

Ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας. Η περίπτωση της Κρήτης.

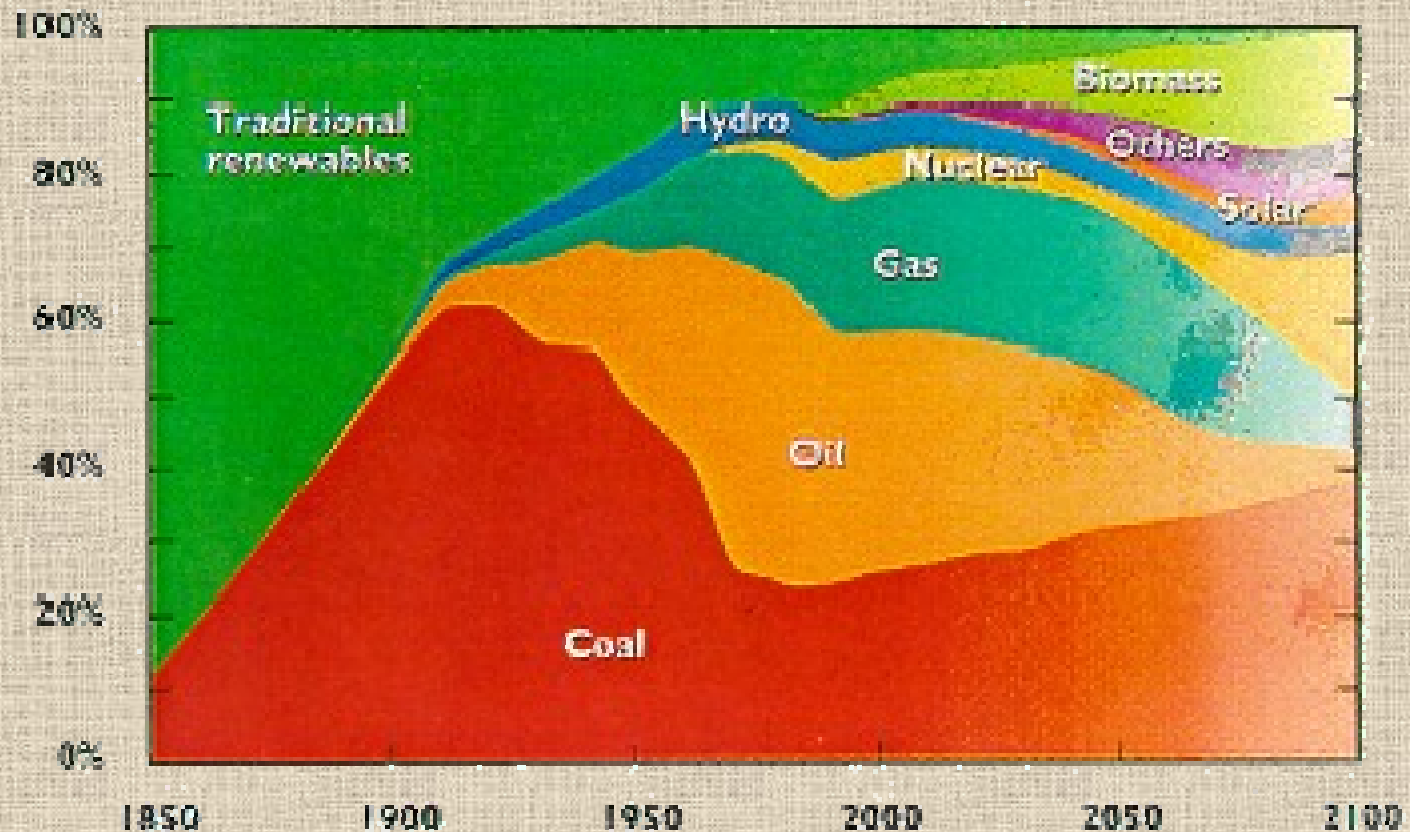
Δρ. Δ. Βάμβουκα-Καλουμένου

Επίκουρος Καθηγήτρια

Εργαστήριο "Εξευγενισμού & Τεχνολογίας Στερεών
Καυσίμων"

Πολυτεχνείο Κρήτης

Το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα



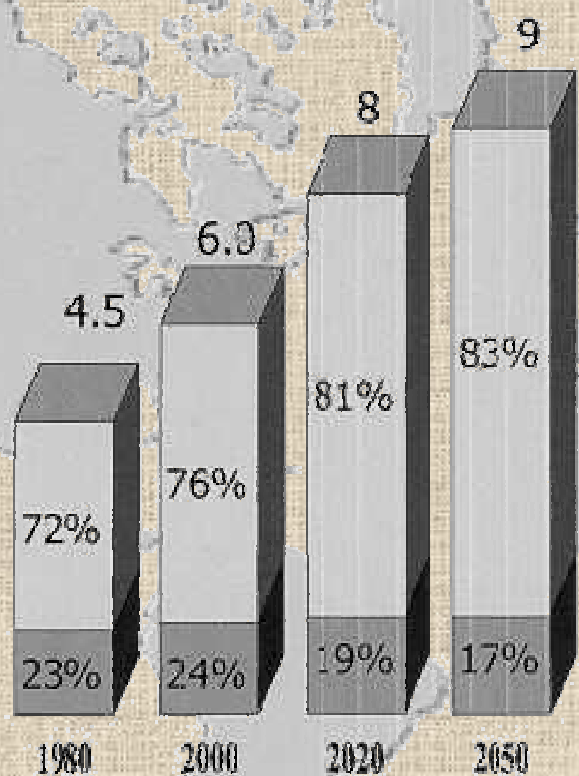
World Primary Energy Shares - 1850 to 2100

