

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
*ΤΟΜΕΑΣ **ΒΙΟΜΑΖΑ***
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ»

Μπαρμπετσέα Ιωάννα

Επιβλέπων Καθηγητής
Κατσίγιαννης Ιωάννης

ΧΑΝΙΑ 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέπων καθηγητή μου κύριο Ιωάννη Κατσίγιαννη για την ενθάρρυνση του στην ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, καθώς επίσης και στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. Ιωάννης Κατσίγιαννης, Καθηγητής
2. Εμμανουήλ Καραπιδάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής
3. Εμμανουήλ Μαραβελάκης, Καθηγητής Εφαρμογών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζει τους τύπους της βιομάζας καθώς και τα κύρια χαρακτηριστικά της. Επίσης εξετάζει τις διάφορες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία της βιομάζας, καθώς επίσης και τις εφαρμογές της σε διάφορους τομείς. Τέλος τις επιπτώσεις αξιοποίησης της βιομάζας, όπως και το ισχύων νομοθετικό πλαίσιο στα πλαίσια των ευρωπαϊκών δεσμεύσεων.

ABSTRACT

This thesis examines the types of biomass and its main characteristics . It also examines the various technologies used for processing of biomass , as well as its applications in various fields. Finally investigates the effects of biomass utilization as well as the current legislative framework in the context of European commitments.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ

1.1	Εισαγωγή.....	08
1.2	Τύποι Βιομάζας.....	09
1.3	Βασικά Χαρακτηριστικά Βιομάζας.....	10
1.3.1	Περιεκτικότητα σε τέφρα.....	10
1.3.2	Περιεκτικότητα σε υγρασία.....	12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

2.1.	Άμεση Καύση Βιομάζας.....	15
2.2	Πυρόλυση Βιομάζας.....	16
2.2.3	Ταχεία Πυρόλυση.....	18
2.3	Ανθρακοποίηση Βιομάζας.....	19
2.4	Αεριοποίηση Βιομάζας.....	21
2.4.1	Κύριοι Τύποι Αεριοποιητών Βιομάζας.....	23
2.4.1.1	Συστήματα Σταθερής Κλίνης.....	23
2.4.1.2	Συστήματα Ρευστοποιημένης Κλίνης.....	25
2.4.1.3	Συστήματα Εξαναγκασμένης Ροής.....	25
2.5	Σύγκριση Αεριοποίησης με άλλες μεθόδους ηλεκτροπαραγωγής από βιομάζα.....	26
2.5.1	Αεριοποίηση έναντι Καύσης.....	26
2.5.2	Αεριοποίηση έναντι Πυρόλυσης.....	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

3.1	Αναερόβια Διάσπαση.....	30
3.1.1	Βασικές Διεργασίες κατά την Αναερόβια Ζύμωση.....	31

3.2	Η Παραγωγή Βιοαερίου στη χώρα μας.....	32
-----	----------------------------------------	----

3.3	Αλκοολική Ζύμωση.....	35
-----	-----------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

4.1	Παραγωγή Φυτικών Ελαίων και των Εστέρων τους από Βιομάζα.....	36
-----	---------------------------------------------------------------	----

4.2	Πρώτες ύλες για τη παραγωγή Βιοντίζελ.....	37
-----	--------------------------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΠΕΛΕΤΕΣ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ & ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΑΛΓΗ

5.1	Πελέτες από Βιομάζα – Οικονομικό και περιβαλλοντικά φιλικό καύσιμο.....	41
-----	-------------------------------------------------------------------------	----

5.2	Τα στάδια παραγωγής των Πελετών – Προεπεξεργασία της Βιομάζας.....	42
-----	--------------------------------------------------------------------	----

5.3	Η αγορά πελετών στην Ελλάδα – Σύνοψη και δυνατότητες.....	45
-----	-----------------------------------------------------------	----

5.4	Ενέργεια από Άλγη.....	46
-----	------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΚΥΡΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

6.1	Χρήση της βιομάζας για παραγωγή θερμότητας.....	48
-----	-------------------------------------------------	----

6.2	Θέρμανση κτιρίων με βιομάζα.....	48
-----	----------------------------------	----

6.3	Χρήση της βιομάζας με τηλεθέρμανση.....	49
-----	-----------------------------------------	----

6.4	Παραγωγή ενέργειας σε βιοτεχνίες ξύλου.....	49
-----	---------------------------------------------	----

6.5	Θέρμανση θερμοκηπίων.....	50
-----	---------------------------	----

6.6	Παραγωγή βιοαερίου από τους χώρους υγειονομικής ταφής στερεών απορριμμάτων.....	50
-----	---------------------------------------------------------------------------------	----

6.7	Παραγωγή βιοαερίου από την ιλύ που παράγεται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων.....	50
-----	---------------------------------------------------------------------------------------------------	----

6.8	Χρήση βιομάζας για συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού.....	51
-----	----------------------------------------------------------------	----

6.9	Δημιουργία ενεργειακών φυτειών.....	51
-----	-------------------------------------	----

6.10	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα στερεά απορρίμματα πτηνοτροφικών μονάδων.....	54
------	------------------------------------------------------------------------------------	----

6.11	Καύση της βιομάζας μαζί με στερεά συμβατικά καύσιμα.....	55
------	----------------------------------------------------------	----

6.12	Παραγωγή ασβέστη με καύσιμη ύλη γεωργικά υπολείμματα.....	55
------	-----------------------------------------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - Επιπτώσεις της Ενεργειακής Αξιοποίησης της Βιομάζας

7.1	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.....	56
7.2	Οικονομικές επιπτώσεις.....	57
7.3	Κοινωνικές επιπτώσεις.....	57
7.4	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – Νομοθετικό Πλαίσιο

8.1	Ευρωπαϊκές οδηγίες για τη Βιομάζα.....	60
8.1.1	Γενική Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για τα βιοκαύσιμα.....	60
8.2	Το πρωτόκολλο του Κιότο.....	60
8.3	Ευρωπαϊκές δεσμεύσεις – κανόνας 20-20-20.....	61
8.4	Ελληνική Νομοθεσία για τη Βιομάζα.....	62
8.4.1	Νόμος 3468/2006 (ΦΕΚ 129Α/27-06-2006).....	62
8.4.2	Νόμος 3851/2010 (ΦΕΚ 85Α/04-06-2010).....	63
8.4.3	Μέτρα στήριξης και ανάπτυξης της ελληνική οικονομίας στο πλαίσιο εφαρμογής του Ν. 4046/2012 και άλλες διατάξεις.....	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9.1	Συμπεράσματα.....	65
-----	-------------------	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	67
-------------------	----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	
-----------	--

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Ενέργεια από Βιομάζα

1.1 Εισαγωγή

Με τον όρο βιομάζα εννοούμε όλη την οργανική ύλη που προέρχεται από τα φυτά συμπεριλαμβάνοντας τα άλγη, τα δέντρα και τις φυτείες.

Βιομάζα είναι η φυτική ύλη που προέρχεται από τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης όταν συντελείται η αντίδραση μεταξύ CO₂, νερού και ηλιακού φωτός και παρουσία χλωροφύλλης ώστε να παραχθούν υδατάνθρακες που είναι το βασικό δομικό στοιχείο της βιομάζας. Η παραγωγή της γίνεται σύμφωνα με την αντίδραση:



Τυπικά με την φωτοσύνθεση μετατρέπεται λιγότερο από το 1% της διαθέσιμης, αποθηκευμένης ηλιακής ενέργειας σε χημική ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μέσω της φωτοσύνθεσης αποθηκεύεται στους χημικούς δεσμούς των δομικών μερών της βιομάζας. Εάν η βιομάζα κατεργαστεί αποτελεσματικά, είτε χημικά, είτε βιολογικά αποσπώντας την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στους χημικούς δεσμούς της και η προκύπτουσα ενέργεια αντιδράσει με το οξυγόνο, τότε συντελείται οξείδωση του άνθρακα και παράγεται CO₂ και νερό. Η διαδικασία είναι κυκλική καθώς το CO₂ είναι τότε διαθέσιμο να παράγει καινούρια βιομάζα.

Η ενεργειακή αξία ενός συγκεκριμένου τύπου βιομάζας εξαρτάται από τις χημικές και φυσικές ιδιότητες των μορίων απ' τα οποία συντίθεται. Το ανθρώπινο είδος επί χιλιετίες εκμεταλλευόταν την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σ' αυτούς τους χημικούς δεσμούς με το να χρησιμοποιεί τη βιομάζα ως καύσιμο και τρεφόμενος από τα φυτά για το θρεπτικό τους περιεχόμενο σε σάκχαρα και άμυλο. Στη πιο πρόσφατη ιστορία η απολιθωμένη βιομάζα εξορύχτηκε για να χρησιμοποιηθεί ως κάρβουνο και πετρέλαιο. Ωστόσο, χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να μετατραπεί η βιομάζα σε ορυκτά καύσιμα, τα οποία δεν ανανεώνονται στα πλαίσια μιας χρονικής κλίμακας που το ανθρώπινο είδος θα μπορούσε να αξιοποιήσει. Με τη καύση των ορυκτών καυσίμων χρησιμοποιείται η απολιθωμένη βιομάζα που μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο με τη σειρά του συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κι έτσι εξαντλείται ένας μη ανανεώσιμος φυσικός πόρος. Με τη καύση της «πρόσφατης» βιομάζας δεν προστίθεται καινούριο διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα διότι η αναφύτευση και συγκομιδή της εξασφαλίζει την απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα και την επιστροφή του σ' ένα νέο κύκλο ανάπτυξης.

Ένας σημαντικός παράγοντας που συχνά παραβλέπεται σε σχέση με τη χρήση της βιομάζας ως μέσο εξάλειψης της παγκόσμιας υπερθέρμανσης είναι ο χρόνος υστέρησης μεταξύ της στιγμιαίας απελευθέρωσης διοξειδίου του άνθρακα από την

κάυση ορυκτών καυσίμων και της τελικής του πρόσληψης ως βιομάζα, γεγονός που απαιτεί αρκετά χρόνια. Ένα από τα διλήμματα του αναπτυσσόμενου κόσμου είναι η ανάγκη να αναγνωρίσει αυτό το χρόνο υστέρησης και να λάβει την ανάλογη δράση ώστε να τον μετριάσει. Τέλος η κατανάλωση των πόρων βιομάζας ως καύσιμο χρήζει και τα ανάλογα προγράμματα αναφύτευσής της ώστε να αποτελεί έναν ανανεώσιμο φυσικό πόρο.

1.2 Τύποι Βιομάζας

Στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό εμπεριέχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα σ' αυτήν περιλαμβάνονται:

- Οι φυτικές ύλες που προέρχονται από τα φυτικά οικοσυστήματα όπως τα αυτοφυή φυτά και τα δάση.
- Οι ενεργειακές καλλιέργειες γεωργικών και δασικών ειδών δηλαδή τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό τη παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας.
 - i. Στις παραδοσιακές καλλιέργειες συμπεριλαμβάνονται το σιτάρι, το κριθάρι, ο αραβόσιτος, τα ζαχαρότευτλα και ο ηλίανθος για τη παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλης και βιοντίζελ).
 - ii. Στις δασικές ενεργειακές καλλιέργειες περιλαμβάνονται ο ευκάλυπτος και η ψευδακακία.
 - iii. Στις γεωργικές αντίστοιχα είναι το καλάμι, ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα, το γλυκό και κυτταρινούχο σόργο, το κενάφ και η ελαιοκράμβη.
- Υποπροϊόντα και κατάλοιπα φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής όπως τα άχυρα, στελέχη αραβοσίτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα.
- Βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.



Εικόνα 2 Καλλιέργεια αγριαγκινάρας

1.3 Βασικά Χαρακτηριστικά Βιομάζας

Ανεξαρτήτως της πηγής προέλευσής της, οι διεργασίες μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια επηρεάζονται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της.

Οι ιδιότητες που θεωρούνται περισσότερο καθοριστικές είναι:

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

1.3.3 Περιεκτικότητα σε υγρασία

Περιεκτικότητα σε υγρασία ορίζεται ως η ποσότητα νερού που βρίσκεται στη βιομάζα και μετράται ως ποσοστό επί του βάρους του υλικού. Η περιεκτικότητα σε υγρασία έχει πολύ βασική επίδραση στην ενεργειακή μετατροπή της βιομάζας, είτε πρόκειται για θερμοχημική μετατροπή, είτε για βιοχημική. Για να γίνει αντιληπτή η επίδραση της συγκεκριμένης ιδιότητας στη ποιότητα της βιομάζας σημειώνεται ότι η αύξησή της από το 0 μέχρι το 40% μειώνει τη θερμογόνο δύναμή της κατά 66%.

Η υγρασία μπορεί να κυμαίνεται από λιγότερο του 10%, για κάποια αγροτικά υπολείμματα όπως το άχυρο και τα τσόφλια, μέχρι πάνω από 60% π.χ. για τη βαγιάση. Το ξύλο, το οποίο είναι βασική πηγή μεγάλων ποσοτήτων βιομάζας, έχει κατά μέσο όρο υγρασία μεταξύ 40% με 50%. Η βιομάζα που προέρχεται από κτηνοτροφικά απόβλητα όπως η κοπριά ή από οργανικά απόβλητα όπως το τυρόγαλα έχει γενικά πολύ υψηλή υγρασία, γεγονός που τη καθιστά ευκολότερη στη μεταφορά της μέσω αντλιών.

Η σύγκυση στη χρήση της περιεκτικότητας σε υγρασία προέρχεται από τους διαφορετικούς τρόπους που μπορεί να εκφραστεί: είτε σε υγρή βάση ή σε ξηρή βάση. Καθώς η υγρασία επιδρά σημαντικά στις διεργασίες ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας, η βάση επί της οποίας μετράται πρέπει να δηλώνεται πάντα ξεκάθαρα. Ο συχνότερος τρόπος έκφρασης της υγρασίας της βιομάζας είναι σε υγρή βάση.

Οι βιοχημικές διεργασίες (αναερόβια χώνευση) απαιτούν υλικά με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία ώστε να επιτύχουν την αποδοτική μετατροπή τους σε ενέργεια, σε αντίθεση με τις θερμοχημικές (καύση) όπου η υψηλή υγρασία έχει

αρνητική επίδραση στην ενεργειακή απόδοσή τους. Η αεριοποίηση, αν και κατατάσσεται στις θερμοχημικές διεργασίες, απαιτεί κάποια υγρασία από την πρώτη ύλη, καθώς με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η περιεκτικότητά του σε υδρογόνο στο τελικό προϊόν (αέριο σύνθεσης). Καθώς το υδρογόνο εκλύει σημαντική ενέργεια κατά τη καύση του, είναι επιθυμητό σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αναλογία στο αέριο σύνθεσης. Εκτιμάται ότι βιομάζα με περιεκτικότητα σε υγρασία μικρότερη από 30% αυξάνει ελάχιστα, μόνο, τη συνολική απόδοση.

Αναφορικά με τη βιομάζα που λαμβάνεται από τη γεωργία (είτε αυτούσια ή ως παραπροϊόν) η περιεκτικότητα σε υγρασία της βιομάζας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες κατά τη περίοδο συλλογής της.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι συνήθεις περιεκτικότητες σε υγρασία (κατά υγρή βάση) μερικών εκ των σημαντικότερων πηγών βιομάζας.

Πίνακας 1.3: Συνήθεις υγρασία για διάφορες πηγές βιομάζας (σε υγρή βάση)

Πηγή Βιομάζας	Περιεκτικότητα σε υγρασία
Θρύμματα ξύλου	10-60%
Pellets ξύλου	8-12%
Άχυρο	20-30%
Πριονίδι	15-60%
Υπολείμματα βαμβακιού	10-20%
Switchgrass	30-70%
Βαγάσση	40-60%
Κοπριά αγελάδας	88-94%
Κοπριά χοίρου	90-97%

Κοπριά πουλερικού	75-80%
Τυρόγαλα	93-97%
Ενσίρωμα καλαμποκιού	65-75%
Γλυκό σόργο	20-70%
Αγριαγκινάρα	15-20%

1.3.4 Περιεκτικότητα σε τέφρα

Η ποσότητα και η σύσταση της τέφρας (στάχτη) στη βιομάζα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι η προέλευση της βιομάζας, οι συνθήκες καλλιέργειας και συλλογής της, το είδος της λίπανσης της καλλιέργειας, την αποθήκευσή της και τις συνθήκες μεταφοράς της.

Σημαντικός είναι και ο ρόλος της προεπεξεργασίας της βιομάζας πριν την εισαγωγή της στη διεργασία μετατροπής της σε καύσιμα ή ενέργεια. Η πλειοψηφία των παραπάνω παραγόντων είναι διαχειρίσιμη, οπότε είναι πιθανή η μείωση υψηλών τιμών τέφρας σε αποδεκτό επίπεδο. Η περιεκτικότητα σε τέφρα μπορεί να είναι χαρακτηριστική είτε της ίδιας της βιομάζας είτε να μεταβάλλεται κατά τη συλλογή, μεταφορά, αποθήκευση και επεξεργασία της. Συνεπώς, η τιμή της περιεκτικότητας σε τέφρα μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά από τη μια πηγή βιομάζας στην άλλη. Σε κάθε περίπτωση, υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα έχει αρνητική επίπτωση στην ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.

Ο βασικότερος λόγος για τον οποίο είναι επιθυμητή η λιγότερη τέφρα έχει να κάνει με την επίδρασή της στο ενεργειακό περιεχόμενο της βιομάζας. Σε αντιστοιχία με την υγρασία, καθώς η τέφρα είναι ένας τρόπος εκτίμησης την μη καύσιμης ανόργανης ύλης της βιομάζας, επιδρά σημαντικά στο ενεργειακό περιεχόμενό της. Βασικά αυτές οι δυο παράμετροι ευθύνονται περισσότερο για τις διαφοροποιήσεις της ενέργειας κάθε βιομάζας: εάν τέφρα και υγρασία δεν ληφθούν υπόψη, τότε οι περισσότερες πηγές βιομάζας θα έχουν παραπλήσιο ενεργειακό περιεχόμενο. Για να γίνει πρακτικά κατανοητή η επίδραση της τέφρας, εκτιμάται πως το ενεργειακό περιεχόμενο υπολειμματικής φυτικής βιομάζας με μηδενική τέφρα και υγρασία είναι περίπου 4,7 kWh/kg. Εάν η υγρασία αυξηθεί στο 15% και η τέφρα παραμείνει στο μηδέν, το ενεργειακό περιεχόμενο μειώνεται στις 4,2 kWh/kg. Αν στη τελευταία περίπτωση αυξηθεί και η τέφρα στο 2% υπάρχει περαιτέρω μείωση του περιεχομένου στα 3,9 kWh/kg. Τέλος, βιομάζα με υγρασία 15% και τέφρα 10% έχει ενεργειακό περιεχόμενο

περίπου 3,6 kWh/kg. Πρέπει να σημειωθεί ότι η περιεκτικότητα σε τέφρα πρέπει να συγκρίνεται για υλικά με την ίδια υγρασία.

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

Σε διεργασίες βιοχημικής μετατροπής οι μηχανισμοί επίδρασης της τέφρας δεν έχουν ξεκαθαριστεί πλήρως. Εντούτοις, έχει αποδειχθεί ότι ανόργανα συστατικά μπορούν να δράσουν ανασταλτικά στη ζύμωση της βιομάζας καθώς και στην αναερόβια χώνευση αποβλήτων.

Όσον αφορά τα pellets βιομάζας, έχει διατυπωθεί επίσημα η ανάγκη για εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε τέφρα pellets ώστε να καλύπτουν τις εθνικές και ευρωπαϊκές προδιαγραφές ποιότητας. Όσο λιγότερη η τέφρα τόσο μικρότερες ποσότητες στάχτης παράγονται στα οικιακά συστήματα θέρμανσης προς όφελος της ευκολίας των καταναλωτών. Σε περίπτωση που τα pellets παράγονται από καθαρή ξυλεία δεν είναι δύσκολο να επιτευχθούν τα χαμηλά ποσοστά τέφρας, καθώς και το ίδιο το καθαρό ξύλο περιέχει ελάχιστη τέφρα (λιγότερο από 1%). Αντιθέτως, τα περισσότερα αγροτικά υπολείμματα έχουν πολύ μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε τέφρα, γι' αυτό και είναι αναγκαία η θέσπιση προτύπων για τα αγροτικά pellets που θα λαμβάνουν υπ' όψιν τον περιορισμό αυτό.

Η περιεκτικότητα σε τέφρα ορισμένων πηγών βιομάζας παρουσιάζεται στον **Πίνακα 1.3.1**

Πίνακας 1.3.1: Περιεκτικότητα σε τέφρα πηγών βιομάζας

Πηγή Βιομάζας	Περιεκτικότητα σε τέφρα (%κ.β σε ξηρή βάση)
Υπολείμματα βαμβακιού	7%
Άχυρο σιταριού	4%
Ξύλο λεύκας	1%

Ενέργεια από Βιομάζα και Εφαρμογές

Switchgrass	4%
Ξύλο ελάτης	1%
Άχυρο κριθαριού	6%
Υπολείμματα ρυζιού	13%
Υπολείμματα σακχαροκάλαμου	11%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Θερμοχημικές Μετατροπές Βιομάζας

2.1. Άμεση Καύση της Βιομάζας

Είναι η απλούστερη και η πιο ανεπτυγμένη από όλες τις διαδικασίες αξιοποίησης της βιομάζας. Χρησιμοποιούνται ξηρά απόβλητα και υπολείμματα από δάση, αγροκτήματα και πόλεις. Επίσης, βιομηχανίες που παράγουν υφάσματα ή προϊόντα χαρτιού χρησιμοποιούν τα απόβλητά τους για τη παραγωγή ατμού, ηλεκτρισμού ή θερμότητας, ενώ τέλος χρησιμοποιούνται ξύλα για θέρμανση σπιτιών σε κατάλληλες θερμάστρες. Μια σημαντική διαφορά στη καύση της βιομάζας από του άνθρακα, είναι ότι περισσότερο από τα 3/4 της ενέργειάς της βρίσκεται στα πτητικά συστατικά της, ενώ για τον άνθρακα το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο από το 50 %.

