

**Ημερίδα με τίτλο: « Συστήματα θέρμανσης με βιομάζα»
Διοργάνωση: «Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης
Ενέργειας (ΚΑΠΕ)»**

στο πλαίσιο του Ecoforum της 3ης Διεθνούς Έκθεσης «ECOTECH –Τεχνολογίες
Περιβάλλοντος», που διοργανώνει η εταιρία **«Τεχνοεκδοτική Expo»**

ΑΘΗΝΑ, 22 Απριλίου 2010

**“ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ - ΚΑΥΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΒΙΟΜΑΖΑΣ
ΣΕ ΛΕΒΗΤΕΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ”**

**Δρ. Παναγιώτης Βουρλιώτης, Τεχνικός Δ/ντής της Ε.Μ.Π.Υ. του
Εργαστηρίου Ατμοκινητήρων & Λεβήτων Ε.Μ.Π.**

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ / ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΤΜΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΛΕΒΗΤΩΝ
ΗΡΩΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ 9, 157 80 ΑΘΗΝΑ**

ΤΗΛ. : (01) 772 3841 / 3758 FAX : (01) 772 3663



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- **ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**
- **ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – Συνθήκες & Απαιτήσεις**
- **ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ**
- **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ (Ενεργειακά μεγέθη – Αέριες εκπομπές)**
- **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**
- **ΣΥΝΟΨΗ**



ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων του ΕΜΠ διεξήχθη μία σειρά δοκιμών καύσης διαφόρων ειδών στερεών καυσίμων βιομάζας σε λέβητα ζεστού νερού, στο πλαίσιο Ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος.

- **Αντικείμενο:**

Η διερεύνηση της ενεργειακής απόδοσης και της ποιότητας καυσαερίου των πιθανών στερεών βιοκαυσίμων για χρήση σε λέβητες ζεστού νερού, ιδιαίτερα όσον αφορά την ωφέλιμη θερμική απόδοση καθώς και τα επίπεδα των συμβατικών αερίων εκπομπών και των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων.

- **Στόχος:**

Ο στόχος του προγράμματος είναι η κατηγοριοποίηση-τυποποίηση των στερεών καυσίμων βιομάζας για την ενεργειακή αξιοποίησή τους σε λέβητες ζεστού νερού.

Για το λόγο αυτό επιλέχτηκαν οκτώ (8) είδη στερεών καυσίμων βιομάζας και οι μετρήσεις έγιναν στον ίδιο λέβητα στερεού καυσίμου με σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη θερμική ισχύ, το βαθμό απόδοσης του λέβητα, καθώς και τα επίπεδα της εκπομπής αερίων ρύπων και αιωρούμενων στερεών σωματιδίων σε κάθε περίπτωση.



ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – Συνθήκες & Απαιτήσεις (1/5)

1. Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 303.05:

Οι δοκιμές των επιλεγόμενων στερεών καυσίμων βιομάζας πραγματοποιήθηκαν ώστε να πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις δοκιμής και οι συνθήκες ελέγχου που προδιαγράφονται στο Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 303.05: Λέβητες θέρμανσης – Μέρος 5: «Λέβητες θέρμανσης για στερεά καύσιμα που τροφοδοτούνται χειροκίνητα ή αυτόματα με μέγιστη ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου έως 300 kW – Ορολογία, απαιτήσεις, δοκιμές και σήμανση».

2. Συνθήκες:

- Οι μετρήσεις έγιναν στον ίδιο λέβητα στερεού καυσίμου για την ίδια περίπτωση ωφέλιμη θερμική ισχύ, με διαφορά θερμοκρασίας στην είσοδο και στην έξοδο του λέβητα να κυμαίνεται από 10 έως 25K, η θερμοκρασία εξόδου του νερού από το λέβητα να κυμαίνεται από 70 έως 90°C, έτσι ώστε η μέση θερμοκρασία νερού στο λέβητα να διατηρείται στους 70°C.
- Σημειώνεται ότι κατά τη λειτουργία του λέβητα η αποδιδόμενη ισχύς ήταν $\leq 50\text{kW}$, με αυτοματοποιημένο σύστημα τροφοδοσίας του καυσίμου.
- Η συνολική διάρκεια κάθε δοκιμής ήταν περίπου 8 ώρες και μετά τη θερμοκρασιακή ισορροπία του εργαζόμενου μέσου (νερό) γινόταν συνεχής καταγραφή των μετρούμενων μεγεθών και έλεγχος του βαθμού απόδοσης κάθε 30 λεπτά της ώρας, όπου στο τέλος της δοκιμής προέκυπτε μια μέση τιμή.
- Η τροφοδοσία των καυσίμων στην εστία του θαλάμου καύσης ήταν συνεχής και γινόταν διαμέσου του προωθητικού κοχλία, του οποίου ο αριθμός στροφών ήταν ελεγχόμενος μέσω μετατροπέα συχνότητας ρεύματος.



ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – Συνθήκες & Απαιτήσεις (2/5)

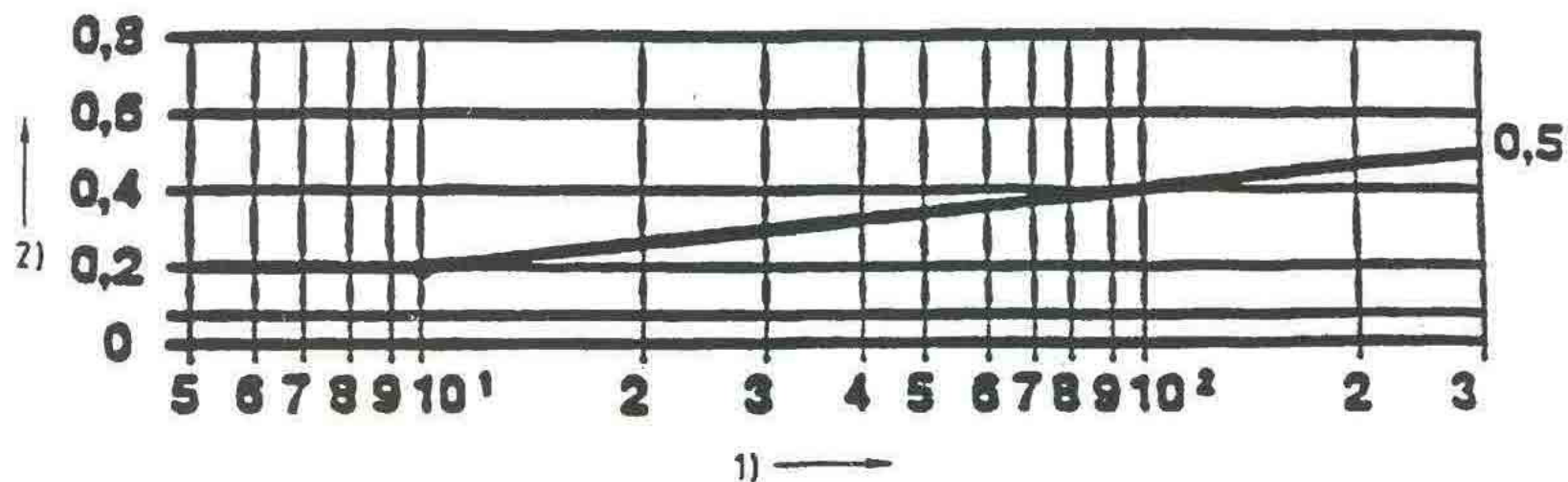
3. Απαιτήσεις:

- ❑ **Στο Διάγραμμα 1** δίνεται το άνω όριο που πρέπει να ικανοποιείται όσον αφορά τον ελκυσμό στην έξοδο του λέβητα, ως συνάρτηση της ωφέλιμης ισχύος.
- ❑ **Στο Διάγραμμα 2** δίνεται το κάτω όριο που πρέπει να ικανοποιείται όσον αφορά το βαθμό απόδοσης, ως συνάρτηση της ωφέλιμης ισχύος.
- ❑ **Στον Πίνακα 1** δίνονται τα άνω όρια τιμών των εκπομπών που προτείνονται από το Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 303.05.



ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – Συνθήκες & Απαιτήσεις (3/5)

Διάγραμμα 1: Μέγιστα όρια τιμών ελκυσμού στην έξοδο του λέβητα, ως συνάρτηση της ωφέλιμης ισχύος.

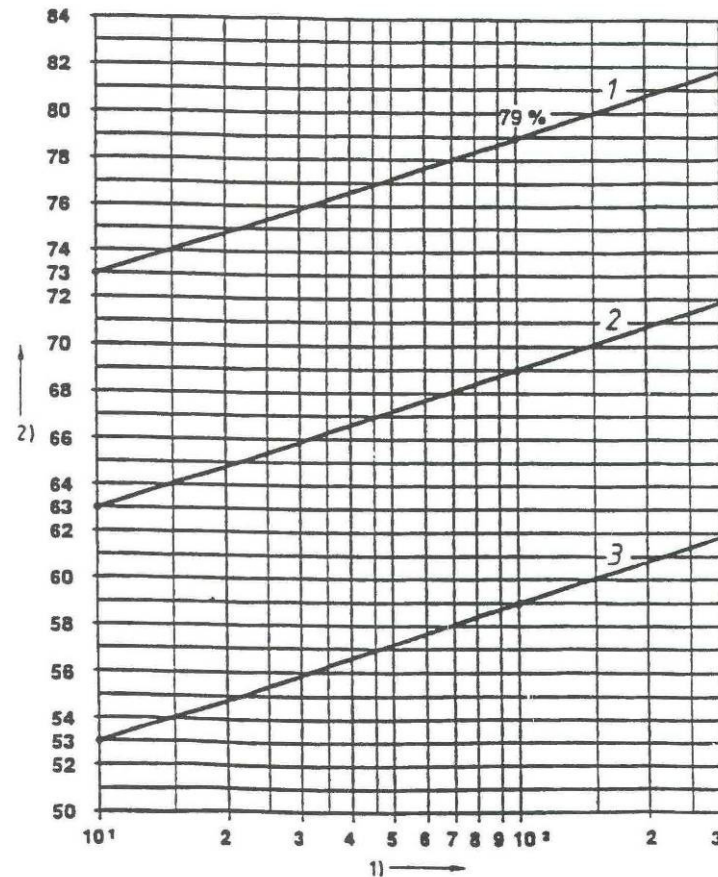


- 1) Nominal heat output Q_N in kW
2) Max. draught in mbar



ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – Συνθήκες & Απαιτήσεις (4/5)

Διάγραμμα 2: Ελάχιστα όρια τιμών βαθμού απόδοσης του λέβητα, ως συνάρτηση της ωφέλιμης ισχύος και της κατηγοριοποίησης σε κλάση 1, 2, & 3.



