



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ήπιες Μορφές Ενέργειας

Ενότητα 9: Εισαγωγή στη Βιομάζα, Πηγές - Ιδιότητες
- Βιοκαύσιμα

Ελευθέριος Αμανατίδης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Περιεχόμενα Ενότητας

- Ορισμός Βιομάζας – Ιστορική Εξέλιξη
- Η Βιομάζα ως αποθήκη χημικής ενέργειας
- Η Βιομάζα ως καύσιμο
- Είδη – Πηγές – Βασικές Ιδιότητες Βιομάζας
- Ενδιάμεση Επεξεργασία – Ενεργειακή Αναβάθμιση
- Στάδια Ενεργειακής Εκμετάλλευσης
- Ενεργειακό Κέρδος – Κόστος



Ορισμός Βιομάζας

«Πρόσφατη οργανική ύλη που προέρχεται από φυτά, ως αποτέλεσμα φωτοσύνθεσης ή από ζώα και προορίζεται σαν αποθήκη χημικής ενέργειας με σκοπό την παροχή θερμότητας, ηλεκτρισμού ή καυσίμων»

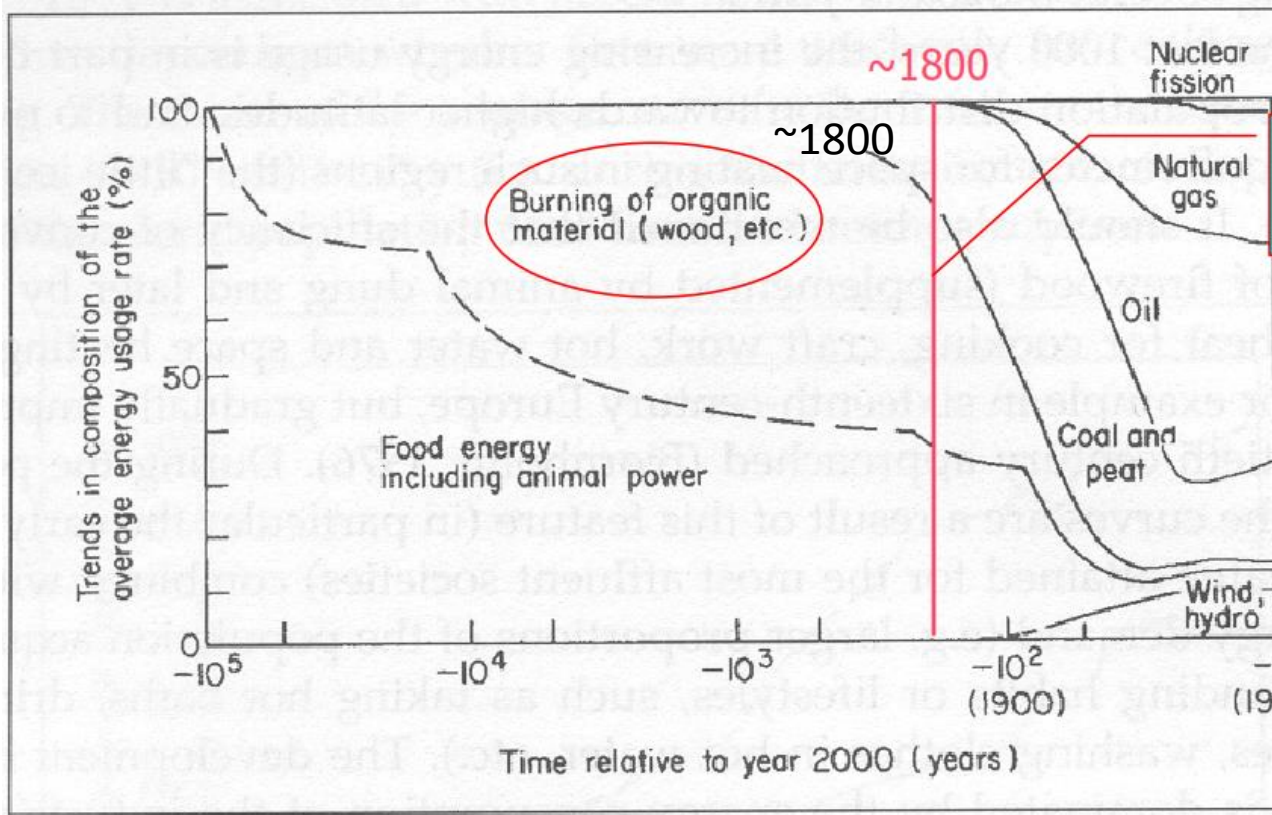
Ως βασικές πηγές βιομάζας θεωρούνται

- Υπολείμματα ξυλείας
- Γεωργικά υπολείμματα
- Ενεργειακές καλλιέργειες
- Ζωικά απόβλητα
- Αστικά απορρίμματα



Ιστορική Χρήση Βιομάζας

Η παλαιότερη μορφή ενεργειακού φορέα



Βιομηχανική
Επανάσταση

Πηγή: Bent Sorensen (2000), "Renewable Energy", Academic Press



Ιστορική Εξέλιξη Χρήσης Βιομάζας

Βιομηχανική Επανάσταση

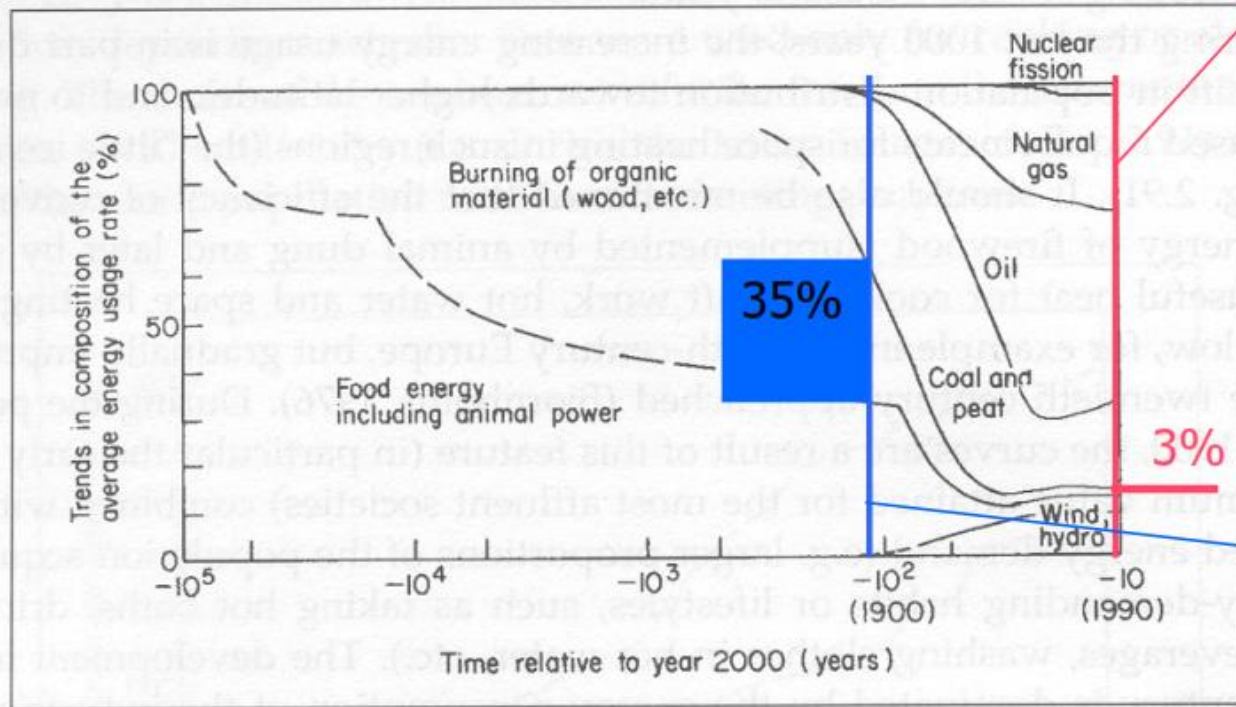
Η απαρχή της εποχής του άνθρακα

Μαζική αντικατάσταση των πηγών βιομάζας (κυρίως ξύλο) από άνθρακα λόγω:

- Αυξανόμενης έλλειψης πρώτης ύλης
- Ανόδου της τιμής του ξύλου
- Τεχνολογικής κατεύθυνσης
- Διαρκούς ανάγκης για αύξηση παραγωγής / πλούτου
- Ανώτερου ενεργειακού δυναμικού



Ποσοστό συμμετοχής βιομάζας στο ενεργειακό σκηνικό



Ανεπτυγμένες χώρες

Κατανάλωση: >250 EJ/γ
Κατά κεφαλήν:
>210 GJ/άτομο*γ

Συμμετοχή βιομάζας: ~3%

(1EJ=10¹⁸J, 1GJ=10⁹J)

Αναπτυσσόμενες χώρες

Κατανάλωση: ~140EJ/γ

Κατά κεφαλήν:

~36 GJ/άτομο*γ

Συμμετοχή βιομάζας:
~35%

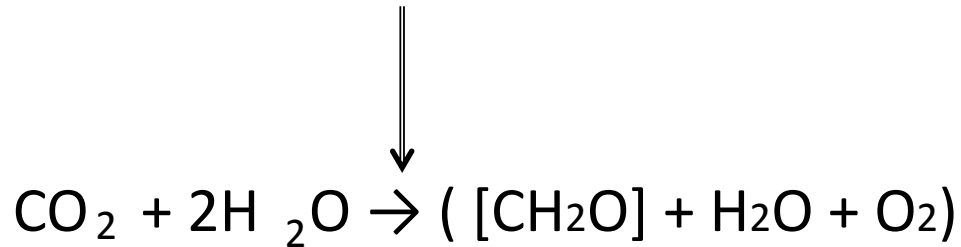
Πηγή: Bent Sorensen (2000), "Renewable Energy", Academic Press

Γύρω στο **14%** της παγκόσμιας παροχής πρωτογενούς ενέργειας προέρχεται από βιομάζα

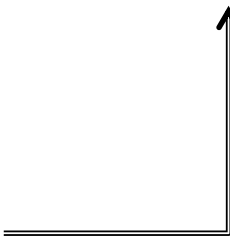


Η βιομάζα ως αποθήκη χημικής ενέργειας

Προέλευση → ηλιακή ενέργεια μέσω της φωτοσύνθεσης :



Σάκχαρα, άμυλο,
κυτταρίνη, λιγνίνη



Η βιομάζα ως καύσιμο

Βιοκαύσιμο: «Κάθε ενεργειακός πόρος – σε στερεή, υγρή ή αέρια μορφή – από οργανικές πρώτες ύλες που προέρχονται είτε κατευθείαν από φυτά είτε έμμεσα από βιομηχανικά, εμπορικά, οικιακά και αγροτικά απόβλητα»

Οι εφαρμογές των βιοκαυσίμων αφορούν ένα πολύ ευρύ φάσμα – από τα οικιακά τζάκια έως εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού δυναμικότητας 50 MW και ετήσιας κατανάλωσης 500 ktn βιομάζας ετησίως.



Η βιομάζα ως καύσιμο

Ενδεικτικός Πίνακας της τάξης μεγέθους διαφόρων εφαρμογών βιομάζας

Δυναμικότητα εγκατάστασης	Εφαρμογή	Ετήσια κατανάλωση βιομάζας (odt)	Τάξη Μεγέθους Επένδυσης (*1000 \$)
Οικιακή Θέρμανση (15 kW _{th})	Κατοικία	3 – 5 καυσόξυλα	0,1
Θέρμανση (350 kW _{th})	Σχολείο ή βιοτεχνία	80 – 120 (ξύλο – άχυρο)	10
Εγκατάσταση συμπαραγωγής μικρής κλίμακας (250 kW _{el})	200 - 300 κατοικίες ή μικρή βιομηχανία	1500 – 2000 (ξύλο – άχυρο)	100



Η βιομάζα ως καύσιμο

Ενδεικτικός Πίνακας της τάξης μεγέθους διαφόρων εφαρμογών βιομάζας

Δυναμικότητα εγκατάστασης	Εφαρμογή	Ετήσια κατανάλωση καυσίμου (odt)	Τάξη Μεγέθους Επένδυσης (*10 ⁶ \$)
Εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής μεσαίου μεγέθους (5 Mw _{el})	4000 – 6000 κατοικίες	20000 – 30000	1
Εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής μεγάλου μεγέθους (30 Mw _{el})	25000 – 35000 κατοικίες	120000 – 140000	10
Εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου (500 Mw _{el})	>500000 κατοικίες	800 Mm ³ NG ή 1 Mtn άνθρακα	100