Κατά την άμεση καύση εγείρεται πρόβλημα τόσο από το ότι τα καύσιμα αυτά έχουν υψηλή υγρασία και είναι ογκώδη, όσο και από τη ρύπανση που προκαλούν λόγω των αερίων και στερεών που εκλύονται. Για βιομηχανική εφαρμογή χρησιμοποιούνται ειδικοί καυστήρες/λέβητες με κατάλληλο σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου ενώ επιχειρείται επίσης κατάλληλη τυποποίηση της α' ύλης (τεμαχισμός και πύκνωση). Τα τυποποιημένα καύσιμα ορίζονται RDF (Refuse Derived Fuels) ενώ σε περίπτωση που επιπλέον υφίστανται πύκνωση ορίζονται ως d-RDF (densified RDF). Προσφέρονται πέντε μέθοδοι πύκνωσης της βιομάζας:

1. κυλινδροποίηση, κατά την οποία παράγονται μικρά τεμάχια κυλινδρικού σχήματος (pellets), διαμέτρου 3-13 mm.
2. κυβοποίηση, που χρησιμοποιείται κυρίως για τη μορφοποίηση του άχυρου ή χαρτιού και κατά την οποία παράγονται κύβοι ακμής 25-50 mm.
3. πλινθοποίηση, για παραγωγή ακόμη μεγαλύτερων τεμαχίων (μπρικέτες)
4. εξώθηση, κατά την οποία προστίθεται και πίσσα ή παραφίνη για τη συνοχή των σωματιδίων και την ενίσχυση της θερμογόνου τους.
5. περιστροφή/συμπύεση, όπου το υλικό (π.χ. άχυρα) συμπιέζεται μεταξύ τεσσάρων περιστρεφόμενων κυλίνδρων για παραγωγή συνεχούς κυλινδρικού υλικού διαμέτρου 13-18 cm που κόβεται ανά 10-30 cm.

Αξίζει να σημειωθεί ότι καύσιμο RDF παράγεται και στη χώρα μας, στο Εργοστάσιο Ανακύκλωσης στα Άνω Λιόσια, το οποίο μετατρέπει σχεδόν το 1/3 των απορριμμάτων της Αττικής σε ανακυκλώσιμα υλικά. Συγκεκριμένα το εργοστάσιο δέχεται καθημερινά 1380 τόνους απορρίμματα, 300 τόνους λάσπης (από τη Ψυτάλλεια) και 130 τόνους κλαδιά και χόρτα. Μετά από κατάλληλη επεξεργασία

παράγει ημερήσια 370 τόνους RDF ως σύνθεση πλαστικού και χαρτιού, αλλά και 360 τόνους κομπόστ (εδαφοβελτιωτικό), 40 τόνους σιδηρούχα υλικά που χρησιμοποιούνται στη χαλυβουργία και 5 τόνους αλουμίνιου. Την ευθύνη λειτουργίας έχει ο ΕΣΔΚΝΑ (Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων & Κοινοτήτων Νομού Αττικής) ο οποίος παρέχει το RDF στις τσιμεντοβιομηχανίες ως εναλλακτικό καύσιμο, και ένα μέρος το χρησιμοποιεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συγκεντρωτικά στοιχεία τροφοδοσίας και προϊόντων της μονάδας αυτής δίνονται στον Πίνακα 2.1. Από τον πίνακα προκύπτει ότι το τελικό βάρος υλικών προς διάθεση στον ΧΥΤΑ υποπενταπλασιάζεται.



Εικόνα 3 Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης Άνω Λιοσίων

Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικά Εργοστασίου Ανακύκλωσης Άνω Λιοσίων

ΠΙΝ	τόνοι/ημέρα	%	ΜΕΤΑ	τόνοι/ημέρα	%
Απορρίμματα	1380	76,24	RDF	370	20,44
Λάσπη	300	16,57	Κομπόστ	360	19,89
Κλαδιά-Χόρτα	130	7,18	Σιδηρούχα	40	2,21
ΣΥΝΟΛΟ	1810	100	Αλουμίνιο	10	0,55
			Υγρασία	670	37,02
			Για ΧΥΤΑ	360	19,89
			ΣΥΝΟΛΟ	1810	100

2.2 Πυρόλυση Βιομάζας

Είναι η απλούστερη και παλαιότερη τεχνολογία επεξεργασίας ενός καυσίμου για την παραγωγή ενός καλύτερου. Για την ώρα είναι και η πλέον ελκυστική τεχνολογία επεξεργασίας της βιομάζας. Η βιομάζα θερμαίνεται απουσία αέρα ή με τη μερική καύση μέρους αυτής, με περιορισμένη όμως παροχή αέρα ή οξυγόνου. Τα προϊόντα εμφανίζουν εξαιρετική ποικιλία, ενώ η απόδοση της πυρόλυσης μπορεί να φθάνει υψηλές τιμές της τάξης του 80-90% (ορίζεται ως το πηλίκο της θερμότητας καύσεως των προϊόντων προς τη θερμότητα καύσεως της βιομάζας που χρησιμοποιήθηκε ως πρώτη ύλη). Στα προϊόντα συμπεριλαμβάνονται αέρια, ατμοί, υγρά-έλαια και στερεά

πίσσα, ενώ η συγκεκριμένη σύνθεσή τους εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τον τύπο της πρώτης ύλης που υφίσταται κατεργασία και τη διαδικασία που εφαρμόζεται.

Στόχος της πυρόλυσης είναι να παραχθούν δευτερογενή καύσιμα καταλληλότερα, καθαρότερα ή πιο εύκολα μεταféρσιμα από την αρχική βιομάζα, αλλά και χημικά προϊόντα για άλλες χρήσεις. Πρώτη ύλη μπορεί να είναι ξυλεία, υπολείμματα βιομάζας, αστικά απορρίμματα ή κάρβουνο. Ας σημειωθεί ότι η παραδοσιακή παραγωγή ξυλάνθρακα είναι και αυτή μια διεργασία πυρόλυσης, κατά την οποία όμως δεν συλλέγονται τα αέρια και οι ατμοί.

Πριν από την πυρόλυση τα οργανικά υλικά διαχωρίζονται από τα ανόργανα (γυαλί, μέταλλα, άκαυστα), ξηραίνονται (στους αεριοποιητές αποφεύγεται η πλήρης ξήρανση της τροφοδοσίας), τεμαχίζονται και αποθηκεύονται για χρήση. Η πυρόλυση πραγματοποιείται σε αεροστεγή κάμινο, όπου εφαρμόζεται θέρμανση (απουσία οξυγόνου) σε θερμοκρασία (απουσία οξυγόνου) σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 600 °C. Διακρίνονται τα εξής τέσσερα στάδια θερμοκρασιών και επιμέρους διεργασιών:

- | | | |
|-----|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) | 100 έως 120 °C | Η τροφοδοσία ξηραίνεται και η υγρασία απομακρύνεται μέσα από την κλίση του αντιδραστήρα. |
| (2) | 275 °C | Τα εξερχόμενα αέρια είναι κυρίως N ₂ , CO, και CO ₂ . αποστάζουν επίσης το οξικό οξύ και η μεθανόλη. |
| (3) | 280 έως 350 °C | Λαμβάνουν χώρα εξώθερμες αντιδράσεις παράγοντας πολύπλοκα μίγματα χημικών (κετόνες, αλδεΐδες, φαινόλες, εστέρες), CO ₂ , CO, CH ₄ , C ₂ H ₆ και H ₂ . Οι αντιδράσεις αυτές μπορούν να συμβούν και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, εφόσον χρησιμοποιηθούν καταλύτες (π.χ. ZnCl ₂). |
| (4) | άνω των 350 °C | Απομακρύνονται όλα τα πτητικά, παράγεται μεγαλύτερο ποσοστό H ₂ μαζί με το CO και ο άνθρακας παραμένει ως ξυλάνθρακας μαζί με τη τέφρα ως υπόλειμμα. |

Στα προϊόντα της πυρόλυσης διακρίνουμε:

- (α) Στερεό κάρβουνο. Οι σύγχρονοι αποστακτήρες που λειτουργούν στους 600 °C αποδίδουν ξυλάνθρακα περίπου 25-35% της ξηρής βιομάζας. Ο ξυλάνθρακας που παράγεται έχει άνθρακα σε ποσοστό 75-85% και θερμογόνο 30 MJ/kg.
- (β) Υγρά. Τα συμπυκνώματα των ατμών που παράγονται δεν ξεπερνούν το 30% της τροφοδοσίας, ή σε όγκο τα 400 l ανά τόνο ξηρής τροφοδοσίας.

Διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: (α) την κολώδη φαινολική πίσσα (κρεοζώτο ή πισσέλαιο) και (β) υδατικό διάλυμα που λέγεται πυρολιγνικό οξύ αποτελείται από οξικό οξύ, μεθανόλη (έως 2%) και ακετόνη. Μπορούν να διαχωριστούν στα επιμέρους συστατικά ή να χρησιμοποιηθούν μαζί ως καύσιμο με θερμογόνο περίπου 22 MJ/kg.

- (γ) Αέρια. Τα παραγόμενα αέρια περιέχουν κυρίως N₂, H₂ και CO, και μικρά ποσά CH₄ και CO₂. Έχουν θερμογόνο 5 έως 10 MJ/kg (ή 4 έως 8 MJ/m³ ΥΚΣ) και μπορούν να φθάνουν έως τα 80% της τροφοδοσίας (σε αεριοποιητές).

Πίνακας 2.1 Προϊόντα πυρόλυσης ξηρού ξύλου
(απόδοση ανά 1000 kg ξύλου)

Ξυλάνθρακας	300 kg
Αέρια	140 m ³ (ΥΚΣ)
Μεθυλική αλκοόλη	141
Οξικό Οξύ	531
Εστέρες	81
Ακετόνη	31
Ξυλέλαιο και ελαφρά πίσσα	761
Πισσέλαιο (κρεοζώτο)	121
Πίσσα	30 kg

2.2.1 Ταχεία Πυρόλυση

Η ταχεία πυρόλυση της βιομάζας (biomass fast pyrolysis) είναι μια διεργασία κατά την οποία η πρώτη ύλη θερμαίνεται ταχύτατα σε θερμοκρασίες 450-500 °C σε συνθήκες έλλειψης αέρα, οπότε και οξυγόνου.

Σε αυτές τις συνθήκες παράγονται ατμοί οργανικών ενώσεων, μη συμυκνώσιμα αέρια και ρευστή πίσσα. Οι ατμοί των οργανικών ενώσεων στη συνέχεια συμυκνώνονται παράγοντας το έλαιο πυρόλυσης (pyrolysis oil) ή βιοέλαιο (bio-oil). Στις συνήθεις περιπτώσεις, περίπου 50-75% κατά βάρος της τροφοδοτούμενης βιομάζας μετατρέπεται σε έλαιο πυρόλυσης.

Το τεράστιο πλεονέκτημα της διεργασίας είναι ότι μετατρέπει οποιαδήποτε προβληματική στη διαχείριση βιομάζα, διαφορετικής προέλευσης, σε ένα καθαρό και ομοιογενές υγρό καύσιμο. Το έλαιο πυρόλυσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, καυσίμων ή χημικών προϊόντων. Η ενεργειακή πυκνότητα του ελαίου (δηλαδή η ενέργεια που αποδίδει ανά μονάδα όγκου) είναι έως 5 φορές μεγαλύτερη από εκείνη της αρχική βιομάζας, γεγονός που προσφέρει ουσιαστικά διαχειριστικά πλεονεκτήματα. Επιπρόσθετο πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα χρήσης του ελαίου σε υψηλότερης απόδοσης στροβίλους παραγωγής ενέργειας. Τέλος η δυνατότητα μεταφοράς του καυσίμου από το σημείο παραγωγής του σε διαφορετικό σημείο παραγωγής ενέργειας παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στο σύστημα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας μειώνοντας αποφασιστικά τις απώλειες του δικτύου.

Μεγάλη ποικιλία διαφορετικών ειδών βιομάζας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διεργασία. Για την επιτυχημένη μετατροπή της βιομάζας είναι απαραίτητη η προεπεξεργασία της: τεμαχισμός σε ομοιόμορφα μικρά κομμάτια (μικρότερα από 10 mm) και ξήρανσή της ώστε η υγρασία της να είναι μικρότερη από 10%. Με ορθό ενεργειακό σχεδιασμό της μονάδας πυρόλυσης, η απαιτούμενη θερμότητα για τη ξήρανση της βιομάζας μπορεί να προέλθει από την ίδια την μονάδα, μειώνοντας έτσι τα λειτουργικά της κόστη και ενισχύοντας το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα.

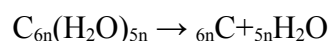
Τα πλεονεκτήματα που συνοδεύουν την τεχνολογία ταχείας πυρόλυσης της βιομάζας έχουν οδηγήσει σε ραγδαία αύξηση των ερευνητικών προσπαθειών στο αντικείμενο. Ως επιστέγασμα των προσπαθειών αυτών, έρχεται η εμφάνιση των πρώτων μονάδων πυρόλυσης της βιομάζας, σε εμπορική πλέον κλίμακα. Στην Αλμπέρτα του Καναδά, για παράδειγμα βρίσκεται στη φάση του σχεδιασμού και της αδειοδότησης η μεγαλύτερη μονάδα παραγωγής ενέργειας από πυρόλυση βιομάζας. Η συγκεκριμένη μονάδα θα επεξεργάζεται 400 τόνους βιομάζας ημερησίως (κυρίως πριονίδι και chips ξύλου) ενώ αναμένεται ότι θα παράγει αρκετή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να καλυφθούν πλήρως οι ετήσιες ανάγκες 3.800 κατοίκων.

2.3 Ανθρακοποίηση Βιομάζας

Το κάρβουνο που χρησιμοποιείται ευρύτατα στις αναπτυσσόμενες χώρες σαν καύσιμο παράγεται με την ανθρακοποίηση της βιομάζας. Η ανθρακοποίηση είναι μια διεργασία όπου το ξύλο θερμαίνεται παρουσία αέρα σε αναλογία μικρότερη από τη στοιχειομετρική και σαν προϊόν παράγεται το κάρβουνο καθώς και υγρά και αέρια παραπροϊόντα.

Η ανθρακοποίηση γίνεται στα εξής τέσσερα στάδια:

- i. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τη ξήρανση του ξύλου που πρόκειται να ανθρακοποιηθεί και καταναλώνει ενέργεια. Η θερμοκρασία είναι περίπου 200 °C.
- ii. Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει τη φάση της προανθρακοποίησης και συντελείται σε θερμοκρασίες 170-300 °C, ενώ παράγονται υγρά και αέρια προϊόντα. Το στάδιο αυτό απαιτεί επίσης τη κατανάλωση ενέργειας.
- iii. Το τρίτο στάδιο που παράγει ενέργεια γίνεται σε θερμοκρασίες 250-300 °C. Στο στάδιο αυτό εκλύονται υγρά και αέρια παραπροϊόντα, ενώ το ξύλο ανθρακοποιείται πλήρως.
- iv. Στο τέταρτο στάδιο σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 300 °C απομακρύνονται όλες οι πτητικές ουσίες από το κάρβουνο και το προϊόν είναι τώρα έτοιμο. Η βασική χημική αντίδραση της βιομάζας κατά την ανθρακοποίηση είναι:



Ενώ ταυτόχρονα γίνονται και παράλληλες αντιδράσεις

Μετά το πέρας της ανθρακοποίησης το κάρβουνο ψύχεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Οι ιδιότητες του κάρβουνου εξαρτώνται από:

- α) Την υγρασία της βιομάζας
- β) Τον τύπο του ξύλου και τη χημική αντίδραση
- γ) Τη θερμοκρασία της ανθρακοποίησης

Η σύσταση κάρβουνου ικανοποιητικής ποσότητας είναι:

Άνθρακας περισσότερο από 70%

Πτητικές ουσίες 25%

Στάχτη 5%

Η πυκνότητά του κυμαίνεται περίπου 250-300 kg/m³, ενώ η θερμιδική του αξία είναι 25 MJ/kg με τα 15 MJ/kg του ξύλου.

Ο τελικός όγκος του παραγόμενου κάρβουνου είναι περίπου το 50% του αρχικού όγκου του ανθρακοποιημένου ξύλου.

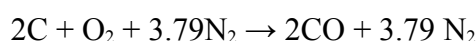
Υπάρχουν διάφορα συστήματα ανθρακοποίησης της βιομάζας, τα οποία είναι συνήθως απλή κατασκευής. Η διάρκεια της διαδικασίας ανθρακοποίησης είναι συνήθως 2-20 ημέρες, ενώ η απόδοση κυμαίνεται σε 15-25% (βάρος παραγόμενου κάρβουνου σε σχέση με το αρχικό ξηρό βάρος του ξύλου)

2.4 Αεριοποίηση της Βιομάζας

Η αεριοποίηση της βιομάζας είναι μια ενδόθερμη θερμική διεργασία κατά την οποία η στερεή βιομάζα μετατρέπεται σε καύσιμο αέριο. Το καύσιμο προϊόν της διεργασίας αεριοποίησης ονομάζεται αέριο σύνθεσης (syngas).

Το παραγόμενο αυτό αέριο αποτελεί μίγμα πολλών καυσίμων αερίων όπως μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα (CO, CO₂), υδρογόνο (H₂), μεθάνιο (CH₄), υδρατμοί (H₂O), ίχνη υδρογονανθράκων (C₂H₆, C₂H₄) και άζωτο (N₂) σε περίπτωση που για τη διεργασία χρησιμοποιείται αέρας και όχι καθαρό οξυγόνο. Πέραν των παραπάνω ενώσεων στο αέριο προϊόν εμφανίζονται και διάφοροι επιμολυντές κυριότεροι εκ των οποίων είναι σωματίδια πίσσας, τέφρα, αμμωνία, οξέα και σύνθετοι υδρογονάνθρακες.

Η βασική χημική αντίδραση κατά την αεριοποίηση της βιομάζας, η οποία γίνεται σε περισσότερα του ενός στάδια είναι:

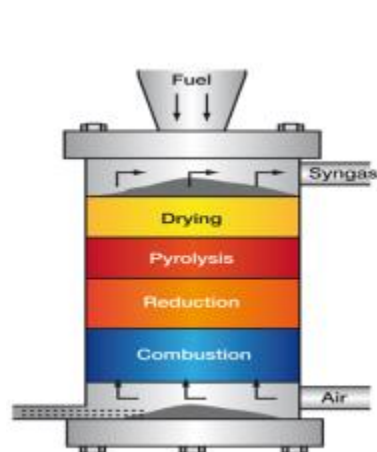


Το προκύπτον αέριο έχει την εξής σύνθεση:

Πίνακας 2.3 – Σύνθεση syngas

CO ₂	3%
C _x H _y	<0,1%
O ₂	0,9%
CO	28,7%
H ₂	3,8%
CH ₄	0,2%
N ₂	63%

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



Από χημικής πλευράς, η διεργασία της αεριοποίησης της βιομάζας είναι αρκετά σύνθετη και περιλαμβάνει, κατά σειρά, τα ακόλουθα επιμέρους στάδια: αποσύνθεση της οργανικής βιομάζας σε μη συμπυκνώσιμο αέριο, υδρατμούς και πίσσα, θερμική διάσπαση των ατμών σε αέριο σύνθεσης και πίσσα, αεριοποίηση της πίσσας και μερική οξείδωση του αερίου σύνθεσης, των ατμών και της πίσσας. Η απαιτούμενη θερμότητα για την αεριοποίηση της βιομάζας παρέχεται από τη καύση μέρους της αρχικής ποσότητας της βιομάζας.

Εικόνα 4 Παραγωγή αερίου σύνθεσης (syngas) μέσω αεριοποίησης

Καθοριστικό ρόλο στη διεργασία αεριοποίησης έχει και το είδος της φυτικής βιομάζας. Οι ιδιότητές της μπορεί να διαφέρουν σημαντικά αναλόγως τη προέλευση της βιομάζας, με άμεση συνέπεια στην τεχνολογία της διεργασίας και την βιωσιμότητα της μονάδας. Οι παράμετροι της βιομάζας που εξετάζονται περισσότερο είναι η υγρασία του υλικού, η περιεκτικότητά της σε τέφρα, η στοιχειακή της ανάλυση, η θερμογόνο δύναμη της, η πυκνότητα και η κοκκομετρία της.

Αναφορικά με το είδος και τον σχεδιασμό του αντιδραστήρα αεριοποίησης, οι παραλλαγές και η κατηγοριοποίησή τους, ύστερα από πολλές δεκαετίες έρευνας στη τεχνολογία αεριοποίησης είναι πολλές. Έτσι, οι αντιδραστήρες αυτοί διακρίνονται ανάλογα με το μέσο αεριοποίησης (αέρας, οξυγόνο ή ατμός), τον τρόπο παροχής της απαιτούμενης θερμότητας (αυτοθερμικοί ή αλλοθερμικοί αεριοποιητές), την πίεση λειτουργίας (ατμοσφαιρικοί ή υπό πίεση αντιδραστήρες) και τον σχεδιασμό τους (σταθερής ή ρευστοποιημένης κλίνης).

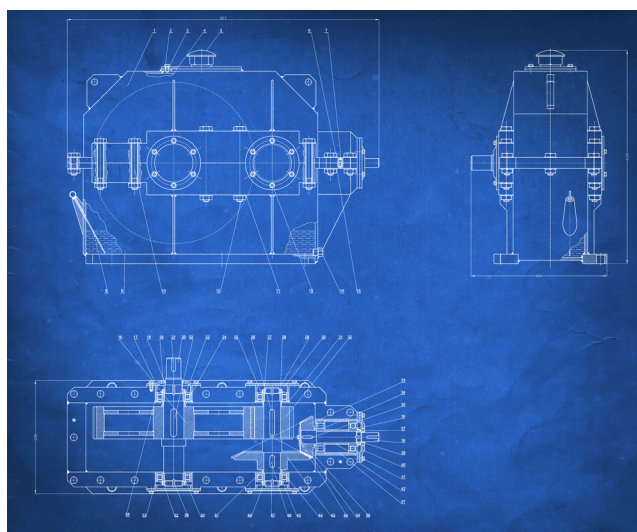
Πρέπει να τονισθεί ότι το αέριο σύνθεσης δεν χρησιμοποιείται απευθείας καθώς εξέρχεται από τον αντιδραστήρα στις μηχανές παραγωγής ενέργειας. Είναι απαιτούμενη η προεπεξεργασία του ώστε να μειωθούν οι ποσότητες των ακαθαρσιών που περιέχονται σε αυτό (πίσσα, αμμωνία, θείο) καθώς και η ψύξη του. Παράλληλα, εκτός του αερίου σύνθεσης, η διεργασία παράγει και κάποιες ποσότητες πίσσας (η ποσότητα της οποίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το είδος της

βιομάζας). Εξαιτίας της υψηλού θερμογόνου δύναμής της, ως βέλτιστος τρόπος διαχείρισης της πίτσας θεωρείται η ενεργειακή εκμετάλλευσή της εντός της μονάδας αεριοποίησης.

Αναμφίβολα η αεριοποίηση της βιομάζας είναι μια τεχνολογία πιο πολύπλοκη και με λιγότερες εμπορικές εφαρμογές, σε σχέση με τη συνήθη καύση της βιομάζας. Τα πλεονεκτήματα όμως, που παρουσιάζει, με κυριότερο όλων την πολύ μεγάλη αύξηση της ενεργειακής απόδοσης της μονάδας, έχει οδηγήσει στον διαρκή πολλαπλασιασμό τέτοιου είδους μονάδων στην “αιχμή της τεχνολογίας”, τα τελευταία χρόνια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της εξέλιξης είναι ότι το 2008, η μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας μέσω αεριοποίησης βιομάζας στη Yamagata της Ιαπωνίας, βραβεύθηκε ως η καλύτερη μονάδα παραγωγής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές παγκοσμίως, στα πλαίσια του φημισμένου συνεδρίου Power Gen Asia. Η συγκεκριμένη μονάδα έχει ισχύ 2 MWe και επεξεργάζεται 60 τόνους chips ξύλου ημερησίως.

