

ΑΤΕΙ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ



**ΣΧΟΛΗ ΣΤΕΓ
ΤΜΗΜΑ ΤΕ.ΓΕ.Π.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: «Αξιοποίηση Γεωργικών Αποβλήτων από τη
Βιομάζα στο Βιοέλαιο»**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΑΚΡΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΚΑΛΑΜΑΤΑ 2013

Περιεχόμενα

Γενικά χαρακτηριστικά της βιομάζας.....	5
1.1 Ορισμός και κατηγορίες Βιομάζας	5
1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα βιομάζας.....	7
1.3 Η Βιομάζα στον ελλαδικό χώρο	9
1.4 Πηγές βιομάζας στην Ελλάδα.....	16
1.4.1 Στοιχεία Ενεργειακής καλλιέργειας (Αγριαγκινάρα)	17
1.5 Χρήσεις Βιομάζας.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	24
Αγροτικά απόβλητα	24
2.1 Καύση Αγροτικών Αποβλήτων.....	25
2.2 Πρακτικές για τη διαχείριση των αγροτικών αποβλήτων.....	26
2.3 Υπάρχουσα Νομοθεσία.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	30
Αξιοποίηση βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας	30
3.1 Τεχνολογίες επεξεργασίας της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας.	30
3.2 Θερμοχημικές διεργασίες	32
3.3 Βιοχημικές διεργασίες	47
3.4 Φυσικοχημικές διεργασίες.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	59
Βιοέλαιο – Βασικά Στοιχεία	59
4.1 Χημική σύσταση	59
4.2 Φυσικοχημικές ιδιότητες βιοελαίου. Περιγραφή και τυπικές τιμές.	66
4.3 Αξιοποίηση και Χρήσεις.....	71
Συμπεράσματα	75
Βιβλιογραφία / Πηγές	79

Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να ακολουθήσει το μονοπάτι από την παραγωγή της βιομάζας γεωργικών αποβλήτων έως την παραγωγή του βιοελαίου και επομένως της ενέργειας. Για την ακρίβεια να αποκαλύψει, την προσπάθεια απεγκλωβισμού της ηλιακής ενέργειας από τα γεωργικά οργανικά απόβλητα. Εντός αυτής παρέχονται βιβλιογραφικές πληροφορίες για τη βιομάζα και συγκεκριμένα τα γεωργικά οργανικά απόβλητα, την διεργασία της πυρόλυσης, το βιοέλαιο και την επεξεργασία αυτού.

Η έλλειψη συμβατικών καυσίμων, όπως το πετρέλαιο diesel, η αυξανόμενη τιμή τους, η αυξανόμενη παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση καθώς και οι βλαβερές προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον εκπομπές από την καύση τους (CO_2 , CH_4 , NO_x , SO_x), έχουν οδηγήσει το παγκόσμιο επιστημονικό ενδιαφέρον στην αναζήτηση νέων βελτιωμένων, φιλικότερων προς το περιβάλλον και φθηνότερων πηγών ενέργειας. Μια τέτοια πηγή ενέργειας προέρχεται από τη *βιομάζα*, η οποία με την κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να αποδώσει ποσότητα υγρού καυσίμου, το επονομαζόμενο *βιοέλαιο*.

Για τους παραπάνω λόγους, γίνεται προσπάθεια σταδιακής ανεξαρτητοποίησης από την χρήση των συμβατικών καυσίμων και αντικατάστασής τους από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Η ενέργεια που προέρχεται από τη βιομάζα ανήκει στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας καθώς έμμεσα η ηλιακή ενέργεια αυξάνει τον όγκο της βιομάζας μέσω της διεργασίας της φωτοσύνθεσης καθώς μετατρέπεται σε χημική. Στις ΑΠΕ ανήκουν και η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική και η γεωθερμική ενέργεια.

Βιομάζα είναι ένα σύνολο υλικών φυτικής ή ζωικής προελεύσεως που με κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να αποδώσει ενέργεια. Σήμερα, υπάρχουν οι εξής επιλογές όσον αφορά την παραλαβή και αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου της βιομάζας :

- ✓ Άμεση καύση
- ✓ Καύση έπειτα από επεξεργασία με φυσικές μεθόδους όπως ταξινόμηση, τεμαχισμός, συμπίεση και/ή ξήρανση με αέρα.
- ✓ Θερμοχημικές διεργασίες προκειμένου να γίνει αναβάθμιση του ενεργειακού και χημικού της περιεχομένου. Τέτοιες είναι η πυρόλυση και η αεριοποίηση.
- ✓ Βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα φυσικά, όπως η αναερόβια χώνευση και η ζύμωση, οι οποίες οδηγούν σε παραγωγή αερίων ή υγρών καυσίμων.

Για την ακρίβεια σαν βιομάζα αντιμετωπίζονται οι φυτικές και ζωικές ύλες, όπως δένδρα, κλαδιά, φύλλα, άχυρα, κουκούτσια, ξύλα, πριονίδια, χόρτα και ενεργειακά φυτά, υπολείμματα αγροτικής ή βιομηχανικής διαχείρισης αυτών, αστικά λύματα (σκουπίδια) και ζωικά απόβλητα, όπως η κοπριά και τα λίπη.

Ως βιοέλαιο ορίζεται το κύριο υγρό οργανικό προϊόν που προέρχεται από τη διεργασία της πυρόλυσης της βιομάζας. Το βιοέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως πρόσθετο σε συμβατικά καύσιμα (πετρέλαιο), είτε καθεαυτό σαν καύσιμο, είτε ως πρώτη ύλη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η σύσταση του βιοελαίου εξαρτάται από την πρώτη του ύλη (βιομάζα) αλλά και από τις συνθήκες της παραγωγής του (θερμοκρασία, πίεση κ.α.), από τα χαρακτηριστικά δηλαδή της πυρόλυσης. Μέχρι σήμερα δεν έχει καθοριστεί ένα πρότυπο που να οριοθετεί τη σύσταση και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του βιοελαίου παρόλο που έχουν γίνει κάποιες αρχικές προτάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Γενικά χαρακτηριστικά της βιομάζας

1.1 Ορισμός και κατηγορίες Βιομάζας

Βιομάζα είναι ένα σύνολο υλικών φυτικής ή ζωικής προελεύσεως που με κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να αποδώσει ενέργεια. Για την ακρίβεια σαν βιομάζα αντιμετωπίζονται οι φυτικές και ζωικές ύλες, όπως δένδρα, κλαδιά, φύλλα, άχυρα, κουκούτσια, ξύλα, πριονίδια, χόρτα και ενεργειακά φυτά, υπολείμματα αγροτικής ή βιομηχανικής διαχείρισης αυτών, αστικά λύματα (σκουπίδια) και ζωικά απόβλητα, όπως η κοπριά και τα λίπη.

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας εφαρμόζεται και στην περίπτωση της βιομάζας. Συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια της ζωής τους τα φυτά δεσμεύουν την ηλιακή ενέργεια μέσω της διεργασίας της φωτοσύνθεσης, την αποθηκεύουν εν συνεχεία στα σώματά τους με τη μορφή χημικής ενέργειας. Αναλυτικότερα, οι χλωροπλάστες, που βρίσκονται στα πράσινα μέρη των φυτών και έχουν άμεση επαφή με ποσότητες χλωροφύλλης, χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια που φτάνει σ' αυτά μέσω του ηλιακού φωτός, το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που παίρνουν από τον αέρα και το νερό (H_2O) που απορροφούν από την υγρασία του χώματος για να συνθέσουν μια σειρά χημικών ενώσεων που λέγονται υδρογονάνθρακες, όπως η γλυκόζη ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). Στους υδρογονάνθρακες είναι αποθηκευμένη τώρα η ηλιακή ενέργεια ως χημική ενέργεια, ενώσεις δηλαδή που με τη διάσπασή τους αποδίδουν ενέργεια. Μέρος αυτής της ενέργειας περνά και στα ζώα, όταν καταναλώνουν τα φυτά. Έτσι ακόμα και τα φυτά ή τα ζώα, μπορούν να θεωρούνται ως αποθήκες ηλιακής ενέργειας. Την ενέργεια αυτή μπορεί ο άνθρωπος να την αντλήσει με διάφορες μεθόδους, οι οποίες συνεχώς εξελίσσονται, και να την μετατρέψει σε μορφές πιο εύχρηστες γι αυτόν, λύνοντας εν πολλοίς το ενεργειακό του πρόβλημα αλλά και προστατεύοντας το περιβάλλον. Με βάση τα προηγούμενα, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η βιομάζα αποτελεί και αυτή μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική και η υδροηλεκτρική.

Θέλοντας να περιγράψουμε με μια χημική εξίσωση τα προηγούμενα καταλήγουμε στην ακόλουθη εξίσωση που περιγράφει τη χημική αντίδραση της φωτοσύνθεσης:¹



Στη συνέχεια η γλυκόζη χρησιμοποιείται από το κάθε φυτό για να αναπτυχθεί και επομένως να αυξήσει τον όγκο της βιομάζας του.

Η βιομάζα μπορεί να είναι φυτικής ή ζωικής προέλευσης. Στο παρόν κείμενο μας ενδιαφέρει να εμβαθύνουμε στη βιομάζα φυτικής προέλευσης. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτήν περιλαμβάνονται:²

- Οι φυτικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα, όπως π.χ. τα αυτοφυή φυτά και δάση, είτε από τις ενεργειακές καλλιέργειες γεωργικών και δασικών ειδών, όπως π.χ. το σόργο, το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος κ.ά.
- Τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής και δασικής παραγωγής, όπως π.χ. τα άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιού, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα κ.ά.
- Τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών, όπως π.χ. τα πυρηνόξυλα από τα ελαιουργεία, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι κ.ά.

¹ Πανεπιστήμιο Κύπρου (<http://www.ucv.ac.cy/>)

² Κέντρο ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας (ΚΑΠΕ) <http://www.cres.gr/kape/index.htm>

1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα βιομάζας

Η βιομάζα συγκεντρώνει αρκετά πλεονεκτήματα ώστε να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια αγορά στο τομέα παραγωγής ενέργειας. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα εξής:³

- ✓ Αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και άρα ανεξάντλητη.
- ✓ Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου - επειδή οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας.
- ✓ Η μηδαμινή ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.
- ✓ Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος.
- ✓ Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη *ελαιοκράμβης*, *σόργο*, *καλάμι*, *κενάφ*) τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (*ηλίανθος* κ.ά.), και τη συγκράτηση του πληθυσμού στις εστίες τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων έχει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της απασχόλησης τόσο στον αγροτικό όσο και στο βιομηχανικό χώρο.

Στη συνέχεια θα αναπτυχθούν λίγο πιο αναλυτικά τα οφέλη που αποκομίζει η κοινωνία από τη χρήση βιομάζας τόσο σε περιβαλλοντολογικό όσο και σε κοινωνικό – οικονομικό επίπεδο.

³ Βικιπαίδεια (www.wikipedia.gr)

Περιβαλλοντικά οφέλη

- ✓ Προστασία ενάντια στην εδαφική διάβρωση.
- ✓ Δίνεται η ευκαιρία να επιλεγούν είδη που αξιοποιούν το νερό αποδοτικά ή ακόμα είδη που δεν απαιτούν επιπλέον άρδευση, αφού αξιοποιούν τις χειμερινές βροχοπτώσεις.
- ✓ Χαμηλές εισροές σε λιπάσματα.
- ✓ Μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων, καθότι οι ενεργειακές καλλιέργειες παρουσιάζουν υψηλή φυτοκάλυψη και με την εγκατάστασή τους περιορίζουν τα ζιζάνια.
- ✓ Εκμετάλλευση εδαφών χαμηλής γονιμότητας, αφού οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτικές λύσεις σε εγκαταλελειμμένες περιοχές, διότι προσαρμόζονται εύκολα και έχουν ικανοποιητική απόδοση σε μεγάλο εύρος εδαφών.

Κοινωνικοοικονομικά οφέλη

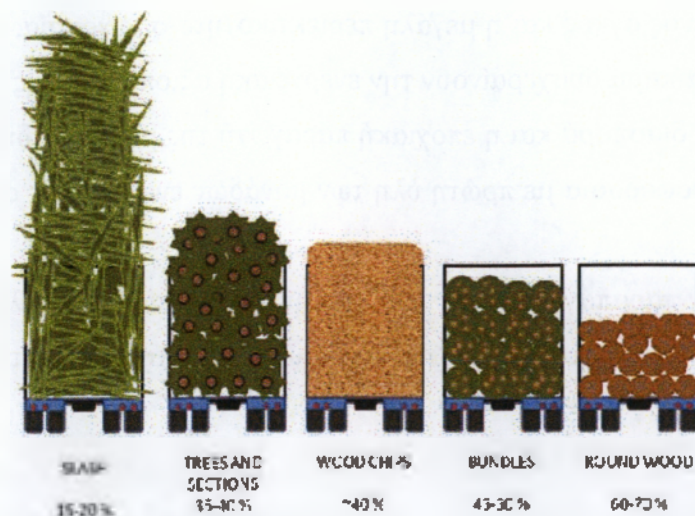
- ✓ Προσφορά εναλλακτικών καλλιεργητικών λύσεων.
- ✓ Ενδυνάμωση της γεωργίας, διότι με την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών θα δημιουργηθεί ανάγκη για προμήθεια νέων ποικυλίων, βελτίωση καλλιεργητικών μεθόδων και εξοπλισμού.
- ✓ Αύξηση του αγροτικού εισοδήματος, καθότι η διεύρυνση των ενεργειακών καλλιεργειών στην εσωτερική αγορά μπορεί να εξασφαλίσει ικανοποιητικό αγροτικό εισόδημα σε σχέση με ορισμένες συμβατικές καλλιέργειες.
- ✓ Μείωση των περιφερειακών ανισοτήτων και αναζωογόνηση των λιγότερα ανεπτυγμένων γεωργικών οικονομιών.
- ✓ Εξασφάλιση αιφόρου περιφερειακής ανάπτυξης.
- ✓ Μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο.

Πέρα των όποιων προτερημάτων της βιομάζας έναντι των συμβατικών καυσίμων, υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά της που δυσχεραίνουν τον κύκλο επεξεργασίας της για την παραγωγή ενέργειας. Τα σημαντικότερα είναι τα εξής:

- ✗ Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.
- ✗ Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.
- ✗ Βάσει των παραπάνω παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά, και αποθήκευση της βιομάζας που αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης.
- ✗ Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.
- ✗ Παράλληλα, ίσως ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα είναι ότι η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών για ελεγχόμενη παραγωγή βιομάζας δρα ανταγωνιστικά στις παραδοσιακές καλλιέργειες παραγωγής τροφής και στη κατανάλωση υδάτινων πόρων.

1.3 Η Βιομάζα στον ελλαδικό χώρο

Η βιομάζα που παράγεται ετησίως σε όλη την έκταση της γης μπορεί να φτάσει κοντά στους 170 δις. τόνους ξηρής μάζας. Η μάζα αυτή μπορεί να μεταφραστεί σε ενέργεια και μάλιστα το ποσό της ενέργειας αυτής είναι δεκαπλάσιο του ποσού ενέργειας που καταναλώνεται παγκοσμίως σε ίσο χρόνο. Αν ήταν εφικτό να γίνει συγκομιδή του ενός δεκάτου της παγκόσμιας παραγόμενης βιομάζας ανά έτος και η μετατροπή αυτής σε μορφή ενέργειας εύχρηστη, τότε το ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη μας θα είχε λυθεί. Παρ' όλα αυτά, η τεράστια αυτή ενέργεια παραμένει ως επί το πλείστον αναξιοποίητη, καθώς, σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, μόνο το 1/7 της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης καλύπτεται από τη βιομάζα και δη μέσω απαρχαιωμένων μεθόδων αξιοποίησής της (καυσόξυλα κλπ.).



Εικόνα 1. Μέρη % δασικής βιομάζας.⁴ Με τη σειρά φύλλα, κλαδιά, πριονίδια, δερμάτια, κορμοί.

Στη χώρα μας, τα ετήσια διαθέσιμα γεωργικά και δασικά απόβλητα μπορούν να μεταφραστούν σε 3-4 μεγατόνους πετρελαίου, αν λάβουμε υπ' όψιν ότι από ένα τόνο βιομάζας μπορεί να παραχθεί ενέργεια ισοδύναμη με 400 κιλά πετρελαίου ή 0.4 τόνους. Επίσης, κάτι που είναι πολύ αισιόδοξο είναι ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες, με τα σημερινά δεδομένα, έχουν τη δυνατότητα να ξεπεράσουν κατά πολύ τον όγκο των γεωργικών και δασικών αποβλήτων που παράγονται ετήσια στην Ελλάδα. Η ταυτόχρονη εκμετάλλευση των ενεργειακών καλλιεργειών και των γεωργικών και δασικών αποβλήτων θα μπορούσε να καλύψει κατά μέσο όρο το 35% της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας στη χώρα μας. Εντούτοις, σήμερα καλύπτεται μόνο το 3% των ενεργειακών αναγκών μας από την αξιοποίηση της βιομάζας.

Η κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα σήμερα, σχετικά με την δυνατότητα που υπάρχει για παραγωγή ενέργειας από βιομάζα είναι γενικά απότοκος της πολιτικής που ασκείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση στον τομέα της ενέργειας. Η πολιτική αυτή προωθεί την χρήση των βιο-καυσίμων και του βιο-υδρογόνου. Η οδηγία άλλωστε της Ευρωπαϊκής Ένωσης προς τις χώρες-μέλη της, είναι η αύξηση της χρήσης των βιο-καυσίμων στον τομέα παραγωγής ενέργειας. Επίσης, ήδη από το 2005 έχει δοθεί οδηγία από την Ευρωπαϊκή Ένωση για ανάμιξη του συμβατικού καυσίμου ντίζελ με

⁴ Εικόνες google.gr

<https://www.google.gr/search?q=biomass+and+bioenergy&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=UBYqUsbmJKa34wSCt4HYCA&ved=0CAcQAUoAQ&biw=1680&bih=941>

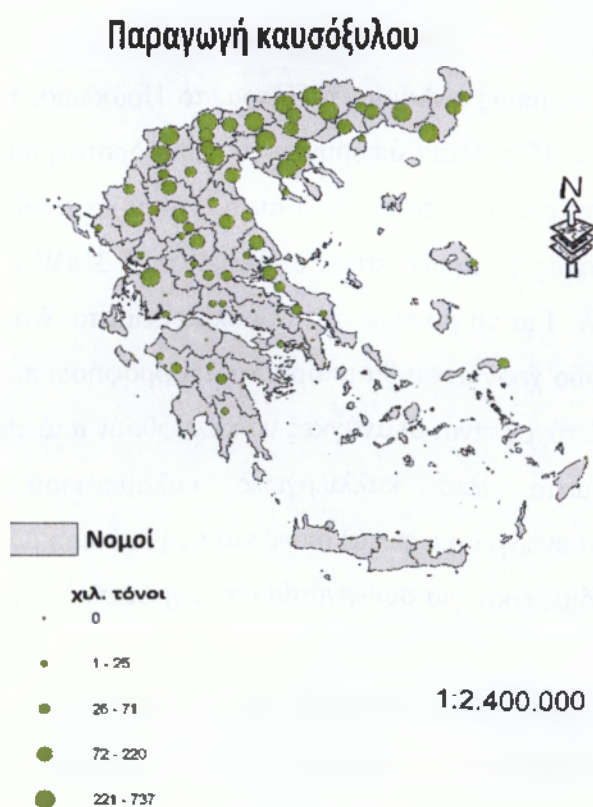
βιο-ντίζελ σε ποσοστό 5%. Οι επιδοτήσεις που δίνονται για ενεργειακές καλλιέργειες, οι λεγόμενες «ενεργειακές επιδοτήσεις», αλλά και οι διάφορες φοροαπαλλαγές που προσφέρονται όσον αφορά τα βιο-καύσιμα και την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα, είναι επίσης κάποια άλλα θετικά μέτρα που λαμβάνονται. Στα πλαίσια της γενικότερης αυτής πολιτικής, η Ελλάδα, τα τελευταία τουλάχιστον χρόνια, προσφέρει διάφορα κίνητρα για την ανάπτυξη του συγκεκριμένου τομέα. Λόγω των επιδοτήσεων των ενεργειακών καλλιεργειών, διάφορες εκτάσεις (π.χ. Θεσσαλικός κάμπος, Δυτική Μακεδονία) έχουν προσφερθεί για το σκοπό αυτό. Επίσης, στον ευρύτερο χώρο των βιο-καυσίμων έχουν επενδύσει πάνω από 15 εταιρίες τα τελευταία χρόνια. Τη παρούσα χρονική στιγμή μάλιστα η μία από αυτές, η ΕΛΒΙ στο Κιλκίς με δυνατότητα παραγωγής 40.000 τόνων βιο-ντίζελ ετησίως, παράγει βιο-ντίζελ και το μεταπουλά στα Ελληνικά Πετρέλαια με κέρδος που ξεπερνά τα 75€/τόνο.⁵

Η «Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης» έχει εισαγάγει στην ελληνική αγορά τη βιο-αιθανόλη. Ακολουθούν και άλλοι επενδυτές σε ολόκληρη την Ελλάδα και συγκεκριμένα σε πόλεις όπως η Λαμία, η Πάτρα, το Ηράκλειο, η Λάρισα κ.ά.[4,5]. Πρόσφατα τα Ελληνικά Πετρέλαια διεύρυναν το πεδίο δραστηριοποίησής τους στην αγορά της πράσινης ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, έχουν κατατεθεί αιτήσεις για δύο σημαντικά έργα βιομάζας το πρώτο στο Σουφλί με ισχύ 3MW και το δεύτερο στα Τρίκαλα με ισχύ 5MW. Για τη μονάδα στο Σουφλί, εκτιμάται ότι θα τεθεί σε πλήρη λειτουργία μετά από δύο χρόνια και θα μπορεί να απορροφήσει περί τους 50 χιλιάδες τόνους πρώτης ύλης. Στόχος είναι οι ανάγκες να καλυφθούν από την τοπική αγροτική παραγωγή (υπολείμματα από καλλιέργειες καλαμποκιού και βαμβακιού, αγριαγκινάρα και άλλα ενεργειακά φυτά) όπως και στη δεύτερη μονάδα στα Τρίκαλα. Σημειώνεται ότι το ενδιαφέρον για συνεργασία από αγρότες είναι μεγάλο.

Η βιομάζα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή, κατά τον παραδοσιακό τρόπο, θερμότητας στον οικιακό τομέα (μαγειρική, θέρμανση), για τη θέρμανση θερμοκηπίων, σε ελαιουργεία, καθώς και στη βιομηχανία (εκκοκκιστήρια βαμβακιού, παραγωγή προϊόντων ξυλείας, ασβεστοκάμινοι κ.ά.), σε περιορισμένη,

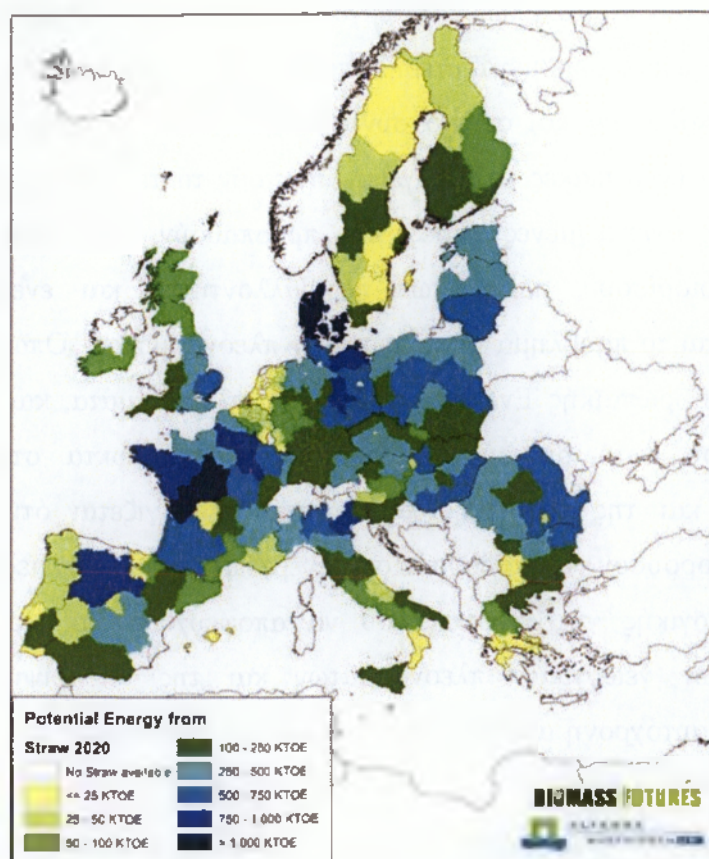
⁵ ΕΟΠ (2004): «*Energy subsidies in the European Union, a brief overview*». EEA Technical report No 1/2004.

