



Οικονομική και Περιβαλλοντική σύγκριση συστημάτων θέρμανσης



Σ. Καρέλλας, Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ
Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ηρώων Πολυτεχνείου 9,
15780, Ζωγράφου
Email: sotokar@mail.ntua.gr
URL: www.lsbtp.mech.ntua.gr



Περιεχόμενο παρουσίασης

Βαθμός απόδοσης θερμικών και ηλεκτρικών συστημάτων

Περιγραφή συστημάτων θέρμανσης

- Λέβητες ορυκτών καυσίμων
- Καύση Βιομάζας
- Θέρμανση με Ηλεκτρική Ενέργεια

Οικονομική και περιβαλλοντική σύγκριση συστημάτων

Συμπεράσματα





$$\text{Βαθμός Απόδοσης} = \frac{\text{Ωφέλιμη Ενέργεια}}{\text{Ενέργεια που καταναλώθηκε}}$$



Μηχανή Stirling



ΑΗΣ

Τυπικοί Βαθμοί απόδοσης

Ηλεκτροπαραγωγή 20 - 60%

Παραγωγή Θερμότητας 80 - 105%

Συμπαράγωγή 60 - 90%

Παραγωγή Ψύξης 80 - 120%

Αντλίες θερμότητας: 200 - 400%



Λέβητας



Ψυκτική Μηχανή



Περιεχόμενο παρουσίασης

Βαθμός απόδοσης θερμικών και ηλεκτρικών συστημάτων

Περιγραφή συστημάτων θέρμανσης

- Λέβητες ορυκτών καυσίμων
- Καύση Βιομάζας
- Θέρμανση με Ηλεκτρική Ενέργεια

Οικονομική και περιβαλλοντική σύγκριση συστημάτων

Συμπεράσματα





Λέβητες ορυκτών καυσίμων

Πετρέλαιο



Χρήση λεβήτων ζεστού νερού
80-105% Βαθμός απόδοσης



Φυσικό αέριο



Συντελεστής εκπομπής, σε mg/MJ_{FE}

| Είδος καυσίμου | CO ₂ | CO | C _x H _y | NO _x | SO ₂ | Αιωρούμενα Σωματίδια |
|------------------|-----------------|----|-------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| Ελαφρύ πετρέλαιο | 75000 | 18 | 6 | 39 | 45 | 2 |
| Φυσικό Αέριο | 55000 | 19 | 6 | 15 | 0 | 0 |



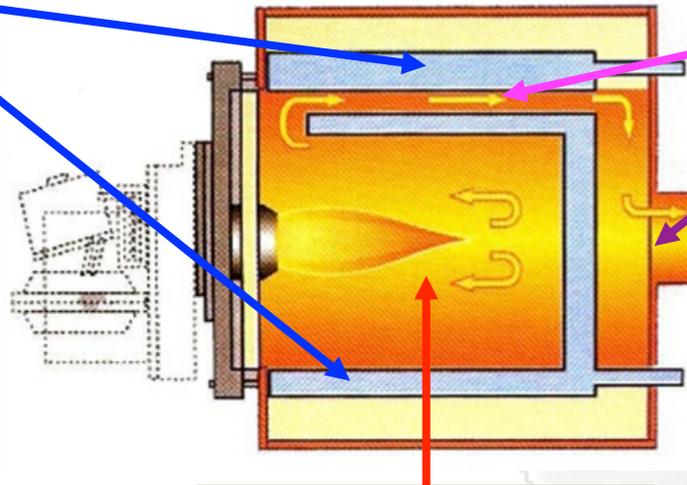
Περιγραφή λέβητα

- Βασικά μέρη του λέβητα

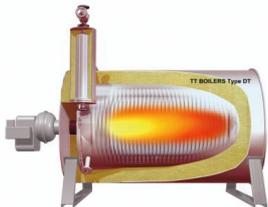
Ένας λέβητας παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη:

Τον **υδροθάλαμο**:
Ο χώρος που βρίσκεται το νερό,
που πρόκειται να θερμανθεί.

Τους **αεριοαυλούς** και τον **καπνοθάλαμο**:
Οι χώροι από τους οποίους περνούν
τα καυσαέρια πριν εξέλθουν
από το λέβητα.



Την **εστία καύσης**:
Ο χώρος στον οποίο
πραγματοποιείται η
καύση του καυσίμου.





Περιεχόμενο παρουσίασης

Βαθμός απόδοσης θερμικών και ηλεκτρικών συστημάτων

Περιγραφή συστημάτων θέρμανσης

- Λέβητες ορυκτών καυσίμων
- Καύση Βιομάζας
- Θέρμανση με Ηλεκτρική Ενέργεια

Οικονομική και περιβαλλοντική σύγκριση συστημάτων

Συμπεράσματα





➤ Κύρια μέρη ενός σύγχρονου λέβητα πελλέτων ξύλου



- 1 Δοχείο αποθήκευσης
- 2 Κλαπέτο Vakuum
- 3 Διαχωριστής
- 4 Αναρροφητήρας
- 5 Μοτέρ κοχλία δοσομέτρησης
- 6 Κοχλίας δοσομέτρησης
- 7 Αισθητήρας Λάμδα
- 8 Ανοξειδωτος καυστήρας
- 9 Αυτόματη έναυση
- 10 Αισθητήρας ποσότητας αέρα
- 11 Αυτοκαθαριζόμενος εναλλάκτης θερμότητας



Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων





Πελλέτες ξύλου



Πελλέτες αγριαγκινάρας



Ελαιοπυρηνόξυλο Βοιωτίας



Ελαιοπυρηνόξυλο Ισπανίας



Τσόφλια αμυγδάλων



Κουκούτσια Ροδάκινων





Χημικές αναλύσεις στερεών καυσίμων βιομάζας.

| Μέγεθος | Είδος βιοκαυσίμου | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------------|
| | Ελαιοπυρη- νόξυλο Βοιωτίας «Α» | Ελαιοπυρη- νόξυλο «Β» | Ελαιοπυρη- νόξυλο «Κύπρου» | Ελαιοπυρη- νόξυλο «Ισπανίας» | Πελλέτες Ξύλου | Πελλέτες Αγριαγκινάρας | Τσόφλια Αμυγδάλων | Κουκούτσια από ροδάκινο |
| • Στοιχειομετρική ανάλυση καυσίμου | | | | | | | | |
| Άνθρακας C σε % κ.β. | 43.51 | 43.76 | 45.98 | 44.99 | 46.11 | 39.82 | 48.24 | 48.27 |
| Υδρογόνο H σε % κ.β. | 5.28 | 5.24 | 5.49 | 5.65 | 5.7 | 5.09 | 6.04 | 5.53 |
| Θείο S σε % κ.β. | 0.08 | 0.09 | 0.11 | 0.0 | 0.45 | 0.24 | 0.23 | 0.0 |
| Άζωτο N σε % κ.β. | 2.3 | 1.87 | 2.44 | 2.30 | 1.57 | 1.66 | 1.52 | 0.44 |
| Οξυγόνο O σε % κ.β. | 30.3 | 34.39 | 33.58 | 32.40 | 37.2 | 36.50 | 36.22 | 38.17 |
| • Τέφρα σε % κ.β. | 10.38 | 8.15 | 5.62 | 9.05 | 1.78 | 8.34 | 1.86 | 0.09 |
| • Υγρασία σε % κ.β. | 8.15 | 6.50 | 6.77 | 5.60 | 7.2 | 8.36 | 5.90 | 7.50 |
| • Ανωτέρα θερμογόνος ικανότητα σε kcal/kg | 4491.044 | 4360.377 | - | - | 4417.94 | 3814.69 | 4927.16 | 5818.61 |
| • Κατωτέρα θερμογόνος ικανότητα σε kcal/kg | 4173.155 | 4038.132 | 4186.769 | 4174.827 | 4097.13 | 3499.10 | 4575.83 | 5534.56 |



Όρια εκπομπών που προτείνονται στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 303-5:06/2012.