Source - World Coal Institute



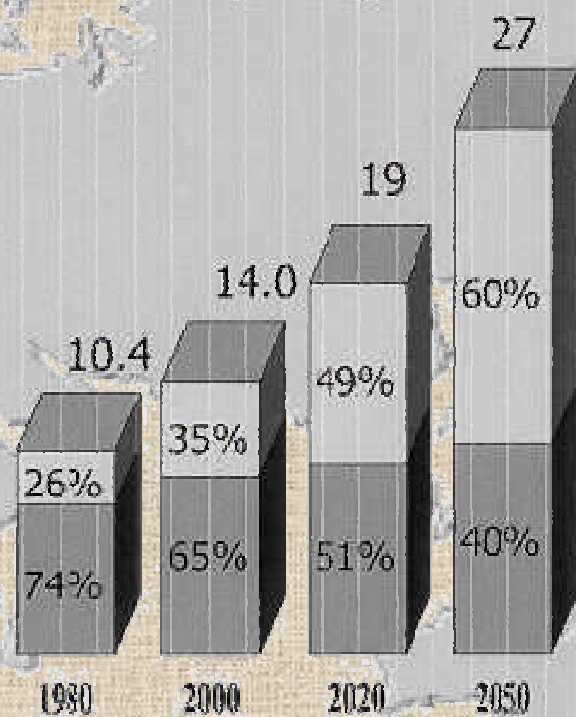
World Population

(billions)



World Energy Consumption

(billion tce)



Διάρκεια ζωής παγκόσμιων αποθεμάτων εξαντλήσιμων πηγών ενέργειας

Καύσιμο	Χρόνια
Λιγνίτες	510
Γαιάνθρακες	130
Φυσικό Αέριο	65
Πετρέλαιο	43

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Ευρώπη: Παρούσα κατάσταση Πρόοδος στην προώθηση έργων ΑΠΕ

- ✓ Η Ε.Ε. έχει θέσει τον φιλόδοξο στόχο του 12% για κάλυψη των συνολικών ενεργειακών της αναγκών από ΑΠΕ μέχρι το έτος 2010.
- ✓ Το 1997 η συμβολή των ΑΠΕ υπολογίζετο στο 5,4% ενώ το 2001 έχει φθάσει το 6,0% και σήμερα πρέπει να έχει διαμορφωθεί στο 7,5% με επιταχυνόμενη τάση
- ✓ Ευρωπαϊκή Οδηγία 2001/77:
Στα πλαίσια της οδηγίας αυτής, η Ελλάδα **πρέπει** να έχει **20,1% συμβολή των ΑΠΕ** στην ηλεκτροπαραγωγή μέχρι το 2010

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα

Τεχνολογία	Υπάρχουσα Κατάσταση	Προοπτικές	
		2005	2010
Αιολικά	39MW	800-1000MW	1500-2000MW
Μεγάλα Υδρο/τρικά	2784MW	3100MW	3250MW
Μικρά Υδρο/τρικά	42MW	150-200MW	300-400MW
Φωτοβολταϊκά	0.3MW	30-40MW	150-200MW
Ηλιακοί Συλλέκτες	$2.3 \cdot 10^6 \text{ m}^2$	$5.5 \cdot 10^6 - 7 \cdot 10^6 \text{ m}^2$	$9 \cdot 10^6 - 11 \cdot 10^6 \text{ m}^2$
Βιομάζα	900ktoe	1600-1800ktoe	2300-2700ktoe
Γεωθερμία	3ktoe	80-100ktoe	160-200ktoe

Βιομάζα

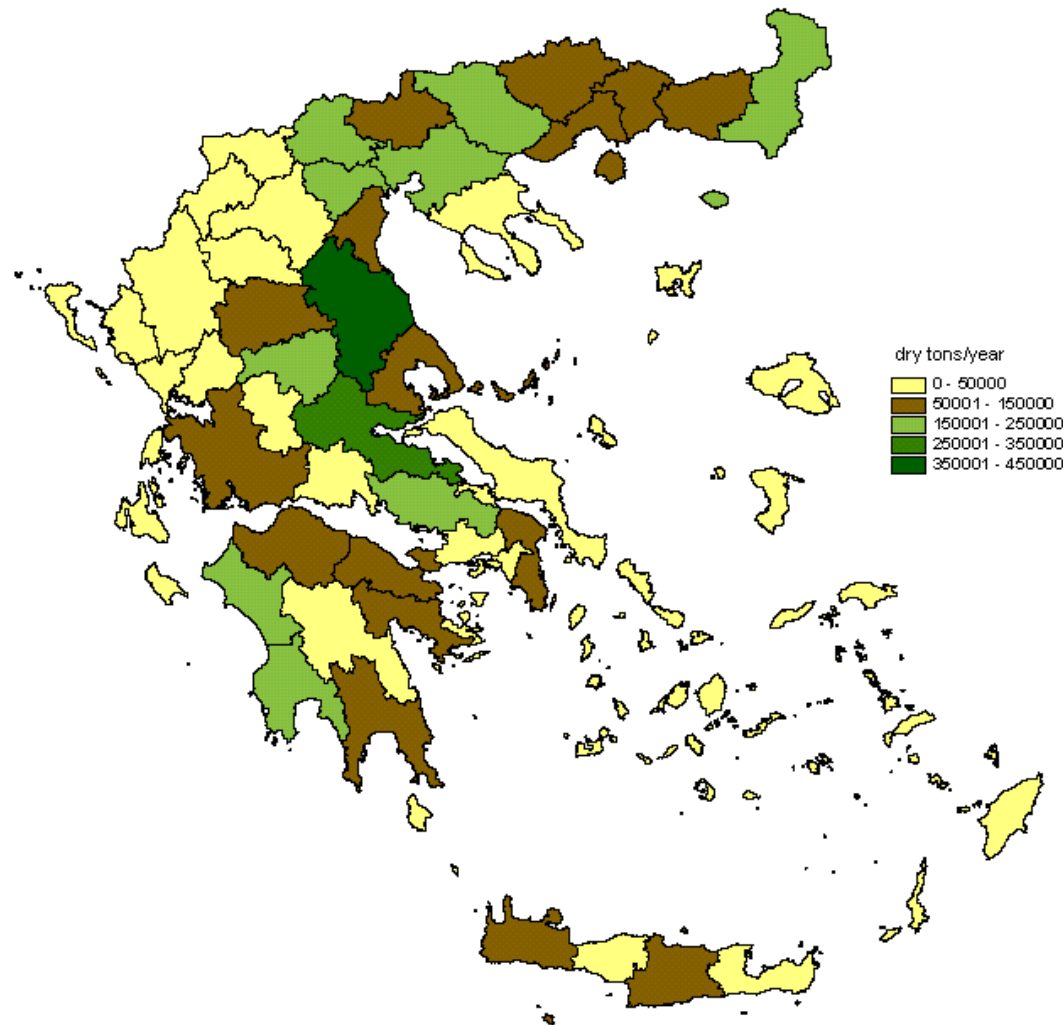
- ✓ Η χρήση της επιφέρει σημαντικά τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη
- ✓ Παγκοσμίως παράγονται 172 δις. τόνοι τον χρόνο, με ενεργειακό περιεχόμενο $3 \times 10^{12} \text{GJ}$
- ✓ Στις χώρες του ΟΟΣΑ αποτελεί $\sim 3.5\%$ της ενεργειακής χρήσης και κατανάλωσης και $\sim 14\%$ της παραγωγής θερμικής ενέργειας