όμως, κλίμακα. Ως πρώτη ύλη σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται υποπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου, ελαιοπυρηνόξυλα, κουκούτσια ροδάκινων και άλλων φρούτων, τσόφλια αμυγδάλων, βιομάζα δασικής προέλευσης, άχυρο σιτηρών, υπολείμματα εκκοκκισμού κ.ά. Παρ' όλα αυτά, οι προοπτικές αξιοποίησης της βιομάζας στη χώρα μας είναι εξαιρετικά ευοίωνες, καθώς υπάρχει σημαντικό δυναμικό, μεγάλο μέρος του οποίου είναι άμεσα διαθέσιμο. Πέραν του ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της βιομάζας δυστυχώς παραμένει αναξιοποίητο, πολλές φορές αποτελεί αιτία πολλών δυσάρεστων καταστάσεων (πυρκαγιές, δυσκολία στην εκτέλεση εργασιών, διάδοση ασθενειών κ.ά.). Από το σύνολο της βιομάζας, το ποσοστό εκείνο που προκύπτει υπό μορφή υπολειμμάτων κατά τη δευτερογενή παραγωγή προϊόντων είναι άμεσα διαθέσιμο, συλλέγεται εύκολα και άμεσα, δεν παρουσιάζει προβλήματα μεταφοράς και μπορεί να τροφοδοτήσει απ' ευθείας διάφορα συστήματα παραγωγής ενέργειας.



Εικόνα 2. Παραγωγή καυσόξυλων στην Ελλάδα το έτος 2003

Το πλεονέκτημα των ενεργειακών καλλιεργειών σε σχέση με τα γεωργικά και δασικά απόβλητα είναι ότι έχουν μεγαλύτερη απόδοση ανά στρέμμα γης και επιπλέον συλλέγονται ευκολότερα και σε πιο σύντομο χρόνο. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες αποκτούν τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη σημασία για τις ανεπτυγμένες χώρες, που προσπαθούν, μέσω των καλλιεργειών αυτών, να περιορίσουν, πέραν των περιβαλλοντικών και ενεργειακών τους προβλημάτων, και το πρόβλημα των γεωργικών πλεονασμάτων. Όπως είναι γνωστό, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα γεωργικά πλεονάσματα, και τα οικονομικά προβλήματα που αυτά δημιουργούν, οδηγούν αναπόφευκτα στη μείωση της γεωργικής γης και της αγροτικής παραγωγής. Υπολογίζεται ότι, την προσεχή δεκαετία, θα μπορούσαν να αποδοθούν στις ενεργειακές καλλιέργειες 100-150 εκατ. στρέμματα γεωργικής γης, προκειμένου να αποφευχθούν τα προβλήματα των επιδοτήσεων των γεωργικών πλεονασμάτων και της απόρριψης αυτών στις χωματερές, με ταυτόχρονη αύξηση των ευρωπαϊκών ενεργειακών πόρων. Στη χώρα μας, για τους ίδιους λόγους, 10 εκατομμύρια στρέμματα καλλιεργήσιμης γης έχουν ήδη περιθωριοποιηθεί ή προβλέπεται να εγκαταλειφθούν στο άμεσο μέλλον παρόλο που στον ελληνικό χώρο έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία στον τομέα των ενεργειακών καλλιεργειών τα τελευταία χρόνια.



Εικόνα 3. Εκτίμηση παραγωγής ενέργειας από άχυρο το 2020 στην Ευρώπη.

Το 1998 η ενέργεια που παρήχθη από βιομάζα αποτέλεσε το 67% της συνολικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και προερχόταν κυρίως από τη χρήση του ξύλου. Η οικιακή χρήση του ξύλου αντιπροσώπευε περίπου το 77% της παραγόμενης ενέργειας από βιομάζα, ενώ η βιομηχανική χρήση της βιομάζας αντιστοιχούσε στο 1/3-1/4 αυτής περίπου και προερχόταν κυρίως από την εκμετάλλευση υπολειμμάτων ξυλείας, υπολειμμάτων από εκκοκκιστήρια βαμβακιού, φλοιών ρυζιού και άχυρου. Η συμβολή των Α.Π.Ε. στην εγχώρια παραγωγή ενέργειας ήταν κατά ποσοστό 5,2% το έτος 2000. Η πλούσια τοπογραφία της Ελλάδας καθώς και η μεγάλη ποικιλία των κλιματικών συνθηκών, σε διάφορα σημεία της χώρας, επιτρέπουν την καλλιέργεια μεγάλου αριθμού φυτικών ειδών, ανάμεσα στα οποία συγκαταλέγονται και αρκετά ενεργειακά φυτικά είδη. Τα είδη αυτά έχουν δοκιμαστεί στην Ελλάδα, σε διάφορες κλιματικές συνθήκες και σε διαφορετικούς τύπους εδαφών, και έχουν επιδείξει καλή προσαρμοστικότητα και υψηλή παραγωγικότητα, με τη χορήγηση σχετικά περιορισμένων ποσοτήτων εισροών.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με την ετήσια παραγωγή σιταριού, κριθαριού και άχυρου σε χιλιάδες τόνους στην Ελλάδα.

Πίνακας 1. Ετήσια παραγωγή δημητριακών και άχυρου σε χιλιάδες τόνους.

Έτος	Σιτάρι	Κριθάρι	Άχυρο
2000	1770	255	1114
1999	2022	320	1288
1998	2167	334	1375
1997	1849	348	1208
1996	1762	346	1159
1995	2138	440	1418
1994	2472	446	1605
1993	2012	391	1322
1992	2302	436	1506
1991	3216	502	2045

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε το άθροισμα των γεωργικών αποβλήτων παραγωγής σιταριού και κριθαριού, ονομασμένο σαν συνολικό άχυρο, στην Ελλάδα τα έτη, από το 1991 έως το 2000. Το άχυρο υπολογίζεται στο 55 % του βάρους του καρπού του εκάστοτε δημητριακού και στον πίνακα εμφανίζεται το άθροισμα αυτών.

Το συνολικό άχυρο, σαν απόβλητο, μειώνεται όσο μειώνεται και η παραγωγή των δημητριακών. Το άχυρο αυτό χρησιμοποιείται κυρίως για κτηνοτροφικούς σκοπούς και για παραγωγή κομπόστας σε συνδυασμό με άλλα γεωργικά απόβλητα που έχουν υψηλή συγκέντρωση αζώτου (π.χ. απόβλητα παραγωγής αρακά). Η κομπόστα αυτή μετατρέπεται σε λίπασμα και χρησιμοποιείται επίσης από τους παραγωγούς μανιταριών.

1.4 Πηγές βιομάζας στην Ελλάδα

Οι κυριότερες πηγές βιομάζας στη Χώρα μας περιλαμβάνουν τις εξής κατηγορίες:

→ Παραπροϊόντα: Απόβλητα καλλιεργειών, δασικά απόβλητα και απόβλητα από επεξεργασία του ξύλου (κυρίως κλάδεμα).

→ Ενεργειακές καλλιέργειες: Στην Ελλάδα, τα τελευταία χρόνια γίνεται συστηματική καλλιέργεια, κατά κύριο λόγο, των παρακάτω ενεργειακών φυτών:

- Το Σακχαροφόρο και το Ινώδες Σόργο (*Sorghum bicolor* spp. *Saccharatum* και *S. sudanense*)
- Το switchgrass (*panicum virgatum*)
- Η Ελαιοκράμβη (*Brassica napus*)
- Το Κενάφ (*Hibiscus cannabinus*)
- Το Καλάμι (*Arundo donax*)
- Η Αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus*)
- Ο Ευκάλυπτος (*Eucalyptus globulus*, *E. camaldulensis*)
- Ο Μίσχανθος (*Mischanthus sinensis* x *giganteus*)
- Η Ψευδακακία (*Robinia pseudoacacia*)
- Διάφοροι κλώνοι Λεύκας και Ιτιάς (*Populus* sp. και *Salix* sp.).

1.4.1 Στοιχεία Ενεργειακής καλλιέργειας (Αγριαγκινάρα)

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το φυτό *Cynara cardunculus*. Η αγριαγκινάρα μπορεί να αποτελέσει τη μελλοντική ελληνική απάντηση στην παγκόσμια αγορά των βιοκαυσίμων. Ο λόγος για την αγριαγκινάρα, ένα ενεργειακό φυτό που καλλιεργείται ακόμη και σε άγονα εδάφη και μπορεί να αποτελέσει στερεό καύσιμο (βιομάζα) σε μορφή πελέτας με σκοπό την παραγωγή θερμικής ενέργειας για βιομηχανική και οικιακή χρήση και την αντικατάσταση του πετρελαίου θέρμανσης.⁶

Η καλλιέργεια της αγριαγκινάρας παρουσιάζει σημαντικές ευκαιρίες για τους Έλληνες παραγωγούς με ελκυστικά περιθώρια κέρδους, καθώς έχει μηδαμινές ανάγκες άρδευσης. Η αγριαγκινάρα είναι στην ουσία ένα ζιζάνιο το οποίο καλλιεργείται, χωρίς, ωστόσο, να έχει ανάγκη νερού, λίπανσης και φυτοφαρμάκων, γεγονός που μεταφράζεται σε εκμηδενισμένο κόστος παραγωγής. Αυτό πρακτικά συνεπάγεται τεράστια πλεονεκτήματα σε περιοχές όπως η Θεσσαλία, όπου πιθανή αντικατάσταση 1 εκ. στρεμμάτων θα έφερνε εξοικονόμηση 400 εκ. κυβικών μέτρων νερού.

Η αγριαγκινάρα είναι ένα πολυετές φυτό μεσογειακής προέλευσης, καλά προσαρμοσμένο στις ξηροθερμικές συνθήκες της Ν. Ευρώπης, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιομάζας.

Λόγω του γεγονότος ότι η αγριαγκινάρα είναι η ίδια ισχυρό ζιζάνιο (εισβολέας), δεν επιτρέπει την ανάπτυξη άλλων ζιζανίων, ενώ σε μακροχρόνια πειράματα δεν εμφανίστηκαν ασθένειες και εχθροί του φυτού, κι έτσι η καλλιέργειά της μπορεί να επιτευχθεί χωρίς τη χρήση φυτοφαρμάκων. Επίσης, η αγριαγκινάρα λόγω του πλούσιου ριζικού της συστήματος, που εκμεταλλεύεται άριστα τους εδαφικούς πόρους, χρειάζεται λιγότερο άζωτο.

⁶ Εφημερίδα 'Το Έθνος' (21.10.2010)

Η αγριαγκινάρα εκμεταλλεύεται άριστα τις χειμερινές βροχές και δίνει υψηλές αποδόσεις χωρίς άρδευση. Είναι φυτό προσαρμοσμένο στις κλιματικές συνθήκες της χώρας μας και το κυριότερο πλεονέκτημά της είναι ότι αναπτύσσεται από τον Οκτώβριο έως τον Ιούνιο και συνεπώς αναπτύσσεται με το νερό των βροχοπτώσεων. Η αποξηραμένη ύλη της αγριαγκινάρας μπορεί να γίνει εύκολα τυποποιημένο βιοκαύσιμο (τα λεγόμενα pellets) και να χρησιμοποιηθεί στην ηλεκτροπαραγωγή. Σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, οι συμβατικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής παρουσιάζουν στην καύση βιομάζας βαθμό απόδοσης 15-40%, ενώ στα συστήματα συμπαραγωγής ο βαθμός απόδοσης φθάνει μέχρι και 75-85%.

Η απόδοση σε ξηρή ουσία κυμαίνεται από 1.200 έως 1.600 κιλά σε μη αρδευόμενα χωράφια, ενώ με 2-3 αρδεύσεις από τα μέσα Απριλίου μέχρι το τέλος Μαΐου (στην περίοδο αυτή η διαθεσιμότητα νερού είναι υψηλή σε πολλές περιοχές) οι αποδόσεις φθάνουν έως και 2.500 κιλά ξηρής ουσίας ανά στρέμμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με άλλες καλλιέργειες, η καλλιέργεια της αγριαγκινάρας έχει πολύ μικρό κόστος.

Η εγκατάσταση της καλλιέργειας της αγριαγκινάρας συμβάλλει στη μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων και την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ασφαλείς και συμβατές με το περιβάλλον και κυρίως όσον αφορά τον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου και τον περιορισμό των όξινων βροχών. Η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με βιομάζα είναι ουδέτερη σε εκπομπές CO₂, καθώς η ποσότητα που ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μετά την καύση της αφομοιώνεται από το φυτό κατά τη φωτοσύνθεση, ενώ από την άλλη πλευρά με την καύση βιομάζας σχεδόν μηδενίζεται η απελευθέρωση θείου στην ατμόσφαιρα.

Κύρια βάση για την καύσιμη ύλη πελέτες (pellets)

Τεράστια περιθώρια ανάπτυξης εμφανίζει η καλλιέργεια αγριαγκινάρας στη χώρα μας που μπορεί να αντικαταστήσει το πετρέλαιο θέρμανσης, καθώς πέραν της έντονης ζήτησης για πελέτες από χώρες της Ευρώπης σε ελκυστικές για τους παραγωγούς τιμές, σε τροχιά υλοποίησης μπαίνουν μονάδες παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και στην Ελλάδα. Ήδη η ΕΛΠΕ Ανανεώσιμες, 100% θυγατρική εταιρεία των ΕΛΠΕ,

έλαβε το πράσινο φως για την πραγματοποίηση επένδυσης στην παραγωγή ενέργειας από βιομάζα.

Η άδεια αφορά σε μονάδα ισχύος 4,68 μεγαβάτ που θα λειτουργεί στην κοινότητα Τυχερού του νομού Έβρου. Η επένδυση ανέρχεται σε 12,4 εκατ. ευρώ, ενώ για την εγκατάσταση της μονάδας και ως καυσίμου θα αξιοποιείται βιομάζα και από αγριαγκινάρα.

Η αγριαγκινάρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη παραγωγής pellets. Τα pellets ή πελέτες είναι μικρά κυλινδρικά τεμάχια από συμπιεσμένο ξύλο ή άλλες μορφές βιομάζας καλλιεργούμενων φυτών, όπως η αγριαγκινάρα, ή υπολειμμάτων γεωργικών ή δασικών, διαφόρων μεγεθών, που μπορούν εύκολα να συσκευαστούν, να μεταφερθούν με βυτιοφόρα και να τοποθετηθούν στους αποθηκευτικούς χώρους, από όπου μεταφέρονται αυτόματα για την καύση τους σε σύγχρονους καυστήρες (π.χ. ενεργοποίηση με χρήση κινητού τηλεφώνου) με την επιθυμητή ροή. Οι πελέτες έχουν υγρασία περί το 8% (ειδικό βάρος περί τα 650 κιλά ανά κυβικό μέτρο) και θερμική αξία περί τα 19-21 MJ/κιλό, δηλαδή 2 κιλά ισοδυναμούν με περίπου 1 λίτρο πετρελαίου.

Η αντικατάσταση 2 εκατομμυρίων στρεμμάτων σιταριού (από τα περίπου 10.000.000 στρέμματα σιτηρών ή το 5% της ελληνικής γεωργικής γης) με αγριαγκινάρα, πράγμα που θεωρείται εφικτό, θα απέδιδε παραγωγή περί τους 1.000.000 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου θέρμανσης.

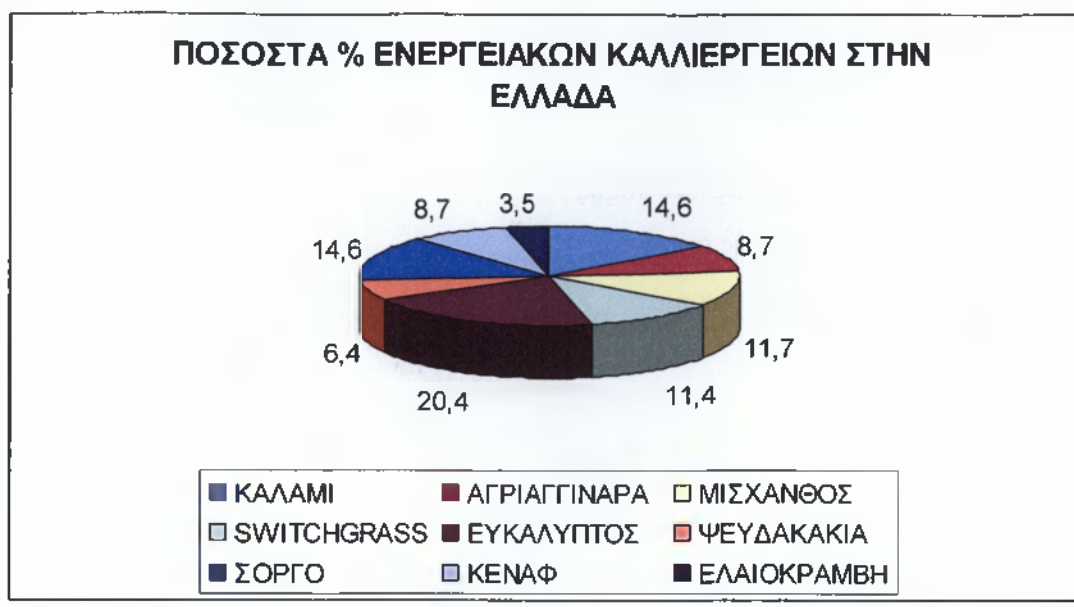
Η παραγωγή αυτή είναι τουλάχιστον δπλάσια της σημερινής υποχρέωσης της Ελλάδας σε βιοκαύσιμο (το οποίο εισάγεται σχεδόν εξ ολοκλήρου), με τεράστιο οικονομικό όφελος για τον Έλληνα καταναλωτή, που σύμφωνα με τις πρώτες μας εκτιμήσεις μπορεί να ξεπεράσει το ένα τρίτο της αξίας του πετρελαίου.

Ιδιαίτερα συμφέρουσα θεωρείται η αντικατάσταση καλλιεργειών σιτηρών, βαμβακιού και άλλων ετήσιων εκτατικών καλλιεργειών με παραγωγή αγριαγκινάρας. Οι πρώτες εκτιμήσεις της τιμής βιομάζας για τον παραγωγό, με τη σύμφωνη γνώμη των βιομηχάνων, μπορεί να κυμανθεί γύρω στα 6 λεπτά/κιλό. Αυτό σημαίνει ότι ο παραγωγός σιταριού που κερδίζει σήμερα κάτω από 10 ευρώ ανά στρέμμα θα κερδίζει

60-90 ευρώ ανά στρέμμα, και ο βαμβακοπαραγωγός που κερδίζει 120 ευρώ ανά στρέμμα θα κερδίζει 200 ευρώ ανά στρέμμα. Βέβαια την τελική τιμή θα τη διαμορφώσει η αγορά, και οι μελλοντικές τιμές του πετρελαίου.

Η μελέτη χρόνων έχει δείξει ότι πρόκειται για μια πολύ συμφέρουσα καλλιέργεια, αφού το κόστος είναι μόλις 2,5 ευρώ ανά στρέμμα για τον πρώτο χρόνο και μηδενικό για όλα τα υπόλοιπα (ζει 8-12 χρόνια), όταν για τα άλλα ενεργειακά φυτά είναι πολύ υψηλότερο. Οι παραγωγοί χρειάζεται μόνο να αγοράσουν τον σπόρο της αγριαγκινάρας, που κοστίζει 12 ευρώ το κιλό, με κάθε κιλό να φτάνει για 4-5 στρέμματα. Φυτεύεται τον Οκτώβριο και μεγαλώνει με τις βροχές του χειμώνα. Τον Ιούλιο, τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο μαζεύεται από το χωράφι με τις μηχανές σε μπάλες και μεταφέρεται σε μονάδες επεξεργασίας. Η απόδοση σε κάθε στρέμμα είναι 1,5 τόνος, ενώ αν τα φυτά ποτιστούν, μπορούν να δώσουν και 2 τόνους.

Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα της χρήσης της αγριαγκινάρας είναι ότι η καλλιέργειά της απορροφά τα αέρια του θερμοκηπίου που εκπέμπονται κατά την καύση της, δηλαδή επί της ουσίας επιτυγχάνεται ο λεγόμενος κλειστός κύκλος μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης στην καύση της δεν παράγεται διοξείδιο του θείου. Βεβαίως, αντικίνητρο για τη χρήση της θεωρείται το υψηλότερο κόστος, το οποίο όμως μπορεί να ισοσκελιστεί είτε σε περίπτωση που επαναληφθούν οι υψηλές τιμές των καυσίμων, είτε εάν υπάρξει καλύτερη οργάνωση σε επίπεδο συλλογής και μεταφοράς της βιομάζας.



Εικόνα 4. Οι ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδα ανά ποσοστό %

Τα παραπάνω φυτά έχουν κάποια χαρακτηριστικά, όπως είναι η υψηλή αποδοτικότητα ανά στρέμμα καλλιέργειας, ελάχιστες ή και καθόλου ανάγκες για άρδευση, εύκολη συγκομιδή, σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό, καλή συμπεριφορά στο ελληνικό κλίμα, υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό, που κάνουν την καλλιέργειά τους προσοδοφόρα και κατάλληλη για τη χρήση τους ως καύσιμη ύλη ή πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας.