| Τροφοδοσία | Καύσιμο | Ωφέλιμη Ονομαστική θερμική ισχύς | Όρια εκπομπών σε mg/m ³ at 10% O ₂ ^{a)} | | | | | | | | | |
|-------------|---------|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|
| | | | CO | | | OGC | | | Σωματίδια ^{b)} | | | |
| | | | κW | Κλάση | Κλάση | Κλάση | Κλάση | Κλάση | Κλάση | Κλάση | Κλάση | Κλάση |
| | | | | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 |
| Χειροκίνητη | Βιογενή | ≤ 50 | 5000 | 1200 | 700 | 150 | 50 | 30 | 150 | 75 | 60 | |
| | | > 50 έως 150 | 2500 | | | 100 | | | 150 | | | |
| | | > 150 έως 300 | 1200 | | | 100 | | | 150 | | | |
| | Ορυκτά | ≤ 50 | 5000 | | | 150 | | | 125 | | | |
| | | > 50 έως 150 | 2500 | | | 100 | | | 125 | | | |
| | | > 150 έως 300 | 1200 | | | 100 | | | 125 | | | |
| Αυτόματη | Βιογενή | ≤ 50 | 3000 | 1000 | 500 | 100 | 30 | 20 | 150 | 60 | 40 | |
| | | > 50 έως 150 | 2500 | | | 80 | | | 150 | | | |
| | | > 150 έως 300 | 1200 | | | 80 | | | 150 | | | |
| | Ορυκτά | ≤ 50 | 3000 | | | 100 | | | 125 | | | |
| | | > 50 έως 150 | 2500 | | | 80 | | | 125 | | | |
| | | > 150 έως 500 | 1200 | | | 80 | | | 125 | | | |

^{a)} Αναφορά σε ξηρό καυσαέριο, 0°C, 1013 mbar.

Σημείωση: Με υπογράμμιση δίνονται οι τιμές που πρέπει να ικανοποιούνται στην εξεταζόμενη περίπτωση (ΥΑ οικ. 189533/2011)

Επίσης: NO_x: 340 mg/m³ @ 10% O₂



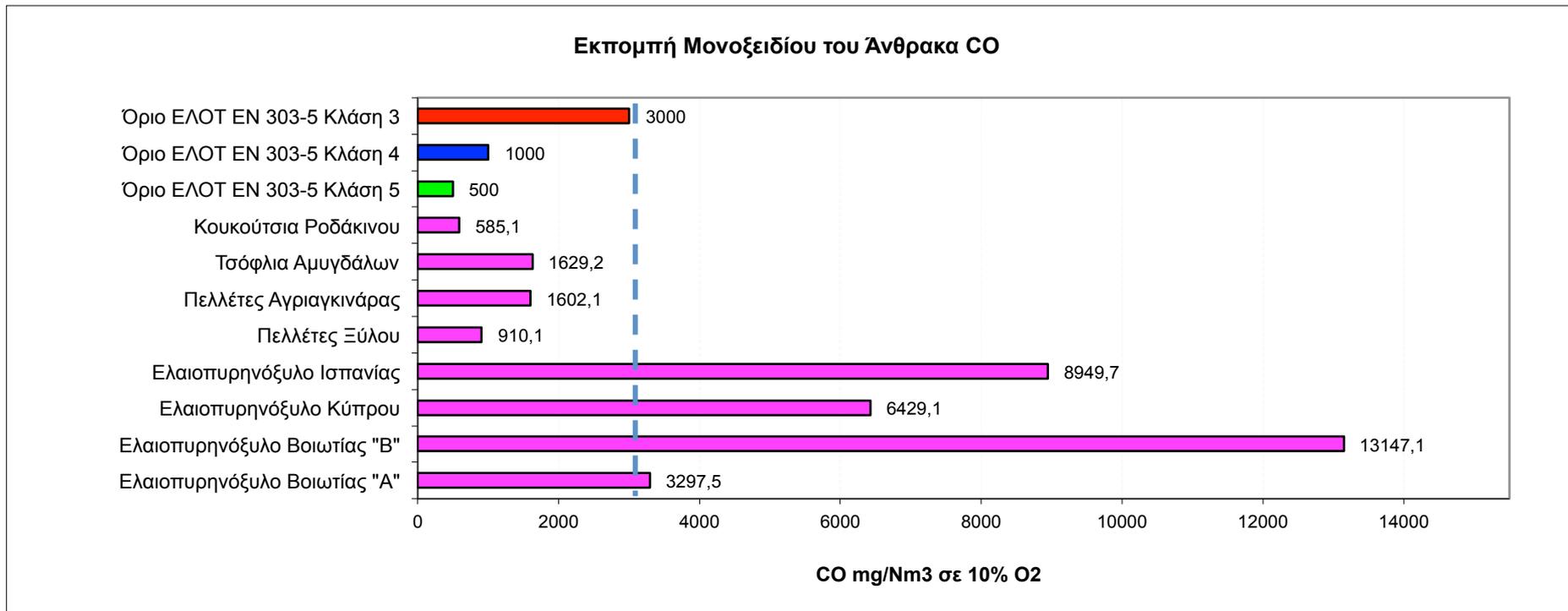
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ (Ενεργειακά Μεγέθη)

| Υπολογιζόμενη μεγέθη στο φορτίο δοκιμής | | Ελαιοπυρη- νόξυλο Βοιωτίας «Α» | Ελαιοπυρη- νόξυλο «Β» | Ελαιοπυρη- νόξυλο «Κύπρου» | Ελαιοπυρη- νόξυλο «Ισπανίας» | Πελλέτες Ξύλου | Πελλέτες Αγριαγκινάρας | Τσόφλια Αμυγδάλων | Κουκούτσια από ροδάκινο |
|---|----|---|--------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Προσδιδόμενη ισχύς | kW | 53.8 | 54.3 | 48.8 | 52.8 | 59.1 | 50.8 | 44.5 | 56.8 |
| Ωφέλιμη Αποδιδόμενη ισχύς (για μέση θερμοκρασία νερού 70°C) | kW | 35.8 | 31.7 | 31.6 | 35.7 | 43.0 | 32.3 | 29.9 | 32.5 |
| Άμεσος Βαθμός απόδοσης λέβητα | % | 66.5 | 58.3 | 64.8 | 67.6 | 72.7 | 63.5 | 67.3 | 57.3 |
| Κλάση (σύμφωνα με την απόδοση) | - | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Απώλειες λόγω θερμού καυσαερίου | % | 15.2 | 17.3 | 17.1 | 17.6 | 13.1 | 14.4 | 10.7 | 23.6 |
| Απώλειες λόγω ακτινοβολίας τοιχωμάτων | % | 2.9 | 3.3 | 3.3 | 3.8 | 3.5 | 3.5 | 3.7 | 3.0 |
| Απώλειες λόγω ατελούς καύσης | % | 1.5 | 7.4 | 3.1 | 4.3 | 0.4 | 0.8 | 0.8 | 0.2 |



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ (Αέριες Εκπομπές)

