

Περιεχόμενα

Συντομογραφίες.....	7
Κεφάλαιο 1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας & Βιομάζα.....	11
1.1 Γενικά για τις ΑΠΕ	12
1.1.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ΑΠΕ	13
1.1.2 Είδη ήπιων μορφών ενέργειας.....	14
1.1.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ	15
1.2 ΒΙΟΜΑΖΑ.....	16
1.2.1 Δημιουργία βιομάζας	18
1.2.2 Χαρακτηριστικά βιομάζας.....	19
1.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα βιομάζας.....	21
1.2.4 Πηγές προέλευσης βιομάζας	22
1.2.5 Ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας	25
1.2.6 Εφαρμογές από την αξιοποίηση της βιομάζας.....	34
1.2.7 Χαρακτηριστικά βιομάζας.....	40
Κεφάλαιο 2 Βιοαέριο.....	45
2.1 Η ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	45
2.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΛΕΚΤΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	48
2.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ	50
2.4 ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	51
2.4.1 Κατασκευή και εγκατάσταση	51
2.4.2 Επιλογή α' ύλης	52
2.4.3 Διαδικασία παραγωγής βιοαερίου	53
2.4.4 Πλεονεκτήματα των μονάδων βιοαερίου.....	54
2.5 ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΖΩΙΚΩΝ ΥΠΟΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	56
2.5.1 Τεχνικές αδρανοποίησης ζωικών υποπροϊόντων.....	56
2.5.2 Παραγωγική διεργασία μονάδας αδρανοποίησης ζωικών υποπροϊόντων.....	59
2.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΖΩΙΚΑ ΥΠΟΠΡΟΪΟΝΤΑ	60
2.7 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	63
2.7.1 Μονάδα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού	64
Κεφάλαιο 3 Παραγωγή Βιοαερίου.....	67
3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	67
3.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	75
3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	80

3.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	88
3.5 ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	91
Κεφάλαιο 4 Case Study.....	98
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΦΑΓΕΙΟΥ	98
4.2 ΜΟΝΑΔΑ ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ (RENDERING).....	103
Κεφάλαιο 5 Συμπαραγωγή.....	123
5.1 ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ.....	123
5.2 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	124
5.2.1 Παράμετροι.....	125
5.2.2 Μεταβλητές απόφασης	126
5.2.3 Εξαρτημένες μεταβλητές	127
5.3 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	127
5.4 ΕΞΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	129
5.5 ΘΕΡΜΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	130
5.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	130
5.7 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ	133
Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα & Προοπτικές.....	138
Παράρτημα Ι Ορισμοί.....	141
Παράρτημα ΙΙ Αντιδραστήρες.....	151
Παράρτημα ΙΙΙ Στοιχεία Εγκατάστασης Βιοαερίου.....	159
Βιβλιογραφία.....	167
1. ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	167
2. ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	169

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Εθνικοί δεσμευτικοί στόχοι και εκτίμηση διείσδυσης των ΑΠΕ	16
Εικόνα 2: Καύσιμα βιομάζας	18
Εικόνα 3: Υπάρχουσες τεχνολογίες αηιοποίησης της βιομάζας	26
Εικόνα 4: Βιοχημική μετατροπή της βιοομάζας	37
Εικόνα 5: Θερμοχημική μετατροπή της βιοομάζας	38
Εικόνα 6: Οι χρήσεις του βιοαερίου	50
Εικόνα 7: Σχεδιάγραμμα μιας τυπικής μονάδας παραγωγής βιοαερίου	54
Εικόνα 8: Μονάδα βιοαερίου με πρώτη ύλη ζωικά απόβλητα	63
Εικόνα 9: Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας	66
Εικόνα 10: Διάταξη χωνευτήρα	83
Εικόνα 11: Εργαστηριακή μονάδα	84
Εικόνα 12: Σφαγεία Λάρισας Α.Ε.	98
Εικόνα 13: Οι τρεις στάβλοι	99
Εικόνα 14: Σωληνώσεις μεταφοράς υποπροϊόντων προς τη μονάδα αδρανοποίησης	102
Εικόνα 15: Χοάνη παραλαβής υποπροϊόντων. Κοχλιομεταφορέας	104
Εικόνα 16: Σπαστήρας	105
Εικόνα 17: Otoklav.....	106
Εικόνα 18: Πίνακας ελέγχου πίεσης, θερμοκρασίας, χρόνου και καταγραφής υδρόλυσης	107
Εικόνα 19: Δεξαμενή διαχωρισμού λίπους - νωπού κρεατάλευρου. Θερμαινόμενη δεξαμενή αποθήκευσης λίπους με αναδευτήρα	108
Εικόνα 20: Αντλία λίπους και δεξαμενή διαχωρισμού στερεών - υγρών	109
Εικόνα 21: Οριζόντιος φυγοκεντρικός διαχωριστής λίπους (decanter)	110
Εικόνα 22: Πρέσα	111
Εικόνα 23: Αντλία πρέσας λίπους	112
Εικόνα 24: Σπαστήρας. Φυγοκεντρικό ανοξείδωτο και κοχλιομεταφορέας. Δεξαμενή ψύξης	113
Εικόνα 25: Σιλό αποθήκευσης κρεατάλευρου (τελικό στάδιο)	114
Εικόνα 26: Κρεατάλευρο	115
Εικόνα 27: Δεύτερη δεξαμενή λίπους. Κάθετο decanter, όπου γίνεται ο διαχωρισμός λίπους, νερού και τυχόν υπολειμμάτων	116
Εικόνα 28: Δεξαμενή αποθήκευσης λίπους «βιοντίξελ» (τελικό στάδιο)	117
Εικόνα 29: Αντλίες τροφοδοσίας για το σύστημα κροκίδωσης. Δεξαμενή αποθήκευσης αίματος	118
Εικόνα 30: Σύστημα κροκίδωσης	119
Εικόνα 31: Decanter αίματος	119
Εικόνα 32: Το σύστημα επεξεργασίας του αίματος	120
Εικόνα 33: Αιματάλευρο	120
Εικόνα 34: Κοχλιομεταφορέας	121
Εικόνα 35: Δεξαμενές απόσμισης	122
Εικόνα 36: Πρότυπος σχεδιασμός συστήματος συμπαραγωγής	123

Εικόνα 37: Τυπικές αναλογίες αντιδραστήρα διαλείποντος έργου	152
Εικόνα 38: Αντιδραστήρας ροής πλήρους ανάμιξης	154
Εικόνα 39: αντιδραστήρας ανοδικής ροής μέσω στρώματος λάσπης	156
Εικόνα 40: Λειτουργική ακολουθία αντιδραστήρων SBR	158
Εικόνα 41: Χωνευτήρας (βιοαντιδραστήρας)	159
Εικόνα 42: Βιομάζα τροφοδοτείται στο σύστημα μέσω κοχλιομεταφορέα	160
Εικόνα 43: Επικλινής αναδευτήρας	161
Εικόνα 44: Σύστημα κατακράτησης (προσωρινής αποθήκευσης) του βιοαερίου ...	162
Εικόνα 45: Υποβρύχιος αναδευτήρας	163
Εικόνα 46: Σύστημα θέρμανσης	163
Εικόνα 47: Μηχανικός διαχωριστής υγρών/στερεών	164
Εικόνα 48: Πυρσός καύσης περίσσειας βιοαερίου	165
Εικόνα 49: Σύστημα διαχείρισης βιοαερίου	166

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Συνήθης υγρασία για διάφορες πηγές βιομάζας (σε υγρή βάση)	42
Πίνακας 2: Περιεκτικότητα σε τέφρα ορισμένων πηγών βιομάζας	44
Πίνακας 3: Τυπική χημική σύσταση βιοαερίου	46
Πίνακας 4: Γνωστές παράμετροι	127
Πίνακας 5: Υπόλοιπες παράμετροι λειτουργίας	127
Πίνακας 6: Παροχή αέρα, καυσίμου, καυσαερίων	128
Πίνακας 7: Μεταβλητές απόφασης	128
Πίνακας 8: Μάζες, μοριακά βάρη και περιεκτικότητες αέρα και καυσαερίων	129
Πίνακας 9: Υπολογισμός εξεργειών	129
Πίνακας 10: Καταστροφή εξέργειας συσκευών	129
Πίνακας 11: Εξεργειακός βαθμός απόδοσης συσκευών	130
Πίνακας 12: Κόστη εγκατάστασης	130
Πίνακας 13: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα θερμοδυναμικής ανάλυσης	130
Πίνακας 14: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εξεργειακής ανάλυσης	131
Πίνακας 15: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα θερμοοικονομικής ανάλυσης	131
Πίνακας 16: Μεταβλητές απόφασης κατά τη βελτιστοποίηση	133
Πίνακας 17: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα θερμοδυναμικής ανάλυσης κατά τη βελτιστοποίηση	134
Πίνακας 18: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εξεργειακής ανάλυσης κατά τη βελτιστοποίηση	134
Πίνακας 19: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα θερμοοικονομικής ανάλυσης κατά τη βελτιστοποίηση	135

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής της τεχνικής wet rendering	57
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα ροής της τεχνικής wet rendering	57
Διάγραμμα 3: Εξεργειακός βαθμός απόδοσης συσκευών	131
Διάγραμμα 4: Συνολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης κύκλου	132
Διάγραμμα 5: Μεταβολή του κόστους (\$/GJ)	132
Διάγραμμα 6: Μεταβολή του κόστους (\$/hr)	133
Διάγραμμα 7: Εξεργειακός βαθμός απόδοσης συσκευών κατά τη βελτιστοποίηση	135
Διάγραμμα 8: Συνολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης κύκλου κατά τη βελτιστοποίηση	136
Διάγραμμα 9: Μεταβολή του κόστους (\$/GJ) κατά τη βελτιστοποίηση	136
Διάγραμμα 10: Μεταβολή του κόστους (\$/hr) κατά τη βελτιστοποίηση	137

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.
MW	MegaWatt: Μονάδα μέτρησης ισχύος, πολλαπλάσιο του Watt ($1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$).
CO ₂	Μοριακός τύπος διοξειδίου του άνθρακα.
SO ₂	Μοριακός τύπος διοξειδίου του θείου.
C/N	Λόγος άνθρακα/αζώτου.
mm	Millimetre: Μονάδα μέτρησης μήκους, ισοδύναμη με 1.000 μέτρα ($1 \text{ mm} = 1.000 \text{ m}$).
kg	Kilogram (kilo) = Χιλιόγραμμα: Η κύρια μονάδα μέτρησης μάζας, μονάδα μέτρησης βάρους ενός αντικειμένου, ισοδύναμη με 1.000 γραμμάρια ($1 \text{ kg} = 1.000 \text{ g}$).
MJ/kg	Megajoule per kilogram = Megajoule ανά χιλιόγραμμο
CHP	Combined Heat and Power = Συμπαράγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού
psi	Pound per square inch/ Pound-force per square inch = Λίβρα ανά τετραγωνική ίντσα/ Λίβρα-δύναμη ανά τετραγωνική ίντσα (lbf/in^2): Μονάδα μέτρησης πίεσης. Είναι η πίεση που προκύπτει από τη δύναμη μιας λίβρας-δύναμης που εφαρμόζεται σε μία επιφάνεια μιας τετραγωνικής ίντσας ($1 \text{ psi} = 6.894,757 \text{ Pa}$).
°C	Βαθμοί Κελσίου: Μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας. Οι 0°C αντιστοιχούν στο υπό κανονικές συνθήκες σημείο πήξης του νερού και οι 100°C στο σημείο βρασμού του νερού.
°F	Βαθμοί Φαρενάιτ: Μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας. Στην κλίμακα Φαρενάιτ το σημείο πήξης του νερού είναι οι 32°F και το σημείο βρασμού του οι 212°F . Κοινό σημείο της κλίμακας Κελσίου και της κλίμακας Φαρενάιτ είναι οι -40 βαθμοί. Το απόλυτο μηδέν στην κλίμακα Φαρενάιτ είναι οι $-459,67^\circ \text{F}$. $^\circ \text{C} * 9/5 + 32 = ^\circ \text{F}$
H ₂ O	Νερό.
C ₂ H ₆	Αιθάνιο.
C ₂ H ₄	Αιθυλένιο.
CH ₄	Μεθάνιο.
H ₂	Υδρογόνο.
N ₂	Άζωτο.
CO	Μονοξείδιο του άνθρακα.
MJ/m ³	Megajoules per cubic metre = megajoules ανά κυβικό μέτρο.
m ³	Cubic metre = Κυβικό μέτρο: Μονάδα μέτρησης όγκου. Είναι ο όγκος ενός κύβου που έχει πλευρές μήκους 1 μέτρου ($1 \text{ m}^3 = 1.000 \text{ lt}$)
HHV	Higher Heating Value = Υψηλότερη Τιμή Θέρμανσης.
LHV	Lower Heating Value = Χαμηλότερη Τιμή Θέρμανσης.
mm ³	Cubic millimetre = Κυβικό χιλιοστό: Μονάδα μέτρησης όγκου. Είναι ο όγκος ενός κύβου που έχει πλευρές μήκους 1 χιλιοστού ($1 \text{ mm}^3 = 10^{-9} \text{ m}^3 = 1 \text{ }\mu\text{lt}$)
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor = Αντιδραστήρας

atm	Ανοδικής Ροής μέσω Στρώματος Λάσπης. Atmosphere = Ατμόσφαιρες: Είναι μία διεθνής πίεση αναφοράς ίση με 101.325 Pa και χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης πίεσης (1 atm = 1,013 bar).
BOD/COD	Biological Oxygen Demand/Chemical Oxygen Demand = λόγος βιολογικής ζήτησης οξυγόνου και χημικής ζήτησης οξυγόνου.
AΗΣ	Ατμοηλεκτρικός Σταθμός. Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από την καύση α' υλών που περιέχουν άνθρακα, ήτοι στερεών, όπως λιγνίτη, γαιάνθρακα κ.λπ., υγρών, όπως πετρέλαιο και αερίων, όπως φυσικό αέριο.
% κ.β.	Επί τοις εκατό βάρος κατά βάρος (% w/w ή % κ.β.). Η έκφραση αυτή δηλώνει τα γραμμάρια μιας χημικής ουσίας που είναι διαλυμένα σε 100 g διαλύματος. Αυτό δε σημαίνει ότι θα διαθέτουμε πάντα 100 g διαλύματος. Αν, όμως, γίνει αναγωγή της ποσότητας της διαλυμένης ουσίας σε 100 g διαλύματος, τότε η % κ.β. περιεκτικότητα θα είναι όση έχει δηλωθεί. Η % κ.β. περιεκτικότητα χρησιμοποιείται συνήθως σε διαλύματα στερεών σε υγρά ή στερεών σε στερεά (κράματα), επειδή τα στερεά περιγράφονται επιτυχέστερα με τη μάζα τους.
kcal/mol	Kilocalories per mole = χιλιοθερμίδες ανά mole: Μονάδα ενέργειας. Είναι το πηλίκο μιας χιλιοθερμίδας και ενός mole.
kcal	Kilocalorie = Χιλιοθερμίδα: Μονάδα ενέργειας (1 kcal = 1.000 cal).
C _x H _y ή C _n H _{2n+2}	Υδρογονάνθρακες.
H ₂ S	Υδρόθειο.
NH ₃	Αμμωνία.
C _n H _{2n+1} SiO	Σιλοξάνες.
mg/m ³	Milligrams per cubic metre = χλιοστόγραμμα ανά κυβικό μέτρο.
% κ.ό.	Επί τοις εκατό βάρος κατ' όγκο (% w/v ή % κ.ό.). Η έκφραση αυτή δηλώνει τα γραμμάρια μιας χημικής ουσίας που είναι διαλυμένα σε 100 ml διαλύματος. Όταν διαλύεται μικρή ποσότητα στερεής ουσίας σε ένα διαλύτη (π.χ. νερό) για τη δημιουργία αραιού διαλύματος, ο αρχικός όγκος του διαλύτη δε μεταβάλλεται αισθητά και δεχόμαστε ότι αυτός θα είναι και ο όγκος του διαλύματος που θα προκύψει. Αν το διάλυμα όμως δεν είναι πολύ αραιό, πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και τη μεταβολή του όγκου. Η έκφραση αυτήν χρησιμοποιείται κυρίως για να περιγράψει διαλύματα στερεών σε υγρά.
NH ₄ ⁺	Κατιόν αμμωνίου.
R ₂ SiO	Σιλικόνη.
SiO ₂	Διοξείδιο του πυριτίου.
XYTA	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων.
bar	Μονάδα μέτρησης πίεσης, ίση με 100 kPa. Είναι περίπου ίση με την ατμοσφαιρική πίεση στη Γη στο επίπεδο της θάλασσας (1 bar ≈ 1 atm).
ZYΠ	Ζωικά Υποπροϊόντα.
CSTR	Continuous Stirred Tank Reactor = Αντιδραστήρας Ροής Πλήρους Ανάμιξης
OFMSW	Organic Fraction of Municipal Solid Waste = Οργανικό

HRT	Κλάσμα Στερεών Αστικών Αποβλήτων.
GPR	Hydraulic Retention Time = Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής.
VS	Gas Production Rate = Ρυθμός Παραγωγής Αερίου.
VFA	Volatile Solids = Πτητικά Στερεά.
LCFA	Volatile Fatty Acids = Πτητικά Λιπαρά Οξέα.
% w/v	Long Chain Fatty Acids = Λιπαρά Οξέα Μακράς Αλυσίδας.
COD	Βλ. % κ.ό.
ml	Chemical Oxygen Demand = Χημική Ζήτηση Οξυγόνου.
sCOD	Millilitre = Χιλιοστόλιτρο: Υποπολλαπλάσιο του λίτρου ($1 \text{ ml} = 10^{-3} \text{ lt}$).
W	soluble Chemical Oxygen Demand = διαλυτή Χημική Ζήτηση Οξυγόνου.
OLR	Watt: Μονάδα μέτρησης ενέργειας και ορίζεται ως 1 J/sec .
SHW	Μετράει το ρυθμό μετατροπής της ενέργειας ή της μεταφοράς της.
lt	Organic Loading Rate = Ρυθμός Φόρτωσης Οργανικών.
TCD	Slaughterhouse Waste = Απόβλητα Σφαγείων.
VS/VS	Litre = Λίτρα: Μονάδα μέτρησης όγκου ($1 \text{ lt} = 1/1.000 \text{ m}^3 = 1 \text{ dm}^3$). Χρησιμοποιείται συχνά και σαν μονάδα μέτρησης της ποσότητας των υγρών.
SCSSW	Thermal Conductivity Detector = ανιχνευτής Θερμικής Αγωγιμότητας.
wt%	Volatile Solids/Volatile Solids = Πτητικά Στερεά/Πτητικά Στερεά.
TS	Solid Cattle-Swine Slaughterhouse Waste = Στερεά Απόβλητα Σφαγείων Βοοειδών-Χοίρων.
% w.w	Weight% = Βάρος επί τοις εκατό.
g	Total Solids = Ολικά Στερεά.
mg/lt	Βλ. % w/w (% κ.β.).
NH ₄ ⁺ -N	Gram = Γραμμάριο: Είναι μια συμβατική μονάδα μέτρησης της μάζας ($1 \text{ g} = 1/1.000 \text{ kg}$).
CH ₃ OH	Milligrams per litre = χλιστόγραμμα ανά λίτρο: Μονάδα μέτρησης συγκέντρωσης μάζας που δείχνει πόσα mg συγκεκριμένης ουσίας υπάρχουν σε ένα λίτρο υγρού ή αερίου μίγματος.
tCOD	Αμμωνιακό άζωτο.
ASBRs	Χημικός τύπος μεθανόλης.
m ³ /d	total Chemical Oxygen Demand = συνολική Χημική Ζήτηση Οξυγόνου.
VS/m ³ ·d	Anaerobic Sequencing Batch Reactors = Αναερόβιοι Διαδοχικοί Αντιδραστήρες Διαλείποντος Έργου.
VS _{feed} /m ³ ·d	Cubic metre per day = κυβικά μέτρα ανά ημέρα.
PSHW	Volatile Solids per cubic metre·day = Πτητικά στερεά ανά κυβικό μέτρο επί ημέρα.
µm	Βλ. VS/m ³ ·d
SCSM	Pretreated Slaughterhouse Waste = Προ-επεξεργασμένα Απόβλητα Σφαγείων.
	Micrometre = μικρόμετρα. Υποπολλαπλάσιο του μέτρου και ισούται με 10^{-6} m .
	Solid Cattle-Swine Manure = Στερεή Κοπριά Βοοειδών-

OTS	Χοίρων.
COD/ltr	Organic Total Solids = Οργανικά Ολικά Στερεά. Chemical Oxygen Demand per litre = Χημική Ζήτηση Οξυγόνου ανά λίτρο.
ml/d	Millilitre per day = Χιλιοστόλιτρο ανά ημέρα.
$C_{15}H_{31}COOH$	Χημικός τύπος παλμιτικού οξέος.
BOD	Biological Oxygen Demand = Βιολογική Ζήτηση Οξυγόνου.
kW	Kilowatt: Μονάδα μέτρησης ισχύος. Πολλαπλάσιο του Watt και ισούται με 10^3 watts.
kg/s	Kilogram per second = Χιλιόγραμμα ανά δευτερόλεπτο. Μονάδα μέτρησης παροχής μάζας.
°K	Βαθμοί Kelvin. Μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI). Ο Βαθμός Κέλβιν φέρεται κατά την ομώνυμη κλίμακα όπου το απόλυτο μηδέν ($-273,15$ °C βαθμοί Κελσίου) αντιστοιχεί στο 0 °K. Η θερμοκρασία 0 K είναι η χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία και λέγεται απόλυτο μηδέν. Η κλίμακα Kelvin δεν έχει αρνητικές τιμές. Ένας βαθμός κλίμακας Kelvin ισοδυναμεί με ένα βαθμό Κελσίου. Η κλίμακα Kelvin μετράει την λεγόμενη απόλυτη θερμοκρασία. Η διαφορά της με την κλίμακα Κελσίου έγκειται στους $273,15$ βαθμούς. Δηλαδή: $T_k = T_c + 273,15$.
m^3/t	Cubic metre per tonne = Κυβικά μέτρα ανά τόνο.
kg/m^3	Kilogram per cubic metre = Χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο.
NaOH	Υδροξείδιο του Νατρίου.
KOH	Υδροξείδιο του Καλίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΒΙΟΜΑΖΑ

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι μη ορυκτές μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας, που προέρχονται από φυσικές πηγές και διεργασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού, η ηλιακή ακτινοβολία, τα υποπροϊόντα φυτικής, ζωικής και δασικής παραγωγής, κ.ά.

Πρόκειται για ήπιες μορφές ενέργειας, όπου ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δύο βασικά χαρακτηριστικά τους. Το πρώτο είναι ότι δεν απαιτείται κάποια παρέμβαση για την εκμετάλλευσή τους, π.χ. εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως συμβαίνει με τις υπόλοιπες χρησιμοποιούμενες συμβατικές πηγές ενέργειας. Απλώς γίνεται εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας φυσικής ροής ενέργειας. Δεύτερο χαρακτηριστικό είναι ότι πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, «φιλικές» δηλαδή προς το περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα, τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως συμβαίνει με τις υπόλοιπες συμβατικές πηγές ενέργειας.

Ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. πετρέλαιο, άνθρακας), όπως η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική, η κυματική, η παλιρροιακή, η υδραυλική, τα αέρια τα εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής, από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και το βιοαέριο. (βλ. Εικόνα 1).

Ο χαρακτηρισμός, όμως, «ανανεώσιμες» δεν ισχύει για όλες τις προαναφερθείσες εναλλακτικές πηγές, αφού για παράδειγμα η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνεται σε βάθος χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι ΑΠΕ αποτελούν

λύση στο πρόβλημα της εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων και των οικολογικών προβλημάτων του πλανήτη. [22]

1.1 Γενικά για τις ΑΠΕ

Σχεδόν όλες οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια που εκμεταλλεύεται το φαινόμενο της βαρύτητας και η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, καθώς και την παλιρροιακή ενέργεια. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, αφού δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος. Ουσιαστικά πρόκειται για «αποθηκευμένη» ηλιακή ενέργεια. Για παράδειγμα, η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται από τη θέρμανση του αέρα, ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Γι' αυτό, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη, αφού τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Οι παραπάνω ήπιες μορφές ενέργειας χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (για θέρμανση), είτε μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας, όπως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια. Υπολογίζεται ότι το εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό των ήπιων μορφών ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της υποβάθμισης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση παραδοσιακών πηγών ενέργειας. Αρχικά, ξεκίνησαν μόνο σαν πειραματικές

εφαρμογές λόγω του υψηλού κόστους τους. Όμως, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, αναμένεται περαιτέρω αξιοποίησή τους. Επίσης, το κόστος των εφαρμογών των ήπιων μορφών ενέργειας μειώνεται συνεχώς τα τελευταία χρόνια, και ειδικά η αιολική, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η βιομάζα, ανταγωνίζονται πλέον τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας, όπως τον άνθρακα και την πυρηνική ενέργεια. [22]

1.1.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ΑΠΕ

➤ Πλεονεκτήματα

- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Είναι ανεξάντλητες πηγές.
- Βοηθούν στην ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, και αποτελούν την εναλλακτική πρόταση σχετικά με την οικονομία του πετρελαίου.
- Είναι ευέλικτες εφαρμογές, αφού μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας, αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- Διαθέτουν εξοπλισμό απλό στην κατασκευή και τη συντήρηση, ο οποίος έχει μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Είναι επιδοτούμενες από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

➤ Μειονεκτήματα

- Απαιτείται συνήθως αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εγκατάστασης σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτόν το λόγο χρησιμοποιούνται κυρίως ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.

- Για τον παραπάνω λόγο δεν μπορούν ακόμη να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και η απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους, από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Οι αιολικές μηχανές παλιότερα δε θεωρούνταν κομψές από αισθητικής πλευράς, κι επίσης λεγόταν ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη, όμως, της τεχνολογίας αυτά τα προβλήματα τείνουν να εξαλειφθούν.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό, με αποτέλεσμα να συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. [22]

1.1.2 Είδη ήπιων μορφών ενέργειας

- **Αιολική ενέργεια:** Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια, καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. άλεση στους ανεμόμυλους). Τελευταία χρησιμοποιείται ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή.
- **Ηλιακή ενέργεια:** Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες), ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού (φωτοβολταϊκά συστήματα) αυξάνεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια.
- **Υδατοπτώσεις:** Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά.
- **Βιομάζα:** Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε από τα φυτά με τη φωτοσύνθεση.

Ακόμη μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα, απόβλητα βιομηχανιών, τροφίμων και ζωοτροφών, καθώς και ζωικά απόβλητα. Η βιομάζα μπορεί να παράγει βιοαιθανόλη, βιοντίζελ και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από ότι τα παραδοσιακά. Είναι μία πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθεί ευρέως στο άμεσο μέλλον.

- **Γεωθερμική ενέργεια:** Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται κατά τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη, αφού η θερμότητα ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές είτε για παραγωγή ηλεκτρισμού.
- **Παλιρροιακή ενέργεια:** Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του ήλιου και της σελήνης, η οποία προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό, καθώς ανεβαίνει αποθηκεύεται, και για να κατέβει ξανά αναγκάζεται να περάσει μέσα από μία τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό.
- **Κυματική ενέργεια:** Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.
- **Ενέργεια από τους ωκεανούς:** Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, χρησιμοποιώντας γνωστούς θερμικούς κύκλους. [22]

1.1.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ

Όταν μιλάει κανείς για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, εννοεί την ηλεκτρική ενέργεια την προερχόμενη από:

- Την εκμετάλλευση αιολικής ή ηλιακής ενέργειας ή βιομάζας ή βιοαερίου.

- Την εκμετάλλευση γεωθερμικής ενέργειας.
- Την εκμετάλλευση της ενέργειας από τη θάλασσα.
- Την εκμετάλλευση υδάτινου δυναμικού με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς μέχρι 10 MW.
- Συνδυασμό των παραπάνω.
- Τη χρήση των δύο πρώτων για συμπαραγωγή ή συνδυασμό των παραπάνω.

[29]



Εικόνα 1: Εθνικοί δεσμευτικοί στόχοι και εκτίμηση διείσδυσης των ΑΠΕ. (Πηγή:

<http://ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=Az%2fZv0l3bBM%3d&tabid=285&language=el-GR>)

1.2 ΒΙΟΜΑΖΑ

Γενικά ο όρος «βιομάζα» αναφέρεται στα προϊόντα και τα κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής και δασικής παραγωγής, τα παραπροϊόντα που προέρχονται από τη βιομηχανική επεξεργασία αυτών, τα αστικά λύματα και τα σκουπίδια.

Από βιομάζα μπορεί να παραχθεί θερμότητα ικανή να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των αναγκών μικρών βιομηχανικών ή βιοτεχνικών μονάδων ή για την τηλεθέρμανση κτιρίων μέσω ενός μικρού δικτύου τηλεθέρμανσης.

Επίσης, από ζωικά απόβλητα μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια για τις λειτουργικές ανάγκες μιας μικρής παραγωγικής μονάδας.

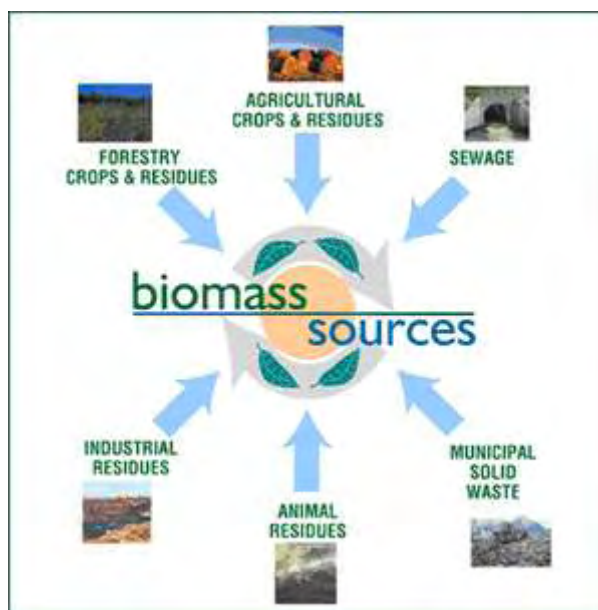
Ενδιαφέρον παρουσιάζει, επίσης, η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών¹, όπως της αγριαγκινάρας με σκοπό την παραγωγή βιοκαυσίμων, π.χ. βιοαιθανόλη.

Επιπροσθέτως, τα υπολείμματα των βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου μπορούν να αξιοποιηθούν ενεργειακά, όπως επίσης και τα αστικά απορρίμματα.

Η βιομάζα είναι ένα καύσιμο φιλικό προς το περιβάλλον, αφού δε συμμετέχει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ ταυτόχρονα μειώνει την κατανάλωση των συμβατικών καυσίμων. Η βιομάζα για την παραγωγή θερμότητας προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως καυσόξυλα, δασικά υπολείμματα, γεωργικά υπολείμματα (π.χ. άχυρο από την παραγωγή σιτηρών), υπολείμματα από αγροτικές εργασίες (π.χ. σοδειές που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία ή σοδειές που καλλιεργούνται για να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα).

Μία περιοχή της Ελλάδας με σημαντικό ενεργειακό δυναμικό βιομάζας είναι η Ήπειρος, όπου τα διαθέσιμα γεωργικά, δασικά και ζωικά υπολείμματα θα μπορούσαν να καλύψουν μεγάλο μέρος των αναγκών της. [30]

¹ Τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό την παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας.

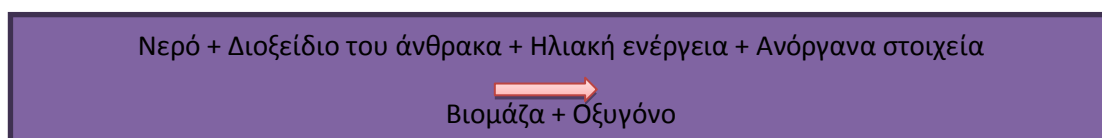


Εικόνα 2: Καύσιμα βιομάζας. (Πηγή: <http://www.tangedco.gov.in/bio-mass.php>)

1.2.1 Δημιουργία βιομάζας

Σύμφωνα με τα παραπάνω, βιομάζα είναι το σύνολο της ύλης που έχει οργανική (βιολογική) προέλευση, με εξαίρεση τα ορυκτά καύσιμα. Δηλαδή, βιομάζα είναι οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας.

Με τη φωτοσύνθεση, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια με τη βοήθεια της χλωροφύλλης που υπάρχει σε αυτά, χρησιμοποιώντας ως πρώτες ύλες διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, νερό, ηλιακή ενέργεια και ανόργανα συστατικά του εδάφους. Η διεργασία αυτήν παριστάνεται σχηματικά ως εξής:



Δηλαδή, με τη φωτοσύνθεση η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί προσλαμβάνουν αυτή την ενέργεια με την τροφή και αποθηκεύουν μέρος αυτής. Τελικά, η βιομάζα αποδίδει αυτήν την ενέργεια, έπειτα από επεξεργασία και χρήση της.

Παρόλο που μεγαλύτερη αξιοποίηση της βιομάζας γίνεται τα τελευταία χρόνια, είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Μόλις μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα, τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες κάλυπταν το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας μας.

Όλα τα υλικά, όπως ξύλα, φυτικά υπολείμματα (π.χ. άχυρα, πριονίδια, καρποί δέντρων, κουκούτσια κ.λπ.), ζωικά απόβλητα (π.χ. κοπριά, λίπη, αλιεύματα κ.λπ.), που προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από τη φύση, αλλά και τα υγρά απόβλητα και το μεγαλύτερο μέρος των αστικών απορριμμάτων (π.χ. υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.λπ.) των πόλεων και των βιομηχανιών, μπορούν να μετατραπούν σε ενέργεια. [25]

1.2.2 Χαρακτηριστικά βιομάζας

Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια) είναι στην ουσία δευτερογενής ηλιακή ενέργεια, αφού όπως αναφέρθηκε η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης.

Η βιομάζα είναι η μοναδική φυσική πηγή ενέργειας με άνθρακα, η οποία έχει αποθέματα ικανά, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, οι πρώτες ύλες της βιομάζας χρειάζονται μόνο μια μικρή χρονική περίοδο για να αναπληρωθούν, γι' αυτό και η βιομάζα είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Για τις διάφορες τελικές της χρήσεις βέβαια υιοθετούνται διαφορετικοί όροι. Δηλαδή, υπάρχει ο όρος «βιοϊσχύς» ο οποίος περιγράφει τα συστήματα που χρησιμοποιούν ως πρώτες ύλες πηγές βιομάζας (π.χ.

φυτικά υπολείμματα, ζωικά απόβλητα) αντί για συνήθη ορυκτά καύσιμα (π.χ. λιγνίτης) με σκοπό την ηλεκτροπαραγωγή, ενώ υπάρχει και ο όρος «βιοκαύσιμα» ο οποίος αναφέρεται κυρίως στα υγρά καύσιμα μεταφορών που υποκαθιστούν τα πετρελαϊκά προϊόντα (π.χ. βενζίνη ή ντίζελ).

Η αξιοποίηση της βιομάζας μπορεί να γίνει με τη μετατροπή της σε διάφορα προϊόντα, μέσω διάφορων μεθόδων και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Επιπλέον, κατά την παραγωγή και μετατροπή της δεν προκαλούνται οικολογικά και περιβαλλοντικά προβλήματα. Από την άλλη, ως μορφή ενέργειας η βιομάζα χαρακτηρίζεται από πολυμορφία (το οποίο έχει να κάνει με τις διάφορες πηγές προέλευσης), χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο εν συγκρίσει με τα ορυκτά καύσιμα (λόγω χαμηλής πυκνότητας και/ ή υψηλής περιεκτικότητας σε νερό), εποχιακή παραγωγή και μεγάλη διασπορά, που δυσκολεύουν τη συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας, κ.λπ. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνεπάγονται πρόσθετες δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευσή της. Συνεπώς, το κόστος μετατροπής της σε πιο εύχρηστες μορφές ενέργειας παραμένει ακόμη λίγο υψηλό.

Εντούτοις, η συνεχής έρευνα και τεχνολογική πρόοδος κατέστησαν τις τεχνολογίες ενεργειακής μετατροπής και αξιοποίησης της βιομάζας εξαιρετικά ελκυστικές σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι προοπτικές, μάλιστα, της βιοενέργειας καθίστανται συνεχώς μεγαλύτερες και πιο ελπιδοφόρες. Στις προηγμένες οικονομικά χώρες, αναμένεται να καλύπτει μελλοντικά μεγάλο τμήμα της ενεργειακής παραγωγής. [24]

1.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα βιομάζας

➤ Πλεονεκτήματα

- Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και δε συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, επειδή οι ποσότητες CO_2 που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης για τη δημιουργία της βιομάζας.
- Δεν επιβαρύνεται η ατμόσφαιρα με διοξείδιο του θείου (SO_2), το οποίο ευθύνεται για την όξινη βροχή, αφού οι συγκεντρώσεις θείου στη βιομάζα είναι αμελητέες.
- Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και γενικότερα στην οικονομική ενίσχυση της χώρας.
- Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (π.χ. καλάμι, κ.λπ.) και τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (π.χ. ηλιάνθος κ.ά.), συμβάλλοντας έτσι στην οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Θετικά αποτελέσματα, επίσης, σε αυτόν τον τομέα προσφέρει και η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων.

➤ Μειονεκτήματα

- Μεγάλος όγκος και μεγάλη περιεκτικότητα της βιομάζας σε υγρασία, ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας, που δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίησή της.
- Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας (κάποιους μήνες το χρόνο), που δυσκολεύουν τη συνεχή τροφοδοσία των μονάδων ενεργειακής

αξιοποίησης της βιομάζας με πρώτη ύλη, κάτι που αναφέρθηκε και παραπάνω.

- Βάσει των δύο προηγούμενων μειονεκτημάτων, παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταποίηση, μεταφορά, και αποθήκευση της βιομάζας, κάτι που αυξάνει το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης.
- Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν εξοπλισμό υψηλού κόστους και πιο δαπανηρές εγκαταστάσεις.

Εξαιτίας των μειονεκτημάτων αυτών το κόστος της βιομάζας παραμένει, συγκριτικά προς το πετρέλαιο, υψηλό. Ήδη όμως, υπάρχουν εφαρμογές στις οποίες η αξιοποίηση της βιομάζας παρουσιάζει σημαντικά οικονομικά οφέλη. Επιπλέον, το πρόβλημα του κόστους βαθμιαία εξαλείφεται, αφενός εξαιτίας της μεγάλης αύξησης της τιμής του πετρελαίου, και αφετέρου λόγω της βελτίωσης των τεχνολογιών αξιοποίησης της βιομάζας. Τέλος, δεν πρέπει να παραβλέπεται το μεγάλο περιβαλλοντικό όφελος. [24]

1.2.4 Πηγές προέλευσης βιομάζας

Οι βασικές πρώτες ύλες βιομάζας προέρχονται από:

- Την υλοτομία και τη βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου

Τα ξυλώδη υπολείμματα που λαμβάνονται από την επεξεργασία του ξύλου (π.χ. πριονίδι, ροκανίδι, θρύμματα ξύλου, κ.λπ.), καθώς και τα υπολείμματα ξυλείας που παράγονται κατά την υλοτόμηση των δέντρων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ή για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης. Φυσικά, δεν πρόκειται για αλόγιστη υλοτόμηση των δασών, αλλά για ενεργειακή αξιοποίηση των παραπροϊόντων του ξύλου, τα οποία συνήθως παραμένουν ανεκμετάλλευτα.

➤ Τις γεωργικές δραστηριότητες

Αντίστοιχα με τα παραπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου, τα υπολείμματα από τις γεωργικές δραστηριότητες, όπως για παράδειγμα το άχυρο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή φιλικής προς το περιβάλλον ενέργειας και καύσιμης ύλης. Εκτός από το άχυρο και τα κλαδέματα από τις δενδρώδεις καλλιέργειες, οι καλλιέργειες ενεργειακών φυτών αποτελούν, επίσης, μια εναλλακτική πρακτική για την παραγωγή βιομάζας. Οι ενεργειακές καλλιέργειες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας, υγρών και αέριων βιοκαυσίμων (βιοαέριο), καθώς και στερεών βιοκαυσίμων (pellets).

➤ Τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες

Το βασικό απόβλητο όλων των κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων είναι η κοπριά. Το ζήτημα της αποτελεσματικής διαχείρισής της γίνεται ακόμα πιο έντονο κατά τη μαζική εκτροφή ζώων (συνήθως βοοειδών, χοίρων και πουλερικών).

Ο ιδανικότερος τρόπος διαχείρισης αυτών των αποβλήτων είναι η ενεργειακή αξιοποίησή τους. Με τη βοήθεια της τεχνολογίας της αναερόβιας χώνευσης (στην οποία γίνεται εκτενής αναφορά στα επόμενα κεφάλαια) τα υγρά και στερεά ζωικά απόβλητα μετατρέπονται σε βιοαέριο, ένα καύσιμο φιλικό προς το περιβάλλον. Μετά την παραγωγή του, το βιοαέριο μπορεί να τροφοδοτηθεί σε σύστημα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού (ένα τέτοιο σύστημα θα αναλυθεί στο 5^ο Κεφάλαιο), από την πώληση των οποίων προκύπτουν σημαντικά έσοδα. Επιπλέον, έσοδα μπορούν να προκύψουν από την εμπορική εκμετάλλευση του χωνευμένου υπολείμματος της κοπριάς ως βιολογικό λίπασμα.

Συνεπώς, η βιομάζα που λαμβάνεται από την εκτροφή των ζώων ως απόβλητο αποτελεί μια σημαντική πηγή εσόδων για τον παραγωγό, αλλά κι έναν τρόπο

παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο.

➤ Τη βιομηχανία παραγωγής τροφίμων

Τα απόβλητα των βιομηχανιών παραγωγής τροφίμων σε στερεά ή σε υγρή μορφή μπορούν να αξιοποιηθούν ενεργειακά, επίσης μέσω της τεχνολογίας της αναερόβιας χώνευσης και της παραγωγής βιοαερίου.

Έτσι, υγρά απόβλητα που φημίζονται για το υψηλό ρυπαντικό τους φορτίο, μπορούν να μετατραπούν σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν οφέλη, όπως η μείωση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης των υδάτινων αποδεκτών από τη λειτουργία τέτοιων βιομηχανιών, με τρόπο που όχι μόνο δεν κοστίζει καθόλου στον παραγωγό του αποβλήτου, αλλά αντιθέτως του προσφέρει έσοδα από την πώληση της εναλλακτικής ενέργειας και την αποφυγή των υψηλών προστίμων που οφείλει να πληρώνει για την ακατάλληλη διάθεση των αποβλήτων του. Για τα στερεά οργανικά απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων υπάρχουν αντίστοιχα αποτελεσματικές τεχνολογίες για την παραγωγή βιοαερίου και ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την εγκατάσταση μιας τεχνολογικά άρτιας μονάδας παραγωγής βιοενέργειας είναι, κάποιες φορές, αναγκαία η συνεργασία των παραγωγών των ζωικών αποβλήτων με εκείνους των οργανικών βιομηχανικών αποβλήτων για την κατασκευή μονάδας συνδυασμένης αναερόβιας χώνευσης. Τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από μια τέτοια επένδυση είναι πολύ υψηλά. [36]

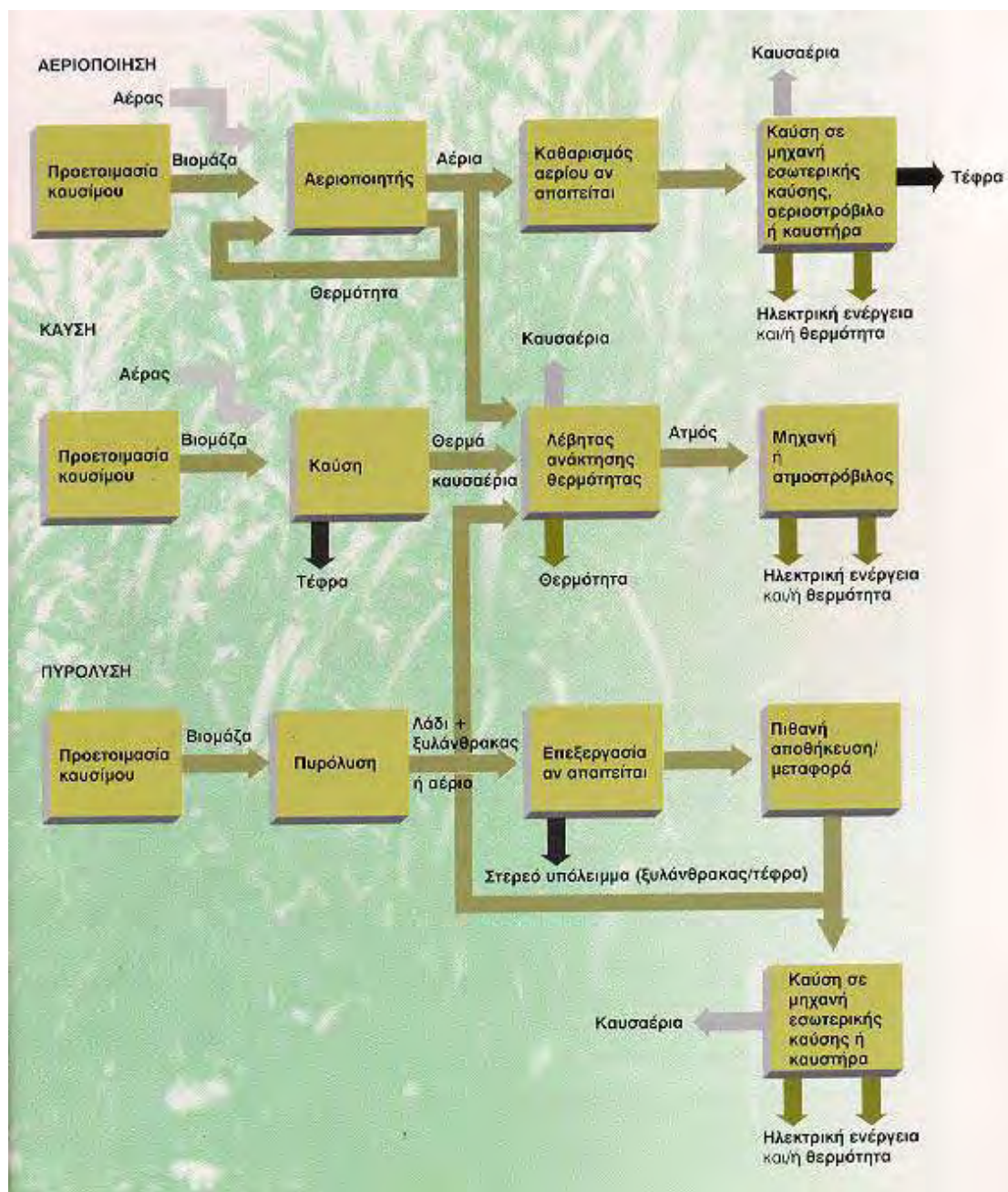
Με αυτές τις δύο τελευταίες πηγές προέλευσης βιομάζας και την παραγωγή ενέργειας (βιοαερίου) από υποπροϊόντα και απόβλητα σφαγείων και η συνδυασμένη χώνευσή τους με άλλα απόβλητα έχει να κάνει και η παρούσα εργασία.