2.4.1 Κύριοι Τύποι Αεριοποιητών βιομάζας

Τα συστήματα αεριοποίησης γενικά διακρίνονται σε τρεις κύριους τύπους, ανάλογα με την αρχή λειτουργίας του αεριοποιητή:



Εικόνα 5 Αεριοποιητής Σταθερής Κλίνης

2.4.1.1 Συστήματα Σταθερής Κλίνης

Στους σταθερής κλίνης αεριοποιητές βιομάζας η πρώτη ύλη τροφοδοτείται στον αντιδραστήρα από την κορυφή του, μέσω ενός ανοίγματος στην κεφαλή του, και κινείται προς τα κάτω με βαρύτητα. Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο το μέσο αεριοποίησης (αέρας, οξυγόνο ή ατμός) εισάγεται στον αντιδραστήρα, τα σταθερής κλίνης συστήματα διακρίνονται στους αεριοποιητές αναρροής (updraft) και τους αεριοποιητές κατωρροής (downdraft). Σε γενικές γραμμές, η αποδιδόμενη ισχύς των

updraft αεριοποιητών είναι λιγότερο από 10 MW ενώ για τους downdraft είναι λιγότερο από 2 MW.

Στην περίπτωση των updraft αεριοποιητών, το μέσο αεριοποίησης και το παραγόμενο καύσιμο αέριο σύνθεσης (syngas) διατηρούν αντίθετη ροή στον αντιδραστήρα σε σύγκριση με την πρώτη ύλη βιομάζας. Δηλαδή, όταν η βιομάζα εισάγεται από την κορυφή του αντιδραστήρα με καθοδική ροή, το μέσο αεριοποίησης εισάγεται από τα κάτω με ανοδική κίνηση. Ομοίως με το μέσο αεριοποίησης, το παραγόμενο syngas έχει ανοδική ροή. Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του τύπου αεριοποιητή είναι η αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας στον αντιδραστήρα. Το υψηλής θερμοκρασίας syngas πριν εξέλθει από τον αεριοποιητή, έρχεται σε επαφή με το εισερχόμενο υλικό βιομάζας (που κινείται προς τα κάτω στον αντιδραστήρα) μειώνοντας την περιεκτικότητά του σε υγρασία. Με την εν λόγω ανταλλαγή θερμότητας που λαμβάνει χώρα, το αέριο σύνθεσης ψύχεται σημαντικά στη ροή του μέσα από τον όγκο της βιομάζας. Η θερμοκρασία του στην έξοδο του από τον αντιδραστήρα είναι περίπου 250 °C (στους downdraft αεριοποιητές είναι περίπου 800 °C). Με δεδομένου ότι το θερμικό περιεχόμενο του syngas αξιοποιείται, εν μέρει, ώστε να στεγνώσει η βιομάζα, η ευαισθησία του συστήματος στην περιεκτικότητα σε υγρασία είναι μικρότερη απ' ό,τι στους άλλους αεριοποιητές. Από την άλλη πλευρά όμως, η κατ' αντιστροφή κίνηση της βιομάζας και του αερίου σύνθεσης έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή αερίου καυσίμου με υψηλότερη περιεκτικότητα σε πίσσα.



Εικόνα 6 Αεριοποιητής τύπου downdraft

Στους downdraft αεριοποιητές, το μέσο αεριοποίησης έχει την ίδια κατεύθυνση ροής, όπως και η βιομάζα εισόδου. Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης ομοίως διατηρεί μια προς τα κάτω ροή. Λόγω του γεγονότος ότι τα αέρια προϊόντα από το στάδιο της πυρόλυσης διέρχονται στη συνέχεια μέσα από τη ζώνη οξείδωσης, η συγκέντρωση της πίσσας στο αέριο σύνθεσης που σχηματίζεται είναι μικρότερη απ' ό,τι στη περίπτωση των updraft αεριοποιητών. Η διαδικασία της αεριοποίησης στους downdraft αεριοποιητές είναι ευκολότερο να ελεγχθεί, αλλά είναι πολύ πιο ευαίσθητη στην ποιότητα της πρώτης ύλης βιομάζας.

Για παράδειγμα, ενώ στη περίπτωση των updraft αεριοποιητών μπορεί να γίνει επεξεργασία βιομάζας με περιεκτικότητα υγρασίας μέχρι 50%, στους downdraft ένα εύρος περιεκτικότητας σε υγρασία μεταξύ 10 και 25 % είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική παραγωγή αερίου.

Λόγω των ξεχωριστών πλεονεκτημάτων που συνοδεύει τους δυο διαφορετικούς τύπου αεριοποιητών σταθερής κλίνης, γίνονται διαρκώς πολλές προσπάθειες ώστε να συνδυαστούν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά των updraft και των downdraft αεριοποιητών.

2.4.1.2 Συστήματα Ρευστοποιημένης Κλίνης

Οι ρευστοποιημένης κλίνης (fluidized bed) αεριοποιητές έχουν το ρευστοποιημένο μείγμα αδρανούς υλικού και βιομάζας ως βασική λειτουργία τους. Το υλικό κλίνης αποτελείται συνήθως από κόκκους αδρανών υλικών όπως άμμος, δολομίτη ή αλουμίνας. Μπορεί επίσης να είναι καταλυτικώς δραστικό κατά τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιστοποιηθεί η μετατροπή της βιομάζας σε αέριο σύνθεσης. Η βιομάζα τροφοδοτείται στον αντιδραστήρα από ένα σημείο κοντά στον πυθμένα του. Ομοίως με τη βιομάζα, το μέσο αεριοποίησης εισάγεται στον αντιδραστήρα από τον πυθμένα του και κρατά μια ανοδική ροή. Ανάλογα με την ταχύτητα εισροής του μέσου αεριοποίησης, οι ρευστοποιημένης κλίνης αεριοποιητές μπορούν να χαρακτηριστούν είτε ως φυσαλίδων (bubbling) ή ως κυκλοφορούσας (circulating) ρευστοποιημένης κλίνης συστήματα. Οι circulating fluidized bed αεριοποιητές αντιστοιχούν υψηλότερες ταχύτητες ροής του μέσου αεριοποίησης εντός του αντιδραστήρα.

Σε σύγκριση με τους σταθερής κλίνης αεριοποιητές, η σειρά πραγματοποίησης των επιμέρους σταδίων της αεριοποίησης (ζήρανσης, πυρόλυσης, οξειδωσης και αναγωγής) δεν είναι προφανής σε ένα συγκεκριμένο σημείο του αεριοποιητή εφόσον λαμβάνουν χώρα σε ολόκληρο τον αντιδραστήρα με αποτέλεσμα να υπάρχει ένας πιο ομοιογενής τύπος αντίδρασης. Αυτό σημαίνει την ύπαρξη πιο σταθερών και γενικά χαμηλότερων θερμοκρασιών στο εσωτερικό του αντιδραστήρα, ενώ παράλληλα δεν παρατηρούνται “καυτά σημεία” (hot spots). Λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας λειτουργίας τους, η σχηματιζόμενη τέφρα δεν τίκεται, με συνέπεια να είναι ευκολότερη η απομάκρυνσή της από τον αντιδραστήρα. Ταυτόχρονα, οι θειούχες και χλωριούχες ενώσεις που περιέχονται στο καύσιμο αέριο μπορούν να απορροφηθούν στο αδρανές υλικό κλίνης, εξαλείφοντας έτσι τον κίνδυνο ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μειώνοντας το κόστος συντήρησης της μονάδας. Μια άλλη σημαντική διαφορά είναι ότι οι ρευστοποιημένης κλίνης αεριοποιητές είναι πολύ λιγότερο ευαίσθητοι στην ποιότητα της τροφοδοτούμενης βιομάζας σε σχέση με τα σταθερής κλίνης συστήματα και μπορούν ακόμη και να λειτουργήσουν με μείγμα βιομάζας ως πρώτη ύλη.

Τα ρευστοποιημένης κλίνης συστήματα είναι πιο κατάλληλα για μεγαλύτερης ισχύος εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, μέχρι 50-100 MW (ειδικά ο circulating σχεδιασμός), ενώ από την άλλη μεριά οι σταθερής κλίνης αεριοποιητές είναι περισσότερο κατάλληλοι για εφαρμογές με χαμηλότερη ισχύ.

2.4.1.3 Συστήματα εξαναγκασμένης ροής (entrained flow)

Το κύριο χαρακτηριστικό της αεριοποίησης εξαναγκασμένης ροής είναι η απαίτηση για μια πολύ λεπτή κοκκομετρία (μέγεθος) βιομάζας, ακόμη μικρότερη από 0,1 mm. Αυτό το μέγεθος καθιστά τη βιομάζα ευκολότερο να παρασυρθεί από το μέσο αεριοποίησης. Η βιομάζα μπορεί να εισαχθεί στον αντιδραστήρα είτε σε ξηρή μορφή

ή ακόμη και ως πολτός (κονιοποιημένη βιομάζα αναμεμιγμένη με νερό). Ο χρόνος παραμονής της βιομάζας στο εσωτερικό του αντιδραστήρα είναι μόνο λίγα δευτερόλεπτα και, συνεπώς, προκειμένου να επιτευχθούν υψηλά ποσοστά μετατροπής, υψηλότερες θερμοκρασίες εφαρμόζονται μεταξύ 1200 και 1500 °C. Σε αυτά τα επίπεδα θερμοκρασίας, η σχηματιζόμενη τέφρα τήκεται, κρυσταλλώνεται και τελικά συσσωρεύεται ως σκωρία.

Εκτός από υψηλότερη θερμοκρασία, οι εξαναγκασμένης ροής αεριοποίηση συνήθως λαμβάνει χώρα σε αυξημένη πίεση, με πιέσεις λειτουργίας που ανέρχονται ακόμη και μέχρι τα 40 και 50 bars. Η ύπαρξη αυτών των υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων απαιτεί πιο εξελιγμένο σχεδιασμό του αντιδραστήρα και υψηλότερης ποιότητας υλικά κατασκευής.

Αυτού του είδους οι αεριοποιητές απαιτούν έργα μεγάλης κλίμακας, έτσι ώστε να είναι οικονομικά αποδοτικές οι διεργασίες και ως επί το πλείστον εφαρμόζονται με πρώτη ύλη ορυκτά καύσιμα (π.χ. λιγνίτης) και σπανιότερα με βιομάζα. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ανάγκη για την ειδική προεπεξεργασία της βιομάζας (θρυμματισμός, ξήρανση) που συνεπάγεται το υψηλότερο κόστος προετοιμασίας της πρώτης ύλης.

2.5 Σύγκριση της αεριοποίησης με άλλες μεθόδους ηλεκτροπαραγωγής από βιομάζα

Βάση των τριών κύριων θερμοχημικών διεργασιών της καύσης, πυρόλυσης και αεριοποίησης, υπό τις οποίες η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια, καύσιμα και άλλα προϊόντα του εμπορίου γίνεται σύγκριση μεταξύ τους.

Η καθοριστική παράμετρος που ευνοεί μία διαδικασία έναντι μιας άλλης είναι η παροχή αέρα ως προς την πρώτη ύλη βιομάζας. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, όταν το οξυγόνο είναι σε περίσσεια σε σύγκριση με τον εφοδιασμό της βιομάζας, τότε πλήρης καύση λαμβάνει χώρα. Όταν η ποσότητα της παροχής οξυγόνου δεν είναι επαρκής (μικρότερη από την απαιτούμενη στοιχειομετρική καύση), τότε λαμβάνει χώρα η αεριοποίηση. Τέλος, η πυρόλυση είναι μια διαδικασία η οποία λαμβάνει χώρα με την απόλυτη απουσία οξυγόνου. Έτσι η αεριοποίηση μπορεί, ουσιαστικά, να χαρακτηριστεί ως η ενδιάμεση εναλλακτική λύση μεταξύ καύσης και πυρόλυσης, μεταξύ της υπέρ επαρκούς παροχής οξυγόνου για τη βιομάζα και της απόλυτης απουσίας του από τη διαδικασία.

2.5.1 Αεριοποίηση έναντι καύσης

Κατά τη διάρκεια της καύσης, λόγω του υψηλής παροχής οξυγόνου, το σύνολο του άνθρακα της βιομάζας μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα, το υδρογόνο σε νερό και το θείο προς διοξείδιο του θείου. Αυτό σημαίνει ότι τα καυσαέρια που προκύπτουν από την καύση της βιομάζας είναι ουσιαστικά ένα μείγμα διοξειδίου του άνθρακα, νερού, οξειδίων του αζώτου και διοξειδίου του θείου. Καμία από αυτές τις ουσίες δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως καύσιμο, έτσι ο μόνος τρόπος για την παραγωγή ενέργειας μέσω της καύσης είναι μέσω της παραγωγής ατμού και της

χρήσης του σε ατμοστρόβιλο ή μέσω της πιο αποτελεσματικής εναλλακτικής λύσης του Οργανικού Κύκλου Rankine (ORC).

Στην αεριοποίηση, το αέριο που παράγεται από τη διεργασία (αέριο σύνθεσης – syngas), είναι ένα μείγμα το οποίο περιέχει, μεταξύ άλλων, μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, μεθάνιο και άλλους υδρογονάνθρακες, ουσίες οι οποίες είναι εύφλεκτες και καύσιμες. Ως αποτέλεσμα, το αέριο σύνθεσης μπορεί να τροφοδοτηθεί σε αεριομηχανές ή τουρμπίνες, φυσικά αφού έχει πρώτα καθαριστεί από τυχόν προσμείξεις. Η τυπική ηλεκτρική απόδοση των συστημάτων ατμοστρόβιλου κυμαίνεται μεταξύ 15-25%, ενώ οι κινητήρες αερίου σύνθεσης και οι αεριοστρόβιλοι μπορούν να επιτύχουν πολύ υψηλότερη ηλεκτρική απόδοση του συστήματος, μεταξύ 30-40%. Εφόσον οι κινητήρες αερίου επιτυγχάνουν υψηλότερη ηλεκτρική απόδοση απ' ό,τι οι τουρμπίνες ατμού, η αεριοποίηση φαίνεται να είναι πιο ελκυστική από τη καύση όσον αφορά την αποδοτική παραγωγή ενέργειας.

Εκτός από το καύσιμο αέριο σύνθεσης, η αεριοποίηση είναι μια διαδικασία που παράγει ταυτόχρονα και διάφορα άλλα υποπροϊόντα, όπως το εξανθράκωμα (char). Ενώ οι εγκαταστάσεις καύσης στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση της ποσότητας εξανθράκωματος που παράγεται έτσι ώστε να επιτύχουν υψηλότερες αποδόσεις ενέργειας, σε μονάδες αεριοποίησης το εξανθράκωμα θεωρείται ως εμπορεύσιμο προϊόν (ως πρόσθετη ύλη για τα εργοστάσια τσιμέντου ή εδαφοβελτιωτικό). Ο τύπος αεριοποιητή και οι υπάρχουσες συνθήκες λειτουργίας επηρεάζουν σημαντικά την ποσότητα εξανθράκωματος που παράγεται, συνεπώς είναι πρόκληση η επιλογή του βέλτιστου τύπου αεριοποιητή, έτσι ώστε να συνδυαστεί η αποδοτική παραγωγή ενέργειας με την ταυτόχρονη παραγωγή υψηλής ποιότητας εξανθράκωματος. Αυτή είναι μια μη υπάρχουσα πρόκληση για τις συμβατικές μονάδες καύσης βιομάζας.

Τα καυσαέρια από την καύση της βιομάζας μπορούν να αξιοποιηθούν μόνο σε τουρμπίνες ατμού με θερμική αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχόμενου τους. Το αέριο σύνθεσης όχι μόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε κινητήρες αερίου, αλλά επίσης και ως πρώτη ύλη για τη παραγωγή είτε άλλων καυσίμων (όπως αιθανόλη, μεθανόλη, βιοντίζελ) ή άλλων εμπορικών χημικών ουσιών όπως το οξικό οξύ και η αμμωνία.

Μια πτυχή αυτής της σύγκρισης που ευνοεί σίγουρα τις διαδικασίες καύσης έχει να κάνει με την ωριμότητα της τεχνολογίας και τη σχέση κόστους-απόδοσης, ειδικά για έργα μικρότερης κλίμακας. Ακόμα κι αν αρκετά μεγάλα μονάδων αεριοποίησης βιομάζας έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν με επιτυχία τα τελευταία 20 χρόνια, εξακολουθεί να θεωρείται ως μια αναδυόμενη τεχνολογία, σύγκριση, τουλάχιστον, με την καύση βιομάζας η οποία έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την παραγωγή ενέργειας για τουλάχιστον ενάμισι αιώνα.

2.5.2 Αεριοποίηση έναντι πυρόλυσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αεριοποίηση συμβαίνει όταν η ποσότητα του οξυγόνου που παρέχεται στη καύσιμη βιομάζα είναι μικρότερη από την απαιτούμενη για την

εκπλήρωση πλήρους καύσης. Άρα, επί της ουσίας, η αεριοποίηση βιομάζας είναι μερική οξείδωσή της. Όταν, όμως, γίνεται αναφορά στη πυρόλυση είναι απαραίτητο να διατηρηθούν συνθήκες άνευ οξυγόνου κατά τη διάρκεια της θερμικής μετατροπής της βιομάζας.

Κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης, η βιομάζα θερμαίνεται μέχρι να υγροποιηθεί και τα πτητικά αέρια που περιέχει να εξέλθουν από τη στερεή μάζα. Τα πτητικά αέρια στη συνέχεια συμπυκνώνονται ώστε να παραχθεί τελικά ένα υγρό βιοκαύσιμο, που ονομάζεται βιοέλαιο. Ίσως η πιο πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση της πυρόλυσης της βιομάζας είναι η γρήγορη πυρόλυση βιομάζας (biomass fast pyrolysis). Αυτή λαμβάνει χώρα σε ένα μέσο εύρος θερμοκρασίας (450-500 °C) με εξαιρετικά μικρό χρόνο παραμονής της βιομάζας στο εσωτερικό του αντιδραστήρα – περίπου 2-3 δευτερόλεπτα. Οι συνθήκες υπό τις οποίες η γρήγορη πυρόλυση λαμβάνει χώρα έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή μικρής ποσότητας εξανθρακώματος και μικρής περιεκτικότητας του βιοελαίου σε νερό· χαρακτηριστικά που του προσδίδουν αυξημένη ενεργειακή αξία.

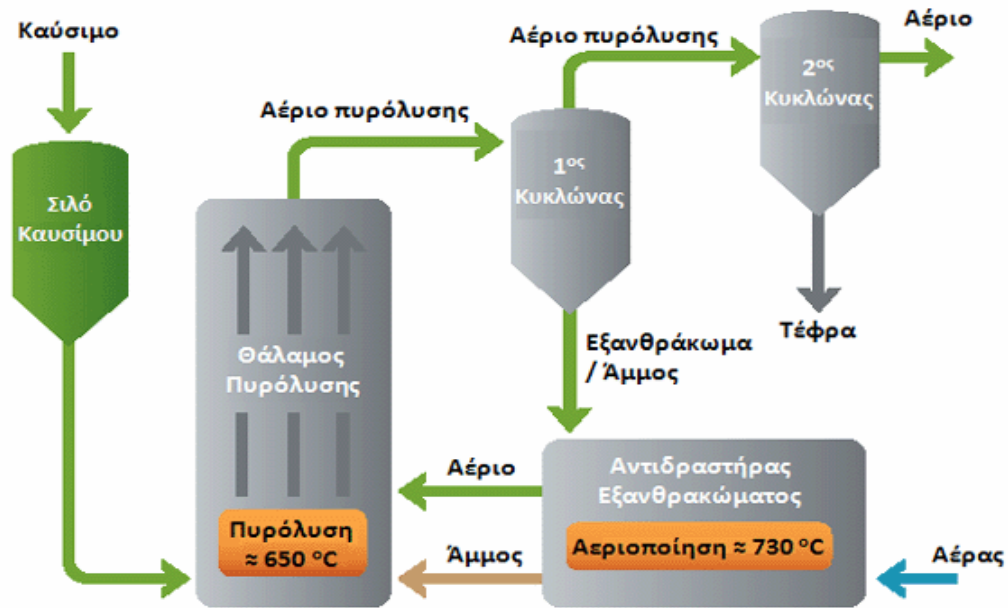
Τόσο η αεριοποίηση όσο και η πυρόλυση είναι κατάλληλες για τη παραγωγή ρευστών καυσίμων. Από την πρώτη αέριο καύσιμο και από την δεύτερη υγρό. Ακόμα και αν το αέριο σύνθεσης και το βιοέλαιο έχουν ορισμένες ομοιότητες, όπως δυνατότητα για χρήση σε κινητήρες και στροβίλους, μεταφορά μέσω του δικτύου σωληνώσεων, δυνατότητα χρήσης ως πρώτη ύλη για τη παραγωγή άλλων καυσίμων ή χημικών ουσιών, έχουν μια σημαντική διαφορά η οποία συνδέεται με την ωριμότητα της παραγωγικής διαδικασίας. Αν, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αεριοποίηση θεωρείται αναδυόμενη και λιγότερο ώριμη τεχνολογικά διαδικασία ως προς την καύση, τότε η πυρόλυση θα πρέπει να θεωρείται ότι εξακολουθεί να είναι στο στάδιο της πειραματικής εφαρμογής της. Υπάρχουν σημαντικά θέματα που πρέπει να επιλυθούν σε σχέση με την πυρόλυση. Πιθανώς η μεγαλύτερη ανησυχία είναι η ποιότητα του βιοελαίου που παράγεται, το οποίο θεωρείται διαβρωτικό και η σταθερή ποιότητά του που θα τροφοδοτεί τους κινητήρες πρέπει να ρυθμιστεί. Για τον ίδιο λόγο, η αποθήκευση και μεταφορά του βιοελαίου είναι ακόμη προβληματική. Αυτά, ωστόσο, είναι ζητήματα και προκλήσεις που δεν επηρεάζουν τα έργα αεριοποίησης της βιομάζας.