1.5 Χρήσεις Βιομάζας

Η συλλογή της βιομάζας, η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την επεξεργασία της, η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών και η μελέτη που γίνεται για αποδοτικότερες καλλιέργειες αποσκοπούν κυρίως στην παραγωγή ενέργειας με χαμηλό κόστος παραγωγής. Χρήση βιομάζας γίνεται και σε βιοτεχνικό και βιομηχανικό επίπεδο ως πρώτη ύλη για την παραγωγή διάφορων προϊόντων όπως έπιπλα, υφάσματα, χρώματα, λιπάσματα, ρητίνες, βελτιωτικά εδάφους, χημικά (μεθανόλη, αμμωνία), λιπαντικά, πολυμερή, διαλύτες, ιατρικά και φαρμακευτικά προϊόντα, καλλυντικά, τα λεγόμενα βιο-προϊόντα. Στο παρόν κείμενο το ενδιαφέρον εστιάζεται στην παραγωγή

ενέργειας. Η χρήση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις κύριες κατηγορίες, τις εξής:

- Παραγωγή θερμότητας και ψύξης
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Παραγωγή καυσίμων οχημάτων
- Χημικά Προϊόντα

Η παραγωγή θερμότητας από βιομάζα γίνεται κατά κύριο λόγο με τον πατροπαράδοτο, κλασσικό τρόπο, την άμεση καύση της (καυσόξυλα), είτε με μια πρώτη επεξεργασία της (διάφορες μορφές ξύλου, πυρηνόξυλο) μέσω τζακιών και ξυλόσομπας ή μέσω διαμορφωμένων καυστήρων για κεντρική θέρμανση. Πολλά κτήρια και βιοτεχνίες θερμαίνονται με καυσόξυλα, ενώ καυσόξυλα χρησιμοποιούνται και σε θερμοκήπια, σε μονάδες παραγωγής ασβέστη, σε ελαιουργεία, αποστακτήρια και σε φούρνους. Στη χώρα μας το 10% της έκτασης των θερμαινόμενων θερμοκηπίων χρησιμοποιεί σαν καύσιμη ύλη τη βιομάζα. Ένα παράδειγμα αυτού του είδους χρήσης της βιομάζας αποτελεί μία θερμοκηπιακή μονάδα έκτασης 2 στρεμμάτων, στο νομό Σερρών, στην οποία καλλιεργούνται οπωροκηπευτικά. Σε αυτή τη μονάδα έχει εγκατασταθεί σύστημα παραγωγής θερμότητας, συνολικής θερμικής ισχύος 400.000 kcal/h, το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο άχυρο σιτηρών. Η ετήσια εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων που επιτυγχάνεται φθάνει τους 40 τόνους πετρελαίου. Με τη μέθοδο της τηλεθέρμανσης είναι δυνατή η θέρμανση πολλών τετραγωνικών μέτρων διαφόρων κτηρίων ή οικισμών και η πηγή αυτής της θερμότητας μπορεί να είναι η βιομάζα, όπως γίνεται στην κοινότητα Νυμφασίας του νομού Αρκαδίας.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον όμως παρουσιάζουν οι τεχνολογίες επεξεργασίας της βιομάζας που χρησιμοποιώντας την ως πρώτη ύλη, παράγουν διάφορες μορφές καυσίμων, στερεών (κάρβουνα), υγρών (βιοέλαιο) και αερίων (βιοαέριο). Τέτοιες τεχνολογίες είναι ονομαστικά οι:

- Απ' ευθείας καύση
- Απαέρωση
- Πυρόλυση

- ♦ Υγροποίηση
- ♦ Αναερόβια παραγωγή βιο-αερίου
- ♦ Αεροβική αποσύνθεση
- ♦ Αεροβική παραγωγή αιθανόλης
- ♦ Εστεροποίηση

Η μέθοδος παραγωγής του βιοελαίου είναι η πυρόλυση. Η τεχνολογία αυτή θα μας απασχολήσει παρακάτω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Αγροτικά απόβλητα

Οι τύποι και οι ποσότητες των αγροτικών αποβλήτων μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την αγροτική μονάδα, με τη μορφή της παραγωγής και τα τελικά προϊόντα. Τα αγροτικά απόβλητα μπορεί να περιλαμβάνουν:⁷

- οργανικά απόβλητα,
- απορριπτόμενα δοχεία παρασιτοκτόνων,
- πλαστικά υλικά για ενσίρωση (μέθοδος διατήρησης χλωρών ζωοτροφών),
- υλικά για την κατασκευή θερμοκηπίων,
- τσάντες,
- διάφορες συσκευασίες,
- λάστιχα,
- μπαταρίες,
- παλιά μηχανήματα,
- λάδια,
- παλιούς σιδερένιους, πλαστικούς ή ξύλινους φράχτες,
- απόβλητα από οικοδομικές εργασίες και κατεδαφίσεις κ.α.

Άλλα κοινά απόβλητα περιλαμβάνουν αχρησιμοποίητες ποσότητες παρασιτοκτόνων, κτηνιατρικά φάρμακα και πλαστικά που προορίζονται για κηπουρικές εφαρμογές. Τα απόβλητα αυτά περιλαμβάνουν τόσο οργανικά απόβλητα, όπως κοπριά από την κτηνοτροφία και άλλα ζωικά απόβλητα, όσο και μη-βιολογικά απόβλητα, τα οποία χρησιμοποιούνται σε όλες τις αγροτικές δραστηριότητες.

Η κοπριά και η λυματολάσπη μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία φάρμα ή καλλιέργεια δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται με σκοπό την ενίσχυση της παραγωγής αγροτικών προϊόντων. Αν ένας αγρότης έχει περισσότερη κοπριά από όση χρειάζεται, τότε το υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλο αγρότη. Σε περίπτωση που τα

⁷ Organic Contaminants In Sewage Sludge For Agricultural Use, European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability Soil and Waste Unit, H. Langenkamp, P. Part

ζωικά απόβλητα, όπως είναι η κοπριά, δε μπορούν να αξιοποιηθούν από τον αγροτικό τομέα, τότε αυτά χαρακτηρίζονται ως απόβλητα και θα πρέπει να μεταφερθούν σε αδειοδοτημένο χώρο διάθεσης ή επεξεργασίας αποβλήτων.

2.1 Καύση Αγροτικών Αποβλήτων

Σύμφωνα με Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η καύση γεωργικών υπολειμμάτων απαγορεύεται με κάποιες εξαιρέσεις. Στην Ελλάδα αν κάποιος αγρότης επιθυμεί να εξαιρεθεί, έχει τη δυνατότητα να λάβει από τη Διεύθυνση Αγροτικής Ανάπτυξης ένα έγγραφο και με αυτό να αιτηθεί στη συνέχεια στο Πυροσβεστικό Σώμα και να λάβει άδεια καύσης υπό ειδικές προϋποθέσεις. Σύμφωνα όμως με την 9η Πυροσβεστική Διάταξη, η ανοιχτή και ανεξέλεγκτη καύση γεωργικών υπολειμμάτων δεν επιτρέπεται πλέον κατά τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου, από την 1η Μαΐου μέχρι και την 31η Οκτωβρίου. Κατά τη διάρκεια του υπόλοιπου χρόνου δεν προβλέπεται κάποια απαγόρευση. Σκοπός της Οδηγίας, αλλά και της Πυροσβεστικής Διάταξης είναι η εξάλειψη των πυρκαγιών σε δασικές εκτάσεις. Ο στόχος των νομοθετικών ρυθμίσεων σχετικά με τη διαχείριση αποβλήτων είναι η προστασία του περιβάλλοντος, ο περιορισμός της έκλυσης των αερίων του θερμοκηπίου και η εκμετάλλευση οργανικών υλικών με εναλλακτικούς τρόπους που ωφελούν το περιβάλλον, τη δημόσια υγεία και την ίδια την αγροτική παραγωγή βάσει βιώσιμων προτύπων.

Τα γεωργικά απόβλητα δε μπορούν πλέον να μεταφερθούν σε ανεξέλεγκτες χωματερές ή μη αδειοδοτημένους χώρους υγειονομικής ταφής, διάθεσης ή επεξεργασίας αποβλήτων. Οι χώροι αυτοί μπορούν να αποτελέσουν πηγή ρύπανσης του περιβάλλοντος, ιδίως αν υλικά παρασυρθούν από τα νερά της βροχής και μολύνουν το έδαφος και τον υδροφόρο ορίζοντα προκαλώντας φαινόμενα όπως είναι ο ευτροφισμός και η διοχέτευση τοξικών ουσιών μέσω της τροφικής αλυσίδας στον άνθρωπο και όλους τους ζωντανούς οργανισμούς. Η ανακύκλωση οργανικών υλικών εντός ενός κλειστού αγροτικού συστήματος, χρησιμοποιώντας απλές μεθόδους επεξεργασίας, όπως η οικιακή κομποστοποίηση, δεν απαιτεί την απόκτηση ειδικής άδειας, δεδομένου ότι οι πρακτικές αυτές εφαρμόζονται με σεβασμό για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία.

2.2 Πρακτικές για τη διαχείριση των αγροτικών αποβλήτων

Οι περισσότεροι αγρότες επιθυμούν να βελτιώσουν το καθεστώς διαχείρισης αποβλήτων, αλλά εκκρεμούν ακόμα ειδικές νομοθετικές ρυθμίσεις, οι οποίες θα διευκολύνουν τόσο τον έλεγχο, όσο και την πιστοποίηση διαδικασιών που σχετίζονται με τη διαχείριση αγροτικών αποβλήτων. Επιπλέον, χρειάζεται εκτενής ενημέρωση και εκπαίδευση των αγροτών σχετικά με τη χρήση οργανικών αποβλήτων, όπως είναι το κομπόστ, η κοπριά και η λυματολάσπη ως λιπάσματα, αλλά και γενικότερα σχετικά με τις πρακτικές της λίπανσης των καλλιεργειών. Όσον αφορά στη χρήση και απόρριψη παρασιτοκτόνων και άλλων επικίνδυνων αποβλήτων, είναι επιτακτική η ανάγκη ενημέρωσης των αγροτών για την προστασία της υγείας τους, της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος.

Μερικές από τις κοινές αγροτικές πρακτικές, οι οποίες δεν επιτρέπονται πλέον, είναι οι εξής:

- Καύση αποβλήτων χωρίς ειδική άδεια,
- Διάθεση, ταφή, αποθήκευση ή επεξεργασία αποβλήτων χωρίς ειδική άδεια
- Η προσθήκη αγροτικών αποβλήτων στο ρεύμα των οικιακών αποβλήτων

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, θα μπορούσαμε να πούμε ότι για την αποτελεσματικότερη διαχείριση των αγροτικών αποβλήτων τους θα πρέπει να δημιουργηθούν οι κατάλληλες υποδομές που θα διευκολύνουν τους αγρότες:

- Να ελαχιστοποιήσουν τα παραγόμενα απόβλητα, μέσω του αποτελεσματικότερου σχεδιασμού εισροών – εκροών του αγροτικού τους συστήματος παραγωγής
- Να χρησιμοποιούν εκσυγχρονισμένες μεθόδους εκμετάλλευσης των οργανικών τους αποβλήτων για λιπασματοποίηση
- Να χρησιμοποιήσουν προϊόντα και εξοπλισμό σχεδιασμένο ώστε να διευκολύνει την επαναχρησιμοποίηση και την ανάκτηση παραγόμενων αποβλήτων
- Να επιδιώκουν την έγκυρη ενημέρωσή τους σχετικά με τις 'καλύτερες' υπάρχουσες πρακτικές'
- Να ενημερωθούν σχετικά με τις ευθύνες και τις υποχρεώσεις τους

- Να στέλνουν για ανακύκλωση όσο το δυνατόν περισσότερα από τα υλικά που χρησιμοποιούν
- Να δημιουργήσουν συστήματα επαναχρησιμοποίησης υλικών
- Να επεξεργάζονται για την παραγωγή αξιοποιήσιμων πηγών ενέργειας.

2.3 Υπάρχουσα Νομοθεσία

Η νομοθεσία, που διέπει όλες τις άλλες μορφές αποβλήτων και βασίζεται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία για τα Απόβλητα και την Ευρωπαϊκή Οδηγία για την Υγειονομική Ταφή, επιβάλλει ρυθμίσεις και για τον αγροτικό τομέα. Ωστόσο, οι νομοθετικές αυτές ρυθμίσεις δεν επαρκούν ώστε να προβλεφθεί η ανάπτυξη βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης αποβλήτων, στο συγκεκριμένο τομέα, ο οποίος χαρακτηρίζεται από πολλές ιδιαιτερότητες, όπως είναι η εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες και συχνά απρόβλεπτα φαινόμενα καθώς και η ελλιπής ενημέρωση από την πολιτεία σχετικά με νομοθετικές ρυθμίσεις και εξελίξεις σε ότι αφορά τις αγροτικές πρακτικές. Κάποια Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως είναι για παράδειγμα το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ελβετία και η Σουηδία, έχουν αναπτύξει τις δικές τους εθνικές στρατηγικές για τη διαχείριση αγροτικών αποβλήτων. Οι χώρες αυτές έχουν προσδιορίσει τις πηγές των αγροτικών αποβλήτων και έχουν διερευνήσει ή και εφαρμόσει τις επιλογές που υπάρχουν για τη βιώσιμη διαχείρισή τους.

Επιπλέον, ειδική Οδηγία ισχύει σε ευρωπαϊκό επίπεδο σχετικά με τη χρήση λυματολάσπης στη γεωργία (Οδηγία 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12ης Ιουνίου 1986 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της λυματολάσπης στη γεωργία). Η Οδηγία αυτή έχει ως στόχο τη δημιουργία προϋποθέσεων και κριτηρίων για τη χρήση της λυματολάσπης στη γεωργία, ώστε να αποφεύγονται επιβλαβείς επιπτώσεις στο έδαφος, τη βλάστηση, τα ζώα και τον άνθρωπο, ενθαρρύνοντας παράλληλα την ορθή της χρησιμοποίηση. Η λυματολάσπη, ιδίως όταν προέρχεται από σταθμούς καθαρισμού μικρής δυναμικότητας, που επεξεργάζονται κυρίως οικιακά λύματα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα για τα φυτά, δεδομένου ότι δεν περιέχει βαρέα μέταλλα

και άλλα τοξικά συστατικά σε επικίνδυνες ποσότητες. Όταν όμως οι ποσότητες βαρέων μετάλλων είναι άνω των επιτρεπόμενων ορίων και έχει διαπιστωθεί η περιεκτικότητα σε τοξικές ουσίες, τότε θα πρέπει να υπάρξει προ-επεξεργασία, σύμφωνα με τη νομοθεσία.⁸

Σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες για τα απόβλητα, στις οποίες περιλαμβάνονται και τα αγροτικά απόβλητα, μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις:

- Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Απόβλητα δεν αφορά οργανικά απόβλητα, όπως είναι η κοπριά, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς περιορισμούς ως λίπασμα, και άλλα μη επικίνδυνα οργανικά απόβλητα (π.χ. κομπόστ) με όφελος για τις αγροτικές καλλιέργειες. Επιπλέον η σωστή χρήση των αποβλήτων αυτών συμβάλλει στην φιλική προς το περιβάλλον χρήση φυσικών πόρων, οι οποίοι αντί να επιβαρύνουν τα συστήματα επεξεργασίας επιστρέφουν στη φύση ως λιπάσματα και συμβάλλουν στην εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενέργειας.
- Θα πρέπει να υπάρχουν ελεγκτικοί μηχανισμοί για την εξασφάλιση της ορθής χρήσης, τόσο για τη δημόσια υγεία, όσο και για το περιβάλλον, οργανικών αποβλήτων από τη γεωργία, αλλά και σε ότι αφορά τη χρήση της λυματολάσπης.
- Θα πρέπει να δημιουργηθούν κίνητρα για την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση αγροτικών αποβλήτων.
- Σχετικά με τα υλικά συσκευασίας και με τα επικίνδυνα απόβλητα που χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα, οι ίδιες ρυθμίσεις ισχύουν, παρόμοια με όλους τους υπόλοιπους τομείς παραγωγής και κατανάλωσης προϊόντων. Δηλαδή, οι συσκευασίες θα πρέπει να συλλέγονται από τα εγκεκριμένα συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης και να ανακυκλώνονται, ενώ τα επικίνδυνα απόβλητα θα πρέπει να συλλέγονται από τους αδειοδοτημένους φορείς συλλογής επικίνδυνων αποβλήτων.

⁸ Οδηγία 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12ης Ιουνίου 1986 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της υλός καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία

- Οι αγρότες θα πρέπει να ενημερωθούν εκτενώς σχετικά με τη βιώσιμη διαχείριση αγροτικών αποβλήτων, ώστε να προστατεύσουν το περιβάλλον, τη δημόσια υγεία αλλά και τη δική τους.

Η ελληνική νομοθεσία, που αφορά το θέμα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και συγκεκριμένα της βιομάζας, έχει μεγάλο εύρος και κυρίως αφορά την ενσωμάτωση διεθνών ή ευρωπαϊκών νομοθετικών γραμμών στο Εθνικό Δίκαιο. Το νομοθετικό πλαίσιο, από το 1990 και έπειτα που σχετίζεται με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) και ειδικότερα της βιομάζας είναι το εξής:

Έτος	ΦΕΚ	Νόμος	Περιγραφή
2009	A28	N 3747/2009	Σύμβαση για το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Δασών
2008	B-32	ΥΑ 846	Τιμές ανάθεσης υλοτομικών και λοιπών συγκομιστικών εργασιών έτους 2008
2007	B90	Υ.Α.	Πίνακας Διατίμησης Δασικών Προϊόντων, διαχειριστικού έτους 2007
2006	A304	ΝΟΜΟΣ ΥΠ'ΑΡΙΘ. 3423	Εισαγωγή στην Ελληνική Αγορά των Βιοκαυσίμων και των Άλλων Ανανεώσιμων Καυσίμων.
2006	B4	Υ.Α.	Όροι και διατυπώσεις που διέπουν την παραγωγή, διακίνηση, ανάμιξη και θέση σε ανάλωση του αυτούσιου «φιοντίζελ», της παραγράφου 6 του άρθρου 78 του ν. 2960/2001, όπως ισχύει.
2003	B - 552	ΥΑ 1726	Διαδικασία προκαταρκτικής περιβαλλοντικής εκτίμησης και αξιολόγησης, έγκρισης περιβαλλοντικών όρων, καθώς και έγκρισης επέμβασης ή παραχώρησης δάσους ή δασικής έκτασης στα πλαίσια της έκδοσης άδειας εγκατάστασης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
2003	B - 211	ΥΑ 900	Τιμές ανάθεσης υλοτομικών και λοιπών συγκομιστικών εργασιών έτους 2003
2003	A - 37	ΠΔ 38	Διατίμηση δασικών προϊόντων για το δασικό διαχ/κό έτος 2003
2002	A - 46	Π Δ 48	Διατίμηση δασικών προϊόντων για το δασικό διαχ/κό έτος 2002
2001	A - 31	ΠΔ 41	Διατίμηση δασικών προϊόντων για το δασικό διαχ/κό έτος 2001
2001	B-1176	ΥΑ393	Ενίσχυση εμπορία Γεωργικών Προϊόντων 2000-2006
1993	B-369	ΥΑ10315	Επιτρεπόμενα καύσιμα
1993	B-328	ΥΑ11535	Σταθ. εστίες καύσης για θέρμανση κτιρίων-νερού
1990	B-678	ΥΑ692	Κατηγορίες έργων-Μελέτες Περιβ.Επιπτώσεων κλπ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Αξιοποίηση βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας

3.1 Τεχνολογίες επεξεργασίας της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας.

Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμα προϊόντα ή εκμεταλλεύσιμη ενέργεια μέσω τριών κυρίως κατηγοριών επεξεργασίας:

- ♦ θερμοχημική,
- ♦ βιοχημική και
- ♦ φυσικοχημική επεξεργασία

Οι διαδικασίες θερμοχημικής μετατροπής μετατρέπουν τη βιομάζα σε ένα στερεό υγρό ή αέριο καύσιμο. Η βιοχημική μετατροπή βασίζεται σε βιολογικές διαδικασίες. Οι πιο σημαντικές περιπτώσεις είναι η παραγωγή αλκοόλ από βιομάζα που περιέχει ζάχαρη, άμυλο και/ή κυπαρίνη και παραγωγή βιο-αερίου από οργανική ύλη αποβλήτων (π.χ. ζωική κοπριά). Τέλος, οι διαδικασίες φυσικοχημικής μετατροπής εξασφαλίζουν υγρά καύσιμα (π.χ. βιο-ντίζελ) μέσω φυσικών (π.χ. συμπίεση) και χημικών (π.χ. μετεστεροποίηση ή εστεροποίηση τριγλυκεριδίων) διεργασιών από ενεργειακές σοδειές αποκλειστικού προορισμού. Σ' αυτό το ευρύτερο πλαίσιο, ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει τις εναλλακτικές πρώτες ύλες βιομάζας και τον ενεργειακό φορέα για τη τεχνολογική μετατροπή που παρουσιάζεται. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ονομαστικά ανά κατηγορία οι τεχνολογίες επεξεργασίας της βιομάζας με τις πρώτες τους ύλες και τη μορφή της εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που παράγεται από αυτές.

Πίνακας 1. Ταξινόμηση τεχνολογιών ενεργειακής ανάκτησης και είδος της παραγόμενης ενέργειας.

Τεχνολογίες	Διαδικασίες μετατροπής	Κύρια πρώτη ύλη	Παραγόμενη ενέργεια /καύσιμο
Καύση	Θερμοχημική	Ξύλο	Θερμική ενέργεια Ατμός Ηλεκτρισμός
Απαέρωση		Αγροτικά και δασικά απόβλητα	Producer gas
Πυρόλυση		Δημοτικά στερεά υπολείμματα	Συνθετικά καύσιμα (βιοέλαιο) Κάρβουνα
Υγροποίηση			Μεθανόλη
Αναερόβια παραγωγή Βιο-αερίου	Βιοχημική	Ζωική κοπριά Αγροτικά απόβλητα	Βιο-αέριο
Αεροβική αποσύνθεση		Ζωική κοπριά Αγροτικά απόβλητα Δημοτικά στερεά υπολείμματα	Θερμική ενέργεια
Αεροβική παραγωγή αιθανόλης		Υπολείμματα ξύλου Πολτοποιημένα λύματα	Αιθανόλη
Εστεροποίηση	Φυσικοχημική	Ενεργειακές καλλιέργειες	Βιοντίζελ

Είναι σημαντικό να λάβουμε γνώση για τις επιπτώσεις αυτών των τεχνολογιών στις εφοδιαστικές αλυσίδες βιομάζας απορριμμάτων και αποβλήτων, αυτή η κατανόηση θα επέτρεπε τον καθορισμό των βέλτιστων συσχετισμών για εφοδιαστικά συστήματα βιοενέργειας καθώς και για μια ουσιαστική προοπτική βελτίωσης. Οι παρακάτω τεχνολογίες, όλες με πρώτη ύλη τη βιομάζα, είναι δυνατόν να καλύψουν μεγάλο ποσοστό των ενεργειακών απαιτήσεων σε παγκόσμια κλίμακα. Τα χαρακτηριστικά και το κόστος παραγωγής των προϊόντων τους καθιστούν αυτές τις τεχνολογίες άξιες ανταγωνισμού των συμβατικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σήμερα κατά κόρον.⁹

3.2 Θερμοχημικές διεργασίες

Καύση

• Η απ' ευθείας καύση της βιομάζας για παραγωγή θερμότητας είναι ο απλούστερος τρόπος για την ενεργειακή αξιοποίησή της. Για την επίτευξη καλύτερων βαθμών απόδοσης στη καύση είναι επιθυμητό η περιεκτικότητα της βιομάζας σε υγρασία να είναι χαμηλή συνήθως κάτω του 20%. Πολλές φορές απαιτείται τεμαχισμός της βιομάζας σε μικρά κομμάτια για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες συσκευές και φούρνους για καύση. Όταν η βιομάζα βρίσκεται υπό μορφή πολύ μικρών κόκκων είναι επιθυμητό πολλές φορές να μετατραπεί σε πέλλετ. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μορφοποίησή της σε κατάλληλα μηχανήματα με υψηλή πίεση. Για την παραγωγή ατμού η βιομάζα καίγεται σε κατάλληλους καυστήρες και βραστήρες με ειδικούς εναλλάκτες θερμότητας.

Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος καύσης της βιομάζας πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η φωτιά απαιτεί τρεις παράγοντες για να αρχίσει και να συνεχίσει να υπάρχει δηλαδή καύσιμο, οξυγόνο και θερμότητα. Ο έλεγχος της φωτιάς γίνεται με τον έλεγχο

⁹ Α. Παπαϊκονόμου «Διαχείριση δικτύων εφοδιαστικών αλυσίδων για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα» (2010).

των τριών αυτών παραγόντων. Η θερμότητα που παράγεται κατά τη καύση της βιομάζας και διαδίδεται με τρεις τρόπους και μηχανισμούς:

- ♦ Με αγωγιμότητα
- ♦ Με ακτινοβολία
- ♦ Με μεταφορά

Η καύση του ξύλου έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

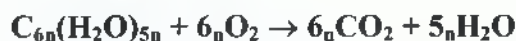
- ♦ Το ξύλο καίγεται σε δύο φάσεις. Κατ' αρχάς παράγονται πτητικά αέρια που καίγονται, δημιουργώντας το κάρβουνο που καίγεται στη συνέχεια.
- ♦ Οξυγόνο θα πρέπει να μεταφερθεί από το περιβάλλον στη ζώνη καύσης
- ♦ Το μέγεθος, η πυκνότητα και η τοποθέτηση του ξύλου στην εστία της φωτιάς επηρεάζουν τη ταχύτητα και τη πληρότητα της καύσης.



