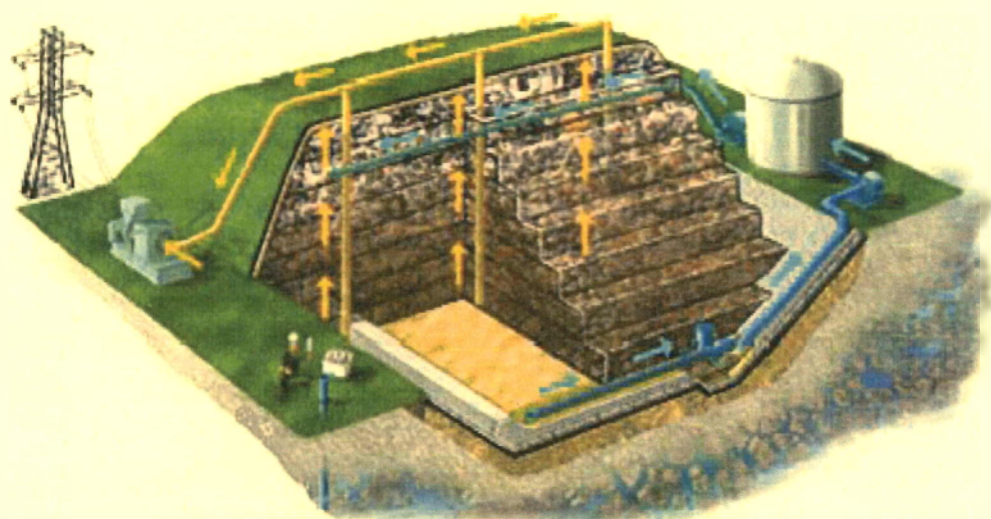


**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ
ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ**

«ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΖΑ ΩΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ»



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

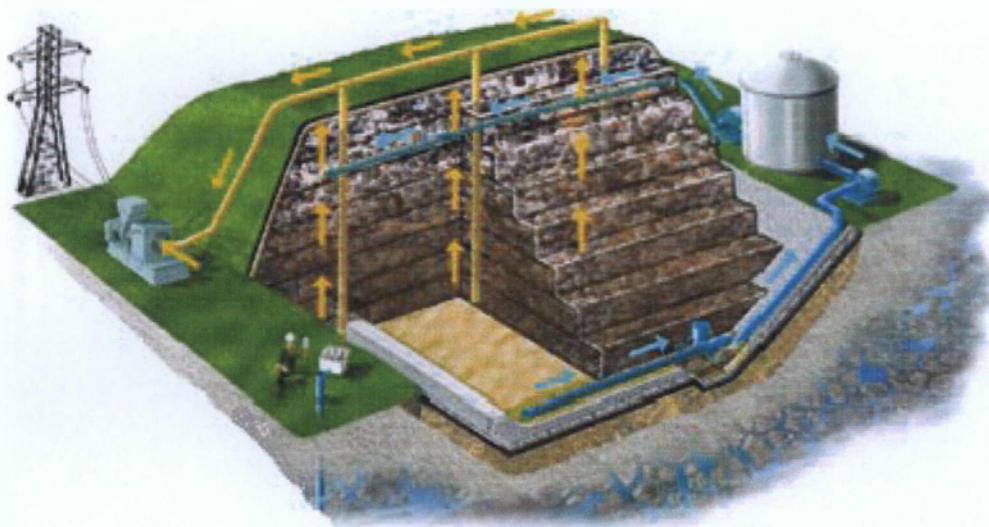
ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΤΑΚΟΥ ΔΗΜΗΤΡΑ - ΔΕΣΠΟΙΝΑ

Καλαμάτα ΜΑΙΟΣ 2013

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ
ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ**

«ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΖΑ ΩΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ»



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ:

ΤΑΚΟΥ ΔΗΜΗΤΡΑ – ΔΕΣΠΟΙΝΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΚΟΤΣΙΦΑΚΗ ΜΑΡΙΑ

ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Καλαμάτα ΜΑΪΟΣ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο της εκπλήρωσης των σπουδών μου στη Σχολή Βιολογικών Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών και Ανθοκομίας του ΑΤΕΙ Καλαμάτας.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες προς τους ανθρώπους που συνέβαλλαν στη δημιουργία της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της εργασίας καθηγήτρια Κοτσιφάκη Μαρία, για την ανάθεση του θέματος και την πολύτιμη καθοδήγηση κατά τη διάρκεια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Τέλος, η βαθύτατη ευγνωμοσύνη μου πηγαινει στην οικογένειά μου, για την πάσης φύσεως στήριξη κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τάκου Δήμητρα-Δέσποινα

Καλαμάτα, Μάιος 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... 6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΒΙΟΑΕΡΙΟ

1.1 Η έννοια του Βιοαερίου	8
1.2 Διεργασίες αναερόβιας χώνευσης (AX)	8
1.3 Υποστρώματα για την Αναεροβική χώνευση (AX)	8
1.4 Η βιοχημική διεργασία της (AX)	14
1.4.1 Υδρόλυση	15
1.4.2 Οξεογένεση	16
1.4.3 Οξικογένεση	16
1.4.4 Μεθανογένεση	17
1.5 Παράμετροι της AX	17
1.5.1 Θερμοκρασία	17
1.5.2 Τιμές pH και βέλτιστα διαστήματα	19
1.5.3 Πτητικά λιπαρά οξέα (VFA)	20
1.5.4 Αμμωνία	20
1.5.5 Ιχνοστοιχεία, θρεπτικές ουσίες και τοξικές ενώσεις	20
1.6 Παράμετροι λειτουργίας	21
1.6.1 Οργανικό φορτίο	21
1.6.2 Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ)	21
1.7 Εφαρμογές του Βιοαερίου σε παγκόσμια κλίμακα	24
1.7.1 Αγροτικές μονάδες βιοαερίου	24
1.7.2 Μονάδες βιοαερίου οικογενειακής κλίμακας	25
1.7.3 Μονάδες βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος	27
1.7.4 Κεντρικές (κοινές) εγκαταστάσεις συγχώνευσης	30
1.7.5 Εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	34
1.7.6 Εγκαταστάσεις επεξεργασίας δημοτικών στερεών αποβλήτων (ΔΣΑ) ...	35
1.7.7 Βιομηχανικές μονάδες βιοαερίου	36
1.7.8 Εγκαταστάσεις ανάκτησης αερίου χωματερής	37

1.8 Χρήση του βιοαερίου	39
1.8.1 Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας	41
1.8.2 Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)	42
1.8.3 Μικροστρόβιλοι βιοαερίου	43
1.8.4 Κυψέλες καυσίμου.	43
1.8.5 Αναβάθμιση του βιοαερίου (παραγωγή βιομεθανίου)	43
1.8.6 Παραγωγή CO ₂ και CH ₄ ως χημικών προϊόντων..	46
1.8.7 Χρήση του χωνεμένου υπολείμματος	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο- ΒΙΟΜΑΖΑ

2.1 Η έννοια της βιομάζας	48
2.2 Είδη βιομάζας	49
2.2.1 Βιομάζα από ενεργειακές καλλιέργειες	49
2.2.1.1 Ετήσιες ενεργειακές καλλιέργειες	50
2.2.1.2 Πολυετείς καλλιέργειες αγρωστωδών φυτών	52
2.2.2 Καλλιέργειες ελαιούχων φυτών	56
2.2.2.1 Καλλιέργειες φυτών με ελαιούχους σπόρους	56
2.2.2.2 Καλλιέργειες ελαιούχων δέντρων	57
2.2.3 Καλλιέργειες λιγνοκυτταρινούχων φυτών	58
2.2.4 Δασικές φυτείες	59
2.2.5 Υπολείμματα και απόβλητα του γεωργικού τομέα	61
2.2.6 Υπολείμματα και απόβλητα του δασικού τομέα	61
2.2.7 Ζωικά απόβλητα	62
2.2.8 Βιομηχανικά απόβλητα	63
2.2.9 Αστικά στερεά απόβλητα	64
2.2.10 Υγρά απόβλητα	65
2.3 Τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας	65
2.3.1 Θερμοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας	66
2.3.1.1 Καύση	66
2.3.1.2 Πυρόλυση	66
2.3.1.3 Αεριοποίηση	67
2.3.1.4 Υγροποίηση	67
2.3.2 Βιοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας	68
2.3.2.1 Αναερόβια χώνευση	68

2.3.2.2	Αλκοολική ζύμωση και παραγωγή βιοαιθανόλης	68
2.3.3	Μετ-εστεροποίηση ή αλκοόλυση για παραγωγή βιοντήζελ	69
2.3.4	Μηχανική παραγωγή βιοντήζελ	69
2.3.5	Συνθετικά καύσιμα (BtL)	70
2.3.6	Αερόβια χώνευση και παραγωγή κομπόστ	70
2.3.7	Διαδικασία παραγωγής σύμπηκτων	71
2.4	Κύριες εφαρμογές ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας	72
2.5	Πλεονεκτήματα της βιομάζας	73
2.6	Περιορισμοί της χρήσης βιομάζας	74
3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		
3.1	Πλεονεκτήματα των τεχνολογιών βιοαερίου-βιομάζας	75
3.2	Οφέλη για την κοινωνία	75
3.2.1	Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας	75
3.2.2	Συμβολή στη μείωση των εκπομπών του (ΑΦΘ)	76
3.2.3	Μειωμένη εξάρτηση από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα	76
3.2.4	Συμβολή στους στόχους της Ε.Ε για την ενέργεια και την προστασία του περιβάλλοντος	77
3.2.5	Μείωση των αποβλήτων	77
3.2.6	Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας	77
3.2.7	Ευέλικτη και αποδοτική η τελική χρήση βιοαερίου και βιομάζας	78
3.2.8	Χαμηλές ανάγκες σε νερό κατά την αναεροβική χώνευση	78
3.3	Οφέλη για τους γεωργούς	78
3.3.1	Πρόσθετη πηγή εσόδων για τους εμπλεκόμενους γεωργούς	78
3.3.2	Χρήση του χωνεμένου υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικό	78
3.3.3	Κλειστός κύκλος θρεπτικών συστατικών	79
3.3.4	Ευελιξία χρήσης διαφορετικών πρώτων υλών	79
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι		81
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ		81
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		82

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αναζήτηση πρόσθετων ενεργειακών πόρων αποτελεί τις τελευταίες δεκαετίες το αντικείμενο έρευνας αρκετών τεχνολογικά προηγμένων χωρών. Και τούτο όχι μόνο διότι για τις υπάρχουσες ορυκτής προέλευσης πηγές ενέργειας όπως είναι το κάρβουνο, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο προδιαγράφεται το τέλος, σε κάποιο χρονικό διάστημα όχι πάρα πολύ μακρινό στο μέλλον, αλλά και διότι η ιδιαίτερη διάσταση του θέματος και οι επιρροές οι οποίες επιχειρούνται, δοκιμάζουν κατά τρόπο δυσβάστακτο την οικονομική αντοχή των λαών.

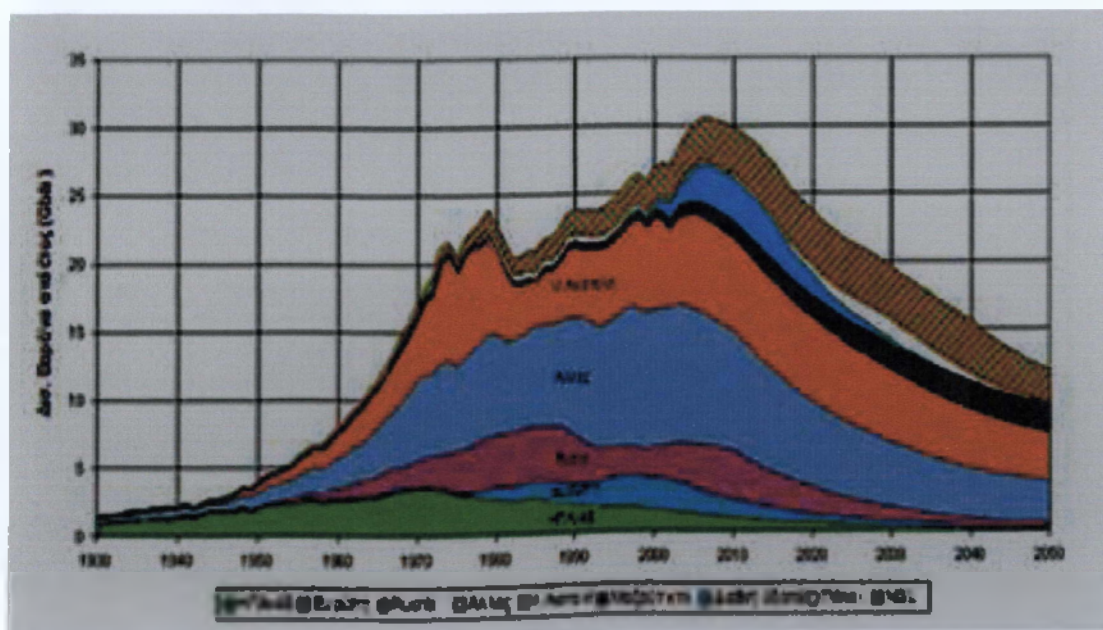
Από την άλλη πλευρά, οι απαιτήσεις για συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας με στόχο τη βελτίωση του βιοτικού μας επιπέδου, οδήγησε σε επιδείνωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του περιβάλλον των αστικών περιοχών και όχι μόνο. Τα τελευταία χρόνια οι προσπάθειες για μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων με την παραγωγή περιβαλλοντικών συμβατικών καυσίμων δεν είναι αρκετή. Ο λόγος είναι ότι η καύση τους οδηγεί αναγκαστικά σε παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Οι εκπομπές του CO₂ μέχρι πριν από λίγα χρόνια θεωρούνταν περιβαλλοντικά ουδέτερες, ενώ σήμερα γνωρίζουμε ότι το συγκεκριμένο αέριο είναι το κύριο συστατικό που συμβάλλει στην έξαρση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που γίνεται όλο και πιο έντονο, επηρεάζει τις κλιματολογικές συνθήκες του πλανήτη, κυρίως με την αύξηση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα να ενοχοποιείται για τις κλιματικές αλλαγές, που με τη σειρά τους οδηγούν σε ανεξέλεγκτες καταστάσεις με δυσάρεστες επιπτώσεις για όλο τον πλανήτη. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας (ηλιακή, αιολική, γεωθερμική, βιοαέριο, βιομάζα κτλ.) έχουν πλέον μεγάλη σημασία και επιβάλλεται η εισαγωγή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο κάθε χώρας που ανήκει στην Ε.Ε., αλλά και εκτός αυτής.

Συγχρόνως όμως και η τάση η οποία επικρατεί για μερική τουλάχιστον ανεξαρτητοποίηση σε ότι έχει σχέση με την εξασφάλιση των ενεργειακών πόρων για κάλυψη των ιδίων αναγκών, είχε σαν αποτέλεσμα την εντονότερη αξιοποίηση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας όπως είναι η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμία και φυσικά η βιομάζα κτλ. και μάλιστα όχι σ' ένα συγκεκριμένο είδος βιομάζας αλλά βιομάζα οιασδήποτε προέλευσης όπως είναι π.χ. τα κατάλοιπα των γεωργικών καλλιεργειών, των βιομηχανιών παρασκευής τροφίμων, τα κατάλοιπα των σφαγείων,

των εκτροφείων μεγάλων ζώων (π.χ. χοίρων, μοσχαριών, των πτηνοτροφείων), αστικών οικιακών αποβλήτων κλπ.

Ιδιαίτερα η βιομάζα από τις γεωργικές καλλιέργειες με την παραγωγή του βιοαερίου και την ενεργειακή του εκμετάλλευση τυγχάνει ιδιαίτερης προσοχής διότι αποτελεί μια επί πλέον αγορά για την διάθεση των γεωργικών προϊόντων χωρίς να τα περιορίζει μόνο στην διατροφή των πληθυσμών. Η ιδέα παραγωγής του βιοαερίου από τα γεωργικά προϊόντα σημαίνει για το περιβάλλον 100% ολοκληρωμένη διεργασία αξιοποίησης των προϊόντων με τα μέσα της σύγχρονης τεχνολογίας της αναερόβιας ζύμωσης χωρίς απολύτως καμία δυσμενή επίπτωση στο περιβάλλον.

Η δυσκολία στη διαχείριση του συνεχώς αυξανόμενου όγκου των αστικών – βιομηχανικών στερεών και υγρών αποβλήτων από τους αρμόδιους φορείς, τα απόβλητα του αγροτικού και κτηνοτροφικού τομέα και η συνεχής επιβολή περιβαλλοντικών μέτρων και κανόνων προσαρμογής από την Ε.Ε με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος, οδηγούν ολοένα στην ανάληψη πρωτοβουλιών διαχείρισης του όγκου των απορριμμάτων μ' ένα πιο αποδοτικό τρόπο, δημιουργώντας μονάδες παραγωγής βιοαερίου μετατρέποντας τα απόβλητα σε ενέργεια.

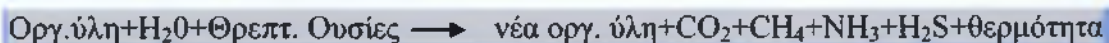


Σχήμα 1: Σενάριο εξέλιξης της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου και «πετρελαϊκή αιχμή» (ASPO 2008)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΒΙΟΑΕΡΙΟ

1.1 Η έννοια του Βιοαερίου

Ως βιοαέριο χαρακτηρίζεται το προϊόν της αναερόβιας χώνευσης βιοαποικοδομήσιμων οργανικών υλικών. Παράγεται από τις διεργασίες της αναερόβιας χώνευσης των αγροτοβιομηχανικών απορριμμάτων, της κοπριάς των ζώων και της χώνευσης των λυμάτων και αποβλήτων σε χώρους ταφής (υγειονομικής ή μη) και τους βιολογικούς καθαρισμούς. Το προερχόμενο από τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης βιοαέριο περιέχει μεθάνιο (CH_4) σε ποσοστό περίπου 50 έως 70%, διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) σε ποσοστά που κυμαίνονται από 30 έως 50%, καθώς και ίχνη H_2 , O_2 , H_2S , N_2 και υδρατμών. Η γενική εξίσωση αναερόβιας μετατροπής των στερεών αποβλήτων είναι η ακόλουθη (Ζαφείρης, 2012):



1.2 Διεργασίες αναερόβιας χώνευσης (AX)

Η AX είναι μια βιοχημική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθεται απουσία οξυγόνου από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών. Σε μία μονάδα βιοαερίου, το αποτέλεσμα της διεργασίας της AX είναι το βιοαέριο και το χωνεμένο υπόλειμμα. Όταν το υπόστρωμα για την AX είναι ένα ομοιογενές μείγμα από δύο ή περισσότερους τύπους πρώτων υλών (π.χ. ζωικές υδαρείς κοπριές και οργανικά απόβλητα από τις βιομηχανίες τροφίμων) τότε έχουμε την λεγόμενη «συγχώνευση» ή «συνδυασμένη χώνευση».

1.3 Υποστρώματα για την Αναερόβια Χώνευση (AX)

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα τύπων βιομάζας ως υπόστρωμα (πρώτη ύλη) για την παραγωγή βιοαερίου από την AX. Οι πιο κοινές κατηγορίες πρώτης ύλης που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του βιοαερίου στην Ευρώπη είναι οι εξής: (Πίνακα 1)

- Στερεή και υδαρή κοπριά
- Γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα
- Οργανικά απόβλητα, που μπορούν να υποστούν χώνευση, από τρόφιμα και αγροτοβιομηχανίες (φυτικής και ζωικής προέλευσης)

- Το οργανικό κλάσμα των αστικών αποβλήτων και των υπολειμμάτων εστίασης (φυτικής και ζωικής προέλευσης)
- Λοματολάσπη
- Ενεργειακές καλλιέργειες (π.χ. αραβόσιτος, μίσχανθος, σόργο, τριφύλλι)
(www.big-east.eu)

Πίνακας 1: Απόβλητα, κατάλληλα για βιολογική επεξεργασία, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (ΕΚΑ 2007)

Κωδικός αποβλήτων	Περιγραφή αποβλήτων	
02 00 00 ¹	Αποβλήτα από γεωργία, κτηλευτική, υδατοκαλλιέργεια, δασοκομία, θήρα και αλιεία, προετοιμασία και επεξεργασία τροφίμων	Αποβλήτα από γεωργία, κτηλευτική, υδατοκαλλιέργεια, δασοκομία, θήρα και αλιεία
		Αποβλήτα από την προπαρασκευή και επεξεργασία κρέατος, ψαριού και άλλων τροφίμων ζώικης προέλευσης
		Αποβλήτα από την προπαρασκευή και κατεργασία φρούτων, λαχανικών, δημητριακών, βρώσιμων ελαίων, κακάο, καφέ, τσαγιού και καπνού, παραγωγή κονσερβών, παραγωγή ζύμης και εκχυλισμάτων ζύμης, προπαρασκευή και ζύμωση μελάσσης
		Αποβλήτα από τη διεργασία παραγωγής ζάχαρης
		Αποβλήτα από τη βιομηχανία χαλκοκομικών προϊόντων
		Αποβλήτα από τη βιομηχανία αρτοποιίας και ζαχαροπλαστικής
03 00 00	Αποβλήτα από την κατεργασία ξύλου και την παραγωγή ταμπακών και επίπλων, καθώς και πολτού, χαρτιού και χαρτονιού	Αποβλήτα από την κατεργασία ξύλου και την παραγωγή ταμπακών και επίπλων
		Αποβλήτα από την παραγωγή και κατεργασία πολτού, χαρτιού και χαρτονιών
04 00 00	Αποβλήτα από τις βιομηχανίες δέρματος, γούνας και υφαντουργίας	Αποβλήτα από τη βιομηχανία δέρματος και γούνας
		Αποβλήτα από τη βιομηχανία υφαντουργίας
15 00 00	Αποβλήτα από συσκευασίες – απορροφητικά υλικά, υφάσματα σκουπίσματος, υλικά φίλτρων και προστατευτικός ρουχισμός, μη προδιαγραφόμενα αλλιάς	Συσκευασία (περιλαμβανομένων ιδιαίτερα συλλεγμένων δημοτικών αποβλήτων συσκευασίας)
19 00 00	Αποβλήτα από τις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων, εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων εκτός σημείου παραγωγής και την προετοιμασία ύδατος προοριζόμενου για κατανάλωση από τον άνθρωπο και ύδατος για βιομηχανική χρήση	Αποβλήτα από την αναερόβια επεξεργασία αποβλήτων
		Αποβλήτα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μη προδιαγραφόμενα αλλιάς
		Αποβλήτα από την προπαρασκευή νερού που προορίζεται για κατανάλωση από τον άνθρωπο ή νερού για βιομηχανική χρήση
20 00 00	Δημοτικά απόβλητα (οικιακά απόβλητα και παρούσια απόβλητα από εμπορικές δραστηριότητες, βιομηχανίες και ιδρύματα), περιλαμβανομένων μερών χωριστά συλλεγμένων	Χωριστά συλλεγμένα μέρη (εκτός από το σημείο 15 01)
		Απόβλητα κήπων και πάρκων (περιλαμβάνονται αποβλήτα νεκροταφείων)
		Άλλα δημοτικά απόβλητα

Η χρήση της ζωικής στερεής και υδαρούς κοπριάς ως πρώτη ύλη για την ΑΧ έχει μερικά πλεονεκτήματα λόγω των παρακάτω ιδιοτήτων:

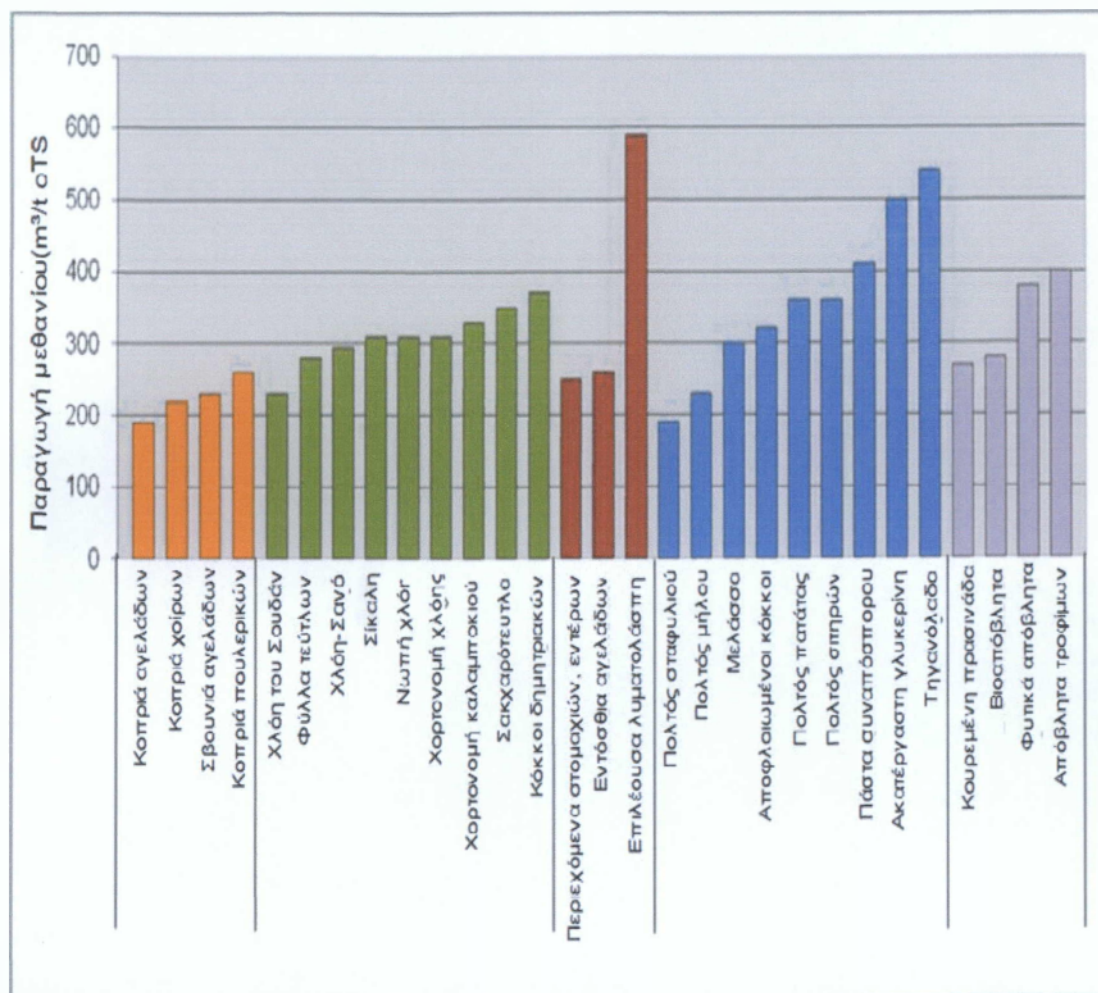
- Του φυσικού περιεχομένου τους σε αναερόβια βακτήρια.
- Του υψηλού περιεχομένου τους σε νερό (4-8% Ξηρή Ουσία στην υδαρή κοπριά), το οποίο ενεργεί ως διαλύτης για τα άλλα ομο-υποστρώματα και εξασφαλίζει την κατάλληλη ανάμειξη και ροή της βιομάζας.
- Της χαμηλής τιμής τους.
- Της υψηλής προσβασιμότητας, καθώς συλλέγονται ως υπόλειμμα από την κτηνοτροφία.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, σε πολλές χώρες έχει εξεταστεί και εισαχθεί μια άλλη κατηγορία πρώτων υλών ΑΧ, οι γνωστές ως «ειδικού προορισμού» ενεργειακές καλλιέργειες (ΕΠΕΚ), οι οποίες καλλιεργούνται ειδικά για την παραγωγή ενέργειας (αντίστοιχα για την παραγωγή βιοαερίου). Οι ΕΠΕΚ μπορεί να είναι ποώδεις (χλόη, αραβόσιτος, αγριοκράμβη κ.λπ.) αλλά και ξυλώδεις καλλιέργειες (ιτιά, λεύκα, βελανιδιά), αν και οι ξυλώδεις καλλιέργειες χρειάζονται ειδική προ-επεξεργασία για την απολιγνίτωσή τους πριν την ΑΧ. Επιπλέον, τα υποστρώματα της ΑΧ μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με διάφορα κριτήρια: την προέλευσή τους, το περιεχόμενό τους σε ξηρή ουσία (ΞΟ), την παραγωγή μεθανίου κ.λπ. Ο Πίνακας 2 (σελ 13) παρέχει μια επισκόπηση των χαρακτηριστικών, μερικών από τους τύπους των κατάλληλων για χώνευση πρώτων υλών.

