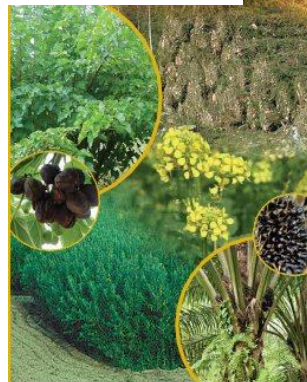
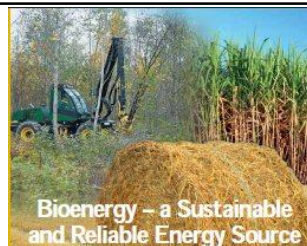


## Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία

### Ενέργεια από βιομάζα

Αλεξάνδρα Κατσίρη  
Τομέας Υδατικών Πόρων και  
Περιβάλλοντος  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

Αθήνα 2010-2011

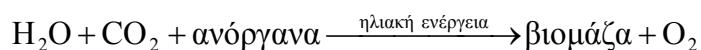


## Τι είναι η βιομάζα?

- Βιομάζα είναι η ύλη που έχει βιολογική προέλευση. Πρακτικά, στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο.
  - Οι φυτικές ύλες που προέρχονται από φυσικά οικοσυστήματα
    - αυτοφυή φυτά και δάση
  - Τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής,
    - π.χ. άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιός, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι κληματίδες κ.ά.
  - Τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών
    - π.χ. τα ελαιοπυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι κ.ά.
  - Οι ενεργειακές καλλιέργειες (έτσι ονομάζονται τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό την παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας)
    - π.χ. το σόργο το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος κ.ά.
  - το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.

## Βιοενέργεια - Ανεξάντλητη πηγή ενέργειας

- Δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας, αποτέλεσμα φωτοσύνθεσης



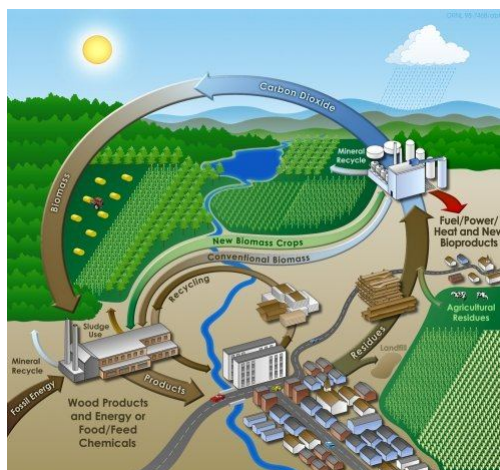
- Η βιοενέργεια παράγεται σε κύκλο.
- Αέναη χρήση φυσικών ενεργειακών ρών που μιμείται τους οικολογικούς κύκλους.
  - Ο άνθρακας προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα και επιστρέφει σε αυτήν
  - Οι θρεπτικές ουσίες λαμβάνονται από το έδαφος και επιστρέφουν σε αυτό
  - Τα υπολείμματα ενός σταδίου συνιστούν τις εισροές του επόμενου σταδίου.

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

3

## Ενεργειακός κύκλος βιομάζας



Πηγή: [www.alternativeenergyatunc.wordpress.com](http://www.alternativeenergyatunc.wordpress.com)

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

4



## Πλεονεκτήματα της βιοενέργειας

- Αποτροπή του φαινομένου του θερμοκηπίου
  - Η βιομάζα δεν συνεισφέρει στην παραγωγή CO<sub>2</sub> αφού οι παραγόμενες κατά την καύση ποσότητες CO<sub>2</sub> δεσμεύονται εκ νέου μέσω της φωτοσύνθεσης.
- Δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με SO<sub>2</sub> γιατί η βιομάζα δεν περιέχει θείο.
- Μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα
  - Εξοικονόμηση συναλλάγματος
- Εξασφάλιση θέσεων εργασίας και συγκράτηση των αγροτικών πληθυσμών

## Μειονεκτήματα της βιοενέργειας

- Μεγάλος όγκος και υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας, ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας
- Δυσκολία συλλογής, μεταφοράς, αποθήκευσης, έναντι συμβατικών καυσίμων
- Υψηλό κόστος αξιοποίησης
  - Δαπανηρές εγκαταστάσεις και εξοπλισμός
- Χωρική διασπορά και εποχιακή παραγωγή
- Για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα συνεργάζονται δύο διαφορετικού χαρακτήρα συστήματα:
  - ένα σύστημα τροφοδοσίας που παράγει, συλλέγει και παραδίδει το καύσιμο
  - και ένας σταθμός που παράγει και διαθέτει τον ηλεκτρισμό.

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

7

## ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

8

## 1. Υπολείμματα ξύλου

---

- Το ξύλο είναι το συνηθέστερο καύσιμο.
- Οι διαθέσιμες ποσότητες στις ΗΠΑ ανέρχονται σε 40 εκ. τόνους ξηράς ουσίας που μπορεί να παράξουν 7500 MW βιοισχύος
- Οι οικονομικότερες πηγές ξύλου παρουσιάζονται στις επόμενες διαφάνειες 1.1 και 1.2

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

9

### 1.1 Πριονίδια και άλλα αστικά υπολείμματα

---

- Τα υπολείμματα ξύλου από βιομηχανίες χάρτου και πολτού, τα ξυλουργεία (πριονίδι)
  - Πολύ καθαρά
  - Χαμηλή υγρασία, μέχρι 5%
  - Ευρεία χρήση σε πολλά συστήματα καύσης
  - Μπορεί να χρησιμοποιηθούν επί τόπου για την κάλυψη των αναγκών της εγκατάστασης που παράγονται.
- Τα άχρηστα ξύλινα προϊόντα, υπολείμματα από ξυλαποθήκες, και αβλαβή υπολείμματα ξύλου από οικοδομές και κατεδαφίσεις
  - Εκτρέπονται σε μονάδες ανάκτησης για διαχωρισμό του καθαρού ξύλου

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

10

## 1.2 Υπολείμματα δένδρων και δασικά υπολείμματα

- **Δασικά υπολείμματα**
  - Μη χρησιμοποιούμενα υπολείμματα υλοτομίας
  - Μη εμπορεύσιμα δένδρα
  - Νεκρά ξύλα και δέντρα που κόβονται για την προστασία των δασών
    - Δύσκολη και δαπανηρή η ανάκτηση λόγω διασποράς και μακρινής απόστασης
- **Κλαδέματα**
  - Υπολείμματα κήπων, κλαδέματα δένδρων από δρόμους, πρασιές, σιδηροδρομικές γραμμές
    - Συνήθως καταλήγουν στις χωματερές
    - Πιο σπάνια χρησιμοποιούνται για παραγωγή λιπάσματος

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

11

## Υπολείμματα υλοτομίας



10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

12

## 2. Γεωργικά υπολείμματα

- Μεγάλες ποσότητες υπολειμμάτων συγκομιδής που παράγονται ετησίως μένουν ανεκμετάλλευτες
  - Άχυρα σιτηρών, στελέχη καλαμποκιού (φύλλα, μίσχοι, κότσαλα), κλαδέματα οπωρώνων, φλοιοί ρυζιού, βαγάσση
- Σημερινή πρακτική είναι να επιστρέφονται στο έδαφος, να καίγονται, να αφήνονται προς αποσύνθεση ή να αποτελούν απόθεμα βοσκής.
- Για την αξιοποίηση απαραίτητη η ανάπτυξη υποδομών συλλογής και τροφοδοσίας.
- Κατάλληλα για μετατροπή σε υγρά καύσιμα ή για θερμοχημική παραγωγή ενέργειας.

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

13

### 2.1 Βαγάσση

- Ο πολτός που απομένει μετά το θρυμματισμό του ζαχαροκάλαμου για την εκχύμωση του.
  - Χρησιμοποιείται στη βιομηχανία ζάχαρης ως καύσιμο για την συμπαραγωγή ατμού και ηλεκτρισμού.
  - Πώληση στις εταιρείες ηλεκτρισμού
- Περιεχόμενο τέφρας 4-11%, αλλά με υψηλή θερμοκρασία τήξης.
- Μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρισμού στις ΗΠΑ (Φλόριντα, Χαβάη, Λουϊζιάνα).
- Σημαντική ενεργειακή πηγή σε χώρες όπως Αυστραλία, Πακιστάν, Ινδία, Ταϊλάνδη, κ.α

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

14



Φυτεία ζαχαροκάλαμου στην Ινδία

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

15

## 2.2 Φλοιόι ρυζιού

- Το ρύζι είναι η δεύτερη μετά το σιτάρι διαδεδομένη καλλιέργεια στον κόσμο (ως προς παραγόμενη ποσότητα και ως προς την καλλιεργούμενη έκταση)
- Αποτελεί την κύρια τροφή για περισσότερο από το μισό πληθυσμό της γης.
- Οι φλοιοί είναι κατάλοιπο της επεξεργασίας (περίπου 20% του ρυζιού είναι φλοιός)
- Μεγαλύτερη αξιοποίηση για παραγωγή ενέργειας γίνεται στις ΗΠΑ (Αρκάνσας, Λουϊζιάνα, Καλιφόρνια)
- Θα μπορούσε να αποτελέσει αξιοποιήσιμη πηγή ενέργειας για χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία, το Πακιστάν, η Ταϊλάνδη και το Βιετνάμ.