Στο ακόλουθο πίνακα συνοψίζεται η προαναφερθείσα σύγκριση των τριών κύριων διαδικασιών θερμοχημικής μετατροπής της βιομάζας:

Πίνακας 2.5 Σύγκριση τριών κυρίων διαδικασιών θερμοχημικής μετατροπής βιομάζας

Διεργασία μετατροπής	Παροχή οξυγόνου	Θερμοκρασιακό εύρος (°C)	Κύρια Προϊόντα
Αεριοποίηση	Λιγότερο από την απαιτούμενη στοιχειομετρική	800-1200	Θερμότητα, Αέριο σύνθεσης, Εξανθράκωμα

Καύση	Σε περίσσεια	800-1200	Θερμότητα
Πυρόλυση	Πλήρης απουσίας	300-600	Θερμότητα, Βιοέλαιο, Εξανθράκωμα



Εικόνα 7 Αεριοποιητής με τροφοδοσία αχύρου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Βιολογικές Μετατροπές Βιομάζας

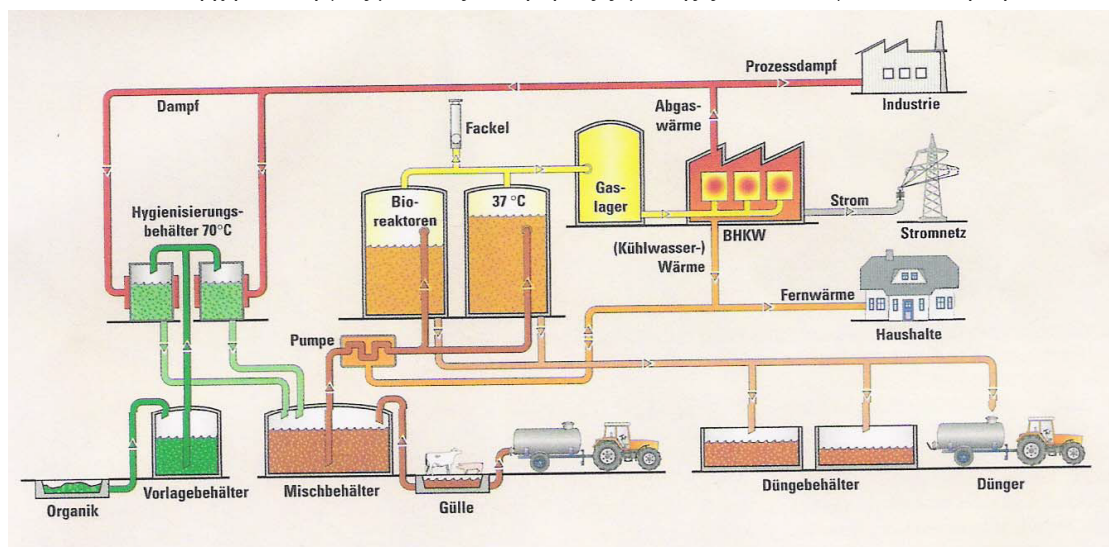
3.1 Αναερόβια Διάσπαση

Είναι η ελεγχόμενη διάσπαση της οργανική ύλης χωρίς οξυγόνο, κατά την οποία χρησιμοποιούνται συνήθως απόβλητα όπως ακαθαρσίες υπονόμων (ίλυσ), κοπριά, χαρτιά, φύκια. Συμβαίνει σε κάθε βιολογική ύλη αλλά ευνοείται ιδιαίτερα σε θερμό, υγρό και με απουσία αέρα περιβάλλον. Επιτυγχάνεται με αναερόβιους μονοκύτταρους οργανισμούς, που οξειδώνουν την οργανική ύλη διασπώντας μόρια που περιέχουν οξυγόνο. Ένα είδος βακτηρίων διασπά τα οργανικά στερεά σε οργανικά οξέα, σε υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα, ενώ ένα δεύτερο είδος βακτηρίων τρέφεται με τα προϊόντα των αποβλήτων των πρώτων βακτηρίων και παράγει ως παραπροϊόν βιοαέριο.

Η ανάπτυξη και εγκατάσταση τεχνολογιών βιοαερίου αποτελεί μια εναλλακτική λύση με σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς προσφέρει περιβαλλοντικά φιλική ενέργεια και ταυτόχρονα επιλύει το πρόβλημα της διαχείρισης των απορριμμάτων. Πέρα από το βιοαέριο και η επεξεργασθείσα ίλυσ είναι πλέον χρήσιμη ως λίπασμα.

Το βιοαέριο, που αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, παράγεται από την αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών κυρίως αποβλήτων (λύματα από χοιροστάσια, βουστάσια), βιομηχανικών αποβλήτων και λυμάτων καθώς και από αστικά οργανικά απορρίμματα. Η οικονομικότητα μιας μονάδας βιοαερίου βασίζεται στο γεγονός ότι η πρώτη ύλη έχει αρνητική αξία (εφόσον νομικά επιβάλλεται η κατάλληλη επεξεργασία και διάθεση των αποβλήτων), ενώ τα προϊόντα της (λίπασμα και βιοαέριο) έχουν εμπορική αξία.

Εικόνα # Αρχή λειτουργίας μονάδας αναερόβιας ζύμωσης ζωικών και φυτικών αποβλήτων



Το βιοαέριο περιέχει κατά μέσο όρο 62% CH₄ και 36% CO₂, ενώ έχει μικρές ποσότητες N₂ και H₂S. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ), αφού όμως απομακρυνθούν τα όξινα αέρια που είναι διαβρωτικά. Αναφορικά με τη θερμογόνο του, εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε μεθάνιο. Ενδεικτικά σημειώνεται ότι ένα κυβικό μέτρο βιοαερίου υποκαθιστά 0,66 l ντίζελ ή 0,75 l πετρελαίου ή 0,85 kg κάρβουνου.

Αντίστοιχο του βιοαερίου είναι και το αέριο που σχηματίζεται στους χώρους υγειονομικής ταφής αστικών απορριμμάτων (landfill sites). Με τη διαφορά όμως ότι το αέριο αυτό (Landfill Gas, LFG), επειδή δεν σχηματίζεται σε υγρές και θερμές συνθήκες όπως αυτές στους αντιδραστήρες, έχει πολλαπλάσιο χρόνο σχηματισμού (έτη αντί για εβδομάδες). Υπολογίζεται ότι 1.000.000 τόνοι απορριμμάτων παρέχουν αρκετό βιοαέριο για τη παραγωγή ενός MW ηλεκτρικού ρεύματος ετησίως για δέκα χρόνια περίπου.

3.1.1 Βασικές διεργασίες κατά την αναερόβια ζύμωση

Οι βιοχημικές διεργασίες λαμβάνουν χώρα σε τρία στάδια, της υδρόλυσης, της οξεογένεσης και της μεθανογένεσης, που κάθε ένα εξυπηρετείται από ειδικά αναερόβια βακτήρια:

- i. Αδιάλυτα βιοδιασπώμενα υλικά, όπως η κυτταρίνη, οι πολυσακχαρίτες και τα λίπη διασπώνται σε διαλυτούς υδατάνθρακες και λιπαρά οξέα. Σε έναν χωνευτήρα, το στάδιο αυτό διαρκεί περίπου μια ημέρα σε θερμοκρασία των 25 °C.
- ii. Βακτήρια που σχηματίζουν οξέα παράγουν κυρίως οξικό και προπιονικό οξύ. Και αυτό το στάδιο διαρκεί περίπου μια ημέρα στους 25°C.
- iii. Η χώνευση ολοκληρώνεται αργά, σε 14 ημέρες στους 25°C, από τα βακτήρια που σχηματίζουν μεθάνιο, με παραγωγή αερίου μίγματος σύστασης 70% CH₄, 30% CO₂, και ίχνη H₂ και H₂S.

Τα βακτήρια που παράγουν μεθάνιο είναι ευαίσθητα στο pH, ώστε οι συνθήκες θα πρέπει να είναι ήπια όξινη (pH μεταξύ 6,6 και 7,0) και το pH να μην πέφτει ποτέ κάτω από 6,2. Το άζωτο θα πρέπει να βρίσκεται σε περιεκτικότητα 10% της ξηρής τροφοδοσίας και ο φώσφορος σε περιεκτικότητα 2%. Θα πρέπει να διατηρούνται στο χωνευτήρα σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και κατάλληλη τροφοδοσία, ώστε να αναπτυχθεί κατάλληλος πληθυσμός βακτηρίων που θα συντελέσει τη χώνευση.

Η ανάπτυξη των παραπάνω βακτηρίων ευνοείται σε τρεις περιοχές θερμοκρασιών που είναι οι ψυχροφιλικές με θερμοκρασίες περί τους 20°C, οι μεσοφιλικές με θερμοκρασίες περί τους 35°C και οι θερμοφιλικές με θερμοκρασίες περί τους 55°C.

Γενικά, η χώνευση προχωρά γρηγορότερα με την αύξηση της θερμοκρασίας, με διπλασιασμό της απόδοσης σε αέριο για αύξηση κατά 5°C. Στα τροπικά κλίματα, οι χωνευτήρες στο έδαφος διατηρούνται δίχως θέρμανση σε θερμοκρασίες μεταξύ 20 και 30°C, οπότε λειτουργούν σε ψυχροφιλικές συνθήκες. Σε ψυχρότερα κλίματα, εφαρμόζεται θέρμανση του χωνευτήρα, συνήθως με καύση μέρους του παραγόμενου βιοαερίου, οπότε λειτουργεί σε μεσοφιλικές συνθήκες. Σε λίγες περιπτώσεις εφαρμόζονται θερμοφιλικές συνθήκες και σε αυτές κύριος στόχος είναι η ταχύτερη χώνευση της τροφοδοσίας και όχι η παραγωγή πρόσθετης ποσότητας βιοαερίου.

Η διαθέσιμη ενέργεια από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου είναι μεταξύ 60 και 90% της θερμότητας που θα απελευθερωνόταν από την καύση της ξηράς τροφοδοσίας. Επίσης ένα 10% του παραγόμενου βιοαερίου θα πρέπει να δαπανηθεί για τη διατήρηση των θερμοκρασιακών συνθηκών στον αντιδραστήρα. Παρά ταύτα, η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης πλεονεκτεί ενεργειακά, καθώς η πρώτη ύλη είναι υδαρής με περιεκτικότητα σε ύδωρ περί τα 95% ώστε πρακτικά η ενέργεια δεν θα μπορούσε να αποληφθεί αλλιώς, καθώς απαιτείται ξήρανση της τροφοδοσίας. Πράγματι, αν η τροφοδοσία έχει 5% στερεά, τότε με θερμογόνο 16 MJ/kg θα μπορούσε να αποδώσει περίπου 800 MJ/m³ υγρής τροφοδοσίας, τη στιγμή κατά την οποία η ξήρανση της τροφοδοσίας θα απαιτούσε περίπου 950 kg x 2.257 kJ/kg = 2.150 MJ/m³ υγρής τροφοδοσίας.

Όλα τα ανόργανα υλικά που εγκλείονται στη τροφοδοσία, και κάποια οργανικά όπως η λιγνίνη, δεν είναι χωνεύσιμα, ώστε η αναερόβια χώνευση μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα μέρος της τροφοδοσίας. Η μέθοδος αποδίδει 0,2 έως 0,4 m³ βιοαερίου ανά kg ξηράς χωνεύσιμης τροφοδοσίας και η χώνευση διακόπτεται όταν έχει μετατραπεί περί το 60% της τροφοδοσίας, καθώς μετά η αντίδραση εξελίσσεται αργά.

3.2 Η παραγωγή Βιοαερίου στη χώρα μας

Στην Ευρώπη λειτουργούν περισσότερες από 700 μονάδες βιοαερίου οι οποίες επεξεργάζονται ζωικά απόβλητα ή εφαρμόζουν συνδυασμένη χώνευση διαφόρων αποβλήτων γεωργικής προέλευσης. Μεγαλύτερη ανάπτυξη παρατηρείται στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη και ειδικότερα στη Δανία και τη Γερμανία, όπου βρίσκεται το 70% των μονάδων της Ευρώπης και εξυπηρετούν μικρές κυρίως κτηνοτροφικές μονάδες. Η έντονη ανάπτυξη μονάδων βιοαερίου στις χώρες αυτές οφείλεται στη μεγάλη συγκέντρωση ζωικού κεφαλαίου ανά μονάδα επιφανείας, ώστε η ανάπτυξη της κτηνοτροφίας οδήγησε στη παραγωγή τεράστιων ποσοτήτων ζωικών αποβλήτων και στη δημιουργία έντονων προβλημάτων ως προς την επεξεργασία και τη διάθεσή τους στο περιβάλλον. Αντίθετα, στη χώρα μας υπάρχουν λίγες μονάδες παραγωγή βιοαερίου, σε ΧΥΤΑ κυρίως και σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων, όπως απεικονίζεται στον πίνακα 3.1 όπου παρουσιάζονται οι σημαντικότερες από αυτές.

Από τον πίνακα προκύπτει ότι η μεγαλύτερη μονάδα είναι του ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων. Στη μονάδα αυτή το βιοαέριο αντλείται μέσω ενός δικτύου κατακόρυφων

φρεατίων και οριζόντιων σωληνώσεων, για να καταλήξει σε 11 γεννήτριες της μονάδας. Το δίκτυο συλλέγει αέριο από είκοσι εκατομμύρια τόνους απορριμμάτων που συγκεντρώθηκαν από το 1965 ως το 1995, οπότε σταμάτησε να λειτουργεί ο συγκεκριμένος χώρος διάθεσης απορριμμάτων (ήδη αναπτύσσεται νέος ΧΥΤΑ 2, του οποίου τα στραγγίσματα θα επεξεργάζονται με τη θερμική ενέργεια του παραπάνω σταθμού συμπαραγωγής). Το βιοαέριο τροφοδοτεί μονάδα συμπαραγωγής που έχει ηλεκτρική ισχύ 14 MW και θερμική ισχύ 16,5 MW. Η προβλεπόμενη ετήσια παραγωγή σε ηλεκτρισμό φθάνει τις 130 εκατ. kWh (πωλείται στη ΔΕΗ) και οδηγεί σε εξοικονόμηση 200.000 τόνων λιγνίτη ετήσια και αποφυγή έκλυσης 110.000 τόνων διοξειδίου του άνθρακα.

Πίνακας 3.2. Μονάδες παραγωγής Βιοαερίου στην Ελλάδα

Πρώτη ύλη	Τοποθεσία	Παραγωγή βιοαερίου (m ³ /ημέρα)	Ηλεκτρική Ισχύς (MW)
Αέριο χωματερής	Α. Λιόσια, Αττικής	184.000	14
Αέριο χωματερής	Ταγαράδες, Θεσσαλονίκη	1.200	0,24
Ιλύς Βιολογικού Καθαρισμού	Ψυτάλλεια Αττικής	60.000	7,37
Ιλύς Βιολογικού Καθαρισμού	Ηράκλειο Κρήτης	2.460	0,18
Ιλύς Βιολογικού Καθαρισμού	Βόλος	2.800	0,23

3.3 Αλκοολική Ζύμωση

Πραγματοποιείται με την αναερόβια δράση ενζύμων (εκκρίσεις/μαγιές μικροοργανισμών που βρίσκονται στη φύση) σε άμυλο και σάκχαρα φρούτων, δημητριακών και άλλων μορφών βιομάζας, και κατ' αυτήν παράγεται μίγμα νερού και αιθυλικής αλκοόλης (αιθανόλη, C₂H₅OH) από το οποίο η δεύτερη διαχωρίζεται και παραλαμβάνεται με απόσταξη. Μπορεί να χρησιμοποιείται όπως είναι ως καύσιμο ή σε ανάμιξη με 2-4 μέρη βενζίνης (gasohol). Η απόδοση καλλιεργειών σε αιθανόλη απεικονίζεται στον πίνακα 3.2

Πίνακας 3.2. Απόδοση αιθανόλης από διάφορες σοδειές

Σοδειά	Λίτρα αιθανόλης ανά τόνο σοδειάς	Λίτρα αιθανόλης ανά εκτάριο, ετήσια
Ζαχαροκάλαμο	70	3500
Κασσάβα	180	2160
Γλυκό σόργο	86	3010

Γλυκοπατάτα	125	1875
Καλαμπόκι	370	2220
Ξύλο	160	3200

Η αιθανόλη παράγεται στη φύση από σάκχαρα με την επίδραση συγκεκριμένων μικροοργανισμών και υπό όξινες συνθήκες (pH 4 με 5). Η αλκοολική ζύμωση εφαρμόζεται και για την παραγωγή ποτών. Η μαγιά που χρησιμοποιείται δηλητηριάζεται σε συγκεντρώσεις αιθανόλης μεγαλύτερες από 10%, ώστε για μεγαλύτερες περιεκτικότητες απαιτείται κλασματική απόσταξη του προϊόντος. Σε περιεκτικότητα 95% εμφανίζει αζεοτροπικό διάλυμα με το νερό, και επομένως για επίτευξη μεγαλύτερης περιεκτικότητας (ως 100% καθαρή αλκοόλη) απαιτείται από κοινού απόσταξη με διαλύτες όπως το βενζόλιο.

Πρώτη ύλη στην οποία μπορεί να εφαρμοσθεί αλκοολική ζύμωση είναι – με σειρά ευκολίας – τα σάκχαρα (ζαχαροκάλαμο, φρούτα), αμυλούχος ύλη (κόκκοι, ρίζες) και κυτταρινούχο ύλη (ξύλα). Στη περίπτωση (σάκχαρα) απαιτείται απλός τεμαχισμός για διεξαγωγή της ζύμωσης, στη δεύτερη περίπτωση απαιτείται υδρογόνο, ενώ στην κυτταρινούχο ύλη (τρίτη περίπτωση) η υδρόλυση είναι δύσκολη. Αναλυτικότερα:

(α) Αλκοολική ζύμωση σακχάρων: Στο ζαχαροκάλαμο, για παράδειγμα, ο τεμαχισμός οδηγεί κατ' αρχήν σε δυο προϊόντα, τις βαγάσσες (υπόλειμμα πλούσιο σε ίνες) και το χυμό. Από τις βαγάσσες απομονώνονται ως παραπροϊόντα ίνες, ενώ το υπόλοιπο τμήμα τους μπορεί να αξιοποιείται ενεργειακά σε λέβητα με άμεση καύση για παραγωγή ηλεκτρισμού ή θερμότητας. Ο χυμός διαχωρίζεται στη ζάχαρη και τις μολάσσες. Η ζάχαρη υφίσταται εξευγενισμό. Οι μολάσσες (υπόλειμμα πλούσιο σε σάκχαρα, περίπου 55 %) υφίσταται τέλος αλκοολική ζύμωση.

(β) Αμυλούχος ύλη: Το άμυλο είναι η βασική ύλη των φυτών όπου αποθηκεύεται ενέργεια. Συντίθεται από δυο μεγαλομοριακά συστατικά, την αμυλόζη και την αμυλοπηκτίνη. Αυτά τα μεγαλομόρια είναι γραμμικά και διακλαδωμένα με μόρια γλυκόζης με δεσμούς άνθρακα, δεσμοί οι οποίοι μπορούν να σπάσουν με ένζυμα ή με όξινη κατεργασία σε pH 1,5 και πίεση 2 atm. Στη δεύτερη περίπτωση (χημική κατεργασία) εμφανίζεται χαμηλότερη απόδοση και μεγαλύτερο κόστος.

(γ) Κυτταρινούχος ύλη: Συμπεριλαμβάνει περίπου το 40% της βιομάζας ώστε αποτελεί μια τεράστια ποσότητα ανανεώσιμης ενεργειακής πηγής. Έχει πολυμερή δομή με συνδεδεμένα μόρια γλυκόζης, σχηματίζοντας έτσι τη βασική μηχανική υποδομή των ξύλινων τμημάτων των φυτών. Οι δεσμοί αυτοί είναι πιο ανθεκτικοί σε υδρόλυση από ότι τα άμυλα. Βρίσκεται μαζί με τη λιγνίνη που παρεμποδίζει την υδρόλυση στα σάκχαρα. Η κυτταρίνη μπορεί να υποστεί όξινη υδρόλυση, όπως τα άμυλα, αλλά η μέθοδος είναι ενεργειοβόρα και δαπανηρή, ενώ η απλή υδρόλυση εξελίσσεται πολύ αργά.

Η αιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο ή πρόσθετο στη βενζίνη. Στη πρώτη περίπτωση χρησιμοποιείται το αζεοτροπικό της ενυδατωμένο διάλυμα

(95%) σε κατάλληλα τροποποιημένες μηχανές. Στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται καθαρή αιθανόλη (100%) που προστίθεται σε ποσοστό 10-20% σε βενζίνη για χρήση σε συνήθεις μηχανές, μετά από κατάλληλη ρύθμιση. Το μίγμα ορίζεται ως “gasohol” και είναι πια τυποποιημένο και βρίσκεται σε εμπορική εφαρμογή σε χώρες όπως η Βραζιλία (από ζαχαροκάλαμα) και οι ΗΠΑ (από κόκκους καλαμποκιού). Η αιθανόλη έχει πολύ καλές αντικροτικές ιδιότητες και η εξαιρετική συμπεριφορά της στην καύση επιτρέπει στις μηχανές να παράγουν 20% περισσότερη ισχύ από ότι με βενζίνη. Από την άλλη όμως έχει 40% λιγότερη θερμότητα (κατ’ όγκο) απ’ ότι η βενζίνη, ώστε τελικά έχει πειραματικά διαπιστωθεί ότι ένα αυτοκίνητο καταναλώνει περίπου τον ίδιο όγκο βενζίνης, αιθανόλης ή gasohol. Στον Πίνακα 3.3 παρατίθενται οι γεωργικές ύλες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην Ελλάδα για παραγωγή αιθανόλης.



Εικόνα 8 Μονάδα Βιοαιθανόλης στη Βραζιλία

Πίνακας 3.3

Γεωργικές ύλες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην Ελλάδα για παραγωγή αιθανόλης

Σακχαρούχες	Αμυλούχες	Κυτταρινούχες
Σταφίδα Μελάσα Ξερά Σύκα Γλυκό Σόργο Χαρούπι	Κριθάρι Σιτάρι Καλαμπόκι Πατάτες	Άχυρο Πριονίδι Δασικά υπολείμματα & προϊόντα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Χημική Επεξεργασία Βιομάζας

4.1 Παραγωγή Φυτικών Ελαίων και των Εστέρων τους από Βιομάζα

Υπάρχουν διάφορα δένδρα, οι καρποί των οποίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ελαίων, όπως είναι η ελιά. Εκτός από βρώσιμα, τα φυτικά έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη κίνηση των οχημάτων μετά από κατάλληλη επεξεργασία, σαν υποκατάστατα του πετρελαίου ντίζελ. Το παραγόμενο προϊόν ονομάζεται υγρό βιολογικό καύσιμο (βιολογικό ντίζελ ή βιοντίζελ) και στη περίπτωση αυτή αναφερόμαστε στη χρήση των φυτικών ελαίων για παραγωγή ενέργειας. Οι περισσότερες γεωργικές φυτείες έχουν παραγωγικότητα 30-80 kg/στρέμμα. Υπάρχουν όμως δένδρα όπως ο φοίνικας στην Αφρική που έχουν αποδόσεις 300 περίπου kg/στρέμμα. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη λήψη ελαίου από τους καρπούς είναι η ίδια είτε το λάδι χρησιμοποιείται για βρώσιμο, είτε για καύσιμο.