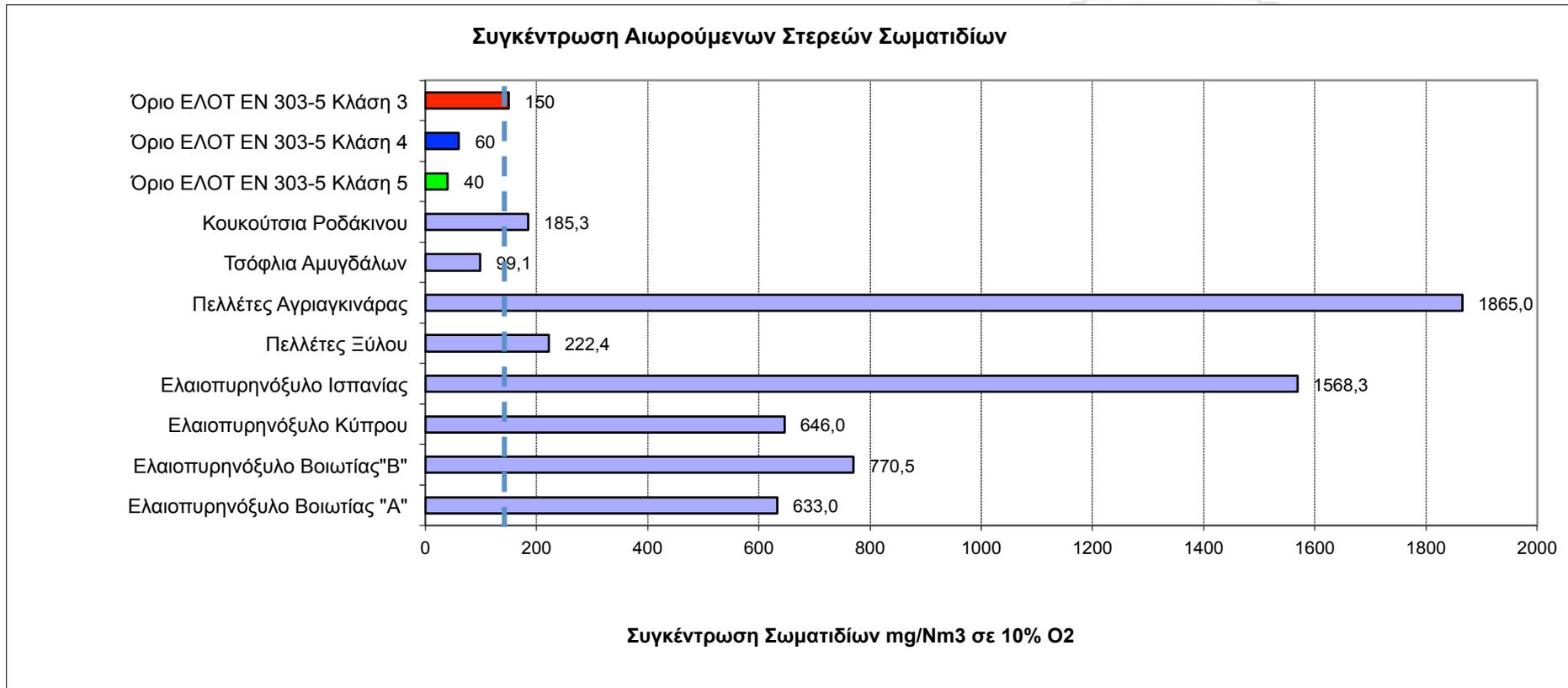
- Εκπομπές: Μονοξειδίου του άνθρακα CO για τις εξεταζόμενες περιπτώσεις και σύγκριση με τα προτεινόμενα όρια του Ευρωπαϊκού προτύπου ΕΛΟΤ EN 303.05/2012.





ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ (Αέριες Εκπομπές)

- Εκπομπές: Αιωρούμενων Στερεών Σωματιδίων για τις εξεταζόμενες περιπτώσεις και σύγκριση με τα προτεινόμενα όρια του Ευρωπαϊκού προτύπου ΕΛΟΤ EN 303.05/2012.



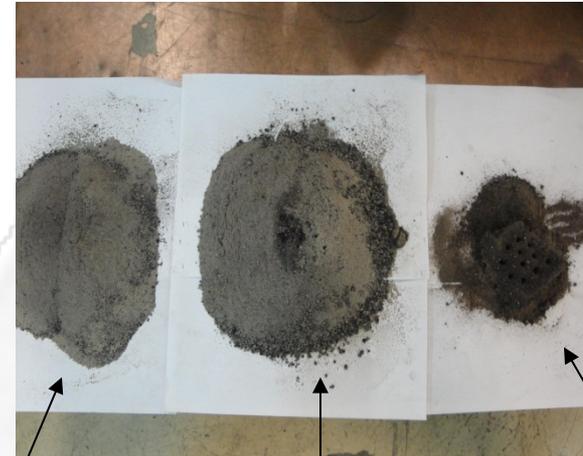


Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων / Επικαθίσεις εντός του λέβητα

Αποτελέσματα ισοκινητικής δειγματοληψίας προσδιορισμού των αιωρούμενων σωματιδίων του καυσαερίου από την καύση διαφόρων τύπων βιοκαυσίμου.



Διαφορετική όψη σωματιδιακής σκόνης ανάλογα με την σύσταση της τέφρας του καυσίμου σε ανόργανα υλικά



Τέφρα από τον πυθμένα

Τέφρα από τον θάλαμο καύσης

Συσσωματώματα εντός του καυστήρα

Επικαθίσεις τέφρας εντός του λέβητα & του καυστήρα ύστερα από 10h συνεχούς λειτουργίας



Καύσιμο: τσόφλια αμυγδάλου





Καύσιμο: Αγριαγκινάρα





- Σύγχρονος λέβητας ξύλου – τεχνολογίας ανάστροφης διεύθυνσης της φλόγας (wood gasification)

1. Πίνακας ελέγχου
2. Τεφρολεκάνη
3. Κλαπέτο ρύθμισης ελκυσμού
4. Εσχάρα
5. Ανεμιστήρας
6. Αισθητήρας λάμδα / έξοδος καυσαερίου
7. Θάλαμος τροφοδοσίας & έναυσης





Τυποποίηση πελλετών ξύλου: Πιστοποίηση ENplus

| | Μονάδες | ENplus A1 | ENplus A2 | ENplus B |
|-------------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Διάμετρος | mm | 6 (± 1) ¹ | 6 (± 1) ¹ | 6 (± 1) ¹ |
| Μήκος | mm | 3,15 ≤ L ≤ 40 ¹ | 3,15 ≤ L ≤ 40 ¹ | 3,15 ≤ L ≤ 40 ¹ |
| Χύδην πυκνότητα | Kg/m ³ | ≥ 600 | ≥ 600 | ≥ 600 |
| Κατώτερη Θερμογόνος Ικανότητα | MJ/kg | ≥ 16,5 | ≥ 16,5 | ≥ 16,0 |
| Υγρασία | % κ.β. | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10 |
| Λεπτόκοκκα | % κ.β. | ≤ 1 ² | ≤ 1 ² | ≤ 1 ² |
| Μηχανική αντοχή | % κ.β. | ≥ 97,5 | ≥ 97,5 | ≥ 97,5 |
| Τέφρα | % κ.β. ³ | ≤ 0,7 | ≤ 1,5 | ≤ 3,0 |
| Θερμοκρασία τήξης τέφρας | °C | ≥ 1200 | ≥ 1100 | ≥ 1100 |

¹ Η ποσότητα των πελλετών που μπορεί να έχουν μήκος μεγαλύτερο από 40 mm είναι 5%. Μέγιστο μήκος < 45 mm.

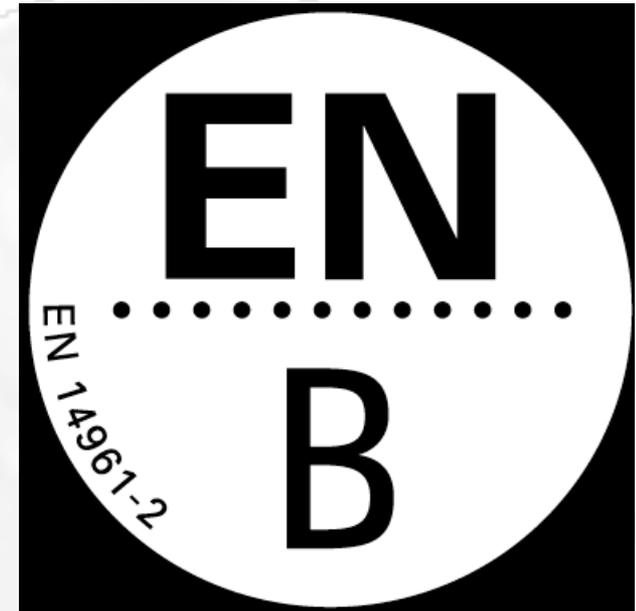
² Λεπτόκοκκα στην πύλη μονάδας σε χύδην μεταφορά, λεπτόκοκκα σε μικρά σακιά, κατά την παράδοση στον τελικό χρήστη; Λεπτόκοκκα σε μικρά σακιά στην πύλη μονάδας: 0,5 M-%;

³ Επί ξηρού

(Πηγή: <http://www.pelletprocess.de/>)