1.2.5 Ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας

Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (παραγωγή θερμότητας, ψύξης, ηλεκτρισμού κ.λπ.), είτε με απευθείας καύση ή με μετατροπή της σε αέρια, υγρά ή/ και στερεά καύσιμα μέσω θερμοχημικών διεργασιών² - ξηρές (πυρόλυση, απευθείας καύση, υδρογονοδιάσπαση και αεριοποίηση) ή βιοχημικών διεργασιών³ - υγρές (αερόβια και αναερόβια ζύμωση) (βλ. Εικόνα 3).

² Οι θερμοχημικές διεργασίες περιλαμβάνουν αντιδράσεις που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, για διαφορετικές συνθήκες οξείδωσης. Οι διεργασίες αυτές χρησιμοποιούνται για τα είδη της βιομάζας με σχέση C/N<30 και υγρασία>50%. [38]

³ Οι βιοχημικές διεργασίες είναι αποτέλεσμα μικροβιακής δράσης. Χρησιμοποιούνται για προϊόντα και υπολείμματα, όπως λαχανικών κοπριάς, όπου C/N<30 και υγρασία>50%. [38]



Εικόνα 3: Υπάρχουσες τεχνολογίες αξιοποίησης της βιομάζας. (Πηγή:

http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf)

1.2.5.1 Πυρόλυση βιομάζας

Κατά την ταχεία πυρόλυση της βιομάζας (biomass fast pyrolysis), η πρώτη ύλη θερμαίνεται πολύ γρήγορα σε θερμοκρασίες 450-500 °C, σε συνθήκες απουσίας αέρα (άρα και οξυγόνου). Σε αυτές τις συνθήκες παράγονται ατμοί, μη

συμπυκνώσιμα αέρια και ρευστή πίσσα. Οι ατμοί στη συνέχεια συμπυκνώνονται, παράγοντας έλαιο πυρόλυσης (pyrolysis oil)⁴ ή βιοέλαιο (bio-oil)⁵.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της διεργασίας αυτής είναι ότι μετατρέπει οποιαδήποτε «προβληματική» βιομάζα (όσον αφορά στη διαχείρισή της) σε ένα καθαρό και ομοιογενές υγρό καύσιμο. Το έλαιο πυρόλυσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, καυσίμων ή χημικών προϊόντων. Η ενεργειακή πυκνότητα του ελαίου (δηλαδή η ενέργεια που αποδίδει ανά μονάδα όγκου) είναι έως 5 φορές μεγαλύτερη από εκείνη της βιομάζας, κάτι που προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα διαχείρισης. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα χρήσης του ελαίου αυτού σε υψηλότερης απόδοσης στροβίλους παραγωγής ενέργειας. Τέλος, η δυνατότητα μεταφοράς του καυσίμου από το σημείο παραγωγής του σε διαφορετικό σημείο παραγωγής ενέργειας, παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στο σύστημα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας κατά πολύ τις απώλειες του δικτύου.

Στη διεργασία πυρόλυσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεγάλη ποικιλία βιομάζας. Για την επιτυχημένη μετατροπή, όμως, της βιομάζας είναι απαραίτητη η προ-επεξεργασία της (ο τεμαχισμός της σε μικρά ομοιόμορφα κομμάτια) και η ξήρανσή της, ώστε η υγρασία της να είναι μικρότερη από 10%. Με καλό ενεργειακό σχεδιασμό της μονάδας πυρόλυσης, η απαιτούμενη θερμότητα για την ξήρανση της βιομάζας μπορεί να προέλθει από την ίδια τη μονάδα, μειώνοντας έτσι τα λειτουργικά κόστη και συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος. [39]

⁴ Είναι ένα υπό μελέτη συνθετικό καύσιμο ως υποκατάστατο του πετρελαίου. Εξάγεται μέσω της βιομάζας από την τεχνολογία υγρών καυσίμων (μια πολύπλοκη διεργασία, η οποία παράγει υγρά βιοκαύσιμα από βιομάζα) πυρογενούς απόσταξης (μια χημική διεργασία που περιλαμβάνει την αποσύνθεση των πρώτων υλών, θερμαίνοντάς τις σε υψηλές θερμοκρασίες) από ξηρή βιομάζα μέσα σε έναν αντιδραστήρα θερμοκρασίας περίπου 500 °C με επακόλουθη ψύξη. [102]

⁵ Αποτελείται από άνθρακα (51%), υδρογόνο (8%), οξυγόνο (40%), άζωτο (0,9%), θείο (0,01%), τέφρα (0,09%). Η θερμογόνο του δύναμη κυμαίνεται μεταξύ 20 MJ/kg και 30 MJ/kg. [101]

1.2.5.2 Απευθείας καύση βιομάζας

Η βιομάζα μπορεί να καεί σε μικρής κλίμακας λέβητες ατμού για την παραγωγή θερμότητας, ή σε μεγαλύτερους λέβητες για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή τη συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (CHP – Combined Heat and Power).

Στα συστήματα καύσης βιομάζας χρησιμοποιούνται ανόμοιες/ ποικιλόμορφες τεχνολογίες. Εργοστάσια αποκλειστικής καύσης βιομάζας μπορούν να κάψουν μεγάλο εύρος καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων και αποβλήτων. [38]

1.2.5.3 Υδρογονοδιάσπαση

Η υδρογονοδιάσπαση (hydrocracking) είναι μία διεργασία δύο φάσεων, που συνδυάζει την καταλυτική διάσπαση⁶ και την υδρογόνωση⁷, όπου οι πρώτες ύλες τροφοδοσίας που δεν έχουν ζυμωθεί καλώς διασπώνται υπό την παρουσία υδρογόνου, ώστε να παράγουν πιο επιθυμητά προϊόντα. Η διεργασία αυτήν απαιτεί υψηλή πίεση, υψηλή θερμοκρασία, έναν καταλύτη και το υδρογόνο. Η υδρογονοδιάσπαση χρησιμοποιείται για πρώτες ύλες τροφοδοσίας που είναι δύσκολο να επεξεργαστούν μόνο με καταλυτική διάσπαση ή με αναμόρφωση, αφού αυτές οι πρώτες ύλες χαρακτηρίζονται συνήθως από υψηλή περιεκτικότητα σε πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες⁸ και/ ή από υψηλές συγκεντρώσεις θεικών και αζωτούχων ενώσεων, που είναι τα δηλητήρια των καταλυτών.

⁶ Είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη διεργασία μετατροπής που χρησιμοποιείται στα διυλιστήρια πετρελαίου. Χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των υψηλής θερμοκρασίας και υψηλού μοριακού βάρους κλασμάτων υδρογονανθράκων του αργού πετρελαίου σε βενζίνη καλύτερης ποιότητας, ολεφινικά αέρια (ακόρεστες χημικές ενώσεις που περιέχουν τουλάχιστον ένα άτομο διπλού δεσμού άνθρακα) και άλλα προϊόντα. [68]

⁷ Με τον όρο υδρογόνωση (hydrogenation) χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε χημική αντίδραση μεταξύ υδρογόνου με κάποιο χημικό στοιχείο ή χημική ένωση, που συχνά αναφέρεται και ως υπόστρωμα. Απλούστερα, είναι η ένωση υδρογόνου με μια ουσία. [69]

⁸ Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες αποτελούν συστατικά του οργανικού κλάσματος των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας, έχοντας καρκινογόνα και μεταλλαξιογόνα δράση. Εκπέμπονται κατά τη διάρκεια ατελών καύσεων από την εξατμίσεις οχημάτων, την οικιακή θέρμανση,

Η διεργασία της υδρογονοδιάσπασης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη φύση των πρώτων υλών και τις σχετικές αναλογίες των δύο αντίθετων αντιδράσεων, της υδρογόνωσης και της διάσπασης. Οι αρωματικές πρώτες ύλες μετατρέπονται σε ελαφρύτερα προϊόντα υπό ένα μεγάλο εύρος υψηλών πιέσεων (1.000-2.000 psi) και αρκετά υψηλές θερμοκρασίες (750-1.500 °F), παρουσία υδρογόνου και ειδικών καταλυτών. Το υδρογόνο, επίσης, προλαμβάνει το σχηματισμό πολυκυκλικών αρωματικών ενώσεων. Ένας άλλος ρόλος του υδρογόνου είναι να μειώνει τη δημιουργία πίσσας και να προλαμβάνει τη σταδιακή δημιουργία κοκ πάνω στον καταλύτη. Η υδρογόνωση βοηθά, επίσης, στη μετατροπή των θεικών και αζωτούχων ενώσεων, που υπάρχουν στις πρώτες ύλες, σε υδρόθειο και αμμωνία. [67]

1.2.5.4 Αεριοποίηση Βιομάζας

Η αεριοποίηση της βιομάζας είναι μία θερμική διεργασία, κατά την οποία η στερεή βιομάζα μετατρέπεται σε καύσιμο αέριο. Το παραγόμενο αέριο είναι μίγμα πολλών καυσίμων (και μη) αερίων: μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα (CO , CO_2), υδρογόνο (H_2), μεθάνιο (CH_4), υδρατμούς (H_2O), ίχνη υδρογονανθράκων (π.χ. C_2H_6 ⁹, C_2H_4 ¹⁰) και άζωτο (N_2 , σε περίπτωση που για τη διεργασία χρησιμοποιείται αέρας και όχι καθαρό οξυγόνο). Στο αέριο προϊόν εμφανίζονται και διάφοροι επιμολυντές (contaminants), οι κυριότεροι από τους οποίους είναι τα σωματίδια πίσσας, η τέφρα, η αμμωνία, τα οξέα και οι σύνθετοι υδρογονάνθρακες.

τις βιομηχανικές δραστηριότητες, την καύση απορριμμάτων και γενικότερα εγκαταστάσεις όπου καίγονται καύσιμα για την παραγωγή ενέργειας. [70]

⁹ Αιθάνιο. Είναι το δεύτερο απλούστερο αλκάνιο, δηλαδή άκυκλος κορεσμένος υδρογονάνθρακας. Στις κανονικές συνθήκες, θερμοκρασία 25 °C και πίεση 1 atm, είναι αέριο άχρωμο και άοσμο, ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Διαλύεται ευκολότερα σε οργανικούς διαλύτες. Η ύπαρξή του δεν ανιχνεύεται εύκολα, ενώ με τον αέρα σχηματίζει εκρηκτικά μίγματα. Σε βιομηχανική κλίμακα το αιθάνιο απομονώνεται από το φυσικό αέριο και από τα παραπροϊόντα της διύλισης του αργού πετρελαίου. [94]

¹⁰ Αιθυλένιο. Είναι ένα άχρωμο, εύφλεκτο αέριο, λίγο διαλυτό στο νερό και περισσότερο στο οινόπνευμα. Αποτελεί συστατικό του φυσικού αερίου και του φωταερίου. [93]

Το καύσιμο προϊόν της διεργασίας αεριοποίησης ονομάζεται αέριο σύνθεσης (syngas). Σε περίπτωση που η διεργασία γίνει με τη βοήθεια αέρα (η πιο οικονομική και συνηθέστερη επιλογή), το syngas έχει καθαρή θερμογόνο δύναμη περίπου 4,6 MJ/m³ (περίπου το 1/7 εκείνης του φυσικού αερίου). Όταν χρησιμοποιείται καθαρό οξυγόνο αντί για αέρα, η θερμογόνος δύναμη του syngas μπορεί ακόμα και να τριπλασιαστεί. Και στις δύο περιπτώσεις, πάντως, το syngas είναι κατάλληλο για την παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού, με κατάλληλη χρήση του σε καυστήρες και αεριοστροβίλους.

Η διεργασία της αεριοποίησης της βιομάζας περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- αποσύνθεση της οργανικής βιομάζας σε μη συμπυκνώσιμο αέριο,
- υδρατμούς και πίσσα,
- θερμική διάσπαση των ατμών σε αέριο σύνθεσης και πίσσα,
- αεριοποίηση της πίσσας και μερική οξείδωση του αερίου σύνθεσης, των ατμών και της πίσσας.

Η απαιτούμενη θερμότητα για την αεριοποίηση της βιομάζας παρέχεται από την καύση ενός μέρους της αρχικής ποσότητας της βιομάζας.

Καθοριστικό ρόλο στη διεργασία αεριοποίησης παίζει και το είδος της φυτικής βιομάζας, δηλαδή ξύλο, υπολείμματα καλλιεργειών, ενεργειακά φυτά. Οι ιδιότητές της μπορεί να διαφέρουν, ανάλογα με την προέλευση της βιομάζας. Οι παράμετροι της βιομάζας που εξετάζονται περισσότερο είναι η περιεκτικότητά της σε

υγρασία¹¹, η περιεκτικότητα σε τέφρα¹², η στοιχειακή της ανάλυση¹³, η θερμογόνος δύναμή της¹⁴, η πυκνότητα¹⁵ και η κοκκομετρία της¹⁶.

Πρέπει να τονιστεί ότι το syngas δε χρησιμοποιείται απευθείας καθώς εξέρχεται από τον αντιδραστήρα στις μηχανές παραγωγής ενέργειας. Πρέπει πρώτα να γίνει επεξεργασία του, ώστε να μειωθούν οι ποσότητες των ακαθαρσιών που εμπεριέχονται σε αυτό (πίσσα, αμμωνία, θείο, κ.λπ.), καθώς επίσης και να ψυχθεί.

Παράλληλα, εκτός του αερίου σύνθεσης, παράγεται και ποσότητα πίσσας. Εξαιτίας της υψηλής θερμογόνου δύναμής της, ο καλύτερος τρόπος διαχείρισης της πίσσας είναι η ενεργειακή της εκμετάλλευση μέσα στη μονάδα αεριοποίησης.

Αναμφίβολα, η αεριοποίηση της βιομάζας είναι μία πολύπλοκη τεχνολογία και με λιγότερες εμπορικές εφαρμογές, σε σχέση με την καύση της βιομάζας, παρουσιάζει όμως μεγάλα πλεονεκτήματα, όπως μεγάλη αύξηση της ενεργειακής απόδοσης της μονάδας. [40]

¹¹ Είναι η ποσότητα νερού μέσα στη βιομάζα. Ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος, τόσο για τον καθορισμό του LHV, όσο και για την επιλογή της τεχνολογίας ενεργειακής αξιοποίησης. Για θερμική αξιοποίηση (π.χ. καύση της βιομάζας) επιβάλλονται τιμές <50%. Οι τιμές της κυμαίνονται από 10% (υπολείμματα καλλιέργειας δημητριακών) έως και 80% (δασικά υπολείμματα – ζωικά απόβλητα). [103]

¹² Είναι το ανόργανο κλάσμα της βιομάζας. Σημαντική παράμετρος που επηρεάζει τη συμπεριφορά του βιοκαυσίμου κάτω από υψηλές θερμοκρασίες. Η τήξη και η επανασυσσωμάτωση της τέφρας προκαλεί προβλήματα (αποφράξεις, επικαθίσεις, λειτουργικές δυσχέρειες στις ρευστοποιημένες κλίνες κ.ά.). [103]

¹³ Στη στοιχειακή ανάλυση προσδιορίζεται η κατά βάρος σύσταση της βιομάζας σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο και θείο. Με βάση τη στοιχειακή ανάλυση μπορεί να γίνει ακριβής περιγραφή της θερμοχημικής μετατροπής. Επίσης, η στοιχειακή σύνθεση της βιομάζας έχει άμεση επίδραση στο σχηματισμό ανεπιθύμητων εκπομπών ρύπων κατά την καύση της. [104]

¹⁴ Είναι η θερμική ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση 1 kg καυσίμου (αέρια: 1 mm³) σε συγκεκριμένες συνθήκες. Διακρίνεται σε ανώτερη (HHV – Higher Heating Value) και κατώτερη (LHV – Lower Heating Value), λόγω δέσμευσης ενέργειας με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας ατμοποίησης των υδρατμών στα καυσαέρια. [103]

¹⁵ Εξαρτάται άμεσα από το είδος, το μέγεθος, το σχήμα και την υγρασία των τεμαχίων της βιομάζας. [103]

¹⁶ Το κοσκίνισμα, η άλεση, προκειμένου να πάρει κανείς βιομάζα σε μορφή κόκκων.

1.2.5.5 Αναερόβια χώνευση βιομάζας

Η αναερόβια χώνευση είναι μία βιολογική διεργασία κατά την οποία στερεή ή υγρή βιομάζα μετατρέπεται σε αέριο. Το αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα και περιέχει, επίσης, διάφορους ιχνηθέντες¹⁷.

Η αναερόβια χώνευση στηρίζεται στην παρουσία μικροοργανισμών, οι οποίοι αναπτύσσονται απουσία οξυγόνου και μετατρέπουν το οργανικό φορτίο σε CH₄, CO₂ κ.ά. Στην αναερόβια χώνευση χρησιμοποιούνται κυρίως αντιδραστήρες UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Οι φάσεις της αναερόβιας χώνευσης είναι δύο: Κατά την πρώτη φάση παράγονται οξέα (οξυγένεση), όπου αναερόβια βακτήρια διασπούν σύνθετες οργανικές ενώσεις σε απλούστερες. Στη δεύτερη φάση (μεθανογένεση), τα μεθανογενή βακτήρια παράγουν CH₄ και CO₂, διασπώντας απλά οργανικά οξέα. Η πρώτη φάση οδηγεί σε πτώση του pH, ενώ στη δεύτερη το pH λαμβάνει τιμές 6,5-7. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να επιλέγεται μια επιθυμητή τιμή pH, ώστε να σταθεροποιείται και η παραγωγή μεθανίου. Η επεξεργασία πραγματοποιείται αργά και με ελεγχόμενη θερμοκρασία, αφού η ανάπτυξη και δράση των αναερόβιων μικροοργανισμών ευνοείται σε μεσόφιλες συνθήκες (περίπου 35 °C).

Μια συνήθης εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης έχει ως εξής: Σε πρώτο στάδιο, η δεξαμενή είναι κλειστή, γίνεται πλήρης ανάμιξη της λάσπης και πραγματοποιείται ανακύκλωση του αποβλήτου ή/ και του παραγόμενου αερίου. Η δεξαμενή θερμαίνεται και συλλέγεται το παραγόμενο αέριο, ώστε να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του συστήματος. Σε δεύτερο στάδιο, η δεξαμενή μένει ανοιχτή, δε θερμαίνεται και χρησιμοποιείται απλώς για το διαχωρισμό του αποβλήτου από τη λάσπη. Ένας τρόπος για τη μείωση του απαιτούμενου χρόνου παραμονής είναι η ανακύκλωση μέρους της λάσπης που κατακάθεται στη δεύτερη δεξαμενή.

¹⁷ Ραδιενεργό άτομο που αντικαθιστά το αντίστοιχο σταθερό.

Η αναερόβια χώνευση χρησιμοποιείται στη διαχείριση αποβλήτων βιομηχανικής, αγροτικής και οικιακής προέλευσης με υψηλό ρυπαντικό φορτίο. Χρησιμοποιείται, επίσης, σε εργοστάσια διαχείρισης αποβλήτων υπονόμων για να μειωθεί ο όγκος των αιωρημάτων και να παραχθεί αέριο για θέρμανση και ηλεκτρισμό. [59, 38]

1.2.5.6 Αερόβια ζύμωση

Είναι η διεργασία αποδόμησης (αποσύνθεσης) της οργανικής ύλης με την επίδραση μικροοργανισμών παρουσία οξυγόνου.

Τα περισσότερα από τα οργανικά συστατικά ενός αποβλήτου είναι βιοαποδομήσιμα (υψηλές τιμές BOD/COD), δηλαδή επιδέχονται ευκολότερα βιολογική επεξεργασία. Ρυθμίζοντας το pH και προσθέτοντας θρεπτικά συστατικά, μπορεί να δημιουργηθεί ένα πλήθος μικροοργανισμών που θα διασπά το οργανικό φορτίο των αποβλήτων. Τα βιοαποδομήσιμα οργανικά συστατικά, που χρησιμεύουν ως πηγή άνθρακα και ενέργειας, μετατρέπονται σε αιωρήματα, τα οποία συσσωματώνονται και κατακάθονται ή μετατρέπονται σε αέρια προϊόντα.

Κατά την αερόβια χώνευση, τα βακτήρια μπορεί να αιωρούνται ή να προσκολλώνται σε κάποια επιφάνεια. Ο αερισμός που εφαρμόζεται στη διεργασία παρέχει το οξυγόνο που είναι απαραίτητο στους μικροοργανισμούς για τη δημιουργία της οξειδωσης, η οποία επιτυγχάνει καλύτερη ανάδευση του αποβλήτου, διατηρεί τα συσσωματώματα σε αιώρηση και βοηθά στην απομάκρυνση των παραγόμενων αερίων. [59]

1.2.5.7 Κομποστοποίηση

Είναι η διεργασία παραγωγής φυτικού λιπάσματος (εδαφοβελτιωτικού) μετά από την αποσύνθεση (αερόβια ζύμωση) οργανικών υλικών, όπως φύλλα, κλαδιά, φρούτα, λαχανικά, πριονίδια, κ.ά., το οποίο λέγεται κομπόστ.

Κομποστοποίηση είναι, λοιπόν, η φυσική διαδικασία κατά την οποία τα οργανικά απόβλητα (φρούτα, λαχανικά, κλαδέματα κ.λπ.) μετατρέπονται σε μίγμα/λίπασμα πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, το οποίο ονομάζεται κομπόστ. Το κομπόστ χρησιμοποιείται αφενός για λίπανση, αφετέρου για βελτίωση της ποιότητας του εδάφους (εδαφοβελτιωτικό). Η ελληνική απόδοση του όρου κομπόστ είναι λιπασματοποίηση. [106, 107]

1.2.5.8 Ζύμωση και υδρόλυση

Η παραγωγή αιθανόλης από βιομάζα παρέχει καύσιμο υψηλής ποιότητας για τις μεταφορές. Η διαδικασία παραγωγής της βιοαιθανόλης ποικίλει. Για παράδειγμα, τα σάκχαρα μπορούν να ζυμωθούν με διάφορους οργανισμούς. Η αμυλώδης και κυτταρική βιομάζα πρέπει πρώτα να διασπαστεί από όξινη ή ενζυμική υδρόλυση. [38]

1.2.6 Εφαρμογές από την αξιοποίηση της βιομάζας

Επειδή η αξιοποίηση της βιομάζας αντιμετωπίζει τα μειονεκτήματα της μεγάλης διασποράς, του μεγάλου όγκου και των δυσχερειών συλλογής-μεταποίησης-μεταφοράς-αποθήκευσης, η αξιοποίησή της πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον τόπο παραγωγής της. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια πληθώρα εφαρμογών:

1.2.6.1 Θέρμανσης-ψύξης ή/ και ηλεκτρισμός στη γεωργία και τις βιομηχανίες

Με τους παραδοσιακούς τρόπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλες ποσότητες θερμότητας απορρίπτονται στο περιβάλλον, είτε με τα ψυκτικά κυκλώματα ή με τα καυσαέρια. Με τη συμπαραγωγή όμως, δηλαδή τη συνδυασμένη παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας από την ίδια ενεργειακή πηγή, το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας αυτής ανακτάται και χρησιμοποιείται εκ νέου. Έτσι, αφενός επιτυγχάνεται μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς αυξάνεται ο βαθμός ενεργειακής μετατροπής του καυσίμου σε ωφέλιμη ενέργεια, και αφετέρου μειώνονται οι εκπομπές ρύπων. Επίσης, ελαττώνονται οι απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς τα συστήματα συμπαραγωγής βρίσκονται συνήθως κοντά στους καταναλωτές, σε αντίθεση με τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Πράγματι, οι συμβατικοί σταθμοί παρουσιάζουν βαθμό απόδοσης 15-40%, ενώ τα συστήματα συμπαραγωγής φτάνουν ένα βαθμό απόδοσης περίπου 75-85%.

Στην Ελλάδα η συμπαραγωγή από βιομάζα παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον. Βασικός στόχος είναι η δημιουργία πολλών μικρών σταθμών συμπαραγωγής, οι οποίοι πρέπει να εγκαθίστανται σε περιοχές με μεγάλες ποσότητες διαθέσιμης βιομάζας, που να βρίσκονται συγχρόνως κοντά στους καταναλωτές, καθώς η μεταφορά θερμότητας παρουσιάζει μεγάλες απώλειες και αυξημένο κόστος.

Οι καταναλωτές της παραγόμενης θερμότητας των σταθμών συμπαραγωγής μπορεί να είναι χωριά ή πόλεις, τα οποία θα θερμαίνονται μέσω συστήματος τηλεθέρμανσης, θερμοκήπια, βιομηχανικές μονάδες με αυξημένες απαιτήσεις σε θερμότητα κ.ά. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί είτε να ιδιοκαταναλώνεται είτε να πωλείται στη Δ.Ε.Η.

1.2.6.2 Τηλεθέρμανση

Τηλεθέρμανση καλείται η εξασφάλιση ζεστού νερού τόσο για θέρμανση των χώρων όσο και για απευθείας χρήση από τους καταναλωτές, μέσω ενός κεντρικού σταθμού παραγωγής θερμότητας. Η παραγόμενη θερμότητα μεταφέρεται μέσω ενός δικτύου αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια. Η τηλεθέρμανση εμφανίζει τα πλεονεκτήματα του μεγάλου βαθμού απόδοσης, της περιορισμένης ρύπανσης του περιβάλλοντος και της δυνατότητας χρησιμοποίησης μη συμβατικών καυσίμων, οπότε προκύπτουν πρόσθετα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

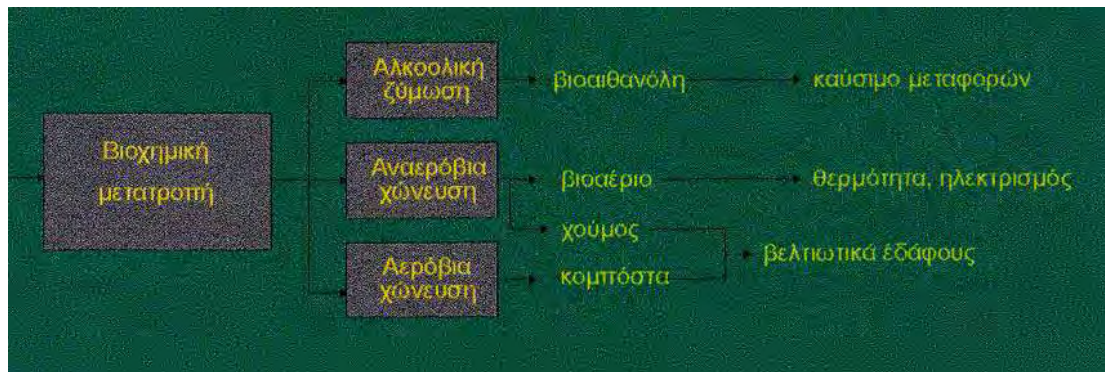
Η πρώτη μικρού μεγέθους εγκατάσταση τηλεθέρμανσης στην Ελλάδα έγινε στην Πτολεμαΐδα το 1960, θερμαίνοντας τον οικισμό της Δ.Ε.Η. στην περιοχή της Εορδαίας από τον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας. Σήμερα, με τηλεθέρμανση θερμαίνονται ολόκληρες πόλεις, όπως Κοζάνη, Πτολεμαΐδα, Αμύνταιο, Φιλώτας και Μεγαλόπολη, αξιοποιώντας το θερμικό φορτίο των γειτονικών θερμοηλεκτρικών σταθμών.

1.2.6.3 Θέρμανση θερμοκηπίων

Η αξιοποίηση της βιομάζας σε μονάδες παραγωγής θερμότητας για τη θέρμανση θερμοκηπίων αποτελεί μια ενδιαφέρουσα και οικονομικά συμφέρουσα προοπτική. Ήδη, το 10% περίπου της συνολικής έκτασης των θερμαινόμενων θερμοκηπίων της χώρας μας αξιοποιεί διάφορα είδη βιομάζας.

1.2.6.4 Παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική μετατροπή βιομάζας

Η παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική διεργασία (βλ. Εικόνα 4) στηρίζεται στην παραγωγή βιοαιθανόλης (οινοπνεύματος) μέσω ζύμωσης σακχάρων, αμύλου, κυτταρινών και ημικυτταρινών που προέρχονται από διάφορα είδη βιομάζας.



Εικόνα 4: Βιοχημική μετατροπή της βιομάζας. (Πηγή: http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf)

Παρά το γεγονός ότι, εκτός ελαχίστων περιπτώσεων (π.χ. αντικατάσταση αεροπορικής βενζίνης), το κόστος της βιοαιθανόλης είναι υψηλότερο από αυτό της βενζίνης, η χρήση της ως καύσιμο κίνησης αυξάνει συνεχώς, με πρωτοπόρες χώρες τη Βραζιλία και τις ΗΠΑ, επειδή η βιοαιθανόλη είναι πιο φιλικό καύσιμο προς το περιβάλλον.

1.2.6.5 Παραγωγή υγρών καυσίμων με θερμοχημική μετατροπή βιομάζας

Η θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας (βλ. Εικόνα 5) οδηγεί είτε σε απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας (καύση), ή στην παραγωγή καυσίμου αρχικά κι έπειτα στην παραγωγή ενέργειας (ταχεία πυρόλυση, αεριοποίηση).

Στην τεχνολογία αυτήν, τα ογκώδη δασικά και αγροτικά υπολείμματα, αφού τεμαχιστούν σε πολύ μικρά κομμάτια, μετατρέπονται, με τη βοήθεια ενός ειδικού αντιδραστήρα, σε καύσιμο υγρό υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, το βιοέλαιο.



Εικόνα 5: Θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας. (Πηγή: http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf)

Το βιοέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του πετρελαίου για θέρμανση σε λέβητες, φούρνους κ.λπ., αλλά και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανές εσωτερικής καύσης κ.α.

1.2.6.6 Ενεργειακές καλλιέργειες

Οι ενεργειακές καλλιέργειες, στις οποίες περιλαμβάνονται τόσο καλλιεργούμενα είδη όσο και άγρια φυτά, έχουν ως σκοπό την παραγωγή βιομάζας, η οποία μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς.

Ειδικότερα στην Ελλάδα, χάρη στις ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες, πολλές καλλιέργειες προσφέρονται για ενεργειακή αξιοποίηση, οι οποίες δίνουν υψηλές αποδόσεις. Οι σπουδαιότερες από αυτές είναι το καλάμι¹⁸, η αγριαγκινάρα (γαϊδουράγκαθο)¹⁹, ο ευκάλυπτος²⁰ και η ψευδακακία²¹.

¹⁸ Το καλάμι ανήκει στα αγρωστώδη πολυετή φυτά με φωτοσυνθετικό μηχανισμό. Συναντάται κοντά σε ποτάμια και λίμνες και σε αγρούς με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, αλλά μπορεί να καλλιεργηθεί σε ευρεία κλίμακα εδαφικών και κλιματικών συνθηκών. Πολλαπλασιάζεται κυρίως με ριζώματα, μπορεί όμως να πολλαπλασιαστεί και με μοσχεύματα. Η βιομάζα που παράγεται από το καλάμι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, για την παραγωγή χαρτοπολτού και δομικών υλικών. [113]

¹⁹ Η καλλιέργεια της αγριαγκινάρας είναι εύκολη και γίνεται ακόμη και στο πιο ακατάλληλο και ξερό χωράφι. Ως πολυετές φυτό, η σπορά της γίνεται μία φορά κάθε δώδεκα χρόνια. Το μεγάλο πλεονέκτημα της αγριαγκινάρας είναι ότι δε χρειάζεται καθόλου λίπασμα και νερό, και ως ανθεκτικότατο και επικρατέστερο ζιζάνιο επιβιώνει χωρίς να χρειάζεται ζιζανιοκτόνα. [111]

1.2.6.7 Παραγωγή οργανικών λιπασμάτων από κτηνοτροφικά απόβλητα

Στην περιοχή των Μεγάρων έχει εγκατασταθεί μονάδα παραγωγής οργανικών λιπασμάτων από την επεξεργασία των αποβλήτων των πτηνοτροφείων της περιοχής. Μια τέτοια μονάδα είναι φιλική για το περιβάλλον, δεδομένου ότι η περιοχή απαλλάσσεται από τις μεγάλες ποσότητες τοξικών πτηνοτροφικών αποβλήτων και τον κίνδυνο διάδοσης μολυσματικών ασθενειών.

1.2.6.8 Βιοαέριο

Σημαντικές ενεργειακές ανάγκες μπορούν, επίσης, να καλυφθούν με τη χρήση του βιοαερίου (για το οποίο θα γίνει εκτενής αναφορά στα επόμενα κεφάλαια) για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και παράγεται από την αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών κυρίως αποβλήτων, όπως είναι τα λύματα των χοιροστασίων, πτηνοτροφείων, βουστασίων, καθώς και βιομηχανικών και αστικών οργανικών απορριμμάτων.

Στην περίπτωση των κτηνοτροφικών αποβλήτων, η οποία μελετάται στην παρουσία εργασίας, η παραγωγή του βιοαερίου γίνεται σε ειδικές εγκαταστάσεις. Σε αυτές, εκτός από το βιοαέριο, παράγεται και πολύ καλής ποιότητας οργανικό λίπασμα, το οποίο καθότι είναι εξαιρετικής ποιότητας και έχει υψηλή τιμή πώλησης μπορεί να συμβάλλει στην οικονομική βιωσιμότητα μιας τέτοιας εφαρμογής. [25]

²⁰ Οι φυτείες ευκαλύπτων χαρακτηρίζονται από γρήγορους ρυθμούς ανάπτυξης μετά τη συγκομιδή τους. Οι πιθανές χρήσεις του ευκαλύπτου είναι η παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και η χρήση τους ως πρώτη ύλη για την παραγωγή χαρτοπολτού. [113]

²¹ Η ψευδακακία είναι φυτό ψυχανθές, πολυετές, δενδρώδες και χαρακτηρίζεται από ταχύτατη ανάπτυξη, υψηλή παραγωγή βιομάζας κι εξαιρετική αναβλάστηση μετά την κοπή. Η καλλιέργειά της παρουσιάζει ενδιαφέρον τόσο στην Ευρώπη, όσο και στην Ασία, ενώ μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. [113]

1.2.7 Χαρακτηριστικά βιομάζας

Ανεξαρτήτως της πηγής προέλευσής της, οι διεργασίες μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια επηρεάζονται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της. Οι τιμές των ιδιοτήτων αυτών, όμως, δεν είναι σταθερές και διαφοροποιούνται ανάλογα με την πηγή προέλευσης της βιομάζας.

Αυτά τα χαρακτηριστικά δεν επηρεάζουν μόνο από τεχνικής πλευράς τα έργα αξιοποίησης της βιομάζας, αλλά και τη βιωσιμότητα ολόκληρης της επένδυσης.

Οι ιδιότητες που θεωρούνται πιο καθοριστικές είναι:

- Η περιεκτικότητα σε υγρασία.
- Η περιεκτικότητα σε τέφρα.
- Η περιεκτικότητα σε πτητικά στερεά.
- Η περιεκτικότητα σε αλκαλικά μέταλλα.
- Η θερμογόνο δύναμη.
- Η πυκνότητα.

Παρακάτω αναλύονται οι δύο πρώτες ιδιότητες, γιατί αυτές ευθύνονται περισσότερο για τις διαφοροποιήσεις στην ενέργεια της βιομάζας. Εάν τέφρα και υγρασία δε ληφθούν υπόψη, τότε οι περισσότερες πηγές βιομάζας θα έχουν παρόμοιο ενεργειακό περιεχόμενο. [44]

1.2.7.1 Περιεκτικότητα σε υγρασία

Η περιεκτικότητα σε υγρασία ορίζεται ως η ποσότητα του νερού που εμπεριέχεται στη βιομάζα και μετράται ως ποσοστό επί του βάρους του υλικού. Η περιεκτικότητα σε υγρασία έχει μεγάλη επίδραση στην ενεργειακή μετατροπή της

βιομάζας, είτε πρόκειται για θερμοχημική μετατροπή (π.χ. καύση) ή για βιοχημική μετατροπή (π.χ. ζύμωση).

Η υγρασία μπορεί να κυμαίνεται σε ποσοστό κάτω από 10%, για κάποια αγροτικά υπολείμματα, όπως το άχυρο, μέχρι και πάνω από 60% για κάποια άλλα. Το ξύλο έχει κατά μέσο όρο υγρασία 40-50%. Η βιομάζα που προέρχεται από κτηνοτροφικά απόβλητα (π.χ. κοπριά) ή από υγρά οργανικά απόβλητα (π.χ. τυρόγαλα) έχει πολύ υψηλή υγρασία, γεγονός που καθιστά ευκολότερη τη μεταφορά της με αντλίες.

Η υγρασία της βιομάζας μπορεί να εκφραστεί σε υγρή (συνηθέστερα) ή ξηρή βάση.

Οι βιοχημικές διεργασίες απαιτούν υλικά με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, ώστε να επιτευχθεί η αποδοτική μετατροπή τους σε ενέργεια, σε αντίθεση με τις θερμοχημικές, όπου η υψηλή υγρασία έχει αρνητική επίδραση στην ενεργειακή απόδοση. Η αεριοποίηση, αν και κατατάσσεται στις θερμοχημικές διεργασίες, απαιτεί να υπάρχει κάποια υγρασία στην πρώτη ύλη, γιατί με τον τρόπο αυτόν αυξάνεται η περιεκτικότητα του υδρογόνου στο τελικό προϊόν. Εκτιμάται ότι, βιομάζα με περιεκτικότητα σε υγρασία μικρότερη από 30% αυξάνει ελάχιστα τη συνολική απόδοση.

Η περιεκτικότητα σε υγρασία της βιομάζας που λαμβάνεται από τη γεωργία, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες κατά την περίοδο συλλογής της.

Στον ακόλουθο Πίνακα παρουσιάζονται οι συνήθεις περιεκτικότητες σε υγρασία (μετρημένες σε υγρή βάση) μερικών από τις σημαντικότερες πηγές βιομάζας.

[44]

Πηγή βιομάζας	Περιεκτικότητα σε υγρασία (υγρή βάση)
Θρύμματα ξύλου	10-60%
Pellets ξύλου	8-12%
Άχυρο	20-30%
Πριονίδι	15-60%
Υπολείμματα βαμβακιού	10-20%
Switchgrass ²²	30-70%
Κοπριά αγελάδων	88-94%
Κοπριά χοίρων	90-97%
Κοπριά πουλερικών	75-80%
Τυρόγαλα	93-97%
Ενσίρωμα καλαμποκιού ²³	65-75%
Γλυκό σόργο ²⁴	20-70%
Αγριαγκινάρα	15-20%

Πίνακας 1: Συνήθης υγρασία για διάφορες πηγές βιομάζας (σε υγρή βάση). (Πηγή:

<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biomass/251-significant-biomass-properties-part-1-moisture-content>)

1.2.7.2 Περιεκτικότητα σε τέφρα

Η ποσότητα και η σύσταση της τέφρας (στάχτη) στη βιομάζα εξαρτάται από την προέλευσή της, τις συνθήκες καλλιέργειας και συλλογής της, το είδος λίπανσης της καλλιέργειας, την αποθήκευση και τις συνθήκες μεταφοράς.

²² Είναι ένα πολυετές, αγρωστώδες φυτό. Συναντάται κυρίως στη βόρεια και κεντρική Αμερική, αλλά επίσης έχει βρεθεί στη νότιο Αμερική και την Αφρική. Η καλλιέργειά του παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, αφού μπορούν να παραχθούν μεγάλες ποσότητες βιομάζας ακόμη και σε συνθήκες μειωμένων εισροών (λίπανση, ζιζανιοκτονία). Οι αρδευτικές ανάγκες του φυτού είναι χαμηλές, αφού χαρακτηρίζεται από αποδοτική χρήση του νερού. [113]

²³ Το ενσίρωμα είναι προϊόν ενσίρωσης, το οποίο περιέχει μεγάλα ποσοστά υγρασίας, οργανικά οξέα, όπως γαλακτικό οξύ και χορηγείται στα ζώα σαν χονδροειδής ζωτροφή. Η ενσίρωση είναι μια μέθοδος διατήρησης των χλωρών ζωοτροφών σε αναερόβιες συνθήκες, δηλαδή χωρίς αέρα. Όλα τα πράσινα φυτά μπορούν να ενσιρωθούν. Άλλα ενσιρώνονται εύκολα, άλλα σχετικά δύσκολα, αρκεί να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες για το κάθε φυτό. Για την ενσίρωση επιλέγονται φυτά με υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα, σε ξηρή ουσία υψηλής πεπτικότητας και ικανοποιητικής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, βιταμίνες και ανόργανα στοιχεία. [45]

Η ενσίρωση αποτελεί μία από τις χρήσεις καλλιέργειας του καλαμποκιού η οποία είναι ευρύτατα διαδεδομένη σε όλες τις ζώνες όπου καλλιεργείται το καλαμπόκι και ιδιαίτερα στην Δυτική Ευρώπη και την Αμερική. Στην Ελλάδα η ενσίρωση καλαμποκιού δεν είναι πολύ διαδεδομένη, όμως έχει αυξηθεί ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια και το 15% περίπου των καλλιεργούμενων στρεμμάτων με καλαμπόκι προορίζεται πλέον για κοπή ενσίρωματος.

²⁴ Το γλυκό σόργο είναι ένα μονοετές ετήσιο φυτό, με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα, υψηλές αποδόσεις σε βιομάζα, υψηλό ποσοστό σε διαλυτά σάκχαρα και κυτταρίνες, και σχετικά χαμηλές απαιτήσεις σε άρδευση και λίπανση. Προσαρμόζεται εύκολα σε διάφορα είδη εδαφών και σε ποικίλες κλιματικές συνθήκες.

Το γλυκό σόργο μπορεί να καλλιεργηθεί από τις βορειότερες ως τις νοτιότερες περιοχές της Ελλάδας, σε εύφορα αλλά και υποβαθμισμένα εδάφη. [112]

Σημαντικό ρόλο παίζει και η προ-επεξεργασία της βιομάζας πριν τη μετατροπή της σε καύσιμο ή ενέργεια. Η περιεκτικότητα σε τέφρα μπορεί να είναι σταθερή ή να μεταβάλλεται κατά τη συλλογή, μεταφορά, αποθήκευση και επεξεργασία της βιομάζας. Συνεπώς, η τιμή της περιεκτικότητας σε τέφρα μπορεί να μεταβάλλεται από τη μία πηγή βιομάζας στην άλλη (βλ. Πίνακα 2). Σε κάθε περίπτωση, η υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα επηρεάζει αρνητικά την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.

Ο λόγος για τον οποίο είναι επιθυμητό να υπάρχει λιγότερη τέφρα, έχει να κάνει με την επίδρασή της στο ενεργειακό περιεχόμενο της βιομάζας. Επειδή η τέφρα είναι ένας τρόπος εκτίμησης της μη καύσιμης ανόργανης ύλης της βιομάζας, επιδρά σημαντικά στο ενεργειακό περιεχόμενό της.

Σε πολλές διεργασίες ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας, δεν είναι μόνο η ποσότητα της τέφρας που έχει σημασία αλλά, επίσης, και η χημική της σύσταση, καθώς η τέφρα αφορά την παραγωγή αποβλήτου που πρέπει να επεξεργαστεί και να απομακρυνθεί. Η σύσταση της τέφρας επηρεάζει τις θερμοχημικές διεργασίες μετατροπής, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται σε αυτές. Η τηγμένη τέφρα απομακρύνεται και συλλέγεται δύσκολα και μπορεί να δημιουργήσει επικαθίσεις σε τμήματα του μηχανολογικού εξοπλισμού, αυξάνοντας το κόστος συντήρησης, το κόστος λειτουργίας και τελικά το κόστος ολόκληρης της επένδυσης. Μόνο υπό συγκεκριμένες συνθήκες και για επιλεγμένες πρώτες ύλες μπορεί να προκύψει τέφρα ικανή να χρησιμοποιηθεί ως χρήσιμο παραπροϊόν και να έχει εμπορική αξία.

Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζεται η περιεκτικότητα σε τέφρα των βασικότερων πηγών βιομάζας. [46]

Πηγή βιομάζας	Περιεκτικότητα σε τέφρα (%κ.β., ξηρή βάση)
Υπολείμματα βαμβακιού	7%
Άχυρο σιταριού	4%
Ξύλο λεύκας	1%
Switchgrass	4%
Ξύλο ελάτης	1%
Άχυρο κριθαριού	6%
Υπολείμματα ρυζιού	13%
Υπολείμματα σακχαροκάλαμου	11%

Πίνακας 2: Περιεκτικότητα σε τέφρα ορισμένων πηγών βιομάζας. (Πηγή:

<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biomass/315-significant-biomass-properties-part-2-ash-content>)

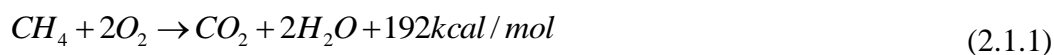
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΟΑΕΡΙΟ

Η ανάγκη για βιώσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι άμεση, ούτως ώστε να αντιμετωπιστεί η αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση ενέργειας. Το βιοαέριο θα διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο τα επόμενα χρόνια στην εκπλήρωση αυτού του σκοπού, κάτι που επιβεβαιώνει και η ραγδαία αύξηση κατασκευής μονάδων βιοαερίου.

2.1 Η ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Οι χημικές ενώσεις που υπάρχουν στο βιοαέριο, μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα κ.λπ., είναι αυτές που του δίνουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως ανανεώσιμο καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας.

Κατά την αναερόβια χώνευση οργανικών υλικών πραγματοποιείται μετατροπή της οργανικής ύλης σε βιοαέριο, το οποίο είναι ένα αέριο καύσιμο μίγμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές για την παραγωγή ενέργειας. Η βασική ένωση που περιέχεται στο μίγμα του βιοαερίου και του προσδίδει τις ιδιότητες καυσίμου, είναι το μεθάνιο (CH_4). Το μεθάνιο καίγεται σύμφωνα με την εξώθερμη αντίδραση καύσης:



Από την τέλεια καύση 1 m^3 μεθανίου παράγονται 8.570 kcal θερμότητας.

Συνεπώς, το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εξής:

- Να καεί απευθείας σε λέβητες για την παραγωγή θερμότητας.
- Να διοχετευτεί, έπειτα από επεξεργασία, σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού μέσω συστήματος συμπαραγωγής.

- Να αναμορφωθεί σε βιομεθάνιο και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο κίνησης οχημάτων. Εναλλακτικά, ως αναμορφωμένο βιομεθάνιο μπορεί να αντικαταστήσει το φυσικό αέριο στη χημική βιομηχανία, το οποίο δεν είναι ανανεώσιμο καύσιμο.

Εκτός από CH₄, το μίγμα του βιοαερίου περιέχει και σημαντικές ποσότητες CO₂, το οποίο δεν καίγεται, καθώς και μικρότερες ποσότητες και ίχνη από άλλες ενώσεις. Μια τυπική σύσταση του βιοαερίου, λοιπόν, αποτελείται από:

Συστατικό	Χημικός τύπος	Περιεκτικότητα (%κ.ο.)
Μεθάνιο ²⁵	CH ₄	55-70
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	30-45
Άζωτο	N ₂	0-5
Οξυγόνο	O ₂	<1
Υδρογονάνθρακες ²⁶	C _x H _y ή C _n H _{2n+2}	<1
Υδρόθειο ²⁷	H ₂ S	0-0,5
Αμμωνία ²⁸	NH ₃	0-0,05
Υδρατμοί	H ₂ O	1-5
Σιλοξάνες ²⁹	C _n H _{2n+1} SiO	0-50 mg/m ³

Πίνακας 3: Τυπική χημική σύσταση βιοαερίου. (Πηγή:

<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biogas/102-xhmikh-systasi-bioaeriu-biogas-typical-components>)

²⁵ Το μεθάνιο είναι το απλούστερο αλκάνιο, δηλαδή άκυκλος κορεσμένος υδρογονάνθρακας. Είναι το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου (70-90%). Σε κανονικές συνθήκες (25 °C, 1 atm) είναι αέριο άχρωμο και άοσμο, ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Διαλύεται ευκολότερα σε οργανικούς διαλύτες. Η ύπαρξή του δεν ανιχνεύεται εύκολα, ενώ με τον αέρα σχηματίζει εκρηκτικά μίγματα. Αυτός είναι ο λόγος που συχνά αναφέρονται εκρήξεις σε ανθρακωρυχεία. [51]

²⁶ Η πλειονότητα των υδρογονανθράκων βρίσκεται στα φυσικά αποθέματα αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου, οι οποίοι προέρχονται από την αποσύνθεση και ανασχηματισμό οργανικής ύλης που θάβεται στο υπέδαφος για χιλιετίες. [48]

²⁷ Το υδρόθειο είναι ένα άχρωμο, πολύ τοξικό και εύφλεκτο αέριο με τη χαρακτηριστική οσμή των κλούβιων αυγών. Είναι συχνά το αποτέλεσμα της αναερόβιας βακτηριδιακής αποδόμησης οργανικών ουσιών που περιέχουν θείο σε έλη και αποχετεύσεις. Επίσης, βρίσκεται στα ηφαιστειακά αέρια, στο φυσικό αέριο και στο νερό κάποιων πηγαδιών. Το ανθρώπινο σώμα επίσης παράγει μικρές ποσότητες υδρόθειου. [49]

²⁸ Η αμμωνία στις συνήθεις συνθήκες (T = 25 °C, P = 1 atm) είναι ένα άχρωμο αέριο με χαρακτηριστική καυστική και αποπνικτική οσμή. Το κατιόν αμμωνίου (NH₄⁺) αποτελεί αζωτούχο λίπασμα για τα φυτά. Αποτελεί, επίσης, άμεσα ή έμμεσα, προϊόν για συνθέσεις διαφόρων χημικών και φαρμακευτικών προϊόντων. Παρά την ευρύτατη χρήση της, είναι καυστική, διαβρωτική και δηλητηριώδης. Το μεγαλύτερο μέρος της καταναλώνεται για την παρασκευή οικιακών καθαριστικών.

²⁹ Σιλοξάνη είναι οποιαδήποτε χημική ένωση της μορφής R₂SiO, όπου το R είναι ένα άτομο υδρογόνου ή μια ομάδα υδρογονανθράκων. Ανήκουν στην ευρύτερη ομάδα των οργανοπυριτικών ενώσεων. [50]

Το CO_2 απομακρύνεται μέσα στις μονάδες αναβάθμισης του βιοαερίου και βοηθά στην αναμόρφωση αυτού σε βιομεθάνιο. Στις συμβατικές μονάδες συμπαραγωγής με βιοαέριο δε χρησιμοποιείται εξοπλισμός δέσμευσης CO_2 .

Το N_2 και το O_2 στο βιοαέριο βρίσκονται συνήθως σε αναλογία 4:1. Η παρουσία τους οφείλεται στην ανάμιξη του θερμού βιοαερίου με αέρα, για την απομάκρυνση του H_2S .

Η περιεκτικότητα της NH_3 στο βιοαέριο είναι συνήθως πολύ μικρή, και δεν υπερβαίνει το $0,1 \text{ mg/m}^3$. Η ύπαρξη αυξημένων συγκεντρώσεων αμμωνίας υποδηλώνει ότι κατά την αναερόβια χώνευση έχει χρησιμοποιηθεί υλικό με υψηλή συγκέντρωση σε άζωτο (π.χ. κοπριά πουλερικών).

Επίσης, η συγκέντρωση του H_2S στο βιοαέριο είναι καθοριστική για την ποιότητα του βιοαερίου. Η συγκέντρωσή του μπορεί να ξεπεράσει τα $0,2 \text{ \%κ.ό.}$, ποσότητα ικανή να προκαλέσει φθορές λόγω διάβρωσης στις σωληνώσεις και στη μηχανή συμπαραγωγής. Ένα ακόμη πρόβλημα που προκύπτει από την υψηλή συγκέντρωση υδρόθειου, είναι οι αυξημένες εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO_2).

Η παρουσία νερού, υπό 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 στο μηχανολογικό εξοπλισμό. Υψηλές συγκεντρώσεις υδρατμών καθιστούν ακόμα και το CO_2 επιβλαβές, λόγω του σχηματισμού μικρών ποσοτήτων ανθρακικού οξέος. Συνεπώς, η απομάκρυνση της υγρασίας είναι απαραίτητη πριν την εισαγωγή του βιοαερίου στη μηχανή συμπαραγωγής.

Οι σιλοζάνες, είναι ενώσεις του πυριτίου και προέρχονται από κατηγορίες υλικών που συμμετέχουν στην αναερόβια χώνευση, όπως τα αστικά στερεά ή υγρά απόβλητα. Έτσι, παρουσιάζονται συχνά στο βιοαέριο χωματερής ή σε εκείνο των βιολογικών καθαρισμών. Η παρουσία των σιλοζανών στο βιοαέριο είναι ανεπιθύμητη, γιατί τείνουν, όταν βρίσκονται σε υψηλές θερμοκρασίες, να αντιδρούν με το οξυγόνο και να σχηματίζουν SiO_2 , το οποίο επικάθεται σε διάφορα μέρη του μηχανολογικού εξοπλισμού δημιουργώντας τους μεγάλες φθορές. [47]

2.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το βιοαέριο παράγεται από την αναερόβια χώνευση κυρίως κτηνοτροφικών αποβλήτων, όπως λύματα και απορρίμματα χοιροστασιών, πτηνοτροφείων, βουστασιών και άλλων τέτοιων μονάδων, από τις κοπριές των ζώων και τη χώνευση των λυμάτων και αποβλήτων στις χωματερές, στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (XYTA), από λύματα βιολογικών καθαρισμών, καθώς και από την αποσύνθεση του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων.

Δηλαδή, το βιοαέριο παράγεται από τα αέρια που εκλύονται κατά την αποσύνθεση του οργανικού μέρους των αστικών απορριμμάτων, των αποχετευτικών λυμάτων, των ζωικών αποβλήτων, των οργανικών βιομηχανικών αποβλήτων και της επεξεργασίας αυτών, συχνά σε συνδυασμό με ενεργειακά φυτά (δηλαδή αυτά που καλλιεργούνται με σκοπό την παραγωγή ενέργειας και μόνο).

Το βιοαέριο μπορεί να τροφοδοτήσει μηχανές εσωτερικής καύσης και καυστήρες αερίου ή αεριοστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Το βιοαέριο μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στις μεταφορές, μετά την απομάκρυνση του υδρόθειου, της αμμωνίας και των υδρατμών, και την

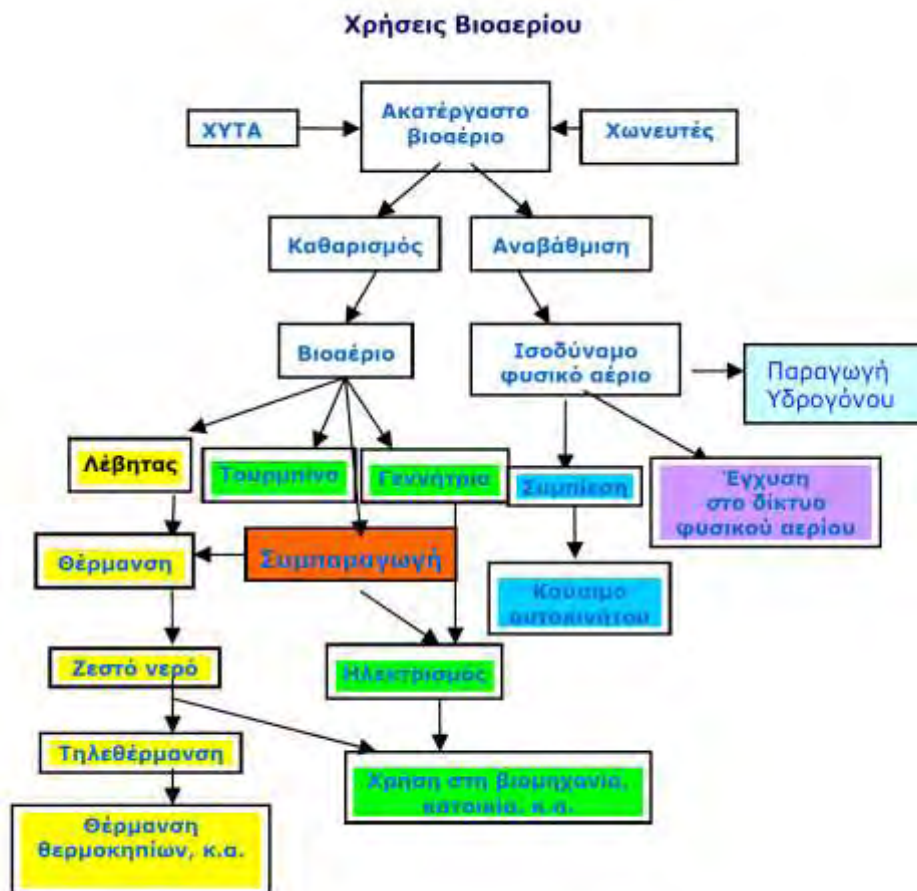
αναβάθμισή του, δηλαδή την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα και την προσθήκη προπανίου. [26]

Η παραγωγή θερμότητας από βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη αναγκών βιομηχανιών, βιοτεχνιών, μικρών και μεγάλων επιχειρήσεων που απαιτούν θερμικά φορτία για την παραγωγική τους διαδικασία. Ακόμη, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση κτιρίων και κατοικιών με τη δημιουργία ενός μικρού δικτύου τηλεθέρμανσης.

Όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη βιομάζα μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του παραγωγού και το πλεόνασμα της ενέργειας (αν υπάρχει) να πωληθεί στη Δ.Ε.Η.

Ένα παράδειγμα συμπαραγωγής είναι το εργοστάσιο βιολογικού καθαρισμού στα Γιάννενα. Στο εργοστάσιο αυτό, το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες του εργοστασίου, αλλά και θερμικής ενέργειας για τη διεργασία του βιολογικού καθαρισμού των λυμάτων. Το πλεόνασμα καίγεται για να μην απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα.

Ένα άλλο παράδειγμα, είναι η δημιουργία εργοστασίου αποτέφρωσης απορριμμάτων, επίσης στα Γιάννενα, το οποίο θα μπορεί να επεξεργάζεται 150-200 τόνους απορριμμάτων την ημέρα. [30]



Εικόνα 6: Οι χρήσεις του βιοαερίου. (Πηγή:

http://library.tee.gr/digital/kdth/kdth_3460/kdth_3460_zafiris.pdf)

2.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ

Το βιοαέριο, λοιπόν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρισμού, εδαφοβελτιωτικών λιπασμάτων, ενώ αφού επεξεργαστεί και αναβαθμιστεί, μπορεί ακόμη να διοχετευτεί στο δίκτυο του φυσικού αερίου ή να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων.

Η διαφορά του με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα (π.χ. λιγνίτης, πετρέλαιο), είναι ότι το βιοαέριο είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Δηλαδή, το συνολικό ισοζύγιο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγεται από την καύση του βιοαερίου

είναι ίσο με αυτό που απορροφάται κατά την παραγωγή του, άρα δεν επιβαρύνεται επιπλέον η ατμόσφαιρα.

Η μεγάλη περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο, είναι αυτήν που το καθιστά κατάλληλο ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας, ενώ το πλεονέκτημά του είναι ότι παράγεται από απορρίμματα, άρα υπάρχει άφθονο γύρω μας.

2.4 ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

2.4.1 Κατασκευή και εγκατάσταση

Η επιλογή της θέσης και ο κατάλληλος σχεδιασμός μιας μονάδας συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού από βιοαέριο είναι πολύ καθοριστικοί παράγοντες.

Όλες οι παράμετροι λειτουργίας της μονάδας βελτιστοποιούνται: από το είδος, την ποσότητα και τον τρόπο προμήθειας των πρώτων υλών, μέχρι την παραγωγή του βιοαερίου και τη διαχείριση του υγρού υπολείμματος της χώνευσης. Η μονάδα παραγωγής βιοαερίου μπορεί να εγκατασταθεί είτε κοντά σε κάποιο αγρόκτημα ή μέσα σε μια βιομηχανική περιοχή.

Η ενδεχόμενη εγκατάσταση της μονάδας σε περιοχή κοντά στους καταναλωτές θερμότητας, είναι επίσης επιθυμητή. Εκτός από τη δυνατότητα εμπορικής εκμετάλλευσης της θερμότητας σε μια τέτοια περίπτωση, μειώνεται επίσης το κόστος σύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Όσον αφορά την εγκατάσταση, αρχικά τοποθετούνται οι δεξαμενές υποδοχής, οι χωνευτήρες-αντιδραστήρες, οι αναδευτήρες και οι αντλίες. Έπειτα, εγκαθίσταται η μονάδα συμπαραγωγής και γίνονται οι ηλεκτρολογικές συνδέσεις και οι

αυτοματισμοί. Τέλος, κατασκευάζεται το δίκτυο σωληνώσεων για τη μεταφορά της θερμότητας εντός και εκτός της μονάδας (τηλεθέρμανση).

Εκτός των παραπάνω, είναι επίσης απαραίτητη η έγκυρη και έγκαιρη ενημέρωση των κατοίκων της περιοχής, παρόλο που οι οχλήσεις που προκαλούνται από μια τέτοια μονάδα (π.χ. οσμές, θόρυβος) είναι πολύ περιορισμένες. Τα οφέλη, βέβαια, από τη λειτουργία μιας τέτοιας μονάδας, τόσο για το περιβάλλον όσο και για τον πληθυσμό της περιοχής όπου εγκαθίσταται, είναι πολλά. [53]

2.4.2 Επιλογή α' ύλης

Ανάλογα με την πρώτη ύλη βιομάζας που χρησιμοποιείται, υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη μονάδων παραγωγής βιοαερίου: οι αγροτικές και οι βιομηχανικές.

Στις αγροτικές μονάδες γίνεται ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας, η οποία προκύπτει από αγροκτηνοτροφικές δραστηριότητες. Η ζωική κοπριά και τα ενσώματα ενεργειακών καλλιεργειών (π.χ. καλαμπόκι) είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες για τη λειτουργία τέτοιων μονάδων.

Στις βιομηχανικές μονάδες αναερόβιας χώνευσης, η πρώτη ύλη είναι οργανικά βιομηχανικά απόβλητα σε στερεή ή υγρή μορφή.

Για παράδειγμα, η χρησιμοποίηση στερεών υπολειμμάτων τροφίμων, αποβλήτων σφαγείων, υγρών αποβλήτων τυροκομείων, ελαιοτριβείων και χυμοποιείων, πραγματοποιείται σε βιομηχανικές μονάδες.

Το είδος της οργανικής πρώτης ύλης που επεξεργάζεται μια μονάδα αναερόβιας χώνευσης καθορίζει τη μορφή και τη λειτουργία αυτής.

Η προ-επεξεργασία της πρώτης ύλης σε υψηλές θερμοκρασίας (παστερίωση ή/ και αποστείρωση) είναι συνήθως απαραίτητη στις βιομηχανικές μονάδες

παραγωγής βιοαερίου, πριν εισέλθει στο χωνευτήρα. Για την αποφυγή έκλυσης δυσάρεστων οσμών, ο εξοπλισμός επεξεργασίας και τροφοδοσίας των στερεών βιομηχανικών αποβλήτων πρέπει να εγκαθίσταται σε κλειστό χώρο.

Από την άλλη, μια αγροτική μονάδα παραγωγής βιοαερίου είναι 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 προ-επεξεργασία της βιομάζας.

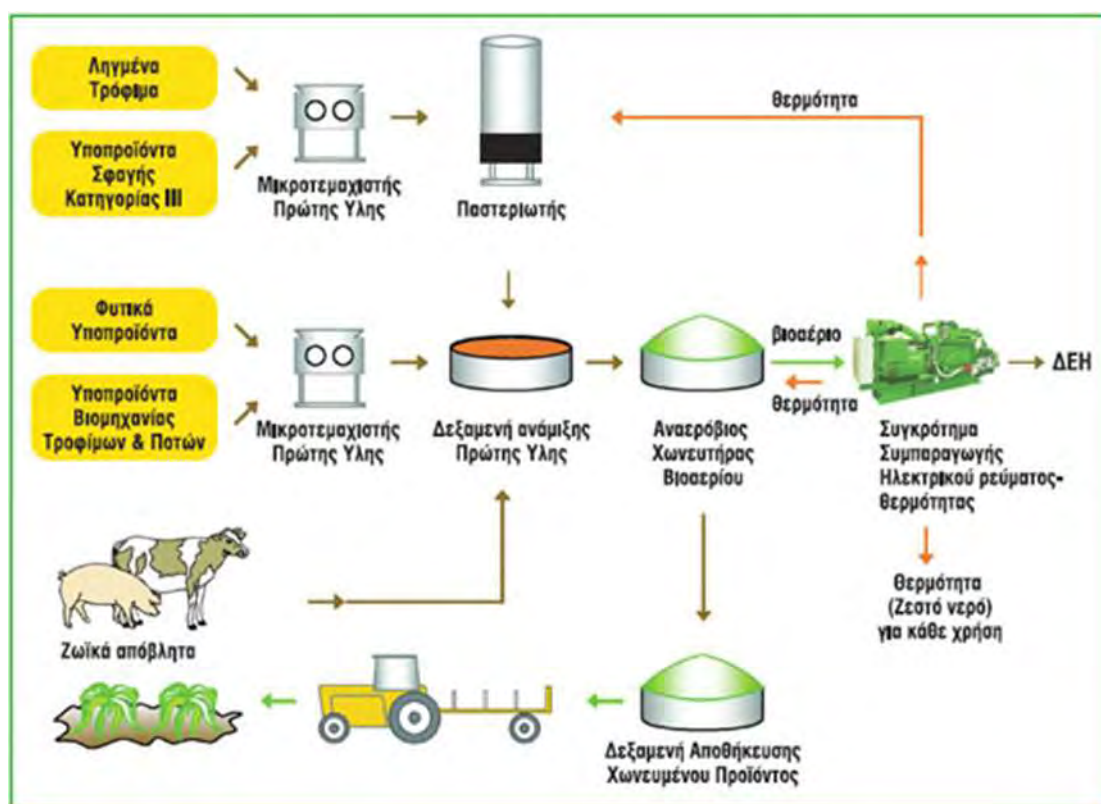
Επιπροσθέτως, το είδος της πρώτης ύλης είναι καθοριστικό για την ισχύ της μονάδας βιοαερίου και της ενέργειας που θα παράγει. Δηλαδή, υλικά όπως το ενσίρωμα καλαμποκιού και τα υπολείμματα τροφίμων παράγουν περισσότερη ενέργεια από ότι η κοπριά βοοειδών, η οποία βέβαια είναι πιο εύκολα επεξεργάσιμη.

Συνήθως προτείνονται μονάδες συνδυασμένης αναερόβιας χώνευσης με συνδυασμό αγροτικών και βιομηχανικών αποβλήτων. Τα πλεονεκτήματά τους σε σχέση με τις αμιγώς αγροτικές ή βιομηχανικές μονάδες είναι: σταθερότερη διεργασία, μεγαλύτερη δυνατότητα επεξεργασίας υλικών, υψηλότερη παραγωγή βιοαερίου και ενέργειας, και μεγαλύτερα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. [52]

2.4.3 Διαδικασία παραγωγής βιοαερίου

Σε κλειστή – στεγανή δεξαμενή (χωνευτήρας) αποσυνθέτονται οι οργανικές ουσίες και παράγεται βιοαέριο (κυρίως μεθάνιο και μικρότερες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, υδρατμοί και οργανικές ενώσεις). Παράγεται, επίσης, υγρό προϊόν στην έξοδο του χωνευτήρα, το οποίο ανάλογα με το είδος της α' ύλης είναι πλούσιο σε άζωτο, φώσφορο, κάλιο, κ.λπ. Το υγρό προϊόν μετά την αναερόβια χώνευση διαχωρίζεται σε υγρό και στερεό. Το στερεό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα (εδαφοβελτιωτικό), ενώ το υγρό χρησιμοποιείται κυρίως για

πότισμα. Και τα δύο μπορούν να διατεθούν στην αγορά σε ανταγωνιστική τιμή, επιφέροντας πρόσθετα κέρδη στη μονάδα. [21]



Εικόνα 7: Σχεδιάγραμμα μιας τυπικής μονάδας παραγωγής βιοαερίου. (Πηγή:

<http://www.mebika.eu/index.php?cid=17>)

2.4.4 Πλεονεκτήματα των μονάδων βιοαερίου

Το βιοαέριο, εκτός από τα προφανή οφέλη που ήδη αναφέρθηκαν, όπως αυτό της προστασίας του περιβάλλοντος και της απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, εμφανίζει κι άλλα πλεονεκτήματα, όπως:

- Η επιδότηση που δίνεται για την κατασκευή μονάδας παραγωγής βιοαερίου και οι εγγυημένες τιμές πώλησης του ρεύματος μπορεί να προσφέρουν στους παραγωγούς επιπλέον έσοδα.
- Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στις μονάδες παραγωγής βιοαερίου είναι υλικά κατώτερης ποιότητας που υποβαθμίζουν την ποιότητα της

περιοχής όπου παράγονται (π.χ. ζωικές κοπριές, οργανικά απόβλητα κ.λπ.). Η συλλογή και η ενεργειακή αξιοποίηση τέτοιων υπολειμμάτων, όχι μόνο προσφέρει πολύτιμη πράσινη ενέργεια στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, αλλά περιορίζει και τα φαινόμενα ρύπανσης.

- Με τη 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 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Παράλληλα, κατά την αερόβια χώνευση καταναλώνονται τεράστια ποσά ενέργειας, σε αντίθεση με τις μονάδες αναερόβιας χώνευσης, όπου το παραγόμενο βιοαέριο διαθέτει αξιόλογο ενεργειακό περιεχόμενο.
- Με τις μονάδες βιοαερίου διευκολύνεται η διαχείριση και η τελική διάθεση των οργανικών αποβλήτων λόγω της μείωσης του όγκου τους, που πραγματοποιείται στον αναερόβιο χωνευτήρα.
- Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται ενεργειακά φυτά και το υπόλειμμα της χώνευσης ανακυκλώνεται στα χωράφια, δεν απαιτείται η χρήση συνθετικών λιπασμάτων. Δημιουργείται έτσι, ένας κλειστός κύκλος θρεπτικών συστατικών και πολύτιμων ιχνοστοιχείων, ενώ μειώνεται η ρύπανση των υπογείων υδάτων.
- Κατά την αποθήκευση του υγρού υπολείμματος της χώνευσης εκλύονται πολύ λιγότερες οσμές από ότι κατά τη διάθεση μη επεξεργασμένων αποβλήτων στα χωράφια.
- Με το βιοαέριο επιτυγχάνεται μεγάλη ελάττωση ή και πλήρης εξαφάνιση των παθογόνων μικροοργανισμών στο υγρό υπόλειμμα, έτσι το υπόλειμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας ως λίπασμα στα χωράφια.

- Η υγρή ζωική κοπριά είναι πιο αραιωμένη μετά την αναερόβια χώνευση κι έτσι διεισδύει ευκολότερα στο έδαφος, οπότε παρέχεται καλύτερη λίπανση στα χωράφια και με οικολογικότερο τρόπο. [55]

2.5 ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΖΩΙΚΩΝ ΥΠΟΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Παρατηρείται συχνά το φαινόμενο εναπόθεσης των αποβλήτων σφαγείων, κρεοπωλείων και βιομηχανιών τροφίμων σε παράνομες χωματερές, κάδους απορριμμάτων, ρέματα κ.λπ. Άμεση συνέπεια αυτού είναι τόσο το οικονομικό κόστος που προκύπτει από τα μεγάλα πρόστιμα που επιβάλλει η Ευρωπαϊκή Ένωση, όσο και το περιβαλλοντικό κόστος και τους άμεσους κινδύνους για τη δημόσια υγεία.

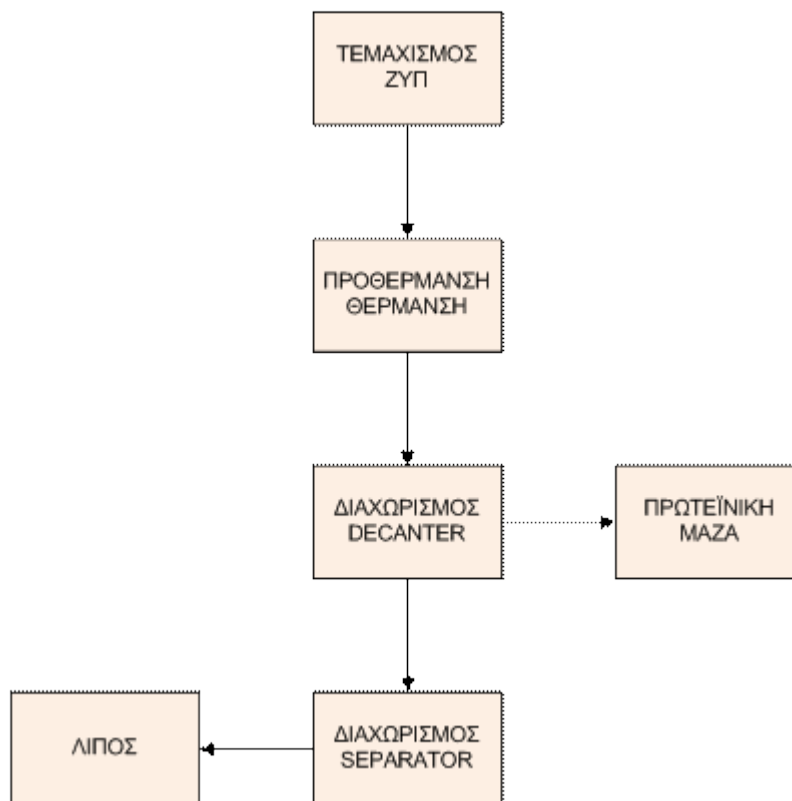
Σήμερα υπάρχουν βελτιωμένες τεχνικές αξιοποίησης των ζωικών αποβλήτων με γνώμονα κυρίως τα περιβαλλοντικά και ενεργειακά οφέλη που προκύπτουν.

Η τεχνολογία της θερμικής επεξεργασίας/ αδρανοποίησης (rendering) αναφέρεται στην ανακύκλωση των ζωικών υποπροϊόντων και υπολειμμάτων τροφών σε μια πληθώρα προϊόντων με προστιθέμενη αξία, κατά την οποία χρησιμοποιείται θερμότητα υπό μορφή ατμού και εφαρμόζονται τεχνολογίες διαχωρισμού με απώτερο σκοπό την απομάκρυνση της υγρασίας και των πρωτεϊνούχων υλών από τα λίπη. [64]

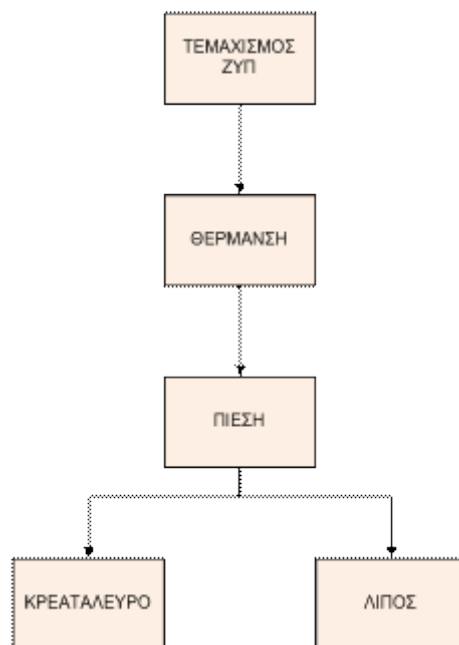
2.5.1 Τεχνικές αδρανοποίησης ζωικών υποπροϊόντων

Δύο είναι οι κύριες τεχνικές που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως, όσον αφορά την αδρανοποίηση ζωικών υποπροϊόντων:

- Η τεχνική της υγρής αδρανοποίησης (wet rendering) (βλ. Διάγραμμα 1).
- Η τεχνική της ξηρής αδρανοποίησης (dry rendering) (βλ. Διάγραμμα 2).



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής της τεχνικής wet rendering.



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα ροής της τεχνικής dry rendering.

Μια διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων έγκειται στον τρόπο θέρμανσης και διαχωρισμού των ζωικών υποπροϊόντων. Στην υγρή αδρανοποίηση, η θέρμανση γίνεται μέσα σε σωλήνα τήξης και σε αντιδραστήρα, όπου ατμός μεταφέρεται στη μάζα του υποπροϊόντος για μικρό χρονικό διάστημα. Με αυτήν τη διαδικασία επιτυγχάνεται ρευστοποίηση του λίπους χωρίς να υποστεί βλάβες από τη θέρμανση. Στην ξηρή αδρανοποίηση, η μάζα θερμαίνεται εξωτερικά σε δοχείο θέρμανσης, με χρήση ατμού σε θερμοκρασία πάνω από 130 °C, με στόχο την εξάτμιση όλων των υγρών. Αυτήν η διαδικασία απαιτεί θέρμανση για μεγάλο χρονικό διάστημα, 30'-60' ή και περισσότερο, με άμεση συνέπεια την υποβάθμιση της ποιότητας του λίπους από την παρατεταμένη θέρμανση.

Μία δεύτερη διαφορά μεταξύ των μεθόδων έγκειται στον τρόπο διαχωρισμού του λίπους από την πρωτεϊνική μάζα. Στην περίπτωση της υγρής αδρανοποίησης, όλο το μίγμα είναι νερού. Επομένως, με τη βοήθεια του διαχωριστή διαχωρίζεται το λίπος και το νερό από την παραγόμενη πρωτεϊνική μάζα. Στην περίπτωση της ξηρής αδρανοποίησης, το λίπος διαχωρίζεται με χρήση πρέσας βαρέως τύπου. Τα τελικά προϊόντα είναι το ξηρό κρεατάλευρο, το οποίο μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, και το παραγόμενο λίπος, το οποίο περιέχει πολλά στερεά.

Στην περίπτωση της υγρής αδρανοποίησης τα τελικά προϊόντα είναι υψηλής ποιότητας και εμπορικότητας. Το παραγόμενο ρευστοποιημένο λίπος είναι υψηλής καθαρότητας και χρησιμοποιείται κυρίως σε μονάδες βιοντίζελ ή σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Τα τελικά προϊόντα της ξηρής αδρανοποίησης χρησιμοποιούνται για ζωοτροφές ή για καύση. [63]

2.5.2 Παραγωγική διεργασία μονάδας αδρανοποίησης ζωικών υποπροϊόντων

Η παραγωγική διαδικασία μιας μονάδας αδρανοποίησης ζωικών υποπροϊόντων μπορεί να χωριστεί σε 5 επιμέρους στάδια.

- 1. Τμήμα τροφοδοσίας της α' ύλης (ζωικά υποπροϊόντα).** Τα ζωικά υποπροϊόντα βρίσκονται σε θάλαμο ψύξης σε κατάλληλη θερμοκρασία, ώστε να παραμένουν αναλλοίωτα μέχρι την τελική τους επεξεργασία.
- 2. Τμήμα μείωσης του μεγέθους της α' ύλης.** Για να γίνει η επεξεργασία της ακατέργαστης α' ύλης στη μονάδα αδρανοποίησης πρέπει πρώτα να πολτοποιηθεί. Με την πολτοποίηση επιτυγχάνεται ενιαία κοκκομετρία της ακατέργαστης μάζας, με αποτέλεσμα η εξαγωγή του λίπους και η μετάδοση θερμότητας στη μάζα να είναι ευκολότερη και αποδοτικότερη.
- 3. Τμήμα προθέρμανσης και θερμικής επεξεργασίας της α' ύλης.** Η α' ύλη τροφοδοτείται σε ενδιάμεση δεξαμενή. Η ενδιάμεση δεξαμενή με την ενσωματωμένη αντλία εξασφαλίζει ομαλή τροφοδοσία της τεμαχισμένης α' ύλης στο σύστημα θέρμανσης της μονάδας. Η θέρμανση της α' ύλης στοχεύει στην αδρανοποίησή της, την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, αλλά και τη διευκόλυνση της διάσπασης των κυτταρικών δεσμών και την αποδέσμευση του λίπους από αυτούς.
- 4. Τμήμα διαχωρισμού αδρανοποιημένης μάζας.** Η αδρανοποιημένη μάζα οδηγείται στο διαχωριστή (separator), όπου διαχωρίζεται το υγρό κλάσμα από το στερεό. Το στερεό κλάσμα περιέχει κυρίως τη μάζα των πρωτεϊνικών ιστών, ενώ το υγρό κλάσμα περιέχει το λίπος, το νερό των ιστών και τα συμπυκνώματα του ατμού που χρησιμοποιήθηκαν για τη θέρμανση.
- 5. Τμήμα διαχωρισμού του λίπους.** Μετά την έξοδο από το διαχωριστή στερεών-υγρών, το υγρό κλάσμα, που αποτελείται κυρίως από λίπος και νερό,

οδηγείται σε ενδιάμεσο δοχείο αποθήκευσης, όπου για το διαχωρισμό του καθαρού λίπους απαιτείται η χρήση φυγοκεντρικού διαχωριστήρα (decanter). Στο decanter πραγματοποιείται ο διαχωρισμός του υγρού κλάσματος σε λίπος, απόνερα και λάσπη. Δηλαδή, με τη βοήθεια μιας αντλίας το λίπος αποθηκεύεται σε μια δεξαμενή αποθήκευσης. [65]

2.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΖΩΙΚΑ ΥΠΟΠΡΟΪΟΝΤΑ

Ένα σφαγείο μπορεί να αξιοποιήσει μεγάλη ποικιλία οργανικών πρώτων υλών (βιομάζα), όπως ζωικά απόβλητα και υπολείμματα, και να παράγει βιοαέριο. Με την αναερόβια χώνευση των πρώτων υλών παράγεται το βιοαέριο, το οποίο έπειτα από επεξεργασία μπορεί:

- Να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στη μονάδα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού.
- Να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων.
- Να διοχετευτεί σε δίκτυο φυσικού αερίου.

Τα περισσότερα είδη βιομάζας μπορούν να αναμιχθούν μεταξύ τους. Διαφορά υπάρχει μόνο στο σύστημα τροφοδοσίας. Για στερεά βιομάζα χρησιμοποιούνται κοχλιομεταφορείς, ενώ για υγρή βιομάζα χρησιμοποιούνται δεξαμενές με αντλιοστάσια. Αν αυξηθεί η ποσότητα της εισερχόμενης βιομάζας, τότε αυξάνεται αναλόγως και ο αριθμός των αντιδραστήρων.

Η υγρή βιομάζα μεταφέρεται μέσω συστήματος αντλιών και αγωγών, εάν το σημείο παραγωγής της (π.χ. σφαγείο) βρίσκεται σε μικρή απόσταση από την εγκατάσταση βιοαερίου ή με οχήματα, όταν η απόσταση είναι μεγαλύτερη. Από την

άλλη, η στερεά βιομάζα μεταφέρεται με ταινιομεταφορείς, όταν η απόσταση είναι μικρή, και με οχήματα όταν η απόσταση είναι μεγαλύτερη. Η υγρή α' ύλη αποθηκεύεται αρχικά σε δεξαμενές προ-επεξεργασίας, όπου ομογενοποιείται και θερμαίνεται ή ψύχεται, ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία. Συνήθως αποθηκεύονται εκεί για 2-3 ημέρες. Η στερεή α' ύλη μπορεί κι αυτή να τροφοδοτηθεί σε αυτές τις δεξαμενές ή στο χωνευτήρα μέσω κοχλιομεταφορέων.

Μετά την προ-επεξεργασία τα υλικά μεταφέρονται στους χωνευτήρες. Οι χωνευτήρες είναι αεριο-στεγανές και θερμομονωτικές δεξαμενές, οι οποίες κατασκευάζονται από αντιδιαβρωτικό σκυρόδεμα ή μέταλλο. Προκειμένου να διαμορφωθούν οι κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, απαιτούνται μεσόφιλες θερμοκρασίες (30-41 °C). Σε κάποιες περιπτώσεις επιλέγονται θερμόφιλες θερμοκρασίες (περίπου 55 °C). Η ανάμιξη της βιομάζας μέσα στο χωνευτήρα εξαρτάται από το είδος της πρώτης ύλης, την υγρασία και άλλα χαρακτηριστικά. Η ανάμιξη μπορεί να γίνει με τη βοήθεια αναδευτήρων, οι οποίοι κατασκευάζονται από ανοξείδωτο ατσάλι.

Οι χωνευτήρες θερμαίνονται μέσω δικτύου σωληνώσεων. Σε περίπτωση που η μονάδα συνδέεται με σύστημα συμπαραγωγής, η θέρμανση του χωνευτήρα μπορεί να γίνει με το νερό ψύξης της γεννήτριας. Αν η εγκατάσταση προορίζεται μόνο για παραγωγή βιοαερίου, τότε το ζεστό νερό λαμβάνεται από ειδικό λέβητα βιοαερίου (ή φυσικού αερίου). Η συνολική κατανάλωση θερμότητας και ηλεκτρισμού μιας εγκατάστασης βιοαερίου ισούται συνήθως με 5-10% της παραγόμενης ενέργειας.

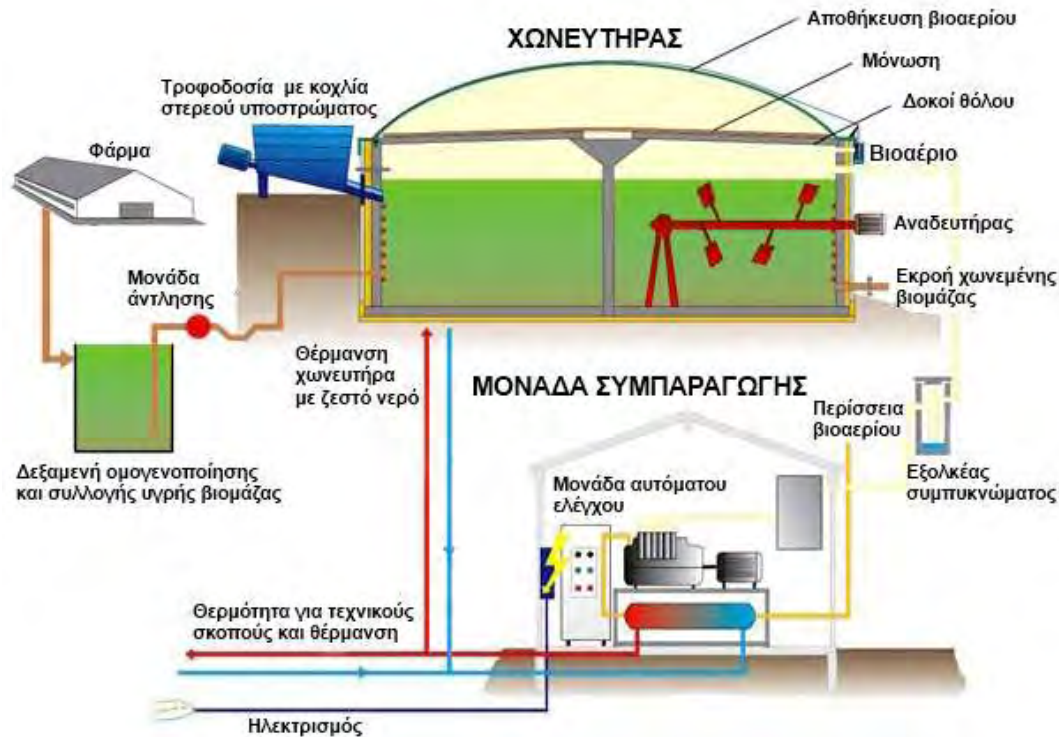
Όλη η χώνευση εκτελείται με τη βοήθεια αναερόβιων μικροοργανισμών, οι οποίοι εγχέονται μέσα στο χωνευτήρα μόνο μια φορά κατά την εκκίνηση λειτουργίας (εκτός εάν η βιομάζα εμπεριέχει ήδη αυτά τα βακτήρια, π.χ. ζωικά απόβλητα). Ο χωνευτήρας σφραγίζεται, ώστε να διατηρούνται συνθήκες πλήρους έλλειψης

οξυγόνου (αναερόβια χώνευση). Τα προϊόντα της αναερόβιας χώνευσης είναι το βιοαέριο (μεθάνιο) και το οργανικό/ βιολογικό λίπασμα (υγρό και στερεό).

Στη συνέχεια, το βιοαέριο αποθηκεύεται σε σύστημα προσωρινής αποθήκευσης. Μέσα σε αυτό το σύστημα η πίεση και η σύνθεση του βιοαερίου εξισορροπούνται. Έπειτα, το βιοαέριο μεταφέρεται προς το σύστημα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού (Combined Heat and Power, CHP). Το σύστημα διαχείρισης του βιοαερίου μπορεί και απομακρύνει την υγρασία και το υδρόθειο, ενώ ρυθμίζει επίσης τις ιδιότητές του. Οι μεγάλες εγκαταστάσεις είναι εξοπλισμένες με πυρσούς καύσης της τυχόν περίσσειας παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου. Σε περίπτωση που το παραγόμενο βιοαέριο δεν προορίζεται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τότε η εγκατάσταση εξοπλίζεται με σύστημα απομάκρυνσης του διοξειδίου του άνθρακα.

Τελικά, η χωνεμένη βιομάζα, η οποία χωρίζεται σε υγρό και στερεό κλάσμα μέσω μηχανικού διαχωριστή και οδηγείται σε συστήματα αποθήκευσης, αποτελεί κατάλληλο οργανικό λίπασμα. Το υγρό κλάσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη ρύθμιση της επιθυμητής υγρασίας μέσα στους χωνευτήρες με ανακυκλοφορία ενός ποσοστού του. Το υπόλοιπο ποσοστό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση καλλιεργειών και υγρή λίπανση, αφού είναι πλούσιο σε άζωτο. Το στερεό κλάσμα μπορεί να αξιοποιηθεί εμπορικά ως οργανικό λίπασμα, εδαφοβελτιωτικό, σε επιχωματώσεις ή ως υλικό κατά την αποκατάσταση λατομείων. [32]

Όλα τα παραπάνω συστήματα φαίνονται πιο αναλυτικά στο Παράρτημα ΙΙΙ.