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

16



## 2.3 Άχυρα

- Το άχυρο έχει χαμηλή θερμοκρασία τήξης της τέφρας και μπορεί να γίνει κολλώδες σε θερμοκρασίες 550-600 °C.
- Ενίοτε έχει υψηλή περιεκτικότητα σε χλώριο (στις παράκτιες περιοχές) και μπορεί να προκαλέσει διάβρωση των εναλλακτών θερμότητας (π.χ σε εργοστάσια καύσης στη Δανία).

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

17

## 3. Ενεργειακές καλλιέργειες

- Φυτείες που καλλιεργούνται ειδικά για τη χρήση τους ως καύσιμα:
  - Ταχεία ανάπτυξη
  - Ανθεκτικές στην ξηρασία και τα παράσιτα
  - Εύκολη συγκομιδή
  - Ανταγωνιστικές τιμές
- Περιλαμβάνουν δένδρα, θάμνους και πόες:
  - Υβρίδια λεύκας, ιτιά, αρούντο, ευκάλυπτος, ψευδοακακία
  - Καλάμι, αγριαγκινάρα, σακχαρούχο σόργο, μίσχανθος
  - Περίοδος μεταξύ συγκομιδών για ξυλώδεις καλλιέργειες 3-10 έτη.
- Αναπτύσσονται σε γεωργικές εκτάσεις που δεν χρησιμοποιούνται για καλλιέργεια τροφών
  - Γαίες που αποσύρονται λόγω ελέγχου τιμών ή ασύμφορες για παραγωγή τροφίμων

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

18



Φυτείες καλαμίνων και αγριαγκινάρας στην κεντρική Ελλάδα.  
Πηγή: [http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass\\_guide.pdf](http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf)

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

19



**Αγριαγκινάρα**  
florabase.calm.wa.gov.au



**Σόργο**  
flickr.com



**Καλάμι**  
flponent.atspace.org




**Ελαιοκράμβη**  
w3.rennes.inra.fr

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

20



**Switchgrass**  
preferredseed.com

**Κενάφ**  
archive.enet.gr

**Μίσχανθος**  
bluestem.ca

**Ηλίανθος**  
news.pathfinder.gr

10/1/2011 Ενέργεια από βιομάζα 21



**Βαγάσση**

**rapeseed**

10/1/2011 Ενέργεια από βιομάζα 22

## Ενεργειακές καλλιέργειες μεγάλης κλίμακας

Χώρα	Καλλιέργεια	Τελικό προϊόν	Χρήσεις	Τόνοι ή στρέμματα/έτος
Βραζιλία	Ζαχαροκάλαμο	Βιοαιθανόλη	Καύσιμο μεταφοράς	9.000.000 τόνοι /έτος
ΗΠΑ	Καλαμπόκι	Βιοαιθανόλη	Καύσιμο μεταφοράς	4.000.000 τόνοι /έτος
Γαλλία	Ζαχαρότευτλα, σιτάρι	Βιοαιθανόλη	Καύσιμο μεταφοράς	75.000 τόνοι /έτος
Άλλες χώρες της ΕΕ	Ελαιοκράμβη και ηλιάνθος	Βιοντήζελ	Καύσιμο μεταφοράς	500.000 τόνοι /έτος
Σουηδία	Ιτιά	Πελέτες ξύλου	καύση	1.7000.000 στρέμματα/έτος

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

23

## 4. Απόβλητα

### I. Υπολείμματα από τη βιομηχανία τροφίμων

- Φλοιοί και υπολείμματα φρούτων και λαχανικών
- Τρόφιμα που δεν ανταποκρίνονται στα πρότυπα ποιότητας
- Πολτός από ίνες από την εξαγωγή ζάχαρης και αμύλου
- Ρεύματα υγρών αποβλήτων από το πλύσιμο κρέατος και λαχανικών, τη λεύκανση των φρούτων και λαχανικών το προ-μαγείρεμα κλπ.
  - Τα απόβλητα αυτά είναι κατάλληλα για παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης ή ζύμωση για παραγωγή αλκοόλης

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

24

## 4. Απόβλητα -συνέχεια

### II. Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)

- Σύσταση ΑΣΑ:
  - 40-60% → Υπολείμματα τροφίμων
  - 15-20% → Χαρτί
  - 7-15% → Πλαστικό
  - 4-10% → Μέταλλα
  - 4-10% → Αδρανή
- Μετατροπή σε ενέργεια με άμεση καύση ή με αναερόβια χώνευση
  - Θερμογόνος δύναμη 8-12 GJ/τόνο
- Φυσική παραγωγή βιοαερίου σε ΧΥΤΑ
  - Αξιοποίηση σε μηχανές εσωτερικής καύσης ή αεριοστροβίλους

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

25

## 4. Απόβλητα -συνέχεια

### III. Ζωικά απόβλητα

- Κοπριές από χοιρινά, κοτόπουλα και βοοειδή (σε εκτροφεία)
  - Στο παρελθόν διασκορπίζονταν στους αγρούς σαν λίπασμα
  - Σήμερα η διάθεση τους αποτελεί μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα
- Δυνατότητα αξιοποίησης μέσω της αναερόβιας χώνευσης για παραγωγή βιοαερίου

### IV. Αστικά λύματα

- Η ιλύς από την επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί καλό συστατικό για παραγωγή βιοαερίου

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

26

## Μερικά βασικά μεγέθη

- 1ΜΤΙΠ=  $10^6$  ΤΙΠ, όπου ΤΙΠ σημαίνει: Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου
- 1 ΜΤΙΠ = 1 Mtoe (Mega tons oil equivalent)
- 1 τόνος ξηρής ουσίας βιομάζας ισοδυναμεί με 0,4 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ)
- 1 ποτιστικό στρέμμα παράγει 3-4 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 1-1,6 ΤΙΠ.
- 1 ξηρικό στρέμμα παράγει 2-3 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 0,7-1,2 ΤΙΠ.

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

27

## Συντελεστές μετατροπής μονάδων ενέργειας

Σε	GJ	Gcal	Quad ( $\approx 10^{15}$ BTU)	GWh	Mtoe
Από	Σε - Πολλαπλασιάσε με:				
GJ	1	0,239	$9,479 \times 10^{-10}$	$2,778 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-8}$
Gcal	4,184	1	$3,968 \times 10^{-9}$	$1,163 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-7}$
Quad	$1,055 \times 10^9$	$2,52 \times 10^8$	1	$2,931 \times 10^5$	25
GWh	$3,6 \times 10^3$	860	$3,412 \times 10^{-6}$	1	$8,6 \times 10^{-5}$
Mtoe	$4,2 \times 10^7$	$1 \times 10^7$	$4 \times 10^{-2}$	$11,6 \times 10^3$	1

Mtoe = τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

28

## Εκτίμηση δυναμικού βιομάζας

- **Θεωρητικό δυναμικό βιομάζας**
  - το μέγιστο ποσό της βιομάζας που μπορεί να παραχθεί σε μια συγκεκριμένη περιοχή.
- **Διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας**
  - το ποσοστό του θεωρητικού δυναμικού που μπορεί να αποληφθεί με βάση τοπικούς (π.χ. μορφολογία εδάφους) και άλλους (π.χ. ανταγωνιστικές χρήσεις) περιορισμούς.
- **Τεχνικά εκμεταλλεύσιμο (βιώσιμο) δυναμικό βιομάζας**
  - το ποσοστό του διαθέσιμου δυναμικού, που μπορεί να αξιοποιηθεί με τα υφιστάμενα τεχνικά μέσα.
- **Οικονομικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό βιομάζας**
  - το ποσοστό του τεχνικά εκμεταλλεύσιμου δυναμικού, που είναι και οικονομικά εκμεταλλεύσιμο.