Σχήμα 1. Τυπικό ενεργειακό τζάκι

Οι απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον μπορούν να ελαχιστοποιηθούν κατά τη καύση της βιομάζας, εφόσον η εστία καύσης περικλείεται σε κάποια τοιχώματα. Έτσι ελαχιστοποιούνται οι απώλειες θερμότητας με μεταφορά. Ταυτόχρονα τα τοιχώματα θα πρέπει να απορροφούν την ακτινοβολούμενη θερμότητα, μέρος της οποίας θα πρέπει να ακτινοβολούν πάλι. Η θερμότητα που χάνεται με τα αέρια καύσης μπορεί

να ανακτηθεί σε σημαντικό βαθμό, εφόσον χρησιμοποιηθεί κατάλληλος εναλλάκτης θερμότητας. Σήμερα υπάρχουν σόμπες και τζάκια που επιτυγχάνουν βαθμούς απόδοσης από 20% έως 80%, ανάλογα με το βαθμό που εξοικονομούν θερμότητα. Η τυπική χημική αντίδραση κατά τη καύση της βιομάζας είναι:¹⁰



(τυπική μέση βιομάζα)

Οι θερμοκρασίες που επιτυγχάνεται η καύση της βιομάζας κυμαίνονται στους 1000 - 1500 °C. Η βασική σχέση που περιγράφει τη ροή θερμότητας με αγωγιμότητα είναι η αναλογία ανάμεσα στην πυκνότητα ροής θερμότητας και στη διαφορική κλίση της θερμοκρασίας. Η σχέση αυτή είναι γνωστή ως νόμος του Fourier και για μονοδιάστατη σταθεροποιημένη ροή στην κατεύθυνση του άξονα του χ'χ στο καρτεσιανό επίπεδο δίνεται από την εξίσωση:¹¹

$$dq/dA = -k \cdot dT/dx$$

όπου:

q = ρυθμός ροής θερμότητας σε διεύθυνση κάθετη στην επιφάνεια

A = εμβαδόν επιφάνειας

T = θερμοκρασία

x = απόσταση μετρημένη κάθετα στην επιφάνεια

k = θερμική αγωγιμότητα

Η μεταφορά της θερμότητας με ακτινοβολία οφείλεται στο γεγονός ότι όλα τα σώματα ακτινοβολούν θερμότητα. Το πιο απλό είδος ακτινοβολίας ανάμεσα σε δύο επιφάνειες είναι εκείνο στο οποίο κάθε επιφάνεια μπορεί να 'δει' την άλλη, δηλαδή όταν οι επιφάνειες είναι δύο πολύ μεγάλα παράλληλα επίπεδα και όταν μπορούν να θεωρηθούν αδιαφανή σώματα. Αν υποθέσουμε ότι η μία επιφάνεια είναι π.χ. μια φλόγα και η δεύτερη ένα τοίχωμα και ανάμεσα τους έχουμε απόλυτο κενό, η ενέργεια

¹⁰ C.Y. Wereko-Brobby, E.B. Hagen «*Biomass conversion and Technology*» J. Wiley and Sons, 1996.

¹¹ W.McCabe/J.C.Smith/P.Harriott, «*Βασικές διεργασίες Χημικής Μηχανικής*» 6th Edition

που εκπέμπεται ανά μονάδα εμβαδού από τη φλόγα είναι $\sigma_1 T_1^4$, ενώ αυτή που εκπέμπεται από το τοίχωμα είναι $\sigma_2 T_2^4$. Όλη η ακτινοβολία από κάθε επιφάνεια πέφτει πάνω στην άλλη και απορροφάται τελείως. Επομένως η συνολική μεταφορά ενέργειας θα είναι ($T_1 > T_2$):

$$\sigma_1 T_1^4 - \sigma_2 T_2^4,$$

όπου:

T_1, T_2 : Θερμοκρασίες επιφανειών

σ : μια παγκόσμια σταθερά που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την ισχύ εκπομπής ακτινοβολίας ενός σώματος

Τέλος μεταφορά θερμότητας προκαλείται με τη ροή κάποιου ρευστού (αέρα ή νερού) είτε με φυσικό τρόπο είτε με βεβιασμένο. Στη περίπτωση αυτή η εξίσωση μεταφοράς θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας είναι :

$$dq / dA = \pm h (T_w - T_{c,h})$$

όπου:

h : συντελεστής υμένα περιβάλλοντος ρευστού στο θερμό ή στο ψυχρό ρευστό,

T_w : μέση θερμοκρασία τοιχώματος σε επαφή με το ρευστό,

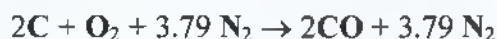
T_c : μέση θερμοκρασία ψυχρού ρευστού,

T_h : μέση θερμοκρασία θερμού ρευστού.

Η καύση χρησιμοποιήθηκε σε μια διευρυμένη περιοχή παραγωγής για να μετατρέψει τη χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην βιομάζα σε θερμότητα. Η καύση βιομάζας παράγει θερμά αέρια σε θερμοκρασίες γύρω στους 800-1000°C. Είναι δυνατόν να καεί οποιοσδήποτε τύπος βιομάζας αλλά πρακτικά η καύση είναι εφικτή μόνο σε βιομάζα με περιεχόμενη υγρασία κάτω από 50%, πάνω από την οποία απαιτείται προεπεξεργασία τύπου ξήρανσης. Ωστόσο η βιομάζα με υψηλή υγρασία είναι καταλληλότερη για τις διαδικασίες βιολογικής μετατροπής.

Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση είναι η μετατροπή της βιομάζας σε ένα καύσιμο αέριο μίγμα με μερική οξείδωση σε υψηλές θερμοκρασίες τυπικά στη περιοχή των 800-900°C. Η χαμηλή θερμιδική αξία των αερίων που παράγονται μπορούν να καούν απευθείας ή να χρησιμοποιηθούν σαν καύσιμο για κινητήρες και αερο - τουρμπίνες καθώς επίσης και τροφοδοσία για τη παραγωγή χημικών. Η αεριοποίηση της βιομάζας περιλαμβάνει τη μερική καύση της σε κατάλληλους αντιδραστήρες. Η βασική χημική αντίδραση κατά την αεριοποίηση της βιομάζας, η οποία γίνεται σε περισσότερα του ενός στάδια, είναι:



Το αέριο που προκύπτει μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο καθώς περιέχει υδρογονάνθρακες και μεθάνιο και έχει την εξής σύνθεση:¹²

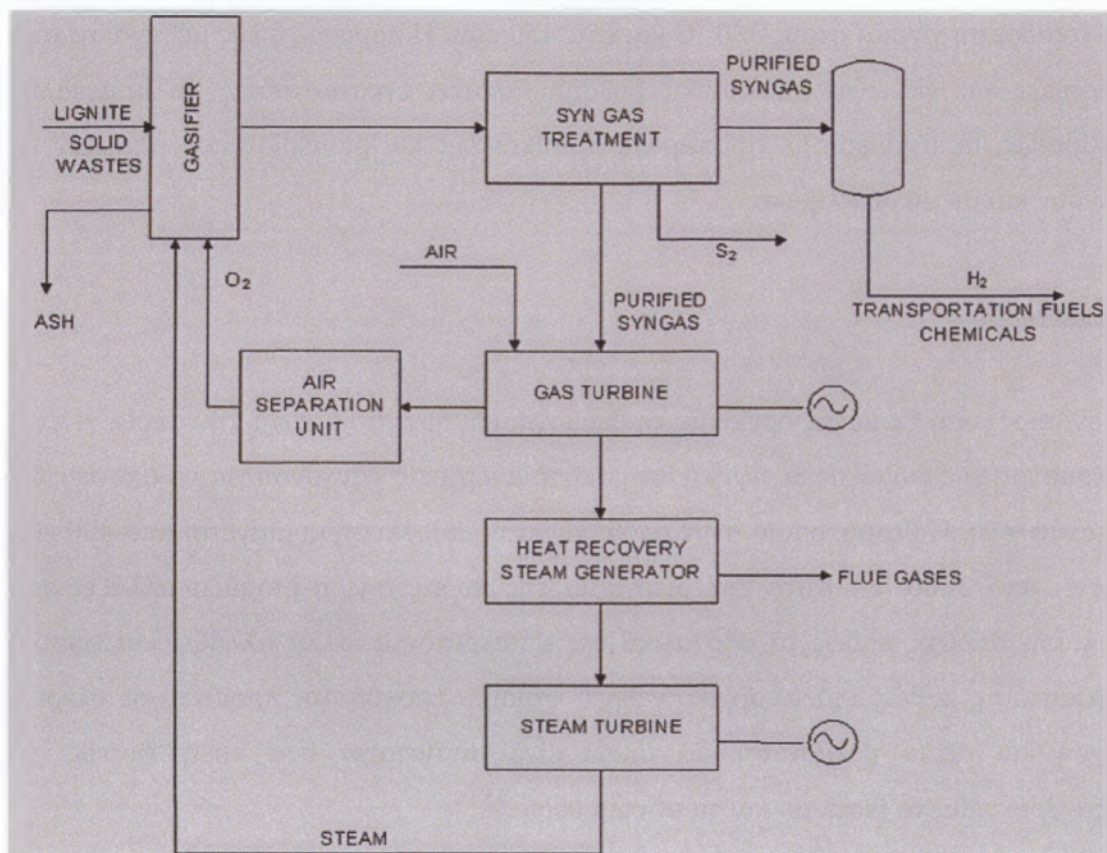
✓	CO₂	30 – 45 %
✓	C_vH_{2v+2}	<1 %
✓	O₂	<1 %
✓	CO	28,7 %
✓	H₂O	1 – 5 %
✓	CH₄	55 – 70 %
✓	N₂	0 – 5 %
✓	H₂S	0 – 0.5%
✓	NH₃	0 – 0.05%
✓	Σιλοξάνες	0 – 50ppm

Η θερμιδική του αξία είναι περίπου 1700 kcal/m³. Για τη βελτίωση της θερμιδικής αξίας του παραγομένου αερίου η βιομάζα μπορεί να είναι υγρή, οπότε γίνεται ταυτόχρονα και η αντίδραση :



¹² Biomass Energy Resources (<http://biomassenergyresources.com/>)

Παρακάτω μπορούμε να δούμε σε σχεδιάγραμμα μία μονάδα που επεξεργάζεται συνδυαστικά σαν πρώτη ύλη λιγνίτη μαζί με βιομάζα για την παραγωγή βιοαερίου. Η πρώτη ύλη αεριοποιείται και διαχωρίζεται από τη στάχτη σε πρώτο στάδιο. Έπειτα περνάει από σύστημα εξευγενισμού του παραγόμενου αερίου και από εκεί στην κατανάλωση. Μέρος του παραγόμενου αερίου αναμειγνύεται μαζί με αέρα και τροφοδοτεί ενεργειακά τη μονάδα.



Σχήμα 2 Σχεδιάγραμμα συνδυαστικής αεριοποίησης βιομάζας και λιγνίτη.

Στην περίπτωση αυτή αναφερόμαστε στην υγρή αεριοποίηση της βιομάζας. Οι θερμοκρασίες για την αεριοποίηση της βιομάζας είναι υψηλότερες από 900°C και για τη βελτίωση της θερμιδικής αξίας του παραγόμενου αερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί οξυγόνο αντί για αέρα ώστε να μειωθεί και η περιεκτικότητα του αερίου σε άζωτο. Για την παραγωγή της μεθανόλης απαιτείται βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα σε κυτταρίνη. Η τεχνολογία παραγωγής μεθανόλης είναι τελείως διαφορετική από τις βιολογικές διεργασίες που οδηγούν στην παραγωγή αιθανόλης. Η μετατροπή γίνεται

σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο η βιομάζα αεριοποιείται και το μίγμα των αερίων που λαμβάνεται πρέπει να είναι κατάλληλο για τη σύνθεση της μεθανόλης. Στο δεύτερο στάδιο γίνεται η σύνθεση της μεθανόλης σύμφωνα με την αντίδραση και παρουσία κατάλληλων καταλυτών:



Η αντίδραση γίνεται στους 300 °C και στις 150 atm. Η παραγωγή της μεθανόλης από βιομάζα για να είναι οικονομικά βιώσιμη απαιτεί εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης κλίμακας, σε αντίθεση με την παραγωγή αιθανόλης και βιοαερίου που μπορούν να γίνουν και σε μικρή κλίμακα.

Πυρόλυση

Σαν πυρόλυση βιομάζας ορίζουμε τη θερμοχημική διεργασία κατά την οποία γίνεται θέρμανση της βιομάζας σε υψηλή θερμοκρασία απουσία οξυγόνου για να αποφευχθεί η ανάφλεξη. Η θερμοκρασία στην οποία γίνεται η πυρόλυση κυμαίνεται από 400 έως πάνω από 1200 °C. Κατά την διεργασία της πυρόλυσης η βιομάζα αλλάζει από χημικής άποψης καθώς τα συστατικά της μετατρέπονται αλλά αλλάζει και φυσική κατάσταση, καθώς από το αρχικό στερεό καύσιμο προκύπτουν προϊόντα σε στερεή, υγρή και αέρια κατάσταση, τα οποία είναι αντίστοιχα στις τρεις φάσεις, το εξανθράκωμα, το βιοέλαιο και τα μόνιμα αέρια.¹³

Όπως αναφέραμε παραπάνω τα προϊόντα που προκύπτουν από την πυρόλυση της βιομάζας είναι κυρίως τρία, τα παρακάτω:

➤ Εξανθράκωμα

Το εξανθράκωμα είναι ένα στερεό υπόλειμμα της διεργασίας της διεργασίας της πυρόλυσης. Η σύστασή του περιλαμβάνει ένα μέρος στοιχειακής σύστασης κυρίως

¹³ S Sinha, A. Jhalani, M.R. Ravi, A. Ray. «Modelling of Pyrolysis in Wood : A Review» SESI Journal, 2000, 35(1)

άνθρακα, υδρογόνου, οξυγόνου, αζώτου και θείου. Περιέχει επίσης κάποια άλλα ανόργανα συστατικά και τέφρα.

➤ **Βιοέλαιο**

Το βιοέλαιο είναι ένα υγρής φάσης προϊόν της πυρόλυσης που περιέχει περίπου 25% υγρασία και ένα μεγάλο αριθμό οργανικών και ανόργανων ενώσεων που φτάνει το 75% της σύστασής του. Οι οργανικές και ανόργανες ενώσεις που περιέχονται στο βιοέλαιο είναι διαφόρων ειδών και ξεπερνούν τα 300 διαφορετικά είδη. Η υγρασία του βιοελαίου δεν προέρχεται μόνο από την αρχική υγρασία της βιομάζας αλλά και από το νερό το οποίο παράγεται κατά την πυρόλυση από το υδρογόνο και το οξυγόνο της βιομάζας στην υψηλή αυτή θερμοκρασία. Το νερό αυτό δεν είναι δυνατόν να διαχωριστεί από το υπόλοιπο μέρος του βιοελαίου με συμβατικές μεθόδους όπως η κλασματική απόσταξη, δηλαδή με θέρμανση στη θερμοκρασία βρασμού του νερού και διαχωρισμό των ατμών του. Λόγω της πυρόλυσης και των στερεών προϊόντων της, στο βιοέλαιο εμπεριέχεται και μια πολύ μικρή ποσότητα στερεής τέφρας. Για το βιοέλαιο θα γίνει εκτενέστερη ανάλυση παρακάτω.

➤ **Μόνιμα αέρια**

Είναι τα αέρια αυτά που δεν υγροποιούνται μετά το πέρας της διεργασίας της πυρόλυσης. Τα αέρια είδη αυτά είναι κυρίως το μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και το υδρογόνο.

Ο μηχανισμός της πυρόλυσης οι και παράγοντες που την επηρεάζουν

Η διεργασία της πυρόλυσης χαρακτηρίζεται από το πολύ μεγάλο πλήθος των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα και των προϊόντων που σχηματίζονται κατά τη διάρκειά της. Τα τρία στοιχεία που απαρτίζουν την αρχική ποσότητα βιομάζας, κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη, κάτω από την επήρεια της θερμότητας που απορροφούν, διασπώνται σε ένα πλήθος ενώσεων μικρότερου μοριακού βάρους. Το φαινόμενο αυτό καλείται θερμική διάσπαση. Οι ενώσεις αυτές είναι δυνατό να συμμετέχουν σε αντιδράσεις μεταξύ τους, του τύπου αερίου - αερίου, σχηματίζοντας

νέα προϊόντα, να διασπαστούν σε ακόμη μικρότερα μόρια, αλλά και να αντιδράσουν με τα πρωταρχικά στοιχεία της βιομάζας, με αντιδράσεις αερίου – στερεού, μέσω της επιφάνειας ή των πόρων των θεωρητικών κόκκων της βιομάζας. Η πυρόλυση βιομάζας γίνεται σε δύο ξεχωριστά αλλά όχι πάντα ευδιάκριτα μεταξύ τους στάδια, καθένα από τα οποία περιλαμβάνει τις δικές του θερμοχημικές αντιδράσεις. Έτσι, αφενός περιλαμβάνει το πρώτο στάδιο της πρωτεύουσας πυρόλυσης των πρωτευνουσών αντιδράσεων, καθώς και ένα δεύτερο της δευτερεύουσας πυρόλυσης, αυτό των δευτερευόντων αντιδράσεων. Οι αντιδράσεις αυτές παρέχονται παρακάτω.¹⁴

Πρωτεύουσες αντιδράσεις

Αρχικά, η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε σταδιακή εξάτμιση της υγρασίας και κατόπιν στην απελευθέρωση των πρωτευνόντων οργανικών πτητικών ουσιών του καυσίμου οι οποίες εξατμίζονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, έως τους 300 °C. Οι αντιδράσεις που κυριαρχούν μέχρι τους 300 °C είναι αφυδατώσεις και αντιδράσεις διάσπασης, οι οποίες γίνονται πιο έντονες ιδίως σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 300 °C, καθώς αρχίζει και η μοριακή διάσπαση της κυτταρίνης και της λιγνίνης. Η θερμοκρασία στην οποία θεωρείται πως ολοκληρώνονται οι παραπάνω πρωτεύουσες αντιδράσεις είναι οι 500 °C. Ένα μέρος των πρωτευνόντων πτητικών προϊόντων συμπυκνώνεται, δηλαδή μεταβαίνει στην υγρή φάση σε θερμοκρασία και πίεση δωματίου. Όπως αναφέραμε παραπάνω οι ενώσεις αυτές ξεπερνούν τις τριακόσιες σε είδος. Το υπόλοιπο μέρος των πτητικών αυτών ουσιών αποτελείται από τα επονομαζόμενα μόνημα αέρια, τα οποία παραμένουν στην αέρια φάση και μετά το τέλος της διεργασίας, δηλαδή όταν επανέλθουν σε θερμοκρασία δωματίου και ατμοσφαιρική πίεση.

Δευτερεύουσες αντιδράσεις

Εν τέλει, αν υπάρχει η δυνατότητα να επιτευχθεί θερμοκρασία υψηλότερη των 500 βαθμών της κλίμακας Κελσίου, και τα προϊόντα της πρωτεύουσας πυρόλυσης παραμείνουν παραπάνω στην κλίνη της πυρόλυσης τότε υπάρχει η δυνατότητα τα

¹⁴ N.Prakash, T. Karunanithi. «*Kinetic Modeling in Biomass Pyrolysis-A Review*» Journal of Applied Sciences Research 2008, 4(12)

προϊόντα αυτά να συμμετέχουν σε δευτερεύουσες αντιδράσεις μεταξύ τους σε αέρια ή σε στερεή φυσική κατάσταση για το σχηματισμό άλλων ουσιών ή την περαιτέρω διάσπασή τους. Οι δευτερεύουσες αυτές αντιδράσεις μπορεί να είναι αντιδράσεις διάσπασης, αλλά και πολυμερισμού, αφυδατώσεις οργανικών μορίων, αντιδράσεις οξείδωσης, αναμόρφωσης και αεριοποίησης. Είναι δηλαδή αντιδράσεις που συμβαίνουν τόσο παράλληλα, δηλαδή σε διαμοριακό επίπεδο, όσο και διαδοχικά, δηλαδή αντιδράσεις μετασχηματισμού ενός μορίου, κυρίως στις αντιδράσεις πολυμερισμού, όπου τα μικρότερα σε μέγεθος μονομερή συνδέονται για να σχηματίσουν ενώσεις με μεγαλύτερο μοριακό βάρος. Σε πολλές περιπτώσεις οι αντιδράσεις αυτές οδηγούν και στην δημιουργία στερεών προϊόντων ή ζελέ. Επομένως έχουμε σαν αποτέλεσμα μια ακόμα γενιά προϊόντων, αέριας, υγρής και στερεάς φάσης. Τα προϊόντα αυτά είναι αντίστοιχα αυτών της πρωτεύουσας πυρόλυσης (εξανθράκωμα, βιοέλαιο, μόνιμα αέρια), ωστόσο η σύστασή τους σε άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο καθώς και η μεταξύ τους αναλογία σε αυτά τα στοιχεία διαφέρει. Αν και δεν υπάρχει σαφές θερμοκρασιακό όριο άνω του οποίου παύουν οι δευτερεύουσες αντιδράσεις, έχει διαπιστωθεί πως οι περισσότερες αντιδράσεις διάσπασης συμβαίνουν έως και τους 750 °C. Πρέπει να σημειωθεί πως οι πρωτεύουσες και δευτερεύουσες αντιδράσεις δε συμβαίνουν απαραίτητα διαδοχικά, αλλά μπορούν και ταυτόχρονα, σε διαφορετικά σημεία του σωματιδίου και ανάλογα με το θερμοκρασιακό εύρος πάνω στο κάθε σωματίδιο.

Παράγοντες που επηρεάζουν την πυρόλυση

Η χημική σύσταση των προϊόντων της πυρόλυσης διαφέρει και για αυτό το σημαντικότερο ρόλο παίζουν οι παράγοντες διεξαγωγής της. Ονομαστικά, αυτοί είναι η θερμοκρασία της αντίδρασης, ο χρόνος παραμονής τους στην κλίνη πυρόλυσης, το μέγεθος των σωματιδίων που αποτελούν τη βιομάζα, η σύσταση της βιομάζας και τέλος, ο ρυθμός με τον οποίο παρέχεται θερμότητα στη βιομάζα.¹⁵

α) Θερμοκρασία

¹⁵ J.E. White, W.J. Catallo, B.L Legendre. «Biomass pyrolysis kinetics: A comparative critical review with relevant agricultural residue case studies» Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2011, 91

- Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία της αντίδρασης, τόσο περισσότερο ευνοούνται οι αντιδράσεις μετατροπής των πρωτευόντων οργανικών υγρών σε μόνιμα αέρια. Για υψηλότερες θερμοκρασίες (500 - 800 °C) τα αέρια καταλαμβάνουν μεγαλύτερο μέρος των τελικών προϊόντων, και αντίστοιχα μειώνεται το ποσοστό των συμπυκνώσιμων οργανικών ενώσεων αλλά και του εξανθρακώματος αφού αυξάνεται και ο αριθμός των ενώσεων με μικρότερο μοριακό βάρος. Ευνοείται δηλαδή η διεργασία της διάσπασης.
- Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (400 - 500 °C), το ποσοστό του βιοελαίου είναι μεγαλύτερο, ενώ παράλληλα αυξάνεται και το ποσοστό του εξανθρακώματος.
- Έχει διαπιστωθεί πως η επίδραση της τελικής θερμοκρασίας είναι εντονότερη από αυτή του ρυθμού θέρμανσης της βιομάζας πάνω στη σύσταση των τελικών προϊόντων.

