

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΞΥΛΙΑΣ ΑΠΟ  
ΦΥΤΕΙΕΣ ΤΑΧΥΑΥΞΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ - ΜΙΑ  
ÇΤΑΘΕΡΗ ΚΑΙ ΑςΦΑΛΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥςΗ**

**Δρ Κων/νος Σπανός**

ΕΛΓΟ - Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών, 57006 – Βασιλικά, Θεσσαλονίκη  
Tel.: +30 2310 461171 (2, 3), Fax: +30 2310 461341, e-mail: kspanos@fri.gr

**26<sup>η</sup> ΑΓΡΟΤΙΚΑ  
Ιανουάριος 2016  
ΘΕςΣΑΛΟΝΙΚΗ**

**ΕΙςΑΓΩΓΗ**

- ❖ Τα υπάρχοντα δάση στον κόσμο παρέχουν σημαντική πηγή βιομάζας για ενεργειακό υλικό υπό την προϋπόθεση ότι διαχειρίζονται αειφορικά (χωρίς να υποβαθμίζονται ή να καταστρέφονται).
- ❖ Ωστόσο, είναι πολύ προτιμότερο να χρησιμοποιούμε εξαιρετικά ταχυσυζή δασικά δέντρα σε ενεργειακές φυτείες, ικανά να αυξάνουν και μέχρι 4-5 ηη το χρόνο και να παράγουν ξηρή βιομάζα 20-30 tns/ha/έτος.
- ❖ Είναι συνήθως δέντρα με υψηλή προμνοβλαστική ικανότητα, ενώ η υλοτομία τους για ενεργειακή βιομάζα αρχίζει μόλις τρία (3) έτη μετά τη φύτευση.
- ❖ Εκτεταμένες φυτείες ταχυσυζών δασικών δέντρων παραγωγής βιομάζας μπορούν να παράγουν, σε μικρό χρονικό διάστημα, μεγάλες ποσότητες λιγνοκυτταρίνης για απ' ευθείας καύση (καυσόξυλα), παραγωγή πέλλετς και μητρικές ξύλου καθώς και ξυλοτεμαχίδια για βιομηχανική ενέργεια (καύση).

- ❖ Οι λεύκες (*Populus* spp.), οι πίες (*Salix* spp.), ο ευκάλυπτος (*Eucalyptus* spp.), η Παυλώνια (*Paulownia* spp.), ο φράξος (*Fraxinus angustifolia*), ο πλάτανος (*Platanus* spp.), η μουριά (*Morus* spp.), η ακακία (*Robinia pseudoacacia*) και η φτελιά (*Ulmus* spp.) είναι παραδείγματα ταχυσυζών δασικών δέντρων για παραγωγή βιομάζας (Ελλάδα/Ευρώπη).
- ❖ Έχουν υψηλή προμνοβλαστική ικανότητα, χρησιμοποιούνται σε εξαιρετικά μικρούς περιόδους χρόνου (3-6 έτη), και είναι τέλεια για ενεργειακές φυτείες.
- ❖ Τα ταχυσυζή δασικά δέντρα μπορούν επίσης να χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εδαφών και πολλά εξ αυτών (π.χ. *Eucalyptus* spp., *Paulownia* spp., *Carya* spp.) είναι άκρως ικανά για την αποκατάσταση εκτάσεων με υψηλό επίπεδο ρύπανσης.
- ❖ Οι φυτείες ταχυσυζών δασικών δέντρων θεωρούνται ανανεώσιμες και αειφορικές πηγές βιομάζας για παραγωγή ενέργειας μέσω της καύσης, ενώ ταυτόχρονα συνεισφέρουν στη μικρότερη πίεση στα φυσικά δάση για εξεύρεση πηγών για ξυλώδη βιομάζα.
- ❖ Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια γενική ανασκόπηση και τεχνική ανάλυση των φυτειών ταχυσυζών δασικών δέντρων και οι δυνατότητες μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια και χημικά, βασιζόμενη σε ερευνητική εμπειρία, πειραματικά δεδομένα και εθνικές και διεθνείς βιβλιογραφικές αναφορές.