Τα υποστρώματα με περιεκτικότητα ΞΟ χαμηλότερη από 20% χρησιμοποιούνται για τη λεγόμενη υγρή χώνευση (υγρή ζύμωση). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τις ζωικές στερεές και υδαρείς κοπριές καθώς επίσης και διάφορα υγρά οργανικά απόβλητα από βιομηχανίες τροφίμων. Όταν η περιεκτικότητα σε ΞΟ είναι αρκετά υψηλή (π.χ. 35%), τότε μιλάμε για ξηρή χώνευση (ξηρή ζύμωση), που είναι χαρακτηριστική για τις ενεργειακές καλλιέργειες και τις χορτονομές. Η επιλογή του τύπου και της ποσότητας της πρώτης ύλης για το μείγμα του υποστρώματος της ΑΧ εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε ΞΟ καθώς επίσης και από την περιεκτικότητα σε σάκχαρα, λιπίδια και πρωτεΐνες. Τα υποστρώματα που περιέχουν υψηλές ποσότητες λιγνίνης, κυτταρίνης και ημικυτταρινών μπορούν επίσης να αφομοιωθούν, αλλά σε αυτήν την περίπτωση συνήθως εφαρμόζεται μια προ-επεξεργασία προκειμένου να ενισχυθεί η ικανότητα χώνευσής τους.

Η πιθανή παραγωγή μεθανίου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια αξιολόγησης των διαφορετικών υποστρωμάτων της ΑΧ. Αξιοσημείωτο είναι ότι, η

ζωική στερεή κοπριά έχει μια σχετικά χαμηλή παραγωγή μεθανίου. Γι' αυτό, στην πράξη, η ζωική στερεή κοπριά δεν υφίσταται χώνευση μόνη της, αλλά αναμειγνύεται και με άλλα ομο-υποστρώματα, με υψηλή παραγωγή μεθανίου, προκειμένου να ενισχυθεί η παραγωγή βιοαερίου. Τα πιο κοινά ομο-υποστρώματα που προστίθενται για συγχώνευση μαζί με τη στερεή και υδαρή κοπριά είναι ελαιώδη υπολείμματα από τις βιομηχανίες τροφίμων, αλείας και τροφών, αλκοολούχα απόβλητα από τις βιομηχανίες ζυθοποιίας και ζάχαρης ή και ΕΠΕΚ. (www.big-east.eu)



Σχήμα 2: Σημεία αναφοράς για τις ειδικές παραγωγές μεθανίου (PRABL, 2007)

Πίνακας 2: Τα χαρακτηριστικά μερικών τύπων πρώτων υλών κατάλληλων για χώνευση (Al Seadi, 2001)

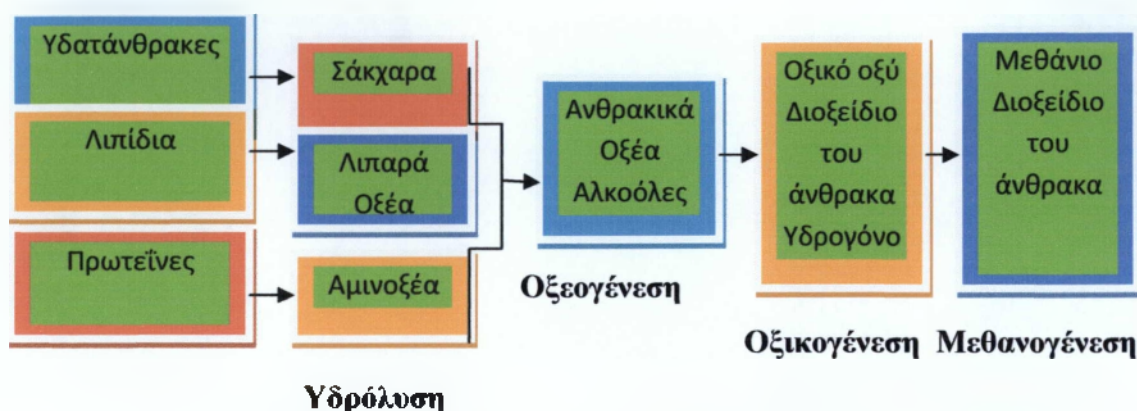
Τύπος πρώτης ύλης	Οργανικό περιεχόμενο	Αναλογία C:N	ΞΟ %	VS % της ΞΟ	Παραγωγή βιοαερίου m ³ ·kg ⁻¹ VS	Ανεπιθύμητες φυσικές σκαθαρσίες	Άλλα ανεπιθύμητα υλικά
Υδαρή, κοπριά χοίρων	Υδατανθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	3-10	3-8	70-80	0.25-0.50	Ξέσματα ζύλου, σιλό ηρέε, τρίχεε, νερό, άμμος, σχονιά, άχυρο	Αντιβιοτικά, απολυμαντικά
Υδαρή, κοπριά βοοειδών	Υδατανθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	6-20	5-12	80	0.20-0.30	Σκληρές, τρίχεε, χόμα, νερό, άχυρα, ζύλια	Αντιβιοτικά, απολυμαντικά, NH ₄ ⁺
Υδαρή, κοπριά πουλερικών	Υδατανθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	3-10	10-30	80	0.35-0.60	Αμμογάλικο, άμμος, στερά	Αντιβιοτικά, απολυμαντικά, NH ₄ ⁺
Περιεχόμενα στοιχείων, εντέρον	Υδατανθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	3-5	15	80	0.40-0.68	Ζωικοί ιστοί	Αντιβιοτικά, απολυμαντικά
Τυρόγαλο	75-80% λακτόζη 20-25% πρωτεΐνες	n.a.*	8-12	90	0.35-0.80	Ακαθαρσίες μεταφοράς	
Συμπυκνωμένας ορός, γάλακτος	75-80% λακτόζη 20-25% πρωτεΐνες	n.a.*	20-25	90	0.80-0.95	Ακαθαρσίες μεταφοράς	
Ιλύε, επίπλευσηε	65-70% πρωτεΐνες 30-35% λιπίδια					Ζωικοί ιστοί	Βαριά μέταλλα, απολυμαντικά, οργανικοί ρύποι
Απολύματα της ζύμωσηε	Υδατανθρακες	4-10	1-5	80-95	0.35-0.78	Τα μη διασπόμενα υπολείμματα σρούτων	
Άχυρο	Υδατανθρακες, λιπίδια	80-100	70-90	80-90	0.15-0.35	Άμμος, αμμογάλικο	
Απόβλητα από κήπουε		100-150	60-70	90	0.20-0.50	Χόμα, κυτταρινούχα συστατικά	Φυτοφάρμακα
Χλόη		12-25	20-25	90	0.55	Αμμογάλικο	Φυτοφάρμακα
Σερο, χλόηε		10-25	15-25	90	0.56	Αμμογάλικο	
Απόβλητα από φρούτα		35	15-20	75	0.25-0.50		
Ιχθυέλαια	30-50% λιπίδια	n.a.*					
Έλαια σόγιαε, μαργαρίνη	90% φυτικά έλαια	n.a.*					
Άλκοολ	40% αλκοολ	n.a.*					
Υπολείμματα τροφιμου			10	80	0.50-0.60	Κόκαλα, πλαστικό	Απολυμαντικά
Οργανικά οικιακά απόβλητα						Πλάστικό, μέταλλο, πέτρεε, ζύλο, γυαλί	Βαρέα μέταλλα, οργανικοί ρύποι
Λυματολόαση							Βαρέα μέταλλα, οργανικοί ρύποι

* μη διαθέσιμη τιμή

1.4 Η βιοχημική διεργασία της ΑΧ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ΑΧ είναι η μικροβιολογική διαδικασία αποσύνθεσης της οργανικής ύλης απουσία οξυγόνου. Τα βασικά προϊόντα αυτής της διεργασίας είναι το βιοαέριο και το χωνεμένο υπόλειμμα. Το βιοαέριο είναι ένα αέριο καύσιμο, αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Το χωνεμένο υπόλειμμα είναι το αποσυντεθειμένο υπόστρωμα, επακόλουθο της παραγωγής του βιοαερίου. Κατά τη διάρκεια της ΑΧ παράγεται πολύ λίγη θερμότητα σε αντίθεση με την αερόβια αποσύνθεση (παρουσία οξυγόνου), όπως είναι η κομποστοποίηση. Η ενέργεια, που είναι χημικά δεσμευμένη μέσα στο υπόστρωμα, παραμένει κυρίως στο παραγόμενο βιοαέριο με τη μορφή μεθανίου.

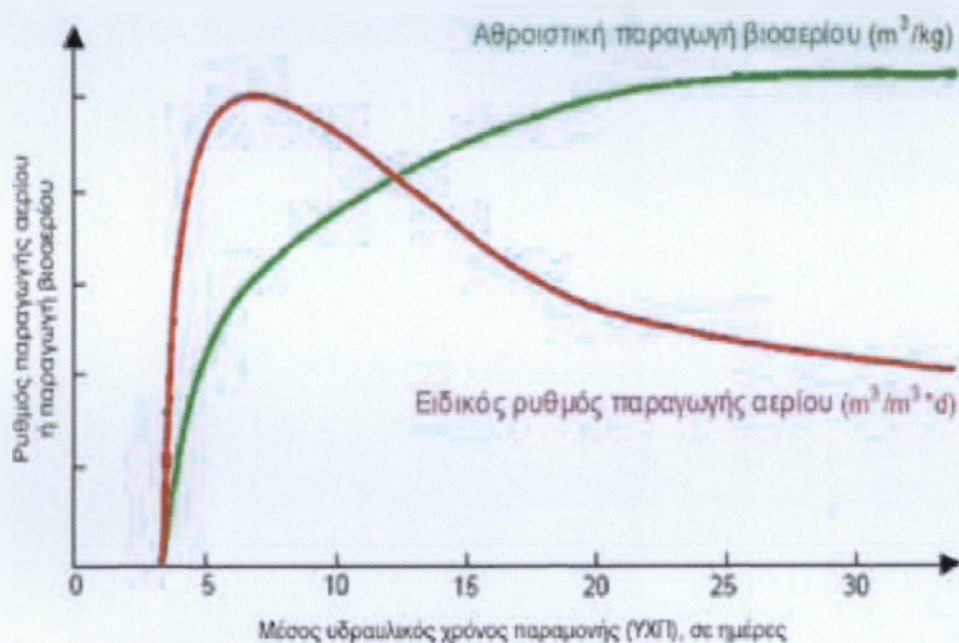
Η διεργασία σχηματισμού του βιοαερίου είναι ένα αποτέλεσμα συνδυαστικών σταδίων, στα οποία το αρχικό υλικό συνεχώς διασπάται σε μικρότερα στοιχεία. Ειδικές ομάδες μικροοργανισμών εμπλέκονται σε καθένα από τα μεμονωμένα αυτά στάδια. Αυτοί οι οργανισμοί αποσυνθέτουν διαδοχικά τα προϊόντα των προηγούμενων σταδίων. Ένα απλουστευμένο διάγραμμα της διεργασίας της ΑΧ παρουσιάζεται στο Σχήμα 3 όπου διακρίνονται τα τέσσερα κύρια στάδια της διεργασίας: η υδρόλυση, η οξεογένεση, η οξικογένεση, και η μεθανογένεση.



Σχήμα 3: Τα κύρια βήματα της διεργασίας της ΑΧ (Al Seadi, 2001)

Τα στάδια της διεργασίας που αναφέρονται στο Σχήμα 3 λαμβάνουν χώρα παράλληλα στο χώρο και το χρόνο, στη δεξαμενή χώνευσης. Η ταχύτητα της συνολικής διεργασίας αποσύνθεσης καθορίζεται από την πιο αργή αντίδραση της αλυσίδας. Στην περίπτωση των μονάδων βιοαερίου όπου γίνεται επεξεργασία των φυτικών υποστρωμάτων που περιέχουν κυτταρίνη, ημι-κυτταρίνη ή λιγνίνη, η

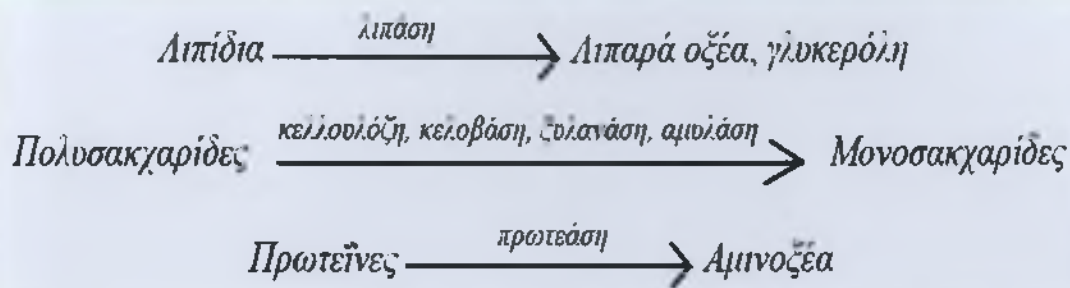
υδρόλυση είναι αυτή που καθορίζει την ταχύτητα της διεργασίας. Κατά την υδρόλυση, παράγονται σχετικά μικρές ποσότητες βιοαερίου. Η παραγωγή βιοαερίου φθάνει στην αιχμή της κατά την μεθανογένεση. (www.big-east.eu)



Σχήμα 4: Παραγωγή βιοαερίου μετά από την προσθήκη του υποστρώματος (LJU, 2007)

1.4.1 Υδρόλυση

Η υδρόλυση είναι θεωρητικά το πρώτο βήμα της ΑΧ, κατά τη διάρκεια της οποίας η σύνθετη οργανική ουσία (πολυμερή) αποσυντίθεται σε μικρότερα στοιχεία (μονο- και ολιγομερή). Τα πολυμερή, όπως οι υδατάνθρακες, τα λιπίδια, τα νουκλεϊκά οξέα και οι πρωτεΐνες, μετατρέπονται σε γλυκόζη, γλυκερίνη, πουρίνες, πυριδίνες, κ.λπ. Τα υδρολυτικά βακτήρια εκκρίνουν υδρολυτικά ένζυμα, μετατρέποντας τα βιοπολυμερή σε απλούστερες και διαλυτές ενώσεις, ως εξής:



Μια μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών εμπλέκονται στην υδρόλυση, η οποία πραγματοποιείται από τα εξωένζυμα, που παράγονται από τους μικροοργανισμούς εκείνους που αποσυνθέτουν το αδιάλυτο μοριακό υλικό. Τα προϊόντα που προκύπτουν από την υδρόλυση αποσυντίθενται περαιτέρω από τους εμπλεκόμενους μικροοργανισμούς και χρησιμοποιούνται για τις δικές τους διεργασίες μεταβολισμού.

1.4.2 Οξεογένεση

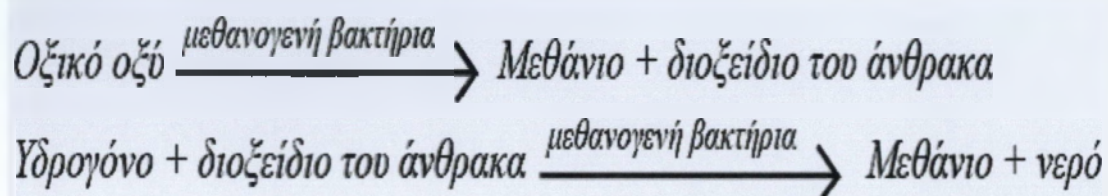
Κατά τη διάρκεια της οξεογένεσης, τα προϊόντα της υδρόλυσης μετατρέπονται από οξεογενή βακτηρίδια σε μεθανογενή υποστρώματα. Τα απλά σάκχαρα, τα αμινοξέα και τα λιπαρά οξέα υποβιβάζονται σε οξικό άλας, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο (70%), καθώς επίσης και σε πτητικά λιπαρά οξέα (VFA) και αλκοόλες (30%).

1.4.3 Οξικογένεση

Κατά τη διάρκεια της οξικογένεσης, τα προϊόντα της οξεογένεσης που δεν μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε μεθάνιο από τα μεθανογενή βακτηρίδια μετατρέπονται σε μεθανογενή υποστρώματα. Τα πτητικά λιπαρά οξέα και οι αλκοόλες οξειδώνονται σε μεθανογενή υποστρώματα, όπως οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Τα πτητικά λιπαρά οξέα με αλυσίδες άνθρακα με περισσότερους από δύο δεσμούς και οι αλκοόλες με αλυσίδες άνθρακα με περισσότερους από ένα δεσμό οξειδώνονται σε οξικό οξύ και υδρογόνο. Η παραγωγή του υδρογόνου αυξάνει την μερική πίεσή του. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως «υπόλειμμα» της οξικογένεσης και εμποδίζει το μεταβολισμό των οξικογενών βακτηρίων. Κατά τη διάρκεια της μεθανογένεσης, το υδρογόνο μετατρέπεται σε μεθάνιο. Η οξικογένεση και η μεθανογένεση συνήθως λαμβάνουν χώρα παράλληλα, ως συμβίωση δύο ομάδων οργανισμών.

1.4.4 Μεθανογένεση

Η παραγωγή του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα από ενδιάμεσα προϊόντα πραγματοποιείται από τα μεθανογενή βακτήρια. Το 70% του διαμορφωμένου μεθανίου προέρχεται από οξικό άλας, ενώ το υπόλοιπο 30% παράγεται από τη μετατροπή του υδρογόνου και του CO₂ σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση:



Η μεθανογένεση είναι ένα κρίσιμο βήμα σε ολόκληρη τη διεργασία της χώνευσης, δεδομένου ότι είναι η πιο αργή βιοχημική αντίδραση της διεργασίας. Η μεθανογένεση επηρεάζεται σοβαρά από τις συνθήκες λειτουργίας. Η σύνθεση της πρώτης ύλης, ο ρυθμός τροφοδοσίας, η θερμοκρασία και το pH είναι παραδείγματα παραγόντων που επηρεάζουν τη μεθανογένεση. Η υπερπλήρωση του χωνευτή, οι αλλαγές θερμοκρασίας ή η μεγάλη είσοδος οξυγόνου οδηγούν συνήθως στον τερματισμό της παραγωγής μεθανίου. (www.big-east.eu)

1.5 Παράμετροι της AX

Η αποδοτικότητα της AX εξαρτάται από μερικές κρίσιμες παραμέτρους, οπότε είναι σημαντικό να παρέχονται οι κατάλληλες συνθήκες για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς. Η ανάπτυξη και η δραστηριότητά τους επηρεάζεται σημαντικά από την απουσία οξυγόνου, τη θερμοκρασία, την τιμή του pH, τον ανεφοδιασμό με θρεπτικές ουσίες, την ένταση της ανάδευσης, καθώς και από την παρουσία και την ποσότητα ανασταλτικών παραγόντων (π.χ. αμμωνία). Τα βακτήρια μεθανίου είναι δύσκολοι αναερόβιοι οργανισμοί, οπότε πρέπει να αποφεύγεται αυστηρά η παρουσία οξυγόνου στη διεργασία της χώνευσης.

1.5.1 Θερμοκρασία

Η διεργασία της AX μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διαφορετικές θερμοκρασίες, που χωρίζονται σε τρία θερμοκρασιακά εύρη:

- ψυχρόφιλη (κάτω από 25°C)
- μεσόφιλη (25 - 45°C)

- και θερμόφιλη (45-70°C)

Υπάρχει μια άμεση συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας της διεργασίας και του υδραυλικού χρόνου παραμονής (ΥΧΠ) (Πίνακας 3)

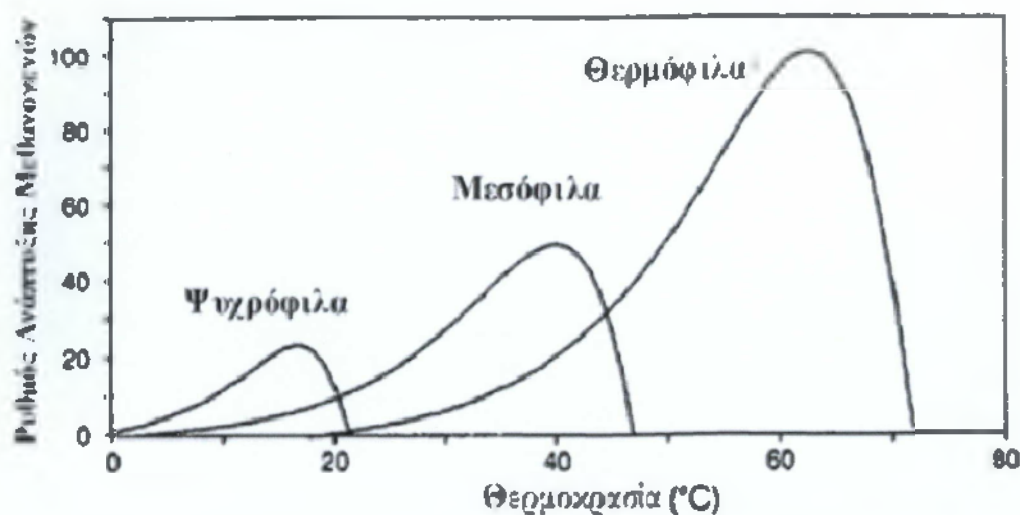
Πίνακας 3: Θερμικά στάδια και χαρακτηριστικοί χρόνοι παραμονής (Angelidaki, 2004)

Θερμικό στάδιο	Θερμοκρασίες διεργασίας	Ελάχιστος χρόνος παραμονής
ψυχρόφιλο	< 20 °C	70 έως 80 ημέρες
μεσόφιλο	30 έως 42 °C	30 έως 40 ημέρες
θερμόφιλο	43 έως 55 °C	15 έως 20 ημέρες

Η σταθερότητα της θερμοκρασίας έχει καθοριστική σημασία για την ΑΧ. Στην πράξη, η θερμοκρασία λειτουργίας επιλέγεται σε συνάρτηση με τη χρησιμοποιούμενη πρώτη ύλη και η θερμοκρασία διεργασίας συνήθως παρέχεται από ενδοδαπέδια ή επιτοιχία συστήματα θέρμανσης, μέσα στον χωνευτή.

Πολλές σύγχρονες μονάδες βιοαερίου λειτουργούν σε θερμόφιλες θερμοκρασίες διεργασίας, καθώς η θερμόφιλη παρέχει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι της μεσόφιλης και ψυχρόφιλης, όπως:

- Αποτελεσματική καταστροφή των παθογόνων οργανισμών
- Υψηλότερο ποσοστό αύξησης μεθανογενών βακτηρίων σε υψηλότερες θερμοκρασίες
- Μειωμένος χρόνος παραμονής, που καθιστά τη διεργασία γρηγορότερη και αποδοτικότερη
- Βελτιωμένη ικανότητα χώνευσης και διαθεσιμότητα των υποστρωμάτων
- Καλύτερη διάσπαση των στερεών υποστρωμάτων και καλύτερη χρήση των υποστρωμάτων
- Καλύτερη δυνατότητα διαχωρισμού των υγρών και στερεών μερών.



Σχήμα 5: Σχετικός ρυθμός ανάπτυξης των μεθανογενών (Angelidaki, 2004)

Πίνακας 4: Σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της διαλυτότητας μερικών αερίων στο νερό (Angelidaki, 2004)

Αέριο	Θερμοκρασία (°C)	Διαλυτότητα mmol/l νερού	Μεταβολή διαλυτότητας 50°C-35°C
H ₂	35	0.749	3.3 %
	50	0.725	
CO ₂	35	26.6	36 %
	50	19.6	
H ₂ S	35	82.2	31 %
	50	62.8	
CH ₄	35	1.14	19 %
	50	0.962	

1.5.2 Τιμές pH και βέλτιστα διαστήματα

Η τιμή του pH είναι το μέτρο της οξύτητας/αλκαλικότητας του διαλύματος (ανάλογα με το μείγμα του υποστρώματος, στην περίπτωση της AX) και εκφράζεται σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm). Το pH του υποστρώματος της AX επηρεάζει την αύξηση των μεθανογενών μικροοργανισμών και μπορεί να έχει επιπτώσεις στο διαχωρισμό μερικών ενώσεων που έχουν σημασία για τη διεργασία της AX (αμμωνία, σουλφίδιο, οργανικά οξέα). Η εμπειρία δείχνει ότι ο σχηματισμός του μεθανίου πραγματοποιείται μέσα σε ένα σχετικά μικρό εύρος pH, περίπου από 5,5 έως 8,5, με ένα βέλτιστο εύρος από 7 έως 8 για τους περισσότερους μεθανογενείς οργανισμούς. (www.big-east.eu)

1.5.3 Πτητικά λιπαρά οξέα (VFA)

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ευστάθεια της διεργασίας της ΑΧ είναι η συγκέντρωση των ενδιάμεσων προϊόντων όπως είναι τα πτητικά λιπαρά οξέα (VFA). Η πρακτική εμπειρία δείχνει ότι δύο διαφορετικοί χωνευτήρες μπορεί να συμπεριφέρονται τελείως διαφορετικά ως προς την ίδια συγκέντρωση VFA, με την έννοια ότι η συγκεκριμένη συγκέντρωση VFA μπορεί να είναι βέλπστη για μία δεξαμενή χώνευσης, αλλά ανασταλτική για μία άλλη. Μια από τις πιθανές εξηγήσεις είναι το γεγονός ότι η σύνθεση των πληθυσμών μικροοργανισμών ποικίλλει από χωνευτήρα σε χωνευτήρα. Για τον λόγο αυτό, όπως και στην περίπτωση του pH, η συγκέντρωση των VFA δεν μπορεί να προταθεί ως μια αυτόνομη παράμετρος ελέγχου της διεργασίας.