β) Χρόνος παραμονής στην κλίνη του αντιδραστήρα

- Ένας μειωμένος χρόνος παραμονής δίνει μικρότερο περιθώριο στις δευτερεύουσες αντιδράσεις να λάβουν χώρα, κι έτσι αυξάνεται το ποσοστό των πρωτευόντων προϊόντων έναντι των δευτερευόντων.
- Σε μεγάλο χρόνο παραμονής, τα πτητικά διασπώνται σε ελαφρότερα είδη, με αποτέλεσμα να επιτείνεται η παραγωγή μονίμων αερίων και να μειώνεται το ποσοστό του τελικού υγρού προϊόντος.
- Ταυτόχρονα για μεγαλύτερο χρόνο παραμονής παρατηρείται αύξηση του ποσοστού του εξανθρακώματος.
- Όταν ο μικρός χρόνος παραμονής συνοδεύεται από πολύ υψηλό ρυθμό θέρμανσης, κάτι που συμβαίνει στην περίπτωση της ταχείας πυρόλυσης, ελαχιστοποιείται το ποσό του στερεού υπολείμματος στα τελικά προϊόντα. Μειώνεται δηλαδή το ποσοστό του εξανθρακώματος και το ήδη μικρό ποσοστό της τέφρας στο βιοέλαιο. Βέβαια, όσο μικρό και αν είναι το ποσοστό της τέφρας στο βιοέλαιο, ανάλογα και με τον τρόπο που θα χρησιμοποιηθεί το βιοέλαιο μπορεί να επιφέρει αρκετά προβλήματα και βλάβες παραδείγματος χάριν στο σύστημα ψεκασμού κάποιων κινητήρων.

γ) Μέγεθος σωματιδίου βιομάζας

- Ένα μικρό μέγεθος σωματιδίων κατά μέσο όρο στη βιομάζα επιταχύνει τις πρωτεύουσες αντιδράσεις, όπως την ξήρανση και την απελευθέρωση των πρωτευνόντων πτητικών.
- Ένα μεγαλύτερο μέγεθος εμποδίζει τα πτητικά να απελευθερωθούν από αυτό κατά την έναρξη της δευτερεύουσας πυρόλυσης, και άρα τόσο περισσότερο ευνοούνται οι αντιδράσεις αυτών.
- Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος σωματιδίου τόσο ευνοούνται οι αντιδράσεις αφυδάτωσης των οργανικών ενώσεων, κι έτσι αυξάνεται η ποσότητα του ύδατος, που παράγεται κατά την πυρόλυση, στο τελικό βιοέλαιο.
- Μια αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων κατά μέσο όρο στην αρχική βιομάζα οδηγεί σε μικρότερη ποσότητα προϊόντων υγρής φάσης και υψηλότερη παραγωγή στερεού εξανθρακώματος.

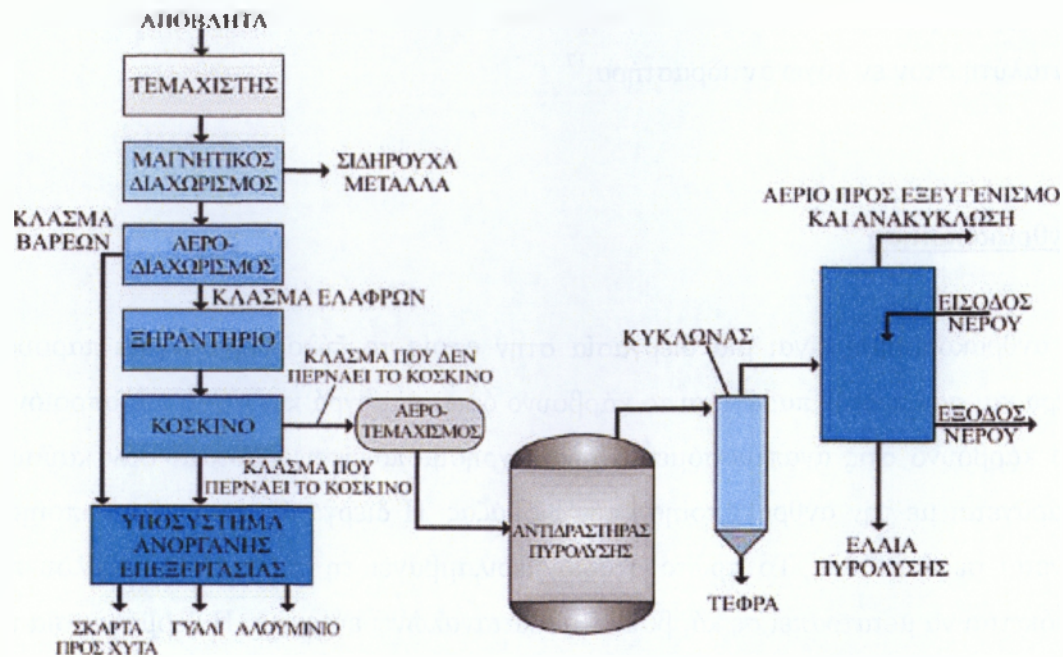
δ) Η καταλυτική δράση του εξανθρακώματος

Ακόμη μία παράμετρος που επηρεάζει την τελική σύσταση των προϊόντων είναι ο χρόνος επαφής και ανάμιξης του εξανθρακώματος με τα πρωτεύοντα πτητικά προϊόντα. Το εξανθράκωμα έχει συγκεκριμένη καταλυτική δράση στις αντιδράσεις διάσπασης των οργανικών ενώσεων της υγρής φάσης λόγω της πορώδους δομής του. Ευνοεί σε κάθε περίπτωση τη μείωση των προϊόντων της υγρής φάσης που παράγονται.

Ανάλογα με το επιθυμητό προϊόν μπορεί ο κάθε χειριστής του αντιδραστήρα πυρόλυσης να ρυθμίζει τις παραπάνω παραμέτρους. Αξίζει να σημειωθεί ότι η θέρμανση της βιομάζας και οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα δεν είναι δυο διαδοχικές διεργασίες, καθώς η έναρξη των αντιδράσεων γίνεται προτού η στερεή βιομάζα αποκτήσει την θερμοκρασία πυρόλυσης. Η ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση της βιομάζας και για την παραμονή της στην θερμοκρασία που επιθυμεί ο χειριστής μέχρι το πέρας των αντιδράσεων είναι καταρχήν απαραίτητη για τον κατάλληλο σχεδιασμό του αντιδραστήρα, αλλά και για τον καθορισμό των λοιπών τεχνικών παραμέτρων της διεργασίας, ενώ είναι βασικό να λαμβάνεται υπ' όψιν σε κάθε ενεργειακό και οικονομικό ισοζύγιο, ειδικά όταν μελετώνται οι

δυνατότητες αξιοποίησης της βιομάζας μέσα σε ένα γενικότερο πλάνο (αεριοποίηση, καύση), αφού το κόστος της επηρεάζει άμεσα και το κόστος παραγωγής των τελικών προϊόντων αλλά και το κόστος διάθεσης αυτών στο κοινό. Παρ' όλα αυτά, δεν υπάρχει μέχρι στιγμής κάποια κοινώς αποδεκτή μεθοδολογία υπολογισμού της ενέργειας αυτής, καθώς αυτή είναι ακόμα δύσκολο να υπολογιστεί με πειραματικές μεθόδους, λόγω της πολυπλοκότητας της ίδιας της διεργασίας, της μεγάλης ανομοιογένειας που παρουσιάζουν τα είδη βιομάζας μεταξύ τους και των δυσκολιών που παρουσιάζονται στον υπολογισμό των θερμικών απωλειών του εκάστοτε εξοπλισμού που χρησιμοποιείται. Για ένα συγκεκριμένο θεωρητικό αντιδραστήρα που χρησιμοποιεί σαν πρώτη ύλη ένα συγκεκριμένο είδος βιομάζας με ομοιογενή σύσταση ο υπολογισμός της ενέργειας της πυρόλυσης είναι εφικτός με μικρό σφάλμα.

Τέλος, πρέπει να γίνει γνωστό ότι η πυρόλυση κατηγοριοποιείται με κριτήριο το ρυθμό της θέρμανσης του αντιδραστήρα. Διαχωρίζεται στην αργή και στην ταχεία πυρόλυση. Ανάλογα με το πόσο γρήγορα αυξάνεται η θερμοκρασία του αντιδραστήρα και το χρόνο παραμονής της βιομάζας στις διάφορες θερμοκρασίες έχουμε την αργή ή την ταχεία πυρόλυση οι οποίες θέλουν διαφορετικό χειρισμό για την παραγωγή προϊόντων με παρόμοια σύσταση. Μία διαφορά μεταξύ της αργής και της ταχείας πυρόλυσης, όσον αφορά τις συνθήκες διεξαγωγής τους, είναι ο χρόνος αντίδρασης. Η ταχεία πυρόλυση διαρκεί λιγότερο από την αργή και εν μέσω της διεργασίας γίνεται μια απότομη ψύξη των συμπηκνώσιμων πτητικών οργανικών ενώσεων ώστε να ανακτηθεί μέρος αυτών στην υγρή φάση. Η πυρόλυση σε θερμοκρασία μέχρι 600 °C θεωρείται σήμερα σαν πιο κατάλληλη για την επεξεργασία γεωργικών λυμάτων με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την πυρόλυση είναι η χαμηλή θερμική σταθερότητα και η υψηλή ικανότητα διάβρωσης του παραγόμενου βιοελαίου. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού έχουν αναπτυχθεί τεχνικές μείωσης του περιεχόμενου στο βιοέλαιο οξυγόνου κι απομάκρυνσης από αυτό των αλκαλικών ουσιών. Στο επόμενο διάγραμμα είναι δυνατόν να παρακολουθηθεί κανείς τα διαδοχικά στάδια από τα οποία περνάει η βιομάζα κατά την επεξεργασία της με πυρόλυση για την παραγωγή του βιοελαίου.



Η συνολική διαδικασία για την αξιοποίηση της βιομάζας με πυρόλυση.¹⁶

Υγροποίηση

Η υγροποίηση είναι η μετατροπή της βιομάζας σε ένα σταθερό ρευστό υδρογονάνθρακων. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι υγροποιήσεων υπό έρευνα, όπως η καυστική υδρόλυση, η ενζυμική υδρόλυση, η καύση ατμού και υπερκρίσιμου νερού για τη παραγωγή αιθανόλης. Αυτή η επινόηση είναι μια μέθοδος για τη μετατροπή της στερεάς κυτταρινικής βιομάζας ή του λιγνίτη σε έλαιο. Ένας πολτός στερεού - ελαίου έρχεται σε επαφή μέσα σε έναν αντιδραστήρα με το μονοξείδιο του άνθρακα και τους υδρατμούς παρουσία ενός αλκαλικού μεταλλικού καταλύτη γης σε θερμοκρασία από 250 ° C. έως 450 ° C και πίεση από περίπου 140 atm έως 352 atm. Τα αέρια από τον αντιδραστήρα και οι υδρογονάνθρακες ελαίων και καυσίμων, καίγεται σε μια πίεση μεγαλύτερη από την πίεση των αντιδραστηρίων παρουσία οξυγόνου και παράγεται ένα αέριο ατμού μονοξειδίου άνθρακα - νερού σε θερμοκρασία από 1100 ° C. μέχρι 1600 ° C. Το εν λόγω αέριο εισάγεται κάτω από την επιφάνεια του πολτού καυσίμου στον αντιδραστήρα για να παράγει θερμότητα,

¹⁶ Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων ΕΕΔΣΑ.

μονοξείδιο του άνθρακα, και υδρατμό και, κατά προτίμηση, να ανανεώσει τον καταλύτη στον εν λόγω αντιδραστήρα.¹⁷

Ανθρακοποίηση

Η ανθρακοποίηση είναι μία διεργασία στην οποία το ξύλο θερμαίνεται παρουσία αέρα και σαν προϊόν παράγεται το κάρβουνο όπως και υγρά και αέρια παραπροϊόντα. Το κάρβουνο στις αναπτυσσόμενες χώρες χρησιμοποιείται ευρύτατα σαν καύσιμο. Παράγεται με την ανθρακοποίηση της βιομάζας. Η διεργασία της ανθρακοποίησης γίνεται σε 4 στάδια. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τη ξήρανση του ξύλου που πρόκειται να μετατραπεί σε κάρβουνο και καταναλώνει ενέργεια. Η θερμοκρασία του πρώτου σταδίου είναι περίπου 200 °C. Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει τη φάση της προ - ανθρακοποίησης και γίνεται σε θερμοκρασίες από 170 - 300 °C, ενώ παράγονται υγρά και αέρια παραπροϊόντα. Το στάδιο αυτό απαιτεί επίσης τη κατανάλωση ενέργειας. 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. 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 κατά την ανθρακοποίηση της βιομάζας είναι:¹⁸ $C_{6n}(H_2O)_{5n} \rightarrow 6nC + 5nH_2O$

↑

(τυπική βιομάζα)

Ταυτόχρονα γίνονται και παράλληλες αντιδράσεις. Μετά το πέρας της ανθρακοποίησης το κάρβουνο ψύχεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για την αποθήκευση, συσκευασία και μεταφορά του. Οι ιδιότητες του κάρβουνου εξαρτώνται από :

- Την υγρασία της βιομάζας
- Τον τύπο του ξύλου και τη χημική του σύσταση

¹⁷ A. Demirbas. «*Green Energy And Technology Biorefineries for Biomass Upgrading Facilities*» London: Springer, 2010

¹⁸ C.Y. Wereko-Brobby, E.B. Hagen «*Biomass conversion and Technology*» J. Wiley and Sons, 1996.

- Τη θερμοκρασία της ανθρακοποίησης

Ένα ικανοποιητικής ποιότητας κάρβουνο θα πρέπει να περιέχει περισσότερο από 70% άνθρακα. Η πυκνότητά του πρέπει να κυμαίνεται περίπου στα 250-300 kg/m³, ενώ η θερμιδική του αξία να είναι 25 MJ/kg σε σύγκριση με τα 15 MJ/kg του ξύλου. Ο τελικός όγκος του παραγόμενου κάρβουνου είναι περίπου το μισό του αρχικού όγκου του ανθρακοποιημένου ξύλου. Υπάρχουν διάφορα συστήματα για την ανθρακοποίηση της βιομάζας, τα οποία είναι συνήθως απλής κατασκευής. Η διάρκεια της διαδικασίας ανθρακοποίησης είναι συνήθως 2-20 ημέρες, ενώ η απόδοση κυμαίνεται σε 15-25%. Στο επόμενο σχήμα παρατηρούμε διάφορα είδη κάρβουνων που προέρχονται από τυχαία μικρά κομμάτια ξύλου, από κλαδιά ή από συμπιεσμένη βιομάζα στις δύο τελευταίες μορφές.



Σχήμα 3 Κάρβουνα ακατέργαστου ξύλου και κάρβουνα άλλης βιομάζας.

3.3 Βιοχημικές διεργασίες

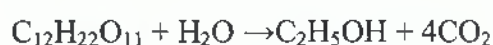
Ζύμωση

Η ζύμωση χρησιμοποιείται βιομηχανικά σε μεγάλη κλίμακα για την παραγωγή αιθανόλης από ζάχαρη που προέρχεται από ζαχαροκάλαμο ή ζαχαρότευτλα και από

φυτείες καλαμποκιού ή σιταριού τα οποία είναι πλούσια σε άμυλο. Η βιομάζα θάβεται και οι φυτείες μετατρέπονται με τη βοήθεια ενζύμων σε ζάχαρη και στη συνέχεια γίνεται μετατροπή των σακχάρων σε αιθανόλη. Η μετατροπή της βιομάζας από αγροτικές καλλιέργειες και δασικά απόβλητα είναι πιο σύνθετη λόγω της ύπαρξης μακρύτερων αλυσίδων μορίων πολυσακχαριτών και απαιτεί όξινη και ενζυματική υδρόλυση πριν τα τελικά σάκχαρα μπορούν να υποστούν ζύμωση και να μετατραπούν σε αιθανόλη. Η αιθανόλη μπορεί να παραχθεί από διάφορους τύπους βιομάζας με χημικές και βιολογικές διεργασίες και η παραγόμενη αιθανόλη αποτελεί αξιοποιήσιμο καύσιμο με καλές αποδόσεις. Τρεις τύποι βιομάζας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό:¹⁹

- ♦ Σακχαρούχα βιομάζα
- ♦ Αμυλούχα βιομάζα
- ♦ Κυτταρινούχα βιομάζα

Οι σακχαρούχα βιομάζα είναι οι πιο ελκυστική για την παραγωγή αιθανόλης, καθώς περιέχει σάκχαρα που μετατρέπονται εύκολα στην ζητούμενη αλκοόλη, σε αυτή την περίπτωση, την αιθανόλη. Η μετατροπή σακχάρου σε αλκοόλη γίνεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση, με τη βοήθεια ενζύμων:



σάκχαρο

Η διεργασία της ζύμωσης γίνεται κυρίως με σακχαρομύκητες. Η ζύμωση σταματά σε κάποιο σημείο καθώς οι συγκεντρώσεις της αλκοόλης στο διάλυμα ξεπερνούν το 10% και κάνουν το περιβάλλον της ζύμωσης τοξικό για τους σακχαρομύκητες. Για να επιτευχθούν συγκεντρώσεις αλκοόλης μέχρι και 95% η επεξεργασία του διαλύματος συνεχίζεται με τη διεργασία της απόσταξης. Σε υψηλές συγκεντρώσεις η αιθανόλη σχηματίζει αζεοτροπικό μίγμα με το νερό και η απόσταξη τερματίζεται. Αυτός είναι

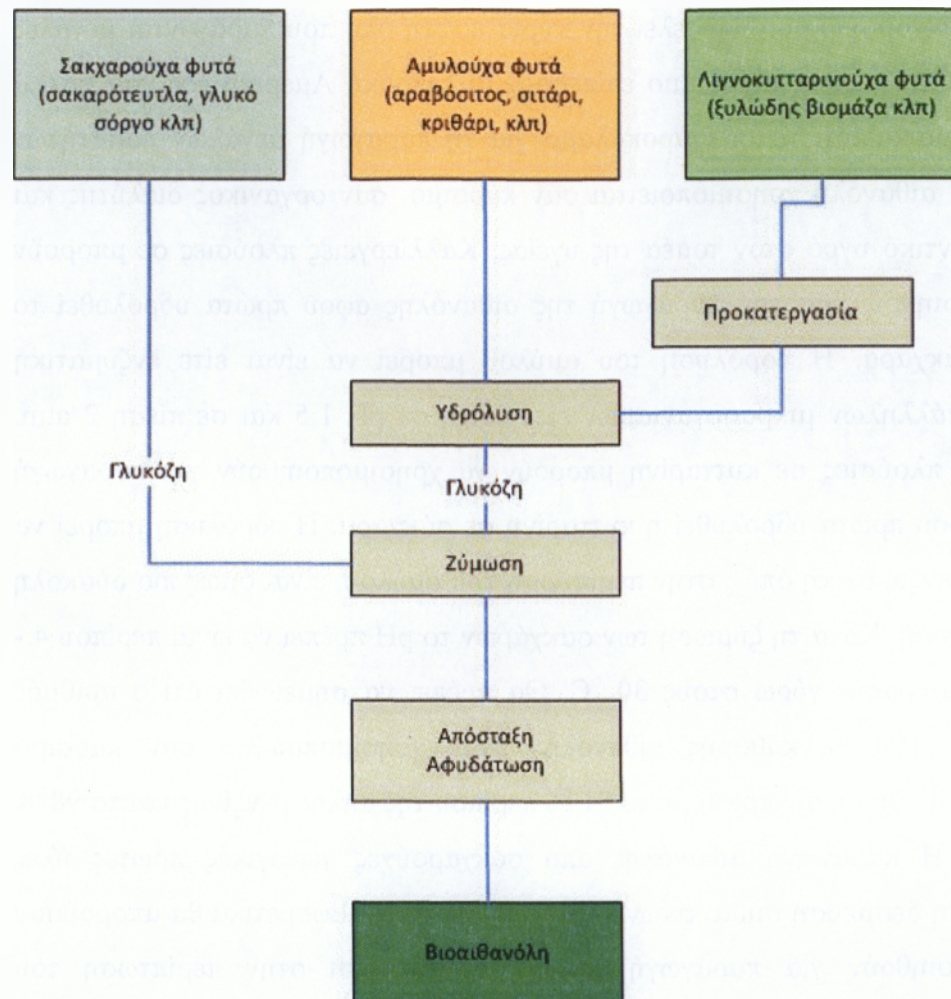
¹⁹ Π. Χρυστακόπουλος, Δ. Κουλλάς, Δ. Κέκκος, Ε. Κούκιος, Β. Μακρής «Απ' ευθείας μικροβιακή μετατροπή προκατεργασμένου αχύρου σε αιθανόλη». Πρακτικά 3ου Εθνικού συνεδρίου για τις Η.Μ.Ε. (1988)

και ο λόγος που η αιθανόλη με υψηλή καθαρότητα είναι αρκετά ακριβή στο εμπόριο. Οι κυρίαρχες καλλιέργειες που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα είναι το σακχαροκάλαμο, τα τεύτλα και οι το σόργο.

Σήμερα το σακχαροκάλαμο αποτελεί την κύρια πρώτη ύλη που παράγονται μεγάλες ποσότητες αιθανόλης σε παγκόσμιο επίπεδο. Στη λατινική Αμερική εδώ και πολλά χρόνια χρησιμοποιείται το σακχαροκάλαμο για τη παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αιθανόλης. Η αιθανόλη χρησιμοποιείται σαν καύσιμο, σαν οργανικός διαλύτης και σαν απολυμαντικό υγρό στον τομέα της υγείας. Καλλιέργειες πλούσιες σε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή της αιθανόλης αφού πρώτα υδρολυθεί το άμυλο σε σάκχαρα. Η υδρόλυση του αμύλου μπορεί να είναι είτε ενζυματική παρουσία κατάλληλων μικροοργανισμών είτε όξινη σε pH 1,5 και σε πίεση 2 atm. Καλλιέργειες πλούσιες σε κυτταρίνη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή αιθανόλης αφού πρώτα υδρολυθεί η κυτταρίνη σε σάκχαρα. Η υδρόλυση μπορεί να είναι όξινη ή ενζυματική όπως στην περίπτωση του αμύλου, είναι όμως πιο δύσκολη και πιο δαπανηρή. Κατά τη ζύμωση των σακχάρων το pH πρέπει να είναι περίπου 4 - 5 και η θερμοκρασία γύρω στους 30 °C. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο αριθμός οκτανίου της 100 % καθαρής αιθανόλης όταν χρησιμοποιείται σαν καύσιμο οχημάτων είναι 106 σε σύγκριση με το 91 % περίπου της απλής βενζίνης και το 98 % της σούπερ. Η παραγωγή αιθανόλης από σακχαρούχες γεωργικές πρώτες ύλες συνεπάγεται τη δέσμευση σημαντικών εκτάσεων γης που διαφορετικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή τροφίμων όπως και στην περίπτωση του βιοντίζελ.

Τα απόβλητα της ζύμωσης και της απόσταξης δημιουργούν μεγάλο ρυπαντικό φορτίο το οποίο απαιτεί βιολογικό καθαρισμό. Έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο και είναι δύσκολα στην επεξεργασία τους. Μια μέθοδος εξυγίανσης των αποβλήτων από αυτές τις διεργασίες είναι αρχικά μια εξάτμισή τους σε κατάλληλες δεξαμενές ανοιχτές ώστε να εξατμίζεται το νερό και έπειτα ο ψεκασμός τους στις εν λόγω καλλιέργειες ως λίπασμα. Η καθαρή αιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποσοστό έως και 20% σαν πρόσθετο στην βενζίνη χωρίς ο κινητήρας του οχήματος να χρειάζεται κάποια μετατροπή. Τα οχήματα που χρησιμοποιούν σαν καύσιμο την αιθανόλη έχουν μικρές διαφορές στον κινητήρα τους από τους βενζινοκινητήρες και ρυπαίνουν αρκετά λιγότερο την ατμόσφαιρα λόγω των μειωμένων εκπομπών υδρογονανθράκων και NO_x

από την καύση της αιθανόλης. Στο επόμενο διάγραμμα οι τρεις βιομάζες διοχετεύονται απ' ευθείας για ζύμωση ή επεξεργάζονται αρχικά ώστε να παράγουν γλυκόζη που μετέπειτα μετατρέπεται σε βιοαιθανόλη.



