης που παρουσιάζουν τα συγκεκριμένα απόβλητα έναντι ορισμένων μικροβιακών ειδών. Στην συνέχεια, θα γίνει μια σύντομη αναφορά στις βιολογικές μεθόδους που έχουν εφαρμοστεί για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων. (Βολικάκη Χ. 2008)

Η αναερόβια επεξεργασία αποτελεί κατάλληλη μέθοδο για την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου από ιδιαίτερα μολυσμένα υγρά απόβλητα. Πραγματοποιείται από βακτήρια που δεν χρειάζονται οξυγόνο για την αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων από τα υγρά απόβλητα. Γίνεται όμως με βραδύτερο ρυθμό, επειδή αυτοί οι μικροοργανισμοί έχουν χαμηλότερη μεταβολική δραστηριότητα αποικοδόμησης από ότι οι αερόβιοι, με αποτέλεσμα η αναερόβια επεξεργασία να είναι περισσότερο ευαίσθητη από την αερόβια μέθοδο. Η αναερόβια επεξεργασία των αποβλήτων εφαρμόζεται όλο και περισσότερο επειδή επιτρέπει την ανάκτηση σημαντικής ποσότητας μεθανίου για χρήση ως πηγή ενέργειας. Επιπλέον, κατά την αναερόβια επεξεργασία παράγονται σημαντικά μικρότερες ποσότητες ιλύος (λάσπης). Τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων είναι κατάλληλα για αναερόβια επεξεργασία, καθώς το ρυπαντικό φορτίο αποτελείται από οργανικές και διαλυτές ενώσεις, όπως σάκχαρα, πηκτίνη, κ.λ.π. Όμως, η παραγωγή μεθανίου (methanogenesis) συχνά παρεμποδίζεται στη βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων. Οι υψηλές συγκεντρώσεις COD και BOD5 (πάνω από 7 g/L), η έλλειψη αζώτου και φωσφόρου, η παρουσία πολυφαινόλων και λιπαρών οξέων στα υγρά απόβλητα προκαλούν αστάθεια στο μεταβολισμό των μικροοργανισμών και συμβάλλουν στη συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων (Rozzi et al., 1996). Εάν το οργανικό και ανόργανο φορτίο των αποβλήτων δεν είναι υψηλό, είναι δυνατόν η επεξεργασία να γίνει σε εγκαταστάσεις αστικών λυμάτων.

Η υψηλή περιεκτικότητα των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων σε ανόργανα άλατα αλλά κυρίως σε αφομοιώσιμες πηγές άνθρακα τα καθιστούν πρόσφορο υπόστρωμα για την ανάπτυξη ποικίλων αερόβιων μικροοργανισμών, όπως οι μύκητες *Pleurotus Ostreatus*, *Basilus Pumilus* και οι ζύμες *Yarrowia lipolytica* κ.ά.

Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου λαμβάνει χώρα μέσω οξειδωτικών μικροβιακών διεργασιών. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η αερόβια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων σε αντιδραστήρες διαλείποντος έργου οδήγησε σε μείωση του COD κατά 58-68% για απόβλητα με 65-98 g COD/L και μείωση του COD κατά 81-84% για απόβλητα με 22 g COD/L, ενώ και στις δυο περιπτώσεις παρατηρήθηκε μείωση των φαινολικών ενώσεων κατά 90% (Benitez et al. 1997).

Το οργανικό υλικό αποδομείται κυρίως προς μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, ενώ είναι δυνατή τόσο η αναερόβια παραγωγή υδρογόνου όσο και η φωτοβιολογική παραγωγή υδρογόνου (Eroglu et al., 2004). Η αραίωση του αποβλήτου, η προσθήκη θρεπτικών συστατικών και η ρύθμιση της αλκαλικότητας θεωρούνται ως αναγκαίες δράσεις για την ομαλή λειτουργία ενός αναερόβιου αντιδραστήρα. Αρκετοί ερευνητές έχουν μελετήσει την επίδραση της αραίωσης των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων όχι μόνο με νερό αλλά και με άλλα υγρά απόβλητα (όπως απόβλητα από χοιροστάσια, κοπριά, οικιακά υγρά απόβλητα, υγρά απόβλητα από σφαγεία κ.ά.) στην αναερόβια χώνευση (Angelidaki & Ahring 2002). Το επιπρόσθετο υγρό ρεύμα αποβλήτων εξασφαλίζει τα επιθυμητά επίπεδα pH και αλκαλικότητας και σε αρκετές περιπτώσεις τα θρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για την αναερόβια χώνευση. Σε πολλές περιπτώσεις, έχει δειχθεί ότι, η αναερόβια συγχώνευση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων με άλλα υγρά απόβλητα είναι πιο οικονομική και αποτελεσματική από την αναερόβια επεξεργασία κάθε ρεύματος ξεχωριστά. Ωστόσο, πολλές φορές είναι απαραίτητη η προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων ώστε να μειωθεί το υψηλό οργανικό φορτίο και το κλάσμα των ενώσεων (όπως πολυφαινόλες και λιπαρά οξέα μακριάς αλυσίδας) που δρουν παρεμποδιστικά για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς.

Με την μέθοδο αυτή επιδιώκεται με αναερόβιες διαδικασίες ο καθαρισμός των αποβλήτων και παράλληλα η ανάκτηση ενέργειας με τη μετατροπή των οργανικών υλικών σε μεθάνιο. Η αναερόβια επεξεργασία θεωρείται μέθοδος κατάλληλη για την επεξεργασία αποβλήτων με υψηλό ρυπαντικό φορτίο (COD 5000-40.000 mg/l), ενώ αντίθετα, η αερόβια επεξεργασία συνήθως είναι αποδοτικότερη σε απόβλητα με μικρότερο από 5000 ppm COD. Οι διεργασίες της αναερόβιας χώνευσης λαμβάνουν μέρος σε ειδικά διαμορφωμένες μονάδες τους βιοαντιδραστήρες και τα βακτήρια που λαμβάνουν μέρος είναι κυρίως οξεογόνα και μεθανογόνα τα οποία αναπτύσσονται στη μεσόφιλη και θερμοφιλή φάση και σε pH 6-9. Στην Ελλάδα προσπάθεια παραγωγής βιοαερίου με αναερόβια ζύμωση πραγματοποιήθηκαν από τον Νταλή (1989) και το Γεωργακάκη (1993). Στην πρώτη περίπτωση τα συνολικά απόβλητα των ελαιουργείων υποβάλλονται σε αναερόβια ζύμωση με βιοαντιδραστήρια αναρροής, χωρίς κατεργασία με ασβέστη για τη ρύθμιση του pH και την αφαίρεση

της ελαιώδους φάσεως. Διαπιστώθηκε αποικοδόμηση του αρχικού ρυπαντικού φορτίου κατά 75-80% και παραγωγή 895 m³ μεθανίου από 50 tn υγρών αποβλήτων ημερησίως. Αντίστοιχα οι Georgakakis & Dalis (1996) μελέτησαν την λειτουργία και απόδοση δυο τύπων αναερόβιων χωνευτήρων στη μεσόφιλη περιοχή των 35°C με παράλληλη παραγωγή βιοαερίου. Το παραγόμενο βιοαέριο θα μπορούσε να καλύψει ανάγκες θέρμανσης θερμοκηπίων. Αντίστοιχα στοιχεία από την Ισπανία (Fiestas & al. 1992) αναφέρουν την δυνατότητα μείωσης κατά 80% του οργανικού φορτίου (εκφρασμένο σε BOD₅) παράγοντας παράλληλα 0,855m³ βιοαερίου (80% CH₄ και 20% CO₂) ανά kg περιοριζόμενου BOD₅. Η ενέργεια που θα μπορούσε να παραχθεί, θεωρητικά υπερκαλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του ελαιουργείου και της εγκατάστασης βιομεθανοποίησης. Στα μειονεκτήματα των διάφορων μεθόδων βιομεθανοποίησης συγκαταλέγονται, η ανάγκη χρησιμοποίησης εξοπλισμού και εγκαταστάσεων μη τυποποιημένων και μεγάλου κόστους, η απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού (Γεωργακάκης, 1983) πρότεινε την εγκατάσταση της σε βιολογικούς καθαρισμούς αστικών λυμάτων για μείωση του απαιτούμενου εξειδικευμένου προσωπικού) που έχει σχέση με την συνεχή ρύθμιση των καταλλήλων συνθηκών ομαλής λειτουργίας της αναερόβιας ζύμωσης (ρύθμιση pH στην περιοχή δράσης των βακτηρίων, και θερμοκρασίας μεταξύ 30-38°C, κ.ά.).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Paredes et al., 2003, Eroglu et al., 2004), άλλες μέθοδοι που έχουν εφαρμοστεί για την προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων είναι η προσθήκη αλάτων ασβεστίου, η διήθηση, η φυγοκέντριση, η ιζηματοποίηση, ο οζονισμός και η αερόβια βιολογική προεπεξεργασία. Μελετήθηκε η επίδραση της προσθήκης CaCO₃ στην απομάκρυνση του οργανικού υλικού από υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων. Έδειξαν ότι με διήθηση του προεπεξεργασμένου αποβλήτου απομακρύνεται περίπου το 60% του οργανικού υλικού, ενώ η αναερόβια χώνευση που ακολουθεί οδηγεί σε επιπλέον μείωση κατά 89%. Επίσης έδειξαν ότι, κατά την αναερόβια χώνευση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων προεπεξεργασμένα με αέριο όζον αυξήθηκε σημαντικά το ποσοστό απομάκρυνσης του COD και η απόδοση σε μεθάνιο. Σύμφωνα με τους Borja et al. (1995), η αερόβια επεξεργασία υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων με τους μικροοργανισμούς *Geotrichum candidum*, *Azotobacter chroococum* και *Aspergillus terreus* οδήγησε σε μείωση του COD κατά 63.3, 74.5, 74% αντίστοιχα και μείωση των φαινολικών ενώσεων κατά 65.6, 90, 94.3% αντίστοιχα, ενώ η μετέπειτα αναερόβια χώνευση του προεπεξεργασμένου αποβλήτου οδήγησε σε αύξηση της απόδοσης σε μεθάνιο.

Τα πλεονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης είναι οι ελάχιστες απαιτήσεις σε ενέργεια, η μικρή απόδοση σε μικροβιακή μάζα και η συνεχής έκλυση αερίου μίγματος, το οποίο είναι ενεργειακά αξιοποιήσιμο. Ωστόσο, τα μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης της μονάδας, ο μεγάλος χρόνος παραμονής του αποβλήτου στον αντιδραστήρα (με τελικά προϊόντα μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα), η πρόκληση δυσάρεστων και ανεπιθύμητων οσμών, η ανάγκη για

προεπεξεργασία του αποβλήτου και τέλος η ανάγκη για επιπλέον επεξεργασία του τελικού υγρού προϊόντος.

Κομποστοποίηση είναι η ελεγχόμενη αερόβια βιολογική επεξεργασία στερεών αποβλήτων μέσω ενός θερμοφίλου σταδίου, κατά το οποίο εκλύεται θερμότητα λόγω των εξώθερμων αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα. Με την ολοκλήρωση της θερμοφίλης φάσης και της φάσης ωρίμανσης προκύπτει ένα σταθεροποιημένο οργανοχουμικό προϊόν, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό. Τα υγρά απόβλητων των ελαιοτριβείων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο ρύθμισης της υγρασίας (αντί του νερού) κατά την διάρκεια κομποστοποίησης διαφόρων στερεών οργανικών υπολειμμάτων (Paredes et al., 2003).

Τέλος, τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων περιέχουν πολύτιμα συστατικά, όπως φαινολικές και αντιοξειδωτικές ενώσεις, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες στη βιομηχανία παραγωγής φαρμάκων και καλλυντικών. Οι πιο σημαντικές και με μεγάλη εμπορική αξία αντιοξειδωτικές ενώσεις είναι η υδροξυ-τυροσόλη, η τυροσόλη και η ελευρωπαΐνη.

3.6.1 Βιοαντιδραστήρες επεξεργασίας ΥΑΕ

Στις βιβλιογραφικές αναφορές (Τσακιρίδης Δ. 2011) οι αναερόβιες διεργασίες που χρησιμοποιούν αντιδραστήρες (με διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά και σε διαφορετικές διατάξεις) για την επεξεργασία των ΥΑΕ είναι αυτές που έχουν παρουσιαστεί και μελετηθεί εκτενέστερα από κάθε άλλη μέθοδο επεξεργασίας.

Σε μια διάταξη που αποτελείται από δύο αντιδραστήρες στη σειρά (ανοδικής ροής και σταθερής κλίνης), που λειτουργεί κάτω από μεσόφιλες θερμοκρασίες ($35 \pm 1^\circ\text{C}$) για περίπου 390 ημέρες και με οργανικό φορτίο που κυμαίνεται από 2.8 – 12.7 g COD/l d, παρατηρήθηκε στον αντιδραστήρα ανοδικής ροής, σημαντική μείωση του COD κατά 83% (11g COD/l d) και ικανοποιητική παραγωγή βιοαερίου (2.1 l/l.digester.day). Στον δεύτερο αντιδραστήρα που χρησιμοποιήθηκε σαν συμπληρωματικό στάδιο για την επεξεργασία των ΥΑΕ υπήρξε περαιτέρω μείωση του COD κατά 8% με ταυτόχρονη παραγωγή βιοαερίου (0.22l/l.digester.day). Η απομάκρυνση των φαινολικών ενώσεων έφτασε το 75% στον αντιδραστήρα ανοδικής ροής με επιπλέον 45% απομάκρυνση στον αντιδραστήρα σταθερής κλίνης (Dalis D. 1996).

Για να ξεπεραστούν οι δυσκολίες και να βελτιωθεί η αποδοτικότητα και η σταθερότητα της διεργασίας υπάρχουν βασικά δύο μέθοδοι που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν (Τσακιρίδης Δ. 2011):

1. Διαχείριση μίγματος ΥΑΕ και ιλύος σε βιοαντιδραστήρες επαφής.
2. Διαχείριση αραιωμένου ΥΑΕ σε βιοαντιδραστήρες υψηλού ρυθμού όπως, χωνευτήρες ανοδικής ροής μέσω στρώματος ιλύος (UASB, up-flow anaerobic sludge blanket) και φίλτρα σταθερής κλίνης (fixed-bed filters).

Από μελέτη εργαστηριακής κλίμακας φάνηκε ότι με επεξεργασία μίγματος αποβλήτου (34%) και ιλύος με οργανική φόρτιση (COD) $4,2 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ στους $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Στο προς επεξεργασία απόβλητο που είναι χαμηλό σε θρεπτικά συστατικά, συνήθως προστίθεται συμπύκνωμα αμμωνίας για την ρύθμιση του λόγου C/N (20/1 θεωρείται η βέλτιστη αναλογία) και την σταθεροποίηση του pH σε ουδέτερες τιμές. Βέβαια κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλα αλκαλικά χημικά όπως ουρία, άσβεστος και όξινο ανθρακικό νάτριο. Επιπλέον έχει μελετηθεί η αναερόβια συν-χώνευση δύο τύπων αποβλήτων με χρήση αντιδραστήρων ΥΑΕ, όπως για παράδειγμα των ΥΑΕ και της κοπριάς από χοίρους χωρίς προσθήκη πηγής αζώτου, καθώς και των ΥΑΕ με οικιακά απόβλητα και ιλύος από εγκαταστάσεις βιολογικών καθαρισμών (Angelidaki et al.2002) ή απόβλητα γαλακτοβιομηχανιών. Έχουν κατασκευαστεί επίσης και εργαστηριακοί αντιδραστήρες UASB οι οποίοι λειτουργούν σταθερά κάτω από μικρές σχετικά τιμές οργανικής φόρτισης ($5 - 18 \text{ kg m}^{-3}\text{day}^{-1}$), υδραυλικό χρόνο παραμονής της τάξης των 1 – 2 ημερών και συνολική απομάκρυνση COD κατά 75% (Ubay, G. 1997).

Πλούσια είναι η βιβλιογραφία και για την χρήση αναερόβιων αντιδραστήρων χώνευσης. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει πλούσιο ενδιαφέρον για την διαχείριση των ΥΑΕ και αποτελεί μια ευρέως διαδεδομένη διεργασία.

Αναερόβιος υβριδικός αντιδραστήρας χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία ΥΑΕ με ρυθμό φόρτισης COD $24 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$. Η ικανότητα απομάκρυνσης διαλυτού COD έφτασε το 61,7 % ενώ το μεθάνιο ήταν το 78,5 % της συνολικής παραγωγής βιοαερίου . Αναερόβιες λίμνες εξατμισοδιαπνοής έχουν χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση του αποβλήτου, ώστε να ελεγχθεί η περιβαλλοντική μόλυνση και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί το απόβλητο ως λίπασμα, έπειτα από ηλιακή ξήρανση. Τέτοιες λίμνες μπορεί να εξυπηρετήσουν στην εξισορρόπηση του οργανικού φορτίου, πριν το απόβλητο υποστεί επεξεργασία με κάποια άλλη διεργασία. Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου κυμαίνεται μεταξύ 30 και 80 %, ενώ απαιτούνται 2 – 4 μήνες για να επιτευχθεί (Rozzi et al., 1996). Οι αναερόβιες λίμνες εξατμισοδιαπνοής μπορούν να θεωρηθούν μία εύκολη μέθοδος επεξεργασίας, ειδικότερα σε περιοχές με θερμό κλίμα, όπως είναι η περίπτωση της λεκάνης της Μεσογείου. Η μεταφορά λοιπόν των παραγόμενων αποβλήτων από μικρές μονάδες σε μια αναερόβια λίμνη είναι μία εφικτή λύση στο πρόβλημα.

Ανάλογα με την πολυπλοκότητα της σταθερής αυτής κλίνης, οι διεργασίες χωρίζονται σε αυτές ενός σταδίου (one –stage/single stage) με υδραυλικό χρόνο παραμονής μέχρι και 14 ημέρες και δύο σταδίων με υδραυλικό χρόνο παραμονής 15 – 40 ημέρες (twostage/ multiple stage). Η χρήση ενός μόνο αντιδραστήρα, παρόλο που απλοποιεί την μέθοδο και συνεπώς το κόστος της εκάστοτε εγκατάστασης, ταυτόχρονα δεν

επιτρέπει τον πλήρη έλεγχο των αναερόβιων διεργασιών του συστήματος. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί τα βακτήρια που παράγουν οξέα στην πρώτη φάση την αναερόβιας αποικοδόμησης, μειώνουν το pH του αποβλήτου, ενώ τα βακτήρια που αναπτύσσονται σε μεσόφιλες θερμοκρασίες, απαιτούν αυστηρά σταθερές τιμές pH. Αντίθετα στη μέθοδο δύο φάσεων τα ΥΑΕ επεξεργάζονται σε δύο αντιδραστήρες. Συνήθως, ο δεύτερος αντιδραστήρας λειτουργεί σε μεσόφιλες ή θερμοφιλες θερμοκρασίες και εκεί λαμβάνει χώρα η μεθανογένεση.

Σε γενικές γραμμές γίνεται χώνευση των ΥΑΕ με οργανικό φορτίο περίπου 15 – 70 kg COD m³ σε εργαστηριακούς ή δοκιμαστικούς χωνευτές μέγιστου ογκομετρικού φορτίου 2 – 4 kg COD m⁻³ day⁻¹ που υπόσχονται απομάκρυνση του COD κατά 80 – 85 % (Beccari, M. 1998).

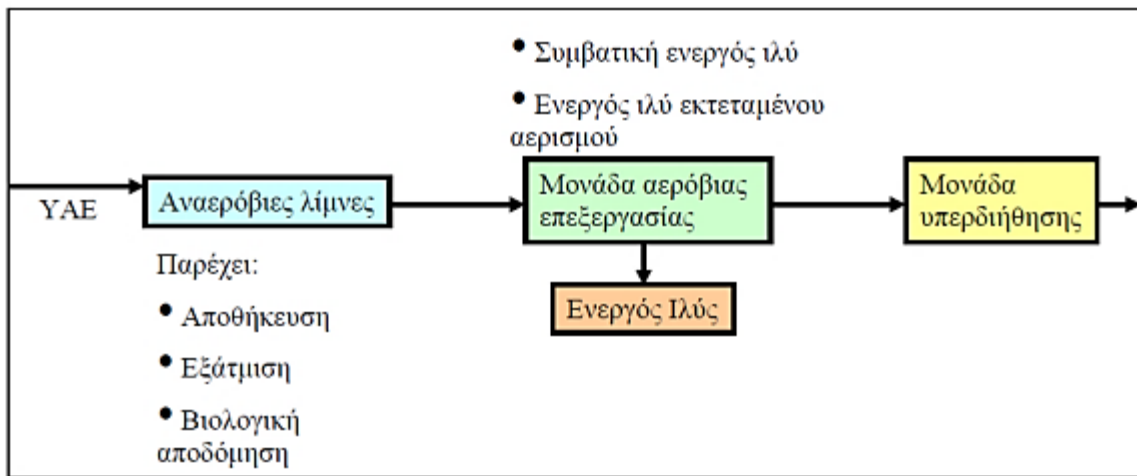
Στα αναερόβια φίλτρα, οι μ/ο είναι προσκολλημένοι σε σταθερά φυσικά ή συνθετικά πληρωτικά υλικά ως φορείς και χωρίζονται σε ανοδικής ή καθοδικής ροής. Στην πράξη για την επεξεργασία των ΥΑΕ έχουν κυρίως τα αναερόβια φίλτρα ανοδικής ροής. Τα κύρια πλεονεκτήματα της αναερόβιας αυτής μεθόδου, είναι η μικρή απαίτησή τους σε συνεχή έλεγχο καθώς και η ανοχή τους σε υψηλές στιγμιαίες υπερφορτώσεις. Εντούτοις, τα αναερόβια φίλτρα τείνουν εύκολα σε φράξιμο από την αύξηση της βιομάζας ή τη συσσωμάτωση στερεών από τα υγρά απόβλητα. Άλλα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι συνέπεια της φύσης της εμβολικής ροής στον αντιδραστήρα. Οι διακυμάνσεις pH και συγκεντρώσεων των συστατικών ανά το ύψος της κλίνης, έχουν ως αποτέλεσμα αντίστοιχες ανομοιογένειες αναφορικά με τον τύπο, την πυκνότητα και τη δραστηριότητα του καθηλωμένου μικροβιακού πληθυσμού. (Rozzi et al. 1996)

3.6.2 Προβλήματα διεργασίας

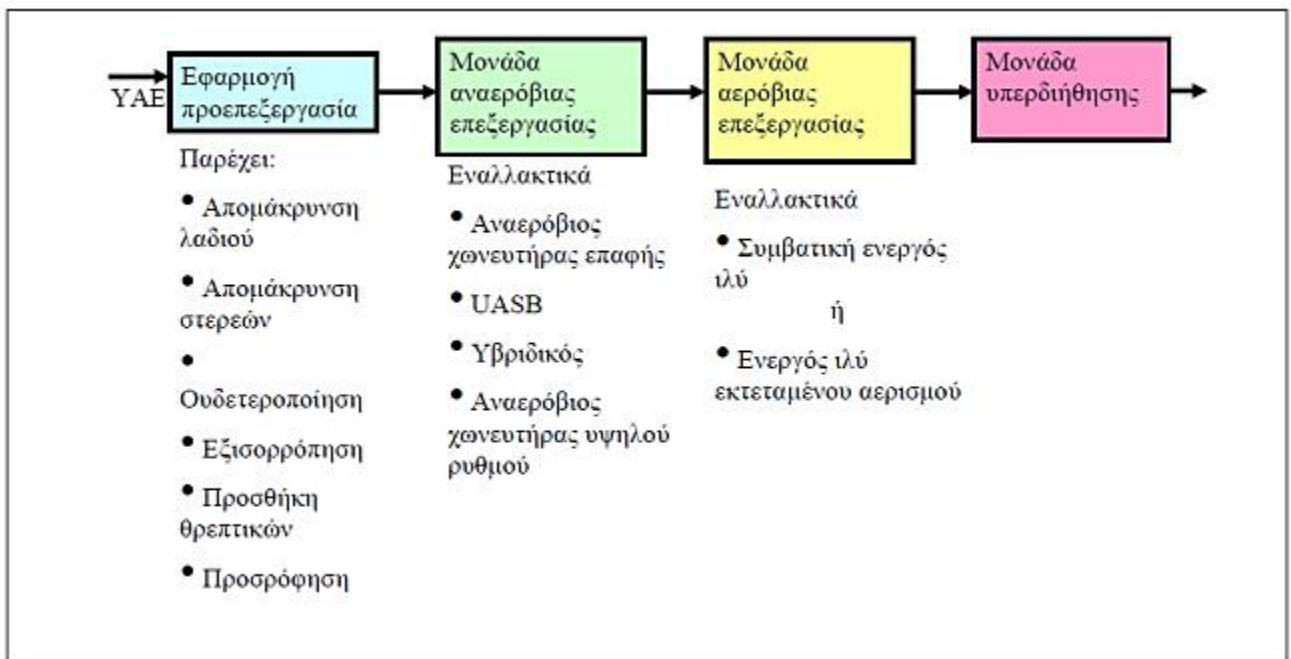
Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που έχει αναφερθεί από πολλούς μελετητές, οφείλεται στην υψηλή συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων και των λιπιδίων που περιέχονται στα ΥΑΕ. Οι ενώσεις αυτές δρουν σαν αναστολείς ενάντια στην ανάπτυξη των μεθανογενών βακτηρίων (Γεωργακάκης Δ.& Νταλής Δ., (1983). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση της βιολογικής αποικοδόμησης, την εμπόδιση περαιτέρω μείωσης του οργανικού φορτίου και κατά συνέπεια μείωση της οικονομικής βιωσιμότητας μιας αναερόβιας εγκατάστασης.

Βέβαια, θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να μην υπάρξει διαφυγή από το βυθό της λίμνης στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Υπόψη θα πρέπει επίσης να ληφθούν και κάποιοι μετεωρολογικοί παράγοντες της περιοχής, όπως η κατεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου, ώστε να ελαχιστοποιηθούν άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, εξαιτίας της απελευθέρωσης μεθανίου και άλλων δύσοσμων αερίων. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των αναερόβιων συστημάτων είναι η παραγωγή βιοαερίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται δύο εναλλακτικά σενάρια επεξεργασίας βασισμένα

στην αναερόβια βιολογική επεξεργασία ακολουθούμενη από αερόβια βιολογική επεξεργασία και υπερδιήθηση, με τη βοήθεια μεμβρανών. (Τσακίριδης Δ. 2011)



Εικόνα3.4.3: Αναερόβιο σύστημα εξατμισοδιαπνοής + Αερόβια μονάδα + Μεμβράνες Τσακίριδης Δ. 2011)



Εικόνα 3.4.4: Αναερόβιο σύστημα υψηλού ρυθμού + Αερόβια μονάδα + Μεμβράνες (Τσακίριδης Δ. 2011)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: :Βιοαέριο και Αναβάθμισή του σε Βιομεθάνιο

4.1 Γενικά για το βιοαέριο

Το βιοαέριο παράγεται σε κατάλληλους χωνευτές (digesters) από την αναερόβια χώνευση (ΑΧ) κτηνοτροφικών κυρίως αποβλήτων, όπως είναι τα λύματα των χοιροστασίων, πτηνοτροφείων, βουστασίων καθώς και άλλων αγροτοβιομηχανικών μονάδων (ελαιουργείων, σφαγείων, τυροκομείων, ιχθυοτροφείων κ.α.), λύματα των βιολογικών καθαρισμών καθώς και από την αποσύνθεση του οργανικού κλάσματος απορριμμάτων στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ).

Κατά τα τελευταία έτη οι παγκόσμιες αγορές για το βιοαέριο αυξήθηκαν κατά 20 ως 30% το χρόνο και πολλές χώρες έχουν αναπτύξει σύγχρονες τεχνολογίες βιοαερίου και έχουν πετύχει να καθιερώσουν ανταγωνιστικές εθνικές αγορές βιοαερίου μετά από δεκαετίες εντατικής έρευνας και ανάπτυξης, λαμβάνοντας σημαντικές κυβερνητικές επιχορηγήσεις και δημόσια υποστήριξη.

Ο Ευρωπαϊκός τομέας του βιοαερίου αριθμεί χιλιάδες εγκαταστάσεις, σε χώρες όπως η Γερμανία, η Αυστρία, η Δανία και η Σουηδία είναι μεταξύ των τεχνικών προδρόμων, με τον μεγαλύτερο αριθμό σύγχρονων εγκαταστάσεων βιοαερίου. Ένας σημαντικός αριθμός τέτοιων εγκαταστάσεων λειτουργούν επίσης σε άλλα μέρη του κόσμου. Στην Κίνα, εκτιμάται ότι το 2006 λειτουργούσαν πάνω από 18 εκατομμύρια αγροτικοί οικιακοί χωνευτήρες βιοαερίου, και το συνολικό δυναμικό βιοαερίου της Κίνας υπολογίζεται ότι είναι 145 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Στην Ινδία την περίοδο αυτή βρίσκονται σε λειτουργία περίπου 5 εκατομμύρια εγκαταστάσεις βιοαερίου μικρής κλίμακας. Άλλες χώρες όπως το Νεπάλ και το Βιετνάμ έχουν επίσης σημαντικούς αριθμούς οικιακών εγκαταστάσεων βιοαερίου πολύ μικρής κλίμακας.

Οι περισσότερες εγκαταστάσεις βιοαερίου στην Ασία χρησιμοποιούν απλές τεχνολογίες, και επομένως είναι εύκολο να σχεδιαστούν και να γίνει αναπαραγωγή τους. Στην άλλη πλευρά του Ατλαντικού, χώρες όπως οι ΗΠΑ, ο Καναδάς και πολλές χώρες της Λατινικής Αμερικής έχουν ξεκινήσει την ανάπτυξη σύγχρονων τομέων βιοαερίου και παράλληλα εφαρμόζονται ευνοϊκά πολιτικά πλαίσια, για την υποστήριξη αυτής της ανάπτυξης. (Agaritidis I., Zafiridis C. 2006)

Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) 55-70% και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) 30-45%. Επίσης περιέχει ελάχιστες ποσότητες άλλων αερίων, όπως άζωτο, υδρογόνο, αμμωνία και υδρόθειο, και η κατώτερη θερμογόνος δύναμή του κυμαίνεται από 20 έως 25 MJ/m^3 . Το βιοαέριο μπορεί να τροφοδοτήσει μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), καυστήρες αερίου ή αεριοστροβίλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Επίσης είναι δυνατή η χρήση βιοαερίου σε

μικρο- αεριοστρόβιλους (micro gas turbine) δυναμικότητας 25kW - 100kW για παραγωγή ενέργειας.

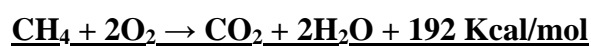
Το χωνεμένο υπόλειμμα που βρίσκεται στον χωνευτή μετά την διαδικασία της ΑΧ είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί σαν αυτούσιο οργανικό λίπασμα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1, ή με κατάλληλες τεχνικές, όπως διαχωρισμό, ιζηματογένεση, υπερδιήθηση, αντίστροφη όσμωση, να τροποποιηθεί σε υγρό και στερεό λίπασμα άριστης ποιότητας, και σε νερό άρδευσης. (Al Seadi et al., 2001)

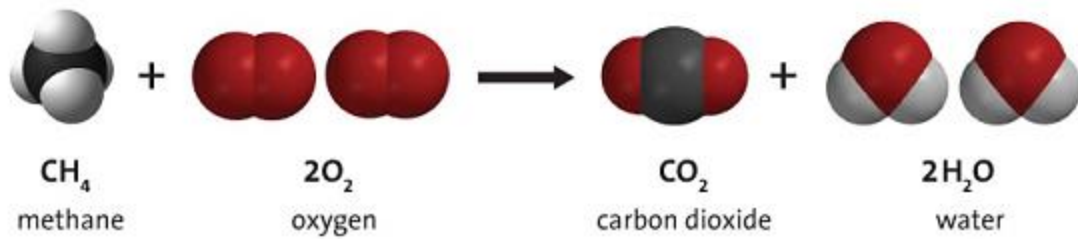


Εικόνα 4.1: Σχηματική αναπαράσταση του κλειστού κύκλου της συγκεντρωμένης αναερόβιας χώνευσης (Al Seadi et al., 2001)

4.2 Χημική Σύσταση

Το **βιοαέριο** είναι ένα αέριο καύσιμο μίγμα που έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε πολλές σημαντικές εφαρμογές για την παραγωγή ενέργειας. Η βασική ένωση που περιέχεται στο μίγμα του βιοαερίου και του προσδίδει ιδιότητες καυσίμου είναι το μεθάνιο (CH₄). Το μεθάνιο καίγεται με μεγάλη ευκολία σύμφωνα με την γνωστή εξώθερμη αντίδραση καύσης (Εικόνα 4.2):





Εικόνα 4.2: Μοριακή δομή των αντιδρώντων και των προϊόντων της καύσης (www.biofuels.gr)

Η τέλεια καύση 1 m³ μεθανίου παράγει 8.570 kcal θερμότητας. Θεωρώντας ότι το βιοαέριο έχει 50% περιεχόμενο σε μεθάνιο, η μέση θερμαντική τιμή του είναι περίπου 21 MJ/Nm³, η μέση πυκνότητα 1,15 kg/Nm³. (www.cres.gr)

Εκτός από μεθάνιο, το μίγμα του βιοαερίου περιέχει και σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), το οποίο είναι μη καύσιμο αέριο, καθώς και μικρότερες ποσότητες και ίχνη από άλλες ενώσεις. Μια τυπική σύσταση του βιοαερίου δίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 4.1: Τυπική χημική σύσταση του βιοαερίου (www.biomassenergy.gr)

<i>Συστατικό</i>	<i>Χημικός Τύπος</i>	<i>Περιεκτικότητα (% κ.ο.)</i>
Μεθάνιο	CH ₄	55-70
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	30-45
Άζωτο	N ₂	0-5
Οξυγόνο	O ₂	<1
Υδρογονάνθρακες	C _n H _{2n+2}	<1
Υδρόθειο	H ₂ S	0-0,5
Αμμωνία	NH ₃	0-0,05
Υδρατμοί	H ₂ O	1-5
Σιλοξάνες	C _n H _{2n+1} SiO	0-50 mg/m ³

Το διοξείδιο του άνθρακα απομακρύνεται μόνο στις μονάδες αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο (σε ισοδύναμο φυσικού αερίου, δηλαδή). Στις συμβατικές

μονάδες συμπαραγωγής με βιοαέριο δεν χρησιμοποιείται εξοπλισμός δέσμευσης του CO₂.

Το άζωτο και το οξυγόνο στο βιοαέριο βρίσκονται, συνήθως, σε αναλογία 4:1. Η παρουσία τους οφείλεται στην εσκεμμένη ανάμιξη του θερμού βιοαερίου με αέρα, για την απομάκρυνση του υδρόθειου.

Η περιεκτικότητα της αμμωνίας στο βιοαέριο είναι στις περισσότερες περιπτώσεις πολύ μικρή και δεν υπερβαίνει τα 0,1 mg/m³. Η ύπαρξη αυξημένων συγκεντρώσεων αμμωνίας υποδηλώνει ότι έχει χρησιμοποιηθεί κατά την αναερόβια χώνευση υλικό με υψηλή συγκέντρωση σε άζωτο (π.χ. κοπριά πουλερικών).

Αντιθέτως, η συγκέντρωση του **υδρόθειου** στο βιοαέριο είναι καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα του βιοαερίου. Χωρίς να χρησιμοποιηθεί κάποιο στάδιο αποθείωσης του βιοαερίου η συγκέντρωση του μπορεί να ξεπεράσει τα 0,2% κ.ο., ποσότητα ικανή για να δημιουργήσει σημαντικές φθορές λόγω διάβρωσης στις μετέπειτα σωληνώσεις και στην μηχανή συμπαραγωγής. Πολλοί κατασκευαστές μηχανών, μάλιστα, θέτουν ως ανώτατο όριο στην συγκέντρωση υδρόθειου στο βιοαέριο την τιμή του 0,05 % κ.ο. Ένα επιπλέον θέμα που προκύπτει από την ύπαρξη υδρόθειου σε υψηλά επίπεδα είναι οι αυξημένες εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) από την μονάδα.

Η παρουσία του νερού, υπό την μορφή υδρατμών, είναι αναπόφευκτη λόγω των βιοχημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά την αναερόβια χώνευση. Όπως και το υδρόθειο, έτσι και η παρουσία των υδρατμών είναι ανεπιθύμητη στο ρεύμα βιοαερίου που οδηγείται στη μηχανή συμπαραγωγής λόγω της διάβρωσης που μπορεί να προκαλέσει στον μηχανολογικό εξοπλισμό. Υψηλές συγκεντρώσεις υδρατμών καθιστούν ακόμα και το διοξείδιο του άνθρακα επιβλαβές, λόγω του σχηματισμού μικρών ποσοτήτων ανθρακικού οξέος. Κατά συνέπεια, η απομάκρυνση της υγρασίας είναι ένα ακόμα βήμα για την προεπεξεργασία του βιοαερίου, πριν την εισαγωγή του σε μηχανή συμπαραγωγής.

Οι **σιλοξάνες**, τέλος, είναι ενώσεις του πυριτίου και προέρχονται ως επί το πλείστον από συγκεκριμένες κατηγορίες υλικών που συμμετάσχουν στην αναερόβια χώνευση. Τέτοια υλικά είναι τα αστικά στερεά ή υγρά απόβλητα. Έτσι η παρουσία τους είναι έντονη στο βιοαέριο χωματερής ή εκείνο από βιολογικούς καθαρισμούς, ενώ δεν αποτελεί πρόβλημα για τις αγροτικές μονάδες βιοαερίου. Η παρουσία των σιλοξανών στο βιοαέριο είναι ιδιαίτερα ανεπιθύμητη, καθώς έχουν την τάση, σε υψηλές θερμοκρασίες, να αντιδρούν με το οξυγόνο και να σχηματίζουν διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂) το οποίο επικάθεται σε διάφορα μέρη του μηχανολογικού εξοπλισμού δημιουργώντας τους σοβαρότατες φθορές. (www.biomassenergy.gr, www.biofuels.gr)

4.3 Υποστρώματα για την παραγωγή βιοαερίου

Η πρώτη ύλη σε μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου είναι καθοριστική ως προς την ισχύ της μονάδας και την ενέργεια (ηλεκτρική και θερμική) που θα παράγει.