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

29

## Διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας σε παγκόσμια κλίμακα - 2050

Κατηγορία βιομάζας	Χαρακτηρισμός	Βασικές παραδοχές	Δυναμικό (EJ/yr)
Ενεργειακές καλλιέργειες (σε καλής ποιότητας εδάφη)	Βιομάζα που μπορεί να παραχθεί σε γεωργική γη μετά την κάλυψη των αναγκών για τρόφιμα και ζωοτροφές 1. Συμβατικές καλλιέργειες (καλαμπόκι, τεύτλα, ζαχαροκάλαμο, σόγια, κράμβη) 2. Λιγνοκυτταρινούχες καλλιέργειες (Λεύκα, ιτιά, ευκάλυπτος, μίσχανθος)	Διαθέσιμες εκτάσεις 1-2 Δισ ha (Υψηλότερες τιμές προϋποθέτουν εντατική γεωργία) Απόδοση: 8-12 tonne/ha/year ξηρά ουσία	0 - 700
Ενεργειακές καλλιέργειες (σε χέρσα γη)	Βιομάζα που μπορεί να παραχθεί σε «περιθωριοποιημένη» γη (περιοχές που έχουν προκύψει από καταστροφή δασών, υποβαθμισμένες εκτάσεις γης)	Διαθέσιμες εκτάσεις 1,7 Gha Χαμηλή απόδοση 2-5 tonne/ha/year ξηρά ουσία	<60 - 150
Γεωργικά υπολείμματα	Υπολείμματα από την παραγωγή και επεξεργασία τροφίμων (άχυρο, φλοιόι ρυζιού, εκκοκκιστήρια, ελαιοπυρήνα, βγάσι, κλπ)		15-70
Δασικά υπολείμματα	Υπολείμματα από την καλλιέργεια και εκμετάλλευση δασών, πρωτογενή (παράγωγα υλοτομίας) και δευτερογενή (πριονίδια, φλοιοί, κλπ)	Χαμηλές τιμές: αειφόρος διαχείριση δασών Υψηλές τιμές: Θεωρητικό δυναμικό	30-150
Κοπριά	Βιομάζα από κτηνοτροφικά απόβλητα (χοιροστάσια, βουστάσια, πτηνοσφαγεία)	Χαμηλές τιμές: τρέχουσα χρήση Υψηλές τιμές: Θεωρητικό δυναμικό	5-55
Οργανικά απόβλητα	Αστικά απορρίμματα (ΑΣΑ),	Οργανικό μέρος ΑΣΑ (50%)	5 - >50
Σύνολο	<b>Αισιόδοξο σενάριο:</b> Εντατική καλλιέργεια σε καλής ποιότητας εδάφη <b>Απαισιόδοξο σενάριο:</b> Χωρίς ενεργειακές καλλιέργειες, χρήση μόνο υπολειμμάτων		<50 - >1000

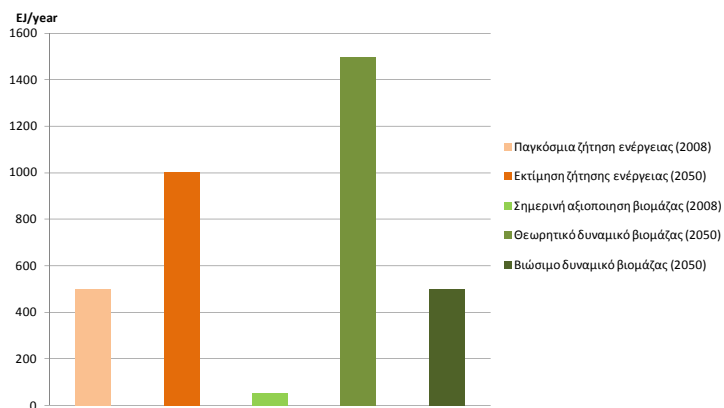
10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

30

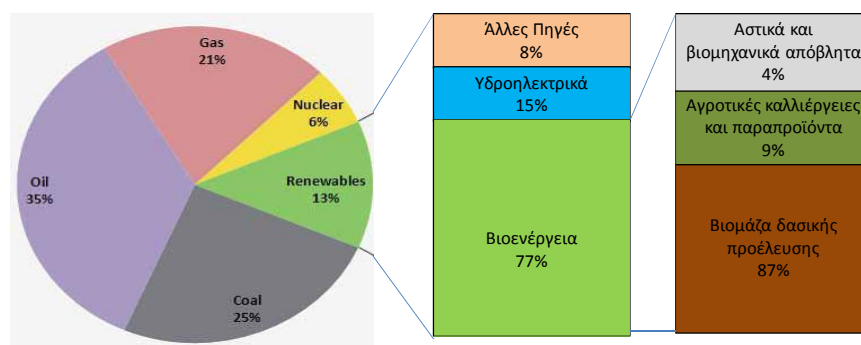
## Παγκόσμια ζήτηση ενέργειας

1 EJ = 10<sup>18</sup> J



Πηγή: IEA 2009 Bioenergy - a sustainable and reliable energy source, <http://www.globalbioenergy.org/>

## Η βιομάζα είναι η σημαντικότερη ΑΠΕ



Μερίδιο βιοενέργειας στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας

Πηγή: IEA 2009, Bioenergy - a sustainable and reliable energy source, <http://www.globalbioenergy.org/>



## Άμεσα διαθέσιμη βιομάζα στην Ελλάδα

- Υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών (7.500.000 tones/γ)
  - Πυρηνόξυλο
  - Εκκοκκιστήρια βάμβακος
  - Πυρήνες φρούτων ( π.χ. ροδάκινα, βερίκοκα, κ.ά.)
  - Άχυρο
  - Ρυζοφλοιοί
  - Στελέχη & σπάδικες καλαμποκιού
  - Κλαδοδέματα σπυροφόρων, ελιάς κι αμπελιού
- Δασικά υπολείμματα υλοτομίας (2.700.000 tones/γ)
  - Θρυμματισμένο ξύλο δασικής προέλευσης
  - Υπολείμματα από διαχείριση δασικών οικοσυστημάτων (κορυφές, φλοιοί, κ.ά.)
- Ενεργειακές καλλιέργειες για στερεά ή υγρά βιοκαύσιμα.
- Βιοαποδομήσιμο κλάσμα αστικών απορριμμάτων
  - (ζυμώσιμα και χαρτί)

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

33

## Ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδα

- Την προσεχή δεκαετία, μπορούν να αποδοθούν στις ενεργειακές καλλιέργειες 100-150 εκατ. στρέμματα γεωργικής γης:
  - αποφυγή προβλημάτων των επιδοτήσεων των γεωργικών πλεονασμάτων και
  - αύξηση των ευρωπαϊκών ενεργειακών πόρων.
- 10 εκατ. στρέμματα καλλιεργήσιμης γης έχουν ήδη περιθωριοποιηθεί ή προβλέπεται να εγκαταλειφθούν στο άμεσο μέλλον.
- Εάν η έκταση αυτή αποδοθεί στις ενεργειακές καλλιέργειες, αναμένεται καθαρό όφελος σε ενέργεια 5-6 ΜΤΙΠ, δηλαδή στο 50-60% της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου στην Ελλάδα.

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

34

## Χαρακτηριστικά Ελληνικής βιομάζας

Καύσιμο	Υγρασία %	Θερμογόνος δύναμη (Kcal/kg)	Τέφρα %
Ξύλο	15	3700	0 – 1,5
Χαρτί	6	3500	6
Φλοιός βαμβακόσπορων	9	3500	12
Φλοιός ξηρών καρπών	11-24	3200-4400	1 – 4
Άχυρο	8	3400	2
Ορυζοφλοιός	9	2900	18 – 20
Υπολείμματα εκκοκκιστηρίου βάμβακα	13	3500	16

Πηγή: Α. Ζαμπανιώτου. «Μικρές κινούμενες μονάδες αεριοποίησης για πράσινη ενέργεια και επιχειρηματικότητα», 2ο Αναπτυξιακό Συνέδριο Καρδίτσας Τεχνολογίες αξιοποίησης βιομάζας , Καρδίτσα 21 /11/2010