Διάγραμμα 1. Αλγοριθμικό διάγραμμα παραγωγής της βιοαιθανόλης.²⁰

Αναερόβια χώνευση

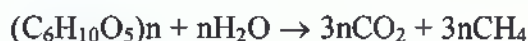
Η αναερόβια χώνευση είναι μια μετατροπή της βιομάζας σε ένα μίγμα κυρίως μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα με ενεργειακό περιεχόμενο γύρω στο 30 %. Είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται ευρέως για επεξεργασία οργανικών απορριμμάτων με υψηλή υγρασία. Η αναερόβια χώνευση της βιομάζας περιλαμβάνει

²⁰ Biomass Energy Resources (<http://biomassenergyresources.com/>)

τη μικροβιακή αποδόμηση σύνθετων οργανικών μορίων προς απλούστερα μόρια και γίνεται σε τρεις φάσεις.²¹

- ♦ φάση υδρόλυσης
- ♦ όξινη φάση
- ♦ φάση μεθανοποίησης

Η φάση της υδρόλυσης είναι η φάση στην οποία τα σύνθετα οργανικά μόρια διασπώνται σε απλούστερα. Στην όξινη φάση οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λίπη διασπώνται από μικροοργανισμούς σε οξέα, CO₂, H₂, NH₃ κ.ά. Στη τελική φάση το υδρογόνο, το διξείδιο του άνθρακα, οι αλκοόλες, και τα οργανικά οξέα παράγουν με τη βοήθεια ενζύμων το αέριο μεθάνιο. Κατά τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης και οι τρεις φάσεις συμβαίνουν ταυτόχρονα και εάν κάποια φάση επικρατήσει των άλλων δύο, τότε η παραγωγή του μεθανίου διαταράσσεται σοβαρά. Η χημική εξίσωση για την αναερόβια χώνευση της κυτταρίνης γράφεται :

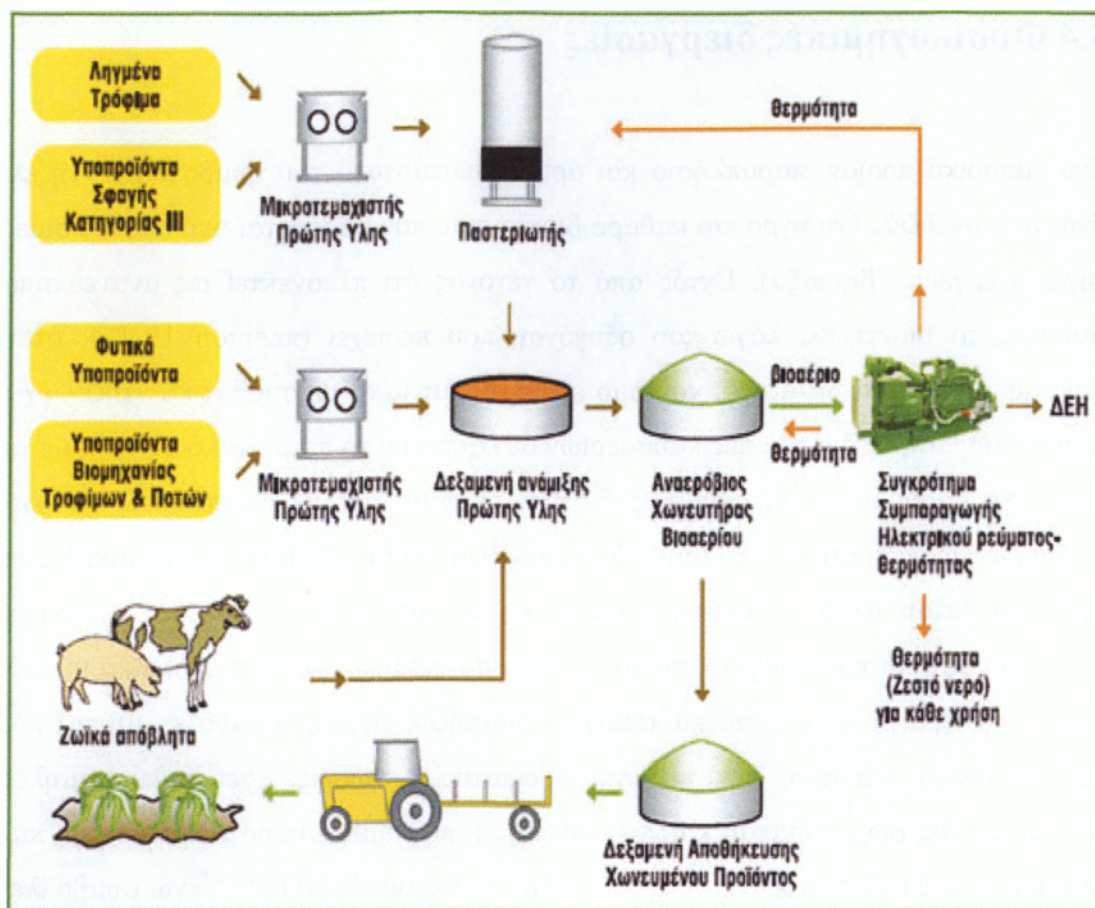


Τα ένζυμα που παράγουν το μεθάνιο κατά την τρίτη φάση ευδοκιμούν σε περιβάλλον ελαφρώς όξινο με pH μεγαλύτερο του 6,2 και μικρότερο του 7. Η σύνθεση του βιοαερίου είναι περίπου 60 % CH₄, 35 % CO₂ και 5% άλλα αέρια όπως H₂, N₂, NH₃, H₂S, CO, O₂, H₂O, πτητικές αμίνες κ.ά. Η παρουσία του υδροθείου στο βιοαέριο το καθιστά διαβρωτικό και συνεπώς πολλές φορές απαιτείται η απομάκρυνσή του πριν από τη χρήση του. Η αναερόβια χώνευση της βιομάζας μπορεί να γίνει σε τρεις θερμοκρασιακές ζώνες :

- ♦ Την ψυχρόφιλη ζώνη περίπου 20 °C
- ♦ Τη μεσόφιλη ζώνη περίπου 35 °C
- ♦ Τη θερμόφιλη ζώνη περίπου 55 °C

²¹ Π. Χρυστακόπουλος, Δ. Κουλλάς, Δ. Κέκκος, Ε. Κούκιος, Β. Μακρής «Απ' ευθείας μικροβιακή μετατροπή προκατεργασμένου αχύρου σε αιθανόλη». Πρακτικά 3ου Εθνικού συνεδρίου για τις Η.Μ.Ε. (1988)

Όταν η χώνευση γίνεται στη ψυχρόφιλη ζώνη, ο χρόνος της χώνευσης είναι τουλάχιστον 14 ημέρες. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες η χώνευση γίνεται ταχύτερα και η απόδοση αυξάνεται. Πολλές φορές σε κρύα κλίματα μέρος του παραγόμενου βιοαερίου χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του αντιδραστήρα και τη διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας εντός αυτού. Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης της βιομάζας ευνοείται από υγρό, θερμό και σκοτεινό περιβάλλον. Οι αντιδραστήρες χώνευσης της βιομάζας μπορεί να είναι συνεχούς ή διαλείποντος έργου. Για τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας είναι απαραίτητη η μόνωση και πιθανώς η θέρμανση του αντιδραστήρα. Το βιοαέριο που παράγεται εφόσον αποθηκευθεί υπό συνήθη πίεση, απαιτούνται μεγάλοι αποθηκευτικοί χώροι αλλά εάν συμπιεσθεί και υγροποιηθεί, απαιτούνται υψηλές πιέσεις. Έτσι, για οικονομικούς λόγους προτιμάται η άμεση καύση του είτε για παραγωγή θερμότητας είτε για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα υγρά απόβλητα που απομένουν έχουν χαμηλότερο ρυπαντικό φορτίο από τα αρχικά απόβλητα. Περιέχουν όμως παθογόνους μικροοργανισμούς. Ενδείκνυται η διάθεσή τους με προσοχή στους αγρούς για λίπανση λόγω της υψηλής θρεπτικής για τα φυτά αξίας τους. Στο επόμενο σχήμα μπορούμε να δούμε πως ανακυκλώνεται η βιομάζα και τα παράγωγά της κατά την διεργασία παραγωγής βιοαερίου. Στον κύκλο του βιοαερίου η ενέργεια που παράγεται χρησιμοποιείται και για την συντήρηση της ίδιας της διαδικασίας επεξεργασίας ενώ έχουμε και υποπροϊόντα όπως λίπασμα και ζεστό νερό.



Σχήμα 5 Ο κύκλος του βιοαερίου²²

Αεροβική αποσύνθεση

Η αεροβική αποσύνθεση βιομάζας μπορεί να παράγει ενέργεια σε θερμική μορφή χρησιμοποιώντας σαν πρώτη ύλη τη βιομάζα. Οι μονάδες αεροβικής αποσύνθεσης παράγουν απ' ευθείας ενέργεια από τη βιομάζα. Αυτή η μέθοδος δεν έχει ακόμη χρησιμοποιηθεί σε ευρεία κλίμακα. Η αεροβική επεξεργασία βασίζεται σε αερόβιους μικροοργανισμούς (βακτηρίδια και συναφή που χρειάζονται οξυγόνο) για το «χώνεμα» των οργανικών σκουπιδιών και τη δημιουργία μιας κομπόστας που μπορεί να επιστρέψει στη γη. Χρειάζεται τροφοδοσία με νερό για να γίνει η αρχική υδρόλυση. Στη συνέχεια χωνεύονται τα οργανικά απόβλητα και εκλύεται διοξείδιο του άνθρακα και θερμότητα. Η πιο σύγχρονη εκδοχή αυτής της μεθόδου είναι η βιολογική ξήρανση, που λαμβάνει χώρα εντός πλήρως κλειστών και ελεγχόμενα αεριζόμενων αντιδραστήρων.

²² http://2epal-esp-acham.att.sch.gr/E_TH_D/2012-13/ETHD_WEB/bioaerio.htm

3.4 Φυσικοχημικές διεργασίες

Ένα εμπορικό προϊόν, παραπλήσιο και άρα υποκατάστατο του συμβατικού ντήζελ, είναι το βιοντήζελ, ένα υγρό και καθαρό βιοκαύσιμο που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (βιομάζα). Εκτός από το γεγονός ότι πλεονεκτεί ως ανανεώσιμο καύσιμο, το βιοντήζελ, λόγω του οξυγόνου που περιέχει (περίπου 10 %), όταν χρησιμοποιείται είτε ως αμιγές καύσιμο είτε αναμεμιγμένο με συμβατικό ντήζελ έχει θετική επίδραση στις εκπομπές καυσαερίων σε σχέση με το πετρελαϊκό ντήζελ, με το οποίο έχει παρόμοιες φυσικοχημικές ιδιότητες, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις έχει και καλύτερα χαρακτηριστικά από αυτό (όπως μεγαλύτερο σημείο ανάφλεξης, μικρότερη ποσότητα θείου αλλά μεγαλύτερη λιπαντική ικανότητα λόγω του περιεχόμενου οξυγόνου, μεγαλύτερο αριθμό κετανίου). Έτσι, σε αντίθεση με το πετρελαϊκό ντήζελ (και γενικότερα με τα ορυκτά καύσιμα) το βιοντήζελ είναι ένα καθαρό, μη τοξικό, βιοδιασπώμενο καύσιμο, δεν περιέχει αρωματικές ενώσεις, έχει πολύ χαμηλές εκπομπές SO_x, σωματιδιακού καπνού, αιθάλης (υπόλειμμα άκαυστου καυσίμου και άνθρακα) και CO, δεν αυξάνει ή αυξάνει λίγο τις εκπομπές NO_x^{23 24} ενώ συμβάλλει αποτελεσματικά στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου (π.χ. CO₂), αφού προέρχεται από βιολογικές πηγές. Τέλος, η παραγωγή του βιοντήζελ ενισχύει σημαντικά την παγκόσμια οικονομία στα πλαίσια της εξάντλησης των πετρελαϊκών πόρων.

Οι εστέρες είναι οργανικές ενώσεις του γενικού τύπου R-COO-R' όπου τα R, R' συμβολίζουν υδρογονανθρακικές αλυσίδες ή και την ίδια αλυσίδα. Κατά την (μετ)εστεροποίηση είναι ευκολότερο να παραχθούν εστέρες στους οποίους το R' προέρχεται από τη μεθανόλη ή την αιθανόλη λόγω του μικρού μεγέθους τους, ενός και δύο ανθράκων αντίστοιχα.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι παραγωγής εστέρων από έλαια και λίπη με χρήση ομογενών καταλυτών:

²³ Ayhan Demirbas, «Importance of biodiesel as transportation fuel, *Energy Policy*» 35, June 2007.

²⁴ Ming Zheng, Mwila C. Mulenga, Graham T. Reader, Meiping Wang, David S-K. Ting, Jimi Tjong, «Biodiesel engine performance and emissions in low temperature combustion, *Fuel*» June 2007.

- 1) Καταλυτική μετεστεροποίηση του ελαίου με αλκοόλη (αιθανόλη, μεθανόλη) σε βασικό περιβάλλον (Αλκαλική μετεστεροποίηση).²⁵²⁶
- 2) Απευθείας καταλυτική μετεστεροποίηση του ελαίου με αλκοόλη σε όξινο περιβάλλον (Όξινη μετεστεροποίηση).²⁷

Η πλειοψηφία των συμβατικών τεχνολογιών, στις οποίες βασίζεται η έως τώρα ανάπτυξη των παραγωγικών μονάδων πρώτης γενιάς χρησιμοποιεί την πρώτη μέθοδο για την παραγωγή βιοντήζελ εξαιτίας των ακόλουθων πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει :

- Χαμηλή θερμοκρασία (150 °F) και πίεση διεργασίας (20 psi).
- Υψηλό ποσοστό μετατροπής (99%) με ελάχιστες παράλληλες αντιδράσεις και μικρό χρόνο αντίδρασης.
- Άμεση μετατροπή σε εστέρες χωρίς ενδιάμεσα στάδια.
- Κοινά υλικά και αντιδραστήρια για τη διεργασία.

Στην διεργασία, ως καταλύτες χρησιμοποιούνται κυρίως ισχυρές βάσεις (NaOH ή KOH, CH₃ONa κ.ά.).

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα και την απόδοση της αντίδρασης της μετεστεροποίησης είναι οι εξής:

- Αναλογία αλκοόλης – ελαίου.
- Θερμοκρασία.
- Καθαρότητα αντιδρώντων συστατικών.
- Ρυθμός ανάδευσης

²⁵ J.M. Marchetti, V.U. Miguel, A.F. Errazu, «Possible methods for biodiesel production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*» 11, 2007.

²⁶ Umer Rashid, Farooq Anwar, «Production of biodiesel through optimized alkaline-catalyzed transesterification of rapeseed oil, *Fuel*» March 2008.

²⁷ A.V. Bridgwater. «Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*» 2012

Οι εστέρες των φυτικών ελαίων, εκτός από την χρήση τους ως υποκατάστατα του πετρελαίου κίνησης, χρησιμοποιούνται και ως ενδιάμεσα προϊόντα για την παρασκευή των ακόλουθων χημικών προϊόντων:

- Πλαστικοποιητές
- Λιπαντικά,
- Αγροτικά χημικά
- Απορρυπαντικά,
- Γαλακτωματοποιητές
- Αντιοξειδωτικά
- Καλλυντικά
- Φαρμακευτικά προϊόντα.

Η γλυκερίνη ως παραπροϊόν της παρασκευής εστέρων, είναι ένα προϊόν αξιοζήλευτο για τις χρήσεις του σχεδόν σε όλους τους κλάδους της χημικής βιομηχανίας. Η γλυκερίνη που παράγεται από τη μετεστεροποίηση μετά από εξευγενισμό, κυριολεκτικά, μπορεί να έχει χιλιάδες χρήσεις.

Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 14214 καθορίζει τις απαιτήσεις και τις μεθόδους ελέγχου για τους εμπορικά διατιθέμενους μεθυλεστέρες των λιπαρών οξέων (ΜΛΟ) που χρησιμοποιούνται είτε για χρήση ως καύσιμα κινητήρων αυτανάφλεξης (diesel) σε συγκέντρωση 100%, είτε ως πρόσθετα του πετρελαίου κίνησης, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου EN 590. Παρακάτω παρατίθεται ο αντίστοιχος πίνακας που δείχνει το Ευρωπαϊκό Πρότυπο για τους μεθυλεστέρες, δηλαδή τις ιδιότητες και τα όρια τιμών στα οποία πρέπει να βρίσκονται, τις μονάδες των τιμών αυτών καθώς και την προτεινόμενη από το Ευρωπαϊκό Πρότυπο μέθοδο μέτρησης. Οι μέθοδοι αυτοί πρέπει να έχουν αυστηρή διαδικασία και εξειδικευμένα μηχανήματα για να θεωρηθούν αξιόπιστες, ενώ ακόμη και το προσωπικό που κάνει τις μετρήσεις πρέπει να είναι συγκεκριμένο και κατάλληλα καταρτισμένο, πάλι σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Ευρωπαϊκού Προτύπου.²⁸

²⁸ Στούρνας, Σ., Λόης, Ε., Ζαννίκος, Φ., «Τεχνολογία καυσίμων και λιπαντικών» Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2007.

Ιδιότητα	Μονάδα Μέτρησης	Όρια		Μέθοδος Ελέγχου ^a
		Ελάχιστο	Μέγιστο	
Περιεκτικότητα σε Εστέρες	% (m/m)	96,5		prEN 14103 ^b
Πυκνότητα στους 15°C	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Ιξώδες στους 40°C ^d	mm ² /sec	3,5	5,0	EN ISO 3104
Σημείο Ανάφλεξης	°C	>101	—	ISO/CD 3679 ^c
Περιεκτικότητα σε Θείο ^e	mg/kg	—	10	
Ανθρακούχο Υπόλειμμα (στο 10% του υπολείμματος απόσταξης) ^e	% (m/m)	—	0,3	EN ISO 10370
Αριθμός Κετανίου		51,0		EN ISO 5165
Περιεκτικότητα σε Θεϊκή Τέφρα	% (m/m)	—	0,02	ISO 3987
Περιεκτικότητα σε Νερό	mg/kg	—	500	EN ISO 12937
Ολική Μόλυνση ^f	mg/kg	—	24	EN 12662
Διάβρωση Χάλκινου Ελάσματος (3h στοις 50°C)	Βαθμίδα	κατηγορία 1		EN ISO 2160
Θερμική σταθερότητα ^h				
Οξειδωτική Σταθερότητα, στοις 110°C	ώρες	6	—	prEn 14112 ^g
Αριθμός Οξύτητας	mgKOH/gr		0,5	prEn 14104
Αριθμός Ιωδίου			120	prEn 14111
Μεθυλεστέρας του Λινολενικού οξέος	% (m/m)		12	prEn 14103
Μεθυλεστέρες των Πολυακόρεστων Οξέων (>= 4 διπλούς δεσμούς)	% (m/m)		1	
Περιεκτικότητα σε Μεθανόλη	% (m/m)		0,2	prEn 14110 ⁱ
Περιεκτικότητα σε Μονογλυκερίδια	% (m/m)		0,8	prEn 14105 ^{ad}
Περιεκτικότητα σε Διγλυκερίδια	% (m/m)		0,2	prEn 14105 ^{ad}
Περιεκτικότητα σε Τριγλυκερίδια	% (m/m)		0,2	prEn 14105 ^{ad}
Ελεύθερη Γλυκερίνη	% (m/m)		0,02	prEn 14105 ^{ad} prEn 14106
Ολική Γλυκερίνη	% (m/m)		0,25	prEn 14105 ^{ad}
Αλκαλικά Μέταλλα (Na+K)	mg/kg		5	prEn 14108 prEn 14109
Περιεκτικότητα σε Φώσφορος	mg/kg		10	prEn 14107 ^p

^a Εάν το Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου είναι -20°C ή χαμηλότερο, το ιξώδες που μετρείται στους -20°C δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 48mPa²/sec. Σε αυτή την περίπτωση το πρότυπο EN ISO 3104 είναι εφαρμόσιμο χωρίς δεδομένα ακρίβειας.

^b CEN/TC 307 έκδοση του NF T 60-703:1997

^y Η συσκευή που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι εφοδιασμένη με μηχανισμό θερμικής ανίχνευσης.

^δ Κατάλληλες μεθόδους ελέγχου θα προταθούν από το CEN/TC 19.

^ε Η μέθοδος ASTM D1160 πρέπει να χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί το 10% υπόλειμμα της απόσταξης.

^ζ Αναμένονται η ανάπτυξη κατάλληλης μεθόδου από το CEN/TC 19, το πρότυπο EN 12662 πρέπει να χρησιμοποιείται. Η ακρίβεια της μεθόδου αυτής για προϊόντα ΜΑΟ είναι χαμηλή.

^η Κατάλληλη μέθοδος ελέγχου και όρια θα προταθούν από την επιτροπή CEN/TC 19.

^θ έκδοση της επιτροπής CEN/TC 307 για το τροποποιημένο πρότυπο ISO 6886

^ι έκδοση της επιτροπής CEN/TC 307 για το πρότυπο NF T 60-701 (μέθοδος Α) και του προτύπου DIN 51608 (μέθοδος Β).

^{ια} έκδοση της επιτροπής CEN/TC 307 για το πρότυπο NF T 60-704:1997.

^{ιβ} έκδοση της επιτροπής CEN/TC 307 για το πρότυπο NF T 60-705:1997.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Βιοέλαιο – Βασικά Στοιχεία



Σχήμα 6 Κωνική φιάλη που περιέχει βιοέλαιο ή αλλιώς έλαιο πυρόλυσης.

4.1 Χημική σύσταση

Το βιοέλαιο είναι το τελικό υγρό προϊόν που προκύπτει από τη διεργασία της πυρόλυσης της βιομάζας. Το παραπάνω σχήμα μας δίνει ένα δείγμα για το πως είναι το βιοέλαιο. Μέχρι σήμερα, δεν έχει οριστεί κάποιο διεθνές πρότυπο που να οριοθετεί τα χαρακτηριστικά του βιοελαίου σαν προϊόν. Παρ' όλα αυτά έχουν προταθεί κάποια όρια που κυρίως βασίζονται εμπειρικά σε μέσες τιμές ιδιοτήτων διάφορων μορφών του βιοελαίου.

Η στοιχειακή αλλά και η τυπική σύσταση του βιοελαίου μπορεί να ποικίλλει σημαντικά, ανάλογα με το είδος βιομάζας από το οποίο προέρχεται και τις συνθήκες της αντίδρασης κατά την οποία σχηματίστηκε. Αυτό έχει όπως είναι αναμενόμενο μεγάλο αντίκτυπο και στις τελικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με κάποιες ιδιότητες του βιοελαίου καθώς και μια στοιχειακή ποσοτική ανάλυση.²⁹ Οι τιμές που παρουσιάζονται είναι τυπικές καθώς δεν υπάρχει καθορισμένο πρότυπο για το έλαιο πυρόλυσης και μπορεί να θεωρηθεί ότι μετρήθηκαν από ένα μέσο δείγμα βιοελαίου.

²⁹ Σχολη Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. (<http://www.chemeng.ntua.gr/courses/bpy/files/pyrolysis.pdf>)

ΙΔΙΟΤΗΤΑ		ΤΥΠΙΚΗ ΤΙΜΗ
Περιεχόμενη υγρασία		25 %
pH		2,5
Ειδικό βάρος		1,20
Στοιχειακή Ανάλυση	C	56 %
	H	6,5 %
	O	37,5 %
	N	0,1 %
	Τέφρα	0 %
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη		17 MJ/kg
Στερεό Υπόλειμμα		0,1 %
Πυκνότητα (40 °C με 25 % νερό)		50 cp
Υπόλειμμα απόσταξης υπό κενό		Έως και 50 %

Με φιλτράρισμα των πτητικών πριν τη συμπύκνωσή τους το τελικό ποσοστό τέφρας στο βιοέλαιο δεν ξεπερνά το 0.01% και των αλκαλικών μετάλλων τα 10 ppm [27]. Το βιοέλαιο περιέχει ακόμα ένα πολύ μικρό ποσοστό εξανθρακώματος, που ανέρχεται στο 0.1%. Το υπόλοιπο μέρος του συνίσταται σε ένα μίγμα μερικών εκατοντάδων υδρογονανθράκων, ένα σημαντικό πλήθος των οποίων ακόμα δεν έχει ανιχνευθεί, λόγω των περιορισμών που υφίστανται στις υπάρχουσες αναλυτικές τεχνικές. Τα οργανικά αυτά συστατικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε πέντε ευρείες κατηγορίες: υδροξυαλδεΐδες, υδροξυκετόνες, σάκχαρα, καρβοξυλικά οξέα και φαινόλες. Η πλειοψηφία των οργανικών στοιχείων που απαντώνται στο βιοέλαιο βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις, καθώς μετά από το νερό, το χημικό είδος με την υψηλότερη συγκέντρωση είναι η υδροξυακεταλδεΐδη, με συγκέντρωση 10% κατά μάζα. Ακολουθούν το ακετικό και το φορμικό οξύ, με συγκεντρώσεις κατά μάζα 5 % και 3 % αντίστοιχα. Η πολικότητα των συστατικών του βιοελαίου ποικίλλει. Έτσι αφενός περιέχει στοιχεία υψηλής πολικότητας (νερό, οξέα και αλκοόλες), χαμηλότερης πολικότητας (εστέρες, αιθέρες και φαινόλες) και στοιχεία μη πολικά (εξάνιο και άλλοι υδρογονάνθρακες).