Αναλόγως τη προέλευση της βιομάζας που χρησιμοποιείται, διακρίνουμε δυο διαφορετικά είδη μονάδων αναερόβιας χώνευσης και παραγωγής βιοαερίου: τις *αγροτικές* και τις *βιομηχανικές*. Στις πρώτες πραγματοποιείται ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας που προκύπτει από τις διάφορες αγροτο-κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Η ζωική κοπριά και τα ενσιρώματα ενεργειακών καλλιεργειών (π.χ. καλαμπόκι, μηδική) αποτελούν τις δημοφιλέστερες πρώτες ύλες για την λειτουργία αγροτικών μονάδων παραγωγής βιοαερίου.

Στις βιομηχανικές μονάδες αναερόβιας χώνευσης η πρώτη ύλη είναι οργανικά βιομηχανικά απόβλητα, είτε σε στερεή ή σε υγρή μορφή. Παραδείγματος χάριν, η χρησιμοποίηση των στερεών υπολειμμάτων τροφίμων, των απόβλητων σφαγείων ή των υγρών αποβλήτων των τυροκομείων, των ελαιοτριβείων και των χυμοποιείων, λαμβάνει χώρα σε βιομηχανικές μονάδες παραγωγής βιοαερίου

Το είδος της οργανικής πρώτης ύλης που επεξεργάζεται μια μονάδα αναερόβιας χώνευσης καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την μορφή και τη λειτουργία της. Στις βιομηχανικές μονάδες παραγωγής βιοαερίου απαιτείται, πολλές φορές, η προεπεξεργασία της πρώτης ύλης σε υψηλές θερμοκρασίας (παστερίωση ή/και αποστείρωση) προτού εισέλθει στο χωνευτήρα. Για την αποφυγή περιβαλλοντικών οχλήσεων από την έκλυση δυσάρεστων οσμών, ο εξοπλισμός επεξεργασίας και τροφοδοσίας των στερεών βιομηχανικών αποβλήτων βρίσκεται εγκατεστημένος σε κλειστό χώρο. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας στο είδος και τη σύσταση των οργανικών βιομηχανικών αποβλήτων, η αναερόβια χώνευση τέτοιων υλικών είναι περισσότερο σύνθετη και απαιτεί μεγαλύτερη εμπειρία και εξειδίκευση από τον κατασκευαστή της μονάδας.

Αντίθετα, μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου που χρησιμοποιεί αγροτική βιομάζα είναι σαφώς ευκολότερη στην κατασκευή και λειτουργία της. Η σύσταση τόσο της κοπριάς, όσο και των ενεργειακών καλλιεργειών δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, ενώ δεν είναι υποχρεωτική η θερμική προεπεξεργασία της βιομάζας. (Agaritidis I. and Zafiris C. 2006, Al Seadi, T. (2001)

Για την επιλογή της κατάλληλης μονάδας παραγωγής βιοαερίου, ο επενδυτής θα πρέπει να καθοδηγηθεί από παράγοντες όπως είναι το είδος και η ποσότητα της πρώτης ύλης που διαθέτει. Επίσης, είναι βασικός ο κατάλληλος σχεδιασμός της μονάδας ώστε να είναι εφικτή η χρήση της παραγόμενης θερμότητας από το σύστημα συμπαραγωγής όπου καταναλώνεται το βιοαέριο. Για να υπάρχει μια σχετική τάξη μεγέθους, μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου με ηλεκτρική ισχύ 500 kW_{el} μπορεί να παράγει περίπου 4.000.000 kWh ηλεκτρικής ενέργειας και 4.400.000 kWh

θερμότητας. Η εγκατάσταση μιας τέτοιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου προσφέρει καθαρή ηλεκτρική ενέργεια σε 900 σπίτια και, ταυτόχρονα, καλύπτει τις ανάγκες για θερμότητα σε περίπου άλλα 220. (Zafiridis, Ch. 2009)

Οι πιο κοινές κατηγορίες πρώτης ύλης που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του βιοαερίου είναι:

- Ζωικά περιττώματα και πολτοί (Εικόνα 4.3)
- Γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα
- Οργανικά απόβλητα που μπορούν να υποστούν χώνευση από τρόφιμα και αγροτοβιομηχανίες (φυτικής και ζωικής προέλευσης) (Εικόνα 4.4)
- Το οργανικό μέρος των αστικών αποβλήτων και από τις επιχειρήσεις εστίασης (φυτικής και ζωικής προέλευσης)
- Λυματολάσπη
- Ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες (π.χ. αραβόσιτος, μίσχανθος, σόργο)



Εικόνα 4.3: Εγκατάσταση βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος στη Δανία, για συγχώνευση ζωικών πολτών και ενεργειακών καλλιεργειών (groengas.nl)



Εικόνα 4.4: Εγκατάσταση βιοαερίου στη Γερμανία, που επεξεργάζεται κοπριές από χοίρους, πουλκερικά και σωρούς χόρτων (www.kriegfischer.de)

Η πιο πρόσφατη εξέλιξη είναι ο σχεδιασμός εγκαταστάσεων βιοαερίου βασιζόμενων στις ενεργειακές καλλιέργειες. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι το ενεργειακό περιεχόμενο των ενεργειακών καλλιιεργειών είναι πολύ υψηλότερο απ' ότι αυτό των περισσότερων οργανικών αποβλήτων. Εντούτοις, περιορισμοί και ανησυχίες προκύπτουν όσον αφορά τα κόστη λειτουργίας, καθώς και τη χρήση και τη διαθεσιμότητα του εδάφους. Μια τέτοια εγκατάσταση παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.5.



Εικόνα 4.5: Εγκατάσταση βιοαερίου στη Γερμανία που κατασκευάστηκε το 2005 για τη χώνευση ενεργειακών καλλιιεργειών (www.kriegfischer.de)

4.4 Στάδια Παραγωγής Βιοαερίου

Μία εγκατάσταση παράγει βιοαέριο και οργανικό λίπασμα αξιοποιώντας μεγάλη ποικιλία οργανικών πρώτων υλών, όπως προαναφέρθηκαν, κτηνοτροφικά απόβλητα αγροτικά και αγροτοβιομηχανικά υπολείμματα και απόβλητα, καθώς και ενεργειακά φυτά. Μέσω της αναερόβιας χώνευσης αυτών των υλών παράγεται το βιοαέριο, όπου τα κύρια βήματα της διεργασίας παραγωγής του παρουσιάζονται αναλυτικά στην Εικόνα 4.6, μέχρι την τελική διάθεση – χρήση του. (Σιούλας Κ. ΚΑΠΕ)

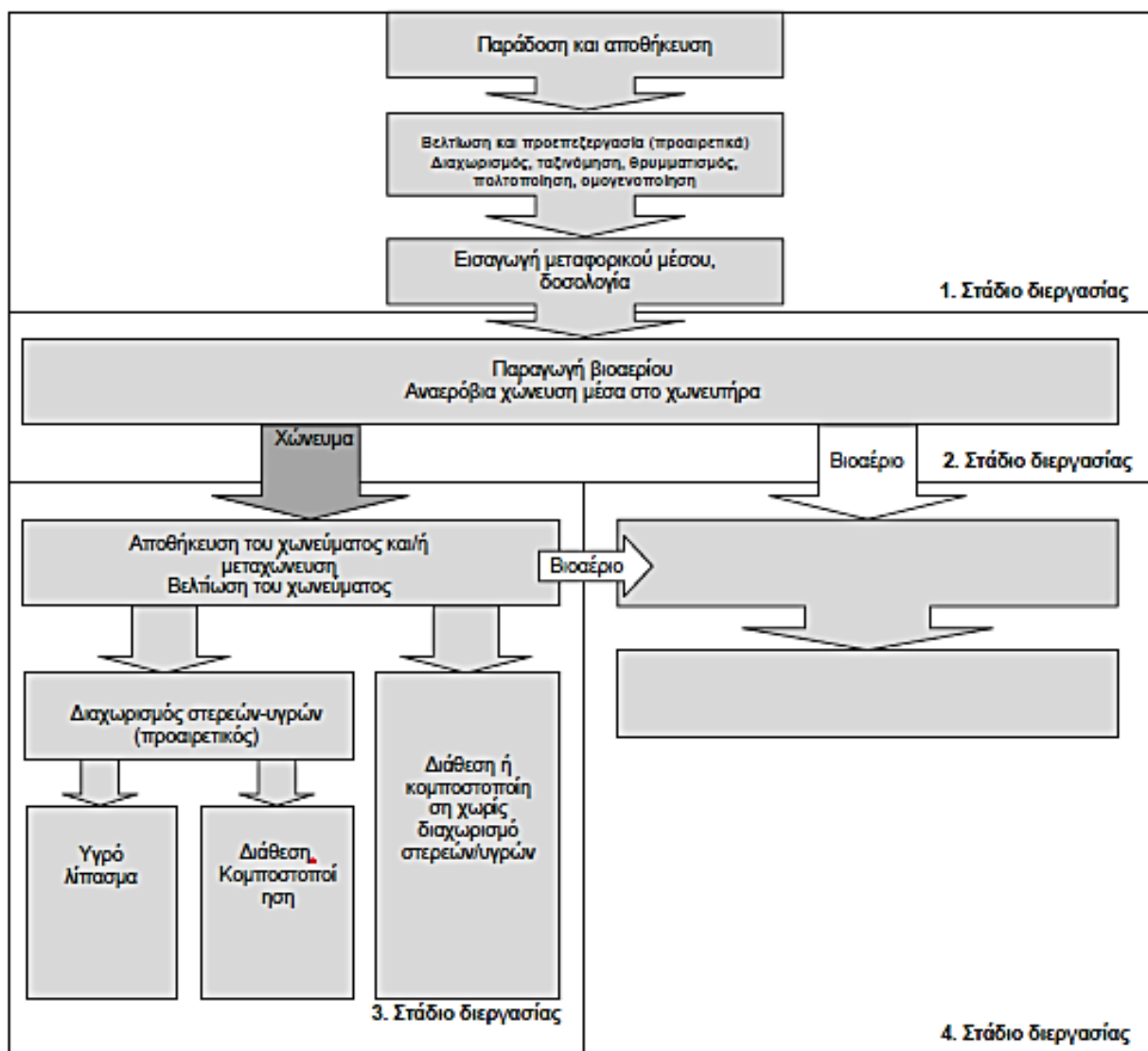


Εικόνα 4.6: Κύρια βήματα διεργασίας παραγωγής βιοαερίου (Σιούλας Κ. ΚΑΠΕ)

Τα βήματα της διεργασίας που περιγράφονται με πλάγιους χαρακτήρες δεν αποτελούν κοινές πρακτικές για τις γεωργικές εγκαταστάσεις βιοαερίου. Η διαφοροποίηση της υγρής και ξηρής ΑΧ είναι μόνο θεωρητική, δεδομένου ότι οι μικροβιολογικές διεργασίες πραγματοποιούνται πάντα σε ρευστά μέσα. Το όριο μεταξύ της υγρής και της ξηρής χώνευσης καθορίζεται από την «αντλησιμότητα» της πρώτης ύλης. Ένα περιεχόμενο ξηρής ουσίας (ΞΟ) άνω του 15% σημαίνει ότι το υλικό δεν είναι «αντλήσιμο» και η ΑΧ σε αυτήν την περίπτωση ορίζεται ως ξηρή χώνευση. Η άμεση τροφοδοσία σχετικά ξηρής πρώτης ύλης (όπως π.χ. η χορτονομή) στον χωνευτήρα αυξάνει την περιεκτικότητα σε ΞΟ του μίγματος πρώτης ύλης.

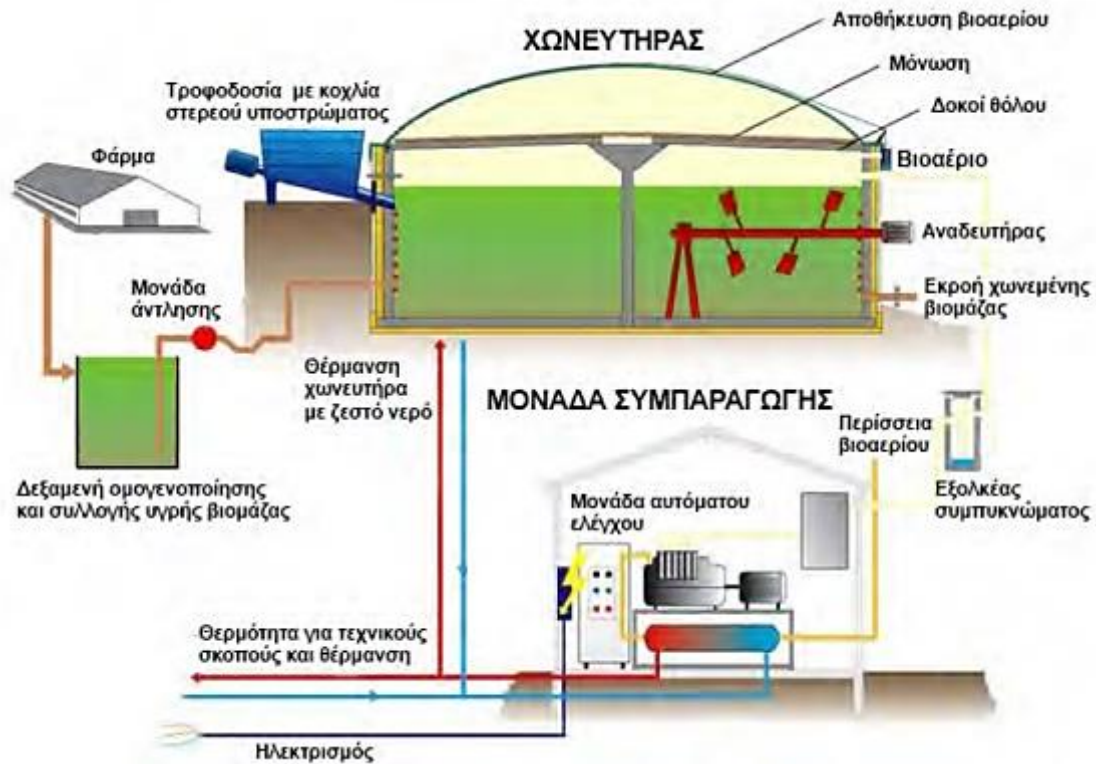
Τα περισσότερα είδη υποστρώματος (βιομάζας, πρώτων υλών) μπορούν να αναμιχθούν μεταξύ τους. Από τις δεξαμενές προ-επεξεργασίας τα υλικά μεταφέρονται στους χωνευτήρες, που αποτελούν και το κύριο μέρος της όλης εγκατάστασης. Οι χωνευτήρες θερμαίνονται με τη βοήθεια μέσων θερμότητας.

Όλη η διαδικασία ζύμωσης (χώνευσης) εκτελείται από αναερόβιους μικροοργανισμούς, οι οποίοι εγχέονται μέσα στο χωνευτήρα, μόνο μία φορά κατά την εκκίνηση λειτουργίας (εκτός από τις περιπτώσεις που η βιομάζα εμπεριέχει ήδη τα κατάλληλα βακτήρια – π.χ. ζωικά απόβλητα). Ο χωνευτήρας είναι ερμητικά σφραγισμένος, διότι πρέπει να διατηρούνται συνθήκες πλήρους έλλειψης οξυγόνου. Στην Εικόνα 4.7 που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα αναλυτικό διάγραμμα ροής των σταδίων της διεργασίας παραγωγής του βιοαερίου. (Zafiris Ch. 2007, Zafiris Ch. 2009)



Εικόνα 4.7: Γενικό διάγραμμα ροής της διεργασίας παραγωγής του βιοαερίου (Σιούλας Κ. ΚΑΠΕ)

Μια μονάδα βιοαερίου είναι μια σύνθετη μονάδα, αποτελούμενη από ένα μεγάλο αριθμό συνιστωσών. Η διάταξη μιας τέτοιας μονάδας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους τύπους και τις ποσότητες της παρεχόμενης πρώτης ύλης. Έτσι στη συνέχεια, παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.8 η υλοποίηση μιας ολοκληρωμένης μονάδας παραγωγής βιοαερίου, όπου απεικονίζονται γραφικά τα κυριότερα επιμέρους τμήματά της, αλλά και η σύνδεση της με μια μονάδα συμπαραγωγής για την αξιοποίηση του βιοαερίου προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



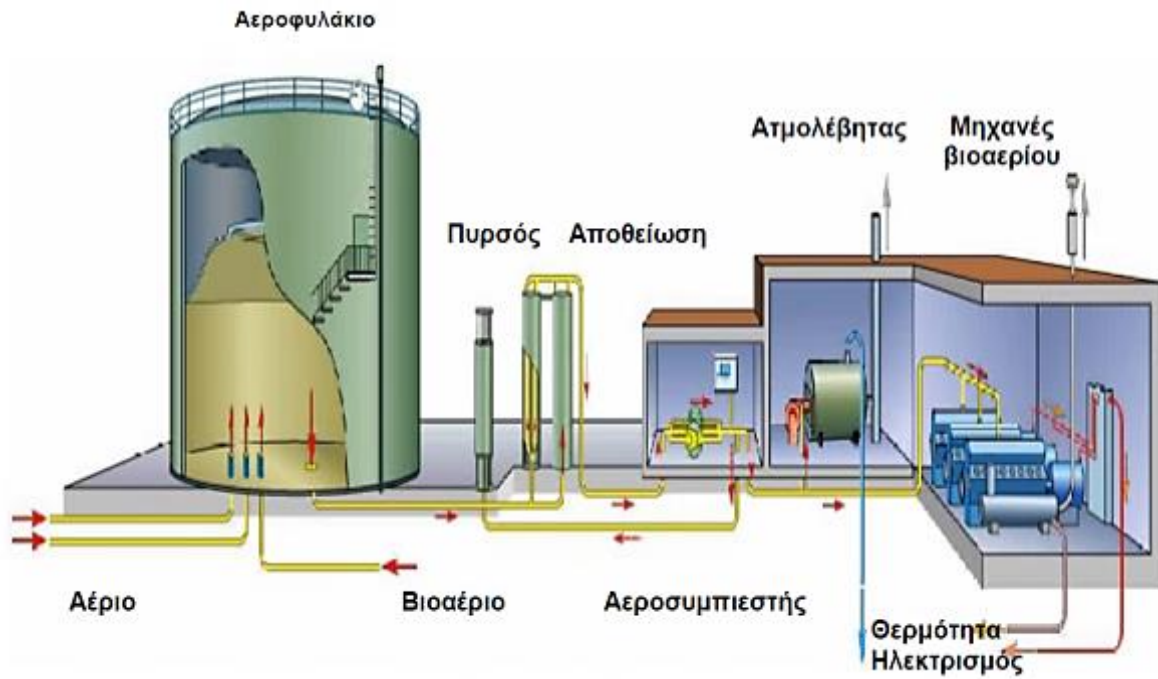
Εικόνα 4.8: Ολοκληρωμένη μονάδα βιοαερίου (Γιακουμέλος Α. 2012)

Ως προϊόντα της αναερόβιας χώνευσης λαμβάνουμε: βιοαέριο και οργανικό/βιολογικό λίπασμα (υγρό και στερεό), το οποίο αποθηκεύεται σε ειδικές εγκαταστάσεις που φαίνονται στην Εικόνα 4.9.



Εικόνα 4.9: Σύστημα αποθήκευσης βιοαερίου ((Γιακουμέλος Α. 2012)

Το βιοαέριο μπορεί να τροφοδοτήσει μηχανές εσωτερικής καύσης, (ΜΕΚ), καυστήρες αερίου ή αεριοστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Η υλοποίηση μιας μονάδας και των επιμέρους μηχανημάτων της που θα εκμεταλλεύεται ενεργειακά του βιοαέριο παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.10



Εικόνα 4.10: Ενεργειακή αξιοποίηση βιοαερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (www.jenbacher.com)

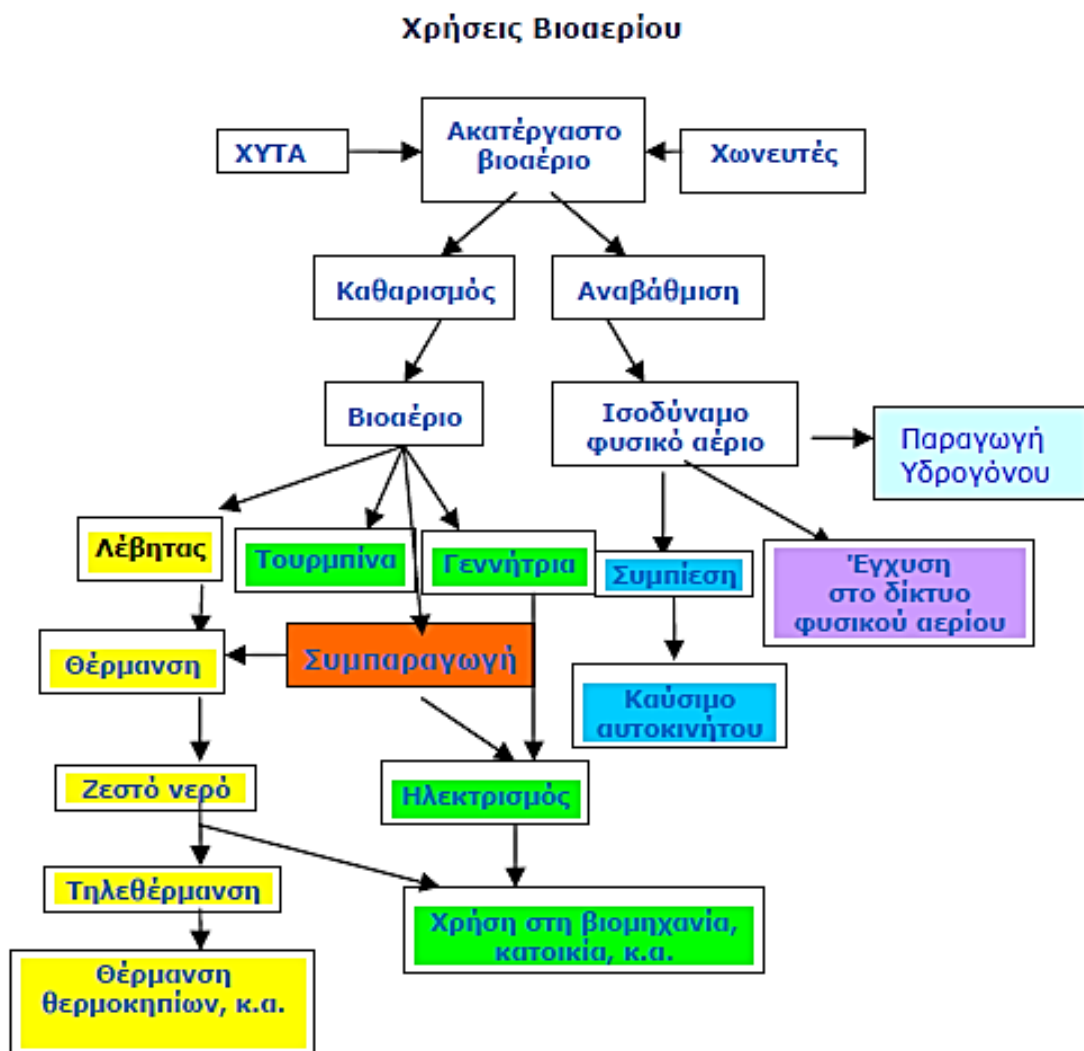
Σύμφωνα με τα προηγούμενα, λοιπόν, μπορούμε να παρουσιάσουμε και μια πραγματική εγκατάσταση βιοαερίου στη Δανία (Εικόνα 4.11).



Εικόνα 4.11: Εγκατάσταση μονάδας βιοαερίου στη Δανία (www.lemvigbiogas.dk)

4.4.1 Χρήσεις βιοαερίου

Το βιοαέριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μεταφορών, μετά την διαδικασία του καθαρισμού, δηλαδή την απομάκρυνση των σωματιδίων, H_2S , NH_3 , H_2O και την αναβάθμισή του, δηλαδή την απομάκρυνση CO_2 και προσθήκη προπανίου. Χρήση του βιοαερίου ως καύσιμο μεταφορών απαντάται στη Σουηδία, Ελβετία, Γαλλία και Γερμανία ενώ στη Σουηδία και στη Γερμανία, το βιοαέριο διοχετεύεται και στο δίκτυο του φυσικού αερίου (Zafiris, Ch. et.al. 2001). Μια συνοπτική γραφική απεικόνιση των χρήσεων του βιοαερίου φαίνονται ακολούθως στην Εικόνα 4.12.



Εικόνα 4.12: Χρήσεις βιοαερίου (Σιούλας Κ. ΚΑΠΕ)

4.5 Πλεονεκτήματα και οφέλη από τη χρήση του βιοαερίου

Το βιοαέριο εκτός από τα συνήθη οφέλη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η προστασία του περιβάλλοντος και η απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, εμφανίζει και ορισμένα ξεχωριστά πλεονεκτήματα. (Ζαφείρης Χ.. 2008, www.cres.gr)

- ✓ Οι οικονομικές πιέσεις στις συνήθεις αγροτικές καλλιέργειες γίνονται διαρκώς εντονότερες. Πολλοί αγρότες αναγκάζονται να εγκαταλείψουν το επάγγελμά τους καθώς η γη που διαθέτουν δεν είναι ικανή να συντηρήσει τους ίδιους και τις οικογένειές τους. Κατά συνέπεια, η επιδότηση που δίνεται για την κατασκευή μονάδας παραγωγής βιοαερίου και οι εγγυημένες τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να προσφέρουν στους αγρότες μια επιπλέον πηγή εσόδων, η οποία αναλόγως των περιστάσεων μπορεί να είναι εξαιρετικά σημαντική. Έτσι, ενισχύεται η βιωσιμότητα του αγροτικού πληθυσμού με τρόπο, μάλιστα, που δεν τον αναγκάζει να αποπροσανατολιστεί επαγγελματικά από αυτό που γνωρίζει καλά.
- ✓ Η κατασκευή μονάδων παραγωγής βιοαερίου συνεισφέρει στην αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μια τάση που εδώ και αρκετά χρόνια είναι εξαιρετικά διαδεδομένη σε όλη την Ευρώπη.
- ✓ Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στις μονάδες παραγωγής βιοαερίου αποτελούν πολλές φορές υλικά που υποβαθμίζουν την ποιότητα της περιοχής όπου παράγονται (π.χ. ζωικές κοπριάς, οργανικά υγρά απόβλητα κ.λπ.). Η συλλογή και η ενεργειακή αξιοποίηση τέτοιων υλικών, όχι μόνο προσφέρει πολύτιμη πράσινη ενέργεια στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, αλλά περιορίζει τα φαινόμενα ρύπανσης βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής της τοπικής κοινωνίας ενώ συμβάλει, ταυτόχρονα, στην αναπτυξιακή προοπτική της.
- ✓ Με την χρήση τεχνολογιών αερόβιας επεξεργασίας (βιολογικοί καθαρισμοί), τα κύρια αέρια προϊόντα είναι το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρατμοί- ουσίες που δεν καίγονται και άρα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Παράλληλα, οι διεργασίες της αερόβιας χώνευσης καταναλώνουν πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας. Αντιθέτως, η ενεργειακή κατανάλωση των μονάδων αναερόβια χώνευσης είναι μικρότερη, ενώ το παραγόμενο βιοαέριο έχει πολύ αξιόλογο ενεργειακό περιεχόμενο.
- ✓ Διευκολύνεται η διαχείριση και η τελική διάθεση των οργανικών αποβλήτων λόγω της μείωσης του όγκου τους που πραγματοποιείται στον αναερόβιο χωνευτήρα.
- ✓ Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ενεργειακά φυτά (π.χ. καλαμπόκι) για την παραγωγή βιοαερίου και το υπόλειμμα της χώνευσης ανακυκλώνεται στα χωράφια, δεν απαιτείται η χρησιμοποίηση συνθετικών λιπασμάτων. Επιτυγχάνεται ένας κλειστός κύκλος των θρεπτικών συστατικών και των πολύτιμων ιχνοστοιχείων και μειώνονται τα φαινόμενα ρύπανσης των υπογείων υδάτων.

- ✓ Κατά την αποθήκευση του υγρού υπολείμματος της χώνευσης, εκλύονται σημαντικά λιγότερες οσμές από ότι κατά τη διάθεση ανεπεξέργαστων αποβλήτων στα χωράφια.
- ✓ Σημαντική ελάττωση ή και πλήρης εξαφάνιση των παθογόνων μικροοργανισμών στο υγρό υπόλειμμα. Το γεγονός αυτό καθιστά δυνατή την απευθείας χρήση του υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικού στα χωράφια.
- ✓ Αποφυγή κινδύνων επιβολής προστίμων, τόσο από την Ελλάδα όσο και από την Ευρωπαϊκή Ένωση, για ακατάλληλη διάθεση αποβλήτων. Η συχνότητα της επιβολής τέτοιων προστίμων καθώς και τα χρηματικά ποσά τα οποία καλούνται να πληρώσουν οι παραβάτες αυξάνονται διαρκώς.
- ✓ Η υγρή ζωική κοπριά είναι πιο αραιωμένη μετά την αναερόβια χώνευση από ότι ανεπεξέργαστη. Ως εκ τούτου εμφανίζει μεγαλύτερη δυνατότητα διείσδυσης στο έδαφος, οπότε παρέχεται καλύτερη λίπανση στο χωράφι με περισσότερο οικολογικό τρόπο.

4.6 Δυναμικό παραγωγής βιοαερίου

Οι υπάρχουσες πηγές βιομάζας στον πλανήτη, παρέχουν μία ιδέα για το παγκόσμιο δυναμικό παραγωγής βιοαερίου. Το δυναμικό αυτό εκτιμήθηκε από διάφορους ειδήμονες και επιστήμονες, σύμφωνα με διάφορα σενάρια και υποθέσεις. Ανεξάρτητα από τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων αυτών, το τελικό συμπέρασμα όλων ήταν ότι σήμερα χρησιμοποιείται μόνο ένα μικρό μέρος αυτού του δυναμικού, ενώ υπάρχει δυνατότητα σημαντικής αύξησης της πραγματικής παραγωγής του βιοαερίου.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση Βιομάζας (AEBIOM) υπολογίζει ότι η Ευρωπαϊκή παραγωγή ενέργειας που βασίζεται στην βιομάζα μπορεί να αυξηθεί από τα 72 Mtoe που ήταν το 2004 σε 220 Mtoe το 2020. Το μεγαλύτερο δυναμικό για αύξηση εμφανίζει η βιομάζα που προέρχεται από τη γεωργία όπου το βιοαέριο παίζει σημαντικό ρόλο. Σύμφωνα με την AEBIOM, 20 έως 40 εκατομμύρια εκτάρια (Mha) εδάφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, χωρίς καμία επίδραση στον ευρωπαϊκό ανεφοδιασμό με τρόφιμα. (Al Seadi, T. 2001, Rutz D. et al. 2008)



Εικόνα 4.13: Ο ευρωπαϊκός χάρτης του φυσικού αερίου και πιθανοί διάδρομοι (κίτρινα) κατάλληλοι για την παραγωγή βιοαερίου και την έγχυση βιομεθανίου (Rutz D. et al. 2008)

Το Γερμανικό Ινστιτούτο για την Ενέργεια και το Περιβάλλον δηλώνει ότι το δυναμικό του βιοαερίου στην Ευρώπη είναι πολύ υψηλό, τόσο που είναι δυνατό να αντικαταστήσει την συνολική κατανάλωση φυσικού αερίου, μέσω της έγχυσης αναβαθμισμένου βιοαερίου (βιομεθάνιο) στο δίκτυο του φυσικού αερίου (Εικόνα 4.13). Η εκτίμηση του δυναμικού του βιοαερίου στην Ευρώπη εξαρτάται από διαφορετικούς παράγοντες και υποθέσεις που περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς, όπως για παράδειγμα η διαθεσιμότητα των γαιών για γεωργικές χρήσεις που δεν έχει επιπτώσεις στην παραγωγή τροφίμων, η παραγωγικότητα των ενεργειακών καλλιεργειών, η παραγωγή μεθανίου από τα υποστρώματα των πρώτων υλών και η ενεργειακή αποδοτικότητα της τελικής χρήσης του βιοαερίου. (Al Seadi, T. 2001, Rutz D. et al. 2008)

4.7 Χρήση βιοαερίου στην Ε.Ε

Υπάρχουν σήμερα περισσότερες από 3000 μονάδες βιοαερίου που λειτουργούν σε εμπορική κλίμακα στις χώρες της ΕΕ-25. Η συνολική παραγωγή βιοαερίου αυξήθηκε σημαντικά την τελευταία τριετία, από 4 εκ. TΠΠ το 2004, σε 4,9 εκ TΠΠ το 2005 και 5,35 εκ TΠΠ (62.200 GWh) το 2006. Αντίστοιχα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο το 2006, αναμένεται σε 17.272 GWh. Το συνολικό δυναμικό σε ευρωπαϊκό επίπεδο για το 2010 προσδιορίζεται σε 8,6 εκ TΠΠ.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της Σουηδίας. Σύμφωνα με στοιχεία του Swedish Gas Center, το 2007 λειτουργούν 233 μονάδες, με συνολική παραγωγή

βιοαερίου 1,3 TWh/y. Από τις ανωτέρω μονάδες 139 είναι βιολογικοί καθαρισμοί, 70 ΧΥΤΑ, 13 κεντρικές μονάδες συνδυασμένης χώνευσης, με συνολική παραγωγή βιοαερίου 0.56 TWh/y, 0.46 TWh/y και 0,16 TWh/y αντιστοίχως. Επίσης υπάρχουν 31 μονάδες αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο, 63 δημόσιοι σταθμοί διανομής βιοαερίου, 18 σταθμοί διανομής βιοαερίου ειδικά για λεωφορεία (slow filling bus), και 5298 οχήματα που κινούνται με μεθάνιο, εκ των οποίων 4519 επιβατικά, 225 φορτηγά και 554 λεωφορεία.

Το σύνολο των πωλήσεων αερίου στη Σουηδία ανέρχεται σε 45.000 kNm³, εκ των οποίων το 54% (24.300 kNm³) αφορά βιοαέριο και το υπόλοιπο αφορά το φυσικό αέριο. Το κόστος παραγωγής βιοαερίου στην Σουηδία είναι 0,17 - 0,50€/m³. Η τιμή αγοράς του αναβαθμισμένου βιοαερίου και του φυσικού αερίου ανέρχεται σε 0,70 - 0,90€/m³. Οι τιμές πετρελαίου και βενζίνης αντίστοιχα ανέρχονται σε 1,1€/l και 1,2 €/l. Το κόστος αναβάθμισης του βιοαερίου σε μονάδες των 200 - 300 m³ /h είναι 0,01 - 0,015 €/kWh αναβαθμισμένου βιοαερίου.

Τα οχήματα που κινούνται με βιοαέριο στη Σουηδία, έχουν δυνατότητα ελεύθερης στάθμευσης σε πολλές πόλεις, απαλλάσσονται των τελών κυκλοφορίας και των διοδίων στην πόλη της Στοκχόλμης, ακόμη έχουν ετήσια φοροαπαλλαγή 450 € αν είναι επαγγελματικά οχήματα, ενώ τα ταξί κινούνται σε ειδικές λωρίδες. Επίσης μείωση έως 40% φόρου σε εταιρείες που χρησιμοποιούν οχήματα που κινούνται με βιοαέριο. Τέλος δεν υπάρχει φορολογία στο βιοαέριο παρά μόνο ΦΠΑ.

Τα τελευταία χρόνια οι τάσεις ανάπτυξης του βιοαερίου κινούνται προς την κατεύθυνση δημιουργίας κεντρικών μονάδων συνδυασμένης χώνευσης αποβλήτων στη Δανία. την ανάπτυξη μονάδων μικρής κλίμακας αγροτοκτηνοτροφικών στην Γερμανία και τη χρήση του βιοαερίου ως καυσίμου για μεταφορές ή την διοχέτευση στο δίκτυο του φυσικού αερίου στην Σουηδία, Ελβετία, Γερμανία και Αυστρία. (Agapitidis I. and Zafiridis C. 2006, Al Seadi T. 2001, Rutz D. et al. 2008)

4.8 Χρήση βιοαερίου στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα την δεκαετία του '80 έγιναν πολλές προσπάθειες για την ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου παραγόμενου από επεξεργασία ζωικών αποβλήτων και οργανικών αποβλήτων γεωργικών βιομηχανιών - κυρίως αποβλήτων ελαιουργείων. Τα περισσότερα από αυτά τα έργα είχαν χαρακτήρα επιδεικτικό και μετά τον αρχικό ενθουσιασμό και την ασφάλεια της επιστημονικής υποστήριξης, οδηγήθηκαν σε αχρηστία. Κύριες αιτίες για αυτό ήταν η έλλειψη πληροφόρησης, κατάλληλης υποδομής, κρατικού ενδιαφέροντος και οικονομικών κινήτρων.

Σήμερα η εξέλιξη:

α) του θεσμικού πλαισίου και η εναρμόνιση του με την κοινοτική νομοθεσία, ιδιαίτερα με τον κανονισμό (ΕΚ) 1774/2002 (Άρθρο 15), για την έγκριση μονάδων παραγωγής βιοαερίου και μονάδων λιπασματοποίησης.

