



ΒΙΟΜΑΖΑ

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Αλεξάνδρα Μπαρμπατζά



Μετατροπή της Βιομάζας σε Ενέργεια

Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμες μορφές ενέργειας με διαφορετικές διαδικασίες. Μόνο λίγοι τύποι της βιομάζας όπως το ξύλο μπορούν να χρησιμοποιηθούν απ'ευθείας με καύση για παραγωγή ενέργειας. Συνήθως απαιτείται η επεξεργασία και ο εξευγενισμός της βιομάζας για τη μετατροπή της σε χρήσιμο καύσιμο.

-Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε δύο κύρια προϊόντα:

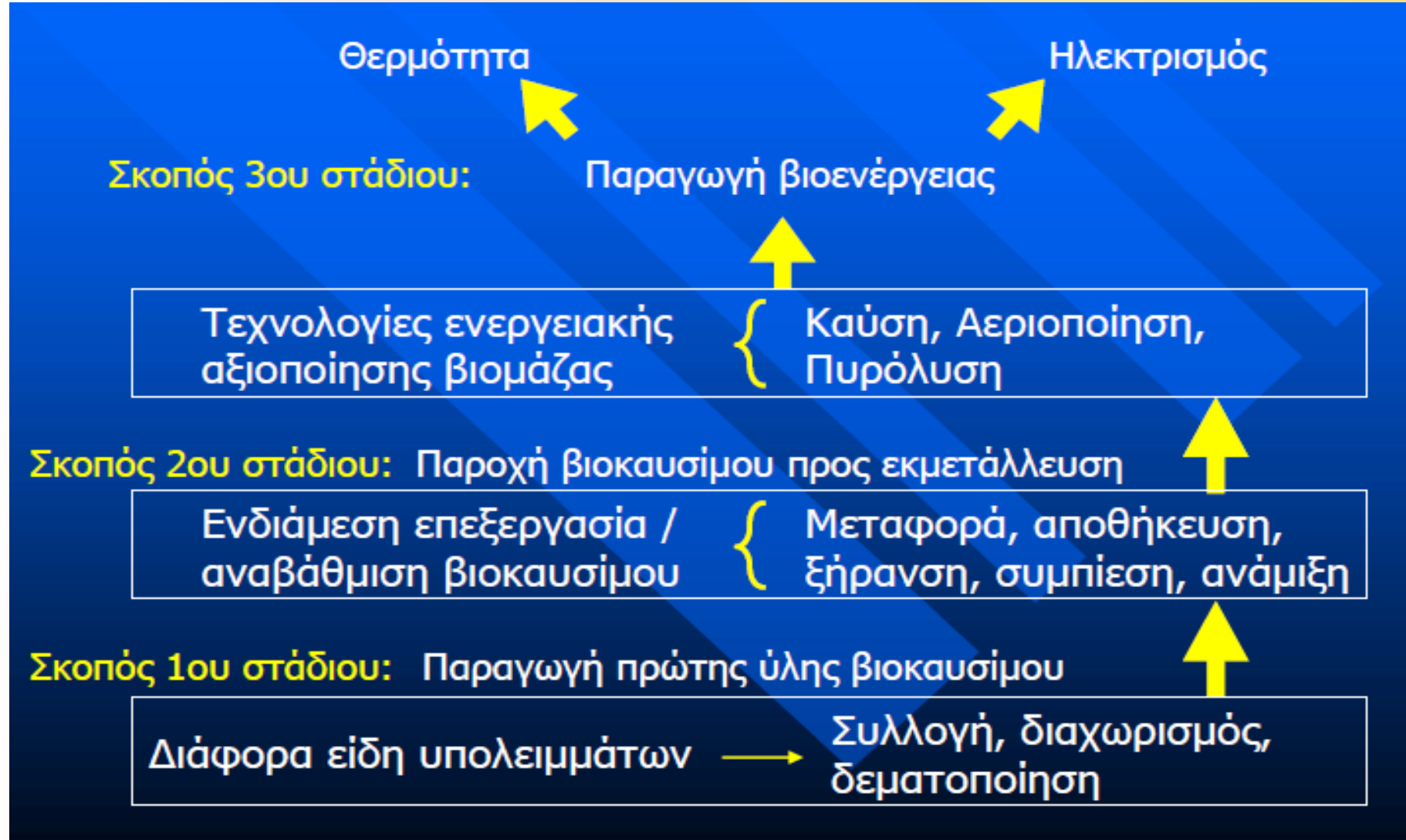
- Ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρισμού και θερμότητας
- Καύσιμα για μεταφορά ή για αυτόνομη χρήση

-Παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της κατάλληλης διαδικασίας, κατά σειρά σημαντικότητας:

- Η επιθυμητή μορφή ενέργειας, π.χ. ηλεκτρική ενέργεια, καύσιμο
- Ο τύπος και η ποσότητα της διαθέσιμης βιομάζας
- Περιβαλλοντικοί περιορισμοί
- Οικονομικές παράμετροι
- Οι ειδικότερες συνθήκες της περιοχής



Μετατροπή της Βιομάζας σε Ενέργεια





Ενδιάμεση Επεξεργασία-Αναβάθμιση Βιομάζας

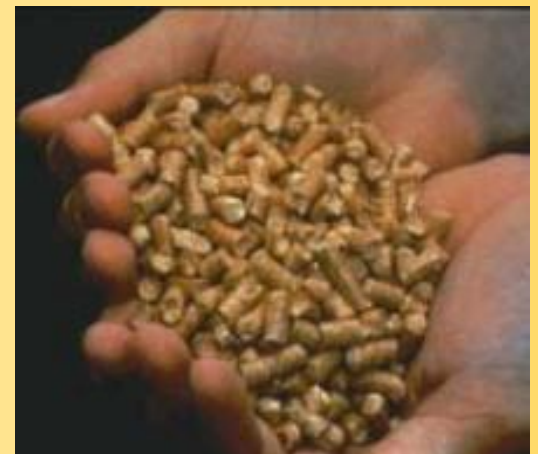
-Συμπύκνωση-Ξήρανση

Με σκοπό την αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας και επίσης για να γίνει οικονομικότερη η μεταφοράς της βιομάζας συχνά απαιτείται η συμπύκνωσή της σε κυλινδρική μορφή (π.χ. Wood Pellets)

Επίσης, παράλληλα επιτυγχάνεται:

- Μείωση της υγρασίας της βιομάζας
- Ομοιομορφία στις διαστάσεις και τις ιδιότητες των τεμαχίων

Απώτερος στόχος είναι η παραγωγή ενός καυσίμου με βελτιωμένες ιδιότητες και η επίτευξη καλύτερων προϋποθέσεων ενεργειακής αξιοποίησης





Διαδικασία Παραγωγής Σύμπηκτων

Τα σύμπηκτα (pellets) είναι μικρά κυλινδρικά τεμάχια συμπιεσμένης βιομάζας (από διάφορες καλλιέργειες, όπως δασική βιομάζα, υπολείμματα βιομηχανίας ξύλου π.χ. πριονίδια κτλ) διαφόρων μεγεθών (διαμέτρου 3-25 mm και μήκους 5-40 mm).

- Απόδοση:
 - ✓ 0,30 kg pellets / kg κλαδέματος
 - ✓ 1 τόνος pellets = 0,43 ΤΙΠ
- Η παραγωγή των pellets γίνεται σε αντίστοιχες μονάδες επεξεργασίας με την ακόλουθη διαδικασία:

Θρυμματισμός → Άλεση → Ξήρανση → Πελλετοποίηση → Ψύξη → Συσκευασία

- Η βιομηχανία παραγωγής καυστήρων pellets έχει κάνει μεγάλα τεχνολογικά άλματα με αποτέλεσμα οι συγκεκριμένοι καυστήρες που κυκλοφορούν στο εμπόριο σήμερα να έχουν πολύ μεγάλη απόδοση, παρόμοια πλέον με την απόδοση των καυστήρων πετρελαίου (80-85%).



Είδη Σύμπηκτων





Μετατροπή της Βιομάζας σε Ενέργεια

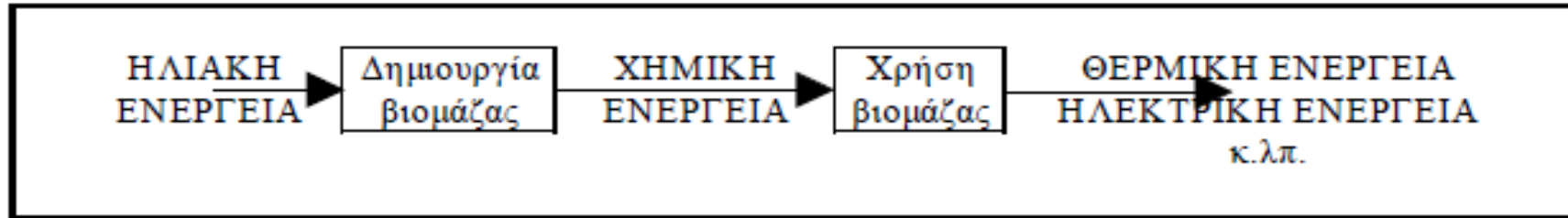
-Με ποιες διαδικασίες επιτυγχάνεται η μετατροπή?

- Θερμοχημικές διαδικασίες
 - ✓ Ανθρακοποίηση π.χ. παραγωγή κάρβουνου
 - ✓ Πυρόλυση π.χ. παραγωγή υδρολυτικών ελαίων
 - ✓ Αεριοποίηση π.χ. παραγωγή αερίου
- Βιοχημικές/Βιολογικές διαδικασίες
 - ✓ Αναερόβια χώνευση π.χ. παραγωγή βιοαερίου
 - ✓ Υδρόλυση-Αναερόβια ζύμωση π.χ. παραγωγή αιθανόλης
- Μηχανικές (με εστεροποίηση) για παραγωγή βιοντίζελ (rapeseed methylester – RME)
 - ✓ Εκχύλιση ελαίων και εστεροποίηση των τριγλυκεριδίων (π.χ. παραγωγή βιολογικού καυσίμου)

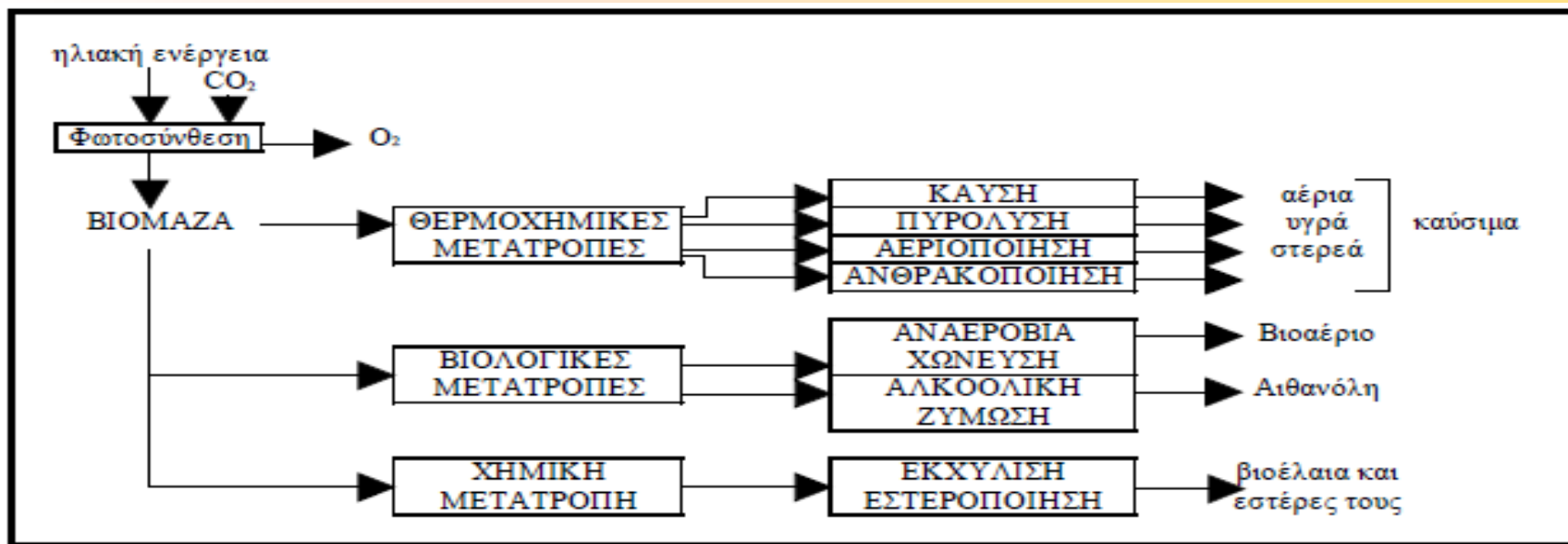


Μετατροπή της Βιομάζας σε Ενέργεια

-Ενεργειακοί μετασχηματισμοί κατά τη δημιουργία και ενεργειακή χρήση της βιομάζας



