

# Εναλλακτικές Μέθοδοι Αξιοποίησης Υπολειμμάτων Αγροτικών Καλλιεργειών για την παραγωγή ενέργειας

Αναστασία Ζαμπανιώτου



Τμήμα Χημικών Μηχανικών  
Τομέας Ανάλυσης Σχεδιασμού και Ρύθμισης  
Χημικών Διεργασιών και Εγκαταστάσεων  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



# Περιεχόμενα παρουσίασης

- ❧ Βιομάζα- Αγροτικά Υπολείμματα
- ❧ Τεχνολογίες ενεργειακής μετατροπής
- ❧ Πελλέτες
- ❧ Πυρόλυση
- ❧ Αεριοποίηση
- ❧ Πιλοτική μονάδα αεριοποίησης
- ❧ Συμπεράσματα





# 'Αγροτική' βιομάζα

- ⇒ Υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών
- ⇒ Υπολείμματα γεωργικών βιομηχανιών
- ⇒ Ενεργειακές καλλιέργειες

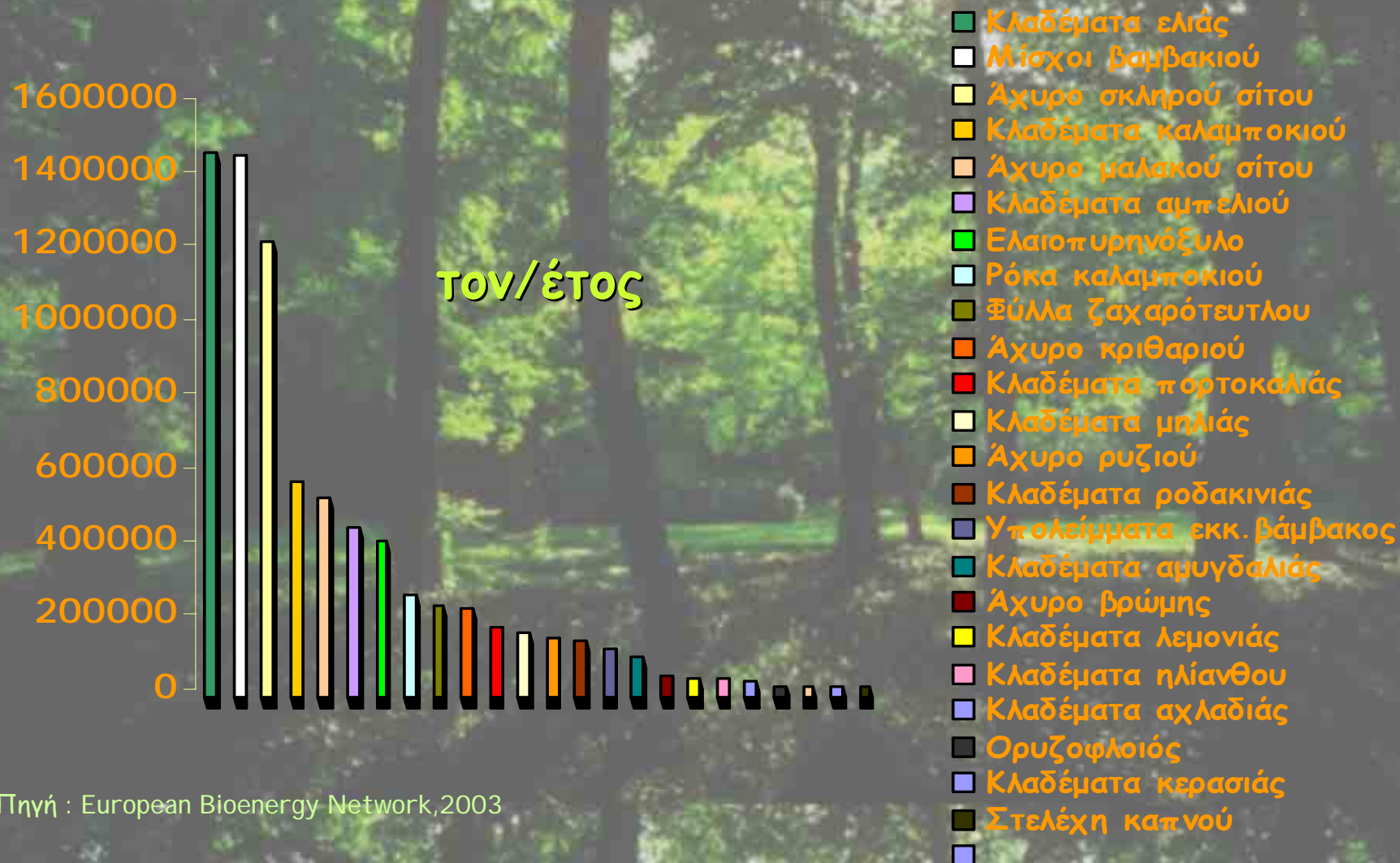


Στην Ελλάδα το δυναμικό της βιομάζας είναι μεγάλο και θα μπορούσε να συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην κάλυψη ορισμένων ενεργειακών αναγκών.

Τα απορρίμματα από γεωργικές καλλιέργειες ανέρχονται σε πολλές χιλιάδες τόνους το χρόνο και μόνο λιγότερα από τα μισά χρησιμοποιούνται για καύση και να καλύψουν μέρος των ενεργειακών αναγκών των αντίστοιχων μονάδων, τα υπόλοιπα παραμένουν ανεκμετάλλευτα με ταυτόχρονη δημιουργία περιβαλλοντικών προβλημάτων.



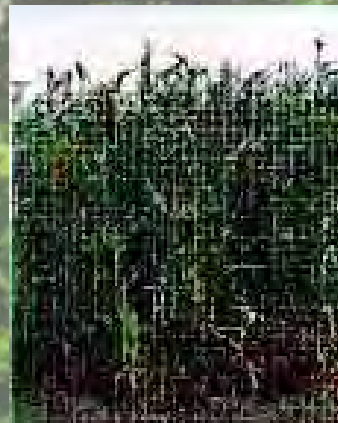
# Διαθεσιμότητα υπολειμμάτων αγροτικών καλλιεργειών στην Ελλάδα



Πηγή : European Bioenergy Network, 2003

# Ενεργειακές καλλιέργειες

- ⇒ Ελαιοκράμβη
- ⇒ Αγριαγκινάρα
- ⇒ Μίσχανθος
- ⇒ Ευκάλυπτος
- ⇒ Ψευδακακία
- ⇒ Γλυκό και κυτταρινούχο σόργο
- ⇒ Κενάφ
- ⇒ Καλάμι
- ⇒ Ηλιάνθος





## Κίνητρα ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας

### ➤ Περιβαλλοντικά:

- Εξοικονόμηση ορυκτών πόρων
- Μηδενική έκλυση CO<sub>2</sub>
- Μείωση εκπομπών SO<sub>x</sub>
- Μείωση όγκου απορριμμάτων
- Ασφαλής διαχείριση παραπροϊόντων & υπολειμμάτων γεωργικών–δασικών βιομηχανιών

### ➤ Κοινωνικοοικονομικά:

- Απεξάρτηση από εισαγωγές πετρελαίου
- Κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας
- Αύξηση της απασχόλησης σε αγροτικές/ ημιαστικές περιοχές

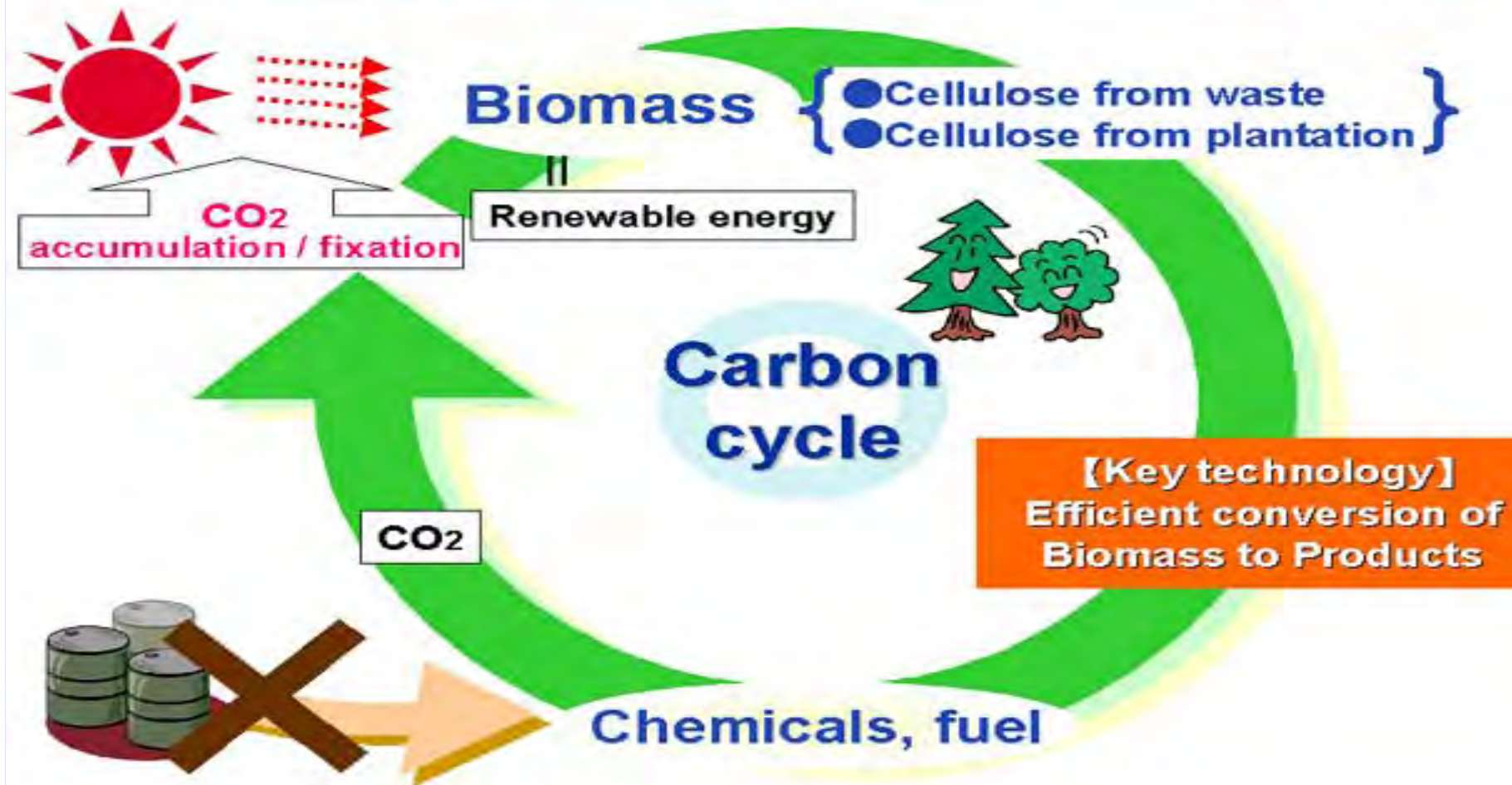
### ➤ Ενεργειακά : Θέρμανση θερμοκηπίων, κατοικιών

### Πλεονεκτήματα:

- μηδαμινό κόστος
- χαμηλά ποσοστά S
- αποικοδομείται εύκολα με θερμικές διεργασίες

# Συνεισφορά στην παραγωγή CO<sub>2</sub>

Biomass is a key element for environmental problems.