β) των οικονομικών εργαλείων, με το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα του ΚΠΣ "Ανταγωνιστικότητα", το νέο Αναπτυξιακό Νόμο 2601, τη χρηματοδότηση της ΕΕ για προγράμματα ΑΠΕ, όπως «Ευφυής Ενέργεια για την Ευρώπη» (2007-2013), το Έβδομο Πρόγραμμα Πλαίσιο για την έρευνα (2007-2013), το σύστημα τιμολόγησης για την ηλεκτροπαραγωγή ΑΠΕ σύμφωνα με τον Ν.3468/2006 και

γ) των κοινωνικοοικονομικών συνθηκών, όπως η ενημέρωση και ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για το περιβάλλον και η επερχόμενη απελευθέρωση της ενεργειακής αγοράς (ως γνωστόν από την 1/1/2005 σύμφωνα με τις συμβατικές της υποχρεώσεις η Ελλάδα πρέπει να εξασφαλίσει στους εμπορικούς καταναλωτές τη δυνατότητα επιλογής για την αγορά ηλεκτρικού ρεύματος εκτός της ΔΕΗ και άλλων παραγωγών και από τον Μάρτιο του 2007 πρέπει να έχει εξασφαλίσει εναλλακτικούς προμηθευτές και για τον οικιακό καταναλωτή), έχουν αλλάξει σημαντικά τα δεδομένα έτσι ώστε το μέλλον να εμφανίζεται ευόιο για την ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου. (Zafiridis C. 2007, Γιακουμέλος Α. 2012)

Ένας αριθμός έργων βιοαερίου έχουν ήδη συμπεριληφθεί σε εθνικά προγράμματα για την ενέργεια. Στο ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων μία σημαντική επένδυση παραγωγής ηλ. ενέργειας με αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου σε ΜΕΚ, εγκατεστημένης ισχύος 23,5 ΜWe. (www.helektor.gr)



Εικόνα 4.14: Μονάδα βιοαερίου στα Α. Λιόσια δυναμικότητας 23,5 MW (www.helektor.gr)

Επιπλέον, υπάρχει ήδη εγκατεστημένο αντίστοιχο έργο της ΕΥΔΑΠ στην Ψυττάλεια για την ενεργειακή αξιοποίηση της παραγόμενης ιλύος από τη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων, με συμπαραγωγή, εγκατεστημένης ισχύος 11,4 MWe. (www.rae.gr)



Εικόνα 4.15: Μονάδα βιοαερίου στη Ψυττάλεια δυναμικότητας 11,4 MW (www.rae.gr)

Τα έργα ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου που βρίσκονται σε λειτουργία στον Ελληνικό χώρο έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ 41 MW περίπου. Μια άλλη μικρότερη εγκατάσταση βιοαερίου μικρότερης δυναμικότητας 5 MWe είναι στους Ταγαράδες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.16. (www.helektor.gr)



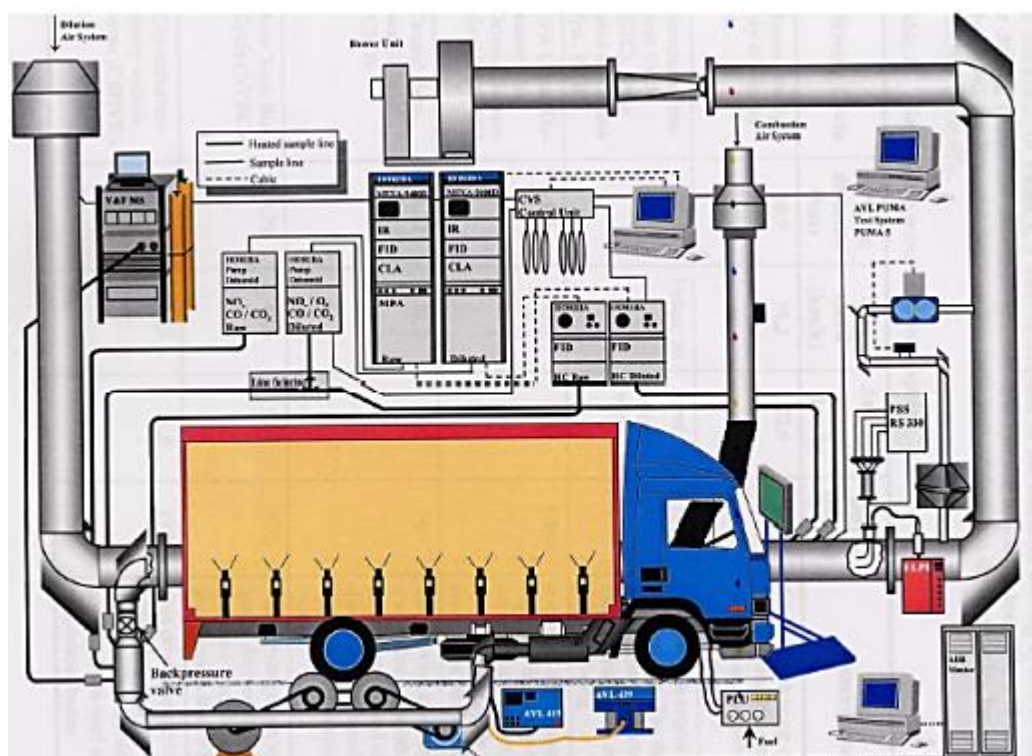
Εικόνα 4.16: Μονάδα βιοαερίου στους Ταγαράδες δυναμικότητας 5 MW (www.helektor.gr)

4.9 Προοπτικές βιοαερίου

Εκτός από την παραγωγή του βιοαερίου με τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης και την ενεργειακή του αξιοποίηση για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, ως καυσίμου μεταφορών, και τη διοχέτευσή του στο δίκτυο του φυσικού αερίου, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονη κινητικότητα σε θέματα όπως (Ζαφείρης Χ. 2008, Γιακουμέλος Λευτέρης (2012):

- Ανάπτυξη της τεχνολογίας αεριοποίησης για παραγωγή συνθετικού αερίου ($\text{CO} - \text{H}_2$) και Bio - SNG (Bio-synthetic Natural gas), από λιγνο - κυτταρινούχες πρώτες ύλες.
- Ανάπτυξη εξειδικευμένης τεχνολογίας για την κατασκευή, εγκατάσταση και λειτουργία νέων χωνευτών (digesters)
- Αυτοματοποίηση της ολοκληρωμένης αλυσίδας παραγωγής ενέργειας από την πρώτη ύλη ως το τελικό προϊόν.
- Ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων διανομής αερίου και θερμότητας.
- Βελτίωση των μεθόδων αναβάθμισης του βιοαερίου και ενίσχυση της διείσδυσής του στο δίκτυο του φυσικού αερίου και ως καυσίμου μεταφορών στις αστικές συγκοινωνίες και τα γεωργικά μηχανήματα.

- Παραγωγή υδρογόνου από αναβαθμισμένο βιοαέριο και χρήση του σε κυψέλη καυσίμου (fuel cell) και μικρο-αεριοστρόβιλους (micro gas turbine) για παραγωγή ενέργειας.
- Παραγωγή βιοαερίου από ενεργειακά φυτά με την διαδικασία της υγρής και ξηρής ζύμωσης που γίνεται κυρίως στην Γερμανία.
- Βελτίωση των μεθόδων εκτίμησης του δείκτη επικινδυνότητας καρκίνου (cancer unit risk factors) από τις εκπομπές καυσαερίων οχημάτων (Εικόνα 4.17) που κινούνται με βιοαέριο. (Ζαφείρης Χ. 2008, Γιακουμέλος Λευτέρης (2012))



Εικόνα 4.17: Διαδικασία ελέγχου καυσαερίων (www.dvgw.de)

4.10 Αναβάθμιση Βιοαερίου → Παραγωγή Βιομεθανίου

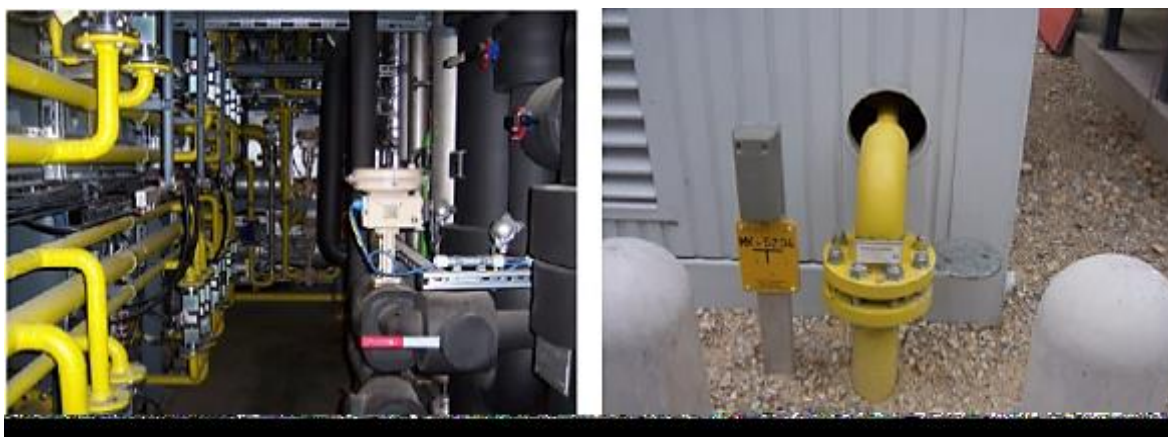
Πριν από τη χρησιμοποίησή του για έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου ή ως καύσιμο οχημάτων (Εικόνα 4.18), το βιοαέριο πρέπει να υφίσταται μία διαδικασία αναβάθμισης, όπου όλοι οι μολυσματικοί παράγοντες καθώς και το διοξείδιο του άνθρακα αφαιρούνται και ενισχύεται το περιεχόμενό του σε μεθάνιο, από το συνηθισμένο 50-75% σε περισσότερο από 95%. Το αναβαθμισμένο βιοαέριο ονομάζεται βιομεθάνιο.

Μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες τεχνολογίες για την αφαίρεση των μολυσματικών παραγόντων και για την αύξηση της περιεκτικότητας του βιοαερίου σε μεθάνιο. Η αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα πρέπει να γίνει προκειμένου να

επιτευχθεί ο απαιτούμενος δείκτης Wobbe του αερίου. Κατά την αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα από το βιοαέριο, αφαιρούνται επίσης και μικρές ποσότητες μεθανίου (CH_4). Το μεθάνιο είναι ένα αέριο του θερμοκηπίου 21 φορές ισχυρότερο από το CO_2 , (δηλ., ένα μόριο μεθανίου είναι 21 φορές πιο αποδοτικό ως προς τη δέσμευση της θερμότητας από τη γη από ένα μόριο CO_2). Είναι σημαντικό να κρατηθούν χαμηλές αυτές οι απώλειες μεθανίου, τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους. (Persson M 2003, Zafiris Ch. 2009)

Οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα για την αναβάθμιση του βιοαερίου είναι κυρίως οι εξής:

- απορρόφηση νερού,
- Pressure Swing Absorption (PSA) (Εικόνα 4.18),
- χημική απορρόφηση,
- απορρόφηση με διαλύτη διμεθυλαιθέρων πολυαιθυλενικής γλυκόλης (Selexol) (Εικόνα 4.19) και
- διαχωρισμός με μεμβράνες (Rutz D. et al. 2008)



Εικόνα 4.18: Εγκατάσταση συστήματος PSA (αριστερά) και σύνδεση με το δίκτυο φυσικού αερίου (δεξιά) της μονάδας βιομεθανίου στο Pliening, Γερμανία (Rutz et al. 2008)



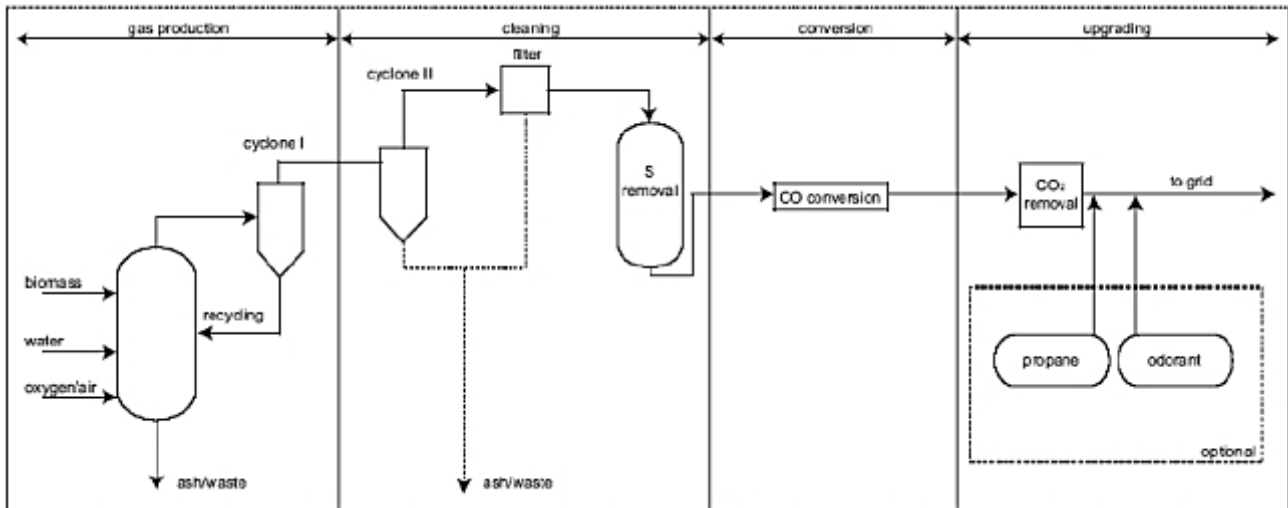
Εικόνα 4.19: Μονάδες αναβάθμισης βιοαερίου στη Σουηδία (Jonsson O. 2008)

Σε στάδιο ανάπτυξης βρίσκεται η κρυογονική διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε συνθήκες πίεσης 80 bar και ψύξης -45°C . Στις συνθήκες αυτές το CO_2 συμπυκνώνεται σε υγρή μορφή σε χαμηλότερη πίεση και υψηλότερη θερμοκρασία από ότι το CH_4 και έτσι μπορεί να διαχωριστεί. (Jonsson O 2008)

Το συνολικό κόστος για τον καθαρισμό και την αναβάθμιση του βιοαερίου προέρχεται από το κόστος της επένδυσης, καθώς και από τη λειτουργία της εγκατάστασης και τη συντήρηση του εξοπλισμού. Στην περίπτωση των δαπανών επένδυσης, ένας σημαντικός παράγοντας είναι το μέγεθος της εγκατάστασης. Οι συνολικές δαπάνες επένδυσης αυξάνονται με την αύξηση της δυναμικότητας, αλλά το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένου δυναμικού είναι χαμηλότερο για τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις σε σχέση με τις μικρές. Στην περίπτωση των λειτουργικών δαπανών, το ακριβότερο μέρος της επεξεργασίας είναι η αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα. (Jonsson O 2008)

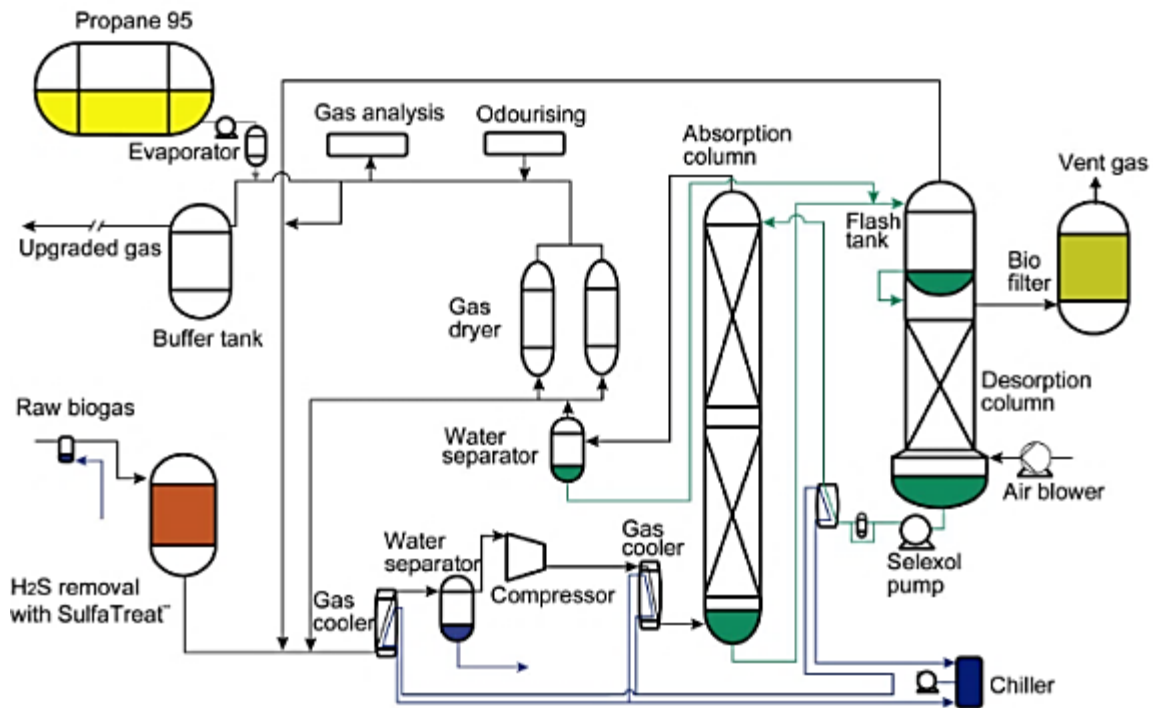
4.11 Περιγραφή Παραγωγής Βιομεθανίου

Το βιοαέριο μπορεί να παραχθεί και με την τεχνολογία της αεριοποίησης, της θερμικής δηλ αποδόμησης οργανικού καυσίμου που αποτελείται από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες σε κατάλληλο διαμορφωμένο αεριοποιητή και της μετατροπής /αναμόρφωσης του σε αέριο σύνθεσης (Syngas), που αποτελείται κυρίως από 22% H_2 , 44,4% CO , και 12,2% CO_2 . Στην συνέχεια το παραγόμενο αέριο σύνθεσης ψύχεται, καθαρίζεται και με προσθήκη H_2 και H_2O το αέριο σύνθεσης μετατρέπεται σε CH_4 και CO_2 (Εικόνα 4.20).



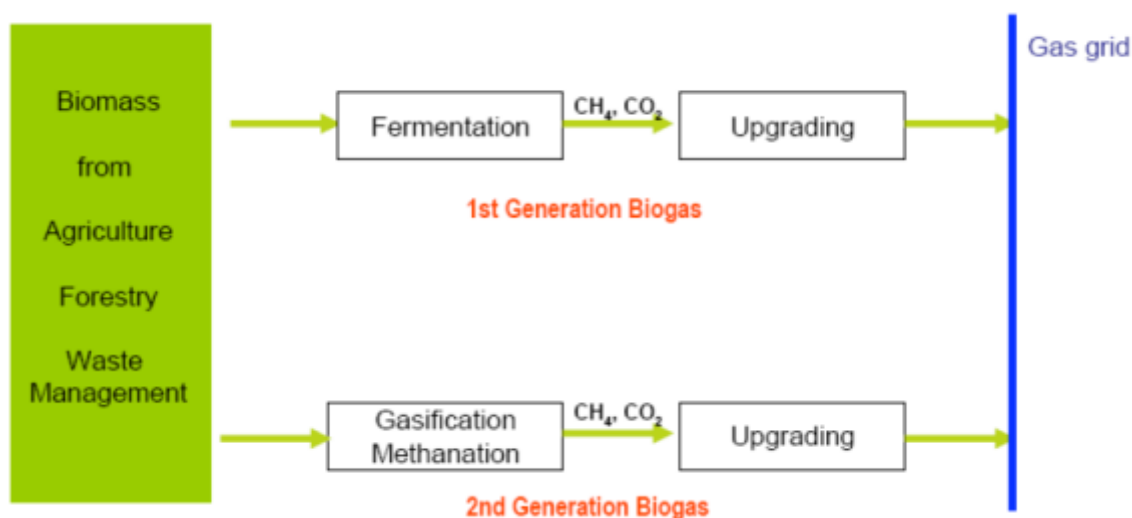
Εικόνα 4.20: Σχηματική αναπαράσταση παραγωγής βιοαερίου με αεριοποίηση (Swedish Gas Centre 2001)

Μετά την ΑΧ ή την αεριοποίηση, το βιοαέριο υφίσταται καθαρισμό (που συνίσταται σε απομάκρυνση των σωματιδίων H_2S , NH_3 , H_2O), αναβάθμιση (δηλ. απομάκρυνση CO_2 και προσθήκη προπανίου) και τέλος απόσμηση, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στην Εικόνα 4.21. Το παραγόμενο αέριο ονομάζεται βιομεθάνιο και διακρίνεται σε βιομεθάνιο ποιότητας L (89% CH_4), ή ποιότητας H (96% CH_4). (Jonsson, O. 2008)



Εικόνα 4.21: Αναβάθμιση βιοαερίου στο Laholm της Σουηδίας με παροχή – 250 m^3/h (Jonsson O. 2008)

Το βιομεθάνιο που προέρχεται από την τεχνολογία της ΑΧ ανήκει στα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς, ενώ αυτό που προέρχεται από την αεριοποίηση θεωρείται βιοκαύσιμο δεύτερης γενεάς (Εικόνα 4.22).



Εικόνα 4.22: Παραγωγή βιοκαυσίμων 1ης και 2ης γενιάς από βιοαέριο (www.lemvigbiogas.dk)

Το βιομεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μεταφορών, όπως επίσης και να διοχετευτεί στο δίκτυο του φυσικού αερίου (injection). Επιπλέον, από το βιομεθάνιο με αναμόρφωση παράγεται βιο-υδρογόνο που χρησιμοποιείται σε κυψέλη καυσίμου (fuel cell) για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. (Persson M. 2003)

4.11.1 Κόστος Αναβάθμισης σε Βιομεθάνιο

Το συνολικό κόστος για τον καθαρισμό και την αναβάθμιση του βιοαερίου προέρχεται:

- ❖ •από το κόστος της επένδυσης
- ❖ •από τη λειτουργία της μονάδας και
- ❖ •τη συντήρηση του εξοπλισμού

Στην περίπτωση των δαπανών επένδυσης, ένας σημαντικός παράγοντας είναι το μέγεθος της μονάδας:

Οι συνολικές δαπάνες επένδυσης αυξάνονται με την αύξηση της δυναμικότητας, αλλά το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος είναι χαμηλότερο για τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις σε σχέση με τις μικρές (*οικονομία κλίμακας*)

Στην περίπτωση των λειτουργικών δαπανών, το πιο δαπανηρό μέρος της επεξεργασίας είναι η αφαίρεση του CO₂. (Γιακουμέλος Λευτέρης 2012)

4.12 Προδιαγραφές Βιομεθανίου

Η σύσταση και οι ελάχιστες ποιοτικές προδιαγραφές και απαιτήσεις που πρέπει να πληρεί το βιομεθάνιο για χρήση του σαν καύσιμο μεταφορών ή για έγχυση στο δίκτυο του ΦΑ παρουσιάζονται στους κατωτέρω Πίνακες (Πίνακας 4.2, Πίνακας 4.3)

Πίνακας 4.2: Σύσταση βιοαερίου, βιομεθανίου και αερίου σύνθεσης (www.dvgw.de)

Συστατικό	Σύμβολο	Βιοαέριο	Βιομεθάνιο	Αέριο σύνθεσης
Μεθάνιο	CH ₄	55-70%	>97%	15,6
Διοξείδιο άνθρακα	CO ₂	30-45%	<1%	12,2
Άζωτο	N ₂	<2%	<2%	2
Οξυγόνο	O ₂	<0,5%	<0,5%	-
Υδρόθειο	H ₂ S	<500 ppm v	<0,5 mg/Nm ³	
Υδρογονάνθρακες	C _x H _y	<100 ppm v	<10 ppm v	5,8
Νερό	H ₂ O	saturated	< 0,03 g/m ³	
Θερμογόνος δύναμη	H _{S,M}	6-7,5 kWh/m ³	max. 11 kWh/m ³	4
Wobbe index	H _{S,M}	6-11 kWh/m ³	max. 11 kWh/m ³	8

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές OVGW- G31, G32 της Αυστρίας, DVGW –G260, G262 της Γερμανίας, SS155438 της Σουηδίας, SVGW- G13 της Ελβετίας, της GAZ de France (decret no 2004-555/15 Jyin 2004), των Ολλανδικών εταιρειών ΦΑ και της ΔΕΠΑ οι ειδικές απαιτήσεις των κρατών για έγχυση στο δίκτυο (Marcogaz 2006) είναι οι ακόλουθες, όπως τις παρουσιάζει ο Πίνακας 4.3.

Πίνακας 4.3: Ποιοτικές απαιτήσεις για την έγχυση του βιοαερίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου της ΕΕ (Marcogaz 2006)

Συστατικό	Αυστρία	Γαλλία	Γερμανία	Ολλανδία	Σουηδία	Ελβετία	Ελλάδα
CH ₄	>96%	/	-	85%	>97%	>96%	75%
CO ₂	<3%	<2,5%	6%	/	<3%	<4%	3%
Co		<2%	/	/	/	/	
Ολικό S	<10mg/m ³	<30mg/m ³	30mg/m ³	<45mg/m ³	<23mg/m ³	<30mg/m ³	80mg/m ³
H ₂ S	<5mg/m ³	<5mg/m ³	5mg/m ³	<5mg/m ³	10ppm	<5mg/m ³	5mg/m ³
Μερκαπτάνες	<6mg/m ³	<6mg/m ³	15mg/m ³	/	/	/	
O ₂	<0,5%	<0,01%	<0,5%	<0,5%	<1%	<0,5%	0,2
H ₂	<4%	<6%	5%	/	<0,5%	<5%	
H ₂ O	-8°C/40bar	-5°C/40bar	°C	<32mg/m ³	<32mg/m ³	60%	
Wobbe index	13,3-15,7 kWh/m ³	13,64-15,7 kWh/m ³ H	10,5-15,7 kWh/m ³	43,6-44,41 MJ/m ³	45,5-48,5 MJ/m ³	13,3-15,7 kWh/m ³	46,80-58,46 MJ/m ³
Θερμογόνος δύναμη	10,7-12,8 kWh/m ³	10,7-12,8 kWh/m ³ H	/	35,1 MJ/m ³	/	10,7-13,1 kWh/m ³	36,45-48,97 MJ/m ³
Σχετική Πυκνότητα	0,55-0,65	0,55-0,70	/	/	/	0,55-0,70	0,56-0,71
Απόσμιση	Απόσμιση στον καταναλωτή	15-40mg THT/m ³	Απόσμιση στον καταναλωτή	Απόσμιση στον καταναλωτή	/	15-25mg THT/m ³	

4.13 Έγχυση Βιομεθανίου στο Δίκτυο Φ.Α.

Το αναβαθμισμένο βιοαέριο (βιομεθάνιο) μπορεί να εγχυθεί και να διανεμηθεί μέσω του δικτύου του φυσικού αερίου, αφού έχει συμπιεστεί στην πίεση των αγωγών. Σύμφωνα με τον κανονισμό της ΕΕ, η πρόσβαση στο δίκτυο του αερίου είναι εγγυημένη για όλους τους προμηθευτές βιοαερίου (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2001).

Υπάρχουν διάφορα πλεονεκτήματα χρήσης του δικτύου αερίου για τη διανομή του βιομεθανίου. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι το δίκτυο συνδέει την περιοχή παραγωγής του βιομεθανίου, η οποία συνήθως είναι σε αγροτικές περιοχές, με τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές. Αυτό επιτρέπει στο αέριο να φθάσει στους νέους πελάτες.

Είναι επίσης δυνατό να αυξηθεί η παραγωγή του βιοαερίου σε μια απομακρυσμένη περιοχή, χωρίς ανησυχίες για τη χρήση της περίσσειας θερμότητας. Η έγχυση στο δίκτυο σημαίνει ότι η εγκατάσταση βιοαερίου χρειάζεται μόνο μία μικρή μονάδα ΣΗΘ για την παραγωγή της ενέργειας διεργασίας ή έναν καυστήρα βιοαερίου. (Agaritidis I. and Zafiridis C. (2006)

Χώρες όπως η Σουηδία, η Ελβετία, η Γερμανία και η Γαλλία διαθέτουν πρότυπα (σύστημα πιστοποίησης) για την έγχυση του βιοαερίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου. Τα πρότυπα, που προκαθορίζουν τα όρια για συστατικά όπως το θείο, το οξυγόνο, τα σωματίδια και το σημείο δρόσου του ύδατος, έχουν ως στόχο την αποφυγή της μόλυνσης του δικτύου του αερίου ή της τελικής χρήσης. Έχει εισαχθεί ο δείκτης Wobbe, για την αποφυγή επίδρασης στις μετρήσεις του αερίου και την τελική χρήση. Τα πρότυπα στις περισσότερες περιπτώσεις είναι εύκολα επιτεύξιμα μέσω των υφιστάμενων διεργασιών αναβάθμισης. Σε τέτοιου είδους εφαρμογή, το αέριο που προέρχεται από χωματερές μπορεί να είναι δύσκολο να αναβαθμιστεί σε αποδεκτή ποιότητα λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε άζωτο.

Στην Ευρώπη, εγκαταστάσεις τροφοδοσίας βιοαερίου βρίσκονται σε λειτουργία στη Σουηδία, τη Γερμανία, την Αυστρία, την Ολλανδία, την Ελβετία και τη Γαλλία. Τα κύρια εμπόδια για την έγχυση του βιομεθανίου είναι οι υψηλές δαπάνες της αναβάθμισης και της σύνδεσης στο δίκτυο. Η έγχυση στο δίκτυο περιορίζεται επίσης από τη θέση των κατάλληλων περιοχών παραγωγής και αναβάθμισης του βιομεθανίου, οι οποίες πρέπει να είναι κοντά στο δίκτυο του φυσικού αερίου. (Jonsson, O. 2008, Marcogaz 2006)

4.14 Προβλήματα

Το πιο σημαντικό πρόβλημα στην προώθηση της χρήσης του βιοαερίου για παραγωγή ενέργειας εστιάζεται στην έλλειψη αποδοτικότητας και ασφάλειας της επένδυσης. Αν

το διπλό αυτό εμπόδιο δεν αρθεί έως κάποιο επίπεδο, δεν μπορεί να υπάρξει καμιά χρήση βιοαερίου.

Το διπλό αυτό εμπόδιο είναι συχνά συνδεδεμένο με την έλλειψη στρατηγικής για τη χρήση βιομεθανίου αλλά και συνθετικού αερίου στο μέλλον, τόσο σε επίπεδο Ευρώπης όσο και σε επίπεδο κρατών-μελών, αλλά και περιφερειακό και τοπικό επίπεδο σε κάθε κράτος-μέλος.

Εκτός των παραπάνω αναφερόμενων εμποδίων, οι παρακάτω παράγοντες θεωρούνται επίσης βασικής σημασίας:

- Υψηλές τιμές αναβάθμισης βιοαερίου σε σχέση με τις τιμές του ΦΑ
- Απροθυμία των αγροτών να συνάψουν μακροχρόνια συμβόλαια για παράδοση φυτικού υλικού
- Μεγάλη γραφειοκρατία κατά τη διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας των μονάδων (Persson M. 2003, Zafiris, Ch. et.al. 2001)

4.15 Χρήση Βιομεθανίου στην Ευρώπη

Υπάρχουν σήμερα περισσότερες από 4000 μονάδες βιοαερίου στην Ευρώπη. Οι δύο χώρες που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη παραγωγή βιοαερίου στην Ευρώπη είναι η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Η συνολική παραγωγή βιοαερίου ανήλθε σε 4 εκ. ΤΠΠ το 2004, 4,9 εκ ΤΠΠ το 2005, 5,35 εκ ΤΠΠ το 2006, 6,0 εκ ΤΠΠ το 2007 και 7,5 εκ ΤΠΠ το 2008 Το συνολικό δυναμικό σε ευρωπαϊκό επίπεδο για το 2010 εκτιμάται σε 9 εκ ΤΠΠ.

Σε ότι αφορά την αναβάθμιση βιοαερίου για παραγωγή βιομεθανίου, υπάρχουν 34 σταθμοί στη Σουηδία 17 σταθμοί στη Γερμανία, 15 στην Ολλανδία, 4 στην Αυστρία, 3 στο Βέλγιο, κι από ένας σε Ισλανδία, Λουξεμβούργο και Ηνωμένο Βασίλειο (στοιχεία 2009).

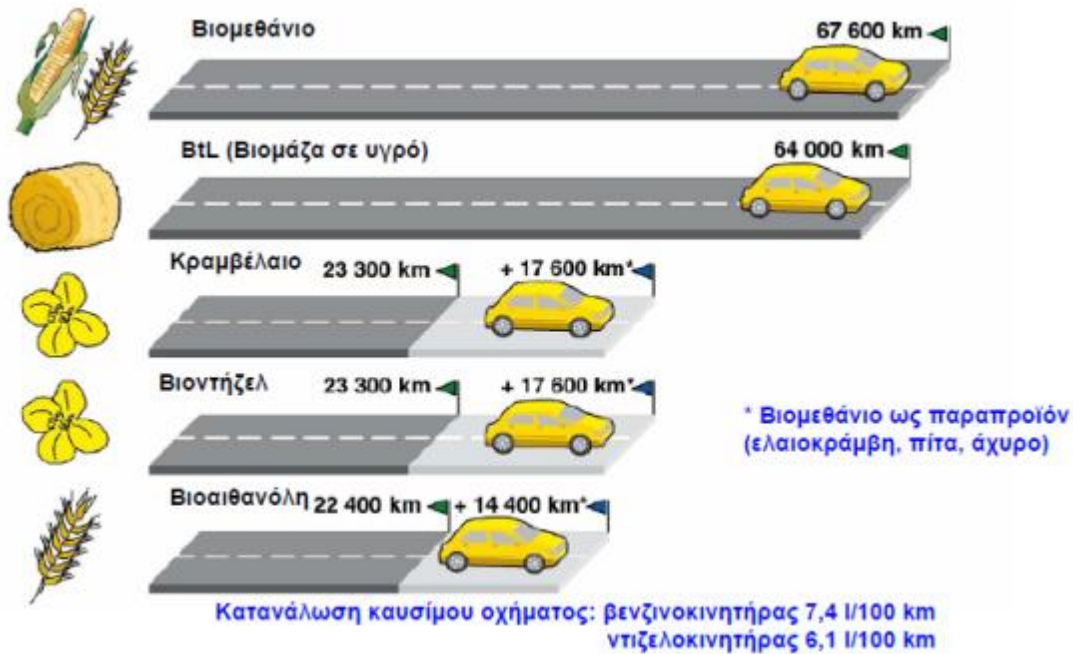
Η Σουηδία είναι η χώρα στην ΕΕ με τις μεγαλύτερες πωλήσεις βιομεθανίου για την κίνηση οχημάτων που κινούνται με βιομεθάνιο. Το σύνολο των πωλήσεων αερίου στη Σουηδία το 2008 εκτιμήθηκε σε 58.000 kNm³, εκ των οποίων το 58% (33.640 kNm³) αφορά βιομεθάνιο, και το υπόλοιπο αφορά το φυσικό αέριο. Το βιομεθάνιο που πωλείται στα πρατήρια καυσίμων στην Σουηδία ακολουθεί τις προδιαγραφές Swedish standard, SS 155438, που αναπτύχθηκαν από το STG Technical Group number 85, και διακρίνεται σε 'βιομεθάνιο τύπου Α' για οχήματα που δεν διαθέτουν αισθητήρα λ και 'βιομεθάνιο τύπου Β' για οχήματα που διαθέτουν αισθητήρα λ (Πίνακας 4.4). (Swedish Gas Centre 2001, Marcogaz 2006)

Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά βιομεθανίου κίνησης στη Σουηδία, βάσει προδιαγραφών SS 155438 (Swedish Gas Centre 2001)

	Μονάδες	Βιομεθάνιο - A	Βιομεθάνιο - B	Μέθοδος
Δείκτης Wobbe	MJ/m ³	44,7-46,4	43,9-47-3	SS-ISO 6976
CH ₄ (273K, 101,3kPa)	%	97 ±1	97±2	ISO 6974
H ₂ O	mg/m ³	32	32	SS-EN ISO 10101-3
CO ₂ + O ₂ + N ₂	%	4	5	ISO 6974
Ολικό S	mg/m ³	23	23	ISO 6326-1-2-4
NH ₃	mg/m ³	20	20	ISO 6974
Σημείο Δρόσου t = μέση ελάχιστη μηνιαία	°C	t-5	t-5	ISO 6327

Η Γερμανία, η Σουηδία, η Ολλανδία, η Αυστρία και η Ελβετία έχουν ήδη υποστηρίξει την παραγωγή και αναβάθμιση του βιοαερίου και την έγχυσή του στο δίκτυο του ΦΑ βάση της Οδηγίας 2003/55/ΕΚ της 26/6/2003 σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά φυσικού αερίου. Σύμφωνα με αυτή, τα κράτη-μέλη θα πρέπει να μεριμνούν ώστε, λαμβάνοντας υπόψη τις απαραίτητες απαιτήσεις ποιότητας, να παρέχεται στο βιοαέριο και στο αέριο που παράγεται από βιομάζα ή σε άλλα είδη συμβιβάζεται συνεχώς με τους συναφείς τεχνικούς κανόνες και προδιαγραφές ασφαλείας. Οι εν λόγω κανόνες και προδιαγραφές θα πρέπει να εξασφαλίζουν ότι είναι τεχνικώς δυνατή η ασφαλής διοχέτευση των αερίων αυτών στο δίκτυο του φυσικού αερίου καθώς και η μεταφορά τους μέσω αυτού και θα πρέπει επίσης να διέπουν και τα χημικά χαρακτηριστικά των αερίων αυτών. (Swedish Gas Centre 2001, Marcogaz 2006)

Στην Εικόνα 4.23 που ακολουθεί, δίνεται μια σύγκριση των βιοκαυσίμων μεταφορών σε σχέση με την απόσταση που καλύπτεται από ένα αυτοκίνητο (εμβέλεια) κινούμενο με το αντίστοιχο βιοκαύσιμο, το οποίο παράγεται από πρώτη ύλη βιομάζας προερχόμενης από 1 εκτάριο (= 10 στρέμματα) καλλιεργήσιμης γης. (www.biofuels.gr)



Εικόνα 4.23: Σύγκριση των βιοκαυσίμων μεταφορών σε σχέση με την απόσταση που καλύπτεται από ένα αυτοκίνητο (www.biofuels.gr)

Σήμερα παρατηρείται μια δραστηριότητα για την παραγωγή υγροποιημένου βιοαερίου LBG, που προέρχεται από τους ΧΥΤΑ, χρησιμοποιώντας την κρυογονική διαδικασία, σε θερμοκρασία -80°C αναβαθμίζεται το βιοαέριο και στην συνέχεια ψύχεται περαιτέρω στους -162°C αποκτώντας σημαντικά πλεονεκτήματα κυρίως για την μεταφορά του σε απομακρυσμένες περιοχές. (www.dvgw.de)

4.16 Παραγωγή Βιομεθανίου στην Ελλάδα

Τα έργα ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου που βρίσκονται σε λειτουργία στον Ελληνικό χώρο έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ 41 MW περίπου. Στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) έχουν κατατεθεί (Οκτώβριος 2010) για έγκριση άδειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση βιοαερίου από επεξεργασία αγροτο-βιομηχανικών οργανικών αποβλήτων, με την τεχνολογία της Αναερόβιας Χώνευσης, συνολικής ισχύος περίπου 40 MW.