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

35

## ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

36

## Μετατροπή βιομάζας σε ενέργεια

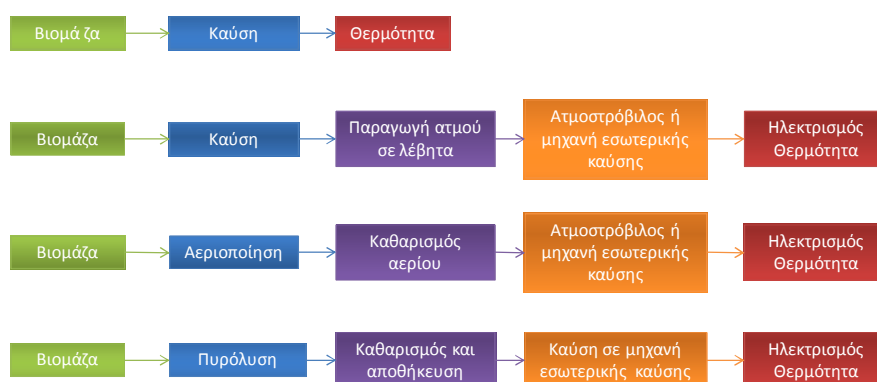
- Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμες μορφές ενέργειας με διαφορετικές διαδικασίες.
- Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε δύο κύρια προϊόντα :
  - (α) ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρισμού και θερμότητας και
  - (β) καύσιμα μεταφοράς ή για αυτόνομη χρήση
- Η μετατροπή επιτυγχάνεται με τη χρήση τριών κατηγοριών διαδικασιών:
  - Θερμοχημικές διαδικασίες
  - Βιοχημικές/Βιολογικές διαδικασίες
  - Μηχανικές (με εστεροποίηση) για παραγωγή βιοντήζελ (rapeseed methyl ester – RME)
- Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της κατάλληλης διαδικασίας, κατά σειρά σημαντικότητας, είναι:
  - Η επιθυμητή μορφή ενέργειας, πχ ηλεκτρισμός, καύσιμο
  - Ο τύπος και η ποσότητα της διαθέσιμης βιομάζας
  - Περιβαλλοντικοί περιορισμοί
  - Οικονομικές παράμετροι
  - Οι ειδικότερες συνθήκες της περιοχής

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

37

## Θερμοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας

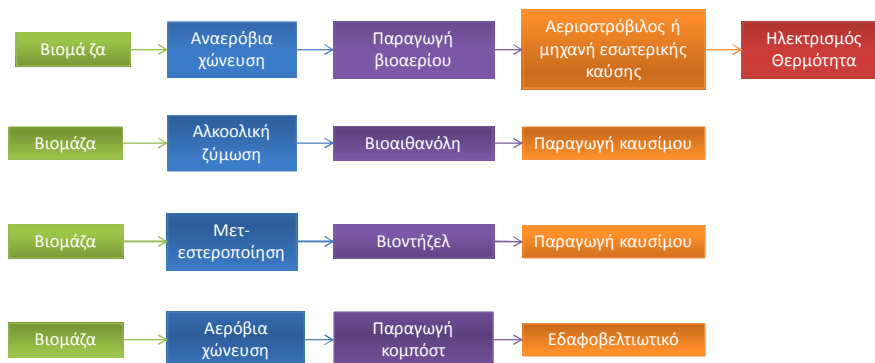


10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

38

## Βιοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας



10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

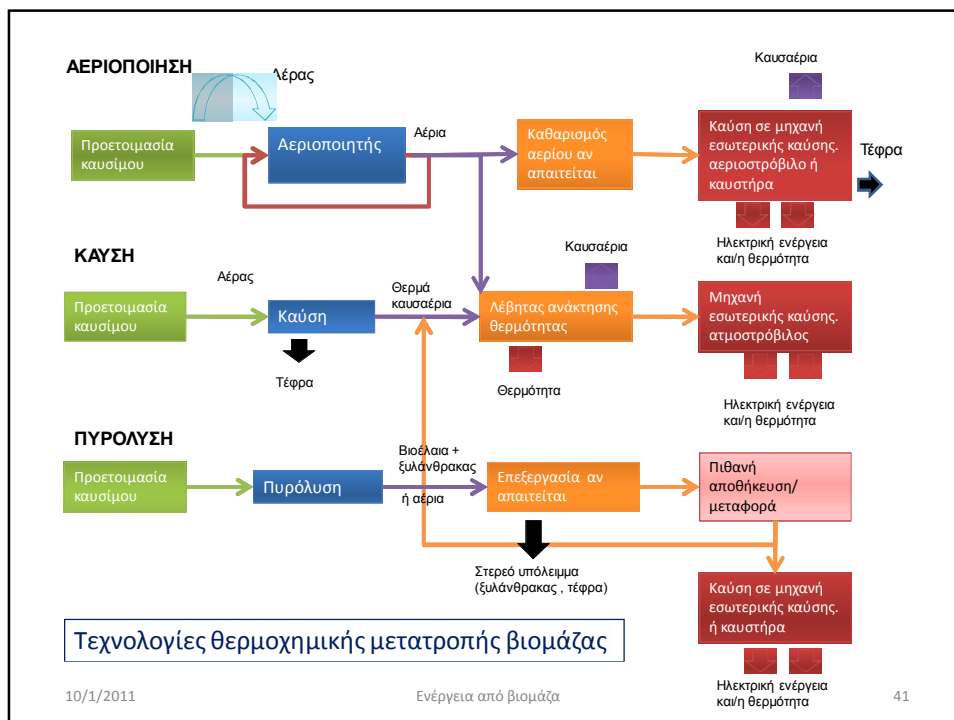
39

## ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΑΚΑΣΙΕΣ

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

40



## Καύση

- 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 καυσάερια έχουν θερμοκρασία 800-1000°C
- Όλα τα είδη βιομάζας μπορεί να καούν αλλά η καύση δεν είναι πρακτική όταν η υγρασία > 50%
- Η κλίμακα των εργοστασίων καύσης κυμαίνεται από πολύ μικρή (οικιακή) μέχρι βιομηχανική 5-500 MW
- Ιδιαίτερα συμφέρουσα είναι η Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)
- Σύγκαυση βιομάζας με λιγνίτη είναι ιδιαίτερα ελκυστική (7-10% του καυσίμου προέρχεται από βιομάζα):
  - Περιβαλλοντικά οφέλη (μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>)
  - Οικονομικά οφέλη
- Ο βαθμός απόδοσης ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται από 20-40%

## Τύποι ξύλου και άλλων υλικών

- Κούτσουρα (3-70 kW)
  - + Φθινό, διαθέσιμο
  - Χειρωνακτική φόρτωση
  - Αποθήκευση
- Σύμπηκτα (pellets) (8-500 kW)
  - + Εξευγενισμένο, βολικό, συμπαγές
  - Διάθεση
- Θρυμματισμένο ξύλο (30 kW-200 MW)
  - + Φθινό, διαθέσιμο(?), αυτοματισμοί
  - Έλεγχος ποιότητας
- Άλλοι τύποι
  - Ελαιοπυρήνας, πυρηνόξυλο, κουκούτσι ροδάκινου, φλοιοί ρυζιού, υπολείμματα εκκοκκιστηρίου, άχυρο, κλαδοδέματα

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

43

## Χαρακτηριστικά πρώτης ύλης

Βιομάζα	Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	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

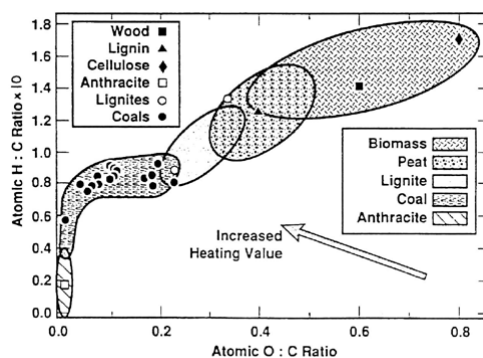
Πηγή: Παπαμαχάη Ι. ΚΑΠΕ «Διαθεσιμότητα βιομάζας για υποψήφια έργα» Συνάντηση εργασίας του προγράμματος BIOSOLESCO, Αθήνα 2-2-2010

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

44

## Διάγραμμα Van Krevelen για διάφορα στερεά καύσιμα



biofueloutlook.blogspot.com

Όσο χαμηλότεροι είναι οι λόγοι H/C και O/C ενός καυσίμου, τόσο υψηλότερο είναι το ενεργειακό περιεχόμενο, καθώς οι δεσμοί άνθρακα - οξυγόνο και άνθρακα - υδρογόνο έχουν χαμηλότερη ενέργεια από το δεσμό άνθρακα - άνθρακα .