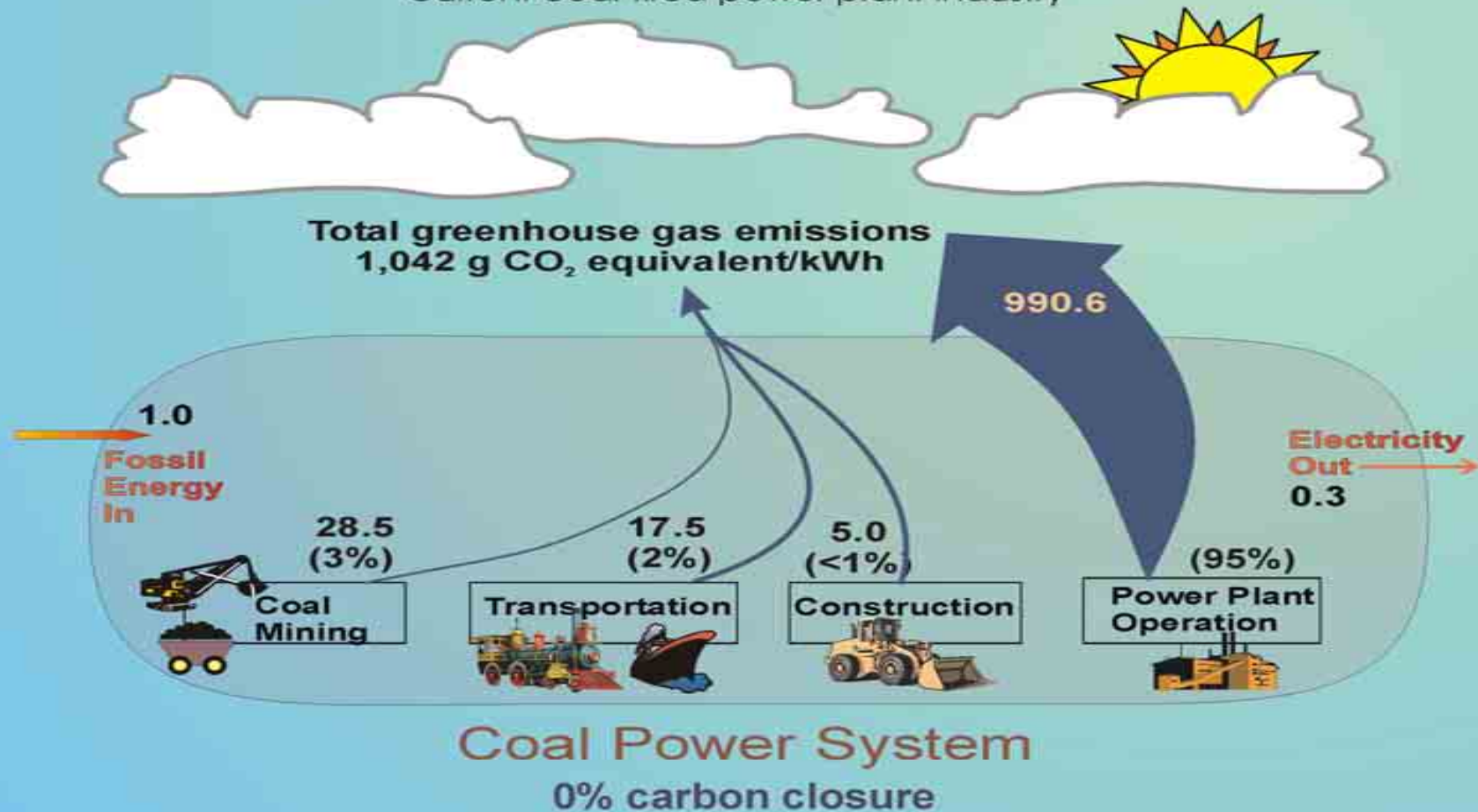




# CO<sub>2</sub>

## Life Cycle GWP and Energy Balance for a Coal-fired Power System

Current coal-fired power plant industry

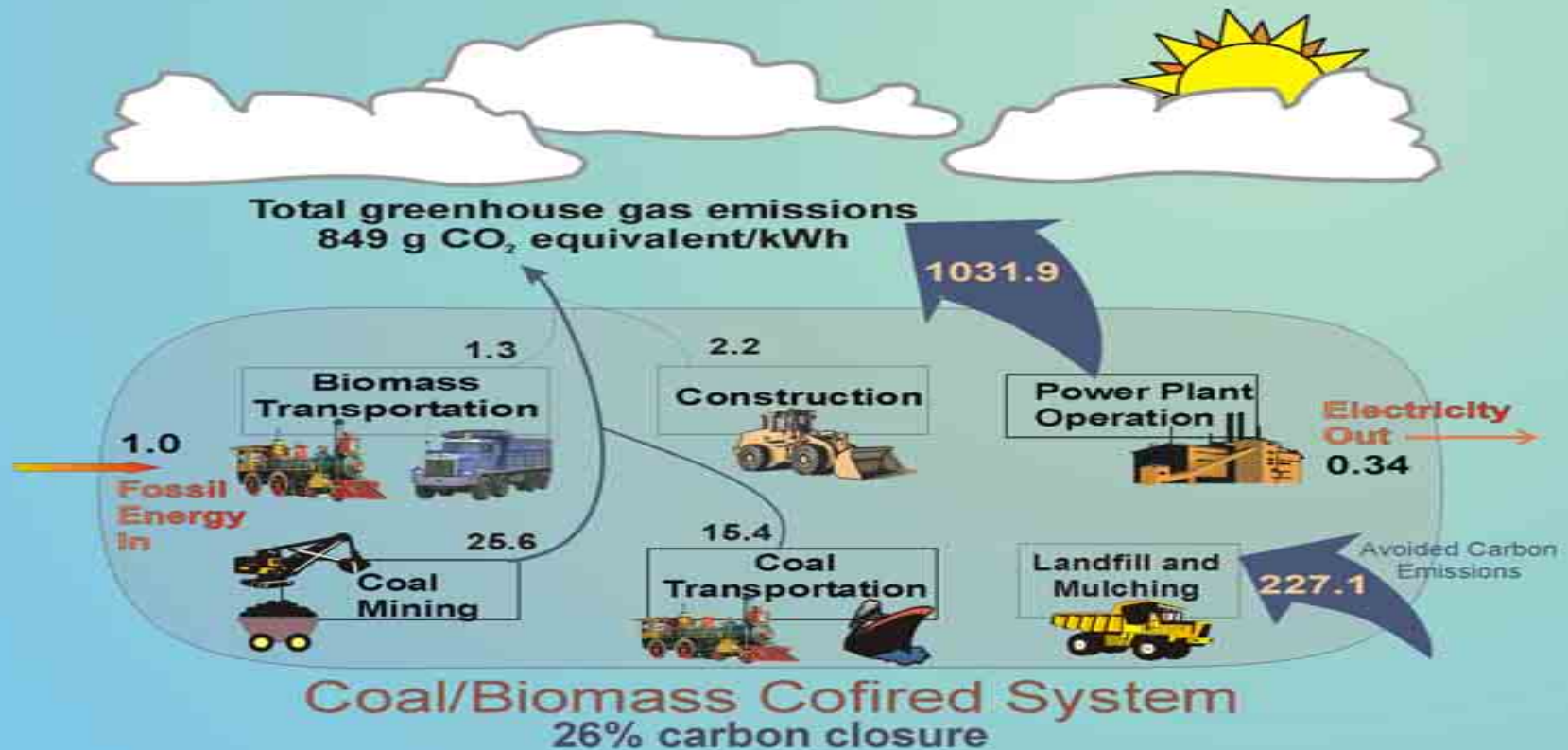




# CO<sub>2</sub>

## Life Cycle GWP and Energy Balance for Cofiring 15% Residue Biomass with Coal

Greenhouse gas emissions reduced by 18%

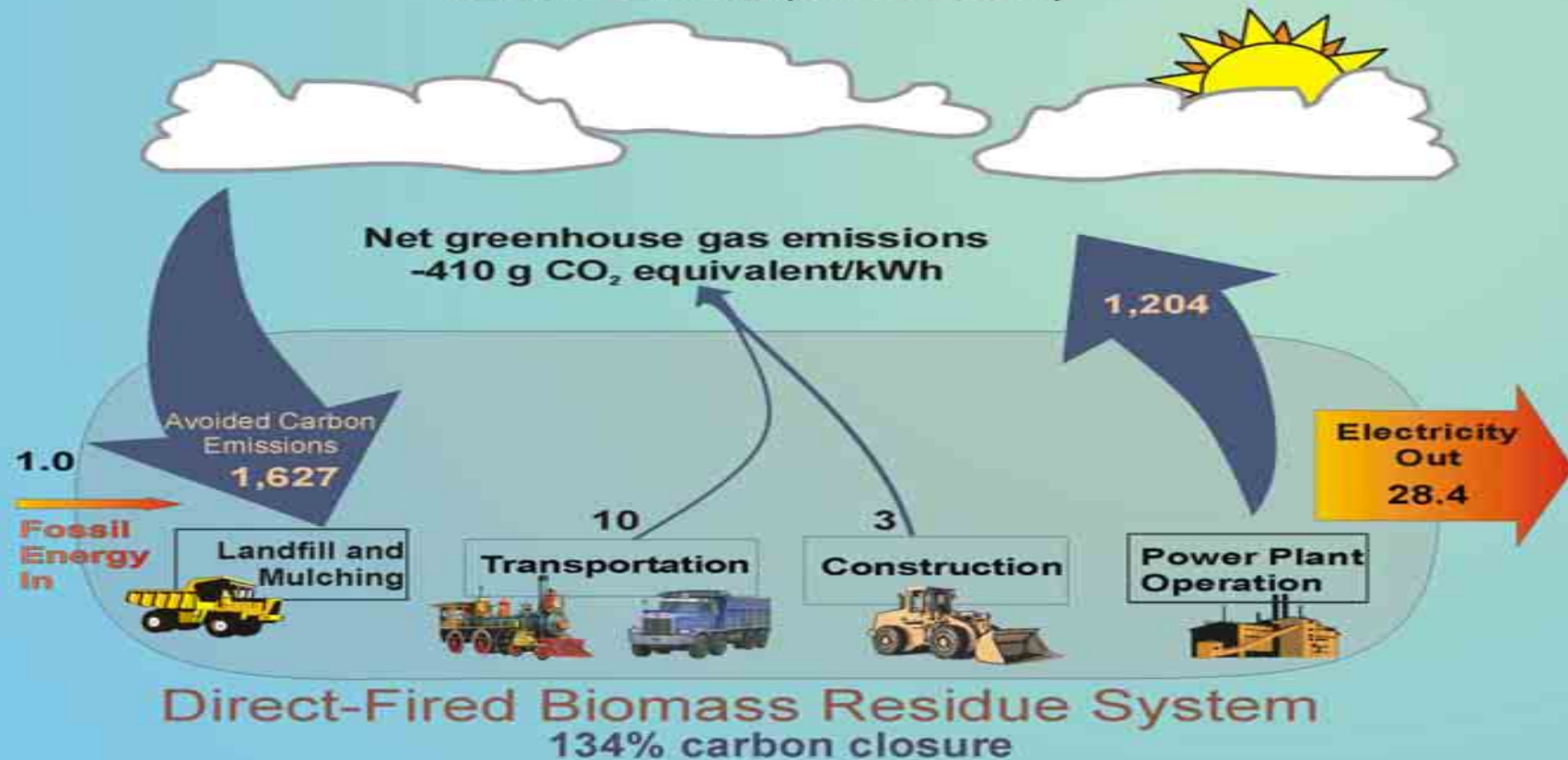


CO<sub>2</sub>

gwp=global warming potential

## Life Cycle GWP and Energy Balance for a Direct-Fired Residue-Biomass Power System

Current biomass power industry

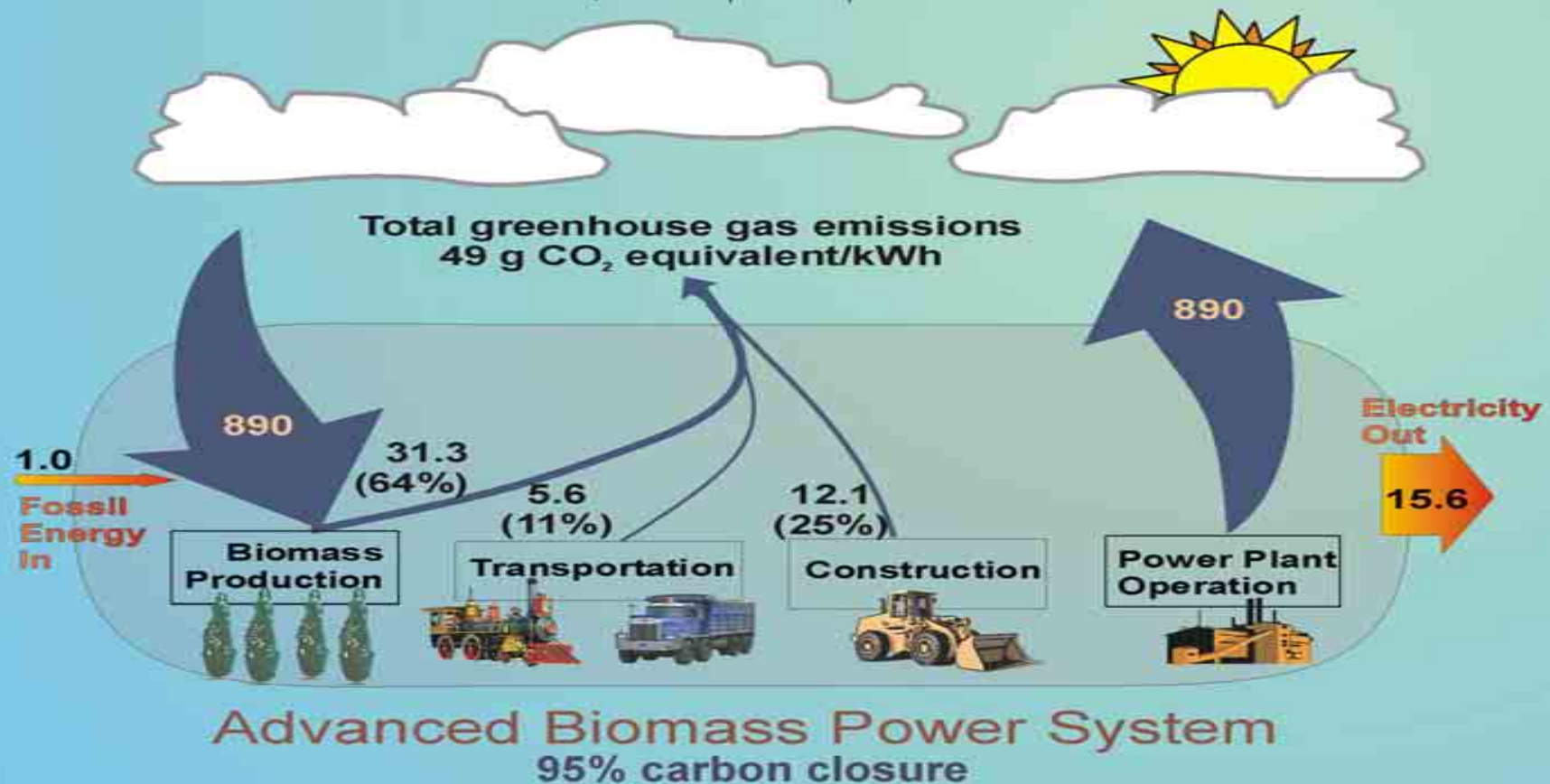




# CO<sub>2</sub>

## Life Cycle GWP and Energy Balance for Advanced IGCC Technology using Energy Crop Biomass

Future, wide-spread potential





# Περιεχόμενα παρουσίασης

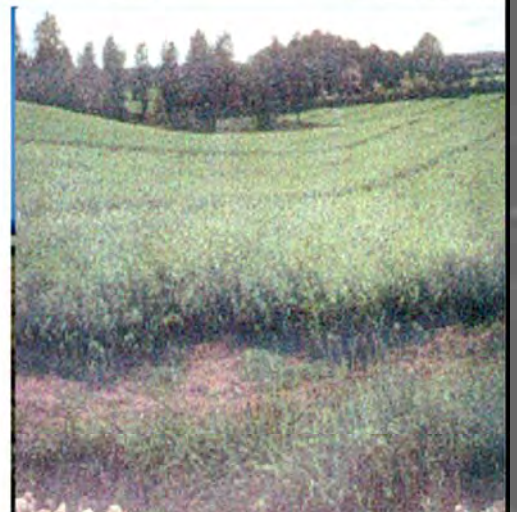
❧ Βιομάζα - Αγροτικά υπολείμματα

❧ Τεχνολογίες ενεργειακής μετατροπής

❧ Πελλέτες

❧ Υλικά

❧ Συμπεράσματα





# Τεχνολογίες ενεργειακής μετατροπής βιομάζας



Χωρίζονται σε **θερμοχημικές** (καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση), οι οποίες εφαρμόζονται κυρίως για πρώτες ύλες χαμηλής υγρασίας (<50%κ.β.) και υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (C/N>30) και **βιοχημικές** (αερόβια και αναερόβια ζύμωση), οι οποίες είναι κατάλληλες για πρώτες ύλες με υψηλή υγρασία.

# Διεργασίες Θερμοχημικής Μετατροπής στο Εργαστήριο ΤΧΕ

Πλεόνασμα αέρα



Θερμότητα &  
ηλεκτρική ενέργεια

Μερική ποσότητα αέρα



Αέριο Σύνθεσης

Αδρανή ατμόσφαιρα



Υγρά & Εξανθράκωμα



# Συνοψίζοντας το εργαστήριο ΤΧΕ- Ομάδα Βιομάζας ασχολείται.....

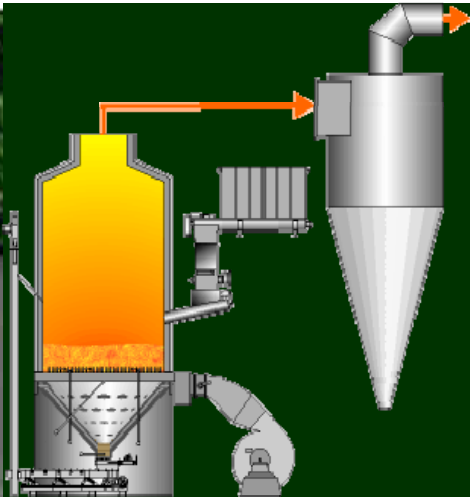


# Και επεκτείνει διαρκώς την ερευνητική της δραστηριότητα.....

- Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα. ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ
- Βελτιστοποίηση σύζευξης αεριοποιητή ρευστοστερεάς κλίνης και ΜΕΚ (Diesel) για την αξιοποίηση πυρηνόξυλου ελιάς, με έμφαση σε αναγεννητική μέθοδο καινοτομικού καθαρισμού του αερίου. ΠΕΝΕΔ 03
- Ολοκληρωμένη μελέτη και διαχείριση ενεργειακών καλλιεργειών και υπολειμμάτων τους για την παραγωγή βιοκαυσίμων και ενέργειας. (Hi-Bred fuels) ΠΑΒΕΤ 05
- Μελέτη της χρήσης συσσωματωμάτων βιομάζας (Agro-pellets) για την παραγωγή βιοενέργειας και υλικών σε μονάδες αεριοποίησης και πυρόλυσης με περιβαλλοντική και οικονομική ασφάλεια. (PELET-AGROS) ΠΑΒΕΤ 05
- «Πράσινη» ενέργεια από αγροτικά απορρίμματα - Μελέτη και ανάπτυξη μονάδας παραγωγής υδρογόνου από ανανεώσιμες πρώτες ύλες. ENTEP 06



# Αεριοποίηση



Θερμική μετατροπή οργανικών σε *υψηλότερη από την περιοχή πυρόλυσης* θερμοκρασία (750-1200°C) παρουσία οξειδωτικού με σκοπό την παραγωγή μίγματος αερίων, (αέριο σύνθεσης,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ), εξανθρακώματος, νερού και συμπυκνώσιμων παραπροϊόντων (αέριοι  $\text{C}_m\text{H}_n$ ).

Αναλογία και σύσταση αερίων εξαρτάται από :

- θερμοκρασία,
- χρόνο παραμονής,
- σύσταση πρώτης ύλης,
- τεχνολογία,
- χρήση  $\text{O}_2$  ή  $\text{H}_2\text{O}$  κ.α.

# Πυρόλυση

• 400 – 700 ° C

• Απουσία οξειδωτικού μέσου (αδρανή ατμόσφαιρα N<sub>2</sub>, He κτλ.)

• Μεγιστοποίηση παραγωγής εξανθρακώματος & ελαίου

• Παραγωγή υλικών προστιθέμενης αξίας (ενεργοί άνθρακες βιοντίζελ)





# Βιοκαύσιμα από αγροτικά υπολείμματα

⇒ ΥΓΡΑ - ΒΙΟΕΛΑΙΟ

⇒ ΑΕΡΙΑ - ΒΙΟΑΕΡΙΟ

⇒ ΣΤΕΡΕΑ - ΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ

# Παραγωγή ενέργειας

⇒ Σύζευξη με τουρμπίνες αερίου

⇒ Σύζευξη με ΜΕΚ

⇒ Σύζευξη με Κελία καυσίμων



# Τουρμπίνες Αερίου

- ↳ Βασίζονται στο θερμοδυναμικό κύκλο της διεργασίας Joule
- ↳ Πλεονέκτημα: το αέριο δεν χρειάζεται να ψυχθεί
- ↳ Η πίεση καταστρέφεται στην τουρμπίνα
- ↳ Υψηλές αποδόσεις σε συνδυασμένους κύκλους παραγωγής ενέργειας από αεριοποίηση

# Μηχανές εσωτερικής καύσης

- ⇒ Εισάγονται αέρια και με χαμηλή θερμογόνο δύναμη
- ⇒ Υψηλές αποδόσεις > 40%

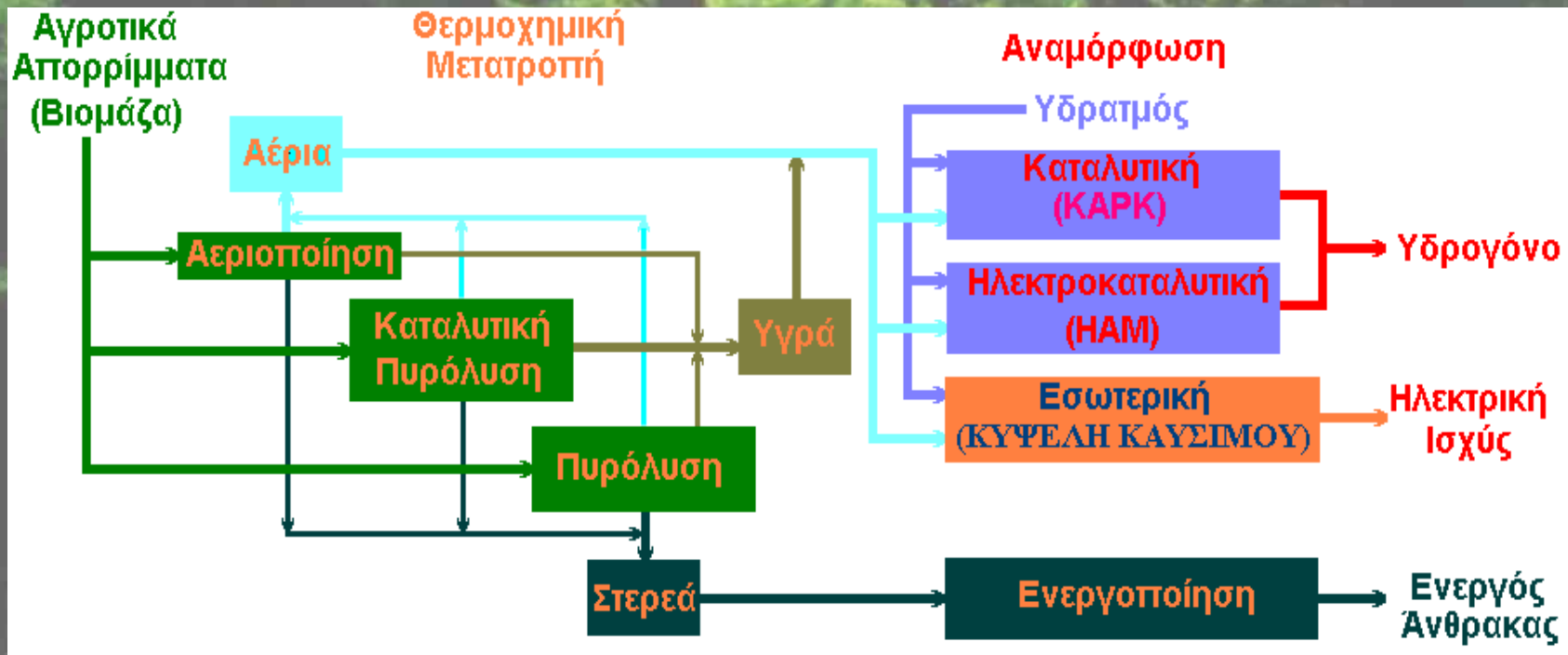
*Ιδιαίτερα οι μηχανές Diesel:*

- ⇒ Είναι φθηνές
- ⇒ Υψηλές εκπομπές



# Κυψέλες καυσίμου

- αύξηση απόδοσης σε ηλεκτρική ισχύ
- κάλυψη θερμικών απαιτήσεων αναμόρφωσης θερμοχημικών διεργασιών βιομάζας



## 1) ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ II : ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ

Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα

## 2) Hi-Bred fuels ΠΑΒΕΤ 05

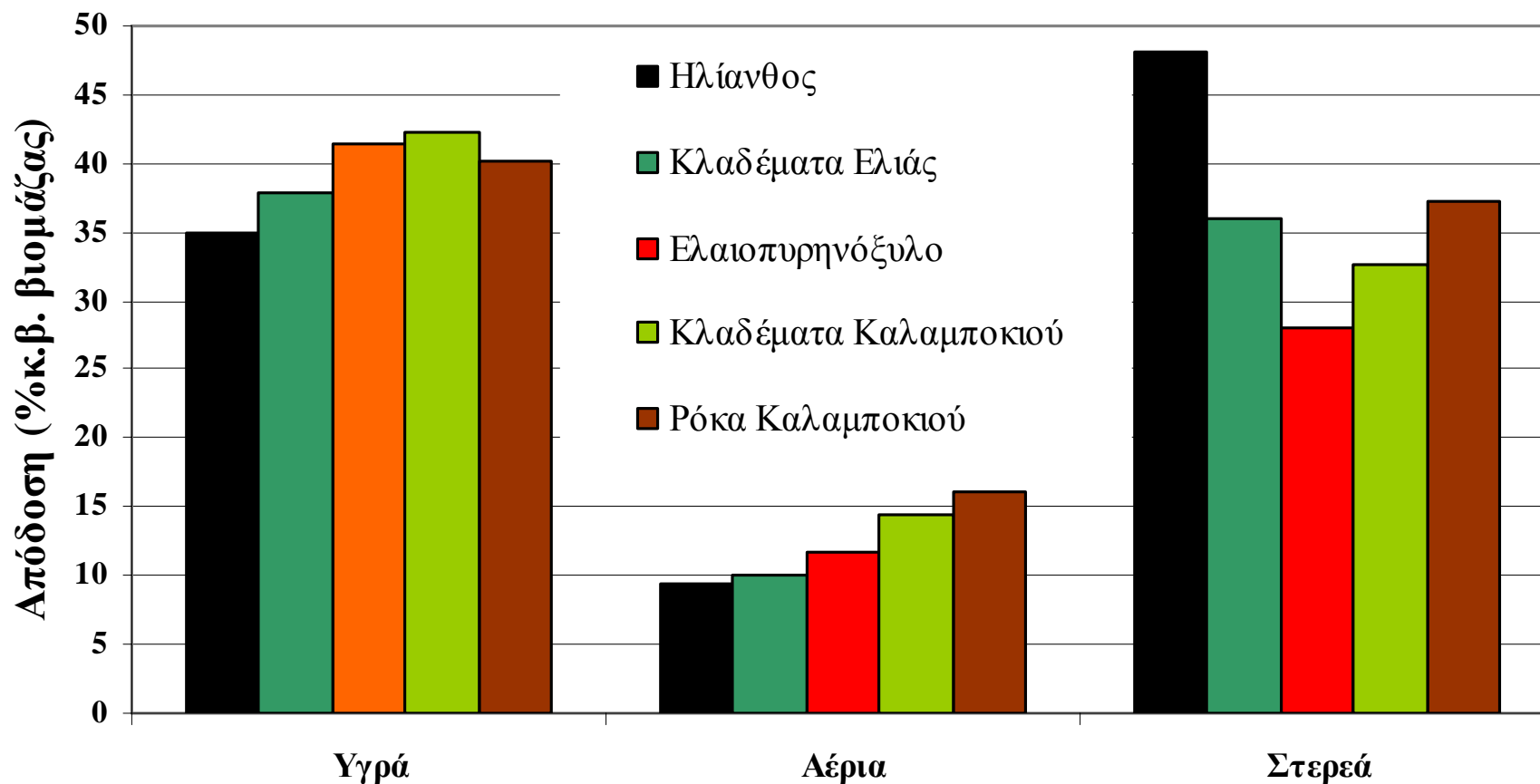
Ολοκληρωμένη μελέτη και διαχείριση ενεργειακών καλλιεργειών και υπολειμμάτων τους για την παραγωγή βιοκαυσίμων και ενέργειας.