1.5.4 Αμμωνία

Η αμμωνία (NH_3) είναι μια σημαντική ένωση, με ιδιαίτερη λειτουργία στη διεργασία της ΑΧ. Είναι μια σημαντική θρεπτική ουσία που χρησιμεύει ως προδρομικό υλικό των τροφίμων και των λιπασμάτων και κανονικά συναντάται ως αέριο, με τη χαρακτηριστική έντονη οσμή. Οι πρωτεΐνες είναι η κύρια πηγή αμμωνίας στη διεργασία της ΑΧ.

Η πολύ υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας μέσα στο χωνευτή, ειδικότερα η ελεύθερη αμμωνία (στη μη ιονισμένη μορφή της), είναι υπεύθυνη για την παρεμπόδιση της διεργασίας. Το γεγονός αυτό είναι σύνηθες στην ΑΧ της ζωικής στερεής κοπριάς, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης αμμωνίας που προέρχεται από την ουρία. Γι' αυτό το λόγο, η συγκέντρωση της αμμωνίας πρέπει να διατηρείται κάτω από 80 mg/l. Τα μεθανογενή βακτήρια είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην παρεμπόδιση από την αμμωνία. Η συγκέντρωση της ελεύθερης αμμωνίας είναι ευθέως ανάλογη προς τη θερμοκρασία, οπότε υφίσταται αυξημένος κίνδυνος παρεμπόδισης λόγω της αμμωνίας των διεργασιών ΑΧ που λαμβάνουν χώρα κυρίως στις θερμοφιλες θερμοκρασίες, σε σύγκριση με τις μεσόφιλες.

1.5.5 Ιχνοστοιχεία, θρεπτικές ουσίες και τοξικές ενώσεις

Τα ιχνοστοιχεία όπως το σίδηρο, το νικέλιο, το κοβάλτιο, το σελήνιο, το μολυβδαίνιο ή το βολφράμιο είναι εξίσου σημαντικά για την αύξηση και την επιβίωση των μικροοργανισμών της ΑΧ (άνθρακας, άζωτο, φώσφορος και θείο). Η βέλπστη αναλογία των θρεπτικών στοιχείων άνθρακα, αζώτου, φωσφόρου, και θείου (C:N:P:S) είναι 600:15:5:1. Η ανεπαρκής παροχή θρεπτικών ουσιών και

ιχνοστοιχείων, καθώς επίσης και η πάρα πολύ υψηλή δυνατότητα χώνευσης του υποστρώματος μπορούν να προκαλέσουν παρεμπόδιση και διαταραχές στη διεργασία της ΑΧ.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη δραστηριότητα των αναερόβιων μικροοργανισμών είναι η παρουσία τοξικών ενώσεων. Αυτές μπορούν να μεταφερθούν στο σύστημα ΑΧ μαζί με την πρώτη ύλη, αλλά μπορούν επίσης να παραχθούν κατά τη διάρκεια της διεργασίας. (www.big-east.eu)

1.6 Παράμετροι λειτουργίας

1.6.1 Οργανικό φορτίο

Η κατασκευή των μονάδων βιοαερίου απαιτεί ένα συνδυασμό οικονομικών και τεχνικών εκτιμήσεων. Η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου που λαμβάνεται από την πλήρη χώνευση του υποστρώματος θα απαιτούσε ένα μεγάλο υδραυλικό χρόνο παραμονής (ΥΧΠ) και ένα αντίστοιχο μέγεθος χωνευτή. Στην πράξη, η επιλογή του συστήματος (π.χ. το μέγεθος και ο τύπος του χωνευτή) βασίζεται σε έναν συμβιβασμό μεταξύ της μέγιστης παραγωγής βιοαερίου και της οικονομικής βιωσιμότητας της μονάδας. Από αυτή την άποψη, το οργανικό φορτίο είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας, η οποία δείχνει πόση οργανική ξηρή ουσία μπορεί να τροφοδοτηθεί στον χωνευτή, ανά m^3 όγκου και μονάδα χρόνου, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$BR = m * c / VR$$

BR: οργανικό φορτίο [$kg/d * m^3$]

m: μάζα τροφοδοτούμενου υποστρώματος ανά μονάδα χρόνου [kg/d]

c : συγκέντρωση οργανικής ουσίας [%]

VR: όγκος του χωνευτή [m^3]

1.6.2 Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ)

Μια σημαντική παράμετρος για τη διαστασιολόγηση του χωνευτή είναι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ). Ο ΥΧΠ είναι το μέσο χρονικό διάστημα κατά το οποίο διατηρείται το υπόστρωμα μέσα στη δεξαμενή του χωνευτή. Ο ΥΧΠ σχετίζεται με τον όγκο του χωνευτή (VR), και τον όγκο του υποστρώματος που τροφοδοτείται στη μονάδα του χρόνου, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$Y_{XΠ} = VR / V$$

Y_{XΠ}: υδραυλικός χρόνος παραμονής [ημέρες]

VR: όγκος του χωνευτή [m³]

V: όγκος του υποστρώματος που τροφοδοτείται στη μονάδα του χρόνου [m³/d]

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, όσο αυξάνεται το οργανικό φορτίο θα μειώνεται ο Y_{XΠ}. Ο χρόνος παραμονής πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος για να εξασφαλιστεί ότι η ποσότητα των βακτηρίων που αφαιρείται με το χωνεμένο υπόλειμμα δεν θα είναι υψηλότερη από την ποσότητα των αναπαραγόμενων βακτηρίων (π.χ. ο ρυθμός διπλασιασμού των αναερόβιων βακτηρίων είναι 10 ημέρες ή περισσότερο). Ένας μικρός Y_{XΠ} παρέχει μια καλή παροχή υποστρώματος αλλά χαμηλή παραγωγή αερίου. Είναι επομένως σημαντικό να προσαρμοστεί ο Y_{XΠ} στο συγκεκριμένο ρυθμό αποσύνθεσης των χρησιμοποιούμενων υποστρωμάτων. Ξέροντας το επιθυμητό Y_{XΠ}, την καθημερινή εισαγωγή πρώτης ύλης και τον ρυθμό αποσύνθεσης του υποστρώματος, είναι δυνατό να υπολογιστεί ο απαραίτητος όγκος του χωνευτή. (www.big-east.eu)

Πίνακας 5: Παράμετροι λειτουργίας των μονάδων βιοαερίου (Al Seadi *et al*, 2008)

Παράμετρος	Σύμβολο	Μονάδα	Τρόπος καθορισμού
Θερμοκρασία	T	°C	Μέτρηση κατά τη λειτουργία
Πίεση λειτουργίας	P	ubar	Μέτρηση κατά τη λειτουργία
Ικανότητα ρυθμισαπόδοση	V	m ³ /d, t/d	Μέτρηση
Όγκος αντιδραστήρα	V _R	m ³	Καθορισμένος από την κατασκευή
Ποσότητα αερίου	V ανά ημέρα, V ανά έτος	m ³ d, m ³ a	Μέτρηση κατά τη λειτουργία και μετατροπή σε Nm ³
Χρόνος παραμονής (υδραυλικός, ελάχιστος, εγγυημένος)	ΥΧΠ, ΕΧΠ	d	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Οργανικό φορτίο		kg oTS / (m ³ * d)	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Συγκέντρωση μεθανίου στο βιοαέριο	CH ₄	%	Μέτρηση κατά τη λειτουργία
Ειδική παραγωγή βιοαερίου		%	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Ειδική παραγωγή βιοαερίου		m ³ / m ³	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Ακαθάριστη ενέργεια		kWh	Προσδιορισμός από τη ποσότητα του βιοαερίου και την συγκέντρωση μεθανίου
Παραγωγή ηλεκτρισμού		kWh	Μέτρηση στη γεννήτρια ΒΤΤΡ
Τροσόδωση στο δίκτυο		kWh	Μέτρηση μετά από τη γεννήτρια ΒΤΤΡ
Αποδοτικότητα του ΒΤΤΡ	η	%	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Τροσόδωση σταθμού θερμική ηλεκτρικής		kWh	Βάσει σχεδιασμού, κατόπιν μετρήσης κατά τη λειτουργία
Ειδική τροσόδωση σταθμού θερμική ηλεκτρική		kWh/m ³ Εισόδου kWh/GV*	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Παραγωγή ενέργειας		kWh	Άθροισμα της ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Αποδοτικότητα μονάδας	η	%	Η καθαρή ενέργεια που προέρχεται από την ακαθάριστη ενέργεια
Διαθεσιμότητα		%	Ποσοστό των ωρών σε ένα έτος κατά τις οποίες λειτουργεί πλήρως η μονάδα
Χρήση		%	Αναλογία της πραγματικής ποσότητας εισόδου προς την προβλεπόμενη δυναμικότητα
Συνολική επένδυση		€	Όλες οι δαπάνες της μονάδας βιοαερίου
Επιχορηγήσεις		€	Προκαθορισμένες
Ποσοστό επιχορήγησης		%	Ποσοστό όλων των επιχορηγήσεων ως προς το συνολικό ύψος της επένδυσης
Ειδικές επενδύσεις		€/m ³ γενετική €/GV*	Έχει έννοια μόνο όταν χρησιμοποιείται πρόβιστα ως στερεή καύσιμα από την κτηνοτροφική παραγωγή
Ειδικές δαπάνες επεξεργασίας		€/m ³ εισόδου €/GV*	Υπολογισμός

*GV: ακαθάριστο, όγκο

1.7 Εφαρμογές του Βιοαερίου σε παγκόσμια κλίμακα

Η παραγωγή βιοαερίου από την ΑΧ χρησιμοποιείται ευρέως στις σύγχρονες κοινωνίες για την επεξεργασία της στερεής και υδαρούς κοπριάς των εκτρεφόμενων ζώων. Σκοπός είναι να παραχθεί ανανεώσιμη ενέργεια και να βελτιωθούν οι ιδιότητες λίπανσης της κοπριάς. Στις χώρες με μεγάλη αγροτική παραγωγή, οι συνεχώς αυστηρότεροι κανονισμοί σχετικά με την αποθήκευση και ανακύκλωση του λιπάσματος και των φυτικών υπολειμμάτων, αύξησαν το ενδιαφέρον για την ΑΧ. Επιπλέον, οι πρόσφατες εξελίξεις στην Ευρώπη, την Αμερική και άλλα μέρη στον κόσμο έχουν επίσης καταδείξει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον μεταξύ των γεωργών για τις ενεργειακές καλλιέργειες, με στόχο να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου. Η ΑΧ αποτελεί επίσης την κύρια τεχνολογία για τη σταθεροποίηση της πρωτεύουσας και δευτερεύουσας λυματολάσπης, για την επεξεργασία των βιομηχανικών υγρών αποβλήτων από τις βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων και ζύμωσης, καθώς επίσης και για την κατεργασία του οργανικού κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων. Μια ειδική εφαρμογή είναι η ανάκτηση του βιοαερίου από τις χωματερές.

1.7.1 Αγροτικές μονάδες βιοαερίου

Οι αγροτικές μονάδες βιοαερίου επεξεργάζονται τα υποστρώματα πρώτης ύλης που κυρίως προέρχονται από την αγροτική παραγωγή. Τα συνηθέστερα είδη πρώτης ύλης για αυτές τις εγκαταστάσεις είναι η ζωική στερεή και η υδαρής κοπριά, τα υπολείμματα και τα υποπροϊόντα από τη συγκομιδή λαχανικών και άλλων αγροτικών προϊόντων και οι ενεργειακές καλλιέργειες. Η στερεή και η υδαρής κοπριά από βοοειδή και χοίρους είναι η κύρια πρώτη ύλη των περισσότερων αγροτικών μονάδων βιοαερίου αν και ο αριθμός των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη τις ενεργειακές καλλιέργειες αυξάνεται τα τελευταία χρόνια.

Οι ακατέργαστες ζωικές στερεές και υδαρείς κοπριές συνήθως χρησιμοποιούνται ως οργανικά λιπάσματα, αλλά η ΑΧ βελτιώνει τις ιδιότητες λίπανσής τους καθώς:

- Οι στερεές και υδαρείς κοπριές από διαφορετικά ζώα (π.χ. βοοειδή, χοίροι, πουλκερικά) αναμειγνύονται στον ίδιο χωνευτή, παρέχοντας έτσι ένα περισσότερο ισορροπημένο περιεχόμενο σε θρεπτικές ουσίες.

- Η ΑΧ διαλύει τα σύνθετα οργανικά υλικά (συμπεριλαμβανομένου του οργανικού αζώτου) και αυξάνει την ποσότητα των διαθέσιμων θρεπτικών ουσιών.
- Η συγχώνευση της στερεής κοπριάς με άλλα υποστρώματα (π.χ. απόβλητα σφαγείων, υπολείμματα από λίπη και έλαια, οικιακά απόβλητα, φυτικά υπολείμματα, κ.λπ.) προσθέτει σημαντικές ποσότητες θρεπτικών ουσιών στο μείγμα της πρώτης ύλης.

Ο σχεδιασμός και η τεχνολογία των μονάδων βιοαερίου διαφέρουν από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και τα εθνικά πλαίσια (νομοθεσία και πολιτικές σε θέματα ενέργειας), την ενεργειακή διαθεσιμότητα και προσιτότητα. Σύμφωνα με το σχετικό τους μέγεθος, τη λειτουργία και θέση τους, υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες αγροτικών εγκαταστάσεων ΑΧ:

- Οι μονάδες βιοαερίου οικογενειακής κλίμακας (μικρής κλίμακας)
- Οι μονάδες βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος (μεσαίας έως μεγάλης κλίμακας)

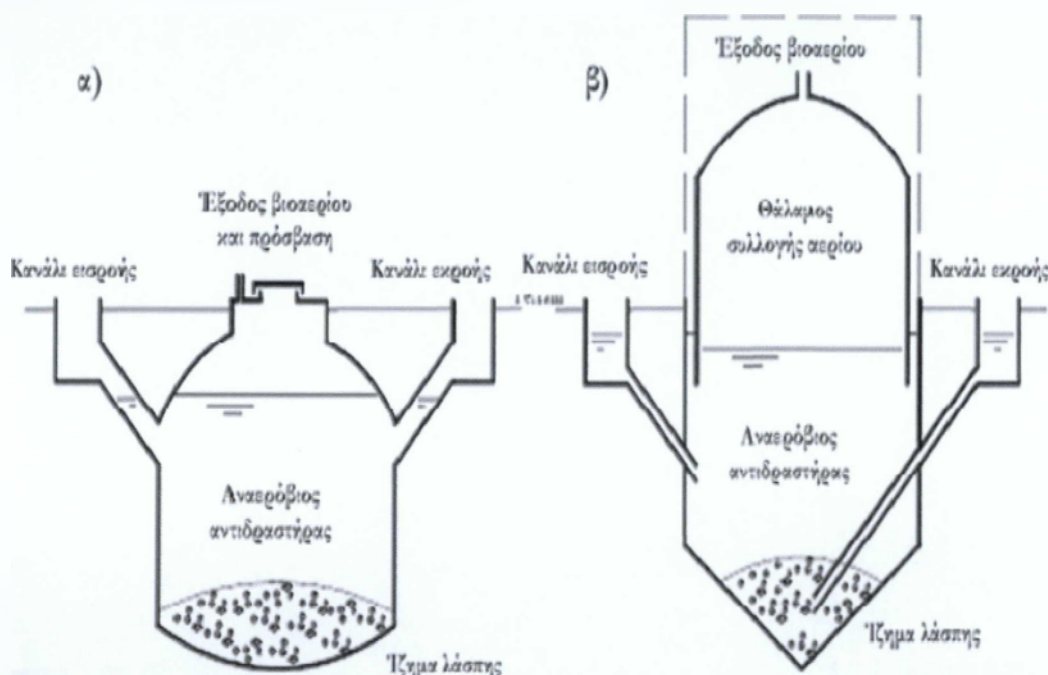
1.7.2 Μονάδες βιοαερίου οικογενειακής κλίμακας

Σε χώρες όπως το Νεπάλ, η Κίνα ή η Ινδία λειτουργούν εκατομμύρια μονάδες βιοαερίου οικογενειακής κλίμακας, οι οποίες χρησιμοποιούν πολύ απλές τεχνολογίες. Η πρώτη ύλη της ΑΧ που χρησιμοποιείται σε αυτές τις μονάδες βιοαερίου προέρχεται από τα νοικοκυριά και/ή τη μικρή αγροτική τους δραστηριότητα και το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται για το μαγείρεμα και το φωτισμό.

Οι χωνευτές είναι απλοί, φθινοί, γεροί, εύκολοι στη λειτουργία και τη συντήρησή τους, και μπορούν να κατασκευαστούν με διαθέσιμα επί τόπου υλικά. Συνήθως, δεν υπάρχουν όργανα ελέγχου και καμία διεργασία θέρμανσης (ψυχρόφιλη ή μεσόφιλη λειτουργία), καθώς πολλοί από αυτούς λειτουργούν σε θερμότερα κλίματα και έχουν μεγάλους χρόνους παραμονής (ΥΧΠ). Διακρίνονται οι εξής τύποι:

α) Ο Κινέζικος τύπος (Σχήμα 6α) είναι ένας υπόγειος αντιδραστήρας τυπικού όγκου 6 έως 8 m³. Τροφοδοτείται με οικιακά λύματα, ζωική στερεή κοπριά και οργανικά οικιακά απόβλητα. Ο αντιδραστήρας λειτουργεί κατά έναν ημι-συνεχή τρόπο, όπου προστίθεται νέο υπόστρωμα μία φορά την ημέρα και αντίστοιχα αφαιρείται μία ανάλογη ποσότητα μεταγγισμένου αναμειγμένου υγρού μια φορά την ημέρα. Ο αντιδραστήρας δεν αναδεύεται, οπότε η ιζηματογένεση των αιωρούμενων στερεών πρέπει να αφαιρείται 2-3 φορές το χρόνο. Με την ευκαιρία αυτή, αφαιρείται ένα μεγάλο μέρος του υποστρώματος και αφήνεται ως μπόλιασμα ένα μικρό μέρος (περίπου το ένα πέμπτο της περιεκτικότητας του αντιδραστήρα).

β) Ο Ινδικός τύπος (Σχήμα 6β) είναι παρόμοιος με τον κινέζικο τύπο, δεδομένου ότι είναι ένας απλός υπόγειος αντιδραστήρας για τα οικιακά απόβλητα και τα απόβλητα μικρών καλλιιεργειών. Η διαφορά είναι ότι τα λύματα συλλέγονται στο κατώτατο σημείο του αντιδραστήρα και ένας θάλαμος (καμπάνα) συλλογής αερίου λειτουργεί ως δεξαμενή του βιοαερίου.



α) Κινέζικος τύπος

β) Ινδικός τύπος

Σχήμα 6: Αρχές λειτουργίας των αγροτικών τύπων αντιδραστήρων βιοαερίου (Angelidaki, 2004)

γ) Μια άλλη μικρής κλίμακας μονάδα βιοαερίου είναι ο τύπος μετατόπισης, ο οποίος αποτελείται από έναν οριζόντιο κυλινδρικό αντιδραστήρα. Το υπόστρωμα τροφοδοτείται από τη μία πλευρά και το χωνεμένο υπόλειμμα συλλέγεται στην αντίθετη πλευρά. Το υπόστρωμα κινείται σε συνεχή ροή μέσω του αντιδραστήρα, και ένα μέρος του κατά την έξοδο ανακυκλοφορεί για να αραιώσει τη νέα εισαγωγή και να παράσχει το αναγκαίο μπόλιασμα. (www.big-east.eu)

1.7.3 Μονάδες βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος

Μια μονάδα βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος εξυπηρετεί ένα μόνο αγρόκτημα, χωνεύοντας την πρώτη ύλη που παράγεται σε αυτή. Επίσης σε πολλές εγκαταστάσεις γίνεται συγχώνευση μικρών ποσοτήτων υποστρωμάτων πλούσιων σε μεθάνιο (π.χ. ελαιούχα απόβλητα της επεξεργασίας ψαριών και υπολείμματα φυτικού ελαίου), με στόχο την αύξηση της παραγωγής βιοαερίου. Είναι επίσης δυνατό μία μονάδα βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος να λαμβάνει και να επεξεργάζεται ζωικές υδαρείς κοπριές από ένα ή περισσότερα γειτονικά αγροκτήματα (π.χ. μέσω σωληνώσεων, που συνδέουν τα αγροκτήματα αυτά με την αντίστοιχη μονάδα ΑΧ).

Υπάρχουν πολλοί τύποι και βασικοί σχεδιασμοί μονάδων βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος σε όλο τον κόσμο. Στην Ευρώπη, χώρες όπως η Γερμανία, η Αυστρία και η Δανία είναι πρωτοπόρες στην παραγωγή βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος. Το ενδιαφέρον των ευρωπαϊών γεωργών για τις εφαρμογές της ΑΧ αυξάνεται τα τελευταία χρόνια, όχι μόνο επειδή η αγροτική παραγωγή βιοαερίου μετατρέπει τα απόβλητα σε πολύτιμους φυσικούς πόρους και παράγει υψηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικό, αλλά και επειδή δημιουργεί νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες για τους εμπλεκόμενους αγρότες και τους δίνει μία νέα διέξοδο, ως προμηθευτές ανανεώσιμης ενέργειας.

Οι μονάδες βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος έχουν διάφορα μεγέθη, σχεδιασμούς και τεχνολογίες. Μερικές είναι πολύ μικρές και τεχνολογικά απλές, ενώ άλλες είναι πολύ μεγάλες και σύνθετες, παρόμοιες με τις κεντρικές εγκαταστάσεις συγχώνευσης. Ωστόσο, όλες έχουν μια κοινή αρχή σχεδίασης: η στερεή κοπριά συλλέγεται σε μια δεξαμενή προ-αποθήκευσης (κοντά στον χωνευτή) και αντλείται στο χωνευτή, ο οποίος είναι μια αεροστεγής δεξαμενή, κατασκευασμένη από χάλυβα ή σκυρόδεμα, μονωμένη ώστε να διατηρεί μια σταθερή θερμοκρασία διεργασίας. Οι χωνευτές μπορεί να είναι οριζόντιοι (Εικόνα 1 και 3) ή κατακόρυφοι, συνήθως με συστήματα ανάδευσης, που βοηθούν στη μείξη και την ομογενοποίηση του υποστρώματος και συντελούν στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων σχηματισμού επιπλεόντων στρωμάτων και ιζηματογένεσης. Ο μέσος ΥΧΠ είναι συνήθως μεταξύ 20 και 40 ημέρες, ανάλογα με τον τύπο του υποστρώματος και τη θερμοκρασία χώνευσης.

Το χωνεμένο υπόλειμμα χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό στο αγρόκτημα και το πλεόνασμα μπορεί να πωληθεί σε άλλα αγροκτήματα της περιοχής. Το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται σε μια μηχανή αερίου, για την παραγωγή

ηλεκτρισμού και θερμότητας. Περίπου το 10 με 30% της παραχθείσας θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται για τη λειτουργία της μονάδας του βιοαερίου και για τις οικιακές ανάγκες του αγρότη, ενώ το πλεόνασμα πωλείται στις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού και αντίστοιχα, στους γειτονικούς καταναλωτές θερμότητας.



Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση μιας μονάδας βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος με οριζόντιο χωνευτή από χάλυβα (Hjort-Gregersen,1998)

Εκτός από το χωνευτή που είναι εξοπλισμένος με σύστημα ανάδευσης, η μονάδα μπορεί να περιλαμβάνει δεξαμενή προ-αποθήκευσης για τη νωπή βιομάζα, δεξαμενή αποθήκευσης για τη χωνεμένη βιομάζα και για το βιοαέριο, καθώς και μια μονάδα ΣΗΘ. (www.big-east.eu)



Εικόνα 2: Μονάδα βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος στη Δανία, για συγχώνευση υδαρών κοπριών και ενεργειακών καλλιεργειών (GROENGAS A/S)

Ο χωνευτής μπορεί επίσης να είναι κατακόρυφος, με ή χωρίς κωνική βάση, γνωστός και ως «δύο σε μία» δεξαμενή αποθήκευσης υδαρούς κοπριάς και χώνευσης, όπου ο χωνευτής κατασκευάζεται εντός της δεξαμενής αποθήκευσης του χωνεμένου υπολείμματος. Οι δύο δεξαμενές καλύπτονται με μια αεροστεγή μεμβράνη, η οποία διογκώνεται από το παραγόμενο αέριο και υφίστανται ανάδευση από μια ηλεκτρική έλικα. Επιπλέον, μπορεί να υπάρχει μια δεξαμενή προ-αποθήκευσης για το συνυπόστρωμα και μια μονάδα ΣΗΘ.



Εικόνα 3: Κατακόρυφος χωνευτής στη Γερμανία, που επεξεργάζεται στερεές κοπριές από χοίρους, πουλερικά και χορτονομές (Krieg & Fisher, 2008)

Μια πρόσφατη εξέλιξη των μονάδων βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος είναι ο σχεδιασμός τους με βάση τις ενεργειακές καλλιέργειες. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι το ενεργειακό περιεχόμενο των ενεργειακών καλλιεργειών είναι πολύ υψηλότερο απ' ό,τι αυτό των περισσότερων οργανικών αποβλήτων. Ωστόσο, περιορισμοί και ανησυχίες προκύπτουν όσον αφορά στο κόστος λειτουργίας, τη χρήση και τη διαθεσιμότητα του εδάφους.



Εικόνα 4: Κατακόρυφη μονάδα βιοαερίου στη Γερμανία που κατασκευάστηκε το 2005 για τη χώνευση ενεργειακών καλλιεργειών (Krieg & Fisher, 2008)

1.7.4 Κεντρικές (κοινές) εγκαταστάσεις συγχώνευσης

Η κεντρική συγχώνευση είναι μια έννοια που βασίζεται στη χώνευση ζωικής στερεής και υδαρούς κοπριάς που συλλέγεται από διάφορα αγροκτήματα, σε μια μονάδα βιοαερίου, η οποία είναι εγκατεστημένη κεντρικά στην περιοχή συλλογής της κοπριάς. Η κεντρική θέση των μονάδων βιοαερίου στοχεύει στο να μειώσει τις δαπάνες, τον χρόνο και το εργατικό δυναμικό για τη μεταφορά της κοπριάς από και προς την μονάδα βιοαερίου. Η στερεή κοπριά υφίσταται συγχώνευση με ποικίλους άλλους τύπους κατάλληλης πρώτης ύλης (π.χ. τα χωνευόμενα αγροτικά υπολείμματα, απόβλητα από τις βιομηχανίες τροφίμων και ιχθύων, οργανικά απόβλητα διαχωριζόμενα στην πηγή, λυματολάσπη, κ.λπ.). Οι κεντρικές εγκαταστάσεις συγχώνευσης (ονομάζονται επίσης και «κοινές» εγκαταστάσεις συγχώνευσης) αναπτύσσονται και εφαρμόζονται ευρέως στη Δανία, αλλά και σε άλλες περιοχές του κόσμου με εντατική κτηνοτροφία.