Σε τρεις περιοχές με υψηλό δυναμικό οργανικών αποβλήτων όπως η Θεσσαλονίκη, η Λάρισα και η Βοιωτία είναι δυνατό να κατασκευασθούν κεντρικές μονάδες συνδυασμένης χώνευσης για παραγωγή βιοαερίου καθώς και κατάλληλες μονάδες αναβάθμισης βιοαερίου για παραγωγή βιομεθανίου και έγχυση στο δίκτυο του ΦΑ. Οι περιοχές αυτές εντοπίζονται σε τρία σημεία του δικτύου στα Οινόφυτα, στη Β. Θεσσαλονίκη, στη Β. Λάρισα. (www.helektor.gr, www.rae.gr)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Σχεδιασμός ολοκληρωμένου συστήματος αναερόβιας χώνευσης αποβλήτων ελαιουργείων

5.1 Εισαγωγή

Μια μονάδα παραγωγής και αναβάθμισης βιοαερίου είναι μια σύνθετη εγκατάσταση, αποτελούμενη από μια ποικιλία κύριων στοιχείων. Η διάταξη μιας τέτοιας εγκατάστασης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους τύπους και τις ποσότητες της παρεχόμενης ύλης. Δεδομένου ότι υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι πρώτης ύλης, διαφορετικής προέλευσης, που είναι κατάλληλοι για χώνευση σε εγκαταστάσεις βιοαερίου, υπάρχουν αντίστοιχα, διάφορες τεχνικές για τον χειρισμό αυτών των τύπων πρώτης ύλης, αλλά και διαφορετικές κατασκευές χωνευτήρων και συστημάτων λειτουργίας.

Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζεται μια προτεινόμενη λύση για την επεξεργασία των αποβλήτων των ελαιουργείων, τα οποία είναι τοξικά για το περιβάλλον. Η διαδικασία εξετάζεται ενεργειακά, όσον αφορά την παραγόμενη θερμική και ηλεκτρική ισχύ σε σχέση με την ενέργεια και τις ποσότητες των εισερχόμενων αποβλήτων και των ιδιοκαταναλώσεων (θερμικών και ηλεκτρικών) της μονάδας για την επεξεργασία τους. Στη μονάδα βιοαερίου θα οδηγούνται τα στερεά και τα υγρά απόβλητα που προκύπτουν από την επεξεργασία του ελαιοκάρπου, από τα οποία, μετά από αναερόβια χώνευση, θα παράγεται βιοαέριο, το οποίο θα αναβαθμίζεται σε βιομεθάνιο και στη συνέχεια θα χρησιμοποιείται σαν καύσιμο σε ένα σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας μέγιστης ισχύος 2500 kW . Η μονάδα θα καλύπτει αφενός τις θερμικές και ηλεκτρικές ανάγκες του συστήματος παραγωγής και αναβάθμισης του βιοαερίου, ενώ η περίσσεια θερμικής ενέργειας θα διοχετεύεται σε παρακείμενα θερμοκήπια και κατοικίες, και το ηλεκτρικό ρεύμα θα πωλείται στο δίκτυο. Επίσης, το στερεό υπόλειμμα της διαδικασίας (κόμποστ) θα διατίθεται ως λίπασμα.

5.2 Επιλογή θέσης μονάδας παραγωγής και αναβάθμισης βιοαερίου

Βασικό βήμα προγραμματισμού είναι να βρεθεί η κατάλληλη θέση για την εγκατάσταση της μονάδας παραγωγής και αναβάθμισης του βιοαερίου. Ο παρακάτω κατάλογος παρουσιάζει μερικές σημαντικές θεωρήσεις, που πρέπει να γίνονται πριν επιλεγεί η θέση της μελλοντικής εγκατάστασης:

- Η θέση πρέπει να βρίσκεται σε κατάλληλη απόσταση από κατοικημένες περιοχές προκειμένου να αποφευχθούν δυσχέρειες, ενοχλήσεις και ως εκ τούτου

συγκρούσεις σχετικές με τις οσμές και την αυξημένη κυκλοφορία από και προς την εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου.

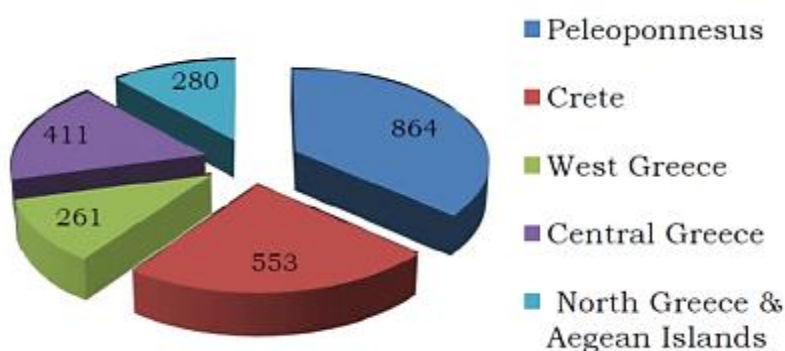
- Πρέπει να προσδιοριστεί η κατεύθυνση των κύριων ανέμων της περιοχής, προκειμένου να αποφευχθεί οι μυρωδιές που μεταφέρονται από τον αέρα να φθάσουν σε κατοικημένες περιοχές.
- Η θέση πρέπει να έχει εύκολη πρόσβαση σε υποδομές όπως είναι το δίκτυο ηλεκτρισμού, προκειμένου να διευκολυνθεί η πώληση του ηλεκτρισμού και οι κύριοι δρόμοι, προκειμένου να διευκολυνθεί η μεταφορά της πρώτης ύλης και του κομπόστ.
- Πρέπει να διερευνηθεί η ποιότητα του εδάφους στην υποψήφια θέση πριν αρχίσει η κατασκευή.
- Η επιλεγμένη θέση δεν πρέπει να βρίσκεται σε μια πιθανή περιοχή που μπορεί να πληγεί από πλημμύρα.
- Η θέση πρέπει να βρίσκεται σχετικά κοντά στην παραγωγή γεωργικής πρώτης ύλης, στοχεύοντας στην ελαχιστοποίηση των αποστάσεων, του χρόνου και των δαπανών για τη μεταφορά της πρώτης ύλης.
- Για λόγους οικονομικής αποδοτικότητας, η εγκατάσταση του βιοαερίου πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στους δυνητικούς χρήστες της παραγόμενης θερμότητας. Εναλλακτικά, μπορούν να μεταφερθούν πιο κοντά στη θέση της εγκατάστασης βιοαερίου άλλοι δυνητικοί χρήστες της θερμότητας, όπως βιομηχανίες με απαιτήσεις σε θερμότητα ή θερμοκήπια.
- Το μέγεθος της θέσης πρέπει να είναι κατάλληλο για τις προβλεπόμενες δραστηριότητες και για το παρεχόμενο ποσό βιομάζας.

Στην Ελλάδα η ελιά καλλιεργείται σχεδόν σε όλα τα διαμερίσματά της. Η Κρήτη, η Πελοπόννησος και η Μυτιλήνη είναι οι περιοχές που η ελιά είναι η κύρια καλλιέργεια. (Γεωργακαράκος Κ., 2013) Ακολούθως (Πίνακας 5.1) παρουσιάζεται η κατανομή ελαιοδέντρων ανά νομό της Ελλάδας.

Πίνακας 5.1: Κατανομή ελαιοδέντρων ανά νομό (Γεωργακαράκος Κ., 2013)

Νομοί	Αριθμός Ελαιοδέντρων
Μεσσηνίας	13.545.000
Ηρακλείου	13.378.000
Λακωνίας	10.936.000
Λέσβου	7.321.000
Χανίων	6.914.000
Ηλείας	6.382.000
Φθιώτιδας	5.530.000
Ευβοίας	5.106.000
Μαγνησίας	4.627.000
Αιτωλοακαρνανίας	3.718.000
Κέρκυρας	3.718.000
Αχαΐας	3.338.000

Η τοποθέτηση της εγκατάστασης είναι σημαντικό να γίνει σε μια περιοχή στην οποία υπάρχει διαθεσιμότητα πρώτης ύλης, δηλαδή αποβλήτων ελαιοτριβείων. Σύμφωνα με την (Εικόνα 5.1), στην περιοχή της Πελοποννήσου υπάρχει πολύ μεγάλος αριθμός ελαιοτριβείων, και για το λόγο αυτό επιλέγεται η τοποθέτηση της εγκατάστασης στην Πελοπόννησο.



Εικόνα 5.1: Γεωγραφική κατανομή ελαιοτριβείων στην Ελλάδα (Γεωργακαράκος Κ., 2013)

Με βάση την κατανομή των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) στην Ελληνική επικράτεια και συγκεκριμένα στην Πελοπόννησο (Εικόνα 5.2), επιλέγεται η τοποθέτηση της μονάδας στο νομό Μεσσηνίας, όπου δεν υπάρχει κάποια μονάδα επεξεργασίας και η παραγωγή ελαιολάδου είναι μεγάλη.



Εικόνα 5.2: Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων στην Ελλάδα (Sioulas K. 2009)

Συγκεκριμένα, ύστερα από έρευνα σχετικά με την ακριβή τοποθεσία των ελαιοτριβείων, επιλέγεται η τοποθέτηση της μονάδας παραγωγής και αναβάθμισης βιοαερίου στην περιοχή του Μεγιστά Μεσσηνίας, όπου η ποσοτική συλλογή των συγκεκριμένων παραπροϊόντων (ελαιοπυρηνόξυλο και κατσίγραρος) δείχνει να είναι η μέγιστη δυνατή, αφού θα συλλέγεται η πρώτη ύλη άμεσα, γρήγορα και χωρίς μεγάλο κόστος μεταφοράς. Στη συγκεκριμένη περιοχή λειτουργούν 15 ελαιοτριβεία, από τα οποία μπορούν να παραλαμβάνονται τα απόβλητα καθημερινά, χωρίς μεγάλο κόστος μεταφοράς.

5.3 Δυναμικότητα και λειτουργία της εγκατάστασης

Στην περιοχή της Μεσσηνίας υπάρχουν 250 ελαιοτριβεία, τα οποία παράγουν 50000 τόνους ελαιόλαδο/ έτος. Ως παραπροϊόντα της διαδικασίας αυτής παράγονται 125000 τόνοι ελαιοπυρήνα/έτος και 250000 τόνοι υγρά απόβλητα/έτος. (Κορακάκης Αντώνης, Πρόεδρος Συνδέσμου Ελαιοτριβέων Μεσσηνίας).

Με βάση την τοποθεσία της εγκατάστασής μας, θα παραλαμβάνουμε απόβλητα από 15 τριφασικά ελαιοτριβεία, τα οποία, θεωρούμε ότι αναλογικά παράγουν 7500 τόνους στερεά απόβλητα /έτος και 15000 m³ υγρά απόβλητα /έτος. Η περίοδος λειτουργίας των ελαιοτριβείων είναι από το Νοέμβριο ως το Φεβρουάριο (4 μήνες) και κάνοντας την παραδοχή ότι η παραγωγή καταμερίζεται ισόποσα ημερησίως, μπορούμε να υπολογίσουμε τις ημερήσιες ποσότητες που θα παραλαμβάνει η μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων, κατά τους τέσσερις μήνες λειτουργίας (Πίνακας 5.2).

Πίνακας 5.2: Ημερήσιες ποσότητες πρώτης ύλης που παραλαμβάνονται από τη μονάδα

Στερεά απόβλητα	62,5 τόνοι /ημέρα
Υγρά απόβλητα	125 m ³ /ημέρα

Με βάση τις ποσότητες αυτές και στοιχεία της βιβλιογραφίας για την παραγωγή βιοαερίου από απόβλητα ελαιοπυργείου που παρατίθενται ακολούθως, για την απόδοση των υγρών και στερεών αποβλήτων σε βιοαέριο, προέκυψε ότι από ένα 1 m³ υγρών αποβλήτων παράγονται 6 m³ βιοαερίου (Κονδύλης Θ., 2011) και ότι από 1 kg ξηράς ουσίας στερεών αποβλήτων (ελαιοπυρηνόξυλου) παράγεται 0,5 m³ βιοαερίου (Κουτρογιάννης Θ., 2011). Σύμφωνα με τα στοιχεία των αποδόσεων και τις διαθέσιμες ποσότητες αποβλήτων, γίνεται η διαστασιολόγηση της μονάδας.

Περίοδος Λειτουργίας

Η μονάδα λειτουργεί έντεκα μήνες το έτος, τους τέσσερις εκ των οποίων (Νοέμβριος-Φεβρουάριος) (Κορακάκης Α.) στο μέγιστο της δυναμικότητάς της, καθώς επεξεργάζεται τόσο τα υγρά απόβλητα όσο και το ελαιοπυρηνόξυλο, ενώ κατά τους υπόλοιπους μήνες επεξεργάζεται μόνο το ελαιοπυρηνόξυλο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ελαιοπυρηνόξυλο μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, ενώ τα υγρά απόβλητα πρέπει να υποστούν επεξεργασία σε διάστημα 1-2 ημερών από τη στιγμή που θα τα παραλάβει η μονάδα (Παπαδιαμαντόπουλος Μ., 2012). Με τον τρόπο αυτό επεκτείνεται το διάστημα λειτουργίας της μονάδας, ενώ διαφορετικά η λειτουργία της θα ήταν εποχιακή και σίγουρα λιγότερο αποδοτική. Θεωρούμε ότι κατά το διάστημα ενός μηνός διενεργούνται στη μονάδα εργασίες συντήρησης και για το λόγο αυτό δε λειτουργεί.

Δυναμικότητα μονάδας

Ακολούθως παρουσιάζονται οι υπολογισμοί δυναμικότητας της μονάδας που αφορούν τις ημερησίως επεξεργαζόμενες ποσότητες πρώτων υλών και την παραγωγή βιοαερίου της μονάδας.

Η ωριαία τροφοδοσία του ελαιοπυρηνόξυλου κατά την εντεκάμηνη περίοδο λειτουργίας θα είναι:

$$\frac{\text{Ετήσια ποσότητα}}{\text{11μηνη λειτουργία (d)}} = 7500 / 330 = 22,7 \text{ tn} / \text{d} = 0,95 \text{ tn} / \text{h}$$

Η ωριαία τροφοδοσία των υγρών αποβλήτων κατά την τετράμηνη περίοδο παραλαβής τους θα είναι:

$$\frac{\text{Ετήσια ποσότητα}}{\text{4μηνη λειτουργία (d)}} = 15000 / 120 = 125 \text{ tn} / \text{d} = 5,21 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Η δυνατότητα ωριαίας παραγωγής βιοαερίου από το ελαιοπυρηνόξυλο είναι:

$$0,5 \text{ m}^3 \text{ βιοαερίου} / \text{kg ξηράς ουσίας} \cdot 0,95 \text{ tn} / \text{h} \cdot 1000 \text{ kg} / \text{tn} \cdot 0,87 = 413,25 \text{ m}^3 \text{ βιοαερίου} / \text{h}$$

όπου θεωρούμε ότι η υγρασία του ελαιοπυρηνόξυλου είναι 13%, όπως αναλύθηκε στην Ενότητα 2.8.

Η δυνατότητα ωριαίας παραγωγής βιοαερίου από τα υγρά απόβλητα είναι:

$$6 \text{ m}^3 \text{ βιοαερίου} / \text{m}^3 \text{ υγρών αποβλήτων} \cdot 5,21 \text{ m}^3 / \text{h} = 31,26 \text{ m}^3 \text{ βιοαερίου} / \text{h}$$

Άρα κατά την τετράμηνη περίοδο διπλής τροφοδοσίας (ελαιοπυρηνόξυλο και κατσίγαρος) η μονάδα παράγει βιοαέριο με παροχή

$$413,25 + 31,26 = 444,51 \text{ m}^3 / \text{h} ,$$

ενώ κατά τους υπόλοιπους μήνες που έχουμε τροφοδοσία μόνο με ελαιοπυρηνόξυλο η παροχή του παραγόμενου βιοαερίου είναι

$$413,25 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Με βάση τη θερμογόνο δύναμη του βιοαερίου (Πίνακας 4.2), η οποία θεωρείται ίση με $6,5 \text{ kWh}/\text{m}^3$, η ισχύς του παραγόμενου καυσίμου υπολογίζεται, ανάλογα με την περίπτωση λειτουργίας ως ακολούθως:

Τροφοδοσία μόνο με ελαιοπυρηνόξυλο (7 μήνες):

$$413,5 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 6,5 \text{ kWh} / \text{m}^3 = 2.688 \text{ kW} \approx 2,7 \text{ MW}_f$$

Διπλή τροφοδοσία (4 μήνες):

$$444,5 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 6,5 \text{ kWh} / \text{m}^3 = 2.889 \text{ kW} \approx 2,9 \text{ MW}_f$$

Για τον υπολογισμό της δυναμικότητας της μονάδας μετά και από την αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο, θεωρούμε με βάση τη βιβλιογραφία (Πίνακας 4.2) ότι η ποσότητα του μεθανίου στο βιοαέριο είναι 65% και η θερμογόνος δύναμη του βιομεθανίου είναι $10,5 \text{ kWh}/\text{m}^3$ (Πίνακας 4.2). Άρα:

Για την περίπτωση της απλής τροφοδοσίας:
 $413,5 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 0,65 \cdot 10,5 \text{ kWh} / \text{m}^3 = 2.822 \text{ kW} \approx 2,8 \text{ MW}_f$

Η αντίστοιχη ωριαία παροχή βιομεθανίου είναι: $413,5 \text{ m}^3/\text{h} * 0.65 = 268,8 \text{ m}^3/\text{h}$.

Για την περίπτωση της διπλής τροφοδοσίας:
 $444,5 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 0,65 \cdot 10,5 \text{ kWh} / \text{m}^3 = 3.034 \text{ kW} \approx 3 \text{ MW}_f$

Η αντίστοιχη ωριαία παροχή βιομεθανίου είναι: $444,5 \text{ m}^3/\text{h} * 0,65 = 288,9 \text{ m}^3/\text{h}$.

Συγκεντρωτικά, οι παραπάνω υπολογισμοί, για την τροφοδοσία της μονάδας με στερεά και υγρά απόβλητα, το παραγόμενο βιοαέριο και την ισχύ του, καθώς και το αναβαθμισμένο βιομεθάνιο και την ισχύς του, παρουσιάζονται ακολούθως, τόσο για την περίοδο της τετράμηνης λειτουργίας (διπλή τροφοδοσία), όσο και για την περίοδο της εντεκάμηνης λειτουργίας (απλή τροφοδοσία).

Πίνακας 5.3: Συγκεντρωτικά στοιχεία δυναμικότητας της μονάδας

	Ελαιοπυρηνόξυλο	Υγρά απόβλητα	Παροχή Βιοαερίου	Ισχύς Βιοαερίου	Παροχή Βιομεθανίου	Ισχύς Βιομεθανίου
Απλή τροφοδοσία	0,95 tn/h	-	413,25 m ³ /h	2,7 MW _f	268,8 m ³ /h	2,8 MW _f
Διπλή τροφοδοσία	0,95 tn/h	5,21 m ³ /h	444,51 m ³ /h	2,9 MW _f	288,9 m ³ /h	3 MW _f

5.4 Συνιστώσες της εγκατάστασης

Ακολούθως θα αναλυθούν και θα περιγραφούν οι επιμέρους συνιστώσες της εγκατάστασης και, σύμφωνα με τη διαστασιολόγηση της μονάδας, θα επιλεγεί ο κατάλληλος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός. Θα περιγραφούν συγκεκριμένα, ο τρόπος παραλαβής της πρώτης ύλης από τα ελαιουργεία, η αποθήκευσή της, ο εξοπλισμός που απαιτείται για την προεπεξεργασία της πρώτης ύλης πριν την είσοδο στους χωνευτήρες και το σύστημα τροφοδοσίας στους χωνευτήρες.

Εν συνεχεία, θα περιγραφεί η προθέρμανση της πρώτης ύλης πριν την είσοδο στους χωνευτήρες, η διαστασιολόγηση των χωνευτήρων, το σύστημα θέρμανσής τους και το σύστημα ανάδευσης του περιεχομένου τους, καθώς και η παραγόμενη χωνεμένη

ιλύς από τους χωνευτήρες. Η μελέτη συνεχίζεται με τη διαστασιολόγηση των αποθηκών του βιοαερίου και της χωνεμένης ιλύος.

Περιγράφεται το σύστημα αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο, και επιλέγεται κατάλληλη μηχανή εσωτερικής καύσης και γεννήτρια για τη συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Τέλος υπολογίζεται η καθαρή θερμική και ηλεκτρική ισχύς της εγκατάστασης, με σκοπό την έγχυση της ηλεκτρικής ισχύος στο δίκτυο και την παροχή της θερμότητας για τηλεθέρμανση των γειτονικών οικισμών και θερμοκηπίων.

5.4.1 Παραλαβή της πρώτης ύλης

Είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί ο σταθερός και συνεχής εφοδιασμός με πρώτη ύλη, στην κατάλληλη ποιότητα και ποσότητα. Το πρώτο στάδιο λοιπόν θα είναι η παραλαβή της πρώτης ύλης από τα ελαιουργεία της περιοχής του Μελιγαλά Μεσσηνίας. Η συλλογή από τα 15 ελαιουργεία θα γίνεται με ειδικά διαμορφωμένα οχήματα μεταφοράς τα οποία είναι κλειστά, στεγανά, φέρουν σήμανση και είναι εφοδιασμένα με πλάγιο ανυψωτικό μηχανισμό για άδειασμα του περιεχομένου των κάδων στις δεξαμενές αποθήκευσης της εγκατάστασης. Η παραλαβή των αποβλήτων θα είναι ημερήσια, κατά κύριο λόγο, και θα αφορά όλο το διάστημα της περιόδου λειτουργίας των ελαιοτριβείων, δηλαδή από Νοέμβριο έως Φεβρουάριο.

Για τη συλλογή των αποβλήτων από τα ελαιουργεία θα χρησιμοποιηθούν φορτηγά μεταφοράς ανοξείδωτου χάλυβα κενού χωρητικότητας 12,5 tn για τα στερεά και φορτηγά χωρητικότητας 29,5 m³ για τα υγρά. Η επιλογή βασίζεται στις απαιτούμενες ημερήσιες ποσότητες μεταφοράς και στους διαθέσιμους τύπους φορτηγών μεταφοράς. Με βάση τις ημερήσιες ποσότητες, απαιτούνται πέντε φορτηγά για τη μεταφορά των στερεών και τέσσερα για τα υγρά, τα οποία κάνουν τα απαραίτητα δρομολόγια ώστε να μεταφέρουν όλη την ημερήσια παραγωγή.

Σε κάθε φορτίο πρώτης ύλης θα γίνεται οπτικός έλεγχος, προκειμένου να ελεγχθεί, να υπολογιστεί και να διακριβωθεί το παρεχόμενο υλικό. Κατόπιν, το υλικό θα οδηγείται σε ειδική πλατφόρμα ζύγισης, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.3 όπου θα καταγράφεται το βάρος παράδοσης και όλα τα στοιχεία της πρώτης ύλης (προμηθευτής, ημερομηνία, ποσότητα, τύπος πρώτης ύλης, διαδικασίες προέλευσης και ποιότητας).



Εικόνα 5.3: Πλατφόρμα ζύγισης (REnInvest Group 2012)

5.4.2 Αποθήκευση πρώτης ύλης

Η αποθήκευση της πρώτης ύλης χρησιμεύει πρωτίστως στο να αντισταθμιστούν οι εποχιακές διακυμάνσεις του εφοδιασμού με πρώτη ύλη και διευκολύνει την ανάμιξη των διαφορετικών ομο-υποστρωμάτων για συνεχή εφαρμογή στο χωνευτήριο.

Τα ομο-υποστρώματα (υγρά ή στιβάσιμα) μπορούν να αναμιχθούν με τα κύρια υποστρώματα στη δεξαμενή αποθήκευσης, να θρυμματισθούν, να ομογενοποιηθούν και να μετασχηματιστούν σε ένα αντλήσιμο μίγμα. Πρέπει να αποφεύγονται η απόφραξη, η ιζηματογένεση, η δημιουργία στρωμάτων επίπλευσης και ο διαχωρισμός φάσης του μίγματος της πρώτης ύλης. Για τον λόγο αυτό, οι δεξαμενές αποθήκευσης εξοπλίζονται με αναδευτήρες που συχνά συνδυάζονται με εργαλεία σκισίματος και κοπής για την θραύση της πρώτης ύλης. Η ανάδευση στις δεξαμενές αποθήκευσης γίνεται με την ίδια τεχνική ανάδευσης που χρησιμοποιείται για την ανάδευση στους χωνευτήρες, όπως θα περιγραφεί στη συνέχεια.

Η στερεή και η υγρή πρώτη ύλη αποθηκεύονται σε διαφορετικού τύπου εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Τα σιλό αποθήκευσης έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν πρώτη ύλη για παραπάνω από ένα έτος. Οι δεξαμενές αποθήκευσης έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν πρώτη ύλη για αρκετές ημέρες. (Γιακουμέλος Λευτέρης 2012)

Η αποθήκη τύπου σιλό από γαλβανισμένο χάλυβα επιλέχθηκε για τη φύλαξη των στερεών αποβλήτων, ώστε να μπορούν να διατηρούνται για αρκετούς μήνες. Για τα υγρά απόβλητα επιλέχθηκε η αποθήκευση σε σφραγισμένη, υδατοστεγή και από ενισχυμένο σκυρόδεμα δεξαμενή, η οποία θα έχει χωρητικότητα ικανοποιητική για την αποθήκευση πρώτης ύλης για μια -δύο ημέρες. Για την αποτροπή εκπομπών, όλες οι δεξαμενές αποθήκευσης θα είναι καλυμμένες με εύκολο άνοιγμα για την αφαίρεση των δημιουργούμενων ιζημάτων.

Η διαστασιολόγηση των εγκαταστάσεων αποθήκευσης καθορίζεται από:

- τις ποσότητες που πρόκειται να αποθηκευτούν,
- τις περιόδους παράδοσης, και
- τις ποσότητες που καθημερινά τροφοδοτούνται στον χωνευτή.

Για την αντιστάθμιση της εποχικότητας της παραγωγής, το ελαιοπυρηνόξυλο θα αποθηκεύεται σε σιλό, ώστε να είναι διαθέσιμο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ τα υγρά απόβλητα, θα συλλέγονται από τα ελαιοτριβεία με βυτιοφόρα και θα τοποθετούνται σε αντλήσιμη δεξαμενή αποθήκευσης.

Διαστασιολόγηση των δεξαμενών αποθήκευσης

Δεξαμενή αποθήκευσης στερεών αποβλήτων (ελαιοπυρηνόξυλου)

Κατά την τετράμηνη περίοδο όπου η εγκατάσταση παραλαμβάνει ελαιοπυρηνόξυλο κάθε ημέρα, εισέρχονται 62,5 tn ελαιοπυρηνόξυλο ανά ημέρα και καταναλώνονται 22,7 tn ημερησίως (σύμφωνα με την ωριαία παροχή του ελαιοπυρηνόξυλου στο χωνευτήρα). Άρα κάθε ημέρα προστίθενται στη δεξαμενή 39,8 tn. Άρα η μέγιστη ποσότητα που θα πρέπει να χωρά η δεξαμενή, εμφανίζεται στην τελευταία ημέρα του τετραμήνου παραλαβής στερεών αποβλήτων, η οποία ισούται με $39,8tn / d \cdot 120d = 4.776 tn$

Επειδή η πυκνότητα του ελαιοπυρηνόξυλου είναι 850 kg/m^3 , απαιτείται κυλινδρική ατσάλινη δεξαμενή συνολικής χωρητικότητας $4776 \text{ tn} / 0,850 \text{ tn/m}^3 = 5619 \text{ m}^3$ Άρα, σύμφωνα με τον κατάλογο της εταιρείας Bessemer επιλέγεται κυλινδρική δεξαμενή συνολικής χωρητικότητας 5756 m^3 ώστε να υπάρχει περιθώριο ασφαλείας, ύψους γείσου 20,48 m και συνολικού ύψους δεξαμενής 26,2m και διαμέτρου 20,7 m από γαλβανισμένο χάλυβα. Παράδειγμα τέτοιας μονάδας αποθήκευσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.4.



Εικόνα 5.4: Παράδειγμα κυλινδρικού σιλό από γαλβανισμένο χάλυβα (www.bessemer.co.za/)
Δεξαμενή αποθήκευσης υγρών αποβλήτων

Η ημερήσια ποσότητα που παραλαμβάνει η μονάδα είναι κατά μέσο όρο $125 \text{ m}^3 / \text{d}$, η οποία πρέπει να υποστεί επεξεργασία εντός δύο ημερών. Η δεξαμενή πρέπει να χωρά την ποσότητα που παραλαμβάνεται εντός δύο ημερών, δηλαδή 250 m^3 . Για λόγους ασφαλείας θεωρούμε ότι ο όγκος της δεξαμενής πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να χωρά την ποσότητα τριών ημερών, δηλαδή $375 \text{ m}^3 / \text{d}$, για την περίπτωση όπου τα υγρά απόβλητα λόγω κάποιου τεχνικού προβλήματος μπορεί να χρειαστεί να παραμείνουν στη δεξαμενή. Οπότε επιλέγεται κυλινδρική δεξαμενή από γαλβανισέ ατσάλι της ζητούμενης χωρητικότητας της εταιρίας Fitrowent συνολικού ύψους $14,75 \text{ m}$ μαζί με τη χοάνη (όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.5) και διαμέτρου $7,52 \text{ m}$. Παράδειγμα τέτοιας δεξαμενής αποθήκευσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.5.



Εικόνα 5.5: Παράδειγμα κυλινδρικής δεξαμενής αποθήκευσης (www.filtrowent.com.pl)

5.4.3 Στάδια προεπεξεργασίας

Θρυμματισμός των στερεών αποβλήτων

Ο θρυμματισμός της πρώτης ύλης του ελαιοπυρηνόξυλου προετοιμάζει τις επιφάνειες των σωματιδίων για τη βιολογική διεργασία της αποσύνθεσης και την εν συνεχεία παραγωγή βιοαερίου. Γενικός κανόνας είναι ότι η διεργασία της αποσύνθεσης είναι γρηγορότερη, όταν το μέγεθος των σωματιδίων είναι μικρότερο. Γενικά, το μέγεθος των σωματιδίων επηρεάζει μόνο το χρόνο της χώνευσης, και δεν αυξάνει απαραίτητα την παραγωγή μεθανίου. Ο θρυμματισμός της πρώτης ύλης συνήθως συνδέεται άμεσα με το σύστημα τροφοδοσίας. Οι κυλινδρικοί θραυστήρες βρίσκονται μετά το σιλό, στην πορεία της πρώτης ύλης προς το χωνευτήρα.

Η μηχανή θρυμματισμού θα φέρει δύο κυλίνδρους, μέσα από τους οποίους θα περνά το ελαιοπυρηνόξυλο και εξέρχεται σε μέγεθος 2-5 mm. Η μηχανή πρέπει να επεξεργάζεται ποσότητα περίπου 1 tn/h. Επιλέχθηκε μηχανή θρυμματισμού της εταιρείας Zhengzhou Benmao Machinery Manufacturing (www.woodcrusher-mill.com), η παραγωγικότητα της οποίας είναι 1 έως 7 m³/h και βρίσκεται κοντά στις δικές μας ανάγκες (Εικόνα 5.6). Η ισχύς της μηχανής είναι **2*5,5kW=11kW**.



Εικόνα 5.6: Μηχανή θρυμματισμού του ελαιοπυρηνόξυλου (<http://www.woodcrusher-mill.com>)

Ομογενοποίηση των υγρών αποβλήτων

Η ομογενοποίηση είναι απαραίτητη προκειμένου να ληφθεί πρώτη ύλη με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, η οποία έπειτα θα τροφοδοτείται στο χωνευτήρα μέσω αντλιών. Η ομογενοποίηση θα πραγματοποιείται μέσα στις δεξαμενές αποθήκευσης, με τη χρήση αναδευτήρα, πριν αντληθεί το υλικό στον κύριο χωνευτήρα. Για την επιλογή του αναδευτήρα, λαμβάνεται υπόψη η ποσότητα που βρίσκεται αποθηκευμένη εντός της δεξαμενής. Ο αναδευτήρας είναι της εταιρείας alfalaval (www.alfalaval.com) με ισχύ κατανάλωσης **11 kW**, ο οποίος τοποθετείται στα πλευρικά τοιχώματα της δεξαμενής (Εικόνα 5.7) και έχει δυνατότητα επεξεργασίας 250 m³, όση δηλαδή και η ποσότητα του κατσίγαρου που αποθηκεύεται στη δεξαμενή.



Εικόνα 5.7: Αναδευτήρας ομογενοποίησης των υγρών αποβλήτων (www.alfalaval.com)

Αραιώση

Οι φαινόλες που έχουν τα υγρά απόβλητα (κατσίγαρος) είναι τοξικές για τα αναερόβια βακτήρια και επομένως πρέπει να γίνει πρώτα έστω και μερική εξουδετέρωση τους (π.χ. με συγκεκριμένα ένζυμα ή αερόβια επεξεργασία με ειδικούς μύκητες ή χρήση οξειδωτικών) ή να γίνει κατάλληλη αραιώση του κατσίγαρου με νερό, ώστε να μειωθεί η συγκέντρωση των φαινολών κάτω του 1 g/L (η οποία οδηγεί σε αύξηση του όγκου επεξεργασίας και επομένως αύξηση του απαιτούμενου όγκου του χωνευτήρα της εγκατάστασής μας). Η συνήθης πρακτική που θα εφαρμόσουμε και στην εν λόγω εγκατάσταση είναι η αραιώση των υγρών αποβλήτων ελαιολιτριβείων σε αναλογία 1:1 κατ' όγκο. (Ελαιουργική Συνεταιριστική Ένωση). Η αραιώση θα γίνεται μέσα στο χωνευτήρα.

5.4.4 Σύστημα τροφοδοσίας

Μετά από την αποθήκευση και την προεπεξεργασία, η πρώτη ύλη της αναερόβιας χώνευσης τροφοδοτείται στο χωνευτήρα. Η τεχνική τροφοδοσίας εξαρτάται από τον τύπο της πρώτης ύλης και την ικανότητα άντλησής της. Οι αντλήσιμες πρώτες ύλες - υδαρή υποστρώματα και μεγάλος αριθμός υγρών οργανικών αποβλήτων - μεταφέρονται με αντλίες από τις δεξαμενές αποθήκευσης στο χωνευτήρα., ενώ η μεταφορά της στερεής ύλης μπορεί να γίνει με μεταφορική ταινία ή κοχλιομεταφορέα. Στη συγκεκριμένη εγκατάσταση η τροφοδοσία των στερεών αποβλήτων θα γίνει με μεταφορική ταινία, ενώ των υγρών αποβλήτων θα γίνεται μέσω αντλίας.

Μεταφορά ελαιοπυρηνόξυλου στο χωνευτήρα

Η μεταφορική ταινία θεωρούμε ότι θα έχει πλάτος 40cm, διότι η διάσταση αυτή επαρκεί για τη μεταφορά της παροχής μας, η οποία είναι μικρή (<1 tn/h) σε σχέση με συνήθεις τιμές βιομηχανικών εφαρμογών με πολλαπλάσιες τιμές παροχής υλικού (<http://www.douglasmanufacturing.com/engineering-info/beltCapacityChart.php3>). Το υλικό θα τοποθετείται σε στρώση ύψους 5 cm, ώστε να είναι ομαλή η μεταφορά του προς το χωνευτήρα. Επίσης θα υπάρχει απόσταση ασφαλείας 2cm από τις άκρες της μεταφορικής ταινίας, ώστε να μην κυλάει εκτός των ορίων της μεταφορικής ταινίας. Το σύστημα διαθέτει επίσης αισθητήρες ζύγισης και ηλεκτρικούς οδηγούς, που ενσωματώνονται πλήρως στο κεντρικό σύστημα αυτόματου ελέγχου της εγκατάστασης βιοαερίου. Το μήκος της μεταφορικής ταινίας επιλέχθηκε ίσο με 15m, το οποίο είναι μια λογική τιμή και η οποία καθορίζει το βάρος που θα δέχεται κάθε χρονική στιγμή η μεταφορική ταινία, και ανάλογα και την επιλογή του ηλεκτροκινητήρα που την κινεί. Με βάση τα στοιχεία αυτά έγινε ο υπολογισμός της ταχύτητας και της απαιτούμενης ισχύος του ηλεκτροκινητήρα για τη μεταφορά.