Βιομάζα

Οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς σε ανανεώσιμη βάση

Ο ευρύτερος όρος βιομάζα περιλαμβάνει τα πάσης φύσεως φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα, τα βιομηχανικά στερεά οργανικά απορρίμματα καθώς και τις ενεργειακές καλλιέργειες

Γεωγραφική κατανομή διαθέσιμων ποσοτήτων αγροτικών υπολειμμάτων στην Ελλάδα



Τα υπολείμματα/απόβλητα διακρίνονται σε:

- ✓ Υπολείμματα που παραμένουν στον αγρό ή το δάσος μετά από τη συγκομιδή του κύριου προϊόντος. Τέτοια είναι το άχυρο σιτηρών, τα βαμβακοστελέχη, τα κλαδοδέματα, κ.ά.
- ✓ Υπολείμματα που παραμένουν στις διάφορες γεωργικές βιομηχανίες όπως τα υποπροϊόντα των πυρηνελαιουργείων, τα υπολείμματα των βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου, κ.ά.
- ✓ Απόβλητα ζωοτροφικών μονάδων.
- ✓ Δημοτικά στερεά απορρίμματα.

Γεωργική βιομάζα

Υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών



Υπολείμματα γεωργικών βιομηχανιών



Κτηνοτροφικά απόβλητα



Ενεργειακές καλλιέργειες



Αστικά απορρίμματα και απόβλητα



Ενεργειακές καλλιέργειες

" Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη τα οποία παράγουν βιομάζα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς όπως παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων κ.ά."

Ετήσιες ενεργειακές καλλιέργειες



Σόργο



Ελαιοκράμβη

Πολυετείς ενεργειακές καλλιέργειες



Αγριαγγινάρα

Πηγή: ΚΑΠΤΕ



Καλάμι

Δασικές φυτείες μικρού περίτροπου χρόνου



Ευκάλυπτος



Ψευδακακία

Διεργασίες ενεργειακής μετατροπής βιομάζας

✓ Θερμοχημικές ($C/N > 30$, υγρασία $< 50\%$)

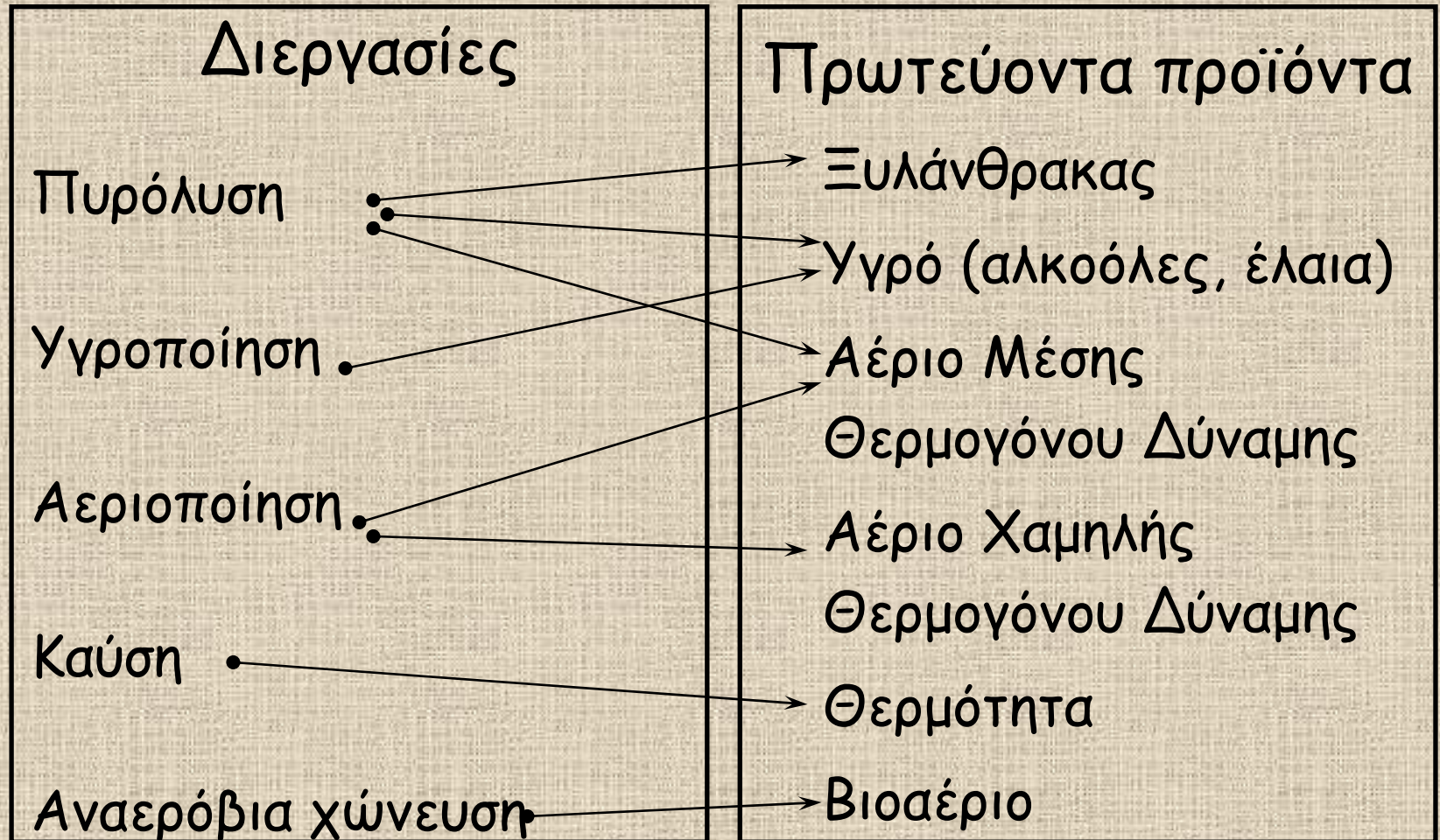
- πυρόλυση
- καύση
- αεριοποίηση
- υδρογονοδιάσπαση

