



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Σχεδιασμός και Λειτουργία Συστημάτων ΑΠΕ

ΔΙΑΛΕΞΗ 10: Συστήματα Βιομάζας

Δρ. Τριανταφυλλιά Νικολάου

Ορισμός βιομάζας

Σύμφωνα με την ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ:

«βιομάζα»: το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων βιολογικής προέλευσης από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τους συναφείς κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών αποβλήτων και των οικιακών απορριμμάτων



ΒΙΟΜΑΖΑ

- Ο όρος **βιομάζα** χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει:
- **α)** Τα υλικά ή τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυσικής, ζωικής δασικής και αλιευτικής παραγωγής
- **β)** Τα υποπροϊόντα τα οποία προέρχονται από τη βιομηχανική επεξεργασία των υλικών αυτών
- **γ)** Τα αστικά λύματα και σκουπίδια
- **δ)** Τις φυσικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα π.χ, αυτοφυή φυτά δάση είτε από τεχνητές φυτείες αγροτικού ή δασικού τύπου

Η βιομάζα είναι ΑΠΕ γιατί, όποια κατεργασία και αν υποστεί, κατά την καύση της, το διοξείδιο του άνθρακα που εκλύει είναι ακριβώς ίσο με το διοξείδιο του άνθρακα που δέσμευσε από την ατμόσφαιρα το φυτό για να αναπτυχθεί (το σύνολο του άνθρακα που περιέχει ένα φυτό προέρχεται από την ατμόσφαιρα).

Ακόμη και η βιομάζα μη φυτική προέλευσης (ζωικά και αστικά απόβλητα) περιέχουν άνθρακα από το μεταβολισμό της φυτικής ύλης που κατανάλωσε ο οργανισμός ως τροφή. Από τα αστικά απορρίμματα βιομάζα θεωρούνται μόνο εκείνα φυτικής ή ζωικής προέλευσης (υπολείμματα τροφών, χαρτί, προϊόντα ξύλου).

■ Πως μετατρέπουμε την ενέργεια ξηρής βιομάζας σε ισοδύναμο πετρέλαιο: Η ξηρή βιομάζα (0% υγρασία) έχει ενέργεια 4000 kcal/kg. Το πετρέλαιο έχει ενέργεια 10000 kcal/kg. Συνεπώς ο συντελεστής **0.4** μετατρέπει την ενέργεια ξηρής βιομάζας σε ισοδύναμη ενέργεια πετρελαίου.

Πηγές βιομάζας

Γεωργικά/δασικά υπολείμματα



Υπολείμματα γεωργικών/
δασικών βιομηχανιών



Ζωικά/αστικά λύματα



Ενεργειακές καλλιέργειες



Ομάδες βιολογικής ύλης

- Φυσική
- Ζωική
- Μικροβιακή

Ομάδες συστατικών

- Υδατάνθρακες
- Πρωτεΐνες
- Λίπη

■ Η ενεργειακή αξία των υδατανθράκων και πρωτεϊνών είναι **3500 kcal/kg**

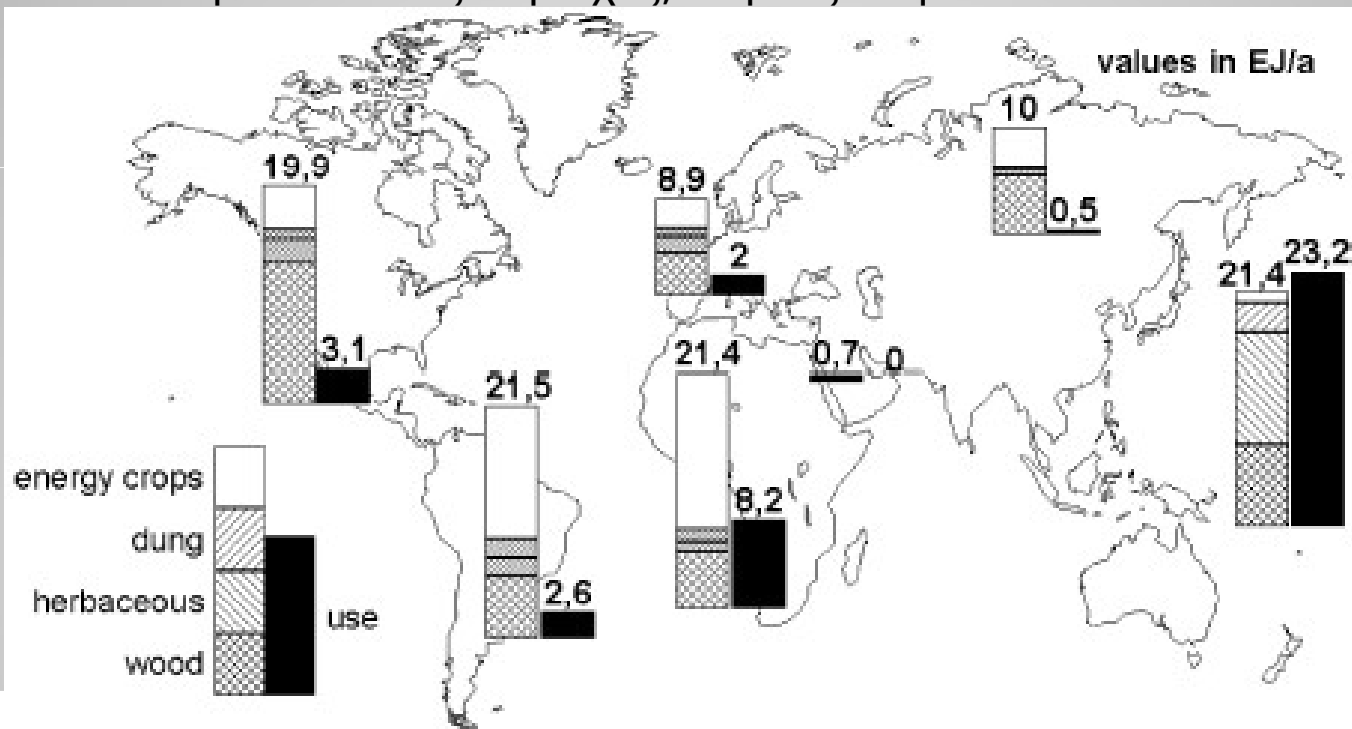
■ Ο ρόλος του λίπους είναι η αποθήκευση ενέργειας (**9000 kcal/kg**).

Περιγραφή καυσίμου

- Μέτρια θερμογόνο δύναμη.
- Συστατικά: C (40%), H (5%), O (50%), S. Στη βιολογική ύλη το S δεν υπάρχει
- Τέφρα. Είναι πολύ σημαντική, προέρχεται από χώμα, και η περιεκτικότητά της είναι 5% και πάνω.
- Το 40% του C είναι κυρίως πτητικός.

Η χρήση της βιομάζας σήμερα

- για ενέργεια: 14% περίπου της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας
- στις αναπτυσσόμενες χώρες η βιομάζα καλύπτει μέχρι το 1/3 των ενεργειακών αναγκών
- παρέχει το ανώτερο 3% της ενέργειας στις βιομηχανοποιημένες χώρες
- η ποσότητα της βιομάζας που χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο είναι πολύ χαμηλότερη από τη δυναμική της στις περισσότερες περιοχές
- Παρόλα αυτά, η χρήση φαίνεται να υπερβαίνει την υποστηρικτική κατανάλωση σε κάποιες περιοχές, κυρίως στην Ασία.



Ποσότητα της βιομάζας που χρησιμοποιείται και η δυναμική της στις περισσότερες περιοχές του κόσμου

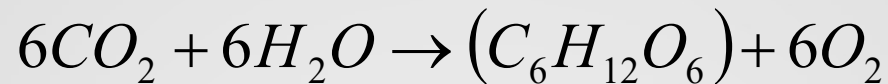
ΒΙΟΜΑΖΑ

Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

- Βασικό πλεονέκτημα της βιομάζας είναι ότι είναι ΑΠΕ και ότι παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη με μορφή χημική.
- Η αξιοποίησή της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων, με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας.
- Κατά την παραγωγή και την μετατροπή της δεν δημιουργούνται περιβαλλοντικά προβλήματα.
- Χαρακτηρίζεται από πολυμορφία, χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο (σε σύγκριση με πετρέλαιο, κάρβουνο) λόγω χαμηλής πυκνότητας και/ή υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, εποχικότητα, μεγάλη διασπορά, κτλ.
- Δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευσή της.
- Το κόστος μετατροπής της σε μορφές ενέργειας πιο κατάλληλες για εύκολη και πλατιά χρησιμοποίηση παραμένει αρκετά υψηλό.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

- **Η βιομάζα είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια.** Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι το νερό και ο άνθρακας που είναι άφθονα στη φύση.
- **Φωτοσύνθεση:**
- Τα φυτά μετασχηματίζουν την **ηλιακή ενέργεια** με μια σειρά διεργασιών. Οι βασικές πρώτες ύλες για αυτό είναι το νερό και το CO₂, που αφθονούν στη φύση
- Οι θεμελιώδεις αντιδράσεις πραγματοποιούνται στους χλωροπλάστες, οι οποίοι συλλαμβάνουν τα φωτόνια και στη συνέχεια ενεργοποιούν τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης που ανάγει το CO₂ σε υδατάνθρακες
- Οι αντιδράσεις αυτές συνοδεύονται από έκλυση O₂ με παράλληλη μείωση της περιεκτικότητας του κυττάρου σε CO₂



γλυκόζη (βιολογική
ύλη)
3500 kcal/kg

Κατηγορίες Βιομάζας

- Η πολυμορφία της βιομάζας μας υποχρεώνει να κάνουμε κάποιου είδους ταξινόμηση των διάφορων μορφών της που να βοηθά στην καλύτερη εξέτασή της.
- Με βάση την πηγή προέλευσης οι βασικότερες κατηγορίες βιομάζας είναι οι παρακάτω.
 - α) Κτηνοτροφικά απόβλητα
 - β) Γεωργικά παραπροϊόντα
 - γ) Δασική βιομάζα
 - δ) Αστικά απορρίμματα

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ - Μέθοδοι ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας

- 1) Θερμοχημικές διεργασίες
 - 2) Βιολογικές διεργασίες
 - 3) Χημικές διεργασίες
-
- Η επιλογή της μεθόδου μετατροπής προσδιορίζεται από τη σχέση C/N, την περιεχόμενη υγρασία των υπολειμμάτων και την ώρα της συλλογής

ΤΡΟΠΟΙ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ ΕΙΔΩΝ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

ΤΥΠΟΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ

ΔΑΣΙΚΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ
ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΓΕΩΡ.ΒΙΟΜ/ΝΙΑΣ
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΔΑΣΙΚΗΣ ΒΙΟΜ/ΝΙΑΣ
ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΡΙΜΜΑΤΑ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜ.
& ΒΙΟΜ.ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ
ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΡΙΜΜΑΤΑ

ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΒΙΟΜ.
& ΒΙΟΜ.ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΓΕΩΡΓΙΚΟ ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΩΡΙΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ
ΚΟΝΙΟΠΟΙΗΣΗ
ΠΥΚΝΩΣΗ
ΠΥΡΟΛΥΣΗ
ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΖΥΜΩΣΗ

ΑΛΚΟΟΛΙΚΗ ΖΥΜΩΣΗ
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ

ΧΡΗΣΗ

ΚΑΥΣΗ
ΣΕ
ΕΣΤΙΑ

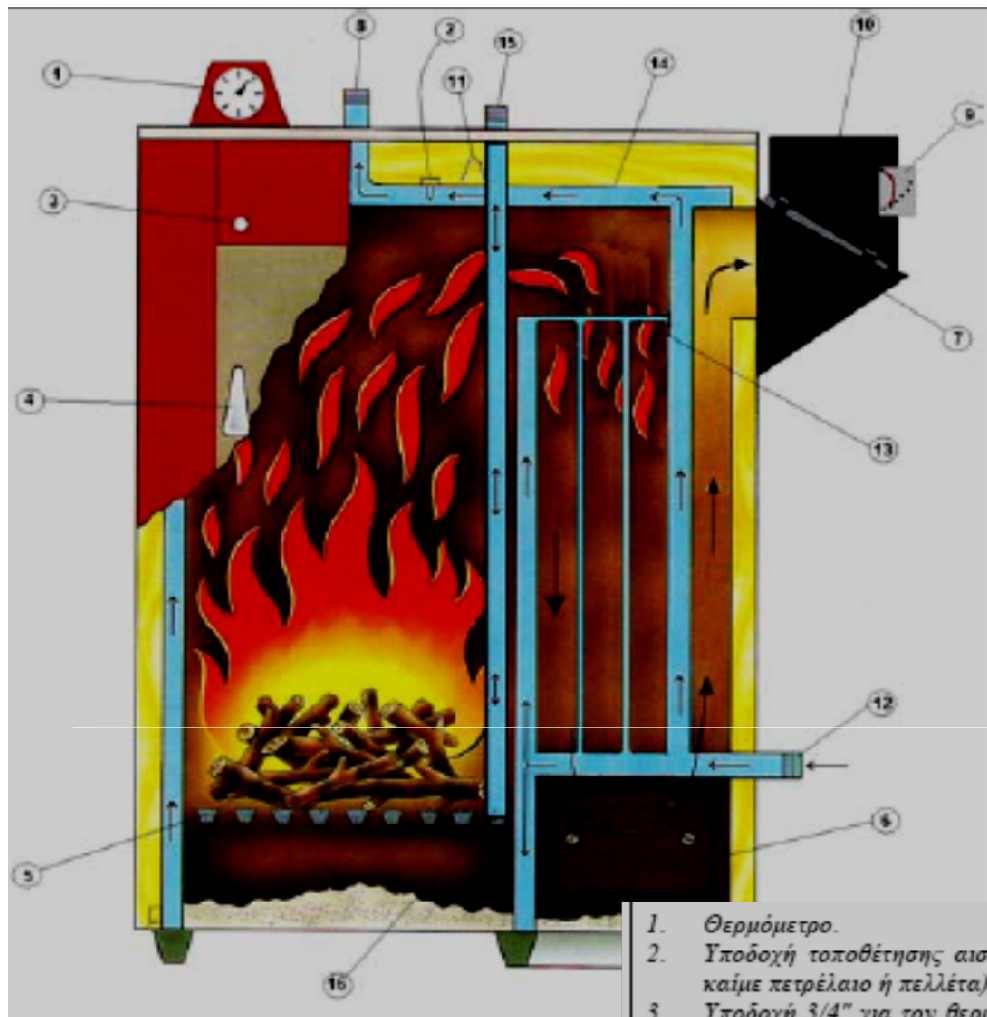
ΚΑΥΣΗ
ΣΕ
ΚΙΝΗΤΗΡΑ

1. Θερμοχημικές διεργασίες

- Οι θερμοχημικές διεργασίες περιλαμβάνουν αντιδράσεις, που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, για διαφορετικές συνθήκες οξείδωσης, χρησιμοποιούνται για τα είδη της βιομάζας με σχέση $C/N < 30$ και υγρασία $> 50\%$.
- Στις διεργασίες αυτές περιλαμβάνονται:
 - α) Η απευθείας καύση ή άμεση καύση
 - β) Η πυρόλυση (θέρμανση απουσία αέρα). Με αυτή τη διεργασία μας δίνεται η δυνατότητα να «σπάσουμε» τη χρησιμοποίηση της βιομάζας από την παραγωγή ενέργειας
 - γ) Η αεριοποίηση
 - δ) Η υδρογονοδιάσπαση

A) Άμεση καύση βιομάζας

- Η καύση είναι η απλούστερη, και η παλαιότερη, από τις θερμοχημικές διεργασίες.
- Επιτυγχάνεται σε θερμοκρασίες 350°C - 800°C και παρέχει θερμότητα που στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ατμού, κινητικής ενέργειας ή τελικά ηλεκτρικής ενέργειας.
- Στην καύση εκτός από τα καυσόξυλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα γεωργικά παραπροϊόντα - άχυρα, καλάμια, κλαδοδέματα- καθώς και τα παραπροϊόντα των βιομηχανιών κατεργασίας ξύλου.
- Κατά την καύση του ξύλου δεν παράγεται σχεδόν καθόλου διοξείδιο του θείου, παράγονται όμως σε μεγαλύτερα επίπεδα άλλοι αέριοι ρύποι, όπως μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, άκαυστοι αέριοι υδρογονάνθρακες και σωματίδια.
- Η απόδοση της καύσης βιομάζας κυμαίνεται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα. Στα παραδοσιακά τζάκια η απόδοση είναι 5-25%, ενώ σε εστίες βιομηχανικού τύπου φτάνει το 80%.



Λέβητας ξύλου για άμεση καύση βιομάζας

1. Θερμόμετρο.
2. Υποδοχή τοποθέτησης αισθητηρίων προαιρετικού πίνακα οργάνων (π.χ. χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που καίμε πετρέλαιο ή πελλέτα)
3. Υποδοχή 3/4" για τον θερμοστάτη ελέγχου αέρος (θερμοστατικός ρυθμιστής διαφράγματος αέρα) 12.Επιστροφή νερού
4. Χερούλι επάνω πόρτας από πλαστικό ασφαλείας.
5. Μαντεμένια σχάρα συγκράτησης καύσης ξύλων, διαρρέουσα σε 2 τεμάχια
6. Πόρτα καθαρισμού στάχτης 2ης και 3ης διαδρομής.
7. Καμινάδα ρυθμιζόμενης κατεύθυνσης εξόδου
8. Διάφραγμα ρύθμισης ελκυσμού καπνοδόχου.
9. Στόμιο εξόδου καμινάδας σε Φ250 ή Φ300.
10. Σημείο ανάρτησης λέβητα.
11. Εξόδος ζεστού νερού προς δίκτυο θέρμανσης ή δοχείο αδρανείας ή boiler
12. Κάθετοι αεραυλοί 2ης διαδρομής καυσαερίων
13. Καπάκι καθαρισμού αεραυλών με μόνωση
14. Υποδοχή σύνδεσης θερμοστατικής βαλβίδας ασφαλείας (προαιρετικά)
15. Είσοδος κρύου νερού συστήματος υδρόψυξης (προαιρετικά)
16. Υποδοχή γεμίσματος / αδειάσματος λέβητα

B) Πυρόλυση Βιομάζας (1)

- Η πυρόλυση είναι η μη αντιστρεπτή χημική μεταβολή που προκαλείται στη βιομάζα με θέρμανση απουσία οξυγόνου.
- Κατά τη διαδικασία αυτή διασπώνται χημικοί δεσμοί και λαμβάνονται προϊόντα υψηλού ενεργειακού περιεχόμενου που μπορεί να είναι στερεά, υγρά ή αέρια.
- Η πυρόλυση γίνεται μέσα σε φούρνο υπό πίεση λίγο μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική και θερμοκρασία 500°C για την παραγωγή υγρού (βιοελαίου) ή μέχρι 700°C για την παραγωγή κυρίως βιοαερίου και βιοάνθρακα.
- Η θερμογόνο δύναμή τους είναι περίπου: βιοάνθρακας 6.000 kcal/kg (25 MJ/kg), βιοέλαιο 6.500 kcal/kg (27 MJ/kg) και βιοαέριο 10 kcal/lt (42 kJ/lt).

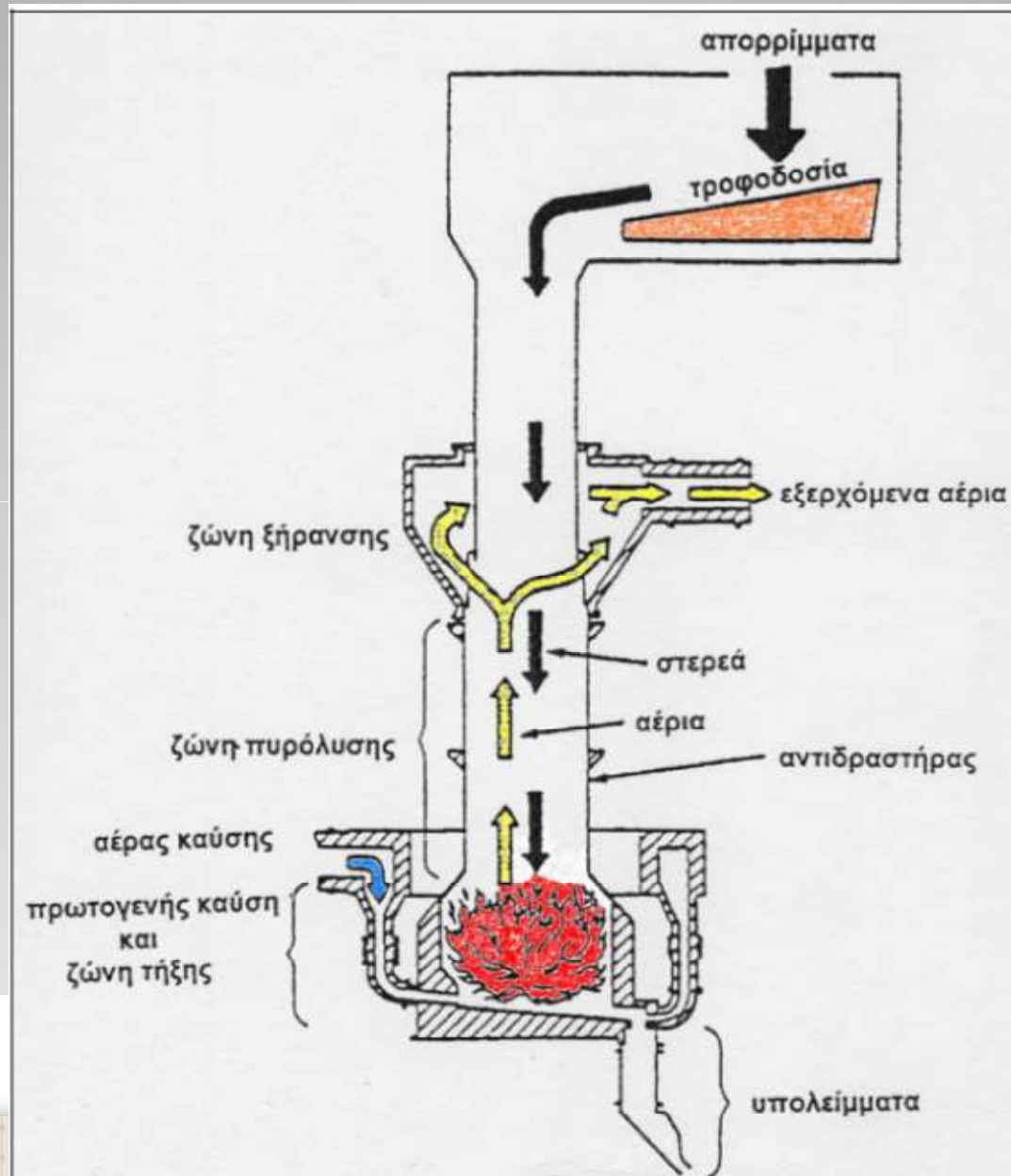
B) Πυρόλυση Βιομάζας (2)

- Υπάρχουν διάφοροι τύποι **φούρνων πυρόλυσης**:
 - κατακόρυφοι (vertical shaft),
 - οριζόντιοι (horizontal shaft),
 - περιστροφικοί (rotary kilns) και
 - ρευστοποιημένης κλίνης (fluidized beds).
- Πιο οικονομικός θεωρείται ο κατακόρυφος, στον οποίο η πρώτη ύλη προσάγεται από την κορυφή και κατακάθεται με την βαρύτητα.
- Τα αέρια από την πυρόλυση συγκεντρώνονται στην κορυφή του φούρνου και, αφού περάσουν από οξέα και αλκάλια για να απαλλαγούν από ανεπιθύμητες προσμίξεις, απάγονται με αγωγό προς το αεροφυλάκιο. Τα στερεά και υγρά προϊόντα συλλέγονται στον πυθμένα του φούρνου.
- Σε βιομηχανική κλίμακα έχουν παραχθεί άνθρακας και μεθανόλη με αποδόσεις 37% και 2%, αντίστοιχα, επί της πρώτης ύλης.