Σφραγίδες πιστοποίησης του ENplus





Τζάκια

Ανοιχτού θαλάμου



Κλειστού θαλάμου





Περιεχόμενο παρουσίασης

Βαθμός απόδοσης θερμικών και ηλεκτρικών συστημάτων

Περιγραφή συστημάτων θέρμανσης

- Λέβητες ορυκτών καυσίμων
- Καύση Βιομάζας
- **Θέρμανση με Ηλεκτρική Ενέργεια**

Οικονομική και περιβαλλοντική σύγκριση συστημάτων

Συμπεράσματα





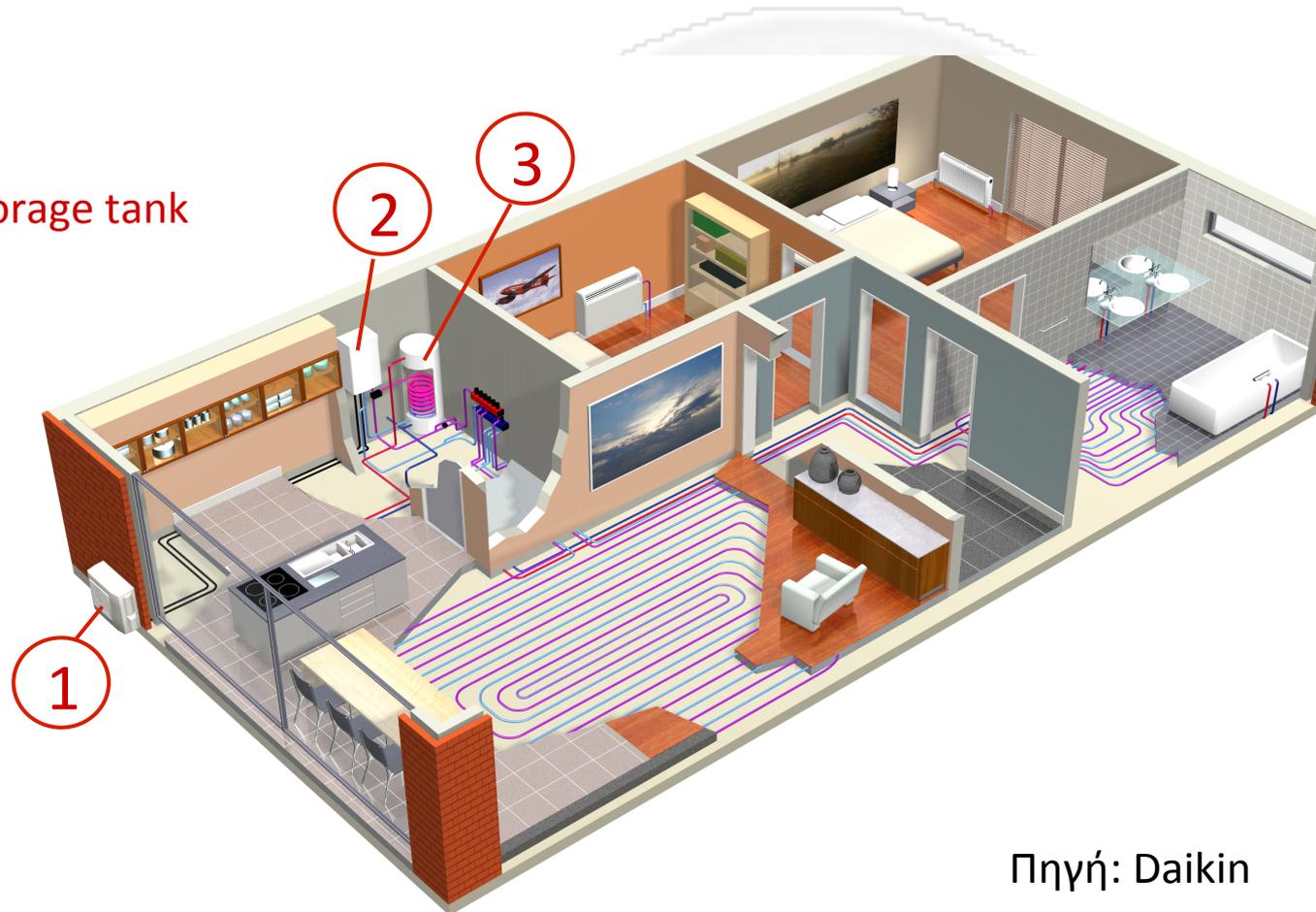
Αντλίες Θερμότητας





Εγκατάσταση αντλίας θερμότητας

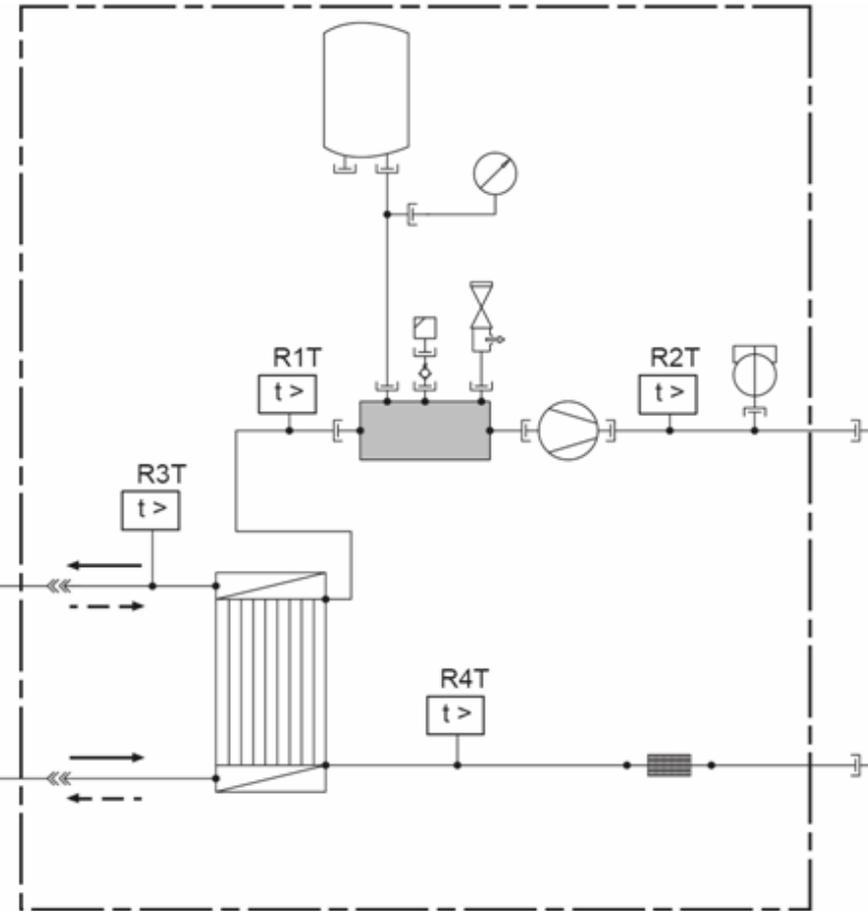
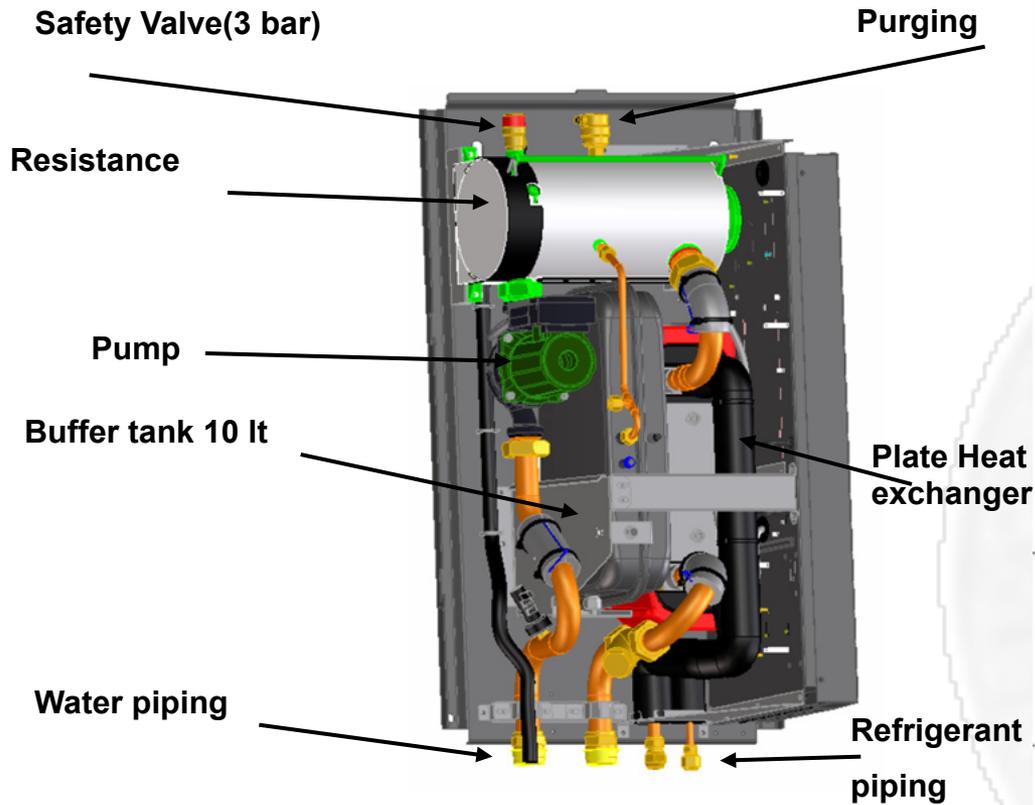
- 1 Out-door Unit
- 2 Indoor Unit
- 3 Domestic hot water storage tank