- 1) class 3
 $\eta_K = 67 + 6 \log Q_N$
- 2) class 2
 $\eta_K = 57 + 6 \log Q_N$
- 3) class 1
 $\eta_K = 47 + 6 \log Q_N$

- 1) Nominal heat output Q_N in kW
- 2) Boiler efficiency in %



ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – Συνθήκες & Απαιτήσεις (5/5)

Πίνακας 1: Όρια εκπομπών που προτείνονται στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 303-5:04/1999.

Stoking	Fuel	Nominal heat output kW	Emission limits								
			CO			OGC			dust		
			mg/m ³ at 10 % O ₂ *)								
			class 1	class 2	class 3	class 1	class 2	class 3	class 1	class 2	class 3
manual	biogenic	≤ 50	25000	8000	5000	2000	300	150	200	180	150
		> 50 to 150	12500	5000	2500	1500	200	100	200	180	150
		> 150 to 300	12500	2000	1200	1500	200	100	200	180	150
	fossil	≤ 50	25000	8000	5000	2000	300	150	180	150	125
		> 50 to 150	12500	5000	2500	1500	200	100	180	150	125
		> 150 to 300	12500	2000	1200	1500	200	100	180	150	125
automatic	biogenic	≤ 50	15000	5000	3000	1750	200	100	200	180	150
		> 50 to 150	12500	4500	2500	1250	150	80	200	180	150
		> 150 to 300	12500	2000	1200	1250	150	80	200	180	150
	fossil	≤ 50	15000	5000	3000	1750	200	100	180	150	125
		> 50 to 150	12500	4500	2500	1250	150	80	180	150	125
		> 150 to 300	12500	2000	1200	1250	150	80	180	150	125

*) referred to dry exit flue gas, 0 °C, 1013 mbar

Σημείωση: Με υπογράμμιση δίνονται οι τιμές που πρέπει να ικανοποιούνται για την εξεταζόμενη περίπτωση.



ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ (1/3)

Τα στερεά βιοκαύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα:

- 4 Ποικιλίες Ελαιοπυρηνόξυλου (2 Ελληνικής, 1 Κυπριακής και 1 Ισπανικής προέλευσης).
- Πελλέτες Ξύλου.
- Πελλέτες Αγριαγκινάρας.
- Τσόφλια Αμυγδάλων.
- Κουκούτσια Ροδάκινων.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται φωτογραφίες των προαναφερθέντων στερεών βιοκαυσίμων, όπου φαίνεται καθαρά η υφή και το μέγεθός τους.

Στον Πίνακα 3 δίνονται οι χημικές αναλύσεις, που περιλαμβάνουν τη στοιχειακή σύνθεση και τη θερμογόνο ικανότητα για όλα τα υπό διερεύνηση στερεά βιοκαύσιμα.



ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ (2/3)

Πίνακας 2: Δείγματα των στερεών βιοκαυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν.

Πελλέτες Ξύλου	Πελλέτες Αγριαγκινάρας	Ελαιοπυρηνόξυλο Βοιωτίας
		
Ελαιοπυρηνόξυλο Ισπανίας	Τσόφλια Αμυγδάλων	Κουκούτσια Ροδάκινων
		



ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ (3/3)

Πίνακας 3: 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								
Ανθρακας 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
• Κατώτερα θερμογόνος ικανότητα σε kcal/kg	4173.155	4038.132	4186.769	4174.827	4097.13	3499.10	4575.83	5534.56



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ (Ενεργειακά Μεγέθη)

Πίνακας 4: Υπολογιζόμενα ενεργειακά μεγέθη στο φορτίο δοκιμής.

Υπολογιζόμενα μεγέθη στο φορτίο δοκιμής		Ελαιοπυρηνόξυλο Βοιωτίας «Α»	Ελαιοπυρηνόξυλο «Β»	Ελαιοπυρηνόξυλο «Κύπρου»	Ελαιοπυρηνόξυλο «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 ανέμου καύσης	%	1.5	7.4	3.1	4.3	0.4	0.8	0.8	0.2



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ (Αέριες Εκπομπές) (1/6)

● Εκπομπή αερίων ρύπων και αιωρούμενων στερεών σωματιδίων:

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών καύσης, μετρήθηκαν οι εκπεμπόμενες συγκεντρώσεις αερίων εκπομπών, όπως:

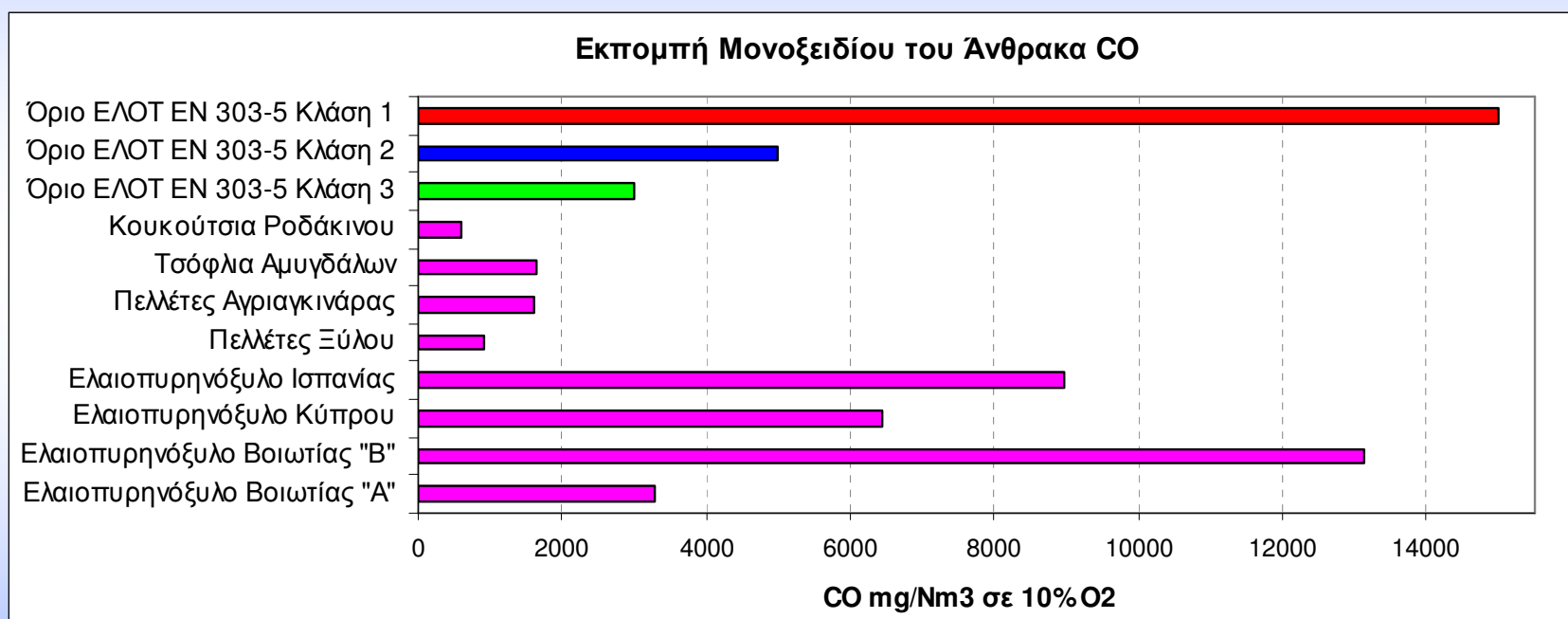
- ➔ Μονοξείδιο του άνθρακα CO,
- ➔ Ολικός αέριος οργανικός άνθρακας (Organic Gaseous Carbon, OGC),
- ➔ Οξειδία του αζώτου NO_x,
- ➔ Διοξείδιο του θείου SO₂, καθώς και
- ➔ Η συγκέντρωση σε αιωρούμενα στερεά σωματίδια.

Οι μέσες τιμές των εκπομπών για κάθε στερεό βιοκαύσιμο εκφρασμένες σε mg/Nm³ και ανηγμένες σε 10%O₂ αναφοράς, δίνονται στα ακόλουθα **Διαγράμματα 3 έως 7**.



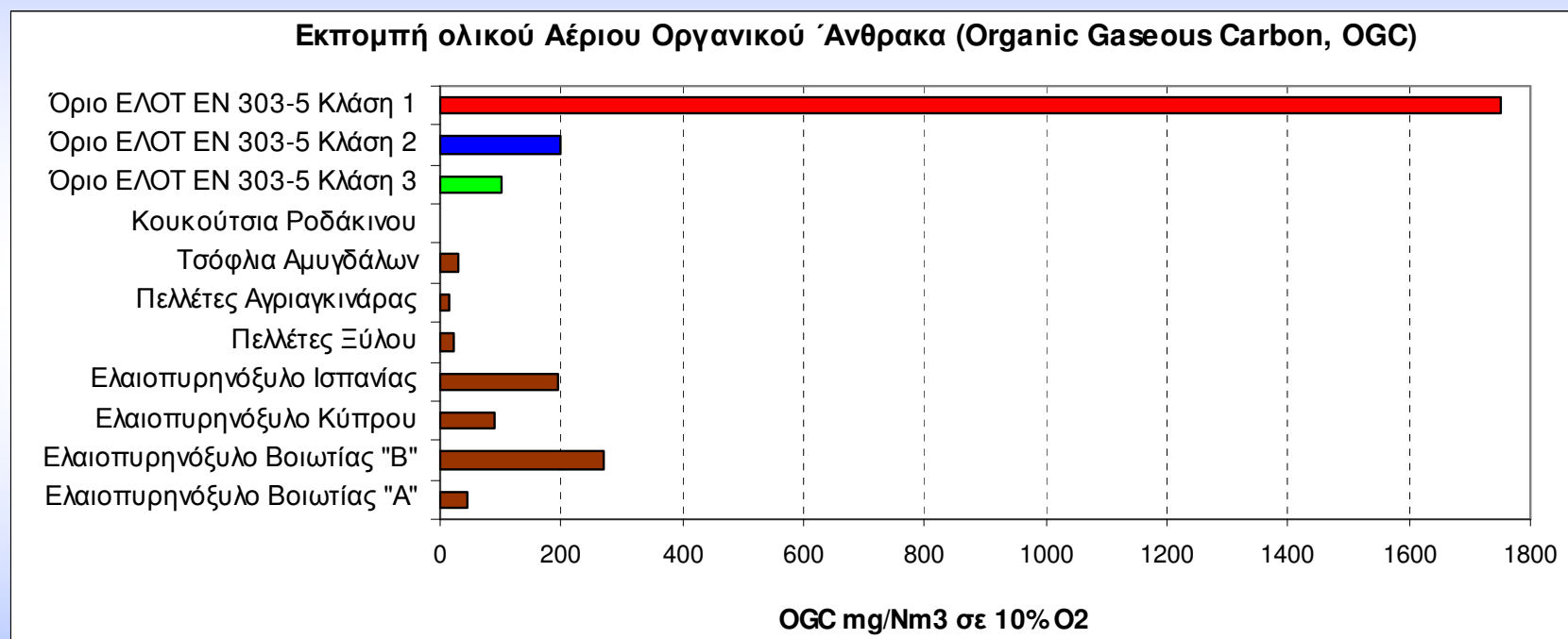
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ (Αέριες Εκπομπές) (2/6)