Στερεές και υδαρείς κοπριές συλλέγονται από τις δεξαμενές προ-αποθήκευσης ή από τα κανάλια υδαρούς κοπριάς του αγροκτήματος και μεταφέρονται με ειδικά βυτιοφόρα στη μονάδα του βιοαερίου, σύμφωνα με ένα προσυμφωνημένο χρονοδιάγραμμα. Εκεί, αναμειγνύονται με άλλα ομο-υποστρώματα, ομογενοποιούνται και αντλούνται στη δεξαμενή του χωνευτή. Η μονάδα του βιοαερίου είναι υπεύθυνη για τη συλλογή και μεταφορά της νωπής στερεής κοπριάς από τους αγρότες στη μονάδα βιοαερίου και του χωνεμένου υπολείμματος από τη μονάδα στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης των αγροτών (αυτές ενίοτε είναι κοινές για πολλούς αγρότες), οι οποίες βρίσκονται κοντά στα αγροκτήματα όπου το χωνεμένο υπόλειμμα εφαρμόζεται ως εδαφοβελτιωτικό.

Η διεργασία της χώνευσης πραγματοποιείται σε μεσόφιλες ή θερμοφιλες θερμοκρασίες και ο ΥΧΠ είναι 12-25 ημέρες. Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία, πριν από την χώνευση λαμβάνει χώρα μία ελεγχόμενη διεργασία υγιεινής του υποστρώματος, προκειμένου να επιτευχθεί αποτελεσματική μείωση των παθογόνων και των ζιζανίων και να εξασφαλισθεί η ασφαλής ανακύκλωση του χωνεμένου υπολείμματος. (www.big-east.eu)

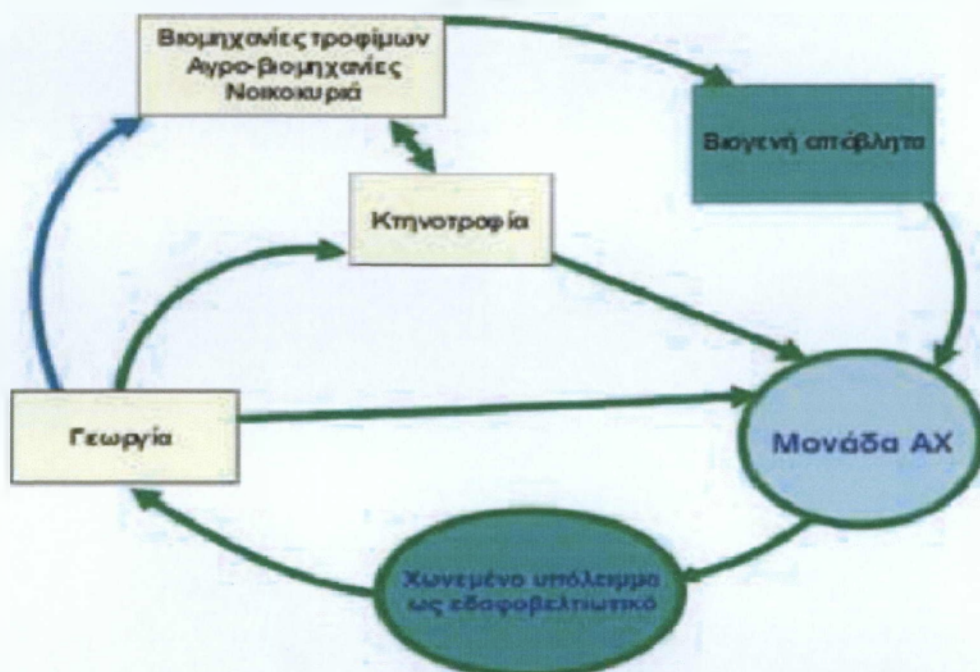


Εικόνα 5: Μονάδα συγχώνευσης στη Δανία της Lemvig Biogas

Το σύστημα τροφοδοσίας είναι συνεχές και το μείγμα βιομάζας αντλείται μέσα και έξω από τους χωνευτές σε ίσες ποσότητες μέσω αλληλουχιών ακριβείας των αντλιών. Το χωνεμένο υπόλειμμα, όπως αντλείται από τον χωνευτή, μεταφέρεται με σωληνώσεις στις δεξαμενές αποθήκευσης. Σε πολλές περιπτώσεις, οι μονάδες αυτού του είδους καλύπτονται με μια αεροστεγή μεμβράνη, όπου πραγματοποιείται η συλλογή της συμπληρωματικής παραγωγής βιοαερίου (μέχρι 15% του συνόλου) σε

χαμηλότερη θερμοκρασία. Πριν από την έξοδό του από τη μονάδα βιοαερίου, το παραγόμενο χωνεμένο υπόλειμμα αναλύεται και καθορίζονται τα θρεπτικά συστατικά του (ΞΟ, VS, N, P, K, pH).

Οι αγρότες παραλαμβάνουν μόνο εκείνη την ποσότητα του χωνεμένου υπολείμματος που από τη νομοθεσία επιτρέπεται να διασκορπιστεί στους αγρούς. Η περίσσεια πωλείται ως εδαφοβελτιωτικό στους καλλιεργητές της περιοχής. Σε κάθε περίπτωση, το χωνεμένο υπόλειμμα ενσωματώνεται στο σχέδιο λίπανσης κάθε αγροκτήματος, αντικαθιστώντας τα ανόργανα εδαφοβελτιωτικά. Με τον τρόπο αυτό, η παραγωγή βιοαερίου είναι μέρος του κλειστού κύκλου ανακύκλωσης των θρεπτικών ουσιών από τις κοπριές και τα οργανικά απόβλητα (Σχήμα 7). Όλο και περισσότερες μονάδες βιοαερίου εξοπλίζονται επίσης με μονάδες διαχωρισμού του χωνεμένου υπολείμματος σε υγρά και στερεά τμήματα.



Σχήμα 7: Απεικόνιση του κλειστού κύκλου AX σε κεντρικές μονάδες (Al Seadi, 2001)



Σχήμα 8: Τα κύρια τμήματα μιας κεντρικής μονάδας συγχώνευσης (Al Seadi *et al*, 2008)

Με αυτό τον τρόπο, η κεντρική συγχώνευση αντιπροσωπεύει ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων και ανακύκλωσης θρεπτικών ουσιών. Η εμπειρία δείχνει ότι το σύστημα μπορεί να δημιουργήσει αγροτικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη για τους αγρότες και την κοινωνία, όπως:

- Παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας
- Φθηνή και περιβαλλοντικά ασφαλή ανακύκλωση της στερεής κοπριάς και των αποβλήτων
- Μείωση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου
- Βελτιωμένη κτηνιατρική ασφάλεια μέσω της υγιεινής του χονεμένου υπολείμματος
- Βελτιωμένη αποδοτικότητα λίπανσης
- Μειωμένη όχληση από οσμές και μύγες
- Οικονομικά οφέλη για τους αγρότες.

Οι περισσότερες κεντρικές εγκαταστάσεις συγχώνευσης μπορούν να οργανωθούν ως συνεταιριστικές επιχειρήσεις, με τους αγρότες να παραδίδουν τη στερεή κοπριά (πρώτη ύλη) στις εγκαταστάσεις ως μέτοχοι και ιδιοκτήτες. Συνήθως, αυτές οι επιχειρήσεις έχουν ένα διοικητικό συμβούλιο, αρμόδιο για τη διαχείριση της

μονάδας και την απασχόληση του απαραίτητου προσωπικού, καθώς και για όλες τις οικονομικές και δεσμευτικές ως προς τους νόμους συμφωνίες σχετικά με την κατασκευή της μονάδας, του εφοδιασμού με πρώτη ύλη, τη διανομή και πώληση του χωνεμένου υπολείμματος, την πώληση του βιοαερίου ή/και της ενέργειας, και την αναγκαία χρηματοδότηση. Στη Δανία, έχει αποδειχθεί ότι η συνεταιριστική επιχείρηση είναι μια οικονομικά εφικτή και λειτουργική οργανωτική δομή, αλλά είναι συχνοί και άλλοι τύποι επιχειρήσεων όπως οι Εταιρείες Περιορισμένης Ευθύνης (ΕΠΕ) ή οι δημοτικές επιχειρήσεις. (www.big-east.eu)

1.7.5 Εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Η ΑΧ χρησιμοποιείται ευρέως για την επεξεργασία της πρωτεύουσας και δευτερεύουσας λάσπης που προκύπτει από την αερόβια επεξεργασία των οικιακών λυμάτων. Το σύστημα εφαρμόζεται σε πολλές χώρες, σε συνδυασμό με προηγμένα συστήματα επεξεργασίας οικιακών υγρών αποβλήτων, όπου η διεργασία της ΑΧ χρησιμοποιείται για να σταθεροποιήσει και να μειώσει την τελική ποσότητα της ύλης.

Οι περισσότερες τεχνικές εταιρείες που παρέχουν σχήματα επεξεργασίας των λυμάτων έχουν επίσης την ικανότητα να παρέχουν και συστήματα ΑΧ. Στις ευρωπαϊκές χώρες, ένα ποσοστό μεταξύ του 30 και 70% της λυματολάσπης υφίσταται επεξεργασία μέσω της ΑΧ, ανάλογα με το εθνικό νομοθετικό πλαίσιο και τις εκάστοτε προτεραιότητες.

Το υπόλειμμα χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό σε γεωργικά εδάφη ή για παραγωγή ενέργειας μέσω αποτέφρωσης. Σε μερικές χώρες διατίθεται επίσης στις χωματερές. Η πρακτική αυτή θεωρείται ότι έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον λόγω των διαρροών των θρεπτικών ουσιών στα υπόγεια ύδατα και των εκπομπών στην ατμόσφαιρα, κατά συνέπεια απαγορεύεται στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες.



Εικόνα 6: Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) στην Ψυτάλλεια, Ελλάδα (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.)

1.7.6 Εγκαταστάσεις επεξεργασίας δημοτικών στερεών αποβλήτων (ΔΣΑ)

Σε πολλές χώρες, τα δημοτικά (αστικά) στερεά απόβλητα συλλέγονται ανάμεικτα και αποτεφρώνονται άμεσα σε μεγάλες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής ή καταλήγουν σε χώρους ταφής απορριμμάτων. Αυτή η πρακτική είναι στην ουσία σπατάλη ενέργειας και θρεπτικών ουσιών, καθώς το οργανικό μέρος των αποβλήτων μπορεί να διαχωριστεί στην πηγή και να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη ΑΧ. Ακόμη και τα αταξινόμητα απόβλητα μπορούν να υποβληθούν σε περαιτέρω επεξεργασία και να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοαερίου.

Τα τελευταία χρόνια, εμφανίζουν ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον τόσο η διαλογή στην πηγή όσο και η ανακύκλωση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν σήμερα διαθέσιμα διαχωρισμένα μέρη των ΔΣΑ για πιο προηγμένη επεξεργασία ανακύκλωσης πριν από τη διάθεσή τους. Η προέλευση των οργανικών αποβλήτων είναι σημαντική στον καθορισμό της πιο κατάλληλης μεθόδου επεξεργασίας. Τα απόβλητα από τις κουζίνες είναι γενικά πάρα πολύ υγρά και ελλειμματικά στη δομή για αερόβια κομποστοποίηση, αλλά παρέχουν μια άριστη πρώτη ύλη για την ΑΧ. Από την άλλη, τα ξυλώδη απόβλητα περιέχουν μεγάλα ποσοστά λιγνοκυτταρικού υλικού και, εκτός εάν υποστούν κάποια προ-επεξεργασία, ταιριάζουν καλύτερα στην κομποστοποίηση.

Η χρήση του διαχωρισμένου στην πηγή οργανικού κλάσματος των αποβλήτων από νοικοκυριά για την παραγωγή βιοαερίου έχει μεγάλο δυναμικό και αρκετές εκατοντάδες εγκαταστάσεις ΑΧ, που επεξεργάζονται το οργανικό κλάσμα των ΔΣΑ βρίσκονται σε λειτουργία σε όλο τον κόσμο. Ο στόχος είναι να μειωθεί το ρεύμα των οργανικών αποβλήτων σε άλλα συστήματα επεξεργασίας, π.χ. τις χωματερές ή την αποτέφρωση και να οδηγηθούν προς την ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών πίσω στο γεωργικό τομέα. (www.big-east.eu)

1.7.7 Βιομηχανικές μονάδες βιοαερίου

Οι αναερόβιες διεργασίες χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των βιομηχανικών και των υγρών αποβλήτων για περισσότερο από έναν αιώνα. Η αναερόβια χώνευση των αποβλήτων είναι σήμερα μια τυπική τεχνολογία επεξεργασίας διάφορων βιομηχανικών υγρών αποβλήτων από την επεξεργασία των τροφίμων, τις αγροτοβιομηχανίες και τις φαρμακευτικές βιομηχανίες. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την προ-επεξεργασία των πλούσιων σε οργανικά στοιχεία βιομηχανικών υγρών αποβλήτων πριν από την τελική διάθεσή τους. Με τις πρόσφατες βελτιώσεις στις τεχνολογίες επεξεργασίας μπορούν επίσης να χωνευθούν τα αραιωμένα βιομηχανικά υγρά απόβλητα.

Η Ευρώπη έχει κυρίαρχη θέση στον κόσμο σχετικά με αυτήν την εφαρμογή της ΑΧ. Τα τελευταία χρόνια οι ενεργειακές και οι περιβαλλοντικές ανησυχίες έχουν αυξήσει περαιτέρω το ενδιαφέρον για την άμεση αναερόβια επεξεργασία των οργανικών βιομηχανικών αποβλήτων, ενώ η διαχείριση των οργανικών στερεών αποβλήτων από τη βιομηχανία ελέγχεται όλο και περισσότερο από περιβαλλοντικές νομοθεσίες.

Στις βιομηχανίες που χρησιμοποιούν την ΑΧ για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνονται οι εξής:

- Βιομηχανίες κατεργασίας τροφίμων: π.χ. κονσερβοποίηση λαχανικών, παραγωγή γάλακτος και τυριών, σφαγεία, βιομηχανία επεξεργασίας πατάτας
- Βιομηχανίες ποτών: π.χ. ζυθοποιεία, μη αλκοολούχα ποτά, αποστακτήρια, καφές, χυμοί φρούτων
- Βιομηχανικών προϊόντων: π.χ. χαρτί και χαρτόνια, ελαστικά, χημικές ουσίες, άμυλο, φαρμακευτικά είδη.

Οι βιομηχανικές μονάδες βιοαερίου προσφέρουν διάφορα οφέλη στην κοινωνία και στις βιομηχανίες όπως είναι:

- Προστιθέμενη αξία μέσω της ανακύκλωσης των θρεπτικών ουσιών και των μειωμένων δαπανών για την διάθεση των υπολειμμάτων
- Το βιοαέριο χρησιμοποιείται για να παράγει ενέργεια για διεργασίες
- Η επεξεργασία των αποβλήτων βελτιώνει την περιβαλλοντική εικόνα των βιομηχανιών.

Αναμένεται ότι τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη και οι υψηλές δαπάνες των άλλων εναλλακτικών μεθόδων διάθεσης των αποβλήτων θα αυξήσουν στο μέλλον τον αριθμό των εφαρμογών του βιομηχανικού βιοαερίου.

1.7.8 Εγκαταστάσεις ανάκτησης αερίου χωματερής

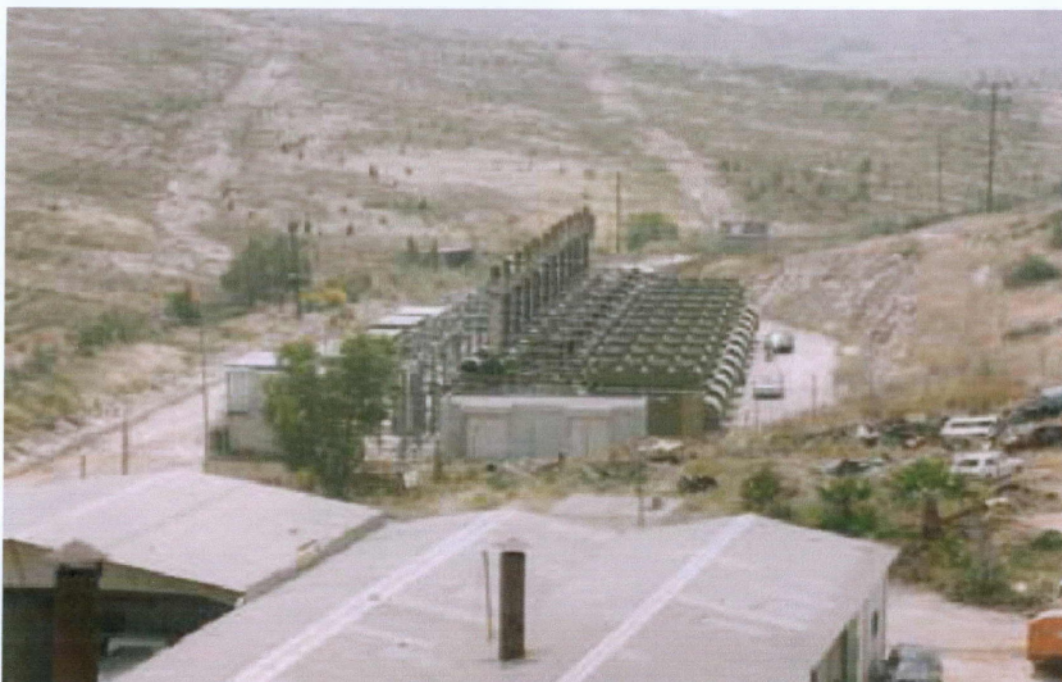
Οι χωματερές μπορούν να θεωρηθούν ως μεγάλες αναερόβιες εγκαταστάσεις, με τη διαφορά ότι η διεργασία της αποσύνθεσης είναι λιγότερο συνεχής και εξαρτάται από την ηλικία της χωματερής. Το αέριο χωματερής έχει παρόμοια σύνθεση με το βιοαέριο, αλλά μπορεί να περιέχει τοξικά αέρια, προερχόμενα από την αποσύνθεση των αποβλήτων στην περιοχή (Εικόνα 7).

Η ανάκτηση του αερίου χωματερής είναι σημαντική όχι μόνο για την προστασία του περιβάλλοντος και τη μείωση των εκπομπών του μεθανίου και άλλων αερίων χωματερής αλλά και επειδή είναι μια φθηνή πηγή ενέργειας, που παράγει οφέλη μέσω της πιο γρήγορης σταθεροποίησης της περιοχής της χωματερής και έσοδα από τη χρήση του αερίου. Λόγω της απομακρυσμένης θέσης των χωματερών, το αέριο αυτό συνήθως χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά είναι δυνατή και η χρήση του σε πλήρη κλίμακα, από τη θέρμανση χώρων μέχρι την αναβάθμισή του σε καύσιμο μεταφορών και για τροφοδοσία στα δίκτυα φυσικού αερίου (Εικόνα 8).

Η ανάκτηση του αερίου χωματερής μπορεί να βελτιστοποιηθεί μέσω της διαχείρισης της περιοχής, με τον τεμαχισμό των αποβλήτων, την ανακυκλοφορία του οργανικού μέρους και το χειρισμό του χώρου ως βιολογικού αντιδραστήρα. Ένας τέτοιος βιολογικός αντιδραστήρας είναι ένας ελεγχόμενος χώρος ταφής απορριμμάτων σχεδιασμένος ώστε να επιταχύνει τη μετατροπή των στερεών αποβλήτων σε μεθάνιο και διαιρείται τυπικά σε κυψέλες, στις οποίες υπάρχει ένα σύστημα για τη συλλογή των εκχυλισμάτων από τη βάση της κάθε κυψέλης. Τα συλλεγόμενα εκχυλίσματα αντλούνται πίσω στην επιφάνεια και επανατροφοδοτούνται διαμέσου των κυψελών των αποβλήτων, μετασχηματίζοντας μια χωματερή, ουσιαστικά, σε ένα μεγάλο χωνευτή με υψηλό περιεχόμενο σε στερεά. (www.big-east.eu)



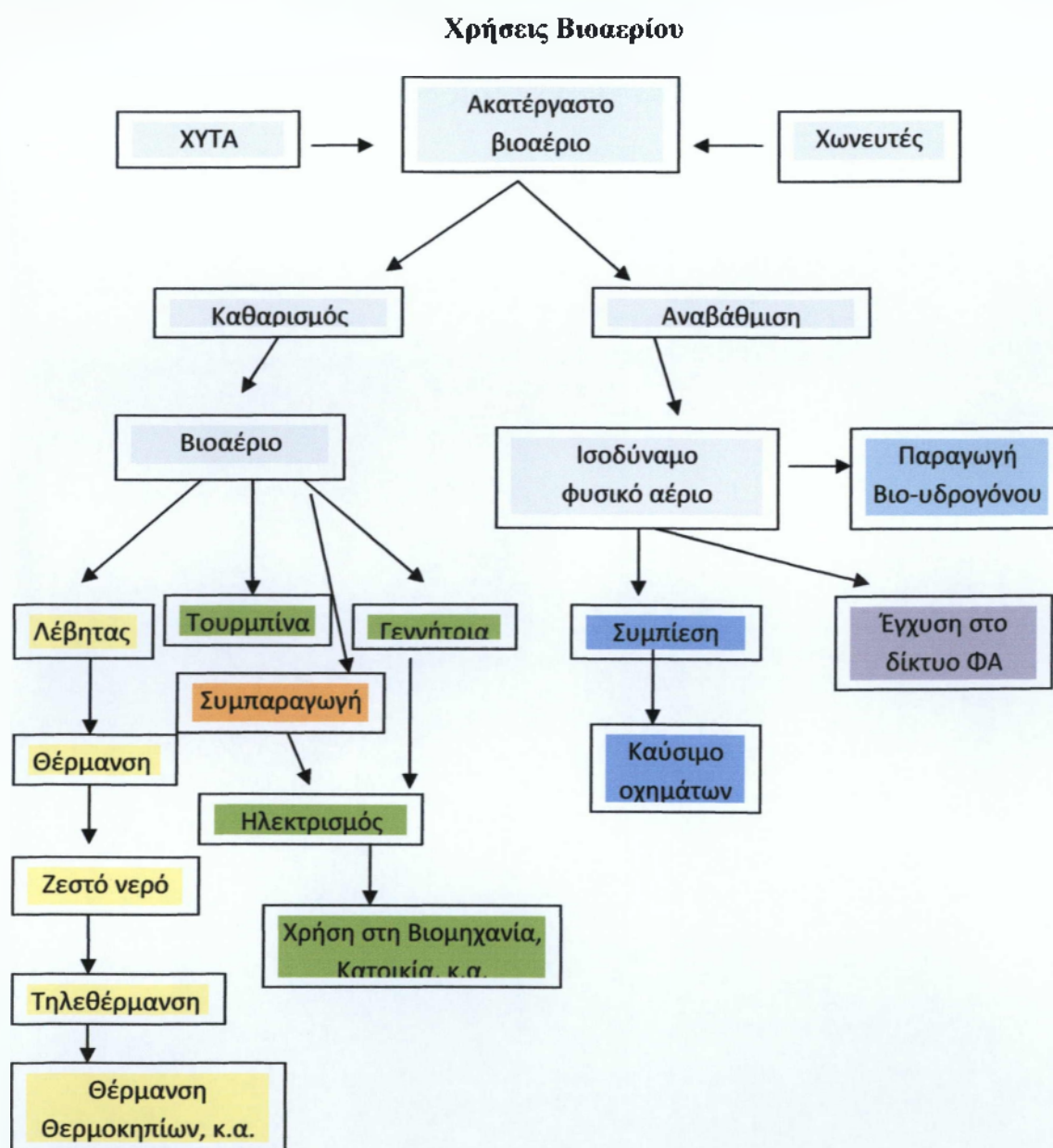
Εικόνα 7: Οι εκπομπές και τα εκχυλίσματα στα υπόγεια νερά των χωματερών αποτελούν σοβαρές απειλές για το περιβάλλον (Al Seadi *et al*, 2008)



Εικόνα 8: Έργο εκμετάλλευσης του βιοαερίου στον χώρο διάθεσης απορριμμάτων των Άνω Λιοσίων, Αττική, Ελλάδα (Κ. Σιούλας, 2005)

1.8 Χρήση του βιοαερίου

Το βιοαέριο έχει πολλές ενεργειακές χρήσεις, ανάλογα με τη φύση της πηγής και την τοπική ζήτηση για μια συγκεκριμένη μορφή ενέργειας. Γενικά, το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας μέσω άμεσης καύσης, παραγωγή ηλεκτρισμού από κυνέλες καυσίμου ή μικροστροβίλους, συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) ή ως καύσιμο οχημάτων.



Εικόνα 9: Χρήσεις Βιοαερίου (Χ. Ζαφείρης, 2012)

Ιδιότητες του βιοαερίου

Το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοαερίου από την ΑΧ είναι χημικά δεσμευμένο στο μεθάνιο. Οι ιδιότητες και η σύσταση του βιοαερίου ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο και τη δομή της πρώτης ύλης, το σύστημα της μονάδας, τη θερμοκρασία, τον χρόνο παραμονής και άλλους παράγοντες. Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται κάποιες από τις μέσες τιμές σύστασης του βιοαερίου με βάση την βιβλιογραφία. Θεωρώντας ότι το βιοαέριο περιέχει 50% μεθάνιο, η μέση θερμοαντική τιμή του είναι περίπου 21 MJ/ Nm³, η μέση πυκνότητα 1,22 kg/Nm³ και η μάζα του είναι παρόμοια με αυτή του αέρα (1,29 kg/Nm³). (www.big-east.eu)

Πίνακας 6: Σύσταση του βιοαερίου (Al Seadi *et al*, 2008)

Σηπτατικό	Χημικός τύπος	Περιεκτικότητα (κατ' όγκο-%)
Μεθάνιο	CH ₄	50-75
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	25-45
Υδατμοί	H ₂ O	2 (20°C) -7 (40°C)
Οξυγόνο	O ₂	<2
Αζώτο	N ₂	<2
Αμμωνία	NH ₃	<1
Υδρογόνο	H ₂	<1
Υδρόθειο	H ₂ S	<1

Η βιοχημική σύσταση των διαφορετικών τύπων πρώτης ύλης ποικίλλει και είναι καθοριστική για τη θεωρητική παραγωγή του μεθανίου, όπως φαίνεται στον (Πίνακα 7)

Πίνακας 7: Θεωρητική παραγωγή βιοαερίου (Al Seadi *et al*, 2008)

Υπόστρωμα	Λίτρα αερίου / kg TS*	CH ₄ [%]	CO ₂ [%]
Ακατέργαστη πρωτεΐνη	700	70 με 71	29 με 30
Ακατέργαστο λίπος	1.200 με 1.250	67 με 68	32 με 33
Υδατάνθρακες	790 με 800	50	50

* TS= Ολικά Στερεά (Total Solids)

Η παραγωγή μεθανίου των διαφόρων υποστρωμάτων της ΑΧ εξαρτάται από το περιεχόμενό τους σε πρωτεΐνες, λίπη, και υδατάνθρακες, όπως φαίνεται στον (Πίνακα 8)

Πίνακας 8: Παραγωγή μεθανίου από διαφορετικές πρώτες ύλες (Al Seadi *et al*, 2008)

Πρώτη ύλη	Παραγωγή μεθανίου [%]	Παραγωγή βιοαερίου [m ³ /tΦΠΥ [*]]
Υδαρής κοπριά βοοειδών	60	25
Υδαρής κοπριά χοίρων	65	28
Υγρολείμματα αποστακτηρίων με διαλυτά	61	40
Στερεή κοπριά βοοειδών	60	45
Στερεή κοπριά χοίρων	60	60
Στερεή κοπριά πουλερικών	60	80
Τεύτλα	53	88
Οργανικά απόβλητα	61	100
Γλυκό σόργο	54	108
Τεύτλα κτηνοτροφής	51	111
Σωρός χλόης	54	172
Σωρός καλαμποκιού	52	202

* ΦΠΥ (FF) = Φρέσκα Πρώτη Ύλη (Fresh Feedstock)

1.8.1 Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας

Ο απλούστερος τρόπος χρήσης του βιοαερίου είναι η άμεση καύση του σε λέβητες ή καυστήρες, που χρησιμοποιούνται κατά κόρον, για το βιοαέριο που παράγεται από μικρούς οικογενειακούς χωνευτές. Η άμεση καύση εφαρμόζεται σε αρκετές χώρες, σε καυστήρες φυσικού αερίου. Το βιοαέριο μπορεί να καεί για την παραγωγή θερμότητας είτε επί τόπου, είτε να μεταφερθεί με σωληνώσεις στους τελικούς χρήστες. Για τις εφαρμογές θέρμανσης το βιοαέριο δεν χρειάζεται καμία αναβάθμιση, ενώ το επίπεδο μόλυνσής του δεν περιορίζει τη χρήση του αερίου τόσο όσο στην περίπτωση άλλων εφαρμογών. Ωστόσο, το βιοαέριο πρέπει να υποβληθεί σε συμπύκνωση και αφαίρεση των σωματιδίων, συμπίεση, ψύξη και ξήρανση. (www.big-east.eu)

1.8.2 Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)

Η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) είναι η τυπική εφαρμογή του βιοαερίου από την ΑΧ σε πολλές χώρες και θεωρείται ως μια πολύ αποδοτική χρήση του βιοαερίου για την παραγωγή ενέργειας. Μια μονάδα ΣΗΘ που χρησιμοποιεί μηχανή εσωτερικής καύσης έχει αποδοτικότητα μέχρι 90% και παράγει 35% ηλεκτρική ενέργεια και 65% θερμότητα.