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

45

## Η διαδικασία παραγωγής σύμπηκτων

- Τα σύμπηκτα (pellets) είναι μικρά κυλινδρικά τεμάχια συμπιεσμένης βιομάζας (από διάφορες καλλιέργειες, πχ δασική βιομάζα, υπολείμματα βιομηχανίας ξύλου πχ 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 πελλετών (pellets) γίνεται σε αντίστοιχες μονάδες επεξεργασίας με την ακόλουθη διαδικασία:  
Θρυμματισμός → Άλεση → Ξήρανση → Πελλετοποίηση → Ψύξη → Συσκευασία
- Η βιομηχανία παραγωγής καυστήρων πελλέτας έχει κάνει μεγάλα τεχνολογικά άλματα με αποτέλεσμα οι καυστήρες πελλέτας που κυκλοφορούν στο εμπόριο σήμερα να έχουν πολύ μεγάλη απόδοση, **παρόμοια πλέον με την απόδοση των καυστήρων πετρελαίου (80-85%)**.
- Περισσότερες πληροφορίες για την Ευρωπαϊκή αγορά: <http://www.pelletsatlas.info>

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

46

## Διάφορα είδη σύμπηκτων



10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

47

## Λέβητας βιομάζας



10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

48



## Παραδείγματα καύσης βιομάζας – 1. Εκκοκκιστήριο βάμβακος στη Βοιωτία

- Παραγωγή βαμβακιού : 40.000-50.000 τόνοι/έτος
- Παραγωγή υπολειμμάτων: 4.000-5.000 τόνοι/έτος
- Υφιστάμενη πρακτική: ξήρανση βαμβακιού πριν τον εκκοκκισμό με την καύση πετρελαίου και διοχέτευση των καυσαερίων στο προς ξήρανση βαμβάκι.
- **Νέα εγκατάσταση**
  - Ισχύς του λέβητα βιομάζας 4.000.000 kcal/h και ο παραγόμενος ατμός έχει πίεση 10 bar.
  - Το έργο που παράγεται, κατά την εκτόνωση του ατμού σε ένα στρόβιλο, μετατρέπεται στη γεννήτρια σε ηλεκτρική ενέργεια ισχύος 500 kW.
  - Μετά την εκτόνωσή του, ο ατμός οδηγείται, μέσω σωληνώσεων σε εναλλάκτες θερμότητας, όπου θερμαίνεται ο αέρας σε θερμοκρασία 130°C.
  - ο θερμός αέρας χρησιμοποιείται αφενός για την ξήρανση του βαμβακιού σε ειδικούς γι' αυτό το σκοπό πύργους, αφ' ετέρου στο σπορευματοστάσιο, στις πρέσες ατμού, για την εξαγωγή του βαμβακόλαδου.
- **Οικονομικά μεγέθη**
  - Καλύπτεται το σύνολο των αναγκών σε θερμότητα και μέρος των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια
  - Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση 630 τόνων πετρελαίου ετησίως.
  - Η αρχική επένδυση, συνολικού ύψους 1.000.000 ευρώ, αποσβέσθηκε σε μόλις 6-7 εκκοκκιστικές περιόδους.

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

49

## Παραδείγματα καύσης βιομάζας – 2. Εργοστάσιο συμπαραγωγής με καύση υπολειμμάτων ξυλείας

- Διαθέσιμα 15.000 τόνοι/έτος υπολείμματα ξυλείας
  - Κατανάλωση
    - Μέση κατανάλωση καυσίμου = 1,7 τόνοι/ώρα
    - Ώρες λειτουργίας = 8000 ώρες
    - Ετήσια κατανάλωση καυσίμου = 14.000 τόνοι/έτος
  - Βασικά ενεργειακά μεγέθη
    - Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς = 1 MW
    - Παραγόμενη θερμότητα = 5 MW
  - Κόστος έργου
    - Λεβητοστάσιο και μονάδα συμπαραγωγής = 2.300.000 €
    - Σύνδεση με ΔΕΗ, κτίριο, υδραυλικά, και ηλεκτρικά δίκτυα = 700.000 €
    - Σύνολο = 3.000.000 €
  - Βασικά οικονομικά στοιχεία
    - Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια = 8000 MWh/έτος
    - Έσοδα από την πώληση ενέργειας = 1.600.000 €/έτος (200 €/MWh – Νόμος 3851/2010)
    - Έσοδα λειτουργίας μονάδας = 900.000 €/έτος
    - Όφελος = 700.000 €/έτος
  - Απόσβεση μονάδας = 5 έτη (4 έτη αν ληφθεί υπόψη και η πώληση θερμότητας)
- Πηγή: Σ. Ψημένος «Τεχνικοοικονομικά δεδομένα στη χρήση βιομάζας», 2ο Αναπτυξιακό Συνέδριο Καρδίτσας Τεχνολογίες αξιοποίησης βιομάζας, Καρδίτσα 21 /11/2010

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

50

### Παραδείγματα καύσης βιομάζας – 3. Εργοστάσιο συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας στην Αυστρία

- Δυναμικότητα 4,1 MW
  - Παραγωγή ενέργειας – **συνολική**, **ηλεκτρική**, **θερμική**
    - 19 MW, 4,1 MW, 12,1 MW (αποδόσεις 93%, 19%, 63%)
  - Τεχνολογία: ατμοστρόβιλος
  - Θερμότητα σε βιομηχανική χρήση
  - Βιομάζα με υψηλή υγρασία
    - 50% υγρασία
    - Αποθήκευση : για 3000 m3 (0.90 τόννοι)
  - Αναγνωρισμένες ατέλειες: συχνές διακυμάνσεις στην ποιότητα του ατμού
  - Λειτουργία : 6000 ώρες/έτος
  - Λειτουργικό κόστος : < 2,6 εκ. €/ετος
    - Πρώτες ύλες 25%, ενεργειακή κατανάλωση 55%, λειτουργικά 20%
  - Κόστος επένδυσης: 19 εκ. €
  - Κόστος παραγωγής ενέργειας: <0,03 €/kWh
- Πηγή: Α. Κοκόσης «Προοπτικές αξιοποίησης βιομάζας» 2ο Αναπτυξιακό Συνέδριο Καρδίτσας Τεχνολογίες αξιοποίησης βιομάζας , Καρδίτσα 21 /11/2010

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

51

### Παραδείγματα καύσης βιομάζας – 4. Εργοστάσιο συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας στη Δανία

- Δυναμικότητα 4,4 MW
  - Παραγωγή ενέργειας – **συνολική**, **ηλεκτρική**, **θερμική**
    - 20 MW, 4,4 MW, 14 MW (αποδόσεις 92%, 22%, 70%)
  - Τεχνολογία: ατμοστρόβιλος
  - Θερμότητα για αστική χρήση
  - Τροφοδοσία: 150.000 m3 ξύλο/έτος
    - 5-55% υγρασία
    - Αποθήκευση : για 9.000 m3 (2.500 τόννοι)
  - Αναγνωρισμένες ατέλειες: σχεδιασμός εφοδιαστικής αλυσίδας
  - Λειτουργία : 5.500 ώρες/έτος
  - Λειτουργικό κόστος : < 5 εκ. €/ετος
    - Πρώτες ύλες 50%, ενεργειακή κατανάλωση 40%, λειτουργικά 10%
  - Κόστος επένδυσης: 17 εκ. €
  - Κόστος παραγωγής ενέργειας: <0,04 €/kWh
- Πηγή: Α. Κοκόσης «Προοπτικές αξιοποίησης βιομάζας» 2ο Αναπτυξιακό Συνέδριο Καρδίτσας Τεχνολογίες αξιοποίησης βιομάζας , Καρδίτσα 21 /11/2010

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

52

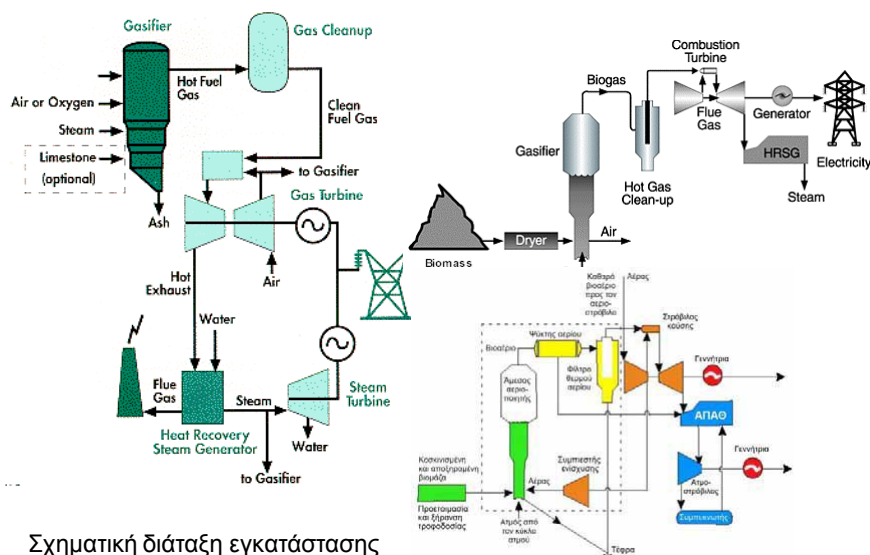
## Αεριοποίηση

- 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 βιομάζα προσφέρεται για αεριοποίηση λόγω του υψηλού περιεχομένου σε πτητικά συστατικά (70-86% σε ξηρή βάση).
- Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης που είναι μίγμα υδρογόνου (H<sub>2</sub>), μεθανίου (CH<sub>4</sub>) και μονοξειδίου (CO), καθώς και μικρών ποσοτήτων διοξειδίου και υδρογονανθράκων, έχει χαμηλή θερμομαντική δύναμη (4-6 MJ/Nm<sup>3</sup>)
- Ακαθαρσίες (αλκάλια, SO<sub>2</sub> και τέφρα ) μπορούν να απομακρυνθούν από συστήματα καθαρισμού, αφήνοντας ένα καθαρό καύσιμο αέριο με ενεργειακό περιεχόμενο περίπου το 20-25% του φυσικού αερίου.
- Το αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο για 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, πχ μεθανόλη και υδρογόνο.