## «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ»

«Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα»

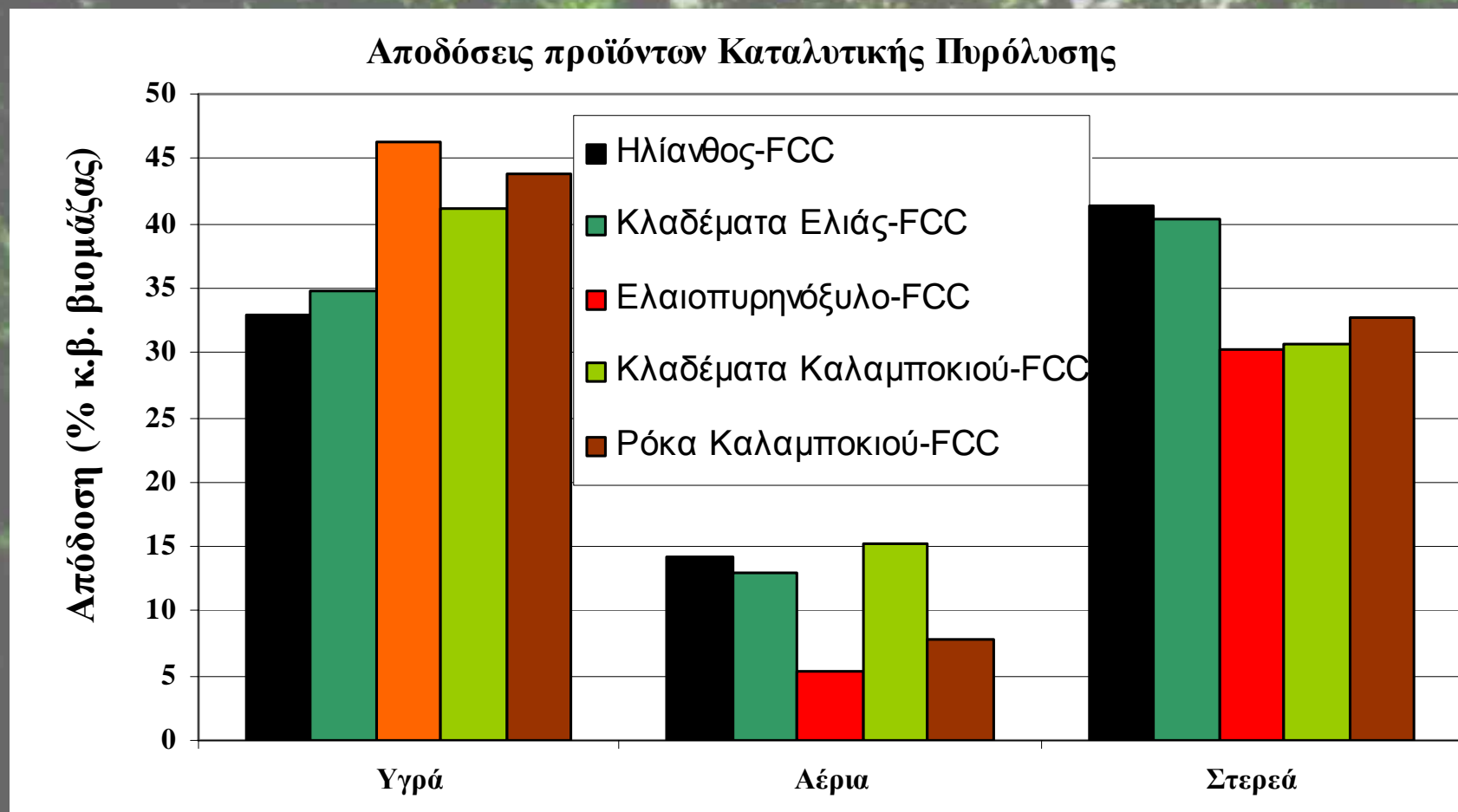
### Αποδόσεις Προϊόντων Πυρόλυσης



## «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ»

«Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα»

### Επιθυμητά προϊόντα καταλυτικής πυρόλυσης

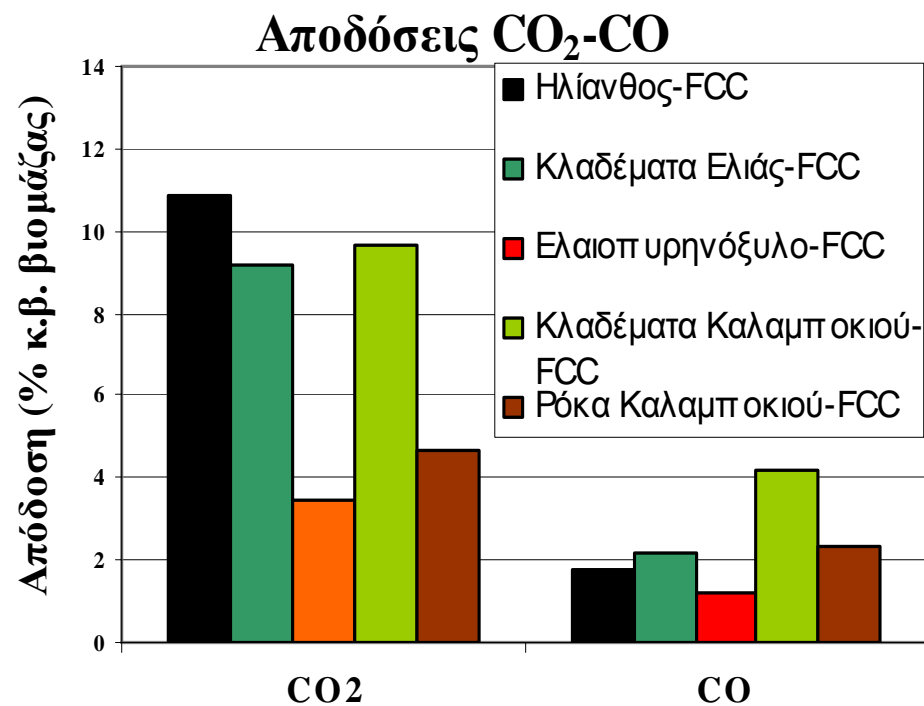
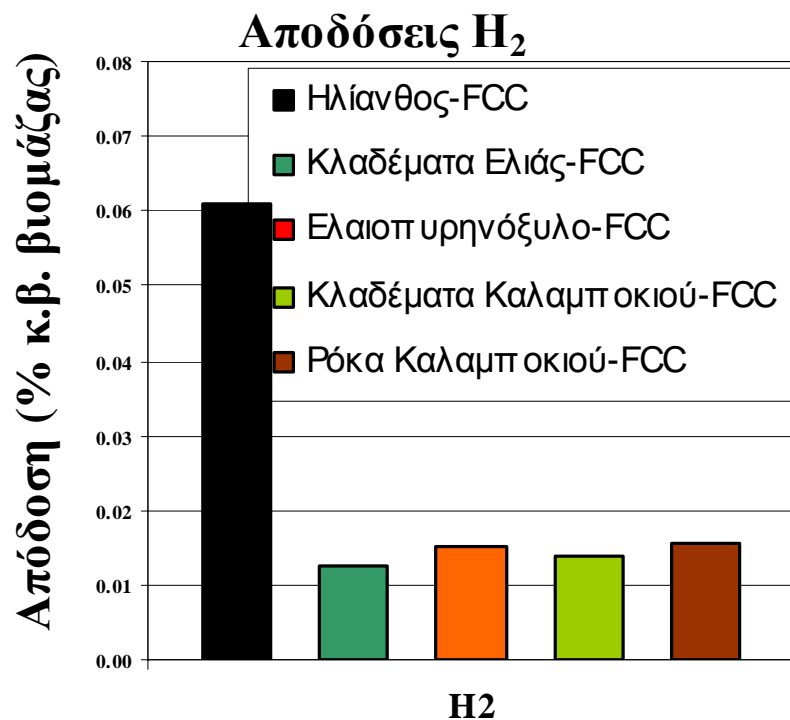




## «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ»

«Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα»

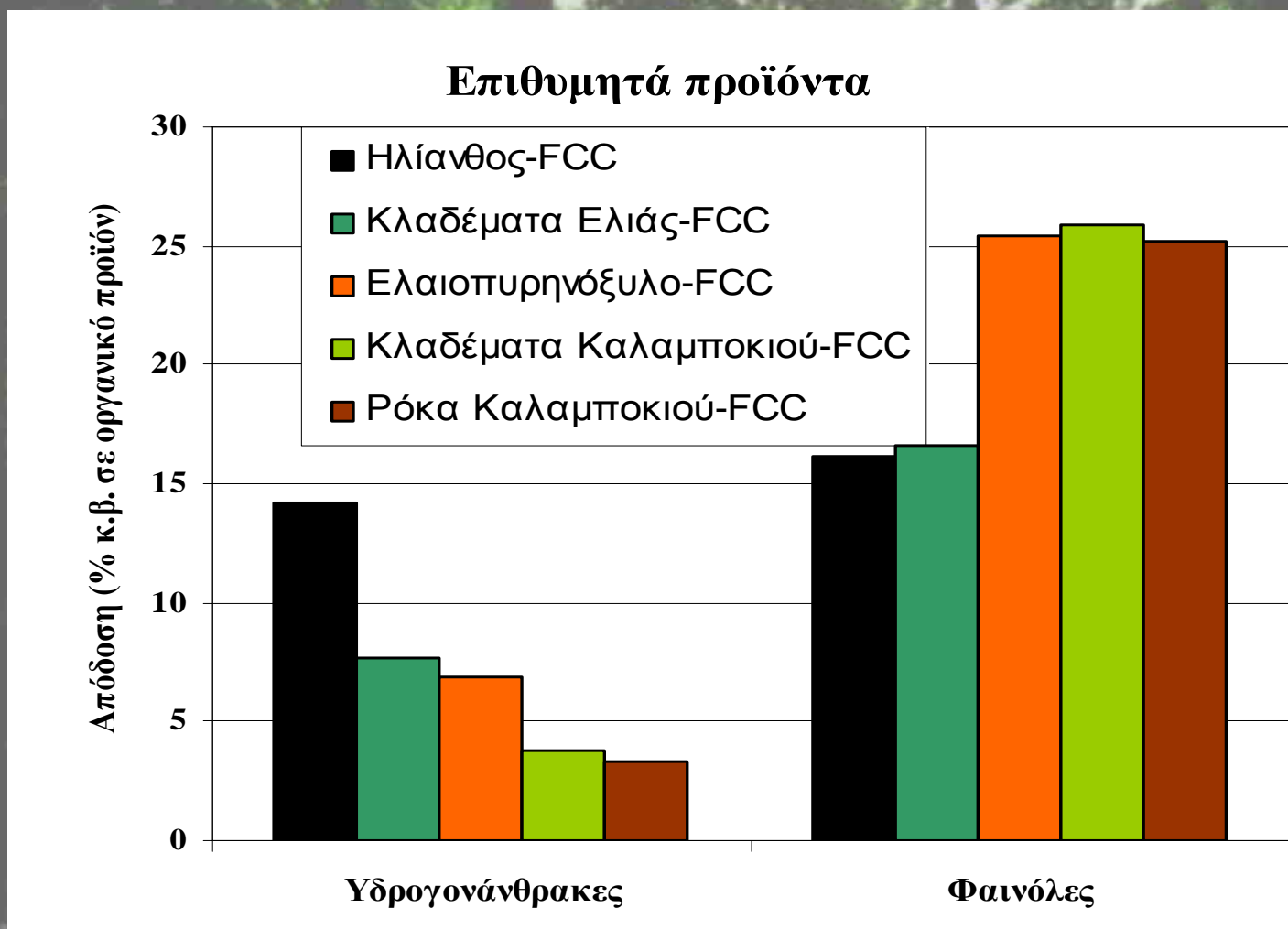
Επιθυμητά προϊόντα καταλυτικής πυρόλυσης



## «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ»

«Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα»

### Επιθυμητά προϊόντα καταλυτικής πυρόλυσης

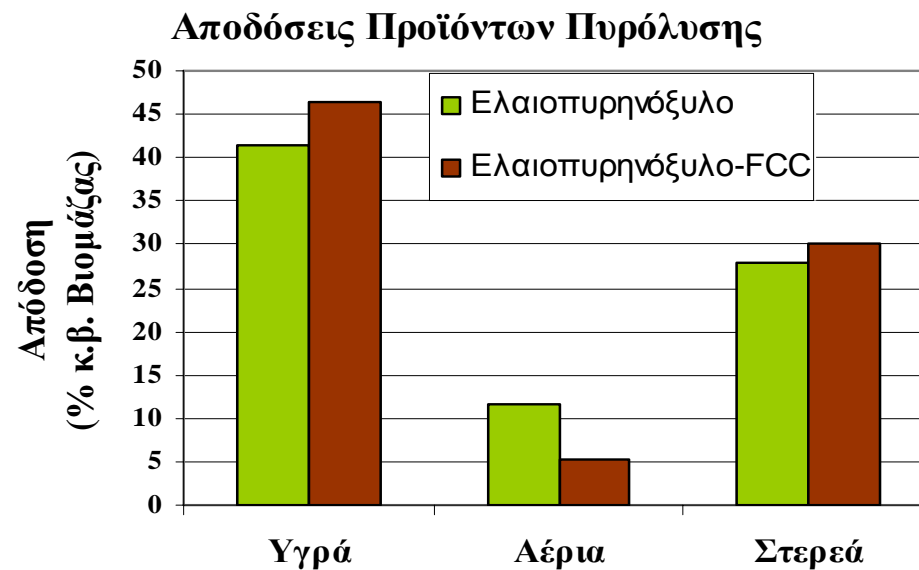
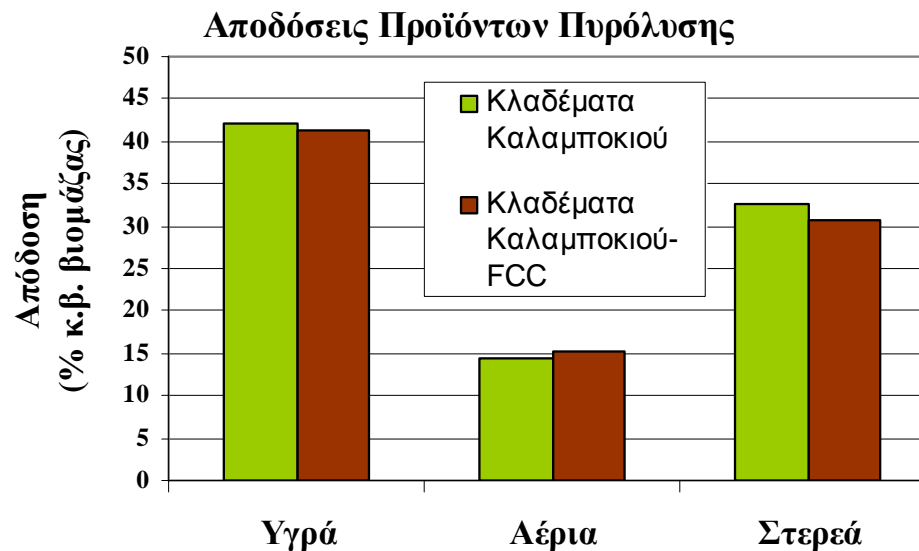
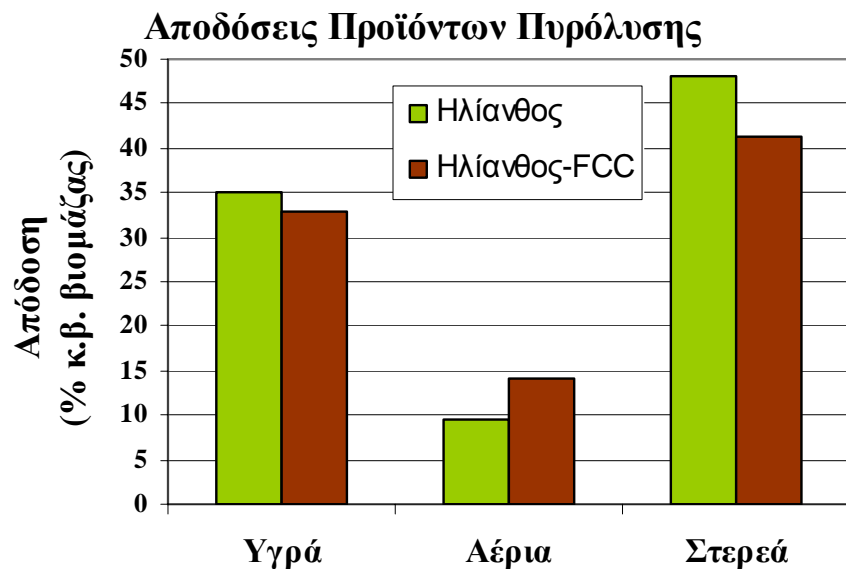




## «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ»

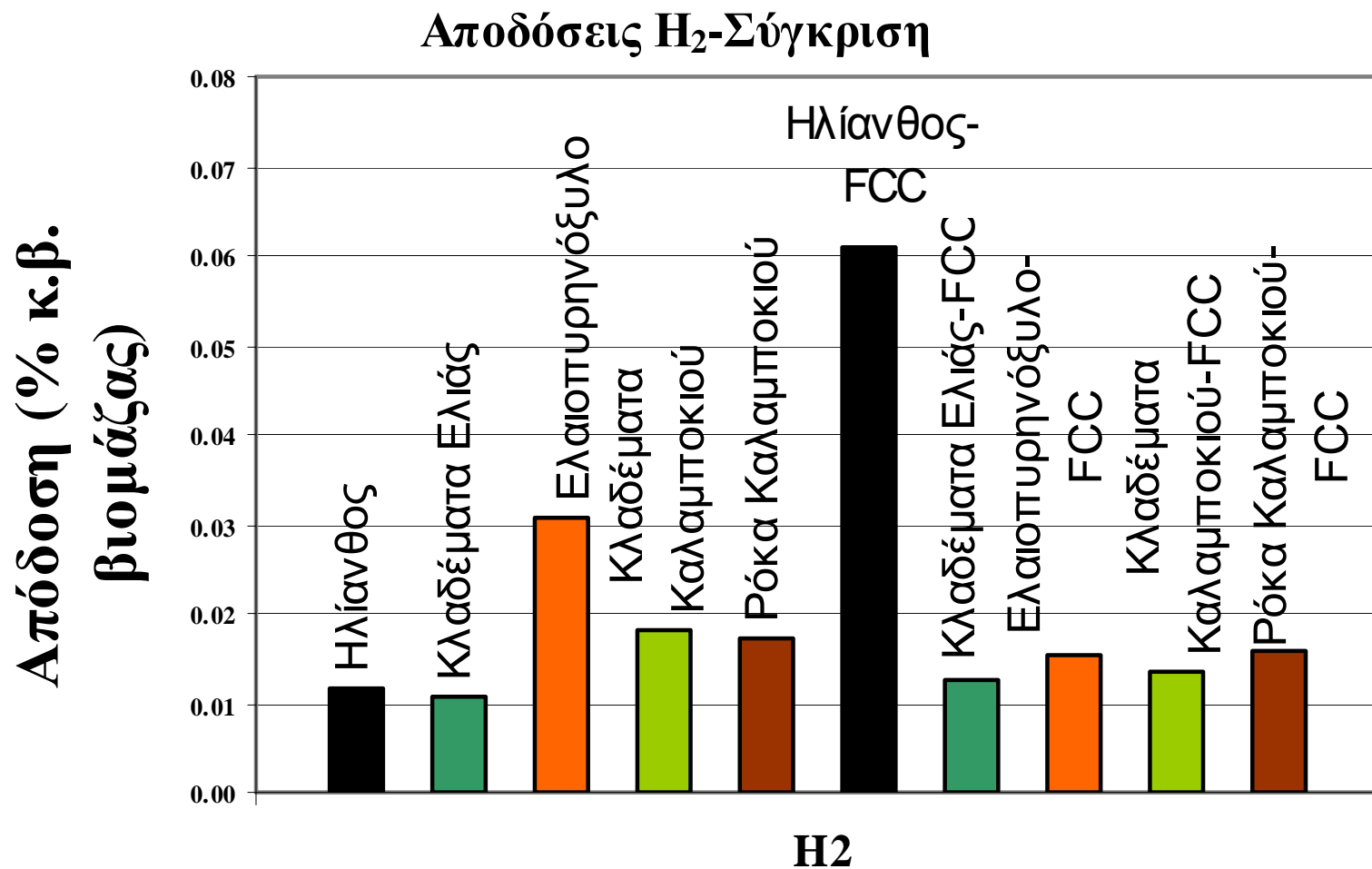
«Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα»