Τα κύρια συστατικά του βιοελαίου είναι τα ακόλουθα:³⁰

formaldehyde, aldehyde, hydroxyacetaldehyde, hydroxypropanone, butyric acid, acetic acid, glyceraldehyde, 3,4-dihydroxy-dihydro-furan-2-one, 2,2-dimethoxy-ethanol, furfural, 2,5-dimethoxy-tetrahydro-furan, 4-hydroxy-butyric acid 5H-furan-2-one, 2,3-dimethyl-cyclohexanol, 3-methyl-5H-furan-2-one, corylon, phenol, o-cresol, m-cresol, 2-methoxy-6-methyl-phenol, 3,4-dimethyl-phenol, 4-ethyl-phenol, 3-(2-hydroxy-phenyl)-acrylic acid, catechol, 3-methyl-catechol, vanillin, 4-ethyl-catechol levoglucosan, 2,3,4-trimethoxy-benzaldehyde, 3-(4-hydroxy-2-methoxy-phenyl)-propenal.

Στη συνέχεια θα αναφερθούν οι φυσικοχημικές ιδιότητες των υγρών καυσίμων, αφού όμως πρώτα καταγραφούν ποιες είναι οι κύριες ιδιότητες τους και περιγράφουν. Οι ιδιότητες που χαρακτηρίζουν συμβατικά καύσιμα ή και βιοκαύσιμα είναι το κινηματικό ιξώδες, η πυκνότητα το σημείο θόλωσης (Cloud point), το σημείο ροής (Pour point), το σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (CFPP), το σημείο ανάφλεξης (Flash point), ο αριθμός κετανίου (Cetane Number), το ανθρακούχο υπόλειμμα, η θειούχος τέφρα, το περιεχόμενο σε ανόργανα συστατικά, η περιεκτικότητα σε νερό, ο αριθμός οξύτητας (A.N) κ.α.³¹

➤ Κινηματικό ιξώδες

Το κινηματικό ιξώδες προσδιορίζεται με την χρήση ιξωδομετρικών σωλήνων (σχήμα), σύμφωνα με τις διαδικασίες των πρότυπων μεθόδων ISO 3104, ASTM D 445-74 και IP 71/83. Το ιξώδες επηρεάζει τη ροή μέσω των μετρητικών διαφραγμάτων, καθώς ο αριθμός Reynolds είναι συναρτήσει του ιξώδους. Όμως ο συντελεστής ροής μέσω των διαφραγμάτων είναι περίπου σταθερός όταν ο αριθμός Reynolds είναι πάνω από μια συγκεκριμένη τιμή και επειδή για τους περισσότερους κινητήρες ο αριθμός Reynolds είναι πάνω από αυτό το όριο, δεν παρατηρούνται προβλήματα για τις συνήθεις τιμές κύμανσης του ιξώδους. Αν όμως αυξηθεί

³⁰ Yufu Xu, Xianguo Hu, Wendong Li and Yinyan Shi Hefei «Preparation and Characterization of Bio-Oil from Biomass» University of Technology P. R. China

³¹ Στούρνας, Σ., Λόης, Ε., Ζαννίκος, Φ., «Τεχνολογία καυσίμων και λιπαντικών» Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2007.

υπερβολικά το ιξώδες τότε η ροή παύει να είναι τυρβώδης και το υψηλό ιξώδες δεν επιτρέπει την ροή της απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου και έτσι δημιουργείται φτωχό μίγμα.

➤ Πυκνότητα

Η πυκνότητα είναι η μάζα ενός καυσίμου ανά μονάδα όγκου στη θερμοκρασία των 15 °C και προσδιορίζεται με την χρήση αραιόμετρων βάσει των πρότυπων μεθόδων ISO 3675 και ASTM D 1298. Η πυκνότητα δίνει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την σύσταση του καυσίμου και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του, όπως η ποιότητα ανάφλεξης, η ισχύς, η οικονομία, οι ιδιότητες ροής σε χαμηλές θερμοκρασίες και η τάση για σχηματισμό καπνού.

➤ Σημείο Θόλωσης (Cloud point)

Το σημείο θόλωσης είναι η υψηλότερη θερμοκρασία στην οποία παρατηρείται διαχωρισμός κρυστάλλων παραφίνης από το καύσιμο, όταν αυτό ψύχεται κάτω από πρότυπες συνθήκες. Η μέθοδος δίνει τα πιο αισιόδοξα αποτελέσματα καθώς η εμφάνιση των πρώτων κρυστάλλων δεν περιορίζει τη δυνατότητα ροής του καυσίμου.

➤ Σημείο ροής (Pour point)

Το σημείο ροής δίνει τη θερμοκρασία στην οποία ο διαχωρισμός παραφίνης είναι τόσο έντονος που δεν επιτρέπει στο καύσιμο να είναι ρευστό, όταν ψυχθεί κάτω από πρότυπες συνθήκες. Ο προσδιορισμός του σημείου ροής, διεξάγεται σύμφωνα με τις διαδικασίες των πρότυπων μεθόδων ISO 3015 και ASTM D 97. Το δείγμα, ψύχεται υπό καθορισμένες συνθήκες και δοκιμάζεται κατά διαστήματα που αντιστοιχούν σε πτώση της θερμοκρασίας κατά 3 °C (5 F), για να διαπιστωθεί εάν ρέει. Η κατώτατη θερμοκρασία στην οποία το καύσιμο εξακολουθεί να ρέει, αναφέρεται ως σημείο ροής.

➤ Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου (CFPP)

Η αδυναμία του σημείου θόλωσης και του σημείου ροής να προβλέψουν την ικανότητα ροής σε χαμηλές θερμοκρασίες έκανε επιτακτική την ανάγκη ύπαρξης μίας δυναμικής μεθόδου δοκιμής που προσομοιάζει τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Στη μέθοδο αυτή, το καύσιμο εξαναγκάζεται να περάσει από φίλτρο καθώς ψύχεται.

➤ Σημείο ανάφλεξης (Flash point)

Το σημείο ανάφλεξης είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία αναφλέγονται οι ατμοί του καυσίμου με προσαγωγή όταν αυτό θερμαίνεται κάτω από πρότυπες συνθήκες. Ο προσδιορισμός του σημείου ανάφλεξης πραγματοποιείται με την συσκευή Pensky – Martens. Το δείγμα θερμαίνεται με μικρή, σταθερή ταχύτητα και συνεχή ανάδευση. Μικρή δοκιμαστική φλόγα προσάγεται μέσα στο δοχείο του δείγματος κατά τακτά χρονικά διαστήματα, ενώ συγχρόνως διακόπτεται η ανάδευση. Ως σημείο ανάφλεξης λαμβάνεται η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία η προσαγωγή της δοκιμαστικής φλόγας προκαλεί την ανάφλεξη των ατμών του δείγματος, οι οποίοι δημιουργούνται πάνω από την επιφάνεια του .

➤ Ανθρακούχο Υπόλειμμα

Κατά την καύση ενός καυσίμου, μέρος των βαρύτερων συστατικών του πυρολύεται υπό την επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών και δημιουργεί επικαθίσεις άνθρακα. Η τάση των καυσίμων να δημιουργούν επικαθίσεις μετράται με το πείραμα Conradson, όπου δείγμα καυσίμου θερμαίνεται απουσία αέρα σε καθορισμένη θερμοκρασία. Υψηλός βαθμός υπολείμματος άνθρακα δείχνει αυξημένη τάση του πετρελαίου να δημιουργεί κατάλοιπα κατά την καύση με τη μορφή εξανθρακωμάτων, που έχουν σαν αποτέλεσμα επικαθίσεις και φθορά στα χιτώνια, βαλβίδες εξαγωγής, ελατήρια εμβόλων, ακροφύσια στροβίλου υπερπληρωτή και εγχυτήρες.

➤ Θειούχος τέφρα

Τα καύσιμα περιέχουν μικρές ποσότητες ανόργανων συστατικών που μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό τέφρας κατά την καύση, όπως αιωρούμενα στερεά και διαλυτές οργανομεταλλικές ενώσεις. Οι ενώσεις αυτές μπορούν να δημιουργήσουν

προβλήματα αποθέσεων στο σύστημα ψεκασμού, στο θάλαμο καύσης καθώς και φθορά στο έμβολο και στα ελατήρια.

➤ Αριθμός κετανίου (Cetane Number)

Ο αριθμός κετανίου εκφράζει την ποιότητα ανάφλεξης ενός καυσίμου, η οποία καθορίζεται από την ταχύτητα με την οποία το καύσιμο αυτοαναφλέγεται μέσα στον κύλινδρο της μηχανής μετά την έγχυσή του. Ο χρόνος μεταξύ έγχυσης και ανάφλεξης εξαρτάται από την ποιότητα του καυσίμου, το είδος και την αναλογία των υδρογονανθράκων που συνοπτικά περιγράφει ο αριθμός κετανίου. Ο προσδιορισμός του αριθμού κετανίου γίνεται σε πρότυπο κινητήρα σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο ASTM D 613 (ISO 5165), όπου η καθυστέρηση ανάφλεξης του υπό εξέταση καυσίμου συγκρίνεται με την καθυστέρηση ανάφλεξης που παρουσιάζει ένα μίγμα κανονικού δεκαεξανίου (κετάνιο, πολύ καλή ποιότητα ανάφλεξης, αριθμός κετανίου 100) και επτα-μεθυλο-εννεανίου (κακή ποιότητα ανάφλεξης, αριθμός κετανίου 15). Στη συνέχεια, ο αριθμός κετανίου προκύπτει από τη σχέση:

$$\text{Αριθμός Κετανίου} = [\% \text{ κετάνιο}] + 0,15 \cdot [\% \text{ επτα-μέθυλο εννεάνιο}]$$

➤ Περιεχόμενο σε ανόργανα συστατικά

Τα ανόργανα συστατικά υπολογίζονται από την τιμή της τέφρας. Στις αυστριακές προδιαγραφές για τους εστέρες της ελαιοκράμβης, ο προσδιορισμός της θειικής τέφρας προτιμάται από αυτόν της τέφρας των οξειδίων. Ο λόγος είναι ότι οι εναπομείναντες αλκαλικοί καταλύτες μετατρέπονται σε αλκαλικά θειικά άλατα, τα οποία έχουν μικρότερη πτητικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες από τα αντίστοιχα όξινα, και, επομένως, ανακτώνται καλύτερα.

➤ Αριθμός Οξύτητας

Ο αριθμός οξύτητας περιγράφει το περιεχόμενο σε ανόργανα οξέα και οργανικά οξέα που τυχόν υπάρχουν στο βιοέλαιο. Ο αριθμός οξύτητας του βιοελαίου εξαρτάται από τον τύπο της πρώτης ύλης καθώς επίσης και από τον βαθμό εξευγενισμού της.

Συνακόλουθα, ο αριθμός οξύτητας μπορεί να αυξηθεί κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας με τη διάσπαση των μεγαλύτερων μορίων της βιομάζας. Ο υψηλός αριθμός οξύτητας στο βιοέλαιο συνδέεται με διάβρωση των μεταλλικών μερών του κινητήρα, ενώ βοηθά και στην δημιουργία αποθέσεων.

➤ Περιεκτικότητα σε νερό

Η γνώση του περιεχόμενου νερού στα υγρά καύσιμα είναι χρήσιμη στην πρόβλεψη των ποιοτικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών του προϊόντος. Το νερό συμβάλλει στη φραγή των φίλτρων του δικτύου διανομής καυσίμου και μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα διάβρωσης και φθοράς στο σύστημα ψεκασμού. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας που υποδεικνύει στοιχεία και τυπικές τιμές ιδιοτήτων πέντε διαφορετικών υγρών καυσίμων. Η γνώση αυτών των τιμών μπορεί να είναι μία σημαντική πληροφορία για τον αναγνώστη που θέλει να συγκρίνει και να αξιολογήσει το βιοέλαιο σαν υγρό καύσιμο.

Πινάκας 2 Ιδιότητες διαφόρων υγρών καυσίμων³²

ΚΑΥΣΙΜΑ	ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ	ΑΙΘΑΝΟΛΗ	ΜΕΘΑΝΟΛΗ	ΝΤΙΖΕΛ	ΒΕΝΖΙΝΗ
Χημικός Τύπος	Μεθυλεστέρες	C ₂ H ₅ OH	CH ₃ OH	C ₁₂ H ₂₆	C ₈ H ₁₈
M.B.	296	46	32	185	114
Αριθμός Κετανίων	54	8	5	>45	8
Πυκνότητα (kg/l) στους 15 °C	0.88	0.8	0.79	0.84	0.75
Χαμηλή θερμογόνος τιμή (MJ/l) στους 15 °C	37.3	26.4	19.8	42.7	41.3
Περιεκτικότητα σε οξυγόνο (% κ.β.)	10.1	34	50	0.3	
Κινηματικό ιξώδες (mm ² /s) στους 20 °C	7.4	1.52	0.737	3.57	
Θερμοκρασία αυτανάφλεξης (°C)	>140	423	464	300	
Αριθμός οκτανίων (Motor ON)		92	92		86
Τάση ατμών κατά Reid (kPa) στους 15 °C		16.5	31.7		75

4.2 Φυσικοχημικές ιδιότητες βιοελαίου. Περιγραφή και τυπικές τιμές.

→ Συνεκτικότητα – Κινηματικό ιξώδες

Η συνεκτικότητα των υγρών καυσίμων είναι μια ιδιότητα που επηρεάζει την επιλογή της κατάλληλης αντλίας και των σωληνώσεων των κατάλληλων για τη μεταφορά τους. Παράλληλα επηρεάζει τη λειτουργία των βαλβίδων ψεκασμού στην περίπτωση της έγχυσής τους σε θάλαμο καύσης, και κατ' επέκταση το μήκος της φλόγας που

³² Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport.

σχηματίζεται εντός του θαλάμου καύσης. Η συνεκτικότητα επομένως ενός υγρού καυσίμου επηρεάζει άμεσα και την αποδοτικότητα της καύσης και επομένως τα επίπεδα των ρύπων που εκπέμπονται. Όσο μεγαλύτερη είναι η συνεκτικότητα ενός υγρού καυσίμου τόσο δυσχεραίνει η εφαρμογή του σαν καύσιμο. Η συνεκτικότητα του βιοελαίου είναι ιδιαίτερα υψηλή. Παρ' όλα αυτά, με την εφαρμογή βελτιωμένων τεχνολογιών για την απομάκρυνση του εξανθρακώματος και την έρευνα σε προσθετικά μείωσης της συνεκτικότητας, είναι δυνατή η ουσιαστική μείωση του ιξώδους του βιοελαίου. Η τιμή που λαμβάνει η συνεκτικότητα για διάφορα είδη βιοελαίου μπορεί να κυμαίνεται από 10 έως 100 cP στους 40 C ή και 40 έως 100 cP.³³

→ Περιεχόμενη Υγρασία

Ένα μεγάλο ποσοστό του βιοελαίου αποτελείται από νερό. Το νερό αυτό είναι ουσιαστικά η υγρασία που περιέχεται στο εν λόγω καύσιμο και προέρχεται εν μέρει από την αρχική υγρασία της βιομάζας και εν μέρει από το νερό πυρόλυσης. Η παρουσία του είναι αναπόφευκτη, και επιφέρει τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα. Ένα από τα μειονεκτήματα της αυξημένης υγρασίας στο βιοέλαιο είναι ότι μειώνει την κατά μάζα θερμογόνο δύναμή του. Περαιτέρω, επειδή η διαλυτότητα των οργανικών υγρών του βιοελαίου στο νερό είναι περιορισμένη, στην περίπτωση που η περιεκτικότητα σε υγρασία στο βιοέλαιο ξεπεράσει το 35%, τότε έχουμε το σχηματισμό των δύο φάσεων, της υδατώδους φάσης και της οργανικής φάσης. Η υδατώδης φάση περιέχει ως επί το πλείστον νερό ενώ η οργανική φάση είναι πλούσια σε αδιάλυτες στο νερό οργανικές ουσίες. Η δημιουργία φάσεων στο βιοέλαιο μειώνει κατά κόρον την ευχρηστία του και γι' αυτό το λόγο πρέπει να επιδιώκεται όσο το δυνατόν η μείωση της υγρασίας της αρχικής βιομάζας από την οποία προέρχεται η κάθε παρτίδα βιοελαίου. Σε περίπτωση που το βιοέλαιο αεριοποιείται ή οξειδώνεται, η παρουσία του νερού μειώνει την απόδοση της καύσης και τη θερμοκρασία της φλόγας, ενώ οδηγεί σε πρόωρη εξάτμιση της υγρασίας και επομένως σε δυσκολίες έγχυσης κατά την προθέρμανση. Από την άλλη, η παρουσία του νερού μειώνει τη συνεκτικότητα του μίγματος και επομένως το ιξώδες του. Ακόμη, βοηθά στη μείωση των ρυπογόνων εκπομπών, και λόγω των χαμηλότερων

³³ L. Quiang, L.Wen-Zhi, Z. Xi-Feng. «Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils» Energy Conversion and Management, 2009, 50

θερμοκρασιών που προκαλεί η παρουσία του κατά την καύση, μειώνονται και οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου. Γενικότερα παρατηρείται δυσκολία στην απομάκρυνση της υγρασίας από το βιοέλαιο με συμβατικές μεθόδους (π.χ. απόσταξη, έκπλυση), που μάλλον υποβαθμίζει την ποιότητα του ως καύσιμο.³⁴



Συσκευή μέτρησης της περιεχόμενης υγρασίας σε υγρά καύσιμα που λειτουργεί βάσει της χημικής εξίσωσης Karl –Fischer.

→ Περιεχόμενο Οξυγόνο

Το βιοέλαιο έχει υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο, που μπορεί να φτάσει και το 60 % κατά βάρος. Το ποσοστό του περιεχόμενου οξυγόνου στο βιοέλαιο εξαρτάται άμεσα από την πρώτη του ύλη, υπάρχει δηλαδή μια αναλογία. Η επιλογή της πρώτης ύλης για την παραγωγή του βιοελαίου μπορεί να καθορίσει σε μεγάλο βαθμό τις τελικές ιδιότητές του. Η υψηλή περιεκτικότητα του οξυγόνου θεωρείται ο παράγοντας που διαφοροποιεί το βιοέλαιο περισσότερο σε σχέση με τα μη πολικά πετρελαιοειδή καύσιμα με τα οποία, εξαιτίας των πολικών, οξυγονωμένων συστατικών του, δε μπορεί να αναμιχθεί. Ακόμη, η υψηλή περιεκτικότητα του βιοελαίου σε οξυγόνο είναι ένας από τους λόγους της χαμηλής του θερμογόνου δύναμης, ενώ παράλληλα το καθιστά χημικά ασταθές λόγω της αυξημένης πιθανότητας οξείδωσης. Το περιεχόμενο οξυγόνο δίνει επίσης στο βιοέλαιο διαβρωτικό χαρακτήρα. Οι αντιδράσεις συμπύκνωσης και πολυμερισμού στις οποίες

³⁴ C.R. Shaddix, D.R. Hardesty. «Combustion Properties of Biomass Flash Pyrolysis Oils: Final Project Report» SANDIA REPORT SAND99-8238. Sandia National Laboratories, 1999

συμμετέχει σε βάθος χρόνου οδηγούν σε αύξηση του κινηματικού του ιξώδους και αύξηση της υγρασίας του που, όπως περιγράφηκε και προηγουμένως, αποτελούν σημαντικά εμπόδια στην εκμετάλλευση και στον χειρισμό του.³⁵

→ Τέφρα

Ένα πολύ μικρό ποσοστό της παραγόμενης τέφρας αναπόφευκτα καταλήγει στο μίγμα του βιοελαίου. Το μεγαλύτερο ποσοστό της τέφρας διαχωρίζεται από την κλίνη της πυρόλυσης με το βιοέλαιο μέσω του εξανθρακώματος. Το ποσοστό της τέφρας στο βιοέλαιο μπορεί να ποικίλλει και η τιμή του εξαρτάται, εκτός από την περιεκτικότητα της αρχικής βιομάζας σε τέφρα, από τις συνθήκες της διεργασίας και το είδος του αντιδραστήρα. Τα μέταλλα που περιέχει η τέφρα θεωρούνται διαβρωτικά σε υψηλές θερμοκρασίες ενώ μπορούν να προκαλέσουν επικαθίσεις στις θερμικές συσκευές (καυστήρες, κινητήρες) κατά την καύση του βιοελαίου. Τα αλκαλικά μέταλλα του καλίου και του νατρίου μπορούν να τηχθούν και να κολλήσουν σε θερμές επιφάνειες όπως τα περύγια του στροβίλου π.χ μιας αντλίας και να τις διαβρώσουν καθώς μετατρέπονται σε βάσεις με την παρουσία νερού. Ευτυχώς όμως, η περιεκτικότητα του βιοελαίου σε τέφρα μετά από φιλτράρισμα των πτητικών κυμαίνεται γύρω στο 0.01 %, που είναι μια εξαιρετικά χαμηλή τιμή. Η συγκέντρωση των αλκαλικών μετάλλων, επίσης, δεν ξεπερνά τα 12 μέρη ανά εκατομμύριο ppm.³⁶

→ Χημική ευστάθεια

Η χημική ευστάθεια του βιοελαίου παίζει καθοριστικό ρόλο στη δυνατότητα αποθήκευσής του μέχρι να καταναλωθεί. Σε αντίθεση με τα συμβατικά καύσιμα, που μπορούν να αποθηκευθούν μέχρι και για έξι μήνες, ο μέγιστος χρόνος αποθήκευσης του βιοελαίου δεν πρέπει να ξεπερνά τις μερικές εβδομάδες, όπως και στην περίπτωση του βιοντίζελ. Η υψηλή περιεκτικότητα του βιοελαίου σε οξυγόνο κάνει φανερό πως η παρουσία του καθιστά το βιοέλαιο ασταθές. Κατά την αποθήκευσή του λαμβάνουν χώρα πλήθος χημικών αντιδράσεων μεταξύ των συστατικών του οι οποίες αλλοιώνουν τα χαρακτηριστικά του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα άμεσα τελικά

³⁵ L. Quiang, L.Wen-Zhi, Z. Xi-Feng. «Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils» Energy Conversion and Management, 2009, 50

³⁶ C.R. Shaddix, D.R. Hardesty. «Combustion Properties of Biomass Flash Pyrolysis Oils: Final Project Report» SANDIA REPORT SAND99-8238. Sandia National Laboratories, 1999

προϊόντα του δε βρίσκονται σε κατάσταση χημικής ισορροπίας, και τείνουν να την αποκαταστήσουν αντιδρώντας και σχηματίζοντας συστατικά υψηλότερου μοριακού βάρους. Οι αντιδράσεις αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα την μεταβολή της διαλυτότητάς του, που μειώνεται, και του ιξώδους του, που αυξάνεται λόγω μεγαλύτερων μορίων στο συνολικό μίγμα. Έχουν διεκπεραιωθεί έρευνες για την εύρεση διαλυτών που έχουν τη δυνατότητα να εμποδίζουν τις αντιδράσεις μεταξύ των συστατικών του βιοελαίου που οδηγούν στην αλλοίωσή του και έχει ανακαλυφθεί πως η επίδρασή τους είναι εντονότερη όταν αυτοί προστεθούν σε φρέσκο βιοέλαιο. Η αποδοτικότητα της μεθανόλης ως διαλύτη με τις παραπάνω ιδιότητες είναι ικανοποιητική, καθώς προσθήκη της σε ποσοστό 10 % κατά βάρος είναι ικανή να επιβραδύνει την αλλοίωση του βιοελαίου μέχρι και 17 φορές. Ένας παράγοντας που επηρεάζει τη χημική ευστάθεια του βιοελαίου είναι και η θερμοκρασία. Σε υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας, οι αντιδράσεις αλλοίωσης επιταχύνονται. Κατά τη θέρμανση του βιοελαίου, διακρίνονται τέσσερα στάδια. Αρχικά γίνεται πιο παχύρρευστο. Στη συνέχεια, διαχωρίζονται οι φάσεις του. Στους 140 °C διαμορφώνονται στερεές δομές από τις λιγνίνες, ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες από αυτές παράγεται εξανθράκωμα και κωκ.³⁷

→ Ανώτερη θερμογόνος δύναμη και στοιχεία καύσης

Η ανώτερη θερμογόνος ικανότητα του βιοελαίου βρίσκεται γύρω στα 17 MJ/kg. Το βιοέλαιο συμπεριφέρεται αρκετά διαφορετικά από τα πετρελαιοειδή κατά την καύση. Αναφλέγεται δυσκολότερα, αλλά καίγεται σταθερά. Η θερμοκρασία φλόγας του κυμαίνεται στους 1400 – 1700 °C περίπου, ενώ των συμβατικών πετρελαιοειδών καυσίμων από 1900 έως 2000 °C. Το κλάσμα αέρα - καύσης είναι 7, ενώ για τα πετρελαιοειδή είναι γύρω στο 14.