B) Πυρόλυση Βιομάζας (3)

- Η πυρόλυση είναι παλιά τεχνική που χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν κύρια για την παραγωγή ξυλοκάρβουνου και μεθανόλης.
- Είναι πολύ ελαστική διαδικασία και μπορεί να εφαρμοστεί στη δασική βιομάζα, στα αγροτικά υπολείμματα και στα αστικά στερεά απόβλητα.
- Παρέχει τη δυνατότητα παρασκευής πολλών καυσίμων από μια ποικιλία πρώτων υλών, αλλά έχει και μια σειρά μειονεκτήματα, όπως η αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης των προϊόντων της και η μείωση του χρόνου ζωής των δοχείων λόγω του συνδυασμού υψηλών θερμοκρασιών και διαβρωτικών προϊόντων.

Κατακόρυφη μονάδα πυρόλυσης



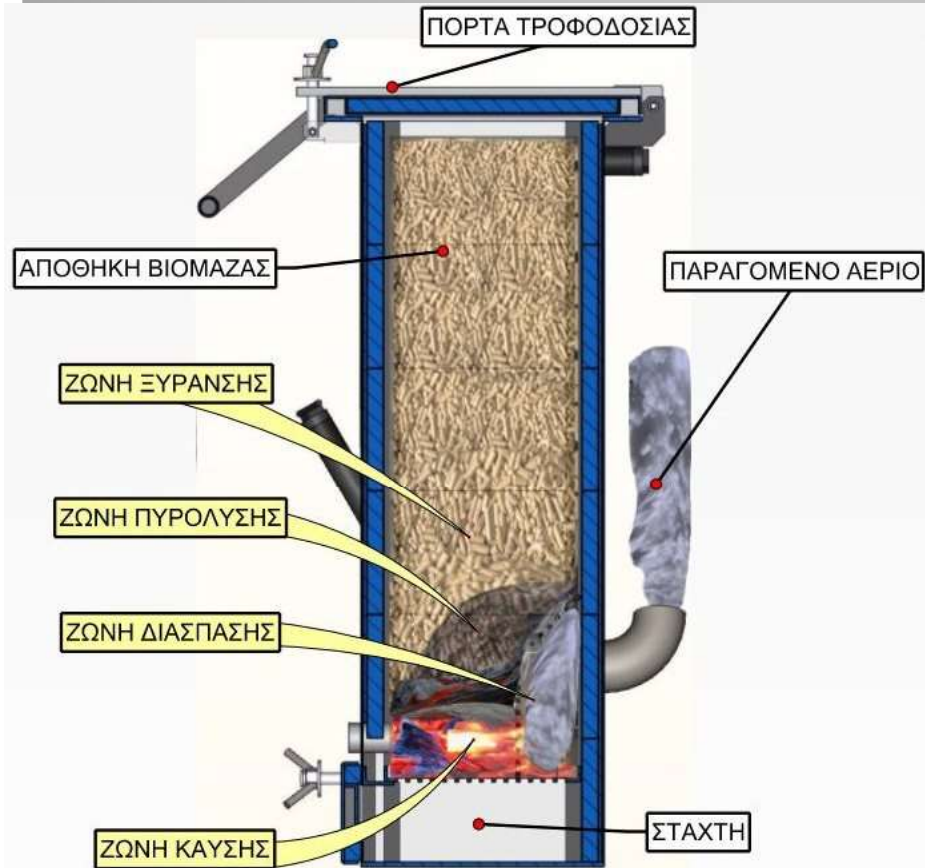
Γ) Αεριοποίηση (1)

- Με την αεριοποίηση επιδιώκεται η μετατροπή της βιομάζας σε αέριο. Κατά την αεριοποίηση, σε αντίθεση απ' ότι στην πυρόλυση, η βιομάζα θερμαίνεται παρουσία περιορισμένων ποσοτήτων οξυγόνου ή αέρα με σκοπό την μέγιστη απελευθέρωση CO και H₂.
- Το μίγμα CO και H₂ είναι γνωστό σαν αέριο σύνθεσης (SNG).
- Όταν για την αεριοποίηση χρησιμοποιείται οξυγόνο τότε το παραγόμενο μίγμα δεν περιέχει άζωτο και η θερμογόνο δύναμή του είναι περίπου 2.950 kcal/m³ (12.360 kJ/m³). Όταν για την αεριοποίηση χρησιμοποιείται αέρας, το παραγόμενο μίγμα αερίων περιέχει περίπου 40% N₂ και έχει μειωμένη θερμογόνο δύναμη, 1.700 kcal/m³ (7.120 kJ/m³), γι' αυτό ονομάζεται και φτωχό αέριο.
- Μπορούμε να πούμε ότι σήμερα η αεριοποίηση δεν παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον από ενεργειακή άποψη. Συνήθως επιδιώκεται η μετατροπή του αερίου σύνθεσης σε πιο χρήσιμο προϊόν, όπως μεθανόλη, αμμωνία ή SNG.

Γ) Αεριοποίηση (2)

- Η αεριοποίηση της βιομάζας μετατρέπει τη **βιομάζα** σε ένα χαμηλής έως μέτριας θερμογόνου ικανότητας **αέριο καύσιμο**
- Το καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για **απευθείας παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού** με άμεση καύση σε Μ.Ε.Κ. και ύστερα με οδήγηση του καυσαερίου σε στροβίλους ή καύση απευθείας σε λέβητες μετά από κατάλληλο καθαρισμό. Εναλλακτικά, το παράγωγο αέριο μπορεί να **αναμορφωθεί** για να παράγει καύσιμα όπως μεθανόλη και υδρογόνο τα οποία έπειτα να χρησιμοποιηθούν σε κυψέλες καυσίμου ή μικροστροβίλους
- Πρόσφατες δραστηριότητες αεριοποίησης έχουν εστιάσει στα συστήματα **ρευστοποιημένης κλίνης** συμπεριλαμβανομένου και των **συστημάτων ανακύκλωσης της άμμου της ρευστοποιημένης κλίνης**
- Μεγαλύτερα συστήματα στα οποία η αεριοποιημένη βιομάζα καίγεται και οδηγείται – το καυσαέριο- διαδοχικά σε στροβίλους αερίου και στην συνέχεια σε λέβητα ανάκτησης θερμότητας **H.R.S.G** από τον οποίο εκμεταλλευόμαστε τον παραγόμενο ατμό και τον εκτονώνουμε σε ατμοστρόβιλο (όλο το σύστημα ονομάζεται **BICT/CC**) είναι σε πειραματικό στάδιο και μπορούν να οδηγήσουν σε βαθμούς απόδοσης έως και 50%

Γ) Αεριοποίηση (3)



Τι είναι ο Αεριοποιητής βιομάζας:

Είναι ένας φούρνος εντός του οποίου τοποθετείται η βιομάζα και ένα μέρος της χρησιμοποιείται για την θέρμανση του φούρνου ο οποίος την αεριοποιεί.

Ο Αεριοποιητής μας χαρακτηρίζεται από :

-Καύση με σταθερή κλίνη

-Οριζόντια (Crossdraft) αεριοποίηση

Η διαδικασία αεριοποίησης περιλαμβάνει τις φάσεις :

ΚΑΥΣΗ – ΠΥΡΟΛΥΣΗ – ΞΗΡΑΝΣΗ – ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Στη φάση καύση αναφλέγεται η βιομάζα αποδίδοντας θερμοκρασία 800 – 900 °C και δημιουργείται η ζώνη καύσης.

Στη φάση πυρόλυση δημιουργείται πάνω από την ζώνη καύσης η ζώνη πυρόλυσης σε περιοχή θερμοκρασιών από 700 – 250 °C.

Στη φάση ξήρανση δημιουργείται πάνω από τη ζώνη πυρόλυσης η ζώνη ξήρανσης σε περιοχή θερμοκρασιών από 250 – 100 °C.

Στη φάση αεριοποίηση δημιουργείται κάτω από την ζώνη καύσης η ζώνη αεριοποίησης σε περιοχή θερμοκρασιών 900 -1000 °C.

Δ) Υδρογονοδιάσπαση

- Κατά τη διεργασία αυτή, που λέγεται και υδροαεριοποίηση (hydrogasification), χρησιμοποιείται H_2 το οποίο αντιδρά με τη βιομάζα για να παραχθούν μεθάνιο και αιθάνιο. Η διεργασία αυτή δεν παρουσιάζει ακόμη μεγάλο ενδιαφέρον από ενεργειακή άποψη.

2. Βιοχημικές διαδικασίες

- Οι βιοχημικές διεργασίες, που ονομάζονται έτσι, επειδή είναι αποτέλεσμα μικροβιακής δράσης, χρησιμοποιούνται για προϊόντα και υπολείμματα, όπως λαχανικών κοπριάς, όπου η σχέση $C/N < 30$ και υγρασία $> 50\%$.
- Οι βιοχημικές διεργασίες διακρίνονται στις:
 - α) Αερόβια ζύμωση
 - β) Αναερόβια ζύμωση

A) Αερόβια ζύμωση ή χώνευση

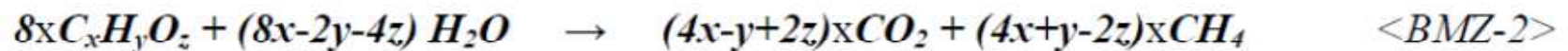
- **Η αερόβια ζύμωση ή χώνευση**, είναι μια βιοχημική διεργασία, κατά την οποία αερόβιοι μικροοργανισμοί παρουσία αέρα μετασχηματίζουν το οργανικό φορτίο των απόβλητων κύρια σε νέους μικροοργανισμούς, περίπου κατά 50%. Ο υψηλός αυτός ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών οφείλεται στο ότι η χρησιμοποίηση του οξυγόνου τους παρέχει τη δυνατότητα αξιοποίησης της άφθονης ενέργειας. Τα αέρια προϊόντα που παράγονται συνίστανται κυρίως από CO₂.
- Η αερόβια επεξεργασία εφαρμόζεται κυρίως στα λύματα, αστικά ή κτηνοτροφικά, και παρουσιάζει ενδιαφέρον μόνο από πλευράς προστασίας του περιβάλλοντος, αφού και ενεργοβόρα είναι και τα τελικά της προϊόντα είναι χαμηλής ενεργειακής στάθμης. Κατά συνέπεια η αερόβια χώνευση δεν είναι κατάλληλη διεργασία για ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.