Πηγή: Daikin



Heat pumps



Source: Daikin



Περιεχόμενο παρουσίασης

Βαθμός απόδοσης θερμικών και ηλεκτρικών συστημάτων

Περιγραφή συστημάτων θέρμανσης

- Λέβητες ορυκτών καυσίμων
- Καύση Βιομάζας
- Θέρμανση με Ηλεκτρική Ενέργεια

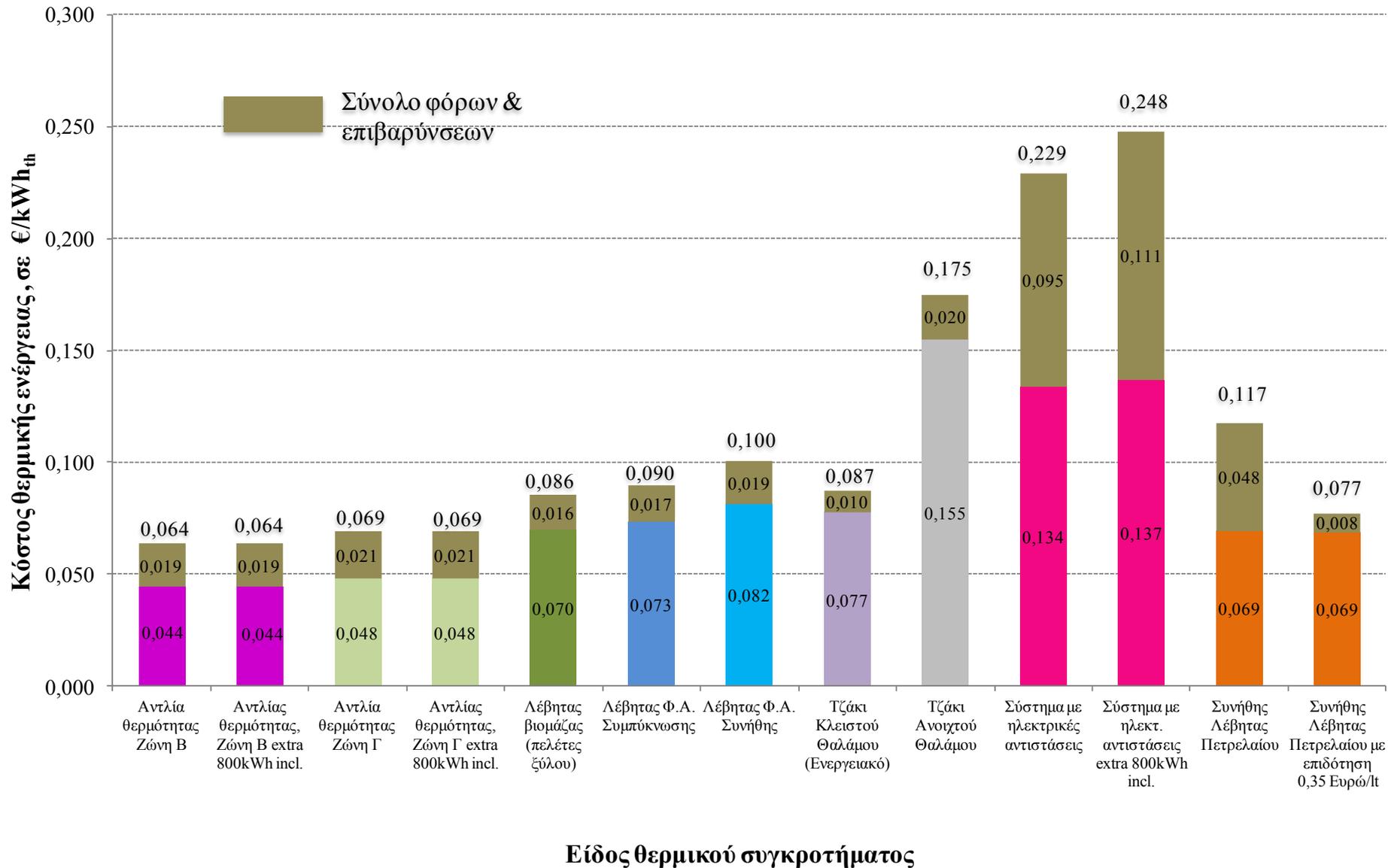
Οικονομική και περιβαλλοντική σύγκριση συστημάτων

Συμπεράσματα



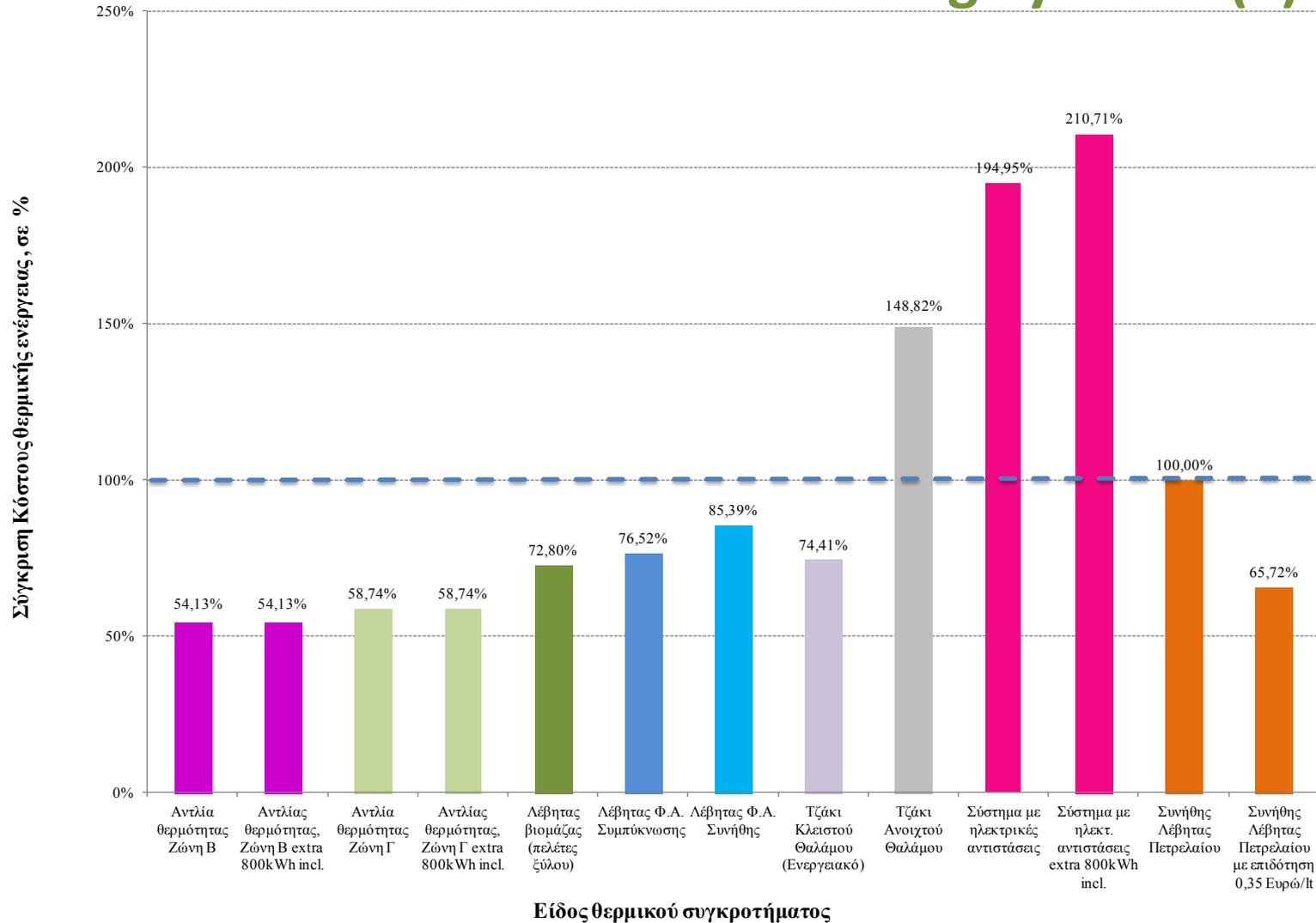


Economic Evaluation of Heating Systems (1)