Υπολογισμός ταχύτητας μεταφορικής ταινίας και ισχύος του ηλεκτροκινητήρα της

Η παροχή που θέλουμε να εισέρχεται στο χωνευτήρα, ώστε να διοχετευθεί όλη η διαθέσιμη ποσότητα είναι 0,26 kg/s. Πρέπει να υπολογιστεί η μάζα που περιέχεται στο μοναδιαίο μήκος της μεταφορικής ταινίας. Για να γίνει αυτό, απαιτείται η πυκνότητα του ελαιοπυρηνόξυλου, η οποία είναι 850 kg/m³.

Ο όγκος ανά μοναδιαίο μήκος της μεταφορικής ταινίας, δηλ. 1 cm , είναι

$$36\text{cm} * 5\text{cm} * 1\text{cm} = 180\text{ cm}^3$$

Η μάζα που περιέχεται στον όγκο αυτό είναι:

$$180\text{ cm}^3 * 850\text{ kg/ m}^3 = 0,153\text{ kg}$$

Άρα, για να εισέρχεται στο χωνευτήρα παροχή ίση με 0,26 kg/s, πρέπει η ταχύτητα της μεταφορικής ταινίας να είναι τέτοια ώστε σε κάθε χρονική στιγμή να εισέρχεται στο χωνευτήρα ποσότητα που περιέχεται σε μήκος (0,26/0,153) , δηλαδή ίση με **1,7 cm/s**.

Η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα που κινεί τη μεταφορική ταινία, εξαρτάται από το βάρος του υλικού που μεταφέρεται, δηλ από την ποσότητά του, και άρα από το μήκος της μεταφορικής ταινίας,. Θεωρώντας ότι το μήκος της μεταφορικής ταινίας είναι 15m, η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα πρέπει να είναι ίση με:

$$P = F \cdot v = 0,153 \frac{kg}{cm} \cdot 1500 cm \cdot 0,0981 \frac{cm}{s^2} \cdot 1,7 \frac{cm}{s} \Rightarrow$$

$$P = 3827W = 3,8kW$$

Επειδή στον υπολογισμό, δεν έχουν ληφθεί υπόψη, το βάρος τη μεταφορικής ταινίας και οι τριβές, επιλέγεται ηλεκτροκινητήρας με ισχύ **5,5 kW** τριφασικός ασύγχρονος της εταιρείας TEC Electric Motors, ώστε να υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις μας.

Άρα, για τη μεταφορά του ελαιοπυρηνόξυλου στο χωνευτήρα, επιλέχθηκε μεταφορική ταινία μήκους 15m, πλάτους 40cm, η οποία κινείται με ταχύτητα 1,7 cm/s, όπως υπολογίσθηκε, ώστε όλη η παροχή που θέλουμε (0,95tn/h) να μπορεί να διοχετευθεί στο χωνευτήρα. Η στρώση του υλικού πάνω στον ιμάντα θα έχει πάχος 5cm. Παράδειγμα μεταφορικής ταινίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.8.



Εικόνα 5.8: Παράδειγμα μεταφορικής ταινίας για τη μεταφορά του ελαιοπυρηνόξυλου στο χωνευτήρα (www.douglasmanufacturing.com)

Τροφοδότηση κασίγαρου στο χωνευτήρα

Η επιλογή της κατάλληλης αντλίας γίνεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$N = \gamma QH / \eta \quad (4.1)$$

όπου γ το ειδικό βάρος του νερού (θεωρούμε και του κασίγαρου) ίσο με 9,789 kN/m³

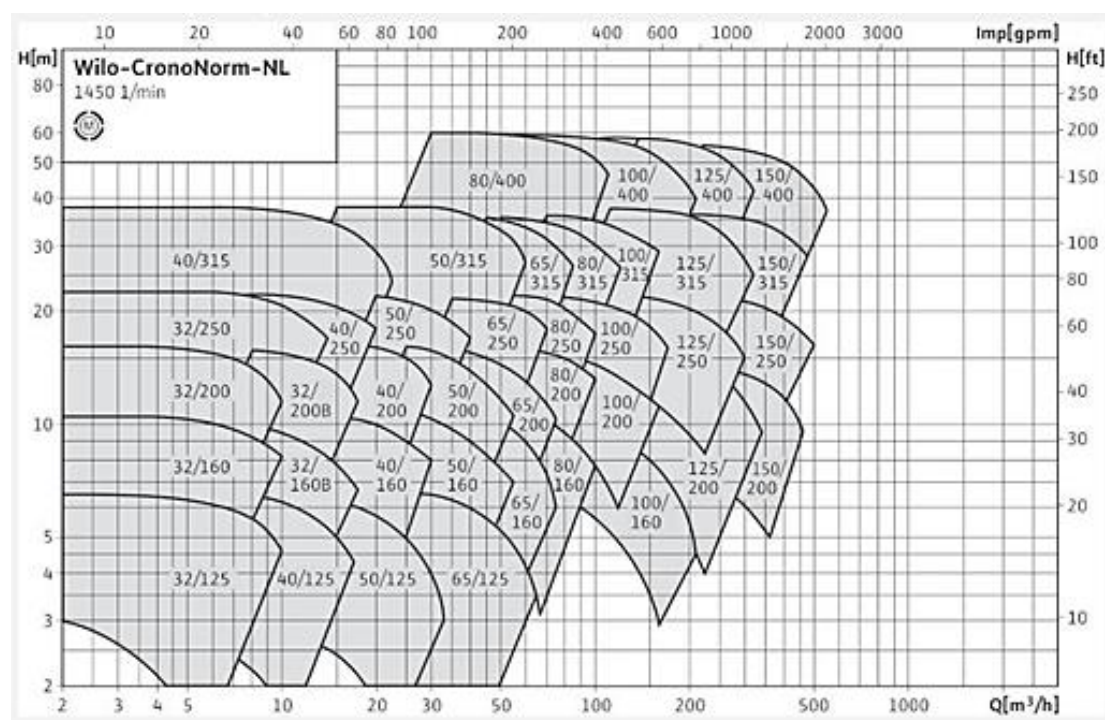
Q η ογκομετρική παροχή (m^3/s)

H το ολικό ύψος της αντλίας (m)

η η τιμή του ολικού βαθμού απόδοσης με τον οποίο λειτουργεί η αντλία

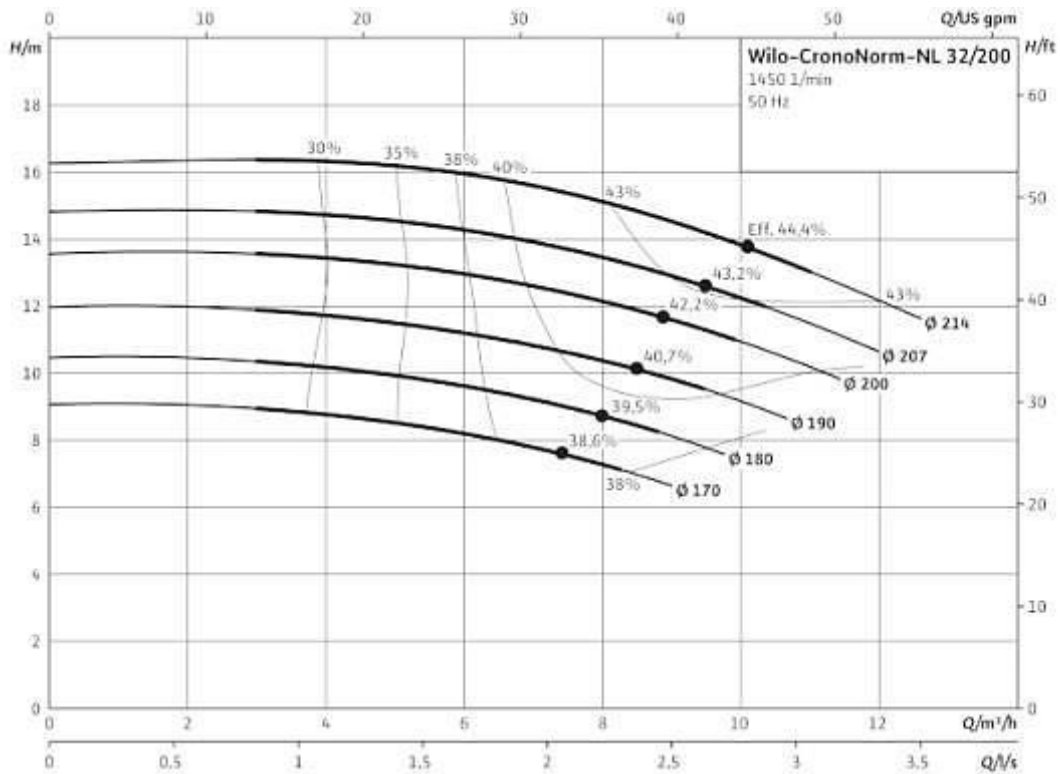
N η μηχανική ισχύς την οποία απορροφά η αντλία από τον κινητήρα της (W)

Η επιλογή της κατάλληλης αντλίας γίνεται καταρχήν από το πλήρες διάγραμμα μιας σειράς αντλιών της εταιρίας wilo (www.wilo.gr).



Εικόνα 5.9: Εύρη λειτουργίας των αντλιών Wilo-CronoNorm-NL (www.wilo.gr)

Σύμφωνα με την προς άντληση παροχή ($Q=5,21 m^3/h$) και το απαιτούμενο ύψος $H=16 m$, ώστε ο κατσίγαρος να εισέρχεται σε κατάλληλο ύψος στο χωνευτήρα, για τη μεταφορά του κατσίγαρου στο χωνευτήρα επιλέγεται αντλία Wilo-CronoNorm-NL 32/200 με μέγιστη παροχή $Q=12 m^3/h$ μέγιστο ύψος $H=17m$ από την εταιρία wilo (www.wilo.gr) με ολικό βαθμό απόδοσης $\eta=0,37$. Άρα η μηχανική ισχύς που απορροφά η αντλία είναι: $N=0,6 kW$ με κάθετο στόμιο κατάθλιψης και εσωτερικό σπείρωμα. Η ονομαστική ισχύς του κινητήρα είναι $0,75 KW$, και σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κινητήρα, ο βαθμός απόδοσής του στο φορτίο αυτό είναι $0,79$. Συνεπώς η συνολική κατανάλωση της αντλίας του κατσίγαρου είναι $0,6/0,79=0,76 kW$. Η χαρακτηριστική λειτουργίας της αντλίας που επιλέχθηκε φαίνεται στην Εικόνα 5.10.



Εικόνα 5.10: Χαρακτηριστική της αντλίας που επιλέχθηκε για την άντληση του κασιόγαρου στο χωνευτήρα (www.productfinder.wilo.com/gr)

Τροφοδότηση νερού αραιώσεως στο χωνευτήρα

Τόσο η παροχή του νερού αραιώσεως όσο και το ύψος στο οποίο θέλουμε να διακινήθει, ταυτίζονται με την περίπτωση του κασιόγαρου. Άρα επιλέγεται η ίδια αντλία με Wilo-CronoNorm-NL 32/200 με κατανάλωση **0,76 kW**, όπως υπολογίστηκε στην περίπτωση του κασιόγαρου.

Συντήρηση συστήματος τροφοδοσίας

Για την αποφυγή εμφράξεων στην είσοδο και την έξοδο θα επιλεγεί ικανοποιητική διάμετρος των σωληνώσεων. Όλα τα κινητά μέρη των αντλιών υφίστανται σημαντικές φθορές και πρέπει επομένως να αντικαθίστανται κατά καιρούς. Αυτό πρέπει να είναι εφικτό χωρίς τη διακοπή της παραγωγής του βιοαερίου. Για το λόγο αυτό, οι αντλίες θα φέρουν βαλβίδες διακοπής, οι οποίες θα επιτρέπουν την τροφοδοσία και την εκκένωση των χωνευτήρων και των σωληνώσεων, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.11. Οι αντλίες θα είναι τοποθετημένες σε ευπρόσιτα σημεία ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητικός χώρος για τις εργασίες συντήρησης. Η λειτουργία των αντλιών και η μεταφορά του αντλήσιμου υποστρώματος ελέγχεται αυτόματα, με τη βοήθεια υπολογιστών και χρονομέτρων.



Εικόνα 5.11: Βαλβίδες διακοπής (αριστερά) και σύστημα άντλησης (δεξιά) (RUTZ., 2008)

Σωληνώσεις

Τα παρελκόμενα και οι σωληνώσεις που θα χρησιμοποιηθούν στο εν λόγω σύστημα παραγωγής βιοαερίου θα είναι αντιδιαβρωτικά και κατάλληλα για τον χειρισμό υλικών αυτού του είδους (απόβλητα ελαιουργείων). Τα υλικά, που χρησιμοποιούνται για τις σωληνώσεις εξαρτώνται από το μεταφερόμενο φορτίο και το επίπεδο της πίεσης και μπορεί να είναι από PVC, HDPE, χάλυβα και ανοξείδωτο χάλυβα. Κατά συνέπεια θα επιλέξουμε σωληνώσεις από ανοξείδωτο χάλυβα για τη μεταφορά όλων των αποβλήτων.

Για την ασφαλή λειτουργία των εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαερίου πρέπει να είναι εγγυημένες οι ελάχιστες απαιτήσεις για τις σωληνώσεις και τα παρελκόμενα, όσον αναφορά τις ιδιότητες των υλικών τους, τα χαρακτηριστικά ασφάλειας και την στεγανότητά τους. (Ελαιουργική Συνεταιριστική Ένωση)

Πρέπει να αποτρέπεται η επιστροφή του υποστρώματος από τον χωνευτήρα μέσα στις δεξαμενές αποθήκευσης με την κατάλληλη διάρθρωση των σωληνώσεων. Κατά την εγκατάσταση των σωλήνων, πρέπει να διατηρηθεί μια κλίση της τάξης του 1 -2%, προκειμένου να επιτρέπεται ο πλήρης διαχωρισμός. Παραδείγματα μεμονωμένων σωληνώσεων και σωληνώσεων βιομάζας παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.12.



Εικόνα 5.12: Μονωμένες σωληνώσεις (αριστερά) και σωληνώσεις για βιομάζα (δεξιά) (RUTZ, 2008).

5.4.5 Χωνευτήρες

Ο πυρήνας μιας εγκατάστασης βιοαερίου είναι ο χωνευτήρας, δηλαδή ένας αεροστεγής αντιδραστήρας, όπου πραγματοποιείται η αποσύνθεση της πρώτης ύλης, απουσία οξυγόνου, και παράγεται το βιοαέριο. Τα κοινά χαρακτηριστικά όλων των χωνευτήρων, εκτός από την αεροστεγανότητα, είναι ότι διαθέτουν ένα σύστημα τροφοδοσίας της πρώτης ύλης καθώς επίσης και συστήματα εξαγωγής του βιοαερίου και του κομπόστ. Στις Ευρωπαϊκές κλιματικές συνθήκες οι αναερόβιοι χωνευτήρες πρέπει να μονώνονται και να θερμαίνονται.

Υπάρχουν ποικίλοι χωνευτήρες βιοαερίου, που λειτουργούν στην Ευρώπη και παγκοσμίως. Κατασκευάζονται από σκυρόδεμα, χάλυβα, τούβλο ή πλαστικό, είναι διαμορφωμένοι ως σιλό, σκάφες, λεκάνες ή λιμνούλες, και μπορεί να τοποθετούνται υπόγεια ή στην επιφάνεια του εδάφους. Το μέγεθος των εγκαταστάσεων βιοαερίου δίνεται από το μέγεθος των χωνευτήρων, το οποίο ποικίλλει από λίγα κυβικά μέτρα στην περίπτωση των μικρών οικιακών εγκαταστάσεων έως χιλιάδες κυβικά μέτρα στις μεγάλες εμπορικές εγκαταστάσεις με αρκετούς χωνευτήρες.

Η επιλογή του σχεδίου και ο τύπος του χωνευτήρα καθορίζονται πρώτιστα από το περιεχόμενο σε νερό, αντίστοιχα από το περιεχόμενο σε ξηρή ουσία του χωνευμένου υποστρώματος. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η AX λειτουργεί με δύο βασικά συστήματα: υγρή χώνευση, όταν το μέσο περιεχόμενο ξηρής ουσίας (ΞΟ) του υποστρώματος είναι χαμηλότερο από 15% και την ξηρή χώνευση, όταν η περιεκτικότητα σε ΞΟ του υποστρώματος είναι πάνω από αυτήν την τιμή, συνήθως μεταξύ 20 και 40%. (Ελαιουργική Συνεταιριστική Ένωση, Vanouraki A. 2010)

Στην παρούσα εγκατάσταση, επιλέγεται κατακόρυφος χωνευτήρας συνεχούς τύπου, όπως αναλύεται ακολούθως. Επιλέγεται χωνευτήρας συνεχούς λειτουργίας, ώστε να γίνεται καλύτερη διαχείριση της πρώτης ύλης των υγρών αποβλήτων, καθώς η διάρκεια παραμονής τους στη δεξαμενή αποθήκευσης είναι συνήθως ως δύο ημέρες.

Επιπλέον, η παραγωγή του βιοαερίου μέσω αυτού του τύπου λειτουργίας είναι μεγαλύτερη.

Χωνευτήρες συνεχούς λειτουργίας

Σε ένα χωνευτήρα συνεχούς λειτουργίας, τα υποστρώματα της πρώτης ύλης τροφοδοτούνται στο χωνευτήρα συνεχώς. Το υλικό κινείται μέσω του χωνευτήρα είτε μηχανικά είτε από την πίεση του νέου-τροφοδοτούμενου υποστρώματος, που εξωθεί το χωνευμένο υλικό. Αντίθετα από τους χωνευτήρες ασυνεχούς τύπου, οι συνεχείς χωνευτήρες παράγουν βιοαέριο χωρίς διακοπή για τη φόρτωση νέας πρώτης ύλης και την εκφόρτωση των χωνευμένων εκρεόντων. Οι συνεχείς χωνευτήρες παράγουν ένα σταθερό και προβλέψιμο ποσό βιοαερίου και κομπόστ.

Υπάρχουν τρία βασικά συστήματα των συνεχών χωνευτήρων: οι κατακόρυφοι, οι οριζόντιοι και τα συστήματα πολλαπλών δεξαμενών. Ο κατακόρυφος είναι ο συνηθέστερος τύπος, και επιλέγεται και στην παρούσα εγκατάσταση. (Vavouraki A. 2010)

Κατακόρυφοι χωνευτήρες

Όπως αναφέρθηκε, στην πράξη οι περισσότεροι χωνευτήρες είναι κατακόρυφοι. Οι κατακόρυφοι χωνευτήρες, οι οποίοι κατασκευάζονται γενικά επιτόπου (Εικόνα 5.13), είναι στρογγυλές δεξαμενές από χάλυβα ή ενισχυμένο σκυρόδεμα, συχνά με κωνικό πυθμένα, για εύκολη ανάδευση και εκκένωση των ιζημάτων. Είναι αεροστεγείς, μονωμένοι, θερμαινόμενοι και εξοπλισμένοι με αναδευτήρες ή αντλίες. Οι χωνευτήρες καλύπτονται από μια οροφή από σκυρόδεμα ή χάλυβα και το παραγόμενο βιοαέριο διοχετεύεται με σωλήνες και αποθηκεύεται σε μια εγκατάσταση εξωτερικής αποθήκευσης, κοντά στο χωνευτήρα. (Vavouraki A. 2010, Ελαιουργική Συνεταιριστική Ένωση)



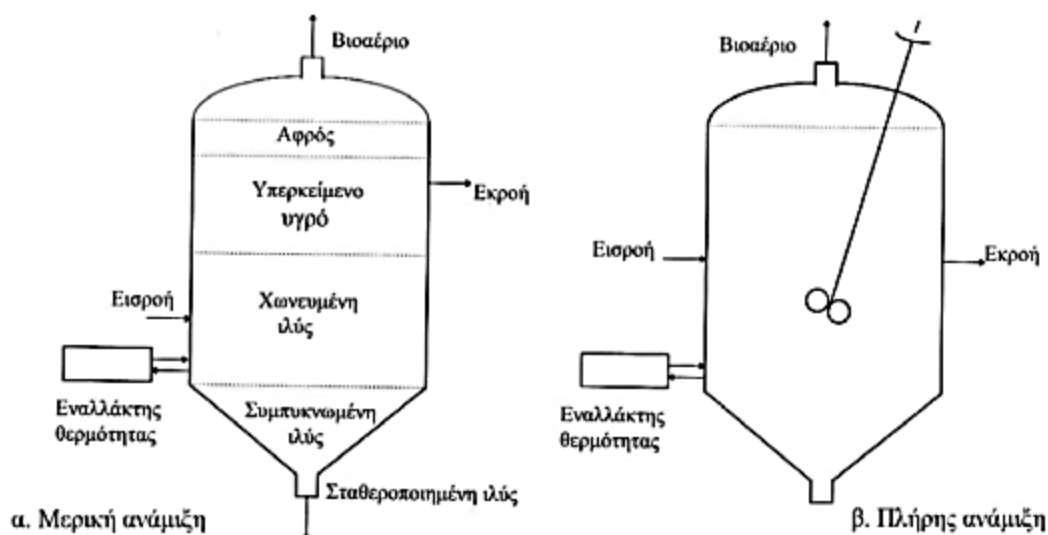
Εικόνα 5.13: Επιτόπου κατασκευή κατακόρυφων χωνευτήρων από σκυρόδεμα (RUTZ,2008)

Οι χάλυβδινοι χωνευτήρες εγκαθίστανται σε μια βάση από σκυρόδεμα. Οι χάλυβδινες πλάκες είτε συγκολλούνται είτε συρράβονται μεταξύ τους και οι ραφές πρέπει να

στεγανοποιηθούν. Οι χωνευτήρες από χάλυβα εγκαθίστανται πάντοτε πάνω από το έδαφος.

Ο χαλύβδινος κατακόρυφος χωνευτήρας συνεχούς λειτουργίας που επιλέγεται και στην παρούσα εγκατάσταση, αφού κατασκευαστεί με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω, θα μονωθεί εσωτερικά με αδιάβροχες μονωτικές πλάκες από πολυστυρένιο, που συνδέονται με σφήνες στα εσωτερικά τοιχώματα της δεξαμενής, για την προστασία του χωνευτήρα από τη διάβρωση λόγω των οξειδωτικών ενώσεων των αποβλήτων.

Οι χωνευτήρες μπορούν να είναι μερικής ή πλήρους ανάμιξης (Εικόνα 5.14). Στην παρούσα περίπτωση επιλέγεται χωνευτήρας πλήρους ανάμιξης, ώστε να επιτυγχάνεται ομογενοποίηση του προς χώνευση υποστρώματος και να αυξάνεται η παραγωγή βιοαερίου.



Εικόνα 5.14: Χωνευτήρας μερικούς και πλήρους ανάμιξης (Λαγούδη Α.)

Υδραυλικός χρόνος παραμονής

Ως υδραυλικό χρόνο παραμονής (Hydraulic Retention Time, HRT ή ΥΧΠ) ορίζεται το χρονικό διάστημα, κατά το οποίο το διαθέσιμο προς χώνευση υλικό παραμένει στο χωνευτήρα και δίνεται από τη σχέση: $HRT = V_R/F_w$ όπου V_R είναι ο όγκος του χωνευτήρα και F_w η ημερήσια ογκομετρική παροχή απόβλητου. (Βλυσίδης Α.)

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής ενός χωνευτήρα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος ώστε να επιτρέπει στους αναερόβιους μικροοργανισμούς να ολοκληρώσουν το κυτταρικό τους κύκλο.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, σε εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης για παραγωγή βιοαερίου στην Ε.Π.Σ. Πεζών που σχεδιάστηκε από τον καθηγητή Απ. Βλυσίδα του Ε.Μ.Π, επιλέχθηκε υδραυλικός χρόνος παραμονής 15 ημέρες. Αντίστοιχα, στην Ε.Γ.Σ. Καντάνου κατασκευάστηκαν δύο αναερόβιοι χωνευτήρες χωρητικότητας 16

m^3 και $18 m^3$ με υδραυλικούς χρόνους παραμονής 16 και 6 μέρες, αντίστοιχα. Όλοι οι αναερόβιοι χωνευτήρες έδειξαν μεγάλη αποτελεσματικότητα στη μείωση του ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων, μεγαλύτερη από 90%. (Ελαιουργική Συνεταιριστική Ένωση). Επίσης, στη διεθνή βιβλιογραφία, στην Τυνησία, έγινε μελέτη πιλοτικής κλίμακας αντιδραστήρα συνεχούς λειτουργίας με ανάδευση, όπου έγινε αναερόβια συγχώνευση υγρών και στερεών αποβλήτων ελαιουργείου. Αποδείχτηκε ότι η καλύτερη απόδοση σε μεθάνιο επιτυγχάνεται για υδραυλικό χρόνο παραμονής 12 ημέρες (Boubaker και Ridha, 2006).

Πέραν της βιβλιογραφικής εκτίμησης, ο βέλτιστος υδραυλικός χρόνος παραμονής υπολογίστηκε και μαθηματικά μέσω της σχέσης:

$$\Theta_{opt} = \frac{1-K}{\mu_M} + \left\{ \frac{KB_o HHV_{MET} VS}{86400 \mu_M \{K_{VR} (T_R - T_F) / n_\Theta + W_{AR} / n_H\}} \right\}^{1/2} \quad (4.2)$$

όπου

K είναι κινητική παράμετρος της αναερόβιας χώνευσης

μ_M είναι ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης μικροοργανισμών, ο οποίος αυξάνεται με τη θερμοκρασία και για το εύρος $30-60^\circ C$ ισχύει $\mu_M = 0,013T - 0,129$ (1/d)

B_o είναι η μέγιστη παραγωγή μεθανίου ($Nm^3 CH_4/kg VS$)

HHV_{MET} η ανώτερη θερμογόνο δύναμη του μεθανίου (J/m^3)

VS το ισοδύναμο γλυκόζης των πτητικών στερεών της τροφοδοσίας (kg/m^3)

K_{VR} ογκομετρικός συντελεστής απωλειών ($W/m^3 K$), ο οποίος προκύπτει από τον συντελεστή απωλειών K_{AR} και τις διαστάσεις του χωνευτήρα ως εξής:

$K_{VR} = K_{AR} (A_R / V_R)$, όπου A_R η εξωτερική επιφάνεια του χωνευτήρα

T_R η θερμοκρασία λειτουργίας του χωνευτήρα

T_F η θερμοκρασία περιβάλλοντος

n_Θ ο βαθμός μετατροπής του βιοαερίου σε θερμότητα

W_{AR} ισχύς ανάδευσης ανά όγκο χωνευτήρα (W/m^3)

n_E ο βαθμός μετατροπής του βιοαερίου σε ηλεκτρισμό

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει για τον κάθε χωνευτήρα ο βέλτιστος υδραυλικός χρόνος παραμονής. Και στις δύο περιπτώσεις θεωρούνται κοινά τα εξής (Γελεγένης I.):

T_F	18°C
T_R	35°C
μ_M	0,326
HHV_{MET}	$3,4 \cdot 10^7 \text{ J/m}^3$
η_θ	0,85
η_E	0,35

Χωνευτήρας στερεών αποβλήτων:

Σύμφωνα με τα βιβλιογραφία οι τιμές των μεγεθών επιλέγονται ως εξής:

$K=0,33$ (Borja et al, 2003)

$B_o = 0,25 \text{ Nm}^3/\text{kg VS}$ (Γελεγένης Ι.)

$VS=96 \text{ (kg/m}^3)$ (Βλυσίδης Α.)

$K_{VR} = 0,453 \text{ W/m}^3 \text{ K}$, σύμφωνα με τις διαστάσεις που επιλέχθηκαν στην ακόλουθη ενότητα

$W_{AR} = 34,38 \text{ W/m}^3$ σύμφωνα με τις διαστάσεις του χωνευτήρα και την ισχύ του συστήματος ανάδευσης

Με αντικατάσταση στην εξίσωση (4.2) προκύπτει βέλτιστος υδραυλικός χρόνος παραμονής ίσος με 11,49 ~12 ημέρες.

Χωνευτήρας υγρών αποβλήτων

Αντίστοιχα, σύμφωνα με τα βιβλιογραφία οι τιμές των μεγεθών επιλέγονται ως εξής:

$K=0,12$ (Borja et al, 2003)

$B_o = 0,12 \text{ Nm}^3/\text{kg VS}$ (Γελεγένης Ι.)

$VS=70 \text{ (kg/m}^3)$ για υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου (Βλυσίδης Α.)

$K_{VR} = 0,199 \text{ W/m}^3 \text{ K}$, σύμφωνα με τις διαστάσεις που επιλέχθηκαν στην ακόλουθη ενότητα

$W_{AR} = 3,67 \text{ W/m}^3$ σύμφωνα με τις διαστάσεις του χωνευτήρα και την ισχύ του συστήματος ανάδευσης

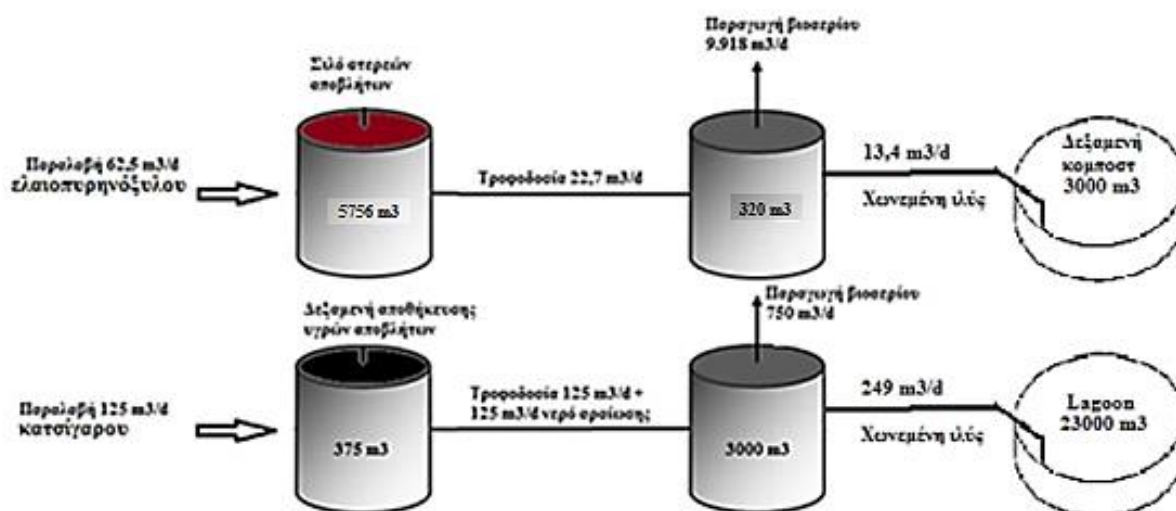
Με αντικατάσταση στην εξίσωση (4.2) προκύπτει βέλτιστος υδραυλικός χρόνος παραμονής ίσος με 11,87 ~12 ημέρες.

Στην παρούσα εγκατάσταση επιλέχθηκε υδραυλικός χρόνος παραμονής 12 μέρες και για τους δύο χωνευτήρες, σύμφωνα με τους χρόνους που υπολογίστηκαν από την

εξίσωση (4.2), πράγμα το οποίο συμπίπτει και με τη βιβλιογραφική έρευνα που προηγήθηκε.

Διάταξη του συστήματος των χωνευτήρων

Στην παρούσα εγκατάσταση αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων θα χρησιμοποιηθούν δύο χωνευτήρες, οι οποίοι θα λειτουργούν παράλληλα. Η τροφοδοσία του ενός θα είναι το ελαιοπυρηνόξυλο, το οποίο θα τροφοδοτείται για έντεκα μήνες, ενώ του δεύτερου θα είναι ο κασίγαρος, ο οποίος θα τροφοδοτείται για τέσσερις μήνες. Κατά το υπόλοιπο διάστημα, ο δεύτερος χωνευτήρας είναι εκτός λειτουργίας. Η σχηματική απεικόνιση της παράλληλης λειτουργίας των χωνευτήρων και των δεξαμεμών αποθήκευσης των πρώτων υλών παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.15.



Εικόνα 5.15: Σχηματική απεικόνιση της παράλληλης λειτουργίας των χωνευτήρων της εγκατάστασης

Θερμοκρασίας λειτουργίας των χωνευτήρων

Σχετικά με τη θερμοκρασία λειτουργίας των χωνευτήρων, διακρίνουμε τρεις θερμοκρασιακές περιοχές για τη βέλτιστη ανάπτυξη των μικροοργανισμών: 1) την ψυχρόφιλη ($T < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), 2) την μεσόφιλη ($20 < T < 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, με βέλτιστη θερμοκρασία τους $35\text{ }^{\circ}\text{C}$) και 3) την θερμόφιλη περιοχή ($T > 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, με βέλτιστη θερμοκρασία τους $55\text{ }^{\circ}\text{C}$). (Γεωργακάκης Δ. & Νταλής Δ., 1983)

Για τη λειτουργία των αναερόβιων αντιδραστήρων έχουν βρεθεί δύο βέλτιστες θερμοκρασιακές περιοχές, η μεσόφιλη ($\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$) και η θερμόφιλη ($55\text{ }^{\circ}\text{C}$ με $60\text{ }^{\circ}\text{C}$), ανάμεσα στις οποίες οι ρυθμοί μειώνονται (Malina and Pohland, 1992). Η μείωση αυτή θεωρείται ότι οφείλεται στην έλλειψη προσαρμογής των μικροοργανισμών (Macki and Bryant, 1981).

Το ανώτατο θερμοκρασιακό όριο για ανάπτυξη, καθορίζεται από τη θερμική σταθερότητα των συστατικών του κάθε μικροοργανισμού, κυρίως των πρωτεϊνών, των νουκλεϊνικών οξέων και των λιπιδίων, τα οποία απενεργοποιούνται με γρήγορους ρυθμούς στην περιοχή των 50-90°C (Sundaram, 1986).

Ακόμη η επιλογή της θερμοφίλης αναερόβιας χώνευσης οδηγεί σε αυξημένους ρυθμούς αντιδράσεων και κατά συνέπεια σε μεγαλύτερο ποσοστό αποδόμησης των οργανικών στερεών, καλύτερο διαχωρισμό υγρής - στερεάς φάσεως και τέλος καταστροφή παθογόνων μικροοργανισμών. Οι υψηλές όμως ενεργειακές απαιτήσεις, σε συνδυασμό με τη μεγαλύτερη ευαισθησία σε τοξικές ενώσεις, καθώς και με τη μειωμένη ευστάθεια καθιστούν τη θερμοφιλή αναερόβια χώνευση οικονομικά ασύμφορη και δύσκολα εφαρμόσιμη.

Για τους προαναφερθέντες λόγους, οι χωνευτήρες της εγκατάστασης θα λειτουργούν σε μεσοφιλικές θερμοκρασίες, (35 °C), η οποία, όπως θα παρουσιασθεί και στη συνέχεια, διατηρείται με τη βοήθεια ενός συστήματος θέρμανσης.

Λοιπά χαρακτηριστικά των χωνευτήρων

Οι χωνευτήρες επίσης θα φέρουν σύστημα ανάλυσης βιοαερίου που θα δείχνει τη σύνθεση του παραγόμενου βιοαερίου και με αυτό θα ελέγχεται η διαδικασία μικροβιολογικής χώνευσης μέσα στους χωνευτήρες. Αποτελείται από ένα ανοξείδωτο κουτί ελέγχου για το μοντάρισμα του τοίχου, ένα PLC μέσα στο κουτί ελέγχου, έναν ενσωματωμένο βιομηχανικό υπολογιστή με TFT έγχρωμη οθόνη αφής και αισθητήρες υψηλού βαθμού αερίου για μεθάνιο (CH₄), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), υδρόθειο (H₂S) και οξυγόνο (O₂).

Ακόμη θα κατασκευαστούν 4 παράθυρα ελέγχου που θα βρίσκονται στα τοιχώματα του χωνευτήρα για να ελέγχεται η επιφάνεια της λάσπης. Το κάθε παράθυρο ελέγχου περιλαμβάνει ένα ενσωματωμένο σύστημα στεγανότητας και καθαρισμού, σε πίεση 2 bar.

Τέλος περιλαμβάνεται μία ανοξείδωτη συσκευή δειγματοληψίας με την οποία λαμβάνεται δείγμα από το μείγμα των χωνευτήρων για ανάλυση, καθώς και ένα θερμομέτρο για να ελέγχει τη θερμοκρασία μέσα στους χωνευτήρες.

Διαστασιολόγηση των χωνευτήρων

Η αναερόβια χώνευση των υγρών και των στερών αποβλήτων γίνεται σε δύο διαφορετικούς χωνευτήρες. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής των αποβλήτων στον αναερόβιο χωνευτήρα είναι 12 μέρες.

Όσον αφορά τα υγρά απόβλητα αυτά πρέπει να αραιώνονται με νερό σε αναλογία 1:1. Άρα ο υπολογισμός της χωρητικότητας του χωνευτήρα γίνεται ως εξής: $250 \cdot 12 = 3000 \text{ m}^3$ Επιλέγεται κυλινδρική δεξαμενή της ζητούμενης χωρητικότητας με ύψος 20 m και διάμετρο 14m.

Για τον υπολογισμό της χωρητικότητας των στερεών αποβλήτων έχουμε:
 $22,7tn / 0,85tn / m^3 \cdot 12 = 320,5m^3$ Άρα επιλέγεται κυλινδρική δεξαμενή της
ζητούμενης χωρητικότητας με ύψος 11,3 m και διάμετρο 6 m.

Στην Εικόνα 5.16 παρουσιάζεται χαλύβδινος αναερόβιος χωνευτήρας με αεροστεγανό
σύστημα αποθήκευσης.