✓ Βιοχημικές ($C/N < 30$, υγρασία $> 50\%$)

- αερόβια ζύμωση
- αναερόβια ζύμωση
- αλκοολική ζύμωση

Διεργασίες ενεργειακής μετατροπής βιομάζας

Πρωτεύοντα προϊόντα από τη μετατροπή



Δυσκολίες στην ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας

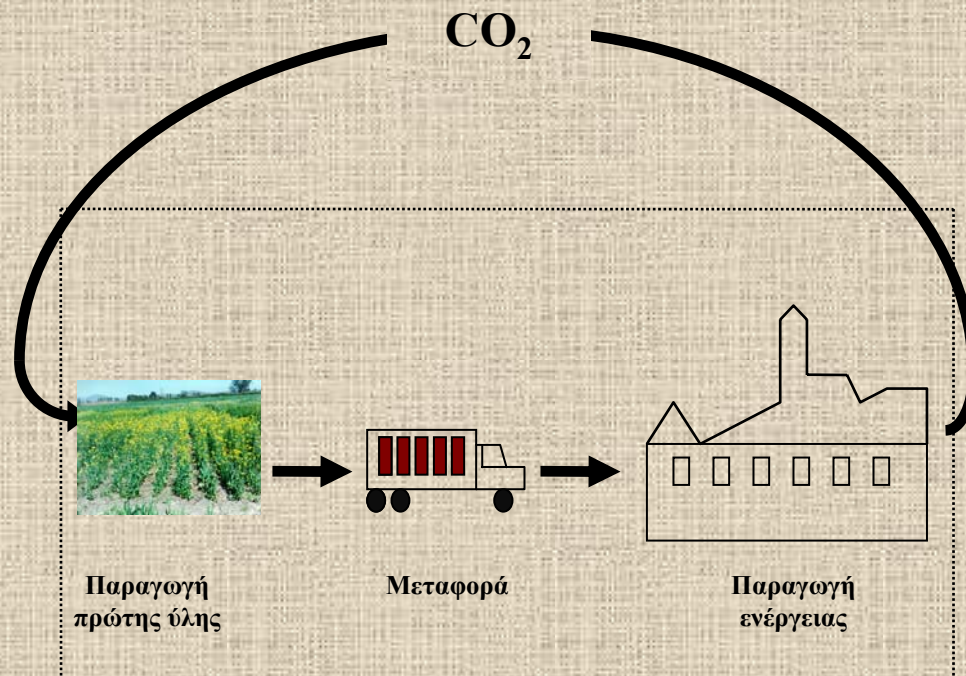
- ✓ Αυξημένος όγκος και περιεκτικότητα σε υγρασία
- ✓ Μεγάλη διασπορά και εποχιακή παραγωγή
- ✓ Δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά, και αποθήκευση
- ✓ Υψηλότερο κόστος εξοπλισμού

Πλεονεκτήματα από την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας

- ✓ Περιορισμός εισαγωγών ορυκτών καυσίμων
- ✓ Εξασφάλιση εργασίας και συγκράτηση πληθυσμών στις αγροτικές περιοχές
- ✓ Περιορισμός των εκπομπών SO_2 - όξινη βροχή

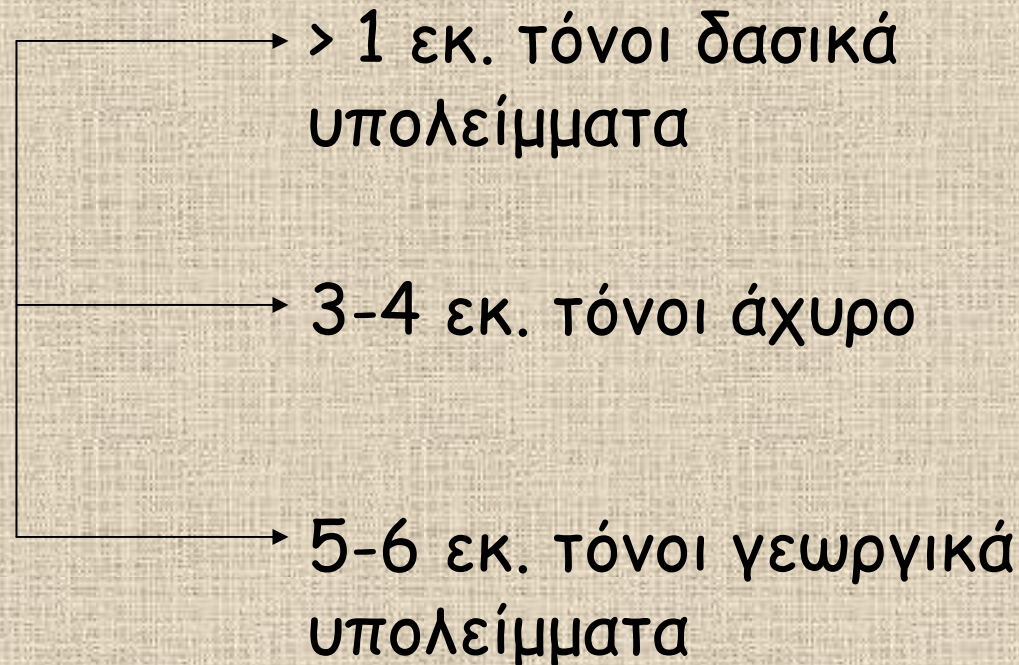
Πλεονεκτήματα από την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας

- ✓ Περιορισμός των εκπομπών CO_2 - φαινόμενο θερμοκηπίου



Δυναμικό βιομάζας στην Ελλάδα

10 εκ.
τόνοι
(3-4 ΤΙΠ)



Κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα

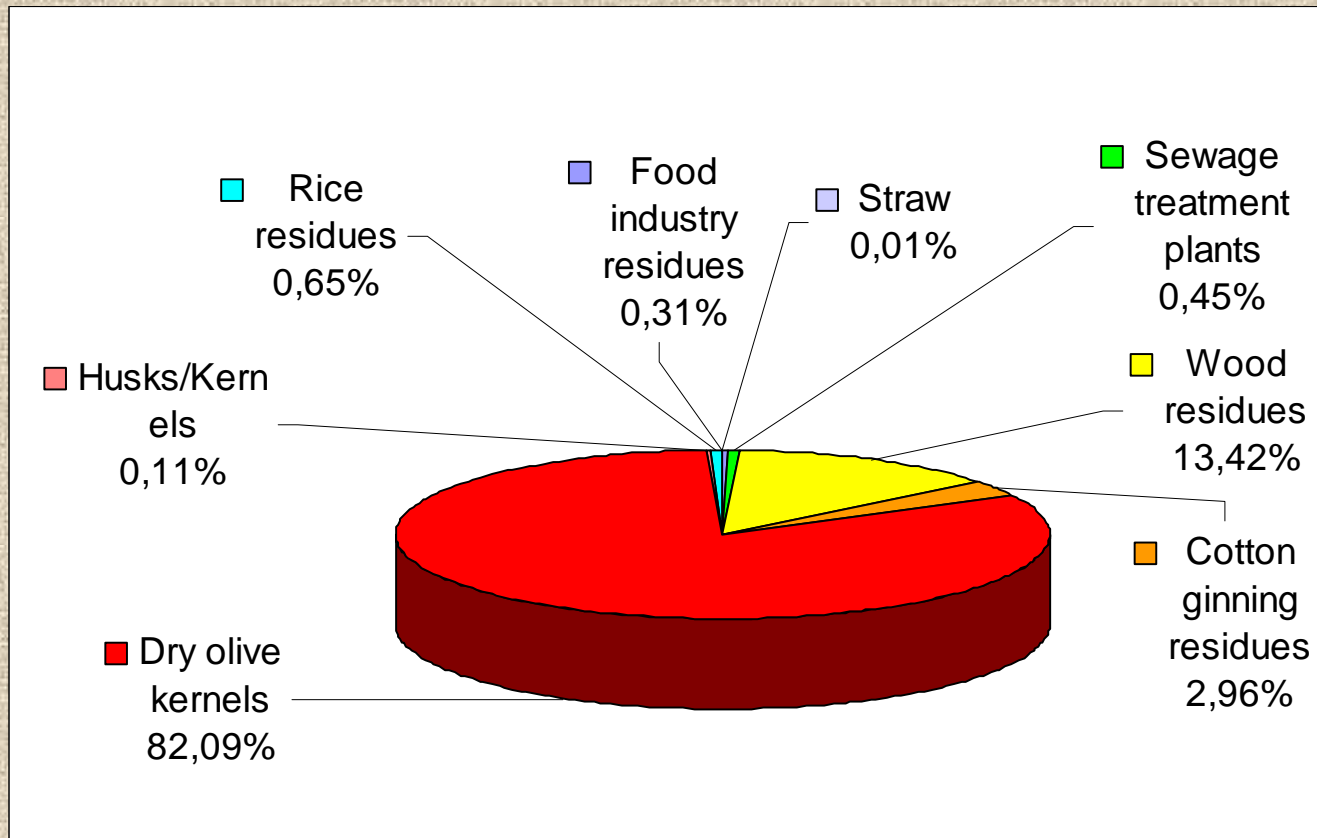
Energy Balance 2000	kTOE	%
Fossil Fuels	9038	32,11%
Liquid Fuels	15941	56,63%
Gas Fuels	1703	6,05%
RES:	1165,3	4,14%
Solar	99	0,35%
Wind	106	0,38%
Biomass - Industry	241	0,86%
Biomass - Households	705	2,50%
Biomass - Transport	0	0,00%
Small Hydro (0-10 MW)	14,3	0,05%
Large Hydro (10+ MW)	303,3	1,08%
Total	28150,6	100,00%

Πηγή: ΚΑΠΕ

Θερμότητα από βιομάζα στην Ελλάδα

Είδος βιομάζας	Κατανάλωση (τόνοι)	Θερμότητα (TJ)	Εξοικονόμηση CO ₂ (τόνοι)
Καυσόξυλα	2.036.000	29.393	2.177.042
Πυρηνόξυλο	400.000	6.698	496.099
Υπολείμματα βιομηχανιών ξύλου	113.154	1.563	155.766
Υπολείμματα εκκοκκισμού	29.050	413	30.590
Πυρήνες	610	11	815
Άχυρο	100	2	148
ΣΥΝΟΛΟ	2.580.094	38.098	2.821.792

Συνεισφορά των διαφόρων βιομηχανιών στην παραγωγή θερμικής ενέργειας στην Ελλάδα



Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



1.1 % της
παγκόσμιας
παραγωγής
ηλεκτρικής
ενέργειας

- ✓ Συμπαγωγή
- ✓ Μικτή καύση

Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα στην Ελλάδα

COMPANY	Activity	Installed capacity (MWe)	Electrical energy produced (MWh/y)
Municipality of Thessaloniki	Landfill gas	0.24	1,105

Ηλεκτρική ενέργεια από βιομάζα στην Ελλάδα

Μονάδα	Καύσιμο	Εγκατεστημένη ισχύς (kWe)
Ψυτάλλεια	Αστικά απόβλητα	7.500
Άνω Λιόσια	Αέριο χωματερής	13.200
Βόλος	Αστικά απόβλητα	353
Θεσσαλονίκη	Απορρίμματα	240
Ηράκλειο	Αστικά Απόβλητα	193
Χανιά	Αστικά Απόβλητα	160
ΣΥΝΟΛΟ		21.646