Διάγραμμα 3: Εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα (CO) για τις εξεταζόμενες περιπτώσεις και σύγκριση με τα προτεινόμενα όρια του Ευρωπαϊκού προτύπου ΕΛΟΤ EN 303.05.



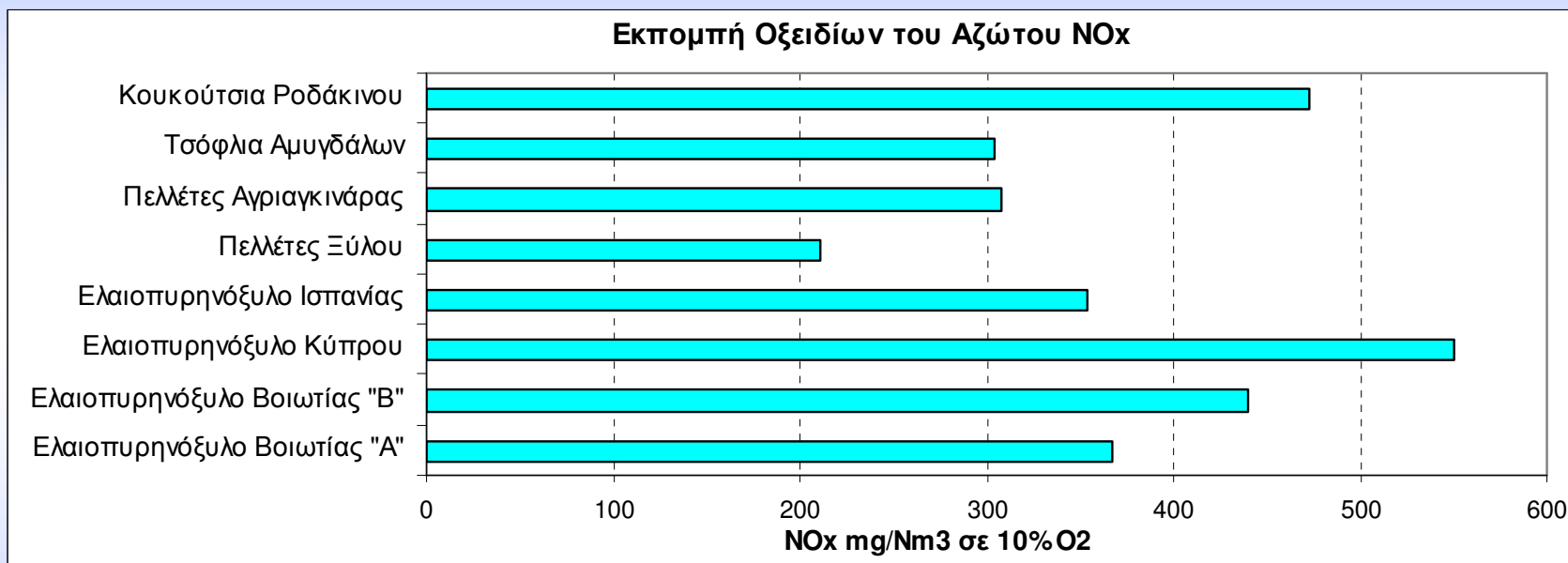
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ (Αέριες Εκπομπές) (3/6)

Διάγραμμα 4: Εκπομπή ολικού αέριου οργανικού άνθρακα (OGC) για τις εξεταζόμενες περιπτώσεις και σύγκριση με τα προτεινόμενα όρια του Ευρωπαϊκού προτύπου ΕΛΟΤ EN 303.05.