Πίνακας 1. Πλατύφυλλα ταχυσυζή και μέτρια ταχυσυζή δασοπονικά είδη κατάλληλα για φυτείες μικρού (<30 έτη) και μέσου (30-60 έτη) περιόδου, κατάλληλα για βιομάζα & τεχνική ξυλεία (ανάλογα με το σκοπό).	
<i>Populus</i> spp. (Λεύκη) **	<i>Paulownia</i> spp. ( <i>P. tomentosa</i> , <i>P. elongata</i> , <i>P. fortunei</i> ) (Παυλώνια) **
<i>Eucalyptus</i> spp. (ευκάλυπτος)**	<i>Salix</i> spp. (πία) **
<i>Acacia</i> spp. (ακακία)*	<i>x Platanus acerifolia</i> (πλάτανος/υβρίδιο) **
<i>Acer</i> spp. (σφένδαμος) ( <i>Acer negundo</i> ) (?)*	<i>Platanus occidentalis</i> (πλάτανος ο δυτικός) **
<i>Alnus</i> spp. (σκήθρο)*	<i>Platanus orientalis</i> (πλάτανος ο ανατολικός)**
<i>Fraxinus angustifolia</i> (φράξος ο στενόφυ.)**	<i>Robinia pseudoacacia</i> (ψευδακακία) (?) **
<i>Sorbus</i> spp. (Σουρβιά)*	<i>Quercus ilex</i> (αριά)**
<i>Morus</i> spp. (μουριά) **	<i>Fraxinus ornus</i> (φράξος ο όρνος)**
<i>Corylus</i> spp. (φουντουκιά)**	<i>Sophora japonica</i> (σοφόρα)**
<i>Carpinus betulus</i> (γαύρος)**	<i>Celtis australis</i> (κελίς)**
<i>Liquidambar orientalis</i> (υγράμπαρη)*	<i>Ulmus</i> spp. (φτελιά)**
<i>Castanea sativa</i> (καστανιά)**	<i>Tamarix</i> spp.**
<i>Casuarina</i> spp. (καζουαρίνα)*	<i>Betula pendula</i> (σημύδα)*
<i>Tilia</i> spp. (ψαμουριά)*	<i>Liriodendron tulipifera</i> (Λιριόδεντρο)*
<i>Juglans regia</i> (καρυδιά)*	<i>Juglans nigra</i> (μαύρη καρυδιά)*
	<i>Carya</i> spp. (Pecan)



#### ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ – ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΥΤΕΙΩΝ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ

•Οι θέσεις πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε μια υψηλή απόδοση παραγωγής τουλάχιστον 20-30 tn (τόνοι)/ha/έτος (ξηρή βιομάζα) να επιτυγχάνεται. Ωστόσο, θα πρέπει να έχουμε υπόψη ότι τα διαφορετικά είδη διαφέρουν το ένα από το άλλο στις απαιτήσεις.

•Οι φυτείες παραγωγής βιομάζας θα πρέπει να εγκαθίστανται σε σχετικά επίπεδα εδάφη για να είναι δυνατή η χρήση μηχανημάτων για τις εργασίες της καλλιέργειας, των αραιώσεων/κλαδεύσεων και της τελικής υλοτομίας/θερισμού.

•Η έκταση μιας φυτείας θα πρέπει να καθορίζεται από το σκοπό της ίδρυσής της.

•Ένας ιδιοκτήτης για δική του χρήση (π.χ. οικιακή ενέργεια) μπορεί να αρκείται σε μια έκταση 1-2 ha (10-20 στρεμ.), αλλά η παραγωγή βιομάζας εμπορικής κλίμακας σπάνια θα αποδώσει κέρδος όταν η φυτεία είναι μικρότερη των 10 ha (100 στρεμ.).