B) Αναερόβια ζύμωση (1)

- Η αναερόβια ζύμωση ή χώνευση (anaerobic digestion) είναι μια σύνθετη βιοχημική διεργασία, κατά την οποία διάφορες οργανικές ουσίες (ζωικά απορρίμματα, σκουπίδια, φύκια, κτλ) μετατρέπονται με τη βοήθεια αναερόβιων μικροοργανισμών σε αέρια προϊόντα, κυρίως μεθάνιο (CH₄) και διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Η αντίδραση μπορεί απλοποιημένα να παρασταθεί ως εξής:

*Οργανική ύλη + αναερόβιοι μικροοργανισμοί →
→ μικροβιακά κύτταρα + CO₂ + NH₃ + CH₄ + H₂O + οξυγονούμενη οργανική ύλη*

ή από την σχέση <BMZ-2>:

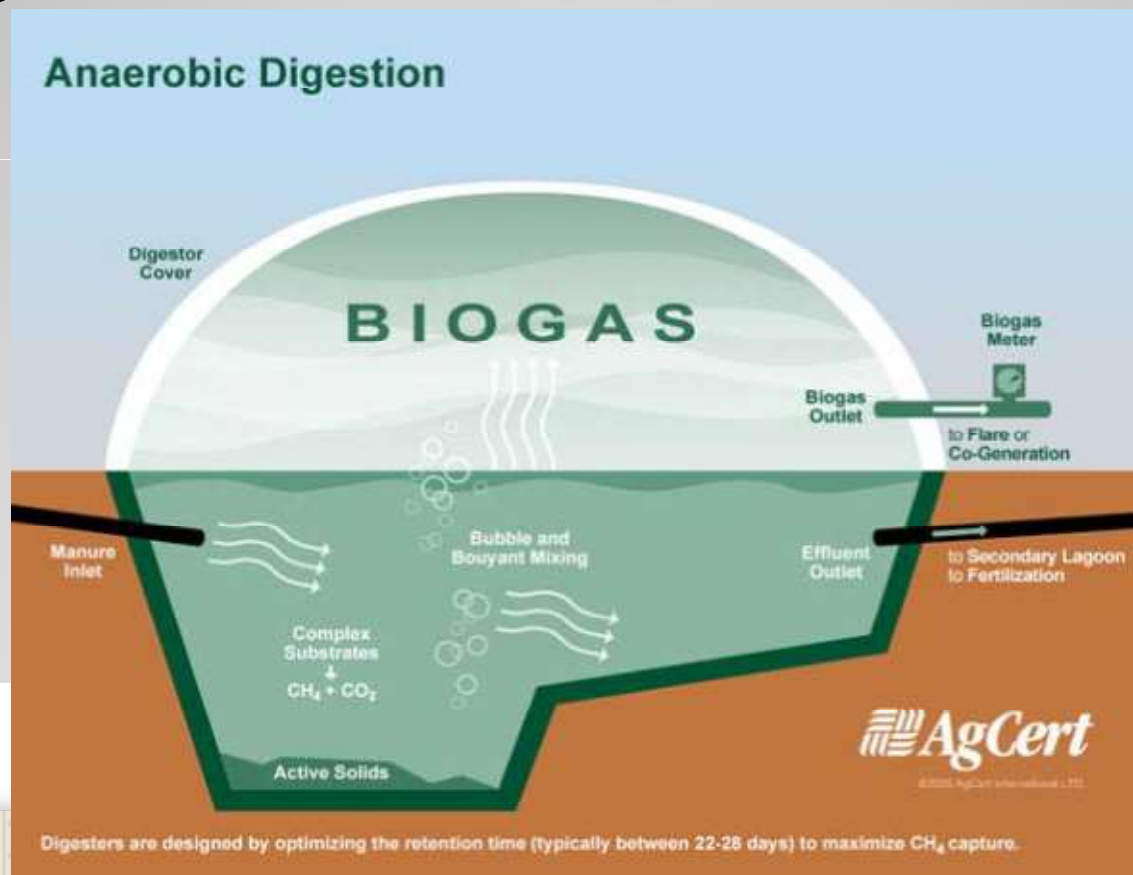


B) Αναερόβια ζύμωση (2)

- Κατά την αναερόβια χώνευση, σε αντίθεση με την αερόβια, οι μικροοργανισμοί δρουν σε περιβάλλον ελλειμματικό σε οξυγόνο και έτσι αναπτύσσονται με μικρούς ρυθμούς. Το οργανικό φορτίο μετατρέπεται κυρίως σε αέρια προϊόντα (80-90%) και σε μικρό ποσοστό σε νέους μικροοργανισμούς.
- Η αναερόβια χώνευση απαιτεί μια σταθερή θερμοκρασία από 20°C έως 45°C. Η σύσταση του τελικού μίγματος αέριων αποτελείται κατά 50-70% από CH₄, ενώ το υπόλοιπο είναι κυρίως CO₂. Υπάρχουν επίσης πολύ μικρές ποσότητες H₂ και άλλων αέριων. Ως τυπική σύνθεση του βιοαερίου θεωρείται 65% CH₄ και 35% CO₂ και η θερμογόνο δύναμη του είναι 5.700 kcal/m³.
- Πρέπει να σημειώσουμε ότι το άζωτο παραμένει στα υπολείμματα, που για το λόγο αυτό αποτελούν λίπασμα μεγάλης αξίας.

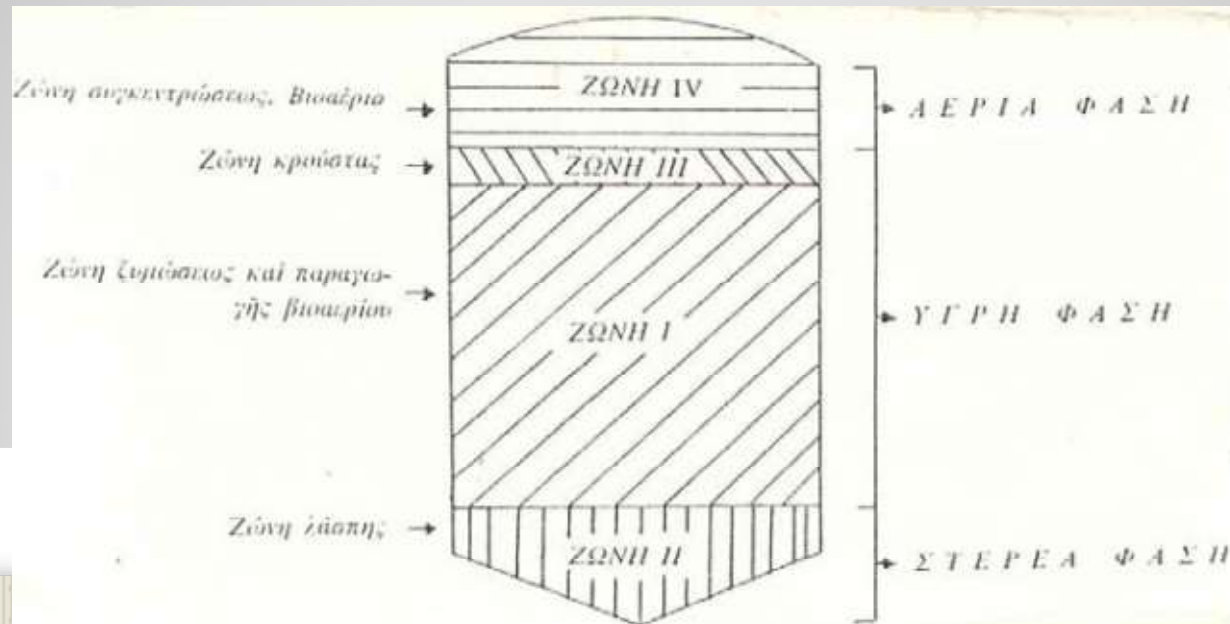
B) Αναερόβια ζύμωση (3)

- Ο **αναερόβιος χωνευτής** είναι μια αεροστεγής δεξαμενή από υλικό ανθεκτικό στην διάβρωση και την υγρασία, όπως τσιμέντο, ειδικός χάλυβας ή fiberglass.



B) Αναερόβια ζύμωση (4)

- Κατά τη λειτουργία του διακρίνουμε στο εσωτερικό του τέσσερις ζώνες, τη ζώνη ζύμωσης και παραγωγής βιοαερίου, τη ζώνη της λάσπης στον πυθμένα του χωνευτήρα, τη ζώνη της κρούστας στην επιφάνεια των υγρών του χωνευτήρα και τη ζώνη συγκέντρωσης του βιοαερίου.



Γ) Αλκοολική ζύμωση

- Η γλυκόζη παρουσία ζαχαρομυκήτων διασπάται και σχηματίζεται αιθυλική αλκοόλη, ή αιθανόλη ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), κατά τη συνοπτική αντίδραση που δίνεται στη σχέση
- $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2 \times \text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{OH} + 2 \times \text{CO}_2$
- Αιθυλική αλκοόλη μπορούμε να πάρουμε, εκτός από την γλυκόζη, και από άλλα σάκχαρα, όπως φρουκτόζη, μανόζη, γαλακτόζη, μαλτόζη, κτλ.
- Επίσης πολλοί υδατάνθρακες (άμυλο, ξύλο, άχυρο) είναι δυνατόν να διασπασθούν σε ζυμώσιμα σάκχαρα και στη συνέχεια να ζυμωθούν με τελικό προϊόν την αιθανόλη.

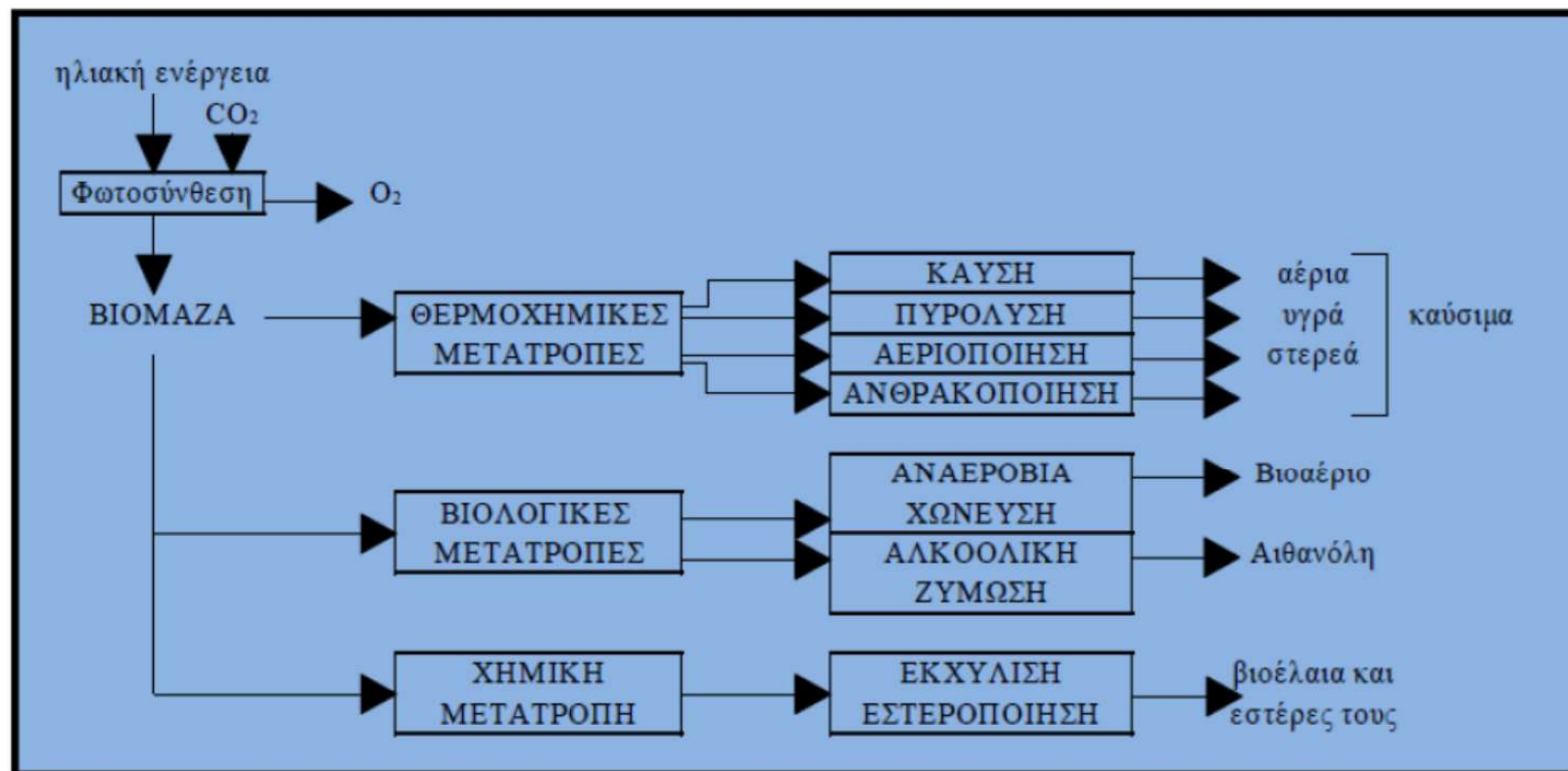
3. Χημικές διεργασίες (1)

- Περιλαμβάνει την εκχύλιση ελαίων και στερεοποίηση των τριγλυκεριδίων π. χ. παραγωγή βιολογικού καυσίμου.
- Η βασικότερη χημική διεργασία παραγωγής βιοκαυσίμων και, τελικά, βιοενέργειας είναι η **μετεστεροποίηση**.
- Αποτελεί τη συνηθισμένη μέθοδο για την παραγωγή βιοντίζελ μετατρέποντας τα τριγλυκερίδια των ελαίων και λιπών που τροφοδοτούν τη διεργασία σε αλκυλεστέρες-τις ενώσεις που αποτελούν το βιοντίζελ. Η χημική σύσταση των πρώτων υλών είναι καθοριστική για την απόδοση της μετεστεροποίησης.