Μονάδες συμπαραγωγής με χρήση βιομάζας στην Ελλάδα

COMPANY	Activity	Installed electrical capacity (MWe)	Installed thermal capacity (MWth)	Electrical energy produced (MWh/y)	Thermal energy produced (MWh/y)	Data
Water Entity, Psyttalia	Sewage treatment plants	7.37	2.7	64,000.00	70,000.00	estimation
Consortium (munic.+ private)	Landfill gas	13.00	16.55	107,000.00	109,000.00	estimation
Munic.Ent., Volos	Sewage treatment plants	0.35	0.5	2,100.00	4,200.00	estimation
Munic.Ent., Heraklio	Sewage treatment plants	0.19	0.25	0.64	Partial use	2001
Munic.Ent., Chania	Sewage treatment plants	0.17	Non available	44.00	1,000.00	2000
Agrino	Rice industry	0.44	Non available	1,033.00	22,500.00	estimation
TOTAL		21.75	20.61	174,177.64	206,700.00	

Πηγή: ΚΑΠΕ

Ενέργεια στην Κρήτη

Εξέλιξη φορτίου αιχμής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη

ΕΤΟΣ	ΙΣΧΥΣ (MW)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ (GMW)
1980	110,5	484,6
1981	111,0	522,8
1982	129,5	559,8
1983	126,2	606,8
1984	138,8	644,9
1985	148,0	704,0
1986	163,0	769,0
1987	171,5	825,0
1990	218,0	1028,0
1995	313,0	1477,0
2000	428,0	2019,0
2005	560,0	2642,0
2010	731,0	3449,0

Ενέργεια στην Κρήτη

- ✓ Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ~600MWe (87.5MWe ΑΤΕ)
- ✓ Διαθέτει σημαντικό δυναμικό ηλιακής, αιολικής, υδραυλικής ενέργειας και βιομάζας
- ✓ Κύρια είδη βιομάζας πυρηνόξυλο, ξυλεία από κλάδευση ελαιοδέντρων, αμπελιών και δέντρων εσπεριδοειδών

Μέση ετήσια παραγωγή γεωργικών υποπροϊόντων στην Κρήτη (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία)

Είδος γεωργικών υποπροϊόντων	Παραγωγή (τόνοι)	Μέσος ρυθμός μεταβολής (τόνοι/έτος)
Πυρηνόξυλο	103695	+8.553
Λιόφυλλα	21162	+1.746
Λιόζουμα	687770	+56.729
Κλαδοδέματα ελαιοδέντρων	1550723	+57.670
Βόστρυχοι σταφυλιών	7445	-454
Φλοιοί σταφυλιών	5956	-363
Κουκούτσια σταφυλιών	1489	-91
Κληματίδες	175843	-6.468
Φλούδες πορτοκαλιών	33129	-208
Φλούδες μανταρινιών	3675	-71
Φλούδες λεμονιών	3426	-76
Κλαδοδέματα δέντρων εσπεριδοειδών	31534	-201

Συνολική ετήσια παραγωγή δασικής βιομάζας στην Κρήτη (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία)

Τύπος βλάστησης	Επιφάνεια (Km ²)	Ποσότητα βιομάζας (ton)
Φρύγανα	2.883,8	576.760
Θάμνοι	1.140,5	456.200
Λιβάδια	402,2	160.880
Δάση	377,5	742.163
Σύνολο	4.804	1.936.003

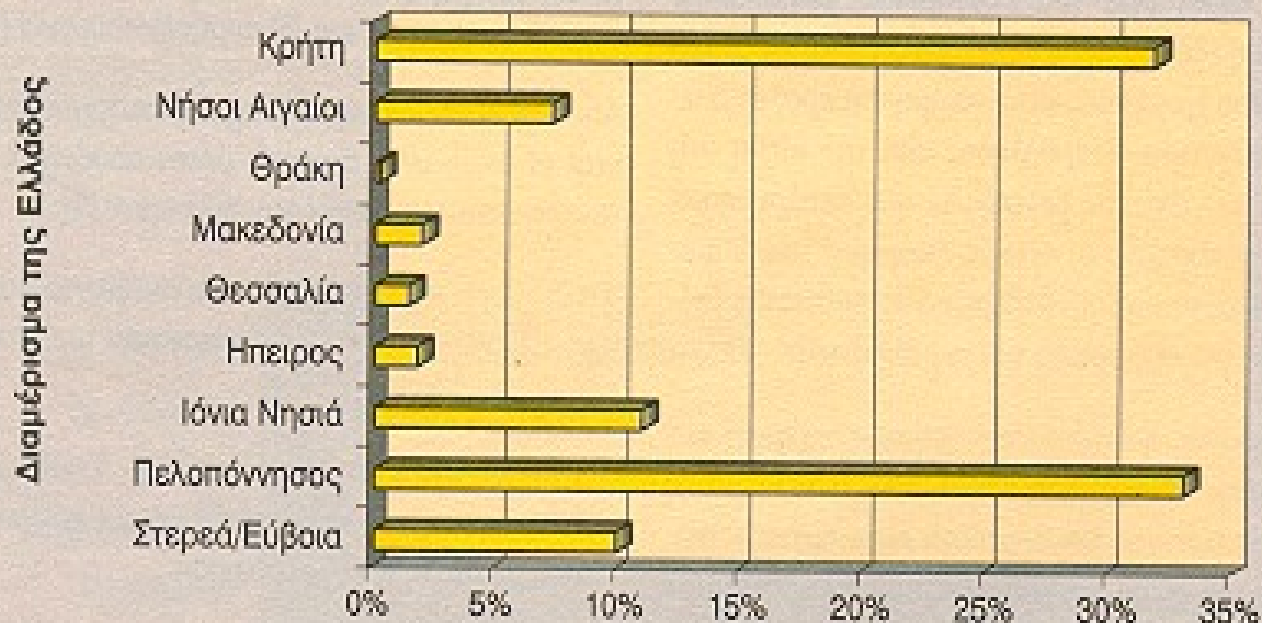
Προσεγγιστική ανάλυση γεωργικών υπολειμμάτων Κρήτης

Δείγμα	Υγρασία (%)	Τέφρα ως έχει (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη επί ξηρού (%)
Πυρηνόξυλο	5,56	4,11	4,35	95,65
Ξύλα ελιάς	4,17	1,29	1,55	98,45
Ξύλα πορτοκαλιάς	4,9	2,66	2,8	97,2
Κληματίδες	6,5	3,60	3,84	96,16

Στοιχειακή ανάλυση (επί ξηρού) γεωργικών υπολειμμάτων Κρήτης

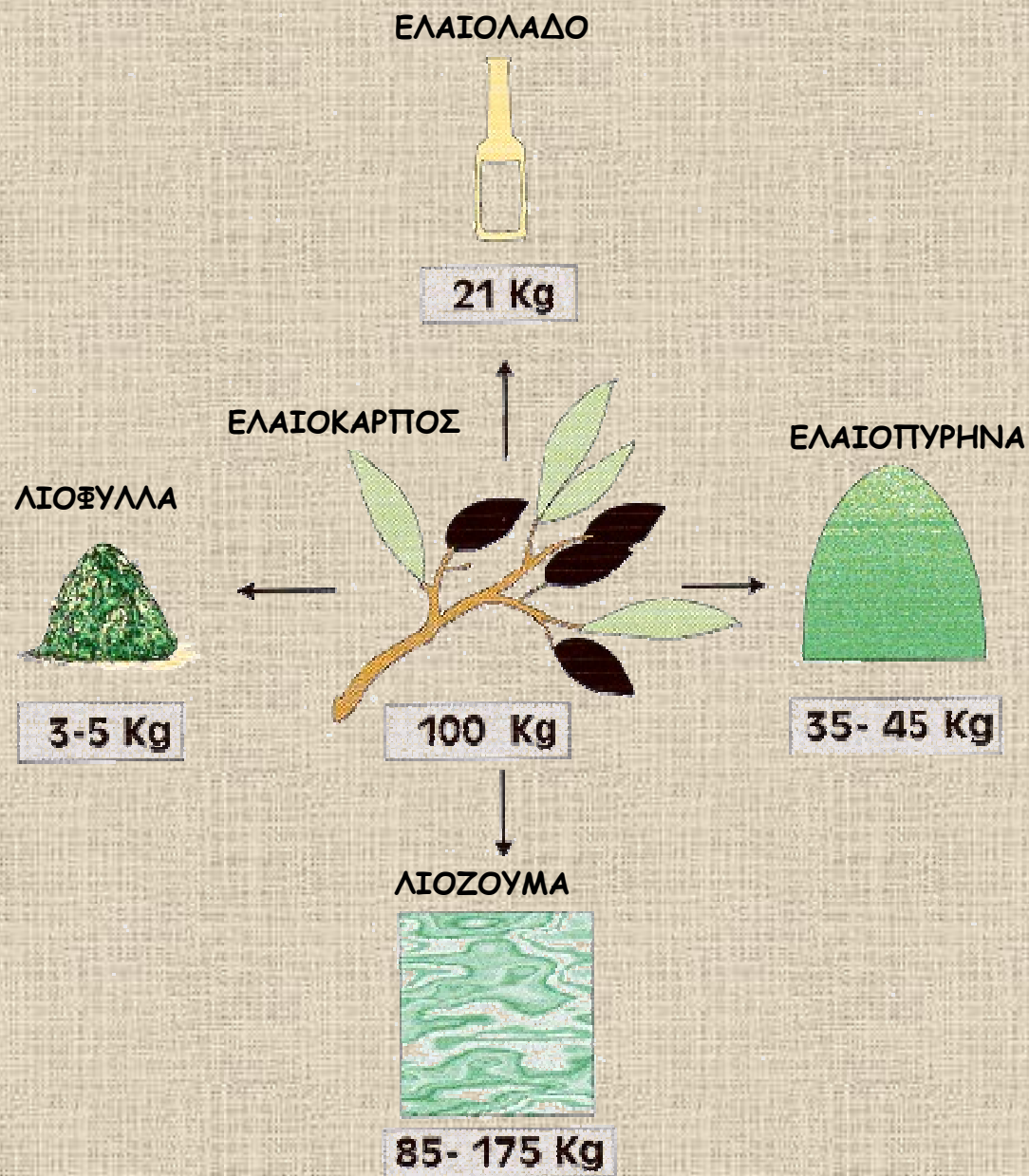
Δείγμα	C (%)	H (%)	N (%)	O ¹ (%)	S (%)	Α.Θ.Δ επί ξηρού (Kcal/Kg)	Κ.Θ.Δ ως έχει (Kcal/Kg)
Πυρηνόξυλο	49,71	6,07	1,63	38,16	0,084	5063,09	4489,88
Ξύλα ελιάς	48, 2	5,31	0,7	44,21	0,029	4563,13	4107,9
Ξύλα πορτοκαλιάς	47	5,97	1	43,2	0,033	4432,74	3939,19
Κληματίδες	47,53	5,64	1,81	41,1	0,076	4011,4	3455,94

$$^1\%O = 100 - [\%C + \%H + \%N + \%S + \%Τέφρα]$$



Κατανομή της παραγωγής ελαιολάδου στην χώρα ανά γεωγραφικό διαμέρισμα

- ✓ Στην Κρήτη η μέση ετήσια παραγωγή ελαιολάδου είναι πάνω από 100000 τόνους
- ✓ Η ορθολογική διαχείριση των υπολειμμάτων εξασφαλίζει οικονομικά, ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη



**Απόδοση παραπροϊόντων κατά την επεξεργασία του ελαιοκάρπου
(110000 τόνοι/έτος ελαιοπυρήνα)**

Χρήσεις παραγόμενου ελαιοπυρήνα ή/και πυρηνόξυλου:

- ✓ Από τα ελαιουργεία και τα πυρηνελαιουργεία για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών (τα εργοστάσια αυτά καλύπτουν όλες τις ενεργειακές τους ανάγκες ή ένα μεγάλο μέρος αυτών από τον ελαιοπυρήνα που παράγουν ή επεξεργάζονται)
- ✓ Ως κύριο ή συμπληρωματικό καύσιμο σε αγροτικές περιοχές για θέρμανση σπιτιών και παραγωγή θερμού νερού
- ✓ Για θέρμανση θερμοκηπίων (ήδη σε πολλά θερμοκήπια χρησιμοποιείται ο ελαιοπυρήνας ως καύσιμη ύλη)
- ✓ Για άλλες χρήσεις: φούρνοι, βιοτεχνίες, κ.α.

Παραδείγματα αξιοποίησης παραπροϊόντων:

1. Πυρηνελαιουργείο Εταιρείας ΒΙΟΜΕΛ Α.Ε. (Αχλάδες Κυδωνίας)

Στο πυρηνελαιουργείο πραγματοποιείται επεξεργασία περίπου 30.000 - 40.000 τόνων ελαιοπυρήνα ανά έτος. Παράγεται πυρηνέλαιο, σε ποσότητα 4-5% περίπου της συνολικής ποσότητας ελαιοπυρήνα. Η ποσότητα του πυρηνόξυλου που παράγεται είναι 55% περίπου της συνολικής ποσότητας ελαιοπυρήνα, με ποσοστό υγρασίας 17%. Ένα ποσοστό 23-25% καταναλώνεται μέσα στο πυρηνελαιουργείο (περίπου 3.800-5.500 τόνοι/έτος), ενώ ποσοστό 30-40%, δηλαδή περίπου 4.950-7.700 τόνοι πυρηνόξυλο/έτος πωλείται στην ελεύθερη αγορά.

2. Ελαιουργείο Εταιρείας ΕΛΒΑ Α.Ε. (Βαμβακόπουλο Χανίων)

Στο ελαιουργείο γίνεται επεξεργασία περίπου 1.000-1.200 τόνων ελαιοκάρπου ανά έτος. Παράγονται περίπου 200 τόνοι ελαιόλαδο, 100 τόνοι ελαιοπυρήνα, 120-140 τόνοι λιόφυλλα και 1.500 m³ ετησίως. Ο ελαιοπυρήνας πωλείται στο πυρηνελαιουργείο της ΑΒΕΑ στα Χανιά. Τα λιόφυλλα υφίστανται χώνευση και μετατρέπονται σε εδαφοβελτιωτικό (λίπασμα), το οποίο πωλείται στο εμπόριο.

3. Πυρηνελαιουργείο Εταιρείας ΑΒΕΑ (Χανιά)

Μέρος του παραγόμενου πυρηνόξυλου χρησιμοποιείται εντός του εργοστασίου για παραγωγή θερμότητας, παράλληλα με την κατανάλωση ενέργειας, ενώ το υπόλοιπο διατίθεται στο ελεύθερο εμπόριο ή για ζωοτροφές. Το πυρηνόξυλο χρησιμοποιείται μέσα στο εργοστάσιο για:

- ✓ παραγωγή ατμού, όπου με καύση σε κατάλληλους καυστήρες θερμαίνει το νερό των αποβλήτων.
- ✓ ξήρανση του ελαιοπυρήνα, που πραγματοποιείται με την καύση του πυρηνόξυλου και τη διοχέτευση των καυσαερίων σε κατάλληλα ξηραντήρια μαζί με τον ελαιοπυρήνα.

Σχέση παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας στο ΑΒΕΑ

ΕΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (ΒΙΟΜΑΖΑ) (10 ¹⁰ kcal)	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (ΒΙΟΜΑΖΑ + ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ) (10 ¹⁰ kcal)	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ/ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
1991	4,7	2,72	1,73
1992	7,1	4,54	1,56
1993	5,7	3,84	1,48

Ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας από τα κύρια γεωργικά υποπροϊόντα της Κρήτης

Υποπροϊόν	Μέση Θερμογόνος Δύναμη (kcal/kg)	Ετήσια Παραγωγή (tons)	Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας (10 ⁹ kcal)
Πυρηνόξυλο	4437	103695	460
Ξύλα Ελαιοδέντρων	3990	1550723	6187
Κληματίδες	4280	175843	753
Ξύλα Δέντρων Εσπεριδοειδών	4192	31534	132
Σύνολο	-	1861795	7532

Προτάσεις-Συμπεράσματα

Πρώτη ύλη

- ✓ Δημιουργία υποδομής για συνδυασμένη χρήση ενεργειακών καλλιεργειών και υπολειμμάτων
 - ανάπτυξη μεθοδολογιών καταγραφής του τεχνικά και οικονομικά απολήψιμου δυναμικού υπολειμμάτων
 - ανάπτυξη σχημάτων εγκατάστασης και διαχείρισης ενεργειακών καλλιεργειών

Τεχνολογίες ενεργειακής μετατροπής

- ✓ Ενίσχυση των δυνατοτήτων μικτής καύσης βιομάζας με συμβατικά καύσιμα (λιγνίτης)
- ✓ Δημιουργία υποδομής για τεχνολογίες με μεγαλύτερο βαθμό ενεργειακής απόδοσης
 - αύξηση της ηλεκτρικής απόδοσης.
 - αύξηση των δυνατοτήτων αξιοποίησης περισσότερων ειδών πρώτης ύλης (αξιολόγηση σχημάτων πολυτροφοδοσίας βιομάζας).
 - αντιμετώπιση του προβλήματος της τέφρας (αποθέσεις) που υπάρχει στις πρώτες ύλες.
 - ανάπτυξη σχημάτων διαχείρισης και προμήθειας καυσίμου (logistics).
 - ανάπτυξη αντιρρυπαντικών συστημάτων.

Ενεργειακή πολιτική

- ✓ Έγκριση ενός Εθνικού Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις ΑΠΕ
- ✓ Απλοποίηση αδειοδοτικών διαδικασιών έργων ΑΠΕ
- ✓ Αύξηση της χρηματοδοτικής υποστήριξης επενδύσεων ΑΠΕ, τόσο από το Γ' ΚΠΣ (ΕΠΑΝ), όσο και από τον Αναπτυξιακό Νόμο