Εικόνα 9 Παραγωγή βιοντίζελ

Για τη λήψη των ελαίων από τους καρπούς χρησιμοποιούνται δυο είδη τεχνολογιών. Η πρώτη αφορά τη μηχανική συμπίεση των καρπών για τη λήψη των ελαίων, η οποία μπορεί να γίνει σε δυο στάδια για την επίτευξη καλύτερων αποδόσεων. Πάντως μικρές ποσότητες λαδιού παραμένουν στο υπόλειμμα που είναι δυνατόν να ληφθούν με εκχύλιση. Οι μονάδες παραγωγής λαδιού με συμπίεση μπορεί να είναι σχετικά μικρής δυναμικότητας και είναι απλής τεχνολογίας.

Η δεύτερη αφορά την εκχύλιση του ελαίου από τους καρπούς με κάποιο διαλύτη συνήθως εξάνιο. Προηγουμένως έχει αφαιρεθεί η υγρασία από τους καρπούς και το υπόλειμμα που παραμένει περιέχει πολύ μικρές ποσότητες ελαίων. Η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής απαιτεί μονάδες με μεγαλύτερη δυναμικότητα από αυτές που το έλαιο λαμβάνεται με συμπίεση, ενώ η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία είναι πιο πολύπλοκη.

Τα φυτικά έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν καύσιμα σε οχήματα που χρησιμοποιούν πετρέλαιο ντίζελ όπως η αιθανόλη μπορεί να υποκαταστήσει τη βενζίνη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθαρό λάδι ή μίγμα ελαίου-ντίζελ.

Εφόσον τα γλυκερίδια μετατραπούν σε εστέρες η συμπεριφορά τους σαν καύσιμο είναι καλύτερη. Η εστεροποίηση γίνεται με την αντίδραση των τριγλυκεριδίων με μεθανόλη ή αιθανόλη και συντελείται σε ήπιες συνθήκες θερμοκρασιών 30-60 °C παρουσία αλκαλικών ή όξινων καταλυτών.

Είναι προφανές δεδομένης της υψηλής θερμοδικής αξίας των φυτικών ελαίων και συνεπώς της υψηλής διατροφικής και οικονομικής τους αξίας ότι δεν ενδείκνυται πολλά φυτικά έλαια να χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή υγρών βιολογικών καυσίμων (π.χ. ελαιόλαδο).

Στην Ευρώπη χρησιμοποιείται ευρύτατα η ελαιοκράμβη (rape seed) που δίνει το κραμβέλαιο (rape seed oil) από το οποίο παράγεται βιοντίζελ. Στην Ελλάδα όμως δεν υπάρχουν ανάλογες καλλιέργειες. Πρόσφατα έχει διερευνηθεί και στην Ελλάδα η δυνατότητα παραγωγής βιοντίζελ από μεταχειρισμένα τηγανόλαδα. Ανάλογα εργοστάσια υπάρχουν σε ορισμένες χώρες όπου χρησιμοποιούν σαν πρώτη ύλη τηγανόλαδα που προέρχονται από νοικοκυριά, διάφορα εστιατόρια ή ταχυφαγεία και μεγάλους χώρους εστίασης. Εάν ληφθεί υπόψη ότι τα μεταχειρισμένα τηγανόλαδα δημιουργούν προβλήματα ρύπανσης κατά τη διάθεσή τους στο περιβάλλον, η μετατροπή τους σε υγρό καύσιμο αποτελεί μια περιβαλλοντικά φιλική λύση.

4.2 Πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοντίζελ

Οι πρώτες ύλες του βιοντίζελ ποικίλλουν, καθώς είναι ένα καύσιμο το οποίο αποτελείται από μονο-αλκυλικούς εστέρες (κυρίως μεθυλεστέρες) μεγάλων χημικών αλυσίδων λιπαρών οξέων, που προέρχονται από φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη.

Το βιοντίζελ αποτελεί, λοιπόν, ένα εστεροποιημένο οξυγονούχο καύσιμο, με περιεκτικότητα οξυγόνου περίπου 10%, η οποία ποικίλει αναλόγως του μήκους της αλυσίδας του λιπαρού οξέος.

Τα ζωικά λίπη και τα φυτικά έλαια είναι τα πλέον διαδεδομένα λιπίδια. Παρόλο που φαίνονται διαφορετικά, οι δομές τους παρουσιάζουν μεγάλες ομοιότητες. Από χημική άποψη, τα λίπη και τα έλαια είναι τριγλυκερίδια, δηλαδή τριεστέρες της γλυκερόλης με τρία καρβοξυλικά οξέα που φέρουν μακριές ανθρακικές αλυσίδες. Τα λίπη, στερεά στη συνήθη κατάσταση, περιέχουν σε μεγάλη αναλογία κορεσμένα λιπαρά οξέα άρτιου αριθμού ατόμων άνθρακα. Τα κυριότερα λιπαρά οξέα που περιέχονται στα λίπη είναι το δαφνικό (C:12), το μυριστικό (C:14), το παλμιτικό (C:16) και το στεατικό (C:18). Αντιθέτως, τα έλαια είναι υγρά και περιέχουν σε μεγάλη αναλογία ακόρεστα λιπαρά οξέα, κυρίως το ελαϊκό και το λινελαϊκό που περιέχουν 18 άτομα άνθρακα.

Η αναλογία των κορεσμένων και ακόρεστων λιπαρών οξέων στα λίπη και στα έλαια διαφέρει ανά περίπτωση. Κάθε λίπος ή έλαιο έχει χαρακτηριστική σύσταση. Για παράδειγμα, το βούτυρο περιέχει 40-60% γλυκερίδια κορεσμένων οξέων, κυρίως παλμιτικού και στεατικού, και 20-30% γλυκερίδια ακόρεστων οξέων, κυρίως ελαϊκού οξέος. Αντίθετα, το ελαιόλαδο περιέχει μικρή ποσότητα κορεσμένων οξέων, 10-25%, και υψηλό ποσοστό, 55-85%, ακόρεστων οξέων, κυρίως ελαϊκού. Τα λιπαρά οξέα που προέρχονται από την υδρόλυση των τριγλυκεριδίων συνήθως δεν είναι διακλαδισμένα και περιέχουν άρτιο αριθμό ατόμων άνθρακα, μεταξύ 12 και 20.

Οι συνήθεις τύποι των αλυσίδων των λιπαρών οξέων, που περιέχονται στα φυτικά έλαια και στα ζωικά λίπη, είναι οι ακόλουθοι:

Πίνακας 4: Λιπαρά οξέα φυτικών και ζωικών λιπών

Όνομασία Λιπαρού Οξέος	Συντακτικός Τύπος	Αριθμός ατόμων άνθρακα*, αριθμός διπλών δεσμών.
Δαφνικό	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	12 άτομα άνθρακα, 0 διπλοί δεσμοί (12:0)
Μυριστικό	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	14 άτομα άνθρακα, 0 διπλοί δεσμοί (14:0)
Παλμιτικό	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	16 άτομα άνθρακα, 0 διπλοί δεσμοί (16:0)
Στεατικό	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	18 άτομα άνθρακα, 0 διπλοί δεσμοί (18:0)
Ελαϊκό	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	18 άτομα άνθρακα, 1 διπλός δεσμός (18:1)
Λινελαϊκό	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	18 άτομα άνθρακα, 2 διπλοί δεσμοί (18:2)
Λινολενικό	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	18 άτομα άνθρακα, 3 διπλοί δεσμοί (18:3)

[Πηγή: J. Van Gerpen et al., (2004)]

Στον Πίνακα 4.2, που ακολουθεί, δίνεται η σύσταση μερικών λιπών και ελαίων.

Πίνακας 4.2: Σύσταση διαφόρων ελαίων και λιπών, % κ.β.

Έλαιο - Λίπος	14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	22:1
Σογιέλαιο	-	6-10	2-5	20-30	50-60	5-11	-	-
Καλαμποκέλαιο	1-2	8-12	2-5	19-49	34-62	ίχνη	-	-
Φυσικέλαιο	-	8-9	2-3	50-65	20-30	-	-	-
Ελαιόλαδο	-	9-10	2-3	73-84	10-12	ίχνη	-	-
Βαμβακέλαιο	0-2	20-25	1-2	23-35	40-50	ίχνη	-	-
Κραμβέλαιο υψηλής περιεκτικότητας σε ελαϊκό οξύ	-	4,3	1,3	59,9	21,1	13,2	-	-
Κραμβέλαιο υψηλής περιεκτικότητας σε ερουκικό οξύ	-	3,0	0,8	13,1	14,1	9,7	7,4	50,7
Βούτυρο	7-10	24-26	10-13	28-31	1-2.5	.2-.5	-	-
Λαρδί	1-2	28-30	12-18	40-50	7-13	0-1	-	-
Ζωικό λίπος	3-6	24-32	20-25	37-43	2-3	-	-	-
Έλαιο λιναρόσπορου	-	4-7	2-4	25-40	35-40	25-60	-	-

[Πηγή: J. Van Gerpen et al., (2004)]

Τα σημεία ζέσεως και τήξεως των λιπαρών οξέων, των μεθυλεστέρων, των μονο-, δι- και τριγλυκεριδίων αυξάνονται με την αύξηση του αριθμού των ατόμων άνθρακα του εκάστοτε μορίου, ενώ μειώνονται με την αύξηση του αριθμού των διπλών δεσμών, εξαιτίας της πολικότητας των μορίων και των δεσμών υδρογόνου.

Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται τα σημεία τήξεως λιπαρών οξέων, μεθυλεστέρων και τριγλυκεριδίων.

Πίνακας 4.3: Σημεία τήξεως λιπαρών οξέων, μεθυλεστέρων, μονο-, δι- και τριγλυκεριδίων

Λιπαρά Οξέα		Σημείο Τήξεως (°C)				
Όνομασία	Άτομα Άνθρακα	Οξύ	Μεθυλ- εστέρας	1-μονο- γλυκερίδιο	1,3-Δι- γλυκερίδιο	Τρι- γλυκερίδιο
Μυριστικό	14	54,4	18,8	70,5	66,8	57,0
Παλμιτικό	16	62,9	30,6	77,0	76,3	63,5

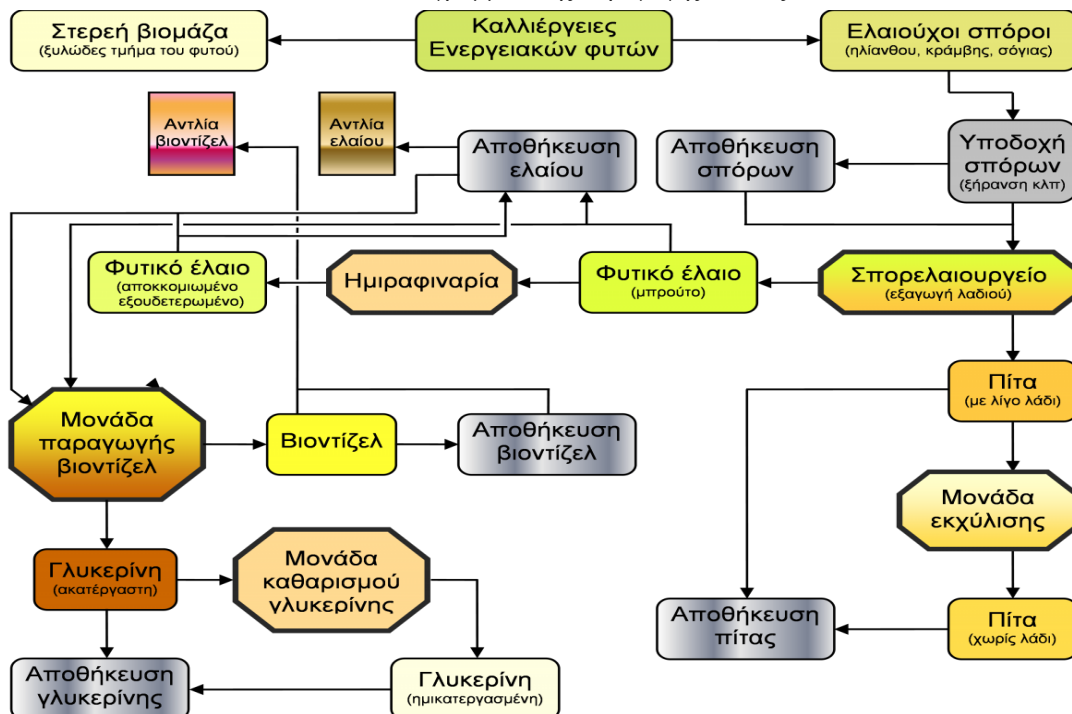
Στεατικό	18	69,6	39,1	81,5	79,4	73,1
Ελαϊκό	18:1	16,3	-19,8	35,2	21,5	5,5
Λινολεϊκό	18:2	-6,5	-35,0	12,3	-2,6	-13,1

[Πηγή: F. Ma, et al (1999)]

Ακόμη, η παρουσία στο μόριο του μεθυλεστέρα (βιοντίζελ) κορεσμένων αλυσίδων σε υψηλά επίπεδα (C14:0, C16:0, C18:0) προκαλεί αύξηση του αριθμού κετανίου του, μείωση των εκπεμπόμενων (κατά την καύση) οξειδίων του αζώτου (NO_x), και τέλος, βελτίωση της σταθερότητάς του. Αντίθετα, η παρουσία περισσότερων πολυακόρεστων (C18:2, C18:3) οδηγεί σε μείωση του αριθμού κετανίου του μεθυλεστέρα, μείωση της σταθερότητάς του (εκτός αν χρησιμοποιηθούν πρόσθετες ουσίες σταθεροποίησης), και τέλος, αύξηση των εκπεμπόμενων οξειδίων του αζώτου.

Θα πρέπει, στο σημείο αυτό, να επισημανθεί η δυνατότητα χρήσης καθαρών φυτικών ελαίων σε κινητήρες ντίζελ. Η χρήση, όμως, αυτή παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα τα οποία, με τις εν δυνάμει λύσεις τους, θα αναλυθούν ακολούθως, ούτως ώστε να διαφανεί η, κατά κάποιον τρόπο, αναγκαιότητα της μετατροπής τους σε αλκυλεστέρες (κυρίως, βέβαια, σε μεθυλεστέρες).

Εικόνα 10 Διάγραμμα Ροής παραγωγής Βιοντίζελ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Πελέτες από Βιομάζα & Ενέργεια από Άλλη

5.1 Πελέτες από βιομάζα - Οικονομικό και περιβαλλοντικά φιλικό καύσιμο

Οι πελέτες βιομάζας είναι ένα ανανεώσιμο, υψηλής ποιότητας, οικονομικό και περιβαλλοντικά φιλικό στερεό βιοκαύσιμο. Σε αντίθεση με τα συμβατικά καύσιμα βιομάζας (κούτσουρα ξύλου, κλαδέματα δέντρων κ.λπ.) τα οποία συνοδεύονται από σημαντικά μειονεκτήματα εξαιτίας της χαμηλής ενεργειακής πυκνότητάς τους και της υψηλής περιεκτικότητάς σε υγρασία, οι πελέτες βιομάζας καταφέρνουν να συνδυάσουν τα ακόλουθα πολύτιμα χαρακτηριστικά: χαμηλή υγρασία, υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο και ομοιομορφία στο σχήμα και το μέγεθος. Η τελευταία αυτή ιδιότητα (της ομοιομορφίας) είναι εξαιρετικά σημαντική σε θέματα που σχετίζονται με την μεταφορά και αποθήκευση του καυσίμου.

Μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών βιομάζας μπορούν χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πελετών, με την πλειοψηφία τους να προέρχεται από κομμάτια ξύλου, είτε μαλακού (π.χ. πεύκο, έλατο, ερυθρελάτη) ή σκληρού (π.χ. δρυς, σημύδα, ιτιά, λεύκα). Τα υπολείμματα των πριστηρίων, όπως το πριονίδι, το ροκανίδι και τα ξακρίδια συνιστούν εξίσου δημοφιλή υλικά για την παραγωγή πελετών βιομάζας.



Εικόνα 11 Πελέτες βιομάζας

Η σταθερή χημική σύσταση του καυσίμου το καθιστά κατάλληλο για χρήση σε ποικίλες εφαρμογές, από οικιακές σόμπες και καυστήρες κεντρικής θέρμανσης μέχρι μεγάλης κλίμακας μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η μορφή τους σε συνδυασμό με το μικρό κυλινδρικό τους σχήμα προσδίδει στις πελέτες ιδιότητες ρευστού και επιτρέπει την εισαγωγή συστημάτων πλήρους αυτοματισμού σε αρκετές εφαρμογές, διευκολύνοντας περαιτέρω τη διαχείρισή τους ως καύσιμο.

Για τους παραπάνω λόγους οι πελέτες βιομάζας έχουν εμφανίσει τόσο κατακόρυφη ανάπτυξη ως εναλλακτικό, φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο, την τελευταία 20ετία στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες παγκοσμίως.

Σε κάθε περίπτωση, πρέπει να τονιστεί ότι οι πελέτες βιομάζας δεν επιτρέπεται επ' ουδενί να λαμβάνονται από την παράνομη υλοτόμησης των δασών, καθώς σε διαφορετική περίπτωση αίρεται ο οικολογικός χαρακτήρας του καυσίμου. Έτσι,

χρησιμοποιούνται μόνο υπολείμματα νομίμων υλοτομικών δραστηριοτήτων ή παραπροϊόντα επεξεργασίας ξύλου, των οποίων και οι ποσότητες είναι σημαντικές σε όλη την χώρα ενώ αποτελούν ταυτόχρονα εστία ανάπτυξης πυρκαγιών, ιδίως κατά τους θερινούς μήνες.

5.2 Τα στάδια παραγωγής των πελετών – Προεπεξεργασία της βιομάζας

Οι πελέτες παράγονται από πρώτες ύλες - παραπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου (π.χ. από πριστήρια), από υπολείμματα υλοτομίας και από ειδικές αειφόρες δασικές καλλιέργειες μικρού περιόδου χρόνου.

Πέραν τούτων, υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής αγροπελετών τα οποία προέρχονται από γεωργικά υπολείμματα (π.χ. άχυρο) ή από κλαδέματα καλλιεργειών. Οι αγροπελέτες μειονεκτούν ως προς τις πελέτες ξύλου κυρίως λόγω της σημαντικά υψηλότερης περιεκτικότητας τους σε τέφρα.

Υπάρχουν 7 διαφορετικά στάδια κατά την παραγωγική διαδικασία των πελετών με πρώτη ύλη βιομάζα:

- 1) Αποθήκευση πρώτων υλών
- 2) Καθαρισμός πρώτων υλών από προσμίξεις (Προεπεξεργασία Βιομάζας)
- 3) Ξήρανση βιομάζας
- 4) Άλεση-τεμαχισμός βιομάζας
- 5) Πελετοποίηση
- 6) Ψύξη και Κοσκίνιση των πελετών (Παραγωγή Πελετών)
- 7) Αποθήκευση των πελετών

▲ Αποθήκευση των πρώτων υλών

Ένα καλό σύστημα αποθήκευσης των πρώτων υλών είναι απαραίτητο για την διατήρηση της βιομάζας μακριά από ακαθαρσίες και για την προστασία της από βροχή, η οποία μπορεί να αυξήσει την υγρασία της σε τέτοιο βαθμό, ώστε να είναι ασύμφορη η ξήρανση της (και άρα η χρήση της στην παραγωγική διαδικασία). Η αυτοματοποιημένη τροφοδοσία της πρώτης ύλης από τον χώρο αποθήκευσης στον χώρο παραγωγής (π.χ. μέσω μεταφορικής ταινίας ή κοχλίας) προτιμάται συχνά για την συρρίκνωση του εργατικού κόστους.

▲ Καθαρισμός των πρώτων υλών από προσμίξεις

Το στάδιο αυτό είναι βασικό κυρίως στις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται ανακυκλωμένη ή ακατέργαστη ξυλεία (π.χ. παλέτες) ως πρώτη ύλη. Έτσι πολλές μονάδες χρησιμοποιούν μηχανισμούς διαχωρισμού της ξυλείας από αδρανή υλικά, όπως πέτρες, ή μαγνητικούς διαχωριστήρες για τη δέσμευση μεταλλικών αντικειμένων, όπως καρφιά και πρόκες. Η παρουσία ακόμα και της παραμικρής ποσότητας τέτοιων προσμίξεων στο τελικό προϊόν είναι απαράδεκτη ενώ παράλληλα μπορούν να προκαλέσουν σοβαρότατες φθορές στον εξοπλισμό της παραγωγικής διαδικασίας, π.χ. στον σφυρόμυλο και την πρέσα.

▲ Ξήρανση βιομάζας

Η πλειοψηφία των χρησιμοποιούμενων υλικών για την παραγωγή πελετών απαιτεί ξήρανση ώστε να παραχθεί ικανοποιητικής ποιότητας προϊόν. Μόνο ελάχιστα υλικά τα οποία συλλέγονται ξηρά, όπως το άχυρο, μπορούν να παρακάμψουν αυτό το στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας. Η ξήρανση της βιομάζας σε ένα επίπεδο μεταξύ 10 και 15% είναι απαραίτητη. Οι ξηραντήρες βιομάζας που χρησιμοποιούνται είναι ως επί το πλείστον τύπου περιστρεφόμενου τυμπάνου (drum dryers), αν και υπάρχουν και αρκετές αναφορές σε ξηραντήρες ζώνης (belt dryers). Το καύσιμο που χρησιμοποιείται για την ξήρανση της βιομάζας είναι είτε φυσικό αέριο είτε μέρος της ίδιας της βιομάζας, με τη δεύτερη επιλογή να προτιμάται για περιβαλλοντικούς, τεχνικούς και οικονομικούς λόγους. Σημειώνεται ότι το συγκεκριμένο στάδιο αποτελεί το πιο ενεργοβόρο της παραγωγικής διαδικασίας ενώ συνεισφέρει στο μέγιστο βαθμό στα λειτουργικά έξοδα της μονάδας. Κατά συνέπεια, η πλειοψηφία των ερευνητικών προσπαθειών και καινοτομιών στην παραγωγή των πελετών εντοπίζεται στη διαδικασία επιτυχούς ξήρανσης της πρώτης ύλης.

▲ Τεμαχισμός-Άλεση βιομάζας

Πριν την εισαγωγή της στην πρέσα πελλετοποίησης, είναι απαραίτητο η βιομάζα να έχει αποκτήσει την κατάλληλη ομοιογένεια και κοκκομετρία. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιτυγχάνονται με τη χρήση διαφόρων ειδών μηχανημάτων τεμαχισμού και άλεσης της πρώτης ύλης, όπως είναι οι σφυρόμυλοι. Το μέγεθος της τεμαχισμένης βιομάζας που πρόκειται να εισαχθεί στην πρέσα δεν είναι τυχαίο: τα σωματίδια πρέπει να μην είναι αρκετά μεγάλα ώστε να μπορούν να εισέρχονται μέσα από τις τρύπες του καλουπιού της πρέσας. Από την άλλη, όμως, αν είναι πολύ λεπτόκοκκη η ύλη υπάρχει μικρότερη απόδοση μετατροπής της βιομάζας σε πελέτες, καθώς είναι πιο δύσκολη η συσσωμάτωση των σωματιδίων.