Είδη – Πηγές Βιομάζας

Γενική κατάταξη σε κατηγορίες :

- Υπολείμματα ξυλείας
- Γεωργικά Υπολείμματα
- Ενεργειακές Καλλιέργειες
- Ζωικά απόβλητα
- Αστικά απορρίμματα

Πηγή Βιομάζας	Εκτίμηση παροχής ενέργειας το έτος 2050 (EJ)
Υπολείμματα Ξυλείας	24
Γεωργικά Απορρίμματα	25
Ενεργειακές Καλλιέργειες	128
Ζωικά Απόβλητα	25
Αστικά Απορρίμματα	3



Είδη – Πηγές Βιομάζας

Υπολείμματα ξυλείας

Προέρχονται από:

- Υλοτόμηση δασων
- Κλάδεμα δέντρων
- Επεξεργασία της ξυλείας (κοπή, αποφλοιώση, πριονίδια)
- Τη χαρτοβιομηχανία (υγρό καύσιμο, απόβλητο – black liquor)
- Η κύρια πηγή βιοκαυσίμων σε παγκόσμια κλίμακα
- Χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο προς κάλυψη θερμικών φορτίων και σπανιότερα σε συνδυασμό με ηλεκτροπαραγωγή



[image url](#)



Είδη – Πηγές Βιομάζας

Στοιχεία κόστους υπολειμμάτων ξυλείας

- Εξάρτηση από το σημείο συλλογής
- Συνολικά διαθέσιμη ποσότητα
- Κόστος χρήσης εξοπλισμού συλλογής
- Απαιτήσεις προεπεξεργασίας ή ξήρανσης
- Διανυόμενη απόσταση μεταφοράς
- Διάταξη επεξεργασίας και μεταφοράς στο εργοστάσιο μετατροπής σε ηλεκτρισμό - θερμότητα



Τυπικά κόστη παράδοσης [image url](#)
βιοκαυσίμου (80km διανυόμενη
απόσταση) : 1.5 – 4.5\$/GJ ή

15 – 45 \$/odt (oven
dry tonne)



Είδη – Πηγές Βιομάζας

Γεωργικά Υπολείμματα

- Προέρχονται από καλλιέργειες ρυζιού, σιταριού, σακχαροκάλαμων, καλαμποκιού, πατάτας κ.α
- **Αγγλία:** 14Mt είτε καίγονται αναξέλεγκτα είτε αποσυντίθενται σε ετήσια βάση
- **Δανία:** Εφαρμογές τηλεθέρμανσης με καύσιμο άχυρο τάξης μεγέθους 3-5 MW
- **Ινδονησία:** Ετήσιο δυναμικό 5.6 Mt φλοιών ρυζιού
- **Βιομηχανία ζάχαρης:** Υπόλειμμα επεξεργασίας σακχαροκάλαμων με εντατική αξιοποίηση θα οδηγούσε σε παραγωγή 50 GW παγκοσμίως



[image url](#)



Είδη – Πηγές Βιομάζας

Ενεργειακές καλλιέργειες

- Πρόκειται για είδη καλλιεργειών με ιδιαίτερα υψηλές αποδόσεις στην αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας
- Σκοπός τέτοιας καλλιέργειας είναι αποκλειστικά η ενεργειακή εκμετάλλευση
- Είδη ενεργειακών καλλιεργειών
 - Σόργος
 - Ελαιοκράμβη
 - Σπόροι μουστάρδας
 - Καλάμια – λόχμες
 - Μίσχανθος
 - Ευκάλυπτος



Είδη – Πηγές Βιομάζας

Ζωϊκά απόβλητα

- Αυστηρότεροι κανονισμοί σε σχέση με τη χρήση των ζωικών αποβλήτων ως οργανικά λιπάσματα κάνουν πιθανότερη την ενεργειακή τους αξιοποίηση
- Μέσω της αναερόβιας χώνεψης των ζωικών αποβλήτων παράγεται βιοαέριο (κατά κύριο λόγο μεθάνιο)
- Το βιοαέριο χρησιμοποιείται ως αέριο καύσιμο είτε σε καυστήρες είτε σε Μηχανές Εσωτερικής Καύσης