Εικόνα 8: Μονάδα βιοαερίου με πρώτη ύλη ζωικά απόβλητα. (Πηγή:

http://envima.gr/el/biogas_plants/pws_leitourgei_mia_monada)

2.7 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Το τελευταίο τμήμα μιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου είναι το σύστημα συμπαραγωγής. Μια μηχανή εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιεί ως καύσιμό της βιοαέριο, κινεί μια γεννήτρια ισχύος για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού.

Η ανάκτηση της θερμότητας από τη μηχανή εσωτερικής καύσης (π.χ. καυσάερια) συνεπάγεται ταυτόχρονη παραγωγή θερμότητας (υπό μορφή θερμού νερού ή ατμού).

Τα συστήματα συμπαραγωγής επειδή παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα, έχουν αυξημένη απόδοση εν συγκρίσει με τα συστήματα που παράγουν αποκλειστικά ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι, η συνολική απόδοση ενός

συστήματος συμπαραγωγής κυμαίνεται μεταξύ 80 και 90%. Δηλαδή, 80-90% του ενεργειακού περιεχομένου του βιοαερίου που καίγεται στη μηχανή, μετατρέπεται σε εκμεταλλεύσιμη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Αντιθέτως, η απόδοση των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής δύσκολα υπερβαίνει το 40%.

Κατά κανόνα, οι μεγαλύτερες μονάδες έχουν και υψηλότερη απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια. Για μικρότερες μονάδες, ο συνδυασμός του βιοαερίου με πετρέλαιο ή βιοντίζελ αυξάνει περισσότερο την απόδοση του συστήματος.

Η παραγόμενη θερμότητα προέρχεται κατά κύριο λόγο από το νερό ψύξης της μηχανής συμπαραγωγής, το οποίο βρίσκεται σε θερμοκρασία 80-90 °C. Με τη χρήση του θερμικού περιεχομένου των καυσαερίων λαμβάνονται υψηλότερες θερμοκρασίες (460-550 °C) για περαιτέρω ανάκτηση θερμότητας και παραγωγή ατμού.

Επειδή η αναερόβια χώνευση λαμβάνει χώρα σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες (35-38 °C ή 53-56 °C), θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μεγάλο μέρος της παραγόμενης θερμότητας, ώστε να διατηρηθούν αυτές οι θερμοκρασίες μέσα στους χωνευτήρες. Σε κάποιες περιπτώσεις είναι, επίσης, αναγκαία η παστερίωση ή αποστείρωση των πρώτων υλών σε ακόμη υψηλότερες θερμοκρασίες (70 και 135 °C, αντίστοιχα). Επιπλέον, αρκετές φορές είναι απαραίτητη η απομάκρυνση μεγάλων ποσοτήτων νερού από το υπόλειμμα για την ελάττωση του όγκου του και την καλύτερη διαχείρισή του. [54]

2.7.1 Μονάδα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού

Οι μονάδες συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού (Combined Heat and Power units – CHP units) χρησιμοποιούνται για τη συνδυασμένη παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Η θερμότητα των συμβατικών γεννητριών δεν αξιοποιείται και απελευθερώνεται στο περιβάλλον, ενώ η μονάδα συμπαραγωγής χρησιμοποιεί τη

θερμότητα για θέρμανση συνήθως των αντιδραστήρων. Με τον τρόπο αυτόν εξοικονομούνται μεγάλες ποσότητες αερίου, ενώ η παραγόμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλους σκοπούς, όπως τηλεθέρμανση, θέρμανση θερμοκηπίων, ψύξη κ.α., όπως αναφέρθηκε και στο 1^ο Κεφάλαιο.

Τα πλεονεκτήματα των μονάδων συμπαραγωγής είναι:

- Μειωμένα κόστη λειτουργίας.
- Μεγάλος βαθμός απόδοσης (85 – 90 %).
- Μεγάλη ποικιλία εξοπλισμού.
- Μεταβολή δυναμικότητας³⁰ με καλά χαρακτηριστικά λειτουργίας.
- Αυτοματοποιημένος έλεγχος.
- Εύκολη λειτουργία και εγκατάσταση.
- Προσαρμογή στις διεθνείς προδιαγραφές, όσον αφορά στην εκπομπή τοξικών καυσαερίων.
- Αποφυγή ρύπανσης περιβάλλοντος.

Μια μονάδα συμπαραγωγής αποτελείται από:

- Μηχανή εσωτερικής καύσης.
- Πλαίσιο στήριξης της μηχανής.
- Εναλλάκτη (τάση 400V, συχνότητα 50Hz).
- Πίνακα διανομής ηλεκτρισμού.
- Σύστημα ψύξης με εναλλάκτη θερμότητας.
- Κοντέινερ με ηχομόνωση και σύστημα εξαερισμού. [32]

³⁰ Λέγεται αλλιώς και παραγωγική ικανότητα, και είναι η οριακή ικανότητα ενός παραγωγικού συστήματος να παράγει προϊόντα σε μια χρονική περίοδο. Είναι, δηλαδή, η μέγιστη ποσότητα των τελικών προϊόντων, που μπορεί να παράγει το σύστημα σε ορισμένη χρονική περίοδο Στην περίπτωση που δεν είναι δυνατό να γίνει χρήση κοινής φυσικής μονάδας για τη μέτρηση της ποσότητας του τελικού προϊόντος, δυναμικότητα θεωρείται η μέγιστη ποσότητα του κρίσιμου πόρου που διαθέτει το σύστημα στη μονάδα του χρόνου. [43]



Εικόνα 9: Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. (Πηγή:
http://envima.gr/el/biogas_plants/fotografies_stoixeiwn_egkatastasis_bioaeriou)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Οι μελέτες για την παραγωγή ενέργειας μέσω αναερόβιας χώνευσης υποπροϊόντων και αποβλήτων σφαγείων ξεκίνησε πριν αρκετά χρόνια, όταν πρώτοι το 2002 οι E. Salminen και J. Rintala εξέτασαν το δυναμικό της αναερόβιας χώνευσης για την παραγωγή ενέργειας από υποπροϊόντα σφαγείων πουλερικών και απόβλητα σφαγείων. Αρχικά, περιέγραψαν και ποσοτικοποίησαν τα οργανικά στερεά υποπροϊόντα και απόβλητα που παράγονται στα πτηνοτροφεία και στα σφαγεία πουλερικών, και εξέτασαν την ανάκτηση και τις επιλογές διάθεσής τους. Έπειτα, εξέτασαν ορισμένες βασικές πτυχές της αναερόβιας χώνευσης που θεωρείται σημαντική για τη χώνευση των στερεών αποβλήτων σφαγείων. Τελικά, παρουσίασαν μια επισκόπηση των μελλοντικών δυνατοτήτων και πρόσφατων εμπειριών της επεξεργασίας αναερόβιας χώνευσης αυτών των αποβλήτων. [8]

Αργότερα το 2007, οι Alessandra Bormann Garcia Valladão, Denise Maria Guimarães Freire και Magali Christie Cammarota διεξήγαγαν δοκιμές ενζυματικής υδρόλυσης και αναερόβιας βιοαποδόμησης σε λύματα σφαγείων πουλερικών. Η ενισχυμένη αποδοτικότητα της αναερόβιας επεξεργασίας που σχετίζεται με τα ακατέργαστα λύματα επιτεύχθηκε όταν χρησιμοποιήθηκε μια ενζυματική ομάδα με συγκέντρωση 0,1% στο στάδιο της προ-υδρόλυσης. [5]

Δύο χρόνια αργότερα (2009), οι Audrey Battimelli, Hélène Carrère και Jean-Philippe Delgenès μελέτησαν τη σαπωνοποίηση³¹ με θερμοχημική προ-επεξεργασία λιπαρών αποβλήτων σφαγείων. Εξετάστηκε, επίσης, η επίδραση της αιθανόλης, πάνω στη βιοαποδόμηση των ακατέργαστων αποβλήτων. Οι στόχοι της μελέτης ήταν να ενισχυθεί η μεθανιοποίηση των λιπαρών αποβλήτων και να βρεθεί ένας σύνδεσμος μεταξύ βιοαποδόμησης και βιοδιαθεσιμότητας. Η αναερόβια χώνευση των ακατέργαστων, σαπωνοποιημένων αποβλήτων και αποβλήτων με συνδυασμένο υπόστρωμα διεξήχθη με τρόπο διαλείποντος έργου υπό μεσόφιλες και θεرمόφιλες συνθήκες. [6]

Έπειτα, οι Sureewan Sittijunda, Alissara Reungsang και Sompong O-thong (2010) εξέτασαν τη λάσπη σφαγείου πουλερικών από μονάδα επεξεργασίας λυμάτων μεταποίησης κοτόπουλου για την καταλληλότητά της ως υπόστρωμα για τη ζύμωση παραγωγής υδρογόνου. Η λάσπη χωνεύτηκε δύο φορές μέσω αναερόβιας θεرمόφιλης χώνευσης στους 55 °C με διαφορετικούς χρόνους παραμονής, προτού χρησιμοποιηθεί ως υπόστρωμα. [17]

Την ίδια χρονιά (2010), οι A. Battimelli και J.P. Delgenès επιχείρησαν και πάλι εφαρμογή σαπωνοποίησης μαζί με τους M. Torrijos και R. Moletta, προκειμένου να βελτιωθεί η αναερόβια βιοαποδόμηση των αποβλήτων σφαγείων, όπως επιπλέοντα λίπη και λίπη σάρκας από σφάγια βοοειδών. Διεξήχθη, λοιπόν, αναερόβια χώνευση ακατέργαστων αποβλήτων και σαπωνοποιημένων αποβλήτων σε διαφορετικές θερμοκρασίες (60 °C, 120 °C και 150 °C) μέσα σε αντιδραστήρες διαλείποντος έργου, υπό μεσόφιλες συνθήκες. Αξιολογήθηκε, επίσης, η επίδραση των διαφορετικών

³¹ Σαπωνοποίηση ονομάζεται η διαδικασία της υδρόλυσης ενός εστέρα ανώτερων λιπαρών οξέων, με αλκαλική βάση NaOH ή KOH, ώστε να σχηματίσει μια αλκοόλη και το άλας ενός οξέος. Ο όρος είναι γνωστός για την περιγραφή της αντίδρασης μιας αλκαλικής βάσης και του λίπους, για τον τελικό σχηματισμό του σαπουνιού. Με την χρήση NaOH παρασκευάζονται κυρίως σκληρά σαπούνια, ενώ με τη χρήση KOH παρασκευάζονται κυρίως τα υγρά σαπούνια. Η σαπωνοποίηση είναι αυθόρμητη αντίδραση. [116]

θερμοκρασιών σαπωνοποίησης στην αναερόβια βιοαποδόμηση και στη σχετική σύνθεση των λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας. [1]

Ένα χρόνο μετά, οι Patcharaporn Thungklin, Alissara Reungsang και Sureewan Sittijunda (2011) μελέτησαν την παραγωγή ενέργειας από λύματα σφαγείων πουλερικών προ-επεξεργασμένων σε μικροκύματα. Στόχος της μελέτης ήταν η παραγωγή υδρογόνου από λάσπη μονάδας επεξεργασίας λυμάτων σφαγείων πουλερικών μέσω αναερόβιας ζύμωσης διαλείποντος έργου με αερογενή εντεροβακτήρια³² ή μικτές καλλιέργειες από ίζημα³³ ζεστής πηγής. [14]

Πρόσφατα, οι Xia, Massé, McAllister, Beaulieu και Ungerfeld (2012) διερεύνησαν τη ζύμωση δύο φάσεων για την παραγωγή υδρογόνου από μικτή καλλιέργεια βασισμένη σε ένα ενεργό μεσόφιλο υλικό εμβολιασμού. Η όλη διεργασία πραγματοποιήθηκε σε μεσόφιλες συνθήκες (34 °C). Το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν μη αποστειρωμένο μίγμα οργανικού κλάσματος στερεών αστικών αποβλήτων (Organic Fraction of Municipal Solid Wastes – OFMSW) και αποβλήτων σφαγείων από μία μονάδα επεξεργασίας πουλερικών. Η παραγωγή υδρογόνου κατέστη δυνατή σε σταθερή απόδοση υπό υδραυλικούς χρόνους παραμονής (Hydraulic Retention Times – HRTs) ίσους με 3 έως 5 ημέρες. [20]

Επίσης το 2012, οι Suvi Bayr, Marianne Rantanen, Prasad Kaparaju και Jukka Rintala προχώρησαν λίγο παραπέρα. Μελέτησαν τη συνδυασμένη αναερόβια χώνευση ζωικών αποβλήτων και αποβλήτων σφαγείων σε εργαστηριακής κλίμακας αντιδραστήρες συνεχούς ανάδευσης (Continuous Stirred Tank Reactors – CSTRs) ημι-συνεχούς τροφοδοσίας στους 35 και 55 °C. Εξέτασαν, επίσης, κλάσματα από 10

³² Βακτήρια του εντέρου, όπως E. Coli, Salmonella που μεταδίδονται μέσω εκπνοής και εισπνοής με τη βοήθεια του αέρα.

³³ Ίζημα είναι το στερεό κατάλοιπο από αιώρημα σε υγρό. Είναι η αδιάλυτη ουσία που σχηματίζεται σε ένα μίγμα και μπορεί να απομακρυνθεί με τη μέθοδο της διήθησης. [57]

διαφορετικές μονάδες επεξεργασίας ζωικών αποβλήτων και αποβλήτων σφαγείων, δείχνοντας υψηλά περιεχόμενα λιπιδίων και πρωτεϊνών και υψηλά δυναμικά μεθανίου. [18]

Η τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης είναι εφικτή στην επεξεργασία των οργανικών στερεών αποβλήτων σφαγείων και μπορεί να συνδυάσει την ανάκτηση των υλικών με την παραγωγή ενέργειας. Οι E. Salminen, J. Rintala (2002) υποθέτοντας ότι οι λειτουργικές συνθήκες μπορούν να βελτιστοποιηθούν και η διεργασία να είναι βιώσιμη οικονομικά, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αναερόβια χώνευση είναι πολύ ανταγωνιστική σε σχέση με άλλες επιλογές επεξεργασίας τέτοιων αποβλήτων. [8]

Στις δοκιμές αναερόβιας βιοδιάσπασης των Alessandra Bormann Garcia Valladão, Denise Maria Guimarães Freire και Magali Christe Cammarota (2007), τα προ-επεξεργασμένα λύματα οδήγησαν σε υψηλές αποδοτικότητες αφαίρεσης χημικής ζήτησης οξυγόνου (Chemical Oxygen Demand – COD) και αυξημένη παραγωγή βιοαερίου, ακόμη και όταν υπήρχαν υψηλά περιεχόμενα λίπους. Παρατηρήθηκαν, επίσης, αυξήσεις στην αποδοτικότητα αφαίρεσης COD και στο ποσοστό παραγωγής μεθανίου. Η επίδραση της ενζυματικής προ-υδρόλυσης φάνηκε όταν συγκρίθηκαν οι κινητικές διάσπασης των ακατέργαστων και των προ-επεξεργασμένων λυμάτων. Ενώ, στα ακατέργαστα λύματα παρατηρήθηκε αποδοτικότητα αφαίρεσης COD ίση με 53% και παραγωγή βιοαερίου ίση με 37 ml, στα λύματα που προηγουμένως είχαν υδρολυθεί παρατηρήθηκε μεγαλύτερη αποδοτικότητα αφαίρεσης COD (85%) και μεγαλύτερη παραγωγή βιοαερίου (175 ml). Συνοπτικά, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση 0,1% κοινών ενζυματικών στερεών στο στάδιο υδρόλυσης των λυμάτων σφαγείων πουλερικών είναι μια αποτελεσματική στρατηγική για να επιτευχθούν

υψηλότερα ποσοστά παραγωγής μεθανίου, μικρότεροι χρόνοι διεργασίας και μικρότεροι όγκοι αντιδραστήρων. [5]

Τα αποτελέσματα της σαπωνοποίησης που μελέτησαν οι Audrey Battimelli, H       Carr     και Jean-Philippe Delgen     (2009)   δειξαν μικρή αύξηση στο συνολικό   γκο που παράχθηκε, δείχνοντας καλή βιοαποδόμηση των επιπλεόντων αποβλήτων και των αποβλήτων σφαγείων σε μεσόφιλες και θερμοφιλες συνθήκες. Εντούτοις, η προ-επεξεργασία οδήγησε σε μικρή βελτίωση των αρχικών κινητικών αντιδράσεων, υποδεικνύοντας ενισχυμένη βιοδιαθεσιμότητα εξαιτίας της χημικής υδρόλυσης, ειδικά στις μεσόφιλες συνθήκες. Οι αναερόβιες κινητικές αντιδράσεις βιοδιάσπασης των λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας (Long Chain Fatty Acids – LCFA) παρέμειναν αργές σε   λες τις πειραματικές συνθήκες,        και μετ   την υδρόλυση. Οι επιδράσεις που παρατηρήθηκαν για τα ακατέργαστα          με αιθαν     ως συνδυασμένο υπόστρωμα εξαρτήθηκαν      τη θερμοκρασία. Οι αναερόβιες δοκιμές διαλείποντος   ργου που εφαρμόστηκαν στα λιπαρά          ήταν κατάλληλες για τον καθορισμό του δυναμικού του βιοαερίου.       , δεν ήταν   κετές για μία καλή εκτίμηση της αναστολής των LCFA.   τσι κατέληξαν     , στοχεύοντας σε   ναν καλύτερο καθορισμό της αναερόβιας χ  νευσης των λιπαρών αποβλήτων, η σαπωνοποίηση θα   πρεπε να αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας ημι-συνεχείς αντιδραστήρες. [6]

Στη μελέτη των Sureewan Sittijunda, Alissara Reungsang και Sompong Othong (2010), η αναερόβια θερμοφιλή χ  νευση στους 55   C κατάφερε να αυξήσει τη διαλυτοποίηση του οργανικού υλικού      λάσπη και τη διεργασία υδρόλυσης για το σπάσιμο των μακρομορίων³⁴ σε μικρομόρια³⁵. Ο βέλτιστος χρόνος για τη διεργασία

³⁴ Ο   ρος μακρομόρια αναφέρεται συνή  ως σε μόρια υψηλού μοριακού βάρους,     ς στα πολυμερή και βιοπολυμερή. [114]

αναερόβιας θερμοφίλης χώνευσης της λάσπης ήταν 48 ώρες. Η αναερόβια ζύμωση υδρογόνου έδειξε ότι η προ-επεξεργασμένη λάσπη έδωσε τη μέγιστη απόδοση μεθανίου, η οποία ήταν περίπου 15 φορές υψηλότερη από ότι εκείνη της ακατέργαστης λάσπης. Τα πτητικά λιπαρά οξέα (Volatile Fatty Acids – VFAs) ήταν τα κύρια υγρά υποπροϊόντα της αναερόβιας ζύμωσης. Η διαλυτή χημική ζήτηση οξυγόνου (soluble Chemical Oxygen Demand – sCOD) αυξήθηκε επειδή κάποια αδιάλυτα υλικά υδρολύθηκαν και μετατράπηκαν σε διαλυτά υλικά. Η διάσπαση των υδρογονανθράκων έπαιξε σημαντικό ρόλο στην παραγωγή υδρογόνου της αποστειρωμένης λάσπης. Επίσης, η προσθήκη θρεπτικών αύξησε την απόδοση υδρογόνου και το ποσοστό παραγωγής υδρογόνου εξαιτίας της αύξησης της μικροβιακής ανάπτυξης και δραστηριότητας, εντούτοις, η προσθήκη θρεπτικών δεν επηρέασε την παραγωγή υδρογόνου. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η διπλή χώνευση ήταν αποτελεσματική για την παραγωγή βιοϋδρογόνου³⁶. [17]

Η σαπωνοποίηση των A. Battimelli, M. Torrijos, R. Moletta και J.P. Delgenès (2010) βελτιστοποιήθηκε ερευνώντας την επίδραση της θερμοκρασίας στη μεσόφιλη αναερόβια χώνευση. Τα προ-επεξεργασμένα απόβλητα έδειξαν βελτιωμένη βιοαποδόμηση, συγκρινόμενα με τα ακατέργαστα απόβλητα. Οι καλύτερες αποδόσεις ήταν στους 120 °C με σφάγια απόβλητα. Το παλμιτικό οξύ³⁷ επηρέασε τις αποδόσεις, παρόλο που η σχετική σύνθεση των LCFA's δεν άλλαξε πολύ με την προ-επεξεργασία. Συνεπώς, η ενισχυμένη βιοαποδόμηση αποδόθηκε στην αυξημένη βιοδιαθεσιμότητα των λιπαρών αποβλήτων, ενώ η δομή μακράς αλυσίδας

³⁵ Είναι μόρια με μέγεθος μεταξύ 0,1 και 100 μm. Είναι διαθέσιμα εμπορικά σε μια ποικιλία προϊόντων, όπως κεραμικά, γυαλί, πολυμερή και μέταλλα. [115]

³⁶ Το υδρογόνο που παράγεται από βιομάζα ή βιοαποδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων και χρησιμοποιείται ως βιοκαύσιμο. [117]

³⁷ Οργανικό οξύ με τύπο $C_{15}H_{31}COOH$. Βρίσκεται στα λίπη και στα έλαια ως εστέρας με τη γλυκερίνη, ο οποίος ονομάζεται παλμιτίνη. [118]

διασπάστηκε αργά. Αυτό δίνει έμφαση στην ανάγκη για περαιτέρω έρευνα της μετατροπής των λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας. [1]

Οι Patcharaporn Thungklin, Alissara Reungsang και Sureewan Sittijunda (2011) προετοιμάζοντας τη λάσπη σε μικροκύματα στα 850 W για 3 λεπτά ενίσχυσαν τη διαλυτοποίηση³⁸ του οργανικού υλικού από λάσπη και βελτίωσαν τη διεργασία υδρόλυσης για τη διάσπαση των μακρομορίων σε μικρομόρια. Η προ-επεξεργασμένη λάσπη που εμβολιάστηκε με αερογενή εντεροβακτήρια και συμπληρώθηκε με ενδο-θρεπτικά είχε υψηλότερη απόδοση υδρογόνου από ότι η ακατέργαστη λάσπη. Όταν μελετήθηκε η απόδοση υδρογόνου, το βέλτιστο pH για την παραγωγή υδρογόνου από προ-επεξεργασμένη σε μικροκύματα λάσπη ήταν 5,5. Εντούτοις, όταν λήφθηκε υπόψη το ποσοστό παραγωγής υδρογόνου, το βέλτιστο pH για την παραγωγή υδρογόνου ήταν 9,0. Η κύρια πηγή για την παραγωγή υδρογόνου από προ-επεξεργασμένη λάσπη σε μικροκύματα ήταν η πρωτεΐνη. [14]

Στη μελέτη των Xia, Massé, McAllister, Beaulieu και Ungerfeld (2012), η παραγωγή βιοαερίου έλαβε μέγιστες τιμές τις πρώτες 3 ημέρες, κι έπειτα ελαττώθηκε. Αυτήν η μείωση συνέπεσε με μία αύξηση στα επίπεδα υδρογόνου του βιοαερίου. Οι συγκεντρώσεις του μεθανίου περίπου ίσες με 45% ανιχνεύθηκαν στο πρώτο μέρος των πειραμάτων, αλλά με την παρέλευση περίπου ενός HRT δεν ανιχνεύτηκε καθόλου επιπλέον μεθάνιο. Η συγκέντρωση του υδρογόνου στο βιοαέριο σταθεροποιήθηκε 7 ημέρες μετά την έναρξη του πειράματος. Τα επίπεδα υδρογόνου σε όλα τα συστήματα ήταν μεταξύ 25 και 27%. Το αρχικό pH του υλικού εμβολιασμού που χρησιμοποιήθηκε ήταν 7,9 κατά την έναρξη της διαδικασίας τροφοδοσίας, ενώ αργότερα μειώθηκε σταδιακά. Το αλκαλικό διάλυμα προστέθηκε

³⁸ Μπορεί να συμβεί σε ένα σύστημα που αποτελείται από ένα διαλύτη, μια ένωση κολλοειδούς και τουλάχιστον άλλο ένα συστατικό που υφίσταται διαλυτοποίηση. Διαλυτοποίηση είναι η διαδικασία της ενσωμάτωσης του στοιχείου που υφίσταται διαλυτοποίηση μέσα ή πάνω στα μικκύλια (τα διεσπαρμένα σωματίδια ενός κολλοειδούς, micelles). [120, 121]

μόλις το pH έφτασε την τιμή 5,5. Από εκείνο το σημείο κι έπειτα, το pH διορθωνόταν συνεχώς μέχρις ότου αποκτήσει τιμή κοντά στο 6,0. Τότε το pH ελαττώθηκε κι άλλο, φτάνοντας τιμές περίπου 5,2, και δεν επιχειρήθηκαν περαιτέρω διορθώσεις. Η ημερήσια παραγωγή βιοαερίου έδειξε υψηλότερες τιμές στα συστήματα με μικρότερα HRTs. Τα συστήματα που τροφοδοτήθηκαν με μίγμα αποβλήτων σφαγείων, είχαν υψηλότερο ρυθμό παραγωγής αερίου (Gas Production Rate – GPR) και η ποιότητα του βιοαερίου ήταν επίσης ελαφρώς καλύτερη για αυτά τα συστήματα. Όλα τα συστήματα είχαν περίπου το ίδιο ποσοστό αφαίρεσης πτητικών στερεών (Volatile Solids – VS). Το χρώμα της ζύμωσης που αποκτήθηκε από τις μεθανογενείς φάσεις ήταν σκούρο καφέ και η οσμή της όχι πια αποκρουστική. Το περιεχόμενο των πτητικών λιπαρών οξέων στην επιπλέουσα (υπερκείμενη) επιφάνεια μειώθηκε αρκετά για όλα τα συστήματα. [20]

Τέλος, στη μελέτη των Suvi Bayr, Marianne Rantanen, Prasad Kararaju και Jukka Rintala (2012), τα κλάσματα από 10 διαφορετικές μονάδες επεξεργασίας ζωικών αποβλήτων και αποβλήτων σφαγείων έδειξαν υψηλά περιεχόμενα λιπιδίων και πρωτεϊνών και υψηλά δυναμικά μεθανίου. Στις μεσόφιλες συνθήκες οι αποδόσεις μεθανίου αποκτήθηκαν με ρυθμούς φόρτωσης οργανικών (Organic Loading Rates – OLR) ίσους με 1,0 και 1,5 kg VS/m³·d, και υδραυλικό χρόνο παραμονής ίσο με 50 ημέρες. Στις θερμόφιλες συνθήκες, ο μικρότερος OLR αποδείχτηκε ασταθής μετά από πάροδο λειτουργίας ίση με 1,5 HRT, εξαιτίας της συσσώρευσης αμμωνίας, των πτητικών λιπαρών οξέων και των οξέων μακράς αλυσίδας. Συνεπώς, η μεσόφιλη διεργασία φάνηκε ότι είναι καλύτερη για συνδυασμένη χώνευση από ότι η θερμόφιλη διεργασία, αφού οι αποδόσεις μεθανίου ήταν υψηλότερες και η διεργασία πιο σταθερή στις μεσόφιλες συνθήκες. [18]

3.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Οι María José Cuertos, Xiomar Gómez, Marta Otero, Antonio Morán (2008), René Alvarez, Gunnar Lidén (2008), H. Llana Coalla, J.M. Blanco Fernández, M.A. Morís Morán, M.R. López Bobo (2009), L. Castrillón, Y. Fernández-Nava, P. Ormaechea, E. Marañón (2011), Yun Xia, Daniel I. Massé, Tim A. McAllister, Carole Beaulieu, Emilio Ungerfeld (2012) μελέτησαν την αναερόβια χώνευση αποβλήτων σφαγείων και τη συνδυασμένη χώνευση αυτών με διάφορες πρώτες ύλες εστιάζοντας στην παραγωγή βιοαερίου.

Η αναερόβια χώνευση οργανικής ύλης αναφέρεται ως μία ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος στην αποτελεσματική επεξεργασία οργανικών αποβλήτων και την ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές μέσω της χρήσης του βιοαερίου.

Τα σφαγεία παράγουν κρέας και προϊόντα που διατίθενται στην αγορά για ανθρώπινη κατανάλωση, ρύπους στερεών αποβλήτων και άλλα υποπροϊόντα (δέρματα, λίπη, και κόκαλα), όπως και σημαντικές ποσότητες λυμάτων που προέρχονται από τις εργασίες καθαρισμού. Τα ζωικά υποπροϊόντα είναι πτώματα ή μέρη πτωμάτων, και προϊόντα ζωικής προέλευσης που δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση, είτε επειδή δεν είναι κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση ή επειδή δεν υπάρχει αγορά τροφίμων για αυτά.

Η ζήτηση των καταναλωτών για κρέατα με χαμηλή περιεκτικότητα σε μη κορεσμένα λιπαρά προκειμένου να μειώσουν τη χοληστερίνη, έχει οδηγήσει στην εξάπλωση της βιομηχανίας πουλερικών, κι επομένως σε αύξηση των αποβλήτων λιπιδίων και πρωτεϊνών. Αυτά τα απόβλητα προκαλούν περιβαλλοντικά προβλήματα λόγω της ρύπανσης και των μικροβιακών φορτίων, και τα αυξανόμενα προβλήματα

από την αφαίρεσή τους πρέπει να αντιμετωπιστούν ως αποτέλεσμα των νομοθετικών περιορισμών και του κόστους της επεξεργασίας και διάθεσης.

Τα απόβλητα των σφαγείων αποτελούν ιδανικό υπόστρωμα για την αναερόβια χώνευση, και μπορεί να επιτευχθεί, επίσης, αποβολή περισσότερο από 90% της χημικής ζήτησης οξυγόνου (Chemical Oxygen Demand – COD). Τα λιπίδια αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό κλάσμα του οργανικού φορτίου στα απόβλητα των σφαγείων. Αποτελούνται κυρίως από τριγλυκερίδια³⁹ και λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας (Long Chain Fatty Acids – LCFAs). Αυτό που συμβαίνει συνήθως κατά τη διάρκεια της διεργασίας είναι γρήγορη υδρόλυση/ οξεογένεση, με συσσώρευση των LCFA και των πτητικών λιπαρών οξέων (Volatile Fatty Acids – VFAs), αφαίρεση των LCFA, ακολουθούμενη από αφαίρεση των VFA και από παραγωγή μεθανίου.

Σκοπός της μελέτης των María José Cuetos, Xiomar Gómez, Marta Otero και Antonio Morán (2008) ήταν να πραγματοποιηθεί η αναερόβια χώνευση τόσο των αποβλήτων σφαγείων (Slaughterhouse Waste – SHW) όσο και των μιγμάτων των στερεών αποβλήτων σφαγείων με το οργανικό κλάσμα των στερεών αστικών αποβλήτων μέσα σε χωνευτήρες εργαστηριακής κλίμακας μεσόφιλης ημι-συνεχούς τροφοδοσίας. Καθορίστηκαν, λοιπόν, αρχικά, οι συνθήκες λειτουργίας που ήταν απαραίτητες για την επίτευξη σταθερής διεργασίας χώνευσης. Την ίδια στιγμή, τα αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν, συγκρίθηκαν, εκτιμώντας τη συνεισφορά του οργανικού κλάσματος των στερεών αστικών αποβλήτων στα απόβλητα των σφαγείων που είναι πλούσια σε λιπίδια. [13]

Στην περίπτωση της επεξεργασίας των ζωικών αποβλήτων, το παραμένον σταθεροποιημένο διάλυμα ιλύος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα μετά τη

³⁹ Τα τριγλυκερίδια είναι γνωστά και σαν απλά λιπίδια. Είναι στερεά και σε θερμοκρασία δωματίου ονομάζονται λίπη, ενώ αυτά που είναι υγρά ονομάζονται έλαια. Τα τριγλυκερίδια αποτελούνται από δύο τύπους δομικών μονάδων, τα λιπαρά οξέα και τη γλυκερόλη.

χώνευση. Η αναερόβια χώνευση των αποβλήτων σφαγείων και των υποπροϊόντων σφαγείων θεωρείται μία ενδιαφέρουσα εναλλακτική επιλογή διαχείρισης των αποβλήτων.

Τα στερεά υποστρώματα των σφαγείων αποτελούνται κυρίως από μη επεξεργασμένο αίμα και περιεχόμενα μεγάλης κοιλίας, στομάχου και έντερα, όπως και κοπριά. Στη μελέτη των René Alvarez και Gunnar Lidén (2008) κατέστη δυνατή η χώνευση των μικτών αποβλήτων που αποτελούνται από αίμα και εντόσθια. Εντούτοις, η διεργασία ήταν δύσκολη, ίσως επειδή η συσσώρευση υψηλών επιπέδων ελεύθερης αμμωνίας που απορρέουν από την υποβάθμιση των πρωτεϊνούχων συστατικών του αίματος είναι πλούσια σε άζωτο. Η πιθανή αναστολή των μεθανογενών βακτηρίων από την αμμωνία παίζει μεγάλο ρόλο, αφού η αμμωνία είναι το τελικό προϊόν της αναερόβιας χώνευσης των πρωτεϊνών. Η ανασταλτική συγκέντρωση της αμμωνίας ποικίλει, εξαρτώμενη από παραμέτρους, όπως η προέλευση του υλικού εμβολιασμού, το υπόστρωμα, το pH, και η θερμοκρασία. Η συγκέντρωση της αμμωνίας χωρίς φορτίο θεωρείται ότι είναι το ενεργό συστατικό που προκαλεί την αναστολή της αμμωνίας, γιατί μειώνεται η μέγιστη ειδική ενεργότητα των μεθανογενών βακτηρίων με την αύξηση των συγκεντρώσεων αμμωνίας. Στην ακατέργαστη λάσπη των μεθανογενών βακτηρίων, η αναστολή αμμωνίας ήταν ακόμη πιο χαμηλή. Η μέγιστη ανεκτή συγκέντρωση αμμωνίας ήταν 6,2 φορές υψηλότερη από ότι το αρχικό κατώτατο όριο τοξικότητας.

Η σύνθεση των αποβλήτων σφαγείων ποικίλει. Υπάρχουν κεντρικές και εξειδικευμένες εγκαταστάσεις σφαγείων, που επεξεργάζονται μόνο ένα ή δύο είδη ζώων, ενώ υπάρχουν και μικρά σφαγεία που μεταχειρίζονται πολλά είδη ζώων. Η τεχνική σκοπιμότητα της αναερόβιας συνδυασμένης χώνευσης πρέπει, λοιπόν, να αξιολογηθεί λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα υποστρώματα. Σκοπός της παρούσας

μελέτης ήταν να διερευνηθεί ένα ημι-συνεχές και μεσόφιλο σύστημα υγρής χώνευσης, που επεξεργάζεται ένα μίγμα κοπριάς, στερεών αποβλήτων σφαγείων και αποβλήτων φρούτων και λαχανικών. Τα υποστρώματα εκτιμήθηκαν ξεχωριστά και μέσα στα μίγματα σε αναλογίες 0–100% (VS/VS) για κάθε υπόστρωμα. Επιπλέον, διερευνήθηκε η επίδραση του ρυθμού οργανικού φορτίου στην απόδοση του μεθανίου και στη μείωση των πτητικών στερεών. [16]

Προκειμένου να επιτευχθεί μία ολοκληρωμένη και βιώσιμη λύση για τη μεταχείριση των αποβλήτων σφαγείων (έντερα γουρουνιών και περιεχόμενα στομάχου βοοειδών), για την επίλυση του περιβαλλοντικού προβλήματος και για την απόκτηση όσο το δυνατόν υψηλότερων τιμών βιοαερίου, έγινε επεξεργασία και των δύο καταλοίπων σε μία εργαστηριακή μονάδα βιοαερίου (αντιδραστήρας 10 lt CSTR) προκειμένου να αξιοποιηθούν μέσω των προϊόντων που αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια της αναερόβιας διεργασίας.

Σε αυτήν την εργασία των H. Llaneza Coalla, J.M. Blanco Fernández, M.A. Morís Morán και M.R. López Bobo (2009), τα διαφορετικά απόβλητα που χρησιμοποιήθηκαν για την προετοιμασία ικανοποιητικού μίγματος τροφοδοσίας ήταν: έντερα γουρουνιών, περιεχόμενα στομαχίου βοοειδών και πολτός μήλου. Η διεργασία εκτελέστηκε σε μία εργαστηριακή μονάδα σε δύο στάδια, υδρόλυση και μεθανογένεση. Ο λόγος γι' αυτήν την επιλογή ήταν οι υψηλές περιεκτικότητες οργανικού φορτίου, πρωτεϊνών και λιπών στις πρώτες ύλες. Με την υδρόλυση παρέχονται καλές συνθήκες για την ελάττωση της έντασης των υποστρωμάτων, προκειμένου να αποφευχθεί η ανασταλτική δράση των μεθανογενών βακτηρίων.

Ερευνήθηκε, λοιπόν, η βέλτιστη αναλογία πολτού μήλου στην πρώτη ύλη, προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη ποσότητα και ποιότητα του βιοαερίου που παράχθηκε σε μεσόφιλες συνθήκες (38 °C). [10]

Είναι βέβαια κατανοητό ότι είναι δύσκολο να λειτουργήσουν μονάδες βιοαερίου με οικονομικώς επωφελή αποτελέσματα, εάν η διεργασία βασίζεται μόνο στην κοπριά από βοοειδή. Οι στρατηγικές συνδυασμένης χώνευσης και η προ-επεξεργασία του υποστρώματος, προκειμένου να βελτιωθεί η αποδόμηση των ανασταλτικών υλικών, είναι απαραίτητες για την αύξηση των αποδόσεων του βιοαερίου.

Σκοπός της μελέτης των L. Castrillón, Y. Fernández-Nava, P. Ormaechea και E. Marañón (2011) ήταν να καθοριστεί εάν η ακατέργαστη γλυκερίνη⁴⁰, παραπροϊόν της παραγωγής βιοντίζελ, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη συνδυασμένη χώνευση κοπριάς βοοειδών. Οι εναλλακτικές χρήσεις της ακατέργαστης γλυκερίνης είναι περιορισμένες εξαιτίας της παρουσίας μεθανόλης⁴¹, του νερού, των ανόργανων αλάτων (κατάλοιπα των καταλυτών), των μονο-, δι-⁴² και τρι-γλυκεριδίων που δεν αντέδρασαν και των μεθυλεστέρων⁴³. Τα παραπάνω αναστέλλουν τους μικροοργανισμούς στις βιολογικές διεργασίες. Για να εξεταστεί η χρησιμότητα της ακατέργαστης γλυκερίνης και της προ-επεξεργασίας με υπερήχους για την αύξηση των αποδόσεων μεθανίου από κοπριά βοοειδών, διεξήχθησαν δοκιμές διαλείποντος έργου υπό μεσόφιλες και θερμόφιλες συνθήκες. Ο απώτερος σκοπός της μελέτης

⁴⁰ Είναι η χημική οργανική ένωση προπανοτριόλη, η οποία αποτελείται από τρία άτομα άνθρακα όπου το πρώτο και το τελευταίο συνδέονται με 2 άτομα υδρογόνου και μια ρίζα υδροξυλίου, ενώ το μεσαίο με ένα άτομο υδρογόνου και ένα υδροξύλιο. Αναφέρεται και ως γλυκερόλη. [122]

⁴¹ Η μεθανόλη ή μεθυλική αλκοόλη ή ξυλόπνευμα είναι η απλούστερη αλκανόλη, δηλαδή κορεσμένη άκυκλη μονοσθενής αλκοόλη (CH_3OH). Στις συνηθισμένες συνθήκες είναι ένα ελαφρύ, άχρωμο, εύφλεκτο και τοξικό υγρό με χαρακτηριστική μυρωδιά, που θυμίζει αυτήν της αιθανόλης, αλλά είναι ελαφρά γλυκύτερη από αυτήν. Είναι, ακόμη, ένα πολικό υγρό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αντιψυκτικό, διαλυτικό, καύσιμο και ως επικίνδυνο (για τρόφιμα και ποτά) υποκατάστατο της αλκοόλης. Η μεθανόλη παράγεται και στη φύση, ως αποτέλεσμα αναερόβιου μεταβολισμού από διάφορα βακτήρια, και είναι αρκετά σταθερή κατά την παραμονή της στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα να αποτελεί, σε πολύ μικρό ποσοστό (με τη μορφή ατμών της), συστατικό της ατμόσφαιρας της Γης. Φυσικά, κατά την παραμονή της στην ατμόσφαιρα, οξειδώνεται αργά από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, με τη βοήθεια και του ηλιακού φωτός, σχηματίζοντας διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμούς, αλλά παράγεται συνεχώς νέα ποσότητα από τα βακτήρια. [74]

⁴² Τα μονογλυκερίδια και τα διγλυκερίδια περιέχουν ένα ή δύο λιπαρά οξέα στο μόριο τους και κατά συνέπεια έχουν δύο ή μία υδροξυλικές ομάδες αντίστοιχα. [75]

⁴³ Οι μεθυλεστέρες των λιπαρών οξέων χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα των καυσίμων ντίζελ και χαρακτηρίζονται με τον όρο βιοντίζελ. [127]

ήταν να καθοριστούν οι βέλτιστες συνθήκες για την παραγωγή βιοαερίου σε μια συνεχή διεργασία. [11]

Σε παλιότερα πειράματα, τα φτερά κοτόπουλων προστίθεντο στους αναερόβιους χωνευτήρες μέσα σε νάιλον σακούλες. Οι χωνευτήρες ήταν εμβολιασμένοι με κοπριά χοίρων ή λάσπη σφαγείων, προκειμένου να διερευνηθεί η σκοπιμότητα της χώνευσης φτερών με αυτά τα υποστρώματα για την παραγωγή βιοαερίου. Σκοπός της εργασίας των Yun Xia, Daniel I. Massé, Tim A. McAllister, Carole Beaulieu και Emilio Ungerfeld (2012) ήταν η περαιτέρω εκτίμηση της επίδρασης της χώνευσης φτερών στην αναερόβια χώνευση κοπριάς χοίρων και λάσπης σφαγείων για την παραγωγή βιοαερίου. [20]

3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Οι María José Cuetos, Xiomar Gómez, Marta Otero και Antonio Morán (2008) που μελέτησαν την αναερόβια χώνευση στερεών αποβλήτων σφαγείων σε εργαστηριακή κλίμακα και την επίδραση της συνδυασμένης χώνευσης με το οργανικό κλάσμα των στερεών αστικών αποβλήτων (Organic Fraction of Municipal Solid Waste – OFMSW), χρησιμοποίησαν ως υλικό εμβολιασμού για την εκκίνηση των χωνευτήρων αυτό που αποκτήθηκε από μία μονάδα επεξεργασίας λυμάτων. Τα απόβλητα σφαγείων συλλέχθηκαν από ένα σφαγείο πουλερικών, τα οποία αρχικά αλέστηκαν και ψύχθηκαν στους -18 °C μέχρι την επόμενη χρήση. Ως υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε ένα προσομοιωμένο οργανικό κλάσμα στερεών αστικών αποβλήτων. Αυτό το μίγμα περιείχε απόβλητα φρούτων και λαχανικών σε συγκεκριμένες αναλογίες. Τα απόβλητα αυτά αποθηκεύτηκαν στη συνέχεια στους 4 °C μέχρι τη χρήση τους.

Η χώνευση των αποβλήτων σφαγείων (Slaughterhouse Waste – SHW) και η συνδυασμένη χώνευση με το OFMSW εκτελέστηκαν σε δύο χωνευτήρες πλήρους μικτής ανάδευσης, με εργαζόμενο όγκο ίσο με 3 lt, και σταθεροποιημένους θερμικά στους 34 ± 1 °C. Και οι δύο χωνευτήρες τροφοδοτούσαν τα συστήματα καθημερινά, ενώ εκτελέστηκαν δύο διατάξεις. Η χημική ζήτηση οξυγόνου (Chemical Oxygen Demand – COD) καθορίστηκε χρησιμοποιώντας ένα πολύ-παραμετρικό φωτόμετρο⁴⁴. Η ημερήσια παραγωγή αερίου μετρήθηκε με μετρητή υγρής ταινίας χρησιμοποιώντας μία αναστρέψιμη συσκευή με μετατόπιση υγρού. Η σύνθεση του βιοαερίου αναλύθηκε χρησιμοποιώντας αέριο χρωματογράφο εξοπλισμένο με έναν ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας (Thermal Conductivity Detector – TCD). Τα πτητικά λιπαρά οξέα (Volatile Fatty Acids – VFAs) καθορίστηκαν με τον ίδιο αέριο χρωματογράφο. Σε όλο το πείραμα, το φέρον αέριο ήταν ήλιο. Οι θερμοκρασίες του εγχυτήρα και του ανιχνευτή ήταν 220 και 250 °C, αντίστοιχα. Η θερμοκρασία του φούρνου ορίστηκε αρχικά στους 150 °C για 3 λεπτά, κι έπειτα αυξήθηκε στους 180 °C. Το σύστημα βαθμονομήθηκε με ένα μίγμα πρότυπων πτητικών οξέων. Τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν και η επιπλέουσα επιφάνεια φιλτραρίστηκε. [13]

Οι René Alvarez και Gunnar Lidén (2008) που μελέτησαν την ημι-συνεχή συνδυασμένη χώνευση στερεών αποβλήτων σφαγείων, κοπριάς και αποβλήτων φρούτων και λαχανικών, πήραν απόβλητα φρούτων και λαχανικών από μία λαχαναγορά. Τα απόβλητα αυτά αρχικά ανακατεύτηκαν και ψυλοκόφτηκαν, ενώ στη

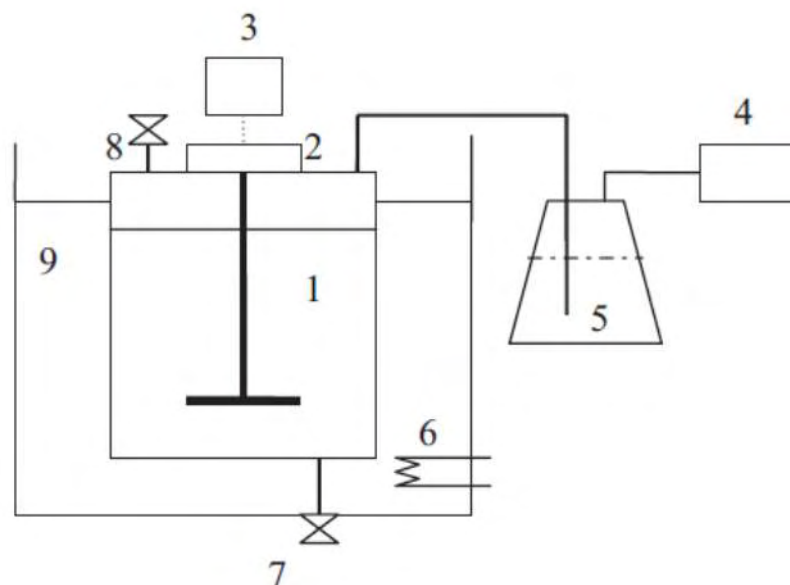
⁴⁴ Το πολυπαραμετρικό φωτόμετρο (multi-parameter photometer) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των εξής παραμέτρων: ασβέστιο, μαγνήσιο, νιτρικά, νιτρώδη, φωσφορικά, φώσφορος, αμμωνία και χλωριόντα (είναι μία από τις κύριες κατηγορίες ανόργανων συστατικών των φυσικών υδάτων και ο έλεγχος της παρουσίας τους στα ύδατα είναι απαραίτητος για να καθοριστεί η ενδεικνυόμενη χρήση τους).

Η αρχή λειτουργίας του οργάνου αυτού στηρίζεται στην απορρόφηση του φωτός. Όταν μια φωτεινή δέσμη διασχίζει μια ουσία, ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από τα άτομα, τα μόρια ή τα σωματίδια της ουσίας και η συγκέντρωση ενός χημικού στοιχείου μπορεί να υπολογιστεί μέσω αυτής της απορρόφησης. Ένα φωτοηλεκτρικό κύτταρο συλλέγει την ακτινοβολία που δεν απορροφάται από το δείγμα και τη μετατρέπει σε ηλεκτρικό ρεύμα, παράγοντας δυναμικό. Ένας μικροεπεξεργαστής χρησιμοποιεί αυτό το δυναμικό για να το μετατρέψει στην επιθυμητή μονάδα μέτρησης και να το απεικονίσει στην οθόνη. [58]

συνέχεια τα δείγματα συσκευάστηκαν και αποθηκεύτηκαν σε καταψύκτη στους -10 °C μέχρι τη χρήση. Από ένα σφαγείο αποκτήθηκε αντιπροσωπευτικό μίγμα στερεών αποβλήτων σφαγείων βοοειδών και χοίρων (Solid Cattle and Swine Slaughterhouse Waste – SCSSW). Τα ψιλοκομμένα κλάσματα μεγάλης κοιλίας βοοειδών (57,1 wt%), τα περιεχόμενα στομάχου και τα εντόσθια χοίρων (9,4 wt%), το αίμα των αγελάδων (28,6 wt%) και το αίμα των χοίρων (4,9 wt%) χρησιμοποιήθηκαν ως συνδυασμένο υπόστρωμα δοκιμής. Η κοπριά βοοειδών και χοίρων (Solid Cattle and Swine Manure – SCSM), σε αναλογία κοπριάς βοοειδών 71 wt% και κοπριάς χοίρων 29 wt%, αναμείχθηκαν, και τα δείγματα συσκευάστηκαν και αποθηκεύτηκαν σε καταψύκτη μέχρι τη χρήση τους.

Ως υλικά εμβολιασμού σε κάθε αντιδραστήρα χρησιμοποιήθηκαν: 1.800 g ενεργούς ιλύος από έναν ημι-συνεχή μεσόφιλο χωνευτήρα χωρητικότητας 10 lt στους 35 °C, ο οποίος εργαζόταν με κοπριά βοοειδών για υδραυλικό χρόνο παραμονής ίσο με 30 ημέρες, ολικά στερεά σε ποσοστό 1,8% w.w (Total Solids – TS) και πτητικά στερεά σε ποσοστό 78% (από τα TS). Τα πειράματα διεξήχθησαν σε τέσσερις πανομοιότυπους, χωνευτήρες ημι-συνεχούς ανάδευσης με συνολικό όγκο 2 lt (βλ. Εικόνα 10). Οι χωνευτήρες λειτούργησαν στους 3.571 °C με βύθιση σε υδατόλουτρο⁴⁵. Η συλλογή αερίου από τον αντιδραστήρα έγινε μέσω εύκαμπτου πλαστικού σωλήνα σε μία ξεχωριστή γυάλινη φιάλη.

⁴⁵ Κυλινδρικό δοχείο από PVC με προσαρμοσμένο γωνιακό σωλήνα/ στόμιο.

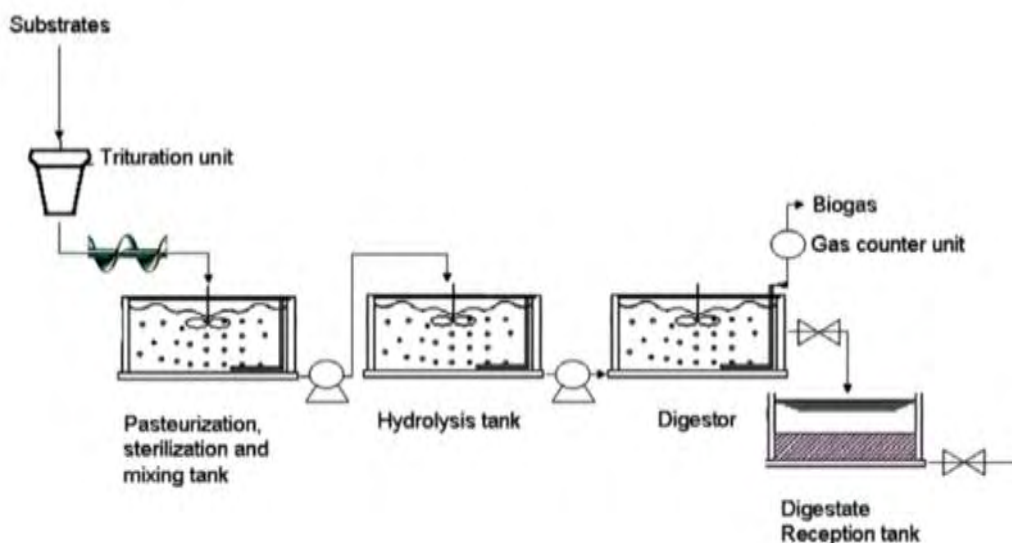


Εικόνα 10: Διάταξη χωνευτήρα: (1) αντιδραστήρας, (2) μηχανικό κιβώτιο για αναδευτήρα, (3) χρονοδιακόπτης, (4) σύστημα μέτρησης βιοαερίου, (5) φιάλη δεξαμενής βιοαερίου, (6) θερμοστατικός θερμαντήρας, (7) βαλβίδα εκροής, (8) βαλβίδα εισροής, (9) υδατόλουτρο.

Η συγκέντρωση μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα στο βιοαέριο μετρήθηκαν με αέριο χρωματογράφο, εξοπλισμένο με ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας. Ήλιο χρησιμοποιήθηκε ως φέρον αέριο. Οι θερμοκρασίες του εγχυτήρα, του ανιχνευτή και του φούρνου ήταν 150, 200, και 120 °C, αντίστοιχα. Οι συγκεντρώσεις των πτητικών λιπαρών οξέων καθορίστηκαν επίσης από τον αέριο χρωματογράφο. Τα ολικά στερεά, τα πτητικά στερεά, το pH, το συνολικό νάτριο και ο συνολικός φωσφόρος στην τροφοδοσία και στα δείγματα των υποστρωμάτων αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας πρότυπες μεθόδους. [16]

Οι H. Llaneza Coalla, J.M. Blanco Fernández, M.A. Morís Morán και M.R. López Bobo (2009), οι οποίοι μελέτησαν την παραγωγή βιοαερίου από πολτό μήλου, διεξήγαγαν συνεχή εργαστηριακά πειράματα, χρησιμοποιώντας εργαστηριακή

μονάδα της παρακάτω διάταξης (βλ. Εικόνα 11) με χωνευτήρα (αντιδραστήρα CSTR χωρητικότητας 10 lt).



Εικόνα 11: Εργαστηριακή μονάδα. Από αριστερά προς τα δεξιά: εισάγονται τα υποστρώματα, μονάδα κονιορτοποίησης⁴⁶, δεξαμενή παστερίωσης, αποστείρωσης και ανάμιξης, δοχείο υδρόλυσης, χωνευτήρας, μετρητική μονάδα αερίου και παραγωγή βιοαερίου, και κάτω δεξιά δεξαμενή υποδοχής του χωνευμένου υλικού.

Ο πολτός μήλου εισήχθη στο εργαστήριο μεταξύ Νοεμβρίου και Φεβρουαρίου, επειδή τότε είναι η περίοδος συγκομιδής των μήλων. Ο πολτός μήλου μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί όλο το χρόνο, εάν προηγουμένως η υγρασία του πέσει κάτω από 10%. Τα στερεά απόβλητα κρεάτων τέθηκαν σε μία μονάδα κονιορτοποίησης προκειμένου να μειωθεί το μέγεθός τους. Έπειτα, το υλικό παστεριώθηκε στους 70 °C για 1 ώρα. Τότε τα περιεχόμενα μεγάλης κοιλίας, ο πολτός μήλου και το νερό προστέθηκαν σε επαρκές ποσοστό, ώστε να παρέχουν το

⁴⁶ Ο τρόπος με τον οποίο μετατρέπεται ένα στερεό σώμα σε σκόνη, όπως η τριβή, το άλεσμα κ.λπ.

επιθυμητό μίγμα που θα τροφοδοτούνταν στη διεργασία. Αφού ομογενοποιήθηκε το μίγμα, διοχετεύτηκε στη συνέχεια στο δοχείο υδρόλυσης⁴⁷.

Το δοχείο υδρόλυσης λειτούργησε στους 21 °C, για υδραυλικό χρόνο παραμονής (Hydraulic Retention Time – HRT) ίσο με 4 ημέρες και με ένα μέσο pH ίσο με 6,4. Από τη χωρητικότητα του χωνευτήρα, όμως, φάνηκε ότι ο ελάχιστος υδραυλικός χρόνος παραμονής είναι 20 ημέρες. Το σύστημα δούλεψε υπό μεσόφιλες συνθήκες (38 °C). Τελικά, το υπόστρωμα διοχετεύτηκε στη δεξαμενή υποδοχής.

Τα ολικά στερεά, τα ολικά οργανικά στερεά (Organic Total Solids – OTS), η χημική ζήτηση οξυγόνου και το pH καθορίστηκαν σύμφωνα με τις πρότυπες μεθόδους. Το αμμωνιακό άζωτο ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)⁴⁸ και το συνολικό άζωτο καθορίστηκαν με τη βοήθεια ενός φωτομετρικού φίλτρου. Τα πτητικά λιπαρά οξέα καθορίστηκαν με έναν αέριο χρωματογράφο. Η παραγωγή βιοαερίου μετρήθηκε με ένα μετρητή ροής αερίου και η σύνθεσή του καθορίστηκε από τη χρωματογραφία αερίου χρησιμοποιώντας έναν ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας στους 200 °C. Η θερμοκρασία του φούρνου ήταν 40 °C. Η θερμοκρασία του εγχυτήρα ήταν 200 °C.

[10]

Στη μελέτη βελτιστοποίησης της παραγωγής βιοαερίου από κοπριά βοοειδών μέσω προ-επεξεργασίας με υπερήχους και συνδυασμένης χώνευσης με ακατέργαστη γλυκερίνη των L. Castrillón, Y. Fernández-Nava, P. Ormaechea και E. Marañón (2011), η ακατέργαστη γλυκερίνη συλλέχθηκε από μία μονάδα στην Ισπανία, η οποία παράγει βιοντίζελ από χρησιμοποιημένα φυτικά έλαια. Η κοπριά βοοειδών συλλέχθηκε σε πλαστικά μπουκάλια χωρητικότητας 20 lt από ένα βόθρο φάρμας

⁴⁷ Στο δοχείο υδρόλυσης διαιρούνται τα υποστρώματα από τους μικροοργανισμούς και τα μακράς αλυσίδας μόρια όπως υδατάνθρακες, λίπη και πρωτεΐνες που περιέχονται στις πρώτες ύλες, σε μια διαδικασία πολλαπλών βημάτων και προοδευτικά μετατρέπονται σε απλές ενώσεις. [125]

⁴⁸ Το αμμωνιακό άζωτο απαντάται στο κομπόστ και στην κοπριά για την εκτίμηση της πιθανής χρήσης του κομπόστ ή της κοπριάς ως αζωτούχο λίπασμα. [126]

αγελάδων, έπειτα από πρόσμιξη των περιεχομένων του βόθρου, και αποθηκεύτηκε στους 4 °C.

Διεξήχθησαν πειράματα σε αντιδραστήρες CSTR που περιείχαν κοπριά βοοειδών ή μίγματα κοπριάς βοοειδών σε διαφορετικές αναλογίες ακατέργαστης γλυκερίνης στους 35 και 55 °C. Για τη μελέτη επίδρασης των υπερήχων, η κοπριά, τα μίγματα κοπριάς και η ακατέργαστη γλυκερίνη επεξεργάστηκαν σε συσκευή υπερήχων για διαφορετικές χρονικές περιόδους, προκειμένου να καθοριστεί ο καταλληλότερος χρόνος εφαρμογής υπερήχων και να επιτευχθεί η μέγιστη διαλυτοποίηση της χημικής ζήτησης οξυγόνου. Κάθε δείγμα αναμείχθηκε, ώστε να ομογενοποιηθεί πριν να εφαρμοστούν σε αυτό υπέρηχοι. Μετρήθηκαν, επίσης, οι τιμές θερμοκρασίας και COD (ολικές και διαλυτές).

Τα πειράματα εκτελέστηκαν χρησιμοποιώντας τα ακόλουθα υποστρώματα: προ-επεξεργασμένη κοπριά βοοειδών, προ-επεξεργασμένη κοπριά βοοειδών +4% γλυκερίνη, προ-επεξεργασμένη κοπριά βοοειδών (με υπερήχους) +4% γλυκερίνη, προ-επεξεργασμένη κοπριά βοοειδών +4% γλυκερίνη (μίγμα με υπερήχους), προ-επεξεργασμένη κοπριά βοοειδών (με υπερήχους) +6% γλυκερίνη, προ-επεξεργασμένη κοπριά βοοειδών +6% γλυκερίνη (μίγμα με υπερήχους), αλεσμένη κοπριά βοοειδών +4% γλυκερίνη (μίγμα με υπερήχους) και αλεσμένη κοπριά βοοειδών +6% γλυκερίνη (μίγμα με υπερήχους). Όλες οι ποσότητες εκφράζονται σε wt%, ενώ δε χρειάστηκε υλικό εμβολιασμού για την εκκίνηση των αντιδραστήρων. [11]

Για την παραγωγή βιοαερίου, οι Yun Xia, Daniel I. Massé, Tim A. McAllister, Carole Beaulieu και Emilio Ungerfeld (2012) μελέτησαν την αναερόβια χώνευση φτερών κοτόπουλων μαζί με κοπριά χοίρων ή λάσπη σφαγείων. Τα φρέσκα φτερά κοτόπουλων (10 kg) συλλέχθηκαν από ένα σφαγείο στον Καναδά. Τα δείγματα αλέστηκαν προτού προστεθούν στους χωνευτήρες.

Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν οχτώ αναερόβιοι χωνευτήρες χωρητικότητας 42 lt. Ως υλικό εμβολιασμού χρησιμοποιήθηκε κοπριά χοίρων και λάσπη σφαγείου, αντιπροσωπεύοντας η κάθε μία το 100% του όγκου (35 lt).

Οι τέσσερις χωνευτήρες των 42 lt εμβολιάστηκαν με το ίδιο υπόστρωμα (κοπριά χοίρων ή λάσπη σφαγείου) και λειτούργησαν παράλληλα. Τα αλεσμένα φτερά προστέθηκαν στους δύο χωνευτήρες. Οι άλλοι δύο χωνευτήρες που περιείχαν μόνο κοπριά χοίρων ή λάσπη σφαγείου χρησιμοποιήθηκαν ως αρνητικοί έλεγχοι. Όλοι οι χωνευτήρες λειτούργησαν σε συνθήκες διαλείποντος έργου στους 25 °C για 146 ημέρες και αναμιγνύονταν πλήρως για 5 λεπτά την ημέρα.

Το συνολικό αέριο, η παραγωγή CH_4 και η απόδοση CH_4 ανά μονάδα πτητικών στερεών σε συνάρτηση με το χρόνο μοντελοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας την εξίσωση κινητικής Michaelis–Menten:

$$Y = \max \times t / (t_{1/2} + t) \quad (3.3.1)$$

όπου Y =η μεταβλητή απόκρισης, \max =η μέγιστη παραγωγή, t =ο χρόνος σε ημέρες και $t_{1/2}$ =ο χρόνος σε ημέρες που χρειάζεται για να αποκτηθεί η μισή από τη μέγιστη παραγωγή.

Το ποσοστό CH_4 , το περιεχόμενο VS, και η συγκέντρωση οξικού άλατος⁴⁹ ή εστέρα⁵⁰ στην κοπριά χοίρων σε συνάρτηση με το χρόνο μοντελοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας αντεστραμμένη εκθετική κινητική πρώτου βαθμού:

$$Y = a + b[1 - \exp(-c \times t)] \quad (3.3.2)$$

⁴⁹ Είναι παράγωγο του οξικού οξέος. Ο όρος περιλαμβάνει άλατα και εστέρες. Τα περισσότερα χιλιόγραμμα οξικού οξέος που παράγονται ετησίως στη βιομηχανία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή οξικού άλατος, τα οποία συνήθως παίρνουν τη μορφή πολυμερών. [96]

⁵⁰ Καρβονικός εστέρας ή απλά εστέρας ονομάζεται κάθε οργανική χημική ένωση, η οποία περιέχει μία τουλάχιστον καρβοαλκοξυομάδα. Οι εστέρες προέρχονται από τα καρβονικά οξέα με αντικατάσταση ενός τουλάχιστον ατόμου υδρογόνου και μιας τουλάχιστον καρβοξυλομάδας από μία αλκυλομάδα. [95]

όπου Y =η μεταβλητή απόκρισης, $a+b$ =η μέγιστη παραγωγή και $c=0$ κλασματικός ρυθμός παραγωγής.

Τελικά, η συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) στην κοπριά χοίρων μοντελοποιήθηκε ως ένα κυβικό πολυώνυμο ελαχίστων τετραγώνων σε συνάρτηση με το χρόνο:

$$\text{NH}_4 - \text{N concentration} = a + b \times t + c \times t^2 + d \times t^3 \quad (3.3.3)$$

Η επίδραση της προσθήκης φτερών εκτιμήθηκε συγκρίνοντας τις παραμέτρους της κινητικής Michaelis–Menten και της κινητικής πρώτου βαθμού για κάθε πείραμα (π.χ. για κάθε υλικό εμβολιασμού).

Η συγκέντρωση του οξικού άλατος ή του εστέρα και η συγκέντρωση του $\text{NH}_4^+\text{-N}$ στη λάσπη σφαγείων, και ο αριθμός των πρωτεολυτικών βακτηρίων⁵¹ και στα δύο υλικά εμβολιασμού είχαν διαφορετικές αποκρίσεις μεταξύ των επεξεργασιών και μερικές φορές μεταξύ των αντιδραστήρων· για εκείνες τις μεταβλητές απόκρισης, οι μέσες τιμές καθ' όλη τη διεργασία χώνευσης συγκρίθηκαν παρουσία και απουσία φτερών. [20]

3.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η παραγωγή βιοαερίου από οργανικά υλικά επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία στην οποία πραγματοποιείται η αναερόβια χώνευση.

Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης των οργανικών υλικών μπορεί να πραγματοποιηθεί σε τρία θερμοκρασιακά εύρη: 10-25 °C (ψυχρόφιλες συνθήκες), 30-

⁵¹ Τα πρωτεολυτικά βακτήρια, που είναι μέρος της κανονικής καλής χλωρίδας, παράγουν τοξικές ουσίες, συμπεριλαμβανομένων των φαινολών και της αμμωνίας, από τη χώνευση των πρωτεϊνών. [128]

37 °C (μεσόφιλες συνθήκες) και 48-55 °C (θερμόφιλες συνθήκες). Στην πράξη, όμως, όταν στόχος είναι η αποδοτικότερη παραγωγή βιοαερίου και η χρήση του για παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας από το σύστημα συμπαραγωγής, τότε χρησιμοποιούνται μόνο η μεσόφιλη και η θερμόφιλη αναερόβια χώνευση. Σε γενικές γραμμές, σε πολύ χαμηλή ή υψηλή θερμοκρασία (π.χ. σε θερμοκρασίες κάτω από -10 °C ή πάνω από 90 °C) οι μικροοργανισμοί εξοντώνονται πλήρως.

Η βασική αιτία για την οποία δεν προτιμάται η χώνευση στην ψυχρόφιλη περιοχή είναι ότι σε τόσο χαμηλές θερμοκρασίες οι ρυθμοί μετατροπής της οργανικής ύλης σε βιοαέριο είναι ιδιαίτερα χαμηλοί, επειδή σε αυτές τις θερμοκρασίες η δραστηριότητα των μικροοργανισμών είναι περιορισμένη. Συνεπώς, απαιτούνται πολύ μεγάλοι χρόνοι παραμονής των υλικών στους χωνευτήρες και άρα πολύ μεγάλοι όγκοι αντιδραστήρων και δεξαμενών. Ακόμα και τότε όμως, η χημική σύσταση του βιοαερίου είναι υποβαθμισμένη. Οι εφαρμογές της ψυχρόφιλης διεργασίας προτιμώνται κυρίως σε τροπικές περιοχές.

Η πλειοψηφία των μεθανογενών μικροοργανισμών (εκείνων, δηλαδή, που συνθέτουν μεθάνιο από οργανική ύλη) βρίσκονται στις μεσόφιλες περιοχές. Σε αυτές τις θερμοκρασίες αναπτύσσονται γρήγορα (όχι απότομα) και εμφανίζουν υψηλούς ρυθμούς μετατροπής. Έτσι, εξασφαλίζονται σταθερές συνθήκες λειτουργίας. Η ομαλότητα ανάπτυξης των μεθανογενών μικροοργανισμών και οι συνθήκες που επικρατούν στο χωνευτήρα στις μεσόφιλες θερμοκρασίες καθιστούν τη διεργασία πιο ισορροπημένη, ανθεκτικότερη σε χημικούς παράγοντες που αναστέλλουν τη χώνευση (π.χ. αμμωνία) και ικανή να δεχθεί μεγάλη ποικιλία διαφορετικών ειδών βιομάζας και αποβλήτων· ακόμα και τους πιο δύσκολα επεξεργάσιμους, όπως είναι τα απόβλητα σφαγείων ή τα ζωικά υποπροϊόντα, τα οποία μελετώνται στην παρούσα εργασία.

Ένα μικρότερο ποσοστό μεθανογενών βακτηρίων είναι θερμόφιλο, γεγονός που σημαίνει ότι αποδίδει ιδανικά σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Γενικότερα, στις θερμοκρασίες αυτές όλα τα βακτήρια καταναλώνουν το οργανικό υπόστρωμα με υψηλότερους ρυθμούς και αναπτύσσονται ταχύτερα. Εξαιτίας αυτού, οι χωνευτήρες που λειτουργούν σε θερμόφιλες συνθήκες μπορεί να είναι μικρότερου μεγέθους, το οποίο συνεπάγεται μικρότερο κατασκευαστικό κόστος, διατηρώντας συγχρόνως πολύ υψηλά επίπεδα παραγωγής βιοαερίου. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της θερμόφιλης αναερόβιας χώνευσης είναι η δυνατότητα εξόντωσης μεγαλύτερου ποσοστού των παθογόνων βακτηρίων που περιέχονται στα οργανικά απόβλητα. (π.χ. στην κοπριά).

Όμως, παρά τα πλεονεκτήματα της θερμόφιλης διεργασίας, η μεσόφιλη αναερόβια χώνευση εξακολουθεί να κυριαρχεί, γιατί η θερμόφιλη διεργασία είναι πιο δύσκολη και απαιτεί μεγαλύτερο έλεγχο και βελτιστοποίηση. Επίσης, τα θερμόφιλα μεθανογενή βακτήρια είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στις μεταβολές των συνθηκών της αναερόβιας χώνευσης. Έτσι, ακόμα και η ελάχιστη μεταβολή μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξή τους. Σε περίπτωση που υπάρξει μεταβολή της θερμοκρασίας μεγαλύτερη από 1 έως 2 °C παρατηρείται μεγάλη μείωση στην ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου. Παράλληλα, η ποικιλία των υλικών που είναι αναερόβια επεξεργάσιμα σε θερμόφιλες συνθήκες είναι μικρότερη, εξαιτίας της μεγαλύτερης χημικής σύστασής τους και της εντονότερης επίδρασης ορισμένων αναστολέων χώνευσης (π.χ. αμμωνία) στη διεργασία.

Στην προσπάθειά τους να συνδυάσουν τα πλεονεκτήματα κάθε διεργασίας, πολλές σύγχρονες μονάδες βιοαερίου επιλέγουν να υλοποιούν την αναερόβια χώνευση σε δύο στάδια: ένα μεσόφιλο και ένα θερμόφιλο. Έτσι, αν και το κόστος της επένδυσης αυξάνεται, οι μονάδες αυτές αποκομίζουν τα πλεονεκτήματα και των δύο τύπων χώνευσης, βελτιστοποιώντας την παραγωγή βιοαερίου. [56]

3.5 ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Πρώτος ο Rafael Borja το 1995 μελέτησε την επίδραση του οργανικού ρυθμού φόρτωσης στην αναερόβια επεξεργασία λυμάτων σφαγείων μέσα σε αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης. Η εκτέλεση του αναερόβιου αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης που σχεδιάστηκε για τον καθορισμό των λυμάτων σφαγείων, όταν εκτιμήθηκε για ρυθμό φόρτωσης οργανικών (Organic Loading Rate – OLR) ίσο με 2,9-54 g COD/l \cdot d, για υδραυλικό χρόνο παραμονής (Hydraulic Retention Time – HRT) ίσο με 0,5-8 ώρες και συγκεντρώσεις τροφοδοσίας χημικής ζήτησης οξυγόνου (Chemical Oxygen Demand – COD) ίσες με 250-4.500 mg/lt έδωσε αποδοτικότητες αφαίρεσης COD σε εύρος 75-98,9%. Σε αυτήν τη μελέτη προτάθηκε ένας HRT μεγαλύτερος από 2 ώρες προκειμένου να βεβαιωθεί η καλή αποδοτικότητα του συστήματος. Η υψηλή απόδοση μπορεί να αποδίδεται στο φέρον υλικό, στο σχεδιασμό της κλίνης, στον κατάλληλο εγκλιματισμό της βιομάζας και την εκκίνηση του αντιδραστήρα, που εκτελέστηκε για την ελαχιστοποίηση της ανεπιθύμητης απομάκρυνσης των αργά αναπτυσσόμενων μεθανογενών βακτηρίων.

Επειδή τα λύματα στον αναερόβιο αντιδραστήρα σε υψηλότερο OLR παράγονται ευρέως από τα αχρησιμοποίητα πτητικά οξέα του αντιδραστήρα, η ρυθμιστική ικανότητα του συστήματος έπρεπε να διατηρείται με την παρουσία επαρκούς ποσότητας αλκαλικότητας. Τα πειραματικά δεδομένα που αποκτήθηκαν σε αυτήν τη μελέτη δείχνουν ξεκάθαρα ότι το αναερόβιο σύστημα ρευστοποιημένης κλίνης μπορεί να απομακρύνει το 75% της τροφοδοσίας COD σε έναν OLR ίσο με 54 g COD/l \cdot d, εξασφαλίζοντας ότι η συνολική αλκαλικότητα στον αντιδραστήρα διατηρείται στα 2.500 mg/l.

Η υψηλή αποδοτικότητα αφαίρεσης COD, καθώς επίσης και ο υψηλός ρυθμός παραγωγής μεθανίου που παρατηρήθηκε σε αυτήν τη μελέτη δείχνουν ότι, για παράδειγμα η αύξηση στην παραγωγικότητα της διεργασίας (εφόσον διατηρείται η απόδοση) που επιτεύχθηκε στο αναερόβιο σύστημα ρευστοποιημένης κλίνης είναι εντυπωσιακή. Η ρευστοποίηση των μικρών σωματιδίων στο αναερόβιο σύστημα ρευστοποιημένης κλίνης εξασφαλίζει τεράστια ποσότητα επιφανείας για τη μικροβιακή προσάρτηση και ανάπτυξη, η οποία συγκρατείται στον αντιδραστήρα. Επιπλέον, επειδή ουσιαστικά όλη η βιομάζα στον αναερόβιο αντιδραστήρα διατηρείται στα βιοφίλμ⁵² που αναπτύσσονται πάνω στα ρευστοποιημένα σωματίδια, μειώνεται κατά πολύ η πιθανότητα απομάκρυνσης της βιομάζας σε υψηλότερα υδραυλικά και/ ή οργανικά φορτία. [15]

Οι Daniel I. Massé και Lucie Masse το 2001 μελέτησαν την επίδραση της θερμοκρασίας στην επεξεργασία λυμάτων σφαγείων μέσα σε διαδοχικούς αναερόβιους αντιδραστήρες διαλείποντος έργου. Έτσι, λοιπόν, επεξεργάστηκαν λύματα σφαγείου σε τέσσερις αναερόβιους διαδοχικούς αντιδραστήρες διαλείποντος έργου χωρητικότητας 42 lt (Anaerobic Sequencing Batch Reactors - ASBRs), που λειτούργησαν στους 30 °C, 25 °C και 20 °C. Τα αποτελέσματα έδειξαν τα εξής: η συνολική COD (total COD – tCOD) μπορούσε να μειωθεί πάνω από 90% ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία λειτουργίας. Στους μέγιστους OLRs που εξετάστηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, οι ASBRs ήταν σταθεροί και αποδοτικοί, όπως φάνηκε από τον υψηλό βαθμό μετατροπής της αφαιρούμενης COD σε μεθάνιο, όπως επίσης και από την επαρκή αλκαλικότητα και το pH στους αντιδραστήρες. Η μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας από τους 30 °C στους 25 °C δεν επηρέασε πολύ τον ειδικό

⁵² Το βιοφίλμ είναι ένας λεπτός βλεννογόνος υμένας από βακτήρια, μύκητες και φύκη. Δημιουργείται οπουδήποτε υπάρχουν υγρές και νοτερές επιφάνειες, όπως σε πέτρες και φυτά στη θάλασσα αλλά και σε σωλήνες νερού. [60]

ρυθμό παραγωγής μεθανίου, αλλά η χαμηλή συγκέντρωση βιομάζας στους αντιδραστήρες μείωσε τον ογκομετρικό ρυθμό παραγωγής μεθανίου. Από την άλλη, η μείωση κατά τρεις φορές στην παραγωγή μεθανίου παρατηρήθηκε όταν η θερμοκρασία λειτουργίας ήταν 20 °C. Η μέση περιεκτικότητα μεθανίου στο βιοαέριο αυξήθηκε από 74,7% σε 78,2%, καθώς η θερμοκρασία μειώθηκε από 30 °C σε 20 °C. [7]

Το 2002 οι Esa A. Salminen και Jukka A. Rintala μελέτησαν την επίδραση του υδραυλικού χρόνου παραμονής και του φορτίου στην ημι-συνεχή αναερόβια χώνευση στερεών αποβλήτων σφαγείων πουλερικών. Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν εργαστηριακής κλίμακας χωνευτήρες ημι-συνεχούς τροφοδοσίας στους 31 °C. Η αναερόβια χώνευση ήταν εφικτή για φορτίο πάνω από 0,8 kg πτητικών στερεών (Volatile Solids) VS/m³·d και για έναν HRT ίσο με 50–100 ημέρες, παράγοντας μεθάνιο σε υψηλή τιμή. Μικρότερο φορτίο και μικρότερος HRT, ανέστειλε και/ ή υπερφόρτωσε τη διεργασία, όπως φάνηκε από τα συσσωρευμένα πτητικά λιπαρά οξέα (Volatile Fatty Acids – VFA), τα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας (Long Chain Fatty Acids – LCFA) και τη μερικώς συμπιεσμένη παραγωγή μεθανίου. Υπό συνθήκες μελέτης, η αμμωνία στο χωνευμένο υλικό μετρήθηκε ίση με 52–67% του ολικού αζώτου, και οι αφαιρέσεις των ολικών στερεών (Total Solids – TS) και VS ανήλθαν σε 76% και 64%, αντίστοιχα. [9]

Οι M.J. Cuertos, X. Gómez, M. Otero και A. Morán (2010) μελέτησαν την επίδραση της θερμότητας και της πίεσης προ-επεξεργασίας στην απόδοση του βιοαερίου κατά τη διεργασία αναερόβιας χώνευσης και συνδυασμένης χώνευσης αποβλήτων σφαγείων. Σε αυτήν την εργασία αξιολογήθηκε η μεσόφιλη αναερόβια χώνευση (34±1 °C) με προ-επεξεργασία (για 20 λεπτά στους 133 °C, >3 bar) των αποβλήτων σφαγείων και η συνδυασμένη χώνευσή τους με το οργανικό κλάσμα των

στερεών αστικών αποβλήτων (Organic Fraction of Municipal Solid Waste – OFMSW). Ημι-συνεχώς τροφοδοτούμενοι χωνευτήρες εργάστηκαν με υδραυλικό χρόνο παραμονής ίσο με 36 ημέρες και ρυθμό φόρτωσης οργανικών ίσο με 1,2 και 2,6 kg VS_{feed}/m³·d για τη χώνευση και τη συνδυασμένη χώνευση, αντίστοιχα. Όμως, η προσπάθεια αύξησης της απόδοσης του βιοαερίου μέσω της εφαρμογής προ-επεξεργασίας στα απόβλητα σφαγείων δεν επιτεύχθηκε εξαιτίας της αστάθειας των χωνευτήρων. Δεν κατέστη, όμως, δυνατή ούτε η εκτέλεση της διεργασίας αναερόβιας χώνευσης των προ-επεξεργασμένων αποβλήτων σφαγείων (Pretreated Slaughterhouse Waste – PSHW), ούτε η συνδυασμένη χώνευσή τους με το OFMSW σε χωνευτήρες ημι-συνεχούς τροφοδοσίας χωρίς προβλήματα αφρού και συσσώρευσης λίπους. Τα συστήματα που επεξεργάζονταν PSHW παρουσίασαν υψηλές συνολικές συγκεντρώσεις VFA και LCFA, οι οποίες επιδεινώθηκαν όταν προστέθηκε OFMSW ως υπόστρωμα. Ανιχνεύθηκαν, επίσης, οξέα σε άφθονες ποσότητες κατά τη διάρκεια της συνδυασμένης χώνευσης, τα οποία ήταν ενδεικτικά των ανισορροπιών της αναερόβιας χώνευσης. Τέλος, η εφαρμοζόμενη θερμότητα και πίεση οδήγησε σε μείωση των βιοαποδομήσιμων υλικών και σε αύξηση των σύνθετων δομών, επιβεβαιώνοντας την παρουσία δύστηκτων ενώσεων για την αναερόβια επεξεργασία. [12]

Οι A. Rodríguez-Abalde, B. Fernández, G. Silvestre και X. Flotats (2011) μελέτησαν τις επιδράσεις των θερμικών προ-επεξεργασιών στο δυναμικό μεθανίου των στερεών αποβλήτων σφαγείων. Εκτιμήθηκαν, λοιπόν, οι επιδράσεις των θερμικών προ-επεξεργασιών στο δυναμικό της παραγωγής βιοαερίου δύο τύπων στερεών αποβλήτων σφαγείων (υποπροϊόντα από σφαγεία πουλερικών και χοίρων) μέσω πειραμάτων διαλείποντος έργου. Και τα δύο ζωικά υποπροϊόντα χαρακτηρίστηκαν σε όρους συγκέντρωσης λίπους, πρωτεΐνης και υδατανθράκων. Οι

επιλεγμένες θερμικές προ-επεξεργασίες, παστερίωση (70 °C για 60 λεπτά) και αποστείρωση (133 °C και 3 bar για 20 λεπτά), περιλαμβάνονται στους ισχύοντες Ευρωπαϊκούς κανονισμούς για τη διάθεση ή τη χρήση των ζωικών υποπροϊόντων. Οι προ-επεξεργασίες παρήγαγαν αξιοσημείωτες βελτιώσεις στη διαλυτοποίηση της οργανικής ύλης, αλλά είχαν διαφορετικές επιδράσεις στην αναερόβια βιοαποδόμηση των επεξεργασμένων υποστρωμάτων.

Οι θερμικές προ-επεξεργασίες παρουσίασαν μεγάλη διαλυτοποίηση σωματιδίων COD στους δύο τύπους αποβλήτων σφαγείων που εξετάστηκαν. Εντούτοις, τα διαφορετικά αποτελέσματα που σχετίζονται με την αποσύνθεση πρωτεΐνης, το βιοαέριο, το δυναμικό παραγωγής μεθανίου και τα μέγιστα ποσοστά παραγωγής μεθανίου, υποδηλώνουν τη σημασία της επίδρασης της σύνθεσης στην αναερόβια βιοαποδόμηση των επεξεργασμένων υποστρωμάτων.

Ενώ οι θερμικές προ-επεξεργασίες παρουσίασαν μεγάλη αύξηση στο ποσοστό παραγωγής μεθανίου και στην απόδοση μεθανίου στα απόβλητα χοίρων, αυτήν η αύξηση δεν ήταν εξίσου μεγάλη για τα απόβλητα πουλερικών. Για τα υποπροϊόντα χοίρων που προστέθηκαν και εξετάστηκαν, η απόδοση μεθανίου μετά την παστερίωση και αποστείρωση αυξήθηκε πολύ, αυξάνοντας επίσης το ποσοστό παραγωγής μεθανίου, ενώ η απόδοση μεθανίου για τα υποπροϊόντα πουλερικών που προστέθηκαν αυξήθηκε μόνο 2,6% μετά την παστερίωση. Σε αυτήν την περίπτωση, το ποσοστό παραγωγής μεθανίου μειώθηκε σημαντικά. [3]

Οι A.B.G. Valladão, A.G. Torres, D.M.G. Freire και M.C. Cammarota το 2011 μελέτησαν την επίδραση των λιπαρών οξέων και των τριγλυκεριδίων στην αναερόβια βιοαποδόμηση των λυμάτων σφαγείων πουλερικών. Διεξήχθη, λοιπόν, υδρόλυση των λυμάτων ενός σφαγείου πουλερικών, που περιείχαν 800 mg έλαια και λίπη με 1% (w/v) μιας ενζυματικής ομάδας, η οποία αποκτήθηκε από ζύμωση

στερεής κατάστασης με μύκητα πενικιλίνης (ο μύκητας *Penicillium notatum* παράγει την πενικιλίνη). Για το σκοπό αυτό συλλέχθηκαν κλάσματα λυμάτων έπειτα από 4, 8, και 24 ώρες υδρόλυσης και εξετάστηκαν για αναερόβια βιοαποδόμηση σε διαδοχικούς αντιδραστήρες διαλείποντος έργου. Η χρήση 1% στερεής ενζυματικής προ-επεξεργασίας για 4 ώρες προώθησε την υδρόλυση, ενώ υψηλότερη συγκέντρωση των λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας δεν ανέστειλε τον αναερόβιο μεταβολισμό. Οι περισσότερες μελέτες πάνω στην αναστολή του αναερόβιου μεταβολισμού των λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας χρησιμοποιούν συνθετικά υποστρώματα, τα οποία στις περισσότερες περιπτώσεις περιέχουν τα λιπίδια αυτά μόνο ως πηγή ενέργειας. Σε πραγματικές καταστάσεις, τα λύματα από μονάδες παραγωγής, περιέχουν πολλά άλλα συστατικά, τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν την τοξικότητα ή την επίδραση των λιπαρών οξέων στη βιομάζα. [4]

Οι A. Marcos, A. Al-Kassir, F. López, F. Cuadros και P. Brito (2012) μελέτησαν την επίδραση της μεταβολής ροής στην παραγωγή βιοαερίου κατά την περιβαλλοντική επεξεργασία αποβλήτων σφαγείων σε έναν αντιδραστήρα συνεχούς ανάδευσης. Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν ο καθορισμός της επίδρασης του ρεύματος εισροής στην παραγωγή βιοαερίου και η περιβαλλοντική επεξεργασία των στερεών και υγρών αποβλήτων ενός δημοτικού σφαγείου της Ισπανίας, χρησιμοποιώντας ένα συνεχή χωνευτήρα τύπου CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor – Αντιδραστήρας Συνεχούς Ανάδευσης). Η αξιολόγηση της ενέργειας εφαρμόστηκε σε μία μικρή μονάδα προσαρμοσμένη στην παραγωγή αποβλήτων ενός σφαγείου με εισροή 55 m³/d (με 40 g COD/l). Η πειραματική συσκευή που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένας συνεχής χωνευτήρας μικτού τύπου χωρητικότητας 6 lt, με ανακυκλοφορία του παραγόμενου μεθανίου. Υπό μεσόφιλες συνθήκες (37 °C), η βιολογική αναερόβια αποδόμηση, η παραγωγή βιοαερίου, και οι διεργασίες

αναστολής αναλύθηκαν για έξι ροές. Βρέθηκε ότι η περιβαλλοντικά βέλτιστη ροή για παραγωγή ενέργειας είναι 350 ml/d και δείχνει την υψηλότερη διάσπαση των κατάλοιπων. Τελικά, η ενέργεια που αποκτήθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λέβητες ή σε μηχανές εσωτερικής καύσης σε συνδυασμό με μια ηλεκτρογεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. [2]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: CASE STUDY

Στις 26/05/2012 πραγματοποιήσα επίσκεψη στα Σφαγεία Λάρισας Α.Ε. στη Γυρτώνη Λάρισας. Τα Σφαγεία Λάρισας Α.Ε. είναι το 5^ο καλύτερο σφαγείο της Ελλάδας και ομολογουμένως ένα από τα πιο σύγχρονα και πιο καθαρά σφαγεία που πληροί σε μεγάλο βαθμό τις απαιτήσεις της Ε.Ε. Στις εγκαταστάσεις του σφαγείου με ξενάγησαν ο Προϊστάμενος Ηλεκτρολόγος-Μηχανολόγος και ο Προϊστάμενος Παραγωγής.



Εικόνα 12: Σφαγεία Λάρισας Α.Ε.

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΦΑΓΕΙΟΥ

Το συγκεκριμένο σφαγείο αποτελείται από 3 γραμμές σφαγής, αιγοπροβάτων, βοοειδών και χοιρινών. Για κάθε μία γραμμή σφαγής υπάρχει χωριστός στάβλος, διαφορετικό ψυγείο και χωριστή καθαρή και ακάθαρτη ζώνη. Η ακάθαρτη ζώνη

περιλαμβάνει τις διεργασίες μέχρι και την αφαίμαξη, ενώ η καθαρή ζώνη περιλαμβάνει όλες τις υπόλοιπες διεργασίες. Οι δύο ζώνες είναι στην ουσία δύο γειτονικοί ξεχωριστοί χώροι. Η λειτουργία και των τριών γραμμών σφαγής είναι παρόμοια και εξαρτάται από το είδος των ζώων. Τα τυχόν άρρωστα ζώα οδηγούνται σε ειδικό ψυγείο “υπόπτων”.



Εικόνα 13: Οι τρεις στάβλοι (δεξιά).

1. Γραμμή σφαγής αιγοπροβάτων

Ακάθαρτη ζώνη: Γίνεται εκφόρτωση των αιγοπροβάτων και τοποθετούνται σε χωριστά κελιά (αρνιά, κατσίκια, γίδια, πρόβατα) στο στάβλο. Από εκεί οδηγούνται στην παγίδα. Εκεί πραγματοποιείται αναισθητοποίηση με ηλεκτροσόκ. Μόλις το ζώο αναισθητοποιηθεί κρεμάται με τσιμπίδα στο ανεβαστήριο και γίνεται η αφαίμαξή του. Έπειτα πραγματοποιείται το γδάρσιμο με τα χέρια.

Καθαρή ζώνη: Στην καθαρή ζώνη πραγματοποιείται ο εκσπλαχνισμός⁵³, ο καθαρισμός, το ζύγισμα και το σφράγισμα. Τα πρόβατα και τα γίδια σχίζονται στη μέση.

2. Γραμμή σφαγής βοοειδών

Ακάθαρτη ζώνη: Και στη δεύτερη γραμμή σφαγής γίνεται εκφόρτωση των βοοειδών και τοποθετούνται χωριστά στο στάβλο τα μοσχάρια και οι αγελάδες. Από εκεί οδηγούνται στην παγίδα. Εκεί πραγματοποιείται αναισθητοποίηση με πιστόλι. Μόλις το ζώο αναισθητοποιηθεί κρεμάται στο ανεβαστήριο και γίνεται η αφαίμαξή του. Έπειτα κόβονται τα πόδια και τα κέρατα και γδέρνονται τα ζώα με μηχανήμα από πάνω προς τα κάτω.

Καθαρή ζώνη: Στην καθαρή ζώνη γίνεται ο καθαρισμός και ο εκσπλαχνισμός των ζώων. Στη συνέχεια σχίζονται στη μέση, ζυγίζονται, σφραγίζονται και γίνεται ο ποιοτικός έλεγχος του κρέατος.

3. Γραμμή σφαγής χοίρων

Ακάθαρτη ζώνη: Στην τρίτη και τελευταία γραμμή σφαγής πάλι γίνεται εκφόρτωση των ζώων και τοποθετούνται σε χωριστά κελιά στο στάβλο. Από εκεί οδηγούνται στην παγίδα. Επειδή ο οργανισμός των χοιρινών είναι παρόμοιος με τον ανθρώπινο οργανισμό, πραγματοποιείται αναισθητοποίηση σε θάλαμο που περιέχει διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Σε περίπτωση βλάβης στο θάλαμο διοξειδίου του άνθρακα, μπορεί να γίνει αναισθητοποίηση με ηλεκτροσόκ. Εκεί υπάρχει πίνακας που μετρά το CO₂ και το χρόνο μέχρις ότου το ζώο αναισθητοποιηθεί. Στη συνέχεια πραγματοποιείται

⁵³ Είναι η αφαίρεση των εντόσθιων (έντερα, πνευμόνια, συκώτι, κοιλιά).

αφαίμαξη και πλύσιμο. Έπειτα κόβονται τα πόδια και γίνεται η αφαίρεση του δέρματος με μηχάνημα από κάτω προς τα πάνω.

Καθαρή ζώνη: Στους χοίρους η καθαρή ζώνη χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το ένα τμήμα αφορά τα μαδητά και το άλλο τα γδαρτά ζώα.

Στα γδαρτά ζώα γίνεται εκσπλαχνισμός και στη συνέχεια τα ζώα σχίζονται στη μέση.

Τα μαδητά γουρούνια μπαίνουν σε δεξαμενή με ζεστό νερό για 3-5 λεπτά, το οποίο με τη βοήθεια ατμού και αισθητήρων διατηρείται στους 60-62 °C. Στη συνέχεια πέφτουν σε ειδικό περιστρεφόμενο μηχάνημα που αποτελείται από πολλά «μαχαίρια» για την αφαίρεση της τρίχας τους. Έπειτα κρέμονται στο ανεβαστήριο και πλένονται σε άλλο μηχάνημα για να φύγουν και οι τελευταίες τρίχες και σχίζονται στη μέση.

Σε εκείνο το σημείο τα δύο τμήματα ενώνονται πάλι και γίνεται ταυτόχρονος εκσπλαχνισμός, καθαρισμός, ζύγισμα και σφράγισμα των γδαρτών και μαδητών χοίρων.

Τα τελικά στάδια κάθε γραμμής σφαγής είναι η τοποθέτηση στα ψυγεία, το ζύγισμα και το φόρτωμα. Βέβαια, πριν φορτωθούν τα ζώα, ελέγχονται πάλι και αφαιρούνται τυχόν εναπομείναντα υποπροϊόντα.

Σε κάθε γραμμή σφαγής τα εντόσθια μπαίνουν σε κάδους. Όσα φαίνονται να είναι «ύποπτα» μπαίνουν σε ένα μεγάλο κάδο (βάρους περίπου 50 kg), ο οποίος κλείνει, δημιουργείται πίεση για κάποιο χρόνο και απομακρύνονται μέσω κοινού σωλήνα (airkan) με αερομεταφορά στη μονάδα αδρανοποίησης για παραγωγή βιοαερίου, βιοντίζελ, κρεατάλευρου, κ.λπ. Το λίπος των χοιρινών, όμως, πηγαίνει κατευθείαν για κατανάλωση.

Σε κάθε γραμμή σφαγής στην ακάθαρτη ζώνη υπάρχει ειδική δεξαμενή, όπου συλλέγεται το αίμα κατά την αφαίμαξη των ζώων και μεταφέρεται με αντλία στη μονάδα αδρανοποίησης για παραγωγή βιοαερίου, αιματάλευρου, κ.λπ.



Εικόνα 14: Σωληνώσεις μεταφοράς των υποπροϊόντων προς τη μονάδα αδρανοποίησης (δεξιά). Με τις τρεις ίδιες σωλήνες (μία για κάθε γραμμή παραγωγής) με ασημί χρώμα μεταφέρεται το αίμα. Με τη μεγάλη σωλήνα πάνω από αυτές του αίματος μεταφέρονται τα εντόσθια.

Από τα μικρά πρόβατα μέχρι 1 έτους αφαιρείται η σπλήνα, το κεφάλι και το μεδούλι και από τα μοσχάρια μέχρι 1 έτους αφαιρείται το μισό κεφάλι (το καύκαλο), τα μάτια και τα έντερα γιατί συγκαταλέγονται στην κατηγορία ειδικού κινδύνου (μπορεί να μεταφέρουν ασθένειες στον άνθρωπο) και καίγονται κατευθείαν σε ειδικούς κάδους.

Γενικά, σε ένα σφαγείο υπάρχουν τρεις κατηγορίες για τα εντόσθια. Όσα ανήκουν στην κατηγορία I πηγαίνουν κατευθείαν για καταστροφή. Από αυτά που ανήκουν στην κατηγορία II επιλεκτικά κάποια πηγαίνουν για καταστροφή και κάποια για εμπόριο και ανθρώπινη κατανάλωση. Όσα ανήκουν στην κατηγορία III είναι όλα εμπορεύσιμα και ενδείκνυνται για ανθρώπινη κατανάλωση. Σε κάθε γραμμή σφαγής υπάρχουν τέτοιοι κάδοι συλλογής των εντοσθίων.

4.2 ΜΟΝΑΔΑ ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ (RENDERING)

Στις μονάδες rendering μεταφέρονται τα μη εδώδιμα προϊόντα των σφαγείων ζώων (αίμα, λευκά εντόσθια, οστά κ.λ.π.). Ο σκοπός μιας τέτοιας μονάδας είναι η αξιοποίηση των υποπροϊόντων και η μεταποίησή τους σε προϊόντα με εμπορική αξία. Τα υποπροϊόντα διαχωρίζονται σε λίπος και κρεατάλευρο, αφού συλλεχθεί το αίμα που περιέχουν.

Στα Σφαγεία Λάρισας Α.Ε. χρησιμοποιείται η μέθοδος dry rendering που αναφέρθηκε στο 2ο Κεφάλαιο, ενώ παράγεται αιματάλευρο από το αίμα και κρεατάλευρο από τα υποπροϊόντα και τα εντόσθια Κατηγορίας I, που έχουν μεταφερθεί στη μονάδα αδρανοποίησης, με τον τρόπο που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Τα εντόσθια που έρχονται από το σφαγείο μέσω airkan αποθηκεύονται στη χοάνη παραλαβής.



Εικόνα 15: Χοάνη παραλαβής υποπροϊόντων (κεφάλια, πόδια, εντόσθια).

Κοχλιομεταφορέας (αριστερά και πίσω).

Από τη χοάνη, τα υποπροϊόντα μεταφέρονται μέσω κοχλιομεταφορέα σε πολτοποιητή – σπαστήρα. Ο σπαστήρας αποτελείται από μαχαίρια, τα οποία κόβουν τα υποπροϊόντα σε μέγεθος μέχρι 5 mm. Τα έντερα, το στομάχι και η κοιλιά κόβονται, ενώ αφαιρείται η κοπριά. Τα έντερα πέφτουν μαζί με τα στερεά.



Εικόνα 16: Σπαστήρας.

Από το σπαστήρα, τα υποπροϊόντα μεταφέρονται μέσω κοχλιομεταφορέα στο οτοκλαν (κλίβανος αποστείρωσης – βραστήρας), όπου καταλήγει και το αιματάλευρο, μετά την κροκίδωση και το διαχωρισμό του. Το οτοκλαν εργάζεται για 3 ½ ώρες περίπου, ώστε να γίνει συγχώνευση των υποπροϊόντων και να φτάσει η θερμοκρασία

μέσα στο οτοκλάν τους 135 °C και 3 bar πίεση και στη συνέχεια γίνεται η υδρόλυση για 25-30 λεπτά περίπου.



Εικόνα 17: Οτοκλάν.



Εικόνα 18: Πίνακας ελέγχου πίεσης, θερμοκρασίας, χρόνου και καταγραφής υδρόλυσης.

Από το otoklav, το προϊόν πέφτει σε δεξαμενή διαχωρισμού λίπους – νωπού κρεατάλευρου, όπου παραμένει για μισή ώρα περίπου (βλ. Εικόνα 19).



Εικόνα 19: Δεξαμενή διαχωρισμού λίπους-νοπού κρεατάλευρου (κάτω).

Θερμαινόμενη δεξαμενή αποθήκευσης λίπους με αναδευτήρα (πάνω).



Εικόνα 20: Αντλία λίπους και δεξαμενή διαχωρισμού στερεών – υγρών.

Το λίπος από την καθίζηση οδηγείται μέσω αντλίας σε δοχείο αποθήκευσης οριζόντιου φυγοκεντρικού διαχωριστή (decanter), για το διαχωρισμό του από τις στερεές προσμίξεις που περιέχει. Στη συνέχεια περνά από οριζόντιο και κάθετο decanter. Τελικά, το καθαρό λίπος συλλέγεται σε θερμαινόμενα δοχεία και από εκεί οδηγείται στη μονάδα παραγωγής βιοκαυσίμου.



Εικόνα 21: Οριζόντιος φυγοκεντρικός διαχωριστής λίπους (decanter).

Από το decanter κρεατάλευρου και λίπους, τα στερεά υποπροϊόντα και το κρεατάλευρο μεταφέρονται μέσω κοχλιομεταφορέα σε χοάνη παραλαβής πρέσας.

Το επιπλέον λίπος που βγαίνει από την πρέσα, μεταφέρεται κι αυτό μέσω αντλίας (βλ. Εικόνα 23) στη δεξαμενή διαχωρισμού στερεών – υγρών.



Εικόνα 22: Πρέσα.



Εικόνα 23: Αντλία πρέσας λίπους.



Εικόνα 24: Σπαστήρας (κάτω). Φυγοκεντρικό ανοξείδωτο και κοχλιομεταφορέας (πάνω). Δεξαμενή ψύξης (αριστερά).

Από την πρέσα, τα υποπροϊόντα μεταφέρονται μέσω κοχλιομεταφορέα σε δεξαμενή ψύξης, περνούν από κόσκινο όπου γίνεται ο διαχωρισμός του ψιλού και του

χοντρού κρεατάλευρου. Τα χοντρά κομμάτια περνούν από σπαστήρα, ενώ τα ψιλά πηγαίνουν κατευθείαν στο σιλό αποθήκευσης (βλ. Εικόνα 25).



Εικόνα 25: Σιλό αποθήκευσης κρεατάλευρου (τελικό στάδιο).



Εικόνα 26: Κρεατάλευρο.



Εικόνα 27: Δεύτερη δεξαμενή λίπους (αριστερά). Κάθετο decanter, όπου γίνεται ο διαχωρισμός λίπους, νερού και τυχόν υπολειμμάτων (δεξιά).



Εικόνα 28: Δεξαμενή αποθήκευσης λίπους «βιοντίζελ» (τελικό στάδιο).

Το αίμα αποθηκεύεται σε δεξαμενή με αναδευτήρα, από κει γίνεται κροκίδωση με ξηρό ατμό, μεταφέρεται σε decanter όπου γίνεται ο διαχωρισμός υγρού-στερεού και το στερεό που βγαίνει από το decanter είναι το αιματάλευρο, το

οποίο μεταφέρεται μέσω κοχλιομεταφορέα σε σιλό αποθήκευσης για την αποθήκευσή του.



Εικόνα 29: Αντλίες τροφοδοσίας για το σύστημα κροκίδωσης (αριστερά). Δεξαμενή αποθήκευσης αίματος (δεξιά).



Εικόνα 30: Σύστημα κροκίδωσης.



Εικόνα 31: Decanter αίματος.

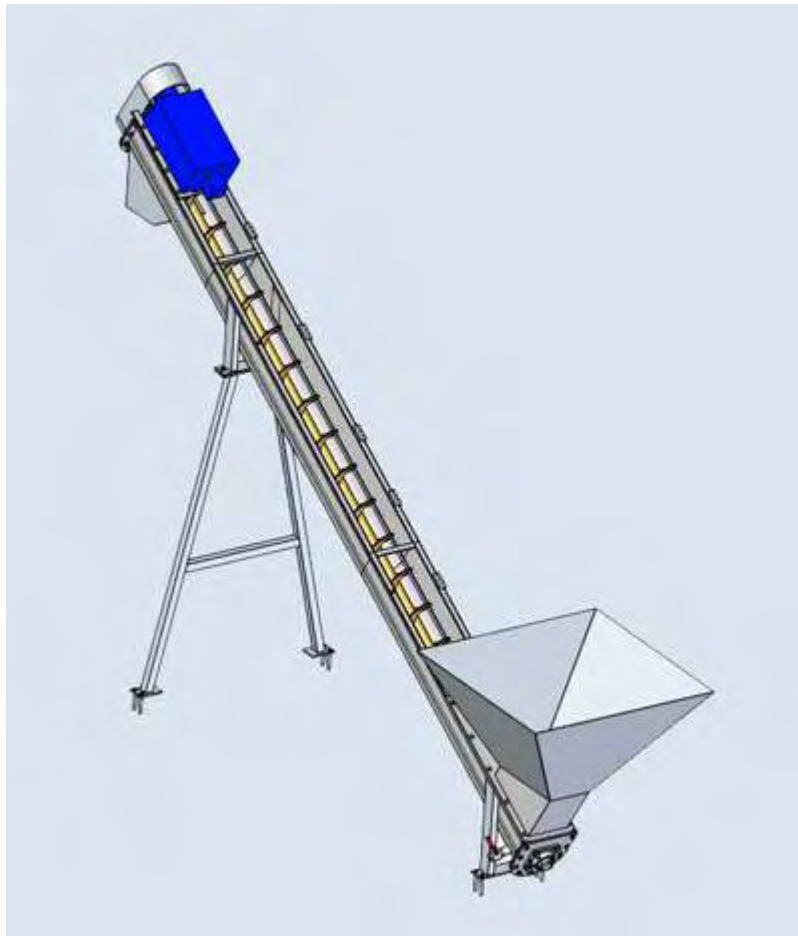


Εικόνα 32: Το σύστημα επεξεργασίας του αίματος.



Εικόνα 33: Αιματάλειρο.

Το τελικό ξηρό προϊόν (αιματάλευρο, κρεατάλευρο) σε μορφή σκόνης οδηγείται προς τελική διάθεση.



Εικόνα 34: Κοχλιομεταφορέας. (Πηγή:

<http://www.hatziioakimidis.gr/default.asp?pid=2&la=1&ct=28&itm=78>)

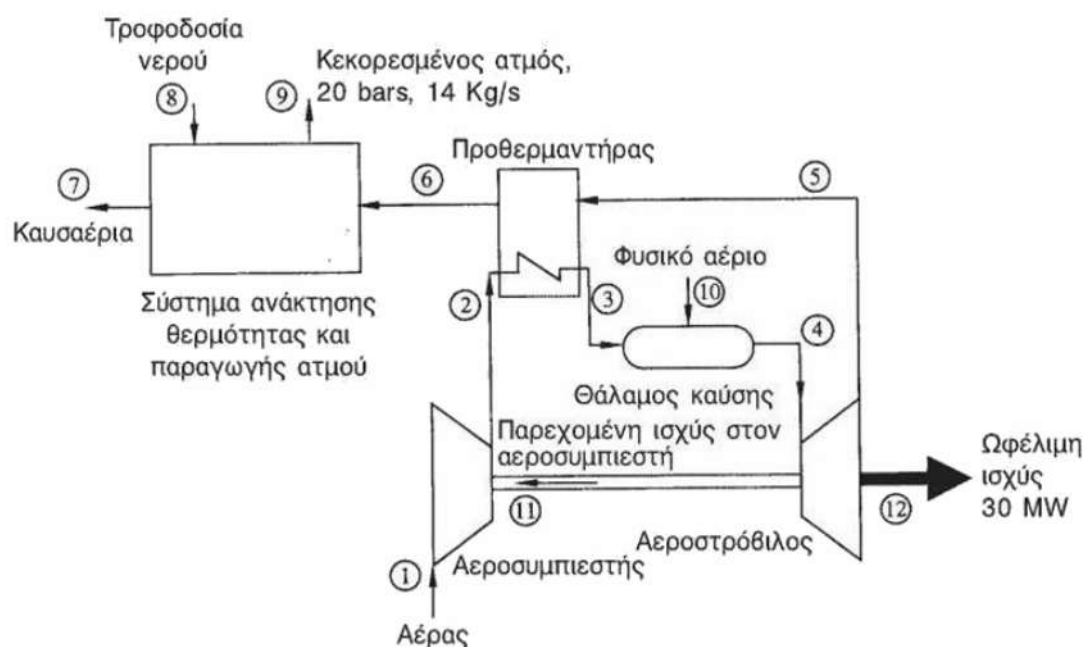


Εικόνα 35: Δεξαμενές απόσμισης.

Στο οτοκλαν υπάρχει μια σωλήνα, που κατά την υδρόλυση οι υδρατμοί (τα μη συμπυκνωμένα οσμηρά αέρια) οδηγούνται σε ειδική μονάδα απόσμισης. Το αέριο που βγαίνει, δηλαδή οι θερμοί ατμοί που παράγονται κατά τη φάση της υδρόλυσης και μπορούν να συμπυκνωθούν, επειδή έχει υψηλή πίεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Τα υγροποιημένα αέρια οδηγούνται στο βιολογικό καθαρισμό της μονάδας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ

Μελετώντας ένα απλό παράδειγμα συμπαραγωγής, το οποίο είχε αναλυθεί στα πλαίσια του μεταπτυχιακού μαθήματος «Σχεδιασμός Ενεργειακών Συστημάτων» (βλ. Εικόνα 36) και χρησιμοποιώντας ένα δοσμένο αρχείο Excel, όπως επίσης και δεδομένες τιμές από τα Σφαγεία Α.Ε., το πρόβλημα διαστατοποιήθηκε για 140 kW, πίεση στη θέση 9 ίση με 2,3 bars και μάζα κεκορεσμένου ατμού 0,09 kg/s.



Εικόνα 36: Πρότυπος σχεδιασμός συστήματος συμπαραγωγής.

5.1 ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

Οι βασικές υποθέσεις του μοντέλου του συστήματος συμπαραγωγής είναι:

- Το σύστημα συμπαραγωγής λειτουργεί σε μόνιμη κατάσταση.
- Ο αέρας και τα προϊόντα της καύσης θεωρούνται μίγματα ιδανικών αερίων.
- Το καύσιμο (βιοαέριο στην προκειμένη περίπτωση), το οποίο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, θεωρείται ως ιδανικό αέριο. Το καύσιμο, που προέρχεται

από μια πηγή υψηλής πίεσης, εισέρχεται στο θάλαμο καύσης αφού προηγουμένως υποστεί στραγγαλισμό.

- Η καύση στο θάλαμο καύσης είναι πλήρης και το N_2 είναι αδρανές.
- Η μετάδοση θερμότητας από το θάλαμο καύσης είναι 2% της κατώτερης θερμογόνου δύναμης του καυσίμου.
- Όλα τα άλλα τμήματα του συστήματος λειτουργούν χωρίς απώλειες θερμότητας.

5.2 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

Στη σχεδίαση και βελτιστοποίηση ενός θερμικού συστήματος υπάρχουν δύο είδη ανεξάρτητων μεταβλητών:

- οι μεταβλητές απόφασης και
- οι παράμετροι.

Σε ένα πρόβλημα, οι μεταβλητές απόφασης μεταβάλλονται κατά τη βελτιστοποίηση, αλλά οι παράμετροι παραμένουν σταθερές. Όλες οι άλλες μεταβλητές θεωρούνται εξαρτημένες και οι τιμές τους υπολογίζονται από τις ανεξάρτητες μεταβλητές, χρησιμοποιώντας το θερμοδυναμικό μοντέλο.

- Παράμετροι:
 - Διαστατοποίηση για 140 kW.
 - Πίεση στη θέση 9, $P_9 = 2,3$ bars.
 - Μάζα κεκορεσμένου ατμού $m_{H_2O} = 0,09$ kg/s.
- Μεταβλητές απόφασης:
 - $P_2/P_1 = 4,4$.
 - $T_3 = 720$ K.

- $T_4 = 1.260 \text{ K}$.
- $\eta_{sc} \approx 81\%$.
- $\eta_{sT} \approx 85\%$.
- Εξαρτημένες μεταβλητές:
 - Αεροσυμπιεστής: p_2, T_2 .
 - Προθερμαντήρας αέρα: p_3, p_6, T_6 .
 - Θάλαμος καύσης: p_4 .
 - Αεροστρόβιλος: p_5, T_5 .
 - Ατμοπαραγωγός ανάκτησης θερμότητας: T_7 .

5.2.1 Παράμετροι

Οι παράμετροι είναι ανεξάρτητες μεταβλητές με συγκεκριμένες τιμές και θεωρούνται σταθερές κατά τη βελτιστοποίηση. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα, υπάρχουν οι εξής παράμετροι:

- Προϊόντα συστήματος: Η ωφέλιμη ισχύς που παράγεται από το σύστημα είναι 140 kW . Κεκορεσμένος υδρατμός τροφοδοτεί το σύστημα σε $p_9 = 2,3 \text{ bars}$ και $m_9 = 0,09 \text{ kg/s}$.
- Αεροσυμπιεστής: $T_1 = 298,15 \text{ K}$, $p_1 = 1,013 \text{ bars}$. Γραμμομοριακή ανάλυση του αέρα (%): $77,48 \text{ N}_2$, $20,59 \text{ O}_2$, $0,03 \text{ CO}_2$, $1,9 \text{ H}_2\text{O(g)}$.
- Προθερμαντήρας αέρα. Πτώση πίεσης: 3% στην πλευρά των καυσαερίων και 5% στην πλευρά του αέρα.
- Ατμοπαραγωγός ανάκτησης θερμότητας. $T_8 = 298,15 \text{ K}$, $p_9 = 2,3 \text{ bars}$, $p_7 = 1,013 \text{ bars}$. Πτώση πίεσης: 5% στην πλευρά των καυσαερίων.

- Θάλαμος καύσης. $T_{10} = 298,15$ K. Πτώση πίεσης: 5%. Επιπλέον, η πίεση του καυσίμου p_{10} που εισέρχεται στο θάλαμο καύσης, είναι μια παράμετρος ίση με 12 bars.

5.2.2 Μεταβλητές απόφασης

- Σε αυτό το μοντέλο, ο λόγος των πιέσεων του συμπιεστή p_2/p_1 , ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή η_{sc} , ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στρόβιλου η_{sT} , η θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής στο θάλαμο καύσης T_3 και η θερμοκρασία των προϊόντων της καύσης που εισέρχονται στο στρόβιλο T_4 , θεωρούνται μεταβλητές απόφασης.
 - Οι ονομαστικές τιμές των μεταβλητών αυτών είναι: $p_2/p_1 = 4,4$, $\eta_{sc} \approx 81\%$, $\eta_{sT} \approx 85\%$, $T_3 = 720$ K, $T_4 = 1.260$ K.
- Παρόλο που οι μεταβλητές απόφασης πιθανόν να μεταβάλλονται κατά τη βελτιστοποίηση, ωστόσο πρέπει να βρίσκονται εντός ενός συγκεκριμένου εύρους τιμών. Στην παρούσα εφαρμογή, δίνονται μόνο οι μέγιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης.
 - Ο λόγος των πιέσεων του συμπιεστή μιας εγκατάστασης ισχύος αεροστρόβιλου σε λειτουργία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16: $p_2/p_1 \leq 16$.
 - Για λόγους κόστους, απαιτείται επίσης οι μέγιστες τιμές του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης του συμπιεστή και του στρόβιλου να είναι μικρότερες από 90 και 92%, αντίστοιχα.
 - Λόγω της περιορισμένης αντοχής των υλικών των αεροστρόβιλων σε υψηλές θερμοκρασίες, η θερμοκρασία T_4 δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 1.550 K: $T_4 \leq 1550$ K.

5.2.3 Εξαρτημένες μεταβλητές

Οι εξαρτημένες μεταβλητές περιλαμβάνουν την παροχή μάζας του αέρα, τα προϊόντα της καύσης και το καύσιμο, την απαιτούμενη ισχύ του συμπιεστή, την ισχύ που αναπτύσσεται στο στρόβιλο και τις παραπάνω πιέσεις και θερμοκρασίες της Παραγράφου 5.2.

5.3 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Γνωστές Παράμετροι	
kW	140
P9	2,3
m H₂O	0,09
T1	298,15
P1	1,0130
T9	393,3615459
πτώση πίεσης αέρα	0,95
πτώση πίεσης καυσαερίων	0,97
T8	298,15
P9	20
P7	1,013
P10	12

Πίνακας 4: Γνωστές παράμετροι.

Υπόλοιπες παράμετροι λειτουργίας	
h8	106,6864
s8	0,3667
h9	2798,3841
s9	6,3392
P8	20,0000
h8o	104,88000
T10	298,15
P10	12

Πίνακας 5: Υπόλοιπες παράμετροι λειτουργίας.

Εύρεση παροχών	
μαέρα	0,8834
εύρεση παροχής καυσίμου	0,0093
εύρεση παροχής καυσαερίων	0,8927

Πίνακας 6: Παροχή αέρα, καυσίμου, καυσαερίων.

Η παροχή καυσίμου υπολογίστηκε βάσει της ημερήσιας ποσότητας αποβλήτων που παραλαμβάνονται από τα Σφαγεία Α.Ε., η οποία είναι περίπου 2 τόνοι. Από τα απόβλητα σφαγείων (αίμα, κοιλίες και μαλακοί ιστοί) και το λίπος παράγεται βιοαέριο ίσο περίπου με 550 m³/t. Υπολογίστηκε έτσι, η ημερήσια παραγωγή βιοαερίου περίπου ίση με 1.100 m³, ενώ θεωρήθηκε ότι το βιοαέριο αποτελείται από 70% μεθάνιο, το οποίο και χρησιμοποιείται ως καύσιμο στο σύστημα συμπαραγωγής. Η πυκνότητα του βιοαερίου είναι περίπου ίση με 1,15 kg/m³. Έτσι, υπολογίστηκε η παροχή μεθανίου στο δευτερόλεπτο περίπου ίση με 1.265 kg/s. Η ισχύς εξαρτάται άμεσα από την παροχή καυσίμου.

Μεταβλητές Απόφασης	
P2/P1	4,4000
nsc	0,8133
nst	0,8543
T3	720,0000
T4	1260,0000

Πίνακας 7: Μεταβλητές απόφασης.

5.4 ΕΞΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

m air	0,8834
m καυσαερίων	0,8927
MB air	28,6486
MB καυσαερίων	28,2562
m H ₂ O	0,09
m CH ₃ OH	0,0093
Περιεκτικότητα Αέρα	
Άζωτο, N ₂	0,7748
Οξυγόνο, O ₂	0,2059
Διοξείδιο του άνθρακα, CO ₂	0,0003
Νερό (αέρια φάση) (g), H ₂ O	0,0190
Περιεκτικότητες καυσαερίων	
N ₂	0,7604
O ₂	0,1650
CO ₂	0,0188
H ₂ O	0,0557

Πίνακας 8: Μάζες, μοριακά βάρη και περιεκτικότητες αέρα και καυσαερίων.

Υπολογισμός εξεργειών			
Θέση	φυσική εξέργεια	χημική εξέργεια	σύνολο
1	0	0	0
2	0,156373435	0	0,156373435
3	0,389457261	0	0,389457261
4	0,670422274	0,0008323	0,671254574
5	0,348249265	0,0008323	0,349081566
6	0,112422989	0,0008323	0,113255289
7	0,012368562	0,0008323	0,013200862
8	0,000162572	0,000224813	0,000387384
9	0,082154321	0,000224813	0,082379133
10	0,003570272	0,480308519	0,483878791
11			-
			29,68513947

Πίνακας 9: Υπολογισμός εξεργειών.

	ισχύς (MW)	Ποσοστό
καταστροφή εξέργειας καυστήρα	0,202081478	81,8378893
καταστροφή εξέργειας προθερμαντήρα	0,00274245	1,110623045
καταστροφή εξέργειας συμπιεστή	0,016729907	6,775189501
καταστροφή εξέργειας στροβίλου	0,007312482	2,961370212
καταστροφή εξέργειας εναλλάκτη	0,018062678	7,314927937
συνολική καταστροφή εξέργειας	0,246928996	100

Πίνακας 10: Καταστροφή εξέργειας συσκευών.

εξεργειακός βαθμός απόδοσης	0,45877553
εξεργειακοί βαθμοί απόδοσης συσκευών	
εξεργειακός βαθμός απόδοσης συμπιεστή	0,903353065
εξεργειακός βαθμός απόδοσης στρόβιλου	0,97184846
εξεργειακός βαθμός απόδοσης καυστήρα	0,768609715
εξεργειακός βαθμός απόδοσης εναλλάκτη	0,819471475
εξεργειακός βαθμός απόδοσης προθερμαντήρα	0,988370887

Πίνακας 11: Εξεργειακός βαθμός απόδοσης συσκευών.

5.5 ΘΕΡΜΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Κόστη Εγκατάστασης	PECK(1000\$)	zO(κόστος λειτ.+συντ)(\$/hr)
συμπιεστής	4,719871805	0,951742274
προθερμαντήρας	67,62140796	13,63557217
θάλαμος καύσης	0,926495116	0,186823839
στρόβιλος	8,444017808	1,702700634
εναλλάκτης	11,61589064	2,342295434
other	7,992243427	2,195998319

Πίνακας 12: Κόστη εγκατάστασης.

5.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΘΕΣΗ	m[=kg/s]	T[=K]	P[=bar]	h[=KJ/Kg]	s[=KJ/KgK]
1	0,883372759	298,15	1,013	-4719,206706	199,3455613
2	0,883372759	485,3446833	4,4572	894,6867255	201,1653352
3	0,883372759	720	4,23434	12523,88027	214,8164515
4	0,892720255	1260	4,022623	10605,47663	235,0920792
5	0,892720255	919,1885261	1,099294628	639,5752603	235,868377
6	0,892720255	624,679056	1,066315789	-10773,94906	222,6226988
7	0,892720255	380,8263116	1,013	-18441,68546	207,5268275
8	0,09	298,15	20	106,6863517	0,366739906
9	0,09	397,8375087	2,3	2798,38414	6,339164377
10	0,009347496	298,15	12	-74872	186,251
11					
12					

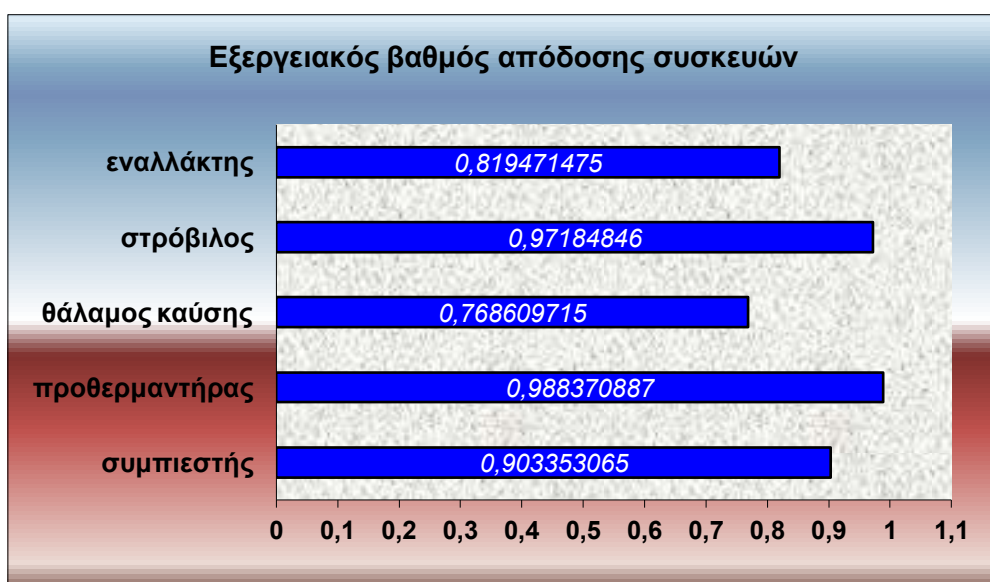
Πίνακας 13: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα θερμοδυναμικής ανάλυσης.

συσκευή	ισχύς (MW) καταστρ. εξέργ.	Ποσοστό	Εξ.Βαθμ.Απ.
συμπιεστής	0,016729907	6,775189501	0,903353065
προθερμαντήρας	0,00274245	1,110623045	0,988370887
θάλαμος καύσης	0,202081478	81,8378893	0,768609715
στρόβιλος	0,007312482	2,961370212	0,97184846
εναλλάκτης	0,018062678	7,314927937	0,819471475
other			
σύνολο	0,246928996	100	0,45877553

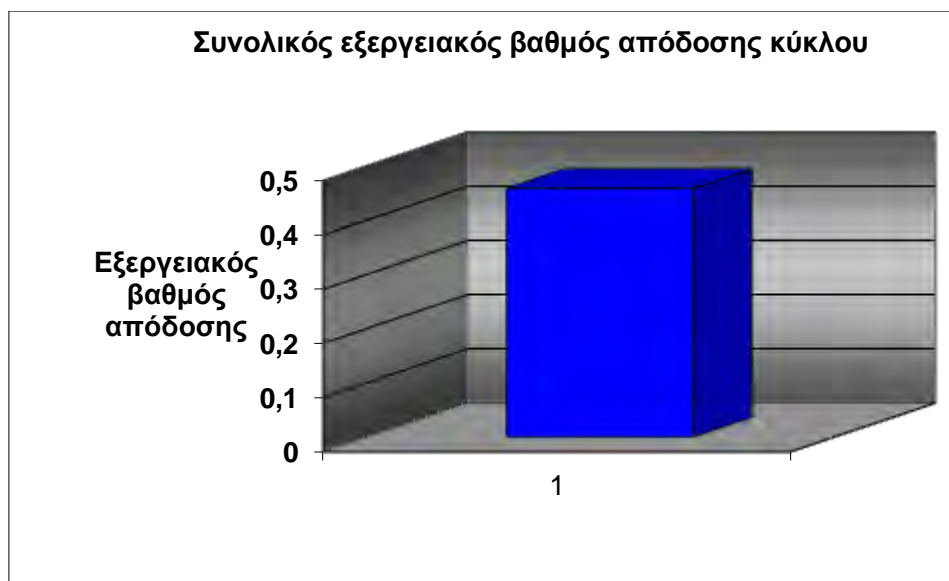
Πίνακας 14: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εξεργειακής ανάλυσης.

ΘΕΣΗ	c[=\$/GJ]	C[=\$/hr]
1	0	0
2	-42,1439	-23,7247
3	-7,94829	-11,1439
4	-1,2424	-3,00228
5	-1,2424	-1,56132
6	-1,2424	-0,50655
7	-1,2424	-0,05904
8	0	0
9	6,389116	1,894787
10	4,566548	7,954761
11	0,230909	-24,6703
12	0,230909	0,116378
Συνολικό κόστος [=\$/hr]		
4,148121		

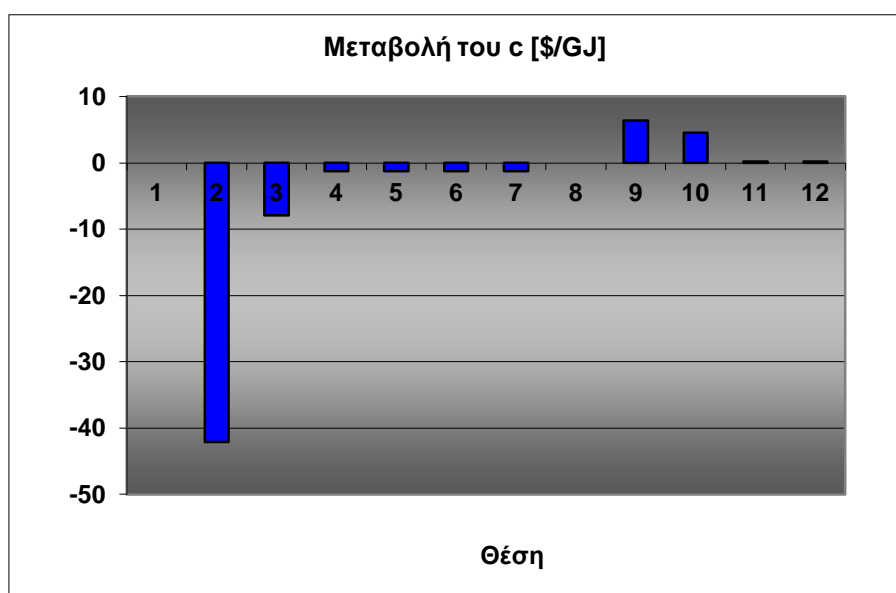
Πίνακας 15: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα θερμοοικονομικής ανάλυσης.



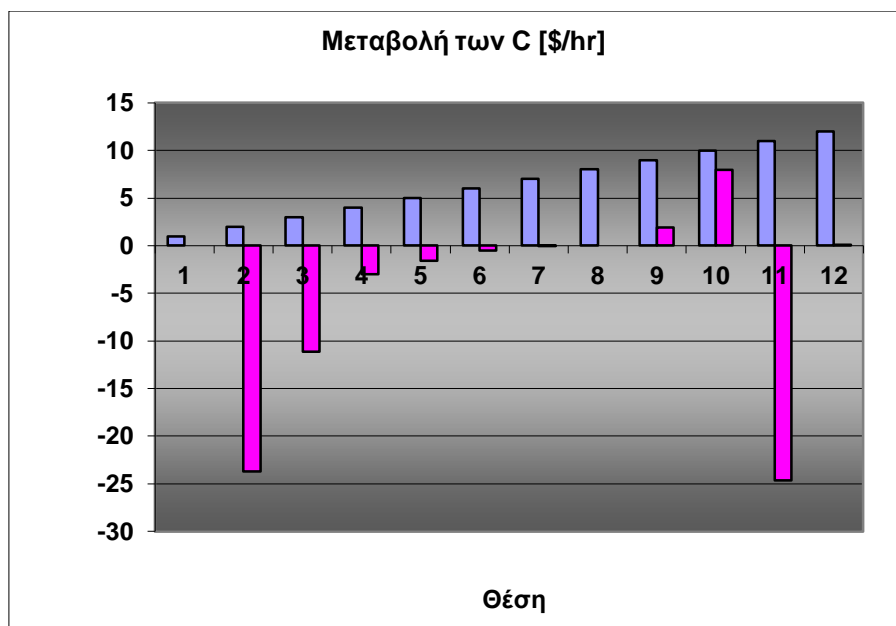
Διάγραμμα 3: Εξεργειακός βαθμός απόδοσης συσκευών.



Διάγραμμα 4: Συνολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης κύκλου.



Διάγραμμα 5: Μεταβολή του κόστους (\$/GJ).



Διάγραμμα 6: Μεταβολή του κόστους (\$/hr).

5.7 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Κατά τη βελτιστοποίηση του προβλήματος, μεγιστοποιήθηκε ο συνολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης, λαμβάνοντας όρια επίλυσης αυτά που αναφέρονται στην παράγραφο 5.2.2.

Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης φαίνονται στους παρακάτω συγκεντρωτικούς πίνακες και διαγράμματα.

Μεταβλητές Απόφασης	
P2/P1	6,0000
nsc	0,8472
nst	0,8600
T3	955,5720
T4	1550,0000

Πίνακας 16: Μεταβλητές απόφασης κατά τη βελτιστοποίηση.

ΘΕΣΗ	m[=kg/s]	T[=K]	P[=bar]	h[=KJ/Kg]	s[=KJ/KgK]
1	0,469392249	298,15	1,013	-4719,206706	199,3455613
2	0,469392249	524,2763715	6,078	2102,463859	201,0479734
3	0,469392249	955,5720351	5,7741	12523,88027	220,7972872
4	0,478255086	1550	5,485395	9149,814373	240,865217
5	0,478255086	1063,395741	1,099294628	-5715,304131	242,532793
6	0,478255086	839,4791021	1,066315789	-15796,79883	233,0324903
7	0,478255086	399,99975	1,013	-30109,54488	209,4436389
8	0,09	298,15	20	106,6863517	0,366739906
9	0,09	397,8375087	2,3	2798,38414	6,339164377
10	0,008862837	298,15	12	-74872	186,251
11					
12					

Πίνακας 17: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα θερμοδυναμικής ανάλυσης κατά τη βελτιστοποίηση.

συσσκευή	ισχύς (MW) καταστρ. εξέργ.	Ποσοστό	Εξ.Βαθμ.Απ.
συμπιεστής	0,008316349	3,708633792	0,92559386
προθερμαντήρας	0,048420289	21,59278261	0,605356757
θάλαμος καύσης	0,117868509	52,56286421	0,814822677
στρόβιλος	0,008415236	3,752731783	0,968280393
εναλλάκτης	0,041222551	18,38298761	0,665440205
other			
σύνολο	0,224242935	100	0,483863399

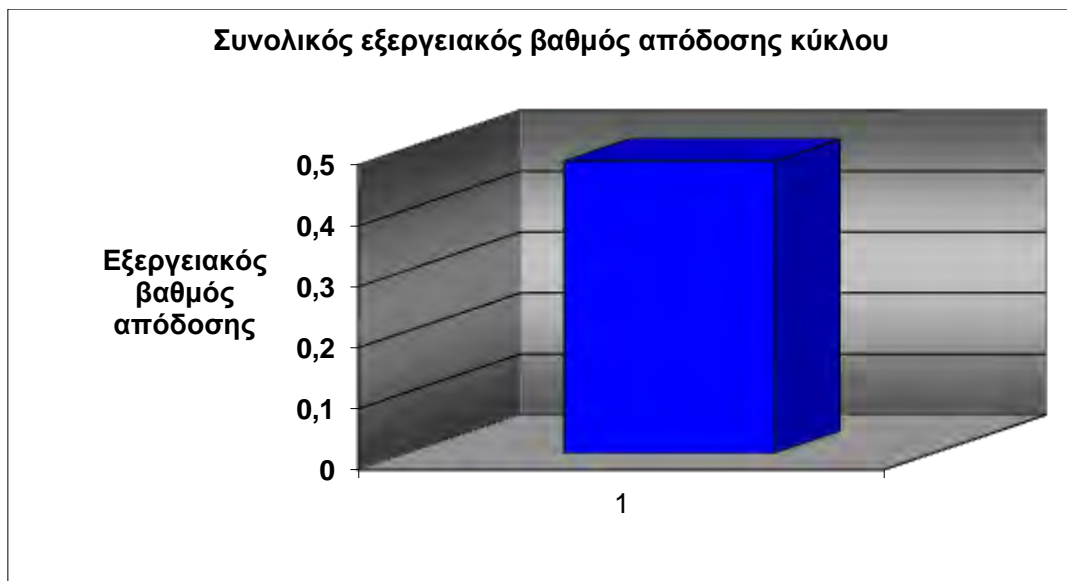
Πίνακας 18: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εξεργειακής ανάλυσης κατά τη βελτιστοποίηση.

ΘΕΣΗ	c[=€/GJ]	C[=€/hr]
1	0	0
2	-66,6431	-24,82
3	-31,4456	-20,1194
4	-6,45148	-12,0458
5	-6,45148	-6,0068
6	-6,45148	-3,15719
7	-6,45148	-0,2955
8	0	0
9	-2,46999	-0,73251
10	4,566548	7,542314
11	0,244554	-26,183
12	0,244554	0,123255
Συνολικό κόστος [=€/hr]		
	1,177171	

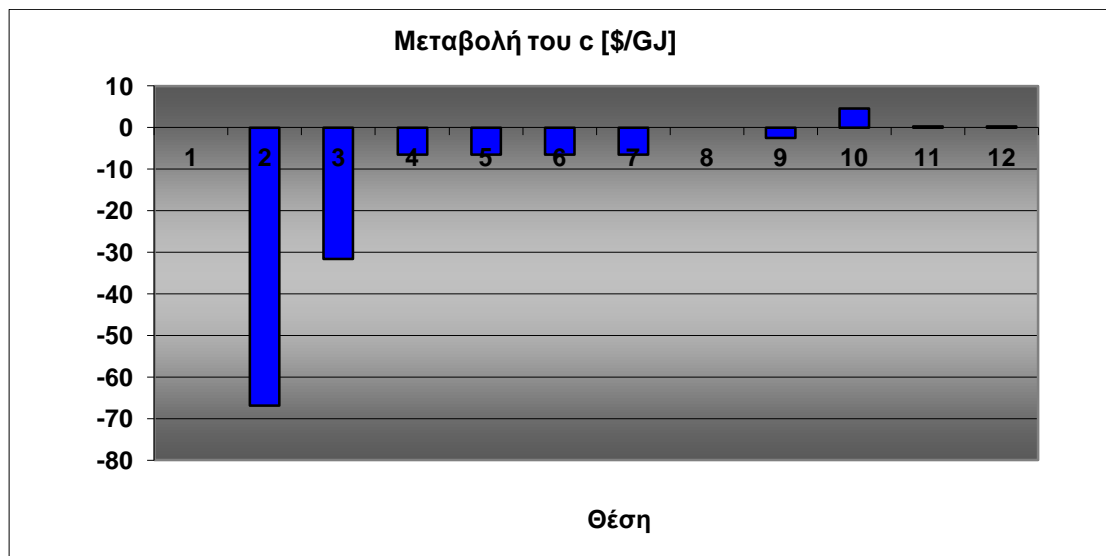
Πίνακας 19: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα θερμοοικονομικής ανάλυσης κατά τη βελτιστοποίηση.