3. Χημικές διεργασίες (2)

- **Εστεροποίηση φυτικών ελαίων / Φυσικο-χημική μετατροπή**
- Ο τρόπος της φυσικο-χημικής μετατροπής εφαρμόζεται στη βιομάζα από την οποία φυτικά έλαια μπορούν να αποκτηθούν το οποίο επιτυγχάνεται με άσκηση πίεσης και εξαγωγή ελαίων από τη βιομάζα.
- Τα φυτικά έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ειδικές μηχανές ή μηχανές πετρελαίου μετά από ένα στάδιο εστεροποίησης για τη παραγωγή ελαίου / μεθυλεστέρα
- Το βιοκαύσιμο από κράμβη (oilseed rape) παράγεται σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες με μεγαλύτερη παραγωγή εκείνη της Γερμανίας

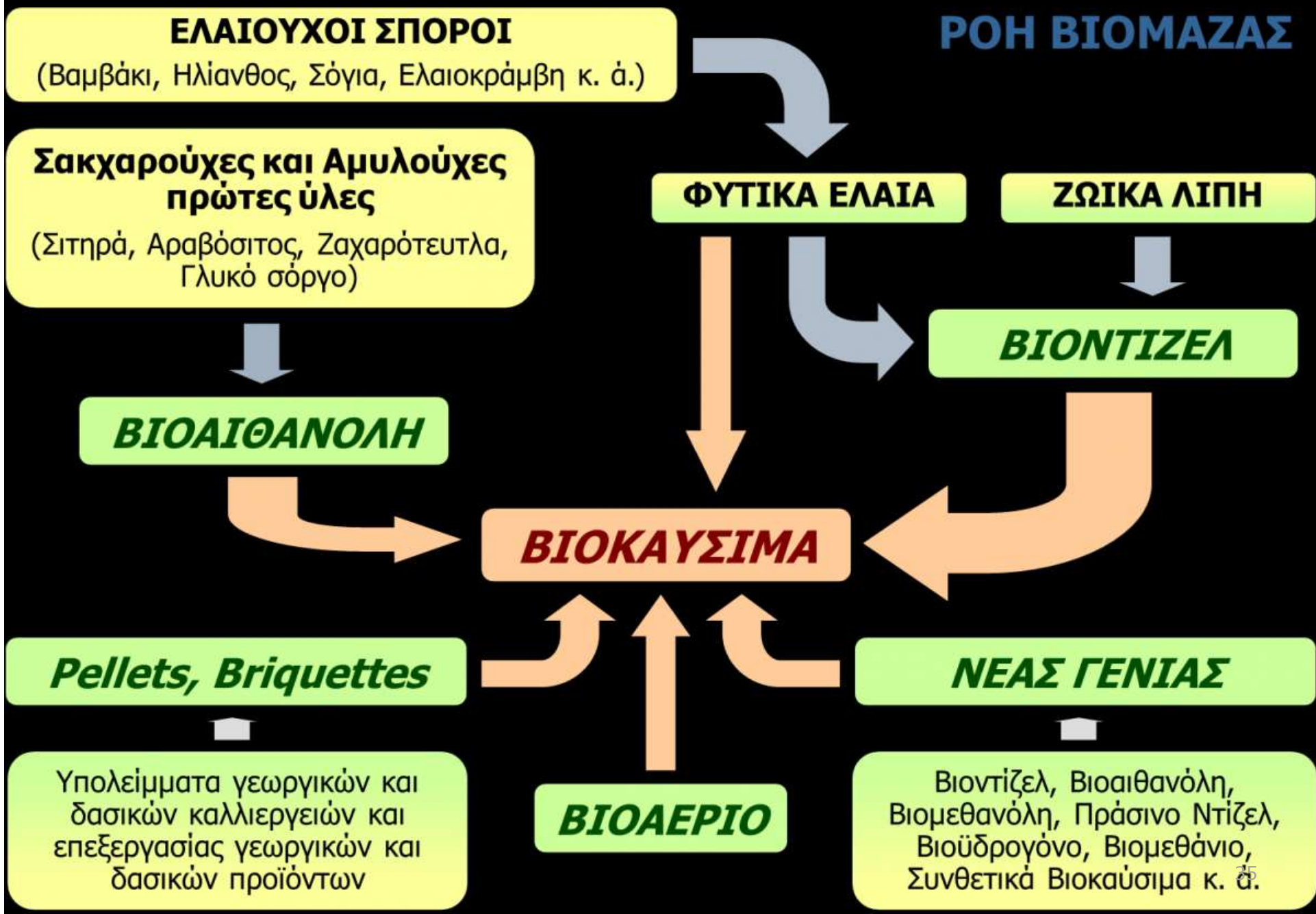
Συνοψίζοντας όλες τις διαδικασίες



Βιοκαύσιμα

- Τα βιοκαύσιμα είναι καύσιμα (στερεά, υγρά και αέρια) των οποίων η πρώτη ύλη είναι η βιομάζα
- Τα κυριότερα είναι:
 - 1) Το **Βιοντίζελ**: παράγεται από φυτικά έλαια και ζωϊκά λίπη και είναι άριστο υποκατάστατο του συμβατικού ντήζελ.
 - 2) Η **βιοαιθανόλη**: παράγεται από σακχαρούχα, κυτταρινούχα και αμυλούχα φυτά και χρησιμοποιείται σε μίγματα με τη βενζίνη.
 - 3) Το **βιοαέριο** που παράγεται από οργανικά αγροτοβιομηχανικά και άλλα απόβλητα και από ενεργειακά φυτά
 - 4) Τα **πέλλετς** και οι **μπρικέτες**: παράγονται από υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών και από δασική βιομάζα.
 - 5) Τα **βιοκαύσιμα νέας γενιάς**: βιοντίζελ, βιοαιθανόλη, πράσινο ντίζελ, αέριο σύνθεσης, βιοαέριο, βιοϋδρογόνο, συνθετικά βιοκαύσιμα) που παράγονται από απόβλητα και υπολειμματική βιομάζα, που δεν χρησιμοποιούνται για τροφές.

ΡΟΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ



Ενεργειακό περιεχόμενο βιομάζας (1)

- Το μέσο ενεργειακό περιεχόμενο των ξηρών στερεών βιομάζας (δασικά και αγροτικά υπολείμματα) είναι της τάξης των **16 - 22 MJ/kg ξηρής φυτικής ύλης**, ενώ το αντίστοιχο του ξηρού ορυκτού άνθρακα ανέρχεται σε ~ 27 MJ/kg και του αργού πετρελαίου σε ~ 30 MJ/kg.
- Ο λιγνίτης, ο οποίος κατά μέσο όρο περιέχει 50% υγρασία και 10 - 20% αδρανή, διαθέτει θερμογόνο δύναμη της τάξης των 5 MJ/kg.

Ενεργειακό περιεχόμενο βιομάζας (2)

- Το **βιοντίζελ** (από τη μετεστεροποίηση φυτικών ελαίων) διαθέτει ενεργειακό περιεχόμενο (ΚΘΔ) της τάξης των 35 MJ/lit ή 40.000 MJ/tn (πυκνότητα βιοντίζελ 0,88 kg/lit) ή 0,95 τικ/τν, σε σχέση με το ορυκτό ντίζελ το οποίο διαθέτει ενεργειακό περιεχόμενο της τάξης των 38 MJ/lit ή 44.000 MJ/tn (πυκνότητα 0,86 kg/lit) ή 1,05 τικ/τν.
- Το **βιοέλαιο** (ή βιοπετρέλαιο από την πυρόλυση στερεών βιοκαύσιμων) διαθέτει ενεργειακό περιεχόμενο από 12 - 18 MJ/lit, ή 10.000 - 15.000 MJ/tn (πυκνότητα 1,2 kg/lit) ή 0,2 - 0,35 τικ/τν.

Ενεργειακό περιεχόμενο βιομάζας (3)

- Η **βιοαιθανόλη** (από την αλκοολική ζύμωση σακχαρούχων, αμυλούχων και κυταρινούχων φυτικών υλών) διαθέτει ενεργειακό περιεχόμενο (ΚΘΔ) της τάξης των 20 MJ/lt ή 25.000 MJ/tn (πυκνότητα 0,79 kg/lt) ή 0,60 τικ/tn, σε σχέση με τη βενζίνη η οποία διαθέτει ενεργειακό περιεχόμενο της τάξης των 32 MJ/lt ή 46.000 MJ/tn (πυκνότητα 0,69 kg/lt) ή 1,10 τικ/tn
- **Το βιοαέριο** (από την αναερόβια ζύμωση ζωικών και αστικών αποβλήτων και φυτικών πρώτων υλών) διαθέτει ενεργειακό περιεχόμενο (ΚΘΔ) της τάξης των 22 MJ/m³ ή 6 kWh/m³ ή 0,50 τικ/m³, σε σχέση με το φυσικό αέριο το οποίο διαθέτει ενεργειακό περιεχόμενο της τάξης των 37 MJ/m³ ή 10 kWh/m³ ή 0,90 τικ/m³. Το αέριο από την αεριοποίηση στερεών βιοκαυσίμων διαθέτει ενεργειακό περιεχόμενο από 5 -20 MJ/m³, ανάλογα με το μέσο αεριοποίησης (αέρας < οξυγόνο < ατμό).

Ενεργειακές καλλιέργειες (1)

- **Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι καλλιέργειες που αποσκοπούν:**
- στην παραγωγή ξηρής βιομάζας, η οποία θα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο (για την παραγωγή θερμότητας
- στη συμπαραγωγή ηλεκτρισμού/θερμότητας)
- για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοντίζελ ή βιοαιθανόλης).

Ενεργειακές καλλιέργειες (2)

Οι κυριότερες ενεργειακές καλλιέργειες παραγωγής στερεών βιοκαυσίμων και οι μέσες στρεμματικές τους αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα, είναι:

Ευκάλυπτος (δ)	3,5 τν/στρ/έτος	ή 1,40 τιπ/ στρ/ έτος
Μουριά (δ)	3,5 >>	1,40 >>
Ψευδακακία (δ)	3,0 >>	1,20 >>
Καλάμι (π)	3,0 >>	1,20 >>
Σόργο (μ)	3,0 >>	1,20 >>
Μίσχανθος (π)	3,0 >>	1,20 >>
Αγριαγκινάρα (π)	3,0 >>	1,20 >>
Switchgrass (π)	2,5 >>	1,00 >>
Κενάφ (μ)	2,5 >>	1,00 >>
Ελαιοκράμβη (μ)	0,8 >>	0,30 >>

(δ: δενδρώδεις, π:
πολυετείς, μ: μονοετείς).