### Σύγκριση



«ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ»

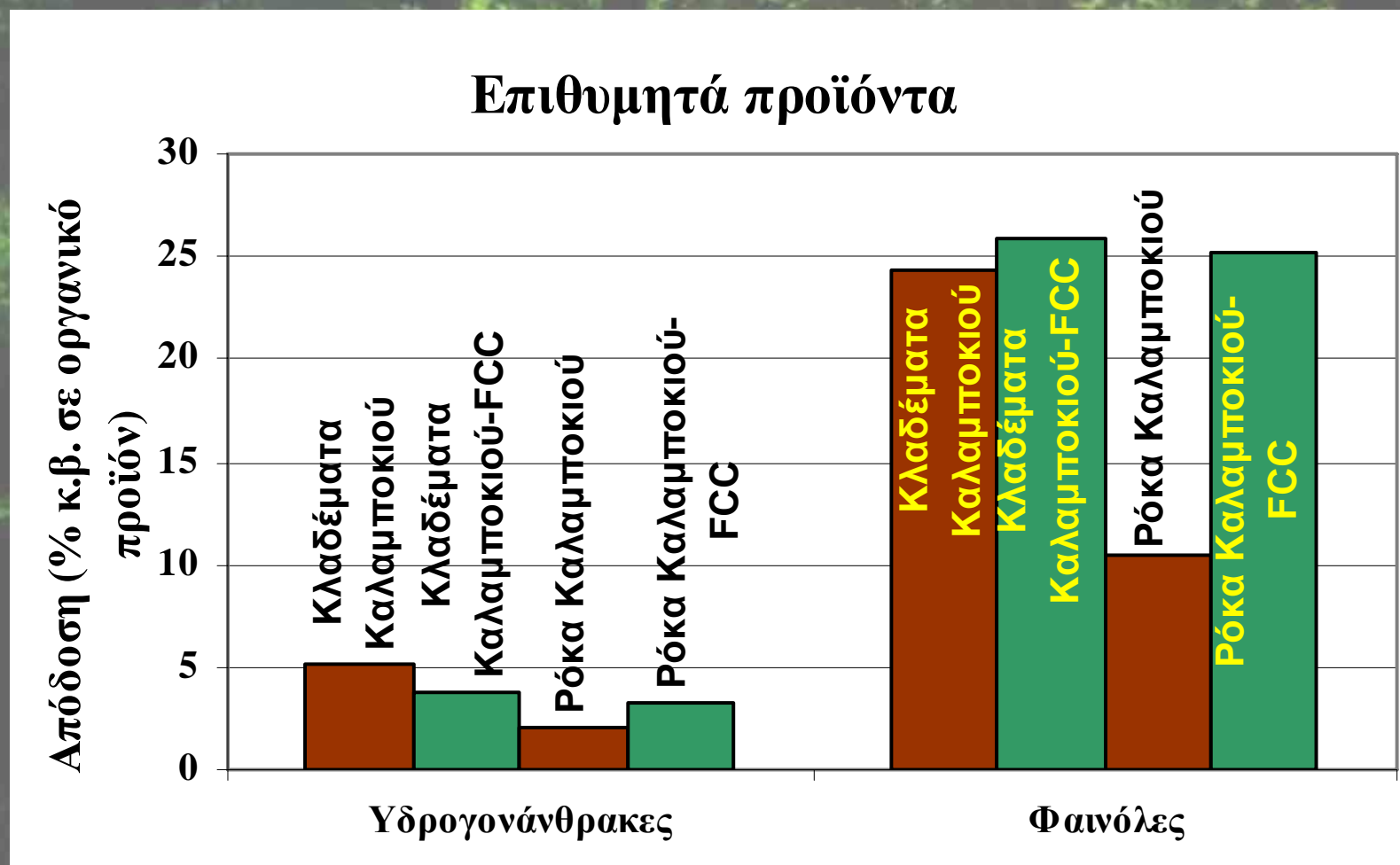
«Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα»



Σύγκριση



## Σύγκριση



# Ενεργοί άνθρακες από ελαιοπυρηνόξυλο

- Παραγωγή με χημική ενεργοποίηση (ΚΟΗ) σε εργαστηριακή κλίμακα
- Και με φυσική ενεργοποίηση σε πιλοτική κλίμακα
- Και στις δύο περιπτώσεις εφαρμόστηκε διεργασία 2 φάσεων που περιλάμβανε Α) πυρόλυση Β) ενεργοποίηση του εξανθρακώματος

## Αποτελέσματα μελέτης:

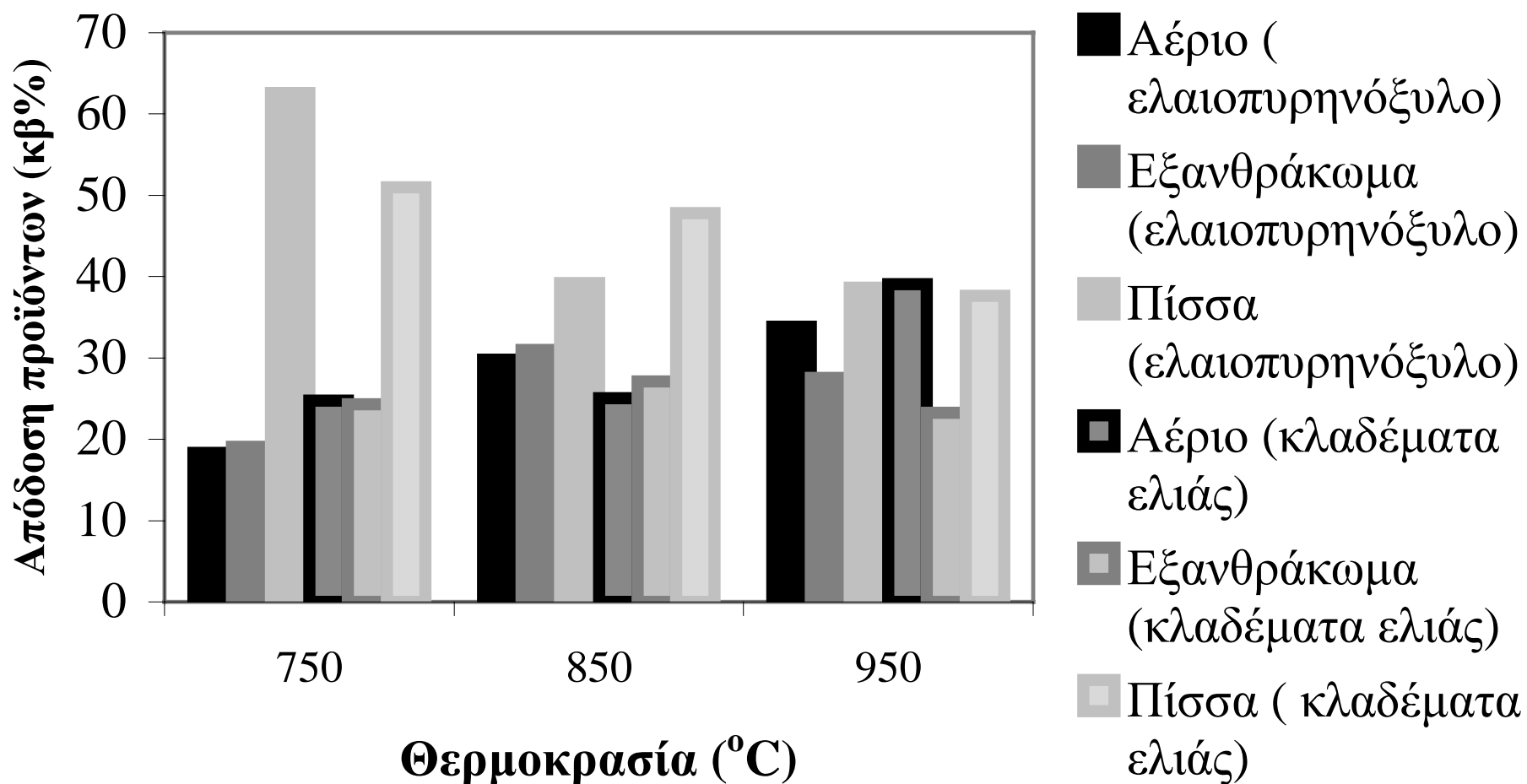
- Μέγιστη BET επιφάνεια 1,000-1,200 m<sup>2</sup>/gr, για ενεργούς άνθρακες από φυσική ενεργοποίηση σε πιλοτική κλίμακα
- Μέγιστη BET επιφάνεια 3,049 m<sup>2</sup>/gr για ενεργούς άνθρακες από χημική ενεργοποίηση (ΚΟΗ) σε εργαστηριακή κλίμακα
- BET επιφάνεια ενεργών ανθράκων από ελαιοπυρηνόξυλο (ενεργοποίηση με ατμό), αυξάνεται με τον χρόνο (max στις 2.5 h).



## «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ»

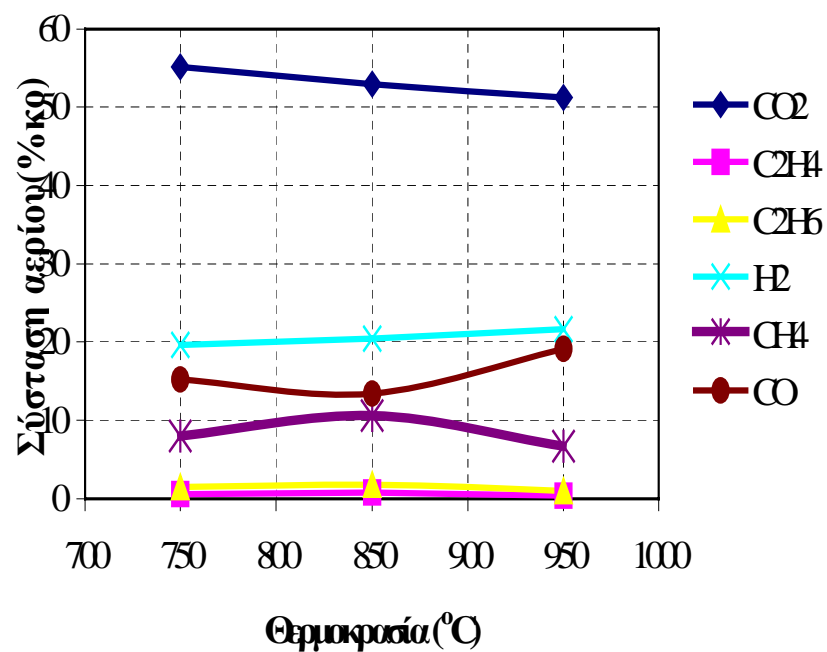
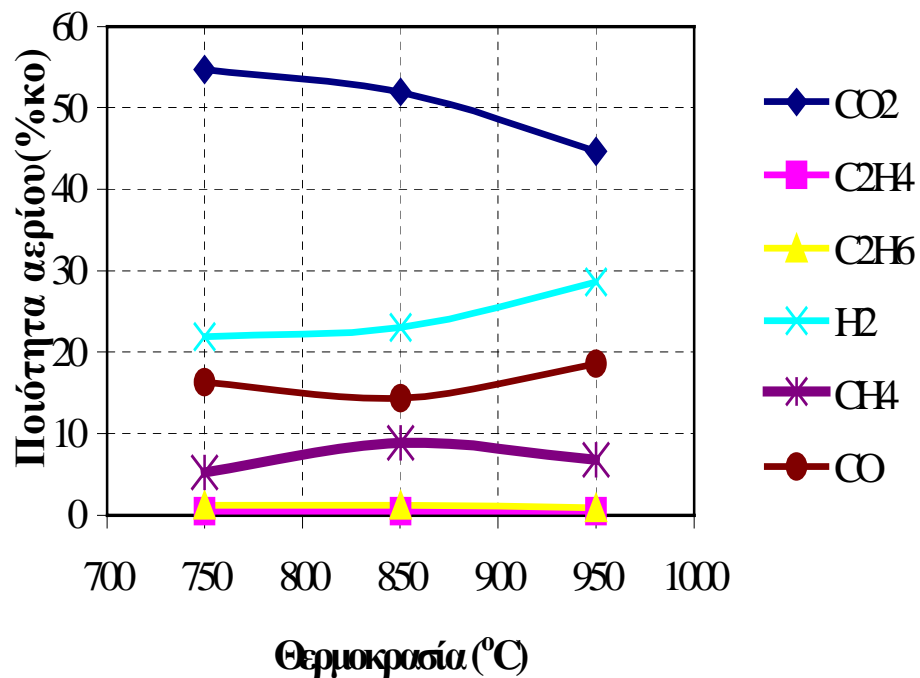
«Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα»

### Αεριοποίηση



## «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ»

«Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα»



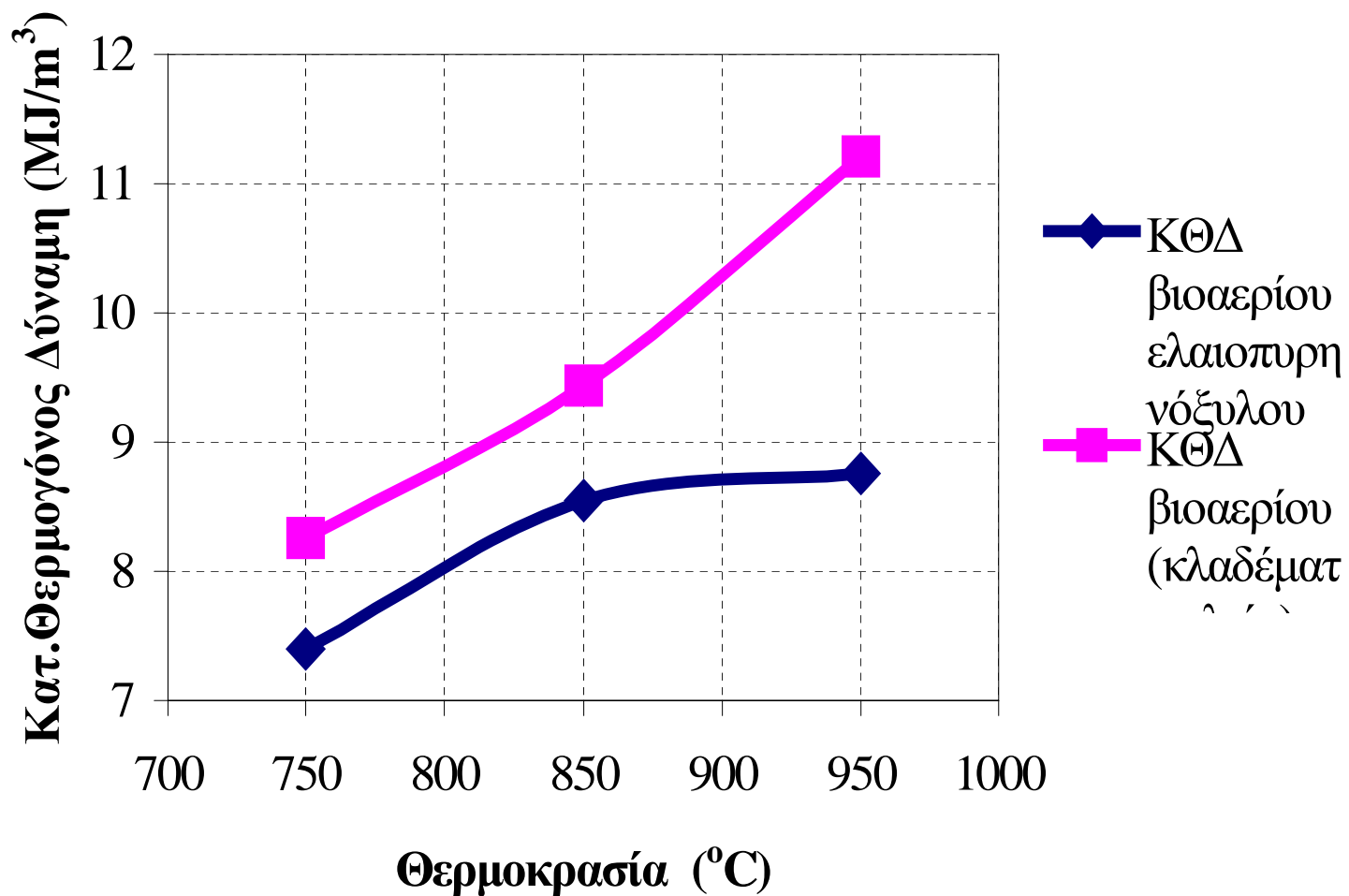
Αεριοποίηση



«ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ»

«Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα»

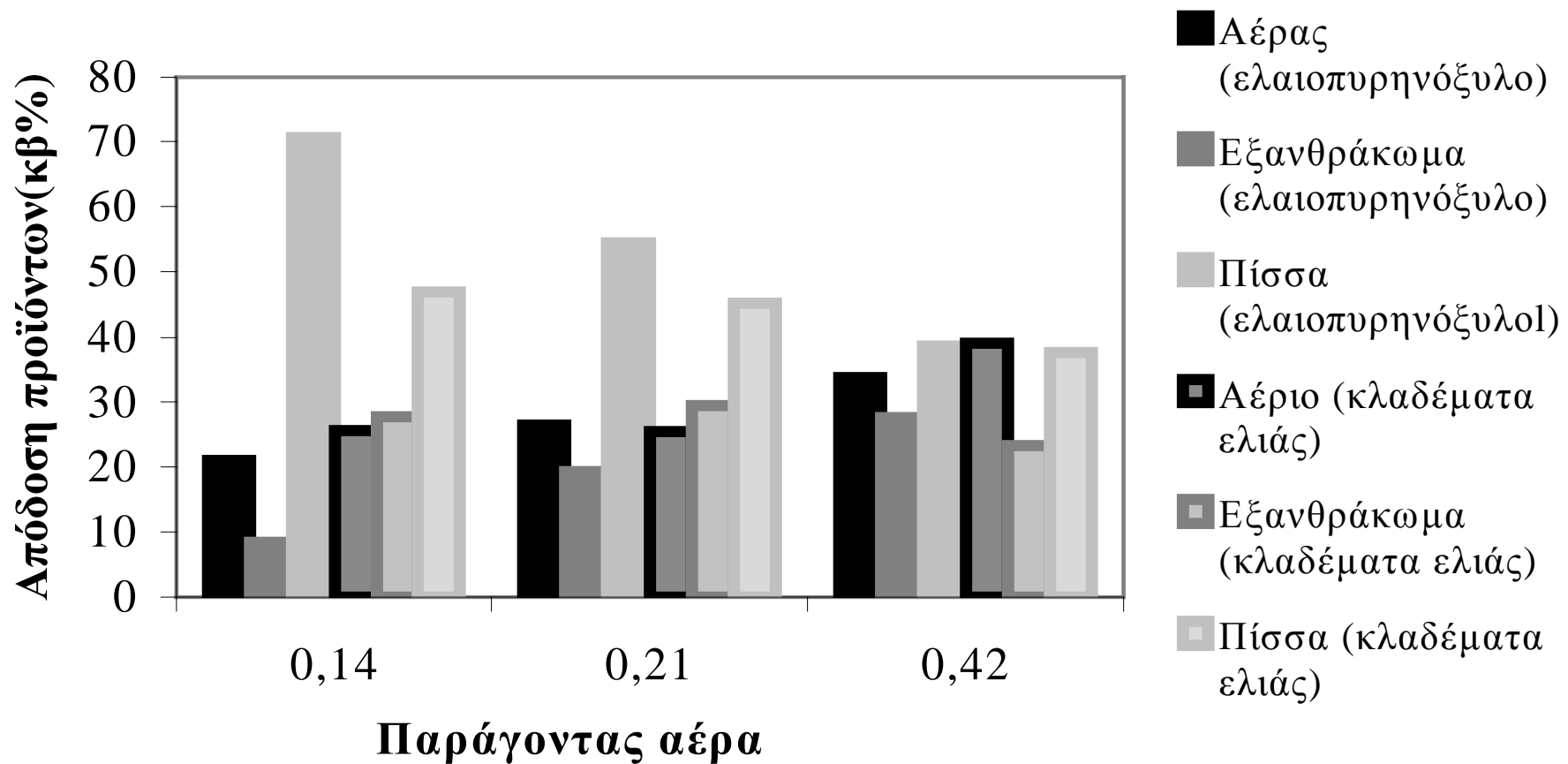
Αεριοποίηση



## «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ»

«Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα»

