

Οικονομική και Περιβαλλοντική σύγκριση συστημάτων θέρμανσης

Τετάρτη 27/3/2013



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



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

Τυπικοί Βαθμοί απόδοσης

Ηλεκτροπαραγωγή

20 - 60%

Παραγωγή Θερμότητας

80 - 105%

Συμπαράγωγή

60 - 90%

Παραγωγή Ψύξης

80 - 120%

Αντλίες θερμότητας:

200 - 400%



Μηχανή Stirling



ΑΗΣ



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_xH_y	NO_x	SO_2	Αιωρούμενα Σωματίδια
Ελαφρύ πετρέλαιο	75000	18	6	39	45	2
Φυσικό Αέριο	55000	19	6	15	0	0



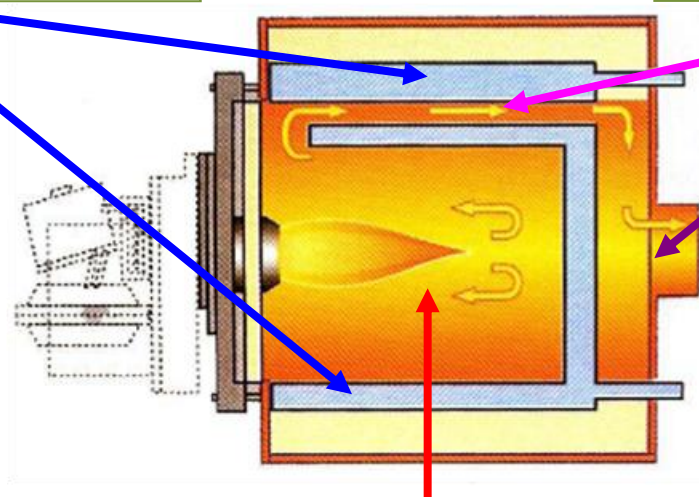
Περιγραφή λέβητα

- Βασικά μέρη του λέβητα

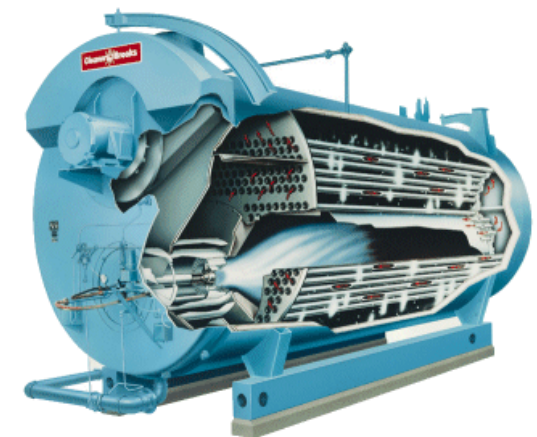
Ένας λέβητας παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη:

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

Τους **αεριαλούς** 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)}		
			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	≤ 50	3000			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 καυσάεριο, 0°C, 1013 mbar.