Ενεργειακές καλλιέργειες (3)

Οι κυριότερες ενεργειακές καλλιέργειες παραγωγής βιοντίζελ, είναι:

	Σπόρος χγ /στρ	Έλαιο χγ /στρέμμα	βιοντίζελ ^ε , λτ /στρέμμα (πυκνότητα: 0,88 χγ/ λτ)
ελαιοκράμβη	100 – 300 ^α	36 - 150	40 - 170
ηλίανθος	100 – 200 ^β	36 - 75	40 - 85
σόγια	150 – 250 ^γ	25 - 50	30 - 55
βαμβάκι	100 – 150 ^δ	18 - 32	20 - 35

- α περιεκτικότητα σπόρου σε έλαιο 30 - 50 % κβ.
- β περιεκτικότητα σπόρου σε έλαιο 30 - 35 % κβ.
- γ περιεκτικότητα σπόρου σε έλαιο 15 - 20 % κβ.
- δ περιεκτικότητα σπόρου σε έλαιο 15 - 20 % κβ.
- ε η κατά βάρος μετατροπή του ελαίου σε βιοντίζελ είναι 1/1.

Ενεργειακές καλλιέργειες (4)

Οι κυριότερες ενεργειακές καλλιέργειες παραγωγής βιοαιθανόλης και οι μέσες στρεμματικές τους αποδόσεις σε βιοκαύσιμο, είναι:

- Υδατανθρακικές πρώτες ύλες:

	απόδοση	υδατάνθρακες	αιθανόλη	
	τν/στρ	%	λτ/τν	λτ/στρ
πατάτες	2,0	15 % (άμυλο)	100	200
τεύτλα	6,0	15 % (σάκχαρα)	100	600
ζαχαροκάλαμο	8,0	15 % (σάκχαρα)	80	640
γλυκό σόργο	0,4	70 % (σάκχαρα)	400	160
αραβόσιτος	0,4	65 % (άμυλο)	400	260
σιτάρι	0,2	65 % (άμυλο)	400	130
κριθάρι	0,2	65 % (άμυλο)	400	130

Ενεργειακές καλλιέργειες (5)

- Λιγνοκυτταρινικές πρώτες ύλες:

	ξηρό βάρος	αιθανόλη	
	ΤΝ/στρ	ΛΤ/ΤΝ	ΛΤ/στρ
αραβόσιτος (υπολ.)	2,00	250	500
σόργο (βλαστός)	3,00	250	750
άχυρο σιταριού	0,15	300	45
άχυρο κριθαριού	0,15	300	45

Η πρωτογενής βιομάζα ως καύσιμο (1)

- Η πρωτογενής στερεή βιομάζα (ξύλο, άχυρο, βλαστοί, φύλα, υπολείμματα βιομηχανίας ξύλου, χαρτιού και διατροφής, ζωικά και αστικά απόβλητα, οργανικό κλάσμα αστικών απορριμμάτων, στερεά ενεργού ιλύος – εξαίρεση αποτελούν τα έλαια για την παραγωγή βιοντίζελ και τα σάκχαρα/άμυλο για την παραγωγή βιοαιθανόλης), αποτελείται:
 - **από το οργανικό μέρος: 0,5 – 90 % κ.β.**
 - **το ανόργανο μέρος: 0,1 – 35 % κ.β. και**
 - **νερό: 99,5 – 10 % κ.β.**

Η πρωτογενής βιομάζα ως καύσιμο (2)

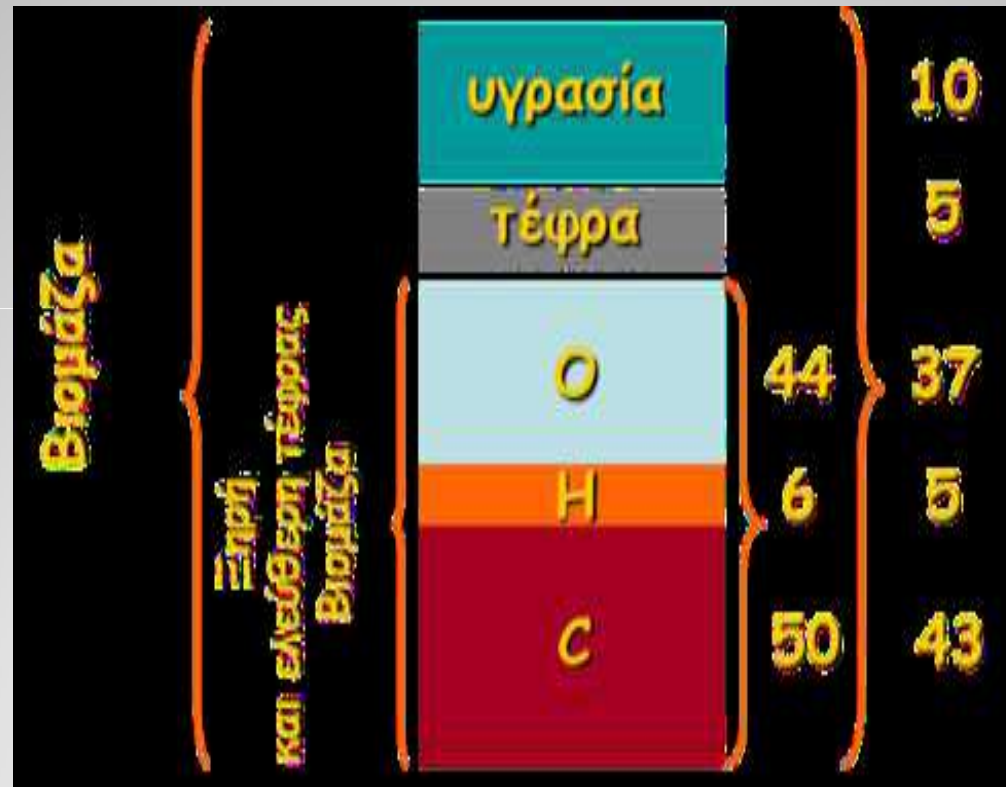
- Ειδικά στη ξυλώδη, τη φυσικά ξηραμένη αγροτική βιομάζα, τα ξηρά ζωικά απόβλητα, το οργανικό κλάσμα αστικών απορριμμάτων και τα ξηρά στερεά ενεργού ιλύος, τα παραπάνω διαστήματα περιορίζονται σε:
 - **οργανικό μέρος: 55 – 90 % κ.β.**
 - **το ανόργανο μέρος: 5 – 35 % κ.β. και**
 - **νερό: 10 – 60 % κ.β.**

Η πρωτογενής βιομάζα ως καύσιμο (3)

- Το οργανικό μέρος της βιομάζας (η ξηρή και ελεύθερη τέφρας βιομάζα) αποτελείται κυρίως από άνθρακα, οξυγόνο και υδρογόνο καθώς και μικρές ποσότητες αζώτου (0,3 – 0,5 % κ.β) και θείου (0,2 – 0,3 % κ.β.):
 - **άνθρακας 45 – 60 % κ.β. τυπική τιμή: 50 % κ.β.**
 - **οξυγόνο 40 – 45% κ.β. τυπική τιμή: 44 % κ.β.**
 - **άνθρακας 5 – 7 % κ.β. τυπική τιμή: 6 % κ.β.**

Η πρωτογενής βιομάζα ως καύσιμο (3)

- Η τυπική σύσταση της βιομάζας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Θερμογόνος Δύναμη (1)

- Η θερμότητα που εκλύεται κατά την τέλεια καύση της μονάδας βάρους ενός στερεού ή υγρού καυσίμου καλείται **"θερμογόνος δύναμη"** ή **«θερμογόνος ικανότητα»** και μετράται σε kJ/kg (SI), kcal/kg ή Btu/lb. Περιστασιακά η θερμογόνος δύναμη ενός υγρού καυσίμου δίνεται ανά μονάδα όγκου (π.χ. kJ/lit) οπότε μπορεί να μετατραπεί σε ανά μονάδα βάρους διαιρώντας με την πυκνότητα του καυσίμου.
- Στα αέρια καύσιμα η θερμογόνος δύναμη αναφέρεται συνήθως στη μονάδα του όγκου του καυσίμου υπό κανονικές συνθήκες (0°C - 760 mm Hg) και μετράται σε MJ/Nm³ (SI), kcal/m³ ή Btu/ft³ - Btu/cu-ft.

Θερμογόνο Δύναμη (2)

- Κατά την καύση ενός καυσίμου η χημική του ενέργεια μετατρέπεται σε αισθητή θερμότητα.
- Θερμογόνο Ικανότητα του καυσίμου ονομάζουμε την θερμότητα που προκύπτει από την καύση ενός kmol καυσίμου

$$H = \frac{Q_o}{n} \quad \text{kJ/kmol}$$

n: kmol του καυσίμου

Θερμογόνος Δύναμη (3)

$$H_o = H_u + \mu_{H_2O} \cdot r$$

r : θερμότητα υγροποίησης του υδρατμού ($r = 2449 \text{ kJ/kg}$ για νερό 20°C)

- Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα (H_u): Στην θερμοκρασία αναγωγής ο υδρατμός του καυσαερίου βρίσκεται σε αέρια φάση
- Ανώτερη θερμογόνος ικανότητα (H_o): Στην θερμοκρασία αναγωγής ο υδρατμός του καυσαερίου έχει μετατραπεί σε νερό
- Η H_o είναι μεγαλύτερη από την H_u κατά την θερμότητα υγροποίησης του υδρατμού που βρίσκεται στο καυσαέριο.

Θερμογόνος Δύναμη (4)

- Η **Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη (ΑΘΔ)** της ξηρής και ελεύθερης τέφρας βιομάζας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{ΑΘΔ} = 33.890,4 \times \text{C} + 144.180,6 \times (\text{H} - \text{O}/8) \text{ kJ/kg}$$

Όπου C,H,O=% κ.β.

- Η **Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (ΚΘΔ)** της ξηρής και ελεύθερης τέφρας βιομάζας υπολογίζεται από την ΑΘΔ αφαιρώντας τη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης του ατμού που παράγεται από την καύση (ο ατμός όταν υγροποιείται αποδίδει θερμότητα 40,7 kJ/mole ατμού).

ΑΣΚΗΣΗ 1

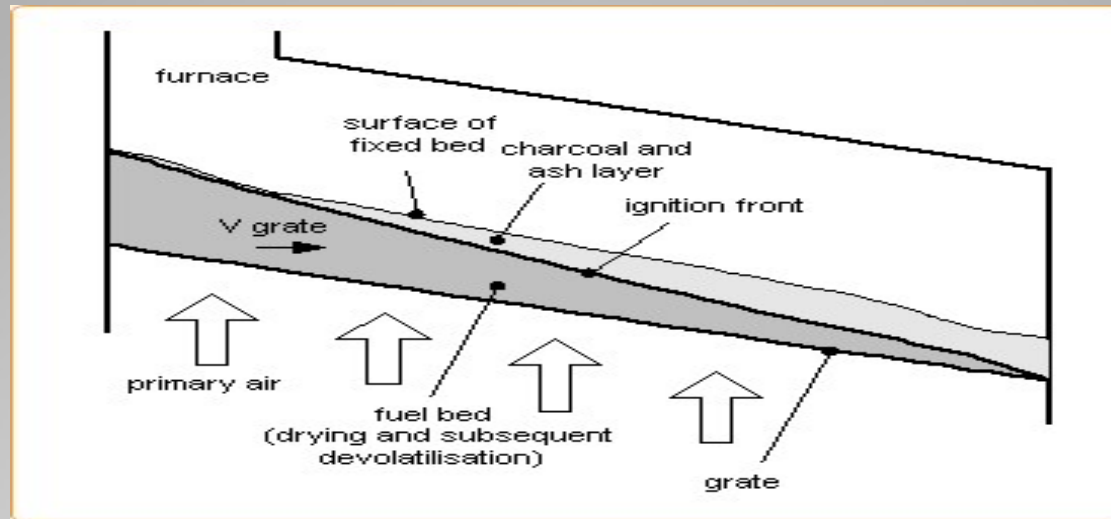
- Να υπολογισθεί η ΑΘΔ και η ΚΘΔ της τυπικής βιομάζας. Η τυπική βιομάζα περιέχει 10 % κ.β. υγρασία, 5 % κ.β. τέφρα και 85 % κ.β. ξηρή και ελεύθερη τέφρας βιομάζα. Η ξηρή και ελεύθερη τέφρας βιομάζα τυπικά περιέχει 50 % κ.β. άνθρακα, 44 % κ.β. οξυγόνο και 6 % κ.β. υδρογόνο.