### Αεριοποίηση



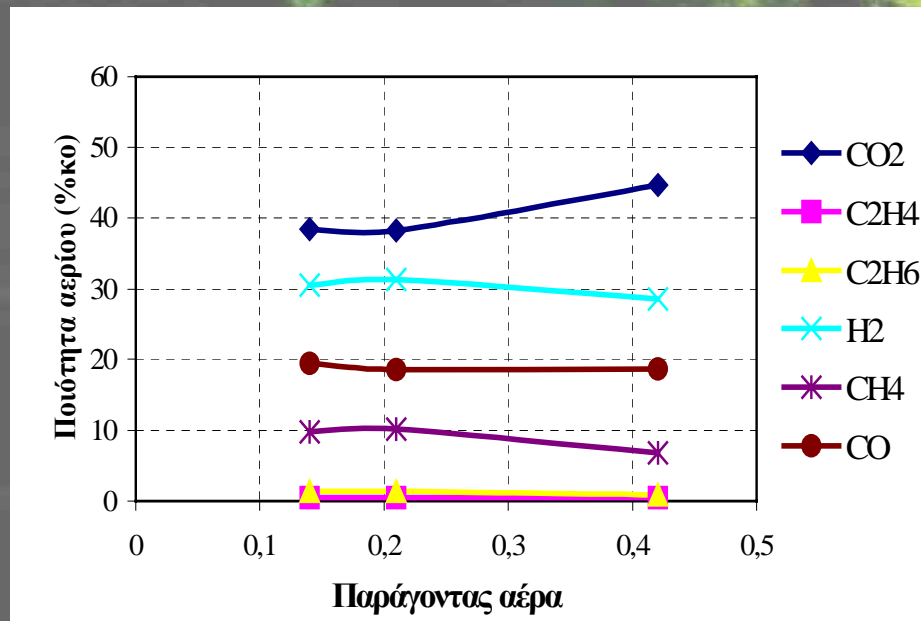


# «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ»

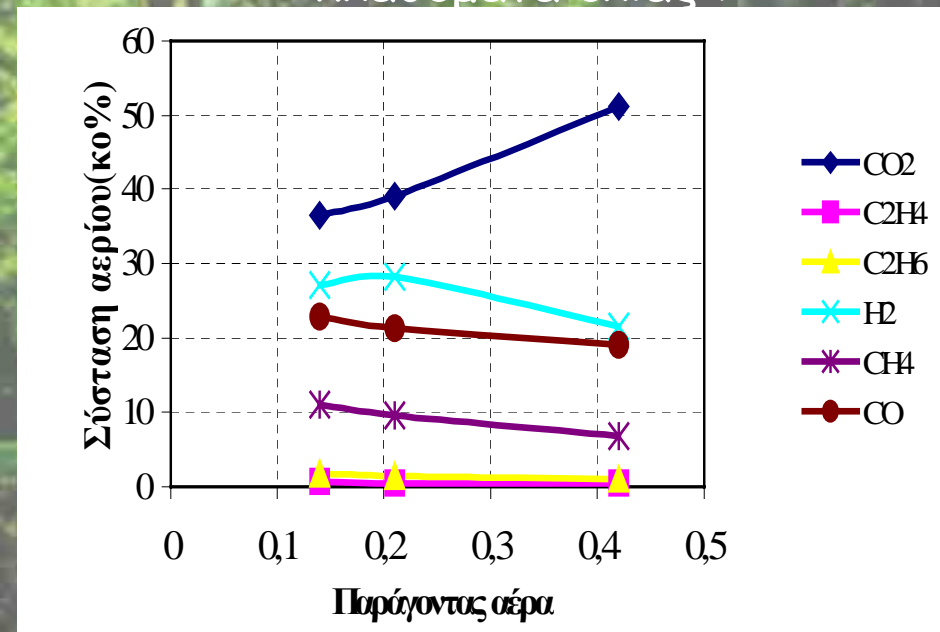
«Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα»

Αεριοποίηση

πυρηνόξυλο.

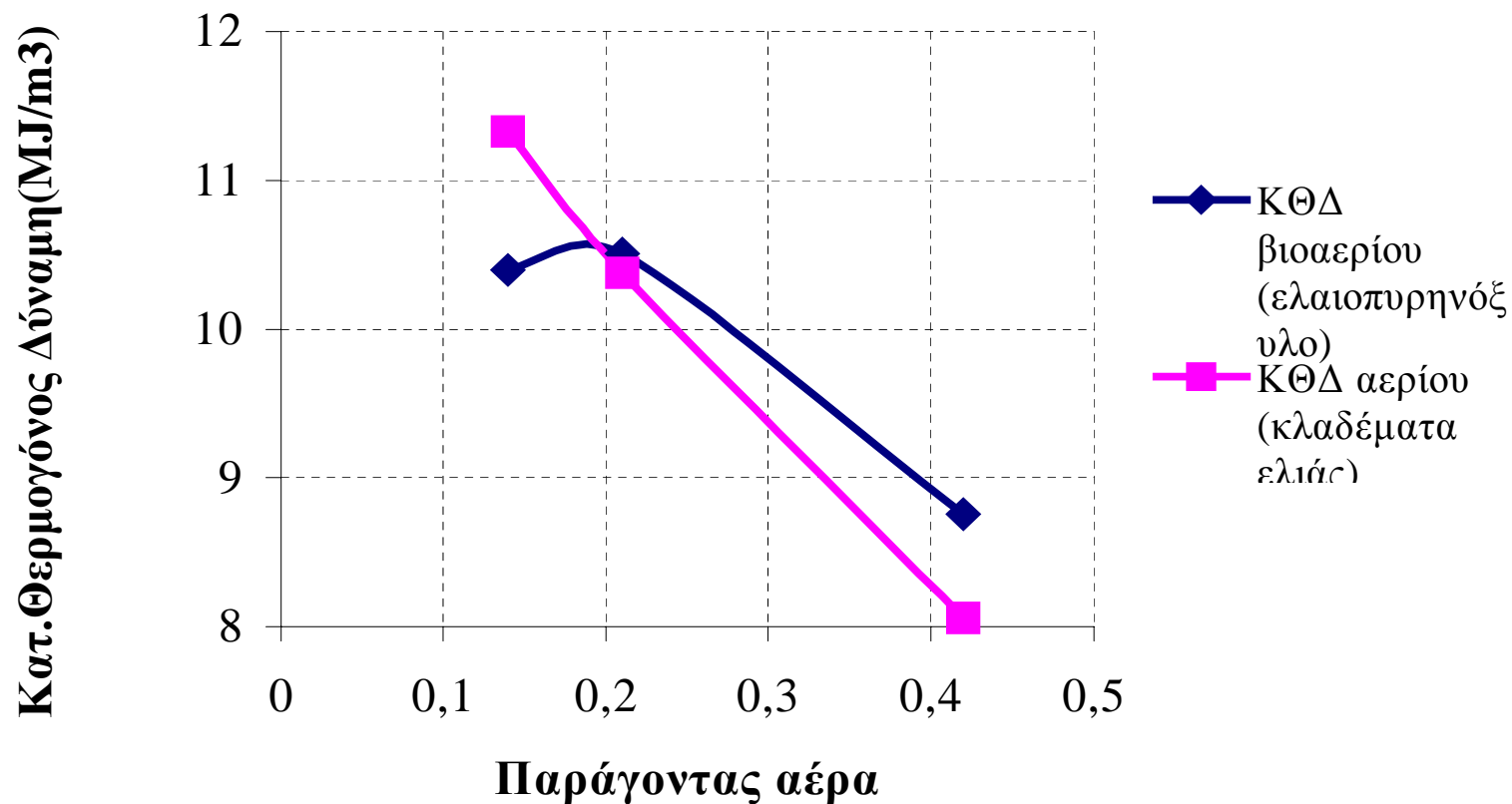


κλαδέματα ελιάς .



## «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ»

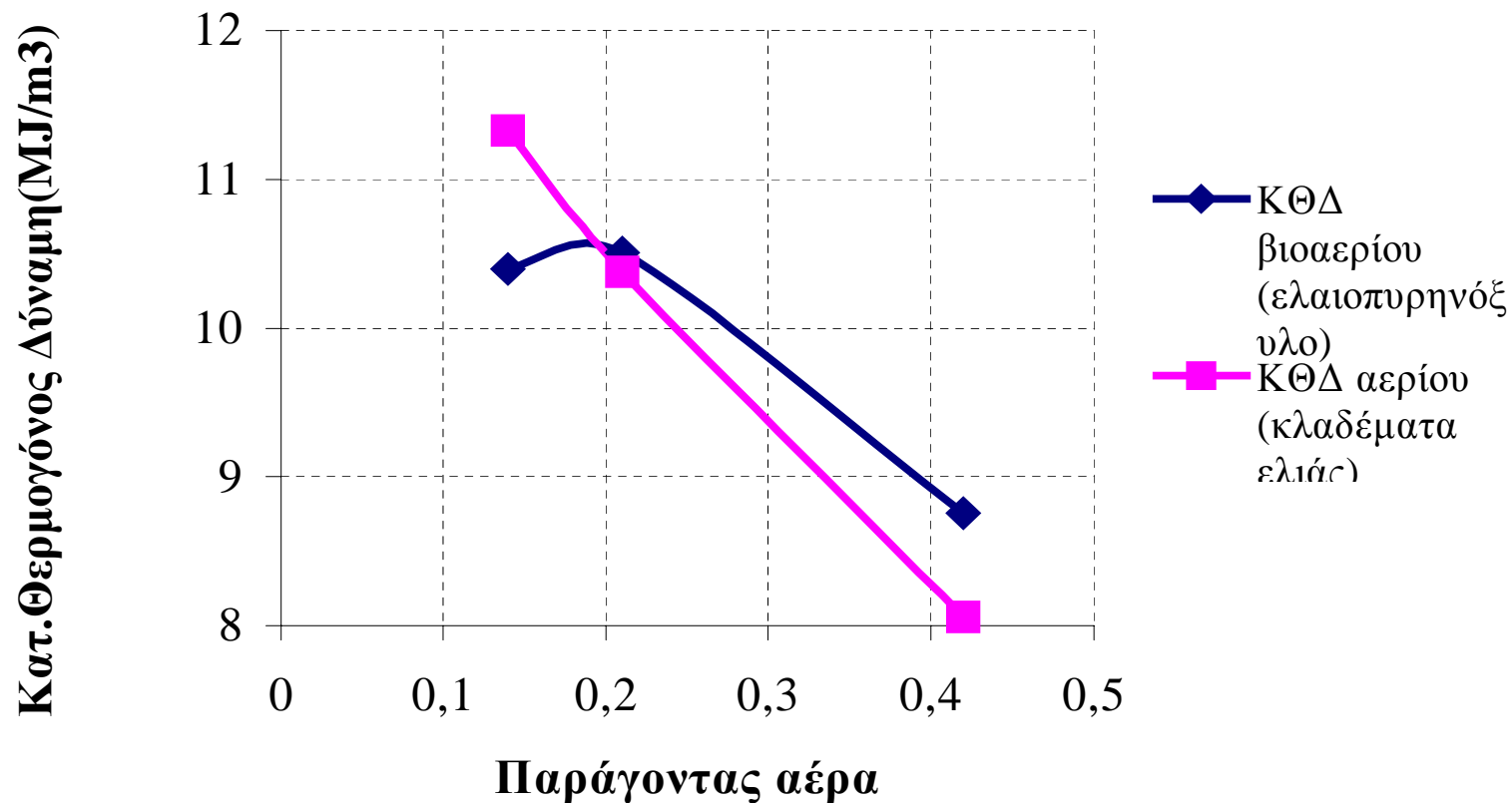
«Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα»





## «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ»

«Θερμοχημική μετατροπή υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (βιομάζα) για την παραγωγή υδρογόνου, ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου και ενεργού άνθρακα»



ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

## ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟΥ

*Μελέτη επίδρασης συνθηκών διεργασίας στην ποιότητα  
του παραγόμενου αερίου*



# Χρηματοδότηση από

## ΤΟ

# Ευρωπαϊκό Κοινοτικό Ταμείο (ΕΚΤ)

## Υπουργείο Ανάπτυξης – Γενική Γραμματεία Έρευνας & Τεχνολογίας (ΥΠΑΝ–ΓΓΕΤ)

## Ν. ΑΧ. ΦΙΛΙΠΠΟΠΟΥΛΟΣ (ΕΔΕ Η-Μ)

## στο πλαίσιο του προγράμματος ΠΕΝΕΔ03



# Στόχος

- Ανάπτυξη εγκατάστασης βιομηχανικής κλίμακας
  - Αύξηση θερμικής ισχύος 5kW - 50kW – 500kW
  - Υλοποίηση βιομηχανικής εφαρμογής
  - Χρήση διαφόρων καυσίμων βιομάζας
- Καθαρότητα παραγόμενου αερίου
  - Σωματιδιακό φορτίο (παγίδα αιθάλης)
  - Πίσσα (εφαρμογή κατάλυσης)
  - Αποτελεσματικότητα σε μόνιμη λειτουργία
- Αυτοδύναμη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής
  - Χρήση σε μηχανή εσωτερικής καύσης
  - Τροφοδοσία σε συνδυασμό με συμβατικό καύσιμο
  - Αξιόπιστη λειτουργία



# Τεχνολογία αεριοποιητή και πρώτες ύλες

- Αεριοποιητής ρευστοποιημένης κλίνης
  - Αναβράζουσα κλίνη (bubbling bed)
  - Μέσο ρευστοαιώρησης ατμοαέρας
  - Θερμική ισχύς ~5kW

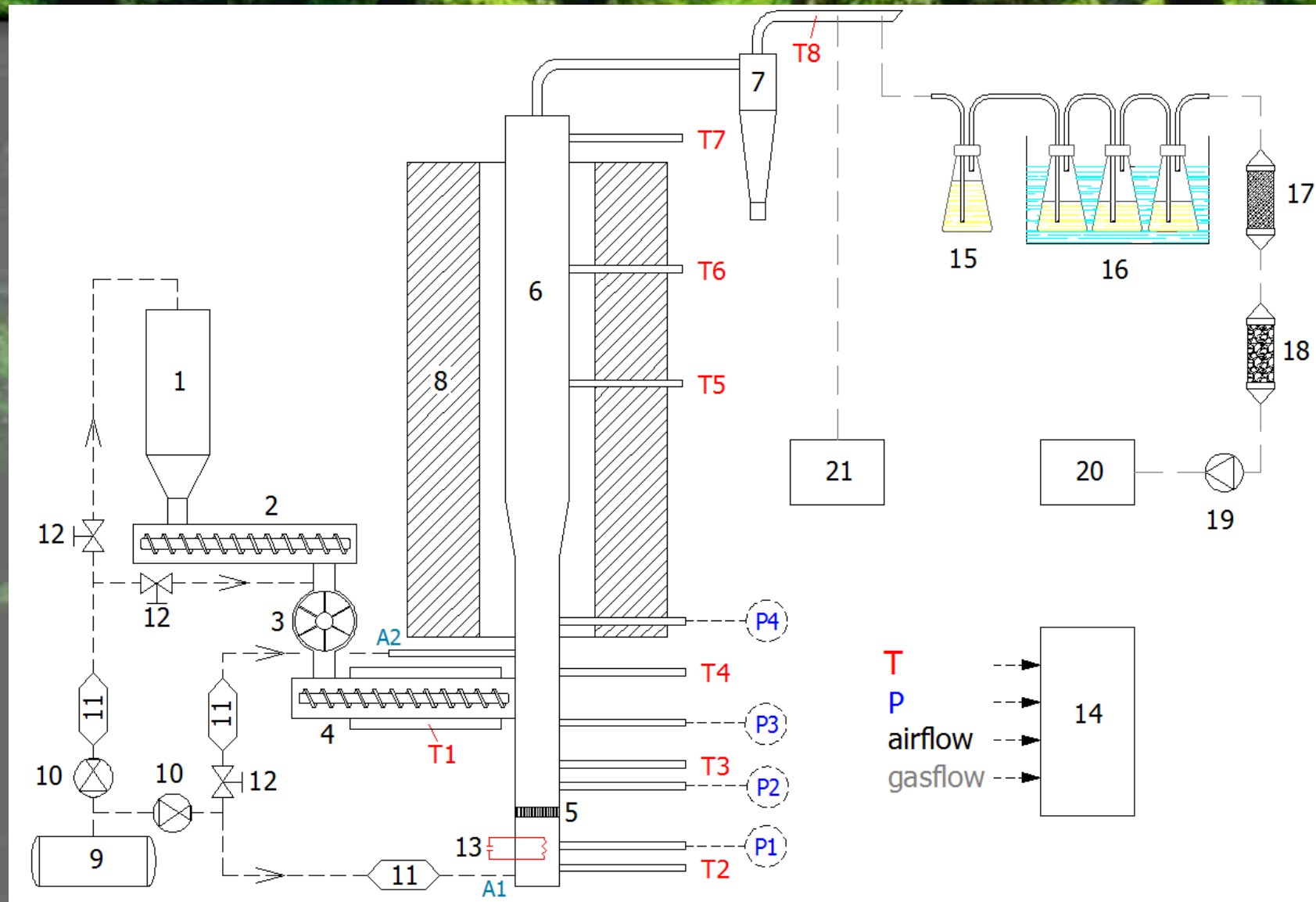
- Καύσιμο
  - Πυρηνόξυλο ελιάς
  - Φυσικά χαρακτηριστικά
  - Χημική σύσταση

- Πληρωτικό μέσο
  - Ολιβίνη
  - Φυσικά χαρακτηριστικά
  - Χημική σύσταση - δομή

Φυσικά χαρακτηριστικά		Χημική σύσταση	
Θερμογόνος δύναμη [kJ/kg]	16.000	C [% κ.β.]	48,6
Υγρασία [% κ.β.]	12	H [% κ.β.]	5,73
Τέφρα [% κ.β.]	3	N [% κ.β.]	1,57
Πυκνότητα [kg/m <sup>3</sup> ]	570	O [% κ.β.]	44,1

Φυσικά χαρακτηριστικά		Χημική σύσταση	
Κοκκομετρία [μm]	300-700	SiO <sub>2</sub> [% κ.β.]	43,5
Πυκνότητα [kg/m <sup>3</sup> ]	1900	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [% κ.β.]	0,3
Πυκνότητα κόκκων [kg/m <sup>3</sup> ]	3300	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [% κ.β.]	8,0
Θερμ. συσσωμάτωσης [°C]	1530	CaO [% κ.β.]	0,4
Θερμ. τήξης [°C]	1800	MgO [% κ.β.]	48