Αφού έχουν αποκτηθεί οι απαραίτητες ιδιότητες από την βιομάζα όσον αφορά στην καθαρότητά της, την υγρασία της και τις διαστάσεις της, γίνεται εισαγωγή της στον βασικό εξοπλισμό διαμόρφωσης και παραγωγής των πελετών, την πρέσα.

▲ Πελλετοποίηση

Οι πελέτες παράγονται από την συμπίεση της κοκκοποιημένης βιομάζας σε ειδική πρέσα μέσα από τις τρύπες ανοξείδωτου καλουπιού με το οποίο είναι εξοπλισμένη και το οποίο δίνει στα πολλές τη χαρακτηριστική κυλινδρική μορφή τους. Η δυναμικότητα κάθε πρέσας πολλές κυμαίνεται από μερικές δεκάδες κιλά έως μερικές δεκάδες τόνους ανά ώρα. Αντίστοιχα μεγάλη διακύμανση εμφανίζεται και στην απόδοση των διαφόρων τύπων πρέσας.

Η εφαρμογή υψηλών πιέσεων στην εισερχόμενη κοκκοποιημένη βιομάζα εξαναγκάζει το υλικό σε μια κίνηση μέσα από τις τρύπες του κυκλικού καλουπιού, με τη διάμετρο των συγκεκριμένων τρυπών να καθορίζουν, τελικά, και τη διάμετρο των παραγόμενων πολλές. Καθώς αυξάνεται η ασκούμενη πίεση, αυξάνονται οι τριβές μεταξύ των κόκκων της βιομάζας με άμεση συνέπεια την άνοδο της θερμοκρασίας της. Η αυξημένη θερμοκρασία μαλακώνει την λιγνίνη (μία εκ των τριών βασικών ομάδων ενώσεων της βιομάζας μαζί με την κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες) η οποία δρα σαν συγκολλητική ουσία μεταξύ των σωματιδίων της βιομάζας. Η ρύθμιση της κατάλληλης θερμοκρασίας για να γίνει αυτό επιτυγχάνεται μέσω του κατάλληλου σχεδιασμού του καλουπιού, το οποίο θα πρέπει να δημιουργεί το απαιτούμενο επίπεδο αντίστασης στη ροή των σωματιδίων βιομάζας ώστε να αναπτυχθούν οι επιθυμητές πιέσεις- άρα και θερμοκρασίες. Σε περίπτωση που οι τρύπες του καλουπιού είναι μεγαλύτερες από όσο πρέπει, το υλικό διαφεύγει εύκολα μέσα από αυτές και δεν αναπτύσσονται ικανές πιέσεις-θερμοκρασίες για την παραγωγή ενός συμπαγούς προϊόντος δίχως θρύμματα. Η ύπαρξη, βέβαια, πολύ μικρών οπών στα καλούπια συνεπάγεται την απότομη αύξηση της θερμοκρασίας, την μερική πυρόλυση (ατελή καύση) ορισμένων σωματιδίων και την παραγωγή υποβαθμισμένης ποιότητας τελικού προϊόντος.

Το στάδιο της πελλετοποίησης είναι η μόνη φάση της παραγωγικής διαδικασίας των πελετών στην οποία μπορεί να χρησιμοποιηθούν και πρόσθετες ενώσεις. Πιο συγκεκριμένα, για την ενίσχυση της συνεκτικότητας των πελετών προστίθεται κάποιες φορές κάποιο φυσικό συγκολλητικό, όπως το άμυλο. Η χρήση ή μη των φυσικών προσθέτων εξαρτάται βασικά από την ποιοτική σύσταση της πρώτης ύλης, δηλαδή από την αναλογία της λιγνίνης ως προς την κυτταρίνη, τις ημικυτταρίνες και την τέφρα του υλικού. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα προσθέτων στο τελικό προϊόν καθορίζεται βάσει των διεθνών προτύπων ποιότητας.

Με κατάλληλο σχεδιασμό του καλουπιού της πρέσας και προσεκτικό έλεγχο ολόκληρης της διεργασίας, οι πελέτες εξέρχονται από την πρέσα με υγρασία λιγότερο από 10%, πυκνότητα μεγαλύτερη των 600 kg/m³ και θερμογόνο δύναμη που υπερβαίνει τις 4,7 kWh/kg.

▲ Ψύξη και κοσκίνηση των πελετών

Οι πελέτες που εξέρχονται από την πρέσα είναι πολύ μαλακά και ζεστά (70-90 °C) για να μπορούν να αποθηκευτούν και συσκευαστούν ως έχουν. Κατά συνέπεια αφήνονται να ψυχθούν στον αέρα μέσω ταινίας μεταφοράς, ώστε να σταθεροποιηθεί η λιγνίνη ως συγκολλητικό μέσο των ιών κυτταρίνης. Αφού ψυχθούν και

αποκτήσουν την επιθυμητή σκληρότητα, οι πελέτες διέρχονται από βιομηχανικά κόσκινα από όπου διαχωρίζονται από τις σκόνες και τα θρύμματα. Σημειώνεται ότι η παρουσία θρυμμάτων στο τελικό προϊόν, μπορεί να το θέσει εκτός προδιαγραφών και να δυσχεράνει την απορρόφησή του από την αγορά. Τα διαχωρισμένα θρύμματα ανακυκλώνονται ούτως ώστε να ελαχιστοποιείται η απώλεια της βιομάζας και να αυξάνεται η συνολική απόδοση της διεργασίας.

▲ Αποθήκευση των πελετών

Καθώς οι πελέτες αποτελούν υψηλής ποιότητας καύσιμο, οι συνθήκες αποθήκευσής του είναι απαραίτητο να εξασφαλίζουν τη διατήρηση της ποιότητάς του. Η αποθήκευσή του σε τυποποιημένες σακούλες σταθερού βάρους από όπου προστατεύονται από τις ακαθαρσίες του περιβάλλοντος και από την υγρασία είναι συνήθως πρακτική, ιδίως όταν οι κύριοι καταναλωτές είναι μικροί οικιακοί χρήστες. Σε περίπτωση χύδην αποθήκευσης, είναι και πάλι σκόπιμο να τοποθετηθούν είτε σε container ή σε σιλό, ομοίως για να προστατευτούν από την υγρασία και τις ακαθαρσίες.

Είναι λογικό το συμπέρασμα ότι όλα τα παραπάνω επιμέρους στάδια για την παραγωγή των πελετών πρέπει να καταναλώνουν σημαντική ηλεκτρική ενέργεια. Εντούτοις, η περιβαλλοντική διάσταση τους δεν μπορεί να καταρριφθεί: υπολογίζεται ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις για την παραγωγή των πελετών αντιστοιχούν σε λιγότερο από το 22% του ενεργειακού τους περιεχομένου, αφήνοντας τις πελέτες με θετικό ενεργειακό πρόσημο.

5.3 Η αγορά πελετών στην Ελλάδα – Σύνοψη και δυνατότητες

Η Ελλάδα συγκαταλέγεται στις χώρες με το μικρότερο επίπεδο ανάπτυξης των δραστηριοτήτων (παραγωγικών και εμπορικών) που σχετίζονται με τις πελέτες από βιομάζα.

Συγκεκριμένα το 2008, και σύμφωνα με στοιχεία του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Pellets Atlas, η Ελλάδα παρήγαγε συνολικά περίπου 27.800 τόνους πελετών ενώ η εγκατεστημένη δυναμικότητα παραγωγής ανερχόταν στους 87.000 τόνους.

Η συνολική κατανάλωση ανήλθε στους 11.100 τόνους, ενώ, συνεπαγόμενα, η κατά κεφαλή κατανάλωση ήταν περίπου 1 kg, μία από τις χαμηλότερες της Ευρώπης. Αξιολογώντας τις τιμές αυτές αξίζει να αναφέρουμε πως η Σουηδία, που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ευρωπαϊκά ανάπτυξη του τομέα των πελετών, παρήγαγε, το 2008, περίπου 1.4 εκατομμύρια τόνους πελετών, ενώ η κατά κεφαλήν κατανάλωσή τους ανερχόταν στα 201,5 kg. Η κατανάλωση δεν καλυπτόταν από την εγχώρια παραγωγή και, συνεπώς, απαιτούνταν η εισαγωγή περίπου 445.000 τόνων.

Πρέπει ακόμη να επισημανθεί πως στην Ελλάδα, μέχρι σήμερα, οι πελέτες δεν αξιοποιούνταν σχεδόν καθόλου σε εγκαταστάσεις θέρμανσης οικιακής κλίμακας, γεγονός που οφείλεται κατά κύριο λόγο στην απαγόρευση καύσης βιομάζας σε εστίες

θέρμανσης στα μεγάλα αστικά κέντρα (Αθήνα, Θεσσαλονίκη και Σαλαμίνα) που ισχύει εδώ και 18 χρόνια. Σήμερα, σύμφωνα με το Σχέδιο ΚΥΑ "Ρύθμιση θεμάτων σχετικών με τη λειτουργία των σταθερών εστιών καύσης για τη θέρμανση κτιρίων και νερού" προβλέπεται η άρση της προαναφερθείσας απαγόρευσης και, ως εκ τούτου, αναμένεται η αύξηση της αξιοποίησης των πελετών σε εγκαταστάσεις θέρμανσης οικιακής κλίμακας.

Το 2008, μία μικρή ποσότητα των παραγόμενων πελετών αξιοποιούνταν από εγχώριες βιομηχανικές μονάδες. Βάσει των ανωτέρων, λοιπόν, παρατηρούνταν μία πλεονάζουσα ποσότητα, της τάξης των 17.000 τόνων, της παραγόμενης ποσότητας πελετών, η οποία εξαγόταν, κυρίως στην Ιταλία.

Η πρώτη μονάδα παραγωγής πελετών στην Ελλάδα λειτούργησε το 2006 και 5 ακόμη μονάδες κατασκευάστηκαν μέχρι και το 2010.

Έτσι, για πρώτη φορά, οι εξελίξεις στον τομέα των δραστηριοτήτων (παραγωγικών και εμπορικών) που σχετίζονται με τις πελέτες καθίστανται αρκετά ελπιδοφόρες για την ανάπτυξή του.

5.4 Ενέργεια από άλγη

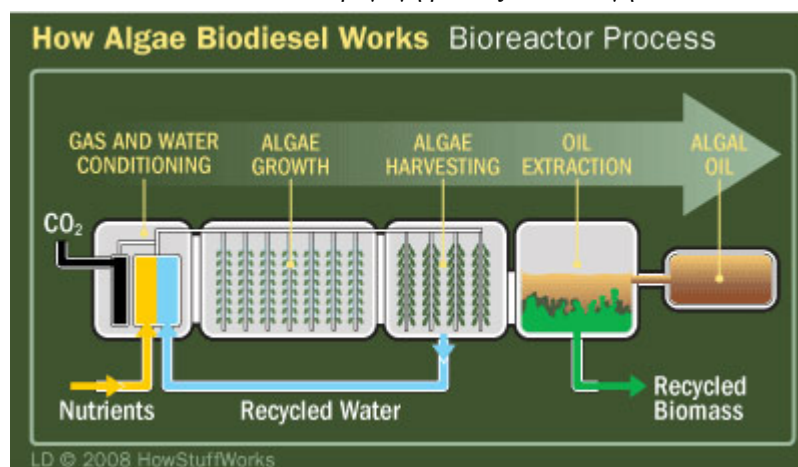
Τα άλγη αποτελούν μία εναλλακτική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.

Το βασικό χαρακτηριστικό των αλγών που επιχειρείτε να αξιοποιηθεί σε βιομηχανική κλίμακα είναι η δυνατότητά τους να δεσμεύουν CO₂ και να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες ηλιακής ενέργειας μέσω της φωτοσύνθεσης.

Τα άλγη, από την λατινική ονομασία των φυκών: algae, αποτελούν μία μεγάλη ομάδα από πλήθος φωτο- και ετεροτροφικών οργανισμών. Αυτοί μπορεί να είναι μονοκύτταροι ή πολυκύτταροι. Ένας τέτοιος μέσος μεμονωμένος μικροσκοπικός μονοκύτταρος οργανισμός έχει διάμετρο περίπου 0,1 μm. Από την άλγη, τα μεγαλύτερα φύκη συνιστούν μεγάλα επιμήκη πολυκυτταρικά συσσωματώματα και το μήκος τους μπορεί να φτάσει τα 50 m. Τα άλγη αναλόγως κυρίως του μεγέθους τους διακρίνονται στα μικρόαλγη και στα μακροάλγη.

Τα άλγη μπορούν να αναπτυχθούν σε αλμυρό, γλυκό ή ακόμη και σε μολυσμένο νερό, στη θάλασσα ή σε λίμνες, καθώς και σε μέρη μη κατάλληλων για την καλλιέργεια διατροφικών προϊόντων. Το βασικό χαρακτηριστικό των αλγών που επιχειρείται να αξιοποιηθεί σε βιομηχανική κλίμακα είναι η δυνατότητά τους να δεσμεύουν CO₂ και να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες ηλιακής ενέργειας μέσω της φωτοσύνθεσης. Είναι αξιοσημείωτο πως μπορούν υπό τις κατάλληλες συνθήκες να υπερδιπλασιάσουν τη μάζα τους μέσα σε ένα 24ωρο.

Εικόνα 12 Παραγωγή βιοντίζελ από άλγη



Από τα άλγη μπορούν να παραχθούν σε μεγάλη ποσότητα φυτικά έλαια, πρωτεΐνες και υδατάνθρακες και να απομονωθούν βιταμίνες και ιχνοστοιχεία. Τα ανωτέρω μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή διάφορων χρήσιμων προϊόντων: καλλυντικά και φαρμακευτικά προϊόντα, βρώσιμα προϊόντα και βιοκαύσιμα. Επίσης από την ελεγχόμενη βιοαποδόμηση των αλγών δύναται να παραχθεί βιοαέριο. Ακόμη, σημαντική εφαρμογή φαίνεται να έχουν στον καθαρισμό υγρών αποβλήτων, όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μετατροπή, την απομάκρυνση ή την απομόνωση ρύπων.

Πίνακας 5.4: Ενεργειακά παράγωγα αλγών και απαιτούμενες διεργασίες

Τελικό προϊόν	Διεργασίες
Βιοντίζελ	Εξαγωγή ελαίου και μετεστεροποίηση
Αιθανόλη	Ζύμωση
Μεθάνιο	Αναερόβια χώνευση βιομάζας, μεθανοποίηση αερίου σύνθεσης παραγόμενου από βιομάζα
Υδρογόνο	Βιοχημική επεξεργασία, Αεριοποίηση/πυρόλυση βιομάζας και επεξεργασία του παραγόμενου αερίου σύνθεσης
Θερμότητα και ηλεκτρισμός	Απευθείας καύση της βιομάζας, αεριοποίηση βιομάζας
Λοιπά καύσιμα υδρογονανθράκων	Αεριοποίηση/πυρόλυση βιομάζας και επεξεργασία του παραγόμενου αερίου σύνθεσης

Προς στιγμής το μεγαλύτερο ερευνητικό ενδιαφέρον έχει επικεντρωθεί στην παραγωγή βιοντίζελ από άλγη. Αυτό οφείλεται κυρίως στην πολύ υψηλή περιεκτικότητα των αλγών σε έλαια αλλά και στη δυνατότητα οικονομικής βιωσιμότητας τέτοιων επενδυτικών σχεδίων. Συγκεκριμένα έχουν απομονωθεί είδη αλγών που το περιεχόμενό τους σε έλαια ανέρχεται έως και στο 50%, πολύ περισσότερο από οποιοδήποτε χερσαίο φυτό. Οι αποδόσεις των αλγών ανά εκτάριο φαίνεται πως είναι μεγαλύτερες από οποιοδήποτε είδος χερσαίου φυτού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Κόριες Εφαρμογές Βιομάζας

6.1 Χρήση της βιομάζας για παραγωγή θερμότητας

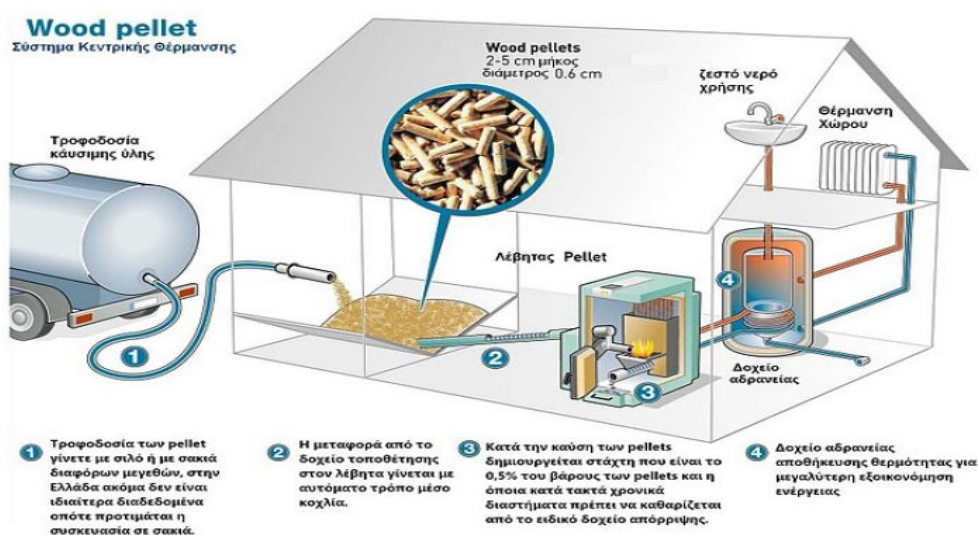
Η παλαιότερη χρήση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι η καύση. Επιτυγχάνεται παρουσία αέρα σε θερμοκρασίες, που κυμαίνονται από 1000-1500 °C και παρέχει θερμότητα η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Μεγάλες ποσότητες βιομάζας χρησιμοποιούνται σήμερα με καύση κυρίως για παραγωγή θερμότητας, αλλά σαν διεργασία έχει χαμηλό βαθμό απόδοσης, συνήθως κάτω του 40%.

Τα παραδοσιακά τζάκια έχουν βαθμό απόδοσης, που κυμαίνεται μεταξύ 10-20%, ενώ μερικές σύγχρονες κατασκευές τζακιών επιτυγχάνουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης της τάξης του 60-80%.

6.2 Θέρμανση κτιρίων με βιομάζα

Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση κτιρίων με τζάκι, σόμπα ή σύστημα κεντρικής θέρμανσης. Η καύση ξύλων σε σόμπες είναι ευρύτατα διαδεδομένη σήμερα σε αγροτικά σπίτια, όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες βιομάζας, κυρίως από το κόψιμο δένδρων και κυρίως ελιάς.

Πολλά σπίτια χρησιμοποιούν για θέρμανση τζάκια με την καύση ξύλων. Ενώ τα παλαιότερα τζάκια είχαν χαμηλούς βαθμούς απόδοσης, σήμερα τα σύγχρονα τζάκια έχουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση ολόκληρης της κατοικίας.



Εικόνα 13 Θέρμανση κτιρίου με πελέτες

Αρκετά διαδεδομένα είναι επίσης σήμερα τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης με χρήση ξύλων ή πυρηνόξυλου. Αυτά χρησιμοποιούνται ως εναλλακτική λύση των συστημάτων θέρμανσης με καυστήρα πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Ο καυστήρας τους είναι διαφορετικός από εκείνο του πετρελαίου και αποτελείται από έναν έλικα, που μεταφέρει το πυρηνόξυλο από το σιλό στην εστία καύσης, ενώ ένας ανεμιστήρας χρησιμοποιείται για την παροχή αέρα, που υποβοηθάει την καύση. Στην περίπτωση αυτή ο ιδιοκτήτης αγοράζει το πυρηνόξυλο σε σακιά από ένα πυρηνελαιουργείο και κατά τακτά χρονικά διαστήματα γεμίζει το σιλό του καυστήρα. Επειδή το πυρηνόξυλο είναι διαβρωτικό, λόγω του ότι περιέχει υπολείμματα οξέων, θα πρέπει το σύστημα καύσης να κατασκευάζεται από ανθεκτικά υλικά. Το κόστος του καυστήρα για χρήση πυρηνόξυλου είναι ελαφρά μεγαλύτερο από εκείνο του πετρελαίου (μαζούτ ή ντίζελ) ή του υγραερίου. Όμως, το κόστος του πυρηνόξυλου σε σχέση με την ενεργειακή του αξία είναι χαμηλότερο από του πετρελαίου ή του υγραερίου.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός, ότι ο καυστήρας του πυρηνόξυλου μετά το τέλος της χρήσης του διατηρεί μία μικρή εστία φωτιάς για χρονικό διάστημα 2-3 ημερών. Εάν χρησιμοποιηθεί ξανά στο χρονικό αυτό διάστημα, η ανάφλεξη του πυρηνόξυλου γίνεται αμέσως, ενώ όταν χρησιμοποιηθεί μετά την παρέλευση του χρονικού διαστήματος των 2-3 ημερών, όταν η εστία φωτιάς θα έχει σβήσει, θα πρέπει ο χρήστης του καυστήρα να προκαλέσει μία ανάφλεξη (π.χ. λίγο βαμβάκι με οινόπνευμα αναμμένο).

6.3 Χρήση της βιομάζας με τηλεθέρμανση

Η βιομάζα, είτε δασική είτε άλλης μορφής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τηλεθέρμανση. Στην περίπτωση αυτή παράγεται θερμό νερό σε έναν κεντρικό καυστήρα με την καύση της βιομάζας και το θερμό νερό μεταφέρεται με έναν καλά μονωμένο υπόγειο σωλήνα στην περιοχή χρήσης του.

Κάθε κτίριο, που είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο, μπορεί να χρησιμοποιήσει το θερμό νερό για να καλύψει τις ανάγκες θέρμανσής του. Χρησιμοποιούνται συνήθως δύο κεντρικοί σωλήνες, σε κλειστό δίκτυο, ένας για τη προσαγωγή του θερμού νερού και ένας για την απαγωγή του και την επαναφορά του στο λέβητα για επαναθέρμανση. Για τη μεταφορά του νερού χρησιμοποιούνται αντλίες και καλά μονωμένοι σωλήνες, όπου η πτώση της θερμοκρασίας του νερού είναι κάτω του 1 °C ανά km σωλήνα.

6.4 Παραγωγή ενέργειας σε βιοτεχνίες ξύλου

Τα υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου (πριονίδι, πούδρα, ξακρίδια κλπ) χρησιμοποιούνται για τη κάλυψη των θερμικών αναγκών της διεργασίας καθώς και για την θέρμανση των κτιρίων.

6.5 Θέρμανση θερμοκηπίων

Σε περιοχές της χώρας όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες διαθέσιμης βιομάζας, χρησιμοποιείται η βιομάζα σαν καύσιμο σε κατάλληλους λέβητες για τη θέρμανση θερμοκηπίων.