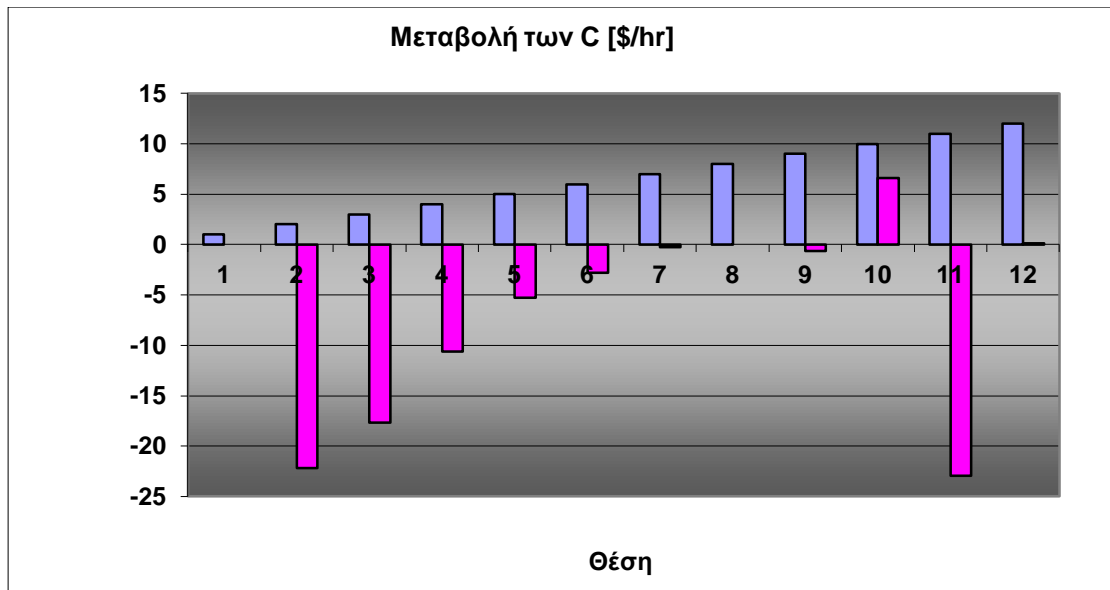
Διάγραμμα 7: Εξεργειακός βαθμός απόδοσης συσκευών κατά τη βελτιστοποίηση.



Διάγραμμα 8: Συνολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης κύκλου κατά τη βελτιστοποίηση.



Διάγραμμα 9: Μεταβολή του κόστους (\$/GJ) κατά τη βελτιστοποίηση.



Διάγραμμα 10: Μεταβολή του κόστους (\$/hr) κατά τη βελτιστοποίηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Οι μονάδες βιοαερίου είναι πιο αποδοτικές από οποιοδήποτε άλλο σύστημα που παράγει ενέργεια. Εκτός από το περιβαλλοντικό όφελος, από τις μονάδες βιοαερίου προκύπτουν και βιολογικά λιπάσματα. Επίσης, με την αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου σε συστήματα συμπαραγωγής, παράγεται ηλεκτρική και θερμική ενέργεια, ενώ το αναβαθμισμένο βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων ή να διοχετευτεί στο δίκτυο φυσικού αερίου.

Η παραγωγή βιοαερίου προλαμβάνει την εκπομπή μεθανίου στην ατμόσφαιρα, ενώ η ανάκτησή του συμβάλλει θετικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Βιοαέριο μπορεί να παραχθεί σχεδόν από όλα τα ήδη οργανικών αποβλήτων. Σήμερα στην Ευρώπη υπάρχουν σχετικά περιορισμένοι όγκοι βιοαερίου που προέρχονται από Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ), Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Προβλέπεται ότι το 2020 ο μεγαλύτερος όγκος βιοαερίου θα προέρχεται από μεγάλες κεντρικές μονάδες συνδυασμένης χώνευσης και κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, οι οποίες θα έχουν ενσωματωθεί στη γενικότερη δομή του τομέα της κτηνοτροφίας και της επεξεργασίας τροφίμων.

Στην Ελλάδα η κατάσταση είναι κάπως διαφορετική, καθώς η παραγωγή βιοαερίου προέρχεται κυρίως από ΕΕΛ, ΧΥΤΑ και μία-δύο μόνο βιομηχανικές εφαρμογές.

Οι κτηνοτροφικές μονάδες στη Βόρεια Ελλάδα, την Ήπειρο και τη Θεσσαλία θα μπορούσαν να αποτελέσουν στα επόμενα έτη ενεργειακό πλούτο με μηδενικό κόστος πρώτης ύλης και πολλαπλά οφέλη για την απασχόληση και το περιβάλλον. Το

δυναμικό παραγωγής βιοαερίου από ζωικά απόβλητα, εκτιμάται ότι ξεπερνά τα 86 MW ηλεκτροπαραγωγής, αντίστοιχο με εκείνο τριών μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών.

Με την παραγωγή βιοαερίου από ζωικά απόβλητα, αυξάνεται η ανακύκλωση και επεξεργασία των πόρων, διαχειρίζονται τα ζωικά απόβλητα, αξιοποιείται η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου, οπότε προκύπτει περαιτέρω μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης, εξοικονομείται πρωτογενής ενέργεια μέσω του συστήματος συμπαραγωγής υψηλής αποδοτικότητας, αποφεύγοντας τις απώλειες δικτύου και μειώνοντας τα αέρια του θερμοκηπίου. Τέλος, το παραγόμενο κομπόστ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό, εξοικονομώντας συμβατικά καύσιμα που θα απαιτούνταν για την παραγωγή ανόργανου λιπάσματος ίσης λιπαντικής αξίας.

Εκτός από το σύστημα συμπαραγωγής που μελετήθηκε στο 5ο Κεφάλαιο, ηλεκτρική και θερμική ενέργεια μπορεί να παραχθεί και από ένα σύστημα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης (αεριομηχανή), που λειτουργεί με βιοαέριο. Σε αυτά τα συστήματα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των αναγκών της μονάδας βιοαερίου ή να πωληθεί στο δίκτυο της Δ.Ε.Η.

Τα καυσαέρια, οι οσμές και ο θόρυβος που εκπέμπονται από τις μονάδες συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού, είναι προβλήματα που μπορούν να επιλυθούν.

Τα καυσαέρια της μονάδας συμπαραγωγής μπορούν να απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα με ελεγχόμενο τρόπο μέσω ενός φουγάρου, ώστε να αποφεύγεται η ρύπανση. Οι εκλύμενες οσμές μπορούν να περιοριστούν, περιορίζοντας τα

απόβλητα στις ποσότητες για τις οποίες σχεδιάστηκε η μονάδα. Επίσης, το πρόβλημα των οσμών μειώνεται χρησιμοποιώντας κλειστά συστήματα διοχέτευσης ατμών που παράγονται από την παστερίωση/ πολτοποίηση, βιολογικά φίλτρα, μονάδα αποθείωσης πριν τη μονάδα συμπαραγωγής και φίλτρα ενεργού άνθρακα στη μονάδα συμπαραγωγής για αφαίρεση των CO και NO_x.

Τέλος, για τον περιορισμό του θορύβου μπορούν να εφαρμοστούν κλειστές διεργασίες.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΟΡΙΣΜΟΙ

Αέριο Φαινομένου του Θερμοκηπίου (ΑΦΘ)	Αέρια που παγιδεύουν τη θερμότητα του ήλιου στη γήινη ατμόσφαιρα, δημιουργώντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα δύο κύρια αέρια του θερμοκηπίου είναι ο υδρατμός και το διοξείδιο του άνθρακα. Άλλα αέρια του θερμοκηπίου περιλαμβάνουν το μεθάνιο, το όζον, τους χλωροφλωράνθρακες και το οξείδιο του νατρίου.
Αεριοποίηση	Η διεργασία στην οποία ένα στερεό καύσιμο μετατρέπεται σε ένα αέριο, επίσης γνωστή ως πυρολυτική απόσταξη ή πυρόλυση.
Αέριος χρωματογράφος	Προσδιορίζει την σύσταση του αερίου. Τα συστατικά του αερίου που προσδιορίζονται είναι: μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο, άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα, κ.ά.
Αιματάλευρο	Το αιματάλευρο είναι ένα προϊόν υψηλής πρωτεΐνης, από αίμα μη μηρυκαστικών ζώων, το οποίο παρασκευάζεται με τη μέθοδο της πήξης και της ξήρανσης. Η μέθοδος της συλλογής και η όλη διεργασία εξασφαλίζουν ένα τελικό προϊόν χωρίς να χαθούν οι θρεπτικές ιδιότητες και με εξαιρετική μικροβιολογική ποιότητα.
Airkan	Είναι μία δεξαμενή, όπου δημιουργείται πίεση αέρα ίση με 5-7 bar για κάποια δευτερόλεπτα και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των εντοσθίων στη μονάδα αδρανοποίησης.
Αιώρημα	Είναι το ανομοιογενές μίγμα στερεών σωματιδίων που αιωρούνται μέσα σε υγρό ή αέριο. Συνηθίζεται, επίσης, να καλείται αιώρημα το συστατικό του μίγματος που αιωρείται. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα, και η διαφορά με το διάλυμα, είναι ότι όταν το υγρό ισορροπήσει (μείνει ακίνητο) τα σωματίδια στο αιώρημα, λόγω γήινης βαρύτητας, κατακάθονται ως ίζημα.
Αλκαλικότητα/ Ρυθμιστική ικανότητα	Είναι η ικανότητα ενός διαλύματος να εξουδετερώνει οξέα. Είναι, δηλαδή, το ισοζύγιο του διοξειδίου του άνθρακα και των διττανθρακικών ιόντων (μια ενδιάμεση μορφή στην αποπρωτονίωση του ανθρακικού οξέος με χημικό τύπο HCO_3^-) που προβάλλουν αντίσταση σε μεγάλες και απότομες αλλαγές του pH. Είναι πιο αξιόπιστη μέθοδος ελέγχου της σταθερότητας της χώνευσης από το pH, γιατί η συσσώρευση λιπαρών οξέων θα μειώσει τη ρυθμιστική ικανότητα πιο γρήγορα από ότι θα μειώσει το pH.
Αμμωνία	Μια αερίωδης ένωση του υδρογόνου και του αζώτου, NH_3 , με έντονη μυρωδιά και γεύση.
Ανάδευση	Η ανάδευση του περιεχομένου ενός αντιδραστήρα είναι απαραίτητη για τη στενότερη επαφή μεταξύ των μικροοργανισμών και του υποστρώματος, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση της αναερόβιας επεξεργασίας.
Αναερόβιοι μικροοργανισμοί/ βακτήρια	Μικροοργανισμοί που ζουν και αναπαράγονται σε ένα περιβάλλον που δεν περιέχει καθόλου «ελεύθερο» ή διαλυμένο οξυγόνο. Χρησιμοποιούνται για την αναερόβια χώνευση.
Αναερόβια χώνευση (AX)	Η μικροβιολογική διεργασία της αποσύνθεσης οργανικής ουσίας, σε συνθήκες πλήρους έλλειψης οξυγόνου, που πραγματοποιείται από τις συντονισμένες ενέργειες ενός ευρέως φάσματος

	<p>μικροοργανισμών. Η αναερόβια χώνευση (ΑΧ) έχει δύο κύρια τελικά προϊόντα: βιοαέριο (ένα αέριο που αποτελείται από ένα μίγμα μεθανίου (70%), διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων και ιχνοστοιχείων) και κομπόστ (το χωνευμένο υπόστρωμα). Η διεργασία της ΑΧ είναι κοινή σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα και εφαρμόζεται σήμερα για να παραχθεί βιοαέριο σε αεροστεγείς αντιδραστήρες, που κοινώς ονομάζονται χωνευτήρες.</p>
Αναστολή υποστρώματος	<p>Οι εύκολα αποδομήσιμες ενώσεις, όπως οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια, μπορεί να αναστέλλουν τη διεργασία της χώνευσης. Αυτές οι ενώσεις περιέχουν λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας, τα οποία μπορούν να εμποδίσουν τους μικροοργανισμούς στις μονάδες παραγωγής βιοαερίου. Ως εκ τούτου, μια ξαφνική προσθήκη αυτών των ενώσεων στην αναερόβια χώνευση μπορεί να εμποδίσει την αναερόβια χώνευση. Ωστόσο, αυτό εξαρτάται από την ταχύτητα της υδρόλυσης. Στην πραγματικότητα, τα λιπίδια έχουν υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο, το οποίο μπορεί να είναι διασπαστεί πλήρως σε βιοαέριο.</p>
Ανοργανοποίηση αζώτου	<p>Η μετατροπή του οργανικού αζώτου σε ανόργανο (αμμωνιακό).</p>
Απορροή	<p>Το υγρό ή αέριο που αποβάλλεται από μια διεργασία ή ένα χημικό αντιδραστήρα, και που συνήθως περιέχει χωνεύματα από εκείνη τη διεργασία.</p>
Αποστείρωση (sterilization)	<p>Με αυτήν επιτυγχάνεται η τέλεια καταστροφή των παθογόνων μικροβίων. Η αποστείρωση συνήθως δε γίνεται με χρήση χημικών ουσιών, αλλά με ξηρή ή υγρή μέθοδο. Με την ξηρή μέθοδο αποστειρώνονται μόνο μεταλλικά ή γυάλινα εργαλεία ή δοχεία που επιδέχονται υψηλή θερμότητα, γιατί οι οργανικές ουσίες απανθρακώνονται. Σ' αυτές γίνεται χρήση της υγρής θερμότητας.</p>
Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)	<p>Όλα τα είδη των στερεών αποβλήτων που παράγονται από μία κοινότητα (νοικοκυριά και εμπορικοί οίκοι), που συνήθως συλλέγονται από οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης.</p>
Βιοαέριο (biogas)	<p>Ένα καύσιμο αέριο που προήλθε από την αποσύνθεση βιολογικών αποβλήτων υπό αναερόβιες συνθήκες. Το βιοαέριο αποτελείται κανονικά από 50-60% μεθάνιο.</p>
Βιοαιθανόλη (bioethanol)	<p>Το πρώτο καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε ως υποκατάστατο της βενζίνης σε κινούμενα οχήματα. Η βιοαιθανόλη παράγεται κυρίως από την αλκοολική ζύμωση της ζάχαρης. Μπορεί επίσης να συντεθεί βιομηχανικά από τη χημική αντίδραση του αιθυλενίου με ατμό. Οι κύριες πηγές ζάχαρης που απαιτούνται για την παραγωγή αιθανόλης προέρχονται από ενεργειακές καλλιέργειες.</p>
Βιοαποδόμηση (biodegradation)	<p>Είναι η διάλυση των χημικών υλικών από βακτήρια ή άλλα βιολογικά μέσα. Σχετίζεται πλέον συνήθως με φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα που είναι σε θέση να αποσυντίθενται ξανά σε φυσικά στοιχεία.</p>
Βιοαποδομήσιμα στερεά απόβλητα	<p>Το κλάσμα των αστικών στερεών αποβλήτων το οποίο επιδέχεται βιολογική επεξεργασία. Περιλαμβάνει κυρίως τα υπολείμματα κουζίνας και το χαρτί</p>
Βιοενέργεια	<p>Ωφέλιμη, ανανεώσιμη ενέργεια παραγόμενη από οργανική ουσία.</p>

(bioenergy)	Η μετατροπή των σύνθετων υδατανθράκων της οργανικής ουσίας σε ενέργεια. Η οργανική ουσία μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως καύσιμο είτε να μετατραπεί σε υγρά και αέρια.
Βιοκαύσιμα (biofuels)	Έτσι ονομάζονται τα καύσιμα εκείνα στερεά, υγρά ή αέρια τα οποία προέρχονται από τη βιομάζα, το βιοδιασπώμενο δηλαδή κλάσμα προϊόντων ή αποβλήτων διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων.
Βιολογικά απόβλητα	Τα βιο-απόβλητα ή «βιολογικά απόβλητα» είναι τα βιοδιασπώμενα απορρίμματα του κήπου και της κουζίνας, αποφάγια, γκαζόν, κλαδιά και φύλα που μπορούν να προέρχονται από σπίτια ή από εστιατόρια ή και οι βιομηχανίες τροφίμων. Στην κατηγορία αυτήν, όμως, δεν ανήκουν τα γεωργικά απόβλητα, η κοπριά, τα αστικά και βιομηχανικά λύματα και άλλα ανακυκλώσιμα ήδη όπως υφάσματα, χαρτιά και ξύλο.
Βιολογική Ζήτηση Οξυγόνου (BOD)	Χημική διαδικασία για τον καθορισμό του πόσο γρήγορα οι βιολογικοί οργανισμοί χρησιμοποιούν το οξυγόνο μέσα σε ένα υδάτινο σώμα.
Βιομεθάνιο (biomethane)	Είναι μεθάνιο υψηλής ποιότητας και υψηλών BTU (το ποσό της θερμικής ενέργειας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας ενός κιλού νερού κατά ένα βαθμό F), που προέρχεται από βιοαέριο και αποτελεί ένα εντελώς ανανεώσιμο και άμεσα διαθέσιμο με χαμηλές εκπομπές άνθρακα εναλλακτικό καύσιμο, το οποίο μπορεί να παραχθεί σε τοπικό επίπεδο από οργανικά απόβλητα. Χημικά είναι το ίδιο με το φυσικό αέριο, αλλά παράγεται από την αναερόβια χώνευση της οργανικής ύλης, όπως η κοπριά των ζώων, τα λύματα και τα στερεά αστικά απόβλητα. Αφού επεξεργαστεί με τα απαιτούμενα πρότυπα καθαρότητας, το βιομεθάνιο γίνεται ένα ανανεώσιμο υποκατάστατο για το φυσικό αέριο και, μόλις συμπιεστεί ή υγροποιηθεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει οχήματα φυσικού αερίου.
Βιομεθανοποίηση	Η βιοδιάσπαση της οργανικής ύλης που εμπεριέχεται στα υγρά λύματα, στα στερεά αστικά απόβλητα και σε άλλες κατηγορίες που μολύνουν το περιβάλλον. Η βιοδιάσπαση αυτή παράγει βιοαέριο, η δε μέθοδος στηρίζεται στη χώνευση των οργανικών ουσιών από τα βακτήρια που υπάρχουν μέσα στο νερό, σε άλλα απόβλητα υγρά ή στερεά. Η οργανική ύλη αποτελεί για τα βακτήρια πηγή άνθρακα και ενέργειας.
Βιοντίζελ (biodiesel)	Έτσι ονομάζονται οι εστέρες ανώτερων λιπαρών οξέων, οι οποίοι έχουν συναφείς φυσικές ιδιότητες με το καύσιμο ντίζελ και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατα αυτού. Προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (βιομάζα), όπως είναι τα φυτικά έλαια και τα ζωικά λίπη και ανήκει στην κατηγορία των βιοκαυσίμων.
Decanter	Είναι ένα δοχείο που χρησιμοποιείται για τη μετάγγιση ενός υγρού (εδώ αίμα), το οποίο μπορεί να περιέχει καθιζήματα.
Διαλυτότητα	Είναι η τάση στερεών και αερίων να διαλύονται μέσα στο νερό.
Εγκατεστημένο δυναμικό	Η συνολική δυναμικότητα των συσκευών ηλεκτροπαραγωγής σε έναν σταθμό ή ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.
Εγχυτήρας	Είναι ένα είδος αντλίας που χρησιμοποιεί το φαινόμενο Venturi

(injector)	ενός συγκλίνοντος-αποκλίνοντος ακροφυσίου για να μετατρέψει την ενέργεια πίεσης ενός κινούμενου ρευστού σε ενέργεια ταχύτητας, η οποία δημιουργεί μια ζώνη χαμηλής πίεσης που αναρροφά και παρασύρει ένα υγρό αναρρόφησης. Αφού διέρχεται από το λαιμό του εγχυτήρα, το μικτό ρευστό διαστέλλεται και η ταχύτητα μειώνεται, η οποία οδηγεί σε νέα συμπίεση τα μικτά ρευστά, μετατρέποντας την ταχύτητα ενέργειας πάλι σε ενέργεια πίεσης. Το κινούμενο ρευστό μπορεί να είναι υγρό, ατμός ή άλλο αέριο. Το ρευστό αναρρόφησης που παρασύρεται μπορεί να είναι αέριο, υγρό, τσιμεντολάσπη, κ.ά.
Έκπλυση (μικροοργανισμώ ν)	Η έκπλυση μιας ένωσης από το έδαφος είναι το αντίστροφο της προσρόφησης της. Μόρια ενώσεων ισχυρά προσροφημένα είναι απίθανο να εκπλυθούν στα κατώτερα στρώματα του εδάφους. Για να γίνει έκπλυση πρέπει να υπάρχει καθοδική κίνηση νερού.
Ενεργός ιλύς	Είναι μια διεργασία επεξεργασίας των λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων, χρησιμοποιώντας αέρα και βιολογική μπερδεμένη μάζα, αποτελούμενη από βακτήρια και πρωτόζωα.
Ενζυματική υδρόλυση (enzymatic hydrolysis)	Είναι μία διεργασία που πραγματοποιείται κατά τη χώνευση και στην οποία τα μακρομόρια χωρίζονται από τα τρόφιμα με την ενζυματική προσθήκη νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην ανανεώσιμη ενέργεια.
Ενσίρωση/ Ενσίρωμα	Ενσίρωση είναι η διαδικασία της ζύμωσης φυτικών προϊόντων με υψηλό περιεχόμενο υγρασίας και υπό αναερόβιες συνθήκες, με σκοπό τη διατήρηση του προϊόντος αλλά και τη βελτίωση της θρεπτικής του αξίας για χρήση ως ζωοτροφή. Το προϊόν της ενσίρωσης ονομάζεται ενσίρωμα και οι καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται ποικίλουν, με τις πιο συνηθισμένες να είναι το χόρτο και το καλαμπόκι.
Ζύμωση	Το δεύτερο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης. Τα διαλυτά προϊόντα της υδρόλυσης ζυμώνονται και μετατρέπονται σε ενδιάμεσα προϊόντα, όπως μικρού μήκους οργανικά οξέα, αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και αμμωνία.
Ημικυτταρίνες	Είναι πολυσακχαρίτες με μικρότερο μοριακό βάρος από τις κυτταρίνες. Η δομή τους αποτελείται από αλυσίδες σακχάρων. Προέρχονται από την ξυλεία των φυλλοβόλων και των κωνοφόρων δέντρων. Οι ημικυτταρίνες υδρολύονται ευκολότερα από τις κυτταρίνες.
Θερμογόνος δύναμη Θερμόφιλη χώνευση	Το μέγιστο ποσό ενέργειας που είναι διαθέσιμο από την καύση μιας ουσίας. Αναερόβια χώνευση που πραγματοποιείται βέλτιστα γύρω στους 50-52 °C αλλά και σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες μέχρι τους 70 °C, όπου τα θερμοφιλά είναι οι κύριοι παρόντες μικροοργανισμοί (βακτηρίδια).
Θρεπτικά συστατικά Ιλύς (sludge)	Ενώσεις, όπως ο φώσφορος και το άζωτο, απαραίτητες για την απρόσκοπτη ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Αναφέρεται στο υπολειπόμενο, ημι-στερεό υλικό που αφήνεται από τα βιομηχανικά λύματα, ή από άλλες βιομηχανικές διαδικασίες επεξεργασίας λυμάτων.
Ιλύς υγρών αστικών	Πρωτογενής και δευτερογενής ιλύς που παράγεται κατά τη διάρκεια της αερόβιας επεξεργασίας των υγρών αστικών

αποβλήτων	αποβλήτων. Μπορεί αν επεξεργαστεί και σε αναερόβιες συνθήκες.
Ιπτάμενη τέφρα	Μικρά σωματίδια τέφρας που μεταφέρονται μετέωρα στα προϊόντα της καύσης.
Ισοδύναμο πετρελαίου	Ο τόνος του ισοδύναμου πετρελαίου (toe) είναι μια μονάδα ενέργειας: το ποσό της ενέργειας που απελευθερώνεται με την καύση ενός τόνου ακατέργαστου πετρελαίου, περίπου 42 GJ.
Ισχύς	Η ποσότητα του έργου που παράγεται ή της ενέργειας που μεταφέρεται ανά μονάδα του χρόνου.
Κομπόστ/ υπολείμματα AX (compost)	Οι επεξεργασμένες χωνευμένες απορροές από τη διεργασία της AX.
Κομποστοποίηση (composting)	Η αερόβια αποσύνθεση των βιοαποδομήσιμων απορριμμάτων και αποβλήτων κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες και η επανασύστασή τους σε χούμο (το σύνολο της οργανικής ύλης που βρίσκεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους και η οποία υποβάλλεται σε συνεχείς διεργασίες αποσύνθεσης μέσω μικροοργανισμών και βακτηρίων, και σύνθεσης νέων ουσιών, δημιουργείται από τα φύλλα και τις βελόνες που πέφτουν κάθε χρόνο, τα υπολείμματα κλαδιών και ριζών καθώς και από τα απορρίμματα και υπολείμματα των ζωικών οργανισμών) μέσω της δράσης μικροοργανισμών, η οποία περιλαμβάνει τη δέσμευση αζώτου σε μόρια άνθρακα, τη σταθεροποίηση των πρωτεϊνών και των υδατανθράκων σε δομές άμεσα παρεχόμενες στα φυτά.
Κοχλιομεταφορέ ας	Ο κοχλιομεταφορέας σχεδιάζεται και κατασκευάζεται με γνώμονα την ευελιξία στην χρήση. Μπορεί να κατασκευαστεί σε διάφορες διαστάσεις, διατηρώντας την ίδια κατασκευαστική δομή. Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά υλικών και για την τροφοδοσία διαφόρων μηχανών σφαγείου. Μπορεί να μεταφέρει μεγάλη ποσότητα υλικών, ενώ η ταχύτητα μεταφοράς, το είδος του υλικού και η απόσταση μεταφοράς είναι μεταβλητές που μπορούν να καθοριστούν κατά την κατασκευή του μηχανήματος (βλ. Εικόνα 36).
Κροκίδωση	Η μετάβαση από την υγρή κατάσταση σε κατάσταση πήξης συνώνυμα: θρόμβωση. Επίσης, το φαινόμενο που προκαλείται από την επίδραση ενός φυσικού ή χημικού μέσου σε μια ουσία που βρίσκεται σε κolloειδή διάλυση και έχει σαν αποτέλεσμα τη συσσωμάτωση της ουσίας αυτής.
Κρεατάλευρο	Είναι προϊόν σε μορφή σκόνης (χώμα), το οποίο λαμβάνεται από την επεξεργασία ξεραμένου κρέατος και χρησιμοποιείται ως τροφή για τα ζώα.
Κυτταρίνες	Είναι οργανικές ουσίες που υπάρχουν στις μεμβράνες των φυτικών κυττάρων. Χημικώς είναι πολυσακχαρίτες, επειδή το μόριό τους είναι μακρά αλυσίδα αποτελούμενη από μόρια D-γλυκόζης. Αφθονούν κυρίως στα ξυλώδη μέρη των φυτών και τους προσφέρουν σκληρότητα και στήριξη. Κυτταρίνη υπάρχει επίσης στους μύκητες, παράγεται από ορισμένα βακτήρια, και υπάρχει στο σώμα ορισμένων θαλάσσιων οργανισμών. Χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πολλών βιομηχανικών προϊόντων. Είναι το κύριο συστατικό του χαρτιού, ενώ με

	κατάλληλη επεξεργασία παράγονται παράγωγα των κυτταρινών που βρίσκουν εφαρμογές σε κολλητικές ουσίες, στην τεχνολογία τροφίμων κ.λπ.
Λιπαρά οξέα (fatty acids)	Τα λιπαρά οξέα είναι μονοκαρβοξυλικά οξέα με μακριά ανθρακική αλυσίδα. Λόγω του μηχανισμού βιοσύνθεσής τους, έχουν άρτιο αριθμό ατόμων άνθρακα. Υπάρχουν δύο ειδών λιπαρών οξέα, τα κορεσμένα, που λέγονται και λίπη, και τα ακόρεστα που λέγονται έλαια. Τα ακόρεστα λόγω της παρουσίας διπλών και τριπλών δεσμών είναι υγρά σε θερμοκρασία δωματίου. Τα λιπαρά οξέα με εστεροποίηση (επίδραση αλκοόλης σε οργανικό ή ανόργανο οξύ που καταλήγει στο σχηματισμό εστέρα και νερού) μετατρέπονται σε τριγλυκερίδια και αποτελούν συστατικό των αποταμιευτικών λιπιδίων ή των λιπιδίων των μεμβρανών.
Λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας (LCFA)	Είναι τα λιπαρά οξέα που έχουν 12 ή παραπάνω μόρια άνθρακα.
Λιπασματοποίησ η/ κομποστοποίηση	Είναι μέθοδος σταθεροποίησης και εξυγίανσης της οργανικής ύλης που μετατρέπει τα οργανικά υπολείμματα σε λίπασμα. Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία είναι η ελεγχόμενη βιοξείδωση (αερόβιες διεργασίες) ετερογενών οργανικών υλών. Ετερογενείς και κυρίως ετερότροφοι μικροοργανισμοί (βακτήρια, μύκητες) βιοαποδομούν οργανικές ενώσεις.
Λιπίδια (lipids)	Ως λιπίδιο χαρακτηρίζεται μία βιολογική οργανική ένωση που έχει προέλθει από την αντίδραση γλυκερόλης και λιπαρών οξέων και περιέχει άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, μαζί με κάποια άλλα στοιχεία όπως άζωτο και φώσφορο. Τα λιπίδια ή λίπη αποτελούν τα δομικά συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών, καθώς και του νευρικού ιστού. Πρόκειται για πολύ σημαντικές πηγές ενέργειας, που αποθηκεύονται σε διάφορα μέρη του σώματος, καθώς και σπουδαίους μονωτές. Το μεγάλο μοριακό τους μέγεθος κάνει τα λιπίδια αδιάλυτα στο νερό, πλην όμως διαλυτά σε οργανικούς διαλύτες, όπως η ακετόνη και ο αιθέρας. Τα λιπίδια αποτελούν λιποδιαλυτά μόρια που απαντώνται φυσιολογικά σε έναν ζωντανό οργανισμό, όπως τα λίπη, τα έλαια, οι κηροί, η χοληστερίνη, οι λιποδιαλυτές βιταμίνες, τα μονογλυκερίδια, διγλυκερίδια, κ.ά. Τα λιπίδια μπορεί να είναι δομικά συστατικά των κυττάρων ή αποθήκες ενέργειας των οργανισμών, επειδή κατά την διάσπασή τους απελευθερώνεται μεγάλο ποσό ενέργειας, διπλάσιο από αυτό που απελευθερώνεται από τους υδατάνθρακες.
Λύματα	Είναι οι εκροές των υδάτων ή αερίων από ένα φυσικό σώμα νερού ή από τεχνητές κατασκευές.
Μεθάνιο (CH ₄)	Ένα εύφλεκτο, εκρηκτικό, άχρωμο, άοσμο, άγευστο αέριο που είναι ελαφρώς διαλυτό στο νερό και διαλυτό στην αλκοόλη και στον αιθέρα. Βράζει στους -161,6 °C και παγώνει στους -182,5 °C. Διαμορφώνεται στα έλη και τους βάλτους από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών και κάτω από το έδαφος αποτελεί ένα σημαντικό κίνδυνο έκρηξης. Το μεθάνιο είναι το κύριο συστατικό (μέχρι 97%) του φυσικού αερίου, και χρησιμοποιείται

Μεθανιογενή βακτήρια	ως πηγή των πετροχημικών και ως καύσιμο. Μια ομάδα μικροοργανισμών που εκπέμπουν μεθάνιο ως παραπροϊόν του μεταβολισμού τους, και είναι κοινά σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και θερμές πηγές, όπου η θερμοκρασία είναι υψηλή και το οξυγόνο απουσιάζει.
Μεθανογενής ενεργότητα	Ορίζεται ως η παραγωγή μεθανίου ανά μονάδα βιομάζας και χρόνου ή ως η παραγωγή μεθανίου ανά μονάδα όγκου αντιδραστήρα και ανά μονάδα χρόνου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της απόδοσης των αντιδραστήρων και ως δείκτης τοξικών και ανασταλτικών παραγόντων.
Μεθανοποίηση/ μεθανιογένεση	Το τέταρτο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης. Τα προϊόντα της οξεογένεσης μετατρέπονται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από τα μεθανιογενή βακτήρια. Τελικά προϊόντα της φάσης αυτής είναι αέριο μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και μεταλλικά άλατα.
Μεσόφιλη χώνευση (mesophilic digestion)	Πραγματοποιείται ιδανικά γύρω στους 37°-41°C ή σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος μεταξύ 20° και 45°C όπου τα μεσόφιλα είναι οι κύριοι παράγοντες μικροοργανισμοί.
Ολικά στερεά (TS)	Το υπόλειμμα που παραμένει όταν εξατμίζεται το νερό από το υπόλειμμα και την ξήρανσή του με τη βοήθεια θερμότητας.
Ομογενοποίηση	Είναι η διαδικασία με την οποία επιδιώκουμε να δώσουμε σε ένα μίγμα τις ίδιες ιδιότητες και την ίδια σύσταση.
Οξεογένεση/ Οξυγένεση	Το τρίτο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης. Παραγωγή οξικού οξέος, CO ₂ και O ₂ , από τα προϊόντα της ζύμωσης με τη βοήθεια οξεογενών βακτηρίων. Στη φάση αυτήν το CO ₂ είναι το κύριο συστατικό του βιοαερίου.
Οργανικά απόβλητα	Τα οργανικά απόβλητα αποτελούνται από τρόφιμα, λίπη, παραγωγή σκουπιδιών και άλλες πηγές, οι οποίες παρέχουν από κοινού ένα θρεπτικό και πλούσιο σε ενέργεια μίγμα από τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης και τη μετατροπή σε βιοαέριο.
Οργανική υπερφόρτωση	Το πρόβλημα ανακύπτει στην περίπτωση που βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη τροφοδοτείται στον αντιδραστήρα. Σε αυτήν την κατάσταση, τα βακτήρια δεν μπορούν να σπάσουν όλες τις διαθέσιμες οργανικές ενώσεις, και ως εκ τούτου η διεργασία αναερόβιας χώνευσης διαδικασία επιβραδύνεται.
Οργανικό φορτίο	Είναι το ποσό της οργανικής ουσίας εκφρασμένη σε χημική ζήτηση οξυγόνου (COD) ή πτητικά στερεά (VS) ανά μονάδα ενεργού όγκου του χωνευτήρα και ανά μονάδα χρόνου. Καθορίζει το ρυθμό παραγωγής του βιοαερίου και εκφράζει τη σταθερότητα του συστήματος.
Ορυκτά καύσιμα	Στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα που διαμορφώνονται στο έδαφος μετά από εκατομμύρια έτη από χημικές και φυσικές αλλαγές στα υπολείμματα φυτών και ζώων κάτω από υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Το ακατέργαστο πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας είναι ορυκτά καύσιμα.
Otoklav	Είναι μια μηχανή που χρησιμοποιείται για την παστερίωση και

pH	την αποστείρωση. Μια έκφραση της έντασης του αλκαλικού ή όξινου σθένους του ύδατος. Οι τιμές κυμαίνονται από 0-14, όπου με 0 είναι το πιο όξινο, με 14 είναι το περισσότερο αλκαλικό, και με 7 είναι ουδέτερο.
Παραπροϊόν (byproduct)	Δευτερεύον προϊόν χημικής βιομηχανίας.
Παστερίωση (pasteurization)	Είναι η διαδικασία κατά την οποία γίνεται χρήση ήπιας θερμότητας για την καταστροφή ή ελάττωση των βλαπτικών μικροοργανισμών.
Pellets	Πρόκειται για ένα βιοκαύσιμο που παράγεται από κατάλοιπα ξύλου (πριονίδια) ή από γαϊδουράγκαθα, το οποίο συμπιέζεται και υφίσταται ειδική επεξεργασία αποξήρανσης, ώστε να αποβάλει πλήρως την υγρασία, και παίρνει τη μορφή μικρών κυλίνδρων χωρίς κανένα χημικό πρόσθετο. Η ιδιαιτερότητά του είναι ότι επιτυγχάνει τέλεια καύση με ενεργειακή απόδοση πάνω από 80%, χωρίς αξιόλογα κατάλοιπα.
Πιλοτική κλίμακα	Το μέγεθος ενός συστήματος μεταξύ του μεγέθους του μικρού εργαστηριακού προτύπου (κλίμακα εκθέματος) και ενός συστήματος σε πλήρες μέγεθος.
Πρέσα	Διαχωρίζει το λίπος από την πρωτεϊνική μάζα (βλ. Εικόνα 24). Τα τελικά προϊόντα είναι το κρεατάλευρο και το λίπος.
Πρότυπες μέθοδοι	Οι μέθοδοι ISO και οι μέθοδοι που προτείνονται από διεθνώς καθιερωμένους οργανισμούς.
Πρώτη ύλη βιομάζας/ Υπόστρωμα (substrate)	Οργανική ουσία διαθέσιμη σε ανανεώσιμη βάση. Η βιομάζα περιλαμβάνει τα υπολείμματα δασών και πριονιστηρίων, τις γεωργικές συγκομιδές και απόβλητα, το ξύλο και τα ξυλώδη απόβλητα, τα ζωικά απόβλητα, τα υπολείμματα της λειτουργίας εκτροφείων ζώων, τα υδρόβια φυτά, τα ταχέως αναπτυσσόμενα δέντρα και φυτά και τα δημοτικά και βιομηχανικά απόβλητα.
Πτητικά λιπαρά οξέα (VFA)	Αυτά είναι οξέα που παράγονται από μικρόβια στη χορτονομή από σάκχαρα και άλλες πηγές υδατανθράκων. Εξ ορισμού είναι πτητικά, το οποίο σημαίνει ότι θα εξαερωθούν στον αέρα, ανάλογα με τη θερμοκρασία. Αυτά αποτελούν το πρώτο προϊόν υποβάθμισης της αναερόβιας χώνευσης πριν από τη δημιουργία του μεθανίου.
Πτητικά στερεά (VS)	Εκείνα τα στερεά στο νερό ή σε άλλα υγρά που χάνονται με την ανάφλεξη των ξηρών στερεών στους 550 °C.
Ρυθμός Φόρτωσης Οργανικών (OLR)	Ορίζεται ως η εφαρμογή της διαλυτής οργανικής ύλης και της οργανικής ύλης σωματιδίων.
Σιλό	Τα σιλό είναι κατασκευές, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία (φόρτωση, εκφόρτωση) και την αποθήκευση χύδην (=χύμα) στερεών υλικών (βλ. Εικόνα 27).
Σπαστήρας	Πολτοποιητής υποπροϊόντων. Αποτελείται από μαχαίρια, τα οποία κόβουν τα υποπροϊόντα σε μέγεθος μέχρι 5 mm (βλ. Εικόνα 18)
Syngas	Σημαίνει συνθετικό αέριο, δηλαδή, ένα μείγμα αερίων που περιέχει ποικίλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα και

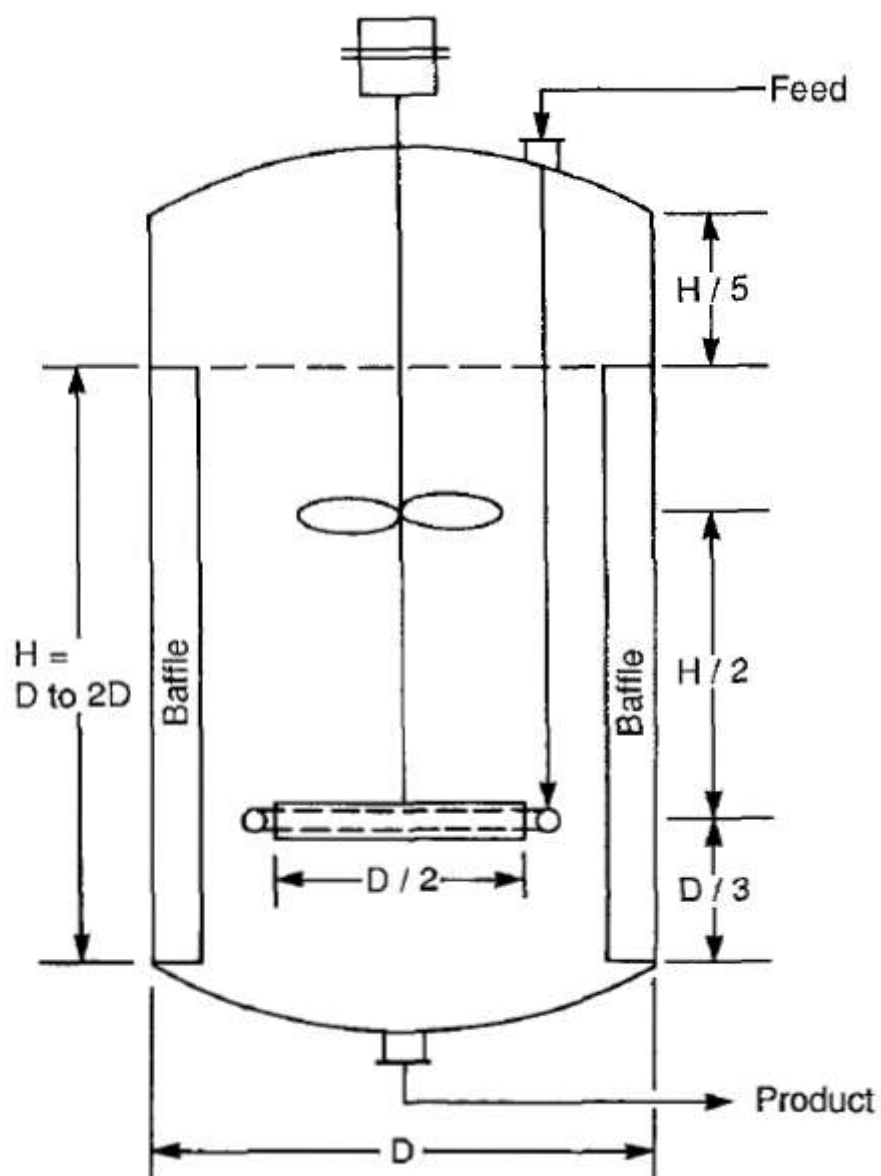
	<p>υδρογόνου. Παραδείγματα των μεθόδων παραγωγής περιλαμβάνουν αναμόρφωση του φυσικού αερίου ή υγρών υδρογονανθράκων για την παραγωγή υδρογόνου, η αεριοποίηση του άνθρακα και της βιομάζας, κ.ά. Το όνομα προέρχεται από τη χρήση τους ως ενδιάμεσο για τη δημιουργία συνθετικού φυσικού αερίου και για την παραγωγή αμμωνίας ή μεθανόλης. Το syngas χρησιμοποιείται, επίσης, ως ενδιάμεσο στην παραγωγή συνθετικού πετρελαίου για χρήση ως καύσιμο. Αποτελείται κυρίως από υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, και από διοξείδιο του άνθρακα, και έχει λιγότερη από τη μισή ενεργειακή πυκνότητα του φυσικού αερίου. Είναι εύφλεκτο και χρησιμοποιείται ως καύσιμο μηχανών εσωτερικής καύσης, είτε ως ενδιάμεσο για την παραγωγή άλλων χημικών προϊόντων.</p>
Συνδυασμένη παραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)/ Συμπαγωγή	<p>Η διαδοχική παραγωγή ηλεκτρισμού και ωφέλιμης θερμικής ενέργειας από μια κοινή πηγή καυσίμου. Η απορριπτόμενη από τις βιομηχανικές διεργασίες θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει μια ηλεκτρογεννήτρια (σύστημα κάτω κύκλου). Αντιθέτως, η πλεονάζουσα θερμότητα από μία εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βιομηχανικές διεργασίες, ή για τη θέρμανση χώρων και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (σύστημα άνω κύκλου).</p>
Συσσωμάτωση	<p>Είναι μια διεργασία, που μαζί με την κροκίδωση, αποσταθεροποιεί τα κολλοειδή διαλύματα και συνενώνει τα λεπτά τεμάχια, με αποτέλεσμα την καθίζησή τους.</p>
Τέφρα	<p>Είναι το στερεό υπόλειμμα που απομένει μετά την πλήρη καύση διαφόρων στερεών ουσιών, και κυρίως των διαφόρων ειδών γαιανθράκων και από ουσίες που περιέχουν ανόργανα συστατικά, ή συστατικά που κατά την καύση τους παράγουν ενώσεις μη πτητικές. Γι' αυτό, η σύσταση και η ποσότητά της που παράγεται κατά την καύση ενός σώματος εξαρτάται από το είδος του σώματος που καίγεται.</p>
Υγρά βιομηχανικά απόβλητα Υδατόλουτρο	<p>Τα υγρά απόβλητα, τα οποία προέρχονται από τις βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων, βιομάζας, ή προϊόντων ζύμωσης (π.χ. γιαούρτι) και μπορούν να επεξεργαστούν με αναερόβια χώνευση. Μια συσκευή για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας οτιδήποτε εκφράζεται με θερμότητα, περικλείοντας τη δεξαμενή που το περιλαμβάνει με άλλη δεξαμενή που περιέχει νερό, και οι οποίες μπορούν να διατηρούνται σε επιθυμητή θερμοκρασία. Επίσης, μια δεξαμενή σχεδιασμένη για το σκοπό αυτό.</p>
Υδραυλική υπερφόρτωση	<p>Παρατηρείται όταν ο χρόνος παραμονής στο εσωτερικό της αναερόβιας χώνευσης είναι μικρότερος από το ρυθμό ανάπτυξης των βακτηρίων. Ως εκ τούτου, τα βακτήρια δεν έχουν αρκετό χρόνο να αναπτυχθούν στο εσωτερικό του αντιδραστήρα και πρέπει να εκπλένονται. Πρακτικά, υδραυλική υπερφόρτωση συμβαίνει όταν η πραγματική ποσότητα (όγκος) του αντιδραστήρα μειώνεται λόγω της συσσώρευσης των αδρανών υλικών (π.χ. ιλύς και άμμος) ή όταν πραγματοποιείται υπερφόρτωση του υποστρώματος στον αντιδραστήρα.</p>
Υδραυλικός χρόνος	<p>Εκφράζει το μέσο χρόνο που θα πρέπει να παραμείνουν τα απόβλητα στον αντιδραστήρα, και εκφράζεται σε ημέρες.</p>

<p>παραμονής (HRT)</p> <p>Υδρόλυση (hydrolysis)</p>	<p>Το πρώτο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης. Με τη βοήθεια ενζύμων που εκλύονται από υδρολυτικά βακτήρια γίνεται υδρόλυση των πολυμερών οργανικών ενώσεων (λίπη, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες), και μετά μετατροπή τους σε υδατοδιαλυτά προϊόντα μικρότερου μοριακού βάρους (μονοσακχαρίτες, αμινοξέα κ.λπ.).</p>
<p>Υλικό εμβολιασμού (inoculum)</p> <p>Υποπροϊόν (by-product)</p> <p>Φαινόμενο θερμοκηπίου</p> <p>Φωτοσύνθεση</p>	<p>Οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούνται για τον εμβολιασμό των υποστρωμάτων.</p> <p>Σώμα που λαμβάνεται παρεμπιπτόντως κατά την παρασκευή άλλης ουσίας, ή ως κατάλοιπο εξαγωγής άλλης ουσίας.</p> <p>Η επίδραση ορισμένων αερίων στη γήινη ατμόσφαιρα όσον αφορά την παγίδευση θερμότητας από τον ήλιο.</p> <p>Διεργασία μέσω της οποίας τα κύτταρα που περιέχουν χλωροφύλλη στα πράσινα φυτά μετατρέπουν το προσπίπτον φως σε χημική ενέργεια, συλλαμβάνοντας διοξείδιο του άνθρακα υπό τη μορφή υδατανθράκων.</p>
<p>Χημική ζήτηση οξυγόνου (COD)</p>	<p>Είναι μια μέθοδος υπολογισμού της ποσότητας του οξυγόνου που απαιτείται για να οξειδωθεί όλη η οργανική ουσία των αποβλήτων με χημικά μέσα. Ο προσδιορισμός της COD βασίζεται στο γεγονός ότι όλη η οργανική ουσία μπορεί να οξειδωθεί με τη βοήθεια οξειδωτικών μέσων (τα μέσα εκείνα που μπορούν να προκαλέσουν οξείδωση, δηλαδή τα σώματα που περιέχουν χημικά στοιχεία που μπορούν να αποσπάσουν ηλεκτρόνια από άλλα στοιχεία) προς CO₂ και H₂O κάτω από όξινες συνθήκες, παρουσία καταλυτών και υψηλής θερμοκρασίας.</p>
<p>Χοάνη παραλαβής</p>	<p>Η χοάνη παραλαβής είναι το σημείο από το οποίο το προϊόν εκκινεί και διατρέχει τη ροή της εκάστοτε εγκατάστασης. Το είδος της χοάνης παραλαβής εξαρτάται από τη δυναμικότητα διακίνησης, το είδος του προϊόντος που διακινείται και τον τρόπο εκφόρτωσης (διερχόμενα, ή όχι, οχήματα). Τα κυριότερα είδη χοάνης παραλαβής είναι: χοάνη παραλαβής μη διερχομένου, χοάνη παραλαβής διερχομένου, δοχείο χοάνης παραλαβής.</p>
<p>Χωνευτήρας (digester)</p>	<p>Αντιδραστήρας. Είναι μια τεράστια δεξαμενή, όπου λαμβάνουν χώρα χημικές ή βιολογικές αντιδράσεις. Χρησιμοποιούνται σε διάφορα είδη μεταποιητικών βιομηχανιών.</p>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ

➤ Αντιδραστήρες διαλείποντος έργου (Batch reactors)

Είναι ασυνεχείς αντιδραστήρες αυτοτελούς (διαλείποντος) έργου και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μικρών (σχετικά) ποσοτήτων προϊόντων. Οι αντιδραστήρες αυτοί θεωρούνται κλειστά συστήματα, γιατί κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους δεν υπάρχουν εισερχόμενες και εξερχόμενες ροές.