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

53

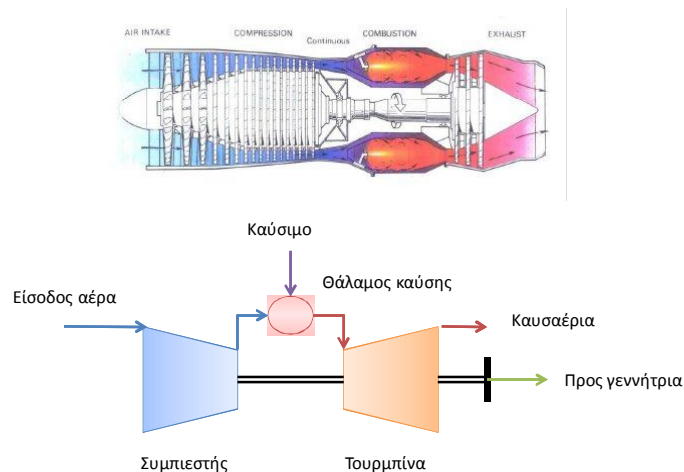


10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

54

## Τομή αεριοστρόβιλου



10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

55

## Πυρόλυση

- Πυρόλυση είναι η μετατροπή της βιομάζας σε υγρά (βιοέλαιο), στερεά και αέρια προϊόντα με τη θέρμανση της βιομάζας απουσία αέρα σε θερμοκρασία γύρω στους 500 °C.
- 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.

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

56

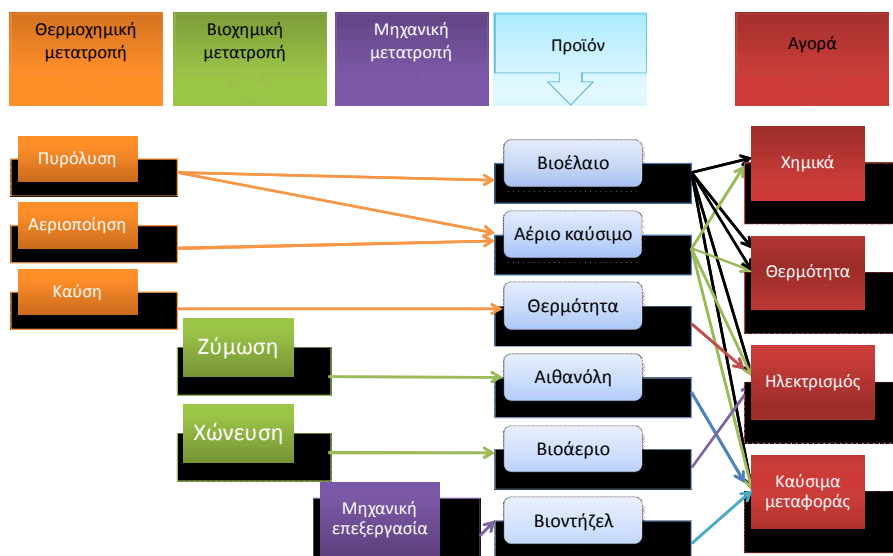
# ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

57

## Διαδικασίες μετατροπής βιομάζας, προϊόντα και αγορές



10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

58

## Ζύμωση

- Η 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 ενζυμα 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 .

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

59

## 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.
  - Μύκητας *Saccharomyces cerevisiae* (Bakers' yeast)
- **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 and 48.8 g of διοξείδιο του άνθρακα**

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

60

## Πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοαιθανόλης

- Η αιθανόλη μπορεί να παραχθεί από οποιαδήποτε ύλη που περιέχει σε σημαντικές ποσότητες σάκχαρα, άμυλο ή κυτταρίνη.
- Πρώτες ύλες 1<sup>ης</sup> γενιάς (Μικρό μέρος του φυτού είναι εκμεταλλεύσιμο)
  - Που περιέχουν σάκχαρα
    - Σαχαροκάλαο
    - Ζαχαρότευτλα
    - Γλυκό σόργο
  - Που περιέχουν άμυλο
    - Καλαμπόκι
    - Σιτάρι
    - Σπόροι σόργου
    - Κασάβα
    - Πατάτες
- Πρώτες ύλες 2<sup>ης</sup> γενιάς (χρησιμοποιείται όλο το φυτό)
  - Κυτταρινούχες
    - Δασικά υπολείμματα
    - Ενεργειακές καλλιέργειες (λεύκες, ιτιές, switchgrass)
    - Γεωργικά απόβλητα (άχυρο, βαγάσση, μίσχοι καλαμποκιού)
    - Αστικά απόβλητα

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

61

## Σύγκριση χαρακτηριστικών βιοαιθανόλης και βενζίνης

	Πυκνότητα (kg/L)	Ιξώδες (mm <sup>2</sup> /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

The **flash point** of a volatile liquid is the lowest temperature at which it can vaporize to form an ignitable mixture in air

Πηγή: [www.wip-munich.de](http://www.wip-munich.de)

- Παρά το γεγονός ότι, το κόστος της βιοαιθανόλης είναι υψηλότερο εκείνου της βενζίνης, η χρήση της ως καυσίμου 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.

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

62

## Μηχανική παραγωγή βιοντήζελ

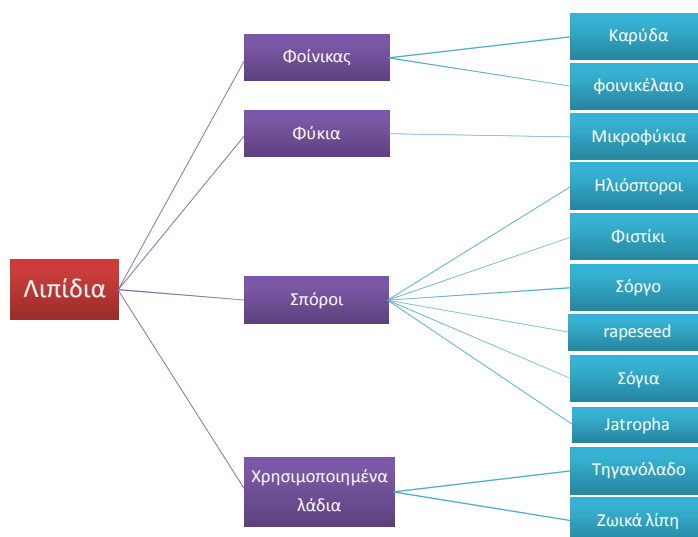
- Η κύρια πρώτη ύλη είναι το rapeseed που καλλιεργείται κυρίως στην Ευρώπη, 85% της συνολικής παραγωγής, και ακολουθούν οι ηλιόσποροι, το φοινικέλαιο και οι σπόροι σόγιας.
- Η βιομηχανική διαδικασία παραγωγής περιλαμβάνει:
  - **Ξήρανση** των σπόρων για μείωση της υγρασίας από 15% σε 9%
  - **Πλύσιμο** των σπόρων και για ορισμένους σπόρους (πχ ηλιόσπορους) ξεφλούδισμα.
  - **Θραύση** ή λειοτρίβιση των σπόρων και ρύθμιση υγρασίας και θερμοκρασίας στους 80 °C
  - **Π्रेसάρισμα** 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 βιοντήζελ
  - Το στερεό υπόλειμμα που περιέχει το 25% του συνολικού ελαίου υφίσταται λειοτρίβιση 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 βιοντήζελ με τη διαδικασία της μετ-εστεροποίησης ή αλκοόλυσης

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

63

## Τύποι και ταξινόμηση καλλιεργειών για παραγωγή βιοντήζελ



10/1/2011

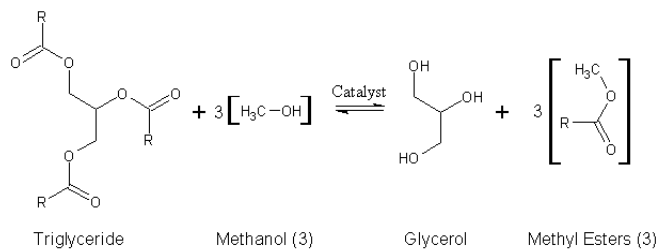
Ενέργεια από βιομάζα

64



## Μετ-εστεροποίηση ή αλκοόλυση για παραγωγή βιοντήζελ

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



10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

65

## Σύγκριση χαρακτηριστικών ντήζελ, PPO και βιοντήζελ

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

Πηγή: [www.wip-munich.de](http://www.wip-munich.de)