Εικόνα 10: Καυστήρας βιοαερίου για παραγωγή θερμότητας (AGRINZ 2008)

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ενέργεια διεργασίας για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, όπως είναι οι αντλίες, τα συστήματα ελέγχου και οι αναδευτήρες. Σε πολλές χώρες με υψηλά τιμολόγια αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, όλη η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πωλείται στο δίκτυο και η ηλεκτρική ενέργεια της διεργασίας αγοράζεται από το ίδιο το δίκτυο.

Σημαντικό ζήτημα για την ενεργειακή και την οικονομική αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων του βιοαερίου αποτελεί η χρήση της παραγόμενης θερμότητας. Συνήθως, ένα μέρος της θερμότητας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χωνευτών (θερμότητα διεργασίας) και περίπου τα δύο τρίτα όλης της παραγόμενης ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξωτερικές χρήσεις, όπως στις βιομηχανικές διεργασίες, στις γεωργικές δραστηριότητες ή για τη θέρμανση κτιρίων. (www.big-east.eu)

1.8.3 Μικροστρόβιλοι βιοαερίου

Στους μικροστρόβιλους βιοαερίου ο αέρας συμπιέζεται σε έναν θάλαμο καύσης, σε υψηλή πίεση και αναμειγνύεται με το βιοαέριο. Το μείγμα αέρα-βιοαερίου καίγεται και λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, το αέριο μείγμα διαστέλλεται. Τα καυτά αέρια διέρχονται μέσω ενός στροβίλου, ο οποίος συνδέεται με την ηλεκτρογεννήτρια.

1.8.4 Κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια μιας αντίδρασης άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια. Η βασική φυσική δομή (δομική μονάδα) μιας κυψέλης καυσίμου αποτελείται από μια στρώση ηλεκτρολύτη σε επαφή με μια πορώδη άνοδο και κάθοδο και στις δύο πλευρές. Σε μια χαρακτηριστική κυψέλη καυσίμου, το αέριο καύσιμο (βιοαέριο) τροφοδοτείται συνεχώς στο διαμέρισμα της ανόδου (αρνητικό ηλεκτρόδιο) και ένα οξειδωτικό (οξυγόνο από τον αέρα) τροφοδοτείται συνεχώς στο διαμέρισμα της καθόδου (θετικό ηλεκτρόδιο). Μια ηλεκτροχημική αντίδραση λαμβάνει χώρα στα ηλεκτρόδια, παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα.

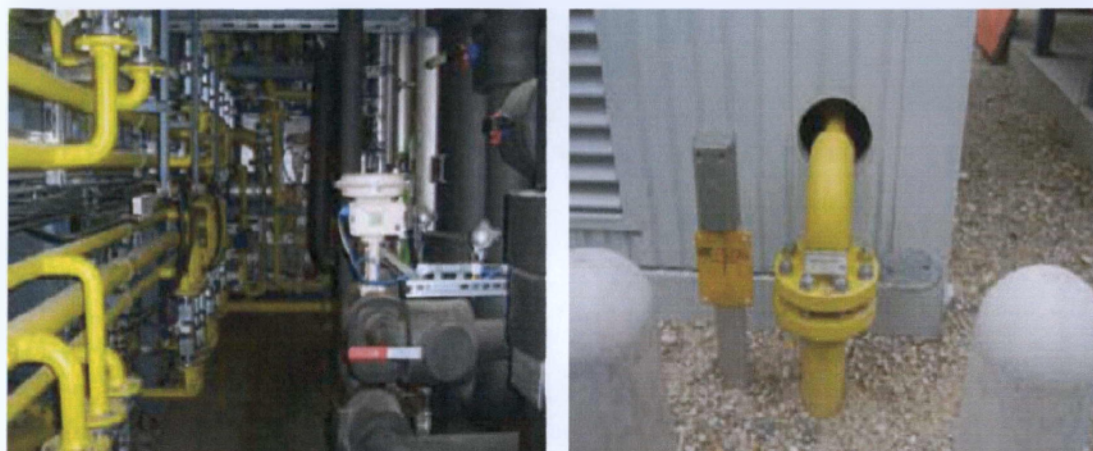


Εικόνα11: Η πρώτη παγκοσμίως κυψέλη καυσίμου τύπου MCFC για βιοαέριο, που λειτουργεί στη Γερμανία (Rutz, 2007)

1.8.5 Αναβάθμιση του βιοαερίου (παραγωγή βιομεθανίου)

Το βιοαέριο μπορεί να διανεμηθεί μέσω των υπάρχοντων δικτύων φυσικού αερίου και να χρησιμοποιηθεί για τους ίδιους σκοπούς με το φυσικό αέριο ή μπορεί να συμπιεστεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων. Πριν από τη

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



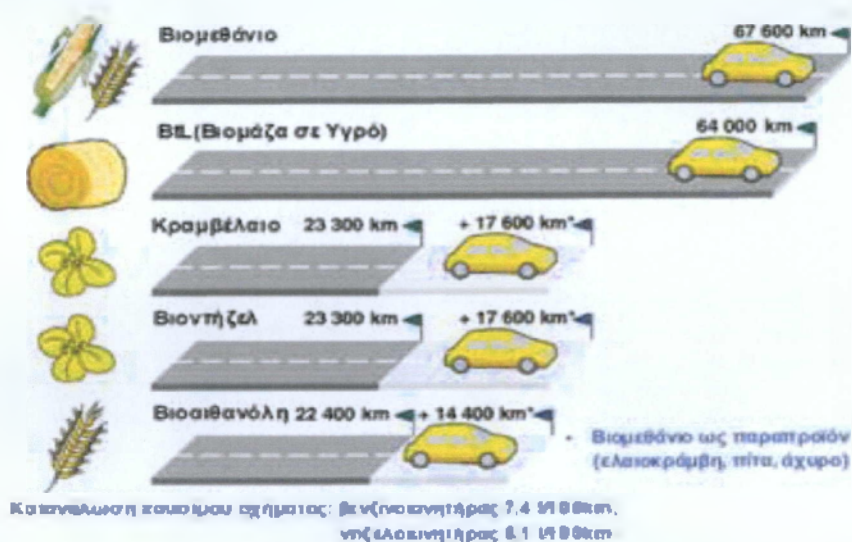
Εικόνα 12: Μονάδα συστήματος PSA (αριστερά) και σύνδεση με το δίκτυο φυσικού αερίου (δεξιά) της μονάδας βιομεθανίου στο Pliening, Γερμανία (Rutz, 2007)

Υπάρχουν δύο συνήθεις μέθοδοι για την αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα, η απορρόφηση (καθαρισμός μέσω ύδατος ή οργανικού διαλύτη) και η προσρόφηση (προσρόφηση με μετάπτωση πίεσης, PSA). Άλλες τεχνικές, λιγότερο συνηθισμένες, είναι ο διαχωρισμός μέσω μεμβρανών και ο κρυογενής διαχωρισμός, ενώ μία σχετικά νέα μέθοδος που βρίσκεται υπό ανάπτυξη τελευταία είναι η αναβάθμιση εσωτερικά στη διεργασία. (www.big-east.eu)

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

Η χρήση του βιοαερίου (βιομεθανίου) στον τομέα των μεταφορών είναι μια τεχνολογία με μεγάλο δυναμικό και σημαντικά κοινωνικοοικονομικά οφέλη. Το βιοαέριο χρησιμοποιείται ήδη ως καύσιμο οχημάτων σε χώρες όπως η Σουηδία, η Γερμανία και η Ελβετία. Ο αριθμός των ιδιωτικών αυτοκινήτων, των οχημάτων δημόσιας χρήσης, και των φορτηγών που κινούνται με αέριο αυξάνεται σημαντικά.

Το αναβαθμισμένο βιοαέριο (βιομεθάνιο) θεωρείται ότι έχει το υψηλότερο δυναμικό ως καύσιμο οχημάτων συγκρινόμενο με άλλα βιοκαύσιμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 9 όπου παρουσιάζεται μια σύγκριση των βιοκαυσίμων μεταφορών σε σχέση με την απόσταση που καλύπτεται από ένα αυτοκίνητο κινούμενο με το αντίστοιχο βιοκαύσιμο, το οποίο παράγεται από πρώτη ύλη βιομάζας προερχόμενης από 1 εκτάριο καλλιεργήσιμης γης. Το δυναμικό του βιομεθανίου στον τομέα των μεταφορών είναι ακόμα υψηλότερο, εάν χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη απόβλητα αντί των ενεργειακών καλλιεργειών.



Σχήμα 9: Σύγκριση βιοκαυσίμων: Αυτονομία ενός ΙΧ αυτοκινήτου κινούμενου με βιοκαύσιμα τα οποία παράγονται από πρώτες ύλες βιομάζας/ενεργειακές καλλιέργειες προερχόμενες από 1 εκτάριο καλλιεργήσιμης γης (FNR 2008)

1.8.6 Παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου ως χημικών προϊόντων

Η παραγωγή καθαρού μεθανίου και CO₂ από το βιοαέριο μπορεί να είναι μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στην παραγωγή μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα από ορυκτές πηγές ενέργειας. Και οι δύο αυτές ουσίες είναι σημαντικές για τη χημική βιομηχανία. (www.big-east.eu)

1.8.7 Χρήση του χωνεμένου υπολείμματος

Το χωνεμένο υπόλειμμα που βρίσκεται μέσα στο χωνευτή μετά την διαδικασία της ΑΧ είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί σαν αυτούσιο οργανικό λίπασμα ή, με κατάλληλες τεχνικές όπως διαχωρισμό, ιζηματογένεση, υπερ-διήθηση, αντίστροφη ώσμωση και stripper για την παραγωγή: α) 6% στερεού λιπάσματος με αναλογία θρεπτικών συστατικών 17% N - 40% P - 20%K β) 20% υγρού λιπάσματος, με αναλογία θρεπτικών συστατικών 83% N - 60% P - 80% K και γ) 74% νερού

άρδευσης. Τα ποσοστά των θρεπτικών συστατικών είναι ενδεικτικά και εξαρτώνται από την πρώτη ύλη ανά περίπτωση. (www.helbio.gr)

Η εφαρμογή του ωφελεί την ισορροπία χούμου στο έδαφος. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για λίπασμα ή εδαφοβελτιωτικό στη γεωργία. Η χρήση του υπολείμματος της χώνευσης δεν εξαρτάται μόνο από την ποιότητα του, αλλά και από το είδος της εγκατάστασης που το παράγει. Για παράδειγμα, σε κλίμακα αγροκτήματος ή ακόμα και μεγάλης κλίμακας συνεταιριστικών γεωργικών χωνευτών, το προϊόν χρησιμοποιείται χωρίς περαιτέρω επεξεργασία, ως λίπασμα στις γεωργικές εκτάσεις. Ανάλογα με τους τοπικούς κανονισμούς και τις προϋποθέσεις, η διάθεση συχνά επιτρέπεται αποκλειστικά στα χωράφια των αγροτών που λειτουργούν τους χωνευτές. Το ποσό του συν-υποστρώματος που επιτρέπεται στη χώνευση της κοπριάς μπορεί επίσης να περιοριστεί. Αυστηρά όρια ισχύουν επίσης για τη συνολική ετήσια εφαρμογή του αζώτου και βαρέων μετάλλων που εισάγονται στο έδαφος. Μεγάλης κλίμακας εμπορικές εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης, ιδιαίτερα εκείνες που επεξεργάζονται ΑΣΑ, μπορεί να βρουν ότι αξίζει να επεξεργαστούν περαιτέρω το χωνεμένο υλικό για να αυξηθεί η αξία ή για να επεκταθούν και προς νέες αγορές. Το προϊόν χώνευσης μπορεί να χρειαστεί να αφυδατωθεί και έτσι χωρίζεται σε δύο μέρη: το **ινώδες (fibre)** και το **υγρό (liquor)**.

Το ινώδες μέρος είναι ογκώδες και περιέχει χαμηλό επίπεδο θρεπτικών ουσιών για τα φυτά. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βελτιωτικό εδάφους, και ως χαμηλής ποιότητας λίπασμα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης ως εναλλακτική λύση για την τύρφη, αν και δεν έχει ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτή. Περαιτέρω επεξεργασία του, όπως μέσω της κομποστοποίησης θα μπορούσε να παράγει καλής ποιότητας κομπόστ.

Το υγρό μέρος περιέχει ένα μεγάλο μέρος των θρεπτικών συστατικών και μπορεί να χρησιμοποιείται ως λίπασμα. Η υψηλή περιεκτικότητά του σε νερό διευκολύνει την εφαρμογή μέσω των συμβατικών μεθόδων άρδευσης, που αντιπροσωπεύει ένα πλεονέκτημα σε σχέση με λίπασμα, αφού μπορεί να εφαρμοστεί καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου των καλλιεργειών. Το υγρό μέρος χρησιμοποιείται συνήθως στις γεωργικές εγκαταστάσεις στις οποίες παράγεται. Ωστόσο, προσοχή πρέπει να δοθεί στο χρόνο εφαρμογής, έτσι ώστε το άζωτο, το οποίο είναι πιο άμεσα διαθέσιμο μετά την χώνευση, να λαμβάνεται από το φυτό και να μην διεισδύει στο έδαφος και στη συνέχεια στον υπόγειο υδροφόρο. Παρ' όλα αυτά, έχει

πλεονεκτήματα σε σχέση με την εφαρμογή ακατέργαστης κοπριάς, όπως το ότι η απορρόφηση της αμμωνίας από τα φυτά είναι μεγαλύτερη από ό, τι το οργανικό άζωτο. Μια δυνητικά ευρύτερη αγορά δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί πλήρως, όπως η χρήση σε υδροπονικά συστήματα ή για αύξηση υδρόβιων ζιζανίων ή ψαριών. Πολλές μονάδες Αναερόβιας Χώνευσης επαναχρησιμοποιούν το υγρό μέρος στη διαδικασία τους.

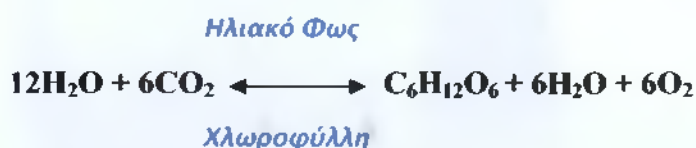
Η χρήση του ινώδους και υγρού μέρους που προέρχονται από μονάδες Αναερόβιας Χώνευσης, οδήγησε στην καλύτερη αξιοποίηση των λιπασμάτων και κατά συνέπεια μικρότερη κατανάλωση χημικών σε συστήματα καλλιέργειας. Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα των οργανικών λιπασμάτων είναι η συμμετοχή τους στο φυσικό κύκλο των θρεπτικών ουσιών, ενώ τα ανόργανα λιπάσματα είναι επιπρόσθετα σ' αυτόν. (http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/6052/3/sandalisi_biogas.pdf)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΒΙΟΜΑΖΑ

2.1 Η Έννοια της βιομάζας

Με τον όρο βιομάζα εννοείται κάθε οργανική ύλη η οποία έχει προέλθει από φυτά ως αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής διεργασίας. Η ενέργεια της βιομάζας προέρχεται από φυτικό ή ζωικό υλικό, όπως ξύλα από δάση, υπολείμματα από αγροτικές και δασικές καλλιέργειες, βιομηχανικά, αστικά και ζωικά απόβλητα. Η ενεργειακή αξία της βιομάζας από φυτική ύλη προέρχεται αρχικά από την ηλιακή ενέργεια η οποία δεσμεύεται μέσω της φωτοσύνθεσης.

Η χημική ενέργεια που έχει αποθηκευτεί σε φυτά και ζώα (που τρέφονται με φυτά ή άλλα ζώα), ή στα απόβλητα που παράγουν, ονομάζεται βιοενέργεια. Κατά την διάρκεια ενεργειακών μετατροπών όπως η καύση, η βιομάζα απελευθερώνει την ενέργεια της, συχνά με την μορφή της θερμότητας, και ο άνθρακας οξειδώνεται προς διοξείδιο του άνθρακα αντικαθιστώντας ουσιαστικά εκείνον που είχε απορροφηθεί κατά την ανάπτυξη του φυτού. Στην πραγματικότητα η χρήση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι η αντίστροφη διαδικασία της φωτοσύνθεσης.



Εξίσωση 2: Η χημική αντίδραση της φωτοσύνθεσης



Εικόνα 13: Ενεργειακός κύκλος βιομάζας (www.ecologygreece.blogspot.com)

Στην φύση η βιομάζα αποσυντίθεται τελικά στα στοιχειώδη μόρια της με την απελευθέρωση θερμότητας. Συνεπώς η έκλυση ενέργειας από την μετατροπή της βιομάζας σε χρήσιμη ενέργεια, προσομοιώνει τις φυσικές διεργασίες με ταχύτερο ρυθμό. Με την χρήση αυτής της ενέργειας ανακυκλώνεται ο άνθρακας και δεν έχουμε απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει με τα άλλα ορυκτά καύσιμα.

Από όλες τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η βιομάζα είναι η μοναδική που ουσιαστικά αντιπροσωπεύει αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια. Επιπροσθέτως είναι η μόνη που συγκροτείται από άνθρακα, και είναι σε θέση να παράγει, μετά από επεξεργασία, στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα. Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε άμεσα με καύση ξύλων για ζήραση και μαγείρεμα, είτε έμμεσα με κάποιο άλλο υγρό ή αέριο καύσιμο, όπως π.χ. αιθανόλη από ζαχαροκάλαμο ή βιοαέριο από ζωικά απόβλητα. Το καθαρό ενεργειακό προϊόν που είναι διαθέσιμο στην βιομάζα όταν καίγεται ποικίλλει περίπου 8 MJ/kg για ξύλο, 20 MJ/kg για ξηρή φυτική ύλη, 55 MJ/kg για το μεθάνιο και 23-30MJ/kg για κάρβουνο. Ο συντελεστής απόδοσης της ενεργειακής διεργασίας καθορίζει πόση ενέργεια θα είναι πρακτικά διαθέσιμη.

<http://imarinakiss.webs.com/notes.biomass.htm>

2.2 Είδη Βιομάζας

Το μεγαλύτερο ποσοστό της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας προέρχεται κυρίως από φυτικό υλικό, και από ζωικά προϊόντα. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των διαφόρων ειδών βιομάζας. Μια πρώτη διάκριση μπορεί να γίνει με βάση την προέλευση της βιομάζας από διάφορους τομείς, όπως ο γεωργικός, ο δασικός, ο βιομηχανικός και ο αστικός τομέας. Μια άλλη ταξινόμηση μπορεί να γίνει, με βάση τη φύση της, καθώς μπορεί να προέρχεται τόσο από τις ενεργειακές καλλιέργειες και τα υπολείμματα γεωργικού και δασικού τομέα όσο και από το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων, βιομηχανικών λυμάτων και αστικών αποβλήτων. (www.ener-supply.eu)

2.2.1 Βιομάζα από ενεργειακές καλλιέργειες

Η βιομάζα που συγκομίζεται από καλλιέργειες ενεργειακών φυτών μπορεί, προφανώς, να προέρχεται τόσο από τον γεωργικό όσο και τον δασικό τομέα.

2.2.1.1 Ετήσιες ενεργειακές καλλιέργειες

Οι κυριότερες ετήσιες ενεργειακές καλλιέργειες είναι ο ηλίανθος, το κενάφ, το γλυκό και κυτταρινούχο σόργο, η ελαιοκράμβη, το σιτάρι, το κριθάρι, τα ζαχαρότευτλα και ο αραβόσιτος.

- **Κενάφ**

Το κενάφ (*Hibiscus cannabinus* L.) είναι ετήσιο φυτό μικρής ημέρας, με κυτταρίνες υψηλής ποιότητας. Πρόκειται για ένα φυτό το οποίο ευδοκίμει κυρίως σε τροπικά κλίματα και αμμοπηλώδη εδάφη, αλλά παρουσιάζει καλή προσαρμοστικότητα σε ένα μεγάλο εύρος εδαφών και κλιματολογικών συνθηκών. Τα στελέχη του αποτελούνται από ένα κεντρικό δακτύλιο με ίνες μικρού μήκους και το φλοιό με ίνες μεγάλου μήκους. Η συγκομιδή του φυτού πραγματοποιείται από το Νοέμβριο μέχρι τον Ιανουάριο, ανάλογα με την τελική χρήση του φυτού. Αυτήν την εποχή τα φύλλα των στελεχών του έχουν πέσει λόγω του παγετού και έτσι η συγκομιδή του γίνεται ευκολότερη με μία συμβατική συλλεκτική μηχανή. Ως κυριότερες χρήσεις του φυτού θεωρούνται η παραγωγή χαρτοπολτού και δομικών υλικών, ωστόσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ενεργειακούς σκοπούς.

Στη Γαλλία, την Ιταλία και την Ελλάδα πραγματοποιούνται διάφορες μελέτες για την καλλιέργεια του κενάφ για την αξιολόγηση της απόδοσής του με διάφορες καλλιεργητικές μεθόδους. Σύμφωνα με πειραματικές μελέτες του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας, οι αποδόσεις του κενάφ σε ξηρή βιομάζα κυμαίνονται από 0,7 έως 2,4 τόνους ανά στρέμμα, ανάλογα με την περιοχή, την πυκνότητα φύτευσης και τις επιμέρους ποικιλίες του φυτού. (<http://hdl.hadle.net/10184/2205>)



Εικόνα 14 : Φυτεία κενάφ (www.anikelate.blogspot.com)

- **Γλυκό σόργο**

Το γλυκό σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench) είναι μονοετές C4 φυτό, με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα, υψηλές αποδόσεις σε βιομάζα, υψηλό ποσοστό σε διαλυτά σάκχαρα και κυτταρίνες. Έχει χαμηλές απαιτήσεις σε άρδευση και λίπανση και μεγάλη ανθεκτικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες, σε ξηρασία, σε υγρασία και σε αλατότητα. Τα στελέχη του είναι πολύ χυμώδη και πλούσια σε σάκχαρα (9-13%). Οι κυριότερες χρήσεις του γλυκού σόργου είναι στον τομέα των μεταφορών για την παραγωγή βιοαιθανόλης, για την παραγωγή σιροπιού, καθώς και για άλλους ενεργειακούς σκοπούς.

Η καλλιέργεια του γλυκού σόργου πραγματοποιείται εκτεταμένα στην Ινδία, τη Νιγηρία, τις ΗΠΑ, το Σουδάν, την Κίνα και την Αργεντινή. Οι αποδόσεις του φυτού ποικίλουν ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, το είδος του εδάφους, την άρδευση και τις καλλιεργητικές τεχνικές. Στην Ελλάδα έχουν εξεταστεί την τελευταία δεκαετία αρκετές ποικιλίες (Keller, Wray κ.ά.). Σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα του ΚΑΠΕ, η απόδοση σε χλωρή βιομάζα κυμαίνεται από 5,0 έως 8,0 τόνους ανά στρέμμα, ενώ η απόδοση σε βιοκαύσιμο κυμαίνεται από 500 έως 800 λίτρα ανά στρέμμα (<http://hdl.hadle.net/10184/2205>)



Εικόνα 15: Γλυκό σόργο (www.caroto.gr)

- **Ελαιοκράμβη**

Η ελαιοκράμβη (*Brassica spp.*) είναι ετήσιο φυτό, κι ανήκει στη οικογένεια των Σταυρανθών ή Βρασσικίδων (Cruciferae or Brassicaceae). Ο σπόρος του φυτού είναι μικρός και στρογγυλός και έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε λάδι (30-50%). Είναι ένα από τα σημαντικότερα ελαιοπαραγωγικά φυτά μαζί με τη σόγια, τον ηλιάνθο και το φοίνικα. Μετά την εξαγωγή του ελαίου, τα υπολείμματά της (η λεγόμενη πίτα)

χρησιμοποιούνται στην κτηνοτροφία καθώς έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (10-45%). Αναλόγως της κλιματολογικές συνθήκες η καλλιέργεια μπορεί να είναι είτε χειμερινή είτε ανοιξιάτικη.