Εικόνα 37: Τυπικές αναλογίες αντιδραστήρα διαλείποντος έργου. (Πηγή:

http://www.metal.ntua.gr/~pkousi/e-learning/bioreactors/page_04.htm)

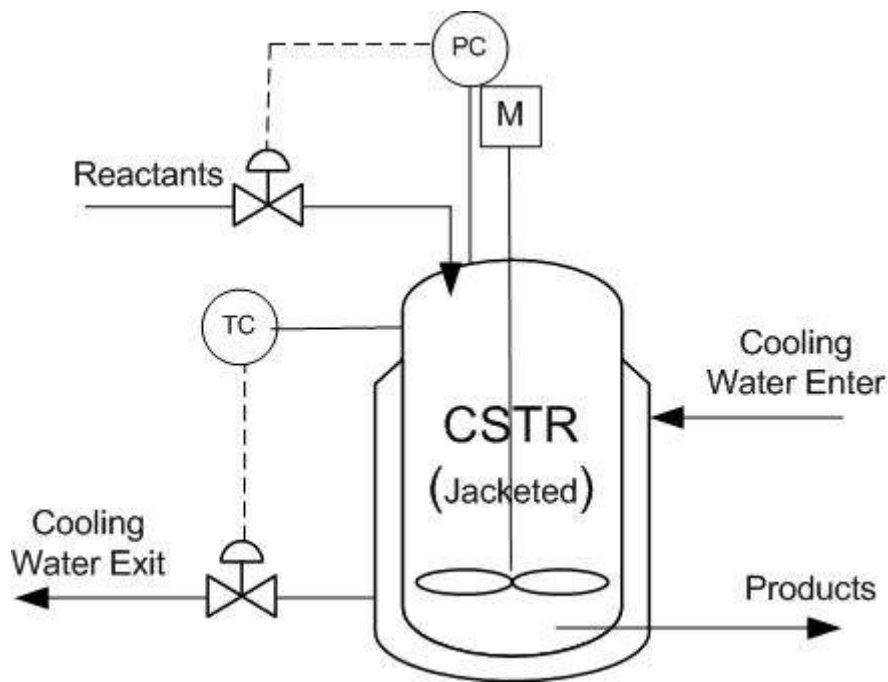
➤ Αντιδραστήρες ροής πλήρους ανάμιξης (Continuous Stirred Tank Reactors – CSTR)

Σε αυτούς η ροή είναι συνεχής, ενώ έχουμε συνθήκες τέλει ανάδευσης. Η συγκέντρωση είναι ομοιογενής σε όλον τον αντιδραστήρα. Το προϊόν έχει ίδια συγκέντρωση με αυτήν στον αντιδραστήρα.

Τα αντιδρώντα εισάγονται σε δοχείο, στο οποίο παρέχεται έντονη μηχανική ή υδραυλική ανάμιξη, με αποτέλεσμα να θεωρείται ότι μέσα στον αντιδραστήρα επικρατεί «ομοιογένεια» από άποψη συγκεντρώσεων, με τη συγκέντρωση των συστατικών στην έξοδο του αντιδραστήρα ίση προς τη συγκέντρωσή τους μέσα σ' αυτόν.

Οι αντιδραστήρες αυτοί χρησιμοποιούνται για διάφορες διεργασίες, όπως για παράδειγμα στη σουλφούρωση, στη νίτρωση, στους πολυμερισμούς.

Ας σημειωθεί ότι μέσα σε έναν αντιδραστήρα μπορεί να συνυπάρχουν φάσεις με διαφορετικές συνθήκες ανάμιξης: για παράδειγμα, σε έναν ημι-συνεχή αντιδραστήρα μπορεί το περιεχόμενο υγρό να θεωρηθεί ότι είναι σε κατάσταση πλήρους ανάμιξης, ενώ το παρεχόμενο αέριο να ρέει σε συνθήκες εμβολικής ροής.



Εικόνα 38: Αντιδραστήρας ροής πλήρους ανάμιξης. (Πηγή:

<https://controls.engin.umich.edu/wiki/index.php/PIDStandardNotation>)

➤ **Αντιδραστήρες ανοδικής ροής μέσω στρώματος λάσπης (Upflow Anaerobic Sludge Blanket – UASB)**

Είναι ένας τύπος αναερόβιων χωνευτήρων, που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία λυμάτων. Οι αντιδραστήρες UASB είναι μεθανογενείς χωνευτήρες, δηλαδή χωνευτήρες, που παράγουν μεθάνιο.

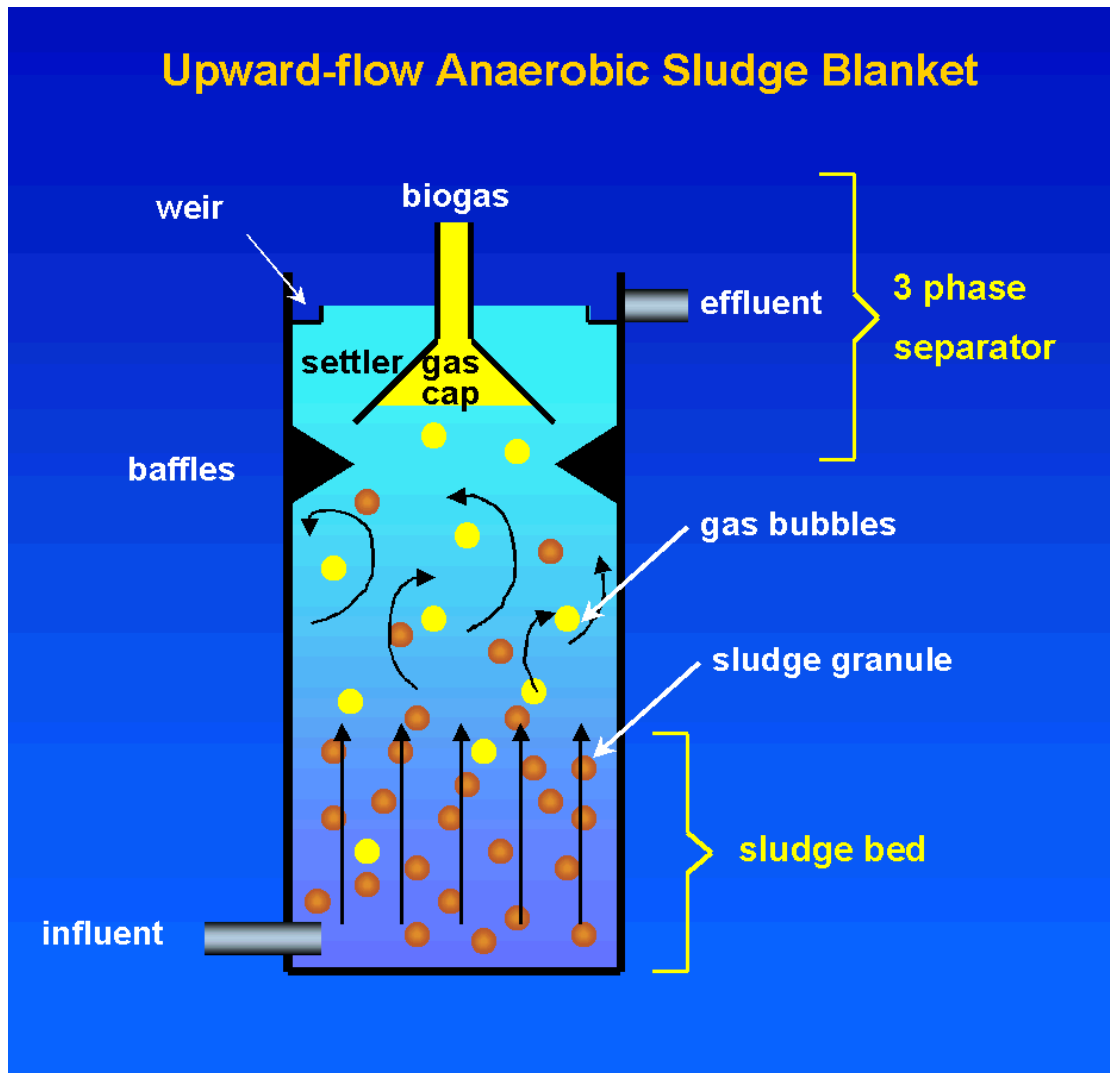
Χρησιμοποιούν μια αναερόβια διεργασία, ενώ σχηματίζουν μια κουβέρτα (ένα κάλυμμα) από κοκκώδη λάσπη, η οποία αιωρείται στη δεξαμενή. Τα λύματα ρέουν προς τα πάνω διαμέσου του στρώματος λάσπης και εκφυλίζονται από τους αναερόβιους μικροοργανισμούς. Η ανοδική ροή, συνδυασμένη με την ενεργότητα καθίζησης της βαρύτητας, κάνει τη λάσπη να αιωρείται.

Παράγεται έτσι σαν παραπροϊόν βιοαέριο με υψηλή συγκέντρωση μεθανίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας. Η τεχνολογία χρειάζεται

συνεχή παρακολούθηση, για να διαπιστωθεί εάν το στρώμα λάσπης συγκρατείται και δεν απορρίπτεται. Η θερμότητα που παράγεται σαν παραπροϊόν του ηλεκτρισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκ νέου για τη θέρμανση των δεξαμενών χώνευσης.

Το στρώμα λάσπης καθιστά δυνατό ένα διπλό στερεό και υδραυλικό (υγρό) χρόνο παραμονής στους χωνευτήρες. Τα στερεά, τα οποία απαιτούν έναν υψηλό βαθμό χώνευσης, μπορούν να παραμείνουν στους αντιδραστήρες αυτούς μέχρι και 90 ημέρες. Τα σάκχαρα, που διαλύονται στο υγρό ρεύμα αποβλήτων, μπορούν να μετατραπούν γρήγορα σε αέριο, το οποίο μπορεί να βγει από το σύστημα σε λιγότερο από 1 ημέρα.

Οι UASB αντιδραστήρες είναι συνήθως κατάλληλοι για την αραίωση των ροών αποβλήτων. [99]



Εικόνα 39: Αντιδραστήρας ανοδικής ροής μέσω στρώματος λάσπης. (Πηγή:

<http://www.uasb.org/discover/agsb.htm>)

➤ Αναερόβιοι Διαδοχικοί Αντιδραστήρες Διαλείποντος Έργου (Anaerobic Sequencing Batch Reactors – ASBRs)

Είναι δεξαμενές βιομηχανικών διεργασιών για την επεξεργασία των λυμάτων. Αυτοί οι αντιδραστήρες επεξεργάζονται λύματα, όπως απόβλητα, ή προϊόντα από αναερόβιους χωνευτήρες ή από μηχανικές εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού σε παρτίδες. Το οξυγόνο αφρίζει μέσω των λυμάτων για να μειώσει τη βιολογική ζήτηση οξυγόνου (Biological Oxygen Demand – BOD) και τη χημική ζήτηση οξυγόνου

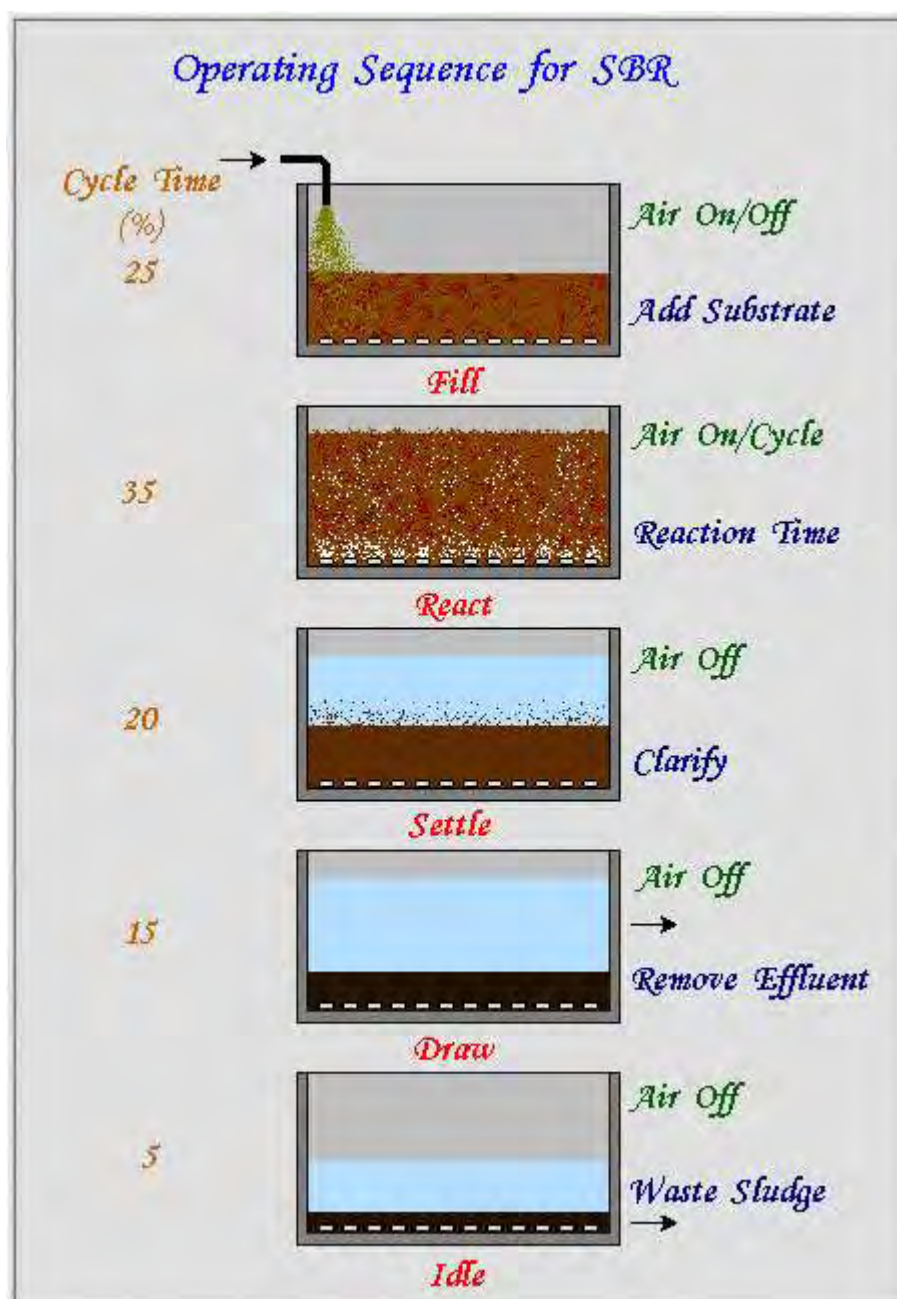
(Chemical Oxygen Demand – COD), ώστε να γίνουν κατάλληλες για απόρριψη στο αποχετευτικό σύστημα ή για χρήση στο έδαφος.

Μια τυπική εγκατάσταση τέτοιων αντιδραστήρων αποτελείται από τουλάχιστον δύο όμοια εξοπλισμένες δεξαμενές με κοινή είσοδο, η οποία μπορεί να εναλλάσσεται μεταξύ τους. Οι δεξαμενές διαθέτουν σύστημα διαμήκους ροής, όπου τα ακατέργαστα λύματα (εισροές) εισέρχονται από τη μία πλευρά και τα επεξεργασμένα λύματα ρέουν από την άλλη πλευρά. Ενώ η μία δεξαμενή βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας/ μετάγγισης, η άλλη δίνει οξυγόνο και γεμίζει.

Τα πέντε στάδια, λοιπόν, της επεξεργασίας είναι:

- 1 . Πλήρωση
- 2 . Αντίδραση
- 3 . Ηρεμία
- 4 . Μετάγγιση
- 5 . Αδράνεια

[33]



Εικόνα 40: Λειτουργική ακολουθία αντιδραστήρων SBR. (Πηγή:

<http://web.deu.edu.tr/atiksu/toprak/ani4093.html>)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ



Εικόνα 41: Χωνευτήρας (βιοαντιδραστήρας). (Πηγή:

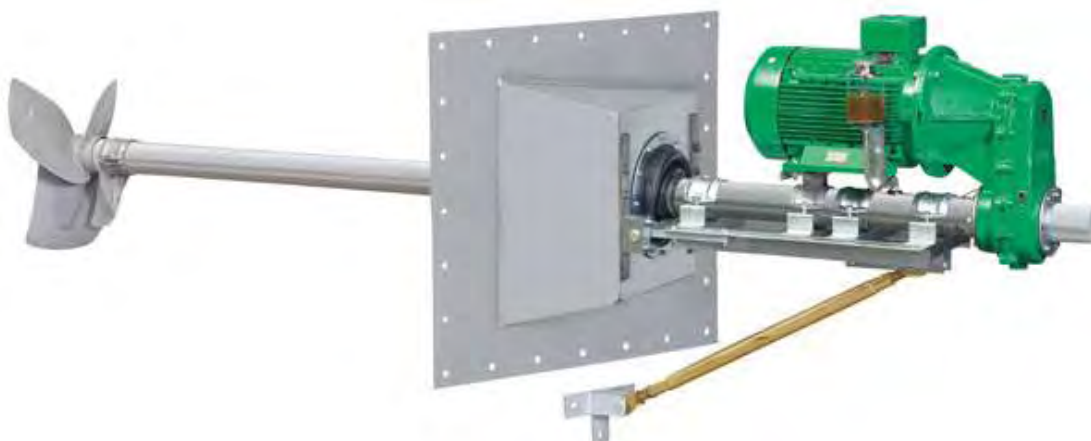
http://envima.gr/el/biogas_plants/fotografies_stoixeiwn_egkatastasis_bioaeriou)

Οι χωνευτήρες κατασκευάζονται από τσιμέντο ή μέταλλο. Σε κάθε περίπτωση η επιλογή του υλικού προκύπτει από τον τεχνικό σχεδιασμό και την οικονομική ανάλυση και εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους.



Εικόνα 42: Βιομάζα τροφοδοτείται στο σύστημα μέσω κοχλιομεταφορέα. (Πηγή: http://envima.gr/el/biogas_plants/fotografies_stoixeiwn_egkatastasis_bioaeriou)

Το στερεό υπόστρωμα τροφοδοτείται με κοχλιομεταφορέα στις δεξαμενές ομογενοποίησης ή στους χωνευτήρες απευθείας. Δεξαμενές μεγάλης χωρητικότητας είναι εξοπλισμένες με 2 ή 3 κοχλίες υψηλής ταχύτητας, οι οποίοι τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα, ενώ κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης σταματούν ο ένας μετά τον άλλο. Αρχικά οι κοχλίες κινούνται αργά και κατόπιν η συχνότητα περιστροφής αυξάνει σταδιακά. Έτσι εξοικονομείται ενέργεια, ενώ ο κινητήρας δουλεύει ομαλά για 24 ώρες την ημέρα.



Εικόνα 43: Επικλινής αναδευτήρας. (Πηγή:

http://envima.gr/el/biogas_plants/fotografies_stoixeiwn_egkatastasis_bioaeriou)

Με τον ειδικό σχεδιασμό των πτερυγίων αυτών των αναδευτήρων και την ακριβή γωνία τοποθέτησής τους επιτυγχάνονται υψηλές αποδόσεις ανάδευσης. Με την αποδοτική ανάδευση των επικλινών αναδευτήρων, λοιπόν, αποτρέπεται η δημιουργία επιπλέοντος στρώματος. Έτσι επιτρέπεται η ανάδευση του παραγόμενου βιοαερίου στην επιφάνεια. Επίσης αποφεύγεται η καθίζηση του υποστρώματος.

Μέσα στους χωνευτήρες τοποθετούνται μόνο ο άξονας και τα πτερύγια. Έτσι δεν απαιτείται εκκένωση του χωνευτήρα για την εκτέλεση εργασιών συντήρησης και επισκευής των κινητήρων.



Εικόνα 44: Σύστημα κατακράτησης (προσωρινής αποθήκευσης) του βιοαερίου.

(Πηγή:

http://envima.gr/el/biogas_plants/fotografies_stoixeiwn_egkatastasis_bioaeriou)

Το σύστημα αυτό διαθέτει διπλό κάλυμμα. Ο εξωτερικός θόλος είναι κατασκευασμένος από PVC⁵⁴ και με ειδικά προσθετικά, ώστε να αντέχει στην υπέρυθρη ακτινοβολία και στις κατακρημνίσεις (βροχή, χαλάζι, χιόνι). Η εσωτερική μεμβράνη, η οποία έρχεται σε επαφή με το βιοαέριο, κατασκευάζεται από ειδικό υλικό PELD⁵⁵. Μεταξύ της εσωτερικής μεμβράνης και του εξωτερικού θόλου διοχετεύεται αέρας, ο οποίος πιέζει την πάνω πλευρά της μεμβράνης. Έτσι προκύπτει το σφαιρικό σχήμα του θόλου.

Για την ασφαλή λειτουργία του συστήματος αυτού εγκαθίστανται βαλβίδες πίεσης, οι οποίες εκτονώνουν το περίσσιο αέριο. Ο όγκος χωρητικότητας του συστήματος κατακράτησης είναι αρκετός για μερικές ώρες.

⁵⁴ Πολυβινυλοχλωρίδιο. Είναι το τρίτο ευρείως γνωστό πλαστικό, μετά το πολυαιθυλένιο και το πολυπροπυλένιο. Χρησιμοποιείται σαν όλκιμος σίδηρος στις κατασκευές επειδή είναι φθηνότερο, ανθεκτικότερο και έχει μεγαλύτερη διάρκεια. Μπορεί να γίνει πιο μαλακό και ευέλικτο με την προσθήκη πλαστικοποιητών, κι έτσι χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές. [71]

⁵⁵ Αναφέρεται και ως LDPE (Low Density Polyethylene = Πολυαιθυλενίου Χαμηλής Πυκνότητας). Είναι το πρώτο από τις πολυολεφίνες. Δημιουργήθηκε πριν από περίπου 50 χρόνια, από τον πολυμερισμό υψηλής πίεσης του αιθυλενίου. Η πολύ χαμηλή πυκνοτήτά του προκύπτει από την παρουσία μιας μικρής ποσότητας διακλάδωσης στην αλυσίδα. [72]



Εικόνα 45: Υποβρύχιος αναδευτήρας. (Πηγή:

http://envima.gr/el/biogas_plants/fotografies_stoixeiwn_egkatastasis_bioaeriou)

Ο υποβρύχιος αναδευτήρας χρησιμοποιείται στη δεξαμενή συλλογής και ομογενοποίησης της υγρής βιομάζας. Είναι ειδικά κατασκευασμένος, ώστε να αντέχει στο διαβρωτικό περιβάλλον της δεξαμενής. Βοηθά στην επίτευξη υψηλής παραγωγής βιοαερίου στο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης. Τοποθετείται πάνω σε μεταλλική δοκό με τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η ρύθμιση της θέσης του (βλ. Εικόνα 45).



Εικόνα 46: Σύστημα θέρμανσης. (Πηγή:

http://envima.gr/el/biogas_plants/fotografies_stoixeiwn_egkatastasis_bioaeriou)

Μέσα στο χωνευτήρα πρέπει να διασφαλίζεται συνεχώς σταθερή θερμοκρασία για την ανάπτυξη των βακτηρίων. Οι μεσόφιλες συνθήκες (περίπου 37 °C) διατηρούνται με τη βοήθεια ενός μέσου θέρμανσης. Το νερό εισέρχεται στο σύστημα θέρμανσης σε θερμοκρασία 60 °C και εξέρχεται σε θερμοκρασία 40 °C. Το σύστημα θέρμανσης είναι ένα δίκτυο σωληνώσεων, το οποίο τοποθετείται πάνω στους τοίχους ή στην εσωτερική επιφάνεια των τοίχων του χωνευτήρα. Σε περίπτωση που η εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου διαθέτει μονάδα συμπαραγωγής, το ζεστό νερό που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του χωνευτήρα προέρχεται από το σύστημα ψύξης της μηχανής. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει τέτοια μονάδα, το ζεστό νερό προέρχεται από το λέβητα, ενώ ως καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιεί ακόμη και το παραγόμενο βιοαέριο.



Εικόνα 47: Μηχανικός διαχωριστής υγρών/στερεών. (Πηγή:

http://envima.gr/el/biogas_plants/fotografies_stoixeiwn_egkatastasis_bioaeriou)

Το χωνεμένο υπόστρωμα που εκρέει από τον αντιδραστήρα μετά την ολοκλήρωση της αναερόβιας χώνευσης οδηγείται σε δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης. Από εκεί διοχετεύεται σε μηχανικό διαχωριστή υγρών/στερεών. Από το διαχωριστή αυτό προκύπτουν, λοιπόν, ένα υγρό και ένα στερεό κλάσμα υλικών.

Το στερεό κλάσμα μπορεί να οδηγηθεί για διάθεση ως οργανικό λίπασμα (πλούσιο σε φώσφορο), εδαφοβελτιωτικό, υλικό για επιχωματώσεις κ.λπ.

Το υγρό κλάσμα μπορεί να αξιοποιηθεί για άρδευση και υγρή λίπανση καλλιεργειών, αφού είναι πλούσιο σε άζωτο.

Έτσι μεγιστοποιείται ο βαθμός αξιοποίησης των πρώτων υλών, αφού μετά την παραγωγή βιοαερίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για άλλους σκοπούς.



Εικόνα 48: Πυρσός καύσης περίσσειας βιοαερίου. (Πηγή:

http://envima.gr/el/biogas_plants/fotografies_stoixeiwn_egkatakstasis_bioaeriou)

Οι πυρσοί καύσης χρησιμοποιούνται σε περίπτωση που ένα μέρος του παραγόμενου βιοαερίου δεν μπορεί να οδηγηθεί στη μονάδα συμπαραγωγής. Συνήθως ο πυρσός εκκινεί αυτόματα για την καύση περίσσειας βιοαερίου μέσω

σήματος που λαμβάνει από τους αισθητήρες πίεσης αερίου στο σύστημα προσωρινής αποθήκευσης ή από το σύστημα τροφοδοσίας βιοαερίου.



Εικόνα 49: Σύστημα διαχείρισης βιοαερίου. (Πηγή:

http://envima.gr/el/biogas_plants/fotografies_stoixeiwn_egkatastasis_bioaeriou)

Το σύστημα διαχείρισης επιτρέπει τον καθαρισμό του παραγόμενου βιοαερίου με συγκέντρωση μεθανίου ίση με 90 – 97%. Μετά τη διαχείριση, το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων ή να διοχετευτεί απευθείας στο δίκτυο φυσικού αερίου. [32]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] A. Battimelli, M. Torrijos, R. Moletta, J.P. Delgenès (2010) “Slaughterhouse fatty waste saponification to increase biogas yield,” *Bioresource Technology*, 101, 3388–3393.
- [2] A. Marcos, A. Al-Kassir, F. López, F. Cuadros, P. Brito (2012) “Environmental treatment of slaughterhouse wastes in a continuously stirred anaerobic reactor: Effect of flow rate variation on biogas production,” *Fuel Processing Technology*.
- [3] A. Rodríguez-Abalde, B. Fernández, G. Silvestre, X. Flotats (2011) “Effects of thermal pre-treatments on solid slaughterhouse waste methane potential,” *Waste Management*, 31, 1488–1493.
- [4] A.B.G. Valladão, A.G. Torres, D.M.G. Freire, M.C. Cammarota (2011) “Profiles of fatty acids and triacylglycerols and their influence on the anaerobic biodegradability of effluents from poultry slaughterhouse,” *Bioresource Technology*, 102, 7043–7050.
- [5] Alessandra Bormann Garcia Valladão, Denise Maria Guimarães Freire, Magali Christe Cammarota (2007) “Enzymatic pre-hydrolysis applied to the anaerobic treatment of effluents from poultry slaughterhouses,” *International Biodeterioration & Biodegradation*, 60, 219–225.
- [6] Audrey Battimelli, Hélène Carrère, Jean-Philippe Delgenès (2009) “Saponification of fatty slaughterhouse wastes for enhancing anaerobic biodegradability,” *Bioresource Technology*, 100, 3695–3700.
- [7] Daniel I. Massé, Lucie Masse (2001) “The effect of temperature on slaughterhouse wastewater treatment in anaerobic sequencing batch reactors,” *Bioresource Technology*, 76, 91–98.
- [8] E. Salminen, J. Rintala (2002) “Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste – a review,” *Bioresource Technology*, 83, 13–26.
- [9] Esa A. Salminen, Jukka A. Rintala (2002) “Semi-continuous anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse waste: effect of hydraulic retention time and loading,” *Water Research*, 36, 3175–3182.
- [10] H. Llana Coalla, J.M. Blanco Fernández, M.A. Morís Morán, M.R. López Bobo (2009) “Biogas generation apple pulp,” *Bioresource Technology*, 100, 3843–3847.

- [11] L. Castrillón, Y. Fernández-Nava, P. Ormaechea, E. Marañón (2011) "Optimization of biogas production from cattle manure by pre-treatment with ultrasound and co-digestion with crude glycerin," *Bioresource Technology*, 102, 7845–7849.
- [12] M.J. Cuertos, X. Gómez, M. Otero, A. Morán (2010) "Anaerobic digestion and co-digestion of slaughterhouse waste (SHW): Influence of heat and pressure pre-treatment in biogas yield," *Waste Management*, 30, 1780–1789.
- [13] María José Cuertos, Xiomar Gómez, Marta Otero, Antonio Morán (2008) "Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: Influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW)," *Biochemical Engineering Journal*, 40, 99–106.
- [14] Patcharaporn Thungklin, Alissara Reungsang, Sureewan Sittijunda (2011) "Hydrogen production from sludge of poultry slaughterhouse wastewater treatment plant pretreated with microwave," *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, pp. 8751-8757
- [15] Rafael Borja (1995). Effect of organic loading rate on anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater in a fluidised-bed reactor. *Bioresource Technology*, 52, 157-162.
- [16] René Alvarez, Gunnar Lidén (2008) "Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste," *Renewable Energy*, 33, 726–734.
- [17] Sureewan Sittijunda, Alissara Reungsang, Sompong O-thong (2010) "Biohydrogen production from dual digestion pretreatment of poultry slaughterhouse sludge by anaerobic self-fermentation," *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 13427–13434.
- [18] Suvi Bayr, Marianne Rantanen, Prasad Kaparaju, Jukka Rintala (2012) "Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of rendering plant and slaughterhouse wastes," *Bioresource Technology*, 104, 28–36.
- [19] X. Gómez, A. Morán, M.J. Cuertos, M.E. Sánchez (2006) "The production of hydrogen by dark fermentation of municipal solid wastes and slaughterhouse waste: A two-phase process," *Journal of Power Sources*, 157, 727–732.
- [20] Yun Xia, Daniel I. Massé, Tim A. McAllister, Carole Beaulieu, Emilio Ungerfeld (2012) "Anaerobic digestion of chicken feather with swine manure or slaughterhouse sludge for biogas production," *Waste Management*, 32, 404–409.

2. ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

- [21]<http://www.mebika.eu/index.php?cid=17>
- [22]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%8E%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%82-%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%AD%CF%82-%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82>
- [23]http://www.cres.gr/kape/index_gr.htm
- [24]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%AC%CE%B6%CE%B1>
- [25]http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf
- [26]http://library.tee.gr/digital/kdth/kdth_3460/kdth_3460_zafiris.pdf
- [27]http://www.metal.ntua.gr/~pkousi/e-learning/bioreactors/page_04.htm
- [28]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B9%CE%BB%CF%8C>
- [29]<http://www.all4me.gr/2011/03/28/%CF%84%CE%B9-%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%8E%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%82-%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%AD%CF%82-%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82/>
- [30]<http://www.physics4u.gr/energy/biomass.html>
- [31]<http://www.tangedco.gov.in/bio-mass.php>
- [32]http://envima.gr/el/biogas_plants/pws_leitourgei_mia_monada
- [33]http://en.wikipedia.org/wiki/Sequencing_batch_reactor
- [34]<http://web.deu.edu.tr/atiksu/toprak/ani4093.html>
- [35]<http://ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=Az%2fZv0l3bBM%3d&tabid=285&language=el-GR>
- [36]<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biomass/16-biomass-resources>
- [37]<http://www.uasb.org/discover/agsb.htm>
- [38]http://imarinakiss.webs.com/energy_biomass.pdf

- [39]<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/innovation/25-biomass-pyrolysis>
- [40]<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/innovation/12-biomass-gasification>
- [41]<http://en.wikipedia.org/wiki/Watt>
- [42]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B9%CF%8E%CF%81%CE%B7%CE%BC%CE%B1>
- [43]<http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%9A%CF%81%CE%BF%CE%BA%CE%AF%CE%B4%CF%89%CF%83%CE%B7>
- [44]<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biomass/251-significant-biomass-properties-part-1-moisture-content>
- [45][http://www.moa.gov.cy/moa/da/da.nsf/All/26D541FA40654B16C2257543002BC338/\\$file/ToEnsiromaKaiTaPleonektimata.pdf?OpenElement](http://www.moa.gov.cy/moa/da/da.nsf/All/26D541FA40654B16C2257543002BC338/$file/ToEnsiromaKaiTaPleonektimata.pdf?OpenElement)
- [46]<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biomass/315-significant-biomass-properties-part-2-ash-content>
- [47]<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biogas/102-xhmikh-systasi-bioaeriu-biogas-typical-components>
- [48]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%B3%CE%BF%CE%BD%CE%AC%CE%BD%CE%B8%CF%81%CE%B1%CE%BA%CE%B5%CF%82>
- [49]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CF%8C%CE%B8%CE%B5%CE%B9%CE%BF>
- [50]<http://en.wikipedia.org/wiki/Siloxane>
- [51]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CE%B8%CE%AC%CE%BD%CE%B9%CE%BF>
- [52]<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biogas/5-biogas-plants-feedstock-selection>
- [53]<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biogas/37-biogas-plants-construction-installation>
- [54]<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biogas/15-biogas-plants-electric-and-thermal-energy-production-from-the-cogeneration-system>
- [55]<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biogas/38-biogas-plants-benefits-advantages>

- [56]<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biogas/367-epidراسi-thermokraςia-bioaerio-temperature-effect-on-biogas-production>
- [57]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%8A%CE%B6%CE%B7%CE%BC%CE%B1>
- [58]<http://meteo.chi.civil.ntua.gr/el/vaninstruments.php>
- [59]<http://www.scribd.com/doc/24514822/14/%CE%A7%CE%BB%CF%89%CF%81%CE%B9%CF%8C%CE%BD%CF%84%CE%B1>
- [60]<http://www.scienceillustrated.gr/?p=3588>
- [61]<http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%9A%CF%81%CE%B5%CE%B1%CF%84%CE%AC%CE%BB%CE%B5%CF%85%CF%81%CE%BF>
- [62]<http://www.yamadori.gr/arthra/9-kokkometria-kai-diarkeia-upostromatos.html>
- [63]<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/rendering-abp/84-rendering-methods>
- [64]<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/rendering-abp/76-rendering-animal-by-products-introduction>
- [65]<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/rendering-abp/96-animal-by-products-rendering-process>
- [66]http://www3.aegean.gr/environment/eda/naias/apovlita_gr.htm
- [67]<http://www.setlaboratories.com/hydrocra/tabid/105/Default.aspx>
- [68]http://en.wikipedia.org/wiki/Fluid_catalytic_cracking
- [69]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%B3%CF%8C%CE%BD%CF%89%CF%83%CE%B7>
- [70]http://eprints.teikoz.gr/208/1/GEWPE_58_2010.pdf
- [71]http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_chloride
- [72]http://www.dynalabcorp.com/technical_info_ld_polyethylene.asp
- [73]<http://www.flyash.gr/DOCUMENTS/Leaflet-280906.pdf>
- [74]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CE%B8%CE%B1%CE%BD%CF%8C%CE%BB%CE%B7>
- [75]<http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/1624/Kasouri%20M%20%5BMain%5D.pdf?sequence=3>
- [76]http://www.recyclingsympraxis.gr/uploads/files/3.1-Report_on_state_of_the_art.pdf

- [77]<http://www.talktalk.co.uk/reference/encyclopaedia/hutchinson/m0007876.html>
- [78]<http://www.thefreedictionary.com/Water+bath>
- [79]<http://www.scribd.com/doc/77754030/15/Organic-overloading>
- [80]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%AF%CF%89%CF%83%CE%B7>
- [81]<http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%91%CF%80%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%B5%CE%AF%CF%81%CF%89%CF%83%CE%B7>
- [82]<http://en.wikipedia.org/wiki/Effluent>
- [83]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BD%CF%83%CE%AF%CF%81%CF%89%CF%83%CE%B7>
- [84]<http://en.wikipedia.org/wiki/Biodegradation>
- [85]<http://en.wikipedia.org/wiki/Injector>
- [86]http://en.wikipedia.org/wiki/Particle_detector
- [87]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%B6%CE%B5%CE%BB>
- [88]<http://en.wikipedia.org/wiki/Digester>
- [89]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BA%CE%B1%CF%8D%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B1>
- [90]<http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%A4%CE%AD%CF%86%CF%81%CE%B1>
- [91]<http://en.wikipedia.org/wiki/Syngas>
- [92]http://en.wikipedia.org/wiki/Enzymatic_hydrolysis
- [93]<http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%91%CE%B9%CE%B8%CF%85%CE%BB%CE%AD%CE%BD%CE%B9%CE%BF>
- [94]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B9%CE%B8%CE%AC%CE%BD%CE%B9%CE%BF>
- [95][http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%83%CF%84%CE%AD%CF%81%CE%B5%CF%82_\(%CE%BA%CE%B1%CF%81%CE%B2%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%AF\)](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%83%CF%84%CE%AD%CF%81%CE%B5%CF%82_(%CE%BA%CE%B1%CF%81%CE%B2%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%AF))
- [96]<http://en.wikipedia.org/wiki/Acetate>
- [97]<https://controls.engin.umich.edu/wiki/index.php/PIDStandardNotation>

- [98]<http://www.lignite.gr/gr/index.htm>
- [99]http://en.wikipedia.org/wiki/Upflow_anaerobic_sludge_blanket_digestion
- [100]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%B6%CE%B5%CE%BB>
- [101]http://www.eleourgiki.gr/docs/year1/drasi_aai6/pirolisi.pdf
- [102]http://en.wikipedia.org/wiki/Pyrolysis_oil
- [103]http://courseware.mech.ntua.gr/ml22058/pdfs/M15a-Biomass_Introduction.pdf
- [104]http://www.eleourgiki.gr/docs/year1/drasi_aai6/meleti.pdf
- [105]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%B9%CF%80%CE%B1%CF%81%CF%8C_%CE%BF%CE%BE%CF%8D
- [106]http://www.agapitedimarxe.gr/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=39&Itemid=84
- [107]http://www.ecorec.gr/new/index.php?option=com_content&task=view&id=116&Itemid=73
- [108]<http://www.biofuels.gr/bioethanol.html>
- [109]<http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%9A%CF%85%CF%84%CF%84%CE%B1%CF%81%CE%AF%CE%BD%CE%B7>
- [110]<http://dspace.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/64/%CE%96%CE%AE%CE%BA%CE%BF%CF%85.pdf?sequence=1>
- [111]<http://www.ecotimes.gr/2037/%CE%B7-%CE%B1%CE%B3%CF%81%CE%B9%CE%B1%CE%B3%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%AC%CF%81%CE%B1-%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CF%84%CF%81%CE%AD%CF%80%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%B9-%CF%83%CE%B5-%CF%80%CE%AD%CE%BB%CE%B5%CF%84/>
- [112]http://www.freewebs.com/vasdimit/Diplomatiki_MBA.pdf
- [113]<http://library.certh.gr/libfiles/PDF/EKETA-CD-88-ENERGEIAKES-KALLIERGEIES-by-MYRSINH-CHRISTOU-at-BIOKAVSIMA-DIHMERIDA-3-4-NOV-2006-TEE-TKM-PP-11-Y-2006.pdf%22>
- [114]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CE%BA%CF%81%CE%BF%CE%BC%CF%8C%CF%81%CE%B9%CE%BF>
- [115]<http://en.wikipedia.org/wiki/Microparticles>

- [116]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B1%CF%80%CF%89%CE%BD%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%AF%CE%B7%CF%83%CE%B7>
- [117]<http://www.lagie.gr/systima-eggyimenon-timon/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesis-ape/periechomena/biomaza-biokaysima/>
- [118]http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%A0%CE%B1%CE%BB%CE%BC%CE%B9%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%BF%CE%BE%CF%8D
- [119]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%B9%CF%80%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%BF>
- [120]<http://en.wikipedia.org/wiki/Solubilization>
- [121]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BF%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%B5%CE%B9%CE%B4%CE%AD%CF%82>
- [122]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%BB%CF%85%CE%BA%CE%B5%CF%81%CE%AF%CE%BD%CE%B7>
- [123]http://www.rae.gr/site/file/system/docs/news_files/081205_file_3;jsessionid=c3fb777b30db355b51400a144b89ad7ee97c50d6ffef.e38OchqPa34Na40Ma3qMaNuKaNyOe6fznA5Pp7ftolbGmkTy
- [124]http://en.wikipedia.org/wiki/Activated_sludge
- [125]<http://biogas-ost.de/index.php/el/anlagen-griech/anlagen-150kw-5mw-griech/substrataufbereitung-griech>
- [126]http://www.exova.ca/index.php?option=com_content&view=article&id=1430&Itemid=&lang=en
- [127]<http://www.buildings.gr/greek/aiforos/exikonomisi/methylesteres.htm>
- [128]<http://en.wikipedia.org/wiki/Probiotic>
- [129]http://www.rmenterprises.gr/blood_meal_gr.html
- [130]<http://en.wikipedia.org/wiki/Decanter>
- [131]http://www.dfmak.com/structure/en_index.php?ACT=8&id=28
- [132]http://www.dimoudas-tzakia.gr/?p=p_10&sName=%C3%8C%C3%AF%C3%AD%C3%9C%C3%A4%C3%A5%C3%B2-e%C3%A1%C3%AB%C3%AFn%C3%A9%C3%B6%C3%9Dn-%C3%90%C3%9D%C3%AB%C3%A5%C3%B4
- [133]<http://www.hatzioakimidis.gr/default.asp?pid=2&la=1&ct=28&itm=78>

[134]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1%CE%BA%CE%B1_%CE%9A%CE%AD%CE%BB%CE%B2%CE%B9%CE%BD