ΑΣΚΗΣΗ 2

- Να υπολογισθεί η θερμότητα σχηματισμού του οργανικού μέρους (της ξηρής και ελεύθερης τέφρας – ξ. βιομάζας) της τυπικής βιομάζας. Δίνονται η ενθαλπία σχηματισμού του διοξειδίου του άνθρακα και του νερού 393,5 και 285,8 kJ/mol αντίστοιχα.

Καύση Βιομάζας

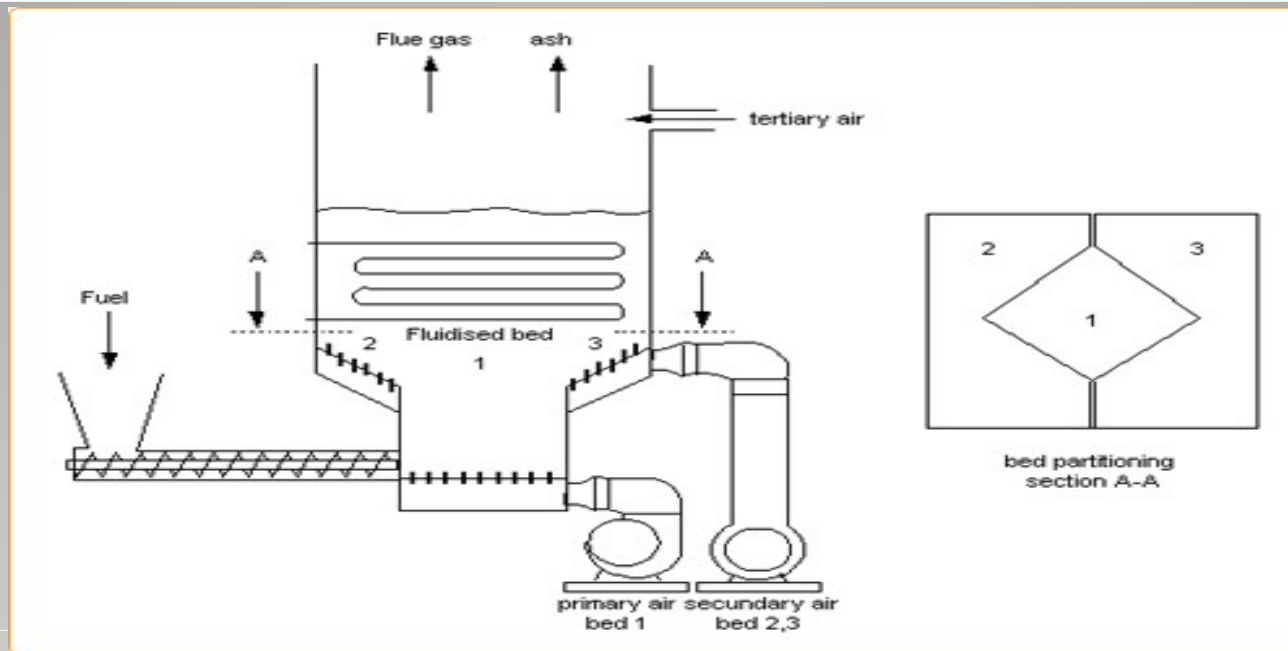
Τεχνολογίες καύσης στερεών καυσίμων



Καυστήρες σταθερής κλίνης

Το πρωτεύον ρεύμα αέρα διέρχεται μέσω της σταθερής κλίνης, στην οποία συμβαίνουν οι διεργασίες της ξήρανσης της πρώτης ύλης, της αεριοποίησης της και της καύσης του στερεού υπολείμματος. Τα καύσιμα αέρια από την αεριοποίηση καίγονται με την παροχή επιπλέον αέρα (δευτερεύον ρεύμα αέρα), το οποίο τροφοδοτείται πάνω από την κλίνη. Οι καυστήρες σχάρας είναι κατάλληλοι για πρώτες ύλες βιομάζας με υψηλή υγρασία, μεταβλητό μέγεθος των σωματιδίων καυσίμου και υψηλό ποσοστό στάχτης. Η ρύθμιση και ο σχεδιασμός αφορούν στην ομοιόμορφη κατανομή καυσίμου και χόβολης, και επάρκεια πρωτεύοντος αέρα σε όλη την έκταση της κλίνης. Κακός σχεδιασμός συνεπάγεται τήξη (πυρόλυση) των καυσίμων συστατικών, παραγωγή ιπτάμενων στερεών και αύξηση της περισσειας O_2 για πλήρη καύση. Οικονομική και λειτουργικά ασφαλής τεχνολογία από μικρά / μέσα συστήματα έως 5 MWth. Κατάλληλοι για καύσιμα με χαμηλή συγκέντρωση σε στάχτη (ξύλο, πριονίδι, πελλέτες) και μικρά σωματίδια (έως 50 mm) - υψηλή συγκέντρωση σε στάχτη (φλοιοί, άχυρο, βλαστοί δημητριακών) απαιτεί αποτελεσματικότερα συστήματα απομάκρυνσης της. Ικανοποιητική λειτουργία σε συνθήκες υποτροφοδοσίας.

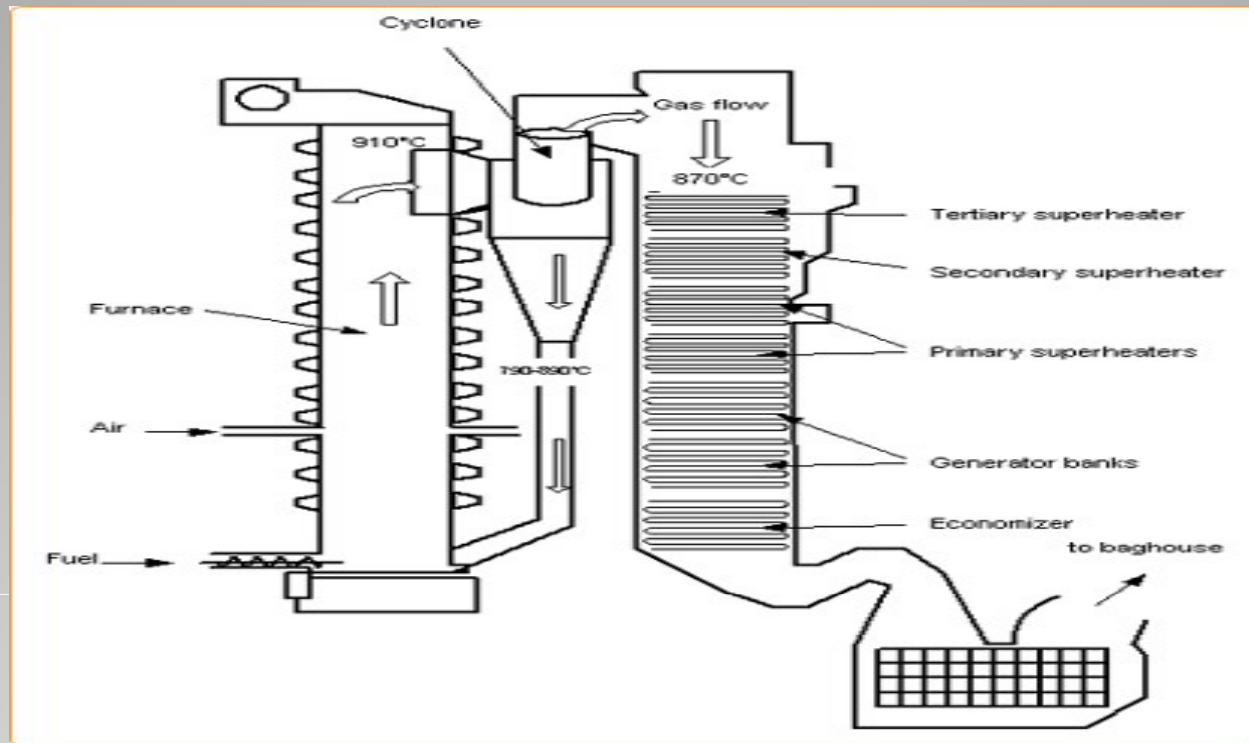
Τεχνολογίες καύσης στερεών καυσίμων



Καυστήρες ρευστοστερεάς κλίνης

Αφορούν σε αυτο-αναμιγνυόμενο αιώρημα αερίου – στερεού κατά την τροφοδοσία πρωτεύοντος αέρα από το κάτω μέρος της κλίνης (η ταχύτητα του αέρα καύσης, για ρευστοαίωρηση της κλίνης κυμαίνεται 1,0 έως 2.5 m/s). Η κλίνη αποτελείται κατά 90 – 98 % από θερμό, αδρανές, κοκκώδες στερεό (πυριτική άμμος ή δολομίτης, διαμέτρου έως 1 mm). Η έντονη ανάδευση και μεταφορά θερμότητας, δημιουργεί συνθήκες πλήρους καύσης με χαμηλή περίσσεια αέρα. Η θερμοκρασία καύσης διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα (800-900°C) για την αποφυγή σχηματισμού πυροσυσσωματωμάτων, μέσω εσωτερικών εναλλακτών θερμότητας, ανακύκλωση των θερμών αερίων, ή την έκχυση νερού (στις μονάδες σταθερής κλίνης η θερμοκρασία είναι συνήθως 100 – 200 °C υψηλότερη). Λόγω της ανάμιξης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μίγματα καυσίμου (π.χ. ξύλο και άχυρο, βιομάζα και άνθρακας), υφίστανται όμως περιορισμοί ως προς το μέγεθος των σωματιδίων και απαιτείται προ-κατεργασία καυσίμου. Εξαιτίας του υψηλού κόστους εγκατάστασης, είναι κατάλληλη για μονάδες πάνω από 20 MWth, ενώ μειονέκτημα τους αποτελεί η λειτουργία με μειωμένη τροφοδοσία βιομάζας (απαιτεί την απομάκρυνση μέρους της κλίνης).