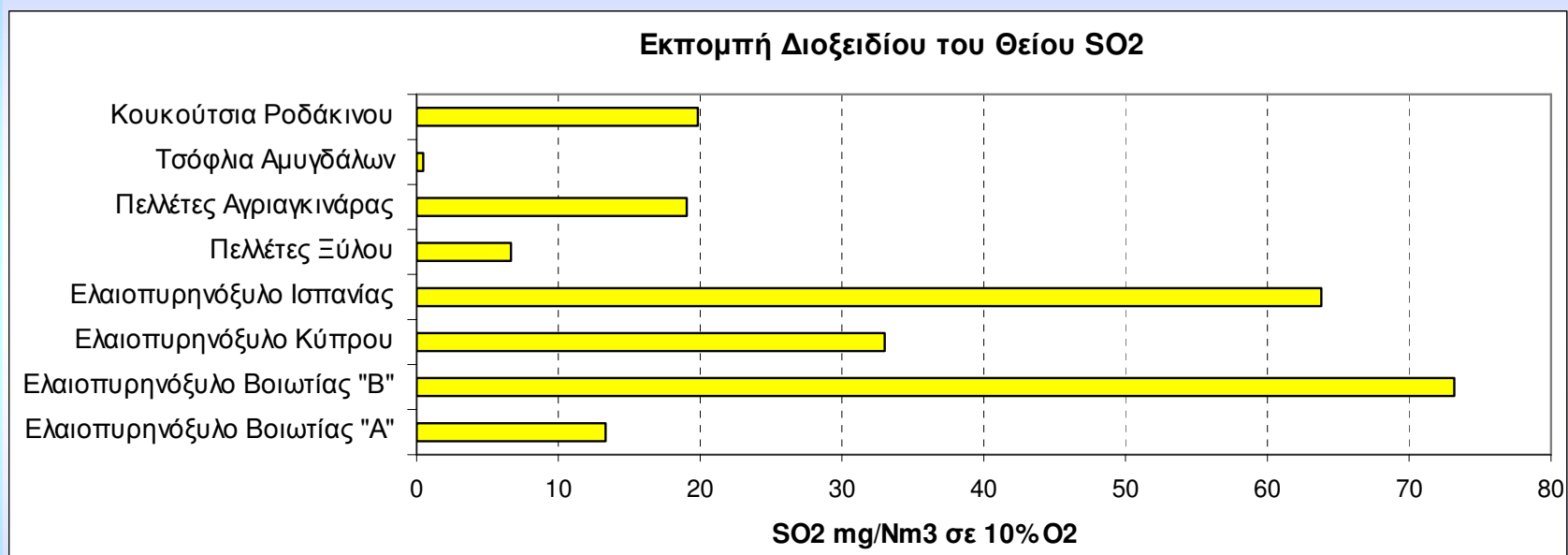
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ (Αέριες Εκπομπές) (4/6)

Διάγραμμα 5: Εκπομπή οξειδίων του αζώτου (NO_x) για τις εξεταζόμενες περιπτώσεις.



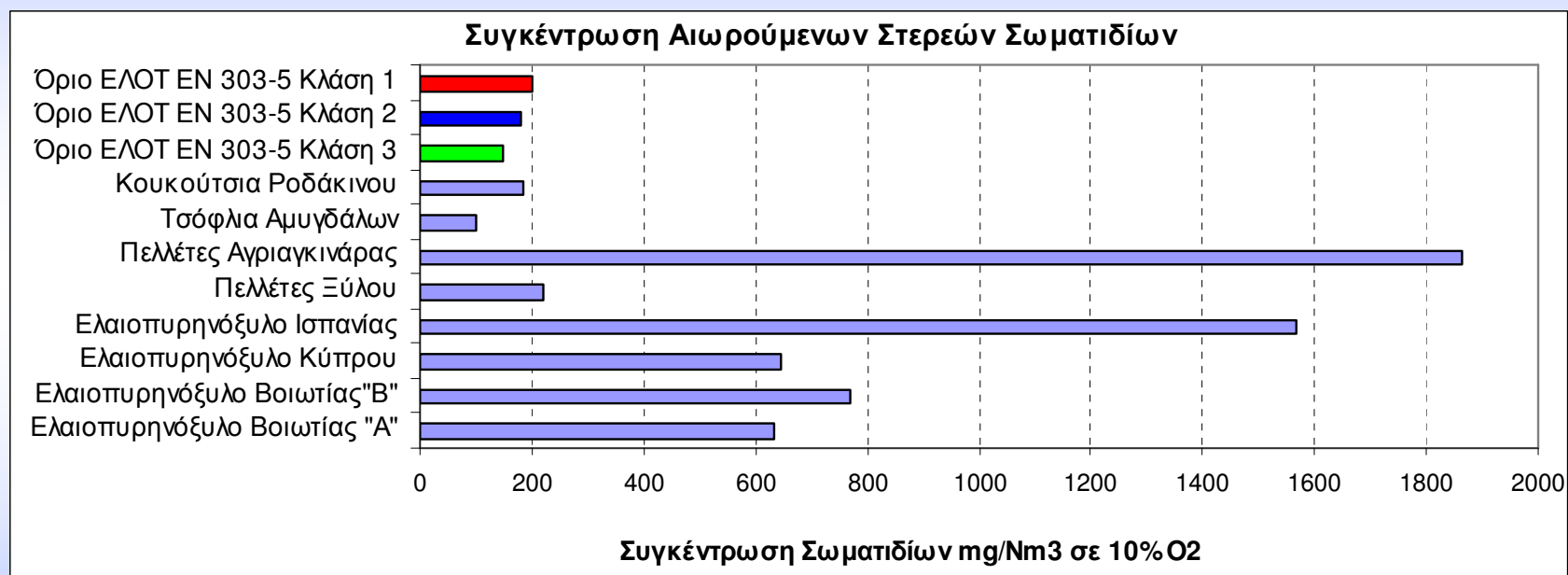
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ (Αέριες Εκπομπές) (5/6)

Διάγραμμα 6: Εκπομπή διοξειδίου του θείου (SO₂) για τις εξεταζόμενες περιπτώσεις.