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

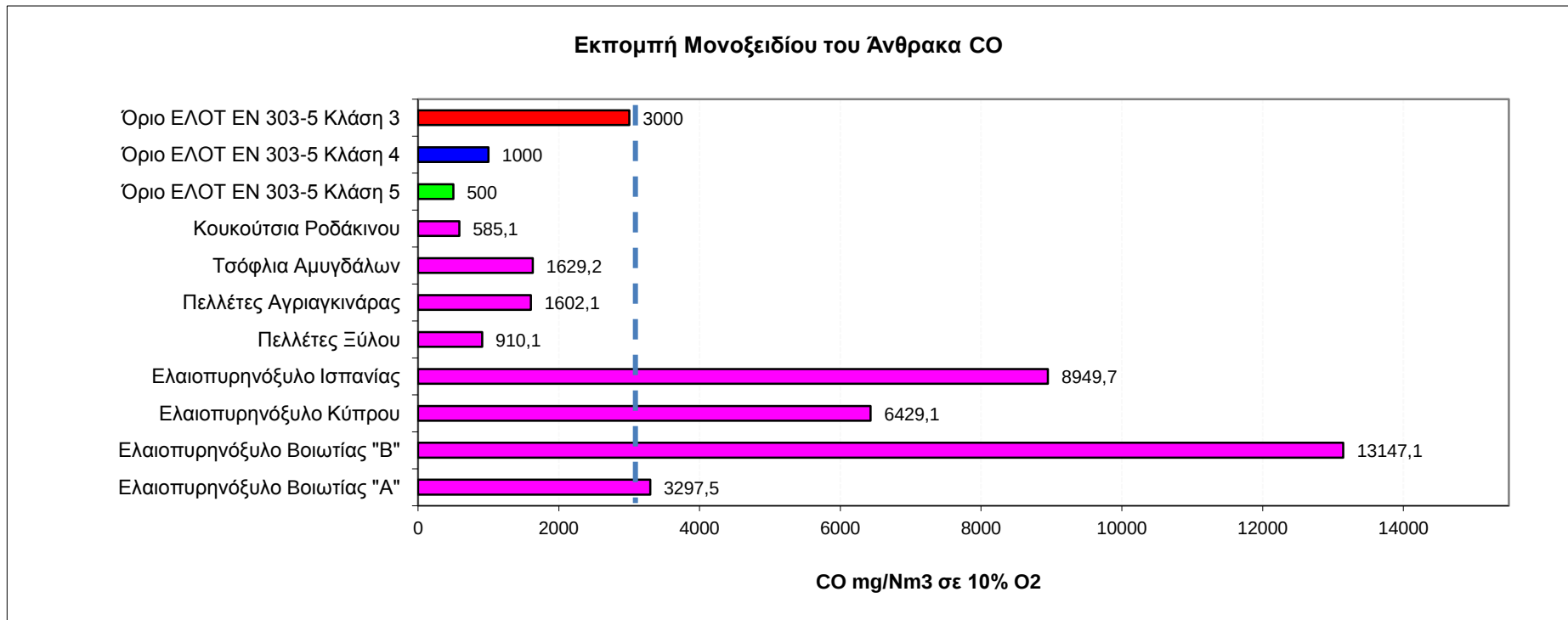
Επίσης: NO_x: 340 mg/m³ @ 10% O₂

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

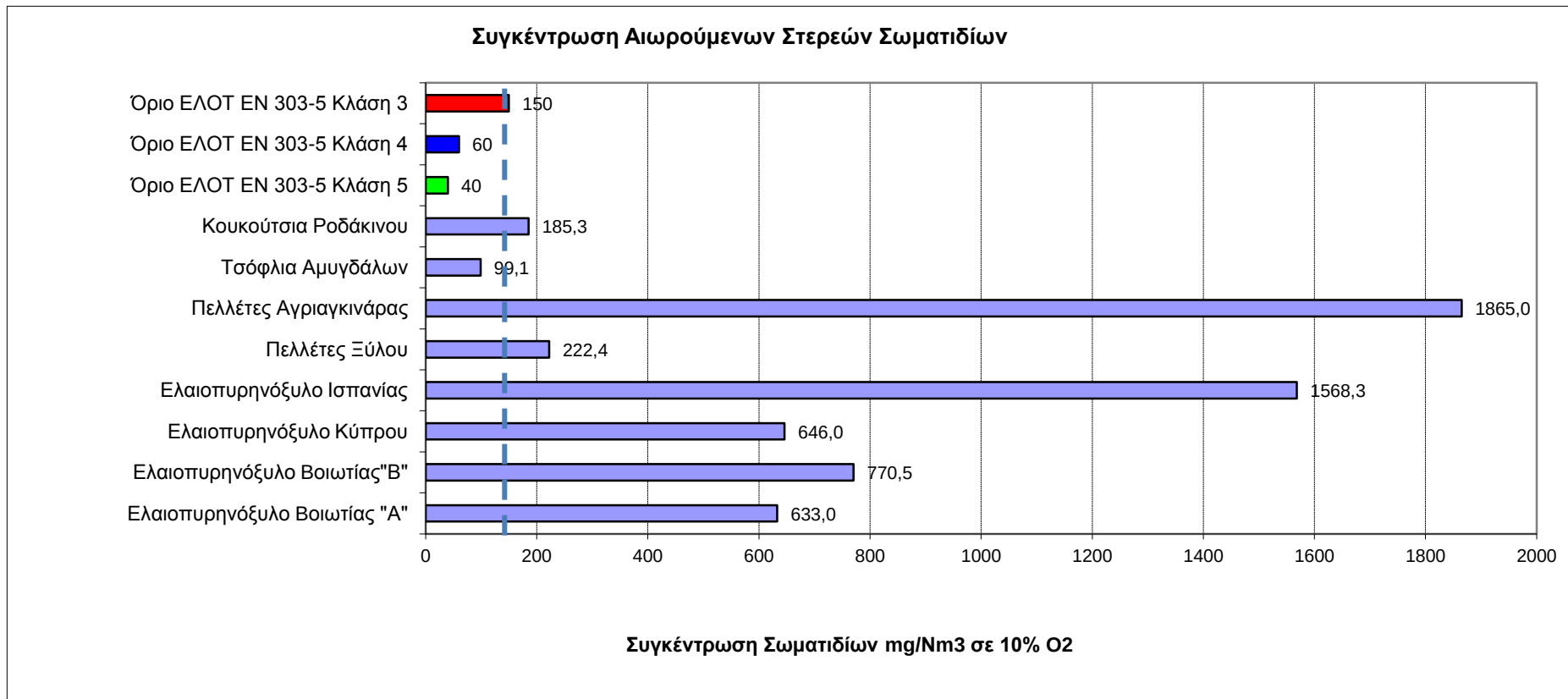
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ (Αέριες Εκπομπές)

- Εκπομπές: Μονοξείδιο 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.

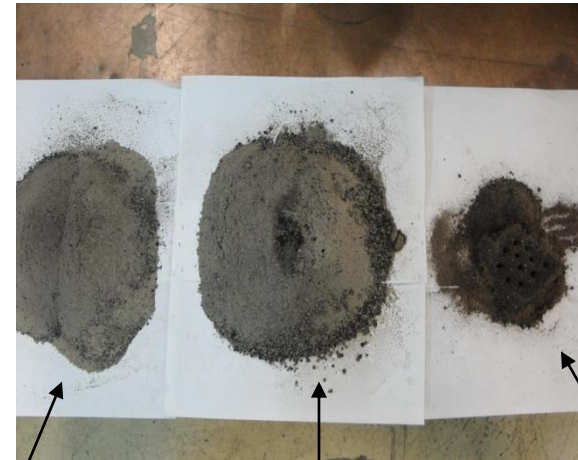


Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων / Επικαθίσεις εντός του λέβητα

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

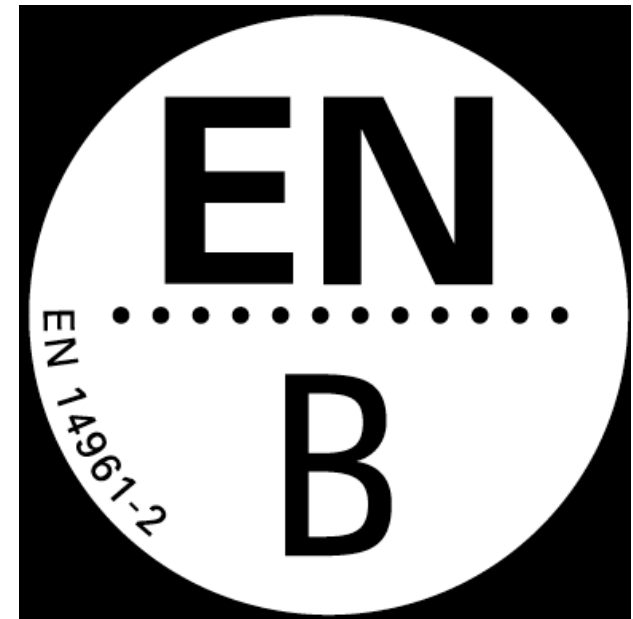
¹ Η ποσότητα των πελλετών που μπορεί να έχουν μήκος μεγαλύτερο από 40 mm είναι 5%. Μέγιστο μήκος < 45 mm.

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

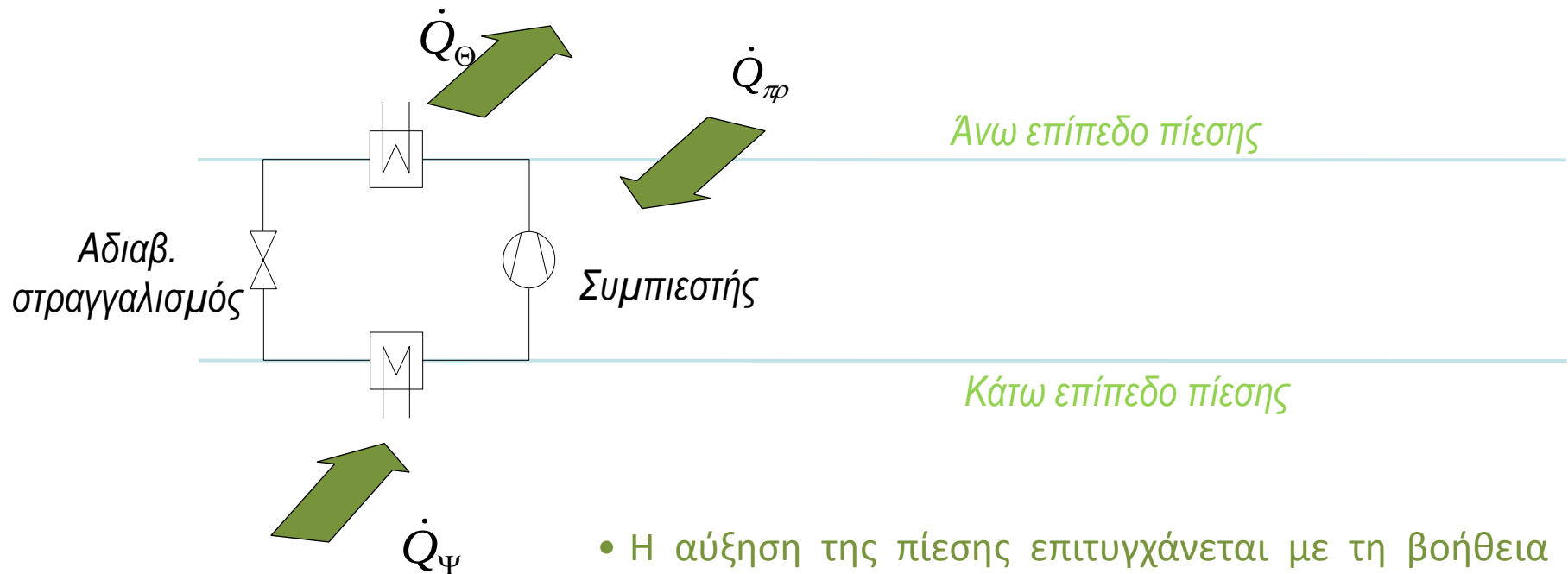
Συμπεράσματα



Αντλίες Θερμότητας

Η λειτουργία της αντλίας θερμότητας βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο

Ψυκτικός κύκλος με μηχανική συμπίεση



- Η αύξηση της πίεσης επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός μηχανικού συμπιεστή
- Μείωση πίεσης επιτυγχάνεται με αδιαβατικό στραγγαλισμός



Περιεχόμενο παρουσίασης

Βαθμός απόδοσης θερμικών και ηλεκτρικών συστημάτων

Περιγραφή συστημάτων θέρμανσης

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

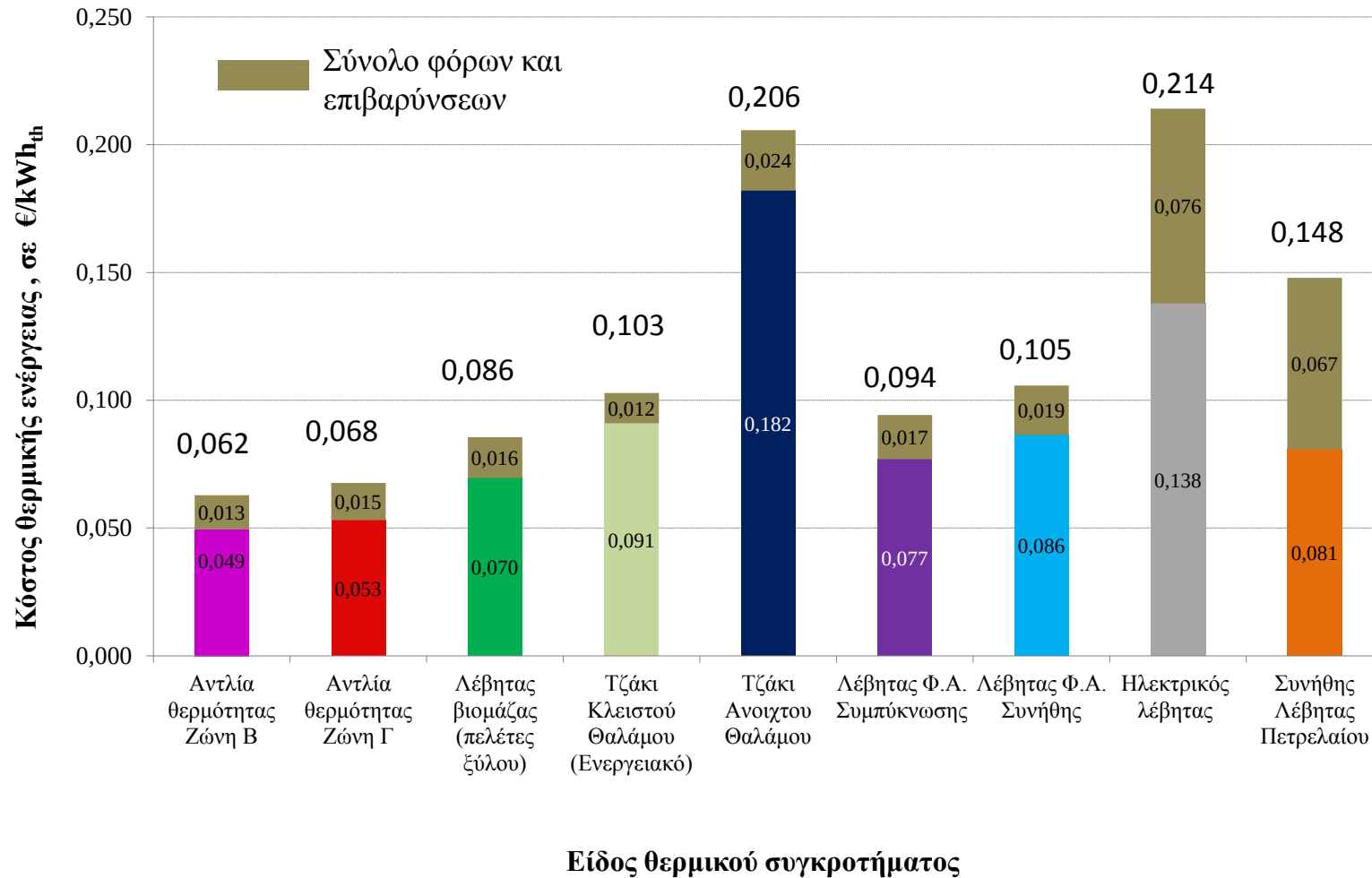
Οικονομική και περιβαλλοντική σύγκριση συστημάτων