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

66

## Συνθετικά καύσιμα, BtL

- Ο όρος BtL σημαίνει “Biomass to Liquid” και αναφέρεται σε καύσιμα 2<sup>ης</sup> 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, ΒΤΧ και ανόργανων ενώσεων – διαδικασία παρόμοια με την καταλυτική διάσπαση του αργού πετρελαίου
- Τα ενεργά συστατικά που αερίου σύνθεσης (CO and H<sub>2</sub>) με τη διαδικασία Fischer-Tropsch (FT), που ανακαλύφθηκε το 1920 στη Γερμανία, αντιδρούν παρουσία καταλύτη και παράγουν υδρογονάνθρακες πετρελαίου πχ.
- Το πλέον διαδεδομένο καύσιμο είναι το SunDiesel που διατίθεται στην αγορά από την Daimler.
  - Sundiesel: [http://www.daimler.com/Projects/c2c/channel/documents/1523098\\_daimler\\_sust\\_2008\\_booklets\\_sundiesel\\_en.pdf](http://www.daimler.com/Projects/c2c/channel/documents/1523098_daimler_sust_2008_booklets_sundiesel_en.pdf)

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

67

## Αναερόβια χώνευση

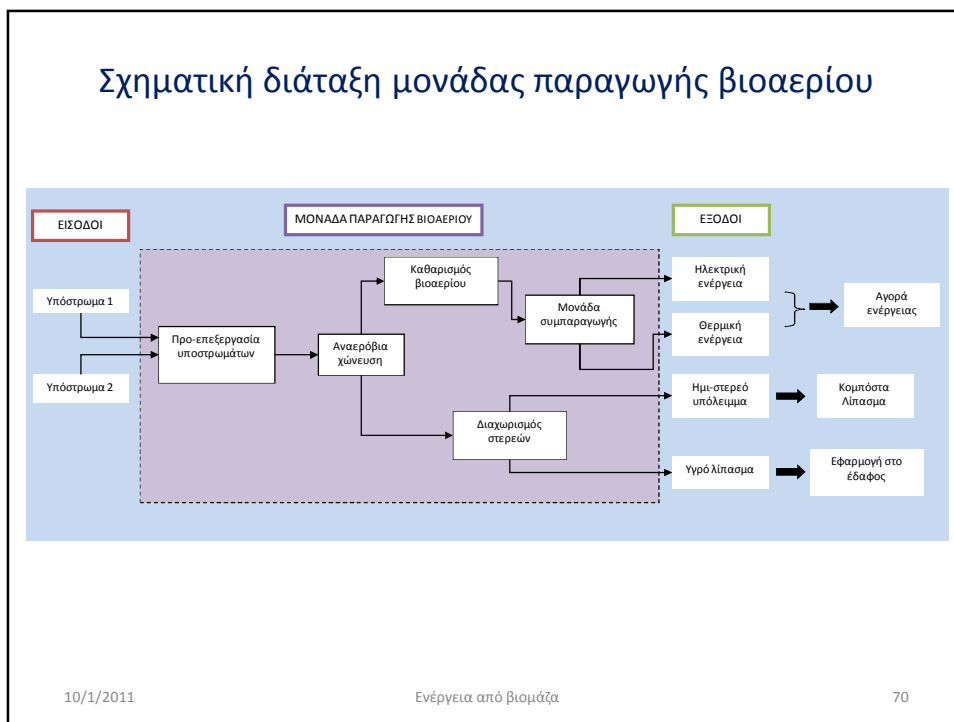
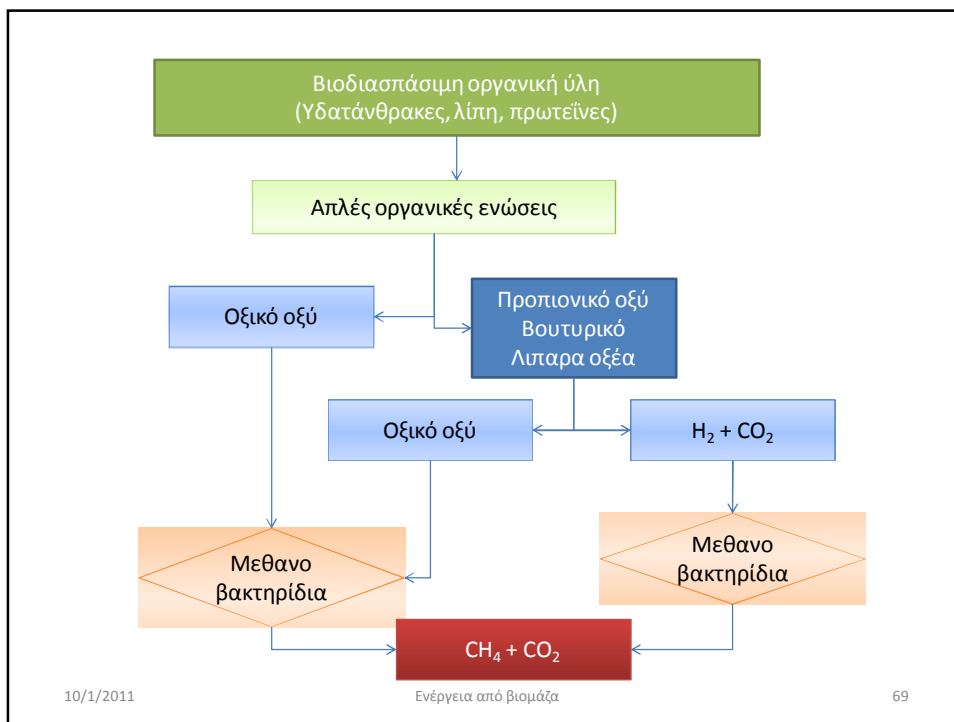
- Αναερόβια χώνευση είναι η μετατροπή οργανικής ύλης σε βιοαέριο (μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα) με τη βοήθεια μικροοργανισμών σε ένα περιβάλλον αναερόβιο.
- Η ενεργειακή αξία ισοδυναμεί με το 20-40% της θερμογόνου δύναμης της βιομάζας.
- Το βιοαέριο μπορεί να τροφοδοτεί απ’ ευθείας ένα αεριοστρόβιλο 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 στην επεξεργασία στερεών απορριμμάτων ενώ η χρήση του στην αξιοποίηση της βιομάζας είναι σχετικά νέα και υπάρχουν λίγες έρευνες σε κλίμακα πιλότου ή πρωτοτύπου.
- Σύμφωνα με στοιχεία της AEBIOM το κόστος επένδυσης για μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου δυναμικότητας παραγωγής 1 εκ. m<sup>3</sup>/έτος αερίου ανέρχεται σε 2.0 εκ. €

Πηγή: European Biomass Association AEROBIOM (2009) “A biomass road map for Europe”, <http://www.aebiom.org/>

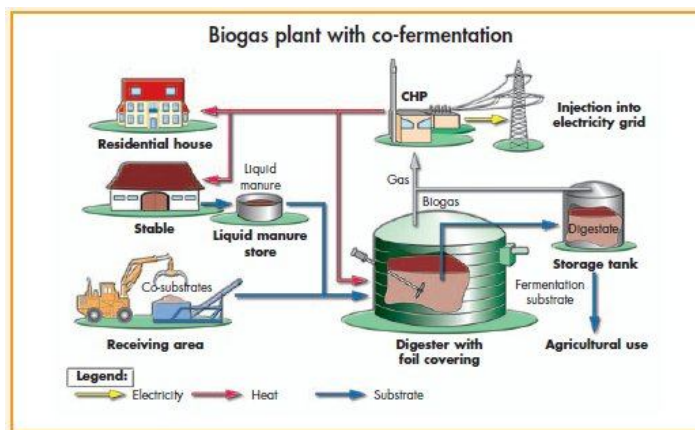
10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

68



## Σχηματική αξιοποίησης βιομάζας με αναερόβια χώνευση



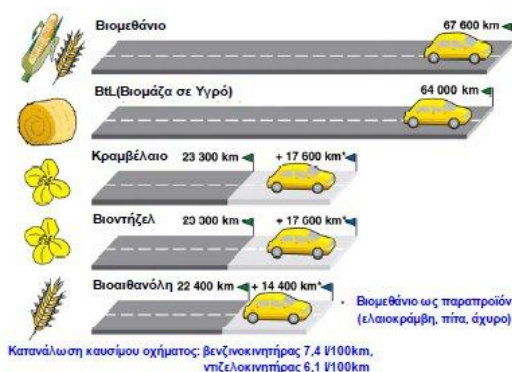
Πηγή: Biogass – An introduction <http://www.nachwachsenrohstoffe.de/>