Εικόνα 5.16: Παράδειγμα χαλύβδινων αναερόβιων χωνευτήρων που φέρουν αεροστεγανό σύστημα προσωρινής αποθήκευσης (REInvest Group)

Συντήρηση χωνευτήρων

Στο εσωτερικό των χωνευτήρων συνεχούς τύπου συνήθως συσσωρεύονται ιζήματα βαρέων υλικών, όπως η άμμος και άλλα μη χωνεμένα υλικά. Τα περισσότερα από αυτά τα υλικά μπορούν να αφαιρεθούν κατά τη διάρκεια της προ-αποθήκευσης ή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας τροφοδοσίας. Εντούτοις, η άμμος μπορεί να προσκολληθεί πολύ στενά στις οργανικές ουσίες και είναι δύσκολο να χωρίσει πριν την χώνευση. Ένα μεγάλο μέρος της άμμου απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της βιολογικής διεργασίας AX στο χωνευτήρα. Η συσσώρευση της άμμου μέσα στις δεξαμενές και τους χωνευτήρες μειώνει τον ενεργό όγκο τους. Η παρουσία της άμμου στη ροή της βιομάζας επιφορτίζει σημαντικά τα συστήματα ανάδευσης, τις αντλίες και τους εναλλάκτες θερμότητας, προκαλώντας ρύπανση, διαφράξεις και σημαντική φθορά.

Τα στρώματα ιζήματος μπορούν να γίνουν σκληρά εάν δεν αφαιρούνται περιοδικά και μπορούν να αφαιρεθούν μόνο με βαρύ εξοπλισμό. Η συνεχής αφαίρεση των στρωμάτων ιζήματος από τους χωνευτήρες μπορεί να γίνει με την χρήση αυλακιών ή ενός οχετού δαπέδου. Εάν ο σχηματισμός ιζήματος είναι πάρα πολύ μεγάλος, μπορεί να μη λειτουργήσουν τα συστήματα αφαίρεσης ιζήματος και για το λόγο αυτό μπορεί να είναι απαραίτητο να τεθεί εκτός λειτουργίας ο χωνευτήρας, να ανοιχτεί και να αφαιρεθεί το στρώμα ιζήματος με το χέρι ή με μηχανήματα, ανάλογα με το μέγεθος του χωνευτήρα.

Τα προβλήματα, που προκαλούνται από τα ιζήματα μπορούν να ελαχιστοποιηθούν εάν ληφθούν μερικά βασικά μέτρα:

- Τακτική εκκένωση των δεξαμενών προ-αποθήκευσης και αποθήκευσης.
- Εγκατάσταση αρκετά μεγάλης χωρητικότητας προ-αποθήκευσης.
- Επαρκής μέθοδος ανάδευσης.
- Αποφυγή των τύπων πρώτης ύλης με υψηλή περιεκτικότητα σε άμμο.
- Χρήση ειδικά αναπτυγμένων μεθόδων εκκένωσης της άμμου από τους χωνευτήρες. (Ελαιουργική Συνεταιριστική Ένωση, Λυμπεράτος Γ. 2000)

Η δημιουργία στρωμάτων αφρού και υλικών που επιπλέουν μπορεί να προκαλέσουν ανισορροπία της διαδικασίας. Η παρουσία τους στην επιφάνεια της βιομάζας στον χωνευτήρα μπορεί να προκαλέσει την απόφραξη των γραμμών αερίου. Για να αποτραπεί αυτό, οι γραμμές αερίου θα εγκατασταθούν όσο το δυνατόν υψηλότερα μέσα στο χωνευτήρα. Οι παγίδες αφρού μπορούν να αποτρέψουν τη διείσδυση του αφρού στους σωλήνες πρώτης ύλης προς τον μετα-χωνευτήρα ή τις λεκάνες αποθήκευσης. Μπορεί να εγκατασταθεί ένας αισθητήρας αφρού στην περιοχή αερίου του χωνευτήρα, για να αρχίσει αυτόματα να ψεκάζει επιβραδυντή αφρού στο χωνευτήρα, εάν υπάρχει πάρα πολύς αφρός στην επιφάνεια της βιομάζας. Οι επιβραδυντές αφρού πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, δεδομένου ότι είναι συνήθως ενώσεις πυριτικών αλάτων που μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στην εγκατάσταση ΣΗΘ.

Σύμφωνα με τα παραπάνω και με την υπόθεση 11μηνιας λειτουργίας της εγκατάστασής μας, ένας μήνας θα αφορά εξολοκλήρου τη συντήρηση και την επισκευή της.

5.4.6 Σύστημα θέρμανσης χωνευτήρων

Η σταθερή θερμοκρασία της διεργασίας είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για μια σταθερή λειτουργία και μια υψηλή παραγωγή βιοαερίου. Οι

διακυμάνσεις στη θερμοκρασία, συμπεριλαμβανομένων των χρονικών διακυμάνσεων, που καθορίζονται από την εποχή και τις καιρικές συνθήκες αλλά και των τοπικών διακυμάνσεων σε διαφορετικές περιοχές του χωνευτήρα, πρέπει να κρατηθούν όσο το δυνατόν χαμηλότερες. Οι μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μπορούν να οδηγήσουν σε ανισοροπία της διεργασίας της ΑΧ και στη χειρότερη περίπτωση σε πλήρη αποτυχία της διεργασίας.

Οι αιτίες των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας είναι διάφορες:

- Προσθήκη νέα πρώτης ύλης με διαφορετική θερμοκρασία από αυτή της διεργασίας.
- Σχηματισμός θερμοκρασιακών στρωμάτων ή θερμοκρασιακών ζωνών λόγω ανεπαρκούς μόνωσης, μη αποτελεσματικής ή λανθασμένης διαστασιολόγησης του συστήματος θέρμανσης ή ανεπαρκούς ανάδευσης.
- Ανεπαρκής τοποθέτηση θερμαντικών στοιχείων.
- Ακραίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του χειμώνα.
- Αποτυχία των γραμμών ισχύος. (Vlyssides, A.G. 1998, REnInvest Group)

Προκειμένου να επιτευχθεί και να διατηρηθεί σταθερή θερμοκρασία διεργασίας και να αντισταθμιστούν οι απώλειες θερμότητας, οι χωνευτήρες θα μονωθούν και θα θερμαίνονται από εξωτερικές πηγές θέρμανσης (Εικόνα 5.17). Στην παρούσα εγκατάσταση η χρησιμοποιούμενη πηγή είναι η παραγόμενη θερμότητα από τη μονάδα ΣΗΘ της ίδιας της εγκατάστασης παραγωγής του βιοαερίου.



Εικόνα 5.17: Σύστημα θέρμανσης μιας εγκατάστασης βιοαερίου (RUTZ, 2008).

Η θέρμανση της πρώτης ύλης θα γίνεται και κατά τη διάρκεια της διεργασίας τροφοδοσίας (προθέρμανση), μέσω εναλλακτών θερμότητας αλλά και μέσα στο χωνευτήρα (Εικόνα 5.19). Η προθέρμανση των υποστρωμάτων πρώτης ύλης κατά τη διάρκεια της τροφοδοσίας έχει το πλεονέκτημα της αποφυγής διακυμάνσεων της θερμοκρασίας μέσα στο χωνευτήρα. Έτσι λοιπόν θα χρησιμοποιηθεί συνδυασμός και των δύο τύπων θέρμανσης της πρώτης ύλης.

Για τη θέρμανση, φροντίζουν ανοξείδωτοι σωλήνες μέσα στον χωνευτήρα με θερμό νερό. Ο χωνευτήρας λειτουργεί «μεσοφιλικά», σε μια θερμοκρασία 35°C. Το σύστημα θέρμανσης αποτελείται από δίκτυο σωληνώσεων, το οποίο τοποθετείται μέσα στους χωνευτήρες, στην εσωτερική επιφάνεια των τοίχων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.18. Η βιοχημική διαδικασία της μεθανοποίησης σε αυτήν την θερμοκρασία είναι πολύ σταθερή και μπορεί να χειριστεί και υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου.



Εικόνα 5.18: Σωληνώσεις θέρμανσης εγκαταστημένες στον χωνευτήρα (AGRINZ GmbH, 2008).



Εικόνα 5.19: Παράδειγμα σταθμού θέρμανσης χωνευτήρα (AGRINZ GmbH, 2008).

Οι απαιτήσεις θέρμανσης για τον κάθε χωνευτήρα παρουσιάζονται ακολούθως.

Προθέρμανση χωνευτήρων

Χωνευτήρας στερεών αποβλήτων

Η ειδική θερμοχωρητικότητα του ελαιοπυρηνόξυλου βρέθηκε βιβλιογραφικά (Carucine D et al. 2014) και θεωρήθηκε ίση με $c_p = 1,6 \text{ kJ/Kg K}$. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Ρεγγίνα Δ., 2013) οι ετήσιες τιμές της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της περιοχής του Μεσσηνιακού κόλπου κυμαίνονται μεταξύ 16°C και 20°C . Η μέση θερμοκρασία του διαστήματος αυτού (18°C), θεωρούμε ότι είναι η θερμοκρασία στην οποία βρίσκονται τα στερεά απόβλητα πριν την είσοδό τους στο χωνευτήρα. Η επιθυμητή θερμοκρασία είναι 35°C , και άρα η απαιτούμενη θερμότητα θα υπολογιστεί ως εξής:

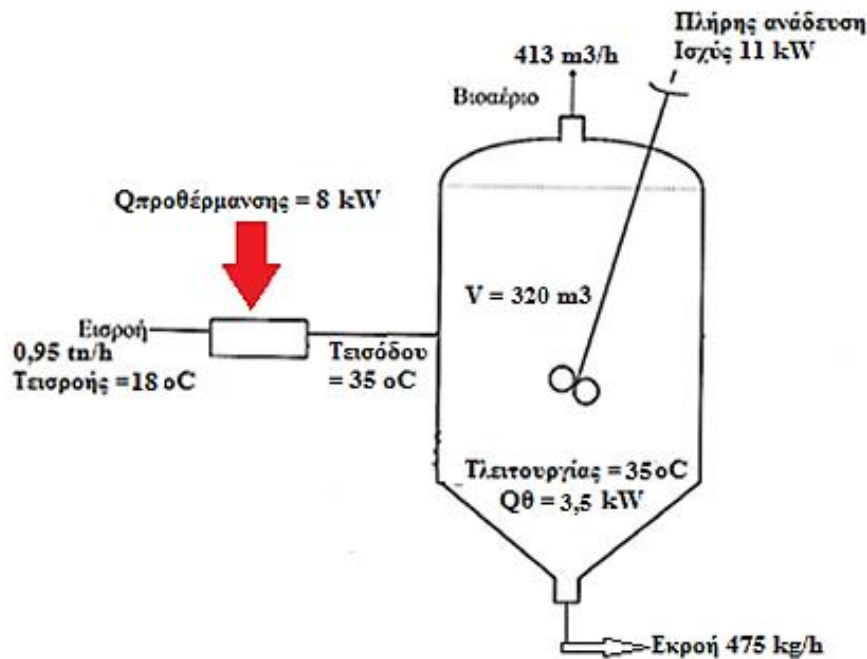
Η απαιτούμενη θερμότητα προθέρμανσης του ελαιοπυρηνόξυλου στη θερμοκρασία λειτουργίας υπολογίζεται:

$$\dot{Q}_{\text{απαιτ}} = m \cdot c_p \Delta t \Rightarrow$$

$$\dot{Q}_{\text{απαιτ}} = 0,95 \cdot 1000 \cdot 1,6 \cdot 17 / 3600 = 7,2 \text{ kW}$$

Θεωρώντας βαθμό απόδοσης εναλλάκτη $\eta = 0,9$, η θερμότητα που πρέπει να παρέχεται από το σύστημα θέρμανσης είναι: $Q_{\text{προσδ}} = \frac{7,2}{0,9} = 8 \text{ kW}$.

Τα παραπάνω απεικονίζονται σχηματικά στην Εικόνα 5.20.



Εικόνα 5.20: Ισολογισμός ενέργειας για τη θέρμανση του χωνευτήρα στερεών αποβλήτων

Χωνευτήρας υγρών αποβλήτων

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης θερμότητας για τη θέρμανση της εισερχόμενης παροχής στη θερμοκρασία λειτουργίας του χωνευτήρα, κάνουμε την παραδοχή ότι τα υγρά απόβλητα έχουν την ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού $C_p=4,18 \text{ kJ/Kg K}$.

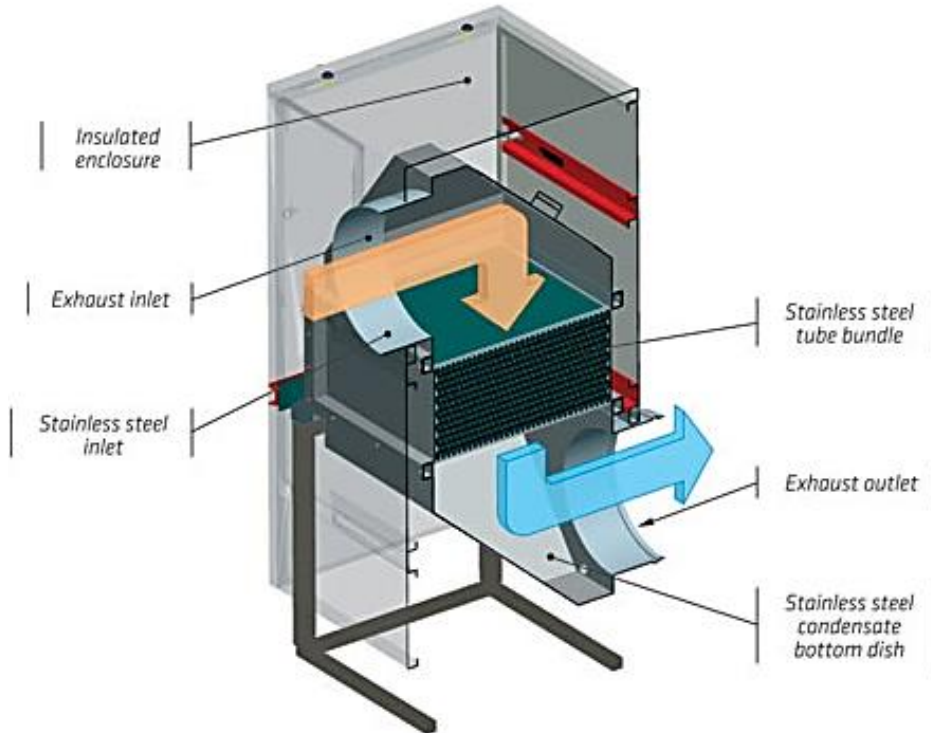
Η παροχή του κασίγαρου είναι: $5,21 \text{ m}^3/\text{h}$, ενώ η παροχή του νερού για την αραίωση είναι επίσης $5,21 \text{ m}^3/\text{h}$. Όπως και στην περίπτωση των στερεών αποβλήτων, έχουμε:

$$\dot{Q}_{\text{απαιτ}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta t = 2 \cdot 5,21 \cdot 1000 \cdot 4,18 \cdot 17 / 3600 \approx 205 \text{ kW}$$

Θεωρώντας βαθμό απόδοσης εναλλάκτη $\eta=0,9$, η θερμότητα που πρέπει να παρέχεται

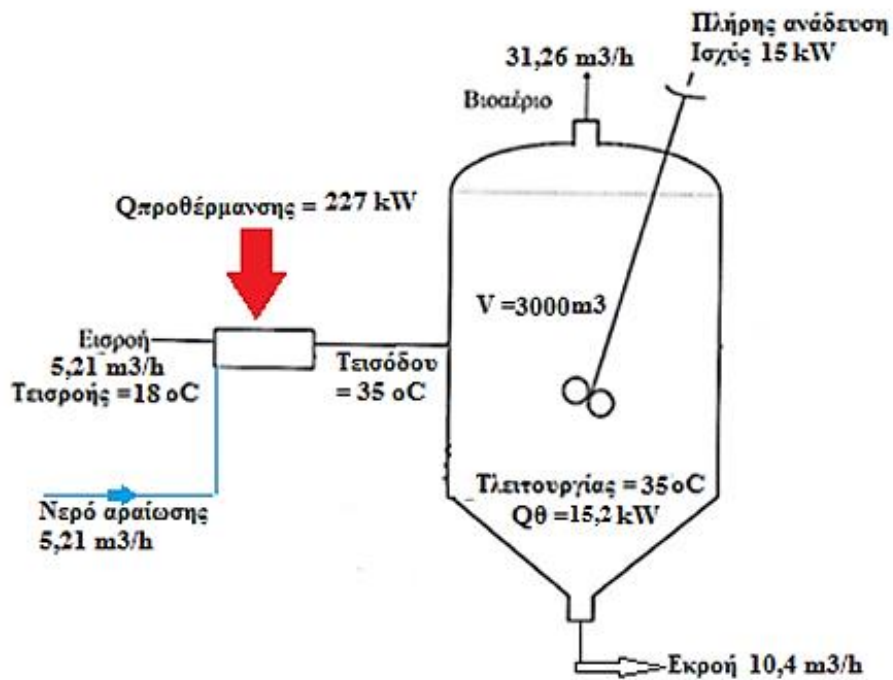
από το σύστημα θέρμανσης είναι: $Q_{\text{προσδ}} = \frac{205}{0,9} = 227 \text{ kW}$

Για την πρόσδοση της θερμότητας των **235kW** για την προθέρμανση του στερεού και του υγρού αποβλήτου, επιλέχθηκε ένας οικονομητήρας της εταιρίας AIC (www.aicheatexchangers.com), ο οποίος έχει ως πηγή τη θερμότητα των καυσαερίων της μηχανής MEK, που θα χρησιμοποιηθεί στο σύστημα συμπαραγωγής, όπως περιγράφεται σε ακόλουθη ενότητα.



Εικόνα 5.21: Οικονομητήρας για την προθέρμανση του στερεού και του υγρού αποβλήτου

Τα παραπάνω απεικονίζονται σχηματικά στην Εικόνα 5.22.



Εικόνα 5.22: Ισολογισμός ενέργειας για τη θέρμανση του χωνευτήρα υγρών αποβλήτων

Άρα η απαιτούμενη θερμότητα για την προθέρμανση της πρώτης ύλης των χωνευτήρων είναι: $227 \text{ kW} + 8 \text{ kW} = 235 \text{ kW}$.

Θέρμανση χωνευτήρων

Χωνευτήρας στερεών αποβλήτων

Για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του χωνευτήρα στους 35°C , πρέπει να παρέχεται συνεχώς η θερμότητα που αποβάλλεται με τη μορφή απωλειών προς το περιβάλλον. Οι απώλειες αυτές υπολογίζονται με βάση το εμβαδόν της επιφάνειας του χωνευτήρα και τη θερμοπερατότητα του υλικού του χωνευτήρα.

Με βάση τα παραπάνω έχουμε:

$$Q_{\text{συντ.υγρ.}} = U \cdot A \cdot (T_d - T_{\text{περ}}) \quad (4.3)$$

όπου U είναι η θερμοπερατότητα του υλικού του χωνευτήρα, μια τυπική τιμή του οποίου είναι $0,68 \text{ J/s m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ (Γελεγένης).

A είναι το εμβαδόν της παράπλευρης επιφάνειας και των βάσεων του κυλίνδρου, από όπου έχουμε απώλειες θερμότητας, το οποίο δίνεται από τον τύπο $A=2\pi r(h+r)$, όπου h το ύψος του κυλίνδρου και r η ακτίνα του.

T_d είναι η θερμοκρασία σχεδιασμού, ίση με 35°C

$T_{\text{περ}}$ είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, ίση με 18°C

Οι διαστάσεις του χωνευτήρα στην περίπτωση αυτή είναι $h=10\text{m}$ και $r=3\text{m}$.

$$\text{Άρα: } Q_{\text{συντ.υγρ.}} = 0,68 \frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \cdot 269,5 \text{ m}^2 \cdot 17^\circ\text{C} = 3,1 \text{ kW}$$

Το σύστημα πρόσδοσης της θερμότητας, θεωρώντας βαθμό απόδοσης $\eta=0,9$, πρέπει

$$\text{να παρέχει θερμότητα } Q_{\text{προσδ.υγρ.}} = \frac{3 \text{ kW}}{0,9} = 3,5 \text{ kW}$$

Χωνευτήρας υγρών αποβλήτων

Για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του χωνευτήρα στους 35°C , πρέπει να παρέχεται συνεχώς θερμότητα, ώστε να αντισταθμίζονται οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον.

Με βάση τα παραπάνω, όπως και στην περίπτωση των στερεών αποβλήτων με διαστάσεις χωνευτήρα $h=20\text{m}$ και $r=7\text{m}$, έχουμε:

$$Q_{\text{συντ.υγρ}} = 0,68 \frac{J}{s \cdot m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 1187 m^2 \cdot 17^\circ C = 13,7 kW$$

Το σύστημα πρόσδοσης της θερμότητας, θεωρώντας βαθμό απόδοσης $\eta=0,9$, πρέπει να παρέχει θερμότητα $Q_{\text{προσδ.υγρ}} = \frac{13,7 kW}{0,9} = 15,2 kW$

Άρα η απαραίτητη θερμότητα για τη θέρμανση των χωνευτήρων είναι:

$$3,5 + 15,2 = 18,7 \text{ kW.}$$

5.4.7 Σύστημα ανάδευσης εντός του χωνευτήρα

Η ελάχιστη ανάδευση μέσα στο χωνευτήρα πραγματοποιείται με *παθητική ανάδευση*. Αυτή επιτυγχάνεται από την εισαγωγή της νέας πρώτης ύλης και τα επακόλουθα ρεύματα θερμικής μεταφοράς καθώς επίσης και από τη ροή προς τα πάνω των φυσαλίδων αερίου. Καθώς η παθητική ανάδευση δεν επαρκεί για τη βέλτιστη λειτουργία του χωνευτήρα, πρέπει να εφαρμοσθεί ενεργητική ανάδευση με τη χρήση μηχανικού εξοπλισμού, όπως χρησιμοποιείται και στην πλειονότητα των εγκαταστάσεων βιοαερίου.

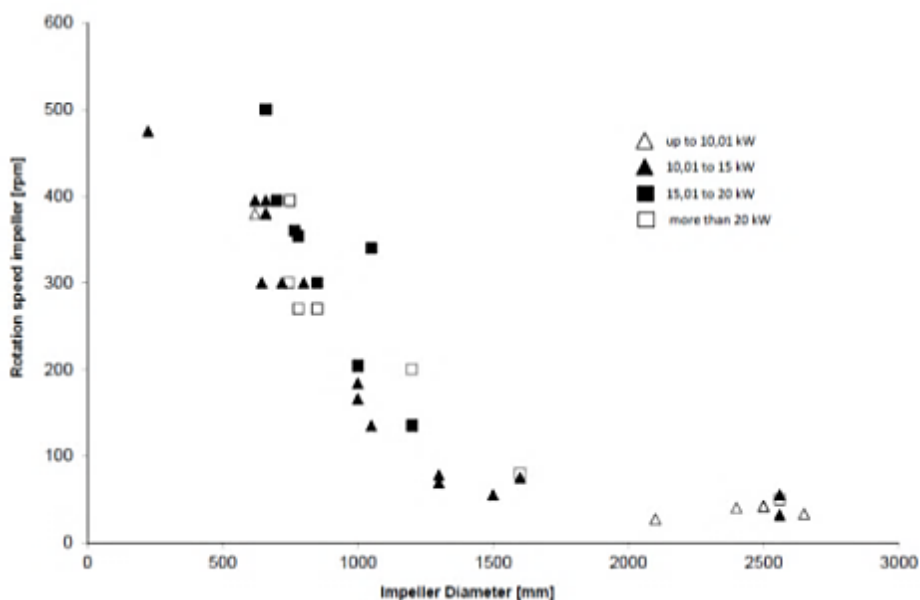
Το περιεχόμενο του χωνευτήρα πρέπει να αναδεύεται αρκετές φορές ημερησίως προκειμένου να αναμιχθεί η νέα πρώτη ύλη με το υπάρχον υπόστρωμα μέσα στον χωνευτήρα. Η ανάδευση αποτρέπει τον σχηματισμό κρούστας και στρωμάτων βύθισης (ιζήματα) και διευκολύνει τη μεταφορά των βακτηριδίων (μικροοργανισμών) στα σωματίδια της νέας πρώτης ύλης, την προς τα πάνω ροή των φυσαλίδων αερίου και την ομογενοποίηση της κατανομής της θερμότητας και των θρεπτικών ουσιών.

Γενικά οι αναδευτήρες μπορούν να λειτουργούν συνεχώς ή κατά διαστήματα. Η εμπειρία δείχνει ότι τα διαστήματα ανάδευσης μπορούν να βελτιστοποιηθούν εμπειρικά και να προσαρμοστούν στις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε εγκατάστασης παραγωγής βιοαερίου (μέγεθος δεξαμενής, ποιότητα πρώτης ύλης, τάση δημιουργίας επιπλέοντων στρωμάτων). Μετά από την αρχική φόρτωση και την εκκίνηση της εγκατάστασης, η εμπειρία και ο έλεγχος θα καθορίσουν τη βέλτιστη διάρκεια και τη συχνότητα των διαστημάτων ανάδευσης, καθώς επίσης και τις ρυθμίσεις στους αναδευτήρες. (REnInvest Group 2012, Γεωργακάκης Δ., 1995)

Μηχανική ανάδευση

Η μηχανική ανάδευση των χωνευτήρων πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας αναδευτήρες, οι οποίοι μπορούν να ταξινομηθούν ως πολύ γρήγορα περιστρεφόμενοι αναδευτήρες, μέτρια περιστρεφόμενοι και αργά περιστρεφόμενοι αναδευτήρες. (Γεωργακάκης Δ. 1983)

Σύμφωνα με την έρευνα των Lemmer et al. (Εικόνα 5.23), παρατηρούμε ότι οι αργόστροφοι αναδευτήρες με μεγάλη διάμετρο προπέλας έχουν χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση σε σύγκριση με τους ταχύστροφους αναδευτήρες με μικρή διάμετρο προπέλας (Lemmer A. et al. 2013)



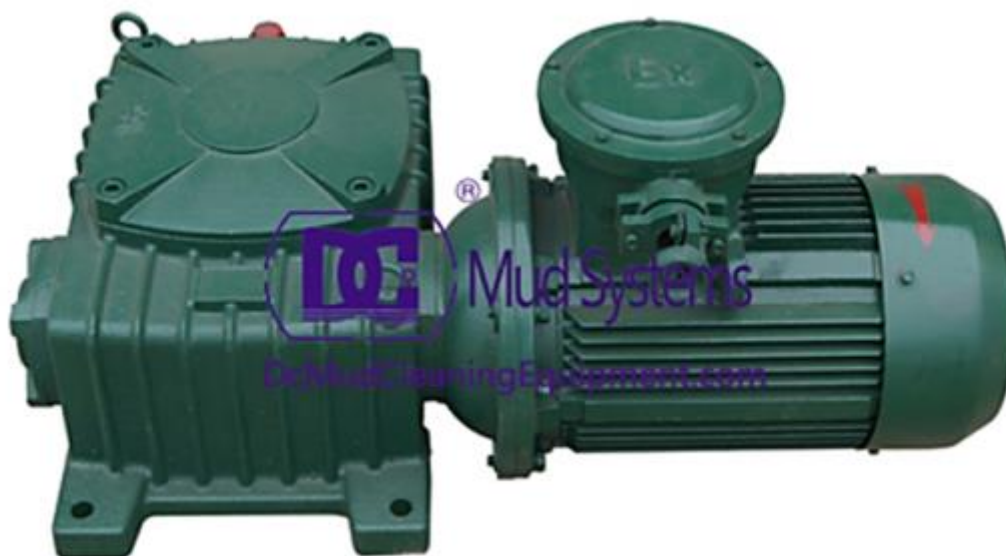
Εικόνα 5.23: Ταχύτητα περιστροφής των αναδευτήρων ως προς τη διάμετρο της προπέλας και τις απαιτήσεις ισχύος 46 εμπορικά διαθέσιμων αναδευτήρων (Lemmer A., 2013)

Στους κατακόρυφους χωνευτήρες της παρούσας εγκατάστασης θα τοποθετηθούν αναδευτήρες, οι οποίοι οδηγούνται από ηλεκτρικούς κινητήρες χωρίς γρανάζια, με υδατοστεγή κουβούκλια και αντιδιαβρωτικά επιχρίσματα, και ψύχονται από το περιβάλλον ρευστό. Βυθίζονται εντελώς στην πρώτη ύλη και έχουν δύο πτερωτές με γεωμετρικά βελτιστοποιημένες έλικες. Λόγω του συστήματος καθοδήγησής τους με σωλήνες, που αποτελείται από ένα ικρίωμα, ένα βαρούλκο καλωδίων και την οδηγό κατατομή, οι αναδευτήρες θα μπορούν να προσαρμοστούν ως προς το ύψος, την κλίση και ως προς την πλευρά, ανάλογα με το φορτίο που φέρει ο χωνευτήρας. Χρησιμοποιούμε δύο αργούς κινούμενους αναδευτήρες, έναν σε κάθε χωνευτήρα, που λειτουργούν μόνιμα, ώστε τα βακτηρίδια να αναμιγνύονται με έναν μαλακό τρόπο, λαμβάνοντας τροφή συνεχώς όλη την ώρα.

Η επιλογή των αναδευτήρων γίνεται με βάση την ποσότητα που βρίσκεται μέσα στο χωνευτήρα και πρέπει να υποστεί την ανάδευση και το είδος της ύλης που αναδεύεται, δηλαδή ανάλογα με το ιξώδες του υλικού.

Στον χωνευτήρα του ελαιπυρηνόξυλου, θα τοποθετηθεί αναδευτήρας λάσπης (Mud Agitator) της εταιρίας Dachuan Machinery (www.dcmudcleaningequipment.com), λόγω της ικανότητάς του να διαχειρίζεται ρευστά με μεγάλο ιξώδες. Ο αναδευτήρας λάσπης έχει σταθερότητα απόδοσης και ευρεία χρήση. Η κατανάλωσή του είναι **11 kW** (15hp) και λειτουργεί με 60 r/min. Ο αναδευτήρας θα λειτουργεί πλήρως βυθισμένος στο υγρό, στερεωμένος στη βάση του χωνευτήρα, ώστε να κρατά το υγρό

ομοιογενές. Η μέγιστη θερμοκρασία του υλικού είναι 41°C και το μέγιστο βάθος βύθισης 20 μέτρα.



Εικόνα 5.24: Αναδευτήρας λάσπης ισχύος 11kW για το χωνευτήρα των στερεών αποβλήτων (www.dcmudcleaningequipment.com)

Στο χωνευτήρα του υγρού απόβλητου, χρησιμοποιείται υποβρύχιος αναδευτήρας πλευρικής στερέωσης που να καλύπτει την ποσότητα που έχουμε στον χωνευτήρα, ισχύος 15 kW για υγρά με πυκνότητα ως 1150 kg/m³ και ιξώδους ως 50cP και όγκο δεξαμενής 1000-3000m³. Το μέγιστο βάθος λειτουργίας είναι 20m. Ο κινητήρας είναι τετραπολικός και η διάμετρος της προπέλας είναι 790mm.



Εικόνα 5.25: Αναδευτήρας για το χωνευτήρα υγρών αποβλήτων ισχύος 15kW (Nanjing Lanshen Pumps(GROUP))

5.4.8 Υπολογισμός χωνεμένης ιλύος

Χωνευτήρας στερεών αποβλήτων

Η μάζα της χωνεμένης ιλύος βρίσκεται με ισολογισμό μάζας στο χωνευτήρα.

$$\text{Ισολογισμός μάζας: } \dot{m}_{\text{εισ}} = \dot{m}_{\text{βιοαερίου}} + \dot{m}_{\text{χων}}$$

όπου $m_{\text{εισ}}$ είναι η παροχή που εισέρχεται στο χωνευτήρα, η σύσταση της οποίας είναι 13% νερό, (123,5 kg) και 3,5% (33,25 kg) τέφρα, ενώ η οργανική ύλη, από την οποία θα παραχθεί το βιοαέριο είναι 793,25 kg (Συνολικά: 950 kg),

$m_{\text{βιοαερίου}}$ είναι η παροχή του βιοαερίου η οποία θα υπολογιστεί από την παροχή όγκου και την πυκνότητα ($\rho = 1,15 \text{ kg/m}^3$), δηλ. $413,25 \text{ m}^3 * 1,15 \text{ kg/m}^3 = 475,24 \text{ kg}$, και

$m_{\text{χων}}$ είναι η παροχή της χωνεμένης ιλύος, η οποία περιλαμβάνει $(793,25 - 475,24) \text{ kg} = 318,01 \text{ kg}$ από την επεξεργασία, συν τις παροχές του νερού (123,5 kg) και της τέφρας (33,25 kg) που εξέρχονται ανεπεξέργαστες, δηλ. 474,76 kg.

Η μάζα της χωνεμένης ιλύος που θα οδηγείται στην αποθήκη είναι **474,76 kg**.

Χωνευτήρας υγρών αποβλήτων

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται και η παροχή της χωνεμένης ιλύος από το χωνευτήρα υγρών αποβλήτων.

Η παροχή του κατσίγαρου είναι $5,21 \text{ m}^3$, δηλ. 5.210 kg ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$).

Γνωρίζουμε ότι ο κατσίγαρος περιέχει 20 kg/m^3 αιωρούμενα στερεά, 55 kg/m^3 διαλυμένη οργανική ύλη και 5 kg/m^3 ανόργανα άλατα. Το υπόλοιπο μέρος του αποτελείται από νερό από τις διεργασίες του ελαιουργείου και χυμό του καρπού της ελιάς. Από αυτά μόνο η διαλυμένη οργανική ύλη, συμμετέχει στην αναερόβια χώνευση και συνεισφέρει στην παραγωγή βιοαερίου.

Στο χωνευτήρα εισέρχεται επίσης νερό αραιώσεως του κατσίγαρου με παροχή $5,21 \text{ m}^3/\text{h}$, δηλ. 5.210 kg/h , το οποίο εξέρχεται ανεπεξέργαστο από το χωνευτήρα.

Η παροχή του παραγόμενου βιοαερίου είναι $31,26 \text{ m}^3$ ή $35,9 \text{ kg}$ ($\rho = 1,15 \text{ kg/m}^3$).

Άρα η παροχή της χωνεμένης ιλύος από τα υγρά απόβλητα είναι $2 * 5210 - 35,9 = \mathbf{10384 \text{ kg}}$.

Η πολύ μικρή μείωση του όγκου των υγρών αποβλήτων οφείλεται στο ότι είναι μικρό το ποσοστό της οργανικής ύλης στον κατσίγαρο, πράγμα το οποίο φαίνεται και από τη χαμηλή απόδοση της διεργασίας μετατροπής σε βιοαέριο, σε σύγκριση με την αναερόβια χώνευση των στερεών αποβλήτων.

5.4.9 Αποθήκευση χωνεμένης ιλύος

Το χωνευμένο υπόστρωμα θα οδηγείται έξω από το χωνευτήρα, στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης, όπου το κομπόστ μπορεί να αποθηκευτεί προσωρινά.

Το παραγόμενο κομπόστ θα χρησιμοποιείται ως λίπασμα από τοπικούς αγροτικούς παραγωγούς, και θα μεταφέρεται από την εγκατάσταση βιοαερίου μέσω σωληνώσεων και θα αποθηκεύεται προσωρινά σε δεξαμενές αποθήκευσης που βρίσκονται πλησίον της εγκατάστασης. Η συνολική χωρητικότητα αυτών των δεξαμενών πρέπει να είναι αρκετή για την αποθήκευση του παραγόμενου κομπόστ για αρκετούς μήνες.

Σύμφωνα με την αγροτική νομοθεσία σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες, απαιτούνται έξι έως εννέα μήνες αποθηκευτικής ικανότητας για τα ζωικά περιττώματα, τον πολτό και το κομπόστ, προκειμένου να εξασφαλιστεί η βέλτιστη και αποδοτική χρήση τους ως λίπασμα και να αποφευχθεί η εφαρμογή τους κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Η αποθήκευση του κομπόστ μπορεί να γίνει σε δεξαμενές από σκυρόδεμα ή σε τεχνητές λίμνες, οι οποίες είναι καλυμμένες από φυσικά ή τεχνητά επιπλέοντα στρώματα ή από μεμβράνες (Εικόνα 5.26, Εικόνα 5.27).

Εν προκειμένω, στην παρούσα εγκατάσταση, το χωνευμένο υπόλειμμα των στερεών αποβλήτων θα οδηγείται σε δεξαμενή από σκυρόδεμα, όπως στην Εικόνα 5.26, χωρητικότητας 3000 m³, ώστε να αποθηκεύεται η ποσότητα έξι μηνών, το οποίο προέκυψε ως εξής:

$$(6 \text{ μήνες} * 30 \text{ μέρες/μήνα} * 24 \text{ ώρες/μέρα} * 474,76 \text{ kg/ώρα}) / 850 \text{ kg/m}^3 = 2413 \text{ m}^3.$$

Η εν λόγω δεξαμενή θα έχει ύψος 7m και διάμετρο 24m.



Εικόνα 5.26: Δεξαμενές αποθήκευσης καλυμμένες με μεμβράνες (AL SEADI, 2008).

Το χωνεμένο υπόλειμμα των υγρών αποβλήτων θα οδηγείται σε δύο δεξαμενές τύπου lagoon, όπου θα αποθηκεύεται η ποσότητα 6 μηνών, δηλαδή:

$$(6 \text{ μήνες} * 30 \text{ μέρες/μήνα} * 24 \text{ ώρες/μέρα} * 10384 \text{ kg/ώρα}) / 1000 \text{ kg/m}^3 = 44859 \text{ m}^3.$$

Η κάθε δεξαμενή θα έχει χωρητικότητα 23000 m³. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας δεξαμενής απεικονίζεται στην Εικόνα 5.27.