Economic Evaluation of Heating Systems (2)





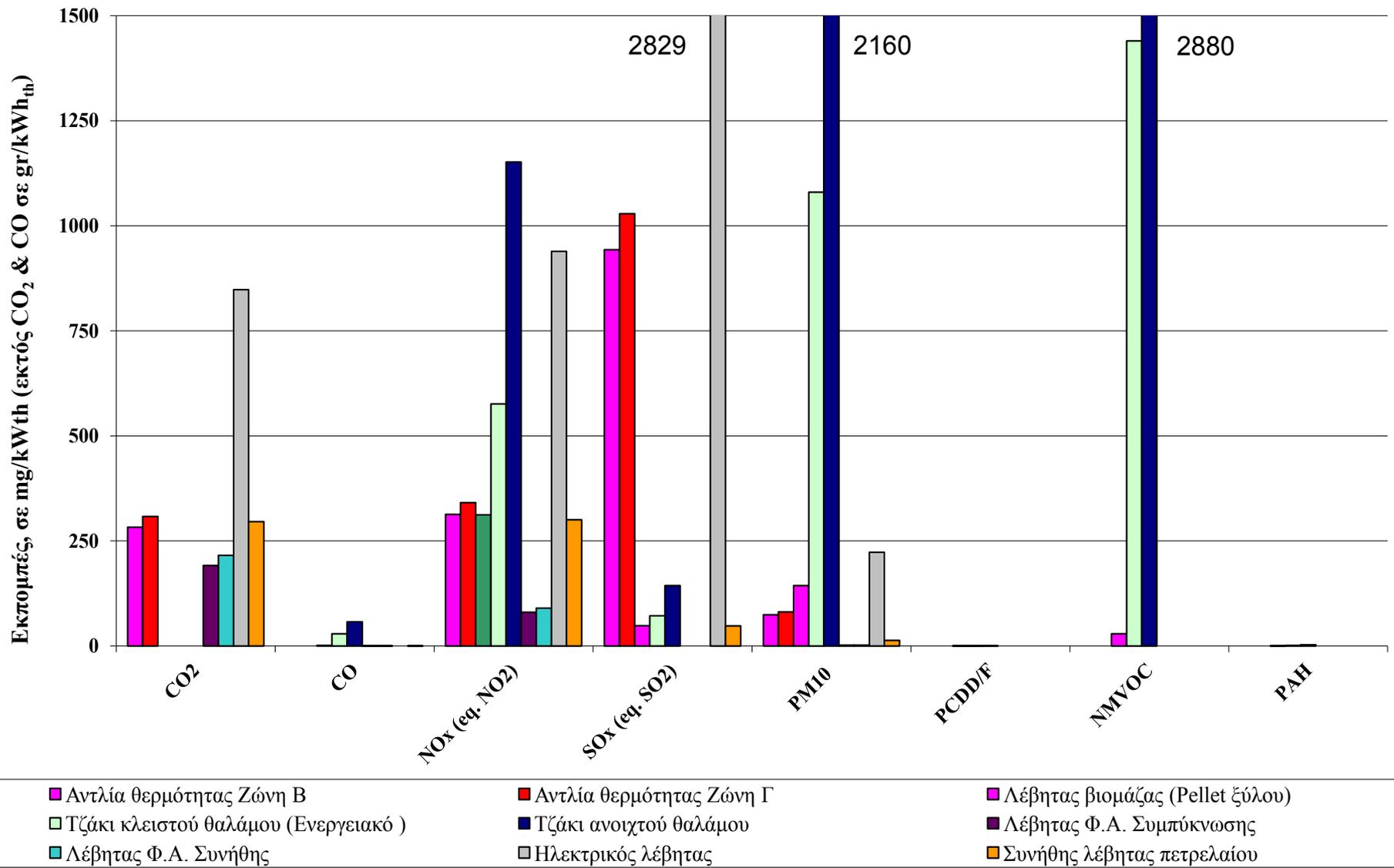
Περιβαλλοντική επίδοση συστημάτων θέρμανσης

| | CO ₂ (gr/kWh _{th}) | CO (gr/kWh _{th}) | NOx ως ισοδύναμο NO ₂ (mg/kWh _{th}) | SOx ως ισοδύναμο SO ₂ (mg/kWh _{th}) | PM10 (mg/kWh _{th}) | PCDD/F (ng/kWh _{th}) | NM VOC (mg/kWh _{th}) | PAH (mg/ kWh _{th}) |
|-------------------------------------|--|-------------------------------|---|---|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Συνήθης λέβητας πετρελαίου | 296 | 0,17 | 300 | 48 | 13,1 | n/a | n/a | n/a |
| Λέβητας Φ.Α. Συνήθης | 216 | 0,13 | 90 | n/a | 2,1 | n/a | n/a | n/a |
| Λέβητας Φ.Α. Συμπύκνωσης | 191 | 0,11 | 80 | n/a | 1,8 | n/a | n/a | n/a |
| Αντλία θερμότητας Ζώνη Β | 283 | n/a | 313 | 943 | 80,0 | n/a | n/a | n/a |
| Αντλία θερμότητας Ζώνη Γ | 308 | n/a | 341 | 1029 | 87,0 | n/a | n/a | n/a |
| Ηλεκτρικός λέβητας | 848 | n/a | 939 | 2829 | 240,0 | n/a | n/a | n/a |
| Τζάκι ανοιχτού θαλάμου | - | 58 | 1152 | 144 | 2160 | 1,0 | 2880,0 | 2,9 |
| Τζάκι κλειστού θαλάμου (Ενεργειακό) | - | 29 | 576 | 72 | 1080 | 0,5 | 1440,0 | 1,4 |
| Λέβητας βιομάζας (Pellet ξύλου) | - | 1,4 | 312 | 48 | 144 | 0,3 | 28,8 | 0,0 |

Based on DEFRA publication 2010& Swedish Environmental Emissions Data (SMED) "Emission factors and emissions from residential biomass combustion in Sweden", on behalf of the Swedish Environmental Protection Agency, May 2006.