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΥΣΗΣ (Αέριες Εκπομπές) (6/6)

Διάγραμμα 7: Εκπομπή αιωρούμενων στερεών σωματιδίων για τις εξεταζόμενες περιπτώσεις και σύγκριση με τα προτεινόμενα όρια του Ευρωπαϊκού προτύπου ΕΛΟΤ EN 303.05.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ (1/6)

● Τροφοδοσία καυσίμου & Εξέλιξη καύσης:

- Δεν παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα προβλήματα κατά την τροφοδοσία των καυσίμων στην περιοχή της εστίας και με ρύθμιση του ελκυσμού δεν υπήρχε επιστροφή καυσαερίου στον αγωγό του κοχλίου.
- Λόγω της ανομοιομορφίας της παροχής του καυσίμου διαπιστώθηκαν μικρές διακυμάνσεις στην προσδιδόμενη θερμική ισχύ.
- Στην περίπτωση της καύσης των πελλετών αγριαγκινάρας ήταν έντονη η δημιουργία σημαντικής ποσότητας συσσωματώσεων στην εστία, οι οποίες έφραζαν τις οπές προσαγωγής του αέρα καύσης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να εμποδίζεται η προσαγωγή του αέρα μέσα στο θάλαμο καύσης και το σύστημα τροφοδοσίας με τη συνεχή ροή του να γεμίζει την εστία με καύσιμο, πριν ολοκληρωθεί η καύση του.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ (2/6)

- Τάση για επικαθίσεις:

- Η τάση για επικαθίσεις στα εσωτερικά τοιχώματα του λέβητα ήταν:
 - ✓ Χαμηλή στις περιπτώσεις των πελλετών ξύλου, των τσοφλιών αμυγδάλου και των κουκουτσιών ροδάκινου.
 - ✓ Η καύση των δειγμάτων ελαιοπυρηνόξυλου χαρακτηρίζεται από μια μέση τάση για επικαθίσεις, ενώ
 - ✓ το φαινόμενο ήταν εντονότερο κατά την καύση των πελλετών αγριαγκινάρας γεγονός που επαληθεύει την πολύ υψηλή τιμή της συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών σωματιδίων.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ (3/6)

- Εκπομπή CO, OGC, NO_x, SO₂ και αιωρούμενων στερεών σωματιδίων:
 - Η καύση των υπό διερεύνηση βιοκαυσίμων με στόχο την ελεγχόμενη εκπομπή CO, η οποία έχει αρνητική επίδραση στο βαθμό απόδοσης καύσης του λέβητα έγινε με υψηλή περίσσεια αέρα (μέση τιμή του λόγου αέρα καύσης ήταν περίπου 2, με μέση τιμή συγκέντρωσης οξυγόνου 10.6%κ.ό. και διοξειδίου του άνθρακα 9.2%κ.ό.).
 - Στην περίπτωση των καυσίμων ελαιοπυρηνόξυλου, **η τιμή της εκπομπής CO & OGC (βλ. Διάγραμμα 3 & 4)** ήταν η υψηλότερη και κυμαινόταν μεταξύ της κλάσης 1 & 2, ενώ των υπολοίπων καυσίμων ήταν κάτω από το όριο της κλάσης 3.
 - Στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 303-5:04/1999 δεν οριοθετείται η εκπομπή των NO_x, παρόλα αυτά **η τιμή της εκπομπής NO_x (βλ. Διάγραμμα 5)** σε όλα τα υπό διερεύνηση καύσιμα κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα, η τιμή της οποίας αποδίδεται στη φόρτιση του θαλάμου καύσης, της περιεκτικότητας του καυσίμου σε άζωτο και στην υψηλή τιμή του λόγου αέρα καύσης.
 - Οι αντίστοιχες **τιμές του SO₂ (βλ. Διάγραμμα 6)** ήταν αμελητέες, λόγω της μικρής περιεκτικότητας των εξεταζόμενων καυσίμων σε θείο.
 - Σε κάθε περίπτωση τα επίπεδα εκπομπών ήταν εντός των ορίων. Ιδιαίτερα στις δοκιμές καύσης των πελλετών ξύλου, των τσοφλιών αμυγδάλου και των κουκουτσιών ροδάκινου παρουσιάζονται χαμηλότερες τιμές και αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητάς τους, ο χρόνος παραμονής των κόκκων καυσίμου στο θάλαμο καύσης είναι μεγαλύτερος.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ (4/6)

● Εκπομπή CO, OGC, NO_x, SO₂ και αιωρούμενων στερεών σωματιδίων:

- Η διαδικασία πραγματοποίησης της μέτρησης της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων στο καυσαέριο έγινε με τη μέθοδο της ισοκινητικής αναρρόφησης και του βαρυμετρικού προσδιορισμού σύμφωνα με τα ακόλουθα πρότυπα:
 - ❑ ΕΛΟΤ EN 13284.01: 2002 “Εκπομπές από σταθερές πηγές – Προσδιορισμός σκόνης σε περιοχές χαμηλών συγκεντρώσεων κατά μάζα – Μέρος 1: Μη αυτόματη σταθμική μέθοδος”.
 - ❑ ISO 9096: 2003 “Stationary source emissions – Automated monitoring of mass concentrations of particles – Performance characteristics, test methods and specifications”.
- **Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων (βλ. Διάγραμμα 7)** ήταν μικρότερες των ορίων εκπομπής (Κλάση 2: $\leq 180\text{mg}/\text{Nm}^3$ σε 10%O₂ και κλάση 1: $\leq 200\text{mg}/\text{Nm}^3$ σε 10%O₂) κατά την δοκιμή καύσης τσοφλιών αμυγδάλου (99mg/Nm³) και κουκουτσιών ροδάκινου (185.3 mg/Nm³ σε 10%O₂), αντίστοιχα και ελάχιστα υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στην περίπτωση των πελλετών ξύλου (210.4mg/m³), ενώ αρκετά υψηλότερα επίπεδα συγκεντρώσεων σωματιδίων διαπιστώθηκαν κατά την καύση των τεσσάρων ειδών Ελαιοπυρηνόξυλου (πάνω από 600mg/m³ σε 10%O₂) και κατά πολύ υψηλότερη (σχεδόν τρεις φορές περισσότερο από το ελαιοπυρηνόξυλο) στην περίπτωση της δοκιμής με καύσιμο πελλέτες αγριαγκινάρας.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ (5/6)

- Ενεργειακή απόδοση λέβητα:

- Σε όλες τις δοκιμές και για το επιλεγέν φορτίο δοκιμής παρατηρήθηκε υψηλή θερμοκρασία εξόδου του καυσαερίου (από 234°C έως 316°C) με συνέπεια οι απώλειες θερμότητας λόγω θερμού καυσαερίου να έχουν υψηλή τιμή (από 10.7% έως 23.6%, με μέση τιμή περίπου 16%). Το γεγονός αυτό δείχνει ότι δεν εξασφαλίζεται η μέγιστη μετάδοση της θερμότητας από το καυσαέριο στο εργαζόμενο μέσο.
- Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην ιδιαιτερότητα των στερεών βιοκαυσίμων (υψηλές τιμές απωλειών εστίας, επικαθίσεις, κ.ά.) καθώς και στο σχεδιασμό του υφιστάμενου λέβητα που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των δοκιμών.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ (6/6)

● Ενεργειακή απόδοση λέβητα:

- Για την περίπτωση των πελλετών ξύλου αποδείχθηκε ότι οδηγούν σε υψηλότερη απόδοση λέβητα (72.7%), ενώ
- για τα υπόλοιπα στερεά βιοκαύσιμα η απόδοση ήταν μεταξύ 57 και 68%.
- Χαμηλή απόδοση του λέβητα παρατηρήθηκε κατά τη δοκιμή καύσης των κουκουτσιών ροδάκινου και στο Ελαιοπυρηνόξυλο «B».
- Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 303-5:04/1999, ο λέβητας θα μπορούσε να κατηγοριοποιηθεί ως Κλάση 2 ή 1, όσον αφορά την ενεργειακή του απόδοση, ανάλογα με το καύσιμο.
- Το γεγονός αυτό δείχνει ότι για έναν τύπο λέβητα με συγκεκριμένο σχεδιασμό και επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας, το είδος του καυσίμου επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα απόδοσης.



ΣΥΝΟΨΗ

- ⇒ Οι πελλέτες ξύλου και τα τσόφλια αμυγδάλου φαίνεται να είναι ως τα καταλληλότερα στερεά βιοκαύσιμα, με βάση τη θερμική τους απόδοση, τα επίπεδα εκπομπών και την τάση για επικαθίσεις. Ειδικότερα, οι πελλέτες ξύλου αποδείχθηκε πως έχουν την υψηλότερη απόδοση, ενώ τα επίπεδα αερίων εκπομπών ήταν σε χαμηλές τιμές.
- ⇒ Τα κουκούτσια ροδάκινου ακολουθούν, αν και η απόδοσή τους κυμάνθηκε σε μικρότερα επίπεδα.
- ⇒ Όσον αφορά τα δείγματα ελαιοπυρηνόξυλου χαρακτηρίζονται από μια μέση απόδοση και συγκεντρώσεις αερίων εκπομπών, ενώ διαφορές στη συμπεριφορά τους κατά την καύση σχετίζονται και με τον τρόπο παραγωγής και την προέλευση του κάθε βιοκαυσίμου.
- ⇒ Οι πελλέτες αγριαγκινάρας, από μια πρώτη προσέγγιση, πιθανώς να μην κρίνονται αρκετά κατάλληλες για χρήση σε μικρής ισχύος λέβητες (λόγω υψηλής τάσης για επικαθίσεις και υψηλή τιμή της συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών σωματιδίων), όμως μπορούν να βρουν εφαρμογές σε βιομηχανικό επίπεδο.
- ⇒ Το τελικό αποτέλεσμα απόδοσης ενός λέβητα εξαρτάται από το θερμοτεχνικό σχεδιασμό του και από το είδος του στερεού καυσίμου βιομάζας που θα χρησιμοποιηθεί.