Εικόνα 5.27: Ανοικτές τεχνητές λίμνες για την αποθήκευση του κομπόστ (AGRINZ GmbH, 2006)

Η αποθηκευμένη ιλύς μπορεί να μείνει στην κυλινδρική δεξαμενή και στις δεξαμενές τύπου lagoon με ειδικό κάλυμμα (σύμφωνα με εγκύκλιο του ΥΠΕΚΑ 604.81-2012) για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι παραπάνω δεξαμενές θα είναι καλυμμένες με μία πολυστρωματική κατασκευή από PVC, PE και EPDM, ανθεκτική στο ηλιακό φως, στις επικαθήσεις και τις εξατμίσεις για την αποφυγή έκλυσης οσμών και της προσθήκης βρόχινου νερού.

Το υγρό υπόλειμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς περαιτέρω επεξεργασία ως υγρό οργανικό λίπασμα απευθείας στα χωράφια, μειώνοντας το κόστος του λιπάσματος που απαιτείται κατά την διάρκεια του χρόνου. Η διαδικασία διασποράς του λιπάσματος γίνεται με μηχανήματα, όπως αυτό που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.28.



Εικόνα 5.28: Μηχάνημα διασποράς υγρού λιπάσματος

5.4.10 Σύστημα αποθήκευσης βιοαερίου

Η παραγωγή του βιοαερίου πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν πιο σταθερή και συνεχή. Μέσα στο χωνευτήρα, το βιοαέριο διαμορφώνεται σε κυμαινόμενες ποσότητες και με αιχμές απόδοσης. Επιπλέον, η ζήτηση για βιοαέριο, π.χ. σε μια μονάδα ΣΗΘ, μπορεί να μεταβάλλεται. Για να αντισταθμιστούν όλα αυτά είναι απαραίτητο να αποθηκεύεται προσωρινά το παραγόμενο βιοαέριο, σε κατάλληλες εγκαταστάσεις αποθήκευσης.

Σήμερα διατίθενται διάφορες επιλογές για τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης του βιοαερίου. Η πιο απλή λύση είναι η αποθήκευση του βιοαερίου να γίνεται στο πάνω μέρος των χωνευτήρων, με τη χρήση μιας ειδικής μεμβράνης, η οποία χρησιμοποιείται και ως κάλυμμα του χωνευτήρα. Στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις συνήθως δημιουργούνται ξεχωριστές δεξαμενές αποθήκευσης του βιοαερίου είτε ως αυτόνομες είτε ως περιλαμβανόμενες σε κτίρια αποθήκευσης. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης του βιοαερίου μπορούν να λειτουργούν σε χαμηλή, μέση ή υψηλή πίεση. Η σωστή επιλογή και διαστασιολόγηση του συστήματος αποθήκευσης έχει μια ουσιαστική συμβολή στην αποδοτικότητα, την αξιοπιστία και την ασφάλεια των εγκαταστάσεων βιοαερίου, εξασφαλίζοντας τον σταθερό ανεφοδιασμό με βιοαέριο και μειώνοντας τις απώλειες. (Λαγούδη Α., Γιακουμέλλος Α. 2012)

Όλες οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης βιοαερίου πρέπει να είναι αεροστεγείς και ανθεκτικές στην πίεση και στην περίπτωση των εγκαταστάσεων αποθήκευσης, που δεν προστατεύονται από κτίρια, πρέπει να είναι ανθεκτικές στη θερμοκρασία, στις καιρικές συνθήκες και την υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Πριν από την εκκίνηση της εγκατάστασης, οι δεξαμενές αποθήκευσης του αερίου πρέπει να ελεγχθούν ως προς τη στεγανότητά τους. Για λόγους ασφαλείας πρέπει να είναι εξοπλισμένες με βαλβίδες ασφαλείας (Εικόνα 5.19). Πρέπει επίσης να είναι εγγυημένη η προστασία από έκρηξη και απαιτείται μια φωτοβολίδα έκτακτης ανάγκης.



Εικόνα 5.29: Συστήματα αποθήκευσης βιοαερίου (Severn Wye Energy Agency)

Εξωτερικό Σύστημα Αποθήκευσης Βιοαερίου

Στην παρούσα εγκατάσταση επιλέχθηκε η αποθήκευση του βιοαερίου να γίνεται στη διπλή μεμβράνη. Η μεμβράνη είναι ανθεκτική και δεν διαβρώνεται από τις καιρικές συνθήκες, ούτε επηρεάζεται από τις υπεριώδεις ακτινοβολίες του ηλίου (UV). Η εσωτερική μεμβράνη είναι πλαστική, βασισμένη σε ίνες πολυεστέρα και είναι ειδικά κατασκευασμένη για βιοαέριο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.30. Η εξωτερική μεμβράνη προστατεύει την εσωτερική από τον αέρα και την πτώση, με κλίση 23°.

Η δεξαμενή χαμηλής πίεσης θα λειτουργεί σε υπερπίεση από 0,05 ως 0,5 mbar. Η δεξαμενή μεμβράνης θα εγκατασταθεί ως εξωτερικός ταμιευτήρας και θα μπορεί να αποθηκεύσει την μέγιστη παραγωγή βιοαερίου σε διάστημα δύο ωρών, δηλαδή θα έχει χωρητικότητα περίπου 1000 m³.



Εικόνα 5.30: Εξωτερικό σύστημα αποθήκευσης βιοαερίου (Agrinz , 2006)

Πυρσός βιοαερίου

Υπάρχουν καταστάσεις όπου παράγεται περισσότερο βιοαέριο απ' ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω του εξαιρετικά υψηλού ρυθμού παραγωγής αερίου ή μέσω της διακοπής/συντήρησης του συστήματος ανάκτησης της ενέργειας. Σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι απαραίτητες εφεδρικές λύσεις, όπως η πρόσθετη αποθήκευση βιοαερίου ή τα πρόσθετα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Η αποθήκευση του βιοαερίου είναι δυνατή για μικρές χρονικές περιόδους χωρίς συμπίεση, αλλά για περιόδους άνω των μερικών ωρών γενικά δεν είναι εφικτή λόγω του μεγάλου όγκου. Τα πρόσθετα συστήματα ανάκτησης της ενέργειας (π.χ. μία δεύτερη μονάδα ΣΗΘ) μπορεί να είναι πολύ ακριβά.

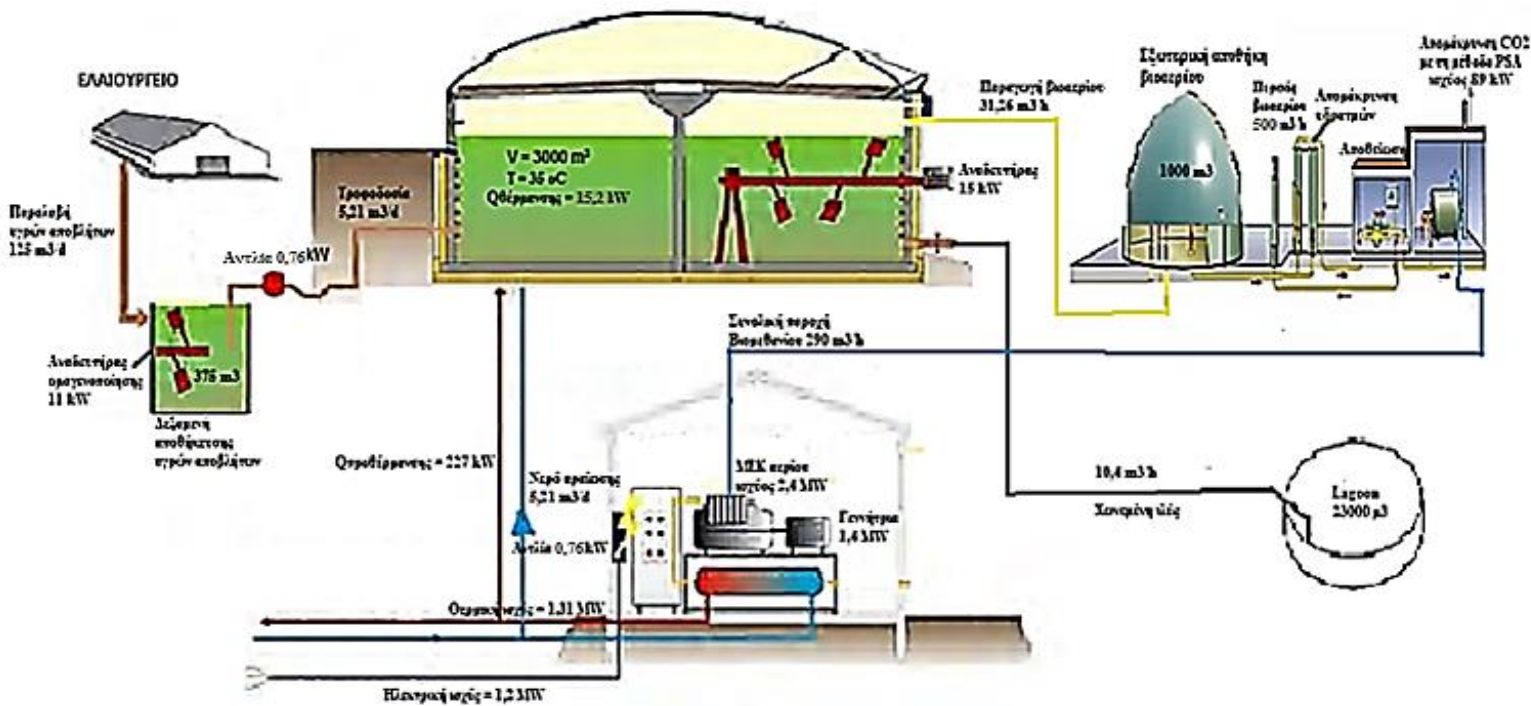
Για τον λόγο αυτό, κάθε εγκατάσταση βιοαερίου είναι εξοπλισμένη με έναν "πυρσό" βιοαερίου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.31. Στις καταστάσεις όπου υπάρχει μια περίσσεια βιοαερίου, η οποία δεν μπορεί να αποθηκευτεί ή να χρησιμοποιηθεί, η ανάφλεξη είναι η τελευταία λύση, απαραίτητη για την εξάλειψη οποιωνδήποτε κινδύνων ασφάλειας και για την προστασία του περιβάλλοντος. Σε εξαιρετικές καταστάσεις, η ανάφλεξη θα μπορούσε να είναι η λύση για την ασφαλή διάθεση του βιοαερίου που παρήχθη από τις διεργασίες της ΑΧ, όπου δεν είναι εφικτή η ενεργειακή ανάκτηση. (Γιακουμέλλος Λ. 2012, Severn Wye Energy Agency)

Ο πυρσός καύσης περίσσειας βιοαερίου της παρούσας μονάδας θα έχει δυναμικότητα καύσης 500 m³/h, ώστε να μπορεί να κάψει την ποσότητα του βιοαερίου που παράγεται σε μία ώρα, σε περίπτωση που η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από την απαίτηση αερίου, επίσης θα είναι συνολικού ύψους 5 m. (www.mt-energie.com) Ο πυρσός θα ενεργοποιείται αυτόματα για την εκκίνηση καύσης περίσσειας βιοαερίου μέσω σήματος που λαμβάνει από τους αισθητήρες πίεσης αερίου στο σύστημα κατακράτησης/προσωρινής αποθήκευσης βιοαερίου.



Εικόνα 5.31: Πυρσός Καύσης Περίσσειας Βιοαερίου (www.envima.gr)

Τέλος η Εικόνα 5.32 παρουσιάζει τα κυριότερα χαρακτηριστικά των επιμέρους τμημάτων της εγκατάστασης ΑΧ που αναλύθηκαν παραπάνω και αφορά την τροφοδοσία των ΥΑΕ.



Εικόνα 5.32: Σχηματική αναπαράσταση της μονάδας αναερόβιου χωνευτήρα υγρών αποβλήτων ελαιουργείων καθώς και της ΣΗΘ της μονάδας

5.5 Αναβάθμιση βιοαερίου

Όταν το βιοαέριο φεύγει από το χωνευτήρα είναι κορεσμένο με υδρατμούς και περιέχει, εκτός από μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), διάφορα ποσά υδρόθειου (H_2S). Το υδρόθειο είναι τοξικό, με μία ιδιαίτερη, δυσάρεστη οσμή και δημιουργεί θειικό οξύ σε συνδυασμό με τους υδρατμούς στο βιοαέριο. Το θειικό οξύ είναι διαβρωτικό και μπορεί να προκαλέσει φθορές στις μηχανές ΣΗΘ, τις σωληνώσεις του αερίου, τις καμινάδες, κλπ. Για τον λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η αποθείωση και η ξήρανση του βιοαερίου. Οι κατασκευαστές των μονάδων ΣΗΘ παρέχουν ελάχιστες προδιαγραφές για τις ιδιότητες του καύσιμου αερίου. Οι ιδιότητες της καύσης πρέπει να είναι εγγυημένες προκειμένου να αποτραπεί η ζημιά στις μηχανές. Αυτό ισχύει επίσης για τη χρήση του βιοαερίου. Ανάλογα με τη χρήση του βιοαερίου (π.χ. καύσιμο οχημάτων, κυψέλες καυσίμων), είναι απαραίτητα περαιτέρω μέτρα βελτίωσης του αερίου. Είναι απαραίτητη η **απομάκρυνση υδρατμών, η αποθείωση**, καθώς και η **απομάκρυνση του CO_2** του βιοαερίου. (Rutz D. et al. 2008)



Εικόνα 5.33: Γενική απεικόνιση εγκατάστασης αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο (Severn Wye Energy Agency)

5.5.1 Απομάκρυνση υδρατμών

Η σχετική υγρασία του βιοαερίου μέσα στο χωνευτήρα είναι 100%, οπότε το αέριο είναι κορεσμένο σε υδρατμούς. Για να προστατευθούν οι μονάδες ΣΗΘ από την διάβρωση και από ενδεχόμενη βλάβη, πρέπει να αφαιρείται το νερό από το παραγόμενο βιοαέριο. Η ποσότητα του νερού που περιέχεται στο βιοαέριο εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Ένα μέρος των υδρατμών μπορεί να συμπυκνωθεί με την ψύξη του αερίου. Αυτό γίνεται συχνά στις σωληνώσεις που μεταφέρουν το βιοαέριο από το χωνευτήρα στη μονάδα ΣΗΘ. Το νερό συμπυκνώνεται στα τοιχώματα των κεκλιμένων σωλήνων και μπορεί να συλλεχθεί σε έναν διαχωριστή συμπύκνωσης, στο χαμηλότερο σημείο της σωλήνωσης.

Μια προϋπόθεση για την αποτελεσματική ψύξη του βιοαερίου στις σωληνώσεις είναι το ικανοποιητικό μήκος των αντίστοιχων σωλήνων. Εάν οι σωληνώσεις του αερίου είναι υπόγειες, το αποτέλεσμα της ψύξης είναι ακόμα καλύτερο. Οι υπόγειοι σωλήνες, είναι πολύ σημαντικό να τοποθετούνται σε μία σταθερή βάση, προκειμένου να είναι εγγυημένη η κλίση των σωλήνων, οι οποίοι μπορούν να επηρεαστούν από ένα βυθιζόμενο ή κινούμενο έδαφος. Ο διαχωριστής συμπύκνωσης πρέπει να συντηρείται ώστε να μην έχει πάγο και να είναι εύκολα προσβάσιμος, προκειμένου να καθαρίζεται τακτικά. Εκτός από τους αφαιρούμενους υδρατμούς, η συμπύκνωση

αφαιρεί επίσης μερικές από τις ανεπιθύμητες ουσίες, όπως υδροδιαλυτά αέρια και αερολύματα. (REnInvest Group 2012)

Στην παρούσα εγκατάσταση αναβάθμισης, το βιοαέριο εισέρχεται στη μονάδα αναβάθμισης, σε πίεση λίγα mbar χαμηλότερα από την ατμοσφαιρική. Το βιοαέριο συμπιέζεται σε πίεση 6 bar, και κατά συνέπεια η θερμοκρασία αυξάνεται περίπου στους 85°C. Στη συνέχεια το αέριο ψύχεται σταδιακά ως τους 6° C για να προκύψει ξηρό βιοαέριο. Το ξηρό αυτό βιοαέριο θερμαίνεται ξανά στους 45° C και οδηγείται στη μονάδα αποθείωσης.

Η απαιτούμενη ενέργεια ψύξης ή θέρμανσης, αντίστοιχα, που απαιτείται για τις μετατροπές αυτές, υπολογίζεται με βάση τη σχέση:

$$Q = mc_{p,biogas} \Delta t \quad (4.4)$$

όπου η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση C_p του βιοαερίου, υπολογίζεται με βάση το συντελεστή C_p των συστατικών του, ανάλογα με το ποσοστό συνεισφοράς του κάθε συστατικού στο βιομεθάνιο.

Με βάση τη βιβλιογραφία (http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-gases-d_159.html) έχουμε:

$$C_{p_{CH_4}} = 2,22 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$$

$$C_{p_{CO_2}} = 0,844 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$$

$$C_{p_{water}} = 1,93 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$$

$$C_{p_{N_2}} = 1,04 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$$

Σύμφωνα με τη σύσταση του βιοαερίου (Πίνακας 1.1), η ειδική θερμοχωρητικότητα του βιοαερίου είναι: $0,65 C_{p_{CH_4}} + 0,30 C_{p_{CO_2}} + 0,03 C_{p_{water}} + 0,02 C_{p_{N_2}} = 1,77 \text{ kJ} / \text{kgK}$, τα οποία είναι τα κύρια στοιχεία του βιοαερίου και έτσι προκύπτουν τα ποσοστά τους.

Με βάση την τιμή αυτή και τη μέγιστη παροχή μάζας του βιοαερίου (παροχή όγκου * πυκνότητα, ίση με $1,15 \text{ kg/m}^3$, όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 4.2) υπολογίζονται οι απαιτούμενες θερμικές και ψυκτικές ισχύεις.

$$85^\circ \text{ C} \rightarrow 6^\circ \text{ C} : Q_{\psi} = 19,82 \text{ kW}$$

$$6^\circ \text{ C} \rightarrow 45^\circ \text{ C} : Q_{\theta} = 9,8 \text{ kW}$$

Με βάση το παραγόμενο βιοαέριο κατά την απλή τροφοδοσία έχουμε:

$$85^\circ \text{ C} \rightarrow 6^\circ \text{ C} : Q_{\psi} = 18,46 \text{ kW}$$

$$6^\circ \text{ C} \rightarrow 45^\circ \text{ C} : Q_{\theta} = 9,11 \text{ kW}$$

Η διαστασιολόγηση της μονάδας θα γίνει με τις μέγιστες απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις ψύξης καλύπτονται μέσω ενός ψύκτη απορρόφησης H₂O/LiBr ισχύος 20kW της εταιρίας Yazaki, με COP=0.7. Η απαιτούμενη θερμότητα για την παραγωγή της ψυκτικής ισχύος είναι $19,82/0,7 = 28,3$ kW και παρέχεται από το ρεύμα των καυσαερίων της ΣΗΘ. Σύμφωνα με την παραγωγή βιοαερίου που προκύπτει (μέγιστη δυναμικότητα 445 m³/h), επιλέγεται συμπιεστής βιοαερίου της εταιρίας HAUG, με δυνατότητα παροχής 205-450 m³/h, ισχύ κινητήρα **60 kW**, πίεση αναρρόφησης 1 bar και λόγο συμπίεσης 8, για την αρχική απαιτούμενη συμπίεση.

5.5.2 Αποθείωση

Το βιοαέριο που παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση με άλλα υποστρώματα, μπορεί να περιέχει διάφορα επίπεδα H₂S. Όταν το βιοαέριο χρησιμοποιείται σε μηχανές αερίου για τη συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ), το περιεχόμενο του υδρόθειου πρέπει να είναι κάτω από 700 ppm για τις περισσότερες από τις συμβατικές μηχανές αερίου, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερβολική διάβρωση και η πάρα πολύ γρήγορη και δαπανηρή φθορά του λιπαντέλαιου. Η αφαίρεση του υδρόθειου (H₂S) από το βιοαέριο (αποθείωση) μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους είτε βιολογικές είτε χημικές, λαμβάνοντας χώρα εσωτερικά ή εξωτερικά του χωνευτήρα. Η αποθείωση εξαρτάται από το περιεχόμενο σε H₂S και την τιμή ρυθμοαπόδοσης σε όλο τον εξοπλισμό αποθείωσης.

Στην παρούσα εγκατάσταση επιλέξαμε βιολογική αποθείωση που θα λαμβάνει χώρα εντός του χωνευτήρα καθώς και εξωτερική αποθείωση κατά την αναβάθμιση του βιοαερίου.

Για την αποθείωση εντός του χωνευτήρα, πρέπει να είναι παρόντα οξυγόνο και οξειδωτικά σουλφοβακτηρίων, για τη μετατροπή του υδρόθειου σε στοιχειακό θείο, παρουσία οξυγόνου. Τα οξειδωτικά σουλφοβακτήρια είναι παρόντα μέσα στο χωνευτήρα (δεν χρειάζεται να προστεθούν) δεδομένου ότι το υπόστρωμα της ΑΧ περιέχει τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες για το μεταβολισμό τους. Το οξυγόνο παρέχεται με έκχυση αέρα στο επάνω μέρος του χωνευτήρα. Αυτό μπορεί να γίνει με έναν πολύ μικρό συμπιεστή. Οι σωλήνες εκχύσεως αέρα μέσα στο χωνευτήρα πρέπει να τοποθετούνται στην αντίθετη πλευρά της εξαγωγής του βιοαερίου, προκειμένου να αποφευχθεί η παρεμπόδιση του σωλήνα εξαγωγής.

Εν προκειμένω η πρόσθετη επεξεργασία του παραγόμενου βιοαερίου θα πραγματοποιηθεί μέσα στο χωνευτήρα. Το βιοαέριο περιέχει το υδρόθειο (H₂S) που γίνεται θειικό οξύ σε μια διαδικασία καύσης. Θα εισαχθεί λοιπόν μικρή ποσότητα αέρα μέσα στον χωνευτήρα, και έτσι το πρόσθετο είδος βακτηριδίων (οξειδωτικά σουλφοβακτήρια), το οποίο ζει μέσα στη λάσπη, θα παραλάβουν τα σουλφίδια και το οξυγόνο του αέρα και δημιουργούν θείο και νερό. Το θείο θα εισχωρήσει στη λάσπη και θα μεταφέρεται μαζί με αυτή. Με αυτό τον τρόπο, το περιεχόμενο υδρόθειο μειώνεται κάτω από το απαιτούμενο επίπεδο.

Η δεύτερη φάση της αποθείωσης γίνεται στο ξηρό βιοαέριο, το οποίο διέρχεται μέσω ενός φίλτρου ενεργού άνθρακα για την απομάκρυνση του υδρόθειου σε πίεση περίπου 5 bar. Δεσμεύεται από το φίλτρο άνθρακα ως στοιχειακό θείο, ενώ εκτιμάται ότι το φίλτρο του άνθρακα απαιτεί αντικατάσταση κάθε δύο χρόνια. Για να μεγιστοποιηθεί η απόδοση των φίλτρων, προστίθεται μικρή ποσότητα αέρα στο βιοαέριο. (REnInvest Group 2012, Rutz D. et al. 2008). Σύμφωνα με την παραγωγή βιοαερίου που προκύπτει (μέγιστη δυναμικότητα 445 m³/h), επιλέγεται συμπιεστής βιοαερίου της εταιρίας HAUG, με δυνατότητα παροχής 205-450 m³/h, ισχύ κινητήρα **60 kW**, πίεση αναρρόφησης 1 bar και λόγο συμπίεσης 8.



Εικόνα 5.34: Συμπιεστής της μονάδας αποθείωσης ισχύος 60kW της εταιρίας HAUG (www.haug.ch)

5.5.3 Απομάκρυνση CO₂

Η τεχνολογία που επιλέχθηκε είναι η απορρόφηση με εναλλαγή πίεσης (PSA), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.35. Στη συγκεκριμένη εγκατάσταση χρησιμοποιούνται έξι δοχεία εναλλαγής πίεσης γεμάτα με ενεργό άνθρακα, ο οποίος λειτουργεί ως «μοριακό κόσκινο». Το αέριο εισέρχεται από τη βάση του δοχείου και συμπιέζεται ως τα 5 bar. Τα μόρια μεθανίου περνούν μέσα από το «μοριακό κόσκινο» και άρα προκύπτει ένα αέριο υψηλού περιεχομένου σε CH₄ το οποίο εξέρχεται από την κορυφή του δοχείου. Τα μόρια του CO₂ συγκρατούνται εντός του «μοριακού

κόσκινου», απελευθερώνονται όμως όταν η πίεση μειωθεί, και έτσι προκύπτει ένα αέριο πλούσιο σε CO₂ το οποίο εξέρχεται από τη βάση του δοχείου.

Η εγκατάσταση αποτελείται από 6 δοχεία στο σύνολο, τα οποία λειτουργούν σε τρία ζευγάρια, όπου δύο δοχεία βρίσκονται σε φάση αύξησης πίεσης, δύο βρίσκονται σε υψηλή πίεση και παράγουν βιομεθάνιο και δύο βρίσκονται σε φάση μείωσης της πίεσης, ώστε να παραχθεί το ρεύμα CO₂. Με τον τρόπο αυτό, παράγεται σταθερή ποσότητα βιομεθανίου. Κάθε ζεύγος δοχείων απαιτεί περίπου 230 δευτερόλεπτα για να ολοκληρώσει ένα κύκλο συμπίεσης-παραγωγής-εκτόνωσης. Το ποσοστό CH₄ ελέγχεται στο σημείο αυτό και αν βρίσκεται εκτός των προδιαγραφών, το παραγόμενο αέριο οδηγείται ξανά εντός του συστήματος PSA. Η εγκατάσταση έχει μέγιστη δυναμικότητα βιομεθανίου 290 m³/h με ποσοστό μεθανίου 97%. Η ποσότητα αυτή υπαγορεύεται από τη δυνατότητα των χωνευτήρων για παραγωγή βιοαερίου και αφορά την περίπτωση της διπλής τροφοδοσίας, όπου η παραγωγή του βιοαερίου και άρα και του βιομεθανίου είναι μέγιστη. (Rutz D. et al. 2008, REnInvest Group 2012)

Σύμφωνα με τους Bauer F. et al. (2013) η ηλεκτρική κατανάλωση του συστήματος PSA για την απομάκρυνση του CO₂ είναι 0,2 kWh/Nm³. Άρα η απαιτούμενη ισχύς για όλη την παροχή του βιοαερίου (445 m³/h) είναι **89 kW**, και πρόκειται για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά την περίοδο διπλής τροφοδοσίας. Επίσης για την περίοδο απλής τροφοδοσίας όπου έχουμε παραγωγή βιοαερίου 413 m³/h, η απαιτούμενη ενέργεια είναι **82,6 kW**.



Εικόνα 5.35: Μονάδα διαχωρισμού CH₄ / CO₂ μέσω απορρόφησης με εναλλαγή πίεσης έξι δοχείων (Severn Wye Energy Agency)

5.6 Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας (ΣΗΘ)

Το σύστημα ΣΗΘ θα δουλεύει μόνιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προσδιδόμενης εντός της υφιστάμενης μονάδας (με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας) και θερμικής ενέργειας για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της εγκατάστασης. Το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα θα προσδίδεται στον κεντρικό ηλεκτρικό πίνακα σε σταθερή τάση, αφού η εξομάλυνση του παραγομένου ρεύματος θα γίνεται από το ίδιο το ΣΗΘ.

Η μονάδα θα έχει μέγιστη εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ περί τα 1,2 MW και παραγωγή θερμότητας περί τα 1,3 MW. Η παραγωγή ήχου κατά τη λειτουργία του ΣΗΘ δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 60 dB μέσα στον χώρο εγκατάστασης. Η μονάδα θα είναι πλήρως λειτουργική, αφού συνδεθεί με το υφιστάμενο σύστημα παραγωγής βιοαερίου. Θα δέχεται ως τροφοδοσία το παραγόμενο βιομεθάνιο. Το αέριο αυτό ρεύμα θα πρέπει να μεταφερθεί στη μονάδα ΣΗΘ, η οποία θα εγκατασταθεί σε απόσταση περίπου 10 μέτρων από τους αντιδραστήρες. Θα εγκατασταθούν όλα τα απαραίτητα συστήματα ασφαλείας και διασφάλισης της ορθής λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘ. Ο έλεγχος της λειτουργίας του συστήματος ΣΗΘ θα πρέπει να γίνεται τοπικά αλλά και μέσω απομακρυσμένης πρόσβασης. Η συνολική παροχή του βιομεθανίου θα είναι 6960 m³ CH₄ ανά ημέρα (24 ώρες/ημέρα).

Παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού

Αφού ο συνολικός βαθμός απόδοσης της μονάδας συμπαραγωγής είναι $\eta=0,858$, η ενέργεια, είτε σε μορφή θερμότητας (\dot{Q}) είτε σε μορφή ηλεκτρισμού (\dot{W}) που εξέρχεται από τη ΣΗΘ θα προκύψει από τον τύπο:

$$\eta = \frac{\dot{W} + \dot{Q}}{\dot{H}_f}$$

όπου H_f η ισχύς του εισερχόμενου βιομεθανίου.

Επίσης για τη μονάδα συμπαραγωγής μας ενδιαφέρει ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR), ο οποίος ορίζεται ως

$$PHR = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}},$$

ο οποίος μπορεί να εκφραστεί και ως συνάρτηση του θερμικού και του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης της συμπαραγωγής η_{el} και η_{th} (Φραγκόπουλος X., 1994)

$$PHR = \frac{\eta_{el}}{\eta_{th}},$$

Για την παρούσα εγκατάσταση σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του κατασκευαστή της MWM, προκύπτουν οι ακόλουθοι υπολογισμοί.

$$PHR = \frac{0,42}{0,438} = 0,96$$

Για την περίπτωση της απλής τροφοδοσίας η ισχύς του βιομεθανίου που παρέχεται στη μονάδα της συμπαραγωγής ύστερα από την αναβάθμισή του, είναι 2,8 MW_f. Άρα η παραγωγή της ΣΗΘ είναι:

$$\dot{Q} + \dot{W} = 0,858 \cdot 2,8 MW = 2,4 MW$$

Αφού ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR) είναι 0,96, η παραγόμενη θερμότητα και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι αντίστοιχα: $\dot{Q} = 1,23 MW$ και $\dot{W} = 1,17 \cdot 0,9526 = 1,114 MW$, όπου 95,26% είναι ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας.

Για την περίπτωση της διπλής τροφοδοσίας η ισχύς του βιομεθανίου που παρέχεται στη μονάδα της συμπαραγωγής είναι 3MW. Άρα η παραγωγή της ΣΗΘ είναι: $\dot{Q} + \dot{W} = 0,858 \cdot 3 MW = 2,57 MW$

Αφού ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR) είναι 0,96, η παραγόμενη θερμότητα και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι αντίστοιχα: $\dot{Q} = 1,31 MW$ και $\dot{W} = 1,26 \cdot 0,9526 = 1,2 MW$.

Για τη λειτουργία της συμπαραγωγής, με βάση της απαιτούμενες ποσότητες θέρμανσης και ηλεκτρισμού, επιλέγεται μηχανή εσωτερικής καύσης TCG 2020 V12 της εταιρείας MWM (www.mwm.net) με συνολικό βαθμό απόδοσης 85,8%, με τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά.

Πίνακας 5.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά απόδοσης της MEK TCG 2020 V12 της εγκατάστασης (www.mwm.net)

MWM Engine Type TCG 2020 ¹⁾		TCG 2020 V12 ²⁾
Electrical power ⁴⁾	kW	1,200
Mean effective pressure	bar	18.6
Thermal output ³⁾	±8 % kW	1,250
Electrical efficiency ⁴⁾	%	42.0
Thermal efficiency ⁴⁾	%	43.8
Total efficiency ⁴⁾	%	85.8



Εικόνα 5.36: Απεικόνιση της MEK TCG 2020 V12 της εταιρείας MWM (www.mwm.net)

Πίνακας 5.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας της MEK TCG 2020 V12 της εγκατάστασης (www.mwm.net)

Engine type		TCG 2020 V12
Engine power ²¹	kW bhp	1200 1609
Speed	min ⁻¹ rpm	1500
Mean effective pressure	bar psi	18.1 262.5
Exhaust temperature	approx. °C °F	430 806
Exhaust mass flow wet	approx. kg/h lb/hr	6053 13341
Combustion air mass flow ²¹	approx. kg/h lb/hr	5852 12898
Combustion air temperature min./design	°C °F	20/25 68/77
Ventilation air flow ³¹	approx. kg/h lb/hr	29944 65938

Engine parameters		
Bore/stroke	mm in	170/195 6.7/7.7
Displacement	dm ³ cu in	53.1 3240
Compression ratio		13.5 : 1
Mean piston speed	m/s ft/s	9.8 32.16
Lube oil content ⁴¹	dm ³ gal	630 166.5
Typical mean lube oil consumption ⁵¹	g/kWh lb/hr	0.2 0.15

Με βάση τη μέγιστη εισροή του βιομεθανίου, θα υπολογίσουμε την τελική παραγωγή της μονάδας συμπαραγωγής.

Σκοπός της εγκατάστασης συμπαραγωγής είναι η κάλυψη των θερμικών αναγκών της μονάδας παραγωγής βιοαερίου και αναβάθμισης σε βιομεθάνιο. Ύστερα από την κάλυψη των θερμικών αναγκών της εγκατάστασης, η περίσσεια θερμότητας θα διοχετεύεται για τη θέρμανση παρακείμενων θερμοκηπίων της περιοχής. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια προορίζεται για την κάλυψη των ιδιοκαταναλώσεων και εν συνεχεία για πώληση στο δίκτυο, με σκοπό την απόσβεση της εγκατάστασης.

Η γεννήτρια που επιλέχθηκε είναι σύγχρονη, τετραπολική, συχνότητας 50Hz, τριφασική, της σειράς AMG 0400 της εταιρείας ABB (www.abb.com) με φαινόμενη ισχύ 750-1500 kVA σε τάση 400V. Ο βαθμός απόδοσης στο εύρος λειτουργίας της ΣΗΘ είναι 95,26%.

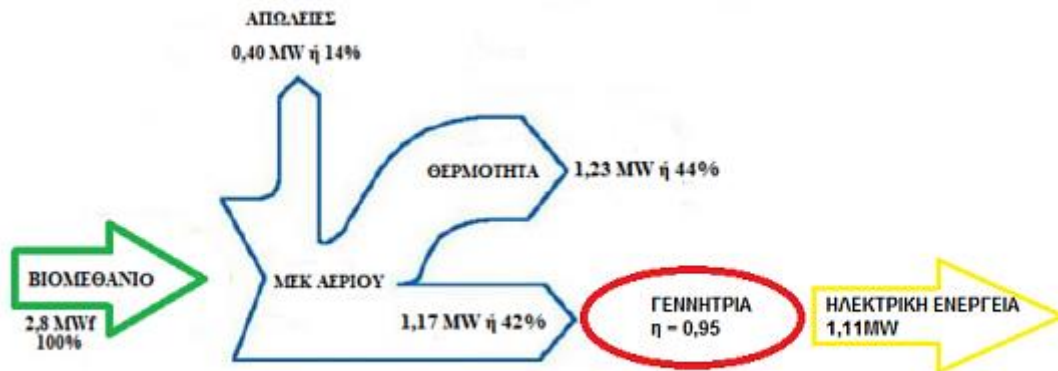


Εικόνα 5.37: Γεννήτρια AMG 0400 της εταιρείας ABB της μονάδας ΣΗΘ (www.abb.com)

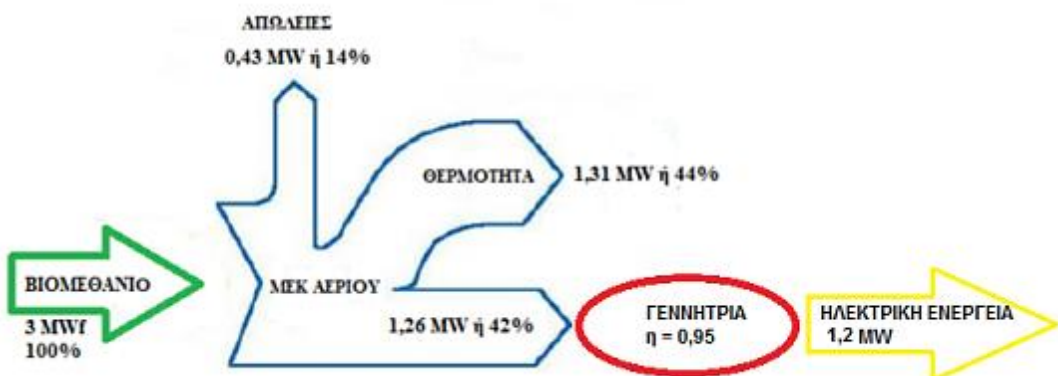
Πίνακας 5.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας AMG 0400 της εταιρείας ABB της μονάδας ΣΗΘ (www.abb.com)

Type	50 Hz, H class (125 K), ambient 40°C, continuous, p.f. 0.8									1 phase 220-240V kVA
	380 V		400 V		415 V		440 V		Efficiency (400 V) %	
	kVA	kW	kVA	kW	kVA	kW	kVA	kW		
AMG 0400AA04 DBAI	715	572	750	600	750	600	675	540	94.10	N/A
AMG 0400BB04 DBAI	810	648	850	680	850	680	775	620	94.54	N/A
AMG 0400CC04 DBAI	900	720	950	760	950	760	850	680	95.05	N/A
AMG 0400CL04 DBAI	950	760	1000	800	1000	800	950	760	95.01	N/A
AMG 0400DD04 DBAI	1100	880	1150	920	1150	920	1050	840	95.19	N/A
AMG 0400ES04 DBAI	1190	952	1250	1000	1250	1000	1190	952	95.26	N/A
AMG 0400EE04 DBAI	1430	1144	1500	1200	1500	1200	1330	1064	95.48	N/A

Σχηματική απεικόνιση των ισολογισμών ενέργειας της μονάδας ΣΗΘ με διαγράμματα Sankey.