Είδη – Πηγές Βιομάζας

Αστικά απορρίμματα

- Προς το παρόν προορίζονται κυρίως για ταφή
- Αυστηρότεροι περιβαλλοντικοί όροι προωθούν την ενεργειακή αξιοποίηση των αστικών απορριμμάτων μέσω:
 - Άμεσης καύσης
 - Εφαρμογής νέων τεχνολογιών θερμικής αξιοποίησης
 - Παραγωγής βιοαερίου (αερίου χωματερής)
 - Παραγωγής RDF (Refuse Derived Fuel) – Καύσιμο από απορρίμματα



Είδη – Πηγές Βιομάζας

Σύνθεση – Παραγωγή Αστικών Απορριμμάτων

Νομός Αττικής: 0.6 ~ 1.5 kg/ (άτομο*ημέρα)

1985-1990: +17% ~ +38% συνολική παραγωγή

- 1990-2004:
- Οργανικά -20%
 - Χαρτί +50%
 - Πλαστικά +30%

Παράγοντες Επηρεασμού

- Εξέλιξη βιοτικού επιπέδου – κατανάλωσης
- Βαθμός εφαρμογής προγραμμάτων διαχωρισμού στην πηγή
- Κοινοτικές οδηγίες για υλικά συσκευασιών

Συστατικό	% κατά βάρος	
	1990	2004
Οργανικά	51	40
Χαρτί	22,3	32
Μέταλλα	4,2	3,5
Πλαστικά	10	13
Γυαλί	3,5	2,5
Υφάσματα, ξύλα, δέρματα, ελαστικά	3,5	3,2
Αδρανή	2	2,5
Διάφορα	3,5	3,3
ΣΥΝΟΛΟ	100	100



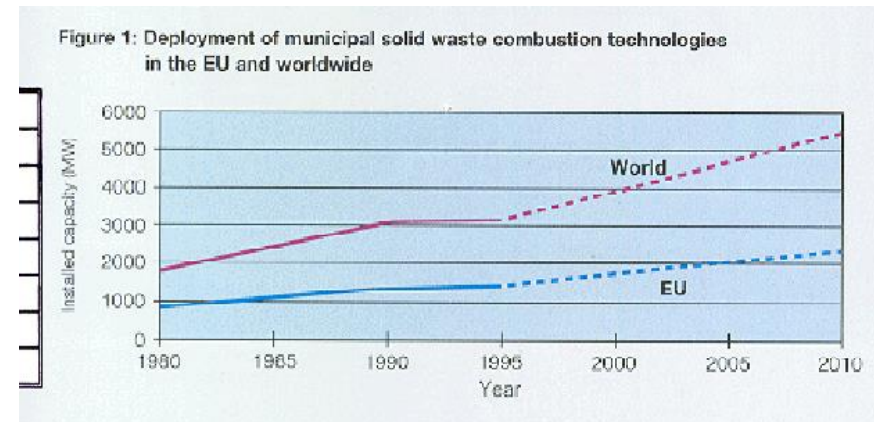
Είδη – Πηγές Βιομάζας

Θερμική αξιοποίηση αστικών απορριμμάτων

- Καύση σε υπαίθριους χώρους (ανεξέλεκτη, ανθυγιεινή, επικίνδυνη)
- Καύση σε κλιβάνους (τελη 19^{ου} αιώνα – Γερμανία, Αγγλία) μείωσης όγκου στο 5-20 % - χωρίς ανάκτηση θερμότητας:

Σήμερα

Χώρα	%	Χώρα	%
Ελβετία	81	Γαλλία	36
Ιαπωνία	78	Νορβηγία	21
Ολλανδία	58	ΗΠΑ	20
Σουηδία	58	Αυστρία	14
Δανία	56	Ηνωμένο Βασίλειο	10
Βέλγιο	56	Καναδάς	6
Γερμανία	44	Φινλανδία	6