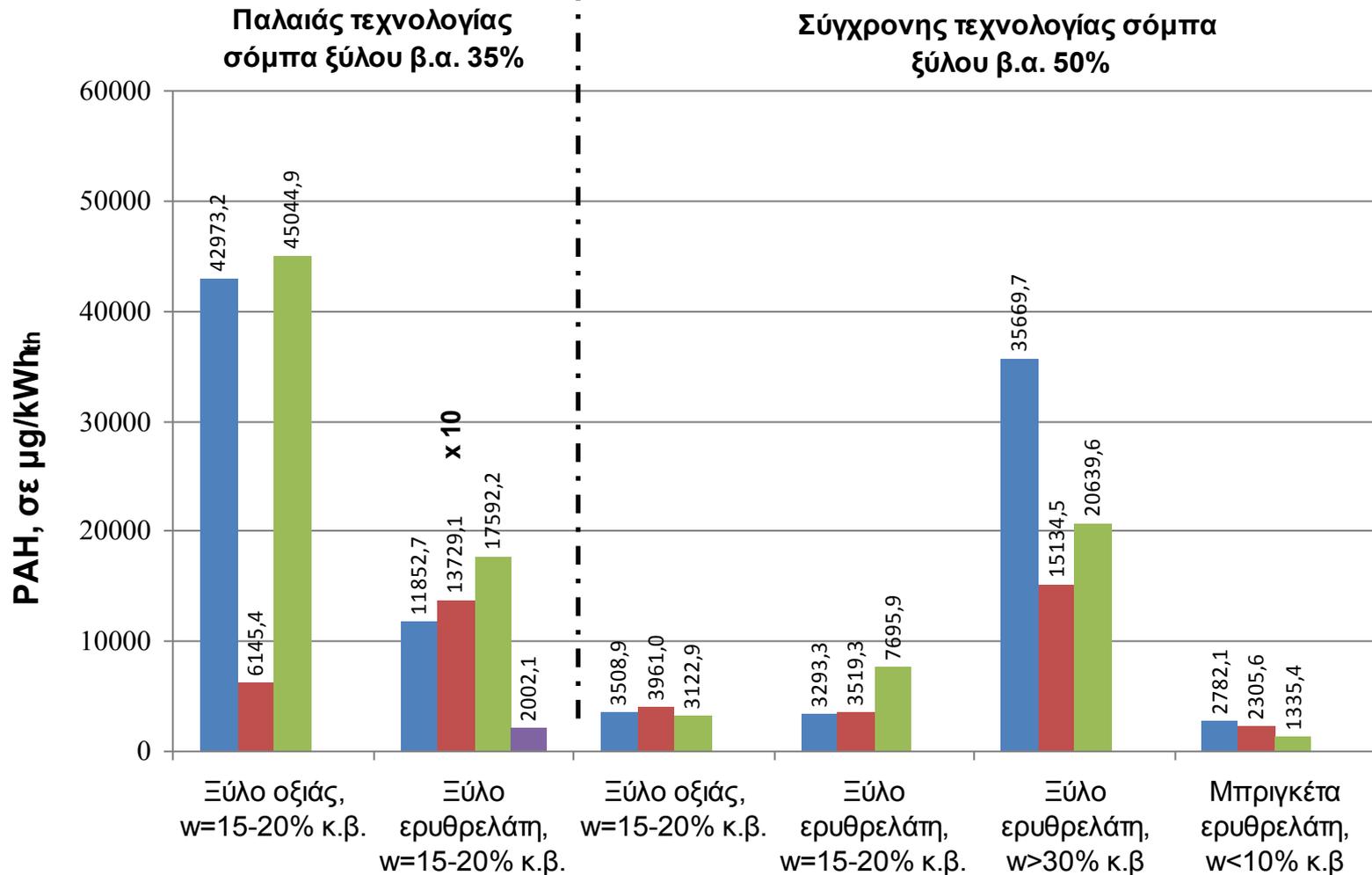


Δείκτες εκπομπών ανά τύπο καυσίμου και τεχνολογιών καύσης



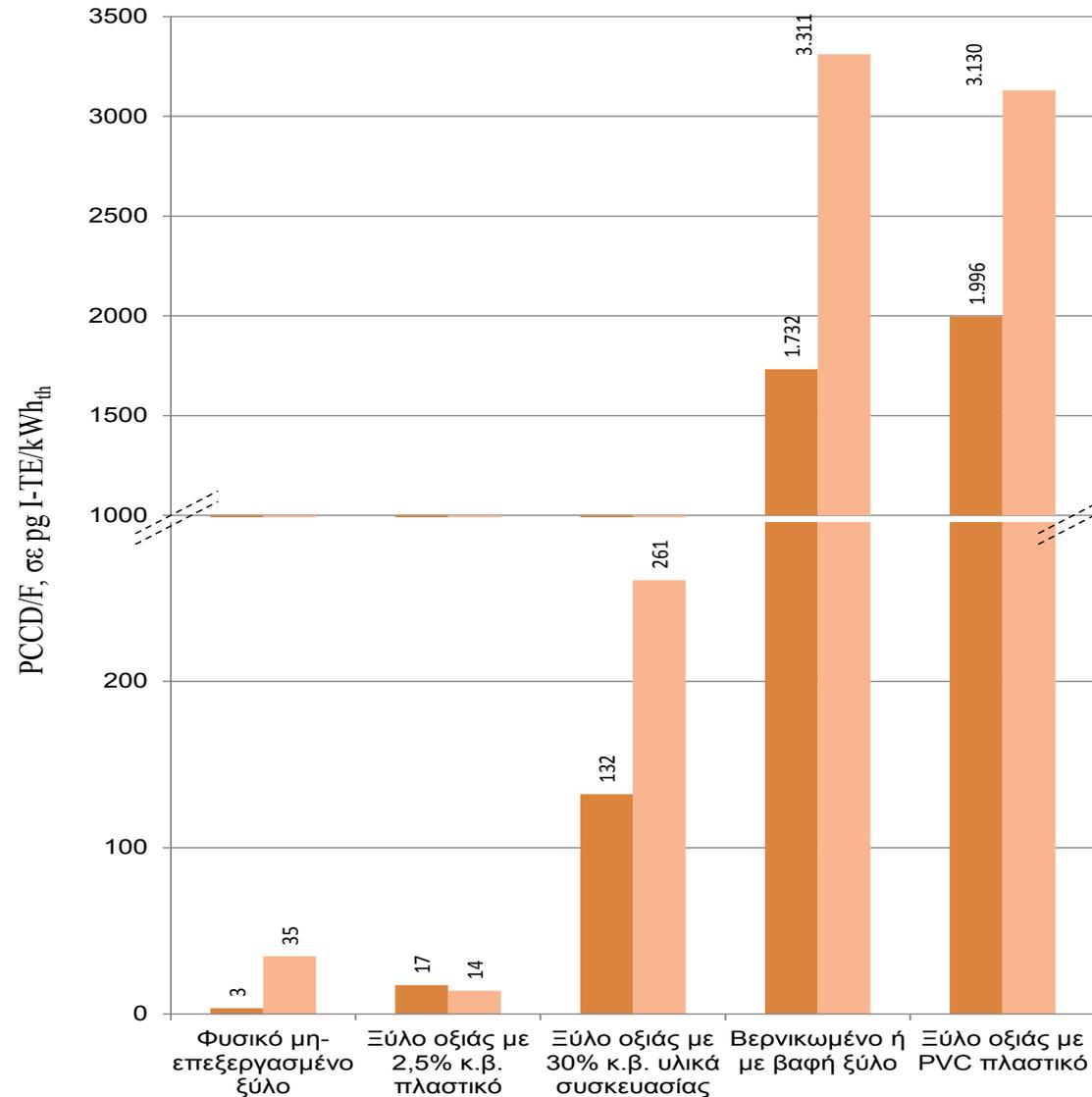


Δείκτες εκπομπών πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (ΡΑΗ)





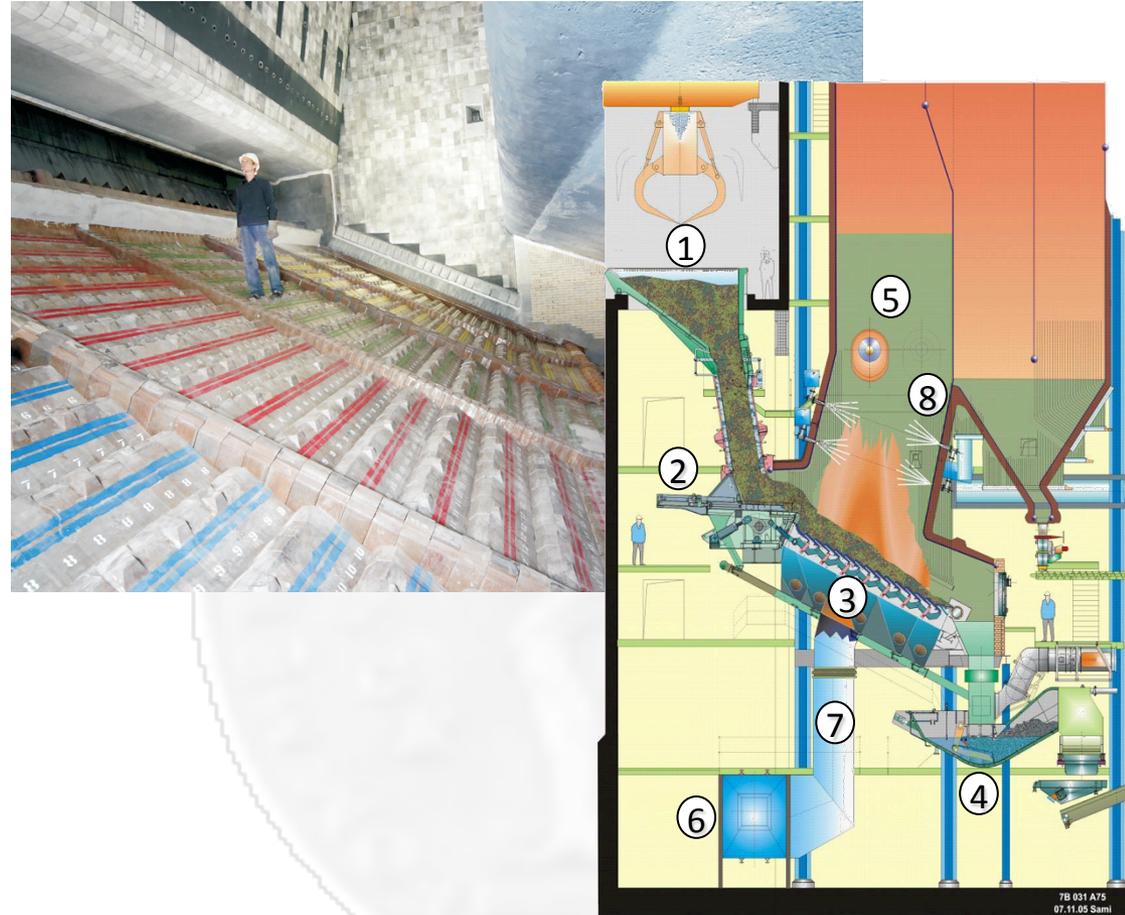
Διοξίνες- Φουράνια (PCDD/F) κατά την καύση διαφορετικής καθαρότητας ξύλου σε μια σόμπα ξύλου