# Διάταξη αεριοποίησης





# Σημεία μέτρησης συνθηκών διεργασίας

Σιλό  
βιομάζας

Κοχλίας  
inverter

Ροταρική  
βαλβίδα

Κοχλίας  
τροφοδοσίας

Ρυθμιστές  
πίεσης

Παγίδα  
αιθάλης

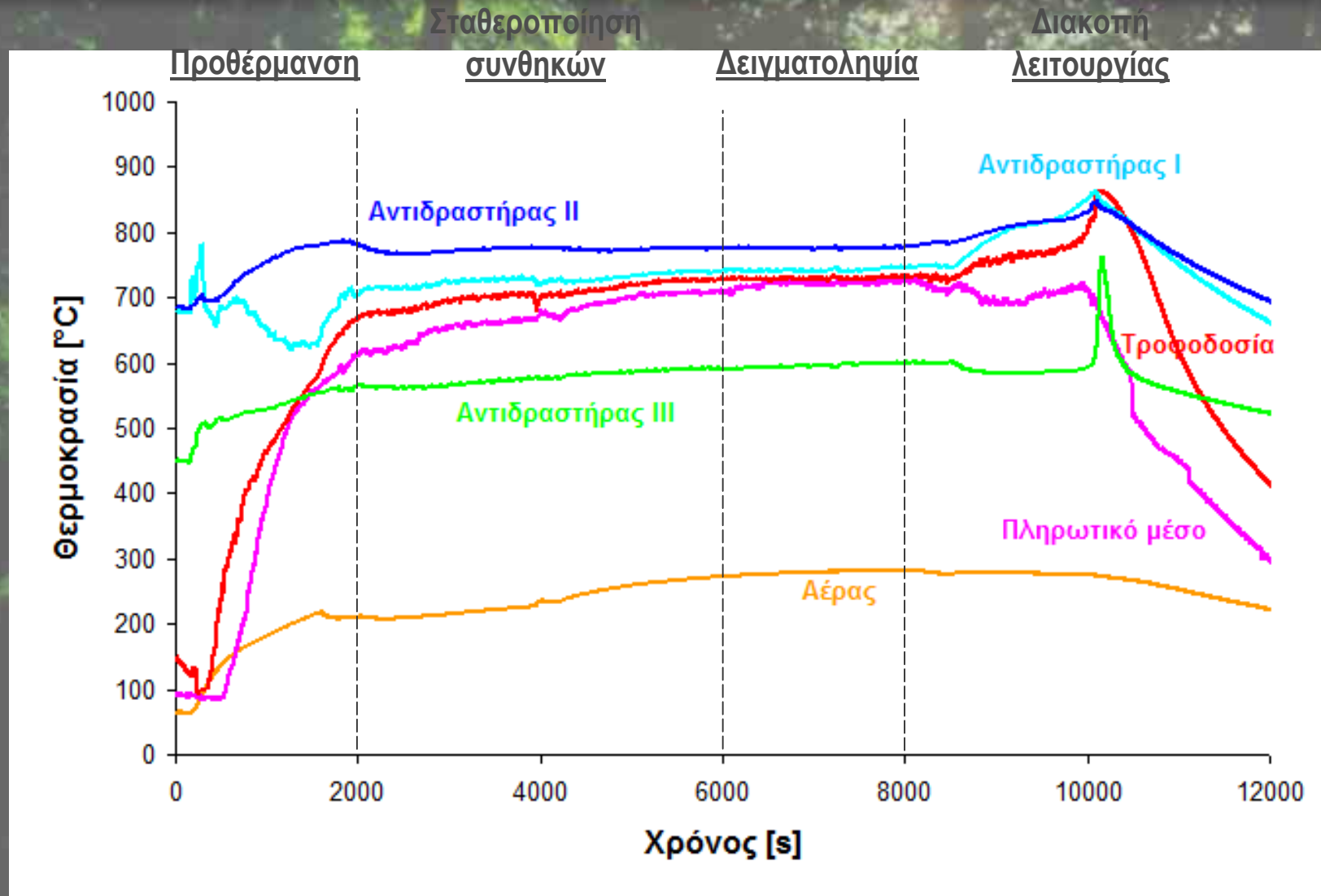
Κυκλώνιο

Αναλυτής CO

Προθέρμανση  
αέρα

Ηλεκτρικός  
φούρνος

# Πειραματική διαδικασία – διακύμανση θερμοκρασιών & συνθήκες μέτρησης





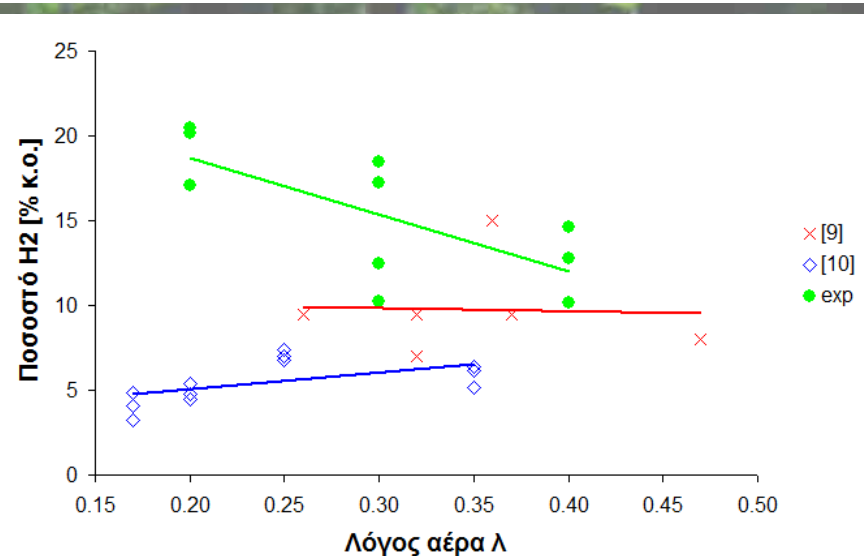
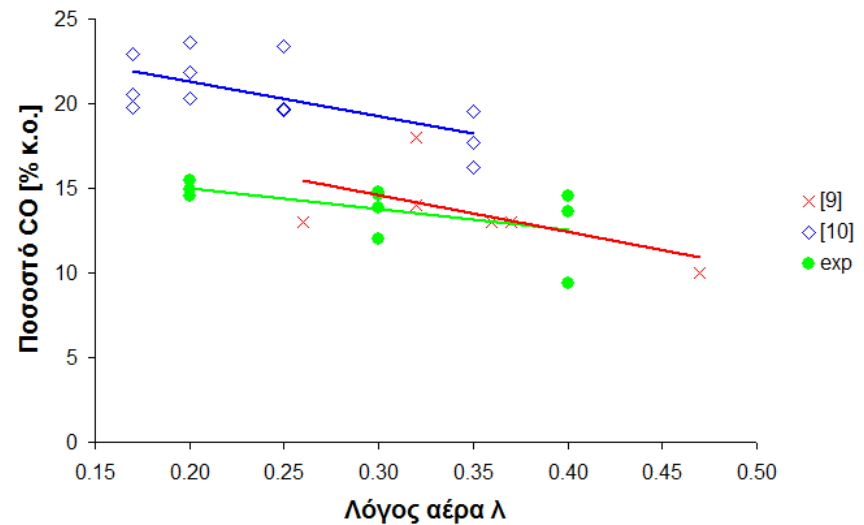
# Επίδραση συνθηκών διεργασίας στη σύσταση – λόγος αέρα λ (I)

- Σύγκριση πειραματικών (exp) με βιβλιογραφικά δεδομένα [9,10]
- Ποσοστό CO
- Θερμοκρασία 800°C
- Πτωτική τάση
- Σύγκριση πειραματικών (exp) με βιβλιογραφικά δεδομένα [9,10]
- Ποσοστό H<sub>2</sub>
- Θερμοκρασία 800°C
- Πτωτική τάση
- Υψηλά ποσοστά

[9] Narvaez I., Orio A., Corella J., Aznar MP., *Biomass gasification with air in a bubbling fluidized bed.*

*Effect of six operational variables on the quality of the produced raw gas,* Ind. Eng. Chem. Res. 35, 2110-2120, 1996

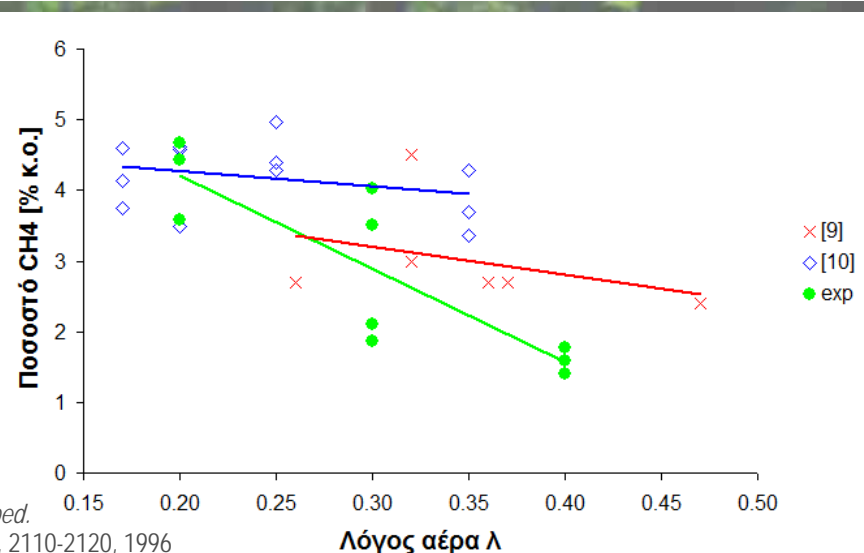
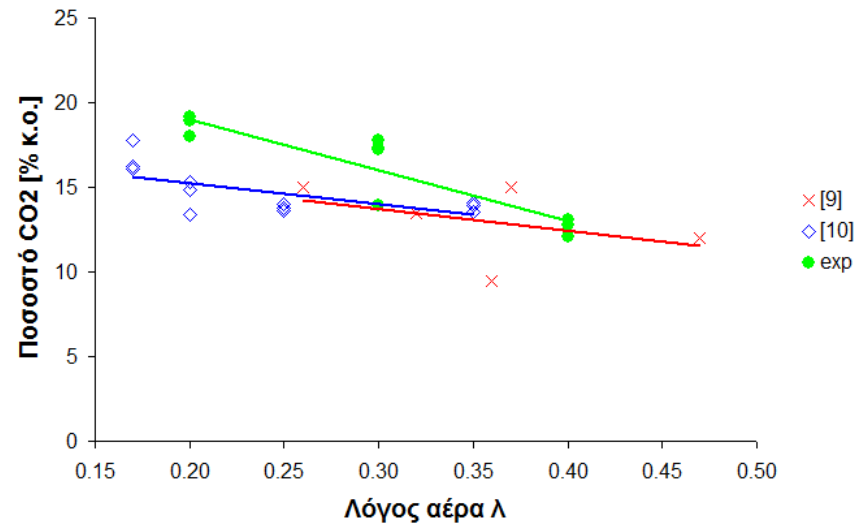
[10] Ergudenler A., Ghaly A., *Quality of gas produced from wheat straw in a dual-distributor type fluidized bed gasifier,* Biomass and Bioenergy Vol. 3, No. 6, 419-430, 1992



## Επίδραση συνθηκών διεργασίας στη σύσταση – λόγος αέρα λ (II)

- Σύγκριση πειραματικών (exp) με βιβλιογραφικά δεδομένα [9,10]
- Ποσοστό CO<sub>2</sub>
- Θερμοκρασία 800°C
- Πτωτική τάση

- Σύγκριση πειραματικών (exp) με βιβλιογραφικά δεδομένα [9,10]
- Ποσοστό CH<sub>4</sub>
- Θερμοκρασία 800°C
- Πτωτική τάση



[9] Narvaez I., Orio A., Corella J., Aznar MP., *Biomass gasification with air in a bubbling fluidized bed.*

*Effect of six operational variables on the quality of the produced raw gas*, Ind. Eng. Chem. Res. 35, 2110-2120, 1996

[10] Ergüdenler A., Ghaly A., *Quality of gas produced from wheat straw in a dual-distributor type fluidized bed gasifier.*

*Journal of Biogas*, Vol. 2, No. 6

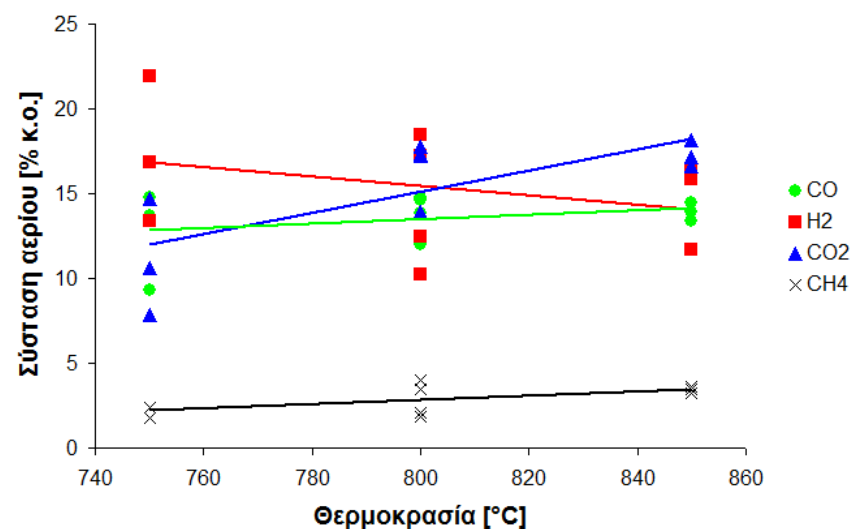
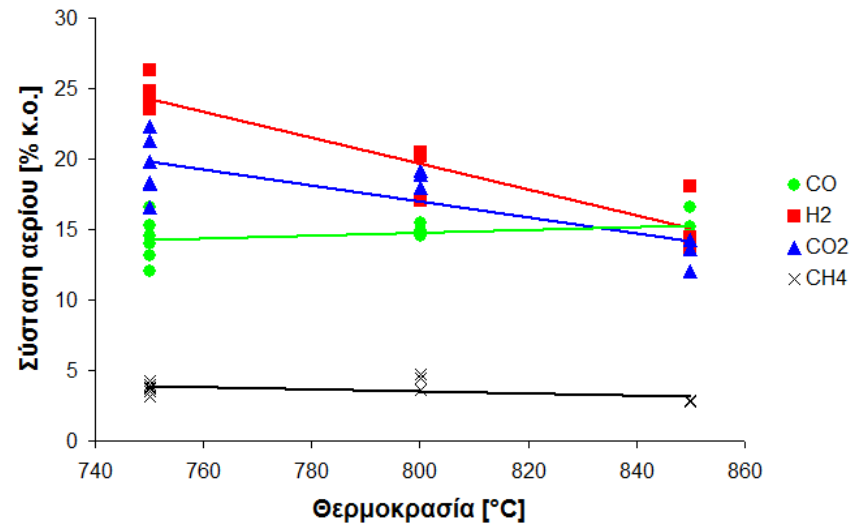
Ημερίδα «Ενεργειακών Εφαρμογών ΑΠΕ», ΙΕΝΕ, Συνεδριακό Κέντρο Ιδρύματος Ευγενίδου, 23- 10 -2007



# Επίδραση συνθηκών διεργασίας στη σύσταση – θερμοκρασία (I)

- Λόγος αέρα 0,20
- Πτωτική τάση  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$
- Ανοδική τάση  $CO$

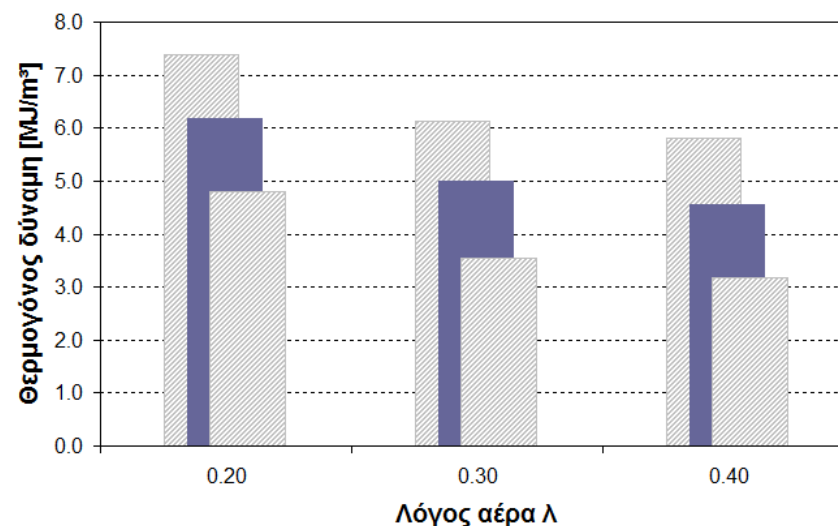
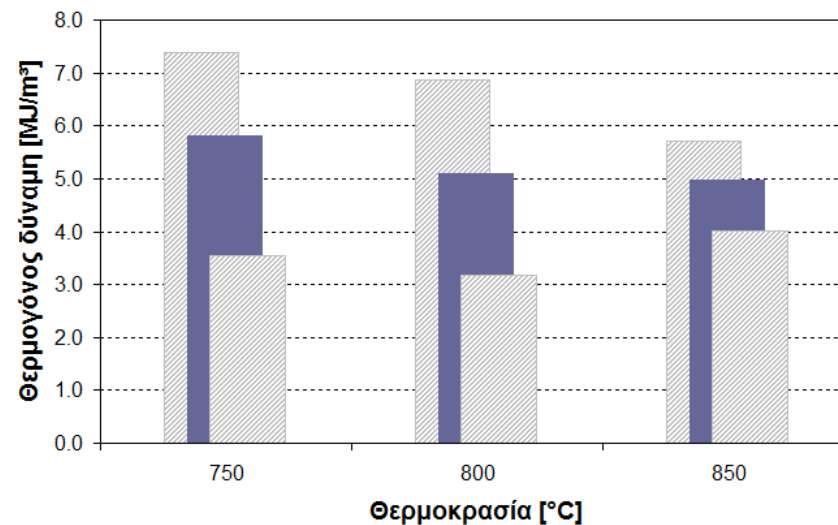
- Λόγος αέρα 0,30
- Πτωτική τάση  $H_2$
- Ανοδική τάση  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$



# Επίδραση συνθηκών διεργασίας στη θερμογόνο δύναμη (I)

- Πτωτική τάσης θερμογόνου δύναμης
- Πτώση καυσίμων συστατικών
- Εύρος διακύμανσης θερμογόνου δύναμης 5000 – 5700 kJ/m<sup>3</sup>