Εικόνα 16: Ελαιοκράμβη (www.agroplus.gr)

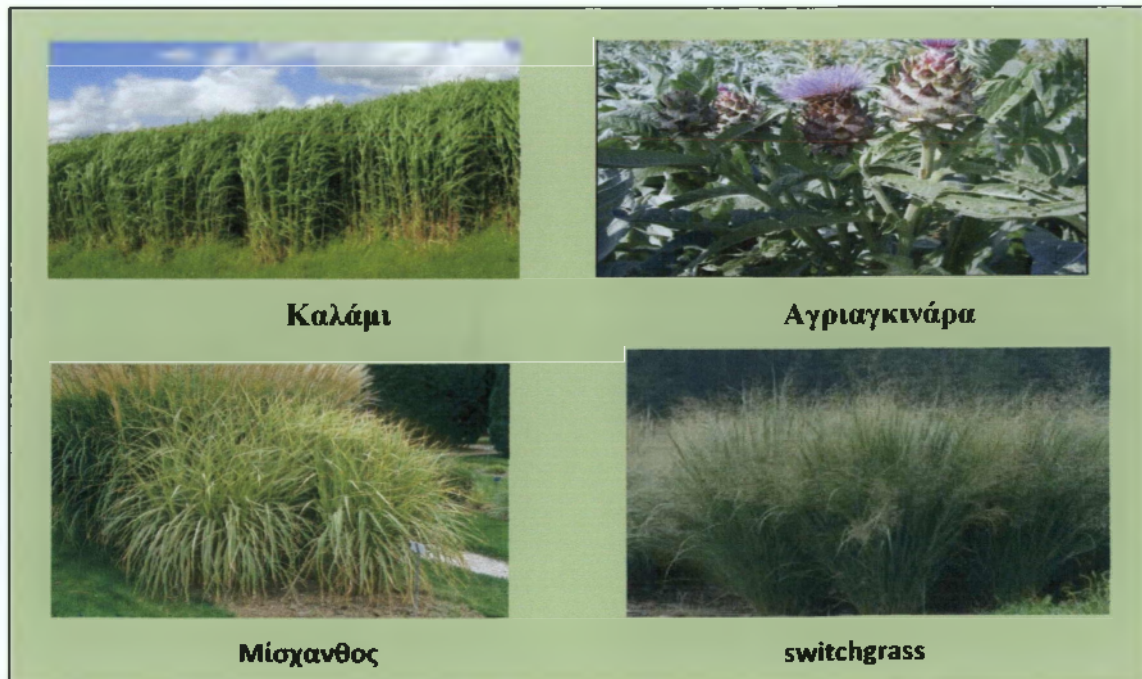
Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες ποικιλίες της ελαιοκράμβης είναι η *Brassica napus* L. και η *Brassica carinata* L. Braun. Η *Brassica napus* L. είναι διαδεδομένη στα εύκρατα δροσερά κλίματα. Αντίθετα, η *Brassica carinata* L. Braun, αιθιοπικής προέλευσης, με μεγάλη φυλλική επιφάνεια, παρουσιάζει καλύτερη προσαρμοστικότητα σε μεσογειακά κλίματα και εδάφη, όπως το ελληνικό. Βάση πειραμάτων που έχουν διεξαχθεί (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία), οι αποδόσεις της καλλιέργειας σε μεσογειακά κλίματα ανάλογα με την ποικιλία του φυτού, τις καλλιεργητικές τεχνικές και την περιοχή, κυμαίνονται από 150 έως 300 κιλά ανά στρέμμα σε σπόρο, 300 έως 800 κιλά ανά στρέμμα σε ξηρή βιομάζα και από 43 έως 90 λίτρα ανά στρέμμα σε βιοκαύσιμο. Οι κυριότερες χρήσεις της ελαιοκράμβης συνίστανται στην παραγωγή ελαίου, στην παραγωγή βιοκαυσίμων, όπως το βιοντίζελ και στην παραγωγή ενέργειας (ξηρή βιομάζα). (<http://hdl.hadle.net/10184/2205>)

2.2.1.2 Πολυετείς καλλιέργειες αγρωστωδών φυτών

Το είδος αυτό της βιομάζας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για παραγωγή ενέργειας όταν τα οικονομικά της εκμετάλλευσής της είναι βιώσιμα. Ταχείας ανάπτυξης είδη με καλαμοειδή βλαστό όπως το καλάμι και το Elephant-grass είναι παραδείγματα καλλιεργειών αγρωστωδών φυτών που μπορούν να κάνουν καλή χρήση των θρεπτικών ουσιών με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας της βιομάζας.

- **Καλάμι**

Το καλάμι (*Arundo donax* L.) ανήκει στα αγρωστώδη πολυετή φυτά με C3 φωτοσυνθετικό μηχανισμό. Είναι ένα πολύ δυναμικό φυτό που πολλαπλασιάζεται κυρίως με ριζώματα, μπορεί όμως να πολλαπλασιαστεί και με μωσχεύματα. Ο βλαστός του είναι συμπαγής ή κοίλος, ξυλώδης και λυγίζει από τον αέρα, γεγονός που βοηθάει στη διασπορά των διαφόρων σπόρων του. Τα φύλλα του είναι μακριά ταινιοειδή και στο πάνω μέρος τους έχουν μία μακριά ταξιανθία. Έχει καλή προσαρμοστικότητα και μεγάλη ανθεκτικότητα σε διάφορα εδάφη και κλίματα, ωστόσο ευδοκμεί καλύτερα σε περιοχές με μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία (κοντά σε λίμνες ή ποτάμια). Κυριότερες χρήσεις του φυτού είναι η παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, χαρτοπολτού, δομικών υλικών και άλλων ξύλινων κατασκευών.



Εικόνα 17 :Πολυετείς καλλιέργειες αγρωστωδών φυτών

Η συγκομιδή του καλαμιού σε μεσογειακά κλίματα πραγματοποιείται από το Νοέμβριο έως το τέλος του χειμώνα ανάλογα με την περιοχή. Η καλλιέργεια πραγματοποιείται στην Ελλάδα σε ικανοποιητικές αποδόσεις, καθώς βάση των πειραμάτων που έχουν διεξαχθεί, έχει εκτιμηθεί η απόδοση της σε ξηρή βιομάζα από 0,5 έως 3 τόνους ανά στρέμμα. Η θερμαντική του αξία είναι κατά μέσο όρο 18,6 MJ/kg ξηρής ουσίας και η περιεκτικότητά του σε τέφρα 6,9%. Με βάση αυτές τις

εκτιμήσεις το ενεργειακό δυναμικό του καλαμιού μπορεί να φτάσει τους 1,29 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΠ) ανά στρέμμα και ανά έτος.

- **Αγριαγκινάρα**

Η αγριαγκινάρα, (*Arundo donax* L.) άλλο ένα σημαντικό φυτό κατάλληλο για ενεργειακή αξιοποίηση, προσαρμόζεται θαυμάσια στις ελληνικές συνθήκες. Φτάνει σε ύψος τα 2,6 μέτρα ενώ η παραγωγή ξηρής ουσίας κυμαίνεται από 1,7–3,3 τόνους/στρέμμα. Η θερμογόνο δύναμη του για τα διάφορα μέρη του φυτού κυμαίνεται από 3.474 kcal/kg για τα φύλλα και τα βράκτια φύλλα και 5.912 kcal/kg για τους σπόρους. Με βάση τη θερμογόνο δύναμη των διαφόρων φυτικών τμημάτων και τις αντίστοιχες αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα, το ενεργειακό περιεχόμενο της καλλιέργειας, ανάλογα με τις καλλιεργητικές τεχνικές που εφαρμόζονται, ποικίλλει από 0,6-1,2 ΤΠ/στρέμμα. Οι πιθανές ενεργειακές χρήσεις της αγριαγκινάρας είναι για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και βιοελαίου. (<http://hdl.hadle.net/10184/2205>)

- **Μίσχανθος**

Ο μίσχανθος (*Miscanthus x giganteus*) είναι ένα πολυετές C4, ριζωματώδες φυτό, διαδεδομένο ευρύτατα στην Ευρώπη, εδώ και πολλά χρόνια, σαν καλλωπιστικό φυτό. Ευδοκμεί σε ένα μεγάλο εύρος εδαφών, από αμμώδη έως αργιλώδη και σε εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία. Ο μίσχανθος πολλαπλασιάζεται με σπόρους, με ριζώματα ή και με μικροπολλαπλασιασμό φυταρίων. Έχει βαθύ ριζικό σύστημα (1-2 μέτρα), ύψος φυτείας έως 3 μέτρα και μπορεί να εκμεταλλεύεται το διαθέσιμο νερό ακόμα και σε βαθιά αμμώδη εδάφη. Η συγκομιδή του πραγματοποιείται από το Νοέμβριο έως το Μάρτιο, ανάλογα με την πιθανή χρήση (π.χ. για καύση βιομάζας συνιστάται η συγκομιδή να πραγματοποιείται την άνοιξη, καθώς η μειωμένη υγρασία του φυτού βελτιώνει τις συνθήκες της καύσης). Κυριότερες χρήσεις του φυτού είναι για κατασκευή δομικών υλικών και για παραγωγή ενέργειας (π.χ. μέσω καύσης).

Η θερμομαντική αξία των στελεχών του μίσχανθου είναι κατά μέσο όρο 17,3 MJ/kg ξηρής ουσίας, ενώ η περιεκτικότητα των στελεχών του σε τέφρα είναι 1,64% επί του ξηρού βάρους. Η καλλιέργεια δεν απαιτεί μεγάλες ποσότητες λίπανσης, ούτε άρδευση, ωστόσο η χρήση της τελευταίας αυξάνει σημαντικά τις αποδόσεις. Σύμφωνα με πειράματα που έχουν διεξαχθεί από το ΚΑΠΕ, το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών και το Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, παρατηρείται

μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα του φυτού στη Βόρεια Ελλάδα, ενώ οι αποδόσεις του κυμαίνονται από 0,8 έως 3 τόνους ανά στρέμμα και ανά έτος για τα πλήρως παραγωγικά έτη του και από 500 έως 750 κλά ανά στρέμμα κατά το έτος εγκατάστασης του φυτού (1ο έτος).

- **Switchgrass**

Το switchgrass (*Panicum virgatum* L.) είναι ένα πολυετές C4 φυτό, της οικογένειας των αγρωστωδών γνωστό κατά κύριο λόγο στον Καναδά και στις ΗΠΑ σαν χορτοδοτικό φυτό. Έχει βαθύ ριζικό σύστημα λεπτών ριζωμάτων που μπορεί να ξεπεράσει τα 3 μέτρα και σχηματίζει στελέχη διαμέτρου 10 χιλιοστών. Έχει χαμηλό κόστος εγκατάστασης καθ' ότι πολλαπλασιάζεται με σπόρο και ευδοκμεί σε μεγάλο εύρος εδαφών καθώς ανάλογα με την ποικιλία του φυτού μπορεί να προσαρμοστεί είτε σε ορεινές είτε σε πεδινές περιοχές. Η προετοιμασία του αγρού είναι παρόμοια με αυτή των παραδοσιακών ανοιξιάτικων καλλιεργειών, η εγκατάσταση του λαμβάνει χώρα το Μάιο, ενώ η άνθιση του πραγματοποιείται το καλοκαίρι (Ιούλιος – Αύγουστος). Οι κυριότερες χρήσεις του φυτού είναι η παραγωγή στερεών και υγρών καυσίμων, χαρτοπολτού και άλλων βιομηχανικών πρώτων υλών.

Το switchgrass έχει καλές αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα από το πρώτο έτος της καλλιέργειας, οι οποίες κυμαίνονται από 0,7 έως 1,4 τόνους ανά στρέμμα και ανά έτος. Ωστόσο, βάση πειραμάτων, έχει παρατηρηθεί σημαντική αύξηση της απόδοσης σε καλλιέργειες που εφαρμόστηκε λίπανση (έως και 2,5 τόνους ξηρής βιομάζας). Για περαιτέρω αύξηση της απόδοσης απαιτείται και άρδευση, η οποία ωστόσο είναι χαμηλή μεταξύ 200 και 400mm ανάλογα με τις βροχοπτώσεις.

<http://hdl.hadle.net/10184/2205>

2.2.2 Καλλιέργειες ελαιούχων φυτών

Οι καλλιέργειες ελαιούχων φυτών περιλαμβάνουν τις ετήσιες καλλιέργειες φυτών με ελαιούχους σπόρους και τις πολυετείς καλλιέργειες ελαιούχων δέντρων.

2.2.2.1 Καλλιέργειες φυτών με ελαιούχους σπόρους

Από αγρονομικής απόψεως, οι καλλιέργειες ελαιούχων φυτών έχουν μια εξελικτική ιστορία διαφορετική από τις καλλιέργειες των δημητριακών και επομένως μπορούν να προσφέρουν ένα πρόσθετο όφελος, ως καλλιέργειες αμειψισποράς, στη μείωση των παθογόνων του εδάφους και των φυτών. Οι πιο αντιπροσωπευτικές καλλιέργειες ελαιούχων φυτών στις Ευρωπαϊκές περιοχές είναι η ελαιοκράμβη και ο ηλίανθος.



Εικόνα 18: Καλλιέργειες ελαιούχων φυτών

Τα φυτικά έλαια συνήθως εξάγονται μέσω μηχανικής συμπίεσης ή και διαλυτών και χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τροφίμων, σαπουνιών και καλλυντικών. Το έλαιο σε αυτές τις καλλιέργειες συνήθως περικλείει και άλλα συστατικά των σπόρων (πρωτεΐνη ή άμυλο) ως μέρος της ροής εσόδων των καλλιεργειών. Το λιγνοκυτταρινούχο τμήμα των ελαιούχων φυτών, το οποίο χρησιμοποιείται παραδοσιακά ως στρωμή ή ζωοτροφή, μπορεί επίσης να καεί για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, ενώ τα φυτικά έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υψηλότερης αξίας εφαρμογές παραγωγής ενέργειας, ιδιαίτερα ως υποκατάστατο του ντίζελ. Τα φυτικά έλαια που προέρχονται από αυτές τις καλλιέργειες και τροποποιούνται με χρήση μεθυλεστέρων ονομάζονται, κοινώς,

“βιοντίζελ” και είναι σε μεγάλο βαθμό υποψήφια να καταστούν εναλλακτικό καύσιμο του ντίζελ. (www.ener-supply.eu)

2.2.2.2 Καλλιέργειες ελαιούχων δέντρων

Πράγματι, ορισμένες καλλιέργειες δέντρων παράγουν έλαια, όπως το φοινικέλαιο, το λάδι καρύδας και το λάδι του Μακαντάμια (*Macadamia tetraphylla*, *Macadamia integrifolia*) τροπικό δέντρο που φύτεται κυρίως στην Αυστραλία. Στις ανεπτυγμένες χώρες χρησιμοποιείται κυρίως το φοινικέλαιο (*Elaeis guineensis*) για την παραγωγή τόσο βρώσιμου ελαίου όσο και βασικών προϊόντων για το βιοντίζελ. Όμως, η εκτεταμένη χρήση των βρώσιμων ελαίων για ενεργειακούς σκοπούς μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα, όπως πείνα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η διπλή χρήση του φοινικέλαιου αυξάνει τον ανταγωνισμό μεταξύ των αγορών των βρώσιμων ελαίων και των βιοκαυσίμων, με μια επακόλουθη αύξηση των τιμών των φυτικών ελαίων στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η παραγωγή βιοντίζελ από διάφορες μη εδώδιμες καλλιέργειες ελαιούχων σπόρων έχει ερευνηθεί εκτενώς κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών.

Πίνακας 9: Στρεμματικές αποδόσεις στην Ελλάδα φυτών για παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων, σε πρώτη ύλη και καύσιμο

Βιοκαύσιμο	Πρώτη Ύλη	Απόδοση (kg/στρέμμα)	Απόδοση σε βιοκαύσιμο (lt/στρέμμα)
Βιοντίζελ	Ηλιάνθος	120-210	43-75
	Ελαιοκράμβη	120-250	43-90
	Βαμβάκι	120-160	18-25
	Σόγια	160-240	29-44
Βιοαιθανόλη	Σιτάρι	150-800	45-240
	Αραβόσιτος	900	270
	Ζαχαρότευτλα	6000	600
	Γλυκό σόργο	7000-10.000	675-900

Οι καλλιέργειες ελαιούχων δέντρων με χαμηλότερη διατροφική αξία μπορούν να αποτελέσουν ένα πόρο για την παραγωγή ενέργειας. Πολλά είδη φυτών που παράγουν έλαια για τροφή, όπως η Ζατρόφα (*Jatropha curcas*) (σε υποτροπικές

περιοχές), μπορεί να είναι χρήσιμα για την παραγωγή ενέργειας και συχνά προωθούνται ως μη ανταγωνιστικά των καλλιεργειών για παραγωγή τροφίμων.

Πίνακας 10: Σύγκριση μεταξύ των διαφόρων καλλιεργειών ελαιούχων σπόρων για την παραγωγή βιοντίζελ (M. Balat, 2010)

Καλλιεργείες ελαιούχων φυτών	Παραγωγή ελαίου (t/ha)
Ελαιοκράμβη	1,00
Σόγια	0,52
Ηλίανθος	0,90
Φοίνικας	5,00
Jatropha	0,50
Μικροφύκη	50,00

2.2.3 Καλλιεργείες λιγνοκυτταρινούχων φυτών

Το καλαμπόκι (*Z. mays*) και η σόγια (*Glycine max*) είναι μονοετή φυτά. Οι διάφορες μορφές των λιγνοκυτταρινούχων ενεργειακών καλλιεργειών είναι συνήθως πολυετείς. Οι καλλιεργείες λιγνοκυτταρινούχων φυτών περιλαμβάνουν πολυετείς καλλιεργείες αγρωστώδων φυτών και άλλες δενδρώδεις καλλιεργείες. Τα αγρωστώδη είδη περιλαμβάνουν καλλιεργείες όπως το switchgrass (*Panicum virgatum*), η φάλαρη (*Phalaris arundinacea*) και ο μίσχανθος (*Miscanthus spp.*) στην κατηγορία των πλατύφυλλων με σκληρό ξυλώδη κορμό περιλαμβάνονται είδη όπως η ιτιά (*Salix spp.*), η λεύκη (*Populus spp.*), ο ευκάλυπτος και άλλα. Μεταξύ αυτών, η λεύκη, ο μίσχανθος και το switchgrass έχουν συγκεντρώσει ιδιαίτερη προσοχή για την υψηλή απόδοσή τους σε βιομάζα, την αποτελεσματική αξιοποίηση των θρεπτικών στοιχείων, τη μικρή πιθανότητα διάβρωσης του εδάφους, την ικανότητα δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα και τη μείωση στις απαιτήσεις εισροών ορυκτών καυσίμων σε σύγκριση με τις ετήσιες καλλιεργείες. Αρκετές ερευνητικές δραστηριότητες έχουν πραγματοποιηθεί για τη λεύκη, η οποία θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά φυτά λόγω του μικρού περιόδου χρόνου. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να αναπτυχθούν σημαντικά προγράμματα γενετικής

βελτίωσης, με αύξηση των ποικιλιών και των κλώνων, ώστε να διαδοθούν σε όλο τον κόσμο. Άλλες καλλιέργειες ξυλωδών φυτών, όπως ο ευκάλυπτος, μπορούν να παράγουν βιομάζα σε θερμότερες κλιματικές συνθήκες, όπως οι περιοχές με μεσογειακό κλίμα. (www.ener-supply.eu)

Πίνακας 11: Στρεμματικές αποδόσεις στην Ελλάδα φυτών για παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων, σε πρώτη ύλη και ενεργειακό περιεχόμενο.

Ενεργειακή καλλιέργεια	Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	Αποδόση σε ξηρή βιομάζα (τόνοι/στρέμμα)	Ενεργειακό δυναμικό (ΤΠΠ/στρέμμα)
Ευκάλυπτος	19	1,8-3,2	0,8-1,3
Ψευδακακία	19,4	0,24-1,34	0,1-0,6
Καϊάμι	18,6	2-3	0,9-1,3
Μισχανθος	17,3	0,8-3	0,3-1,2
Αγριοαγκινάρα	14,5	1,7-3,3	0,6-1,1
Switchgrass	17,4	2,6	1,1

*ΤΠΠ= Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου

2.2.4 Δασικές Φυτείες

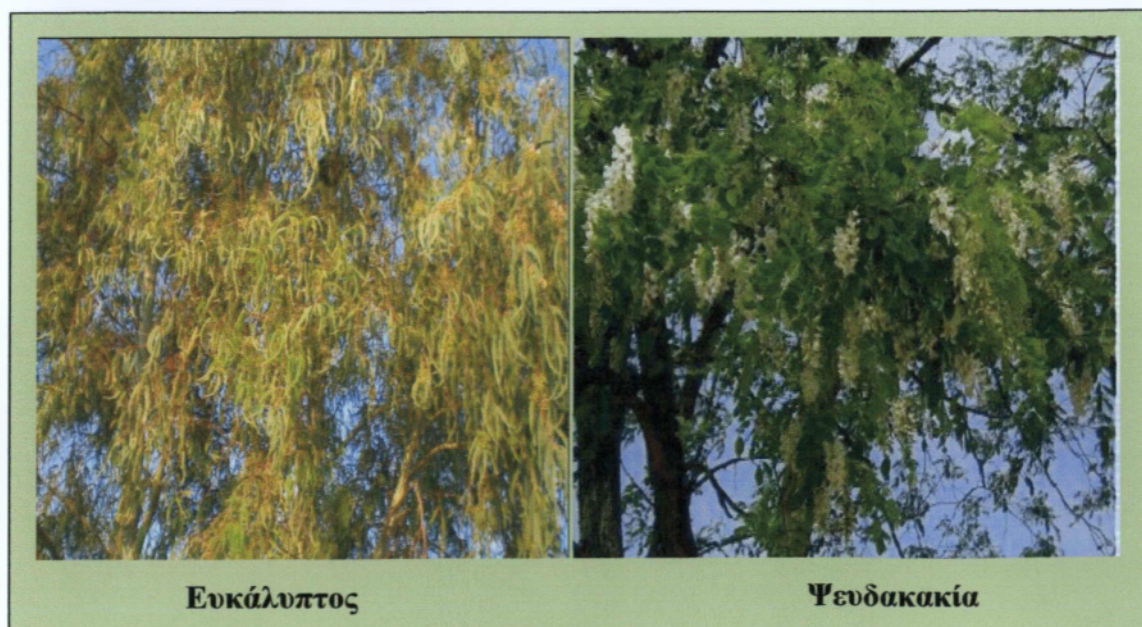
Το ξύλο είναι μια σημαντική ενεργειακή πηγή σε πολλές χώρες του κόσμου, ιδίως στην Ασία, την Αφρική, και την Νότια Αμερική και υπάρχει το δυναμικό για να γίνει μια σημαντική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και σε άλλα μέρη του κόσμου. Τα πλέον κατάλληλα δένδρα για αυτές τις δασικές φυτείες είναι εκείνα που αναπτύσσονται με γρήγορους ρυθμούς και που μετά την κοπή ξαναμεγαλώνουν με εκβλαστήματα από την ρίζα. Στη Βόρεια Ευρώπη, όπου είναι πολύ διαδεδομένες οι ενεργειακές καλλιέργειες, καλλιεργούνται σήμερα διάφορα πολυετή φυτά για ενεργειακούς σκοπούς. Στη Σουηδία για παράδειγμα καλλιεργούνται 200.000 στρέμματα με ιτιά της οποίας η κοπή γίνεται κάθε τέσσερα χρόνια. Η παραγόμενη ποσότητα βιομάζας αφού ψιλοτεμμαχισθεί οδηγείται σε μονάδες συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού.

Οι κυριότερες δασικές ενεργειακές καλλιέργειες είναι ο ευκάλυπτος (*Eucalyptus globules* και *Eucalyptus camaldulensis*) και η ψευδακακία (*Robinia pseudoacacia* L.). (www.ener-supply.eu)

- **Ευκάλυπτος**

Ο ευκάλυπτος (*Eucalyptus globules* και *Eucalyptus camaldulensis*) είναι ένα αείφυλλο και δενδρώδες φυτό που κατάγεται από την Αυστραλία, με μεγάλες ετήσιες αποδόσεις και υψηλή ανθεκτικότητα. Η εγκατάσταση του λαμβάνει χώρα την άνοιξη και πολλαπλασιάζεται με μοσχεύματα άρριζα ή ριζοβολημένα. Έχει σχετικά μεγάλο κόστος εγκατάστασης και λόγω του μεγάλου ύψους του φυτού (το οποίο φτάνει και τα 5 μέτρα) υπάρχει δυσκολία στη συγκομιδή του καθώς απαιτείται χρήση ειδικού εξοπλισμού. Ωστόσο το συνολικό κόστος παραγωγής δεν είναι υψηλό, καθώς από το δεύτερο έτος και μετά απαιτεί πολύ χαμηλές εισροές καλλιέργειας.

Στα Μεσογειακά κλίματα, υπάρχουν δύο κυρίως χρησιμοποιούμενα είδη ευκαλύπτου: ο *Eucalyptus globules* και ο *Eucalyptus camaldulensis*. Στην Ελλάδα, συχνότερα εμφανιζόμενο είναι το πρώτο, όμως καταλληλότερο κρίνεται το δεύτερο είδος ευκαλύπτου, το οποίο παρουσιάζει μεγαλύτερες αποδόσεις σε βιομάζα και καλύτερη προσαρμοστικότητα στα διάφορα εδάφη. Οι αποδόσεις του κυμαίνονται από 2,5 έως 4 τόνους ξηρής βιομάζας ανά στρέμμα και ανά έτος (κυρίως μετά το 3ο έτος παραγωγής). Επιπλέον, το φυτό δεν απαιτεί άρδευση ή λίπανση καθ' ότι αυτές δεν επηρεάζουν σημαντικά την παραγωγικότητά του. Κύριες χρήσεις του είναι η παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας και χαρτοπολτού, ενώ τα φύλλα μερικών ειδών ευκαλύπτου περιέχουν ένα έλαιο γνωστό και ως ευκαλυπτέλαιο που χρησιμοποιείται στη φαρμακευτική.



Ευκάλυπτος

Ψευδακακία

Εικόνα 19: Δασικές ενεργειακές καλλιέργειες

▪ Ψευδακακία

Η ψευδακακία (*Robinia pseudoacacia* L.) είναι ένα ψυχανθές, δενδρώδες φυτό που κατάγεται από τη βόρειο Αφρική και έχει καλή προσαρμοστικότητα, ταχεία ανάπτυξη σε πολλών ειδών εδάφη και μεγάλο ενεργειακό περιεχόμενο. Η εγκατάσταση της πραγματοποιείται την άνοιξη με σπόρους και με άρριζα ή ριζοβολημένα μοσχεύματα. Το ύψος της ψευδακακίας φτάνει τα 4 μέτρα και θεωρείται ένα από τα πιο παραγωγικά ενεργειακά φυτά εξαιτίας της ταχύτατης ανάπτυξής της και της μεγάλης θερμαντικής της αξίας, η οποία εκτιμάται κατά μέσο όρο σε 19,44 MJ/kg. Οι αποδόσεις της, οι οποίες δεν επηρεάζονται από την άρδευση, κυμαίνονται από 1,7 έως 4 τόνους ξηρής βιομάζας ανά στρέμμα και ανά έτος, μετά τον τρίτο περίτροπο χρόνο. Τέλος οι κυριότερες χρήσεις της αφορούν τους τομείς της παραγωγής θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας, πρώτων υλών χαρτοπολλτού και μορισανίδων. (<http://hdl.hadle.net/10184/2205>)

2.2.5 Υπολείμματα και απόβλητα του γεωργικού τομέα

Τα κυριότερα γεωργικά υπολείμματα περιλαμβάνουν υπολείμματα των καλλιεργειών, άχυρα και φλοιούς, κουκούτσια ελιάς και κελύφη καρπών. Πιο συγκεκριμένα, τα υπολείμματα που χρησιμοποιούνται για ενεργειακούς σκοπούς μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Υπολείμματα αγρού: υλικό που απομένει σε αγρούς ή οπωρώνες μετά τη συγκομιδή, όπως στελέχη, μίσχοι, φύλλα και λοβοί σπόρων.
- Υπολείμματα επεξεργασίας: υλικά που απομένουν μετά την επεξεργασία των καλλιεργειών σε χρησιμοποιήσιμους πόρους, όπως οι φλοιοί, οι σπόροι, τα υπολείμματα ζαχαροκάλαμου και οι ρίζες.