→ Οξύτητα

Στο βιοέλαιο έχουμε ενισχυμένη την παρουσία οργανικών οξέων, και περισσότερο την παρουσία ακετικού και φορμικού οξέος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι τιμές του pH στο βιοέλαιο να κυμαίνονται μεταξύ 2.6 έως 3.2. Επομένως λόγω αυτής της

³⁷ M. Ringer, V. Putsche, J. Scatill. «Large scale pyrolysis: a technology assessment and economic analysis» Technical report NREL/TP-0510-37779. NREL. National Renewable Energy Laboratory, 2006

αυξημένης οξύτητας θα πρέπει να γίνεται σωστή επιλογή των κατάλληλων υλικών για την αποθήκευση, μεταφορά και καύση του. Συγκεκριμένα, το βιοέλαιο είναι ιδιαίτερα διαβρωτικό στο αλουμίνιο, σε κράματα νικελίου και στον απλό χάλυβα. Η ικανότητα διάβρωσης του βιοελαίου αυξάνεται ανάλογα με τη θερμοκρασία αλλά και την τιμή του περιεχόμενου νερού. Η λύση στο παραπάνω πρόβλημα της μεταφοράς του είναι η χρήση δοχείων και δεξαμενών από ανοξείδωτο χάλυβα, πολυπροπυλένιο και κοβάλτιο.

→ Τοξικότητα



Κανονισμός CLP – Ταξινόμηση, επισήμανση και συσκευασία ουσιών και μειγμάτων.

Σε γενικές γραμμές το βιοέλαιο μέχρι σήμερα θεωρείται ότι δεν αποτελεί κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, ωστόσο θα πρέπει η μεταχείρισή του να είναι προσεκτική καθώς σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι δυνατόν να προκαλέσει παρενέργειες, όπως άλλωστε και κάθε άλλο χημικό είδος ή μίγμα χημικών ειδών, στον άνθρωπο και στο οικοσύστημα. Είναι κοινώς αποδεκτό ότι το θέμα χρίζει περαιτέρω συζήτησης και πρέπει να διεξαχθούν έρευνες.³⁸

4.3 Αξιοποίηση και Χρήσεις

Το βιοέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως βοηθητικό καύσιμο σε διάφορες μονάδες παραγωγής, είτε καθεαυτό σαν καύσιμο κίνησης και θέρμανσης μετά από αναβάθμιση, είτε ως πρώτη ύλη για την παραγωγή χημικών.

³⁸ A.V. Bridgwater, «Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass and Bioenergy» 2012

Το βιοέλαιο ως βοηθητικό καύσιμο

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, το βιοέλαιο στην πρωταρχική του μορφή έχει πολλά μειονεκτήματα που δυσχεραίνουν την άμεση χρήση του ως καύσιμο. Ιδιαίτερα θα πρέπει να έχει γίνει αναβάθμιση του βιοελαίου για να χρησιμοποιηθεί καθεαυτό σαν καύσιμο κίνησης. Το βιοέλαιο παρ' όλα αυτά έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε κλιβάνους και λέβητες με την αρχική του μορφή για την παραγωγή θέρμανσης και ατμού. Η οικονομική αυτή ενεργειακή λύση δεν είναι δυνατόν να περάσει απαρατήρητη από το βιομηχανικό κόσμο. Στον τομέα αυτό έχουν αρχίσει να κινούνται τα ΕΛ.ΠΕ., που μελετούν την χρήση βιοελαίου από τα διυλιστήρια για την παραγωγή καυσίμων μεταφοράς (βενζίνη και ντίζελ). Οι ίδιες οι μονάδες παραγωγής βιοελαίου και επεξεργασίας της βιομάζας χρησιμοποιούν τα παράγωγα της πυρόλυσης, επομένως και το βιοέλαιο, ως καύσιμα για να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες. Το οικονομικό αυτό καύσιμο, μπορεί να εισαχθεί σε μίγμα καυσίμων, σε αρκετά μεγάλο ποσοστό, αφενός μειώνοντας το κόστος παραγωγής ενέργειας και αφετέρου κάνοντας το τελικό μίγμα φιλικότερο προς το περιβάλλον. Το καταλυτικό βιοέλαιο που παράγεται έχει μικρό ποσοστό οξυγόνου (15-25%κ.β ανάλογα με τον καταλύτη), ενεργειακή πυκνότητα 30 GJ/m^3 (σε σχέση με $2-3 \text{ GJ/m}^3$ της βιομάζας) και μπορεί να τροφοδοτηθεί στα διυλιστήρια (ως βιο-αργό) για την παραγωγή καυσίμων μεταφοράς. Μίγμα καυσίμων που περιέχει και βιοέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Από τη Δ.Ε.Η υπάρχει ενδιαφέρον, το βιοέλαιο, να χρησιμοποιηθεί σε μίγμα με μαζούτ με τελικό στόχο την παραγωγή ηλεκτρισμού. Σύμφωνα με μελέτες το ποσοστό του βιοελαίου στο μίγμα αυτό μπορεί να φτάσει το 10 %. Οι χρήσεις του βιοελαίου ως βοηθητικό καύσιμο σε μονάδες παραγωγής είναι ίσες στον αριθμό με τα είδη των μονάδων αυτών. Επομένως, ένα μεγάλο πεδίο εφαρμογών του βιοελαίου υπάρχει ακόμη και όταν αυτό δεν έχει ακόμη εξευγενιστεί.

Το βιοέλαιο ως Καύσιμο κίνησης



Ο κύκλος της βιομάζας σε μια εικόνα. Από τον αγρό στην αντλία του βενζινάδικου.

Με κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να γίνει αναβάθμιση του βιοελαίου βελτιώνοντας τις φυσικοχημικές ιδιότητές του, κυρίως με την χρήση καταλυτών, με τη χημική επεξεργασία του (κυρίως για την μείωση του ποσοστού του περιεχόμενου ύδατος) ή με αεριοποίησή του και κατάλληλη διαχείριση του παραγόμενου αερίου σύνθεσης. Παράγωγο του βιοελαίου από την επεξεργασία του μπορεί να είναι και το αέριο υδρογόνο που έχει μεγάλο πεδίο εφαρμογών σαν καύσιμο. Με την εισαγωγή του βιοελαίου σε κινητήρες και αεριοστρόβιλους είναι δυνατή η παραγωγή ισχύος, ηλεκτρισμού και θερμότητας. Η παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας μπορεί να επιτευχθεί και με την καύση του βιοελαίου σε λέβητες και έπειτα την εισαγωγή του σε ατμοστρόβιλους. Η παραγόμενη ισχύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση πολλών οχημάτων (επιβατικών, αγροτικών, δημόσιων, φορτηγά κ.α.) χωρίς ιδιαίτερες αλλαγές στους ήδη υπάρχοντες κινητήρες τους. Ο εξευγενισμός του βιοελαίου είναι κοινώς αποδεκτό ότι κοστίζει και έτσι τον καθιστά οικονομικά μη βιώσιμο. Θα ήταν όμως ενεργειακά και περιβαλλοντικά προσοδοφόρο η ίδια η βιομάζα να τροφοδοτεί με ενέργεια τα μηχανήματα και οχήματα που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή και μεταφορά της.

Το βιοέλαιο για Παραγωγή χημικών



Το μεγαλύτερο ποσοστό των χημικών ουσιών που απαντώνται στο βιοέλαιο σε μεγαλύτερες περιεκτικότητες μπορεί με φυσικοχημικές μεθόδους να διαχωριστεί και να ανακτηθεί με σκοπό τη χρήση τους σε βιομηχανίες παραγωγής άλλων προϊόντων, όπως βιομηχανίες ρητινών, χρωμάτων, καλλυντικών, φαρμακευτικών προϊόντων, καθαριστικών, διάφορων βελτιωτικών, διαλυτών και για διάφορες άλλες εφαρμογές. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στο βιοέλαιο απαντώνται πάνω από τριακόσιες διαφορετικές χημικές ουσίες. Ο τομέας αυτός εφαρμογών βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της μελέτης, όμως το σημαντικό είναι ότι είναι εφικτή η ανάπτυξη μεθόδων για την εξαγωγή ουσιών από το βιοέλαιο. Στη χώρα μας υπάρχει κίνηση προς αυτήν την κατεύθυνση από τα ΕΛ.ΠΕ., τα οποία σε συνεργασία με την εταιρεία χημικών DSM και την ελληνική εταιρεία CHIMAR ερευνούν την δυνατότητα ανάκτησης χημικών ενώσεων από το βιοέλαιο με σκοπό τη σύνθεση ρητινών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή μοριοσανίδων.

Συμπεράσματα

Στη συνέχεια παρατίθενται τα βασικότερα συμπεράσματα όπως προκύπτουν από την παραπάνω μελέτη

1. Τα φυτά που αποτελούν τη βιομάζα καταφέρνουν με τη διεργασία της φωτοσύνθεσης να αποθηκεύουν ηλιακή ενέργεια υπό τη μορφή της χημικής ενέργειας. Η ενέργεια αυτή, λόγω του μεγάλου όγκου που απαντάται στη φύση είναι μεγάλης τάξεως μεγέθους και θα μπορούσε να δώσει μερική λύση στο ενεργειακό πρόβλημα τοπικά ή και παγκόσμια.
2. Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος. Επίσης η επεξεργασία της μπορεί να δημιουργήσει θέσεις εργασίας και οικονομικά οφέλη κυρίως στον αγροτικό τομέα.
3. Η βιομάζα αποτελεί ανανεώσιμη και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας που με την κατάλληλη επεξεργασία της αποδίδει ενέργεια με φιλική προς το περιβάλλον.
4. Η αυξημένη περιεκτικότητα της βιομάζας σε υγρασία, η σποραδική και εποχιακή παραγωγή της, η δυσκολία συλλογής και μεταφοράς της καθώς και το υψηλό κόστος του εξοπλισμού επεξεργασίας της είναι τα βασικά μειονεκτήματα που δυσχεραίνουν τη χρήση της για μαζική παραγωγή ενέργειας.
5. Αν ήταν εφικτό να γίνει συγκομιδή του ενός δεκάτου της παγκόσμιας παραγόμενης βιομάζας ανά έτος και η μετατροπή αυτής σε μορφή ενέργειας εύχρηστη, τότε το ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη μας θα είχε λυθεί. Παρ' όλα αυτά, η τεράστια αυτή ενέργεια παραμένει ως επί το πλείστον αναξιοποίητη, καθώς, σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, μόνο το 1/7 της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης καλύπτεται από τη βιομάζα και δη μέσω απαρχαιωμένων μεθόδων αξιοποίησής της (καυσόξυλα κλπ.).

6. Στη χώρα μας, τα ετήσια διαθέσιμα γεωργικά και δασικά απόβλητα μπορούν να μεταφραστούν σε 3-4 μεγατόνους πετρελαίου, αν λάβουμε υπ' όψιν ότι από ένα τόνο βιομάζας μπορεί να παραχθεί ενέργεια ισοδύναμη με 400 κιλά πετρελαίου ή 0.4 τόνους.
7. Το πλεονέκτημα των ενεργειακών καλλιεργειών σε σχέση με τα γεωργικά και δασικά απόβλητα είναι ότι έχουν μεγαλύτερη απόδοση ανά στρέμμα γης και επιπλέον συλλέγονται ευκολότερα και σε πιο σύντομο χρόνο.
8. Η βιομάζα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή, κατά τον παραδοσιακό τρόπο, θερμότητας στον οικιακό τομέα (μαγειρική, θέρμανση), για τη θέρμανση θερμοκηπίων, σε ελαιουργεία, καθώς και στη βιομηχανία (εκκοκκιστήρια βαμβακιού, παραγωγή προϊόντων ξυλείας, ασβεστοκάμινοι κ.ά.), σε περιορισμένη, όμως, κλίμακα.
9. Είναι σημαντικό να λάβουμε γνώση για τις επιπτώσεις των τεχνολογιών επεξεργασίας της βιομάζας στις εφοδιαστικές αλυσίδες βιομάζας απορριμμάτων και αποβλήτων, αυτή η κατανόηση θα επέτρεπε τον καθορισμό των βέλτιστων συσχετισμών για εφοδιαστικά συστήματα βιοενέργειας καθώς και για μια ουσιαστική προοπτική βελτίωσης. Οι τεχνολογίες αυτές, όλες με πρώτη ύλη τη βιομάζα, είναι δυνατόν να καλύψουν μεγάλο ποσοστό των ενεργειακών απαιτήσεων σε παγκόσμια κλίμακα. Τα χαρακτηριστικά και το κόστος παραγωγής των προϊόντων τους καθιστούν αυτές τις τεχνολογίες άξιες ανταγωνισμού των συμβατικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σήμερα κατά κόρον.
10. Κατά την διεργασία της πυρόλυσης η βιομάζα αλλάζει από χημικής άποψης καθώς τα συστατικά της μετατρέπονται αλλά αλλάζει και φυσική κατάσταση, καθώς από το αρχικό στερεό καύσιμο προκύπτουν προϊόντα σε στερεή, υγρή και αέρια κατάσταση, τα οποία είναι αντίστοιχα στις τρεις φάσεις, το εξανθράκωμα, το βιοέλαιο και τα μόνιμα αέρια.
11. Η υγρασία του βιοελαίου δεν προέρχεται μόνο από την αρχική υγρασία της βιομάζας αλλά και από το νερό το οποίο παράγεται κατά την πυρόλυση από το υδρογόνο και το οξυγόνο της βιομάζας στην υψηλή αυτή θερμοκρασία. Το νερό αυτό

δεν είναι δυνατόν να διαχωριστεί από το υπόλοιπο μέρος του βιοελαίου με συμβατικές μεθόδους όπως η κλασματική απόσταξη, δηλαδή με θέρμανση στη θερμοκρασία βρασμού του νερού και διαχωρισμό των ατμών του.

12. Η χημική σύσταση των προϊόντων της πυρόλυσης διαφέρει και για αυτό το σημαντικότερο ρόλο παίζουν οι παράγοντες διεξαγωγής της. Ονομαστικά, αυτοί είναι η θερμοκρασία της αντίδρασης, ο χρόνος παραμονής τους στην κλίνη πυρόλυσης, το μέγεθος των σωματιδίων που αποτελούν τη βιομάζα, η σύσταση της βιομάζας και τέλος, ο ρυθμός με τον οποίο παρέχεται θερμότητα στη βιομάζα.

13. Η στοιχειακή αλλά και η τυπική σύσταση του βιοελαίου μπορεί να ποικίλλει σημαντικά, ανάλογα με το είδος βιομάζας από το οποίο προέρχεται και τις συνθήκες της αντίδρασης κατά την οποία σχηματίστηκε. Αυτό έχει όπως είναι αναμενόμενο μεγάλο αντίκτυπο και στις τελικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

14. Το βιοέλαιο έχει υψηλή συνεκτικότητα / ιξώδες που κυμαίνεται από 10 – 100 cP. Υψηλή είναι και η περιεκτικότητά του σε νερό που δεν πρέπει να ξεπερνάει το απαγορευτικό ποσοστό του 35%. Ακόμη, η περιεκτικότητά του σε οξυγόνο είναι ιδιαίτερα υψηλή, ενδεικτικά περίπου 37.5%. Η περιεχόμενη τέφρα που απομένει μετά από φιλτράρισμα στο βιοέλαιο δεν ξεπερνάει το 0.01%. Η σχετική χημική αστάθεια του βιοελαίου δεν του επιτρέπει να αποθηκεύεται για μεγάλα χρονικά διαστήματα, καθώς αλλοιώνεται και αλλάζουν οι ιδιότητές του. Η τιμή της ανώτερης θερμογόνου δύναμής του είναι σχετικά με τα συμβατικά καύσιμα χαμηλή και έχει σύσκολη ανάφλεξη, όμως η καύση του είναι σταθερή. Λόγω της παρουσίας οργανικών οξέων στο μίγμα του βιοελαίου, αυτό παρουσιάζει υψηλή οξύτητα. Μέχρι σήμερα πιστεύεται ότι το βιοέλαιο δεν είναι τοξικό.

15. Το βιοέλαιο στην πρωταρχική του μορφή έχει πολλά μειονεκτήματα που δυσχεραίνουν την άμεση χρήση του ως καύσιμο. Ιδιαίτερα θα πρέπει να έχει γίνει αναβάθμιση του βιοελαίου για να χρησιμοποιηθεί καθεαυτό σαν καύσιμο κίνησης. Ο εξευγενισμός του βιοελαίου είναι κοινώς αποδεκτό ότι κοστίζει και έτσι τον καθιστά οικονομικά μη βιώσιμο. Θα ήταν όμως ενεργειακά και περιβαλλοντικά προσοδοφόρο η ίδια η βιομάζα να τροφοδοτεί με ενέργεια τα μηχανήματα και οχήματα που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή και μεταφορά της.

16. Το βιοέλαιο στην πρωταρχική του μορφή έχει χρήσεις όπως πρόσθετο σε καύσιμα ,έως και 10%, και σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή χημικών καθώς σε αυτό απαντώνται πάνω από τριακόσια διαφορετικά είδη χημικών ουσιών σε διάφορες περιεκτικότητες. Τα παραπάνω το καθιστούν χρήσιμο σύμμαχο της βιομηχανίας αλλά και του περιβάλλοντος.

Βιβλιογραφία / Πηγές

- ✚ Πανεπιστήμιο Κύπρου (http://1lvk-vvron.att.sch.gr/A1b_kaplani.pdf)
- ✚ Κέντρο ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας (ΚΑΠΕ)
(http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf)
- ✚ Βικιπαίδεια (<http://en.wikipedia.org/wiki/Biomass>)
- ✚ Εικόνες google.gr
(<https://www.google.gr/search?q=biomass+and+bioenergy&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=UBYqUsbmJKa34wSCt4HYCA&ved=0CAcQAUoAQ&biw=1680&bih=941>)
- ✚ ΕΟΠ (2004): «*Energy subsidies in the European Union, a brief overview*». EEA Technical report No 1/2004
- ✚ Εφημερίδα 'Το Έθνος' (21.10.2010)
- ✚ Organic Contaminants In Sewage Sludge For Agricultural Use, European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability Soil and Waste Unit, H. Langenkamp, P. Part. pp 80 – 82.
- ✚ Οδηγία 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12ης Ιουνίου 1986 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία
- ✚ Α. Παπαοικονόμου «*Διαχείριση δικτύων εφοδιαστικών αλυσίδων για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα*» (2010).
- ✚ W.McCabe/J.C.Smith/P.Harriott, «*Βασικές διεργασίες Χημικής Μηχανικής*» 6th Edition, pp 476 – 478.

- ✚ Biomass Energy Resources (<http://biomassenergyresources.com/>)
- ✚ S Sinha, A. Jhalani, M.R. Ravi, A. Ray. «*Modelling of Pyrolysis in Wood : A Review*» SESI Journal, 2000, 35(1)
- ✚ N.Prakash, T. Karunanithi. «*Kinetic Modeling in Biomass Pyrolysis-A Review*» Journal of Applied Sciences Research 2008, 4(12)
- ✚ J.E. White, W.J. Catallo, B.L Legendre. «*Biomass pyrolysis kinetics: A comparative critical review with relevant agricultural residue case studies*» Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2011, 91
- ✚ Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων ΕΕΔΣΑ.
- ✚ Demirbas. «*Green Energy And Technology Biorefineries for Biomass Upgrading Facilities*» London: Springer, 2010
- ✚ C.Y. Wereko-Brobby, E.B. Hagen «*Biomass conversion and Technology*» J. Wiley and Sons, 1996
- ✚ Π. Χρυστακόπουλος, Δ. Κουλλάς, Δ. Κέκκος, Ε. Κούκιος, Β. Μακρής «*Απ' ευθείας μικροβιακή μετατροπή προκατεργασμένου αχύρου σε αιθανόλη*». Πρακτικά 3ου Εθνικού συνεδρίου για τις Η.Μ.Ε. (1988)
- ✚ http://2epal-esp-acharn.att.sch.gr/E_TH_D/2012-13/ETHD_WEB/bioaerio.htm
- ✚ Ayhan Demirbas, «*Importance of biodiesel as transportation fuel, Energy Policy*» 35, June 2007
- ✚ Ming Zheng, Mwila C. Mulenga, Graham T. Reader, Meiping Wang, David S-K. Ting, Jimi Tjong, «*Biodiesel engine performance and emissions in low temperature combustion, Fuel*» June 2007.

- ✚ J.M. Marchetti_, V.U. Miguel, A.F. Errazu, «*Possible methods for biodiesel production, Renewable and Sustainable Energy Reviews*» 11, 2007.
- ✚ Umer Rashid, Farooq Anwar, «*Production of biodiesel through optimized alkaline-catalyzed transesterification of rapeseed oil, Fuel*» March 2008
- ✚ Στούρνας, Σ., Λόης, Ε., Ζαννίκος, Φ., «*Τεχνολογία καυσίμων και λιπαντικών*» Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2007, pp 73 - 97
- ✚ Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.
(<http://www.chemeng.ntua.gr/courses/bpv/files/pyrolysis.pdf>)
- ✚ Yufu Xu, Xianguo Hu, Wendong Li and Yinyan Shi Hefei «*Preparation and Characterization of Bio-Oil from Biomass*» University of Technology P. R. China, pp 58 - 59
- ✚ Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or oether renewable fuels for transport
- ✚ L. Quiang, L.Wen-Zhi, Z. Xi-Feng. «*Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils*» Energy Conversion and Management, 2009, 50
- ✚ C.R. Shaddix, D.R. Hardesty. «*Combustion Properties of Biomass Flash Pyrolysis Oils: Final Project Report*» SANDIA REPORT SAND99-8238. Sandia National Laboratories, 1999
- ✚ L. Quiang, L.Wen-Zhi, Z. Xi-Feng. «*Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils*» Energy Conversion and Management, 2009, 50
- ✚ M. Ringer, V. Putsche, J. Scahill. «*Large scale pyrolysis: a technology assessment and economic analysis*» Technical report NREL/TP-0510-37779. NREL. National Renewable Energy Laboratory, 2006

- ✚ A.V. Bridgwater. «*Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass and Bioenergy*» 2012, pp 212