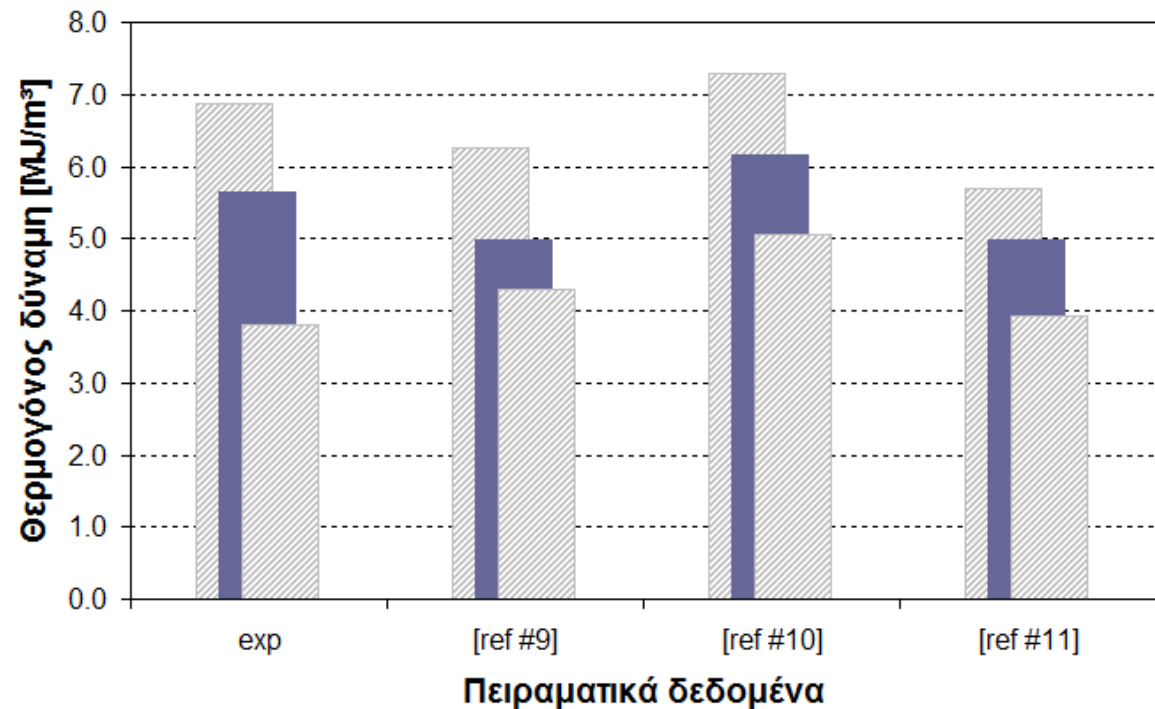
- Πτωτική τάσης θερμογόνου δύναμης
- Πτώση καυσίμων συστατικών
- Εύρος διακύμανσης θερμογόνου δύναμης 4500 – 6100 kJ/m<sup>3</sup>





# Επίδραση συνθηκών διεργασίας στη θερμογόνο δύναμη (II)

- Σύγκριση πειραματικών (exp) με βιβλιογραφικά δεδομένα [9,10, 11]
- Λόγος αέρα 0,20-0,35
- Θερμοκρασία 800°C



- [9] Narvaez I., Orio A., Corella J., Aznar MP., *Biomass gasification with air in a bubbling fluidized bed. Effect of six operational variables on the quality of the produced raw gas*, Ind. Eng. Chem. Res. 35, 2110-2120, 1996
- [10] Ergudenler A., Ghaly A., *Quality of gas produced from wheat straw in a dual-distributor type fluidized bed gasifier*, Biomass and Bioenergy Vol. 3, No. 6, 419-430, 1992
- [11] Radmanesh R., Chaouki J., Guy C., *Biomass gasification in a bubbling fluidized bed reactor: experiments and modeling*, AIChE Journal, Vol. 52, No. 12, 2006

## ■ (PELET-AGROS) ΠΑΒΕΤ 05

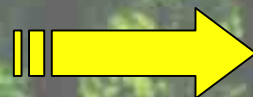
■ Μελέτη της χρήσης συσσωματωμάτων βιομάζας (Agro-pellets) για την παραγωγή βιοενέργειας και υλικών σε μονάδες αεριοποίησης και πυρόλυσης με περιβαλλοντική και οικονομική ασφάλεια.



# Συσσωμάτωση Βιομάζας

υπολείμματα  
αγροτικών  
καλλιεργειών

ενεργειακές  
καλλιεργειες  
(Pellet-Agros  
fuels)



συσσωματωμάτων βιομάζας (pellets)=  
στερεά βιοκαύσιμα

Διερεύνηση  
& Μελέτη



τροφοδοσία μικρών ενεργειακών  
μονάδων αεριοποίησης και  
πυρόλυσης που αναπτύσσονται  
τελευταία στην Ελληνική αγορά.





# Μέχρι σήμερα στην Ελλάδα .....

Η παραγωγή συσσωματωμάτων υπολειμμάτων αγροτικών καλλιεργειών στοχεύει σε ένα επικεντρωμένο μέρος της ελληνικής αγοράς που αφορά στις ήδη υπάρχουσες συμβατικές μονάδες καύσης βιομάζας σε μερικές ελληνικές αγροβιομηχανίες (συμβατικοί καυστήρες με λέβητες), οι οποίες αξιοποιούν ενεργειακά με αυτόν τον τρόπο τα υπολείμματα τους.

Η χρήση αυτή δεν αρκεί για την μακροπρόθεσμη δυναμική των αγορών αυτών

η ανάπτυξη περιβαλλοντικών μονάδων αεριοποίησης / πυρόλυσης (αντί της μη αποδεκτής, περιβαλλοντικά πλέον καύσης σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο) θα συμβάλλει σημαντικά στην διεύρυνση και βιωσιμότητα των αγορών στερεών βιοκαυσίμων.

# Πλεονεκτήματα συσσωματωμάτων

- ✓ Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα σε σχέση με τον μικρό όγκο τους
- ✓ Μείωση κόστους μεταφοράς
- ✓ Μείωση κόστους επένδυσης αποθήκευσης
- ✓ Εύκολη διακίνηση



- ✓ Οικονομικότερα στερεά καύσιμα
- ✓ Επίτευξη χαμηλότερης τιμής ηλεκτρικού ρεύματος

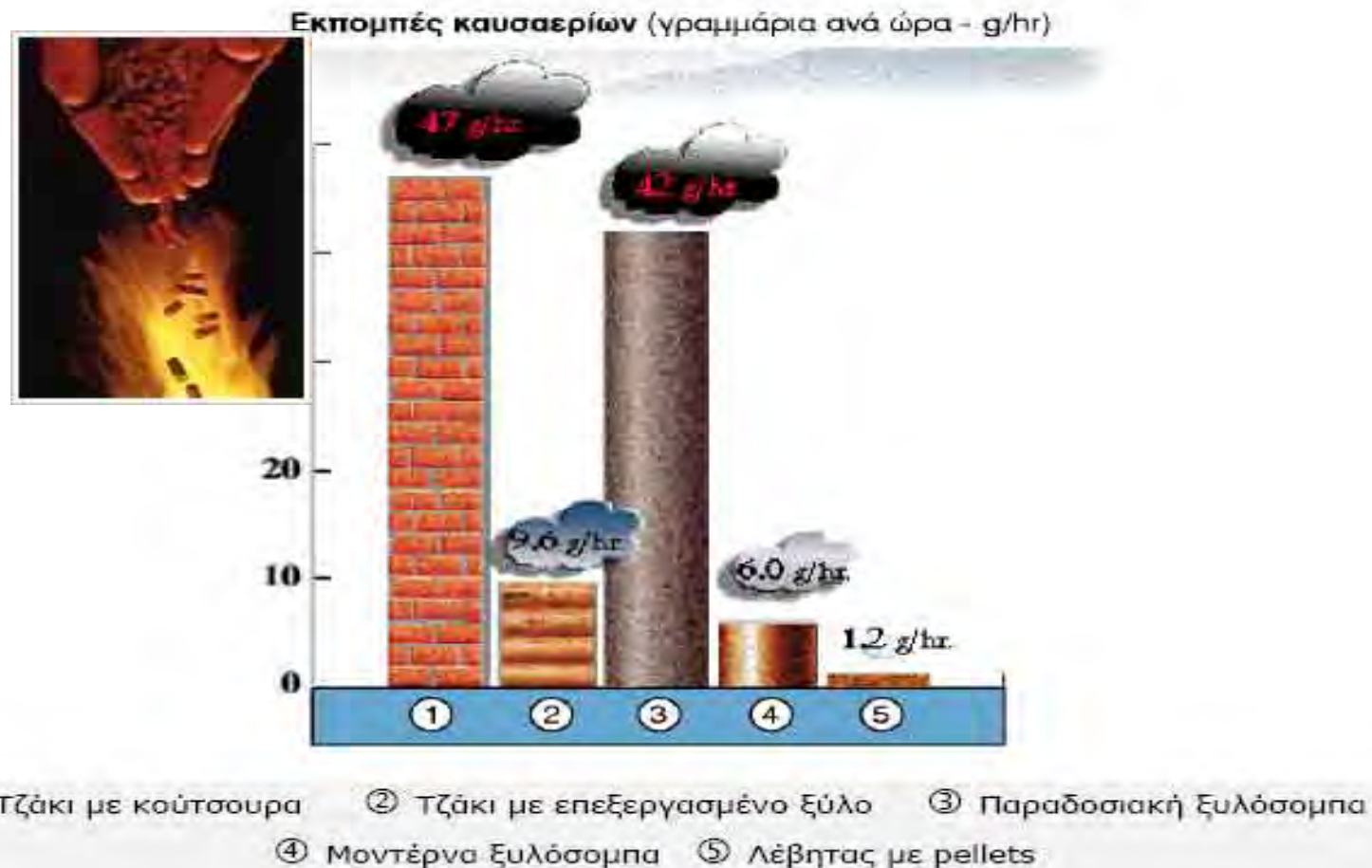


# Πλεονεκτήματα συσσωμάτωσης

- Αντιμετώπιση ανομοιογένειας
- Βελτίωση της ποιότητας
- Καλύτερος έλεγχος του παραγομένου υπό μορφή συσσωματώματος στερεού βιοκαυσίμου
- Σταθεροποίηση των ιδιοτήτων τους
- Αποφυγή αποικοδόμησης της βιομάζας λόγω της ανάπτυξης μικροβιακής δραστηριοποίησης (εξαιτίας της ξήρανσης και συμπίεσης)
- Μείωση του όγκου και διευκόλυνση μεταφοράς και αποθήκευσης τους
- Πιθανή μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση και μείωση εκπομπών αερίων /στερεών ρύπων

# .....στην Πυρόλυση & Αεριοποίηση

- Μηδαμινή συνεισφορά τους στην αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, ιδιαίτερα CO<sub>2</sub>. (Πρωτόκολλο Κιότο)





# Οικονομικά οφέλη

- ✓ Εκτίμηση συναλλαγματικού όφελος (έως 2010) : 10.000.000 €
- ✓ Κέρδος μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub> : 35.000.000 €
- ✓ Το κέρδος από την ανάπτυξη της βιομηχανίας παραγωγής βιοκαυσίμων και την δημιουργία νέων, βιώσιμων θέσεων εργασίας : 4.500.000 €.
- ✓ Κόστος μη εναρμόνισης Ελλάδας (Πρωτοκόλλου Κιότο), : 120.000.000 € σε πρόστιμα ή αγορά δικαιωμάτων εκπομπής αερίων ρύπων.
- ✓ Νόμου 3423/2005 : ανάπτυξη βιοκαυσίμων στην Ελλάδα, έχει ήδη δρομολογηθεί η ίδρυση βιομηχανικών μονάδων που θα παράγουν βιοκαύσιμα (περίπτωση παραγωγής βιοντίζελ - εταιρίες ΕΛΒΥ και ΕΛΙΝΟΙΛ). Αλλά και στην περιοχή δημιουργίας στερεών βιοκαυσίμων αναμένεται να επικεντρωθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον και συνολικά οι επιδοτήσεις : 22.000.000 €.

# Οφέλη για την Ελλάδα

- ✓ Δημιουργία νέας βιομηχανικής δραστηριότητας παραγωγής συσσωματωμάτων που διαφαίνεται επικερδής και με αισιόδοξες προοπτικές.
- ✓ Δημιουργία νέων αγορών βιοκαυσίμων που θα προέρχονται από την χρήση των συσσωματωμάτων σε μικρές μονάδες παραγωγής ενέργειας
- ✓ Βελτίωση logistics βιομάζας.
- ✓ Απόκτηση τεχνογνωσίας σχετικής με τις εφαρμογές διαφόρων τύπων συσσωματωμάτων ως βιοκαύσιμα για την παραγωγή ενέργειας και ενεργών ανθράκων.



# Οφέλη για την Ελλάδα

- ✓ Κοινωνικοοικονομικά οφέλη που θα προέρχονται από την δημιουργία θέσεων εργασίας, την απασχόληση του αγροτικού πληθυσμού της χώρας και την ενίσχυση των αγροτικών εισοδημάτων, και την αναζωογόνηση των αγροτικών περιοχών της χώρας.

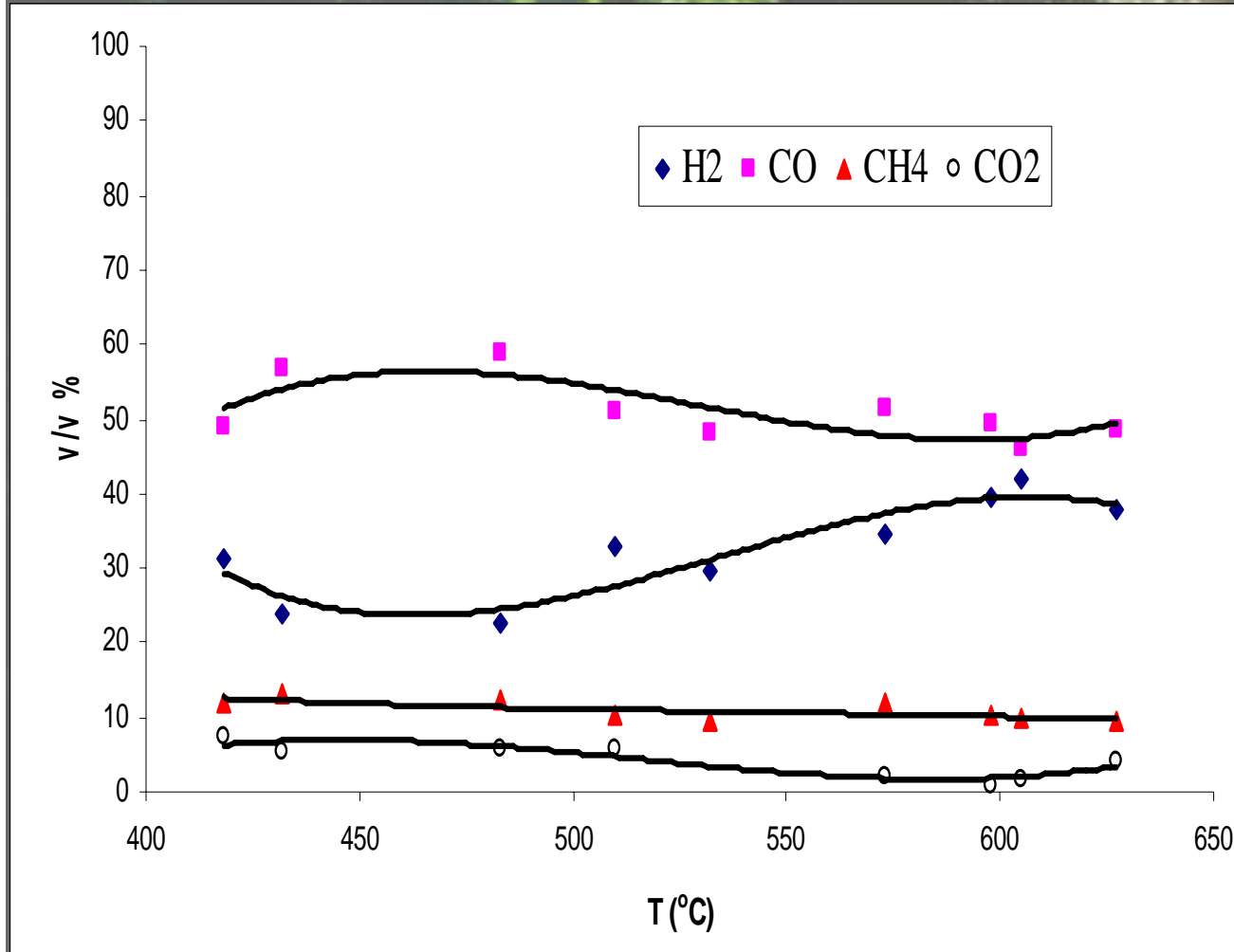
# Εμπόδια

Εμπόδια τα οποία δεν έχουν επιτρέψει μέχρι σήμερα την ευρεία εισαγωγή της τεχνολογίας συσσωμάτωσης στην Ελλάδα, αλλά είναι εφικτό να ξεπεραστούν με τη συμβολή της συγκεκριμένης έρευνας είναι:

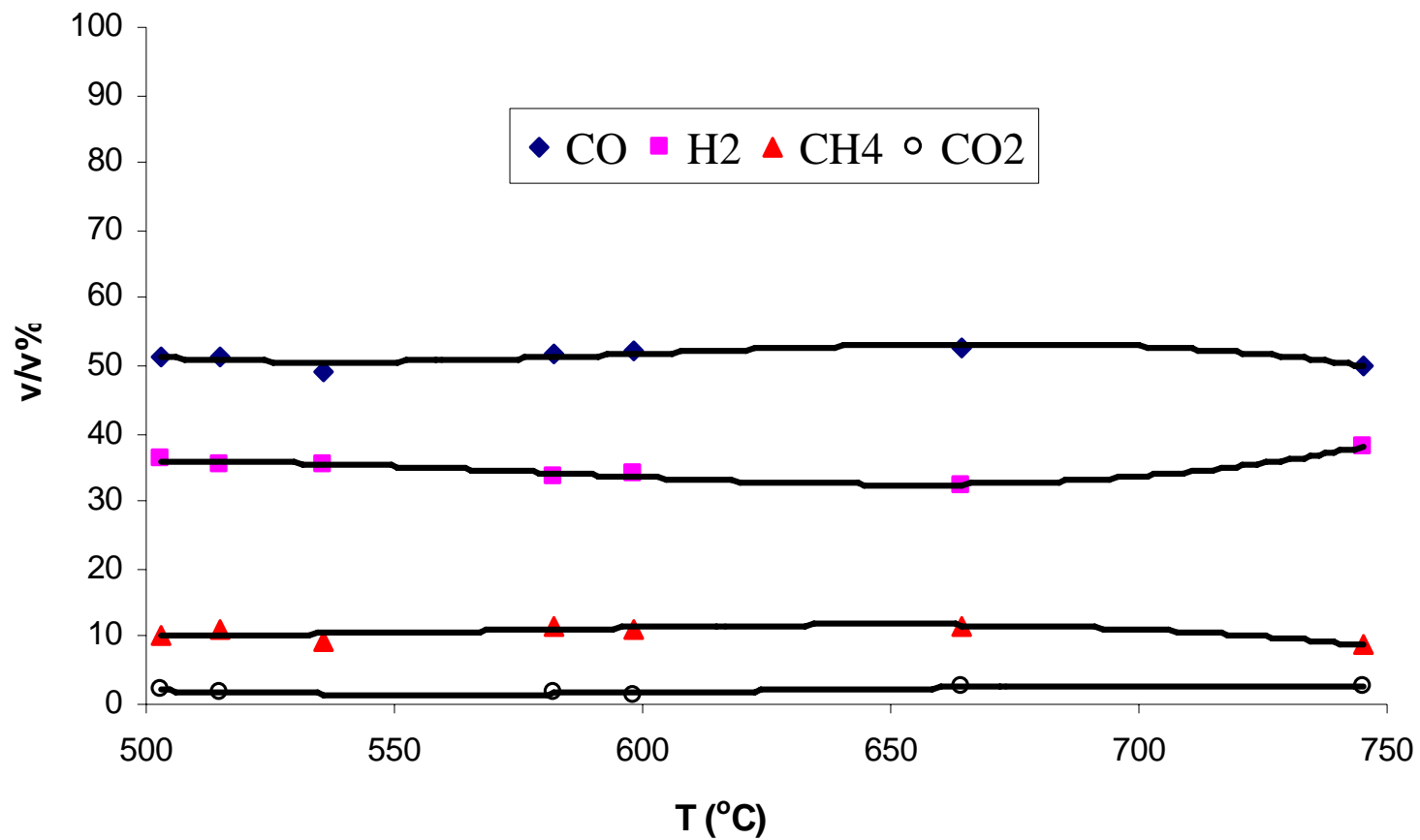
- ↗ Η διαθεσιμότητα των πηγών
- ↗ Η αντιμετώπιση της εποχικής παραγωγής, συλλογής, αποθήκευσης και χειρισμού των τεράστιων αποθεμάτων υπολειμμάτων αγροτικών καλλιεργειών
- ↗ Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών μετατροπής των συσσωματωμάτων σε ενέργεια και υλικά προστιθέμενης αξίας (μέσω των θερμοχημικών μεθόδων της αεριοποίησης και πυρόλυσης) και της αντιμετώπισης πιθανόν προβλημάτων τροφοδοσίας
- ↗ Η διερεύνηση του σοβαρού προβλήματος του ρόλου των ανόργανων συστατικών (π.χ. τήξη τέφρας).



# Σύσταση αερίου πελλέτας ξύλου/ καλαμπόκιου

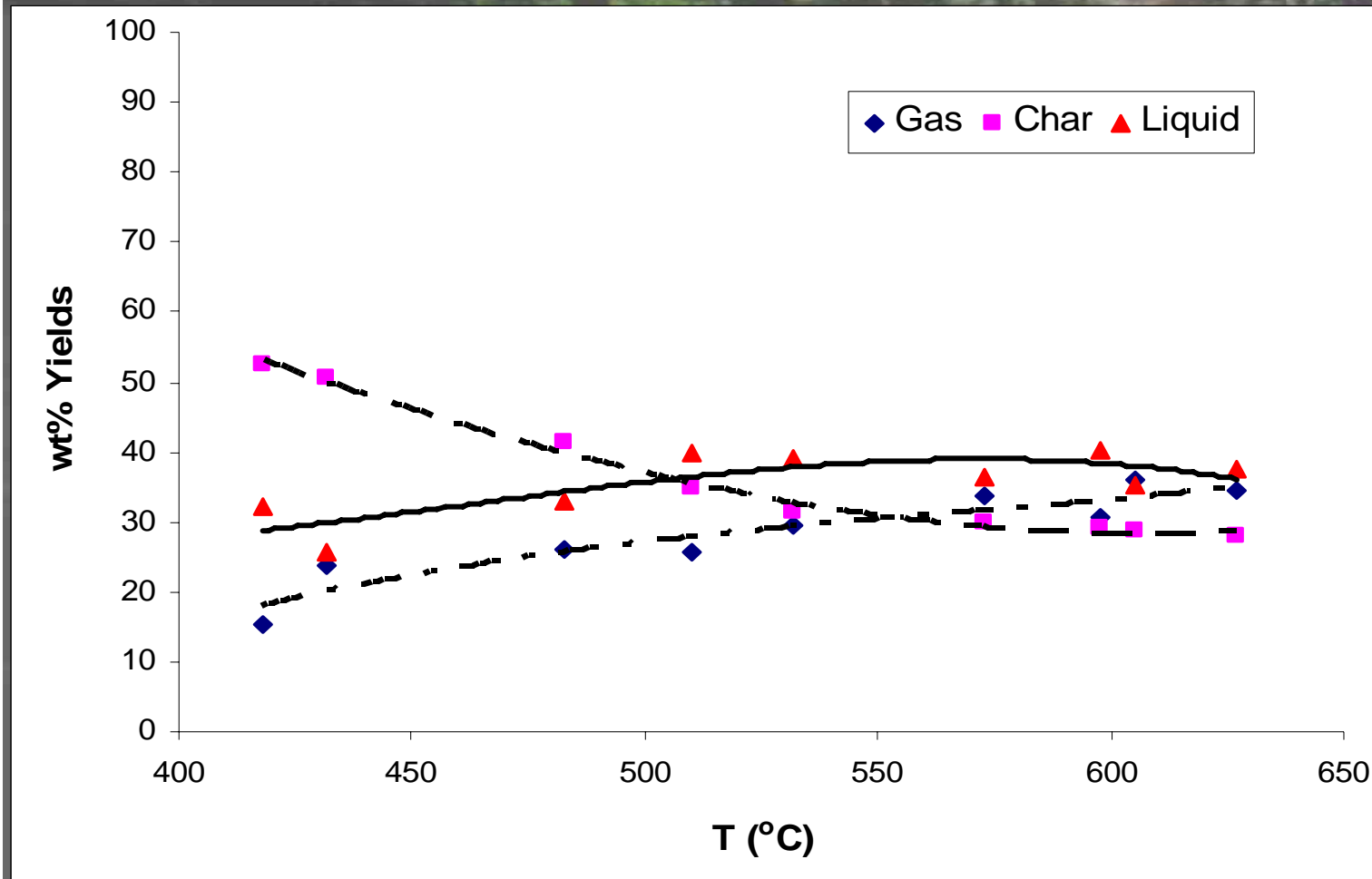


# Σύσταση αερίου πελλέτας ξύλου/ βαμβάκιου

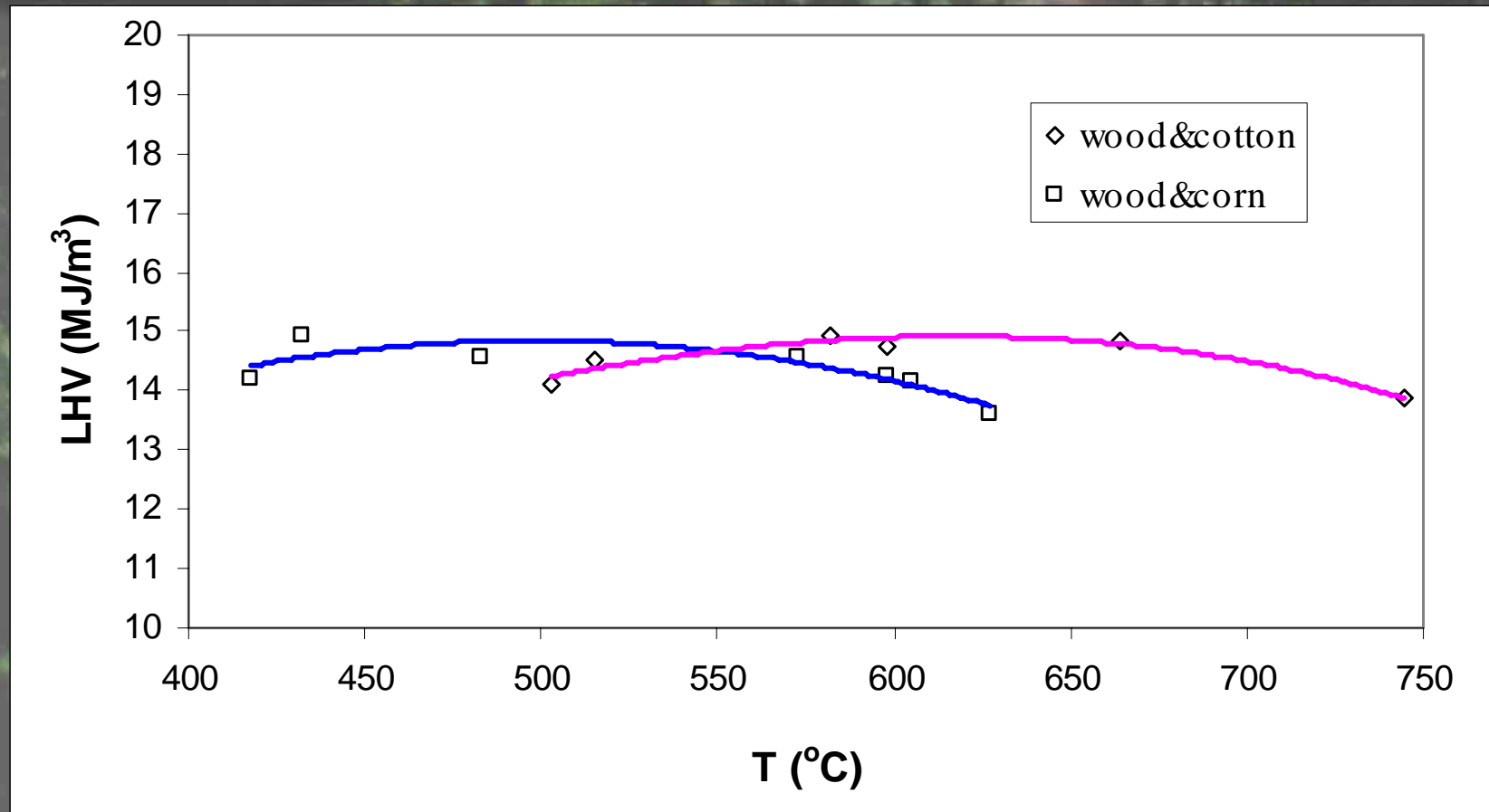




# Αποδόσεις προϊόντων πελλέτας ξύλου/καλαμποκιού



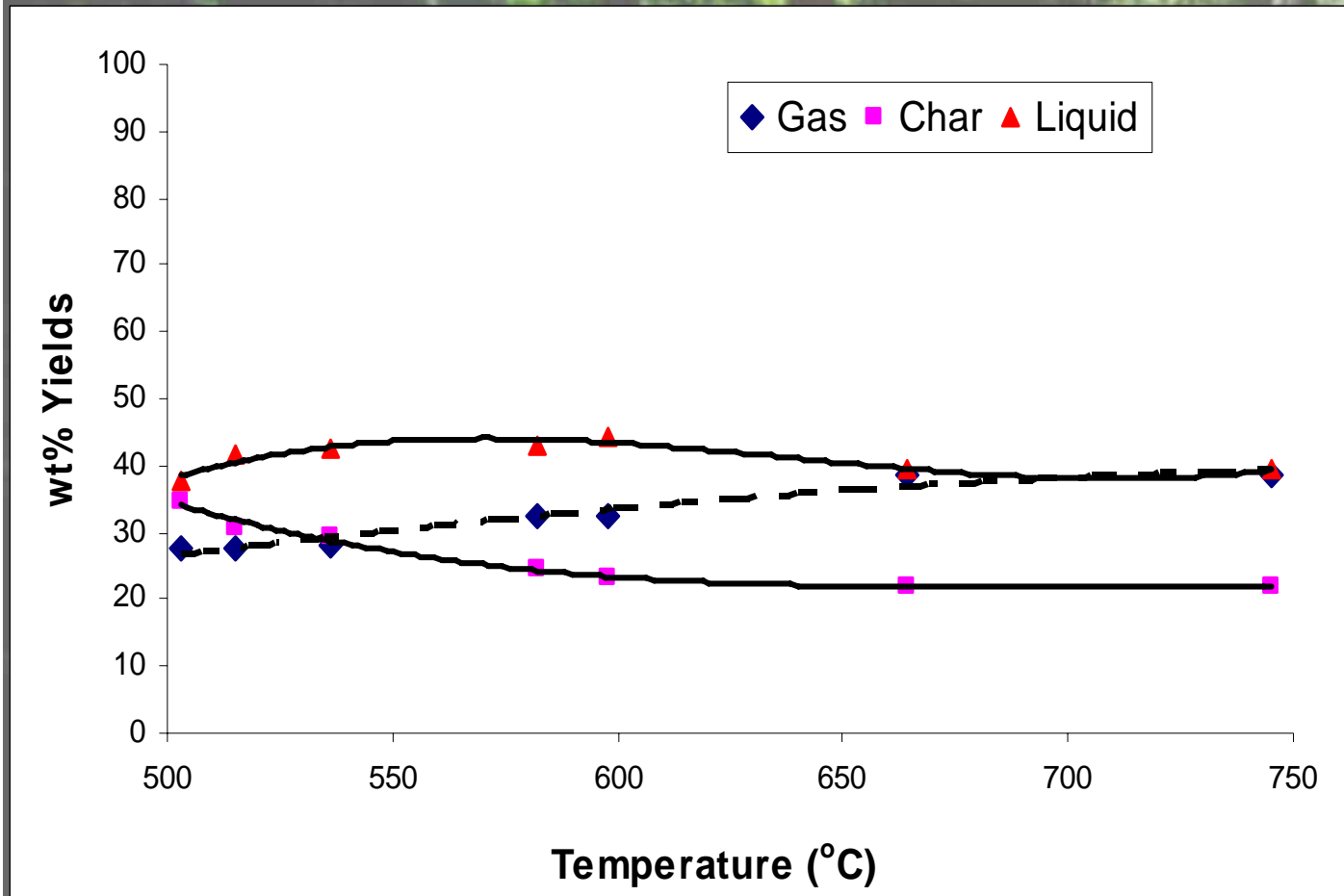
# Θερμογόνο δύναμη αερίου από μικτές πελλέτες



Μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο σε σχέση με υπολείμματα καλαμποκιού



# Αποδόσεις προϊόντων πελλέτας ξύλου/ βαμβακιού



# Συμπεράσματα

- Τα υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών αποτελούν μια σημαντική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και από άποψης περιβαλλοντικής προστασίας και αειφόρου ανάπτυξης και φαίνονται κατάλληλα για την θερμοχημική μετατροπή τους προς αέρια υγρά καύσιμα.
- Τα υπολείμματα γεωργικής βιομάζας δύνανται να αξιοποιηθούν μέσω της θερμοχημικής οδού με ελκυστικά αποτελέσματα σε ότι αφορά την παραγωγή αερίων και υγρών καυσίμων που θα οδηγηθούν περαιτέρω για παραγωγή ενέργειας.
- Η αεριοποίηση και πυρόλυση τους συμβάλουν ως καθαρές μέθοδοι παραγωγής ενέργειας από αυτά γιατί δεν δημιουργούν τα περιβαλλοντικά εκείνα προβλήματα με τα οποία ως γνωστόν συνδέεται η καύση, όπως αύξηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, απελευθέρωση αερίων θερμοκηπίου, αύξηση συγκέντρωσης σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.



## Συμπεράσματα

- Οι μέθοδοι πυρόλυσης και αεριοποίησης (σταθερής κλίνης) συγκεκριμένα μπορούν να αποδώσουν αέρια προϊόντα μέσης θερμογόνου δύναμης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας σε τουρμπίνες και μηχανές εσωτερικής καύσης.
- Η πυρόλυση σε αντιδραστήρα σταθερής κλίνης έδειξε για το υγρό προϊόν ικανοποιητικά αποτελέσματα, ενώ η χρήση καταλύτη διαφοροποιούσε τα αποτελέσματα ανάλογα με το είδος της βιομάζας.
- Το στερεό υπόλειμμα της πυρόλυσης αποδείχθηκε να είναι μια καλή πρώτη ύλη για παραγωγή ενεργού άνθρακα.

## Συμπεράσματα

- Από τα μη καταλυτικά πειράματα προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη παραγωγή σε **υγρά** προϊόντα εμφανίζουν τα υπολείμματα **καλαμποκιού**, σε **αέρια** προϊόντα η **ρόκα καλαμποκιού** ενώ σε **στερεό** ο **ηλίανθος**.
- Η επίδραση του καταλύτη διαφέρει σημαντικά ανάλογα με το είδος της βιομάζας. Σημαντική καταλυτική δράση, που μεταφράζεται σε μείωση στην παραγωγή των υγρών προϊόντων, αύξηση στην παραγωγή των αερίων και στερεών και σημαντική αύξηση του υδρογόνου στα παραγόμενα αέρια, εμφανίζεται στην περίπτωση του ηλίανθου και το γεγονός μπορεί πιθανώς να σχετίζεται με το χαμηλό ποσοστό **λιγνίνης** στον **ηλίανθο**.



## Συμπεράσματα – καλαμποκι

- Με την αύξηση της θερμοκρασίας πυρόλυσης παρατηρήθηκε μείωση στην παραγωγή των υγρών προϊόντων πυρόλυσης και αύξηση στην παραγωγή των αερίων προϊόντων, ενώ η παραγωγή του υδρογόνου στα παραγόμενα αέρια, εμφανίζει σημαντική αύξηση με μέγιστο περίπου στους 600°C. Επίσης, η αύξηση της θερμοκρασίας φαίνεται να οδηγεί σε αύξηση των επιθυμητών κλασμάτων, όπως οι υδρογονάνθρακες και οι φαινόλες.
- Επιπλέον, η θερμογόνος δύναμη του αέριου προϊόντος της πυρόλυσης, και κυρίως των υπολειμμάτων καλαμποκιού κατατάσσεται στη **μεσαία κατηγορία αερίων καυσίμων** τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας σε μηχανές, τουρμπίνες και λέβητες για παραγωγή ενέργειας.
- Το εξανθράκωμα από την πυρόλυση κυρίως της ρόκας καλαμποκιού, και λιγότερα των υπολειμμάτων προτείνεται για περαιτέρω μελέτη στην παραγωγή ενεργού άνθρακα, καθώς οι αποδόσεις σε στερεό υπόλειμμα ήταν υψηλές, αλλά και περιείχαν υψηλό ποσοστό υπολειμματικού άνθρακα.

# Συμπεράσματα – ελαιοπυρηνόξυλο

- Με την αύξηση της θερμοκρασίας αεριοποίησης παρατηρήθηκε μείωση στην παραγωγή των υγρών προϊόντων αεριοποίησης (πίσσας) και αύξηση στην παραγωγή των αερίων προϊόντων, ενώ η παραγωγή του υδρογόνου και μονοξειδίου στα παραγόμενα αέρια, εμφανίζει σημαντική αύξηση με μέγιστο περίπου στους 950 οC.
- Η ποιότητα του βιοαερίου που προκύπτει από τα δύο υπολείμματα προς μελέτη, όσον αφορά την κατώτερα θερμογόνο δύναμη του μπορεί να χαρακτηριστεί ως μέση (medium heating value gases) που τα καθιστά αξιοποιήσιμα προς παραγωγή ενέργειας σε μηχανές εσωτερικής καύσης και τουρμπίνες αερίου. Τα κλαδέματα ελιάς παράγουν αέριο αεριοποίησης με υψηλότερο θερμικό περιεχόμενο
- Από την ενεργοποίηση του εξανθρακώματος του ελαιοπυρηνόξυλου, η καλύτερη ειδική επιφάνεια προήλθε κάνοντας την καταλληλότερη επιλογή χρόνου ενεργοποίησης και του μεγέθους μορίου. Με το KOH διαπιστώθηκε ότι μπορεί να εξαχθεί μια πολύ καλή επιφάνεια BET, στους 900οC και σε 4 h.



## Συμπεράσματα

- Η μεγιστοποίηση της θερμογόνου δύναμης των βιοαερίων που προκύπτουν από την αεριοποίηση του ελαιοπυρηνόξυλου και κλαδεμάτων ελιάς πραγματοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλούς παράγοντες αέρα

## Συμπεράσματα-Κυψέλες καυσίμου

- Τα αέρια βιοκαύσιμα που προκύπτουν από την θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας (είτε απευθείας μέσω της αεριοποίησης, είτε μέσω της αναμόρφωσης των υγρών προϊόντων της πυρόλυσης) περιέχουν σε κάθε περίπτωση σημαντικές ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα. Για το λόγο αυτό η δυνατότητα ηλεκτροοξειδωσης του σε κυψέλες καυσίμου τύπου SOFC αποτελεί ίσος την πλέον σημαντική παράμετρο, όσον αφορά στην επιτυχή σύζευξη τους με τις διεργασίες θερμοχημικής μετατροπής βιομάζας.
- Η σύζευξη των κυψελών καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη (SOFC) με την αεριοποίηση βιομάζας αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για την παραγωγή “πράσινης” ενέργειας με ιδιαίτερα υψηλές αποδόσεις.



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

- Ευχαριστίες εκφράζονται στον καθ. Γ. Παπαδάκη από το Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών και στον κο Θ. Μπαλαφούτα, που στα πλαίσια συνεργασίας δια του ΠΥΘΑΓΟΡΑ II μας προμήθευσαν με υπολείμματα Ηλίανθου από την καλλιέργεια τους στην Λαμία.
- Το αγροτεμάχιο που καλλιεργήθηκε με ηλίανθο από τον παραγωγό Μπαλαφούτη Ηλία κατά την καλλιεργητική περίοδο 2005-2006 είναι έκτασης 10 στρεμμάτων και βρίσκεται στην τοποθεσία «Βαρκά» του Δημοτικού Διαμερίσματος Λυγαριάς του Δήμου Λαμιέων Φθιώτιδας.

Ευχαριστώ πολύ για την  
προσοχή σας!