-Παραγωγή ενέργειας από τη βιομάζα με διάφορες διεργασίες



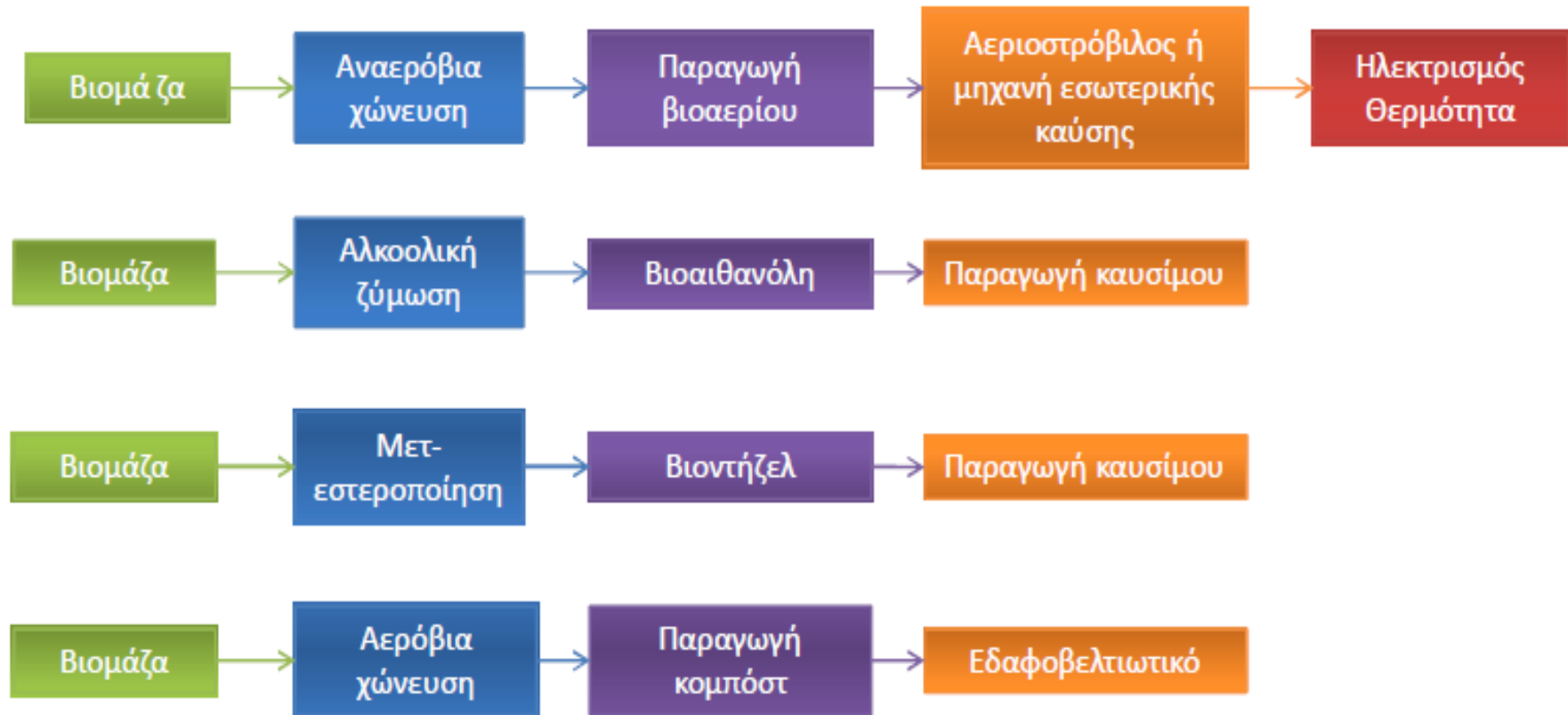


Θερμοχημικές Διαδικασίες Μετατροπής της Βιομάζας



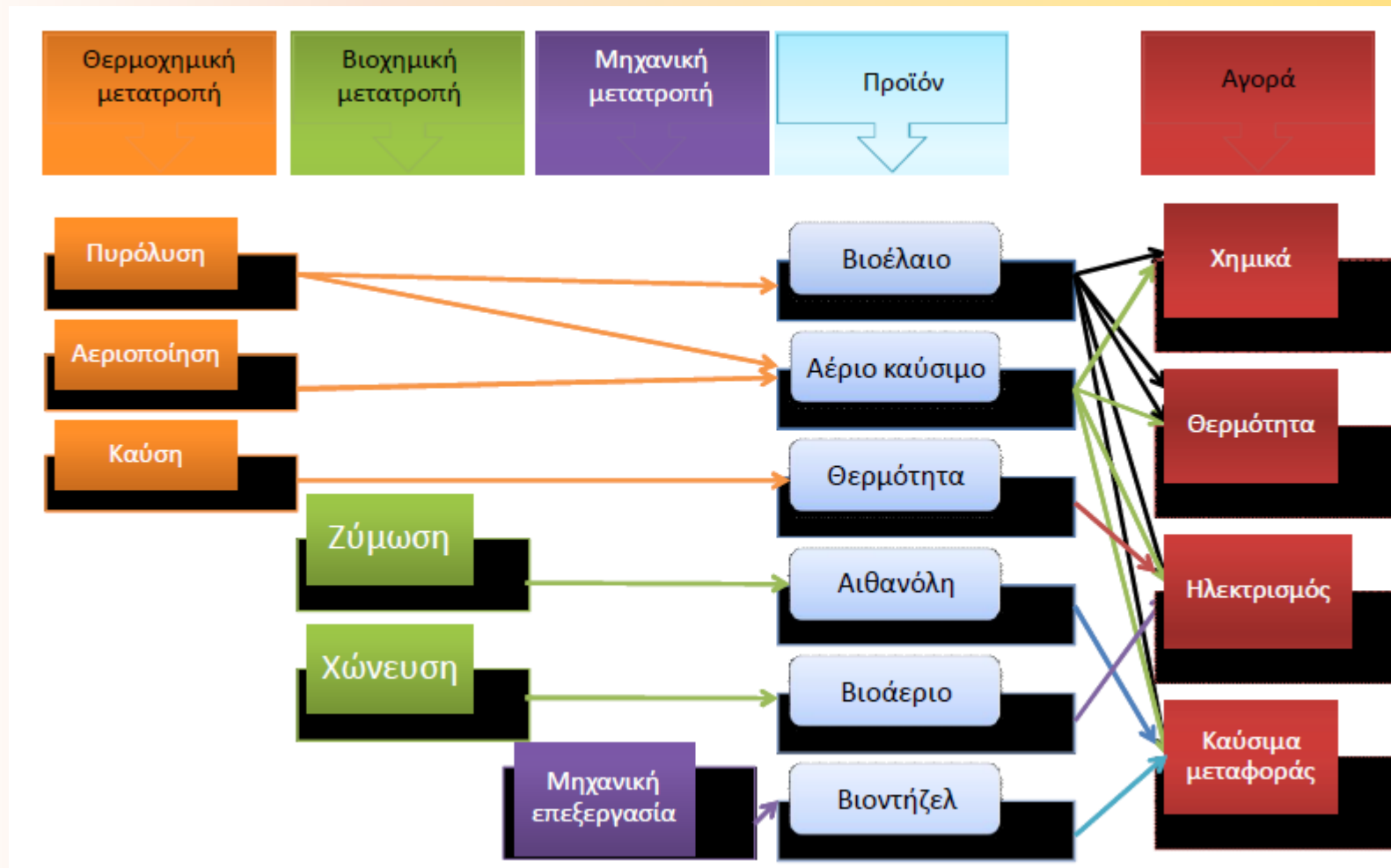


Θερμοχημικές Διαδικασίες Μετατροπής της Βιομάζας





Διαδικασίες μετατροπής βιομάζας, προϊόντα και αγορές





Καύση της Βιομάζας

- Η απευθείας 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 μπρικέτες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μορφοποίησή της σε κατάλληλα μηχανήματα με υψηλή πίεση.
- Για την παραγωγή ατμού η βιομάζα καίγεται σε κατάλληλους καυστήρες και λέβητες με ειδικούς εναλλάκτες θερμότητας. Γενικά η καύση της βιομάζας γίνεται σε μεγάλη ποικιλία εξοπλισμού, από απλά τζάκια, σόμπες, μέχρι εξελιγμένους ειδικής διαμόρφωσης καυστήρες σταθερής και ρευστοποιημένης κλίνης και λέβητες (κύκλος Rankine).
- Τα καυσαέρια έχουν θερμοκρασία 800-1000 °C.
- Η κλίμακα των εργοστασίων καύσης κυμαίνεται από πολύ μικρή (οικιακή) μέχρι βιομηχανική 5-500 MW.



Καύση της Βιομάζας

- Ιδιαίτερα συμφέρουσα είναι η Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)
- Σύγκαυση βιομάζας με λιγνίτη είναι ιδιαίτερα ελκυστική (7-10% του καυσίμου προέρχεται από βιομάζα):
 - ✓ Περιβαλλοντικά οφέλη (μείωση εκπομπών CO₂, SO₂ κτλ.)
 - ✓ Οικονομικά οφέλη
- Ο βαθμός απόδοσης ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται από 20-40%



Πυρόλυση της Βιομάζας

-Τι είναι η πυρόλυση?

Πυρόλυση είναι η μετατροπή της βιομάζας, κατόπιν θέρμανσης, σε υγρά, στερεά και αέρια προϊόντα. Συγκεκριμένα η βιομάζα αποσυντίθεται απουσία αέρα και τα παραγόμενα προϊόντα από τη θερμοχημική αυτή μετατροπή είναι:

- Αέρια
 - Πυρολιγνικά Υγρά
 - Βιοάνθρακας (κάρβουνο)
-
- ✓ Η πυρόλυση γίνεται σε κλειστά δοχεία απουσία αέρα σε θερμοκρασίες 500-600°C.
 - ✓ Κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης δεν απαιτείται παρά η πρόσδοση μικρών ποσοτήτων θερμότητας.
 - ✓ Η θερμοκρασία της πυρόλυσης είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία της ανθρακοποίησης και εδώ σε αντίθεση με την ανθρακοποίηση συλλέγουμε τα πλούσια σε ενέργεια αέρια.



Πυρόλυση της Βιομάζας

-Η ποσοτική αναλογία των προϊόντων της πυρόλυσης του ξύλου είναι :

- Βιοάνθρακας 25%
 - Αέριο 15%
 - Πυρολιγνικά οξέα 45%
 - Ελαιώδης πίσσα 15%
- ✓ Εκτός από το βιοάνθρακα, τα πυρολιγνικά οξέα, η ελαιώδης πίσσα και το αέριο που παράγονται από την πυρόλυση αποτελούν καύσιμα για την παραγωγή ενέργειας.

-Ο βιοάνθρακας που προκύπτει από τη πυρόλυση της βιομάζας έχει προσεγγιστικά την εξής σύσταση:

- Άνθρακας 83%
- Υδρογόνο 3%
- Οξυγόνο 11%
- Άζωτο 0,3%
- Τέφρα 2,7%



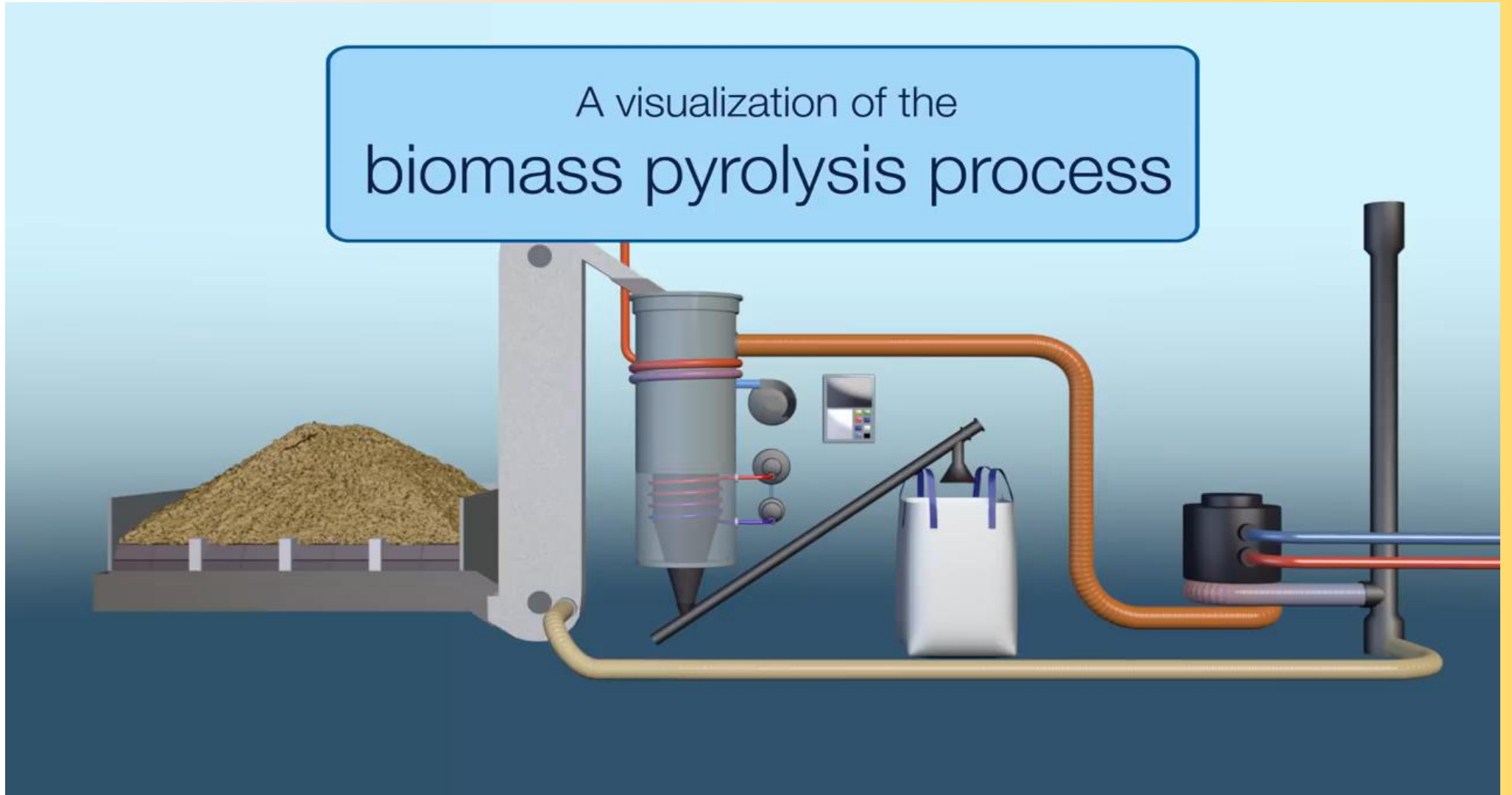
Πυρόλυση της Βιομάζας

- Η πυρόλυση μπορεί να παράγει αποκλειστικά βιοέλαιο, με βαθμό απόδοσης μέχρι και 80% με τη διαδικασία της αστραπιαίας πυρόλυσης (flash pyrolysis).
- Το βιοέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του πετρελαίου (έχει λιγότερο από μισή θερμογόνο δύναμη) σε εφαρμογές θέρμανσης, λέβητες, φούρνους αλλά και μηχανές εσωτερικής καύσης.
- Εναλλακτικά το βιοέλαιο υφίσταται αεριοποίηση για την παραγωγή συνθετικού αερίου (syngas) που στη συνέχεια μετατρέπεται σε καύσιμο (πχ sundiesel).
- Τα υποπροϊόντα της πυρόλυσης που δεν αεριοποιούνται είναι γνωστά σαν κάρβουνο και τέφρα.



Πυρόλυση της Βιομάζας

A visualization of the
biomass pyrolysis process



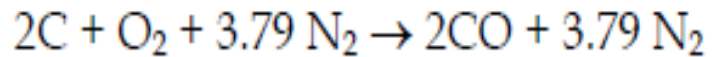


Αεριοποίηση της Βιομάζας

-Τι είναι η αεριοποίηση?

Αεριοποίηση είναι η μετατροπή της βιομάζας σε μίγμα εύφλεκτων αερίων από τη μερική οξείδωση της οργανικής ύλης παρουσία ατμού σε υψηλές θερμοκρασίες, στην περιοχή 800-900 °C. Η αεριοποίηση της βιομάζας περιλαμβάνει τη μερική καύση της (με αναλογία αέρα μικρότερη από την στοιχειομετρική) σε κατάλληλους αντιδραστήρες. Η βιομάζα προσφέρεται για αεριοποίηση λόγω του υψηλού περιεχομένου σε πτητικά συστατικά (70-86% σε ξηρή βάση).

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



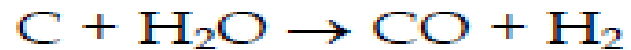
-Το προκύπτον αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο και έχει την εξής σύνθεση:

CO ₂	3%
C _x H _y	< 0,1%
O ₂	0.9%
CO	28,7%
H ₂	3,8%
CH ₄	0,2%
N ₂	63%



Αεριοποίηση της Βιομάζας

- Στην ουσία το παραγόμενο αέριο είναι μίγμα υδρογόνου (H), μεθανίου (CH₄), μονοξειδίου του άνθρακα (CO), μικρών ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα και υδρογονανθράκων με χαμηλή θερμαντική δύναμη (4-6 MJ/Nm³).
- Για τη βελτίωση της θερμιδικής αξίας του παραγομένου αερίου η βιομάζα μπορεί να είναι υγρή, οπότε γίνεται ταυτόχρονα και η αντίδραση :



- 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 παραγομένου αερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί οξυγόνο αντί για αέρα.



Αεριοποίηση της Βιομάζας

- Ακαθαρσίες (αλκάλια, SO_2 και τέφρα) μπορούν να απομακρυνθούν με συστήματα καθαρισμού, αφήνοντας ένα καθαρό καύσιμο αέριο με ενεργειακό περιεχόμενο περίπου το 20-25% του φυσικού αερίου.
- Το αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο ώστε να τροφοδοτήσει αεριοστρόβιλους για την παραγωγή ενέργειας.
- Ιδιαίτερα ελκυστική τεχνολογία είναι τα εργοστάσια συνδυασμένου κύκλου (BIG/CC) Biomass Integrated Gasification Combined Cycle.
- Εναλλακτικά το αέριο (syngas) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρώτη ύλη στην παραγωγή υγρών καυσίμων για τη μεταφορά, π.χ. μεθανόλη και υδρογόνο.



Αεριοποίηση της Βιομάζας

-Παραγωγή μεθανόλης από βιομάζα

- 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:



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.



Σύγκριση καύσης και αεριοποίησης της βιομάζας

- Η βιομάζα έχει υψηλή συγκέντρωση πτητικών συστατικών της βιομάζας, που φθάνουν το 80%, ενώ ο άνθρακας έχει συγκέντρωση πτητικών μέχρι 20%.
- Τα συστήματα καύσης της βιομάζας, που βασίζονται στο κύκλο του ατμού για παραγωγή ενέργειας, είναι τεχνολογικά ώριμα και βρίσκουν εμπορικές εφαρμογές. Ακόμη και τα πιο σύνθετα συστήματα καύσης της βιομάζας σε ρευστοστερεά κλίση είναι τεχνολογικά ώριμα σήμερα.
- Τα συστήματα αεριοποίησης της βιομάζας είναι εμπορικά διαθέσιμα. Όμως, οι εφαρμογές τους σε μικρή κλίμακα παρουσιάζουν προβλήματα αξιοπιστίας και χρειάζονται αρκετή παρακολούθηση και επίβλεψη.
- Τα σύνθετα συστήματα αεριοποίησης της βιομάζας και παραγωγής ενέργειας καθώς και συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού είναι αρκετά υποσχόμενα μελλοντικά αλλά βρίσκονται στο στάδιο της επίδειξης. Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι ο καθαρισμός των αερίων σε επαρκή βαθμό ούτως ώστε να πληρούν τις προδιαγραφές που θέτουν οι κατασκευαστές αεριοστροβίλων για τα αέρια χαμηλής θερμογόνου δύναμης.



Ανθρακοποίηση της Βιομάζας

Το κάρβουνο που χρησιμοποιείται ευρύτατα στις αναπτυσσόμενες χώρες σαν καύσιμο παράγεται με την ανθρακοποίηση της βιομάζας.

-Τι είναι η ανθρακοποίηση?

Η ανθρακοποίηση είναι μία διεργασία όπου το ξύλο θερμαίνεται παρουσία αέρα σε αναλογία μικρότερη από τη στοιχειομετρική, και σαν προϊόν παράγεται το κάρβουνο όπως επίσης υγρά και αέρια παραπροϊόντα.

-Η διεργασία της ανθρακοποίησης γίνεται σε 4 στάδια:

- Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τη ξήρανση του ξύλου που πρόκειται να ανθρακοποιηθεί και καταναλώνει ενέργεια. Η θερμοκρασία είναι περίπου 200°C.
- Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει τη φάση της προανθρακοποίησης και γίνεται σε θερμοκρασίες 170-300°C, ενώ παράγονται υγρά και αέρια προϊόντα. Το στάδιο αυτό απαιτεί επίσης την 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.



Ανθρακοποίηση της Βιομάζας

Η βασική χημική αντίδραση κατά την ανθρακοποίηση της βιομάζας είναι:



ενώ ταυτόχρονα γίνονται και παράλληλες αντιδράσεις.

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

-Οι ιδιότητες του κάρβουνου εξαρτώνται από:

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

-Η σύσταση κάρβουνου ικανοποιητικής ποιότητας είναι:

- Άνθρακας περισσότερο από 70%
- Πτητικές ουσίες 25%
- Στάχτη 5%



Ανθρακοποίηση της Βιομάζας

- Η πυκνότητά του άνθρακα κυμαίνεται περίπου 250-300 kg/m³, ενώ η θερμιδική του αξία είναι 25 MJ/kg σε σύγκριση με τα 15 MJ/kg του ξύλου.
- Ο τελικός όγκος του παραγόμενου κάρβουνου είναι περίπου το 50% του αρχικού όγκου του ανθρακοποιούμενου 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% (βάρος παραγόμενου κάρβουνου σε σχέση με το αρχικό ξηρό βάρος του ξύλου)



Αναερόβια Χώνευση της Βιομάζας

-Τι είναι η αναερόβια χώνευση?

Αναερόβια χώνευση είναι η μετατροπή οργανικής ύλης σε βιοαέριο (μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα) με τη βοήθεια μικροοργανισμών σε ένα περιβάλλον αναερόβιο.

Η αναερόβια χώνευση της βιομάζας γίνεται σε τρεις φάσεις:

- Τη φάση της υδρόλυσης
 - ✓ Στη φάση αυτή σύνθετα οργανικά μόρια διασπώνται σε απλούστερα μόρια
- Την όξινη φάση
 - ✓ Στη φάση αυτή υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λίπη διασπώνται από μικροοργανισμούς σε οξέα, CO_2 , H_2 , NH_3 κ.ά.
- Τη φάση της μεθανοποίησης
 - ✓ Στη τελική φάση H_2 , CO_2 , αλκοόλες, οργανικά οξέα παράγουν μεθάνιο με τη βοήθεια ενζύμων

Κατά τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης και οι τρεις φάσεις συμβαίνουν ταυτόχρονα και εάν κάποια φάση επικρατήσει, τότε η παραγωγή μεθανίου διαταράσσεται σοβαρά.



Αναερόβια Χώνευση της Βιομάζας

Η χημική εξίσωση για την αναερόβια χώνευση της κυτταρίνης γράφεται:



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 H₂S στο βιοαέριο του προσδίδει διαβρωτική δράση και συνεπώς πολλές φορές απαιτείται η απομάκρυνσή του πριν από τη χρήση του.

Η θερμιδική αξία του βιοαερίου είναι περίπου 5000 KCAL/NM³.

-Η αναερόβια χώνευση της βιομάζας μπορεί να γίνει σε τρεις θερμοκρασιακές ζώνες:

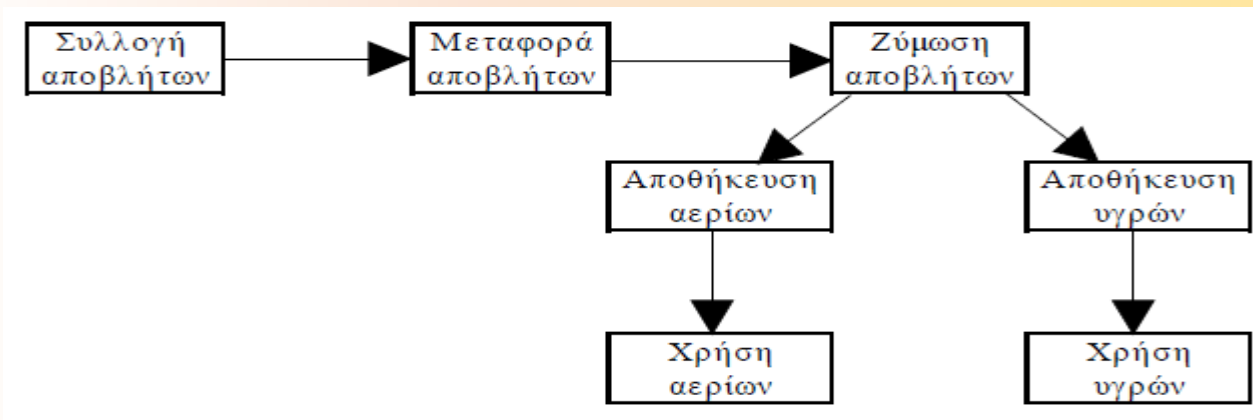
- Τη ψυχρόφιλη ζώνη περίπου 20°C
- Τη μεσόφιλη ζώνη περίπου 35°C
- Τη θερμόφιλη ζώνη περίπου 55°C



Αναερόβια Χώνευση της Βιομάζας

- 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 βιοαντιδραστήρα και τη διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας εντός αυτού.
- Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης της βιομάζας ευνοείται από υγρό, θερμό και σκοτεινό περιβάλλον.

-Διαδικασία κατά την παραγωγή βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα





Αναερόβια Χώνευση της Βιομάζας

- Το βιοαέριο που παράγεται μπορεί να αποθηκευτεί. Εφόσον αποθηκευτεί υπό συνήθη πίεση, απαιτούνται μεγάλοι αποθηκευτικοί χώροι αλλά εάν συμπιεσθεί και υγροποιηθεί, απαιτούνται υψηλές πιέσεις. Έτσι, για οικονομικούς λόγους προτιμάται η άμεση καύση του είτε για παραγωγή θερμότητας, είτε για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Τα υγρά απόβλητα που απομένουν έχουν χαμηλότερο ρυπαντικό φορτίο από τα αρχικά απόβλητα και είναι σχετικά σταθεροποιημένα. Έχει μειωθεί η δυσοσμία τους, περιέχουν όμως παθογόνους μικροοργανισμούς. Ενδείκνυται η διάθεσή τους με προσοχή στους αγρούς για λίπανση λόγω της υψηλής λιπασματικής τους αξίας. Συνήθως όμως απαιτούνται αποθηκευτικοί χώροι που η κατασκευή τους κοστίζει αρκετά.



Αναερόβια Χώνευση της Βιομάζας

- Η ενεργειακή αξία ισοδυναμεί με το 20-40% της θερμογόνου δύναμης της βιομάζας.
- Το βιοαέριο μπορεί να τροφοδοτεί απ' ευθείας ένα αεριοστρόβιλο ή μια μηχανή εσωτερικής καύσης για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και ενέργειας.
- Η αναερόβια χώνευση υγρών αποβλήτων είναι μια γνωστή και δοκιμασμένη τεχνολογία.
- Αντίθετα η αναερόβια χώνευση υπολειμμάτων με μικρό ποσοστό υγρασίας ή «ξηρή» αναερόβια χώνευση έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια κυρίως για την επεξεργασία στερεών απορριμμάτων ενώ η χρήση της στην αξιοποίηση της βιομάζας είναι σχετικά νέα και υπάρχουν λίγες έρευνες σε πιλοτική κλίμακα.
- Σύμφωνα με στοιχεία της ΑΕΒΙΟΜ το κόστος επένδυσης για μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου δυναμικότητας παραγωγής 1 εκ. m³/έτος αερίου ανέρχεται σε 2.0 εκ. €



Αναερόβια Χώνευση της Βιομάζας

-Παραγωγή Βιοαερίου από διάφορα κτηνοτροφικά απόβλητα

Πηγή	Οργανική ουσία (χλγ/ημέρα)	Παραγόμενο βιοαέριο (NM ³ ανά χλγ. οργανικών ουσιών σε χρόνο ζύμωσης 20 ημέρες)
Βοοειδή 250-400 χλγ.	3,5	0,16
Χοίροι 30-80 χλγ.	0,2-0,5	0,28
Κότες 2-2,5 χλγ.	0,02	0,28
Άλογα	3,5	0,28



Αναερόβια Χώνευση της Βιομάζας

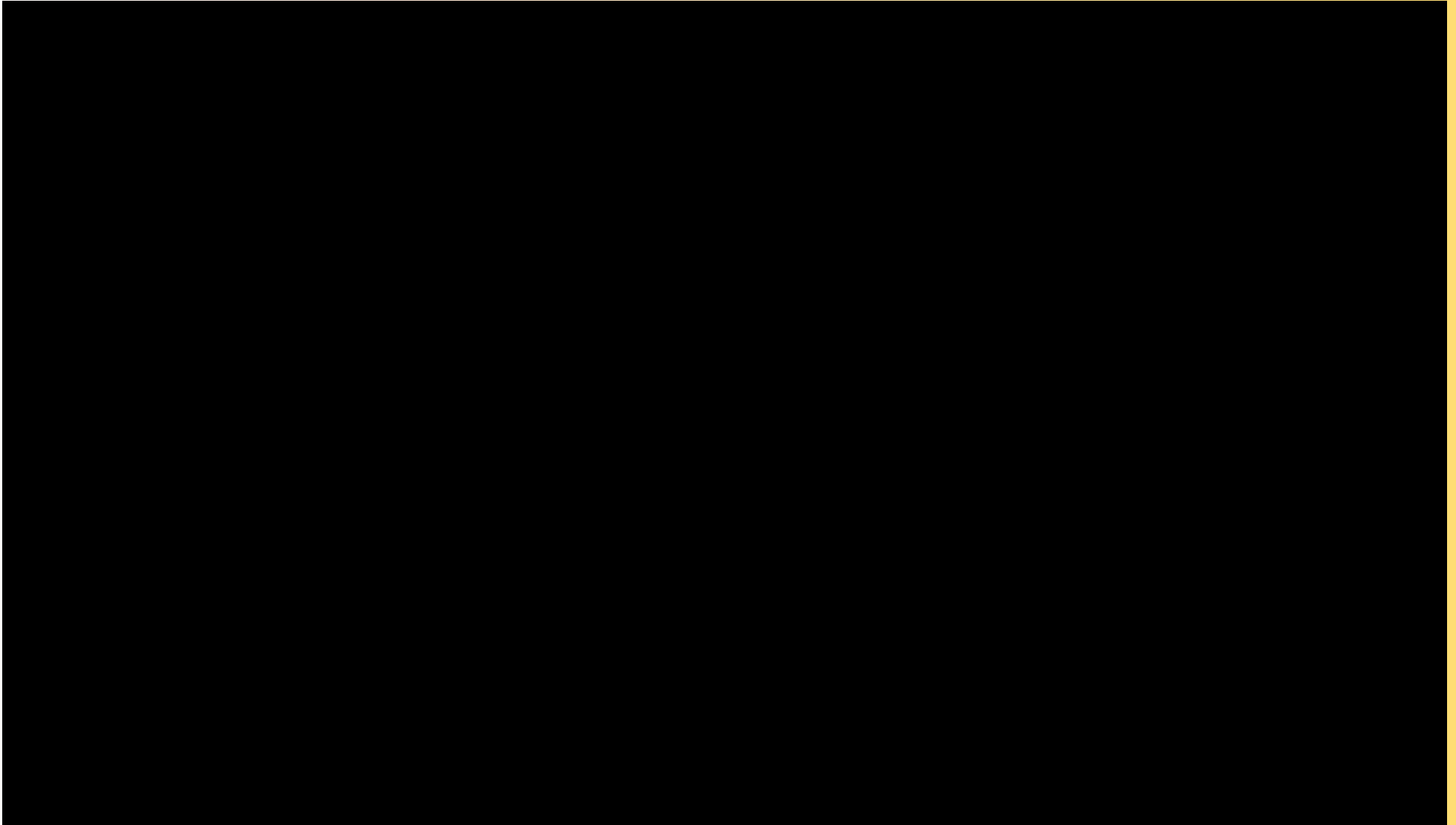
-Παραγωγή Βιοαερίου από διάφορα βιομάζας

Πρώτη ύλη	Απόδοση ζύμωσης (m ³ /kg στερεών ουσιών)	(%)	Περίοδος χώνευσης (ημέρες)
Άχυρο	0,35	78	24
Κορυφές πατάτας	0,53	75	6
Κορυφές καλαμποκιού	0,49	83	10
Φύλλα τεύτλων	0,46	85	4
Χόρτο	0,50	84	8
Ιλύς εγκαταστάσεων επεξεργ. αστικών λυμάτων	0,43	78	16
Απορρίμματα	0,61	62	12
Απόβλητα σφαγείων	0,45	70	20

Εργαστηριακές αποδόσεις σε θερμοκρασία 30°C



Αναερόβια Χώνευση της Βιομάζας





Εφαρμογές Αναερόβιας Χώνευσης

- Το κόστος επένδυσης και το κόστος κτήσης της πρώτης ύλης είναι οι δύο κρίσιμοι παράγοντες για τη βιωσιμότητα της μονάδας.
- Συνήθη μεγέθη για μεμονωμένες αγροτικές εγκαταστάσεις είναι 100-500 kWe.
- Η Γερμανία κατέχει ηγετικό ρόλο με 4.000 εργοστάσια παραγωγής βιοαερίου και παραγωγή 20MW στο δίκτυο. Η μεγαλύτερη μονάδα είναι στο Rekun, έχει δυναμικότητα 500 kWe και επεξεργάζεται 84000 t πολτού και καλαμπόκι.
- Υπήρχαν 284 εργοστάσια στην Αυστρία το 2008 (μέσο μέγεθος 260 kWe).
- Η Αγγλία διαθέτει 30 μονάδες.
- Μόνο η Σουηδία διαθέτει αγορά για οχήματα που κινούνται με βιοαέριο.
- Τέλος η Δανία διαθέτει Κεντρικά εργοστάσια αναερόβιας χώνευσης.



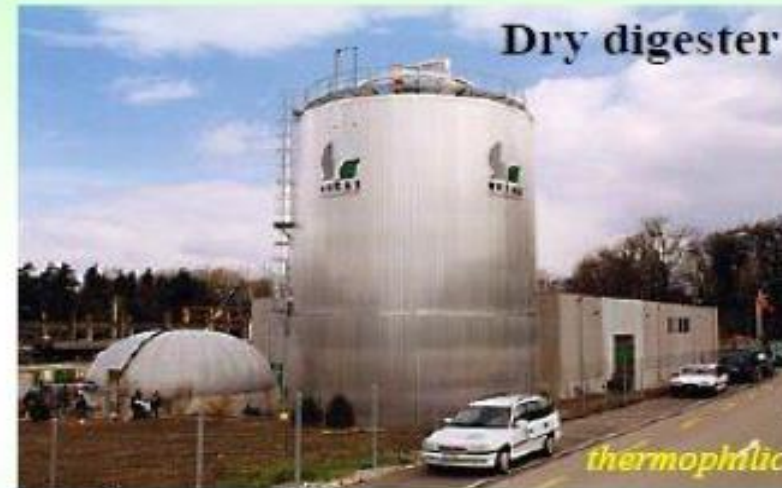
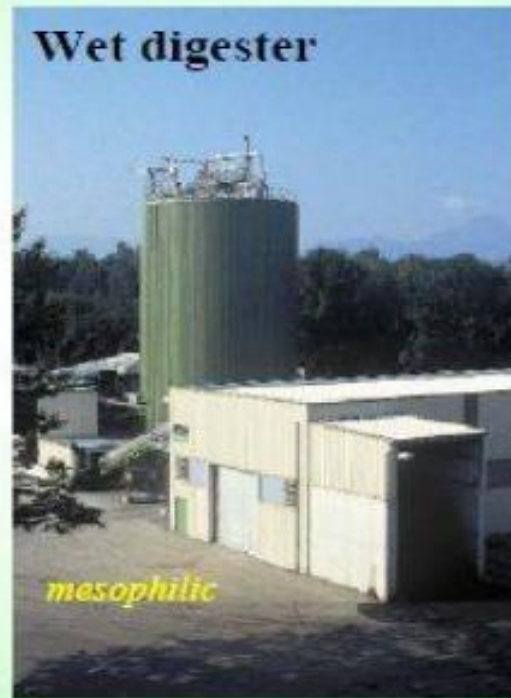
Βασικά Μεγέθη Αναερόβιας Χώνευσης

1 m ³ βιοαέριο	5,0 – 7,5 kWh _{σύνολο}
1 m ³ βιοαέριο	1,5 – 3,0 kWh _{el}
1 μονάδα ζώου	500 kg σωματικό βάρος
1 ha σοδειά καλαμποκιού	7.800-8.000 m ³ βιοαέριο
1 m ³ μεθανίου (CH ₄)	9,97 kWh
Βαθμός απόδοσης ΣΗΘ _{el}	30-45%
Βαθμός απόδοσης ΣΗΘ _{θερμότητα}	35-60%
Βαθμός απόδοσης ΣΗΘ _{σύνολο}	85%
Χρόνος λειτουργίας	7.500-8.000 ώρες/έτος
Κόστη επένδυσης	
• ΣΗΘ (Κινητήρας αερίου) 100 kW _{el}	900 €/kW _{el}
• ΣΗΘ (Κινητήρας αερίου) 250 kW _{el}	740 €/kW _{el}
• Αναερόβιος χωνευτής μέχρι 100 kW _{el}	5.000-3.000 €/kW _{el}
• Αναερόβιος χωνευτής 100-350 kW _{el}	3.000-2500 €/kW _{el}
Εργατικά	3-7 ώρες/kW _{el}



Αναερόβιοι Χωνευτές Βιομάζας

Instantly recognisable!





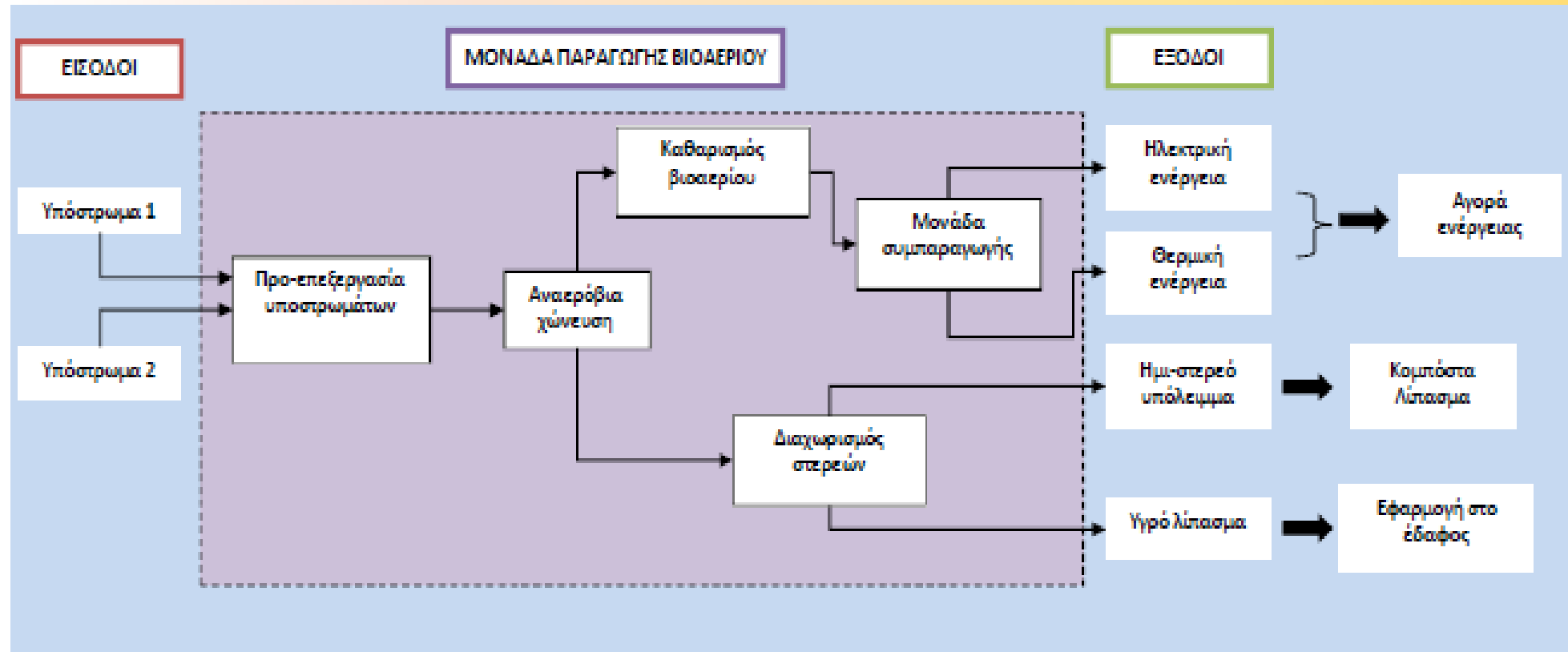
Αναερόβιοι Χωνευτές Βιομάζας



Σχήμα 4.8: Εικόνα μιας εγκατάστασης συγχώνευσης από τη Δανία (LEMVIG BIOGAS)

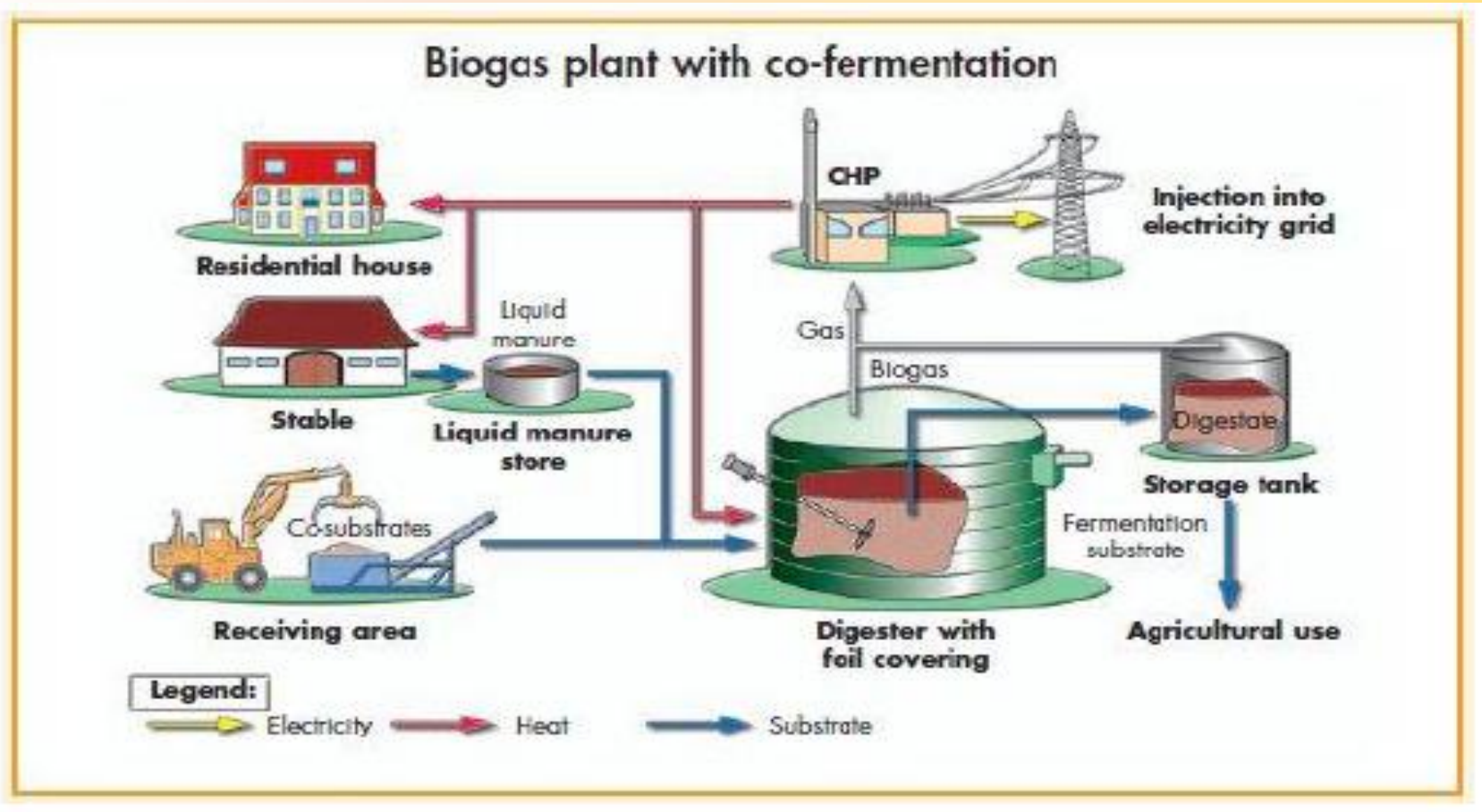


Σχηματική διάταξη μονάδας παραγωγής βιοαερίου





Σχηματική αξιοποίησης βιομάζας με αναερόβια χώνευση





Ζύμωση της Βιομάζας

-Τι είναι η ζύμωση?

Ζύμωση είναι μια διαδικασία που εφαρμόζεται σε εμπορική κλίμακα για την παραγωγή βιοαιθανόλης από τη ζύμωση σακχαρούχων (ζαχαροκάλαμο, ζαχαρότευτλα) και αμυλούχων καλλιεργειών (καλαμπόκι, σιτάρι). Η βιομάζα αλέθεται και το άμυλο μετατρέπεται από ένζυμα σε σάκχαρα και στη συνέχεια σε αλκοόλη. Η αλκοόλη καθαρίζεται από προσμίξεις με απόσταξη.

- Η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο κίνησης σε κινητήρες οχημάτων, ως έχει ή σε πρόσμιξη με βενζίνη.
- Ένας τόνος καλαμποκιού παράγει 450 λίτρα βιοαιθανόλης.
- Το στερεό υπόλειμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αγελαδοτροφή ή στην περίπτωση της βαγάσης να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη σε εργοστάσιο αεριοποίησης.
- Η τεχνολογία ζύμωσης των σακχάρων είναι σήμερα γνωστή και ανεπτυγμένη, ενώ εκείνη της ζύμωσης των κυτταρινών και ημικυτταρινών βρίσκεται υπό εξέλιξη.
- Η μετατροπή λιγνοκυτταρούχων ενώσεων είναι πιο πολύπλοκη λόγω της παρουσίας πολυσακχαριτών με μακρύτερες μοριακές αλυσίδες και απαιτεί την ενζυματική υδρόλυση για μετατροπή σε απλά σάκχαρα.



Στάδια Παραγωγής Αιθανόλης

- **Προετοιμασία πρώτης ύλης:** συγκομιδή, υποδοχή, αποθήκευση
 - **Φυσική προεπεξεργασία:** λειοτρίβηση
 - **Σακχαροποίηση:** μετατροπή αμύλου και κυτταρίνης σε ζάχαρη
 - **Χημική επεξεργασία:** αραίωση σακχάρων με νερό και προσθήκη ζύμης και άλλων οργανισμών
 - **Ζύμωση:** παραγωγή αιθανόλης σε υδατικό διάλυμα παρουσία αποβλήτων και παραπροϊόντων
 - **Απόσταξη:** Διαχωρισμός αιθανόλης, καθαρότητα 95-96%
 - **Αφυδάτωση:** Απομάκρυνσης νερού με μοριακά κόσκινα
 - **Προετοιμασία παραπροϊόντων:** ξήρανση του υπολείμματος για παραγωγή ζωοτροφών υψηλής θρεπτικής αξίας
- ✓ Θεωρητικά, 100 grams γλυκόζης παράγουν 51,4 g αιθανόλης και 48,8 g διοξείδιο του άνθρακα



Πρώτες Ύλες για την Παραγωγή Βιοαιθανόλης

Η αιθανόλη μπορεί να παραχθεί από οποιαδήποτε ύλη η οποία περιέχει σε σημαντικές ποσότητες σάκχαρα, άμυλο ή κυτταρίνη.

- Πρώτες ύλες 1ης γενιάς (Μικρό μέρος του φυτού είναι εκμεταλλεύσιμο)
 - Που περιέχουν σάκχαρα
Ζαχαροκάλαμο, Ζαχαρότευτλα, Γλυκό σόργο
 - Που περιέχουν άμυλο
Καλαμπόκι, Σιτάρι, Σπόροι σόργου, Κασάβα, Πατάτες
- Πρώτες ύλες 2ης γενιάς (χρησιμοποιείται όλο το φυτό)
 - Κυτταρινούχες
Δασικά υπολείμματα, Ενεργειακές καλλιέργειες (λεύκες, ιτιές, switchgrass), Γεωργικά απόβλητα (άχυρο, βαγάση, μίσχοι καλαμποκιού), Αστικά απόβλητα



Σύγκριση χαρακτηριστικών βιοαιθανόλης και βενζίνης

- Παρά το γεγονός ότι, το κόστος της βιοαιθανόλης είναι υψηλότερο εκείνου της βενζίνης, η χρήση της ως καύσιμου κίνησης αυξάνει συνεχώς ανά τον κόσμο, με προεξάρχουσες τη Βραζιλία και τις ΗΠΑ. Αυτό συμβαίνει διότι αφ' ενός η βιοαιθανόλη είναι καθαρότερο καύσιμο από περιβαλλοντικής πλευράς και αφ' ετέρου δίνει διέξοδο στα γεωργικά προβλήματα.
- Για τους λόγους αυτούς η παραγωγή και χρήση της βιοαιθανόλης παρουσιάζουν εξαιρετικά ευνοϊκές προοπτικές για το μέλλον.

	Πυκνότητα (kg/L)	Ιξώδες (mm ² /s)	Flashpoint °C	Θερμ/νος δύναμη (MJ/kg)	Θερμ/νος δύναμη (MJ/L)	Αριθμός οκτανίων	Ισοδυναμία καυσίμου
Βενζίνη	0.76	0.6	<21	42.7	32.45	92	1
Βιοαιθανόλη	0.79	1.5	<21	26.8	21.17	>100	0.65



Χαρακτηριστικά Πρώτης Ύλης

Βιομάζα	Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m ³)	Υγρασία	Θερμογόνος δύναμη (kWh/kg)	Διαθεσιμότητα	Τιμή πώλησης (€/τόνο)
Πυρηνόξυλο	650	20	5,28	Νοέμβριο-Μάρτιο	42-60
Κουκούτσια ροδάκινου	540	5	5,67	Ιούλιο - Αύγουστο	50
Θρυμματισμένο ξύλο	175-200	25	4,22	Όλο το χρόνο	30
Pellets	650	<10	4,72	Όλο το χρόνο	150-170
Άχυρόμπαλα	100	15	4,0	Ιούνιο - Αύγουστο	50
Πετρέλαιο θέρμανσης					0,7 €/λίτρο



Μηχανική παραγωγή βιοντίζελ

Η κύρια πρώτη ύλη είναι το rapeseed που καλλιεργείται κυρίως στην Ευρώπη, 85% της συνολικής παραγωγής, και ακολουθούν οι ηλιόσποροι, το φοινικέλαιο και οι σπόροι σόγιας.

-Η βιομηχανική διαδικασία παραγωγής περιλαμβάνει:

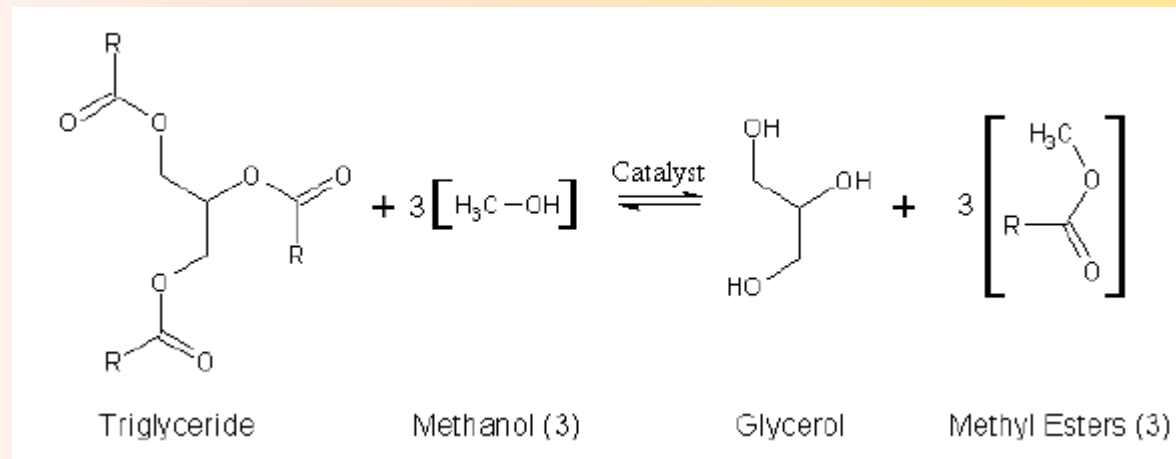
- Ξήρανση των σπόρων για μείωση της υγρασίας από 15% σε 9%
- Πλύσιμο των σπόρων και για ορισμένους σπόρους (π.χ. ηλιόσπορους) ξεφλούδισμα.
- Θραύση ή λειοτριβίση των σπόρων και ρύθμιση υγρασίας και θερμοκρασίας στους 80°C
- Πρεσάρισμα για εξαγωγή του ελαίου. Στο στάδιο αφαιρείται περίπου το 75% του περιεχόμενου ελαίου
- Το έλαιο υφίσταται φιλτράρισμα για καθαρισμό και αφυδάτωση και οδηγείται σε περαιτέρω εξευγενισμό για την παραγωγή PPO ή βιοντίζελ.
- Το στερεό υπόλειμμα, που περιέχει το 25% του συνολικού ελαίου, υφίσταται λειοτριβίση και στη συνέχεια με την προσθήκη εξανίου εξάγεται και το υπόλοιπο λάδι.
- Το εξάνιο απομακρύνεται από το παραγόμενο λάδι και επαναχρησιμοποιείται.
- Εξευγενισμό του παραγόμενου ελαίου με διαδικασίες αφαίρεσης των φωσφατιδίων, των οξέων του χρώματος των οσμών και της υγρασίας.
- Το τελικό προϊόν είναι το καθαρό φυτικό λάδι (PPO) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσιο ή να μετατραπεί σε βιοντίζελ με τη διαδικασία της μετεστεροποίησης ή αλκοόλυσης.



Μετεστεροποίηση ή αλκοόλυση για παραγωγή βιοντίζελ

-Τι είναι η μετεστεροποίηση?

Είναι η διαδικασία μετατροπής των τριγλυκεριδίων του λαδιού σε μεθυλεστέρες (Methylethyl ester) και επιτυγχάνεται με την προσθήκη μεθανόλης (θέρμανση μίγματος 80-90% λάδι και 10-20% μεθανόλη) παρουσία καταλύτη (ισχυρή βάση)





Παραγωγή Φυτικών Ελαίων και των Εστέρων τους από Βιομάζα

Υπάρχουν διάφορα δένδρα, οι καρποί των οποίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ελαίων, όπως π.χ. η ελιά.

-Από πού προέρχεται το βιολογικό ντίζελ ?

Εκτός από βρώσιμα, τα φυτικά έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη κίνηση οχημάτων μετά από κατάλληλη επεξεργασία, σαν υποκατάστατα του πετρελαίου ντίζελ. Το παραγόμενο προϊόν ονομάζεται υγρό βιολογικό καύσιμο (βιολογικό ντίζελ) και στην περίπτωση αυτή αναφερόμαστε στη χρήση των φυτικών ελαίων για παραγωγή ενέργειας.

- Οι περισσότερες γεωργικές φυτείες έχουν παραγωγικότητα 30-80 χλγ. ελαίου/στρέμμα. Υπάρχουν όμως δένδρα όπως ο φοίνικας στην Αφρική που έχουν αποδόσεις 300 περίπου χλγ. ελαίου/στρέμμα.
- Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη λήψη ελαίου από τους καρπούς είναι η ίδια είτε το λάδι χρησιμοποιείται για βρώσιμο είτε για καύσιμο.



Παραγωγή Φυτικών Ελαίων και των Εστέρων τους από Βιομάζα

Για τη λήψη των ελαίων από τους καρπούς χρησιμοποιούνται δύο είδη τεχνολογιών:

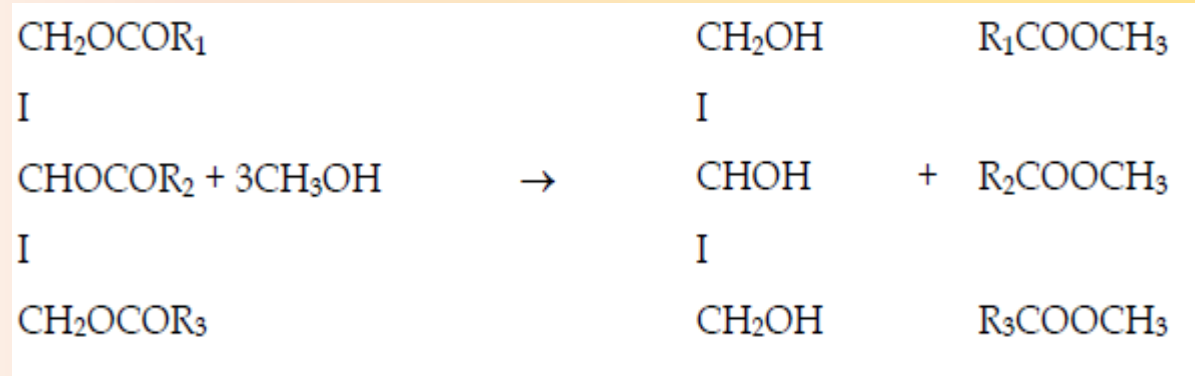
- Η πρώτη αφορά τη μηχανική συμπίεση των καρπών για τη λήψη των ελαίων, η οποία μπορεί να γίνει σε δύο στάδια για την επίτευξη καλύτερων αποδόσεων. Γενικά μικρές ποσότητες λαδιού παραμένουν στο υπόλειμμα που είναι δυνατόν να ληφθούν με εκχύλιση. Οι μονάδες παραγωγής λαδιού με συμπίεση μπορεί να είναι σχετικά μικρής δυναμικότητας και είναι απλής τεχνολογίας.
- Η δεύτερη αφορά την εκχύλιση του ελαίου από τους καρπούς με κάποιο διαλύτη συνήθως εξάνιο. Προηγουμένως έχει αφαιρεθεί η υγρασία από τους καρπούς και το υπόλειμμα που παραμένει περιέχει πολύ μικρές ποσότητες ελαίων. Η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής απαιτεί μονάδες με μεγαλύτερη δυναμικότητα από αυτές που το έλαιο λαμβάνεται με συμπίεση, ενώ η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία είναι πιο πολύπλοκη.



Παραγωγή Φυτικών Ελαίων και των Εστέρων τους από Βιομάζα

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

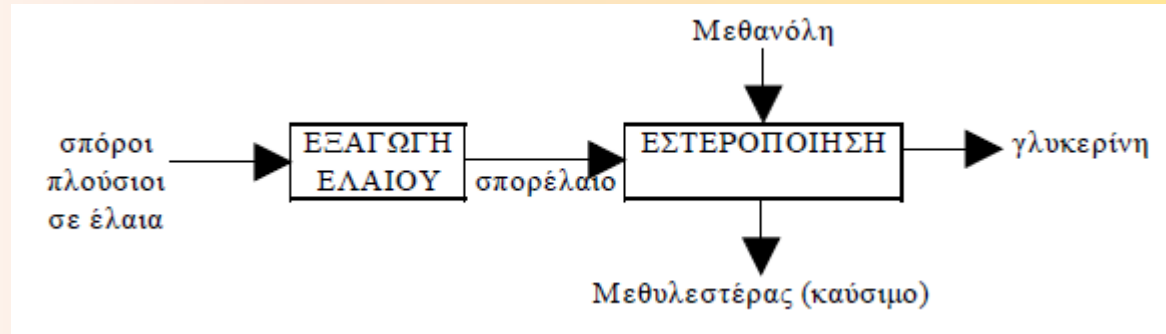
Εφόσον τα γλυκερίδια μετατραπούν σε εστέρες η συμπεριφορά τους σαν καύσιμο είναι καλύτερη. Η εστεροποίηση γίνεται με την αντίδραση των τριγλυκεριδίων με μεθανόλη ή αιθανόλη σύμφωνα με την πιο κάτω αντίδραση:



Η αντίδραση γίνεται σε ήπιες συνθήκες θερμοκρασιών 30-60°C παρουσία αλκαλικών ή όξινων καταλυτών.



Παραγωγή Φυτικών Ελαίων και των Εστέρων τους από Βιομάζα



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

Στην Ευρώπη χρησιμοποιείται ευρύτατα η ελαιοκράμβη (rape seed) που δίδει το κραμβέλαιο (rape seed oil) από το οποίο παράγεται βιοντίζελ. Στην Ελλάδα όμως δεν υπάρχουν ανάλογες καλλιέργειες. Πρόσφατα έχει διερευνηθεί και στην Ελλάδα η δυνατότητα παραγωγής βιοντίζελ από μεταχειρισμένα τηγανόλαδα. Ανάλογα εργοστάσια υπάρχουν σε ορισμένες χώρες όπου χρησιμοποιούν σαν πρώτη ύλη μεταχειρισμένα τηγανόλαδα που προέρχονται από:

- νοικοκυριά
- διάφορα εστιατόρια, ταχυφαγεία, κτλ.
- μεγάλους χώρους εστίασης



Παραγωγή Φυτικών Ελαίων και των Εστέρων τους από Βιομάζα

Εάν ληφθεί υπόψη ότι τα μεταχειρισμένα τηγανόλαδα δημιουργούν προβλήματα ρύπανσης κατά τη διάθεση τους στο περιβάλλον, η μετατροπή τους σε υγρό καύσιμο αποτελεί μία περιβαλλοντικά φιλική λύση.

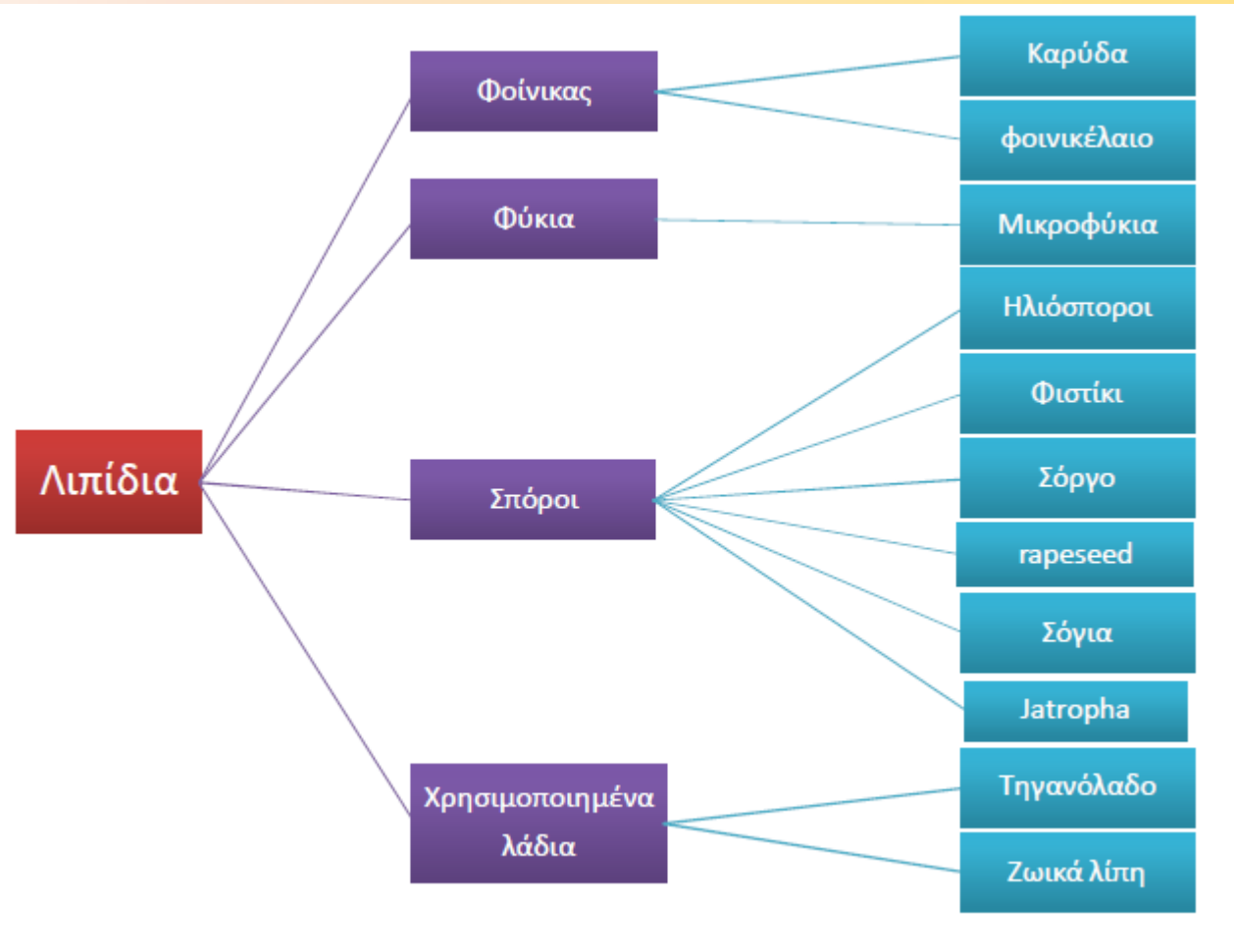
Δεδομένου ότι η Κρήτη αποτελεί ένα δημοφιλή τουριστικά προορισμό διερευνήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος ALTENER της Ε.Ε. η δυνατότητα συλλογής και επεξεργασίας των μεταχειρισμένων τηγανόλαδων και άλλων φυτικών ελαίων για παραγωγή βιολογικού ντίζελ στη Κρήτη. Εκτιμήθηκε ότι υπάρχει δυνατότητα συλλογής 2000 τόνων μεταχειρισμένων τηγανόλαδων ετησίως από διάφορους χώρους εστίασης τα οποία οδηγούνται για επεξεργασία σε ένα εργοστάσιο.

Ποιότητα βιοντίζελ που παράγεται από μεταχειρισμένα τηγανόλαδα

Παράμετρος	Αυστρία	EDIN 51606
πυκνότητα (g/ml)	0,878	0,875 - 0,9
ιξώδες (mm ² /s, 40 °C)	5,11	3,5-5
αριθμός κετανίου ---	50,8	>49
ολικές ακαθαρσίες (mg/Kg)	15,7	<20
στάκτη θείου (%)	0,008	<0,03
αριθμός ιωδίνης (%)	101	115

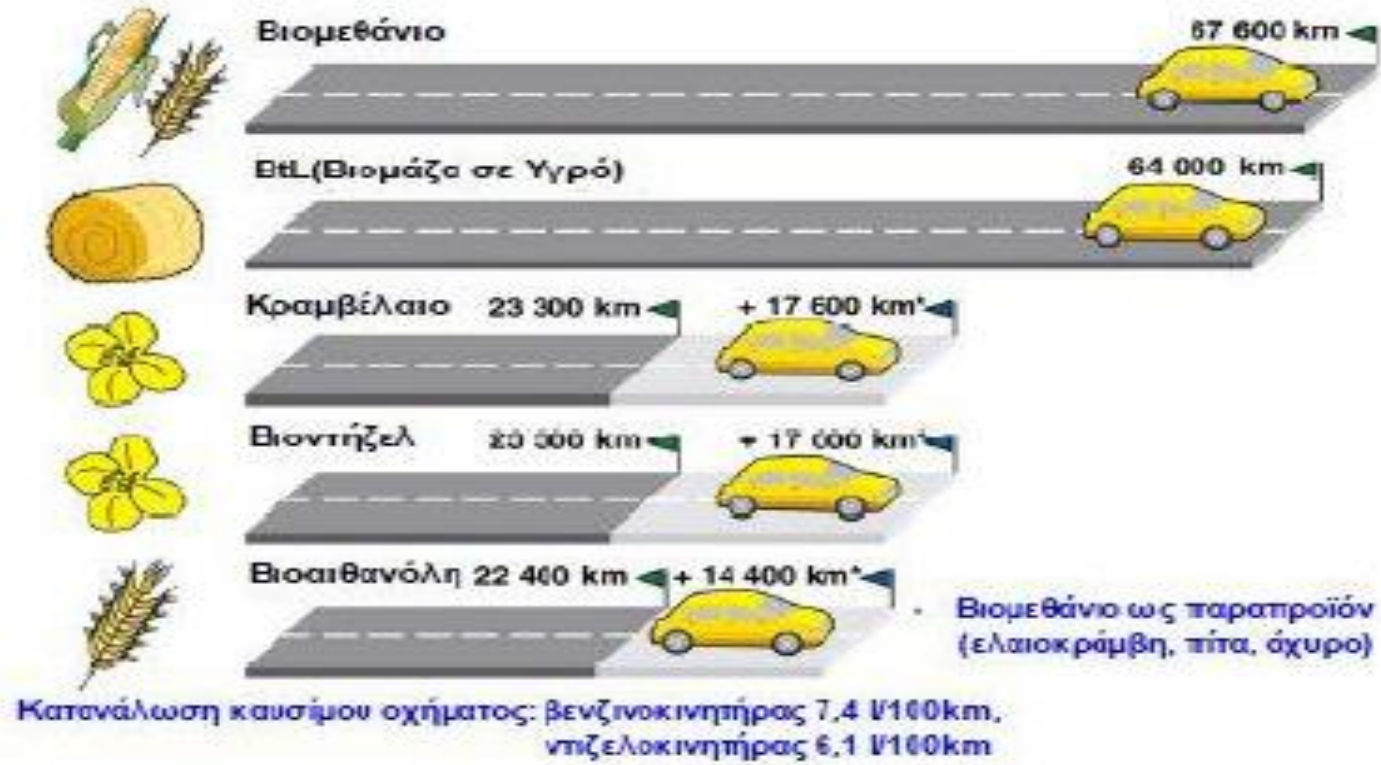


Τύποι και ταξινόμηση καλλιεργειών για παραγωγή βιοντίζελ





Ενεργειακή σύγκριση διαφόρων βιοκαυσίμων





Λέβητας Βιομάζας





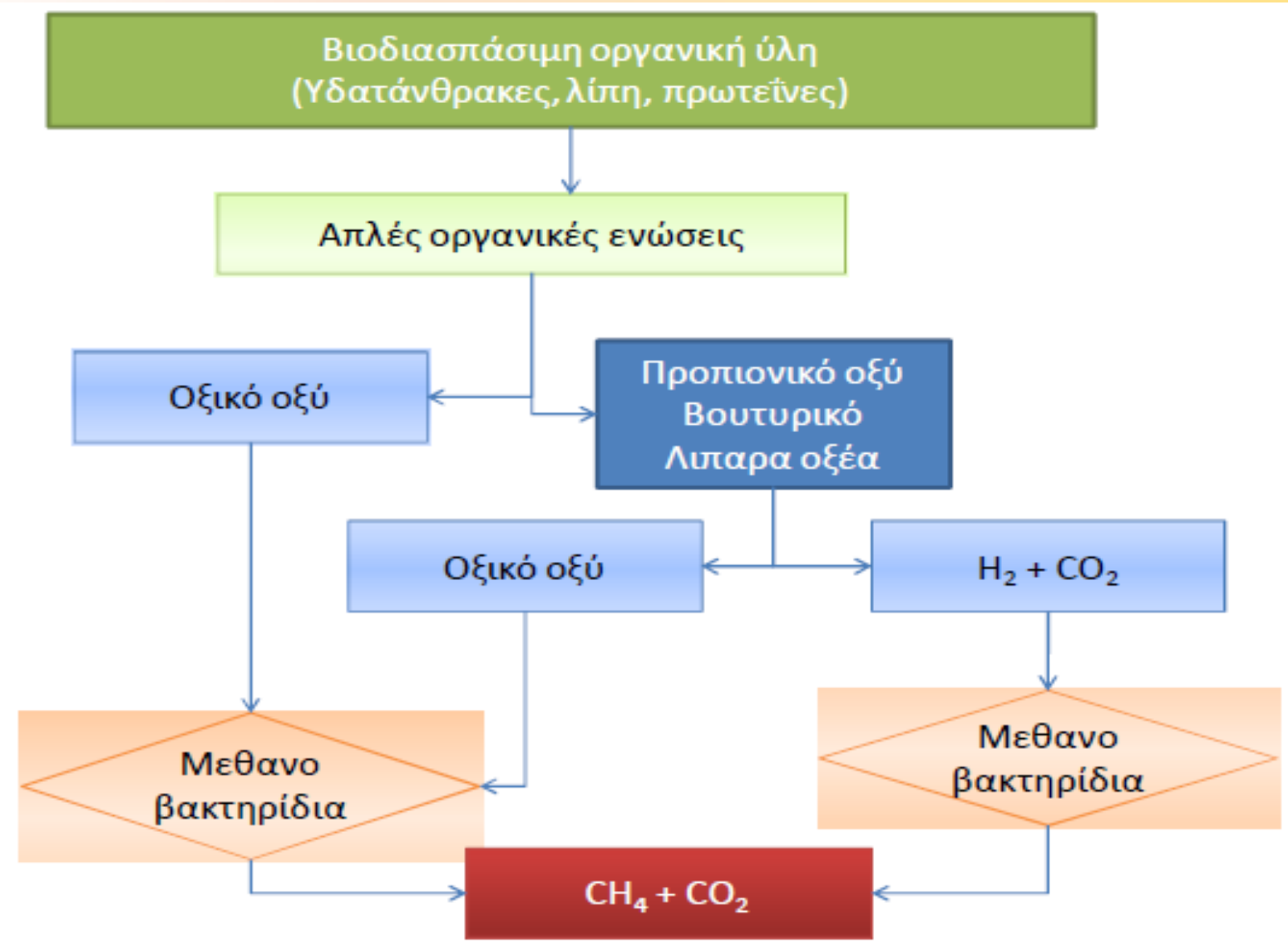
Σύγκριση χαρακτηριστικών ντίζελ, PPO και βιοντίζελ

	Πυκνότητα (kg/L)	Ιξώδες (mm ² /s)	Flashpoint °C	Θερμ/νος δύναμη (MJ/kg)	Θερμ/νος δύναμη (MJ/L)	Αριθμός δεκανίων	Ισοδυναμί α καυσίμου
Ντίζελ	0.84	5	80	42.7	35.87	50	1
PPO	0.92	74	317	37.6	34.59	40	0,96
Βιοντίζελ	0.88	7.5	120	37.1	32.65	56	0,91
BtL	0.76	4	88	43.9	33.45	>70	0,97



Συνθετικά καύσιμα, BtL

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





Δυναμικό Παραγωγής Βιομεθανίου στην Ευρώπη

Προέλευση	Συνολικό δυναμικό βιομεθανίου (m ³ x 10 ⁹)	Ποσοστό αξιοποίησης μέχρι το 2020	Πραγματικό δυναμικό βιομεθανίου (m ³ x 10 ⁹)	Ενέργεια (Mtoe)
Γεωργία	58,9	62%	36,4	31,3
Ενεργειακές καλλιέργειες (5% των αρδευόμενων εκτάσεων)	27,2	100%	27,2	23,4
Γεωργικά υπολείμματα	31,7	28%	9,2	7,9
• άχυρο	10	5%	0,5	0,4
• Κτηνοτροφικοί πολτοί	20,5	35%	7,2	6,0
• κλαδέματα, κλπ	1,2	40%	0,5	0,4
Απόβλητα	19,0	50%	9,5	8,2
Ζυμώσιμο κλάσμα απορριμμάτων	10	40%	4,0	3,4
Ζυμώσιμο κλάσμα αποβλήτων	3,0	50%	1,5	1,3
Λυματολάσπη	6,0	66%	4,0	3,4
Σύνολο	77,9	59%	45,9	39,5



Παραγωγή βιοαερίου από διάφορα υποστρώματα

Τύπος	Οργανικές Ενώσεις	C:N	DM %	VS % DM	Βιοαέριο μ3/kg VS
Απόβλητα χοιροσασίων	Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	3-10	3-8	70-80	0,25-0,50
Απόβλητα βουσασιών	Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	6-20	5-12	80	0,20-0,030
Απόβλητα πτηνοτροφείων	Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	3-10	10-30	80	0,35-0,60
Εντόσθια	Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	3-5	15	80	0,40-0,68
σιτάρι	75-80% λακτόζη 20-25% πρωτεΐνες		8-10	90	0,35-0,80
Ζύμες	Υδατάνθρακες	4-10	1-5	80-95	0,35-0,78
Άχυρο	Υδατάνθρακες, λιπίδια	80-100	70-90	80-90	0,15-0,35
Χλόη		12-25	20-25	90	0,55
Απόβλητα φρουτοποιίας		35	15-20	75	0,25-0,50
Υπολείμματα τροφίμων			10	80	0,50-0,60



Παραγωγή βιοαερίου και ποσοστό μεθανίου διαφόρων υποστρωμάτων