Εικόνα 5.38: Διάγραμμα Sankey για την περίπτωση τροφοδοσίας της ΣΗΘ με 2,8 MW_f βιομεθανίου



Εικόνα 5.39: Διάγραμμα Sankey για την περίπτωση τροφοδοσίας της ΣΗΘ με 3 MW_f βιομεθανίου

Ο Πίνακας 5.7 παρουσιάζει τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό της παρούσας εγκατάστασης αναερόβια χώνευσης. Επίσης δίνονται οι ηλεκτρικές απαιτήσεις των μηχανημάτων καθώς και η αντίστοιχη περίοδος λειτουργίας τους.

Πίνακας 5.7: Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός της εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης

Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός	Κατανάλωση ηλεκτρισμού	Περίοδος λειτουργίας
Μηχανή θρυμματισμού	11 kW	11 μήνες (Απλή)
Αναδευτήρας ομογενοποίησης υγρών αποβλήτων	11 kW	4 μήνες (Διπλή)
Κινητήρας μεταφορικής ταινίας	5,5 kW	11 μήνες (Απλή)
Αντλία τροφοδοσίας υγρών αποβλήτων	0,8 kW	4 μήνες (Διπλή)
Αντλία νερού αραίωσης	0,37 kW	4 μήνες (Διπλή)
Αναδευτήρας χωνευτήρα στερεών αποβλήτων	11 kW	11 μήνες (Απλή)
Αναδευτήρας χωνευτήρα υγρών αποβλήτων	15 kW	4 μήνες (Διπλή)
Συμπιεστής αποθείωσης	60 kW	11 μήνες (Απλή)
Σύστημα PSA	89 kW	4 μήνες (Διπλή)
Σύστημα PSA	82,6 kW	11 μήνες (Απλή)
Συμπιεστής απομάκρυνσης υδρατμών	60 kW	11 μήνες (Απλή)
Σύνολο	230,1 kW	Απλής τροφοδοσίας
Σύνολο	264,05 kW	Διπλής τροφοδοσίας

Ο Πίνακας 5.8 παρουσιάζει τις θερμικές απαιτήσεις της παρούσας εγκατάστασης καθώς και της αντίστοιχης περιόδου ζήτησής τους.

Πίνακας 5.8: Θερμικές απαιτήσεις της εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης

Λειτουργία	Θερμικές απαιτήσεις	Περίοδος τροφοδοσίας
Προθέρμανση υγρών αποβλήτων	227 kW	Διπλή
Προθέρμανση στερεών αποβλήτων	8 kW	Απλή
Θέρμανση χωνευτήρα υγρών αποβλήτων	15,2 kW	Διπλή
Θέρμανση χωνευτήρα στερεών αποβλήτων	3,5 kW	Απλή
Θερμότητα για τον ψύκτη απορρόφησης	28,3 kW	Διπλή
Θερμότητα για τον ψύκτη απορρόφησης	26,4 kW	Απλή
Θερμότητα για την απομάκρυνση των υδρατμών	10,9 kW	Διπλή
Θερμότητα για την απομάκρυνση των υδρατμών	10,1 kW	Απλή
Σύνολο	292,9 kW	Διπλή
Σύνολο	48 kW	Απλή

Ο Πίνακας 5.9 παρουσιάζει παραστατικά την παραγωγή σε ηλεκτρισμό και θερμότητα της παρούσας εγκατάστασης, καθώς και της ποσότητας ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας που μένει για να εκμεταλλευτεί ο επενδυτής, αφού πρώτα έχει καλύψει τις απαιτήσεις του συστήματος

Πίνακας 5.9: Παρουσίαση καθαρής παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας

	Ηλεκτρικές καταναλώσεις	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	Καθαρή ηλεκτρική ενέργεια	Θερμικές καταναλώσεις	Παραγωγή θερμικής ενέργειας	Καθαρή θερμική ενέργεια
Απλή τροφοδοσία	230,1 kW	1110 kW	879,9 kW	48 kW	1230 kW	1182 kW
Διπλή τροφοδοσία	264,05 kW	1200 kW	935,95 kW	292,9 kW	1310 kW	1017,1 kW

5.7 Έλεγχος της εγκατάστασης

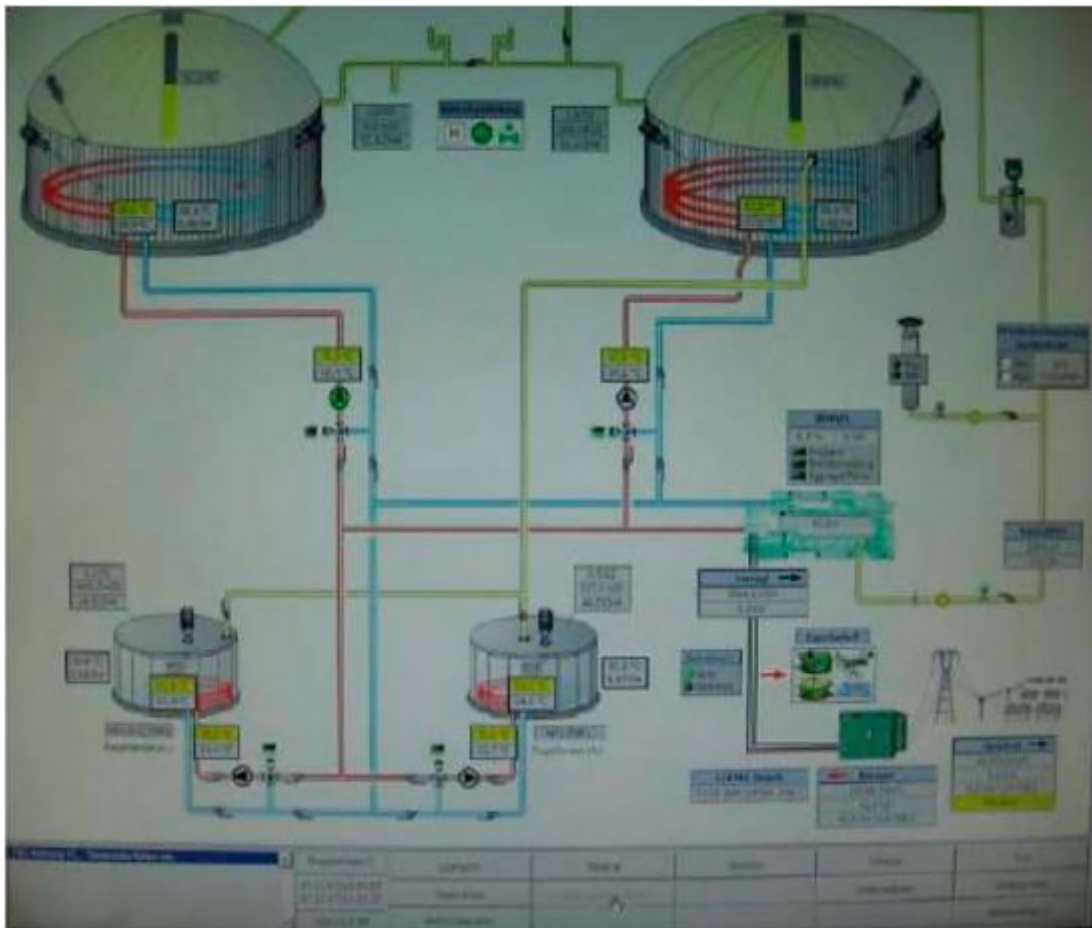
Η εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου είναι μια σύνθετη μονάδα με στενές αλληλεξαρτήσεις μεταξύ όλων των μερών. Γι' αυτό το λόγο, η κεντρική, αυτοματοποιημένη παρακολούθηση και ο έλεγχος είναι ένα σημαντικό μέρος της συνολικής λειτουργίας της εγκατάστασης που πρέπει να εγγυάται την επιτυχία. Η τυποποίηση και η περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας της διεργασίας αναερόβιας χώνευσης είναι δυνατές μόνο με τον συστηματικό έλεγχο και την τεκμηρίωση σημαντικών στοιχείων. Η παρακολούθηση και η τεκμηρίωση είναι επίσης απαραίτητες στις σταθερές διεργασίες προκειμένου να αναγνωρίζονται οι αποκλίσεις από τις τυπικές τιμές. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η πρόωρη επέμβαση και η λήψη των αντίστοιχων διορθωτικών μέτρων.

Η *διεργασία ελέγχου* περιλαμβάνει τη συλλογή και την ανάλυση φυσικών και χημικών παραμέτρων. Συνήθεις εργαστηριακές δοκιμές απαιτούνται για τη βελτιστοποίηση της διεργασίας της AX και της παραγωγής του βιοαερίου. Συνεπώς μέσω των αισθητήρων, των αυτοματισμών του εξοπλισμού και του κατάλληλου συστήματος λογισμικού και PLC δημιουργείται μία μονάδα αυτόματου ελέγχου της εγκατάστασης παραγωγής βιοαερίου με τις εξής δυνατότητες:

- συνεχής έλεγχος επιπέδου του υποστρώματος με τη βοήθεια υδροστατικών και άλλων αισθητήρων
- έλεγχος της φόρτωσης και εκφόρτωσης του υποστρώματος μεταξύ των δεξαμενών με τη βοήθεια αισθητήρων βάρους, ροομέτρων, αισθητήρων επιπέδου και ρελέ περίσσειας πίεσης του υποστρώματος
- ρύθμιση μίξης του υποστρώματος με τη βοήθεια ελεγκτή
- έλεγχος πίεσης του συστήματος θέρμανσης με τη βοήθεια βαλβίδας επαναφόρτισης του συστήματος
- έλεγχος θερμοκρασίας εντός των αντιδραστήρων (χωνευτήρων)
- έλεγχος της ποιότητας βιοαερίου στο σύστημα ανάλυσης αερίου.

- έλεγχος πίεσης βιοαερίου με τη βοήθεια αισθητήρα πίεσης αερίου, αισθητήρα επιπέδου του θόλου κάλυψης και βαλβίδα ασφαλείας
- έλεγχος ποσότητας παραγόμενου βιοαερίου με τη βοήθεια ροόμετρου αερίου
- μέτρηση της ποσότητας του μεθανίου ύστερα από τη μονάδα διαχωρισμού CH₄/CO₂ ώστε να ελεγχθεί η διαδικασία αναβάθμισης
- παρακολούθηση των επιπέδων της παραγόμενης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας από τη μονάδα συμπαραγωγής.

Ο έλεγχος των εγκαταστάσεων βιοαερίου αυτοματοποιείται όλο και περισσότερο με την χρήση ειδικών συστημάτων ελέγχου της διεργασίας μέσω υπολογιστή (Εικόνα 5.40). Ακόμα είναι δυνατός και ο ασύρματος έλεγχος εξ' αποστάσεως.



Εικόνα 5.40: Απεικόνιση ενός συστήματος παρακολούθησης (AGRINZ GmbH, 2006).

Επίσης στην ακόλουθη εικόνα φαίνονται στοιχεία αυτοματισμού και ελέγχου της εγκατάστασης AX των ελαιουργικών αποβλήτων.



Εικόνα 5.41: Οθόνη παρακολούθησης της εγκατάστασης (Λαγούδη Α.)

Συμπεράσματα

Παρά τις προσπάθειες που έχουν καταβληθεί τα τελευταία 50 χρόνια για την επεξεργασία των αποβλήτων αγροτοβιομηχανικών διεργασιών, τα απόβλητα των ελαιοτριβείων εξακολουθούν να αποτελούν σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα, λόγω του γεγονότος ότι καμία ικανοποιητική λύση δεν έχει βρεθεί ακόμη που να είναι τεχνικά εφικτή, οικονομικά βιώσιμη και κοινωνικά αποδεκτή. Τα απόβλητα των ελαιουργείων σήμερα θεωρούνται και είναι το υπ' αριθμόν ένα πρόβλημα επιπτώσεων γεωργικής παραγωγής, διότι η ελαιοκομία αποτελεί το 40% της γεωργικής παραγωγής της χώρας μας. Τα δε απόβλητα από ένα μέτριο ελαιουργείο υπολογίζονται, κατά μέσο όρο, σε 50 – 60 m³ ημερησίως.

Τα μεγαλύτερα προβλήματα δημιουργούνται από τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων. Τα απόνερα αυτά όπως προκύπτουν από τα ελαιοτριβεία, οδηγούνται αρκετές φορές, μέχρι και σήμερα, σε κοντινούς υδάτινους αποδέκτες όπως ρεματιές, ποτάμια, λίμνες και θάλασσες. Στις περιπτώσεις αυτές δημιουργούνται τεράστια προβλήματα μόλυνσης των υπογείων υδάτων λόγω της τοξικότητας των αποβλήτων, καθώς και μία γενικότερη υποβάθμιση του περιβάλλοντος γύρω από τα ελαιοτριβεία.

Όστος και τα στερεά απόβλητα των ελαιουργείων (κυρίως το ελαιοπυρηνόξυλο) μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, ιδιαίτερα όταν διατεθούν χωρίς καμία επεξεργασία. Το στερεό υπόλειμμα, που προκύπτει κατά την παραγωγική διαδικασία, χαρακτηρίζεται από το υψηλό οργανικό φορτίο και από τη μεγάλη περιεκτικότητα σε αδρανή στοιχεία. Η αποθήκευσή του ή η διάθεσή του στο έδαφος χωρίς προεπεξεργασία δεν αποτελεί λύση για το περιβάλλον. Αντιθέτως οξύνεται ακόμη περισσότερο το πρόβλημα, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν υγρές διαρροές που μολύνουν τον υδροφόρο ορίζοντα ή παρατηρούνται αλλαγές στην μορφολογία του εδάφους.

Σήμερα το εκάστοτε ελαιοτριβείο καλείται να επιλέξει μια μέθοδο που να τους ταιριάζει καλύτερα, ώστε να είναι και φιλικό στο περιβάλλον και οικονομικά βιώσιμο, και πάντα με αρωγό της πολιτείας.

Προς την κατεύθυνση αυτή, η παρούσα διπλωματική πρότεινε μια ολοκληρωμένη λύση για τη διαχείριση των στερεών και των υγρών αποβλήτων των ελαιουργείων μέσω αναερόβιας χώνευσης προς παραγωγή βιοαερίου. Το παραγόμενο βιοαέριο στη συνέχεια αναβαθμίζεται σε βιομεθάνιο και τροφοδοτείται με μια MEK αερίου ισχύος 2,5 MW, όπου γίνεται συμπαραγωγή θερμότητας μέγιστης ισχύος 1182 kW και ηλεκτρισμού 935,95 kW. Η μέγιστη καθαρή θερμική ισχύς επιτυγχάνεται κατά την περίοδο της απλής τροφοδοσίας, ενώ η μέγιστη καθαρή ηλεκτρική ισχύς κατά τη διπλή τροφοδοσία.

Με βάση τις καθαρές ποσότητες θερμότητας και ηλεκτρισμού που προέκυψαν, συμπεραίνουμε ότι η υλοποίηση μιας τέτοιας εγκατάστασης συμφέρει τους ελαιοπαραγωγούς, καθώς θα μπορέσουν να αποκομίσουν τα οικονομικά οφέλη από

την πώληση της καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμότητας, έχοντας ήδη καλύψει τις θερμικές και τις ηλεκτρικές απαιτήσεις της εγκατάστασης.

Από τις βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας των αποβλήτων ελαιουργείων, η αναερόβια χώνευση παρουσιάζει σημαντικότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες μεθόδους, διότι παρέχεται η καλύτερη δυνατή επεξεργασία του αποβλήτου. Κατά συνέπεια, η δημιουργία μιας μεγάλης κεντρικής μονάδας επεξεργασίας, που θα συγκεντρώνει απόβλητα από πολλές μονάδες της εκάστοτε περιοχής ή ακόμη και νομού, μπορεί να ξεπεράσει τα οικονομικά εμπόδια που δημιουργούνται από την κατασκευή μιας τέτοιας πολύπλοκης μονάδας και από το εξειδικευμένο προσωπικό που απαιτεί.

Ο νομός Μεσσηνίας είναι μια περιοχή με ικανό ενεργειακό δυναμικό αναφορικά με την παραγωγή βιοαερίου από απόβλητα ελαιουργείων. Η κατασκευή μονάδων βιοαερίου θα βοηθήσει πολλαπλά την ευρύτερη περιοχή αφού θα βοηθήσει στην μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από τα οργανικά απόβλητα, θα απορροφήσει εργατικό δυναμικό της περιοχής και θα μπορούσε να προσφέρει σημαντικά έσοδα στους ΟΤΑ και στους πολίτες. Μια σημαντική προϋπόθεση για την γρήγορη ανάπτυξη έργων βιομάζας στην περιοχή είναι η βελτίωση των υποδομών της, ώστε να μπορούν να μεταφέρονται έγκαιρα οι πρώτες ύλες αλλά και η χωρητικότητα του ηλεκτρικού δικτύου της.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι στη σύγχρονη κοινωνία είναι επιτακτική ανάγκη να διαχειριστούμε το περιβάλλον με αειφόρο τρόπο. Ένας από αυτούς είναι η ενεργειακή πηγή των ελαιουργικών αποβλήτων όπου εκτός της παραγωγής βιοαερίου και θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας είναι και ένας τρόπος προστασίας του περιβάλλοντος και αποφυγής μολύνσεων.

Μελλοντικές Προοπτικές

Για να καταστεί η λειτουργία της συγκεκριμένης μονάδας ΑΧ βιώσιμη, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και άλλοι τύποι αποβλήτων, οι οποίοι θα υφίσταντο επεξεργασία με την ίδια μέθοδο και θα παρήγαγαν βιοαέριο. Απόβλητα όπως το οργανικό μέρος των αστικών απορριμμάτων και οι ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες θα μπορούσαν να τροφοδοτηθούν ως υπόστρωμα και θα επέτρεπαν τη συνεχή λειτουργία των συγκεκριμένων μονάδων μιας και απόβλητα από ελαιοτριβεία, ή απόβλητα και από άλλες μονάδες με εποχιακή λειτουργία όπως τα τυροκομεία και τα βουστάσια, δεν είναι διαθέσιμα όλο το χρόνο.

Επίσης το χωνευμένο υπόστρωμα θα μπορούσε να μεταφέρεται σε μονάδα κομποστοποίησης και στη συνέχεια να χρησιμοποιείται σαν εδαφοβελτιωτικό. Τέτοιες αλλαγές θα επέφεραν σημαντικές αλλαγές στον οικονομικό σχεδιασμό της επένδυσης καθώς η λειτουργία της μονάδας κατά τη διάρκεια όλου του έτους θα οδηγούσε αφενός σε αυξημένα έσοδα από τη αγορά και μεταφορά μεγαλύτερων

ποσοτήτων αποβλήτων, από τις περισσότερες εργατοώρες και την εκτενέστερη συντήρηση, αφετέρου δε σε επιπλέον κέρδη κυρίως από την παραγωγή και πώληση πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και κομπόστ.

Αναφορικά με το παραγόμενο βιομεθάνιο από τη μονάδα ΑΧ, θα μπορούσε να χρησιμοποιείται στον τομέα των μεταφορών που είναι μια τεχνολογία με μεγάλο δυναμικό και σημαντικά κοινωνικοοικονομικά οφέλη. Σήμερα τα περισσότερα Ι.Χ. οχήματα που κινούνται με αέριο έχουν υποστεί μετατροπή, κατά την οποία τοποθετείται στο χώρο αποσκευών μία δεξαμενή συμπιεσμένου αερίου και το σύστημα ανεφοδιασμού με αέριο (επιπλέον του συστήματος συμβατικού καυσίμου). Εξάλλου, το αναβαθμισμένο βιοαέριο (βιομεθάνιο) θεωρείται ότι έχει το υψηλότερο δυναμικό ως καύσιμο οχημάτων, συγκρινόμενο με άλλα βιοκαύσιμα.

Μια εναλλακτική χρήση σε περίπτωση μεγαλύτερης παραγωγής βιομεθανίου θα ήταν το αναβαθμισμένο βιοαέριο (βιομεθάνιο) να εγχυθεί και να διανεμηθεί μέσω του δικτύου του φυσικού αερίου, αφού έχει συμπιεστεί στην αντίστοιχη πίεση των αγωγών. Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, η πρόσβαση στο δίκτυο του αερίου είναι εγγυημένη για όλους τους προμηθευτές βιομεθανίου. Έτσι ένα σημαντικό πλεονέκτημα χρήσης του δικτύου αερίου για τη διανομή του βιομεθανίου είναι ότι το δίκτυο συνδέει την περιοχή παραγωγής του βιομεθανίου (συνήθως σε αγροτικές περιοχές) με τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές. Αυτό επιτρέπει στο αέριο να φθάσει στους νέους πελάτες.

Βιβλιογραφία

ICAP ΑΕ Ερευνών & Επενδύσεων, Σύμβουλοι Επιχειρήσεων, Κλαδικές Μελέτες, Κλάδος: Σπορέλαια - Μαργαρίνες, Αθήνα, Μάιος 1998.

Υγρά απόβλητα των ελαιουργείων, ΤΕΕ, Τμήμα Ανατολικής Κρήτης, Ηράκλειο Κρήτης, Αύγουστος 1980

Ζαφείρης Χ. Ενεργειακή Αξιοποίηση Βιοαερίου: Τάσεις και Προοπτικές, Δελτίο Πανελληνίου Συλλόγου Χημικών Μηχανικών, Αύγουστος- Σεπτέμβριος 2008.

Ζαφείρης Χ. Ενεργειακή Αξιοποίηση Βιομάζας και Εφαρμογές. ΚΑΠΕ, 2003.

Βλυσίδης Α., Επεξεργασία αποβλήτων ελαιουργείων με οξειδωτικές και βιολογικές διεργασίες με παράλληλη παραγωγή υψηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικού, ΣΥΜΠΟΣΙΟ «Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας».

Βολικάκη Χ. (2008), Μέθοδοι επεξεργασίας υγρών και στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων, Πολυτεχνείο Κρήτης Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά.

Βολικάκη Χ., Μέθοδοι επεξεργασίας υγρών και στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων, μεταπτυχιακό πρόγραμμα περιβαλλοντικής και υγειονομικής μηχανικής, 2008.

Βουρδούμπας Γ., “Η ελιά και η παραγωγή ενέργειας από τα προϊόντα της”, Περιοδικό «Γεωργία και Κτηνοτροφία», τεύχος 5, 2007, σελ. 42-47

Βουρδούμπας Γ., Γεωργουσάκης Α., “Τα Πυρηνελαιουργεία της Κρήτης σαν εργοστάσια παραγωγής στερεών καυσίμων”

Βουρδούμπας Γ., “Χρήση της Βιομάζας για παραγωγή ενέργειας”, Χανιά , 1998

Γαβριλάκης Κ. Ι., Γεωργιαδης Γ.Α (1996), “Σύστημα Διαχείρισης Αποβλήτων Ελαιοτριβείων Λέσβου”, Πτυχιακή Μελέτη, Τμήμα Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Γελεγένης Ι., Αξαόπουλος Π., Σαμαράκου Μ., Τσιλιγγίρης Π., Διαχείριση Ενέργειας σε Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης», Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας, Τμήμα Ενεργειακής Τεχνολογίας, Αιγάλεω

Γεωργακάκης Δ.& Νταλής Δ., (1983), «Αξιολόγηση εγκαταστάσεων συνδυασμένης αναερόβιας χώνευσης υγρών αποβλήτων ελαιουργείων με παραγωγή βιοαερίου. Η περίπτωση της Κανδάνου Κρήτης». 3ο Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης, Μόλυβος Λέσβου, 6-9 Σεπτ. 1983, σ.260-276

Γεωργακάκης Δ., Κώνστας Στ., Νταλής Δ. (1995), “Μελέτη Ενέργειας που Καλύπτεται από τα Απόβλητα των Ελαιοτριβείων”, ΙΤΕ ΕΛΚΕΠΑ.

Γεωργακαράκος Κ., Επεξεργασία και αξιοποίηση υγρών λυμάτων ελαιουργείου, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολογίας, 2013.

Γιακουμέλος Λευτέρης (2012), Τεχνολογίες Παραγωγής και Αξιοποίησης του Βιοαερίου Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ).

Ελαιουργική Συνεταιριστική Ένωση, Μελέτη για τη δυνατότητα διάθεσης των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων τριών (3) φάσεων, ΣΥΒΙΛΛΑ ΕΠΕ.

ΚΑΠΕ, “Οδηγός Βιομάζας”, Αθήνα

Καρατζάς Εμμανουήλ, Σχεδίαση και λειτουργία εργαστηριακής δεξαμενής διαχωρισμού φάσεων για την προεπεξεργασία υδατικών αποβλήτων ελαιουργείων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, ΠΜΣ «Γεωργία και Περιβάλλον», 2004.

Κατσίρη Α., Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία Ενέργεια από βιομάζα, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα 2010-2011.

Κονδύλης Θεμιστοκλής, Ελαιοπυρηνόξυλο – Θερμοχημική /Βιοχημική μετατροπή – Παραγωγή θέρμανσης/ψύξης, ΔΠΜΣ «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας», ΕΜΠ, 2011.

Κορακάκης Αντώνης, Ελαιοτριβεία Ν. Μεσσηνίας – Προτάσεις για τη διαχείριση των υποπροϊόντων ελαιοτριβείων.

Κούκιος Ε., Σημειώσεις Μαθήματος «Βιομάζας», “Καύση Βιομάζας”, ΔΠΜΣ «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας», 2010.

Κούκιος Ε., Σημειώσεις Μαθήματος «Βιομάζας», “Τεχνολογίες Μετατροπής Βιομάζας σε Καύσιμα και Ενέργεια”, ΔΠΜΣ «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας», 2010.

Κουτρογιάννης Θεοχάρης, Ελαιοπυρηνόξυλο – Βιοχημική μετατροπή - Συμπαγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, ΔΠΜΣ «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας», ΕΜΠ, 2011.

Λαγούδη Αργυρώ, Ορθή περιβαλλοντικά λειτουργία μονάδων παραγωγής βιοαερίου με την αξιοποίηση βιομάζας, ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΕΕ «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ».

Λουτατίδου Σ, Επίδραση των αντιδράσεων Fenton στην ενεργότητα της αναερόβιας χώνευσης υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου, τμήμα χημικών μηχανικών ,εργαστήριο οργανικής χημικής τεχνολογίας, Αθήνα 2012.

Λυμπεράτος Γ., (2000_α), Διαχείριση στερεών αποβλήτων. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών

Λυμπεράτος Γ., (2000_α).: Παρουσίαση αναερόβια χώνευση αποβλήτων ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.

Ντόλια Σ., Διαχείριση αποβλήτων ελαιουργείων - Ανασκόπηση Ερευνών και Προβλήματα, μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών συστήματα διαχείρισης ενέργειας και προστασίας περιβάλλοντος, 2006.

Παπαδιαμαντόπουλος Μάριος, Σχεδιασμός και τεχνικοοικονομική βελτιστοποίηση μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης αγροτοκτηνοτροφικών αποβλήτων, Πάτρα 2012.

ΡΑΕ, Έκθεση για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Επικαιροποιημένη έκθεση Μαΐου 2002.

Ρεγγίνα Δέσποινα, Οι θαλάσσιες αναβαθμίδες στην περιοχή της Μεσσηνίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα, Ιούλιος 2013

Σιούλας Κωνσταντίνος, Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen, ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ Βιοαερίου, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ).

Τσακνίδης Δημήτριος (2011), Παραγωγή Πολυφαινολών Υψηλής Προστιθέμενης Αξίας από Απόβλητα Ελαιοτριβείου, Εργαστήριο Μηχανικής Μεταποίησης Αγροτικών Προϊόντων, Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, Λάρισα.

Φραγκόπουλος Χ., Συμπραγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού, Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας, Αθήνα 1994.

Agapitidis I. and Zafiris C. (2006). 'Energy Exploitation of Biogas: European and National perspectives'. 2nd International Conference of the Hellenic Solid Waste Management Association.

Al Seadi, T. (2001): Good practice in quality management of AD residues from biogas production. Report made for the International Energy Agency, Task 24-Energy from Biological Conversion of Organic Waste. Published by IEA Bioenergy and AEA Technology Environment, Oxfordshire, United Kingdom.

Andreas Lemmer, Hans-Joachim Naegele and Jana Sondermann, How Efficient are Agitators in Biogas Digesters? Determination of the Efficiency of Submersible Motor Mixers and Incline Agitators by Measuring Nutrient Distribution in Full-Scale Agricultural Biogas Digesters, *Energies* 2013, 6, 6255-6273; doi:10.3390/en6126255.

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 Tech.*, Vol. 45, No 10, pp. 213 – 218.

Bauer Fredric, Christian Hulteberg, Tobias Persson, Daniel Tamm, Biogas upgrading – Review of commercial technologies, *SGC Rapport* 2013:270.

Beccari, M., Majone, M., Torrisi L., (1998), "Two-reactor system with partial phase separation for anaerobic treatment of olive oil mill effluents", *Water Science and Technology*, Vol. 38, Issues 4-5, pp. 53 – 56.

Benitez F.J., Beltran-Heredia J., Torregrosa J., Acero J.L., 1997b. Aerobic degradation of olive mill wastewaters. *Applied Microbiology and Biotechnology* 47, 185-188.

Borja R., Martin A., Alonso V., Garcia I., Banks C.J., 1995. Influence of different aerobic pretreatments on the kinetics of anaerobic digestion of olive mill wastewater. *Water Research* 19, 489-495.

Borja R., Rincon B., Raposo F., Alba J., Martin A., Kinetics of mesophilic anaerobic digestion of the two phase olive mill solid waste, *Biochemical Engineering Journal* 15, 2003

Boubaker Fezzani and Ridha Ben Cheikh (2006), Anaerobic codigestion of olive mill wastewater with olive mill solid waste in a tubular digester at mesophilic temperature, *Bioresource Technology*, 98, p. 769-774.

Capucine Dupont , Rodica Chiriac , Guillaume Gauthier , François Toche , Heat capacity measurements of various biomass types and pyrolysis Residues, *Fuel* 115 (2014) 644–651.

Dalis, D., Anagnostidis, K., Lopez, A., Letsiou, I., Hartmann, L., (1996), “Anaerobic digestion of total raw olive-oil wastewater in a two-stage pilot-plant (up-flow and fixed-bed bioreactors)”, *Bioresource Technology*, Vol.57, No.3, pp. 237 – 243.

Dupla, M.; Conte, T.; Bouvier, J. C.; Bernet, N.; Steyer, J. P. Dynamic evaluation of a fixed bed anaerobic digestion process in response to organic overloads and toxicant shock loads. *Water Science & Technology* (2004), 49(1), 61-68.

Elefsiniotis, P.; Oldham, William K. Anaerobic acidogenesis of primary sludge: the role of solids retention time. *Biotechnology & Bioengineering* (1994), 44(1), 7-13.

Eroglu E., Gunduz U., Yucel M., Turker L., Eroglu I., 2004. Photobiological hydrogen production by using olive mill wastewater as a sole substrate source. *Int J Hydrogen Energy* 29, 163-171.

Fiestas Ros de Ursinos J. A. and Borja-Padilla R. (1992) Use and treatment of olive mill wastewater: current situation and prospects in Spain.

Gonzalez, J. S.; Rivera, A.; Borja, R.; Sanchez, E. Influence of organic volumetric loading rate, nutrient balance and alkalinity: COD ratio on the anaerobic sludge granulation of an UASB reactor treating sugar cane molasses. *International Biodeterioration & Biodegradation* (1998), 41(2), 127-131.

Hamdi, M., (1996), “Anaerobic digestion of olive mill wastewaters”, *Process Biochem.*, Vol. 31, pp. 105 – 110.

Hyun-Joon, La; Kyoung-Ho, Kim; Zhe-Xue, Quan; Young-Gyun, Cho; Sung-Taik, Lee. Enhancement of sulfate reduction activity using granular sludge in anaerobic treatment of acid mine drainage, *Biotechnology Letters* (2003), 25, 503-508.

Jonsson, O. Biogas upgrading –Technologies, framework and experience. EON gas, October 2008.

Kokcker h. Nelte, a.; Meier Zu, Euroforum New Energies, Proc. Int. Congr., Saarbrücken, FRG, Oct. 24-28 1988, 673-675.

Lahav, O.; Morgan, Barak; Loewenthal, Richard. Rapid, Simple and accurate Method for measurement of VFA and carbonate alkalinity in anaerobic reactors, *Environment Science Technology* (2002), 36, 2736-2741.

Macki, R. I. and Bryant, M. P., 1981. "Metabolic activity of fatty acid-oxidizing bacteria and the contribution of acetate, propionate, butyrate, and CO₂ to Methanogenesis in Cattle Waste at 40 and 60 oC", *Applied and Environmental Microbiology* 41, p.1363-1373.

Malina, J. F. and Pohland, F. G., 1992. "Anaerobic sludge digestion". In: Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes, *Water Quality Management Library*, 7, p.41-118.

Marchaim, U; Krause, Carsten. Propionic to acetic acid ratios in overloaded anaerobic digestion. *Bioresource Technology* (1992), Volume Date 1993, 43(3), 195-203.

Marcogaz, Injection of Gases from Non-Conventional Sources into Gas Networks, December 2006.

McMillan J.D. Pretreatment of lignocellulosic biomass. In *Enzymatic Conversion of Biomass for Fuels Production*, Himmel, M.E., Baker, O., Overend, R.P. Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, 1994; 292–324.

Moonil, Kim; Young-Ho, Ahn; Speece, R.E. Comparative process and efficiency of anaerobic digestion; mesophilic vs. thermophilic, *Water Research* (2002), 36(17), 4369-4385.

oil processing wastes production and their characteristics in relation to olive oil extraction methods” *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 7, pp. 308-313.

Paredes C., Cegarra J., Bernal M.P., Roig A., 2003. Use of olive mill wastewater for composting of organic wastes and the effect of the compost on plant yield and soil properties. *Proc 2nd Eur Bioremediation Conf*, Chania, 563-566.

Paulo Paula L; Jiang Bo; Cysneiros Denise; Stams Alfons J M; Lettinga Gatzke Effect of cobalt on the anaerobic thermophilic conversion of methanol. *Biotechnology and bioengineering* (2004), 85(4), 434-41.

Persson, M. Evaluation of upgrading techniques for biogas, Lund University, Sweden, 2003.

Peter Quaak, Harrie Knoef, Hubert Stassen “Energy from Biomass: A Review of Combustion and Gasification Technologies (World Bank Technical Paper, 422. Energy Series)”, World Bank Publications (March 1, 1999).

REInvest Group , Βιοαέριο- Μια σημαντική εναλλακτική μορφή ενέργειας, Πτολεμαΐδα - Ιούλιος 2012

Rozzi, A., Malpei F., (1996), “Treatment and disposal of olive mill effluents”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 38, Issues 3-4, pp. 135 – 144.

Rutz D. et al. (2008) The Biogas Market in Southern and Eastern Europe: Promoting Biogas by Non-technical Activities. - Proceedings of the 16th European Biomass Conference and Exhibition; Valencia, Spain.

Severn Wye Energy Agency, Introduction to the Production of Biomethane from Biogas A Guide for England and Wales, Biomethane Regions

Sioulas K. (2009): Biogas potential in Greece Summary report (In Greek).

Sun Y.; Cheng J.Y. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. *Bioresour. Technol.* 2002, 83, 1

Sundaram, T. K., 1986. "Physiology and growth of thermophilic bacteria". In *Thermophiles: General, Molecular, and Applied Microbiology*. Brock, T.D., Ed., Wiley-Interscience, New York. p.75-106.

Swedish Gas Centre. Adding gas from biomass to the gas grid , Sweden, July 2001.

Ubay, G., Öztürk , I., (1997), "Anaerobic treatment of olive mill effluents", *Water Science and Technology*, Vol. 36, Issues 2-3, pp. 287-294.

Uemura, S.; Tseng, I-Cheng; Harada, Hideki. Effect of temperature elevation from 55oC to 65oC on the performance of a thermophilic UASB reactor and characteristics of methanogenic granular sludge, *Environmental Technology* (1995), 16, 987-994.

United Nations Development Programme, "Bioenergy Primer: Modernised Biomass Energy for Sustainable Development", United Nations Pubns February 9, 2001.

Vavouraki Aikaterini, Development of integrated agroindustrial waste management politics maximizing materials recovery and energy exploitation, University of Patra, May, 2010

Vlyssides, A.G., Loizidou, M., Gimouhopoulos, K., Zorpas, A., (1998), "Olive

Yu, Liu; Hai-Lou, Xu; Kuan-Yeow, Show; Joo-Hwa, Tay Anaerobic granulation technology for wastewater treatment, *World Journal of Microbiology & Biotechnology* (2002), 18, 99-113.

Zafiris, Ch. 'Energy Exploitation of Biogas in Greece'. CRES February 2005.

Zafiris, Ch. Biogas in Greece, National state of the Art, Redubar EIE/06/221/S12.442663, May 2007.

Zafiris, Ch. et.al. 'Greek Biogas Production from Pig Manure and Co- Digestion. Evaluation of Anaerobic Digestion Projects in Livestock Units'.(Final report) CRES May 2001.

Zafiris, Ch. List of recommendations for installing 'Biogas feeding-in and feeding-out pool, Redubar EIE/06/221/S12.442663, July 2009.

Ιστοσελίδες

filtrowent.com.pl

<http://groengas.nl/>

Mwm gas engines: www.mwm.net

www.alfalaval.com

www.bessemer.co.za

www.biofuels.gr/biogas.html

www.biomassenergy.gr

www.cres.gr/kape/news/deltia/forma_biogas.htm

www.dcmudcleaningequipment.com

www.douglasmanufacturing.com

www.dvgw.de

www.envima.gr/

www.globalbioenergy.org/

www.haug.ch

www.helektor.gr

www.jenbacher.com

www.kriegfischer.de

www.lemvigbiogas.dk

www.rae.gr

www.wilo.gr

www.woodcrusher-mill.com