- Μελλοντική τάση: Σταδιακή απαγόρευση ταφής απορριμμάτων
- Γαλλία: Στόχος η αύξηση δυναμικότητας εγκαταστάσεων καύσης σε 57 %
- Αγγλία: Αντίστοιχο ποσοστό σε 40 %



Βασικές Ιδιότητες Βιομάζας

- Στοιχειακή Ανάλυση
- Θερμογόνος Ικανότητα
- Περιεκτικότητα σε υγρασία
- Περιεκτικότητα σε τέφρα
- Πυκνότητα



Βασικές Ιδιότητες Βιομάζας

Στοιχειακή Ανάλυση

- Το οργανικό περιεχόμενο των διαφόρων πηγών βιομάζας έχει σε γενικές γραμμές παρόμοια στοιχειακή σύσταση

Στοιχείο	Κατά βάρος σύσταση (χωρίς τέφρα, σε ξηρή βάση)
Άνθρακας (C)	44 – 51 %
Υδρογόνο (H)	5,5 – 6,7 %
Οξυγόνο (O)	41 – 50 %
Άζωτο (N)	0,12 – 0,60 %
Θείο (S)	0 – 0,2 %



Βασικές Ιδιότητες Βιομάζας

Θερμογόνος Δύναμη

- Η θερμική ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση 1 kg καυσίμου (αέρια: 1 m³) σε συγκεκριμένες συνθήκες.
- Διακρίνεται σε ανώτερη (HHV – Higher Heating Value) και κατώτερη (LHV – Lower Heating Value) , λόγω δέσμευσης ενέργειας με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας ατμοποίησης των υδρατμών στα καυσαέρια.
- Συνήθεις τιμές θερμογόνου δύναμης βιοκαυσίμου χωρίς τέφρα και σε ξερή βάση είναι της τάξης των 20.000 kJ/kg \pm 15 %



Βασικές Ιδιότητες Βιομάζας

Περιεκτικότητα σε υγρασία

- Η ποσότητα νερού εντός της βιομάζας
- Ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος για το καθορισμό του LHV, όσο και για την επιλογή της τεχνολογίας ενεργειακής αξιοποίησης που θα επιλεγεί
- Για θερμική αξιοποίηση (π.χ καύση) της βιομάζας επιβάλλονται τιμές $< 50 \%$
- Οι τιμές κυμαίνονται από 10% (υπολείμματα καλλιέργειας δημητριακών έως και 80% (δασικά υπολείμματα – ζωικά απόβλητα



Βασικές Ιδιότητες Βιομάζας

Περιεκτικότητα σε τέφρα

Το ανόργανο κλάσμα της βιομάζας

- Αποτελείται κατά κύριο λόγο από:

SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , MgO , P_2O_5 , TiO_2

- Κυμαίνεται από 0.5 % (ξύλο) έως και 30 – 40 % (φλοιός ρυζιού)

Επίσης σημαντική παράμετρος που επηρεάζει τη συμπεριφορά του βιοκαυσίμου κάτω από υψηλές θερμοκρασίες.

Η τήξη και η επανασυσσωμάτωση της τέφρας προκαλεί προβλήματα (αποφράξεις, επικαθίσεις, λειτουργικές δυσχέρειες στις ρευστοποιημένες κλίνες κ.α.)



Βασικές Ιδιότητες Βιομάζας

Πυκνότητα

- Καθώς η βιομάζα χρησιμοποιείται τεμαχισμένη πιο χρήσιμη τεχνικά είναι η «χύδην» (bulk) πυκνότητα
- Αποτελεί κλάσμα της πυκνότητας ανά τεμάχιο
- Εξαρτάται άμεσα από το είδος, το μέγεθος, το σχήμα και την υγρασία των τεμαχίων της βιομάζας
- Κυμαίνεται από 100-200 kgr/m³ (άχυρο) έως και 700-900 kgr/m³ (ξύλο)
- Η «χύδην» πυκνότητα σε συνδυασμό με τη θερμογόνο πυκνότητα της βιομάζας αποτελούν την «ενεργειακή» της πυκνότητα. Σε σύγκριση με το πετρέλαιο, η βιομάζα περιέχει περίπου το 10 % της ενεργειακής πυκνότητας.