Μια σχετικά νέα μέθοδος θέρμανσης θερμοκηπίων με χρήση βιομάζας αποτελεί η θέρμανση με ελαιοπυρηνόξυλο. Το πυρηνόξυλο από κατάλληλα σιλό μεταφέρεται σε ένα καυστήρα/λέβητα, και το θερμό νερό που παράγεται κυκλοφορώντας σε επιδαπέδιο σύστημα σωληνώσεων που βρίσκεται εντός του θερμοκηπίου θερμαίνει το χώρο. Το πυρηνόξυλο μεταφέρεται αυτόματα σε μια κοχλιωτή έλικα του Αρχιμήδη στον καυστήρα, ενώ με ένα ανεμιστήρα διοχετεύεται αέρας στον καυστήρα για να διευκολύνει την καύση. Στην περίπτωση επιδαπέδιου συστήματος πλαστικών σωληνώσεων η θερμοκρασία του θερμού νερού κυμαίνεται στους 55°C περίπου και η θερμοκρασία του νερού επιστροφής 5-8°C χαμηλότερα. Σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι αυτοματοποιούνται πλήρως και μπορούν να επιτύχουν πλήρη έλεγχο της θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου.

Η μέθοδος αυτή θέρμανσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν τα θερμοκήπια βρίσκονται κοντά σε ελαιοπαραγωγικές περιοχές, που υπάρχει διαθέσιμο ελαιοπυρηνόξυλο, διαφορετικά η μεταφορά του κοστίζει αρκετά.

6.6 Παραγωγή βιοαερίου από τους χώρους υγειονομικής ταφής στερεών απορριμμάτων

Κατά την ταφή των στερεών απορριμμάτων σε κατάλληλους χώρους λαμβάνεται μέριμνα κατασκευής εγκαταστάσεων συλλογής του παραγόμενου βιοαερίου.

Το βιοαέριο παράγεται από τη ζύμωση των οργανικών ουσιών των απορριμμάτων απουσία αέρα και η παραγωγή του διαρκεί αρκετά χρόνια. Για τη συλλογή του τοποθετούνται κατά διαστήματα σωληνώσεις, που οδηγούν το παραγόμενο βιοαέριο στους χώρους συγκέντρωσης και αποθήκευσής του.

Ανάλογα με το μέγεθος του χώρου υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου μπορεί να είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη και μπορεί είτε απλώς να καεί είτε να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας.

Συλλογή του βιοαερίου από χώρους υγειονομικής ταφής γίνεται σήμερα με κατάλληλες επεμβάσεις, ακόμα και όταν δεν έχει ληφθεί μέριμνα κατασκευής των κατάλληλων συστημάτων κατά τη δημιουργία του χώρου υγειονομικής ταφής.

6.7 Παραγωγή βιοαερίου από την ιλύ που παράγεται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων

Η ιλύς που παράγεται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή βιοαερίου. Η διαδικασία είναι οικονομικά βιώσιμη σε μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας, δυναμικότητας άνω των 50.000-100.000 ισοδυνάμων κατοίκων.

Η παραγόμενη πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια ιλύς χωνεύεται σε μεγάλους αντιδραστήρες, όπου παράγεται το βιοαέριο, ενώ η χωνευθείσα ιλύς υφίσταται

επεξεργασία σε επόμενο στάδιο για τη μείωση της υγρασίας της με φίλτρανση, φυγοκέντρωση ή ξήρανση.

Το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή θερμότητας με καύση, μέρος της οποίας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του βιοαντιδραστήρα, όπως επίσης και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η προκύπτουσα χωνεμένη ιλύς είναι σταθεροποιημένη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη γεωργία σαν λίπασμα ή εδαφοβελτιωτικό, σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις (ΚΥΑ 80568/4225/22-3-91).

6.8 Χρήση βιομάζας για συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού

Η βιομάζα χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Προτιμώνται τα συστήματα συμπαραγωγής γιατί επιτυγχάνουν υψηλούς συνολικούς βαθμούς απόδοσης της τάξης του 70-80%. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι σχετικά απλή, όπου η βιομάζα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού και αυτός για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ατμοστρόβιλο. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί διαφορετική τεχνολογία, όπου η βιομάζα αεριοποιείται και τα αέρια καύσεως παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με ένα αεριοστρόβιλο. Στην Ελλάδα έχει αναφερθεί ένα μόνο σύστημα για τη συμπαραγωγή από βιομάζα, ενώ έχει επίσης διερευνηθεί η δυνατότητα χρησιμοποίησης του πυρηνόξυλου για συμπαραγωγή.

Σε άλλες χώρες επίσης η βιομάζα χρησιμοποιείται για συμπαραγωγή, όπως στις ΗΠΑ όπου για συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού χρησιμοποιείται δασική βιομάζα, όπου γίνεται καλλιέργεια ενεργειακών φυτειών. Στη Δανία χρησιμοποιείται επίσης η βιομάζα είτε μόνη της είτε σε ανάμιξη με τον άνθρακα για συμπαραγωγή. Χρησιμοποιούνται άχυρο, κτηνοτροφικά απόβλητα, βιομηχανικά απόβλητα και υπολείμματα ξύλου.

Για να είναι οικονομικά βιώσιμη η συμπαραγωγή από βιομάζα θα πρέπει να πωλείται όση ηλεκτρική ενέργεια δεν ιδιοκαταναλώνεται και να αξιοποιείται η συμπαραγόμενη θερμότητα, κάτι που δεν είναι πάντα εύκολο σε χώρες με ήπιο κλίμα όπως η Ελλάδα.

6.9 Δημιουργία ενεργειακών φυτειών

Με τον όρο ενεργειακή φυτεία νοείται η φυτεία εκείνη στην οποία η παραγόμενη βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Στις ενεργειακές φυτείες περιλαμβάνονται:

- α) Γεωργικές φυτείες που τα παραγόμενα προϊόντα περιέχουν άμυλο ή σάκχαρο, τα οποία μπορούν να μετατραπούν σε αιθανόλη.
- β) Γεωργικές φυτείες που τα παραγόμενα προϊόντα περιέχουν έλαια κατάλληλα για την παραγωγή βιολογικού ντήζελ.
- γ) Δασικές φυτείες που η παραγόμενη βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού είτε με καύση είτε με κάποια άλλη θερμοχημική διεργασία.

Αναρίθμητες φυτείες έχουν προταθεί ή έχουν ελεγχθεί για τη παραγωγή ενέργειας. Σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά της ιδανικής ενεργειακής φυτείας είναι:

- Υψηλή απόδοση (μέγιστη παραγωγή ξηράς ύλης ανά στρέμμα)
- Μικρές ενεργειακά ανάγκες κατά τη παραγωγή
- Χαμηλό κόστος
- Σύνθεση με τους λιγότερους ρυπαντές
- Χαμηλές ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά

Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά εξαρτώνται επίσης από το μικροκλίμα κάθε περιοχής και τη σύσταση του εδάφους. Η κατανάλωση νερού επίσης μπορεί να είναι περιοριστική σε πολλές περιοχές του κόσμου κι έτσι να καθιστά την αντοχή της καλλιέργειας στην ξηρασία καθοριστική παράμετρο. Επιπλέον, σημαντικά χαρακτηριστικά είναι η αντίσταση της φυτείας στα παράσιτα και οι απαιτήσεις της σε λιπάσματα.

Παρακάτω γίνεται αναφορά σε δύο είδη ενεργειακών φυτειών που θα μπορούσαν να αναπτυχθούν στην Ελλάδα.

1) Δασικές φυτείες που παράγουν βιομάζα και οι οποίες αρδεύονται με επεξεργασμένα αστικά λύματα.

Τα επεξεργασμένα αστικά λύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση δασικών εκτάσεων όπου η παραγόμενη βιομάζα μπορεί να συλλεχθεί και να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας.

Εφόσον τα επεξεργασμένα αστικά λύματα διατίθενται για άρδευση δασικών εκτάσεων, θα πρέπει η ποιότητα εκροής τους να ακολουθεί ορισμένες προδιαγραφές. Έτσι, αφενός θα πρέπει να αποφευχθεί η μόλυνση του εδάφους και των υπογείων νερών και αφετέρου θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα μόλυνσης ατόμων που πιθανώς εργάζονται ή επισκέπτονται τις δασικές εκτάσεις. Συνεπώς η ποιότητα εκροής των επεξεργασμένων λυμάτων, όσον αφορά τις φυσικές, χημικές και μικροβιολογικές παραμέτρους, θα πρέπει να κυμαίνεται εντός ορισμένων ορίων, και επειδή τα προϊόντα των δασικών φυτειών δεν υπεισέρχονται στην τροφική αλυσίδα, τα όρια αυτά είναι πιο ελαστικά από εκείνα που θα πρέπει να ισχύουν στην περίπτωση που τα επεξεργασμένα αστικά λύματα αρδεύουν γεωργικές καλλιέργειες.

Αστικά λύματα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία καθαρισμού είναι κατάλληλα για άρδευση δασικών εκτάσεων.

Η παραγωγικότητα σε βιομάζα της δασικής φυτείας είναι καθοριστικής σημασίας για την παραγωγή ενέργειας. Για τη μεγιστοποίηση της παραγόμενης βιομάζας είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται ταχείας ανάπτυξης είδη, ο κατάλληλος φυτευτικός σύνδεσμος και μικρός περίτροπος χρόνος 5-7 έτη.

Από στοιχεία της βιβλιογραφίας προκύπτει ότι η παραγωγικότητα της ενεργειακής φυτείας σε βιομάζα θα πρέπει να αναμένεται τουλάχιστον σε 1 τόννο ξηρής βιομάζας ανά στρέμμα και έτος.

Η βιομάζα αφού συλλεχθεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί με καύση ή άλλες διεργασίες για παραγωγή ενέργειας. Αν δεχθούμε τη θερμογόνο δύναμη της ξηρής βιομάζας σε 3.500 Kcal/Kg και το βαθμό απόδοσης του συστήματος σε 75%, θα πρέπει να αναμένουμε ότι η παραγόμενη ωφέλιμη θερμότητα κατά την καύση ανέρχεται σε $2.6 \cdot 10^6$ Kcal/στρέμμα και έτος, που ισοδυναμεί με 260 Kg πετρελαίου/στρέμμα και έτος.

Με την καύση της βιομάζας παράγουμε θερμότητα. Είναι όμως δυνατόν να παραχθεί και ηλεκτρική ενέργεια, εφόσον η βιομάζα χρησιμοποιηθεί για συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Για τον υπολογισμό της καθαρής ενέργειας, δηλαδή της ενέργειας που προκύπτει αν από την ωφέλιμη ενέργεια που λαμβάνεται από τη βιομάζα αφαιρεθεί η ενέργεια που έχει δαπανηθεί α) για την άρδευση της φυτείας, β) για τη συλλογή της βιομάζας και γ) για τη μεταφορά της βιομάζας μέχρι το σημείο χρησιμοποίησής της, θα πρέπει να γίνουν αναλυτικοί υπολογισμοί. Οι ενεργειακές δαπάνες ενός τέτοιου συστήματος είναι συνήθως αρκετά μικρότερες από την ωφέλιμη ενέργεια που παράγεται από τη βιομάζα.

Στην Ελλάδα σήμερα ο κύριος όγκος των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων διατίθεται σε υδάτινους αποδέκτες (θάλασσα) κυρίως λόγω του ότι η Ελλάδα σαν παραθαλάσσια χώρα διαθέτει μεγάλο μήκος ακτών. Εφόσον τα επεξεργασμένα αστικά λύματα πρόκειται να διατεθούν στο έδαφος, η διάθεσή τους στη δασοπονία πλεονεκτεί διότι : α) Για την άρδευση δασικών εκτάσεων δεν απαιτείται τόσο καλή ποιότητα εκροής των επεξεργασμένων λυμάτων όσον απαιτείται για την άρδευση γεωργικών εκτάσεων. β) Δεν δημιουργούνται κοινωνικές αντιθέσεις για την άρδευση δασικών εκτάσεων όπως πιθανώς να συμβεί στην περίπτωση διάθεσής τους σε γεωργικές εκτάσεις.

Εφόσον υπάρχουν διαθέσιμες εκτάσεις πλησίον της εγκατάστασης επεξεργασίας των αστικών λυμάτων, για την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς και της αποφυγής κατασκευής δικτύων μεταφοράς, η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων στη δασοπονία αποτελεί μία ελκυστική εναλλακτική λύση έναντι της διάθεσής τους σε υδάτινο αποδέκτη ή στη γεωργία. Σε μια τέτοια περίπτωση το ιδιοκτησιακό καθεστώς των δασικών εκτάσεων δεν θα πρέπει να αποτελέσει εμπόδιο στην προοπτική αυτή.

2) Γεωργικές φυτείες που παράγουν προϊόντα πλούσια σε σάκχαρα όπως το γλυκό σόργο, τα οποία χρησιμεύουν σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης.

Το γλυκό σόργο είναι ένα φυτό πλούσιο σε σάκχαρα και καλλιεργείται σε πολλά μέρη κυρίως για παραγωγή σάκχαρης. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή αιθανόλης μετά από ζύμωση των σακχάρων του. Η απόδοση σε αιθανόλη μιας καλλιέργειας γλυκού σόργου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως:

α) Ο τύπος της γεωργικής καλλιέργειας

- β) Η ποικιλία του φυτού
- γ) Η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία
- δ) Το είδος της ζύμης που χρησιμοποιείται

Μια ενδεικτική τιμή της παραγόμενης αιθανόλης είναι 150 kg ανά καλλιεργούμενο στρέμμα γλυκού σόργου.



Η κυτταρινούχα μάζα του γλυκού σόργου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας με καύση ή για την παραγωγή διαφόρων κυτταρινούχων προϊόντων μετά από κατάλληλη επεξεργασία και συμπίεση. Η παραγόμενη αιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο οχημάτων είτε σκέτη είτε μετά από ανάμιξη με τη βενζίνη. Το κόστος καλλιέργειας του γλυκού σόργου περιλαμβάνει:

Εικόνα 14 Καλλιέργεια γλυκού σόργου

- α) Το κόστος της γης
- β) Το κόστος του νερού άρδευσης
- γ) Το κόστος της εργασίας
- δ) Το κόστος του μηχανολογικού εξοπλισμού
- ε) Λοιπές δαπάνες

Η καλλιέργεια του γλυκού σόργου και η παραγωγή αιθανόλης για καύσιμο ίσως αποτελέσει μία εναλλακτική προοπτική στο μέλλον για ένα τμήμα της Ελληνικής γεωργίας.

6.10 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα στερεά απορρίμματα πτηνοτροφικών μονάδων

Τα απόβλητα των πτηνοτροφείων περιέχουν πριονίδια ξύλου και άχυρο καθώς και τα κόπρανα των πτηνών και έχουν θερμογόνο δύναμη αρκετά υψηλή, γι' αυτό σε μεγάλες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η καύση των αποβλήτων γίνεται στους 850°C περίπου και ο παραγόμενος ατμός χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα απόβλητα μετά τη μεταφορά τους από τα πτηνοτροφεία και μέχρι να καούν διατηρούνται σε ένα θάλαμο με υπό πίεση προς αποφυγή δυσοσμίων στο περιβάλλον. Τα αέρια από τη καύση των αποβλήτων υφίστανται κατάλληλη επεξεργασία και συλλέγεται η σκόνη η οποία είναι πλούσια σε κάλιο και φωσφορικά άλατα.

Η συλλεγόμενη στάχτη από τα φίλτρα επεξεργασίας των αερίων αποβλήτων της καύσης καθώς και από το καυστήρα αποτελεί άριστο λίπασμα, πλούσιο σε κάλιο και

φωσφορικά και χωρίς αζωτούχες ενώσεις, το οποίο πωλείται σαν λίπασμα σε γεωργικές καλλιέργειες.

6.11 Καύση της βιομάζας μαζί με στερεά συμβατικά καύσιμα

Η καύση της βιομάζας για παραγωγή θερμότητας ή/και ηλεκτρισμού μαζί με στερεά συμβατικά ανθρακούχα καύσιμα μπορεί να αποτελέσει μία μέθοδο όπου στο μέλλον σημαντικά ποσά βιομάζας θα χρησιμοποιούνται για παραγωγή ενέργειας. Συνήθως, το ξύλο των δένδρων περιέχει χαμηλότερη υγρασία από ότι ο λιγνίτης και μεγαλύτερα ποσοστά πτητικών ουσιών. Λόγω της χαμηλής υγρασίας ή θερμογόνος δύναμη του ξύλου είναι κατά 15-20% υψηλότερη από του λιγνίτη. Δεδομένου ότι η παραγόμενη στάχτη κατά τη καύση της βιομάζας είναι λιγότερη καθώς και η περιεκτικότητα της σε θείο από ότι στο λιγνίτη κάνει τη βιομάζα ένα ελκυστικό καύσιμο. Βέβαια θα πρέπει το κόστος της συλλογής και της μεταφοράς της βιομάζας μέχρι το σημείο αξιοποίησης της να είναι ανάλογο του κόστους του λιγνίτη. Γενικά ένα υπάρχον εργοστάσιο καύσης του άνθρακα θα πρέπει να υποστεί μάλλον μικρές τροποποιήσεις για να μπορεί να δέχεται και τη βιομάζα σαν καύσιμο. Συνεπώς, η οικονομική ανάλυση της όλης διεργασίας – και όχι οι τεχνολογικές απαιτήσεις – θα καθορίσουν τις προϋπόθεσης εκείνες υπό τις οποίες, η βιομάζα θα μπορεί να αποτελέσει ένα καύσιμο συμπληρωματικό του άνθρακα (με ταυτόχρονη καύση) για παραγωγή θερμότητας ή/και ηλεκτρικής ενέργειας.

6.12 Παραγωγή ασβέστη με καύσιμη ύλη γεωργικά υπολείμματα

Η χρήση γεωργικών υπολειμμάτων σαν καύσιμη ύλη στη παραγωγή ασβέστη έχει βρει διάφορες εφαρμογές. Στα Τρίκαλα ένα ασβεστοκάμινο χρησιμοποιεί σαν καύσιμη ύλη υπολείμματα βάμβακος, φλοιούς από αμύγδαλο, πριονίδι κ.ά. Έτσι η βιομάζα μπορεί να αντικαταστήσει με επιτυχία το μαζούτ, που είναι η συνηθισμένη καύσιμη ύλη που χρησιμοποιούν τα ασβεστοκάμινα. Ορισμένα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την καύση της βιομάζας, όπως η δημιουργία συμπαγούς μάζας στη κύρια εστία καύσης και η διάβρωση των πυρότουβλων, λύθηκαν με τον έλεγχο της θερμοκρασίας καύσης. Σε ένα άλλο ασβεστοκάμινο στα Χανιά χρησιμοποιείται πυρηνόξυλο σαν καύσιμη ύλη. Δεδομένου ότι το κόστος του καυσίμου συμμετέχει σε μεγάλο ποσοστό στο κόστος του τελικού προϊόντος, δηλαδή του ασβέστη, τα ασβεστοκάμινα ενδιαφέρονται να υποκαταστήσουν το ακριβό υγρό συμβατικό καύσιμο με φθηνά στερεά καύσιμα και κατά προτίμηση γεωργικά παραπροϊόντα και υπολείμματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Επιπτώσεις της Ενεργειακής Αξιοποίησης της Βιομάζας

7.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση βιομάζας για τη παραγωγή ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

1. Η αποτροπή του φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο σε μεγάλο βαθμό οφείλεται στο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η βιομάζα δεν συνεισφέρει στην αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου αυτού στην ατμόσφαιρα, διότι ενώ κατά τη καύση της παράγεται διοξείδιο του άνθρακα, κατά τη παραγωγή της όμως και μέσω της φωτοσύνθεσης επαναδεσμεύονται αρκετές ποσότητες του ρύπου αυτού.
2. Η αποφυγή της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας με το διοξείδιο του θείου (SO_2) το οποίο παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων και συντελεί στο φαινόμενο της όξινης βροχής. Η περιεκτικότητα της βιομάζας σε θείο είναι πραγματικά αμελητέα.
3. Η μείωση της ενεργειακής εξάρτησης που είναι αποτέλεσμα της εισαγωγής καυσίμων από τρίτες χώρες, με αντίστοιχη εξοικονόμηση συναλλάγματος.
4. Η εξασφάλιση εργασίας και η συγκράτηση των αγροτικών πληθυσμών στις παραμεθόριες και αγροτικές περιοχές συμβάλει στην περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας.

Τα μειονεκτήματα που συνδέονται με την χρήση της βιομάζας και αφορούν, ως επί το πλείστον, δυσκολίες στην εκμετάλλευσή της είναι τα εξής:

1. Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.
2. Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν τη συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.
3. Βάση των παραπάνω προκύπτουν δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευση της βιομάζας που αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησής της.
4. Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού σε σύγκριση με αυτό των συμβατικών καυσίμων.

Εξαιτίας των παραπάνω μειονεκτημάτων και για την πλειοψηφία των εφαρμογών της, το κόστος της βιομάζας παραμένει συγκριτικά προς το πετρέλαιο υψηλό. Ήδη, όμως,

υπάρχουν εφαρμογές στις οποίες η αξιοποίηση της βιομάζας παρουσιάζει οικονομικά οφέλη. Επιπλέον, το πρόβλημα αυτό βαθμιαία εξαλείφεται, αφ' ενός λόγω της ανόδου των τιμών του πετρελαίου, αφετέρου και σημαντικότερο, λόγω της βελτίωσης και ανάπτυξης των τεχνολογιών της βιομάζας. Τέλος, πρέπει κάθε φορά να συνυπολογίζεται και το περιβαλλοντικό όφελος, το οποίο, αν και συχνά δεν μπορεί να αποτιμηθεί με οικονομικά οφέλη είναι σημαντικό για την ποιότητα της ζωής και την αειφόρο ανάπτυξη.

7.2 Οικονομικές επιπτώσεις

Η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα βοηθά την αύξηση του εθνικού εισοδήματος, εφόσον ενθαρρύνει την εκμετάλλευση με αποδοτικό τρόπο των αγχρησιμοποίητων ή των υπό εκμεταλλεύμενων αποθεμάτων, όπως τα απόβλητα και τα υπολείμματα που μέχρι σήμερα παρέμειναν αγχρησιμοποίητα, οι εγκαταλελειμμένες γαίες, η ανεκμετάλλευτη εργασία.

Για τις μικροοικονομικές επιπτώσεις της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας δεν είναι εύκολο να διατυπωθούν γενικοί κανόνες, γιατί το οικονομικό περιβάλλον είναι διαφορετικό σε πολλές χώρες.

Πολλά στοιχεία που υπάρχουν είναι ατεκμηρίωτα, ενώ πειραματικές και αρκετές πιλοτικές εγκαταστάσεις λειτουργούν σε διάφορα μέρη του κόσμου, από τις οποίες αργότερα μπορούν να εξαχθούν πολλά συμπεράσματα.