•Θα πρέπει να επιλέγονται θέσεις που απαιτούν λίγη ή καθόλου στράγγιση και μειωμένη άρδευση, για το λόγο ότι οι εργασίες αυτές συνήθως έχουν υψηλό κόστος.

#### ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ

•Από σχετικές οικονομικο-τεχνικές μελέτες του Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών, με τις σημερινές οικονομικές συνθήκες, το κόστος αγοράς γης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 300 - 500 €/στρέμμα και στην περίπτωση της ενοικίασης (τουλάχιστον 10-ετής) τα 30-50 €/στρέμμα/έτος για να είναι οικονομικά αποδοκμή η επένδυση.

•Ξεξ ίσου σημαντικό, η μέση χονδρική τιμή πώλησης της ξυλώδους βιομάζας δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη των 50-60 €/tn (ξηρό βάρος), των καυσόξυλων όχι κάτω από 120-150 €/tn (ξηρό βάρος) και της τεχνικής ξυλείας (πολύτιμη στρογγύλη ξυλεία) τα 200-300 €/m<sup>3</sup> για να είναι κερδοφόρα η επένδυση.

Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζονται οι οικονομικές αποδόσεις φυτειών 1, 10 & 100 στρεμμάτων ξεχωριστά για ξυλώδη βιομάζα, καυσόξυλα και τεχνική ξυλεία.

ΕΚΤΑΣΗ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	Τιμή	ΕΤΗΣΙΑ Ακαθ. ΕΣΟΔΑ (€)/έτος	ΕΞΟΔΑ (30% επί των Α.Ε.)
<b>1 στρέμμα</b> Α) ΒΙΟΜΑΖΑ (ταχ. πλατ.) Β) ΚΑΥΣΟΣΥΛΑ (Φράζος) (3-5 έτη φυτεία) Γ) ΤΕΧΝΙΚΗ ΞΥΛΕΙΑ (Παυλώνια) (10 έτη φυτεία)	2-3 tn/έτος 2 tn/έτος 1 κ.μ./ δένδρο (60 δέντρα)	50-60€/tn (ξ.β.) 150€/tn (ξ.β.) 200/έκ.μ. (στρογγ. ξυλεία)	150 300 1.200 (=60 χ 20/10 έτη)	εκτ. στο 30% των Α.Ε.
<b>10 στρέμματα</b> Α) ΒΙΟΜΑΖΑ Β) ΚΑΥΣΟΣΥΛΑ Γ) ΤΕΧΝΙΚΗ ΞΥΛΕΙΑ (Παυλώνια)	30 tn/έτος 20 tn/έτος (600 δέντρα)	50-60€/tn (ξ.β.) 150€/tn (ξ.β.) 200/έκ.μ. (στρογγ. ξυλεία)	1.500 3.000 12.000	εκτ. στο 30% των Α.Ε.
<b>100 στρέμματα</b> Α) ΒΙΟΜΑΖΑ Β) ΚΑΥΣΟΣΥΛΑ Γ) ΤΕΧΝΙΚΗ ΞΥΛΕΙΑ (Παυλώνια)	200/tn/έτος 200/tn/έτος 1 κ.μ. (10ετία) (6.000 δέντρα)	50-60€/tn (ξ.β.) 150€/tn (ξ.β.) 200/έκ.μ. (στρογγ. ξυλεία)	15.000 30.000 <b>120.000</b>	εκτ. στο 30% των Α.Ε.