Ενδιάμεση επεξεργασία – αναβάθμιση βιομάζας

Συμπύκνωση - Ξήρανση

- Με σκοπό την αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας και για να γίνει οικονομικότερη η μεταφορά της βιομάζας συχνά απαιτείται η συμπύκνωση της σε κυλινδρική μορφή (pellets)
- Επίσης παράλληλα επιτυγχάνεται (α) μείωση της υγρασίας της βιομάζας (β) ομοιομορφία στις διαστάσεις και στις ιδιότητες
- Απώτερος στόχος είναι η παραγωγή καυσίμου με βελτιωμένες ιδιότητες και επίτευξη καλύτερων προϋποθέσεων ενεργειακής αξιοποίησης



Κύριοι τρόποι ενεργειακής εκμετάλλευσης

- **ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (Θερμότητα, ηλεκτρισμός)**
 - Ανθρακοποίηση
 - Πυρόλυση
 - Αεριοποίηση
- **ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (βιοκαύσιμα, μεθάνιο)**
 - Αναερόβια ζύμωση π.χ. παραγωγή βιοαερίου
 - Υδρόλυση-Αναερόβια ζύμωση π.χ. παραγωγή αιθανόλης
- **ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (Χρήσιμα Οργανικά Προϊόντα)**

Εκχύλιση ελαίων και εστεροποίηση των τριγλυκεριδίων π.χ. παραγωγή βιολογικού καυσίμου.



Γενικά στάδια ενεργειακής εκμετάλλευσης

Θερμότητα

Ηλεκτρισμός

Σκοπός 3^{ου} σταδίου : Παραγωγή Βιοενέργειας

Τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας: Καύση, Αεριοποίηση, Πυρόλυση

Σκοπός 2^{ου} σταδίου : Παροχή Βιοκαυσίμου προς εκμετάλλευση

Ενδιάμεση Επεξεργασία/αναβάθμιση βιοκαυσίμου: Μεταφορά, Αποθήκευση, Ξήρανση, Συμπύεση, Ανάμιξη

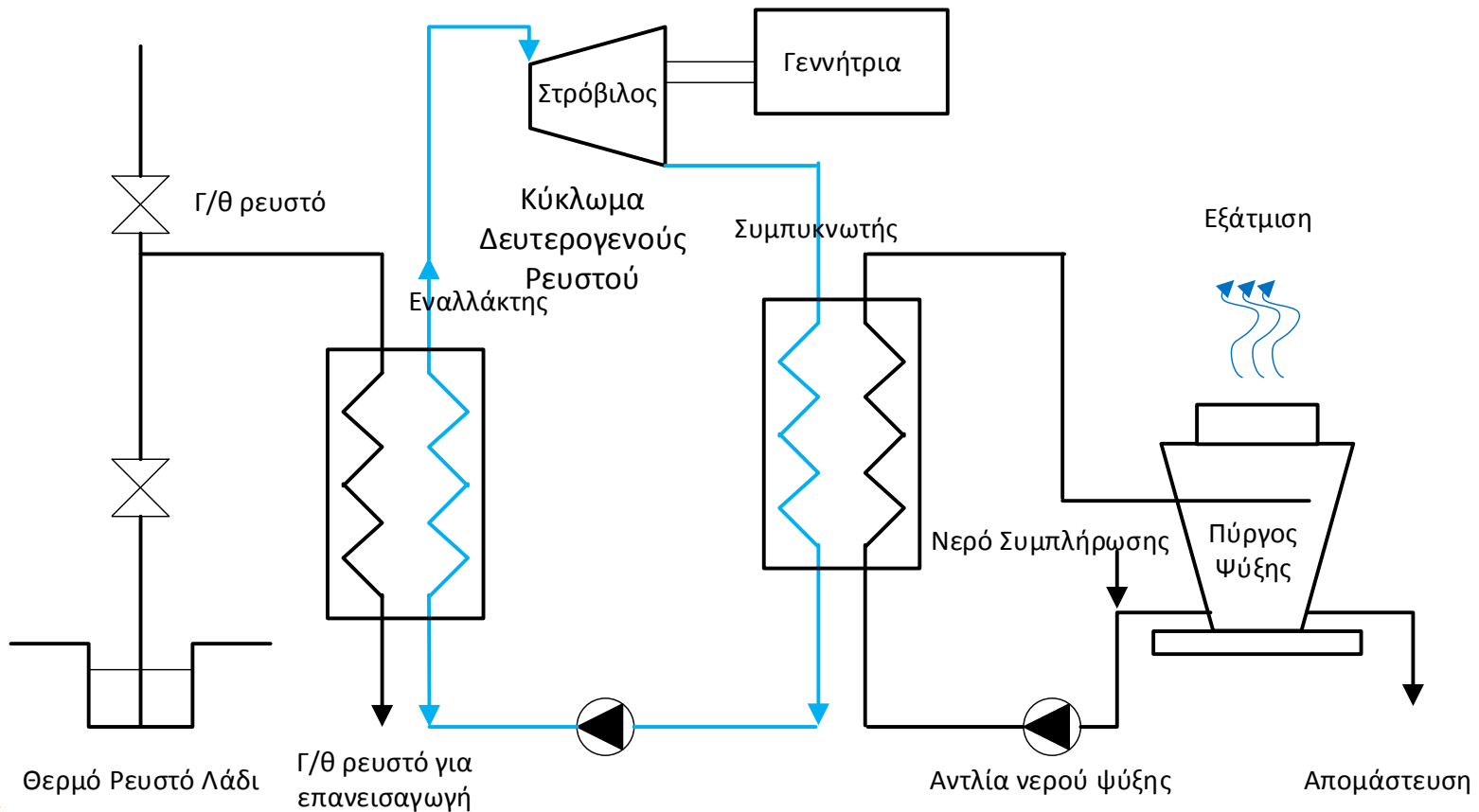
Σκοπός 1^{ου} σταδίου : Παραγωγή πρώτης ύλης Βιοκαυσίμου