Ορισμένα από τα γεωργικά υπολείμματα χρησιμοποιούνται ως ζωοτροφές αλλά και για τη διαχείριση του εδάφους και στις κατασκευές (www.ener-supply.eu).

2.2.6 Υπολείμματα και απόβλητα του δασικού τομέα

Ακόμα και τώρα, το μεγαλύτερο μέρος της ξυλείας που προέρχεται από το δασικό τομέα αποτελεί τον κυριότερο πόρο στις χώρες εκτός ΟΠΕΚ και στις αναπτυσσόμενες χώρες και χρησιμοποιείται, επίσης, ως κύριο καύσιμο για παραγωγή ενέργειας μικρής κλίμακας σε αγροτικές περιοχές όπου το φυσικό αέριο δεν είναι ευρέως διαδεδομένο. Αποτελεί ισχυρό ανταγωνιστή των ορυκτών καυσίμων και χρησιμοποιείται τόσο στις κατοικίες, για το μαγείρεμα και τη θέρμανση του νερού,

όσο και στις εμπορικές και βιομηχανικές διεργασίες (για τη θέρμανση νερού και την παραγωγή θερμότητας διεργασιών). Η εναλλακτική χρήση των υπολειμμάτων της δασοπονίας ή των βιομηχανικών δραστηριοτήτων που συνδέονται με τα πριονιστήρια (πριονιστήρια), αντιπροσωπεύει μια ελκυστική πηγή βιομάζας και ένα επιτυχημένο παράδειγμα για την παραγωγή ενέργειας από υπολείμματα.

Στα δασικά υπολείμματα περιλαμβάνονται τα κομμένα ξύλα, τα υπολείμματα υλοτομίας, ολόκληρα δέντρα, θάμνοι, οι φλοιοί κλπ. Κανονικά, τα δασικά υπολείμματα της συγκομιδής της ξυλείας θεωρούνται καλύτερα καύσιμα από τα γεωργικά υπολείμματα, αλλά η πυκνότητά τους και το σύστημα συγκομιδής (ειδικά όταν η κλίση του εδάφους είναι μεγάλη) διατηρεί σε υψηλά επίπεδα το κόστος μεταφοράς τους. Το καθαρό ποσό εκπομπών CO₂ που παράγεται για κάθε μονάδα ενέργειας που προέρχεται από τα υπολείμματα της υλοτομίας των δασών είναι χαμηλότερο, από εκείνο που παράγεται από άλλα γεωργικά υπολείμματα, εξαιτίας της χρήσης των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων. Το ενεργειακό περιεχόμενο των διαφόρων υλικών των φυτών καθορίζει τη θερμιδική τους αξία (περιεκτικότητα σε θερμότητα). Η θερμιδική αξία εξαρτάται από το ποσοστό του άνθρακα και του υδρογόνου, οι οποίοι είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της θερμικής ενέργειας της βιομάζας. (www.ener-supply.eu)

2.2.7 Ζωικά Απόβλητα

Υπάρχει μια ευρεία γκάμα ζωικών αποβλήτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγές βιομάζας. Οι πλέον συνήθεις είναι κοπριά από γουρούνια, κοτόπουλα και βοοειδή που παράγουν μεγάλες ποσότητες αποβλήτων μέσα σε μικρή επιφάνεια καθώς αυτά τα ζώα μεγαλώνουν σε περιορισμένους χώρους. Στο παρελθόν γινόταν ανάκτηση αυτών των αποβλήτων και πωλούνταν ως λιπάσματα, ή απλώς απλώνονταν σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Η εισαγωγή όμως αυστηρότερων περιβαλλοντικών ελέγχων, όσον αφορά τις οσμές και την ρύπανση των νερών, καθιστά επιβεβλημένη την ανάγκη διαχείρισης αυτών των αποβλήτων γεγονός που ανοίγει τον δρόμο για πιθανή εκμετάλλευση της παραγωγής ενέργειας από απόβλητα. Η συνηθισμένη διαδικασία μετατροπής αυτών των αποβλήτων πραγματοποιείται μέσω της αναεροβικής χώνευσης και το προϊόν που παράγεται είναι το βιοαέριο για το οποίο έχει γίνει λεπτομερής περιγραφή στο προηγούμενο κεφάλαιο. (<http://imarinakiss.webs.com/notes/biomass.htm>)

2.2.8 Βιομηχανικά Απόβλητα

Η βιομηχανία τροφίμων παράγει ένα μεγάλο όγκο αποβλήτων και παραπροϊόντων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιομάζα. Αυτά τα απόβλητα παράγονται από όλους τους τομείς της βιομηχανίας τροφίμων από την παραγωγή κρέατος μέχρι την παραγωγή γλυκών και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ενεργειακή πηγή. Στα στερεά απόβλητα περιλαμβάνονται φλοιοί και κομμάτια από φρούτα και λαχανικά, τρόφιμα τα οποία κρίνονται ακατάλληλα για βρώση και δεν περνούν τους ποιοτικούς ελέγχους, ιζήματα από φίλτρα κλπ. Συνήθως καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής και επιβαρύνουν τον προϋπολογισμό της ίδιας της βιομηχανίας τροφίμων.

Κατά την διάρκεια του πλυσίματος του κρέατος, των φρούτων και των λαχανικών, της αποφλοιώσης των καρπών, την προπαρασκευή του μαγειρέματος του κρέατος, των ψαριών, καθώς και κατά την διάρκεια της οινοπαραγωγής παράγονται μεγάλες ποσότητες υγρών αποβλήτων τα οποία περιέχουν σάκχαρα, άμυλο και άλλη διαλυμένη και στερεά οργανική ύλη σε αρκετά αραιή μορφή. Αυτά τα βιομηχανικά απόβλητα υπάρχει η δυνατότητα να χωνευτούν αναερόβικα προς παραγωγή βιοαερίου ή να ζυμωθούν για παραγωγή αιθανόλης. Υπάρχουν αρκετά αντίστοιχα παραδείγματα όπως:

Το **μαύρο ρευστό** είναι ένα προϊόν αποβλήτων που παράγεται από την βιομηχανία χαρτιού. Το ρευστό αυτό μπορεί να πυρολυθεί ή αεριοποιηθεί και χρησιμοποιηθεί ως βιομάζα. Ερευνητικές προσπάθειες έχουν αναπτύξει μια διεργασία ρευστοποιημένης κλίσης με ταχεία πυρόλυση που μπορεί να μετατρέψει το μαύρο υγρό σε βιοκαύσιμο. Στην συνέχεια μπορεί να μετατραπεί σε καύσιμο κατάλληλο για τις μηχανές των αυτοκινήτων.

Η βιομηχανία ζαχαρέως από ζαχαροκάλαμο παράγει μεγάλους όγκους **βαγάσσης** (bagasse: το υπόλειμμα του ζαχαροκάλαμου) που είναι εν δυνάμει μια μεγάλη ενεργειακή πηγή βιομάζας καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για παραγωγή ατμού και ηλεκτρισμού. Οι περισσότεροι μύλοι ζάχαρης στην Αυστραλία και ΗΠΑ παράγουν ηλεκτρισμό με τον τρόπο αυτό, αλλά έχουν και την δυνατότητα να εξάγουν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρισμού από αυτή την ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.



Εικόνα 20: Υπολείμματα καλλιεργειών για χρήση βιομάζας

2.2.9 Αστικά Στερεά Απόβλητα

Κάθε χρόνο συλλέγονται και οδηγούνται στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) εκατομμύρια τόνοι αστικών αποβλήτων. Η σύσταση τους ποικίλλει ανάλογα με τον τόπο, την εποχή καθώς και με τον τρόπο και επιλογή της συλλογής των. Τα αστικά απόβλητα μπορούν να μετατραπούν σε ενέργεια με καύση ή με φυσική αναεροβική χώνευση στους ΧΥΤΑ. Στις βιομηχανικές χώρες υπάρχουν επίσης αρκετοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρισμού με καύση του βιοαερίου (μεθάνιο κυρίως) που εκλύεται ως αποτέλεσμα της φυσικής αποσύνθεσης.

2.2.10 Υγρά Απόβλητα

Τα υγρά απόβλητα είναι μια πηγή βιομάζας παρόμοια με αυτή που προέρχεται από τα ζωικά απόβλητα και έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές χώρες. Το παραγόμενο προϊόν που εξάγεται από την αναεροβική χώνευση είναι το βιοαέριο. Μια τέτοια μονάδα λειτουργεί στην Ψυτάλλεια η οποία εκμεταλλευόμενη τα απόβλητα του λεκανοπεδίου της Αθήνας παράγει ηλεκτρισμό που οδηγείται στο κεντρικό δίκτυο της ΔΕΗ. Η λάσπη που παραμένει μπορεί στην συνέχεια να καεί ή να πυρολυθεί για περαιτέρω παραγωγή βιοαερίου ή βιοπετρελαίου.

<http://imarinakiss.webs.com/notes.biomass.htm>

2.3 Τεχνολογίες Μετατροπής της Βιομάζας

Σκοπός της ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας είναι η παραγωγή θερμότητας, η παραγωγή ηλεκτρισμού και η κίνηση (μέσω βιοκαυσίμων μεταφορών). Ανάλογα

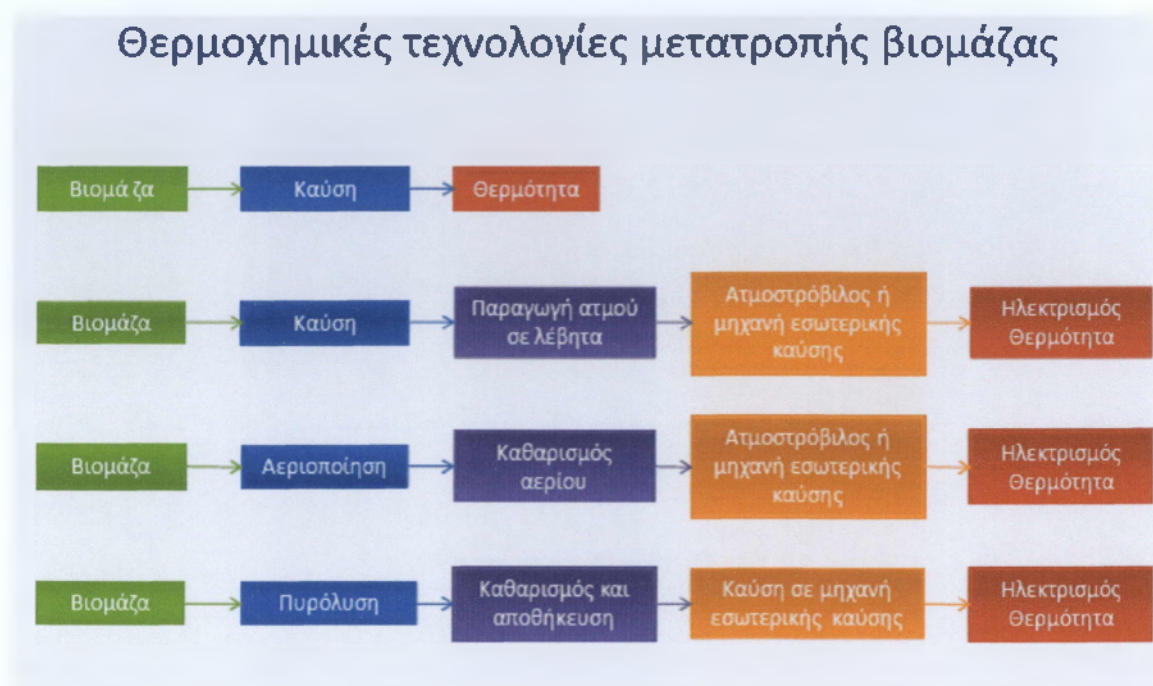
με την πρώτη ύλη που κάθε φορά είναι διαθέσιμη, επιλέγεται και η αντίστοιχη διεργασία για την βέλτιστη ενεργειακή της αξιοποίηση. Οι διεργασίες που είναι διαθέσιμες για την ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Θερμοχημικές (καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση)
- Βιοχημικές (αναερόβια χώνευση, αλκαλική ζύμωση)
- Χημικές (μετεστερεοποίηση)

Από τις παραπάνω διεργασίες, οι πιο ώριμες τεχνολογικά για ηλεκτροπαραγωγή, αλλά και η συχνότερα χρησιμοποιούμενες, είναι αυτή της καύσης στερεής βιομάζας και η καύση του βιοαερίου που προκύπτει από την αναερόβια χώνευση.

Οι ενεργειακές μορφές της βιομάζας ποικίλουν σε μέγεθος από μικρούς λέβητες για τη θέρμανση κατοικιών, σε αυτόματης τροφοδοσίας λέβητες για τη θέρμανση μεγαλύτερων κτιρίων (σχολεία, νοσοκομεία, κ.ά.) μέχρι την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για πώληση στο δίκτυο της ΔΕΗ.

2.3.1 Θερμοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας



Σχήμα 10: Η μετατροπή της βιομάζας με θερμοχημικές τεχνολογίες

2.3.1.1 Καύση

Με τον όρο καύση ορίζεται η διεργασία εκείνη κατά την οποία οι οργανικές ενώσεις, που αποτελούν την εκάστοτε χρησιμοποιούμενη βιομάζα, ενώνονται με το οξυγόνο και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα, νερό και θερμότητα. Τα είδη της βιομάζας που χρησιμοποιούνται συνηθέστερα ως καύσιμο είναι τα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, τα υπολείμματα από γεωργικές βιομηχανίες, τα υπολείμματα από κτηνοτροφικές μονάδες και η παραγωγή από ενεργειακές καλλιέργειες. Η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται κατόπιν είτε για την κάλυψη θερμικών αναγκών ή/και για ηλεκτροπαραγωγή με χρήση ατμού ή διαθέσιμου λαδιού σαν εργαζόμενο μέσο.

2.3.1.2 Πυρόλυση

Η πυρόλυση είναι μια βασική θερμοχημική διεργασία για την μετατροπή στερεάς βιομάζας σε ένα πιο χρήσιμο υγρό καύσιμο. Η βιομάζα θερμαίνεται σε απουσία οξυγόνου, ή καίγεται μερικώς με περιορισμένη παροχή οξυγόνου. Παράγεται τότε ένα αέριο μείγμα πλούσιο σε υδρογονάνθρακες, ένα υγρό παρόμοιο με πετρέλαιο και ένα στερεό υπόλειμμα πλούσιο σε άνθρακα, το ξυλοκάρβουνο.

Παραδοσιακά η παραγωγή του ξυλοκάρβουνου γίνεται σε σωρούς στην ύπαιθρο καλυμμένους με χώμα. Η διεργασία είναι πολύ αργή και με μικρό βαθμό απόδοσης. Η παραγωγή ξυλοκάρβουνου είναι μια μορφή πυρόλυσης με πολύ μειωμένη παροχή οξυγόνου, όπου απομακρύνονται τα αέρια και οι υδρατμοί.

Οι σύγχρονοι κλίβανοι ξυλοκάρβουνου λειτουργούν σε θερμοκρασίες 600°C και παράγουν ξυλοκάρβουνο με βαθμό απόδοσης 25-35% της αρχικής ποσότητας βιομάζας, ενώ τα θερμά αέρια χρησιμοποιούνται για την ξήρανση της πρώτης ύλης. Το παραγόμενο ξυλοκάρβουνο έχει περιεκτικότητα σε άνθρακα της τάξεως του 75-85% και είναι χρήσιμο για BBQ, κλπ. Νέες τεχνικές, βιομηχανικής κλίμακας επιτρέπουν στην αύξηση της παραγωγής και την εκμετάλλευση και του υγρού προϊόντος.

2.3.1.3 Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση είναι μια μορφή πυρόλυσης, απαιτεί μεγαλύτερη παροχή αέρα και υψηλότερες θερμοκρασίες για την βελτίωση της παραγωγής του βιοαερίου.

Η αεριοποίηση της βιομάζας είναι η πλέον σύγχρονη μέθοδος παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και έχουν σχεδιαστεί σταθμοί ισχύος μέχρι 50 MWe. Οι σταθμοί αυτοί έχουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης (μέχρι 50%), καθώς χρησιμοποιούν συνδυασμένο κύκλο αεροστροβίλων. Πρόβλημα εξακολουθεί να αποτελεί ο καθαρισμός του αερίου ώστε να μην υπάρχει περιβαλλοντικό πρόβλημα. (<http://imarinakiss.webs.com/notes.biomass.htm>)

2.3.1.4 Υγροποίηση

Η υγροποίηση, αποτελεί μια σχετικά νέα μέθοδο επεξεργασίας της βιομάζας, με σκοπό την δημιουργία καυσίμων υψηλής θερμαντικής αξίας. Για την διεργασία αυτή απαιτείται καταλύτης ή υδρογόνο σε συνθήκες υψηλής πίεσης και σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. (www.thesis-memaki-sunflowers)

2.3.2 Βιοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας



Σχήμα 11: Η μετατροπή της βιομάζας με βιοχημικές τεχνολογίες

2.3.2.1 Αναεροβική Χώνευση

Η αναερόβια χώνευση είναι η αποσύνθεση της υγρής και πράσινης βιομάζας με την βοήθεια βακτηριακής δράσης και απουσία οξυγόνου προς παραγωγή ενός αερίου μείγματος που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα γνωστό ως βιοαέριο για το οποίο έχει γίνει λεπτομερής περιγραφή στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το βιοαέριο μπορεί στην συνέχεια να καεί για μαγείρεμα ή ξήρανση χώρων, ή να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές εσωτερικής καύσης για παραγωγή ηλεκτρισμού.

2.3.2.2 Αλκοολική ζύμωση και παραγωγή βιοαιθανόλης

Η αλκοολική ζύμωση είναι η διαδικασία από την οποία παράγεται η βιοαιθανόλη. Για την παραγωγή της χρειάζεται ορισμένου τύπου βιομάζα με μεγάλη περιεκτικότητα σακχάρου, αμύλου και κυτταρίνης. Το πλέον γνωστό υλικό για την παραγωγή βιοαιθανόλης είναι το σακχαροκάλαμο, το καλαμπόκι, το ξύλο, το άμυλο και άλλα δημητριακά. Το σάκχαρο εξάγεται από την βιομάζα με σύνθλιψη, ανάμιξη με νερό και μαγιά και παραμονή σε μεγάλους θερμαινόμενους αντιδραστήρες. Η μαγιά διασπά το σάκχαρο και το μετατρέπει σε αιθανόλη. Στη συνέχεια απαιτείται απόσταξη για την απομάκρυνση του νερού και άλλων ακαθαρσιών από το αραιωμένο

αλκοολούχο προϊόν. Η συμπυκνωμένη αιθανόλη αφαιρείται και υγροποιείται για χρήση σε μηχανές εσωτερικής καύσης.

Η Βραζιλία είναι η πλέον χαρακτηριστική περίπτωση επιτυχημένου προγράμματος αιθανόλης σε βιομηχανική κλίμακα, παράγοντας αιθανόλη από σακχαροκάλαμο. Το υπόλοιπο του φυτού μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως εξωτερική θερμότητα για την όλη διεργασία. Το στάδιο της απόσταξης διακρίνεται από μεγάλη ενεργειακή απώλεια, ιδιαίτερα το σύνθετο δευτερογενές στάδιο της απόσταξης που απαιτείται για την επίτευξη αιθανόλης με συμπύκνωση 99% ή μεγαλύτερη. Αυτό όμως αντισταθμίζεται με το γεγονός ότι το υγρό καύσιμο είναι εύκολο στη χρήση και η απαιτούμενη τεχνολογία σχετικά φθηνή και ώριμη. Το κόστος παραγωγής αιθανόλης είναι σήμερα της τάξεως του 1\$ το λίτρο.

Η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο κίνησης σε κινητήρες οχημάτων, ως έχει ή σε πρόσμιξη με βενζίνη. Παρά το γεγονός ότι, το κόστος της βιοαιθανόλης είναι υψηλότερο εκείνου της βενζίνης, η χρήση της ως καύσιμου κίνησης αυξάνει συνεχώς ανά τον κόσμο, με προεξάρχουσες τη Βραζιλία και τις ΗΠΑ. Αυτό συμβαίνει διότι αφ' ενός η βιοαιθανόλη είναι καθαρότερο καύσιμο από περιβαλλοντικής πλευράς και αφ' ετέρου δίνει διέξοδο στα γεωργικά προβλήματα. Για τους λόγους αυτούς η παραγωγή και χρήση της βιοαιθανόλης παρουσιάζουν εξαιρετικά ευνοϊκές προοπτικές για το μέλλον (<http://itia.ntua.gr/~nikos/energy/ene-biomass>).

2.3.3 Μετ-εστεροποίηση ή αλκοόλυση για παραγωγή βιοντήζελ

Είναι η διαδικασία μετατροπής των τριγλυκεριδίων του λαδιού σε μεθυλεστέρες (Methyl –ethyl ester) και επιτυγχάνεται με την προσθήκη μεθανόλης (θέρμανση μίγματος 80-90% λάδι και 10-20% μεθανόλη) και παρουσία καταλύτη (ισχυρή βάση) (<http://itia.ntua.gr/~nikos/energy/ene-biomass>)

2.3.4 Μηχανική παραγωγή βιοντήζελ

Για την παραγωγή βιοντήζελ χρησιμοποιείται κυρίως ως πρώτη ύλη την ελαιοκράμβη που καλλιεργείται στην Ευρώπη και αποτελεί το 85% της συνολικής παραγωγής, και ακολουθούν οι ηλιόσποροι, το φοινικέλαιο και οι σπόροι σόγιας. Η βιομηχανική διαδικασία παραγωγής περιλαμβάνει ξήρανση των σπόρων για μείωση της υγρασίας από 15% σε 9%, πλύσιμο των σπόρων και για ορισμένους σπόρους (πχ ηλιόσπορους) ξεφλούδισμα. Ακολουθεί θραύση ή λιοτρίβιση των σπόρων και

ρύθμιση υγρασίας και θερμοκρασίας στους 80 C. Στην συνέχεια ακολουθεί πρεσάρισμα για εξαγωγή του ελαίου. Στο στάδιο αυτό αφαιρείται περίπου το 75% του περιεχόμενου ελαίου το οποίο υφίσταται φιλτράρισμα για καθαρισμό και αφυδάτωση και οδηγείται σε περαιτέρω εξευγενισμό για την παραγωγή καθαρού φυτικού ελαίου (PPO) ή βιοντήζελ. Το στερεό υπόλειμμα που περιέχει το 25% του συνολικού ελαίου υφίσταται λιοτρίβιση και στη συνέχεια με την προσθήκη εξάνιου εξάγεται και το υπόλοιπο λάδι. Στην συνέχεια το εξάνιο απομακρύνεται από το παραγόμενο λάδι και επαναχρησιμο-ποιείται και ακολουθεί εξευγενισμός του παραγόμενου ελαίου με διαδικασίες αφαίρεσης των φωσφατιδίων, των οξέων του χρώματος των οσμών και της υγρασίας. Το τελικό προϊόν είναι το καθαρό φυτικό λάδι (PPO) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσιο ή να μετατραπεί σε βιοντήζελ με τη διαδικασία της μετ-εστεροποίησης ή αλκοόλυσης όπως έχει ήδη αναφερθεί πιο πάνω. (<http://itia.ntua.gr/~nikos/energy/ene-biomass>)

2.3.5 Συνθετικά καύσιμα, BtL

Ο όρος BtL σημαίνει “Biomass to Liquid” και αναφέρεται σε καύσιμα 2ης γενιάς που προέρχονται από τη σύνθεση του αερίου που προκύπτει από την αεριοποίηση της βιομάζας ή την αεριοποίηση της πίσσας από την αστραπιαία πυρόλυση. Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης (syngas) πρέπει να καθαριστεί ώστε να απομακρυνθούν υπολείμματα πίσσας και ανόργανων ενώσεων – διαδικασία παρόμοια με την καταλυτική διάσπαση του αργού πετρελαίου. Τα ενεργά συστατικά του αερίου σύνθεσης (CO and H₂) με τη διαδικασία Fischer-Tropsch (FT), που ανακαλύφθηκε το 1920 στη Γερμανία, αντιδρούν παρουσία καταλύτη και παράγουν υδρογονάνθρακες πετρελαίου πχ. SunDiesel, το πλέον διαδεδομένο καύσιμο που διατίθεται στην αγορά από την Daimler. (<http://itia.ntua.gr/~nikos/energy/ene-biomass.pdf>)

2.3.6 Αερόβια χώνευση και παραγωγή κομπόστ

Το κομπόστ είναι ένα σταθεροποιημένο οργανικό υλικό, αποτέλεσμα της αερόβιας αποικοδόμησης οργανικών υπολειμμάτων και της μετατροπής τους σε χούμο, με τη βοήθεια μικροοργανισμών. Η εκμετάλλευση του κομπόστ στη γεωργία είναι γνωστή εδώ και πολλά χρόνια. Προϋποθέτει ορισμένες γνώσεις και η ποιότητά του εξαρτάται κυρίως από το είδος και την ποιότητα των υλικών που προστίθενται στη φάση της κομποστοποίησης. Βέβαια, και άλλοι παράγοντες επιδρούν στο

ποιοτικό επίπεδο του κομπόστ, όπως ο τρόπος στοίβαξης, ο χώρος παρασκευής, η ταχύτητα αποδόμησης των υλικών, η πορεία της ζύμωσης, η ωρίμανση, η χουμοποίηση, κ. α.