Αποτέφρωση Απορριμμάτων

- Μικρότερη δυνατή θερμοκρασία: 850°C με χρόνο παραμονής 2".
- Στην περίπτωση στην οποία η κατά βάρος σύσταση των απορριμμάτων περιλαμβάνει πάνω από 1% Χλώριο, η ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία θα πρέπει να παραμείνει το καυσαέριο για τουλάχιστον 2" είναι 1100°C





Αποτέφρωση Απορριμμάτων

Wien Spittelau

- Μικρότερη δυνατή θερμοκρασία: 850°C με χρόνο παραμονής 2".
- Στην περίπτωση στην οποία η κατά βάρος σύσταση των απορριμμάτων περιλαμβάνει πάνω από 1% Χλώριο, η ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία θα πρέπει να παραμείνει το καυσαέριο για τουλάχιστον 2" είναι 1100°C





Περιεχόμενο παρουσίασης

Βαθμός απόδοσης θερμικών και ηλεκτρικών συστημάτων

Περιγραφή συστημάτων θέρμανσης

- Λέβητες ορυκτών καυσίμων
- Καύση Βιομάζας
- Θέρμανση με Ηλεκτρική Ενέργεια

Οικονομική και περιβαλλοντική σύγκριση συστημάτων

Συμπεράσματα

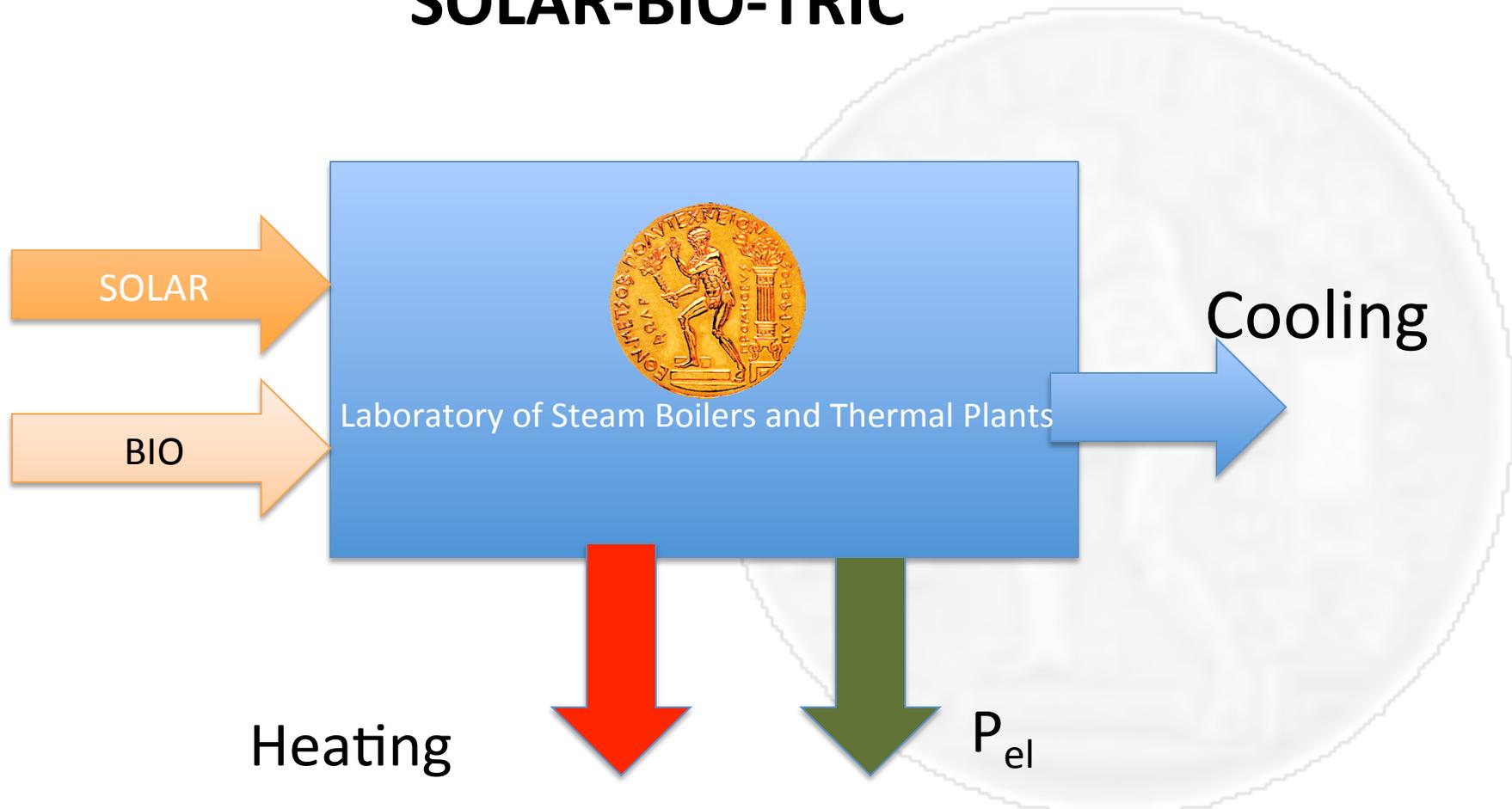




ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ

Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων

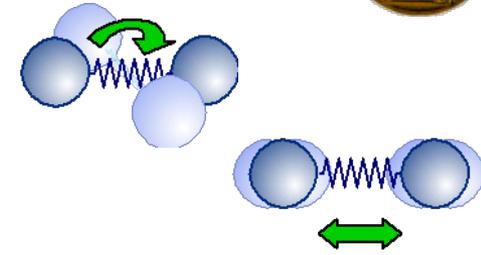
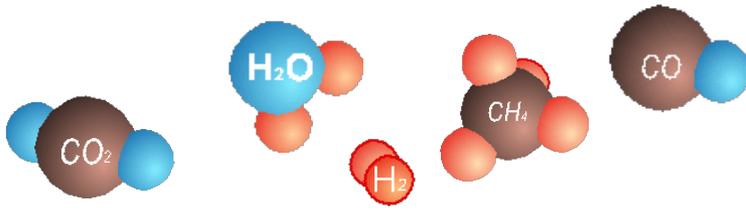
SOLAR-BIO-TRIC





Συμπεράσματα

- Η επιλογή ενός πιστοποιημένου και περιβαλλοντικά φιλικού συστήματος θέρμανσης πρέπει να είναι η πρώτη προτεραιότητα του πολίτη
- Η εκτεταμένη χρήση βιομάζας εντός αστικών κέντρων οδηγεί σε αυξημένες εκπομπές ρυπαντών
- Η πιστοποίηση τόσο του καυσίμου όσο και του συστήματος καύσης είναι μονόδρομος
- Η χρήση των τζακιών ανοιχτής εστίας θα πρέπει να αποτελεί την τελευταία επιλογή
- Η καύση μη φυσικής βιομάζας είναι ΑΠΑΓΟΡΕΥΤΙΚΗ σε οικιακές εστίες



Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας