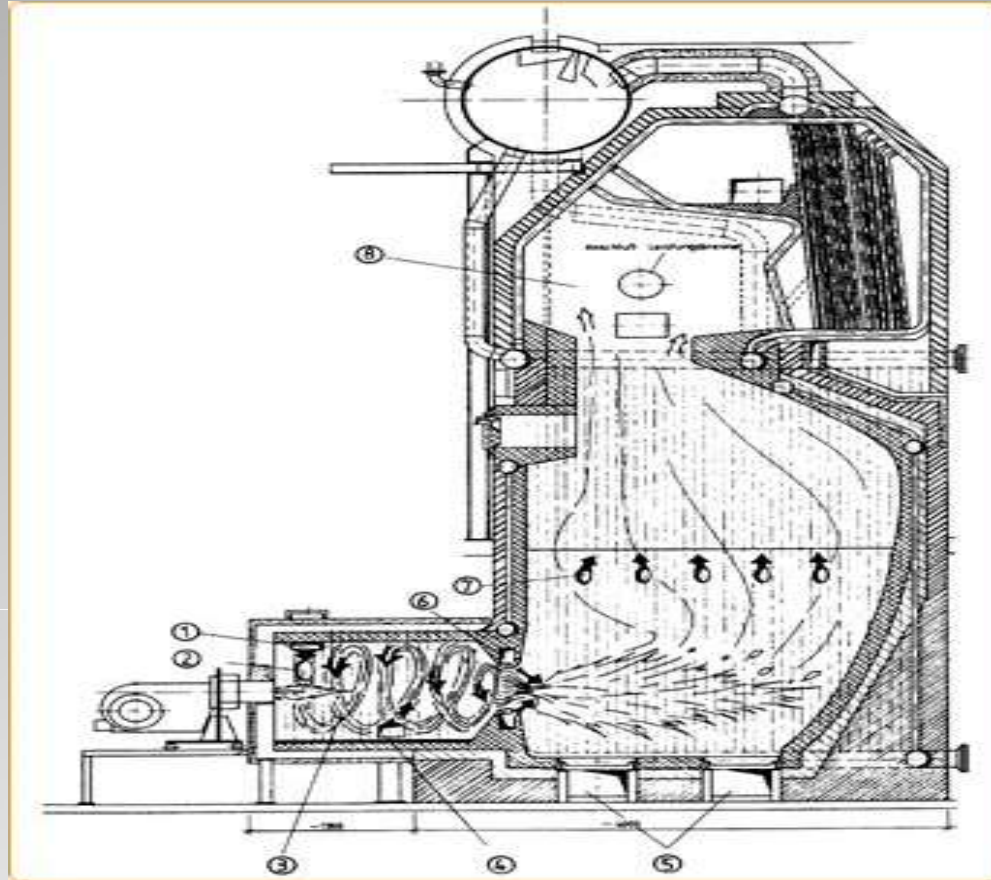
Τεχνολογίες καύσης στερεών καυσίμων



Καυστήρες ρευστοστερεάς κλίνης

Ειδική περίπτωση των καυστήρων ρευστοστερεάς κλίνης είναι οι καυστήρες ανακυκλούμενης κλίνης. Με αύξηση της ταχύτητας ρευστοποίησης σε 5 έως 10 m/s και χρήση μικρότερων σωματιδίων (0.2 to 0.4 mm) η κλίνη παρασύρεται από το αέριο ρεύμα τα σωματίδια συλλέγονται σε κυκλώνα και επανατροφοδοτούνται στην κλίνη. Η υψηλότερη τύρβη επιτρέπει την καλύτερη μεταφορά θερμότητας και την ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας σε όλη την έκταση της κλίνης. Μειονέκτημα το υψηλότερο κόστος, το οποίο καθιστά του καυστήρες αυτού του είδους οικονομικά βιώσιμους σε μονάδες άνω των 30 MWth.

Τεχνολογίες καύσης στερεών καυσίμων



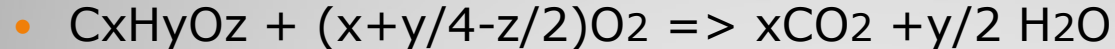
Καυστήρες σκόνης

Κατάλληλοι για καύσιμα διαθέσιμα σε μορφή σκόνης (> 2 mm -σκόνη από κοπή ξύλου). Τα σωματίδια ψεκάζονται με το ρεύμα πρωτεύοντος αέρα και υπάρχει η πιθανότητα δημιουργίας εκρηκτικών συνθηκών. Επιτυγχάνεται υψηλός ρυθμός έκλυσης θερμότητας και επιτρέπεται η εύκολη μεταβολή του φορτίου του καυστήρα. Χρησιμοποιείται σε μονάδες 2 έως 8 MW. Η στάχτη παρασύρεται και καθιζάνει σε θάλαμο μετά τον καυστήρα και η καύση πραγματοποιείται με χαμηλή περίσσεια αέρα ενώ επιτυγχάνεται και καλός έλεγχος χρόνου παραμονής καυσίμου.

Απόδοση καύσης (1)

- Η τέλεια (πλήρη) καύση της βιομάζας (αλλά και των ορυκτών στερεών καυσίμων), οδηγεί αποκλειστικά στην παραγωγή CO₂ (από την πλήρη καύση του στοιχειακού άνθρακα) και H₂O (από την πλήρη καύση του στοιχειακού υδρογόνου) – η καύση των μικρών ποσοτήτων θείου και αζώτου θεωρείται αμελητέα, στην ανάλυση που θα ακολουθήσει. Επίσης, θεωρητικά, για την πλήρη καύση της βιομάζας επαρκεί η τροφοδοσία του οξυγόνου που προβλέπεται από τη στοιχειομετρία της αντίστοιχης αντίδρασης:

-



-

- όπου x, y, z η αναλογία moles (και όχι βάρους) στον ενδεικτικό μοριακό τύπο $C_xH_yO_z$ της βιομάζας. Στην πράξη η καύση δεν είναι τέλεια (σχηματίζονται και μικρές ποσότητες CO) ακόμη και αν χρησιμοποιηθεί περίσσεια οξυγόνου, το οποίο δεν τροφοδοτείται στον καυστήρα καθαρό αλλά ως αέρας. Έτσι τα προϊόντα της καύσης (τα απαέρια του καυστήρα), εκτός από CO₂, H₂O και CO, περιέχουν το οξυγόνο που δεν αντέδρασε (την περίσσεια οξυγόνου) και το N₂ του αέρα που χρησιμοποιήθηκε για την καύση.

Απόδοση καύσης (2)

- Η θερμότητα που παράγεται στον καυστήρα απομακρύνεται από αυτόν (και διοχετεύεται προς θέρμανση ή παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος) με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας. Ο εναλλάκτης τροφοδοτείται με τα θερμά απαέρια της καύσης και αποτελείται από σύστημα σωληνώσεων, στο εσωτερικό των οποίων ρέει το μέσο απαγωγής της θερμότητας τους (συνήθως νερό ή ατμός) – το σύστημα καυστήρα εναλλάκτη ονομάζεται λέβητας. Η θερμότητα μεταφέρεται από τα απαέρια της καύσης (τα οποία ψύχονται) προς το νερό ή τον ατμό.
- Η απόδοση των λεβήτων δεν είναι 100 % (το σύστημα καυστήρα-εναλλάκτη δεν αποδίδει το σύνολο της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου στον τελικό καταναλωτή). Οι συνήθεις διεργασίες καύσης έχουν απόδοση από 10 % (ανοικτές εστίες, θερμάστρες, τζάκια) – 95 % (βιομηχανικοί λέβητες).

Απόδοση καύσης (3)

Οι απώλειες θερμότητας από μία διεργασία καύσης αφορούν:

1. στην αισθητή θερμότητα των απαερίων στην έξοδο του λέβητα – η απώλειες αυτές θα μπορούσαν να μηδενιστούν στην περίπτωση που τα απαέρια είχαν αποδώσει το σύνολο της αισθητής τους θερμότητας στο νερό ή τον ατμό του λέβητα, και εξέρχονταν από αυτόν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (συνήθως η θερμοκρασία εξόδου των απαερίων είναι πάνω από 100 °C, για την αποφυγή συμπύκνωσης του νερού στην καμινάδα)
2. στη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης (εξάτμισης του νερού) – το νερό εξέρχεται από τη διεργασία σε μορφή ατμού και σε μικρότερο βαθμό
3. στην κακή του μόνωση

Έτσι το ισοζύγιο ενέργειας ενός καυστήρα είναι:

Αισθητή θερμότητα
στην είσοδο

+

θερμότητα
που παράγεται κατά
την καύση

=

Αισθητή θερμότητα
στην έξοδο

+

Λανθάνουσα
θερμότητα

+

Ωφέλιμη
θερμότητα

Η αισθητή θερμότητα μίας ουσίας (στερεής πχ βιομάζα ή τέφρα, υγρής πχ ενός υγρού καυσίμου ή του νερού, ή αέριας π.χ. των συστατικών του αερίου μίγματος των απαερίων της καύσης ή του αέρα που τροφοδοτείται στον καυστήρα) **θεωρείται μηδέν στη θερμοκρασία περιβάλλοντος**, ενώ σε οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία δίνεται από τη σχέση:

$$S_{th}^i = \int_{298}^T c_p^i dT$$

όπου c_p^i η θερμοχωρητικότητα της ουσίας i , η οποία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας.

Απόδοση καύσης

Η θερμοχωρητικότητα c_p της ουσίας I, για τα βασικά συστατικά καύσης της βιομάζας είναι:

$$c_p^{O_2} = 0,035 + 1,08 \times 10^{-6} T - 785,3/T^2 \text{ kJ/degmol}$$

$$c_p^{N_2} = 0,027 + 4,18 \times 10^{-6} T \text{ kJ/degmol}$$

$$c_p^{H_2} = 0,028 + 3,39 \times 10^{-6} T \text{ kJ/degmol}$$

$$c_p^{CO_2} = 0,043 + 1,15 \times 10^{-5} T - 818,0/T^2 \text{ kJ/degmol}$$

$$c_p^{CO} = 0,028 + 5,02 \times 10^{-6} T \text{ kJ/degmol}$$

$$c_p^{H_2O,g} = 0,034 + 6,28 \times 10^{-7} T + 5,4 \times 10^{-9} \times T^2 \text{ kJ/degmol}$$

$$c_p^{H_2O,l} = 0,075 \text{ kJ/degmol}$$

$$c_p^{\text{ξηρης βιομάζας}} = 0,103 + 0,0039T \text{ kJ/degkg}$$

Η θερμότητα που παράγεται από την καύση (η οποία είναι σε κάποιο ποσοστό ατελής – παράγεται μικρή ποσότητα CO) υπολογίζεται από τη διαφορά της ενθαλπίας σχηματισμού των προϊόντων και των αντιδρώντων. Η ενθαλπία σχηματισμού των συνήθων προϊόντων της καύσης είναι:

$$\Delta H_{CO_2}^\circ = 393,5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{CO}^\circ = 110,5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{H_2O,l}^\circ = 285,8 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{H_2O,g}^\circ = 241,8 \text{ kJ/mol}$$

ενώ για τα στοιχεία O_2 , H_2 και N_2 είναι μηδέν.

Άσκηση 3

Σε καυστήρα ρευστοστερεάς κλίνης εισέρχονται υπολείμματα κοπής ξύλου με στοιχειακή σύσταση:

C	36	
H	4	
O	32	
H ₂ O	25	
στάχτη	3	% kg/kg

και με ρυθμό 2 kg/s. Τα απαέρια εξέρχονται σε θερμοκρασία 150 °C και περιέχουν 1 % CO. Θεωρώντας 25 % περίσσεια αέρα, στην τροφοδοσία, να υπολογιστεί η ωφέλιμη θερμότητα και η απόδοση του καυστήρα ως προς την ΑΘΔ και την ΚΘΔ της τροφοδοσίας.

ΑΣΚΗΣΗ 4

Στο προηγούμενο παράδειγμα να υπολογιστεί η θερμοκρασία καύσης (η μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να εξέλθει ο ατμός από το λέβητα).

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

Τα κυριότερα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας είναι τα ακόλουθα:

- Αποφυγή του φαινομένου του θερμοκηπίου, που προέρχεται από το CO₂, που παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων
- Αποφυγή της όξινης βροχής, από τη ρύπανση με SO₂ που παράγεται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων
- Μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από την εισαγωγή καυσίμων από τρίτες χώρες
- Εξοικονόμηση συναλλάγματος
- Εξασφάλιση εργασίας και συγκράτηση των αγροτικών πληθυσμών στις περιθωριακές και τις άλλες γεωργικές περιοχές

Τα μειονεκτήματα από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας είναι τα εξής:

- Μεγάλος όγκος και μεγάλη περιεκτικότητα υγρασίας ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας
- Δυσκολία στη συλλογή, μεταποίηση, μεταφορά και αποθήκευση, έναντι των ορυκτών καυσίμων
- Δαπανηρότερες εγκαταστάσεις και εξοπλισμός αξιοποίησης της βιομάζας.
- Η μεγάλη διασπορά της και η εποχιακή παραγωγή της