Τα οργανικά υπολείμματα φυτικής και ζωικής προέλευσης περιέχουν αξιοποιήσιμες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων τα οποία χάνονται για τον παραγωγό. Η κομποστοποίηση παρέχει μια πρώτης τάξεως δυνατότητα αξιοποίησης των στοιχείων αυτών ενώ, είναι τόσο απλή που μπορεί να την πραγματοποιήσει ο παραγωγός στην ίδια του την επιχείρηση. Με τη χρήση της κομπόστας:

- Αξιοποιούμε πολύτιμη οργανική ύλη για την μακροπρόθεσμη αύξηση της γονιμότητας των εδαφών.
- Επειδή αποφεύγεται η καύση των υπολειμμάτων, μειώνεται ο κίνδυνος των πυρκαγιών και περιορίζεται η ατμοσφαιρική ρύπανση και το πρόβλημα της διάθεσης των οργανικών απορριμμάτων από τις μονάδες ζωικής παραγωγής.
- Εξοικονομούμε ενέργεια, χρήμα και εργασία (ενεργειακές εισροές), γιατί με τη σωστή εφαρμογή της κομπόστας διευκολύνονται ή περιορίζονται ορισμένες καλλιεργητικές επεμβάσεις όπως βοτανίσματα, σκαλίσματα, άρδευση ενώ παράλληλα πετυχαίνουμε ανώτερη ποιότητα προϊόντων (θρεπτική αξία, γεύση, άρωμα, αντοχή).
- Συντελούμε στην προστασία των υπόγειων νερών, των υδάτινων αποδεκτών και της θάλασσας από τον ευτροφισμό και εξοικονομούμε πολύτιμο νερό (http://library.tee.gr/digital/m2067/m2067_stoimenidis)

2.3.7 Διαδικασία παραγωγής σύμπηκτων

Τα σύμπηκτα (pellets) είναι μικρά κυλινδρικά τεμάχια συμπιεσμένης βιομάζας από διάφορες καλλιέργειες (δασική βιομάζα, υπολείμματα βιομηχανίας ξύλου πχ πριονίδια κτλ) σε διάφορα μεγέθη (διαμέτρου 3-25 mm και μήκους 5-40 mm). Η συμπίεση γίνεται σε ειδικά καλούπια, τα προϊόντα των οποίων έχουν πολύ μικρότερο όγκο από τον αρχικό και συνεπώς μεγαλύτερη σχέση ενεργειακού περιεχομένου προς όγκο. Είναι συνεπώς ευκολότερα στην αποθήκευση, στην μεταφορά και στην οδήγηση προς την καύση. Η ενεργειακή απόδοση είναι 0,30 kg pellets ανά kg κλαδέματος ενώ 1 τόνος pellets ισοδυναμεί με 0,43 ΤΙΠ. Η παραγωγή

των πελλετών (pellets) γίνεται σε αντίστοιχες μονάδες επεξεργασίας με την ακόλουθη διαδικασία:

Θρυμματισμός → Άλεση → Ξήρανση → Πελλετοποίηση → Ψύξη → Συσκευασία



Εικόνα 21: Διάφορα είδη σύμπηκτων

Η βιομηχανία παραγωγής καυστήρων πελλέτας έχει κάνει μεγάλα τεχνολογικά άλματα με αποτέλεσμα οι καυστήρες πελλέτας που κυκλοφορούν στο εμπόριο σήμερα να έχουν πολύ μεγάλη απόδοση, παρόμοια πλέον με την απόδοση των καυστήρων πετρελαίου (80-85%). (<http://itia.ntua.gr/~nikos/energy/ene-biomass>)

2.4 Κύριες εφαρμογές ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας

Οι κυριότερες εφαρμογές παραγωγής ενέργειας από βιομάζα είναι οι εξής:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κυρίως από καύση ξηρής βιομάζας φυτικών και δασικών υπολειμμάτων ή και χρήση βιοαερίου.
- Κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ψύξης θερμοκηπίων, γεωργικών και άλλων βιομηχανιών.
- Τηλεθέρμανση οικισμών και πόλεων για θέρμανση χώρων και εξασφάλιση ζεστού νερού διαμέσου δικτύου αγωγών μεταφοράς.
- Συμπαγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού μέσω συνδυασμένων κύκλων και εφαρμογή σε μεμονωμένα κτίρια ή και ολόκληρους οικισμούς
- Παραγωγή υγρών καυσίμων μέσω βιοχημικών διαδικασιών, για την κίνηση των οχημάτων.

- Παραγωγή θερμότητας ή και ηλεκτρισμού με την αναερόβια χώνευση βιοαερίου σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού ή χώρους υγειονομικής ταφής αποβλήτων (ΧΥΤΑ).



Εικόνα 22: Ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας

2.5 Πλεονεκτήματα της Βιομάζας

- Η βιομάζα είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και η χρήση της δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μπορεί να μειώσει τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, καθώς λειτουργεί ως χοάνη και μπορεί να αυξήσει τον άνθρακα που είναι δεσμευμένος στο έδαφος.
- Τα καύσιμα από βιομάζα έχουν αμελητέα ποσότητα θείου και συνεπώς οι εκπομπές διοξειδίου του θείου που προκαλούν όξινη βροχή δεν είναι σημαντικές.
- Παράγεται λιγότερη τέφρα κατά την διάρκεια της καύσης συγκριτικά με το κάρβουνο και αυτή η τέφρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο στο έδαφος για την ανακύκλωση υλικού όπως ο φώσφορος και η ποτάσα.
- Η μετατροπή αγροτικών και δασικών υποδειγμάτων, καθώς και αστικών στερεών αποβλήτων για ενεργειακή μετατροπή είναι μια αποδοτική χρήση αυτών των προϊόντων γιατί μειώνει τον όγκο των αποβλήτων προς διάθεση, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές.
- Η βιομάζα είναι τοπικό προϊόν, δεν υφίσταται τις διακυμάνσεις τιμής και την αβεβαιότητα του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, και μειώνει την εξάρτηση από τις χώρες που εξάγουν πετρέλαιο.

- Οι ενεργειακές φυτείες έχουν γενικά μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση από τις συμβατικές αγροτικές καλλιέργειες.

2.6 Περιορισμοί της Χρήσης Βιομάζας

- Η βιομάζα έχει μικρή ενεργειακή πυκνότητα και συνεπώς η μεταφορά της αυξάνει το κόστος και μειώνει το καθαρό ενεργειακό προϊόν. Απαιτούνται μεγάλοι όγκοι και αυτό κάνει την μεταφορά και αποθήκευση δύσκολη. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού θα πρέπει η όλη ενεργειακή διεργασία να εγκαθίσταται κοντά σε κάποια πηγή βιομάζας, όπως μονάδα επεξεργασίας ξύλου, χαρτιού, κλπ.
- Η ατελής καύση ξύλου παράγει αιωρούμενα σωματίδια, μονοξειδίο του άνθρακα και άλλα οργανικά αέρια. Αν η θερμοκρασία είναι υψηλή, έχουμε και παραγωγή οξειδίων του αζώτου. Σε μικρότερη κλίμακα, η χρήση βιομάζας μέσα στα σπίτια είναι παράγοντας αέριας ρύπανσης.
- Υπάρχει η περίπτωση η χρήση δασών για ενεργειακή παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα να οδηγήσει σε αποψίλωση των δασών και τοπική έλλειψη καυσόξυλων, με σοβαρές οικολογικές και κοινωνικές συνέπειες. Τέτοιες περιπτώσεις είναι περιοχές όπως το Νεπάλ, μέρη της Ινδίας, η Νότιος Αμερική και η Αφρική στις περιοχές νότια της Σαχάρας.
- Η εκμετάλλευση της βιομάζας έρχεται σε αντίθεση με άλλες χρήσεις της γης και των νερών, όπως π.χ. παραγωγή τροφίμων. Παρ' όλα αυτά θεωρείται ότι υπάρχει δυνατότητα, με την χρήση σύγχρονων γεωργικών τεχνικών, να γίνουν δασικές καλλιέργειες ακόμα και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όπως είναι η Ευρώπη.

Στο σημερινό στάδιο η χρήση της βιομάζας για κάποιες εφαρμογές όπως παραγωγή ηλεκτρισμού δεν είναι πλήρως ανταγωνιστική σε οικονομικό επίπεδο. Οι αυξανόμενες ανάγκες για οικονομικότερα καύσιμα και η συνεχώς αυξανόμενη μέριμνα για το περιβάλλον οδηγούν στην διαπίστωση ότι η βιομάζα θα είναι σε θέση στο άμεσο μέλλον να διαδραματίσει ένα σημαντικό ρόλο ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. (<http://imarinakiss.webs.com/notes.biomass.htm>)

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

3.1 Πλεονεκτήματα των τεχνολογιών βιοαερίου – βιομάζας

Η παραγωγή και η χρήση βιομάζας και βιοαερίου παρέχουν πολλά περιβαλλοντικά και κοινωνικο-οικονομικά οφέλη για την κοινωνία ως σύνολο και για τους εμπλεκόμενους γεωργούς. Η παραγωγή τους ενισχύει τις τοπικές οικονομίες, εξασφαλίζει θέσεις εργασίας στις αγροτικές περιοχές και αυξάνει την αγοραστική δύναμη. Επίσης, βελτιώνει το βιοτικό επίπεδο και συμβάλλει στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη.

3.2 Οφέλη για την κοινωνία

3.2.1 Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας

Η παγκόσμια ενεργειακή τροφοδοσία εξαρτάται σήμερα ιδιαίτερα από τις ορυκτές πηγές ενέργειας (αργό πετρέλαιο, λιγνίτης, λιθάνθρακας, φυσικό αέριο). Οι πηγές αυτές είναι τα απολιθωμένα κατάλοιπα νεκρών φυτών και ζώων, που έχουν εκτεθεί σε θερμότητα και πίεση στο φλοιό της γης κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων ετών. Για το λόγο αυτό, τα ορυκτά καύσιμα είναι μη ανανεώσιμοι πόροι και τα αποθέματα τους μειώνονται πολύ γρηγορότερα απ' ότι διαμορφώνονται νέα. Οι οικονομίες σε όλο τον κόσμο σήμερα εξαρτώνται από το αργό πετρέλαιο. Υπάρχει κάποια διαφωνία μεταξύ των επιστημόνων για το πόσο θα διαρκέσει αυτό το ορυκτό καύσιμο, αλλά σύμφωνα με κάποιους ερευνητές, έχει ήδη επέλθει η «πετρελαϊκή αιχμή»* ή αναμένεται να επέλθει πολύ σύντομα.

**Ως πετρελαϊκή αιχμή ορίζεται “το χρονικό σημείο κατά το οποίο έχει επιτευχθεί ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής αργού πετρελαίου παγκοσμίως, μετά από το οποίο ο ρυθμός παραγωγής αρχίζει να φθίνει”*

Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, το βιοαέριο από την ΑΧ αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καθώς έχει παραχθεί από βιομάζα, η οποία είναι μία έμβια αποθήκη της ηλιακής ενέργειας μέσω της φωτοσύνθεσης. Το βιοαέριο από την ΑΧ δεν βελτιώνει μόνο το ενεργειακό ισοζύγιο μιας χώρας αλλά συμβάλλει σημαντικά στη διατήρηση των φυσικών πόρων και στην προστασία του περιβάλλοντος.

3.2.2 Συμβολή στη μείωση των εκπομπών των υπεύθυνων αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου και της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας (ΑΦΘ)

Η χρήση των ορυκτών καυσίμων, όπως είναι ο λιγνίτης, ο λιθάνθρακας, το αργό πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, μετατρέπει τον άνθρακα που είναι αποθηκευμένος για εκατομμύρια έτη στο φλοιό της Γης και τον απελευθερώνει ως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) στην ατμόσφαιρα. Η αύξηση της υφιστάμενης συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα προκαλεί την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας ως αποτέλεσμα του φαινομένου του θερμοκηπίου (ΑΦΘ). Η καύση του βιοαερίου επίσης απελευθερώνει CO_2 , αλλά η κύρια διαφορά του με τα ορυκτά καύσιμα, είναι ότι ο άνθρακας στο βιοαέριο ελήφθη πρόσφατα από την ατμόσφαιρα, από τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών. Έτσι, ο κύκλος άνθρακα του βιοαερίου είναι κλειστός σε ένα βραχύ χρονικό διάστημα (από ένα έως λίγα έτη). Η παραγωγή βιοαερίου από την ΑΧ μειώνει επίσης τις εκπομπές του μεθανίου (CH_4) και του νιτρώδους οξειδίου (N_2O) λόγω της αποθήκευσης και χρήσης της ζωικής στερεής κοπριάς ως εδαφοβελτιωτικό. Το δυναμικό ΑΦΘ του μεθανίου είναι 23 φορές και του νιτρώδους οξειδίου 296 φορές υψηλότερο απ' ό,τι του διοξειδίου του άνθρακα. Η χρήση του βιοαερίου υποκαθιστά τα ορυκτά καύσιμα από την παραγωγή ενέργειας και τις μεταφορές και μειώνει έτσι τις εκπομπές του CO_2 , του CH_4 και του N_2O , συμβάλλοντας στο να μετριαστεί η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου.

3.2.3 Μειωμένη εξάρτηση από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα

Τα ορυκτά καύσιμα είναι περιορισμένα και συγκεντρώνονται σε πολύ λίγες γεωγραφικές περιοχές του πλανήτη. Το γεγονός αυτό, δημιουργεί για τις χώρες που βρίσκονται εκτός αυτών των περιοχών ένα μόνιμο και μη ασφαλές αίσθημα εξάρτησης από τις εισαγωγές ενεργειακών πόρων. Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες έχουν σημαντική εξάρτηση από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων από περιοχές πλούσιες σε αυτά, όπως είναι η Ρωσία ή η Μέση Ανατολή. Η ανάπτυξη και υλοποίηση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως είναι το βιοαέριο και η βιομάζα, στηριζόμενα σε εθνικούς και περιφερειακούς πόρους, αυξάνει την αειφορία και την ασφάλεια του εθνικού ενεργειακού εφοδιασμού και μειώνει την εξάρτηση από τις εισαγωγές ενέργειας.

3.2.4 Συμβολή στους στόχους της Ε.Ε. για την ενέργεια και την προστασία του περιβάλλοντος

Η αντιμετώπιση της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι μια από τις κύριες προτεραιότητες της ενεργειακής και της περιβαλλοντικής πολιτικής της ΕΕ. Οι ευρωπαϊκοί στόχοι για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμους πόρους, τη μείωση των εκπομπών ΑΦΘ και την αειφόρο διαχείριση των αποβλήτων στηρίζονται στη δέσμευση των χωρών μελών της ΕΕ να εφαρμόσουν τα κατάλληλα μέτρα για να τους επιτύχουν. Η παραγωγή και η χρήση βιομάζας και βιοαερίου ικανοποιούν και τους τρεις αυτούς στόχους συγχρόνως.

3.2.5 Μείωση των αποβλήτων

Τα υπολείμματα των καλλιεργειών, τα στερεά ή υγρά ζωικά, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα συμβάλλοντας, με τη χρήση τους ως πρώτη ύλη για την ΑΧ, στην παραγωγή βιοαερίου μετατρέπουν το μειονέκτημα της δυσκολίας διαχείρισης των απορριμμάτων των μεγάλων αστικών κέντρων σε πλεονέκτημα μειώνοντας τον όγκο των αποβλήτων και τη δαπάνη διάθεσής τους μετατρέποντάς τα σε ένα πολύτιμο ενεργειακό πόρο. Πολλές ευρωπαϊκές χώρες αντιμετωπίζουν τεράστια προβλήματα που σχετίζονται με μια υπερπαραγωγή οργανικών αποβλήτων από τη βιομηχανία, τον γεωργικό τομέα και τα νοικοκυριά. Η παραγωγή βιοαερίου είναι ένας άριστος τρόπος συμμόρφωσης με τους όλο και περισσότερο περιοριστικούς εθνικούς και ευρωπαϊκούς κανονισμούς στον τομέα της αξιοποίησης των οργανικών αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας, ενώ το χωνεμένο υπόστρωμα ανακυκλώνεται ως εδαφοβελτιωτικό.

3.2.6 Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Η παραγωγή βιομάζας και κατ' επέκταση βιοαερίου από την ΑΧ απαιτεί εργατικό δυναμικό κατάλληλο να εφαρμόσει μια σειρά ενεργειών όπως την καλλιέργεια, τη συλλογή και μεταφορά της πρώτης ύλης, την κατασκευή του τεχνικού εξοπλισμού, τη λειτουργία και συντήρηση των μονάδων παραγωγής βιοαερίου. Αυτό σημαίνει ότι η ανάπτυξη της βιομάζας και του βιοαερίου σε εθνικό επίπεδο συμβάλλει στη δημιουργία νέων επιχειρήσεων, κάποιων με σημαντικό οικονομικό δυναμικό, αυξάνει τα εισοδήματα στις αγροτικές περιοχές και δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας.

3.2.7 Ευέλικτη και αποδοτική η τελική χρήση βιοαερίου και βιομάζας

Το βιοαέριο και η βιομάζα αποτελούν ευέλικτο ενεργειακό φορέα, κατάλληλο για πολλές διαφορετικές εφαρμογές. Μία από τις απλούστερες εφαρμογές είναι το μαγείρεμα, ο φωτισμός και η θέρμανση αλλά σε πολλές χώρες χρησιμοποιούνται και για συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ). Επίσης με την αναβάθμιση του το βιοαέριο τροφοδοτεί τα δίκτυα φυσικού αερίου και χρησιμοποιείται πλέον ως καύσιμο οχημάτων ή σε κυψέλες καυσίμου.

3.2.8 Χαμηλές ανάγκες σε νερό κατά την αναερόβια χώνευση

Ακόμα και όταν συγκρίνεται με άλλα βιοκαύσιμα, το βιοαέριο έχει μερικά πλεονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι ότι για να γίνει η διεργασία της ΑΧ χρειάζεται τη μικρότερη ποσότητα νερού. Αυτή η πτυχή είναι τόσο σημαντική όσο η ενεργειακή αποδοτικότητα του βιοαερίου, λόγω των αναμενόμενων μελλοντικών ελλείψεων υδάτινων πόρων σε πολλές περιοχές του κόσμου.

Αντίστοιχα οι καλλιέργειες ενεργειακών φυτών για την παραγωγή βιομάζας παρουσιάζουν μεγάλες αποδόσεις με μικρές απαιτήσεις άρδευσης και θρεπτικών στοιχείων.

3.3 Οφέλη για τους γεωργούς

3.3.1 Πρόσθετη πηγή εσόδων για τους εμπλεκόμενους γεωργούς

Η παραγωγή βιομάζας ως πρώτη ύλη για τη λειτουργία των μονάδων βιοαερίου καθιστά τις τεχνολογίες του βιοαερίου οικονομικά ελκυστικές για τους γεωργούς και συμβάλλει στην αύξηση του εισοδήματός τους. Επίσης, οι γεωργοί αποκτούν ένα νέο και σημαντικό κοινωνικό ρόλο ως προμηθευτές ενέργειας και ως υπεύθυνοι για την επεξεργασία των αποβλήτων.

3.3.2 Χρήση του χωνεμένου υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικό

Μια μονάδα παραγωγής βιομάζας ή βιοαερίου δεν λειτουργεί μόνο ως προμηθευτής ενέργειας. Το χωνεμένο υπόστρωμα που παράγεται είτε από την αερόβια χώνευση (κομπόστ) είτε από την αναερόβια χώνευση που συνήθως ονομάζεται “χωνεμένο υπόλειμμα είναι πολύτιμο εδαφοβελτιωτικό εδάφους, πλούσιο σε άζωτο, φώσφορο, κάλιο και θρεπτικούς μικροοργανισμούς, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί στα εδάφη με το συνηθισμένο εξοπλισμό εφαρμογής της υγρής κοπριάς.

Σε σχέση με την ακατέργαστη ζωική στερεή κοπριά, το κομπόστ και το χωνεμένο υπόλειμμα από την ΑΧ έχουν καλύτερη αναλογία C/N και βελτιωμένη αποδοτικότητα λίπανσης λόγω της ομοιογένειας και της υψηλότερης διαθεσιμότητας θρεπτικών συστατικών. Επίσης είναι απαλλαγμένο από τυχόν παθογόνους μικροοργανισμούς και συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μεγαλύτερη ασφάλεια στις καλλιέργειες. Παράλληλα, βελτιώνονται και οι συνθήκες υγιεινής για τις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις και μειώνονται τα προβλήματα λόγω οσμών, ιδίως σε περιπτώσεις όπου οι εκμεταλλεύσεις βρίσκονται κοντά στους οικισμούς.

3.3.3 Κλειστός κύκλος θρεπτικών συστατικών

Από την παραγωγή της πρώτης ύλης βιομάζας, έως την εφαρμογή του χωνεμένου υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικό, το βιοαέριο που παράγεται από την ΑΧ παρέχει ένα κλειστό κύκλο θρεπτικών συστατικών και άνθρακα. Το μεθάνιο (CH₄) χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα και ξαναδεσμεύεται από τα φυτά κατά τη φάση της φωτοσύνθεσης. Μερικές ενώσεις άνθρακα παραμένουν στο χωνεμένο υπόλειμμα, βελτιώνοντας την περιεκτικότητα σε άνθρακα των εδαφών κατά την εφαρμογή του ως εδαφοβελτιωτικό. Η παραγωγή βιοαερίου μπορεί να ενσωματωθεί τέλεια στη συμβατική και οργανική γεωργία, όπου το χωνεμένο υπόλειμμα αντικαθιστά τα χημικά λιπάσματα, που παράγονται με την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.

3.3.4 Ευελιξία χρήσης διαφορετικών πρώτων υλών

Πολλοί διαφορετικοί τύποι πρώτης ύλης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή του βιοαερίου: στερεή ζωική και υδαρής κοπριά, υπολείμματα καλλιεργειών, οργανικά απόβλητα από την παραγωγή γαλακτοκομικών, τις βιομηχανίες τροφίμων και τις αγροτοβιομηχανίες, ιλύς υγρών αποβλήτων, οργανικό κλάσμα των δημοτικών στερεών αποβλήτων, τα οργανικά απόβλητα από τα νοικοκυριά και τις επιχειρήσεις εστίασης, ενεργειακές καλλιέργειες. Βιοαέριο μπορεί επίσης να συλλεχθεί, με ειδικές εγκαταστάσεις, από τις χωματερές.

Ένα κύριο πλεονέκτημα της παραγωγής βιοαερίου είναι η δυνατότητα χρήσης διάφορων τύπων «υγρής βιομάζας» ως πρώτη ύλη, που χαρακτηρίζονται από περιεχόμενο υγρασίας περισσότερο από 60-70% (π.χ. ιλύς από επεξεργασία λυμάτων, ζωική υδαρής κοπριά, ιλύς επίπλευσης από την επεξεργασία τροφίμων).

Τα τελευταία χρόνια, ένα πλήθος από ενεργειακές καλλιέργειες (σιτηρά, αραβόσιτος, ελαιοκράμβη), χρησιμοποιήθηκαν κατά ένα μεγάλο μέρος ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου σε χώρες όπως η Αυστρία ή η Γερμανία. Εκτός από αυτές, όλα τα είδη γεωργικών υπολειμμάτων και οι κατεστραμμένες καλλιέργειες, αυτές δηλαδή που είναι ακατάλληλες για βρώση ή δεν αναπτύχθηκαν σωστά ή επηρεάστηκαν από δυσμενείς καιρικές συνθήκες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή σύμπηκτων (pellets), βιοαερίου και εδαφοβελτιωτικού. Ένας αριθμός ζωικών υποπροϊόντων, μη κατάλληλων για κατανάλωση από ανθρώπους, μπορούν επίσης να υποβληθούν σε επεξεργασία στις μονάδες βιοαερίου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Μονάδες μέτρησης που αναφέρθηκαν στην εργασία

1 British Thermal Unit (BTU) = 1 055 J

1 cal = 4,18 J

1 cubic meter (m³) = 1 000 liter (L)

1 Joule (J) = 1 Watt second = 278 x 10⁻⁶ Wh

1Wh = 3 600 J

Gigawatt (GW) = 1 million kW

Kilowatt (kW) = 1 000 Watts

Megawatt (MW) = 1 000 kW

Terawatt (TW) = 1 thousand million kW

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΑ

ΑΧ - Αναερόβια Χώνευση

ΑΦΘ - Αέρια Φαινομένου του Θερμοκηπίου

ΕΑ&Ε - Έρευνα, Ανάπτυξη και Επίδειξη

ΕΕΧΠ - Ελάχιστος Εγγυημένος Χρόνος Παραμονής

ΕΠΕΚ - Ειδικού Προορισμού Ενεργειακές Καλλιέργειες

Λόγος C:N - Λόγος Άνθρακα προς Άζωτο

ΞΟ - Ξηρά Ουσία

ΟΠΕΚ- Οργανισμός Εξαγωγών Πετρελαιοπαραγωγών Χωρών

ΟΞΟ - Οργανικό μέρος της Ξηρής Ουσίας (DM = Dry Matter)

ΣΗΘ - Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

ΥΧΠ - Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής

BOD - Βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biological Oxygen Demand)

COD - Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand)

FF - Φρέσκια Πρώτη Ύλη (Fresh Feedstock)

kWh - Κιλοβατώρα

kWhel - Ηλεκτρική κιλοβατώρα

ppm - Μέρη στο εκατομμύριο (1ppm = 0,0001%)

TS - Ολικά Στερεά (Total Solids)

VFA - Πτητικά Λιπαρά Οξέα (Volatile Fatty Acids)

VS - Πτητικά Στερεά (Volatile Solids)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανδρεαδάκης, Α. Κατσίρη, Α. Μαρμάς, Δ. (2001). Τεχνολογία Αντιμετώπισης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων/Επεξεργασία και Διάθεση Αποβλήτων, Τόμος Α, Εκδόσεις ΕΑΠ, Πάτρα, Ελλάδα

<http://itia.ntua.gr/~nikos/energy/enebiomass.pdf>

ΕΥΔΑΠ, Ενεργειακά έργα στην Ψυττάλεια «Συμπαράγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με αξιοποίηση του Βιοαερίου και με Φυσικό αέριο»

www.eydap.gr/media/politismos/entypa

Ζαφείρης, Χ. MSc, (2012), Υπεύθυνος Δέσμης έργων Βιοαερίου, ΚΑΠΕ

www.helbio.gr/sites/default/files/biogas-General

Ζαφείρης Χ. MSc, (2012), Υπεύθυνος Δέσμης έργων Βιοαερίου, ΚΑΠΕ

www.scribd.com/doc/116558486/ΔΕΛΤΙΟ-Τεύχος-451-Αύγουστος-Σεπτέμβριος-2012

Giovanni Riva, Ester Forrapedretti, Carla de Carolis, (2008) «Ενεργειακή Αποδοτικότητα και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας-Υποστήριξη των Ενεργειακών Πολιτικών σε Τοπικό Επίπεδο» - ENER SUPPLY, Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, εκδόσεις ΚΑΠΕ, Αθήνα, Ελλάδα

www.ener-sypply.gr

Σανδάλης Ι., (2012), «Παραγωγή Βιοαερίου από Αναερόβια χώνευση απορριμμάτων», Μεταπτυχιακή Εργασία ΕΜΠ, Αθήνα

http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/.../3/sandalisi_biogas.pdf

Σιούλας Κωνσταντίνος, Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Michael Kottner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen, (2010). Εγχειρίδιο Βιοαερίου, Εκδόσεις ΚΑΠΕ, Αθήνα, Ελλάδα

www.big-east.eu

Φίνος Λ., (2010), «Ενεργειακά φυτά και Βιοκαύσιμα», Πτυχιακή Εργασία, Θεσσαλονίκη

<http://hdl.handle.net/10184/2205>

Χαραλαμπόπουλος Δ., «Ενέργεια από τη Βιομάζα», Τμήμα Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Αιγαίου

<http://imarinakiss.webs.com/notes.biomass.htm>

ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων «Συμπαράγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας στο ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων με τη χρήση Βιοαερίου»

www.biofuel.gr/biogas_liosia.html