Συμπεράσματα

Οικονομική σύγκριση συστημάτων

Είδος θερμικού συγκροτήματος	Βαθμός απόδοσης/ συντελεστής συμπεριφοράς	Κόστος αγοράς καυσίμου-ηλ. ενέργειας	Κόστος θερμικής ενέργειας €/kWh _{th}	Κόστος θερμικής ενέργειας €/kWh, tax free	Σύγκριση Κόστους θερμικής ενέργειας σε % με Συνήθη Λέβητα Πετρελαίου
Αντλία θερμότητας Ζώνη Β	3,00	*	0,063	0,049	42,51%
Αντλία θερμότητας Ζώνη Γ	2,75	*	0,068	0,053	45,74%
Λέβητας βιομάζας (πελέτες ξύλου)	0,75	320€/tn	0,086	0,070	57,84%
Τζάκι Κλειστού Θαλάμου (Ενεργειακό)	0,50	200€/tn	0,103	0,091	69,56%
Τζάκι Ανοιχτού Θαλάμου	0,25	200€/tn	0,206	0,182	139,12%
Λέβητας Φ.Α. Συμπύκνωσης	0,98	0,0923€/kWh _{th} **	0,094	0,077	63,70%
Λέβητας Φ.Α. Συνήθης	0,87	0,0923€/kWh _{th} **	0,106	0,086	71,52%
Ηλεκτρικός λέβητας	1,00	*	0,214	0,138	144,80%
Συνήθης Λέβητας Πετρελαίου	0,87	1,285€/lt	0,148	0,081	100,00%