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

71

## Ενεργειακή σύγκριση διαφόρων βιοκαυσίμων



Σχήμα 5.8: Σύγκριση βιοκαυσίμων: Εμβέλεια ενός ιδιωτικού προσωπικού αυτοκινήτου που κινείται με βιοκαύσιμα τα οποία παράγονται από πρώτη ή μη/ενεργειακές καλλιέργειες από 1 εκτάριο αρροτραίου εδάφους (FNK, 2008)

Πηγή: Εγχειρίδιο βιοαερίου, Final Report of the BiG>East Project, Μάιος 2010, ΚΑΠΕ <http://www.cres.gr>

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

72

## 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 kW<sub>el</sub>.
- 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 kW<sub>el</sub> και επεξεργάζεται 84000 t πολτούς και καλαμπόκι.
- Υπάρχουν 284 εργοστάσια στην Αυστρία το 2008 (μέσο μέγεθος 260 kW<sub>el</sub>)
- Η Αγγλία διαθέτει 30 μονάδες.
- Μόνο η Σουηδία διαθέτει αγορά για οχήματα που κινούνται με βιοαέριο.
- Τέλος η Δανία διαθέτει Κεντρικά εργοστάσια αναερόβιας χώνευσης
- Πηγή: THE ANDERSONS CENTRE (2010) "A detailed economic assessment of anaerobic digestion technology and its suitability to UK farming and waste systems" <http://www.nnfcc.co.uk/>.

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

73

## Βασικά μεγέθη αναερόβιας χώνευσης

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

Πηγή: Biogas – An introduction, <http://www.nachwachsenrohstoffe.de/>

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

74

## Υποστρώματα

- Τα κύρια υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη είναι κυρίως κτηνοτροφικοί πολτοί.
- Η συνέργεια μεταξύ των διαφόρων υποστρωμάτων αυξάνει την παραγωγή μεθανίου λόγω της αλληλοσυμπλήρωσης ιχνοστοιχείων.
- Στη Γερμανία δίνεται έμφαση στη χρήση ενεργειακών καλλιιεργειών, κυρίως λόγω των ευνοϊκών επιδοτήσεων.
- Στη Σκωτία έμφαση δίνεται στην αξιοποίηση της βρώμης.
- Στη Νότια Ευρώπη στα απόβλητα ελαιοτριβείων και εσπεριδοειδών.
- Ο χρόνος παραμονής κυμαίνεται ανάλογα με τον τύπο του υποστρώματος από 25-40 ημ για πολτούς και βιομάζα και μεταξύ 60 και 100 ημ για χώνευση ενεργειακών καλλιιεργειών «ξηρή χώνευση».
- Στοιχεία για τη χώνευση ενεργειακών καλλιιεργειών μόνων τους ή σε συνδυασμό με άλλα υποστρώματα δίνονται από IEA Bioenergy task 37. IEA Bioenergy task 37 (2010) "Biogas from Energy Crops Digestion", <http://www.iea-biogas.net/>

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

75

## Δυναμικό παραγωγής βιομεθανίου στην Ευρώπη

Προέλευση	Συνολικό δυναμικό βιομεθανίου (m <sup>3</sup> x 10 <sup>9</sup> )	Ποσοστό αξιοποίησης μέχρι το 2020	Πραγματικό δυναμικό βιομεθανίου (m <sup>3</sup> x 10 <sup>9</sup> )	Ενέργεια (Mtoe)
<b>Γεωργία</b>	58,9	62%	36,4	31,3
Ενεργειακές καλλιιεργειες (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
<b>Απόβλητα</b>	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
<b>Σύνολο</b>	<b>77,9</b>	<b>59%</b>	<b>45,9</b>	<b>39,5</b>

Πηγή: European Biomass Association AEROBIOM (2009) "A biomass road map for Europe", <http://www.aebiom.org/>

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

76

## 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

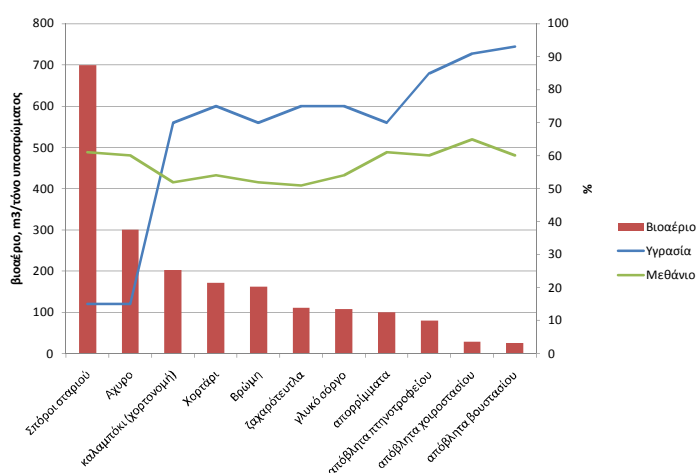
Πηγή: Εγχειρίδιο βιοαερίου , Final Report of the BiG>East Project, Μάιος 2010, ΚΑΠΕ <http://www.cres.gr>

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

77

## Παραγωγή βιοαερίου και ποσοστό μεθανίου διαφόρων υποστρωμάτων



Πηγή: Βασισμένο στο Εγχειρίδιο βιοαερίου , Final Report of the BiG>East Project, Μάιος 2010, ΚΑΠΕ <http://www.cres.gr>

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

78

## Τύποι αντιδραστήρων AX

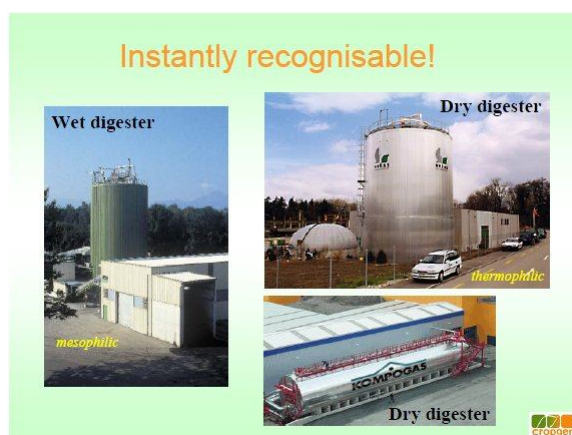
- Αντιδραστήρες ενός σταδίου: Συνήθης τύπος, με μεγάλους χρόνους παραμονής και χαμηλή φόρτιση  $1-4 \text{ kgTS/m}^3 \text{ d}$ . Το βιοαέριο συλλέγεται μέσα στον αντιδραστήρα.
- Αντιδραστήρες δύο σταδίων με διαχωρισμό φάσεων: Γίνεται διαχωρισμός της φάσης οξυγένεσης από τη φάση μεθανογένεσης. Έχει χρησιμοποιηθεί στην επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών απορριμμάτων αλλά δεν υπάρχει εμπειρία στον αγροτικό τομέα.
- Αντιδραστήρες μεθανογένεσης δύο σταδίων χωρίς διαχωρισμό φάσεων: Πρόκειται για τεχνολογία που βρίσκει μεγάλη εφαρμογή κυρίως στη χώνευση ξηρών υποστρωμάτων. Ο πρώτος αντιδραστήρας λειτουργεί για εξισορρόπηση και ομογενοποίηση των υποστρωμάτων με υψηλή φόρτιση  $3-7 \text{ kgTS/m}^3 \text{ d}$  αλλά μπορεί να φθάσει και μέχρι τα  $15 \text{ kgTS/m}^3 \text{ d}$  ενώ ο δεύτερος για την συλλογή του υπόλοιπου βιοαερίου.
- Αντιδραστήρες εμβολοειδούς ροής που επιτυγχάνουν φορτίσεις της τάξης  $10 \text{ kgTS/m}^3 \text{ d}$ . Είναι γνωστοί από την τεχνολογία της χώνευσης απορριμμάτων. Δεν υπάρχει εμπειρία στη χώνευση βιομάζας.
- Πηγή: M.S. Rao, S.P. Singh\*, A.K. Singh, M.S. Sodha (2000) «Bioenergy conversion studies of the organic fraction of MSW: assessment of ultimate bioenergy production potential of municipal garbage» *Applied Energy*, Vol 66, pp 75-87.

10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

79

## Αναερόβιοι χωνευτές βιομάζας



10/1/2011

Ενέργεια από βιομάζα

80





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