Διάφορα είδη υπολειμμάτων: Συλλογή, Διαχωρισμός, Δεματοποίηση



Οργανικός Κύκλος Rankine – ORC unit

Παράδειγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με δυαδικό τύπο, κύκλου rankine με οργανικό ρευστό που γίνεται με ρευστά θερμοκρασίας πάνω από 85°C



Χαρακτηριστικά μονάδας παραγωγής ενέργειας

ORC 1 MW

	Τιμή	Μονάδα Μέτρησης
Θερμοκρασία Εισόδου Ελαίου	305	°C
Θερμοκρασία Εξόδου Ελαίου	130	°C
Παροχή Ελαίου	78	m ³ /hr
Σύνολο απορροφούμενης θερμότητας μονάδας ORC	1.069	kW _{th}
Θερμοκρασία Εισόδου Νερού	25	°C
Θερμοκρασία Εξόδου Νερού	35	°C
Παροχή Νερού	266	m ³ /hr
Νετ ηλεκτρική ισχύς μονάδας ORC	999	kW _{el}
Ετήσιος χρόνος λειτουργίας	8.000	hr
Ετήσια ηλεκτροπαραγωγή	7.992	MWhr/έτος

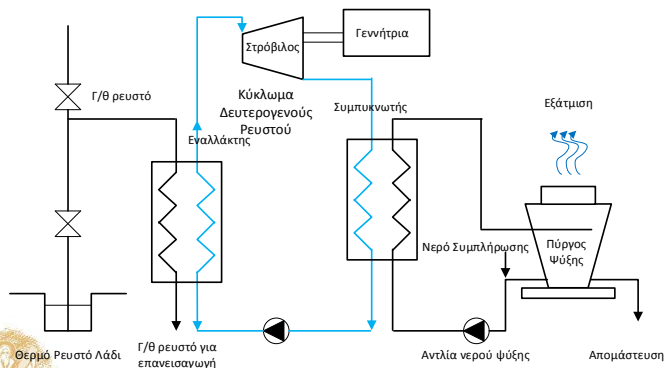
Οργανικός κύκλος Rankine (ORC)

Μειονέκτημα: Βιομάζα δεν είναι πάντα διαθέσιμη

Κόστος Παραγωγής Ενέργειας:
0.12 €/kWh

Κόστος εγκατάστασης:
1.000.000 €

Πλέον οικονομικότερους τρόπους παραγωγής ενέργειας μαζί με αιολική



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.