7.3 Κοινωνικές επιπτώσεις

Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας έχει θετικές κοινωνικές επιπτώσεις. Έτσι η παραγωγή βιομάζας δημιουργεί απασχόληση στον αγροτικό τομέα, ιδιαίτερα σήμερα που η πράσινη επανάσταση, με την αύξηση της παραγωγικότητας στη γεωργία έχει μειώσει την απασχόληση του αγροτικού πληθυσμού.

Η κατασκευή συστημάτων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας μπορεί να γίνει από μικρές τοπικές βιοτεχνίες όπως π.χ. η κατασκευή τζακιών, εστιών καύσης του ξύλου, καθώς και συστημάτων θέρμανσης χώρου με χρήση του πυρηνόξυλου. Με τον τρόπο αυτό τονώνεται η απασχόληση στις τοπικές κοινωνίες και στηρίζεται η τοπική παραγωγή μικρών μονάδων

7.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Κατά τη χρήση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας παρουσιάζονται διάφορα προβλήματα, τα οποία είναι διαφορετικά ανάλογα με το είδος της βιομάζας. Παρουσιάζονται επίσης περιβαλλοντικά οφέλη σε σχέση με τη χρησιμοποίηση συμβατικών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας.

Κατά τη δημιουργία της βιομάζας απορροφάται διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, με συνέπεια τη μείωση της συγκέντρωσής του και τη μείωση της επίτασης του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η καύση της βιομάζας συνεπάγεται έκλυση CO₂. Θεωρείται όμως ότι η βιομάζα έχει ουδέτερη επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς η έκλυση CO₂ αντισταθμίζεται με την απορρόφησή του κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης για τη δημιουργία ισόποσης βιομάζας. Λόγω του ότι η συγκέντρωση θείου στη βιομάζα είναι μικρότερη απ' ό,τι στα ορυκτά καύσιμα, η έκλυση SO₂ κατά την καύση της είναι μικρότερη. Συνεπώς η καύση της βιομάζας έχει μικρότερη επίπτωση στο φαινόμενο της όξινης βροχής απ' ό,τι τα ορυκτά καύσιμα.

Κατά την καύση της βιομάζας στα περισσότερα συστήματα επιτυγχάνονται χαμηλές αποδόσεις. Έτσι δημιουργούνται σημαντικές θερμικές απώλειες στο περιβάλλον και συνεπώς προκαλείται θερμική ρύπανση. Ταυτόχρονα εκλύονται σωματίδια, CO και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες.

Όταν χρησιμοποιούνται βιομηχανικά απόβλητα για παραγωγή ενέργειας με αναερόβια χώνευση μειώνεται το ρυπαντικό φορτίο των βιομηχανικών αποβλήτων. Το ίδιο συμβαίνει με τα κτηνοτροφικά απόβλητα. Η ιλύς που παραμένει μετά την χώνευσή τους έχει μικρότερο ρυπαντικό φορτίο από τα αρχικά απόβλητα, καθώς οι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις έχουν αποδομηθεί κατά τη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης.

Ταυτόχρονα διαπιστώνεται σημαντική μείωση των δυσοσμίων. Το ίδιο συμβαίνει με την ιλύ των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Μετά τη χώνευσή της είναι σταθεροποιημένη, καθώς οι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις έχουν διασπασθεί σε απλούστερες, και οι δυσοσμίες είναι λιγότερες.

Η δημιουργία ενεργειακών φυτειών και η παραγωγή βιοαιθανόλης προκαλεί υγρά απόβλητα δύσκολα επεξεργάσιμα και με υψηλό ρυπαντικό φορτίο. Η χρήση όμως της αιθανόλης σαν καύσιμο δημιουργεί λιγότερους αέριους ρύπους απ' ό,τι η βενζίνη. Η παραγωγή φυτικών ελαίων όταν γίνεται με έκθλιψη δημιουργεί υγρά απόβλητα. Αντίθετα η εστεροποίηση των τριγλυκεριδίων τους δεν δημιουργεί υγρά απόβλητα.

Συμπερασματικά η χρήση της βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς έχει θετικές αλλά και αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Πιο αναλυτικά οι ενεργειακές φυτείες παρουσιάζουν τα εξής περιβαλλοντικά προβλήματα:

- α) Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας και της ανάπτυξης της φυτείας η χρήση αγροτοχημικών μπορεί να προκαλέσει μόλυνση του εδάφους και των υπόγειων υδάτων
- β) Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς της βιομάζας από το χώρο συλλογής της στο χώρο επεξεργασίας της έχουμε αρκετούς θορύβους

γ) Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του εργοστασίου αξιοποίησης της βιομάζας έχουμε εκπομπές στερεών και αέριων ρύπων ενώ η εγκατάσταση του εργοστασίου μπορεί να προκαλέσει διαταραχές στα τοπικά οικοσυστήματα.

Στη περίπτωση των στερεών ζωικών απορριμμάτων όπως τα απορρίμματα πτηνοτροφείου πρέπει να αποθηκεύονται πριν τη χρήση τους για κάποιο διάστημα. Αυτό δημιουργεί προβλήματα αφ' ενός δυσοσμίων, αφ' ετέρου ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών που όμως μπορούν να αντιμετωπισθούν κατάλληλα.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την επεξεργασία των υγρών κτηνοτροφικών αποβλήτων σε κατάλληλους αντιδραστήρες είναι σχετικά μικρές.

Τα χωνευθέντα απόβλητα απαιτούν κάποια επιπλέον επεξεργασία πριν μετατραπούν σε λίπασμα. Ταυτόχρονα, παράγεται υγρή λάσπη (ιλύς) η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εδαφοβελτιωτικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 Νομοθετικό Πλαίσιο

8.1 Ευρωπαϊκές οδηγίες για τη Βιομάζα

8.1.1 Γενική Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για τα βιοκαύσιμα

Σε μια προσπάθεια να προωθήσει την χρήση των βιοκαυσίμων στον τομέα των μεταφορών στην Ευρώπη, η Ευρωπαϊκή Ένωση υιοθέτησε την κοινοτική οδηγία 2003/30/ΕΚ. Σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 2003/30/ΕΚ βιοκαύσιμα θεωρούνται κάθε υγρό ή αέριο καύσιμο για τις μεταφορές το οποίο παράγεται από βιομάζα όπου βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων από γεωργικές (συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών), δασοκομικές και συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων. Σύμφωνα με την ίδια οδηγία στην κατηγορία των βιοκαυσίμων εμπίπτουν η βιοαιθανόλη, το βιοντίζελ (μεθυλεστέρας λιπαρών οξέων), το βιοαέριο, η βιομεθανόλη, ο βιοδιμεθυλαιθέρας, ο βιο-ΕΤΒΕ (αιθυλοτριτοβουτυλαιθέρας, ο βιο-ΜΤΒΕ (μεθυλοτριτοβουτυλαιθέρας), τα συνθετικά βιοκαύσιμα (συνθετικοί υδρογονάνθρακες ή μείγματα συνθετικών υδρογονανθράκων που έχουν παραχθεί από βιομάζα), το βιοϋδρογόνο και τα καθαρά φυτικά έλαια. Επίσης η νομοθεσία προβλέπει ότι τα κράτη μέλη οφείλουν να διασφαλίσουν ότι μια ελάχιστη αναλογία βιοκαυσίμων και άλλων ανανεώσιμων καυσίμων διατίθεται στις αγορές τους, αναλογία η οποία για το 2005 ορίζεται στο 2%, υπολογιζόμενη βάσει του ενεργειακού περιεχομένου, επί του συνόλου της βενζίνης και του πετρελαίου ντίζελ που διατίθεται στις αγορές τους προς χρήση στις μεταφορές. Η Ελλάδα το καλοκαίρι του 2005 ενσωμάτωσε την οδηγία αυτή στην εθνική νομοθεσία, όμως δεν κατάφερε να επιτύχει το στόχο του 2% στο τέλος του 2005.

Οι χώρες της Βόρειας Ευρώπης έχουν ήδη επιλύσει (εδώ και δεκαετίες) το πρόβλημα της διαχείρισης των οργανικών και βιοαποδομήσιμων αποβλήτων και επικεντρώθηκαν μόνο στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και πράσινου CO₂. Σε αντίθεση οι χώρες της Νοτίου Ευρώπης και ιδιαίτερα η Ελλάδα, που δεν έχουν ακόμη επιλύσει το πρόβλημα της διαχείρισης των οργανικών και βιοαποδομήσιμων αποβλήτων.

8.2 Το πρωτόκολλο του Κιότο

Το Πρωτόκολλο του Κιότο τέθηκε σε ισχύ στις 7 το πρωί της 16ης Φεβρουαρίου 2005. Πρόκειται για μία φιλόδοξη όσο και περίπλοκη συμφωνία 141 χωρών, με δεσμευτικό χαρακτήρα, που στοχεύει στην αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου και των κλιματικών αλλαγών. Πήρε το όνομά του από την παλιά πρωτεύουσα της

Ιαπωνίας Κιότο, όπου υπογράφηκε το 1997 και προέκυψε από τη Διεθνή Σύμβαση για τις κλιματικές αλλαγές, που είχε υπογραφεί στη Διάσκεψη του Ρίο το 1992.

Τι προβλέπει το Πρωτόκολλο και ποια τα καθήκοντα των χωρών που συμμετείχαν: Το βάρος πέφτει κυρίως στις βιομηχανικές χώρες, οι οποίες θα πρέπει να μειώσουν υποχρεωτικά τους 6 βασικούς ρύπους (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, πρωτοξείδιο του αζώτου, υδροφθοράνθρακες, υπερφθοριωμένοι υδρογονάνθρακες και εξαφθοριούχο θείο), που συνθέτουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα κατά 5,2% ως το 2012, σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.

Όσες χώρες δεν μπόρεσαν να πραγματοποιήσουν τους στόχους του Πρωτοκόλλου, είχαν τη δυνατότητα να συμμετάσχουν σ' ένα ιδιότυπο «χρηματιστήριο ρύπων». Αντί να μειώσουν τις δικές τους εκπομπές, μπορούσαν να χρηματοδοτήσουν προγράμματα για τη μείωση των εκπομπών σε αναπτυσσόμενες χώρες ή εάν είχαν ξεπεράσει το όριο να «πουλήσουν» το επιπλέον δικαίωμα ρύπανσης σε άλλη χώρα.

Για την Ελλάδα, αντίθετα με τις βιομηχανικές χώρες, η συμφωνία προέβλεπε αύξηση των ρύπων κατά 25%, ως το 2010. Όμως, η χώρα μας ξεπέρασε το πλαφόν αυτό ήδη από το 2002 και σύμφωνα με μελέτη του Εθνικού Αστεροσκοπείου η αύξηση ως το 2010 προσέγγιζε το 39% !

8.3 Ευρωπαϊκές δεσμεύσεις – κανόνας 20-20-20

Σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις ΑΠΕ που εκπονήθηκε στο πλαίσιο εφαρμογής της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Πολιτικής, με βάση την Οδηγία 2009/28/ΕΚ (EEL, 140/2009), καθορίζονται μέχρι το έτος 2020 τα εξής:

α) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20%.

β) Συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 40%.

γ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε στην τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ποσοστό τουλάχιστον 20%.

δ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές σε ποσοστό τουλάχιστον 10%.

▲ Βιοκαύσιμα και Βιορευστά

Η οδηγία λαμβάνει υπόψη την ενέργεια που παράγεται από τα βιοκαύσιμα και τα βιορευστά, τα οποία, για να ληφθούν υπόψη, πρέπει να συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 35%. Από την 1^η Ιανουαρίου 2017, το μερίδιό τους στη μείωση των εκπομπών πρέπει να ανέρχεται σε 50%.

Τα βιοκαύσιμα και τα βιορευστά παράγονται από πρώτες ύλες που προέρχονται είτε από το εξωτερικό είτε από το εσωτερικό της Κοινότητας. Τα βιοκαύσιμα και τα βιορευστά δεν πρέπει να έχουν παραχθεί από πρώτες ύλες προερχόμενες από εδάφη με υψηλή αξία βιοποικιλότητας ή εδάφη πλούσια σε άνθρακα. Για να τύχουν χρηματοδοτικής υποστήριξης, πρέπει να έχουν χαρακτηριστεί ως «αιεφόρα» βάσει των κριτηρίων της παρούσας οδηγίας.

8.4 Ελληνική Νομοθεσία για τη Βιομάζα

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με το Νόμο 3851/2010 (στο πλαίσιο υιοθέτησης συγκεκριμένων αναπτυξιακών και περιβαλλοντικών πολιτικών που καθορίζονται από την Οδηγία 2009/29/ΕΚ), ο εθνικός στόχος συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20%, ο οποίος και εξειδικεύεται σε 40% συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, 20% σε ανάγκες θέρμανσης-ψύξης και 10% στις μεταφορές. Πιο συγκεκριμένα, και σύμφωνα με το Άρθρο 10 («Εφαρμογή ΑΠΕ στα κτίρια») του προαναφερθέντος Νόμου, το αργότερο έως τις 31.12.2019, όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να καλύπτουν το σύνολο της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσής τους με συστήματα παροχής ενέργειας που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, συστήματα τηλεθέρμανσης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου, καθώς και σε αντλίες θερμότητας. Για τα νέα κτίρια που στεγάζουν υπηρεσίες του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα, η υποχρέωση αυτή θα πρέπει να τεθεί σε ισχύ το αργότερο έως τις 31.12.2014.

Σήμερα η συνολική ακαθάριστη κατανάλωση ενέργειας στη χώρα εκτιμάται στους 22,4 Mtoe. Οι ΑΠΕ, σύμφωνα με στοιχεία του ΥΠΕΚΑ για το 2010, κατέχουν ποσοστό περίπου 9% επί της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας (η βιομάζα και τα βιοκαύσιμα αποτελούν, μαζί, περίπου το 5% του συνόλου). Με την επίτευξη των εθνικών στόχων για την αξιοποίηση της βιομάζας στον κτιριακό τομέα αναμένεται μία μερική απεξάρτηση από το πετρέλαιο και συνακόλουθα η εξοικονόμηση συναλλάγματος (αρκετών δεκάδων εκατομμυρίων ευρώ). Σε αυτό λειτουργεί υποστηρικτικά η άρση της απαγόρευσης καύσης βιομάζας στις εγκαταστάσεις θέρμανσης των δύο μεγάλων αστικών κέντρων της χώρας.

8.4.1 Νόμος 3468/2006 (ΦΕΚ 129Α/27-06-2006)

“Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις”

Με τις διατάξεις του νόμου 3468/2006 μεταφέρεται στο ελληνικό δίκαιο η Οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27^{ης} Σεπτεμβρίου 2001 για την «προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας» και προωθείται, κατά προτεραιότητα, στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, με κανόνες και αρχές, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές

Ενέργειας (Α.Π.Ε.) και μονάδες Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α.).

Σύμφωνα με τον προκείμενο νόμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α απαιτείται σχετική άδεια. Η άδεια αυτή χορηγείται από τον Υπουργό Ανάπτυξης, μετά από γνώμη της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.). Στο τομέα της βιομάζας εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής πρόσωπα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με χρήση βιομάζας ή βιοκαυσίμων, από σταθμούς με Εγκατεστημένη Ισχύ μικρότερη ή ίση των εκατό (100) kW_e.

8.4.2 Νόμος 3851/2010 (ΦΕΚ 85Α/04-06-2010)

“Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής”

Με τις ρυθμίσεις του ν. 3851/2010 αυξήθηκε το όριο της εγκατεστημένης ισχύος σταθμού βιομάζας, για τους οποίους δεν απαιτείται η έκδοση άδειας παραγωγής, και συνεπακόλουθα άδειας εγκατάστασης και άδειας λειτουργίας διευκολύνοντας σημαντικά τη διαδικασία αδειοδότησης σταθμών βιομάζας. Επίσης ως προς την περιβαλλοντική αδειοδότηση σταθμών παραγωγής από βιομάζα, εισήχθησαν ρυθμίσεις για την υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις απαλλαγή από την υποχρέωση έκδοσης έγκρισης περιβαλλοντικών όρων (σταθμοί εγκατεστημένης ισχύος <0,5MW).

8.4.3 Μέτρα στήριξης και ανάπτυξης της ελληνική οικονομίας στο πλαίσιο εφαρμογής του Ν. 4046/2012 και άλλες διατάξεις

Σύμφωνα με την τελευταία ενημέρωση (31-03-2014) στο ψηφισθέν σχέδιο νόμου γίνεται τροποποίηση του άρθρου 13 του Ν.3468/2006 και αλλαγή της τιμολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας για όλους του σταθμούς ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ περιλαμβανομένων των σταθμών που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από βιομάζα ή βιορευστά που αξιοποιούνται μέσω θερμικών διεργασιών (καύση, αεριοποίηση, πυρόλυση) σε:

- I. Σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση του 1 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)
- II. Σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ από 1 MW έως και 5 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)

Καθώς και σταθμούς που παράγουν βιοαέριο που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση βιομάζας (ενεργειακών καλλιεργείων, ενσιρωμάτων χλωρής νομής γεωργικών καλλιεργείων, κτηνοτροφικών και αγροτοβιομηχανικών οργανικών

υπολειμμάτων και αποβλήτων, αποβλήτων βρώσιμων ελαίων και λιπών, ληγμένων τροφίμων)

- I. Με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση των 3 MW
- II. Με εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη των 3 MW

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 Συμπεράσματα

Η αξιοποίηση της βιομάζας αντιμετωπίζει συνήθως τα μειονεκτήματα της μεγάλης διασποράς, του μεγάλου όγκου και των δυσχερειών συλλογής μεταποίησης, μεταφοράς, αποθήκευσης ως εκ τούτου επιβάλλεται κατά κανόνα η αξιοποίησή της να γίνεται κοντά στον τόπο παραγωγής. Έτσι, η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευχερέστετα για:

- Θέρμανση θερμοκηπίων.
- Θέρμανση κτηνοτροφικών μονάδων.
- Ξήρανση γεωργικών προϊόντων.
- Κάλυψη αναγκών θερμότητας, ψύξεως και ηλεκτρισμού σε γεωργικές ή άλλες βιομηχανίες, που βρίσκονται κοντά σε πηγές παραγωγής βιομάζας.
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στους τόπους παραγωγής της βιομάζας για κάλυψη τοπικών αναγκών ή για τροφοδοσία του εθνικού ηλεκτρικού δικτύου
- Κάλυψη αναγκών τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης χωριών και πόλεων που βρίσκονται κοντά σε τόπους παραγωγής βιομάζας.

Οι δύο τελευταίες χρήσεις φαίνεται ότι μελλοντικά θα αποτελέσουν τους κύριους τομείς αξιοποίησης των τεράστιων ποσοτήτων βιομάζας από γεωργικά και δασικά υπολείμματα, καθώς και ενός σημαντικού μέρους της βιομάζας των ενεργειακών καλλιεργειών, στη χώρα μας.

Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι τα διαθέσιμα γεωργικά υπολείμματα της χώρας για παραγωγή ενέργειας, από σιτηρά αραβόσιτο, βάμβακα, καπνό, ηλιάνθο, κλαδοδέματα, κληματίδες και πυρηνόξυλο, ανέρχονται ετησίως σε 7.500.000 τόνους ή περίπου σε 3.000.000 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ), ενώ τα δασικά μπορεί να ανέλθουν σε 2.700.000 τόνους ή περίπου σε 1.000.000 ΤΙΠ.

Παράλληλα με την αξιοποίηση των διαφόρων γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων είναι δυνατό να ληφθεί βιομάζα από ενεργειακές καλλιέργειες, Συγκριτικά με τα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, οι καλλιέργειες αυτές έχουν το πλεονέκτημα της υψηλότερης παραγωγής ανά μονάδα επιφάνειας, καθώς και της ευκολότερης συλλογής.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να τονιστεί ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες αποκτούν σήμερα ιδιαίτερη σημασία για αναπτυσσόμενες χώρες, οι οποίες προσπαθούν να περιορίσουν τόσο τα οικολογικά προβλήματα, όσο και τα προβλήματα επάρκειας ενέργειας και γεωργικών πλεονασμάτων με τις καλλιέργειες αυτές. Όπως είναι γνωστό, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα γεωργικά πλεονάσματα και τα οικονομικά προβλήματα που δημιουργούν οδηγούν αναπόφευκτα στη μείωση της γεωργικής γης και παραγωγής. Υπολογίζεται ότι την προσεχή δεκαετία 100-150 εκ. στρέμματα γεωργικής γης πρέπει να αποδοθούν στις ενεργειακές καλλιέργειες, προκειμένου να αποφευχθούν τα προβλήματα των επιδοτήσεων των γεωργικών

πλεονασμάτων και των χωματερών με ταυτόχρονη αύξηση των ευρωπαϊκών ενεργειακών πόρων.

Στη χώρα μας επίσης, 10 εκ. στρέμματα καλλιεργήσιμης γης έχουν ήδη ή προβλέπεται να περιθωριοποιηθούν και να εγκαταλειφθούν. Εάν η έκταση αυτή αποδοθεί στην ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών η καθαρή ωφέλεια σε ενέργεια που μπορεί να αναμένεται, υπολογίζεται σε 5-6 ΜΤΠΠ, δηλαδή στο 50-60% της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. “Εισαγωγή στις τεχνολογίες της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας” Γ. Βουρδουμπά, ΜΑΙΧ 2002
2. “Χρήση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας”, Γ. Βουρδουμπά
3. “ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – Συμβατικές και Ανανεώσιμες” Ι.Ι. ΓΕΛΕΓΕΝΗΣ Π.Ι. ΑΞΑΟΠΟΥΛΟΣ
4. “Το ενεργειακό δυναμικό της βιομάζας γεωργικών και δασικών υποπροϊόντων”, Κ. Αποστολάκης, Σ. Κυρίτσης, Χ. Σούτερ, ΕΛΕΠΑ-ΙΤΕ, Αθήνα, 1987
5. “Μελέτη διερεύνησης δυνατοτήτων για την αξιοποίηση της βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ”, Τομέας Βιομάζας, ΚΑΠΕ, 1997
6. “Πολυετείς ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδα”, Τομέας Βιομάζας, ΚΑΠΕ, 1998
7. Π. Χαρόνη «Βιοαέρια και ενέργεια από βιομάζα» εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 1989
8. “Energy production from biomass (part 1): overview of biomass, Peter McKendry, July 2001
9. “Energy production from biomass (part 2): conversion technologies, Peter McKendry, July 2001
10. “Energy production from biomass (part 3): gasification technologies, Peter McKendry, July 2001
11. Νόμος 3468/2006 (ΦΕΚ 129Α/27-06-2006)
12. Νόμος 3851/2010 (ΦΕΚ 85Α/04-06-2010)
13. Πρόταση εθνικής πολιτικής για τις Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας, Greenpeace, Αθήνα 1998
14. Ιστοσελίδα: www.cres.gr
15. Ιστοσελίδα: www.biomassenergy.gr