Οικονομική σύγκριση συστημάτων



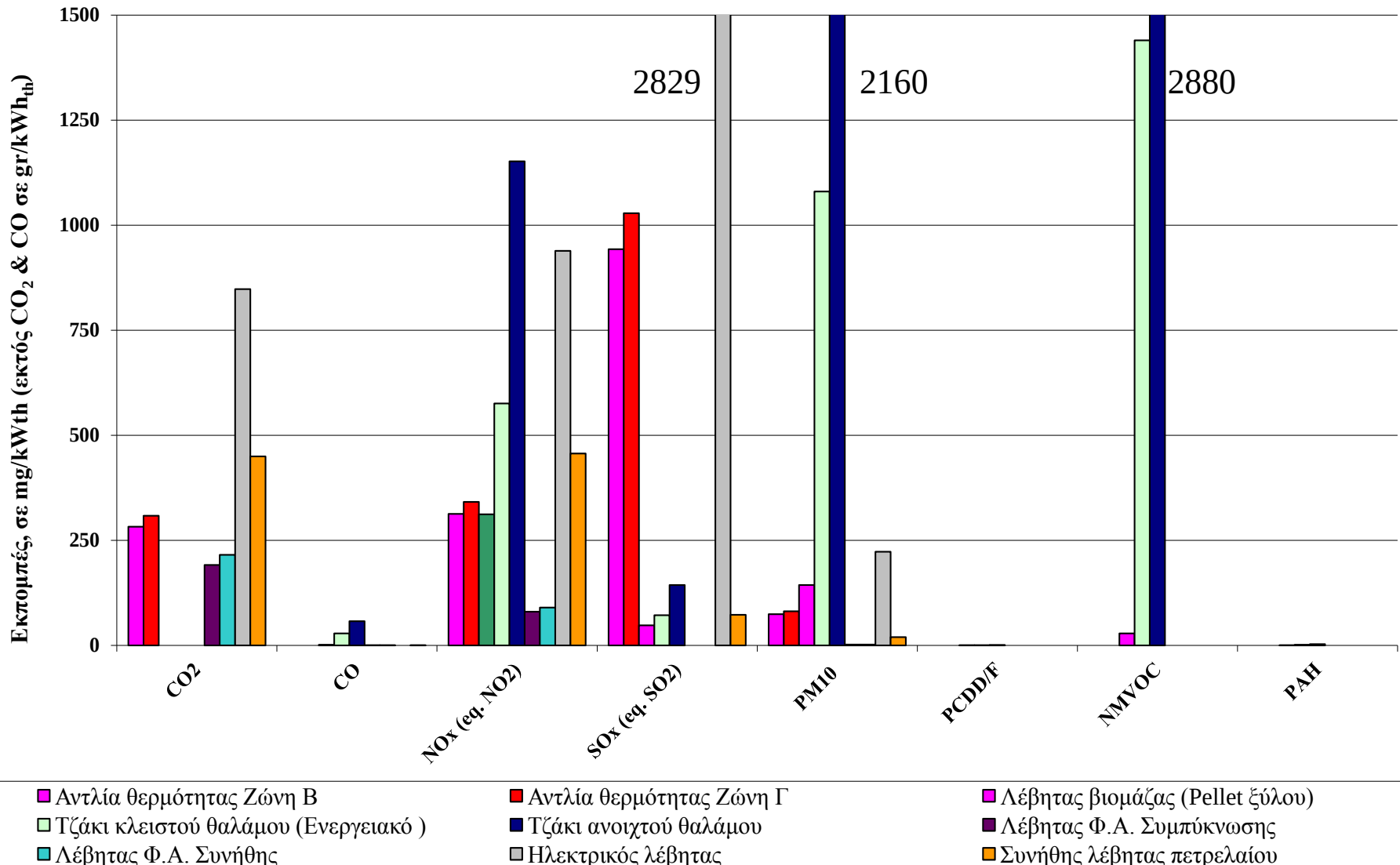


Περιβαλλοντική επίδοση συστημάτων θέρμανσης

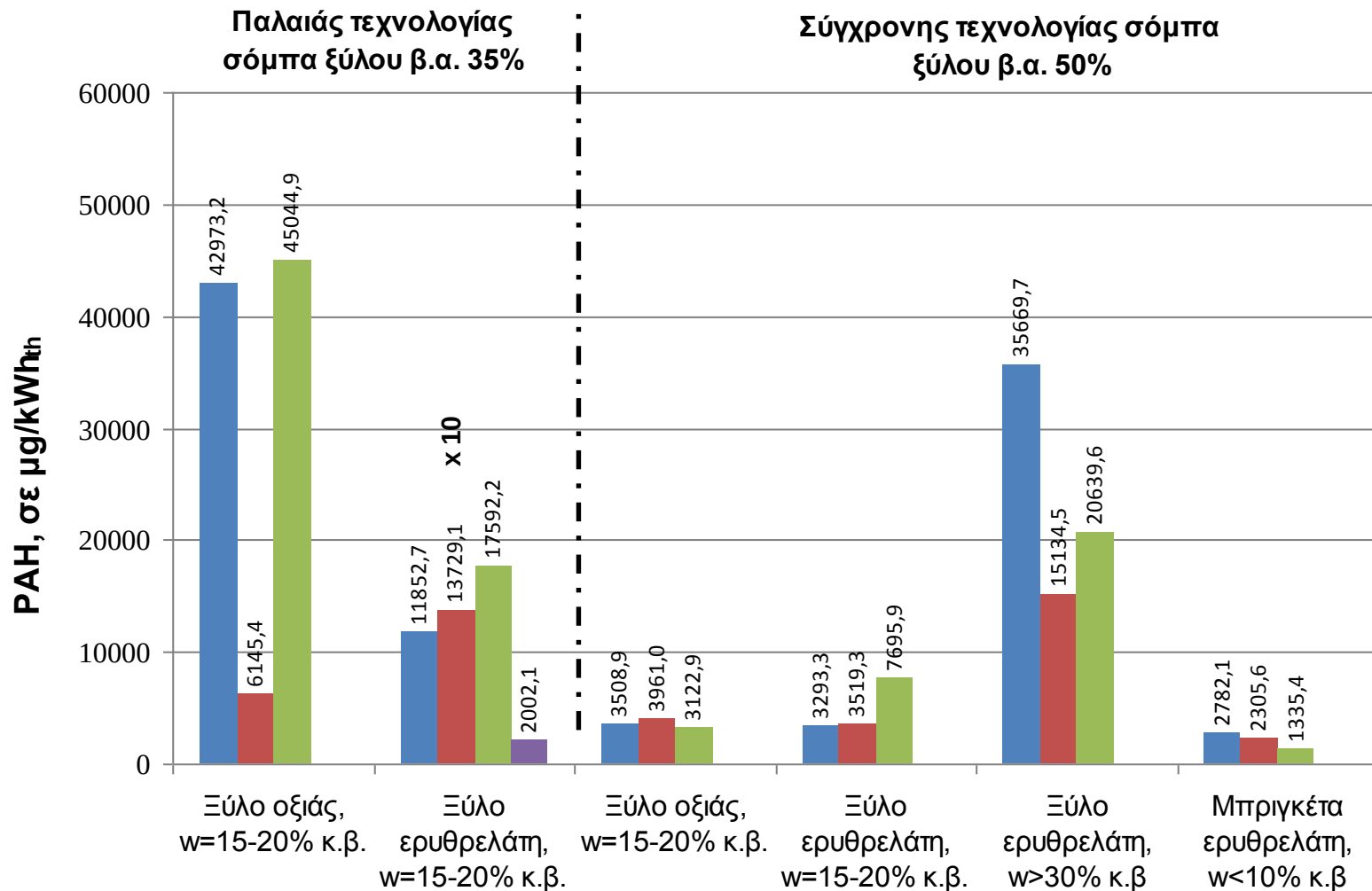
	CO ₂ (gr/kWh _{th})	CO (gr/kWh _{th})	NO _x ως ισοδύναμο NO ₂ (mg/kWh _{th})	SO _x ως ισοδύναμο SO ₂ (mg/kWh _{th})	PM10 (mg/kWh _{th})	PCDD/F (ng/kWh _{th})	NMVOC (mg/kWh _{th})	PAH (mg/kWh _{th})
Συνήθης λέβητας πετρελαίου	450	0,26	457	73	20,0	n/a	n/a	n/a
Λέβητας Φ.Α. Συνήθης	216	0,13	90	n/a	2,1	n/a	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

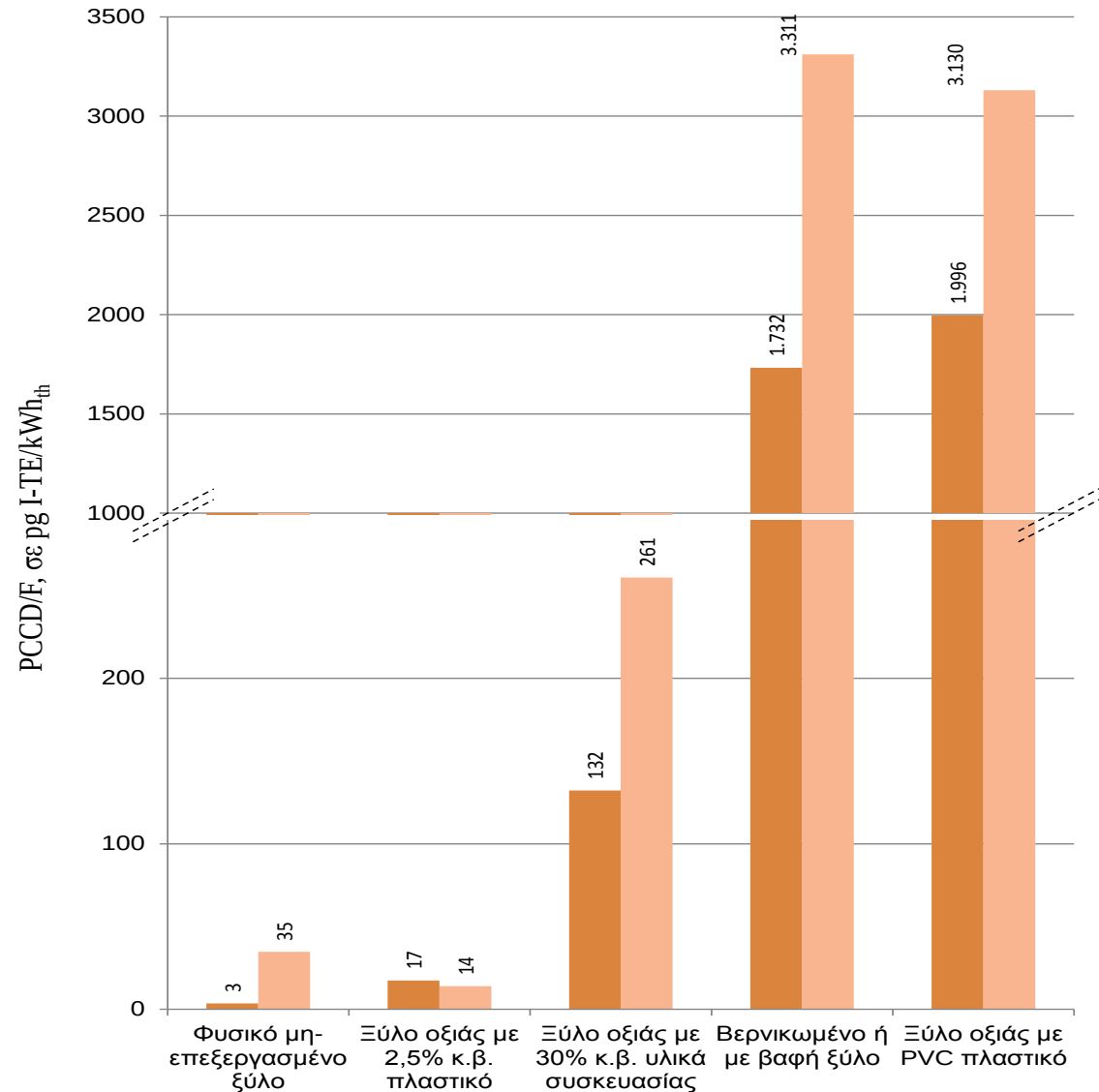


Δείκτες εκπομπών πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (ΡΑΗ)



Πηγή: T. Launhardt, A. Strehler, R. Dumler - Gradl, H. Thoma, O. Vierle "PCDD/F- and PAH- Emission from House Heating Systems" Chemosphere, Vol.37, Nos 9-12, pp. 2013-2020, 1998

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



Πηγή: T. Launhardt, A. Strehler, R. Dumler - Gradl, H. Thoma, O. Vierle "PCDD/F- and PAH- Emission from House Heating Systems" Chemosphere, Vol.37, Nos 9-12, pp. 2013-2020, 1998

Wien Spittelau

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



Πηγή: 17. BimSchV



Περιεχόμενο παρουσίασης

Βαθμός απόδοσης θερμικών και ηλεκτρικών συστημάτων

Περιγραφή συστημάτων θέρμανσης

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

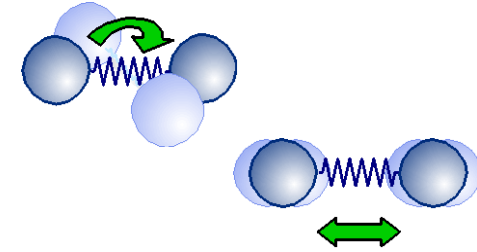
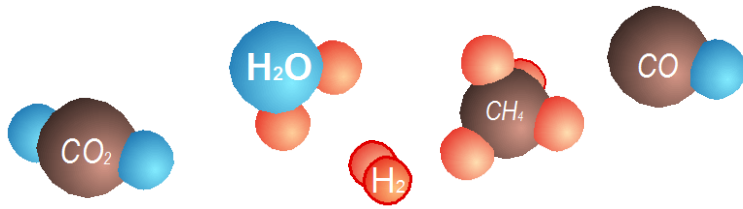
Οικονομική και περιβαλλοντική σύγκριση συστημάτων

Συμπεράσματα



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!