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΩΝ**

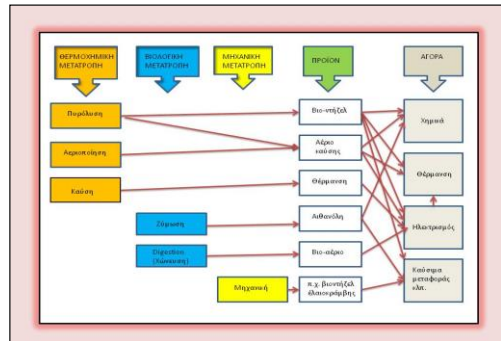
- α) η **θερμοχημική** - περιλαμβάνει θερμοχημικές διαδικασίες, πυρόλυση και αεριοποίηση, ρευστοποίηση (υγροποίηση), υδρόλυση και χημική επεξεργασία
- β) η **βιολογική** - αναφέρεται στην ενζυμική μετατροπή με διαδικασίες όπως η ζύμωση (fermentation) και η χώνευση (digestion). Η ενζυμική μετατροπή γίνεται με την παρουσία εξειδικευμένων μικροοργανισμών (βακτήρια *E. coli*, και μύκητες π.χ. *Trichoderma spp.*)
- γ) η **μηχανική** - αναφέρεται στην μετατροπή με μηχανικές μεθόδους (όπως τεμαχισμός, σύνθλιψη, υψηλή πίεση).

Η πυρόλυση (pyrolysis) και η αεριοποίηση (gasification) αποτελούν μέρος της διαδικασίας της θερμικής καύσης. Η **πυρόλυση** (καταστρεπτική απόσπαση) γίνεται σε θερμοκρασία κάτω των 600° C, απουσία οξυγόνου, παράγει **κάρβουνο** και ένα **πιπτικό μείγμα**. Το κάρβουνο που παράγεται με τη μέθοδο αυτή αποτελεί μια σημαντική πηγή καυσίμου. Το πιπτικό μείγμα μπορεί να χωριστεί στα συμπτυκνωμένα ρευστά (πυρολιπικό οξύ, πίσσα ξύλου, ακετόνη, οξικό οξύ, μεθυλική αλκοόλη) και στα μη συμπτυκνωμένα αέρια (CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>).

Η **αεριοποίηση** της βιομάζας επιτυγχάνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες (>600° C) απ' όπ η πυρόλυση και παρουσιάζει οξυγόνο. Το μείγμα που παράγεται κατά τη διάρκεια της αεριοποίησης είναι κύρια μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και υδρογόνο (H<sub>2</sub>), αλλά και άλλα αέρια, όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), άζωτο (N) και επίσης υδρατμίς. Το παραγόμενο αέριο μείγμα (gasogen, ή χαμηλό Btu-αέριο) μπορεί να χρησιμοποιηθεί απ' ευθείας σαν καύσιμο σε σιχάματα ή να αναβαθμισθεί σε ένα αέριο μείγμα (που περιέχει μόνο CO και H<sub>2</sub>) και κατόπιν να μετατραπεί σε αμμωνία, μεθυλική αλκοόλη ή μεθάνιο.

Η **ρευστοποίηση** (liquefaction) είναι η θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας σε ρευστό καύσιμο. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, η μεθανόλη μπορεί να παραχθεί από το συνθετικό αέριο. Η μεθανόλη μπορεί στη συνέχεια να μετατραπεί σε υγρό καύσιμο. Η προσέγγιση αυτή ονομάζεται «έμμεση» ρευστοποίηση. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις η ρευστοποίηση αναφέρεται στη παραγωγή υγρού καυσίμου (γνωστό ως «πρωτο-προϊόν») απ' ευθείας από τη φυτική βιομάζα.

**Εικόνα. 1. Βασικές μέθοδοι και διαδικασίες μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια και χημικά.**



### Θρυμματιστές υλικών για κατασκευή ΠΕΛΛΕΤ και ΜΠΡΙΚΕΤΑΣ

➤Για να κατασκευάσουμε πέλλετς (Pellets) ή μπρικέτες (Briquetings) θα πρέπει τα υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε να είναι θρυμματισμένα: για την κατασκευή των πέλλετς να είναι λεπτόκοκκα και να έχουν την μορφή του πριονιδιού ή λεπτού ροκανιδιού, για την κατασκευή των μπρικετών μπορεί να είναι είτε λεπτά πριονίδια ή ροκανίδια, είτε να έχουν την μορφή μικρών τσιπς έως 20 -30mm.

➤Για να επιτύχουμε τις ανωτέρω διαστάσεις θα πρέπει, ανάλογα με το υλικό που πρόκειται να δουλέψουμε να χρησιμοποιήσουμε και τα κατάλληλα μηχανήματα θρυμματισμού.

➤Τα μηχανήματα μπορούν να ρυθμιστούν ώστε οι διαστάσεις των θρυμματισμένων τσιπς να είναι από 5-6 έως 20-30 mm: με αυτή την επιλογή μας δίνεται η δυνατότητα να κατασκευάσουμε μπρικέτες, αφού βέβαια αφαιρεθεί η υγρασία τους η οποία θα πρέπει να είναι <12%.

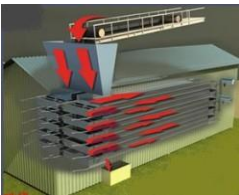
➤Στην περίπτωση που θέλουμε να κατασκευάσουμε πέλλετς θα πρέπει το υλικό αφού έχουμε αφαιρέσει την υγρασία του να το περάσουμε και από τον σφυρόμυλο για να μπορέσουμε να το κάνουμε λεπτόκοκκο 2-3 mm.



**ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΤΗΣ ΚΟΡΜΩΝ** : Μηχάνημα για τον θρυμματισμό ολόκληρων κορμών αλλά και εξακρίδιων: αυτό το πλέον εξειδικευμένο μηχανήμα θρυμματισμού έχει την ικανότητα να παράγει λεπτά τσιπς με την μορφή των ροκανιδιών, τα παραγόμενα ροκανίδια λόγω του ότι είναι λεπτά σε πάχος, απ' ενός μπορούμε πολύ πιο εύκολα και με πολύ χαμηλότερο κόστος να αφαιρέσουμε την υγρασία τους, απ' εταίρου είναι έτοιμα για την κατασκευή και **μπρικετών** και **πέλλετς** δίχως να χρειάζονται καί άλλη επεξεργασία θρυμματισμού.



### Ξηραντήρια για κατασκευή ΠΕΛΛΕΤ και ΜΠΡΙΚΕΤΑΣ



Ξηραντήρια κυλιόμενου επιπέδου & περιστρεφόμενου τυμπάνου για πριονίδια, ροκανίδια και τσιπς ξύλου - Παραγωγή 100 - 2.000 κιλά / ώρα.

### ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ PELLEΤ (ΠΕΛΛΕΤ)

Τύποι εξοπλισμένοι με νέας γενιάς Matrix οριζόντιου δαχτυλιδιού, αυτή η νέα τεχνολογία όχι μόνο επιτρέπει τα μηχανήματα να λειτουργούν αυτόματα δίχως την παρουσία προσωπικού (ένας εργαζόμενος μπορεί να ελέγξει και 10-15 μηχανές), αλλά και τα παραγόμενα πέλλετ να είναι σφικτά άριστης ποιότητας. **ΔΙΧΩΣ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ** άλλων ουσιών όπως, άμυλο - αλεύρι - πίτουρα - φυσικές ή χημικές κόλες, που είναι απαραίτητη στα περισσότερα παλαιάς τεχνολογίας μηχανήματα..



**ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΕΛΛΕΤΣ**

Οι διαφορές των διαφόρων τύπων πέλλετς έχουν να κάνουν με: **α)** την θερμική απόδοση, **β)** την καθαρότητα της καύσης, και **γ)** το κόστος αγοράς - πιο αναλυτικά οι διαφορές εντοπίζονται στα παρακάτω σημεία:

»Στο λευκό πέλλετ (κυρίως πλατύφυλλων) η θερμική απόδοση είναι 4,9kwh/kg, αντίστοιχα στο καφέ πέλλετ η θερμική απόδοση είναι περίπου 4,2kwh/kg. Στα καφέ πέλλετς πολλοί κατασκευαστές βάζουν και αγροτικά απορρίμματα οπότε η θερμική τους ικανότητα είναι πιο χαμηλή.

»Σε μία σόμπα ή έναν λέβητα πέλλετ που καταναλώνει καφέ πέλλετ, στους αιολούς απαγωγής των καυσαερίων δημιουργείται 12-20% περισσότερο πουρί. Αυτό το μειονέκτημα είναι ορατό ιδιαίτερα στις σόμπες πέλλετ γιατί μέσα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα μαυρίζει το μπροστινό τζάμι. Στους λέβητες το πρόβλημα θα το δείτε στην λειτουργία και στον καθαρισμό του.

»Με το λευκό πέλλετ ο λέβητας θα δουλεύει δίχως διακοπή και η στάχτη θα είναι καθαρή, αντίθετως με το καφέ πέλλετ, ο λέβητας πολύ συχνά θα εμφανίζει βλάβες και όταν καθαρίζεται εκτός από την στάχτη θα βρίσκονται κομμάτια σαν σκληρή κρούστα καραμέλας. Αυτή η κρούστα είναι τυρίτσιο και δημιουργείται από τα σκουπίδια που έχουν τα κακής ποιότητας πέλλετ.

**ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΕΛΛΕΤΣ (π.χ. ΟΞΙΑΣ)**

Πιστοποίηση : **EN14961-2plusA1.**

Θερμική απόδοση : **4,9kwh/kg**

Ποσοστό υγρασίας : **<8%**

Ποσοστό στάχτης : **<0,5**

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή
Διάμετρος	mm	6.0
Μήκος	mm	20.0+/- 5.0
Υγρασία	%	6.0-8.0
Στάχτη	%	0.6
Σκόνη	%	1.8
Πρόσθετα Συγκολλησης	%	Καθόλου
Πυκνότητα	kg/m <sup>3</sup>	<=650-720
Θερμιδική Απόδοση	MJ/kg	18.8
Φορμαδευδή	CH2O	Καθόλου
Ραδιενέργεια	SV	Καθόλου
Βαρέα μέταλλα	Mg/Kgr	Κάτω από το Όριο

**ΜΠΡΙΚΕΤΕΣ ΞΥΛΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ**

Οι μπρικέτες υψηλής συμπίεσης (π.χ. RUF) κατασκευάζονται από τοιπς ή και πριονίδια ξύλου με υγρασία <13%.

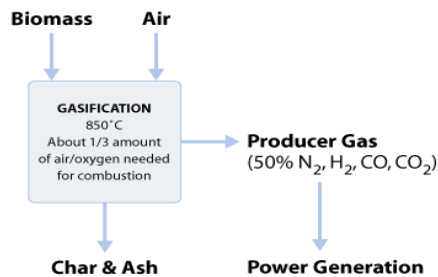
Η διαφορά της θερμικής τους απόδοσης σε σχέση με τα καυσόξυλα είναι περίπου 1:2,5 ή 1:3, δηλαδή ένας τόνος μπρικέτας RUF αντιστοιχεί σε 2,5 έως και 3 τόνους καυσόξυλα.

Οι λόγοι που καθιστούν τις μπρικέτες ως άριστο στερεό καύσιμο είναι η χαμηλή τους (8-10%) περιεκτικότητα σε υγρασία, η καθαριότητα, ο εύκολος τρόπος μεταφοράς και αποθήκευσης και η σιγουριά για το ότι πληρώνεται το βάρος που αγοράζεται.

Τιμή τόνου (με ΦΠΑ) = **250 - 300 €.**



### Small Modular Applications Biomass Gasification via Partial Oxidation (Auto Thermal)



Prototype modular engine with biomass gasifier.



**EΥΧΑΡΙΣΤΩ ΤΟΥΣ ΔΙΟΡΓΑΝΩΤΕΣ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ**