



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (ΕΤΠ)**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ  
ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΤΥΠΟΥ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ**

**ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΜΑΡΙΑ**

**ΔΡΟΣΟΥ ΠΑΡΘΕΝΗ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ**

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΠΑΡΤΖΗΣ**

**ΚΟΖΑΝΗ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2013**

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε με βάση τις διαδικασίες που ορίζονται στα πρότυπα του ΕΛΟΤ για την καύση στερεών καυσίμων σε συσκευές διαφόρων τύπων.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την διάρκεια της περιόδου των μετρήσεων σε εργοστάσιο λεβήτων καθώς και οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς των απαιτούμενων μεγεθών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στην εργαστηριακή μέτρηση της θερμογόνου δύναμης διαφόρων ειδών pellet, όπου παρουσιάζονται αναλυτικά η διαδικασία χρήσης ενός θερμιδόμετρου, τα αποτελέσματα των μετρήσεων και η σύγκριση αυτών.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των λεβήτων στους οποίους έγιναν οι μετρήσεις για την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Παρουσιάζονται οι βαθμοί απόδοσης και τα ποσοστά των αέριων ρύπων του καθενός και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μία μελέτη κατασκευής ενός προτύπου εργαστηρίου βιομηχανικού ελέγχου, το οποίο θα πρέπει να υπάρχει σε ένα εργοστάσιο παραγωγής λεβήτων.

Το παράρτημα περιλαμβάνει τις τεχνικές εκθέσεις για τις συσκευές καύσης στις οποίες έγιναν οι μετρήσεις σύμφωνα με το αντίστοιχο για την κάθε μία πρότυπο ΕΛΟΤ.

## **Abstract**

This thesis was based on the procedures specified in the standards ELOT for burning solid fuel devices of various types.

The first chapter details the methodology followed during the period of measurements at a heating boilers factory and the formulas used in the calculations of the required figures.

The second chapter is a detailed report on the laboratory measurement of the calorific value of various kinds of pellet, which presents analytically the process of using a calorimeter, the results of the measurements and the comparison of them.

The third chapter describes the technical characteristics of the boilers in which the measurements were made for this thesis. Shows the efficiencies and rates of gaseous pollutants of each and compares the results.

The fourth chapter is a study of the construction of a standard industrial control laboratory, which should be present in a factory that produces heating boilers.

The annex contains the technical reports for combustion appliances in which measurements were made according to the corresponding of each standard ELOT.

## **Ευχαριστίες**

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή αυτής της διπλωματικής εργασίας κύριο Ιωάννη Μπάρτζη, την κυρία Έλενα Παπαδοπούλου για την πολύτιμη βοήθεια της καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, καθώς και τον κύριο Ευάγγελο Τόλη για την βοήθεια του και τον χρόνο που μας αφιέρωσε. Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στην εταιρεία CAMINO DESIGN – Σαμουκατσίδης και ΣΙΑ Ο.Ε. στην οποία έλαβαν χώρα οι μετρήσεις της παρούσας εργασίας.

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	2
Abstract .....	3
Ευχαριστίες .....	4
Περιεχόμενα .....	5
Ονοματολογία .....	8
Συμβολισμοί .....	9
Εισαγωγή.....	11
<b>Κεφάλαιο 1: Απαιτήσεις και προδιαγραφές λεβήτων θέρμανσης.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Λέβητες θέρμανσης για εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης .....</b>	<b>12</b>
1.1.1 Προδιαγραφές ασφαλείας σχεδιασμού .....	12
1.1.2 Απαιτήσεις απόδοσης λέβητα .....	12
1.1.3 Όρια εκπομπών .....	15
1.1.4 Βάση δεδομένων .....	16
1.1.5 Όργανα και μέθοδοι μετρήσεων.....	17
1.1.6 Δοκιμή καυσίμου .....	17
1.1.7 Δοκιμή πίεσης για λέβητες .....	17
1.1.8 Διεξαγωγή της δοκιμής απόδοσης του λέβητα .....	18
1.1.9 Διάρκεια δοκιμής.....	18
1.1.10 Προσδιορισμός της παραγόμενης θερμότητας και της απόδοσης του λέβητα.....	19
1.1.11 Προσδιορισμός της παραγωγής θερμότητας στο κύκλωμα του λέβητα.....	19
1.1.12 Καθορισμός της ονομαστικής θερμικής ισχύος .....	19
1.1.13 Προσδιορισμός των ορίων εκπομπής .....	20
1.1.14 Υπολογισμοί .....	20
<b>1.2 Θερμαντήρες οικιακών χώρων .....</b>	<b>21</b>
1.2.1 Περιβάλλον δοκιμής .....	21
1.2.1.1 Θερμοκρασία περιβάλλοντος .....	22
1.2.1.2 Διασταυρούμενο ρεύμα .....	22
1.2.1.3 Διάταξη δοκιμής .....	22
1.2.1.4 Τρίεδρο .....	24
1.2.1.5 Τομέας μέτρησης .....	25
1.2.1.6 Δειγματοληψία καυσαερίων.....	27
1.2.1.7 Σύνδεση της συσκευής στον τομέα μέτρησης.....	28
1.2.1.8 Κύκλωμα νερού για συσκευές με λέβητα .....	28
1.2.1.9 Εξοπλισμός λέβητα .....	30
1.2.2 Διαδικασίες δοκιμής .....	31

1.2.2.1 Εγκατάσταση συσκευής .....	31
1.2.2.2 Υπολογισμός φορτίου καυσίμου.....	31
1.2.2.3 Ανατροφοδότηση και απομάκρυνση τέφρας από την εστία .....	31
1.2.2.4 Απώλειες καυσαερίων.....	32
1.2.2.5 Ισχύς εξόδου του νερού θέρμανσης .....	32
1.2.2.6 Ανάφλεξη και περίοδος προδοκιμής.....	32
1.2.2.7 Περίοδος δοκιμής.....	32
1.2.3 Υπολογισμοί .....	33
<b>1.3 Εντιθέμενες συσκευές, περιλαμβανομένων ανοικτών εστιών .....</b>	<b>35</b>
1.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά .....	36
1.3.2 Ελκυσμός καπνοδόχου σε συσκευές με κλειστό φλογοθάλαμο .....	36
1.3.3 Ελκυσμός καπνοδόχου σε συσκευές με ανοιχτό φλογοθάλαμο.....	37
1.3.4 Κατηγορίες εκπομπής μονοξειδίου του άνθρακα για συσκευές με κλειστές θυρίδες.....	37
1.3.5 Απόδοση στην ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου .....	38
1.3.6 Ονομαστική θερμική ισχύς εξόδου .....	38
1.3.7 Εξοπλισμός μέτρησης.....	38
1.3.8 Δοκιμή θερμοκρασίας ασφαλείας για καύση ξύλου .....	39
1.3.9 Περίοδος δοκιμής.....	40
1.3.10 Λειτουργία με ανοιχτό φλογοθάλαμο.....	40
1.3.11 Υπολογισμοί .....	40
<b>1.4 Θερμαντήρες χώρου που λειτουργούν με στερεά καύσιμα .....</b>	<b>41</b>
1.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά .....	41
1.4.2 Υδραυλοί λέβητα.....	41
1.4.3 Φυσικός ελκυσμός .....	41
1.4.4 Εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα.....	42
1.4.5 Βαθμός απόδοσης στην ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου .....	42
1.4.6 Ελκυσμός καπνοσωλήνα .....	42
1.4.7 Θερμοκρασία περιβάλλοντος.....	42
1.4.8 Κύκλωμα νερού για συσκευές με λέβητα .....	43
1.4.9 Εξοπλισμός μέτρησης.....	43
1.4.10 Δοκιμή απόδοσης στην ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου.....	43
1.4.11 Κύρια περίοδος δοκιμής.....	44
1.4.12 Υδραυλοί λέβητα.....	44
<b>Κεφάλαιο 2: Μέτρηση της θερμογόνου δύναμης των pellet .....</b>	<b>44</b>
<b>2.1 Διαδικασία των μετρήσεων .....</b>	<b>45</b>
2.1.1. Ανώτερη – Κατώτερη θερμογόνος δύναμη καυσίμου.....	45
2.1.2 Τέλεια – Ατελής καύση.....	45
2.1.3 Αρχές θερμιδόμετρου.....	48
2.1.4 Λειτουργία θερμιδόμετρου .....	56
2.1.4.1 Προετοιμασία θερμιδόμετρου .....	56
2.1.4.2 Προετοιμασία οβίδας και Bucket .....	57
2.1.4.3 Καύση .....	58
2.1.4.4 Μετά την καύση .....	59
<b>2.2 Αποτελέσματα και σύγκριση αποτελεσμάτων .....</b>	<b>59</b>
<b>Κεφάλαιο 3: Τύποι λεβήτων και θερμαντήρων που μετρήθηκαν .....</b>	<b>61</b>

<b>3.1 Χαρακτηριστικά λεβήτων και θερμαντήρων .....</b>	<b>61</b>
<b>3.2 Αποτελέσματα μετρήσεων .....</b>	<b>62</b>
3.2.1 Αποδόσεις και τιμές καυσαερίων για κάθε μέτρηση .....	63
3.2.2 Προτεινόμενες προδιαγραφές για εκπομπές ρύπων από συσκευές καύσης βιομάζας και καύσης πετρελαίου.....	66
3.2.3 Σύγκριση αποδόσεων και τιμών εκπομπών καυσίμου στον λέβητα Pelletech25 .....	70
3.2.4 Σύγκριση αερόθερμης ξυλόσομπας με αερόθερμη σόμπα pellet.....	74
<b>Κεφάλαιο 4: Πρότυπο εργαστήριο βιομηχανικού ελέγχου .....</b>	<b>76</b>
<b>4.1 Εξοπλισμός και ανθρώπινο δυναμικό .....</b>	<b>76</b>
<b>4.2 Χώρος προτύπου εργαστηρίου .....</b>	<b>81</b>
4.2.1 Γενική σχεδίαση χώρων εργασίας .....	82
4.2.2 Κάτοψη του χώρου πρότυπου εργαστηρίου και εργονομικός σχεδιασμός .....	83
<b>4.3 Συντήρηση .....</b>	<b>85</b>
<b>4.4 Κόστος κατασκευής και συντήρησης.....</b>	<b>86</b>
4.4.1 Εξοπλισμός .....	86
4.4.2 Κόστος κατασκευής .....	87
4.4.3 Ανθρώπινο δυναμικό .....	88
<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>89</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>90</b>
<b>Παράρτημα: Τεχνικές Εκθέσεις.....</b>	<b>91</b>

## Ονοματολογία

- **Φλογοθάλαμος:** μέρος της συσκευής στο οποίο καίγεται το καύσιμο
- **Φλογοθυρίδα:** θυρίδα μέσω της οποίας είναι ορατή η φλόγα καύσης και μπορεί να ανοίγει ώστε να επιτρέπει την ανατροφοδότηση
- **Υπολείμματα:** τέφρα μαζί με καύσιμα υλικά που συλλέγονται στην τεφροδόχο
- **Βασική κλίνη καύσης:** ποσότητα πυρακτωμένης θράκας που διασφαλίζει την έναυση του καυσίμου δοκιμής με το οποίο τροφοδοτείται η συσκευή
- **Εσχάρα:** μέρος της συσκευής στη βάση του φλογοθαλάμου μέσω της οποίας τα υπολείμματα καταλήγουν στην τεφροδόχο και από την οποία ενδέχεται να περάσει αέρας καύσης ή και αέρια καύσης
- **Τεφροδόχος:** αποσπώμενη θήκη διαμορφωμένη για να δέχεται τα υπολείμματα που πέφτουν από την κλίνη καύσης
- **Βεντιλατέρ:** ανεμιστήρας που κατευθύνει τον αέρα με μεγαλύτερη ταχύτητα
- **Θερμίστορ:** θερμική αντίσταση για την μέτρηση της θερμοκρασίας
- **Θερμαντήρας χώρου:** συσκευή που διαθέτει πλήρως κλειστό φλογοθάλαμο με φλογοθυρίδα καύσης, η οποία κανονικά παραμένει κλειστή και κατανέμει θερμότητα μέσω ακτινοβολίας ή/και συναγωγή θερμότητας ενώ παρέχει ζεστό νερό όταν διαθέτει λέβητα
- **Εντιθέμενη συσκευή:** συσκευή με ή χωρίς θυρίδες σχεδιασμένη να εγκαθίσταται σε εσοχή ή σε περιβάλλουσα κατασκευή τζακιού, ή μέσα σε φλογοθάλαμο ανοικτής εστίας
- **Ελκυσμός καπνοσωλήνα:** διαφορά ανάμεσα στη στατική πίεση αέρα στο χώρο εγκατάστασης και στη στατική πίεση στο σημείο μέτρησης του καπνοσωλήνα
- **Πίεση δοκιμής τύπου:** πίεση στην οποία υπόκεινται όλοι οι υδραυλοί της συσκευής δοκιμής
- **Αεροκουρτίνα:** διάταξη στα ανοίγματα εισόδου και εξόδου που ελέγχει την ποσότητα του αέρα που προσάγεται στην καύση
- **Λέβητας:** δοχείο στο οποίο θερμαίνεται το νερό, προορίζεται για σύνδεση με μια συσκευή στερεών καυσίμων ή για να αποτελέσει αναπόσπαστο μέρος αυτής
- **Χοάνη καυσίμου:** χώρος αποθήκευσης καυσίμων ενσωματωμένος στην συσκευή από τον οποίο τροφοδοτείται ο φλογοθάλαμος με καύσιμο
- **Συνιστώμενο καύσιμο:** καύσιμο εμπορικής ποιότητας που δηλώνεται από τον κατασκευαστή
- **Υδραυλοί λέβητα:** λειτουργικά μέρη του λέβητα μέσα από τα οποία διέρχεται το νερό



## Συμβολισμοί

- **B**: μάζα του καυσίμου δοκιμής το οποίο καίγεται ανά ώρα
- **b**: καύσιμα συστατικά σε υλικό το οποίο περνά μέσα από εσχάρα και σε υπολείμματα που αναφέρονται σε μάζα υπολειπόμενου υλικού
- **C**: περιεκτικότητα άνθρακα καυσίμου δοκιμής (ως βάση καύσης)
- **CO<sub>2</sub>**: περιεκτικότητα διοξειδίου του άνθρακα των ξηρών καυσαερίων
- **CO**: περιεκτικότητα μονοξειδίου του άνθρακα των ξηρών καυσαερίων
- **C<sub>p</sub>**: ειδική θερμότητα του νερού
- **C<sub>r</sub>**: περιεκτικότητα άνθρακα του υπολείμματος που περνά μέσα από την εσχάρα, που αναφέρεται στην ποσότητα του φλεγόμενου καυσίμου δοκιμής
- **C<sub>pm,d</sub>**: ειδική θερμότητα ξηρών καυσαερίων σε πρότυπες συνθήκες, που εξαρτώνται από την θερμοκρασία και την σύσταση των αερίων
- **C<sub>pm,H<sub>2</sub>O</sub>**: ειδική θερμότητα του υδρατμού σε πρότυπες συνθήκες, ανάλογα με την θερμοκρασία
- **F**: μάζα του καυσίμου δοκιμής που καίγεται σε μία περίοδο δοκιμής δέκα ωρών, όμως χωρίς διόρθωση για καύσιμα συστατικά στα υπολείμματα
- **H**: περιεκτικότητα υδρογόνου του καυσίμου δοκιμής
- **H<sub>u</sub>**: κατώτερη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου δοκιμής
- **M<sub>w</sub>**: παροχή νερού
- **m**: παροχή μάζας καυσαερίων
- **N**: ανύψωση θερμοκρασίας του νερού του λέβητα
- **n**: απόδοση
- **P**: ολική θερμική ισχύς εξόδου
- **P<sub>SH</sub>**: θερμική ισχύς εξόδου χώρου
- **P<sub>w</sub>**: θερμική ισχύς εξόδου του νερού
- **Q<sub>a</sub>**: θερμικές απώλειες στα καυσαέρια, που αναφέρονται στην μονάδα μάζας του καυσίμου δοκιμής
- **Q<sub>b</sub>**: χημικές απώλειες θερμότητας στα καυσαέρια που αναφέρονται στην μονάδα μάζας του καυσίμου δοκιμής
- **Q<sub>r</sub>**: απώλειες θερμότητας μέσω καύσιμων συστατικών στο υπόλειμμα που περνούν από την εσχάρα, και αναφέρονται στην μονάδα μάζας του καυσίμου δοκιμής
- **q<sub>a</sub>**: αναλογία απωλειών μέσω ειδικής θερμότητας στα καυσαέρια Q<sub>a</sub>, που αναφέρονται στην θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής
- **q<sub>b</sub>**: αναλογία απωλειών μέσω λανθάνουσας θερμότητας στα καυσαέρια Q<sub>b</sub>, που αναφέρονται στην θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής
- **q<sub>r</sub>**: αναλογία απωλειών μέσω καύσιμων συστατικών στο υπόλειμμα που περνούν από την εσχάρα Q<sub>r</sub>, που αναφέρονται στην θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής
- **R**: υπόλειμμα που περνά από την εσχάρα, που αναφέρεται στην μάζα του καυσίμου δοκιμής
- **T<sub>b</sub>**: ελάχιστο διάστημα ανατροφοδότησης ή δηλωμένη διάρκεια από τον κατασκευαστή
- **t<sub>a</sub>**: θερμοκρασία καυσαερίων

- $t_r$ : θερμοκρασία δωματίου
- $V_{CO}$ : όγκος μονοξειδίου του άνθρακα
- $W$ : περιεκτικότητα υγρασίας του καυσίμου δοκιμής

## Εισαγωγή

Το πειραματικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας εκπονήθηκε στο εργοστάσιο παραγωγής λεβήτων της εταιρείας Σαμουκατσίδης Γεώργιος και ΣΙΑ Ο.Ε. και στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Ο στόχος της ήταν να καταγραφούν οι βαθμοί απόδοσης καθώς και οι τιμές εκπομπών αέριων ρύπων συγκεκριμένων συσκευών καύσης στερεών καυσίμων με σκοπό την σύγκριση τους και την ανάδειξη του καλύτερου συνδυασμού καυσίμου – συσκευής.

# Κεφάλαιο 1: Απαιτήσεις και προδιαγραφές λέβητων θέρμανσης

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται οι προδιαγραφές και οι κανονισμοί που απαιτούνται για λέβητες θέρμανσης για εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης, για θερμαντήρες οικιακών χώρων που λειτουργούν με ξύλινα πλινθία, για εντιθέμενες συσκευές περιλαμβανομένων ανοικτών εστιών και για θερμαντήρες χώρου που λειτουργούν με στερεά καύσιμα, όπως ορίζονται από τα Ευρωπαϊκά πρότυπα ΕΛΟΤ.

## 1.1 Λέβητες θέρμανσης για εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης

Οι λέβητες θέρμανσης με μέγιστη ονομαστική ισχύ 300 kW που έχουν σχεδιαστεί μόνο για την καύση στερεών καυσίμων και λειτουργούν σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή είτε με αρνητική πίεση είτε με θετική πίεση στο θάλαμο καύσης θα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές του προτύπου ΕΛΟΤ EN303.05. Τα στερεά καύσιμα σε αυτό το πρότυπο χωρίζονται σε:

- Βιογενή καύσιμα (απλό ξύλο, πριονισμένο ξύλο, μπριγκέτες, συμπιεσμένο ξύλο τύπου pellet, ροκανίδια)
- Ορυκτά καύσιμα (ασφαλτούχος άνθρακας, λιγνίτης, κοκ, ανθρακίτης)

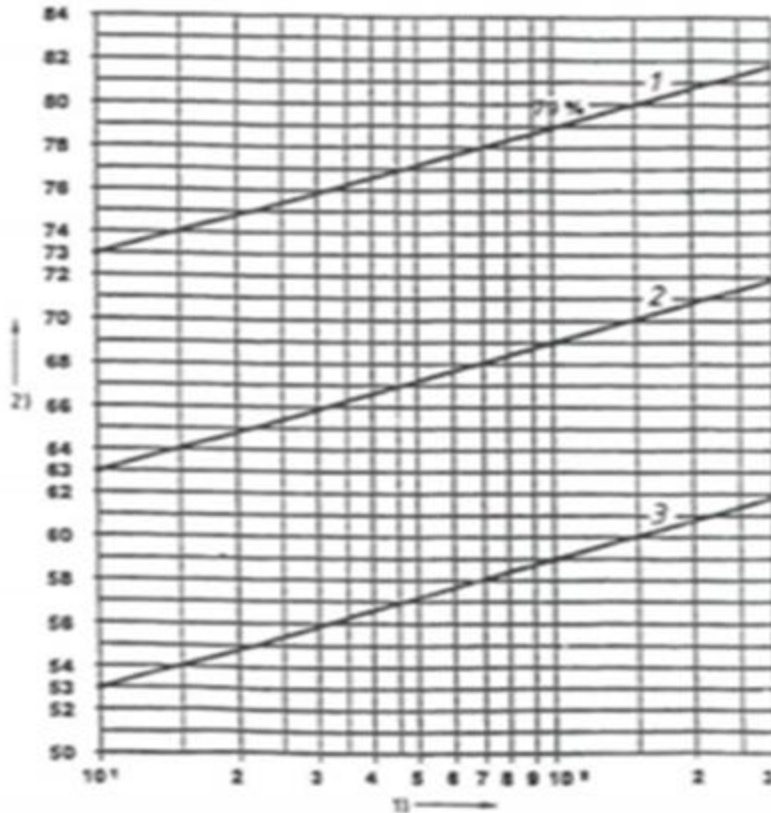
Οι κανονισμοί του προτύπου αυτού ισχύουν για λέβητες θέρμανσης που πρόκειται να δοκιμαστούν σε μία αποδεκτή βάση ελέγχου του λέβητα. Αυτοί οι λέβητες θέρμανσης έχουν σχεδιαστεί για εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης των οποίων το μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι το νερό, του οποίου η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας είναι 100°C και μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας τα 6 bar. Οι λέβητες μπορούν να λειτουργήσουν με φυσική ή εξαναγκασμένη κυκλοφορία και το γέμισμα μπορεί να είναι χειροκίνητο ή αυτόματο.

### 1.1.1 Προδιαγραφές ασφαλείας και σχεδιασμού

Τα μέρη του λέβητα θα πρέπει να είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε τα τμήματα που έρχονται σε επαφή με το νερό να είναι πλήρως αεριζόμενα και σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή να μην προκαλούνται θόρυβοι βρασμού. Ο σχεδιασμός του θαλάμου καύσης και της καπνοδόχου πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να μην είναι εφικτή καμία επικίνδυνη συσσώρευση εύφλεκτων αερίων.

### 1.1.2 Απαιτήσεις απόδοσης του λέβητα

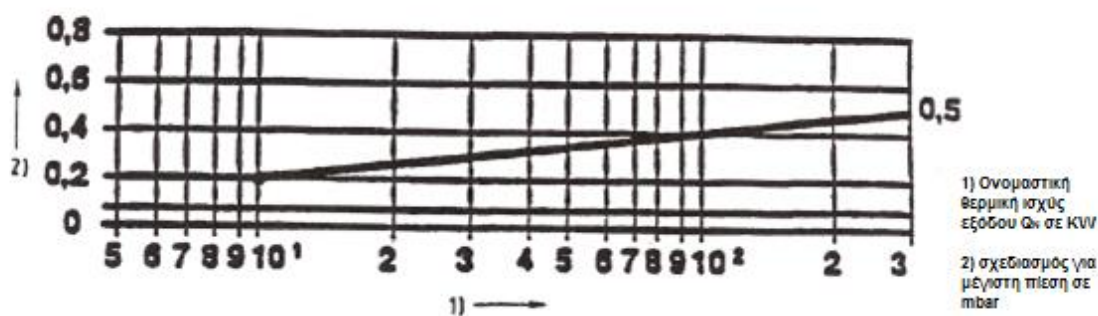
Οι απαιτήσεις για την απόδοση του λέβητα και των ορίων εκπομπών χωρίζονται σε τρεις κλάσεις. Για να πληρούνται αυτές οι απαιτήσεις δεν θα πρέπει να υπάρχει απόκλιση κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών με τους τύπους που δίνονται στο σχήμα 1.1. Η απόδοση του λέβητα δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από το αποτέλεσμα της αντίστοιχης εξίσωσης που δίνεται στο σχήμα 1.1, σύμφωνα με την ονομαστική θερμική ισχύ.



- 1) κλάση 3:  $n_k = 67 + 6 \log Q_N$
- 2) κλάση 2:  $n_k = 57 + 6 \log Q_N$
- 3) κλάση 1:  $n_k = 47 + 6 \log Q_N$

Σχήμα 1.1: Απόδοση του λέβητα [1]

Για λέβητες που λειτουργούν κάτω από 160 K πάνω από τη θερμοκρασία δωματίου στην ονομαστική θερμική ισχύ, ο κατασκευαστής προβαίνει σε συστάσεις σχετικά με την εγκατάσταση ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής σχεδιασμός, και αποφυγή της συμπύκνωσης και της απόθεσης αιθάλης στην καμινάδα. Οι τιμές που ορίζονται στο σχήμα 1.2 εφαρμόζονται ως ανώτατα όρια όσον αφορά τον ελκυσμό στην έξοδο του λέβητα, ως συνάρτηση της ωφέλιμης ισχύος. Μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν ως τιμές αναφοράς για την διαστασιολόγηση της καμινάδας. Σε περίπτωση υπέρβασης των ανώτατων ορίων συντάσσεται ειδική αναφορά με τεχνικές οδηγίες.



Σχήμα 1.2: Μέγιστα όρια τιμών ελκυσμού στην έξοδο του λέβητα, ως συνάρτηση της ωφέλιμης ισχύος [1]

Η περίοδος καύσης σε λέβητα που τροφοδοτείται χειροκίνητα, σε ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου, πρέπει να δηλώνεται από τον κατασκευαστή και πρέπει να είναι τουλάχιστον:

- Για βιογενές καύσιμο – δύο ώρες
- Για ορυκτά καύσιμα – τέσσερις ώρες

Για αυτόματη τροφοδότηση του λέβητα η περίοδος καύσης πρέπει να είναι τουλάχιστον έξι ώρες.

Η ελάχιστη παραγωγή θερμότητας δεν πρέπει να υπερβαίνει το 30% της ονομαστικής θερμικής ισχύος. Για λέβητες θέρμανσης με χειροκίνητο μηχανισμό, η ελάχιστη παραγωγή θερμότητας μπορεί να είναι η μεγαλύτερη. Αν αυτό ισχύει, τότε ο κατασκευαστής προσδιορίζει στην τεχνική αναφορά με ποιο τρόπο αυτή η ποσότητα της παραγόμενης θερμότητας διαχέεται. Η θερμότητα μπορεί να παρέχεται για παράδειγμα από μία δεξαμενή συσσώρευσης. Ισχύουν τα ακόλουθα ως σημείο αναφοράς για την ελάχιστη περιεκτικότητα του λέβητα σε νερό:

$$V_{sp} = 15 T_B \times Q_n (1 - 0.3 Q_n / Q_{min}) \quad [1.1]$$

Όπου:

$V_{sp}$ : η χωρητικότητα της δεξαμενή συσσώρευσης (lt)

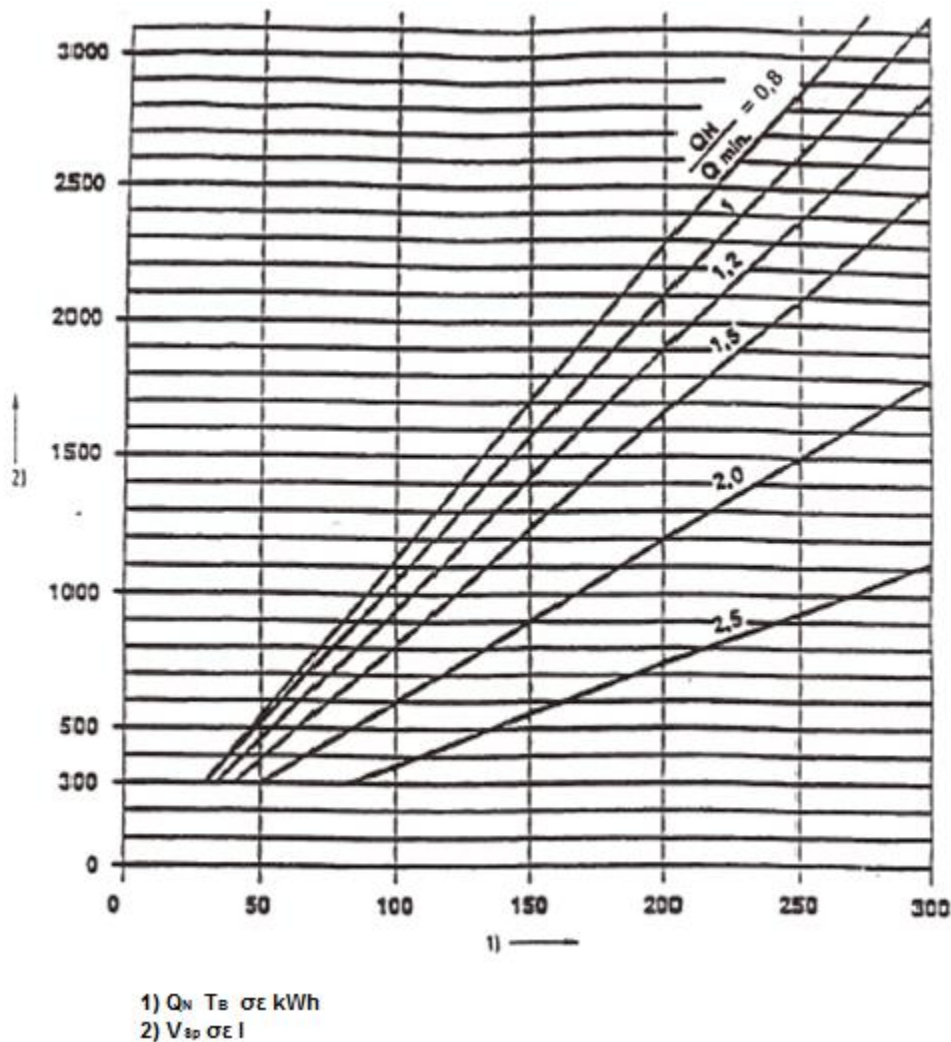
$Q_n$ : η ονομαστική θερμική ισχύς εξόδου (kW)

$T_B$ : η περίοδος καύσης (h)

$Q_{min}$ : η ελάχιστη θερμική ισχύς εξόδου (kW)

Οι λέβητες θέρμανσης που χρησιμοποιούν διάφορα επιτρεπόμενα καύσιμα πρέπει να έχουν το μέγεθος της δεξαμενής με βάση το καύσιμο που απαιτεί τη μεγαλύτερη

δεξαμενή συσσώρευσης. Η δεξαμενή συσσώρευσης δεν είναι απαραίτητη όταν η απαιτούμενη ποσότητα είναι μικρότερη από 300 λίτρα. Το σχήμα 1.3 δείχνει το απαιτούμενο μέγεθος της δεξαμενής συσσώρευσης σύμφωνα με τον τύπο 1.1.



Σχήμα 1.3: Μέγεθος της δεξαμενής συσσώρευσης για χειροκίνητη τροφοδότηση λεβήτων [1]

### 1.1.3 Όρια εκπομπών

Κατά τη διάρκεια της καύσης οι εκπομπές θα πρέπει να είναι χαμηλές. Η απαίτηση αυτή πληρείται εφόσον οι τιμές εκπομπών που δίνονται στον πίνακα 1.1 δεν ξεπερνιούνται όταν λειτουργεί στην ονομαστική θερμική ισχύ. Οι απαιτήσεις για τα όρια εκπομπής σκόνης στην ελάχιστη παραγωγή θερμότητας πρέπει να πληρούνται όταν οι απαιτήσεις ικανοποιούνται στην ονομαστική θερμική ισχύ.

Τροφοδοσία καυσίμου	Καύσιμο	Ισχύς (kW)	Όρια εκπομπών								
			CO (mg/m <sup>3</sup> , 10% O <sub>2</sub> )			OGC (mg/m <sup>3</sup> , 10% O <sub>2</sub> )			Σωματίδια (mg/m <sup>3</sup> , 10% O <sub>2</sub> )		
			Κλάση 1	Κλάση 2	Κλάση 3	Κλάση 1	Κλάση 2	Κλάση 3	Κλάση 1	Κλάση 2	Κλάση 3
Χειροκίνητη	Βιομάζα	<50	25000	8000	5000	2000	300	150	200	180	150
		50-150	12500	5000	2500	1500	200	100	200	180	150
		150-300	12500	2000	1200	1500	200	100	200	180	150
	Ορυκτό	<50	25000	8000	5000	2000	300	150	180	150	125
		50-150	12500	5000	2500	1500	200	100	180	150	125
		150-300	12500	2000	1200	1500	200	100	180	150	125
Αυτόματη	Βιομάζα	<50	15000	5000	3000	1750	200	100	200	180	150
		50-150	12500	4500	2500	1250	150	80	200	180	150
		150-300	12500	2000	1200	1250	150	80	200	180	150
	Ορυκτό	<50	15000	5000	3000	1750	200	100	180	150	125
		50-150	12500	4500	2500	1250	150	80	180	150	125
		150-300	12500	2000	1200	1250	150	80	180	150	125

Πίνακας 1.1: Όρια εκπομπών [1]

Όσον αφορά στις θερμοκρασίες επιφάνειας, η μέση θερμοκρασία των θυρών του λέβητα δεν πρέπει να υπερβαίνει τη θερμοκρασία δωματίου πάνω από 100 K . Η θερμοκρασία της επιφάνειας στο εξωτερικό του πυθμένα του λέβητα δεν πρέπει να υπερβαίνει τη θερμοκρασία δωματίου πάνω από 65 K . Όταν ο κατασκευαστής δηλώνει ότι ο λέβητας πρέπει να εγκατασταθεί σε μία άκαυστη βάση τότε η δοκιμή δεν εφαρμόζεται. Μία εναλλακτική μέθοδος είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας κάτω από τον λέβητα να μην υπερβαίνει τους 80 °C σε οποιοδήποτε σημείο. Η επιφανειακή θερμοκρασία των μοχλών και όλων των τμημάτων που έρχονται σε επαφή με το χέρι κατά τη λειτουργία του λέβητα δεν πρέπει να υπερβαίνει τη θερμοκρασία του δωματίου κατά περισσότερο από τις ακόλουθες τιμές:

- 35 K για τα μέταλλα και παρόμοια υλικά
- 45 K για πορσελάνη και παρόμοια υλικά
- 60 K για πλαστικά και παρόμοια υλικά

#### 1.1.4 Βάση δοκιμών

Πριν την έναρξη της παραγωγής, οι λέβητες πρέπει να υποβληθούν σε δοκιμή αξιολόγησης, καύσης και ηλεκτρονικών δοκιμών. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών η κατασκευή και οι δοκιμές πίεσης του νερού θα πρέπει να εκτελούνται. Ο κατασκευαστής πρέπει να διασφαλίσει ότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται και οι συγκολλήσεις είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις του συστήματος ποιοτικού ελέγχου και ότι τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις αυτές. Όλοι οι λέβητες και τα τμήματά τους πρέπει να υπόκεινται σε υδραυλική ή αερόφρενη δοκιμή πίεσης. Καμία



διαρροή δεν πρέπει να προκύπτει.

Η κατάσταση και ο εξοπλισμός του λέβητα για να ελεγχθεί, θα πρέπει να είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Η χρήση πρόσθετης θερμομόνωσης σε μέρη που έρχονται σε επαφή με το νερό, με τα προϊόντα της καύσης και της φωτιάς δεν επιτρέπεται. Κατά τον προσδιορισμό της θερμικής ισχύος εξόδου του λέβητα, που είναι συνδεδεμένος με έναν θερμαντήρα νερού, το ζεστό νερό θα πρέπει να απομακρύνεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Η θερμική ισχύς καθορίζεται μόνο από το κύκλωμα θέρμανσης.

Για λέβητες μιας σειράς προϊόντων που έχουν την ίδια κατασκευαστική σχεδίαση αρκεί μόνο να ελεγχθούν ο μικρότερος και ο μεγαλύτερος λέβητας, εφόσον ο λόγος της ονομαστικής θερμικής ισχύος του μικρότερου προς του μεγαλύτερου λέβητα είναι μικρότερος ή ίσος με 2:1. Αν, ωστόσο, για το ίδιο εύρος προϊόντων η αναλογία είναι μεγαλύτερη από 2:1, τότε θα πρέπει να ελέγχονται περισσότερα ενδιάμεσα μεγέθη λεβήτων ώστε να μην υπερβαίνεται η αναλογία 2:1.

### **1.1.5 Όργανα και μέθοδοι μετρήσεων**

Οι ανοχές για τον εξοπλισμό των δοκιμών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Όσον αφορά τη μέτρηση της πίεσης, αν οι τιμές φτάνουν μέχρι 0.6 mbar, το παραδεκτό σφάλμα είναι 0.01 mbar. Για υψηλότερες τιμές, το σφάλμα είναι ίσο με το 2% της τιμής που μετρήθηκε. Τα όργανα μέτρησης της ροής του όγκου θα πρέπει να ελέγχονται πριν τη δοκιμή με ζύγιση της ροής της μάζας. Το σφάλμα στο κατάλληλο εύρος μέτρησης δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0.5% της ροής του όγκου. Ένα χρονόμετρο βαθμονομημένο στα 0.01 λεπτά πρέπει να χρησιμοποιηθεί στη μέτρηση ροής ως στοιχείο χρόνου. Τα όργανα μέτρησης θα πρέπει να επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπερβαίνονται τα όρια σφάλματος των παρακάτω:

- Απόδοση:  $\pm 3\%$  μονάδες
- CO, OGC και σκόνη :  $\pm 5\%$  του ορίου εκπομπής

Η περιεκτικότητα σε σκόνη πρέπει να προσδιορίζεται με μία σταθμική ή ηλεκτροστατική μέθοδο. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα μέτρησης τα όργανα θα πρέπει να βρίσκονται σε όσο το δυνατόν σταθερή θερμοκρασία και θα πρέπει να είναι σε λειτουργία για κάποιο χρονικό διάστημα πριν την έναρξη των δοκιμών.

### **1.1.6 Δοκιμή καυσίμου**

Καύσιμα εμπορικής ποιότητας χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή σε λέβητες θέρμανσης και δηλώνονται τα χαρακτηριστικά του τύπου του καυσίμου από τον κατασκευαστή. Για τους σκοπούς των δοκιμών τα καύσιμα μπορεί να είναι οξιά, βελανιδιά, σημύδα ή έλατο. Η περιεκτικότητα σε νερό και η θερμιδική αξία του καυσίμου πρέπει να ληφθούν υπόψη. Οι άλλες αναγκαίες παράμετροι καύσης μπορούν να υπολογιστούν από τη χημική σύσταση του καυσίμου.

### **1.1.7 Δοκιμή πίεσης για λέβητες**

Ο τύπος της πίεσης δοκιμής είναι  $2 \times P_1$  χρησιμοποιώντας υδραυλική πίεση ( $P_1$  είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας). Η διάρκεια της δοκιμής πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 λεπτά και αν είναι να εφαρμόζεται σε μία σειρά λεβήτων έτσι ώστε η

δοκιμή να πραγματοποιείται τουλάχιστον σε 3 μεγέθη λέβητα (μικρού, μεσαίου και μεγαλύτερου μεγέθους). Καμία διαρροή ή μόνιμη παραμόρφωση δεν πρέπει να συμβεί κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Μια καταγραφή πρέπει να γίνεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής δίνοντας την ακριβή περιγραφή του λέβητα, την πίεση δοκιμής σε bar, τον τόπο και την ημερομηνία καθώς και να υπογράφεται από έναν υπεύθυνο και ένα μάρτυρα.

Η πίεση δοκιμής κατά τη διάρκεια της παραγωγής θα πρέπει να είναι το  $1.3 \times P_1$ , με ελάχιστη τιμή τα 4 bar.

### **1.1.8 Διεξαγωγή της δοκιμής απόδοσης του λέβητα**

Για να καθοριστεί η παραγωγή θερμότητας, η απόδοση του λέβητα, η περίοδος καύσης, η σύσταση των καυσαερίων, η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων και οι τιμές των εκπομπών πρέπει ο λέβητας να λειτουργεί σε όλες τις δοκιμές κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Για να προσδιοριστεί η ονομαστική θερμική ισχύς, ο λέβητας θα πρέπει να λειτουργεί όσο το δυνατόν συνεχόμενα (ύπαρξη θερμοστάτη). Η ελάχιστη θερμική ισχύς μπορεί να ρυθμιστεί χειροκίνητα ή αυτόματα από μία συσκευή ελέγχου. Ο λέβητας πρέπει να φτάσει σε θερμοκρασία λειτουργίας πριν την έναρξη των μετρήσεων. Η συσκευή πρέπει να λειτουργεί σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσης του κατασκευαστή κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος θα πρέπει να είναι μεταξύ 15 °C και 30 °C. Στους χειροκίνητους λέβητες χρειάζονται 5 με 10 λεπτά για να δημιουργηθεί μία βασική κλίνη καύσης, η οποία βοηθάει στην ανατροφοδότηση της φλόγας. Αυτή η κλίνη καύσης είναι μέρος της λειτουργίας και χαρακτηρίζεται ως ανατροφοδότηση και δεν πρέπει να θεωρείται ως χειροκίνητη παρέμβαση. Άμεση μέτρηση γίνεται στην περιεκτικότητα του νερού του καυσίμου, στη μάζα του καυσίμου που προστέθηκε και στις επιφανειακές θερμοκρασίες. Ενώ συνεχής πρέπει να είναι η μέτρηση της θερμικής ισχύος, της θερμοκρασίας προσαγωγής και επιστροφής του νερού καθώς και του εισερχόμενου κρύου νερού, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και καυσαερίων, την περιεκτικότητα σε οξυγόνο, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα καθώς και της σκόνης και των οργανικά αέριων ουσιών OGC. Επιπλέον, το άζωτο πρέπει να καθορίζεται από το καύσιμο δοκιμής. NO και NO<sub>2</sub> μετρώνται και το αποτέλεσμα παρουσιάζεται ως NO<sub>2</sub>. Οι εκπομπές σε μορφή σκόνης και οξειδίων του αζώτου προσδιορίζονται στην ονομαστική θερμική ισχύ μόνο. Τα χρονικά διαστήματα στα οποία γίνονται οι μετρήσεις πρέπει να επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι διακυμάνσεις των τιμών που μετρώνται να καταγράφονται με επαρκή ακρίβεια. Η μέση τιμή των καταγεγραμμένων τιμών ορίζεται ως η τιμή των μετρήσεων.

### **1.1.9 Διάρκεια δοκιμής**

Ο λέβητας θέρμανσης με χειροκίνητη πυροδότηση, πριν την έναρξη δοκιμής, πρέπει να λειτουργήσει σε κανονικές συνθήκες, χρησιμοποιώντας ένα πλήρες φορτίο καυσίμου (μέχρι το μέγιστο ύψος πλήρωσης). Η διάρκεια της αρχικής περιόδου πρέπει να είναι επαρκής ώστε να εξασφαλίζεται το αναγκαίο στρώμα φλόγας. Η περίοδος δοκιμής αρχίζει όταν το βασικό στρώμα φλόγας είτε κρίνεται οπτικά ότι έχει επιτευχθεί ή εάν χρησιμοποιείται μια κλίμακα πλατφόρμας, όταν η μάζα της βασικής κλίνης καύσης αναγράφεται στην κλίμακα. Η δοκιμή αρχίζει αμέσως μετά την τοποθέτηση του καυσίμου στη βασική κλίνη καύσης. Ο χρόνος της δοκιμής αρχίζει να τρέχει από τη στιγμή που το καύσιμο βρίσκεται πάνω σε αυτό μέχρι την επόμενη τροφοδότηση. Η επανατροφοδότηση και η πυροδότηση περιλαμβάνονται στον χρόνο δοκιμής.

Από την άλλη, ο λέβητας θέρμανσης με αυτόματη πυροδότηση, πριν από την έναρξη της δοκιμής φτάνει σε θερμοκρασία λειτουργίας χρησιμοποιώντας την κατάλληλη ποσότητα του καυσίμου. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η βασική κλίνη καύσης να υπάρχει. Η διάρκεια της δοκιμής στην ονομαστική και στην ελάχιστη θερμική ισχύ πρέπει να είναι τουλάχιστον 6 ώρες.

#### **1.1.10 Προσδιορισμός της παραγόμενης θερμότητας και της απόδοσης του λέβητα**

Πρέπει να μετρηθεί η ποσότητα της χρήσιμης θερμότητας που μεταφέρεται στον φορέα θερμότητας (νερό). Αυτή μπορεί να προσδιοριστεί απευθείας στο κύκλωμα του λέβητα ή εμμέσως μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Όταν ελέγχονται χειροκίνητα πυροδοτούμενοι λέβητες με θερμική ισχύ μεγαλύτερη από 30% της ονομαστικής θερμικής ισχύος της διάταξης δοκιμής, τότε πρέπει να ελέγχονται σύμφωνα με την παραγόμενη θερμική ισχύ του λέβητα.

#### **1.1.11 Προσδιορισμός της παραγωγής θερμότητας στο κύκλωμα του λέβητα**

Η παραγωγή της χρήσιμης θερμότητας που μεταδίδεται στο νερό προσδιορίζεται είτε με μέτρηση της μάζας της ροής του κρύου νερού που εισέρχονται στο κύκλωμα και την άνοδο της θερμοκρασίας με την θερμοκρασία εξόδου ή με μέτρηση της ροής του νερού που κυκλοφορεί στο κύκλωμα του λέβητα και την άνοδο της θερμοκρασίας του. Όταν υπάρχει εναλλάκτης θερμότητας στο κύκλωμα τότε η θερμότητα που παράγεται από το λέβητα μεταφέρεται στο ψυκτικό νερό μέσω του εναλλάκτη. Η θερμότητα που λαμβάνεται από τον εναλλάκτη υπολογίζεται από την διακίνηση και την άνοδο της θερμοκρασίας του νερού ψύξης. Οι απώλειες θερμότητας από τις καλά μονωμένες συνδέσεις μεταξύ του λέβητα και του εναλλάκτη θερμότητας και εκείνων του εναλλάκτη θερμότητας καθορίζονται είτε με προκαταρκτικές δοκιμές ή με υπολογισμό. Η θερμική ισχύς του λέβητα πρέπει να υπολογίζεται ως το άθροισμα των δύο ποσών θερμότητας.

#### **1.1.12 Καθορισμός της ονομαστικής θερμικής ισχύος**

Η παραγωγή θερμότητας που καθορίζεται από τον κατασκευαστή πρέπει να προσδιοριστεί εντός  $\pm 8\%$  κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Η ονομαστική θερμική ισχύς που έχει δηλωθεί από τον κατασκευαστή πρέπει να επιτευχθεί σε τουλάχιστον μία από τις περιόδους καύσης. Αν δεν συμβεί αυτό, η ονομαστική θερμική ισχύς θα πρέπει να τροποποιηθεί. Κατά τη διάρκεια δοκιμών στην ονομαστική θερμική ισχύ, η μέση τιμή της θερμοκρασίας προσαγωγής πρέπει να είναι μεταξύ 70 °C και 90 °C. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής, η μέση διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ προσαγωγής και επιστροφής πρέπει να είναι μεταξύ 10 K και 25 K. Η άνοδος της θερμοκρασίας υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο 1.2 και δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 40 K.

[1.2]

t<sub>v</sub>: θερμοκρασία προσαγωγής (°C)

$t_r$ : θερμοκρασία επιστροφής (°C)

$t_i$ : θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)

Η ελάχιστη θερμική ισχύς υπολογίζεται ως το κατώτερο όριο της ισχύος εξόδου όπως αυτό δίνεται από τον κατασκευαστή. Η θερμοκρασία που προσάγεται στο νερό πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη. Η ελάχιστη θερμική ισχύς εξόδου πρέπει να ελέγχεται πριν την έναρξη της δοκιμής.

Ότι αφορά στην απόδοση του λέβητα, ο προσδιορισμός της γίνεται με βάση τη καθαρή θερμογόνο δύναμη του καυσίμου. Αυτός ο προσδιορισμός χαρακτηρίζεται ως άμεση μέθοδος και προτιμάται έναντι της έμμεσης μεθόδου. Η έμμεση μέθοδος επιτρέπει έναν επιπλέον έλεγχο ακρίβειας των δοκιμών μέσω ενός θερμικού ισοζυγίου.

### 1.1.13 Προσδιορισμός των ορίων εκπομπής

Για λέβητες με χειροκίνητη τροφοδότηση η μέτρηση στην ονομαστική θερμική ισχύ καλύπτεται από δύο διαδοχικές περιόδους καύσης. Η επανατροφοδότηση περιλαμβάνεται στα αποτελέσματα των δοκιμών. Οι μέσες τιμές των περιεκτικοτήτων CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, OGC και NO<sub>x</sub> λαμβάνονται καθ' όλη τη διάρκεια των δοκιμών.

### 1.1.14 Υπολογισμοί

Η παραγόμενη θερμική ισχύς του λέβητα είναι η μέση τιμή της παραγωγής που καταγράφεται κατά την διάρκεια της περιόδου δοκιμής. Ο υπολογισμός αυτής της τιμής για διάταξη δοκιμής χωρίς εναλλάκτη θερμότητας γίνεται σύμφωνα με τον τύπο 1.3, ενώ για διάταξη δοκιμής με εναλλάκτη θερμότητας σύμφωνα με τον τύπο 1.4.

$$Q_N = W_1 \cdot c_{w1} \cdot (t_V - t_E) \quad [W] \quad [1.3]$$

Όπου,

$W_1$ : η ροή μάζας του κρύου νερού που εισέρχεται στο σύστημα και του ζεστού νερού που εξέρχεται από αυτό [kg/s]

$c_{w1}$ : η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού στην θερμοκρασία  $(t_R + t_E)/2$  [J/kg · K]

$t_E$ : η θερμοκρασία του εισερχόμενου κρύου νερού [°C]

$t_V$ : η θερμοκρασία του εξερχόμενου νερού [°C]

$$Q_N = W_2 \cdot c_{w2} \cdot (t_A - t_E) + Q_V \quad [W] \quad [1.4]$$

Όπου,

$W_2$ : η παροχή μάζας του κρύου νερού [kg/s]

$c_{w2}$ : η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού στην θερμοκρασία  $(t_A + t_E)/2$  [J/kg · K]

$t_A$ : η θερμοκρασία εξόδου του κρύου νερού [°C]

$Q_V$ : η απώλεια θερμότητας από την διάταξη δοκιμής [W]

Η προσδιδόμενη θερμική ισχύς υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο 1.5.

$$Q_B = B \cdot H_u \quad [W] \quad [1.5]$$

Όπου,

$B$ : η ποσότητα του καυσίμου [kg/s]

$H_u$ : η θερμογόνο δύναμη του καυσίμου [J/kg]

Η απόδοση του λέβητα μπορεί να υπολογιστεί με δύο μεθόδους. Στην άμεση μέθοδο η απόδοση προσδιορίζεται από τον τύπο 1.6 και στην έμμεση μέθοδο από τον τύπο 1.7.

$$\eta_k = \frac{Q}{Q_B} \quad [1.6]$$

Όπου,

Q: η παραγόμενη θερμική ισχύς [W]

Q<sub>B</sub>: η προσδιδόμενη θερμική ισχύς [W]

$$\eta_k = 1 - q_A - q_U - q_S - q_B \quad [\%] \quad [1.7]$$

Όπου,

q<sub>A</sub>: οι απώλειες λόγω θερμότητας των καυσαερίων

q<sub>U</sub>: οι απώλειες λόγω ατελούς καύσης

q<sub>S</sub>: οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας

q<sub>B</sub>: οι απώλειες λόγω άκαυστου καυσίμου στην στάχτη

Η ταχύτητα του καυσαερίου στο σημείο μέτρησης χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τις εκπομπές σκόνης και υπολογίζεται από τον όγκο του αερίου καύσης, λαμβάνοντας υπόψη την πίεση και την θερμοκρασία.

Για τον υπολογισμό της μέσης τιμής των εκπομπών του CO<sub>2</sub> και αντίστοιχα των O<sub>2</sub>, CO, OGC, και NO<sub>x</sub>, οι μετρούμενες συγκεντρώσεις πρέπει να σταθμίζονται στον όγκο του καυσαερίου.

Αποδεκτή προσέγγιση για τον υπολογισμό της μέσης τιμής είναι ο υπολογισμός της μέσης τιμής της περιόδου, ανεξάρτητα από την ροή όγκου του καυσαερίου.

Οι καταγεγραμμένες μέσες τιμές χρησιμοποιούνται για να σχηματίσουν τη μέση τιμή για όλη την περίοδο δοκιμής.

Η μέση τιμή σε μέρη όγκου (ppm) πρέπει να υπολογιστεί σε τιμές μάζας (mg). Για την μετατροπή από ppm σε mg πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα εξής:

$$f_{CO} = 1.25$$

$$f_{OGC} = 1.64$$

$$f_{NO_2} = 2.05$$

Όλες οι προσδιοριζόμενες εκπομπές υπολογίζονται σε ξηρή βάση καυσαερίου ανηγμένες σε 10 % οξυγόνο και σε κανονικές συνθήκες (mg/m<sup>3</sup>) στους 0 °C και 1013 mbar.

Η μέση θερμοκρασία επιφάνειας πρέπει να μετράται στην ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου. Γι' αυτό πρέπει να μετρώνται σε κάθε λέβητα τουλάχιστον 5 σημεία επιφάνειας. Κάτω από τις ίδιες συνθήκες πρέπει να μετρώνται οι κρίσιμες θερμοκρασίες (π.χ. οι πόρτες του λέβητα και οι μοχλοί λειτουργίας)

## 1.2 Θερμαντήρες οικιακών χώρων

Οι θερμαντήρες οικιακών χώρων με μέγιστη ονομαστική ισχύ 50 KW που έχουν αυτόματη τροφοδότηση καυσίμου και ως καύσιμο χρησιμοποιούν pellet ξύλου θα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές του προτύπου ΕΛΟΤ 14785.

### 1.2.1 Περιβάλλον δοκιμής

### 1.2.1.1 Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος του εργαστηρίου δοκιμής πρέπει να μετρηθεί σε απόσταση ίση από κάθε πλευρά της συσκευής που αναπαριστάται από ένα σημείο που βρίσκεται σε περιφέρεια ενός κύκλου με ακτίνα  $(1.2 \pm 0,1)$  m, σχεδιασμένο στο μέσο της πλευράς της συσκευής, σε ύψος  $(0.50 \pm 0.01)$  m πάνω από την κλίμακα της πλατφόρμας και μακριά από την άμεση ακτινοβολία.

Για μέτρηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα

μία  
με  
με  
γυαλι  
και 150 mm. η  
ας. 40 mm

### 1.2.1.2 Διασταυρούμενο ρεύμα

Το διασταυρούμενο ρεύμα πλησίον της συσκευής δοκιμής και του περιβάλλοντος της δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 0.5 m/s. Ότι αφορά στις εξωτερικές πηγές, η διάταξη δοκιμής πρέπει να προστατεύεται από την άμεση επίδραση άλλων πηγών θερμότητας, π.χ. κοντινές διατάξεις δοκιμής και το ηλιακό φως.

### 1.2.1.3 Διάταξη δοκιμής

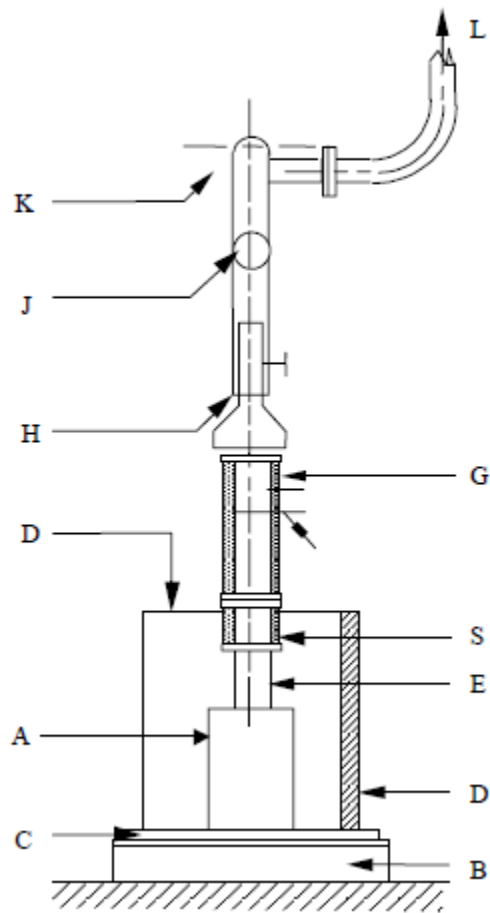
Η διάταξη δοκιμής πρέπει να περιέχει τη συσκευή δοκιμής εγκατεστημένη σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή σε ένα τρίεδρο, στερεωμένο σε μια πλατφόρμα η οποία διευκολύνει να μετρηθεί η κατανάλωση καυσίμου έτσι ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις ακριβείας.

Η συσκευή θα πρέπει να εγκατασταθεί είτε απευθείας στο τρίεδρο σε περίπτωση ελεύθερα ισταμένης συσκευής, η σε διαμόρφωση που προσομοιώνει την προδιαγραφόμενη κατασκευή από τον κατασκευαστή σε περίπτωση εντιθέμενων συσκευών.

Η συσκευή πρέπει να τοποθετηθεί έτσι ώστε οι πλευρές που κοιτούν τα τοιχώματα του τριεδρού να βρίσκονται στην ελάχιστη απόσταση από το καύσιμο υλικό που δηλώνεται από τον κατασκευαστή.

Το στόμιο - υποδοχή καυσαερίων της συσκευής πρέπει να συνδέεται μέσω ενός μη μονωμένου συνδέσμου καυσαερίων και ενός μονωμένου μετασχηματιστή καυσαερίων στην περιοχή μέτρησης.

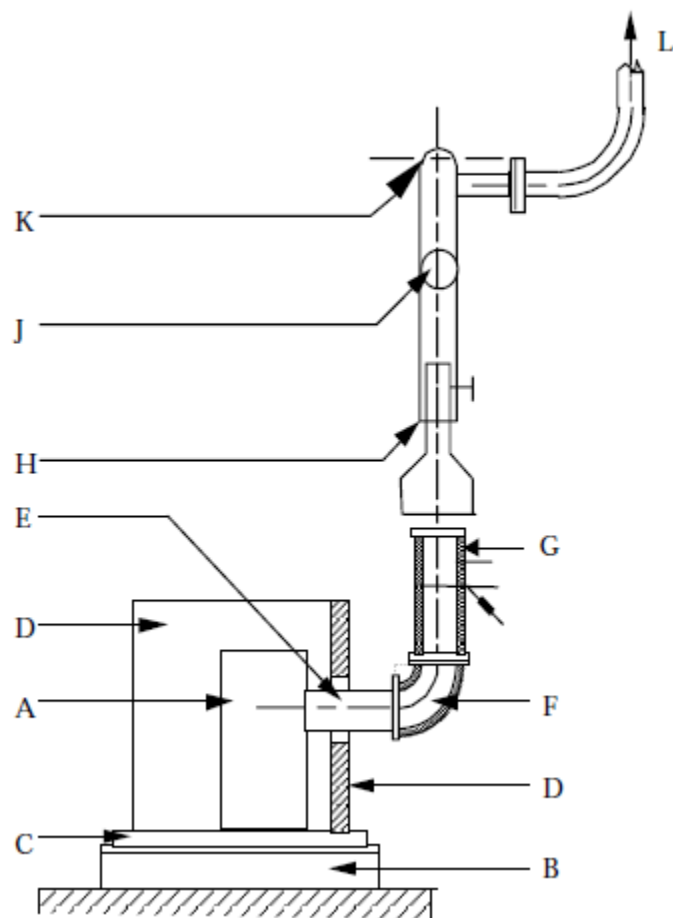
Τα καυσαέρια πρέπει να ληφθούν από το πάνω μέρος του τομέα μέτρησης και πρέπει να παρασχεθούν μέσα ρύθμισης για να διευκολύνουν μια σταθερή πίεση ελκυσμού καπνοδόχου (π.χ. με έναν ανεμιστήρα απορροής). Παραδείγματα τυπικών εγκαταστάσεων δίνονται στα Σχήματα 1.4 και 1.5



Σχήμα 1.4: Παράδειγμα εγκατάστασης μιας συσκευής με κατακόρυφη έξοδο καυσαερίων [2]

Όπου,

- A Συσκευή
- B Κλίμακα πλατφόρμας
- C Εστία δοκιμής τριέδρου
- D Πλευρικά τοιχώματα τριέδρου
- E Σύνδεσμος καυσαερίων
- G Τομέας μέτρησης
- H Ρυθμιζόμενη συγκέντρωση
- J Ρυθμιζόμενος αποσβεστήρας
- K Ανεμιστήρας
- L Εξαγωγή στην ατμόσφαιρα
- S Προσαρμοστήρας καυσαερίων - ευθύγραμμος



Σχήμα 1.5: Παράδειγμα εγκατάστασης μιας συσκευής με οριζόντια έξοδο καυσαερίων [2]

Όπου,

- A Συσκευή
- B Κλίμακα πλατφόρμας
- C Εστία δοκιμής τρίεδρου
- D Πλευρικά τοιχώματα τρίεδρου
- E Σύνδεσμος καυσαερίων
- F Προσαρμοστήρας καυσαερίων - γωνιακός
- G Τομέας μέτρησης
- H Ρυθμιζόμενη συγκέντρωση
- J Ρυθμιζόμενος αποσβεστήρας
- K Ανεμιστήρας
- L Εξαγωγή στην ατμόσφαιρα

#### 1.2.1.4 Τρίεδρο

Το τρίεδρο πρέπει να αποτελείται από μία εστία δοκιμής, ένα πλευρικό τοίχωμα και ένα πίσω τοίχωμα, το κάθε ένα να σχηματίζει ορθή γωνία με το άλλο. Για τις συσκευές που



είναι απαραίτητο να μετρηθεί η θερμοκρασία της οροφής, τότε μία οροφή πρέπει να ενσωματωθεί στην διάταξη σύμφωνα με τις οδηγίες εγκατάστασης του κατασκευαστή.

Το τριέδρου πρέπει να εκτείνεται εκτός των εξωτερικών διαστάσεων της συσκευής τουλάχιστον κατά 150 mm και κατακόρυφα τουλάχιστον κατά 300 mm πάνω από την πιο ψήλη επιφάνεια της συσκευής.

Για συσκευές με οριζόντια έξοδο, το πίσω τοίχωμα πρέπει να έχει ένα άνοιγμα μέσω του οποίου μπορεί να περνά ο σύνδεσμος των καυσαερίων, με διάκενο ( $150 \pm 5$ ) mm γύρω από το σύνδεσμο.

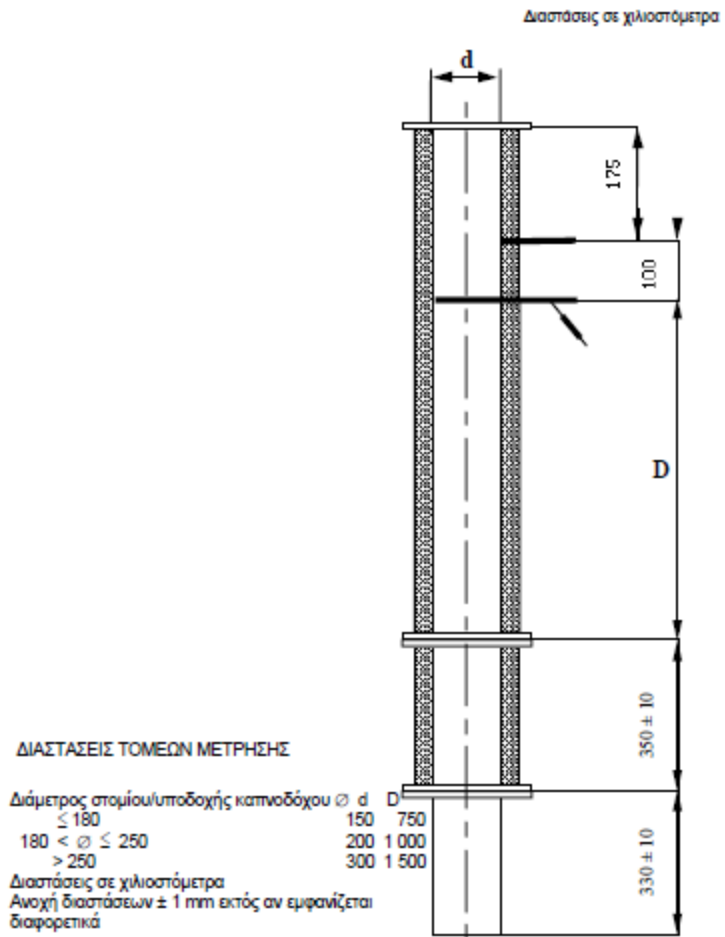
Οι μέγιστες θερμοκρασίες επιφάνειας της εστίας του τριέδρου και των τοιχωμάτων πρέπει να προσδιοριστούν. Αυτές οι θερμοκρασίες πρέπει να μετρηθούν χρησιμοποιώντας βαθμονομημένο εξοπλισμό που πληροί τις απαιτήσεις ακριβείας. Ωστόσο, μόνο ένας επαρκής αριθμός των εν λόγω σημείων μέτρησης μέσα και γύρω από την πιο ζεστή ζώνη χρειάζεται να είναι εφοδιασμένο με βαθμονομημένα θερμοστοιχεία και να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς μέτρησης εφόσον εξασφαλίζεται ότι η θερμοκρασία της επιφάνειας φτάνει στο μέγιστο και αυτό πρέπει να καταγράφεται. πρέπει να είναι ασφαλή ώστε η ένωση να είναι ισόπεδη με την επιφάνεια.

Αν η υψηλότερη θερμοκρασία μετρηθεί στην περιφέρεια του τριέδρου τότε το δάπεδο ή τα τοιχώματα του τριέδρου πρέπει να επεκταθούν τουλάχιστον κατά 150 mm πέρα από το σημείο της υψηλότερης θερμοκρασίας.

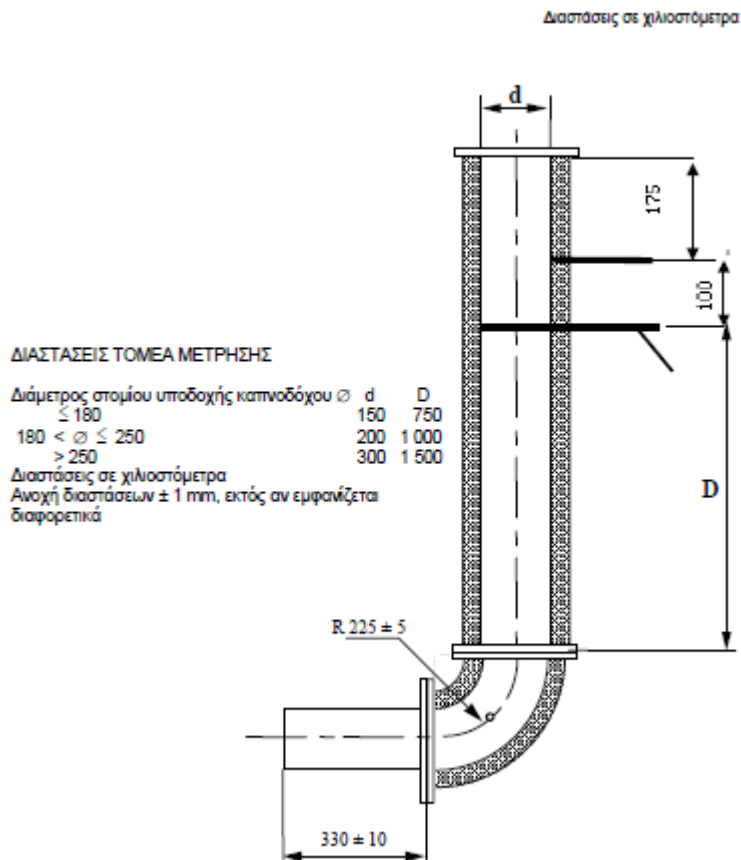
#### **1.2.1.5 Τομέας μέτρησης**

Ο τομέας μέτρησης πρέπει να προσδιορίζεται με όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας και της σύστασης των καυσαερίων και επίσης με όργανα μέτρησης της εφαρμοσμένης πίεσης ελκυσμού καυσαερίων όπως περιγράφεται παρακάτω.

Ο τομέας μέτρησης πρέπει να επενδύεται πλήρως με ονομαστικό πάχος ορυκτών ινών 40 mm (π.χ. παρόμοιο υλικό ώστε να παρέχεται μια θερμική αγωγιμότητα τουλάχιστον  $0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  σε μια μέση θερμοκρασία των  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Οι διαστάσεις του τομέα μέτρησης πρέπει να είναι όπως περιγράφεται στα Σχήματα 1.6 και 1.7 και να έχουν μέγεθος ανάλογο με τη διάμετρο της εξόδου καυσαερίων της συσκευής.



Σχήμα 1.6: Λεπτομέρειες και διαστάσεις του τμήματος μέτρησης για κάθετη έξοδο καυσαερίων [2]



Σχήμα 1.7: Λεπτομέρειες και διαστάσεις του τμήματος μέτρησης για οριζόντια έξοδο καυσαερίων [2]

Η θερμοκρασία των καυσαερίων πρέπει να μετρηθεί με ένα αισθητήριο όργανο π.χ. ένα θερμοζεύγος που τοποθετείται σε κεφαλή πυρομέτρου αναρρόφησης με το σφραγισμένο άκρο να ακουμπά στο απέναντι τοίχωμα του τομέα μέτρησης και με την ανοικτή έξοδο συνδεδεμένη σε μια αντλία αναρρόφησης. Το θερμοζεύγος πρέπει να προστατεύεται με ένα περίβλημα. Πρέπει να παρέχεται μία κατάλληλη προσαρμογή για να δίνει ένα αεροστεγές σφράγισμα μεταξύ του πυρομέτρου αναρρόφησης και του τοιχώματος του τομέα μέτρησης και μεταξύ του αισθητηρίου οργάνου και την έξοδο του πυρομέτρου.

3 οπές δειγματοληψίας, διαμέτρου η κάθε μία ( $2,5 \pm 0,5$ ) mm, η μία τοποθετημένη στο κέντρο του τομέα μέτρησης και οι άλλες δύο τοποθετημένες σε οποιαδήποτε πλευρά στο ένα τέταρτο της απόστασης της διαμέτρου του καπνοδόχου από τα πλευρικά τοιχώματα του τομέα μέτρησης.

Η εσωτερική διάμετρος του πυρομέτρου αναρρόφησης πρέπει να είναι ( $5 \pm 1$ ) mm και η παροχή πρέπει να ρυθμίζεται έτσι ώστε αποκτά ταχύτητα ροής περιοχής των 20 m/s έως 25 m/s.

#### 1.2.1.6 Δειγματοληψία καυσαερίων

πυρομέτρου αναρρόφησης πρέπει επίσης να χρησιμοποιηθεί για δειγματοληψία καυσαερίων. Το άκρο της εξόδου του πυρομέτρου πρέπει να είναι συνδεδεμένο σε ένα σύστημα ανάλυσης. Τα μέσα με τα οποία ψύχεται, καθαρίζεται και στεγνώνει το καυσαέριο δειγματοληψίας, πρέπει να είναι ενσωματωμένα στην γραμμή δειγματοληψίας.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τους συνδέσμους της γραμμής δειγματοληψίας του αερίου πρέπει να είναι ανθεκτικά στην αναμενόμενη θερμοκρασία και δεν πρέπει να αντιδρούν με να επιτρέπουν τη διάχυση καυσαερίων.

ή η γραμμή δειγματοληψίας αερίου δεν πρέπει να παρουσιάζουν διαρροή. Για τη μέτρηση της στατικής πίεσης ένας σωλήνα, με εσωτερική διάμετρο 6 mm, πρέπει να είναι τοποθετημένος στον τομέα μέτρησης. Το άκρο του σωλήνα πρέπει να σφραγίζεται με το εσωτερικό τοίχωμα του τομέα μέτρησης.

#### **1.2.1.7 Σύνδεση της συσκευής στον τομέα μέτρησης**

Το στόμιο/υποδοχή της καπνοδόχου της συσκευής πρέπει να είναι συνδεδεμένο με τον τομέα μέτρησης με ένα μη μονωμένο σύνδεσμο καυσαερίων και ένα μονωμένο σύνδεσμο καπνοσωλήνα. Ο σύνδεσμος των καυσαερίων πρέπει να είναι φτιαγμένος από άβαφο ελαφρύ χάλυβα με πάχος  $(1,5 \pm 0,5)$  mm. Το μήκος του πρέπει να είναι  $(330 \pm 10)$  mm και να αντιστοιχεί στη διάμετρο του στομίου/υποδοχής της συσκευής.

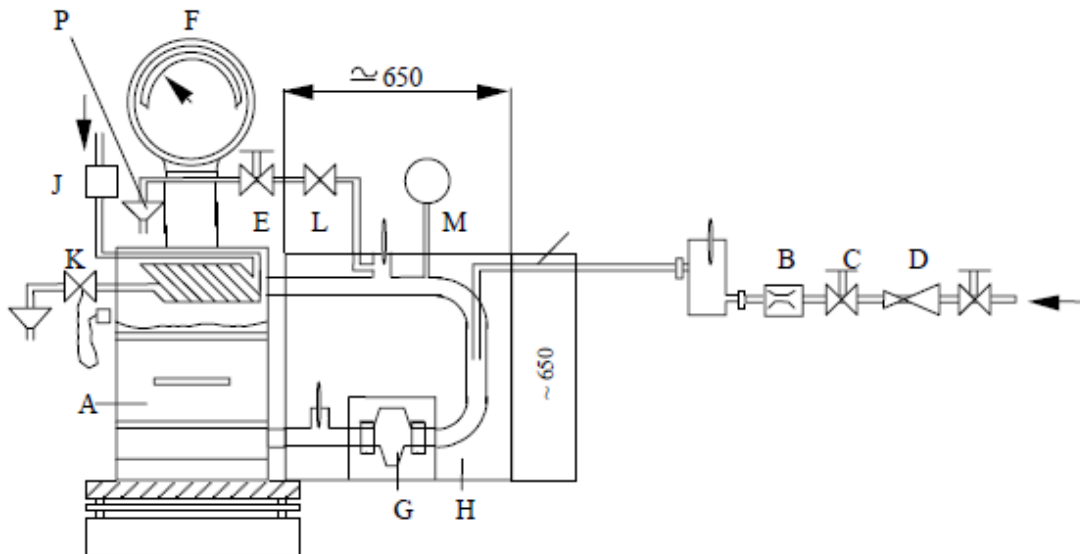
Ένας σύνδεσμος καπνοσωλήνα πρέπει να συνδέεται μεταξύ του τομέα μέτρησης και του συνδέσμου καυσαερίων. Ο σύνδεσμος καπνοσωλήνα καυσαερίων πρέπει να έχει την ίδια διάμετρο όπως ο τομέας μέτρησης και πρέπει να είναι μονωμένος στο ίδιο επίπεδο.

Για συσκευές με μη κυκλική έξοδο ή με διάμετρο διαφορετική από αυτή του τομέα μέτρησης, ο σύνδεσμος των καυσ / και τις διαστάσεις για να ταιριάζει με τη διάμετρο του τομέα μέτρησης.

Για συσκευές με οριζόντια έξοδο, ο σύνδεσμος καπνοσωλήνα πρέπει να έχει ακτίνα  $(225 \pm 5)$  mm στο κέντρο του. Για συσκευές με κατακόρυφη έξοδο ο σύνδεσμος καπνοσωλήνα πρέπει να είναι ευθύγραμμος και να έχει μήκος  $(350 \pm 10)$  mm.

#### **1.2.1.8 Κύκλωμα νερού για συσκευές με λέβητες**

Το κύκλωμα νερού πρέπει να αποτελείται από ένα κύκλωμα συνεχούς ροής νερού με σχεδιασμό που να διατηρεί την ροή νερού σταθερή εντός  $\pm 5$  % της ρυθμισμένης παροχής. Το κύκλωμα πρέπει να διευκολύνει την επίτευξη μιας μέσης θερμοκρασίας εξόδου  $(80 \pm 5)$  °C κατά τη διάρκεια της δοκιμής σε ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου. Το κύκλωμα πρέπει να διαθέτει μέσο μέτρησης της ροής νερού, με σκοπό να παρακολουθεί την σταθερότητα της παροχής. Το κύκλωμα νερού που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι είτε κλειστό ανοιχτό κύκλωμα, δεδομένου ότι πληρούνται οι προδιαγεγραμμένες απαιτήσεις για σταθερότητα της παροχής νερού και θερμοκρασίας εξόδου. Ένα κατάλληλο κύκλωμα νερού παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.8, όμως μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλα κατάλληλα κυκλώματα.



Σχήμα 1.8: Παράδειγμα εγκατάστασης δοκιμής για συσκευές με κύκλωμα νερού [2]

Όπου,

- A: Συσκευή με λέβητα
  - B: Ροόμετρο
  - C: Ρυθμιστική βαλβίδα
  - D: Δοχείο μείωσης πίεσης
  - E: Βαλβίδα (διακοπής)
  - F: Κλίμακα πλατφόρμας
  - G: Αντλία κυκλοφορίας
  - H: Χαλύβδινο μονωμένο κιβώτιο με 120 mm ορυκτού υφάσματος ή γεμισμένο με ξέσματα φελλού
  - J: Εξοπλισμός ασφάλειας
  - K: Έλεγχος θερμικής αποφόρτισης
  - L: Βαλβίδα ασφαλείας
  - M: Δοχείο διεύρυνσης πίεσης
  - N: Εύκαμπτη σύνδεση
  - P: Αποστράγγιση
- Τα K,L,M,N,P για συστήματα υπό πίεση

Το κύκλωμα νερού πρέπει να συνδέεται στη συσκευή μέσω σωλήνων εισόδου και εξόδου, με τρόπο ώστε να επιτρέπεται η ελεύθερη κίνηση της συσκευής για σκοπούς ζύγισης.

Η θερμοκρασία του νερού εισόδου και εξόδου πρέπει να μετριέται χρησιμοποιώντας βαθμονομημένο εξοπλισμό που εισάγεται στους σωλήνες, και να πληροί την αβεβαιότητα των ανοχών μέτρησης.

### 1.2.1.9 Εξοπλισμός μέτρησης

Ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός μέτρησης πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι για κάθε παράμετρο μέτρησης πληρείται η αβεβαιότητα των απαιτήσεων μέτρησης που προδιαγράφονται στον πίνακα 1.2 . Η τιμή κορυφής της παραμέτρου που πρόκειται να μετρηθεί πρέπει να βρίσκεται στην περιοχή του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού μέτρησης.

Παράμετρος υπό μέτρηση	Αβεβαιότητα μέτρησης
<b>Ανάλυση αερίου</b>	
CO	≤ 2% των τιμών ορίων εκπομπών του πίνακα 1.3
CO <sub>2</sub>	≤ 2%
O <sub>2</sub>	≤ 2%
<b>Θερμοκρασία</b>	
Καυσαερίων	≤ 5 K
Περιβάλλοντος	≤ 1.5 K
Νερού	≤ 0.5 K
Επιφάνειας	≤ 2K
Απτόμενων περιοχών	≤ 2K
<b>Ροή νερού</b>	≤ 0.005 m <sup>3</sup> /h
<b>Εγκάρσιος ελκυσμός</b>	≤ 0.1 m/s
<b>Στατική πίεση</b>	≤ 1 Pa
<b>Μάζα</b>	
Κατανάλωσης καυσίμου	± 20 g
Υπολείμματος	± 5 g
Φορτίου καυσίμου ≤ 7.5 kg	± 5 g
> 7.5 kg	± 10 g

Πίνακας 1.2: Αβεβαιότητα των μετρήσεων [2]

## **1.2.2 Διαδικασίες δοκιμής**

### **1.2.2.1 Εγκατάσταση συσκευής**

Η συσκευή πρέπει να είναι εγκατεστημένη στο συγκρότημα δοκιμής, ακολουθώντας τις οδηγίες εγκατάστασης του κατασκευαστή, και το στόμιο/υποδοχή της καπνοδόχου της συσκευής πρέπει να είναι συνδεδεμένο στον τομέα μέτρησης .

Αν η συσκευή παρέχεται σε ξεχωριστά τμήματα, οι προδιαγραφές της συσκευής σύμφωνα με τον κατασκευαστή, όπως δίνονται στις οδηγίες εγκατάστασης πρέπει να ακολουθούνται κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης.

Για συσκευές με οπίσθια έξοδο καπνοδόχου, ο σύνδεσμος του καπνοσωλήνα πρέπει να περνά μέσω του τοιχώματος του τριέδρου. Η οπή γύρω από τον σύνδεσμο του καπνοσωλήνα πρέπει να γεμίσει με μονωτικό υλικό.

Όταν ένας ρυθμιστήρας ελκυσμού καπνοδόχου πρέπει να προσαρμοστεί μεταξύ της κλίνης καύσης και του στομίου/υποδοχής τότε, για τη δοκιμή απόδοσης σε ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου, είτε πρέπει να αφαιρεθεί ο ρυθμιστήρας και το άνοιγμα να σφραγιστεί με ένα συμπαγή δίσκο κατάλληλου μεγέθους πρέπει να σφραγιστεί ο ίδιος ο ρυθμιστήρας π.χ. με ταινία ανθεκτική στη θερμότητα ώστε να αποφευχθεί η είσοδος αέρα μέσω του ανοίγματος του ρυθμιστήρα.

### **1.2.2.2 Υπολογισμός φορτίου καυσίμου**

Το φορτίο καυσίμου για κάθε σύστημα ανάφλεξης πρέπει να υπολογίζεται από τον τύπο 1.8:

$$B_{fl}=360000 \times P_n \times t_b / (H_u \times n) \quad [1.8]$$

όπου:

$B_{fl}$ : η μάζα του φορτίου καυσίμου (kg)

$H_u$ : η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου δοκιμής (kJ/kg)

$n$ : η ελάχιστη απόδοση σύμφωνα με αυτό το πρότυπο συσκευής μια υψηλότερη τιμή όπως δηλώνεται από τον κατασκευαστή (%)

$P_n$ : η ονομαστική θερμική ισχύς εξόδου (kW)

$t_b$ : ο ελάχιστος χρόνος ανατροφοδότησης διάρκεια όπως δηλώνεται από τον κατασκευαστή (h)

### **1.2.2.3 Ανατροφοδότηση και απομάκρυνση τέφρας από την εστία**

Το καύσιμο δοκιμής επιλέγεται, ετοιμάζεται και φορτώνεται στην χοάνη σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή της συσκευής. Μετά την περίοδο δοκιμής η τέφρα απομακρύνεται και μετριέται.

#### **1.2.2.4 Απώλειες καυσαερίων**

Υπολογίζονται οι απώλειες καυσαερίων από τη σύσταση και τη θερμοκρασία των καυσαερίων. Μετριέται η συγκέντρωση των προϊόντων καύσης, η θερμοκρασία των καυσαερίων και του περιβάλλοντος χώρου είτε συνεχώς ή κατά διαστήματα που δεν υπερβαίνουν το ένα λεπτό χρησιμοποιώντας βαθμονομημένα όργανα που πληρούν τις απαιτήσεις αβεβαιότητας των μετρήσεων.

#### **1.2.2.5 Ισχύς εξόδου του νερού θέρμανσης**

Για συσκευές που φέρουν λέβητα, μετράται η θερμότητα που δίνεται στο νερό με μία μέθοδο συνεχούς ροής χρησιμοποιώντας το κύκλωμα ροής. Μετριέται η παροχή νερού και η άνοδος της θερμοκρασίας κατά μήκος του λέβητα χρησιμοποιώντας βαθμονομημένο εξοπλισμό, που πληροί τις απαιτήσεις αβεβαιότητας των μετρήσεων.

Ρυθμίζεται η παροχή νερού σε μια τιμή που προσδιορίζεται σύμφωνα με τη θερμική ισχύ εξόδου που δηλώνει ο κατασκευαστής του λέβητα ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις για τις μέσες θερμοκρασίες εξόδου. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής, διατηρείται αυτή η ρυθμισμένη παροχή στο  $\pm 5\%$  αναφορικά με το ροόμετρο του νερού. Δεν πρέπει να αλλάζει η παροχή νερού για αντιστάθμιση, για την απόκλιση μικρής περιόδου στην θερμοκρασία ροής που λαμβάνει χώρα μετά την ανατροφοδότηση. Στο τέλος της περιόδου δοκιμής υπολογίζεται η μέση άνοδος της θερμοκρασίας του νερού μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του λέβητα. Επίσης υπολογίζεται η μέση παροχή νερού σε kg/h.

#### **1.2.2.6 Ανάφλεξη και περίοδος προ δοκιμής**

Ξεκινά το σύστημα εξαγωγής των καυσαερίων και ρυθμίζεται ο εφαρμοσμένος ελκυσμός ώστε η στατική πίεση στον τομέα μέτρησης να ρυθμίζεται στον κανονικό ελκυσμό για τη δοκιμή ή σε οποιαδήποτε άλλη τιμή, όπως δίνεται στις οδηγίες εγκατάστασης της συσκευής. Τοποθετείται η χοάνη της συσκευής για να εξασφαλιστεί η ικανοποιητική ανάφλεξη του καυσίμου. Ρυθμίζεται ο εφαρμοσμένος ελκυσμός της καπνοδόχου για να επιτευχθεί η κατάλληλη στατική πίεση στον τομέα μέτρησης. Ρυθμίζονται οι διατάξεις καύσης στην απαιτούμενη ρύθμιση ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη συνθήκη καύσης που θα δώσει τη δηλωμένη ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου. Για συσκευές με λέβητα ρυθμίζεται η παροχή νερού για να εξασφαλισθεί ότι πληρούνται οι απαιτήσεις για τη μέση θερμοκρασία ροής νερού. Η συσκευή κατά τη διάρκεια της περιόδου προδοκιμής λειτουργεί με ρυθμό καύσης που δίνει τη δηλωμένη από τον κατασκευαστή ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου. Τερματίζεται η περίοδος ανάφλεξης και προδοκιμής όταν οι μετρήσεις δεν ξεπερνούν τα 30 λεπτά και η θερμοκρασία των καυσαερίων δεν μεταβάλλεται περισσότερο από  $\pm 5$  K.

#### **1.2.2.7 Περίοδος δοκιμής**

Αν είναι αναγκαίο αδειάζεται και αντικαθίσταται το δοχείο συλλογής της στάχτης. Καταγράφεται η συνολική μάζα του καυσίμου δοκιμής και γεμίζει η χοάνη της συσκευής με επαρκές καύσιμο. Η περίοδος δοκιμής ξεκινά αμέσως μετά τη φόρτωση της συσκευής. Μετριέται και καταγράφεται η θερμοκρασία και η σύσταση των καυσαερίων. Αν η συσκευή συνδέεται με λέβητα, μετρούνται και καταγράφονται οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού καθώς και η ροή του νερού. Επίσης καταγράφονται και οι θερμοκρασίες επιφάνειας της συσκευής. Οι θερμοκρασίες μετρούνται σε τέτοια διαστήματα ώστε να εξασφαλίζεται η καταγραφή της μέγιστης θερμοκρασίας.



Καταγράφονται επίσης και οι θερμοκρασίες των επιφανειών του τριέδρου είτε συνεχόμενα είτε κατά διαστήματα που δεν υπερβαίνουν το ένα λεπτό. Η διάρκεια της δοκιμής δεν θα πρέπει να είναι λιγότερη από 3 ώρες.

Παρατηρείται η στατική πίεση καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής και ρυθμίζεται ο εφαρμοσμένος ελκυσμός της καπνοδόχου, αν είναι απαραίτητο, για να διατηρηθεί η στατική πίεση εντός των ορίων της κατάλληλης τιμής. Το απαραίτητο χρονικό διάστημα ρύθμισης της πίεσης είναι 15 λεπτά.

Για τη δοκιμή πίεσης σε λέβητες συνδέονται οι στρόφιγγες εισόδου και εξόδου νερού του λέβητα σε μια υδραυλική μονάδα δοκιμής, ικανή να εφαρμόζει πίεση δοκιμής τουλάχιστον δύο φορές της μέγιστης πίεσης λειτουργίας που δηλώνεται από τον κατασκευαστή. Σφραγίζονται οποιοσδήποτε μη χρησιμοποιούμενες στρόφιγγες νερού του λέβητα και εφαρμόζεται μια διατηρούμενη πίεση δοκιμής δύο φορές μεγαλύτερη από την μέγιστη δηλωμένη πίεση λειτουργίας του νερού για μια περίοδο τουλάχιστον 10 λεπτών. Καταγράφεται αν το κέλυφος του λέβητα ή τα εξαρτήματα μεταφοράς του νερού είχαν ή διαρροή ή παραμορφώθηκαν μόνιμα ως αποτέλεσμα εφαρμογής της πίεσης δοκιμής.

Αυτή η δοκιμή εκτελείται μόνο σε μια συσκευή, που φέρει λέβητα σχεδιασμένο να λειτουργεί σε ένα σφραγισμένο σύστημα και όπου μία ρύθμιση ελέγχου θερμικής αποφόρτισης προσαρμόζεται ως τμήμα της συσκευής. Ο λέβητας πρέπει να συνδέεται σε ένα κύκλωμα νερού. Το κρύο νερό που χρησιμοποιείται για να αντισταθμιστεί η υπερβάλλουσα θερμότητα πρέπει να έχει θερμοκρασία μεταξύ 10 °C - 15 °C και πίεση (2 ± 0.1) bar.

### 1.2.3 Υπολογισμοί

Οι απώλειες θερμότητας προσδιορίζονται από τις μέσες τιμές των θερμοκρασιών των καυσαερίων και του χώρου, από την σύσταση του καυσαερίου και από τα καύσιμα συστατικά στο υπόλειμμα. Η απόδοση προσδιορίζεται από τις απώλειες σύμφωνα με τον τύπο 1.9.

$$\bullet \quad n = 100 - (q_a + q_b + q_r) \quad [\%] \quad [1.9]$$

Οι θερμικές απώλειες στο καυσαέριο υπολογίζονται σύμφωνα με τον τύπο 1.10 και το ποσοστό αυτών σύμφωνα με τον τύπο 1.10.α.

$$\bullet \quad Q_a = (t_a - t_r) \cdot \left[ \left( \frac{m}{100} \right) + (C_{pmH_2O} \cdot 1.92 \cdot \frac{m}{100}) \right] \quad [kJ/kg] \quad [1.10]$$

$$\bullet \quad q_a = 100 \cdot \frac{Q_a}{Q_{net}} \quad [\%] \quad [1.10.a]$$

Οι χημικές απώλειες στο καυσαέριο υπολογίζονται σύμφωνα με τον τύπο 1.11 και το ποσοστό αυτών σύμφωνα με τον τύπο 1.11.α.

$$\bullet \quad Q_b = \frac{m}{100} \cdot \left( \frac{H}{100} \right) \quad [KJ/kg] \quad [1.11]$$

$$\bullet \quad q_b = 100 \cdot \frac{Q_b}{Q_{net}} \quad [\%] \quad [1.11.a]$$

Οι απώλειες θερμότητας λόγω των καυσίμων συστατικών στο υπόλειμμα που περνάνε από την εσχάρα υπολογίζονται σύμφωνα με τον τύπο 1.12 και το ποσοστό αυτών επί τοις εκατό σύμφωνα με τον τύπο 1.12.α.

- $Q_r = \text{---} \quad [kJ/kg] \quad [1.12]$
- $q_r = \text{---} \quad [\%] \quad [1.12.a]$

Η συνολική παραγόμενη θερμική ισχύς υπολογίζεται από την μάζα του καιόμενου καυσίμου ανά ώρα, την θερμογόνο δύναμη του καυσίμου δοκιμής καθώς και την απόδοση, σύμφωνα με τον τύπο 1.13.

- $P = \text{---} \quad [kW] \quad [1.13]$

Η θερμική ισχύς που προσδίδεται στο νερό υπολογίζεται από τον ρυθμό ροής του νερού, την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και την ειδική θερμοχωρητικότητα του, σύμφωνα με τον τύπο 1.14.

- $P_w = \text{---} \quad [kW] \quad [1.14]$

Η θερμική ισχύς που προσδίδεται στον χώρο είναι η διαφορά ανάμεσα στην συνολική παραγόμενη θερμική ισχύ και στην θερμική ισχύ που προσδίδεται στο νερό, σύμφωνα με τον τύπο 1.15.

- $P_{SH} = P - P_w \quad [kW] \quad [1.15]$

Η ροή μάζας του καυσαερίου προσδιορίζεται προσεγγιστικά από την περιεκτικότητα σε CO<sub>2</sub> των καυσαερίων και από τα δεδομένα του καυσίμου δοκιμής, σύμφωνα με τον τύπο 1.16.

- $m = \text{---} \quad [g/s] \quad [1.16]$

Οι μέσες τιμές των συστατικών του καυσαερίου όπως το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα και το μονοξείδιο του άνθρακα μπορούν να υπολογιστούν κατά την περίοδο δοκιμής προσεγγιστικά από τα δεδομένα που καταγράφονται στο ειδικό όργανο μέτρησης. Με αυτή την μέθοδο όμως, οι μέσες τιμές των συστατικών δεν σταθμίζονται για πιθανές διακυμάνσεις στην ροή της μάζας, καθώς η ροή της μάζας υποτίθεται ότι είναι σταθερή και τα υπολογιστικά λάθη θεωρούνται μικρά.

Η περιεκτικότητα σε CO (CO content) υπολογίζεται ως εξής:

1. Η μέση τιμή του μονοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>avg</sub>) υπολογίζεται από όλες τις τιμές του CO που αποκτούνται από τις ενδείξεις του οργάνου μέτρησης κατά την διάρκεια δοκιμής.
2. Η τιμή αυτή (CO<sub>avg</sub>) μετατρέπεται σε τιμή περιεκτικότητας CO (CO<sub>content</sub>), σύμφωνα με έναν από τους τύπους 1.17 και 1.18.

- $CO_{content} = CO_{avg} \cdot \text{---} \quad [\%] \quad [1.17]$

$$CO_{content} = CO_{avg} \cdot \frac{\text{---}}{\text{---}} \cdot \frac{\text{---}}{\text{---}} \quad [\%] \quad [1.18]$$

όπου,  
 ανάλογα με το αν το μονοξειδίο του άνθρακα μετριέται με βάση τον επί τοις 100 όγκο (vol %) ή σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) πρέπει αντίστοιχα να μετατραπεί και η μονάδα μέτρησης της τιμής του CO<sub>avg</sub>. Αυτό γίνεται σύμφωνα με τους τύπους 1.19 για την περίπτωση μέτρησης σε ppm και 1.20 για την περίπτωση μέτρησης σε vol %.

$$CO_{avg} (mg/m^3_n) = CO_{avg} (ppm) \cdot d_{CO} \quad [1.19]$$

$$CO_{avg} (mg/m^3_n) = CO_{avg} (vol\%) \cdot d_{CO} \cdot 10000 \quad [1.20]$$

όπου,  
 d<sub>CO</sub>: η πυκνότητα του μονοξειδίου του άνθρακα υπό κανονικές συνθήκες (d<sub>CO</sub> = 1.25 kg/m<sup>3</sup><sub>n</sub>).

Η ειδική θερμότητα των καυσαερίων υπό κανονικές συνθήκες υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο 1.21.

$$C_{pmd} = 3.6 \cdot \frac{\text{---}}{0.14 \cdot 10002 \cdot 2100 + 0.3 \cdot \frac{\text{---}}{1000} - 0.2 \cdot \frac{\text{---}}{10002} \cdot 21002} \quad [kJ/K \cdot m^3] \quad [3.2.13]$$

Η ειδική θερμότητα του υδρατμού στα προϊόντα καύσης υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο 1.22.

$$\text{---} \quad [kJ/K \cdot m^3] \quad [1.22]$$

Ο υπολογισμός της τιμής του μέγιστου διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2max</sub>) που χρησιμοποιείται στον τύπο 3.2.10 υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο 1.23.

$$\text{---} \quad [\%] \quad [1.23]$$

Ο υπολογισμός των A και m<sub>s</sub> που χρησιμοποιούνται στον τύπο 1.23 υπολογίζονται σύμφωνα με τους τύπους 1.24 και 1.25 αντίστοιχα.

$$\text{---} + m_s \quad [mol O_2/mol \text{ καυσίμου}] [1.24]$$

$$\text{---} - \text{---} \quad [1.25]$$

όπου,

$$m_h = 12 \cdot \text{---} \quad \text{και} \quad m_o = \text{---} - \text{---}$$

### 1.3 Εντιθέμενες , ανοικτών εστιών

Η διαδικασία των μετρήσεων που ακολουθείται για εντιθέμενες συσκευές, περιλαμβανομένων των ανοικτών εστιών είναι ίδια με τη διαδικασία των μετρήσεων των θερμαντήρων οικιακών χώρων παρουσιάζοντας όμως κάποιες διαφοροποιήσεις. Οι διαφορές εντοπίζονται κυρίως στο

χώρο καύσης, καθώς στα τζάκια ανοιχτών εστιών υπάρχουν οι φλογοθάλαμοι και οι φλογοθυρίδες και όχι κάποια χοάνη στην οποία εισάγεται το καύσιμο. Οι συσκευές αυτές θα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές του προτύπου ΕΛΟΤ EN 13229.

### **1.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά**

Το σχήμα και οι διαστάσεις του εξοπλισμού, η μέθοδος σχεδιασμού, η συναρμολόγηση και η εγκατάσταση πρέπει να εξασφαλίζουν ότι λειτουργούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κατάλληλης δοκιμής και εκτίθενται στα σχετικά μηχανικά, χημικά και θερμικά φορτία. Η συσκευή πρέπει να λειτουργεί αξιόπιστα και με ασφάλεια ώστε κατά τη διάρκεια της συνεχούς λειτουργίας, τα αέρια προϊόντα καύσης που αποτελούν κίνδυνο να μην μπορούν να διαφύγουν στο χώρο στον οποίο είναι εγκατεστημένη η συσκευή και τα κάρβουνα να μην μπορούν να πέσουν εκτός αυτής.

Κανένα τμήμα της συσκευής δεν πρέπει να αποτελείται από ή να περιέχει αμίαντο. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σκληρή κόλληση κασσίτερου, που περιέχει στη σύσταση της κάδμιο. Όταν χρησιμοποιείται θερμική μόνωση, αυτή πρέπει να είναι από άκαυστο υλικό και να είναι ανθεκτική σε θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις.

Αν η συσκευή προσαρμόζεται με λέβητα πρέπει να είναι ικανός να λειτουργεί με ασφάλεια στην μέγιστη επιτρεπτή πίεση λειτουργίας που δηλώνεται από τον κατασκευαστή.

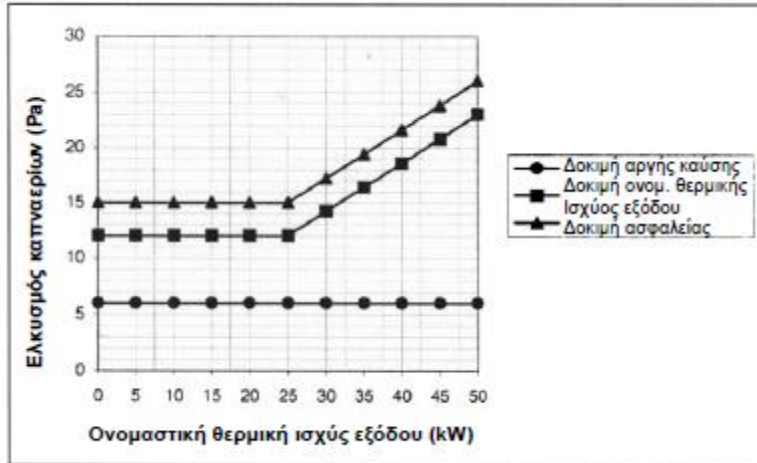
Όταν η συσκευή φέρει μια φλογοθυρίδα ή θυρίδα τροφοδότησης, αυτή πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε η συσκευή να μπορεί να γεμίσει με τα εμπορικά καύσιμα που προτείνει ο κατασκευαστής. Όταν είναι ανοιχτές οι φλογοθυρίδες δεν πρέπει να εμποδίζουν το άνοιγμα του φλογοθαλάμου.

Κατά τη λήξη των περιόδων δοκιμής είτε αργής ή μειωμένης καύσης πρέπει να είναι δυνατό να αναζωπυρωθεί ικανοποιητικά η φωτιά και να γίνει ανάφλεξη ενός μικρού φορτίου καυσίμου. Η ανάκτηση πρέπει να θεωρηθεί ικανοποιητική αν, εντός διαστήματος όχι μεγαλύτερου από 20 λεπτά, το φορτίο αναφλέγεται ορατά υπό τις συνθήκες δοκιμής με ελκυσμό καυσαερίων  $+2^{\circ}\text{Pa}$ .

Επίσης, ακόμα μία διαφορά στη διαδικασία των μετρήσεων είναι ότι το καύσιμο δοκιμής είναι ξύλινοι κορμοί. Για αυτό το λόγο δεν μετρείται η περιεκτικότητα σε άνθρακα του υπολείμματος. Επιπλέον, η απώλεια θερμότητας καύσης στο υπόλειμμα για ξύλινους κορμούς πρέπει να ληφθεί ως 0.5% της απόδοσης σε σχέση με τα pellet που είναι 0.2% της απόδοσης.

### **1.3.2 Ελκυσμός καπνοδόχου σε συσκευές με κλειστό φλογοθάλαμο**

Οι τιμές του ελκυσμού καυσαερίων που σχετίζονται με την ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου θερμότητας που δίνεται στο σχήμα 1.9 πρέπει να λαμβάνονται ως οι μέσες τιμές για τη στατική πίεση που θα εφαρμοστεί στον τομέα μέτρηση κατά τη διάρκεια της δοκιμής.



Σχήμα 1.9: Τιμές ελκυσμού καυσαερίων [3]

Συσκευές με ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου μικρότερη ή ίση με 25 kW πρέπει να δοκιμάζονται σε ελκυσμό καυσαερίων ( $12 \pm 2$ ) Pa κατά τη διάρκεια της δοκιμής ονομαστικής εξόδου και στα ( $15^{+2}_0$ ) Pa κατά τη διάρκεια της δοκιμής θερμοκρασίας ασφαλείας.

Συσκευές που έχουν ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου μεγαλύτερη από 25 kW πρέπει να δοκιμαστούν κατά τη διάρκεια δοκιμής ονομαστικής θερμικής ισχύος εξόδου είτε υπό ελκυσμό καυσαερίων που σχετίζονται με την ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου της συσκευής όπως δίνεται από το Σχήμα 1.9 ή σε τέτοιο ελκυσμό καυσαερίων που δίνεται από τον κατασκευαστή. Για τη δοκιμή θερμοκρασίας ασφαλείας αυτές οι συσκευές πρέπει να δοκιμαστούν σε ελκυσμό καυσαερίων 3 Pa μεγαλύτερο από αυτόν που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της δοκιμής ονομαστικής θερμικής ισχύος εξόδου και πρέπει να διατηρηθεί εντός  $^{+2}_0$  Pa αυτής της τιμής.

### 1.3.3 Ελκυσμός καπνοδόχου σε συσκευές με ανοιχτό φλογοθάλαμο

Όταν μετριέται η ονομαστική θερμική ισχύς εξόδου, η θερμική ισχύς εξόδου του νερού και η θερμική ισχύς εξόδου θέρμανσης του χώρου, ο μέσος ελκυσμός καυσαερίων πρέπει να είναι ( $10 \pm 2$ ) Pa. Όταν δοκιμάζεται για την ασφάλεια ο μέσος ελκυσμός καυσαερίων πρέπει να είναι ( $14^{+2}_0$ ) Pa.

### 1.3.4 Κατηγορίες εκπομπής μονοξειδίου του άνθρακα για συσκευές με κλειστές θυρίδες

Όταν μετριέται η μέση συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα που υπολογίζεται σε περιεκτικότητα οξυγόνου ( $O_2$ ) 13% στα καυσαέρια πρέπει να ικανοποιεί τις οριακές τιμές για την κατάλληλη κατηγορία CO για τη συσκευή όπως δίνεται στον πίνακα 1.3.

Κατηγορία εφαρμογής CO	Συσκευές με κλειστές θυρίδες
	Όρια κατηγορίας εκπομπής CO (σε 13% O <sub>2</sub> )
Κατηγορία 1	≤0.3
Κατηγορία 2	>0.3 ≤1.0

Πίνακας 1.3: Κατηγορίες εκπομπής μονοξειδίου του άνθρακα [3]

### 1.3.5 Απόδοση στην ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου

Όταν η συσκευή λειτουργεί όπως προσδιορίζεται από τον κατασκευαστή, με καύση των προδιαγραφόμενων καυσίμων δοκιμής που αντιπροσωπεύουν τα συνιστώμενα καύσιμα που παρατίθενται στις οδηγίες λειτουργίας της συσκευής, πρέπει να πληρούνται οι απαιτήσεις του Πίνακα 1.4.

Κατηγορία απόδοσης συσκευής	Συσκευές με κλειστές θυρίδες
	Όρια κατηγορίας εκπομπής %
Κατηγορία 1	≥70
Κατηγορία 2	≥60 <70
Κατηγορία 3	≥50 <60
Κατηγορία 4	≥30 <50

Πίνακας 1.4: Κατηγορίες απόδοσης σε ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου [3]

### 1.3.6 Ονομαστική θερμική ισχύς εξόδου

Η μέση τιμή των μετρούμενων θερμικών ισχυών εξόδου που αποκτώνται κατά τη διάρκεια της δοκιμής, πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από την ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου που δηλώνεται από τον κατασκευαστή.

Η ισχύς εξόδου του νερού θέρμανσης που δηλώνεται από τον κατασκευαστή δεν πρέπει να υπερβαίνει την ισχύ εξόδου του λέβητα. Αντίστοιχα, ισχύει και για την ισχύ εξόδου θέρμανσης χώρου .

### 1.3.7 Εξοπλισμός μέτρησης

Ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός μέτρησης πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι για κάθε παράμετρο μέτρησης πληρείται η αβεβαιότητα των απαιτήσεων μέτρησης που

προδιαγράφονται στον Πίνακα 1.5 . Η τιμή κορυφής της παραμέτρου που πρόκειται να μετρηθεί πρέπει να βρίσκεται στην περιοχή του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού μέτρησης.

Παράμετρος υπό μέτρηση	Αβεβαιότητα μέτρησης
<b>Ανάλυση αερίου</b>	
CO	≤6% των τιμών ορίων εκπομπών του πίνακα 1.3
CO <sub>2</sub>	≤ 2%
O <sub>2</sub>	≤ 2%
<b>Θερμοκρασία</b>	
<b>Καυσαερίων</b>	≤ 5 K
Περιβάλλοντος	≤ 1.5 K
Νερού	≤ 0.5 K
Επιφάνειας	≤ 2K
Απτόμενων περιοχών	≤ 2K
<b>Ροή νερού</b>	≤ 0.005 m <sup>3</sup> /h
<b>Εγκάρσιος ελκυσμός</b>	≤ 0.1 m/s
<b>Στατική πίεση</b>	≤ 2 Pa
<b>Μάζα</b>	
Κατανάλωσης καυσίμου	± 20 g
Υπολείμματος	± 5 g
Φορτίου καυσίμου ≤ 7.5 kg	± 5 g
> 7.5 kg	± 10 g

Πίνακας 1.5: Αβεβαιότητα μέτρησης [3]

### 1.3.8 Δοκιμή θερμοκρασίας ασφαλείας για καύση ξύλου

Αυτή η δοκιμή πρέπει να εκτελεστεί όταν η συσκευή δηλώνεται ότι καίει μόνο ξύλο ή και ξύλο και στερεά ορυκτά καύσιμα. Όλες οι διατάξεις, εκτός από αυτές που χρησιμοποιούνται για σκοπούς έναυσης, πρέπει να είναι σε θέση να επιτρέπουν την επίτευξη της υψηλότερης θερμικής ισχύος εξόδου.

Φορτώνεται η συσκευή με την υπολογιζόμενη μάζα των τεμαχίων ξύλου χρησιμοποιώντας τον

ακόλουθο τύπο:

$$B_{fl} = 400 X Sc / Hu \quad [1.25]$$

Όπου,

$B_{fl}$ : είναι η μάζα του φορτίου καυσίμου [kg]

$Sc$ : είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του δαπέδου του φλογοθαλάμου [ $m^2$ ]

$Hu$ : είναι η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου [MJ/kg]

400: είναι η θερμική ισχύς εισόδου [MJ/ $m^2$ ]

Η συσκευή πρέπει να ανατροφοδοτείται και να λειτουργεί για διαδοχικές περιόδους δοκιμής μέχρι οι θερμοκρασίες της εστίας και των τοιχωμάτων δοκιμής τριέδρου και το δοχείο αποθήκευσης καυσίμου να φτάσουν σε μία σταθερή κατάσταση.

### 1.3.9 Περίοδος δοκιμής

Αφαιρείται η τέφρα από την εστία. Αν είναι απαραίτητο αντικαθίσταται η . Καταγράφεται η συνολική μάζα της εγκατάστασης δοκιμής όπως μετριέται από την κλίμακα πλατφόρμας. Φορτώνεται η συσκευή με την υπολογισμένη μάζα του καυσίμου δοκιμής. Ρυθμίζεται ο εφαρμοσμένος ελκυσμός της καπνοδόχου  $+2 \text{ }^{\circ} \text{Pa}$  της απαιτούμενης τιμής δοκιμής. Απενεργοποιείται ο θερμοστάτης θερμοκρασίας νερού και ρυθμίζονται όλες οι άλλες διατάξεις , εκτός από αυτές που χρησιμοποιούνται μόνο για σκοπούς εκκίνησης, στη θέση που επιτρέπει την επίτευξη της μέγιστης θερμικής ισχύος εξόδου νερού. Διατηρείται η λειτουργία της διάταξης θερμικής αποφόρτισης ροή του νερού στην ίδια παροχή όπως χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της περιόδου . Αφήνεται η συσκευή να συνεχίσει τη λειτουργία της με αυτό τον τρόπο ενώ καταγράφεται η θερμοκρασία της ροής νερού από το λέβητα. Τερματίζεται η δοκιμή είτε όταν λειτουργεί ο έλεγχος θερμικής αποφόρτισης εάν η διάταξη θερμικής αποφόρτισης δεν λειτουργεί όταν η θερμοκρασία ροής υπερβαίνει τους  $105 \text{ }^{\circ} \text{C}$ . Καταγράφεται αν λειτουργεί η διάταξη θερμικής αποφόρτισης όχι. Καταγράφεται η θερμοκρασία του ρέοντος νερού από το λέβητα, όταν λειτουργεί η διάταξη θερμικής αποφόρτισης.

### 1.3.10 Λειτουργία με ανοιχτό φλογοθάλαμο

Μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής απόδοσης σε ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου, η πίεση ελκυσμού της καπνοδόχου πρέπει να ρυθμιστεί σε μια τιμή ( $6 \pm 1$ ) Pa. Φορτώνεται η συσκευή με το φορτίο καυσίμου  $B_{fl}$  και ανοίγονται οι θυρίδες καύσης. Κατά τη διάρκεια της πρώτης ώρας μετά την εισαγωγή του φορτίου καυσίμου, πρέπει να παρατηρηθεί αν διαφεύγει αέριο καύσης από το φλογοθάλαμο. Επίσης πρέπει να προσδιοριστεί με φυσίγγια καπνού αλλά κατάλληλα μέσα αν, στο επάνω άκρο του ανοίγματος του φλογοθαλάμου, υπάρχει αναρρόφηση στο φλογοθάλαμο εάν διαφεύγει αέριο καύσης από το φλογοθάλαμο. Επιπρόσθετα, πρέπει να παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια των δόκιμων, με ανοικτό φλογοθάλαμο, αν το φλεγόμενο καύσιμο διαφεύγει από τον φλογοθάλαμο.

### 1.3.11 Υπολογισμοί

Οι υπολογισμοί για τις εντιθέμενες , ανοικτών εστιών είναι οι ίδιοι



που χρησιμοποιούνται για τους θερμαντήρες οικιακών χώρων και αναφέρονται στο κεφάλαιο 1.2.3.

## **1.4 Θερμαντήρες χώρου που λειτουργούν με στερεά καύσιμα**

Οι μέθοδοι δοκιμής εφαρμόζονται σε συσκευές όπου η έναυση γίνεται με μη μηχανικό τρόπο. Οι συσκευές αυτές παρέχουν θερμότητα στο χώρο εγκατάστασης τους και πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές του προτύπου EN13240. Επιπλέον, όταν είναι εξοπλισμένες με λέβητα, παρέχουν ζεστό νερό για οικιακή χρήση ή/και για κεντρική θέρμανση. Οι συσκευές αυτές λειτουργούν είτε με στερεά ορυκτά καύσιμα, μπριγκέτες τύρφης ή κορμούς ξύλου, είτε με περισσότερα από ένα είδη καυσίμου, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η διαδικασία αυτή δεν εφαρμόζεται σε συσκευές όπου η προσαγωγή αέρα καύσης υποβοηθείται με ανεμιστήρα.

### **1.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά**

Το σχήμα και οι διαστάσεις των λειτουργικών μερών και του εξοπλισμού, η μέθοδος σχεδιασμού και κατασκευής, καθώς και η μέθοδος συναρμολόγησης και εγκατάστασης στην περίπτωση που η συναρμολόγηση λαμβάνει χώρα επιτόπου, πρέπει να διασφαλίζουν την αξιόπιστη και ασφαλή λειτουργία της συσκευής, με την προϋπόθεση ότι η συσκευή λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις διαδικασίες δοκιμής. Η συσκευή πρέπει να αντέχει στις σχετικές μηχανικές, χημικές και θερμικές καταπονήσεις, με τρόπο ώστε να μην επιτρέπεται η διαφυγή επικίνδυνων αερίων καύσης στο χώρο εγκατάστασης της συσκευής ούτε η πτώση αναμμένης θράκας έξω από τη συσκευή, κατά την κανονική λειτουργία της. Πρέπει να χρησιμοποιούνται άφλεκτα υλικά και κανένα μέρος της συσκευής δεν πρέπει να περιέχει υλικό το οποίο να είναι γνωστό ως επιβλαβές. Όταν τροφοδοτείται με στερεά ορυκτά καύσιμα, η συσκευή πρέπει να διαθέτει κάτω εσχάρα και τεφροδόχο.

### **1.4.2 Υδραυλοί λέβητα**

Ο σχεδιασμός του λέβητα πρέπει να διασφαλίζει την ελεύθερη ροή νερού μέσα από όλα τα μέρη του. Για την ελαχιστοποίηση της συσσώρευσης ιζήματος, καλό είναι να αποφεύγονται οι οξείες καμπές ή οι κωνικές μορφοποιήσεις υδραυλών που στενεύουν προς τα κάτω. Ο λέβητας και τα λειτουργικά του μέρη πρέπει να είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπεται ο πλήρης αερισμός των τμημάτων που περιέχουν νερό και να αποφεύγεται η παραγωγή ανεπιθύμητων θορύβων βρασμού σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας σύμφωνα με τις οδηγίες εγκατάστασης του κατασκευαστή.

### **1.4.3 Φυσικός ελκυσμός**

Εάν ο κατασκευαστής της συσκευής ισχυρίζεται ότι η συσκευή συνεχούς λειτουργίας επιτρέπεται να εγκατασταθεί σε καπνοδόχο η οποία εξυπηρετεί περισσότερες από μία συσκευές και ότι κατάλληλα καύσιμα για την συσκευή αυτή είναι τα ορυκτά καύσιμα και οι μπριγκέτες τύρφης, τότε είτε ο ελκυσμός του καπνοσωλήνα καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 3 Pa είτε, στην περίπτωση που ο ελκυσμός του καπνοσωλήνα μειωθεί κάτω από τα 3 Pa, ο εκπεμπόμενος όγκος μονοξειδίου του άνθρακα υπό κανονικές συνθήκες

πίεσης και θερμοκρασίας στη διάρκεια μιας δεκάωρης περιόδου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 250 dm<sup>3</sup>.

#### 1.4.4 Εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα

Η μέση περιεκτικότητα των ξηρών αερίων προϊόντων καύσης σε μονοξείδιο του άνθρακα πρέπει να είναι μικρότερη μιας από τις τιμές που προδιαγράφονται στον πίνακα 1.3, οι οποίες αντιστοιχούν σε περιεκτικότητα 13% των καυσαερίων σε οξυγόνο.

#### 1.4.5 Βαθμός απόδοσης στην ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου

Ο μέσος θερμικός βαθμός απόδοσης που υπολογίζεται από τη μέση τιμή δύο τουλάχιστον διαφορετικών αποτελεσμάτων δοκιμής στην ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου πρέπει να είναι σύμφωνος με τις οριακές τιμές της αντίστοιχης κατηγορίας βαθμού απόδοσης για την συγκεκριμένη συσκευή, όπως αναφέρεται στον πίνακα 1.6.

Κατηγορία	Απαιτήσεις για συσκευές με κλειστές θυρίδες
	Οριακές τιμές ανά κατηγορία βαθμού απόδοσης %
Κατηγορία 1	≥ 70
Κατηγορία 2	≥ 60 < 70
Κατηγορία 3	≥ 50 < 60

Πίνακας 1.6: Βαθμός απόδοσης στην ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου [4]

#### 1.4.6 Ελκυσμός καπνοσωλήνα

Οι τιμές ελκυσμού του καπνοσωλήνα, που σχετίζονται με την ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου της συσκευής, οι οποίες παρατίθενται στο σχήμα 1.9 πρέπει να λαμβάνονται ως οι τιμές για τη στατική πίεση που πρόκειται να εξασκηθεί στο τμήμα μετρήσεων κατά τη δοκιμή ονομαστικής θερμικής ισχύος εξόδου, τη δοκιμή αργής καύσης, τη δοκιμή μειωμένης καύσης και τη δοκιμή ασφαλείας. Κατά την εκτέλεση της δοκιμής ονομαστικής θερμικής ισχύος εξόδου, η στατική πίεση του καπνοσωλήνα πρέπει να κυμαίνεται εντός  $\pm 2$  Pa της προδιαγραφόμενης τιμής. Κατά την εκτέλεση της δοκιμής αργής καύσης ή της δοκιμής μειωμένης καύσης, η στατική πίεση πρέπει να μην διαφέρει περισσότερο από  $\pm 1$  Pa της προδιαγραφόμενης τιμής. Για τη δοκιμή ασφαλείας θερμοκρασίας, η συσκευή πρέπει να υποβάλλεται σε δοκιμή με ελκυσμό καπνοσωλήνα κατά 3 Pa υψηλότερο από εκείνον που εφαρμόστηκε κατά τη δοκιμή ονομαστικής θερμικής ισχύος εξόδου, ενώ η στατική πίεση πρέπει να μην υπερβαίνει αυτήν την προδιαγραφόμενη τιμή περισσότερο από  $+2_0$  Pa.

#### 1.4.7 Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος στο εργαστήριο δοκιμών πρέπει να μετριέται σε σημείο που ανήκει σε κύκλο ακτίνας  $(1.2 \pm 0.1)$  m που αρχίζει από το πλάι της συσκευής, σε ύψος  $(0.50 \pm$

0.01) m πάνω από το ζυγό τύπου πλατφόρμας και μακριά από οποιαδήποτε πηγή άμεσης θερμικής ακτινοβολίας. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, πρέπει να χρησιμοποιείται θερμοζεύγος ή άλλη διάταξη μέτρησης της θερμοκρασίας, η οποία πρέπει να προστατεύεται από τυχόν θερμική ακτινοβολία με τη βοήθεια ενός κυλινδρικού πλέγματος με ανοικτά άκρα, το οποίο είναι κατασκευασμένο από στιλβωμένο αλουμίνιο ή άλλο υλικό ισοδύναμης ανακλαστικότητας.

#### **1.4.8 Κύκλωμα νερού για συσκευές με λέβητες**

Το κύκλωμα νερού πρέπει να είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε η ροή του νερού να μην αποκλίνει περισσότερο από το  $\pm 5\%$  της επιθυμητής τιμής ρύθμισης της παροχής. Το κύκλωμα πρέπει να επιτρέπει την επίτευξη μέσης θερμοκρασίας εξόδου  $(80 \pm 5)^\circ \text{C}$  κατά τη διάρκεια της δοκιμής στην ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου. Στο κύκλωμα νερού πρέπει να προβλέπονται τρόποι μέτρησης της ροής του νερού, προκειμένου να παρακολουθείται η σταθερότητα της ροής. Το κύκλωμα του νερού πρέπει να συνδέεται με τη συσκευή μέσω σωλήνων εισαγωγής και εξαγωγής με τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ελεύθερη μετακίνηση της συσκευής για λόγους ζύγισης. Η θερμοκρασία του νερού εισόδου και εξόδου πρέπει να μετριέται με τη βοήθεια βαθμονομημένου εξοπλισμού που εισέρχεται στο εσωτερικό των σωλήνων και πληροί τις ανοχές που προδιαγράφονται στο κεφάλαιο 1.4.9.

#### **1.4.9 Εξοπλισμός μέτρησης**

Ο εξοπλισμός μέτρησης που χρησιμοποιείται πρέπει να επιλέγεται με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η τήρηση των απαιτήσεων περί αβεβαιότητας των μετρήσεων για κάθε παράμετρο μέτρησης, όπως αυτές προδιαγράφονται στον πίνακα 1.5. Η μέγιστη τιμή μέτρησης παραμέτρου πρέπει να κυμαίνεται εντός του εύρους τιμών.

#### **1.4.10 Δοκιμή απόδοσης στην ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου**

Η δοκιμή απόδοσης στην ονομαστική θερμική ισχύ εξόδου περιλαμβάνει 2 φάσεις:

- Την περίοδο έναυσης και μία ή περισσότερες προκαταρκτικές περιόδους καύσης
- Την κύρια περίοδο δοκιμής

Η διάρκεια της προκαταρκτικής περιόδου δοκιμής πρέπει να επαρκεί για να διασφαλιστεί η επίτευξη των συνθηκών κανονικής λειτουργίας και μιας βασικής κλίνης καύσης. Καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής η στατική πίεση παρακολουθείται και εάν χρειαστεί, ρυθμίζεται ο εξασκούμενος ελκυσμός του καπνοσωλήνα προκειμένου η στατική πίεση να μην διαφέρει περισσότερο από  $\pm 2 \text{ Pa}$  της κατάλληλης κανονικής τιμής ελκυσμού του καπνοσωλήνα. Πρέπει να προηγούνται επαρκείς προκαταρκτικές περίοδοι δοκιμής της κύριας περιόδου δοκιμής προκειμένου η μάζα της βασικής κλίνης καύσης και της τέφρας από το καύσιμο που κάηκε στο τέλος της περιόδου δοκιμής να μην διαφέρει από εκείνη στο πέρας της προηγούμενης περιόδου κατά περισσότερο από 50 g. Οι απαιτήσεις για τις περιόδους δοκιμής παρατίθενται στον πίνακα 1.7.

Συσκευή	Καύσιμο	Διάρκεια	Αριθμός
Συνεχής καύση	Ξύλο	1.5 h	2
Συνεχής καύση	Στερεό ορυκτό καύσιμο	4 h	2
Διαλείπουσα καύση	Ξύλο	0.75 h	3
Διαλείπουσα καύση	Στερεό ορυκτό καύσιμο	1 h	2

Πίνακας 1.7: Ελάχιστη διάρκεια και αριθμός περιόδων δοκιμής [4]

#### 1.4.11 Κύρια περίοδος δοκιμής

Διενεργείται απομάκρυνση της τέφρας από τη φωτιά. Κατόπιν η τεφροδόχος αδειάζεται και επανατοποθετείται στη θέση της, αν χρειάζεται. Η ολική μάζα της εγκατάστασης δοκιμής, όπως αυτή μετρείται με το ζυγό τύπου πλατφόρμας, καταγράφεται. Στη συνέχεια η συσκευή τροφοδοτείται με την υπολογιζόμενη μάζα καυσίμου δοκιμής. Ο εξασκούμενος ελκυσμός του καπνοσωλήνα ρυθμίζεται με τρόπο ώστε να μην υπερβαίνει την απαιτούμενη τιμή δοκιμής περισσότερο από  $+2 \text{ }^{\circ} \text{Pa}$ . Ο θερμοστάτης θερμοκρασίας νερού απενεργοποιείται, ενώ όλες οι υπόλοιπες διατάξεις ελέγχου, με εξαίρεση εκείνων που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την εκκίνηση της συσκευής, ρυθμίζονται στη θέση που επιτρέπει την επίτευξη της υψηλότερης θερμικής ισχύος εξόδου για τη θέρμανση του νερού. Η λειτουργία της διάταξης ελέγχου εκλυόμενης θερμότητας διατηρείται σταθερή. Η παροχή νερού διατηρείται ίση με εκείνη που είχε χρησιμοποιηθεί κατά την προκαταρκτική περίοδο δοκιμής. Η συσκευή αφήνεται να λειτουργήσει με αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, ενώ ταυτόχρονα καταγράφεται η θερμοκρασία της ροής νερού από τον λέβητα. Η δοκιμή τερματίζεται όταν ενεργοποιηθεί η διάταξη ελέγχου εκλυόμενης θερμότητας ή στην περίπτωση που δεν ενεργοποιηθεί η διάταξη ελέγχου εκλυόμενης θερμότητας όταν η θερμοκρασία ροής υπερβαίνει τους  $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Καταγράφεται κατά πόσον η διάταξη αυτή ενεργοποιήθηκε ή όχι. Εάν ναι, καταγράφεται η θερμοκρασία της ροής νερού από το λέβητα κατά τη στιγμή της ενεργοποίησής της.

#### 1.4.12 Υπολογισμοί

Οι υπολογισμοί για τους θερμαντήρες χώρου που λειτουργούν με στερεά καύσιμα είναι οι ίδιοι που χρησιμοποιούνται για τους θερμαντήρες οικιακών χώρων και αναφέρονται στο κεφάλαιο 1.2.3.

## Κεφάλαιο 2: Μέτρηση της θερμογόνου δύναμης των pellet

Αυτή η ενότητα περιέχει στοιχεία για τις αρχές, τους νόμους και τους κανόνες της θερμοδυναμικής, σύμφωνα με τους οποίους λειτουργεί το θερμιδόμετρο. Ακόμα περιλαμβάνει σημαντικές πληροφορίες για τα εξαρτήματα του, τον τρόπο χειρισμού του, καθώς και την βαθμονόμηση του. Τέλος, παρατίθενται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν.

## 2.1 Διαδικασία των μετρήσεων

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε και περιγράφεται παρακάτω έλαβε χώρα στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

### 2.1.1 Ανώτερη – Κατώτερη θερμογόνος δύναμη καυσίμου

Ως θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου, ορίζεται η διαφορά ενθαλπίας μεταξύ του μίγματος καυσίμου- αέρα και των καυσαερίων για την ίδια θερμοκρασία που αναφέρεται στη μάζα του καυσίμου:

$$[\text{kJ/kg}][2.1]$$

Όπου:

- : η ενθαλπία του καυσίμου στην θερμοκρασία  $T_a$
- $\lambda$ : ο λόγος αέρα
- : η ελάχιστη μάζα αέρα (σε kg) που αναφέρεται στη μάζα του καυσίμου
- : η ενθαλπία του αέρα καύσης στην θερμοκρασία  $T_a$
- : η μάζα των καυσαερίων ανηγμένη στη μάζα του καυσίμου ( )
- : η ενθαλπία των καυσαερίων στην θερμοκρασία  $T_a$

Κατά τη μέτρηση της θερμογόνου δύναμης πρέπει το καύσιμο και ο αέρας να προσάγονται σε ένα χώρο αντίδρασης (θερμιδόμετρο) στην ίδια θερμοκρασία και τα προϊόντα της καύσης πρέπει να ψύχονται ακριβώς στην ίδια θερμοκρασία. Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, η θερμότητα που απάγεται στη θερμοκρασία αυτή όταν αναφερθεί στη μάζα του καυσίμου, ισούται με τη θερμογόνο δύναμη.

Ανάλογα με τη φάση του  $H_2O$  στα προϊόντα χαρακτηρίζεται και η θερμογόνος δύναμη ως ανώτερη (υγρή φάση) και κατώτερη (αέρια φάση). Φυσικά αυτές οι δύο κατηγορίες διαφέρουν κατά την ενθαλπία εξατμίσεως του  $H_2O$ :

$$[2.2]$$

Όπου:

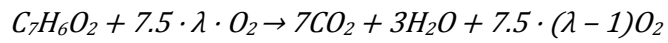
- : Η ειδική ενθαλπία εξατμίσεως του νερού που εξαρτάται από τη θερμοκρασία
- : Η μάζα του νερού ανηγμένη στη μάζα του καυσίμου ( )

Η θερμογόνος δύναμη είναι ιδιότητα του καυσίμου και δεν εξαρτάται από το αν η καύση εκτελείται με καθαρό οξυγόνο, με αέρα ή με χαμηλή ή υψηλή περισσεια αέρα, όταν είναι τέλεια.

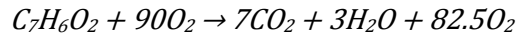
### 2.1.2 Τέλεια- Ατελής καύση

Ως τέλεια καύση ορίζεται η γρήγορη οξειδωση όλων των συστατικών ενός καυσίμου σε  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $SO_2$  κτλ, ενώ κατά την ατελή καύση τα προϊόντα της καύσης περιέχουν και ουσίες που μπορούν να οξειδωθούν περαιτέρω (π.χ.  $CO \rightarrow CO_2$ ). Ουσιαστικά, όταν ο φορέας του οξυγόνου παρέχει αρκετό  $O_2$  για την πλήρη οξειδωση όλων των συστατικών του καυσίμου, τότε έχουμε τέλεια καύση. Όταν ο φορέας αυτός είναι το ίδιο το  $O_2$ , τότε η ελάχιστη ποσότητα  $O_2$  που θα χρειαστεί για την πλήρη καύση θα εξαρτάται αποκλειστικά από το καύσιμο.





και για  $\lambda=12$  θα είναι



που σημαίνει πως η αναλογία των όγκων  $O_2 / CO_2$  στα προϊόντα θα είναι 82,5 / 7. Η θερμοκρασία του προϊόντος νερού θα είναι κάτω από το σημείο δρόσου του νερού στην θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων, αφού λόγω της μεγάλης πίεσης η μάζα του οξυγόνου θα είναι αρκετά μεγάλη για να παραλάβει τη θερμότητα καύσης με σχετικά μικρή μεταβολή θερμοκρασίας μεταξύ αρχικής και τελικής κατάστασης. Στις 30 atm η θερμοκρασία κορεσμού του νερού θα είναι ίση με 233,9 °C, πολύ μεγαλύτερη της μέγιστης θερμοκρασίας, της τάξεως των 30 - 37 °C, που θα έχει το σύστημα μετά το πέρας της όλης διεργασίας. Άρα, ο όγκος του υγρού νερού στην έξοδο δε θα επηρεάσει σχεδόν καθόλου την τελική ενθαλπία των προϊόντων. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει πως η τελική ειδική ενθαλπία των προϊόντων θα εξαρτάται από το τελικό οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα, και εξαιτίας του πολύ μεγάλου λόγου των όγκων των παραπάνω αερίων, η τελική ειδική γραμμομοριακή ενθαλπία των καυσαερίων θα είναι χωρίς μεγάλο σφάλμα περίπου ίση με την ειδική ενθαλπία του  $O_2$  σε εκείνη την θερμοκρασία. Άλλωστε η ενθαλπία των αντιδρώντων είναι ίση με την ενθαλπία του αντιδρώντος  $O_2$ , δεδομένου ότι το βενζοϊκό οξύ είναι σε στερεή μορφή.



Εικόνα 2.1: Οβίδα

### 2.1.3 ΑΡΧΕΣ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ

Το θερμιδόμετρο είναι μία συσκευή η οποία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θερμογόνου δύναμης ενός καυσίμου (determination). Οι αρχές που διέπουν την λειτουργία της συσκευής αυτής είναι η μετάδοση θερμότητας λόγω συναγωγής και η ύπαρξη θερμοχωρητικότητων καθώς και θερμοπερατοτήτων στα επιμέρους τμήματα του θερμιδόμετρου.

Η λειτουργία του έχει ως εξής:

- Καταγραφή των συνθηκών πριν την έναυση (πίεση, θερμοκρασία, μάζες και σύσταση αντιδρώντων ) του καυσίμου.
- Έναυση του καυσίμου με διέλευση μεγάλης έντασης ηλεκτρικού ρεύματος μέσω ενός σύρματος επαπτόμενο στο καύσιμο.
- Η θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση και είναι ανάλογη της μάζας και της σύστασης του καυσίμου παραλαμβάνεται από την οβίδα, το περιβάλλον νερό και την δεξαμενή νερού (bucket).
- Η ομοιοκατανομή της θερμοκρασίας του νερού επιτυγχάνεται μέσω ηλεκτρικού αναδευτήρα.
- Γύρω από το bucket υπάρχει δεύτερη, μεγαλύτερη δεξαμενή (jacket) ελεγχόμενης θερμοκρασίας νερού η οποία εξασφαλίζει την αδιαβατικότητα του όλου συστήματος με το περιβάλλον. Αυτό επιτυγχάνεται με την επίτευξη θερμοκρασίας στο jacket της τάξης της αρχικής θερμοκρασίας του νερού στο bucket ή και λίγο μεγαλύτερη.
- Η τελική θερμοκρασία του νερού αφού σταθεροποιηθεί σε μια τελική τιμή μετριέται μέσω θερμίστορ και η διαφορά θερμοκρασίας μετατρέπεται με τα αρχικά δεδομένα σε τιμή θερμογόνου δύναμης.

Πιο συγκεκριμένα:

Αρχικά ο χρήστης της συσκευής καλείται να δηλώσει στο πρόγραμμα του θερμιδόμετρου τη μάζα του καυσίμου που έχει εισαχθεί μέσα στην κάψουλα της οβίδας, καθώς και να γεμίσει την οβίδα με οξυγόνο σε πίεση 20-35 atm αλλά ποτέ πάνω από 40 atm.





Εικόνα 2.2: Κάψουλες για την τοποθέτηση του δείγματος

Μια καλή τιμή είναι αυτή των 30 atm. Το οξυγόνο προέρχεται από φιάλη  $O_2$  που είναι συνδεδεμένη με το θερμιδόμετρο. Συνεπώς, η ροή του οξυγόνου ελέγχεται από το θερμιδόμετρο και σταματάει όταν επιτευχθεί η επιθυμητή πίεση εντός της οβίδας. Αυτή η τιμή της πίεσης έχει προηγουμένως περαστεί στο πρόγραμμα από τον χρήστη, ή χρησιμοποιείται η εργοστασιακή (default). Η τιμή της θερμοκρασίας εντός του bucket και του jacket ελέγχεται μέσω θερμίστορ (thermistors). Στο jacket η θερμοκρασία του νερού επιτυγχάνεται μέσω ψυκτικού νερού καθώς και μέσω θέρμανσής του. Αυτόματα, το θερμιδόμετρο επιλέγει και πάλι μια προκαθορισμένη τιμή (ή μία επιλεγμένη από το χρήστη) για να σταθεροποιήσει τη θερμοκρασία μέσα στο jacket. Ας σημειωθεί εδώ πως η θερμοκρασία του νερού σε όλο το jacket, καθώς και στο καπάκι του θερμιδόμετρου όπου και εκεί κυκλοφορεί νερό, κρατείται ομοιόμορφη λόγω της ύπαρξης μιας αντλίας που κινεί το νερό στο κύκλωμα εντός του jacket. Αυτή είναι συνήθως  $35\text{ }^\circ\text{C}$ . Η μάζα του καυσίμου μετρείται μέσω ηλεκτρονικού ζυγού ακριβείας  $4^{\text{ου}}$  δεκαδικού ψηφίου. Υπάρχει πρόβλεψη από το λογισμικό του προγράμματος για την παράλληλη σύνδεση του ζυγού ακριβείας με το θερμιδόμετρο.

Αν είναι γνωστή η σύσταση του καυσίμου δείγματος, τότε με κάποιους συντελεστές και την ολική μάζα του δείγματος μπορούν να υπολογιστούν κάποιες διορθώσεις, οι οποίες θα βοηθήσουν στην σωστότερη αποτίμηση της θερμογόνου δύναμης. Αυτές οι τιμές μπορούν να υπολογιστούν καλύτερα από τα καυσαέρια μέσω ενός αναλυτή αερίων, αφού και το άζωτο που περιέχεται στον αέρα, που έχει εγκλωβιστεί μέσα στην οβίδα, μπορεί να οξειδωθεί σε  $NO$  ή  $NO_2$ , και έπειτα να αντιδράσει με το προϊόν νερό προς σχηματισμό νιτρικού οξέως. Αυτό βέβαια αποδίδει ενέργεια προς τα υπόλοιπα αέρια της

καύσης, με αποτέλεσμα η τιμή της θερμογόνου δύναμης να παρουσιάζεται μεγαλύτερη από ότι πραγματικά είναι. Συνεπώς αφαιρούνται αυτές οι τιμές από το αποτέλεσμα του θερμιδόμετρου. Αυτό γίνεται αυτόματα αφού δηλώνουν αυτόματα μέσω σύνδεσης του αναλυτή αερίων με το θερμιδόμετρο, ή μέσω χειροκίνητης δήλωσης τους από τον χρήστη ή από τις προεπιλεγμένες τιμές που έχουν οριστεί από τον κατασκευαστή. Έτσι, στο τέλος του πειράματος εμφανίζεται η διορθωμένη τιμή της θερμογόνου δύναμης.

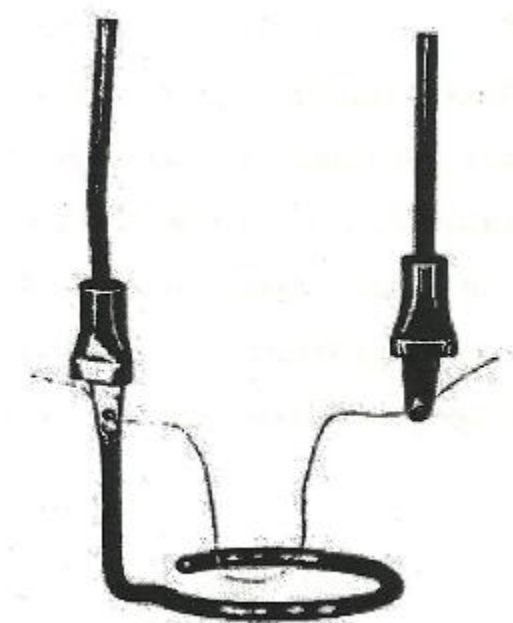
Έπειτα από το γέμισμα της οβίδας με  $O_2$ , η οβίδα βυθίζεται μέσα σε αποσταγμένο νερό 2 λίτρων. Δύο ηλεκτρόδια συνδέονται με την κεφαλή της, και την κατάλληλη στιγμή άγουν ηλεκτρικό ρεύμα μεγάλης έντασης το οποίο και διοχετεύουν στο δείγμα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός σύρματος γνωστού μήκους που τοποθετείται σε ειδικές υποδοχές εντός της οβίδας και έτσι ώστε να βρίσκεται σε επαφή με το δείγμα, σε περίπτωση στερεού δείγματος, λίγο επάνω από το δείγμα, σε περίπτωση υγρού δείγματος και ελαφρώς βυθισμένο σε δείγμα τύπου σκόνης.



Εικόνα 2.3: Βάση στήριξης για την εισαγωγή του καυσίμου στην κάψουλα στην κεφαλή της οβίδας



Εικόνα 2.4: Σύρμα «45C10 FUSE WIRE» που χρησιμοποιείται για την έναυση του καυσίμου



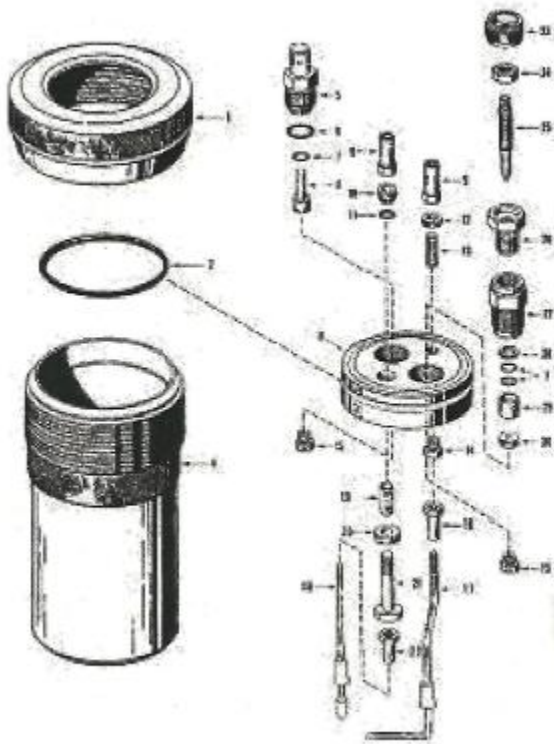
Εικόνα 2.5: Τοποθέτηση του σύρματος στις υποδοχές με τρόπο ώστε να εφάπτεται στο δείγμα

Το μεγάλης έντασης ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί ανάφλεξη στο καύσιμο και συνεπώς την πλήρη καύση του. Επειδή όμως το σύρμα καίγεται κι αυτό, προσφέρει κάποιο ποσοστό θερμότητας στο τελικό. Άρα θα πρέπει να γίνει και για αυτό κάποια διόρθωση (Fuse correction), η οποία διόρθωση μπορεί να περαστεί είτε χειροκίνητα είτε με την προεπιλεγμένη τιμή. Συνήθως 15 cal είναι μια αποδεκτή τιμή, καθώς απόκλιση πάνω από 5 cal σπάνια συμβαίνει. Χειροκίνητα θα πρέπει να μετρηθεί το εναπομένον σύρμα

και αφού αφαιρεθεί το μήκος αυτό από το αρχικό, να πολλαπλασιαστεί με τη θερμογόνο δύναμη του σύρματος. Το αποσταγμένο νερό παίζει το ρόλο του μονωτή σε αυτή τη φάση του πειράματος, έτσι ώστε να μην γίνει βραχυκύκλωμα μεταξύ των ηλεκτροδίων εκτός της οβίδας, πράγμα που ίσως να ήταν επικίνδυνο ακόμα και για τον χρήστη.

Εκτός όμως από τις "φανερές" αυτές πηγές θερμότητας, υπάρχουν και άλλες οι οποίες δεν είναι σημαντικές αλλά παρόλα αυτά υπάρχουν όπως η κίνηση του αναδευτήρα και η ηλεκτρική ενέργεια που δίνεται μέσω του ρεύματος για την έναυση. Η κίνηση του αναδευτήρα θεωρείται ότι δεν προκαλεί μεταβολή στην ενθαλπία του νερού εξωτερικά της οβίδας, ενώ η διέλευση του ρεύματος διαρκεί πολύ λίγο ( της τάξης του 1 msec ) με συνέπεια η ενέργεια που δίνεται να θεωρείται και αυτή πολύ μικρή.

Η θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση του δείγματος, του σύρματος καθώς και από τη δημιουργία των οξέων (θειικό, νιτρικό) παραλαμβάνεται από το μέταλλο της οβίδας, από το νερό γύρω από την οβίδα, το bucket, καθώς και από το θερμίστορ και τον αναδευτήρα. Θεωρώντας ότι όλο το θερμιδόμετρο λειτουργεί ενιαία ως ένα "σώμα", μετρώντας τη θερμοκρασιακή διαφορά στο νερό μέσα στο bucket θεωρούμε ότι και οι μεταλλικές μάζες των συστατικών του θερμιδόμετρου θα έχουν υποστεί και αυτές την ίδια μεταβολή θερμοκρασίας. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των μεγάλων θερμοπερατοτήτων των μαζών του θερμιδόμετρου. Εντός του bucket υπάρχει όπως προαναφέρθηκε ηλεκτρικός αναδευτήρας που χρησιμοποιείται για την ομοιοκατανομή της θερμοκρασίας.



Εικόνα 2.6: Ανάλυση της οβίδας στα επιμέρους τμήματα που την απαρτίζουν

Το jacket παίζει το ρόλο της θερμικής ασπίδας έτσι ώστε η θερμότητα που εκλύεται από την καύση να μην διαδοθεί και πιο έξω από το bucket. Αυτό θερμοδυναμικά

μεταφράζεται σε κλειστό αδιαβατικό σύστημα, το οποίο με τη σειρά του ισοδυναμεί με το εξής ισοζύγιο ενέργειας:

$$E_{\eta\lambda} + E_{\epsilon\nu} + m_b \cdot Hu + m \cdot h + L_{\sigma\upsilon\rho\mu} \cdot (-)_{\sigma\upsilon\rho\mu} = m_{o\beta} \cdot c_{p_{o\beta}} \cdot \Delta T + m_{\delta o\chi} \cdot c_{p_{\delta o\chi}} \cdot \Delta T + m_{\alpha\nu\alpha\delta} \cdot c_{p_{\alpha\nu\alpha\delta}} \cdot \Delta T + m_{\kappa\alpha\upsilon\sigma} \cdot h_{\kappa\alpha\upsilon\sigma} + m_{H_2O} \cdot c_{p_{H_2O}} \cdot \Delta T \quad [2.6]$$

Όπου:

$E_{\eta\lambda}$ : η ηλεκτρική ενέργεια που δίνεται για την κίνηση του αναδευτήρα  
 $E_{\epsilon\nu}$ : η ηλεκτρική ενέργεια που δίνεται μέσω του ρεύματος για την έναυση  
 $m_b \cdot Hu$ : η μάζα του καυσίμου επί την θερμογόνο του δύναμη, το ποσό της θερμότητας που απελευθερώνει η μάζα του καυσίμου που καίγεται  
 $m_{O_2} \cdot h_{O_2}$ : η ενθαλπία του οξυγόνου πριν την καύση  
 $L_{\sigma\upsilon\rho\mu}$ : το μήκος του σύρματος που κάηκε κατά την καύση  
 $(Hu/\Delta L)_{\sigma\upsilon\rho\mu}$ : η θερμογόνος δύναμη του σύρματος ανά μονάδα μήκος του  
 $m_{o\beta}$ : η μάζα της οβίδας  
 $c_{p_{o\beta}}$ : η ειδική θερμοχωρητικότητα της οβίδας  
 $\Delta T$ : η θερμοκρασιακή διαφορά πριν και μετά την καύση  
 $m_{\delta o\chi}$ : η μάζα του bucket χωρίς το περιεχόμενο νερό και την οβίδα  
 $c_{p_{\delta o\chi}}$ : η ειδική θερμοχωρητικότητα του bucket  
 $m_{\alpha\nu\alpha\delta}$ : η μάζα του αναδευτήρα  
 $c_{p_{\alpha\nu\alpha\delta}}$ : η ειδική θερμοχωρητικότητα του αναδευτήρα  
 $m_{\kappa\alpha\upsilon\sigma}$ : η μάζα των καυσαερίων ( $CO_2$ ,  $O_2$ )  
 $h_{\kappa\alpha\upsilon\sigma}$ : η ειδική ενθαλπία των καυσαερίων  
 $m_{H_2O}$ : η μάζα των υδρατμών που επικάθονται στα εσωτερικά τοιχώματα της οβίδας  
 $c_{p_{H_2O}}$ : η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού

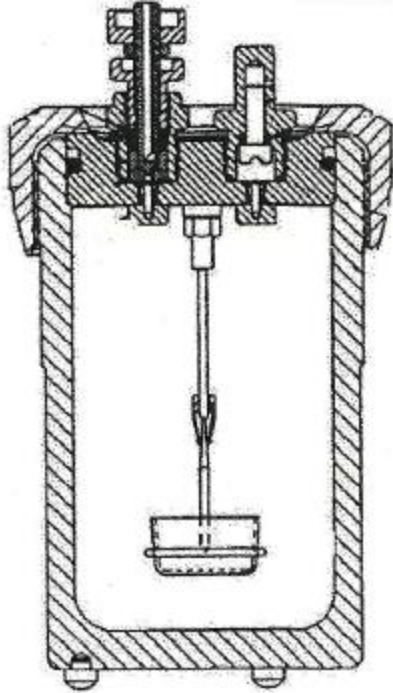
Από αυτές τις τιμές, όπως έχει προαναφερθεί, η ηλεκτρική ενέργεια λόγω κίνησης του αναδευτήρα και η ενέργεια για την έναυση του καυσίμου θεωρούνται αμελητέες. Όπως επίσης, και η ενθαλπία των καυσαερίων στο τέλος της καύσης θα ισούται σχεδόν με την διαφορά ενθαλπίας του οξυγόνου μεταξύ της αρχικής και τελικής κατάστασης, δηλαδή:

$$m_{\kappa\alpha\upsilon\sigma} \cdot h_{\kappa\alpha\upsilon\sigma} = m \cdot \Delta h \quad [2.7]$$

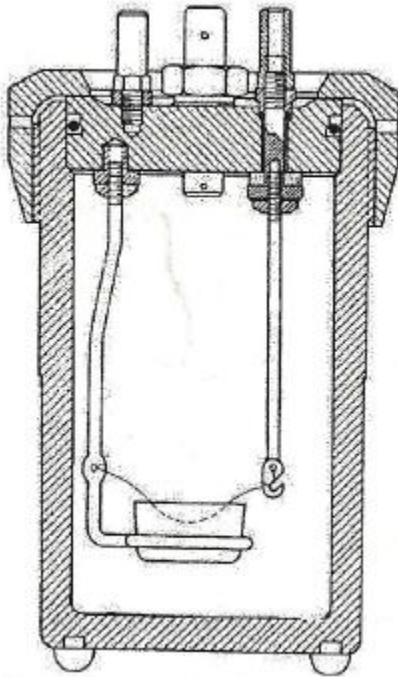
Η ενθαλπία του νερού στα προϊόντα δε λαμβάνεται υπόψη διότι το νερό, όπως έχει αποδειχτεί, είναι σε υγρή μορφή. Τέλος, θεωρείται ότι η οβίδα, ο αναδευτήρας και το μέταλλο της δεξαμενής (bucket) είναι από το ίδιο υλικό, άρα έχουν και την ίδια θερμοχωρητικότητα  $c_{p_{o\lambda}}$ . Με δεδομένες τις παραπάνω παραδοχές, μπορεί να γραφεί μια πιο απλοποιημένη έκφραση του ισοζυγίου:

$$Hu = [m_{(o\beta + \delta o\chi + \alpha\nu\alpha\delta)} \cdot c_{p_{o\lambda}} \cdot \Delta T + m \cdot \Delta h + m_{H_2O} \cdot c_{p_{H_2O}} \cdot \Delta T - L_{\sigma\upsilon\rho\mu} \cdot (-)_{\sigma\upsilon\rho\mu}] / m_b \quad [2.8]$$

Σε περίπτωση αερίου δείγματος, θα πρέπει να αφαιρεθεί από το δεύτερο μέλος η ειδική ενθαλπία του καυσίμου στην αρχική θερμοκρασία.



Εικόνα 2.7: Πλάγια τομή της οβίδας. Στο επάνω μέρος διακρίνονται οι βαλβίδες εισαγωγής (δεξιά) και εξαγωγής (αριστερά)



Εικόνα 2.8: Τομή της οβίδας όπου φαίνονται οι ακροδέκτες των ηλεκτροδίων επάνω και η διάταξη σύρματος – κάψουλας μέσα στην οβίδα

Επίσης, σε περίπτωση που το δείγμα δεν είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο, θα πρέπει να προστεθεί ένα «βοήθημα» το οποίο λέγεται spike. Η μάζα του spike θα πρέπει να δηλώνεται στην αρχή του πειράματος, καθώς και η γνωστή θερμογόνος του δύναμη. Στο ισοζύγιο ενέργειας το ποσό θερμότητας που συνεισφέρει το spike στην καύση θα είναι:  $m_{sp} \cdot H_{u,sp}$ , ποσό που πρέπει να αφαιρεθεί από το ποσό της θερμότητας που απορροφάται από τα τμήματα του θερμιδόμετρου. Αυτό βέβαια, εφόσον έχουν δηλωθεί οι τιμές του spike στην αρχή, υπολογίζεται από το πρόγραμμα του θερμιδόμετρου.

Τα υπόλοιπα ποσά είναι γνωστά από το θερμιδόμετρο, όπως τα  $m_{(οβ+δοχ+αναδ)}$ ,  $c_{p,ολ}$ ,  $m_{O_2}$ ,  $\Delta h$ ,  $m_{H_2O}$ ,  $c_{p,H_2O}$ , αφού τα πρώτα είναι στοιχεία τμημάτων του και τα άλλα υπολογίζονται έμμεσα λόγω γνωστής πίεσης, όγκου οβίδας, μάζας νερού μέσα στο bucket, θερμοκρασίας αρχικής και τελικής και σχέσης  $h_{O_2} - T$ . Η μάζα του καυσίμου δηλώνεται από την αρχή, και το μήκος του σύρματος που κάηκε μετράται στο τέλος του πειράματος. Η θερμοκρασία μετράται με το θερμίστορ ενώ όλα τα υπόλοιπα είναι σταθερά για κάθε περίπτωση.

Οι πληροφορίες αυτές μετατρέπονται σε σήμα που πάει στην «τράπεζα» δεδομένων του θερμιδόμετρου. Εκεί δίνεται το τελικό αποτέλεσμα αφού γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί.

Η ειδική θερμοχωρητικότητα της οβίδας, του αναδευτήρα, του bucket και του περιεχόμενου νερού επί την ολική μάζα τους, μας δίνει την ισοδύναμη ενέργεια του θερμιδόμετρου ( $W$ ), η οποία μπορεί κάθε φορά να υπολογίζεται με γνωστής θερμογόνου δύναμης καύσιμο. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται standardization. Το  $W$  είναι ένα κύριο χαρακτηριστικό του θερμιδόμετρου.

Σε περίπτωση διορθώσεων, το ισοζύγιο μεταβάλλεται ανάλογα. Οι τιμές των διορθώσεων μπορούν να δηλωθούν στις υποσελίδες του κυρίως μενού στην αρχή του πειράματος.

Τέλος, θα πρέπει να δοθούν οι δύο τρόποι λειτουργίας του θερμιδόμετρου. Ο πρώτος λέγεται isoperibol operation και συνίσταται στην ελεγχόμενη θερμοροή μεταξύ του bucket και των περιβαλλόντων μαζών και επιβάλλει την όποια διόρθωση χρειαστεί. Ο δεύτερος τρόπος ονομάζεται dynamic operation και απλουστεύει τη διαδικασία αφού με δεδομένο τον μισό σχεδόν χρόνο, μπορεί να «προβλέψει» τον υπόλοιπο μισό. Αυτό, φυσικά, επιταχύνει την αλληπάλληλη διαδικασία για τον έλεγχο περισσότερων του ενός δείγματος με σημαντικά χρονικά κέρδη και με ελάχιστη, αν όχι καθόλου, απόκλιση από την αντίστοιχη isoperibol operation.



Εικόνα 2.9: Το θερμιδόμετρο τύπου οβίδας

## 2.1.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ

Πριν τη λειτουργία του θερμιδόμετρου πρέπει να είναι βέβαιο ότι η φιάλη του οξυγόνου έχει την απαραίτητη πίεση (έως 30 atm, αλλά ποτέ πάνω από 40 atm) για να γεμίσει την οβίδα, καθώς επίσης και ότι υπάρχει αποσταγμένο νερό.

### 2.1.4.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ

1. Ανοίγεται το καπάκι του θερμιδόμετρου, ξεβιδώνεται η βίδα τύπου allen και βεβαιώνεται ότι το jacket είναι γεμάτο με νερό. Αν όχι, πρέπει να γεμίσει, χρησιμοποιώντας αποσταγμένο νερό.
2. Ανοίγεται το θερμιδόμετρο χρησιμοποιώντας τον διακόπτη που υπάρχει στο πίσω μέρος της συσκευής.
3. Ενεργοποιείται το pump and heater, πατώντας το 1 (Calorimeter operation) στην αρχική σελίδα και στη συνέχεια το 3 (Heater and Pump) και μετά το YES. Έτσι στέλνεται νερό και στο καπάκι του θερμιδόμετρου και θερμαίνεται το νερό στο jacket. Λόγω της κυκλοφορίας του νερού και στο καπάκι, θα πρέπει να γίνει νέος έλεγχος για την πληρότητα του νερού στο jacket. (επανάληψη βήματος 1)
4. Πρέπει η θερμοκρασία στο jacket να φτάσει στους 35°C και τότε μπορεί να ξεκινήσει το πείραμά. ΠΡΟΣΟΧΗ: Αν το θερμιδόμετρο κάνει παραπάνω από 20 λεπτά για να ανέβει η θερμοκρασία κατά 6 °C, είτε η ροή του νερού ψύξης είναι πολύ υψηλή, είτε η θερμοκρασία του νερού είναι πολύ χαμηλή. Επίσης, εάν η θερμοκρασία του νερού στο jacket σταθεροποιηθεί σε



θερμοκρασία μεγαλύτερη των 35 °C τότε συμβαίνουν οι αντίθετες συνθήκες από τις παραπάνω.

#### 2.1.4.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΟΒΙΔΑΣ ΚΑΙ BUCKET

1. Ξεβιδώνεται η βαλβίδα εξόδου καυσαερίων που υπάρχει πάνω στην οβίδα, ώστε να απελευθερωθεί ο τυχών υπάρχων αέρας, και στην συνέχεια ξεβιδώνεται το καπάκι της οβίδας.
2. Ελέγχεται αν το εσωτερικό της οβίδας είναι καθαρό και σε κάθε άλλη περίπτωση καθαρίζεται με νερό και σκουπίζεται καλά. ΠΡΟΣΟΧΗ: Διατηρείται η οβίδα σε καλή κατάσταση κάθε στιγμή. Κάθε κομμάτι που έχει σημάδια παραμόρφωσης ή αδυναμίας, θα πρέπει να αντικαθίσταται αμέσως.
3. Ζυγίζεται το δείγμα που προορίζεται για καύση. ΠΡΟΣΟΧΗ: τοποθετείται συνήθως λιγότερο μείγμα από 1.1 γραμμάρια. Αν οι ενδείξεις που υπάρχουν δε δείχνουν ανώμαλη συμπεριφορά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί παραπάνω δείγμα, ποτέ όμως πάνω από 1.5 γραμμάρια.
4. Τοποθετείται η κεφαλή της οβίδας στο στήριγμα.
5. Τοποθετείται το δείγμα στην ειδική κάψουλα και η κάψουλα στον ειδικό χώρο της κεφαλής της οβίδας. ΠΡΟΣΟΧΗ: Δεν πρέπει να υπερφορτώνεται η οβίδα με πολύ δείγμα ή με δείγμα που μπορεί να αντιδράσει εκρηκτικά.
6. Κόβεται 10 cm από το ειδικό βαθμονομημένο σύρμα, σηκώνονται οι ειδικές ασφάλειες, τοποθετούνται οι δύο άκρες του σύρματος στις ειδικές τρύπες που υπάρχουν στις άκρες των ηλεκτροδίων στην κεφαλή της οβίδας και κατεβάζονται οι ειδικές ασφάλειες. Αν το δείγμα είναι στερεό, λυγίζεται το σύρμα, ώστε να εφάπτεται στην επιφάνεια του. Αν το δείγμα είναι υγρό, το σύρμα είναι καλό να βρίσκεται λίγο πάνω από την επιφάνεια του δείγματος. Τέλος, αν το δείγμα είναι σε μορφή σκόνης, το σύρμα θα πρέπει να βυθίζεται στο δείγμα.
7. Βιδώνεται η κεφαλή της οβίδας στο κυρίως σώμα και κλείνετε η βαλβίδα εξόδου καυσαερίων.
8. Ελέγχεται ότι η φιάλη οξυγόνου είναι συνδεδεμένη με το θερμιδόμετρο και στη συνέχεια συνδέεται το σωληνάκι που εξέρχεται από το θερμιδόμετρο με τη βαλβίδα εισόδου αέρα, που βρίσκεται στην κεφαλή της οβίδας. Γυρνάει η στρόφιγγα της φιάλης οξυγόνου κατά ένα τέταρτο του κύκλου, ώστε να ανοίξει η παροχή οξυγόνου.
9. Πρέπει να πατηθεί το κουμπί O<sub>2</sub> FILL στο θερμιδόμετρο, για να γεμίσει η οβίδα με οξυγόνο. Η πίεση και η ποσότητα του οξυγόνου που εισχωρεί στην οβίδα, ελέγχεται αυτόματα από το θερμιδόμετρο. Όταν τελειώσει η διεργασία, κλείνει η στρόφιγγα της φιάλης οξυγόνου. ΠΡΟΣΟΧΗ: Αν βγει μήνυμα ότι η διεργασία απέτυχε, τότε, ανοίγει η βαλβίδα καυσαερίων, ώστε να εξέλθει ο όποιος αέρας υπάρχει μέσα στην οβίδα. Βεβαιώνεται ότι έχει βιδωθεί σωστά η κεφαλή της οβίδας και ότι είναι αρκετά σφιχτή η σύνδεση

- της βαλβίδας εισόδου αέρα με το σωληνάκι. Κλείνει η βαλβίδα εξόδου καυσαερίων και γίνεται και άλλη προσπάθεια.
10. Τοποθετούνται 2000 ( $\pm 0.5$ ) gr αποσταγμένου νερού στο bucket του θερμιδόμετρου. Τοποθετείται το Bucket στην ειδική είσοδο που υπάρχει στο jacket.
  11. Συνδέονται τα δύο ηλεκτρόδια που εξέρχονται από το θερμιδόμετρο με την κεφαλή της οβίδας. ΠΡΟΣΟΧΗ: Ελέγχεται ότι τόσο η είσοδος των ηλεκτροδίων στην κεφαλή της οβίδας, όσο και τα ίδια τα ηλεκτρόδια είναι στεγνά. Βυθίζεται η οβίδα στο bucket, χρησιμοποιώντας την ειδική λαβή και ελέγχεται ότι σταθεροποιείται. Τοποθετούνται τα καλώδια στο πλάι, ώστε να μην μπερδευτούν με τον αναδευτικό μηχανισμό. ΠΡΟΣΟΧΗ: Δεν πρέπει να γίνει καύση, αν εμφανίζονται φυσαλίδες από οποιοδήποτε σημείο της οβίδας όταν αυτή είναι βυθισμένη στο νερό.
  12. Κλείνει το καπάκι του θερμιδόμετρου.

#### **2.1.4.3 ΚΑΥΣΗ**

1. Ελέγχεται ότι η θερμοκρασία στο jacket είναι 35 °C.
2. Στην οθόνη του θερμιδόμετρου στην σελίδα 1 (Calorimeter operation) στη γραμμή 1 (operation mode) επιλέγεται detr.
3. Στην σελίδα 2 (operating controls) στη γραμμή 2 (reporting units) επιλέγονται οι επιθυμητές μονάδες (btu/lb, cal/gr, J/kg και MJ/kg), στις οποίες και θα δοθούν τα αποτελέσματα.
4. Επιλέγεται το πλήκτρο Start. Το θερμιδόμετρο ζητάει Bomb ID number, όπου επιλέγεται το νούμερο 1, Sample ID number όπου το θερμιδόμετρο επιλέγει αυτόματα τον αύξοντα αριθμό πειράματος, και Sample weight όπου δίνεται το βάρος του δείγματος που έχει ήδη ζυγιστεί.
5. Τώρα αρχίζει αυτόματα η καύση που χωρίζεται στην κατάσταση preperiod, στην καθαυτή την καύση και στην κατάσταση postperiod. ΠΡΟΣΟΧΗ: Ακριβώς πριν την καύση ακούγεται μία σειρά από χαρακτηριστικούς ήχους και πρέπει οι παρευρισκόμενοι να στέκονται μακριά από το θερμιδόμετρο, όπως και μην το χειριστεί κάποιος τουλάχιστον για 20 δευτερόλεπτα μετά την καύση.
6. Το θερμιδόμετρο ειδοποιεί για το τέλος της καύσης και στην οθόνη εμφανίζονται τα αποτελέσματα. Αυτά αποτελούνται από τη θερμογόνο δύναμη του δείγματος εκφρασμένη στις μονάδες που επιλέχθηκαν, το βάρος του δείγματος και τις διορθώσεις οξέων, θείου και σύρματος. Εκτός από τις διορθώσεις του σύρματος που είναι πάντα 15, οι διορθώσεις οξέων και θείου είναι μηδενικές εκτός αν υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης του θερμιδόμετρου με αναλυτή αερίων. ΠΡΟΣΟΧΗ: Πατώντας το F3 και δίνοντας το Bomb ID number και το Sample ID number του πειράματος, μπορεί κάποιος κάθε στιγμή να ανατρέξει στα δεδομένα του πειράματος, καθώς και να επέμβει σε αυτά.

#### 2.1.4.4 ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΥΣΗ

1. Ανοίγεται το καπάκι του θερμιδόμετρου. Αποσυνδέονται τα ηλεκτρόδια από την κεφαλή της οβίδας, και βγαίνει η οβίδα χρησιμοποιώντας την ειδική λαβή.
2. Ανοίγεται η βαλβίδα εκτόνωσης καυσαερίων έως ότου να φύγει όλος ο αέρας από την οβίδα. Ξεβιδώνεται η κεφαλή της οβίδας και τοποθετείται στο στήριγμα.
3. Γίνεται έλεγχος για υπολείμματα του πειράματος και αφαιρούνται (υπολείμματα σύρματος και δείγματος). Τέλος, καθαρίζονται προσεκτικά όλες οι εσωτερικές επιφάνειες της οβίδας με νερό και την στεγνώνεται.
4. Στο τέλος του πειράματος κλείνει ο διακόπτης του θερμιδόμετρου.

## 2.2 Αποτελέσματα και σύγκριση των αποτελεσμάτων

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν πειράματα για πέντε είδη pellet. Τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στους πίνακες 2.1 και 2.2.

Ημερομηνία μέτρησης	Ταυτότητα δείγματος	Σχόλια δείγματος	Βάρος κάψας (gr)	Βάρος κάψας + υπόλειμμα (gr)	Βάρος δείγματος (gr)	Βάρος υπολείμματος (gr)	Θερμογόνος δύναμη (cal/gr)
05.02.2013	151	Οξιά, Αυστριακό (golden nuggets)	13.8190	13.8281	1.1563	0.0091	4528.5569
05.02.2013	152	Οξιά, Σέρβικο	13.9295	13.9423	1.0258	0.0128	4400.9952
05.02.2013	153	Οξιά, Ελληνικό (ΜΑΚΗ)	13.7895	13.7960	0.9645	0.0065	4613.8296
05.02.2013	154	Πυρήνας ελιάς	13.8226	13.8542	1.0938	0.0316	4720.3639
05.02.2013	155	Οξιά, Ελβετικό	13.8190	13.8370	1.0036	0.018	4563.0571

Πίνακας 2.1: 1<sup>η</sup> Πειραματική μέτρηση θερμιδικής αξίας των διαφόρων ειδών pellet

Ημερομηνία μέτρησης	Ταυτότητα δείγματος	Σχόλια δείγματος	Βάρος κάψας (gr)	Βάρος κάψας + υπόλειμμα (gr)	Βάρος δείγματος (gr)	Βάρος υπολείμματος (gr)	Θερμογόνος δύναμη (cal/gr)
08.02.2013	156	Οξιά, Ελβετικό	13.7778	-	1.0001	-	Misfire
08.02.2013	157	Οξιά, Ελβετικό	13.7816	13.8016	1.0010	0.02	4590.1668
08.02.2013	158	Οξιά, Αυστριακό (golden nuggets)	13.8203	13.8292	0.9359	0.0089	4546.4427
08.02.2013	159	Πυρήνας ελιάς	13.9290	-	1.0248	-	Misfire
08.02.2013	160	Πυρήνας ελιάς	13.9296	13.9518	1.0244	0.0222	4619.2161
08.02.2013	161	Οξιά, Ελληνικό (ΜΑΚΗ)	13.7926	13.8074	1.0564	0.0148	4553.9883
08.02.2013	162	Οξιά, Σέρβικο	13.7503	13.7629	0.9806	0.0126	4364.7460

Πίνακας 2.2: 2<sub>η</sub> Πειραματική μέτρηση θερμιδικής αξίας των διαφόρων ειδών pellet

Για τον καθορισμό της θερμιδικής αξίας των pellet αρκούν δύο μετρήσεις εκτός αν παρατηρηθεί μεγάλη απόκλιση ( $10^2$ ) στις δύο τιμές. Το δείγμα του πυρήνα ελιάς καθώς και το δείγμα οξιάς (ΜΑΚΗ) παρουσίασε μεγάλη απόκλιση και χρειάστηκε να γίνει 3<sub>η</sub> μέτρηση, η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα 2.3.

Ημερομηνία μέτρησης	Ταυτότητα δείγματος	Σχόλια δείγματος	Βάρος κάψας (gr)	Βάρος κάψας + υπόλειμμα (gr)	Βάρος δείγματος (gr)	Βάρος υπολείμματος (gr)	Θερμογόνος δύναμη (cal/gr)
15.03.2013	163	Οξιά, Ελληνικό (ΜΑΚΗ)	13.9336	13.9468	1.0004	0.0132	4515.1362
15.03.2013	164	Πυρήνας ελιάς	13.7844	13.8051	1.0329	0.0207	4592.3212

Πίνακας 2.3: 3<sub>η</sub> πειραματική μέτρηση θερμιδικής αξίας των διαφόρων ειδών pellet

Συμπερασματικά, το Σέρβικο δείγμα οξιάς έχει την μικρότερη τιμή θερμογόνου δύναμης που ισούται με 4382.8706 cal/gr και το δείγμα από πυρήνα ελιάς έχει την μεγαλύτερη τιμή θερμογόνου δύναμης που ισούται με 4605.7686 cal/gr.

## Κεφάλαιο 3: Τύποι λεβήτων και θερμοαντήρων που μετρήθηκαν

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάθε συσκευής στην οποία έγιναν μετρήσεις και παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο προήλθαν από τον κατασκευαστή και τα αποτελέσματα δίνονται όπως καταγράφηκαν από τα όργανα μετρήσεων καθώς και από τους υπολογισμούς που έγιναν με βάση τα πρότυπα ΕΛΟΤ.

### 3.1 Χαρακτηριστικά λεβήτων και θερμοαντήρων

Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας διεξήχθη μια σειρά δοκιμών καύσης, σύμφωνα με τις διαδικασίες που αναφέρονται στο κεφάλαιο 1, τεσσάρων ειδών στερεών καυσίμων βιομάζας σε λέβητες ζεστού νερού, σε σόμπες και σε τζάκι κλειστής εστίας. Συγκεκριμένα, δίνονται τα χαρακτηριστικά του κάθε τύπου καυστήρα:

1. Ο λέβητας Pelletech 25 με ενσωματωμένο καυστήρα κάθετης καύσης, σταθερή προώθηση καυσίμου και δοχείο καυσίμου, που είναι κατάλληλος για οικιακή θέρμανση. Η μέγιστη χωρητικότητα του δοχείου καυσίμου είναι 100 kg. Διαθέτει ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ζεστού νερού με ενσωματωμένο κυκλοφορητή και δοχείο διαστολής. Επίσης, έχει ηλεκτρονικό σύστημα έναυσης με κεραμική αντίσταση ταχείας πυράκτωσης. Η παροχή αέρα στον καυστήρα υποβοηθείται από τον ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενο ανεμιστήρα. Στον λέβητα Pelletech 25 έγιναν μετρήσεις με 3 διαφορετικά είδη pellet.
2. Ο λέβητας Pelletech 15-50 με ενσωματωμένο καυστήρα κάθετης καύσης, σταθερή προώθηση καυσίμου και δοχείο καυσίμου, που είναι κατάλληλος για οικιακή και αγροβιομηχανική θέρμανση. Η μέγιστη χωρητικότητα του δοχείου καυσίμου είναι 150 kg και χωρητικότητα δοχείου νερού 80 λίτρα. Διαθέτει τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά με τον Pelletech 25, διαφοροποιείται μόνο στις διατάξεις, στην χωρητικότητα και στη θερμική ισχύ. Το καύσιμο που καταναλώνει είναι pellet.
3. Η αερόθερμη ξυλόσομπα WS 55, η οποία είναι κατάλληλη μόνο για θέρμανση οικιακού χώρου. Διαθέτει ρυθμιστικό εισαγωγής αέρα για την κύρια καύση και βεντιλατέρ 220 m<sup>3</sup>/h προώθησης ζεστού αέρα. Το καύσιμο που χρησιμοποιεί είναι ξύλο.
4. Η αερόθερμη σόμπα Pellet P 55, η οποία είναι κατάλληλη μόνο για θέρμανση οικιακού χώρου μέσω των θυρίδων εξόδου θερμού αέρα στο χώρο. Εισάγει νωπό αέρα στο χώρο καύσης για την αποφυγή δημιουργίας υποπίεσης στο χώρο. Διαθέτει βεντιλατέρ θερμού αέρα 260 m<sup>3</sup>/h ρυθμιζόμενης έντασης. Το καύσιμο που χρησιμοποιεί είναι pellet.
5. Η ξυλόσομπα καλοριφέρ HYDRO 30, η οποία είναι κατάλληλη για οικιακή θέρμανση καθώς διαθέτει διπλό εναλλάκτη υδραυλών ροής θερμού νερού για μεταφορά της θερμότητας από το θάλαμο καύσης και από τα καυσαέρια προς το νερό. Επίσης θερμαίνει το χώρο μέσω συστήματος αεροκουρτίνας με ρυθμιζόμενη παροχή αέρα. Το καύσιμο που καταναλώνει είναι ξύλο.
6. Ο ξυλολέβητας HYDROWOOD 40, ο οποίος συνδέεται με λέβητα. Διαθέτει ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενο ανεμιστήρα καυσαερίων για τη ρύθμιση της έντασης της

καύσης ανάλογα με την επιθυμητή θερμοκρασία ενώ παράλληλα αναγκάζει τα καυσαέρια να ακολουθήσουν τη συγκεκριμένη διαδρομή του εναλλάκτη απελευθερώνοντας στο μέγιστο τη θερμότητα που παράγεται στο νερό. Το καύσιμο που καταναλώνει είναι ξύλο.

7. Το τζάκι κλειστής εστίας PLANO EF 810-IDRO, το οποίο συνδέεται στο οικιακό δίκτυο θέρμανσης. Παρέχει δυνατότητα θέρμανσης νερού μέσω σύνδεσης με λέβητα και παροχή θερμού αέρα μέσω σύστημα αεροκουρτίνας με ρυθμιζόμενη παροχή αέρα. Το καύσιμο που χρησιμοποιεί είναι ξύλο.
8. Ο λέβητας Pelletech Visio, ο οποίος συνδέεται με λέβητα και παράλληλα θερμαίνει το χώρο μέσω θερμικής ακτινοβολίας. Διαθέτει ενσωματωμένο καυστήρα κάθετης καύσης με σταθερή προώθηση καυσίμου και δοχείο καυσίμου. Το καύσιμο που καταναλώνει είναι pellet.

Στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί δίνονται συγκεντρωτικά οι ονομασίες των συσκευών και τα βασικά χαρακτηριστικά τους καθώς και οι διαδικασίες δοκιμών που εφαρμόστηκαν σε κάθε μία συσκευή, σύμφωνα με το κεφάλαιο 1.

Συσκευή	Καύσιμο	Διαδικασία μετρήσεων	Σύνδεση με θερμοδοχείο	Θερμική ακτινοβολία
WS 55	Ξύλο	Κεφάλαιο 1.3, Κεφάλαιο 1.4	×	√
HYDROWOOD 40	Ξύλο	Κεφάλαιο 1.1	√	×
HYDRO 30	Ξύλο	Κεφάλαιο 1.3, Κεφάλαιο 1.4	√	√
PELLETECH 25	Pellet	Κεφάλαιο 1.1	√	×
PELLETECH 15-50	Pellet	Κεφάλαιο 1.1	√	×
P 55	Pellet	Κεφάλαιο 1.2	×	√
PELLETECH VISIO	Pellet	Κεφάλαιο 1.1, Κεφάλαιο 1.2	√	√
IDRO 810	Ξύλο	Κεφάλαιο 1.3,  Κεφάλαιο 1.4	√	√

Πίνακας 3.1: Συσκευές που εξετάστηκαν

### 3.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των δοκιμών για τη διερεύνηση της ενεργειακής απόδοσης και της ποιότητας καυσαερίου για τον κάθε τύπο καυστήρα, ιδιαίτερα όσον αφορά την ωφέλιμη θερμική απόδοση, τη θερμική ισχύ, καθώς

και τα επίπεδα της εκπομπής αερίων ρύπων .

### 3.2.1 Αποδόσεις και τιμές καυσαερίων για κάθε μέτρηση

Οι καυστήρες που εξετάστηκαν χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με το αν είναι λέβητες κεντρικής θέρμανσης ή θερμοαντλήρες οικιακού χώρου. Με βάση αυτόν τον διαχωρισμό, οι τύποι των υπολογισμών που ακολουθήθηκαν είναι διαφορετικοί για αυτές τις δύο κατηγορίες, όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1. Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για λέβητες κεντρικής θέρμανσης με χρήση των υπολογισμών του κεφαλαίου 1.1.14, ενώ στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για θερμοαντλήρες οικιακών χώρων με χρήση των υπολογισμών του κεφαλαίου 1.2.3.

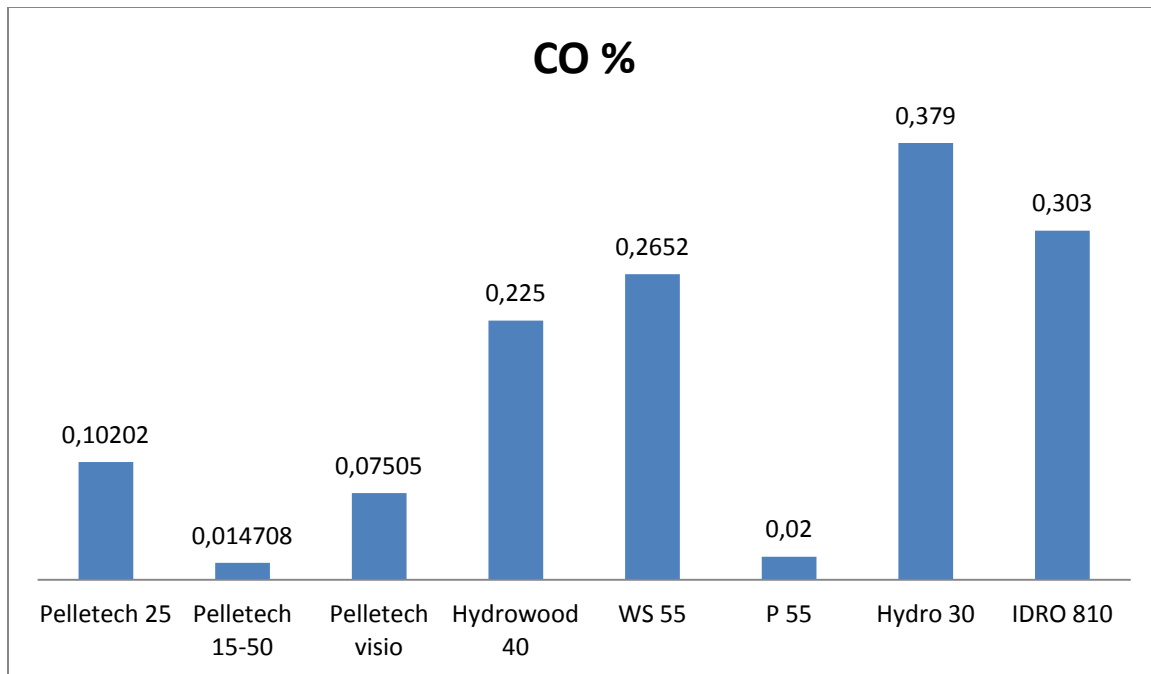
Λέβητας	Καύσιμο	Q <sub>B</sub> (kW)	Q (kW)	n (%)	Κλάση
Pelletech 25	pellet golden nuggets	29.022	23.67	81.5	3
Pelletech 15-50	pellet golden nuggets	46.96	38.03	80.9	3
Pelletech visio	pellet golden nuggets	30.97	26.77	86.43	3
Hydrowwod 40	Ξύλο οξιάς	48.10	38.13	79.2	3

Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα λεβήτων κεντρικής θέρμανσης

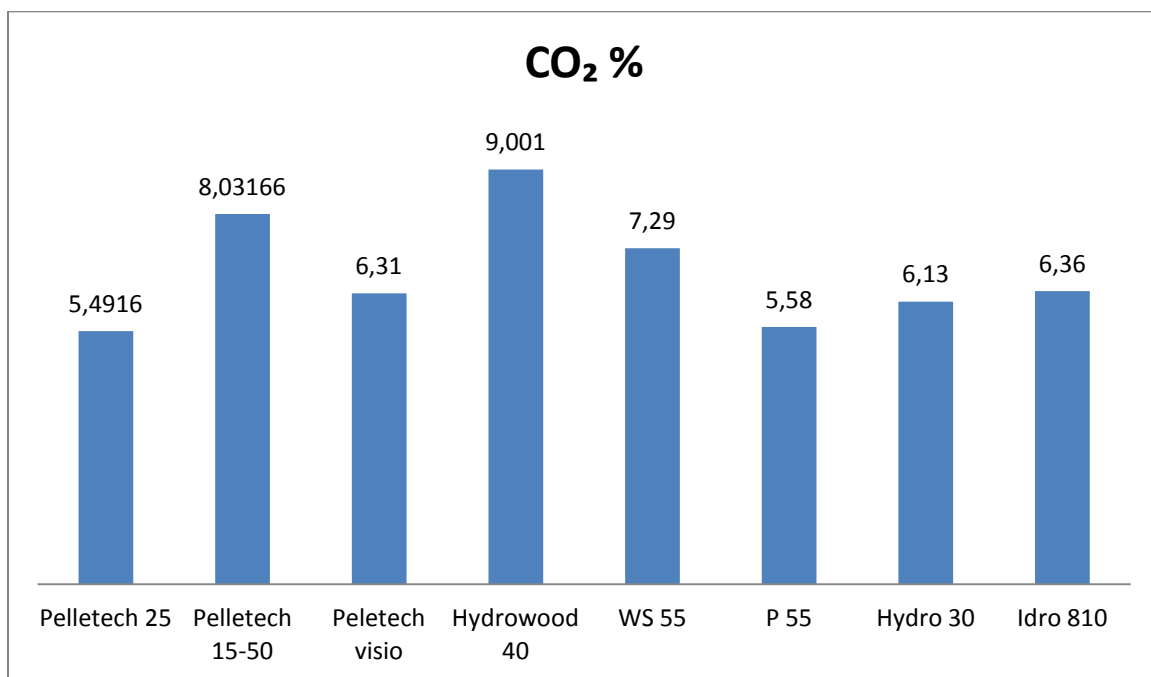
Θερμοαντλήρας	Καύσιμο	P <sub>w</sub> (kW)	P <sub>sh</sub> (Kw)	n (%)	q <sub>a</sub> (%)	q <sub>b</sub> (%)	q <sub>r</sub> (%)
WS 55	ξύλο οξιάς	-	10.23	63.77	34.5	1.5215	0.198
P 55	pellet golden nuggets	-	8.89	81.85	17.78	0.1621	0.199
Hydro 30	ξύλο οξιάς	10.82	15.95	72.57	24.7	2.524	0.200
IDRO-810	ξύλο οξιάς	16.27	26.89	71.49	21.5	6.81	0.199

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα θερμοαντλήρων οικιακών χώρων

Οι τιμές των καυσαερίων CO, CO<sub>2</sub>, NO και η τιμή της αιθάλης για κάθε τύπο καυστήρα δίνονται αντίστοιχα στα σχήματα 3.1, 3.2, 3.3 και 3.4. Η αιθάλη εκφράζει την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε άκαυστο άνθρακα και μετρείται σε μονάδες τις κλίμακας Bacharach. Οι μέσες τιμές των εκπομπών για κάθε στερεό καύσιμο είναι ανηγμένες σε 13% O<sub>2</sub> αναφοράς και σε σταθερές συνθήκες με θερμοκρασία 0 °C και πίεση 1013 mbar.

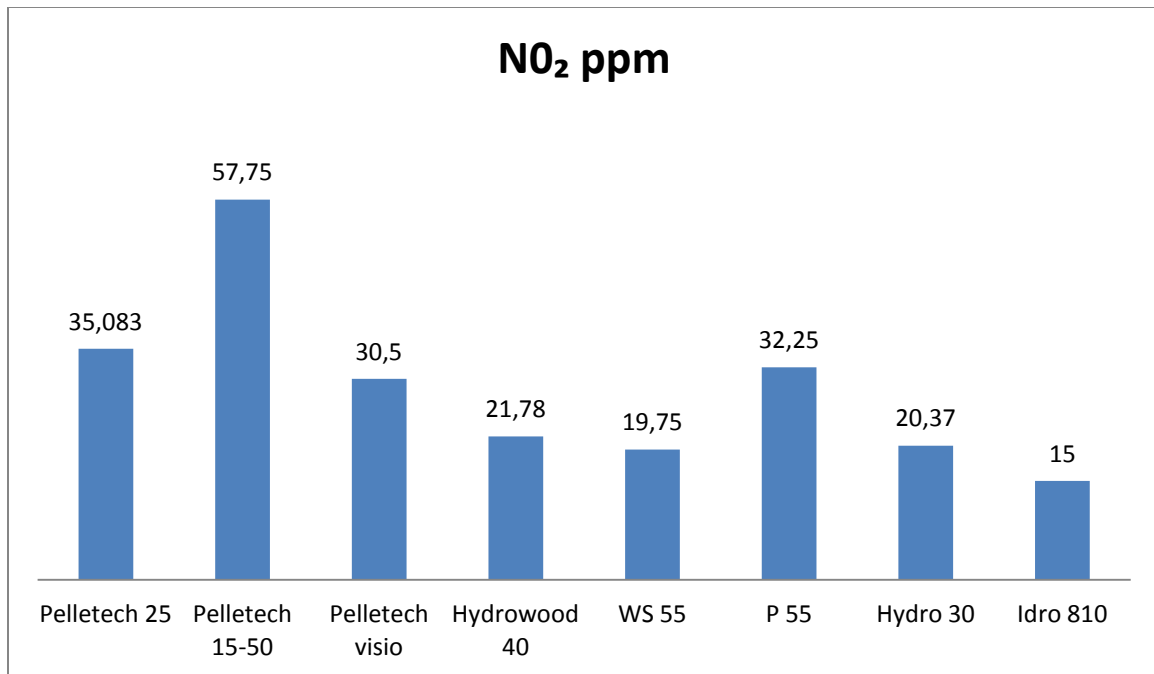


Σχήμα 3.1: Τιμές εκπομπών CO

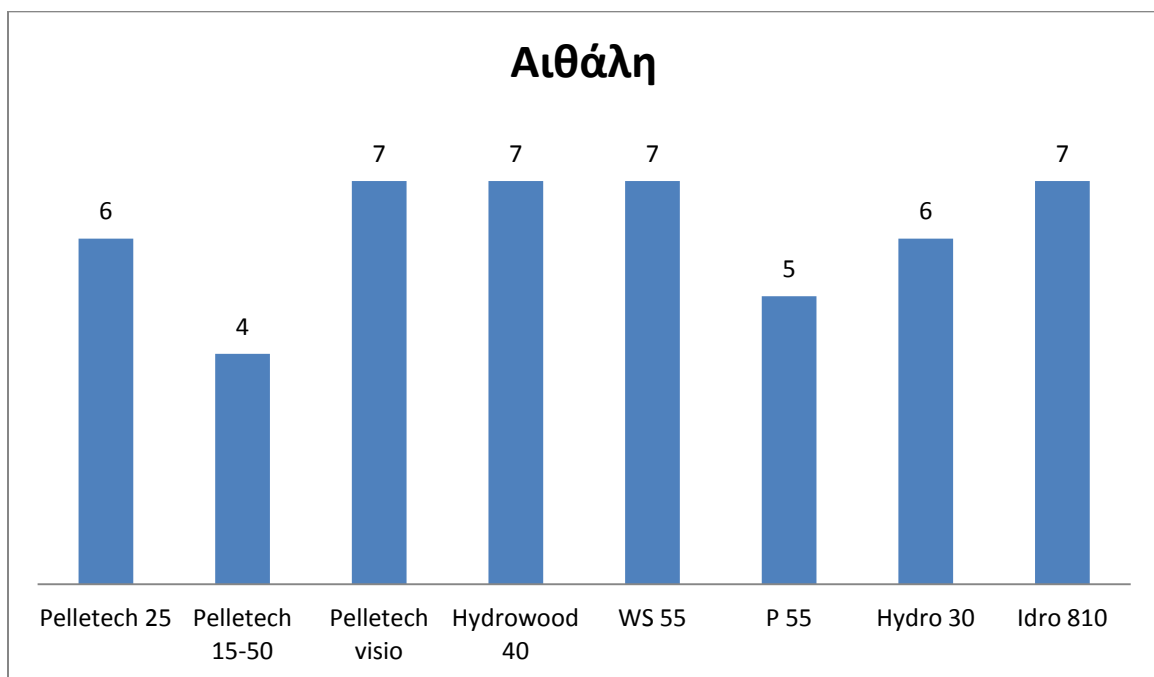


Σχήμα 3.2: Τιμές εκπομπών CO<sub>2</sub>





Σχήμα 3.3: Τιμές εκπομπών NO<sub>2</sub>



Σχήμα 3.4: Τιμές εκπομπών αιθάλης

### 3.2.2 Προτεινόμενες προδιαγραφές για εκπομπές ρύπων από συσκευές καύσης βιομάζας και καύσης πετρελαίου

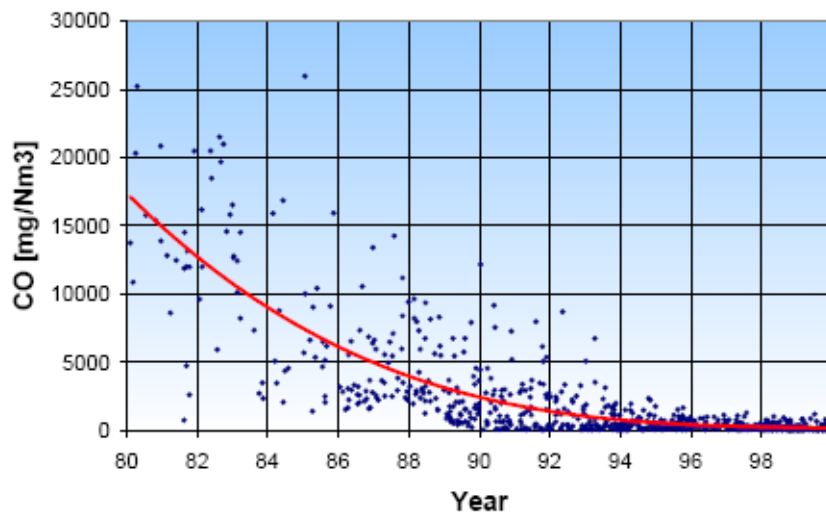
Η αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών και η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν ωθήσει την Ευρωπαϊκή Ένωση να αναζητήσει νέους τρόπους για την ουσιαστική ανάπτυξη των διαφόρων μορφών βιομάζας. Η σταθερή αυτή πολιτική δέσμευση εκφράστηκε τόσο στη Λευκή Βίβλο για τις ΑΠΕ (1997), όσο και στην οδηγία για τα βιοκαύσιμα (2003). Το βασικό πλεονέκτημα των εφαρμογών βιομάζας, σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα ( πετρέλαιο, αέριο), πέραν του ανανεώσιμου χαρακτήρα τους, είναι πως είναι “ ουδέτερες” ως προς τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, δεν συμβάλλουν δηλαδή στην αποσταθεροποίηση του κλίματος, μιας και οι όποιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την καύση της βιομάζας ‘ισοσκελίζονται’ από ισοδύναμες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα που απορροφήθηκαν από τα φυτά.

Αυτό το κλιματικό πλεονέκτημα επικαλείται το Εθνικό Πρόγραμμα μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, που εγκρίνεται από τη βουλή (ΦΕΚ 58 Α, 5-5-2003), και το οποίο προβλέπει ακόμη και τηλεθέρμανση οικισμών με χρήση κεντρικών καυστήρων βιομάζας.

Είναι χαρακτηριστικό ότι το πέρασμα από συμβατικές εστίες καύσης βιομάζας σε σύγχρονα πιστοποιημένα συστήματα την τελευταία δεκαετία είχε ως αποτέλεσμα να μειωθούν δραστικά οι εκλυόμενοι ρύποι. Στη Δανία, ένας σύγχρονος λέβητας με καύσιμο συσσωματώματα ξύλου (pellets) εκλύει κατά μέσο όρο 25 φορές λιγότερα μικροσωματίδια σε σχέση με ένα παλιό συμβατικό λέβητα βιομάζας. Στον πίνακα 3.4 και στο σχήμα 3.5 φαίνεται η εξέλιξη της βελτίωσης της απόδοσης των λεβήτων βιομάζας και η συνακόλουθη μείωση της έκλυσης μονοξειδίου του άνθρακα για την περίοδο 1982-2000 στην Αυστρία.

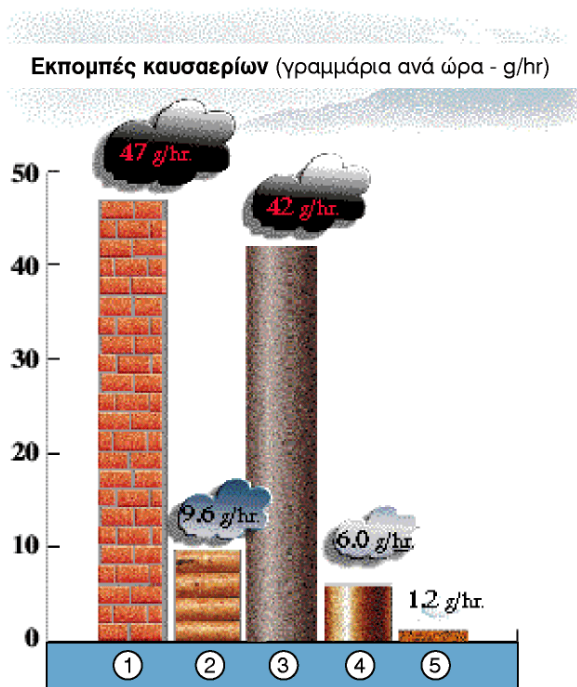
		Καυσόξυλα		Θρύμματα ξύλου		Pellets	
		Ονομαστικό φορτίο	Μερικό φορτίο	Ονομαστικό φορτίο	Μερικό φορτίο	Ονομαστικό φορτίο	Μερικό φορτίο
Απόδοση (%)	1982	61	57	64	65	-	-
	1990	80	76	81	77	-	-
	2000	90	91	91	92	91	89
CO (g/m <sup>2</sup> )	1982	11.4	16	9.4	8.4	-	-
	1990	2.3	5	1	2.1	-	-
	2000	0.2	-	0.1	0.1	0.1	0.3

Πίνακας 3.4: Απόδοση λεβήτων και παρουσίαση τιμών μονοξειδίου του άνθρακα .



Σχήμα 3.5: Τιμές μονοξειδίου το άνθρακα για το χρονικό διάστημα 1982- 2000

Οι τεχνολογίες καύσης βιομάζας στον κτιριακό τομέα δεν είναι όλες το ίδιο αποδοτικές, ούτε εκλύουν τους ίδιους ρύπους. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να τις κατατάξουμε σε τζάκια (ανοιχτές εστίες καύσης με απόδοση 10% ή τζάκια- λέβητες με απόδοση 50-70%), σε ξυλόσομπες (με απόδοση 40-85% ανάλογα με το καύσιμο και την τεχνολογία) και κεντρικούς λέβητες (με καύσιμο ξύλα, θρύμματα ξύλου ή pellets, με αποδόσεις αποδόσεις 55% έως και 95%). Στην εικόνα 3.1 φαίνονται οι εκπομπές καυσαερίων σε πέντε συσκευές καύσης βιομάζας.



Εικόνα 3.1: Εκπομπές καυσαερίων σε γραμμάρια ανά ώρα

όπου:

- 1: Τζάκι με κούτσουρα
- 2: Τζάκι με επεξεργασμένο ξύλο
- 3: Παραδοσιακή ξυλόσομπα
- 4: Μοντέρνα ξυλόσομπα
- 5: Λέβητας με pellets

Η Ελληνική νομοθεσία σχετικά με τη ρύθμιση θεμάτων για τη λειτουργία των σταθερών εστιών καύσης θέρμανσης κτιρίων και νερού, επιβάλλει ορισμένες προδιαγραφές για εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης, θέρμανσης νερού ή παραγωγής ατμού, εξαιρουμένων των τοπικών θερμάνσεων. Για τις εγκαταστάσεις αυτές τα μόνα επιτρεπτά καύσιμα είναι το πετρέλαιο θέρμανσης, όπως κατά περίπτωση ορίζονται στην ισχύουσα νομοθεσία, τα αέρια καύσιμα και τα καύσιμα στερεής βιομάζας. Η χρήση βαρέως πετρελαίου (μαζούτ) στις εγκαταστάσεις αυτές απαγορεύεται. Επίσης, στα τζάκια, στις σόμπες και σε οποιεσδήποτε άλλες εγκαταστάσεις θέρμανσης απαγορεύεται η χρήση πλαστικών υλικών, ελαστικών, χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων και απορριμμάτων ως καύσιμο.

Στις εγκαταστάσεις θέρμανσης που προαναφέρθηκαν, οι οποίες χρησιμοποιούν επιτρεπόμενα καύσιμα πλην των καυσίμων στερεής βιομάζας, οι απώλειες θερμότητας των καυσαερίων, η κατ'όγκο περιεκτικότητα των καυσαερίων σε μονοξείδιο του άνθρακα και οξείδια του αζώτου, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του δείκτη αιθάλης και η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της περιεκτικότητας κατ'όγκο των καυσαερίων σε οξυγόνο, ορίζεται στον πίνακα 3.5.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΑΕΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΑ
Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή απωλειών θερμότητας λόγω θερμών καυσαερίων (%)	15	15
Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της περιεκτικότητας κατ'όγκο των καυσαερίων σε μονοξείδιο του άνθρακα CO ανηγμένη σε οξυγόνο αναφοράς 3%, σε ppm	90	90
Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της περιεκτικότητας κατ'όγκο των καυσαερίων σε οξείδια του αζώτου (NO <sub>x</sub> ) ανηγμένη σε οξυγόνο αναφοράς 3%, σε ppm	150	150 για υγραέριο και 125 για φυσικό αέριο
Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του δείκτη αιθάλης, κατά Bacharach	1	1 για υγραέριο και 0 για φυσικό αέριο
Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της περιεκτικότητας των καυσαερίων σε οξυγόνο (O <sub>2</sub> ), σε % κ.ο.	7	7

Πίνακας 3.5: Οριακές τιμές παραμέτρων καυσαερίου λεβήτων για καύσιμο πετρελαίου

Για τις εγκαταστάσεις θέρμανσης που χρησιμοποιούν καύσιμα στερεής βιομάζας θα πρέπει να πληρούνται κατ'ελάχιστο τα όρια απόδοσης και τα ανώτατα όρια εκπομπών ρύπων του προτύπου ΕΛΟΤ 303.05, σύμφωνα με την κλάση 3, όπως φαίνονται στον πίνακα 3.6.

Μέθοδος τροφοδοσίας	Ονομαστική ισχύς	Οριακές τιμές εκπομπών ρύπων (εκφρασμένες σε mg/m <sup>3</sup> και ανηγμένες σε 10% O <sub>2</sub> ) [τιμές εκφρασμένες σε ppm και ανηγμένες σε 10% O <sub>2</sub> ]				Βαθμός απόδοσης
		CO	OGC	Σωματίδια	NO <sub>x</sub> (εκφρασμένα σε NO <sub>2</sub> )	
	(kW)					%
Χειροκίνητη	<50	5000 [4000]	150 [91]	150	340 [166]	n=67+6logQ όπου Q είναι η ονομαστική ισχύς του λέβητα σε kW
	50-150	2500 [2000]	100 [61]	150		
	150-300	1200 [960]	100 [61]	150		
Αυτόματη	<50	3000 [2400]	100 [61]	150		
	50-150	2500 [2000]	80 [49]	150		
	150-300	1200 [960]	80 [49]	150		

Πίνακας 3.6: Οριακές τιμές παραμέτρων καυσαερίου λεβήτων για στερεά βιοκαύσιμα

Οι λέβητες των εγκαταστάσεων αυτών πρέπει να λειτουργούν στην ωφέλιμη ονομαστική ισχύ ή στο πεδίο της μέγιστης και ελάχιστης ωφέλιμης ονομαστικής ισχύος τους εφόσον καθορίζεται πεδίο λειτουργίας από τον κατασκευαστή.

Οι τιμές των αέριων εκπομπών για τις 8 συσκευές καύσης που μετρήθηκαν, βρίσκονται εντός των ορίων που αναφέρονται στον πίνακα 3.6.

### 3.2.3 Σύγκριση αποδόσεων και τιμών εκπομπών καυσίμου στον λέβητα Pelletech 25

Μετρήθηκαν 3 είδη pellet, όπως φαίνονται και στις εικόνες 3.2 , 3.3 και 3.4 αντίστοιχα. Συγκεκριμένα:

- Golden nuggets, Αυστριακής προέλευσης, με υγρασία 7.3% και περιεκτικότητα στάχτης < 0.5%. Κύριο συστατικό το ξύλο οξιάς.
- Bioenergy beech pellets, Σέρβικης προέλευσης, με υγρασία 8.2 % και περιεκτικότητα στάχτης <1.1 %. Κύριο συστατικό το ξύλο οξιάς.

- ΜΑΚΗ Α.Ε. , Ελληνικής προέλευσης, με υγρασία 8.6 % και περιεκτικότητα στάχτης 0.6%. Κύριο συστατικό το ξύλο οξιάς.



Εικόνα 3.2: Golden nuggets



Εικόνα 3.3: Bioenergy



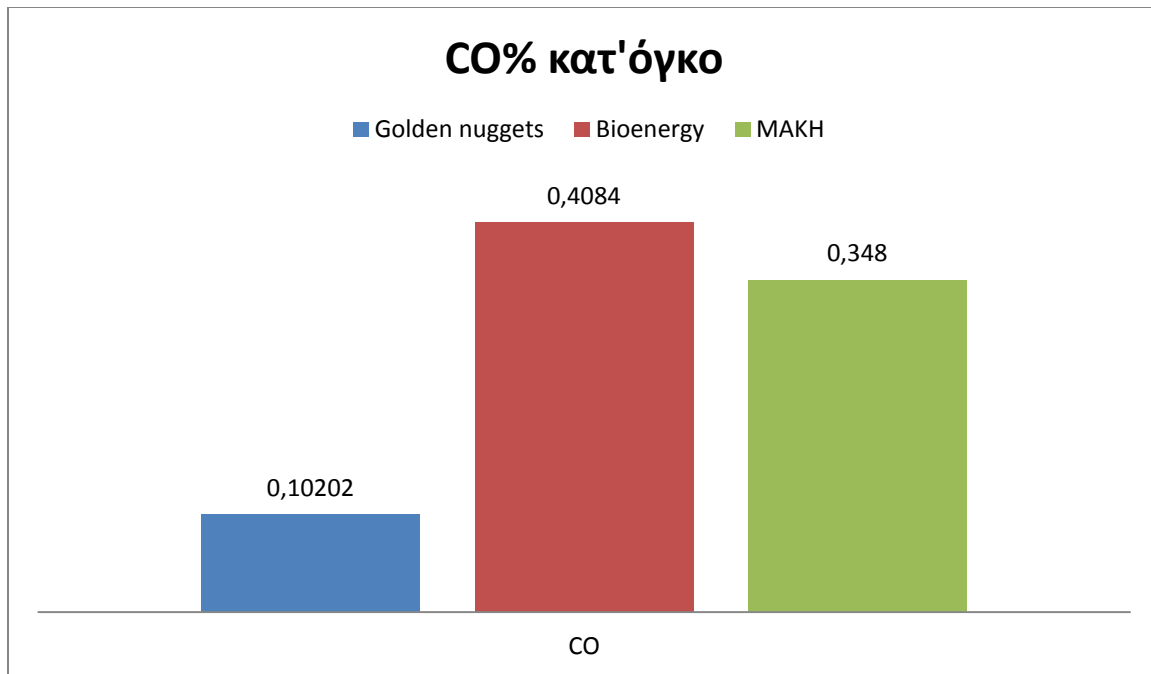
Εικόνα 3.4: ΜΑΚΗ

Οι μετρήσεις έγιναν στον ίδιο λέβητα στερεού καυσίμου και συγκεκριμένα στον Pelletech 25, για την ίδια ωφέλιμη ισχύ, με διαφορά θερμοκρασίας στην είσοδο και στην έξοδο του λέβητα να κυμαίνεται από 10 - 25 K, 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  $\leq 25\text{kW}$ , με αυτοματοποιημένο σύστημα τροφοδοσίας του καυσίμου. Οι δοκιμές των επιλεγμένων στερεών καυσίμων βιομάζας πραγματοποιήθηκαν ώστε να πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις δοκιμής και οι συνθήκες ελέγχου που προδιαγράφονται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 303.05, όπως αναγράφεται στο κεφάλαιο 1.1, και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον πίνακα 3.7 και στο σχήμα 3.6 οι τιμές των εκπομπών των καυσαερίων.

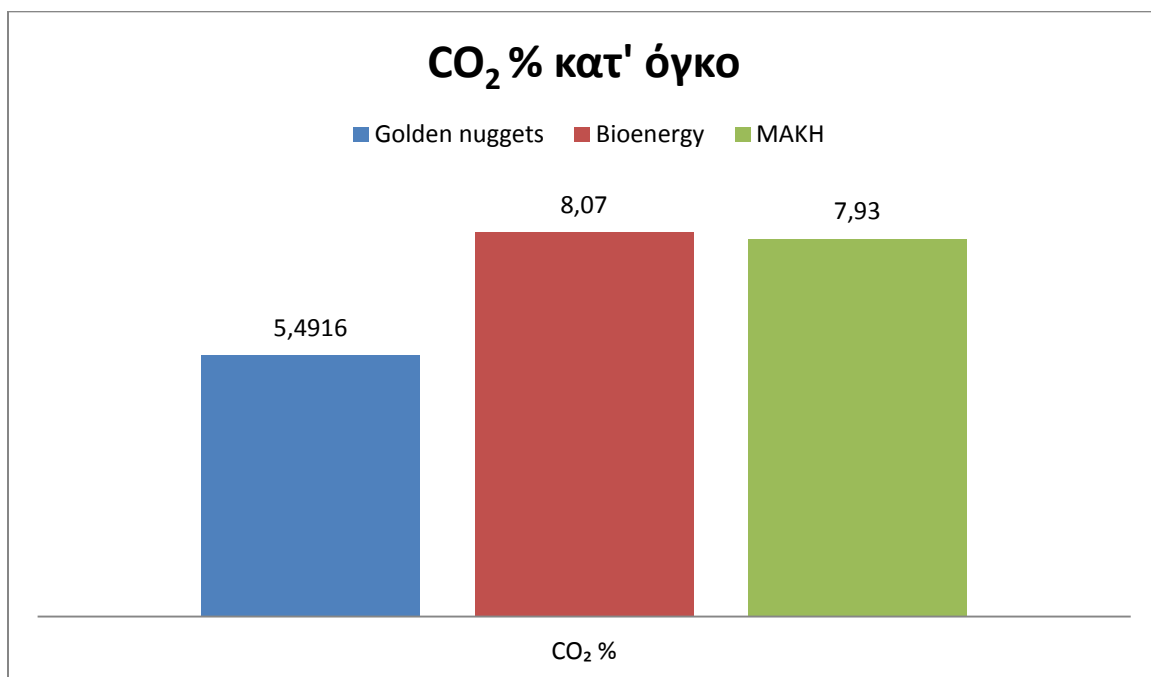
Καύσιμο	B (kg/h)	Q <sub>B</sub> (kW)	Q (kW)	η (%)	Κλάση
Golden nuggets	5.5	29.02	23.67	81.5	3
Bioenergy	5.125	26.12	24.44	93.5	3
ΜΑΚΗ	6	31.64	25.39	80.2	3

Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα μετρήσεων στο λέβητα Pelletech 25

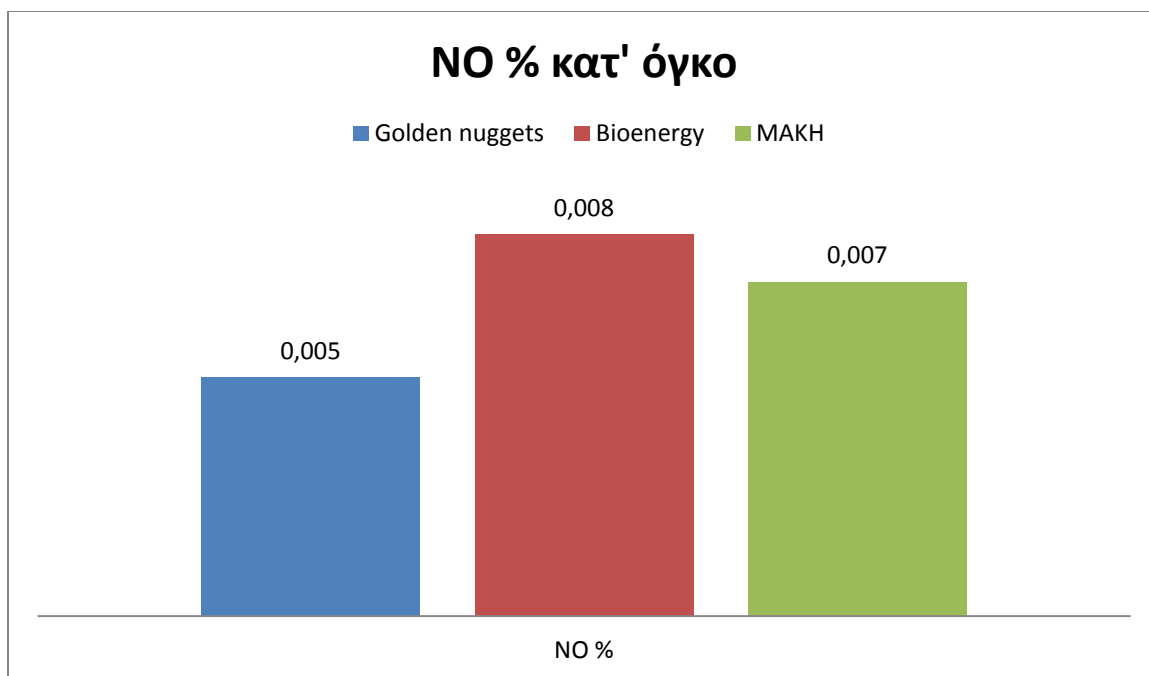




Σχήμα 3.6: Τιμές εκπομπών CO % στον λέβητα Pelletech 25



Σχήμα 3.7: Τιμές εκπομπών CO<sub>2</sub> % στον λέβητα Pelletech 25



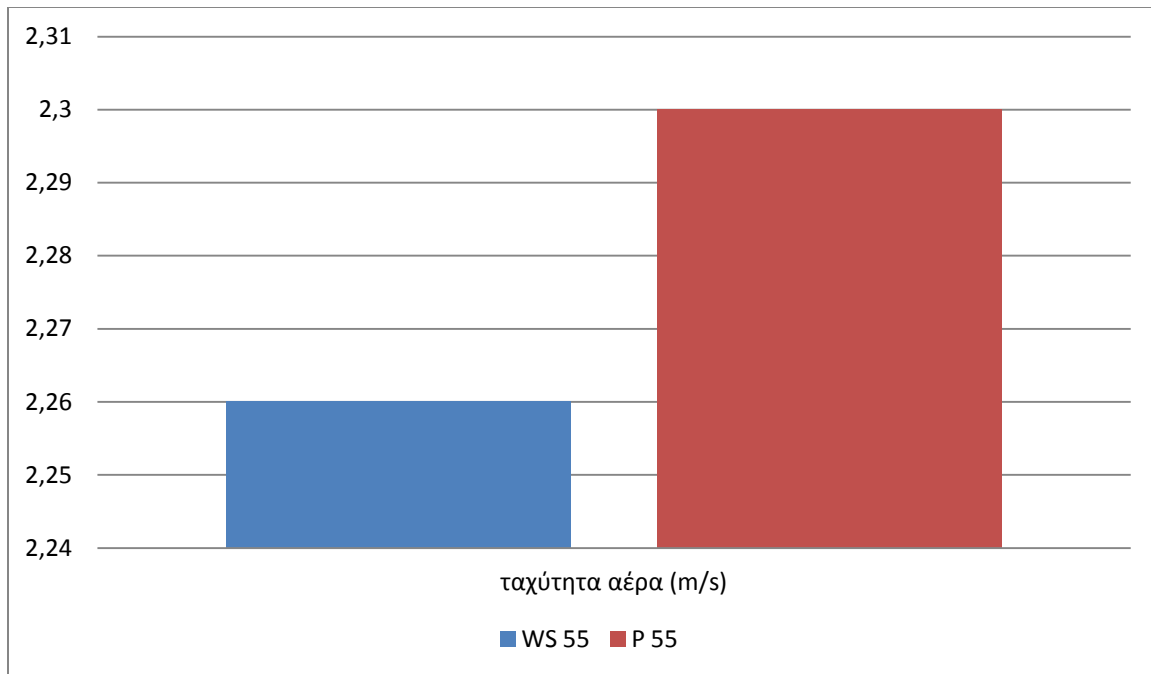
Σχήμα 3.8: Τιμές εκπομπών NO % στον λέβητα Pelletech 25

Το τελικό αποτέλεσμα ενός λέβητα εξαρτάται από το θερμοτεχνικό σχεδιασμό του και από το είδος του στερεού καυσίμου που θα χρησιμοποιηθεί. Για κάθε είδος pellet έγιναν μετρήσεις έξι ωρών στον ίδιο λέβητα. Παρατηρείται ότι για σχεδόν την ίδια ποσότητα καυσίμου, το καύσιμο Bioenergy εμφανίζει μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με τα άλλα δύο. Ωστόσο, στο καύσιμο αυτό τα επίπεδα εκπομπών όλων των αέριων ρύπων (CO, CO<sub>2</sub>, NO) είναι τα υψηλότερα. Οι μετρήσεις με το καύσιμο Golden nuggets εμφανίζουν την δεύτερη μεγαλύτερη θερμική απόδοση σε συνδυασμό με τα μικρότερα ποσοστά εκπομπών αέριων ρύπων, γι' αυτό και προτιμάται. Το καύσιμο MAKH έχει τον μικρότερο βαθμό απόδοσης. Επίσης, οι μετρήσεις με το καύσιμο αυτό παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές εκπομπών αέριων ρύπων, γεγονός που οφείλεται στην μη καθαρότητα των pellet MAKH.

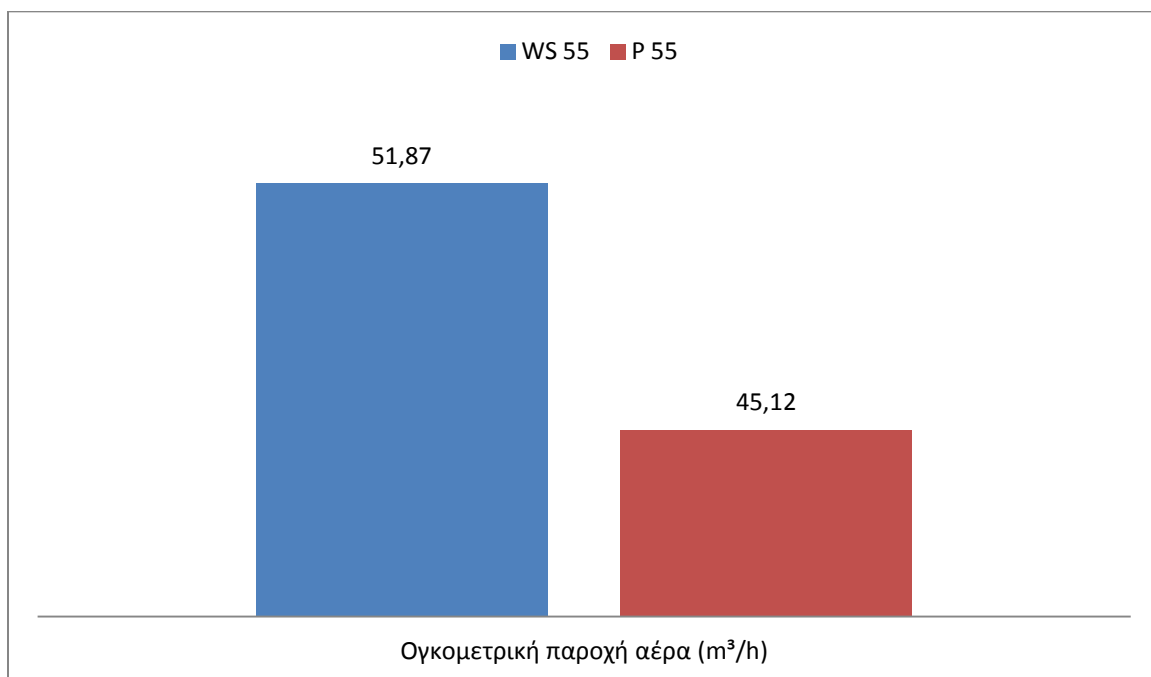
### 3.2.4 Σύγκριση αερόθερμης ξυλόσομπας με αερόθερμη σόμπα pellet

Οι δύο αερόθερμες σόμπες που παρουσιάζονται σε αυτή την ενότητα είναι η ξυλόσομπα WS 55 και η σόμπα pellet P 55. Η ποσότητα του καυσίμου δεν διέφερε αισθητά στις δύο σόμπες. Η ροή μάζας καυσίμου στην WS 55 σημειώθηκε 2.935 Kg/h και στην P 55 σημειώθηκε 2.06 kg/h. Τα σχήματα 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 του υποκεφαλαίου 3.2.1 δείχνουν την σύγκριση των εκπομπών αέριων ρύπων και της αιθάλης των συσκευών. Συγκεκριμένα, η αερόθερμη σόμπα pellet P 55 έχει χαμηλότερες τιμές αιθάλης και εκπομπής CO και CO<sub>2</sub>, αλλά υψηλότερη τιμή εκπομπής NO<sub>2</sub> από την ξυλόσομπα WS 55.

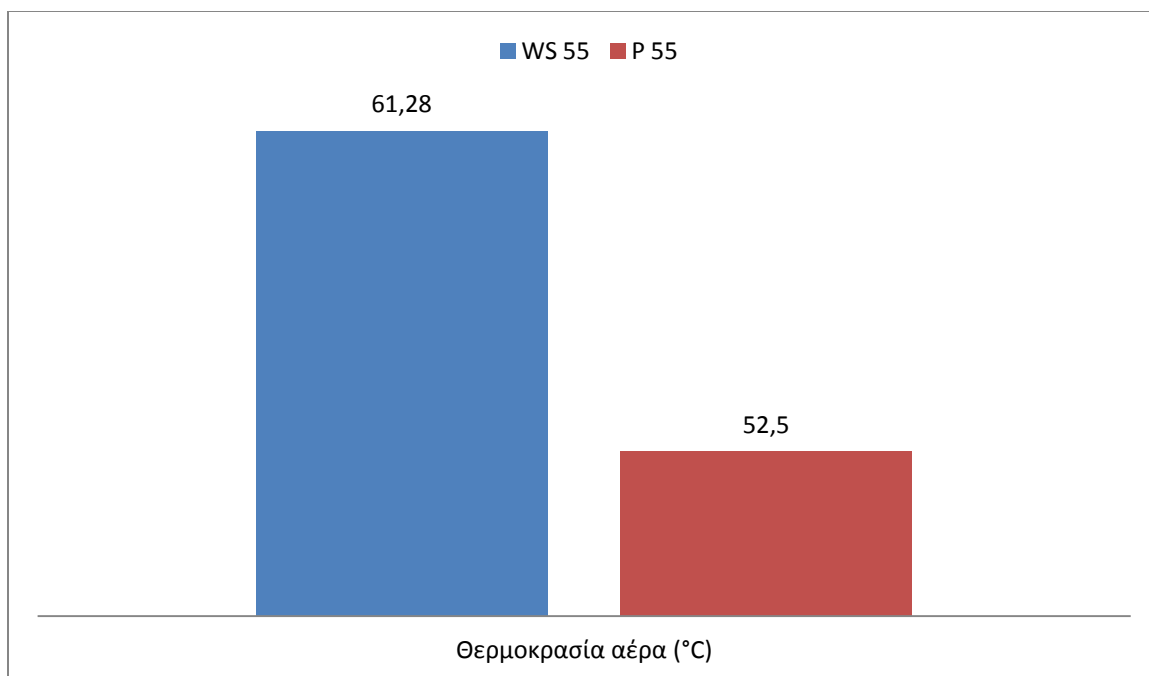
Τα χαρακτηριστικά του αερόθερμου τμήματος των δύο σόμπων συγκρίνονται στα σχήματα 3.9, 3.10 και 3.11 στα οποία και παρατηρείται ότι η ταχύτητα αέρα που καταγράφηκε ήταν σχεδόν η ίδια, ενώ για την ογκομετρική παροχή και τη θερμοκρασία του αέρα στις δύο συσκευές σημειώθηκαν κάποιες μικρές διαφορές.



Σχήμα 3.9: Ταχύτητα αέρα στις αερόθερμες σόμπες



Σχήμα 3.10: Ογκομετρική παροχή αέρα στις αερόθερμες σόμπες



Σχήμα 3.11: Θερμοκρασία αέρα στις αερόθερμες σόμπες

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο βαθμός απόδοσης της σόμπας P 55 υπολογίστηκε 81.6 % ,τιμή αρκετά μεγαλύτερη από αυτήν του βαθμού απόδοσης της σόμπας WS 55 που υπολογίστηκε 63.77 %.

## Κεφάλαιο 4: Πρότυπο εργαστήριο βιομηχανικού ελέγχου

Μία πρόταση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός πρότυπου χώρου στον οποίο θα γίνονται όλες οι απαραίτητες μετρήσεις καθώς και οι τακτικοί έλεγχοι και συντήρηση των συσκευών.

### 4.1 Εξοπλισμός και ανθρώπινο δυναμικό

Ένα εργοστάσιο παραγωγής λεβήτων και θερμαντήρων χώρων θα πρέπει να έχει και ένα πρότυπο εργαστήριο βιομηχανικού ελέγχου το οποίο θα είναι πλήρως εξοπλισμένο ούτως ώστε οι απαιτούμενες μετρήσεις και λοιποί έλεγχοι να γίνονται σε αυτό. Ως εξοπλισμός ορίζεται κάθε εργαλείο, μηχανή, συσκευή ή εγκατάσταση που χρησιμοποιείται κατά την εργασία. Κατά τη λειτουργία του ο εξοπλισμός μπορεί να δημιουργεί γύρω του μια επικίνδυνη ζώνη και κάθε εργαζόμενος που βρίσκεται εξολοκλήρου ή εν μέρει στη ζώνη αυτή θεωρείται εκτεθειμένος σε κίνδυνο. Ο εξοπλισμός εργασίας που τίθεται στη διάθεση κάθε εργαζομένου θα πρέπει να είναι κατάλληλος για την προς εκτέλεση εργασία ή κατάλληλα προσαρμοσμένος και να συντηρείται κατάλληλα, ώστε να εξασφαλίζεται η υγιεινή και η ασφάλεια των εργαζομένων. Τα βασικά όργανα για τις μετρήσεις είναι τα εξής:

- Αναλυτής καυσαερίου

Ο αναλυτής καυσαερίου, πλέον, είναι ηλεκτρονικό και πλήρως αυτοματοποιημένο όργανο. Η δειγματοληψία γίνεται αφού εισαχθεί το ακροφύσιο στην καμινάδα έτσι ώστε το άκρο του να βρίσκεται στο μέσο της ροής των καυσαερίων (μέσω της καπνοδόχου). Εφ' όσον επιτευχθεί η σωστή δειγματοληψία, τα καυσαέρια αναλύονται από τον αναλυτή καυσαερίων και υπολογίζεται η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>x</sub>.



Εικόνα 4.1: Ηλεκτρονικός αναλυτής καυσαερίου

- Όργανο μέτρησης αιθάλης

Οι μετρήσεις προσδιορισμού του δείκτη αιθάλης των καυσαερίων αξιολογούνται οπτικά, τοποθετώντας το χάρτινο ειδικό φίλτρο κάτω από την κλίμακα Bacharach.



Εικόνα 4.2: Όργανο μέτρησης αιθάλης

- Υπέρυθρο θερμόμετρο

Βασικό εργαλείο για την μέτρηση της θερμοκρασίας καυτών ή δύσκολα προσβάσιμων επιφανειών. Θα πρέπει να τίθεται σε λειτουργία 5 λεπτά πριν την εκάστοτε μέτρηση για την βαθμονόμηση του.



Εικόνα 4.3: Υπέρυθρο θερμόμετρο

- Μετρητής υγρασίας ξύλου

Αυτό το όργανο χρησιμεύει στο έλεγχο λεβήτων που χρησιμοποιούν στερεά καύσιμα.



Εικόνα 4.3: Μετρητής υγρασίας

- **Ανεμόμετρο**

Το ανεμόμετρο είναι χρήσιμο όργανο για τις συσκευές που έχουν αερόθερμο τμήμα, αφού μέσω αυτού γίνεται η μέτρηση της ταχύτητας και της ογκομετρικής παροχής του αέρα καθώς και της θερμοκρασίας του.



*Εικόνα 4.5: Ανεμόμετρο*

- **Θερμιδόμετρο**

Η συσκευή αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θερμογόνου δύναμης των καυσίμων δοκιμής.



*Εικόνα 4.6: Θερμιδόμετρο*



- Ζυγαριά ακριβείας

Η ζυγαριά αυτή είναι απαραίτητη στο εργαστήριο διότι μπορεί να υπολογίσει μεγέθη πολύ μικρά.



Εικόνα 4.7: Ζυγαριά ακριβείας

#### Εργαζόμενοι

Στο πρότυπο αυτό εργαστήριο θα εργάζονται δύο άτομα, τα οποία θα πρέπει να είναι γνώστες της λειτουργίας των οργάνων μέτρησης καθώς και των τεχνικών χαρακτηριστικών των εκάστοτε υπό δοκιμή λεβήτων. Ο ένας, που θα καλύψει την θέση του υπεύθυνου του τμήματος εργαστηρίου βιομηχανικού ελέγχου, ιδανικά, θα είναι διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος – Μηχανολόγος Μηχανικός. Ο δεύτερος, που θα καλύψει την θέση του τεχνικού του εργαστηρίου βιομηχανικού ελέγχου, δεν χρειάζεται να έχει πανεπιστημιακή εκπαίδευση. Ένα τρίτο άτομο, που θα οριστεί ως εξωτερικός συνεργάτης, θα εργάζεται περιστασιακά ως συντηρητής. Η θέση εργασίας του τελευταίου μπορεί να καλυφθεί από ειδικευμένο (αδειούχο) τεχνίτη.

## **4.2 Χώρος προτύπου εργαστηρίου**

Η χωροθέτηση και η μελέτη εργασίας αποσκοπούν στη δημιουργία ασφαλέστερου και υγιεινού περιβάλλοντος για τη βελτίωση της ροής της εργασίας. Βασικό μέλημα του χώρου εργασίας είναι η προστασία των εργαζομένων και των παραγόμενων προϊόντων από τις καιρικές συνθήκες.

Με νομοθεσία (Προεδρικά Διατάγματα), ορίζονται το ελάχιστο ύψος χώρων εργασίας σε συνάρτηση με την επιφάνειά τους, ο ελάχιστος απαιτούμενος όγκος κατά εργαζόμενο και εργασία, η ελάχιστη ελεύθερη επιφάνεια κίνησης στη θέση εργασίας ή γύρω απ' αυτή, ο απαιτούμενος εξοπλισμός και εφοδιασμός χώρων εργασίας, οι απαιτούμενοι χώροι υγιεινής, ενδιαίτησης και παροχής ιατρικών υπηρεσιών, οι κατασκευαστικές απαιτήσεις στοιχείων κτιριακών εγκαταστάσεων, ώστε να αποτρέπεται ο επαγγελματικός κίνδυνος.

#### 4.2.1 Γενική σχεδίαση χώρων εργασίας

Η θέση του χώρου αυτού στο κτήριο προσδιορίζεται σε συνάρτηση με τη θέση της καπνοδόχου, τη δυνατότητα αερισμού του χώρου, την κατάλληλη διάταξη των απαιτούμενων σωληνώσεων και την ανάγκη προστασίας του κτηρίου από τους θορύβους που προκαλούνται στο χώρο των μετρήσεων.

Το μέγεθος του προσδιορίζεται από το μέγεθος του λέβητα και των παρελκόμενων του καθώς και από την ανάγκη ύπαρξης ελεύθερου χώρου για τη λειτουργία και τη συντήρηση του. Πρέπει να αποτελεί ξεχωριστό πυροδιαμέρισμα, εντός ή εκτός του υπολοίπου οικοδομικού όγκου.

Συγκεκριμένα πρέπει να ισχύουν τα ακόλουθα:

- Δάπεδα χώρων εργασίας. Δεν πρέπει να παρουσιάζουν επικίνδυνες κλίσεις, ολισθηρές επιφάνειες και να μην δημιουργούν σκόνη λόγω φθοράς. Θα πρέπει επίσης να συμβάλλουν στην απόσβεση των κραδασμών και των θορύβων. Το δάπεδο θα πρέπει να έχει κατάλληλη αποχέτευση.
- Τοίχοι. Να υπάρχει δυνατότητα καθαρισμού, να είναι λείοι και αδιαπτόστιοι. Τα διαφανή χωρίσματα, εφόσον βρίσκονται σε χώρους εργασίας θα πρέπει να σημαίνονται ευκρινώς και να βρίσκονται μακριά από τις θέσεις εργασίας και τους διαδρόμους. Επίσης, σε χώρους με άμεσο κίνδυνο φωτιάς, οι τοίχοι και τα διαχωριστικά θα πρέπει να είναι πυράντοχα. Για αυτό είναι απαραίτητη η στρώση πυροπροστασίας στους τοίχους καθώς και στην οροφή, με πετροβάμβακα σε μορφή πλακών μεγάλης πυκνότητας.
- Οροφή και στέγη. Θα πρέπει να εξασφαλίζουν στεγανότητα και στατική και δυναμική αντοχή σε χιόνι, πίεση ανέμου και αναρτημένα φορτία. Η ανάρτηση φορτίων στη στέγη των ορόφων επιτρέπεται μόνο εφόσον αυτά έχουν υπολογιστεί στα προβλεπόμενα φορτία. Υαλόφρακτα τμήματα σε οροφές ή στέγες θα πρέπει να φέρουν μέτρα για την προστασία των εργαζομένων που βρίσκονται κάτω από αυτά σε περίπτωση θραύσης.
- Παράθυρα και φεγγίτες χώρων

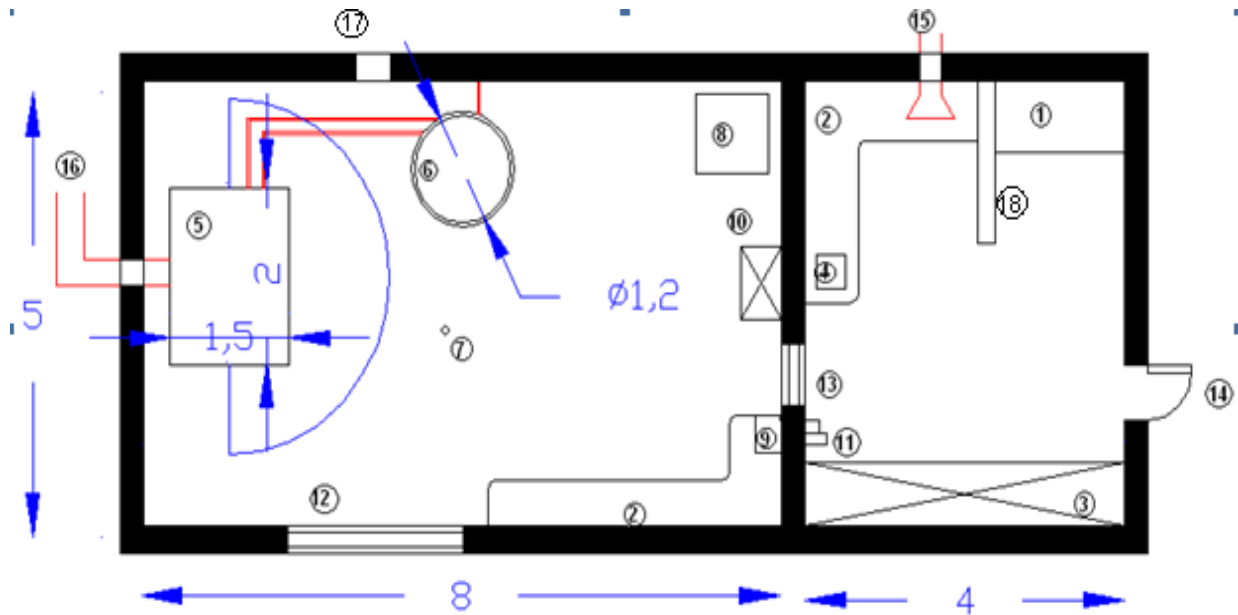
- να μπορούν να ανοίγουν σε περίπτωση εκτάκτων αναγκών και εξαερισμού.
- Πόρτες. Πρέπει να ανοίγουν προς την διεύθυνση εξόδου και να κλείνουν αυτόματα με ειδικό μηχανισμό. Πρέπει να κατασκευάζονται από υλικά που δρουν ανασταλτικά σε περίπτωση πυρκαγιάς. Επιβάλλεται επίσης να κλείνουν με κλειδί, το οποίο θα βρίσκεται σε ειδικό κουτί, έξω από τον χώρο του λεβητοστασίου. Οι πόρτες που είναι διαφανείς θα πρέπει να σημαίνονται με σήμανση, να είναι κατασκευασμένες από υλικά ασφαλείας και να προστατεύονται από κρούσεις. Θύρες και πύλες που βρίσκονται στις οδούς διαφυγής πρέπει να επισημαίνονται κατάλληλα και να μπορούν να ανοιχτούν από μέσα χωρίς ειδική βοήθεια. Οι δίοδοι σωληνώσεων μέσω τοίχων, ορόφων ή δαπέδων, πρέπει να διαμορφώνονται ούτως ώστε να μη είναι δυνατή η διαφυγή αερίων σε άλλους χώρους.
- Οδοί διαφυγής και έξοδοι κινδύνου. Θα πρέπει να διατηρούνται πάντα ελεύθερες και να οδηγούν από το συντομότερο δρόμο στο ύπαιθρο ή σε ασφαλή περιοχή. Οι θύρες εξόδου πρέπει να ανοίγουν προς τα έξω, να είναι εμφανείς (κατάλληλος φωτισμός και διαρκής σήμανση) και να μπορούν όλοι οι εργαζόμενοι να εκκελώνουν γρήγορα τα κτήρια και με συνθήκες πλήρους ασφαλείας. Οι συρόμενες ή περιστρεφόμενες πόρτες απαγορεύονται.

- Αερισμός. Ο χώρος, πρέπει κατά το δυνατόν να αερίζονται ομοιόμορφα. Απαγορεύεται η ύπαρξη έντονου τεχνικού εξαερισμού του λεβητοστασίου. Τα ανοίγματα προσαγωγής και απαγωγής του αέρα, πρέπει να διατηρούνται συνεχώς και πλήρως ανοικτά. Ο προσαγόμενος αέρας, πρέπει να προέρχεται απ ευθείας από το ύπαιθρο.
- Συστήματα γενικού εξαερισμού. Τοποθετείται για να διατηρηθούν οι συγκεντρώσεις παραγόντων συνολικά στο χώρο σε χαμηλά επίπεδα και να εξασφαλιστεί ποιότητα αναπνευστικού αέρα.
- Ηλεκτρική εγκατάσταση. Συνιστάται η θέση του ηλεκτρικού πίνακα του να βρίσκεται μακριά από τον λέβητα. Καλό είναι, ο γενικός διακόπτης της σχετικής ηλεκτρικής παροχής να βρίσκεται στον εξωτερικό χώρο των μετρήσεων. Πρέπει να προβλέπεται, ο επαρκής φωτισμός του λεβητοστασίου με ηλεκτρικούς λαμπτήρες, ρευματοδότες για τα εργαλεία καθαρισμού και επισκευών καθώς και ρευματοδότες χαμηλής τάσης για την σύνδεση με φορητούς λαμπτήρες
- Πυροπροστασία. Σύμφωνα με τις υπάρχουσες πυροσβεστικές διατάξεις, συνιστάται η εγκατάσταση, συστήματος αυτόματης πυρανίχνευσης και αυτομάτου κατάσβεσης. Επίσης, σε χώρους που υπάρχει λέβητας πρέπει να προβλέπονται δύο πυροσβεστήρες 6 κιλών (ένας ξηρής σκόνης και ένας διοξειδίου του άνθρακα). Καλό θα είναι να τοποθετηθεί σύστημα πυρανίχνευσης στην οροφή του χώρου σε περίπτωση πυρκαγιάς.
- Ατομικά προστατευτικά μέσα. Από τα βασικά προστατευτικά μέσα είναι το κράνος, τα γάντια, οι φόρμες εργασίας και τα γυαλιά.

#### **4.2.2 Κάτοψη του χώρου πρότυπου εργαστηρίου και εργονομικός σχεδιασμός**

Ως εργονομία, ορίζεται η προσαρμογή της εργασίας στον άνθρωπο. Η εργονομία λαμβάνοντας υπόψη της τις διαφορετικές ανθρώπινες ικανότητες, έχει ως στόχο το σχεδιασμό των θέσεων εργασίας, των μεθόδων εργασίας, των εργαλείων και του εξοπλισμού, ώστε αυτά να προσαρμόζονται στον εργαζόμενο. Η θέση εργασίας να σχεδιάζεται σύμφωνα με τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά, περισσότερο για καθιστική παρά για όρθια εργασία, να αποφεύγονται επίπονες στάσεις και τα εργαλεία να βρίσκονται κοντά στον εργαζόμενο.

Συνήθως, χώροι στους οποίους υπάρχει κάποιος λέβητας ή καυστήρας, πρέπει να κατασκευάζονται στο υπόγειο του εργοστασίου/ κτηρίου και η θέση τους εξαρτάται από τη θέση της καπνοδόχου, τη δυνατότητα εξαερισμού και την οικονομική διάταξη των σωληνώσεων διανομής και επιστροφής του ζεστού νερού. Στην περίπτωση που αυτός ο χώρος κατασκευάζεται στο ισόγειο του εργοστασίου/κτηρίου, τότε πρέπει να τοποθετείται σε σημείο μακριά από κάποια πηγή θερμότητας, κραδασμών καθώς και να αποφεύγεται η χρήση καύσιμων υλών. Αποτελεί δηλαδή ανεξάρτητο χώρο στο κέλυφος του εργοστασίου/κτηρίου. Η διάταξη του χώρου, των μηχανημάτων και του εξοπλισμού παρουσιάζονται στην εικόνα 4.7.



Εικόνα 4.8: Κάτοψη χώρου πρότυπου εργαστηρίου

Όπου:

- 1: χώρος τοποθέτησης του θερμιδόμετρου
- 2: πάγκος εργασιών
- 3: χώρος αποθήκευσης οργάνων
- 4: νιπτήρας
- 5: έδρα τοποθέτησης συσκευών
- 6: θερμοδοχείο
- 7: σιφόνι
- 8: χώρος αποθήκευσης μόνο στερεών καυσίμων ( η αποθήκευση υγρών και αέριων καυσίμων απαγορεύεται αυστηρά)
- 9: φαρμακείο
- 10: ντουλάπα για το ρουχικό εξοπλισμό των εργαζομένων
- 11: πυροσβεστήρες (βρίσκονται και στους δύο χώρους)
- 12: πόρτα εισόδου που ανοίγει προς τα έξω και έχει κλειδαριά πανικού (3m × 2.5m)
- 13: εσωτερική συρόμενη πόρτα (1.5m × 2.5m)
- 14: έξοδος κινδύνου με κλειδαριά πανικού (1.3m × 2.6m)
- 15: εξαερισμός τύπου αποροφητήρα
- 16: καμινάδα
- 17: εξαερισμός
- 18: γυάλινο διαχωριστικό

Και στους δύο χώρους υπάρχουν αισθητήρες ανίχνευσης καπνού με σειρήνα και alarm καθώς και φωτισμός ασφαλείας, ωστόσο, δεν είναι εφικτό να φανούν στην κάτοψη

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.8 πρέπει να υπάρχει ο κατάλληλος χώρος για την διέλευση του χειριστή με τη θερμογραφική κάμερα γύρω από τις προ μέτρηση επιφάνειες και αγωγούς. Συγκεκριμένα γύρω από τη συσκευή δοκιμής ο ελάχιστος χώρος που απαιτείται πρέπει να βρίσκεται εντός ακτίνας 1.2 ± 0.1 m με κέντρο τη συσκευή δοκιμής. Οι πηγές ηλεκτρικής ενέργειας (πρίζες, πολύμπριζα) πρέπει να είναι επαρκείς, ώστε να υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης όλων οργάνων μέτρησης και συσκευών. Οι διαστάσεις του χώρου που θα είναι τοποθετημένη η συσκευή δοκιμής,

στην περίπτωση που αυτή εκπέμπει θερμική ακτινοβολία, πρέπει να είναι κατάλληλες ώστε να αποφεύγεται η άμεση υπερθέρμανση του χώρου, προκαλώντας έτσι εσφαλμένα αποτελέσματα κατά τη μέτρηση θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Η απόσταση της πίσω πλευράς του λέβητα (προς το μέρος της καμινάδας) από τον τοίχο, για λέβητες μέχρι 290 kW πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,75m και για λέβητες πάνω από 290 kW το λιγότερο 1 μέτρο. Το καθαρό ύψος του λεβητοστασίου για λέβητες μέχρι 290 kW, πρέπει να είναι πάνω από 2,1m και για μεγαλύτερους λέβητες τουλάχιστον 3 μέτρα. Όλα τα λειτουργικά μέρη π.χ. σωληνώσεις, δοχείο αποθήκευσης νερού πρέπει να περιβάλλονται από επαρκή θερμομόνωση για την αποφυγή των απωλειών θερμικής ενέργειας καθώς και την αποφυγή εργατικών ατυχημάτων.

### 4.3 Συντήρηση

Σύμφωνα με την κοινή υπουργική απόφαση (ΚΥΑ) με αριθμό πρωτοκόλλου 189533, με αριθμό διαδικτυακής ανάρτησης (ΑΔΑ): 457ΞΟ-ΥΟΒ που αναγράφεται στο φύλλο εφημερίδας κυβέρνησης (ΦΕΚ) η συντήρηση – ρύθμιση της εγκατάστασης του συστήματος καυστήρα – λέβητα – καπνοδόχου, ανεξαρτήτως ισχύος και χρησιμοποιούμενου καυσίμου, γίνεται από τους έχοντες την προς τούτο κατάλληλη άδεια σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία. Ουδείς άλλος επιτρέπεται να εκτελεί τις εργασίες συντήρησης – ρύθμισης. Για τις εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης κτηρίων που χρησιμοποιούνται για κατοικίες, γραφεία, καταστήματα, ξενοδοχεία και πάσης φύσεως υπηρεσίες υγείας – πρόνοιας, εκπαίδευσης ή άλλους παρεμφερείς σκοπούς καθώς και για τις εγκαταστάσεις θέρμανσης χώρων εργασίας βιομηχανικών ή βιοτεχνικών ή εμπορικών μονάδων, η συντήρηση – ρύθμιση γίνεται τουλάχιστον μία φορά το χρόνο. Για τις εγκαταστάσεις θέρμανσης νερού χρήσης ή παραγωγής ατμού σε κτήρια ξενοδοχείων, νοσοκομείων, κλινικών, θεραπευτηρίων και λοιπών παρεμφερών χρήσεων, γυμναστήρια, κολυμβητήρια, πισίνες, λουτρικές εγκαταστάσεις και στεγνοκαθαριστήρια (ανεξάρτητα αν οι ίδιες εκτός της παραγωγής ζεστού νερού χρήσης ή ατμού, χρησιμοποιούνται και για κεντρική θέρμανση κατά την χειμερινή περίοδο), η συντήρηση – ρύθμιση γίνεται τουλάχιστον μία φορά ανά εξάμηνο. Ειδικά για τις εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν καύσιμα στερεής βιομάζας, η συντήρηση επιβάλλεται να γίνεται και σε συχνότερα χρονικά διαστήματα.

Για όλες τις κατηγορίες εγκαταστάσεων που αναφέρονται παραπάνω, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη ή ίση των 400 KW επιβάλλεται ο έλεγχος και η διενέργεια μέτρησης καυσαερίων, τουλάχιστον μία φορά τον μήνα και η καταχώρηση τους σε σχετικό βιβλίο μετρήσεων καυσαερίων, θεωρημένο από την αρμόδια Διεύθυνση του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) ή τις κατά τόπους αρμόδιες υπηρεσίες της Περιφερειακής Αυτοδιοίκησης.

Μετά από κάθε συντήρηση, επισκευή ή ρύθμιση (συμπεριλαμβανομένης και της ρύθμισης για την θέση εγκατάστασης σε λειτουργία για πρώτη φορά), ο συντηρητής υποχρεούται να συμπληρώσει με επιμέλεια, ακρίβεια και πληρότητα και να υπογράψει το φύλλο συντήρησης κατά το πρότυπο του συνημμένου στην ΚΥΑ με ΑΔΑ : 457ΞΟ-ΥΟΒ και να το παραδώσει (το πρωτότυπο) στον υπεύθυνο της εγκατάστασης. Ο συντηρητής υποχρεούται στο φύλλο συντήρησης να αναφέρει ενδεχόμενα προβλήματα, δυσλειτουργίες ή ελλείψεις που επηρεάζουν την αποδοτική και ασφαλή λειτουργία του συστήματος καυστήρα – λέβητα – καπνοδόχου.

Ο κάθε αδειούχος συντηρητής, υποχρεούται να διαθέτει τυπωμένα ατομικά μπλοκ με φύλλα συντήρησης, αριθμημένα κατά αύξοντα αριθμό, στα οποία θα υπάρχουν τυπωμένα τα πλήρη στοιχεία του συντηρητή. Τα μπλοκ με τα φύλλα συντήρησης ο συντηρητής θα μπορεί να τα προμηθεύεται από το επαγγελματικό του σωματείο, το οποίο θα τα σφραγίζει και θα τηρεί πλήρες αρχείο για τα διανεμόμενα φύλλα συντήρησης. Εναλλακτικά, μπλοκ με φύλλα συντήρησης που δεν προέρχονται από επαγγελματικά σωματεία θα πρέπει να σφραγίζονται και να θεωρούνται από τις αρμόδιες υπηρεσίες της Περιφερειακής Αυτοδιοίκησης με την επίδειξη της ισχύουσας άδειας ασκήσεως επαγγέλματος του κάθε συντηρητή.

Τα αντίγραφα των φύλλων συντήρησης υποχρεούται να διατηρεί στο αρχείο του ο συντηρητής για δύο έτη. Το φύλλο συντήρησης ακυρώνεται, στην περίπτωση που έπειτα από έλεγχο και μετρήσεις των αρμόδιων ελεγκτικών οργάνων, προκύψουν παράμετροι εκτός των οριακών τιμών. Στην περίπτωση αυτή ο υπεύθυνος της εγκατάστασης υποχρεούται να εφοδιαστεί με νέο φύλλο συντήρησης, εντός πέντε ημερών.

Κατά την αρχική θέση σε λειτουργία της εγκατάστασης, αντίγραφο του φύλλου συντήρησης (φωτοτυπία του πρωτοτύπου) και με την ένδειξη «αρχική λειτουργία» υποβάλλεται από τον συντηρητή στις αρμόδιες υπηρεσίες του ΥΠΕΚΑ ή τις κατά τόπους αρμόδιες υπηρεσίες της Περιφερειακής Αυτοδιοίκησης.

## 4.4 Κόστος κατασκευής και συντήρησης

Οι τιμές του κόστους που αναφέρονται σε αυτό το κεφάλαιο είναι ένα ενδεικτικό αποτέλεσμα μετά από έρευνα αγοράς.

### 4.4.1 Εξοπλισμός

Όργανα	Τιμή σε ευρώ (προσεγγιστικά)
Θερμοκάμερα	3'000
Ανεμόμετρο	250
Υγρασιόμετρο	120
Όργανο μέτρησης της αιθάλης	140
Ηλεκτρονικός αναλυτής καυσαερίων	2'300
Θερμιδόμετρο πλήρες	7'000
Ζυγαριά ακριβείας	2'000
Αναλώσιμα (κάψουλες, χαρτάκια μέτρησης αιθάλης, σύρμα, αποσταγμένο νερό)	3'000

Πίνακας 4.1: Ενδεικτικά κόστη οργάνων μέτρησης

#### 4.4.2 Κόστος κατασκευής

Η χρήση διπλών τοιχίων από οπλισμένο σκυρόδεμα σε συνδυασμό με την επιτόπια δημιουργία φέροντα σκελετού από οπλισμένο σκυρόδεμα για την κατασκευή αντισεισμικών κτηρίων είναι σαφώς καλύτερη από τις συμβατικές κατασκευές, που σύντομα θα αποτελούν παρελθόν.

Τα συμβατικά κτήρια που κατασκευάζονται προς το παρόν στην Ελλάδα, αποτελούνται απλά από φέροντα οργανισμό – σκελετό με οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ η τοιχοποιία είναι από τούβλα που απλώς χωρίζουν τα δωμάτια και συμβάλουν ελάχιστα έως καθόλου στην αντισεισμική προστασία του κτηρίου. Σε αντιπαράθεση με την διπλή τοιχοποιία από οπλισμένο σκυρόδεμα (μπετόν με οπλισμό σιδήρων) που το τοιχίο συμμετέχει στην αντισεισμική προστασία του κτηρίου ως φέρον οργανισμός στο μέγιστο βαθμό. Τα τοιχώματα γίνονται ένα με το πάτωμα για μεγαλύτερη ενίσχυση και αντισεισμικότητα (μονο-μπλοκ) με την έκχυση μπετού υπερυψηλής αντοχής ανάμεσα στο διπλό τοίχωμα των τοιχίων απευθείας στην οικοδομή. Τα τοιχώματα είναι απόλυτα υδατοστεγή και θερμομονωτικά με μόνωση πολυουρεθάνης χωρίς κενά ή φυσαλίδες και η επιφάνεια τους είναι όμοια όπως η επιφάνεια του τζαμιού δηλαδή απόλυτα λεία.

Το εργαστήριο θα κατασκευαστεί με διπλό τοίχο (ΒΑΡΕΙΑ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ)

Οι διαστάσεις για το εργαστήριο ύψους 3 m (μέτρων) είναι οι εξής:

- Διαστάσεις χώρου εργοστασίου  
(Μήκος X Πλάτος X Ύψος) : ( **12 X 5 X 3** ) m
- Συνολικά τετραγωνικά του χώρου εργαστηρίου: **60 m<sup>2</sup>**
- Δάπεδο : **60 m<sup>2</sup>**
- Οροφή: **60 m<sup>2</sup>**
- Εσωτερικοί τοίχοι: **117.37 m<sup>2</sup>**
- Μεγάλη συρόμενη πόρτα εισόδου (3 X 2.5): **6 m<sup>2</sup>**
- Εσωτερική συρόμενη πόρτα (1.5 X 2.5): **4.5 m<sup>2</sup>**
- Έξοδος κινδύνου (1.30 X 2.6) : **3.38 m<sup>2</sup>**

Η κοστολόγηση για τις παραπάνω διαστάσεις είναι 36'520 ευρώ.  
Η κοστολόγηση για την αγορά του εξοπλισμού είναι 17'810 ευρώ.

Οπότε, η συνολική επένδυση που πρέπει να γίνει για ένα πρότυπο εργαστήριο βιομηχανικού ελέγχου είναι 54'430 ευρώ.

#### **4.4.3 Ανθρώπινο δυναμικό**

Η συντήρηση θα γίνεται μία φορά τον χρόνο εκτός από έκτακτα περιστατικά. Ο αδειούχος συντηρητής θα είναι εξωτερικός συνεργάτης η εργασία του οποίου κοστολογείται περίπου 100 ευρώ με απόδειξη παροχής υπηρεσιών.

Ο Ηλεκτρολόγος – Μηχανολόγος Μηχανικός θα ανήκει στο προσωπικό της εταιρείας οπότε θα γίνει κανονική πρόσληψη και ο μισθός του θα είναι 1'400 ευρώ τον μήνα. Κανονική πρόσληψη θα γίνει και για το δεύτερο άτομο που θα απασχολείται στο εργαστήριο βιομηχανικού ελέγχου και ο μισθός του θα είναι 810 ευρώ τον μήνα.



## Συμπεράσματα

Το γεγονός ότι η κάθε συσκευή που μελετήθηκε είχε διαφορετικά χαρακτηριστικά από τις υπόλοιπες καθιστά δύσκολη την σύγκριση μεταξύ τους. Ωστόσο, δύο από τους θερμαντήρες οικιακών χώρων έχουν κοινά τεχνικά χαρακτηριστικά με την μόνη διαφορά του είδους του καυσίμου. Συγκεκριμένα, η αερόθερμη σόμπα P 55 με καύσιμο pellet παρουσίασε αρκετά μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από την αερόθερμη σόμπα WS 55 με καύσιμο ξύλο στις ίδιες ώρες και συνθήκες λειτουργίας.

Επίσης, στην σύγκριση των διαφορετικών ειδών pellet που έγινε στον ίδιο λέβητα, στον Pelletech 25, το καύσιμο pellet golden nuggets, Αυστριακής προέλευσης παρουσίασε τον καλύτερο συνδυασμό θερμικής απόδοσης – αέριων ρύπων. Για τον λόγο αυτό, προτιμήθηκε ως το καταλληλότερο καύσιμο για τις μετρήσεις των υπόλοιπων συσκευών.

Ένα τελευταίο συμπέρασμα που εξήχθη από αυτήν την εργασία είναι το γεγονός ότι ένα εργαστήριο βιομηχανικού ελέγχου είναι απαραίτητο να υπάρχει μέσα σε ένα εργοστάσιο παραγωγής συσκευών καύσης, αφού είναι υποχρεωτικό να γίνονται μετρήσεις και έλεγχοι ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Προφανώς, ένα τέτοιο εργοστάσιο που θα είναι πλήρως εξοπλισμένο θα είναι ανταγωνιστικό με τα αντίστοιχα του εξωτερικού και παρ' όλο που η απόσβεση μίας τέτοιας εγκατάστασης δεν φαίνεται άμεσα, σε βάθος χρόνου παρατηρείται ότι είναι άκρως βοηθητική και χρήσιμη.

## Βιβλιογραφία

1. Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 303.05/99, Heating boilers – Part 5: Heating boilers for solid fuels, hand and automatically stocked, nominal heat output of up to 300kW – Terminology, requirements, testing and marking.
2. Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 14785: 2006, Residential space heating appliances fired by wood pellets – Requirements and test methods
3. Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13229: 2003, Inset appliances including open fires by solid fuels – Requirements and test methods [ Εντιθέμενες συσκευές, περιλαμβανομένων ανοικτών εστιών που καίνε στερεά καύσιμα – Απαιτήσεις και μέθοδοι δοκιμής
4. Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13240: 2003, Roomheaters fire by solid fuel -Requirements and test methods [Θερμαντήρες χώρου που λειτουργούν με στερεά καύσιμα
5. Γεροκωστόπουλος Αθανάσιος, Κόνιας Φώτης, Κυριακίδης Απόστολος, Παρασκευόπουλος- Ψαρίκογλου Ιωάννης (2003, Σεπτέμβριος). *Αρχές και λειτουργία θερμιδόμετρου* [Σπουδαστική εργασία 4<sup>ου</sup> έτους], Επιβλέπων καθηγητής: Καθ. Ανανίας Τομπουλίδης, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας ΠΔΜ, Κοζάνη
6. Camino design, <http://www.caminodesign.gr/>
7. Δρ.Παναγιώτης Βουρλιώτης, Τεχνικός Δ.ντης της ΕΜΠΥ του Εργαστηρίου Ατμοκινητήρων & Λεβήτων Ε.Μ.Π., (2010 Απρίλιος), *Τυποποίηση – Καύση στερεών καυσίμων βιομάζας σε λέβητες ζεστού νερού*, Αθήνα, [http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/EUBIONET/A4\\_EUBIONET3\\_Vou\\_rliotis\\_22.4.pdf](http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/EUBIONET/A4_EUBIONET3_Vou_rliotis_22.4.pdf)
8. Στέλιος Ψωμάς (2007, Οκτώβριος), Προτεινόμενες προδιαγραφές για εκπομπές ρύπων από λέβητες και εστίες βιομάζας, Greenpeace
9. ΚΥΑ Αρ.πρωτ. ΟΙΚ: 189533/2011- *Ρύθμιση θεμάτων σχετικών με τη λειτουργία των σταθερών εστιών καύσης για τη θέρμανση κτιρίων και νερού*. [ ΦΕΚ2657/Β'9.11.2011]
10. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (1999, Δεκέμβριος), Οδηγός τεχνικών και οργάνων ενεργειακών μετρήσεων
11. Έλενα Β.Μ. Παπαδοπούλου: "ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ", Επιστημονική Μονογραφία, εκδόσεις ΙΩΝ 2011, *Γενικές Αρχές Ασφάλειας Εργασιακού Χώρου*
12. Αριστείδης Λεβεντογιάννης Ηλεκτρολόγος Μηχανικός MSc, ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΠΕ, *Μετρήσεις Καυσαερίων από Λέβητες με Ηλεκτρονικούς Αναλυτές Καυσαερίων*, <http://www.ban.gr/userfiles/file/Theoria%20Kafsis.pdf>
13. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών/ Τομέας Θερμότητας ( 2013 Ιανουάριος), *Ενημερωτική εγκύκλιος για την πιστοποίηση των νέων λεβήτων νερού*, [http://www.lsbtp.mech.ntua.gr/sites/default/files/%CE%95%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CF%81%CF%89%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C\\_%CE%94%CE%B5%CE%BB%CF%84%CE%AF%CE%BF\\_CE0617\\_2013.pdf](http://www.lsbtp.mech.ntua.gr/sites/default/files/%CE%95%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CF%81%CF%89%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%94%CE%B5%CE%BB%CF%84%CE%AF%CE%BF_CE0617_2013.pdf)
14. AIRCO line, *Λεβητοστάσια πετρελαίου*, <http://www.aircoline.gr/22BBD472.el.aspx>
15. Fire Security, *Πόρτες πυράντοχες*, [http://www.firesecurity.gr/portes\\_pyran toxes.html](http://www.firesecurity.gr/portes_pyran toxes.html)

## Παράρτημα: Τεχνικές Εκθέσεις



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**  
**Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**  
**Τομέας Περιβάλλοντος και Χρήσης Ενέργειας**  
**Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος (ΕΤΠ)**  
**Διευθυντής: Καθηγητής Ιωάννης Μπάρτζης**

## **ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ**

**ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ**  
**ΑΠΟΔΟΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΗ ΚΑΥΣΗΣ ΕΥΛΙΝΩΝ ΠΛΙΝΘΙΩΝ ΤΥΠΟΥ**  
**PELLET, Pelletech 25**

**ΚΟΖΑΝΗ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2013**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Παρούσα Τεχνική Έκθεση, αποτελεί παραδοτέο της σύμβασης για την έκδοση βεβαίωσης ποιότητας καυσαερίων και καταγραφής των αποδόσεων με αντικείμενο τις μετρήσεις των παραπάνω σε συσκευές καύσης συμπιεσμένων ξύλων (τύπου pellet).

Το Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, στα πλαίσια της σύμβασης οργάνωσε και εκτέλεσε τις παρακάτω εργασίες, σύμφωνα με τις διαδικασίες που καθορίζονται στο πρότυπο **ΕΛΟΤ EN 303.05** σε τύπους λεβήτων pellet της εταιρείας Σαμουκατσίδης Γεώργιος & ΣΙΑ ΟΕ και συγκεκριμένα για τον λέβητα **Pelletech 25** πραγματοποιήθηκαν:

1. Μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
2. Μετρήσεις θερμοκρασιών του χώρου γύρω από τον καυστήρα.
3. Μετρήσεις θερμοκρασίας καυσαερίων.
4. Μετρήσεις CO, CO<sub>2</sub> και O<sub>2</sub> στα καυσαέρια.
5. Μετρήσεις των θερμοκρασιών του νερού εισόδου και εξόδου.
6. Μετρήσεις των αποδόσεων του καυστήρα.
7. Μετρήσεις αιθάλης.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

Το pellet κατασκευάζεται από συμπίεση καταλοίπων επεξεργασίας του ξύλου. Η καύση του ξύλου στην πράξη είναι η χημική αντίδραση κατά την οποία ο άνθρακας που περιέχει το ξύλο ενώνεται με το οξυγόνο, ελευθερώνοντας ενέργεια καθώς και μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Σε όσο υψηλότερη θερμοκρασία γίνεται η καύση, τόσο πιο πολλές ποσότητες αερίων και μονοξειδίου αναφλέγονται, με αποτέλεσμα υψηλότερες αποδόσεις.

Οι λέβητες pellet βασίζονται σε ηλεκτρονικούς πίνακες κυκλωμάτων για να καθορίσουν τα ποσά καυσίμου pellet που πρέπει να καούν. Τα περισσότερα μοντέλα έχουν λειτουργίες καύσης και μερικά μοντέλα χρησιμοποιούν θερμοστάτη για να ελέγξουν αυτή την καύση. Χρησιμοποιούν επίσης ένα σύστημα πεπιεσμένου αέρα για να διανείμουν τη θερμότητα. Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων τροφοδοσίας των καυστήρων, από το πάνω μέρος ή από μπροστά. Οι μετρήσεις γίνονται στον πρώτο τύπο.

Αντίθετα από άλλες συσκευές καύσης ξύλου, οι λέβητες pellet βασίζονται στα μηχανικά συστήματα τροφοδοσίας του αέρα που τον αντλούν από το περιβάλλον του χώρου. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν έναν ανεμιστήρα που ωθεί τον αέρα στο εσωτερικό του καυστήρα με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ρεύμα αέρα στο μέρος όπου γίνεται η καύση, το σύστημα μερικές φορές χρησιμοποιεί ένα ανεμιστήρα για να παρασύρει τον αέρα από την περιοχή καύσης μέσω του συστήματος εξάτμισης (το λεγόμενο σύστημα αρνητικής πίεσης).

Τα καυσαέρια που δημιουργούνται εξάγονται στον εξωτερικό χώρο (περιβάλλον) μέσω σωλήνα που αποτελείται από ανοξείδωτο εσωτερικό και αλουμινένιο εξωτερικό. Οι λέβητες pellet μπορούν να χρησιμοποιούν μία υπάρχουσα καπνοδόχο, αλλά συνήθως χρειάζεται να τροποποιηθεί έτσι ώστε να περνάει ο σωλήνας που θα γίνεται η εξαγωγή του καπνού.

Ως λόγο αέρα καύσης ( $\lambda$ ), θεωρούμε την πραγματικά χρησιμοποιούμενη ποσότητα αέρα προς εκείνη που θεωρητικά απαιτείται ή αντίστοιχα του πραγματικού λόγου αέρα- καυσίμου, προς τον στοιχειομετρικό.

Ο αέρας, οποίος εισέρχεται ως περίσσεια, αλλά δεν χρησιμοποιείται για την καύση, θερμαίνεται στη θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και εξέρχεται από το σύστημα, μεταφέροντας ωφέλιμη θερμική ενέργεια η οποία μένει ανεκμετάλλευτη, αφού αποβάλλεται στο περιβάλλον μαζί με τα καυσαέρια.

Ο λόγος αέρα καύσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 21 / (21 - Y_{O_2})$$

$Y_{O_2}$  : περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο.

Ο αέρας, ο οποίος εισέρχεται ως περίσσεια, αλλά δεν χρησιμοποιείται για την καύση, θερμαίνεται στη θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και εξέρχεται από το σύστημα, μεταφέροντας ωφέλιμη θερμική ενέργεια η οποία μένει ανεκμετάλλευτη, αφού αποβάλλεται στο περιβάλλον, μαζί με τα καυσαέρια.

Οι απώλειες ενέργειας κατά την καύση μειώνουν το ποσό της διαθέσιμης προς χρήση θερμότητας. Οι μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας, οφείλονται στην υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων και την ατελή καύση του καυσίμου.

Οι απώλειες ξηρών καυσαερίων, εξαρτώνται άμεσα από την ποσότητα της περίσσειας του αέρα, δεδομένου ότι ο μη "καιόμενος" αέρας, εγκαταλείπει τον θάλαμο καύσης με υψηλή θερμοκρασία.

Η θερμότητα η οποία απαιτείται για την θέρμανση του αέρα περιβάλλοντος μέχρι τη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων, ισούται με τις απώλειες αισθητής θερμότητας των ξηρών καυσαερίων. Ο υδρατμός που εμπεριέχεται στα καυσαέρια, απορροφά ποσό θερμότητας ίσο με την λαμβάνουσα θερμότητα ατμοποίησης συν την αισθητή θερμότητα υπερθέρμανσης του από την θερμοκρασία ατμοποίησης, μέχρι την θερμοκρασία των καυσαερίων.

Η υγρασία του καυσίμου, απορροφά και ένα ποσό θερμότητας, για την θέρμανση της από την θερμοκρασία εισόδου στον θάλαμο καύσης, μέχρι την θερμοκρασία ατμοποίησης.

## **ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

### Η Δεξαμενή

Ο χώρος τοποθέτησης των Pellet (Δεξαμενή-tank), κάποιες φορές είναι μέρος του καυστήρα ενώ άλλες πάλι είναι απλά συνδεδεμένος με τον υπόλοιπο καυστήρα με κάποια σωλήνα ή κοχλία. Τα Pellet από την δεξαμενή με κάποιο μέσο προώθησης (κοχλίας, αστεροειδής βαλβίδα κ.α) προωθούνται στον χώρο καύσης.

### Ο Χώρος Καύσης

Τα pellet μεταφέρονται στον χώρο αυτό από την Δεξαμενή πάντα όμως με την χρήση διαδρομών ή μηχανισμών που εμποδίζουν την υποχώρηση της φωτιάς στον κύριο χώρο της Δεξαμενής. Οι ασφαλιστικές δικλίδες αυτές είναι παρόμοιες στις διάφορες εταιρίες και περιλαμβάνουν βαλβίδες πυρόσβεσης, επικλινείς "διαδρόμους" από τους οποίους γίνεται η πτώση των pellets στον θάλαμο καύσης κ.α. Ο χώρος καύσης διαφέρει σε σχεδιασμό, υλικά κατασκευής και μέγεθος

ανάλογα με το εργοστάσιο παραγωγής και την δυναμικότητα του καυστήρα pellet. Στον χώρο καύσης γίνεται το άναμμα, το οποίο όταν είναι αυτόματο γίνεται είτε με χρήση blower θερμού αέρα (ουσιαστικά ένα πιστολάκι υπέρθερμου αέρα) είτε με απλή ηλεκτρική αντίσταση και κατόπιν με την βοήθεια αέρα που προωθείται από ανεμιστήρα συντηρείται και δυναμώνει η φλόγα στον θάλαμο καύσης.

Διάταξη ανταλλαγής θερμότητας

Ο χώρος αυτός είναι ουσιαστικά η διαδρομή από την οποία περνούν τα καυσαέρια κατευθυνόμενα προς την καμινάδα και ο οποίος περιλαμβάνει σωληνώσεις και σκαλοπάτια τα οποία περιέχουν το νερό του καυστήρα. Η διαδρομή αυτή είναι λιγότερο ή περισσότερο πολύπλοκη ανάλογα με τον σχεδιασμό του καυστήρα και είναι φτιαγμένη ώστε να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη δυνατή απορρόφηση της θερμότητας των καυσαερίων από το νερό. Αυτό που καθορίζει την απόδοση του καυστήρα είναι η μετάδοση της θερμότητας που παράγεται από την καύση των pellet στο νερό που περιέχουν τα τοιχώματα του καυστήρα.

Καπνοδόχος

Η καπνοδόχος είναι ένα από τα σημεία που, σε συνδυασμό με την ποιότητα των Pellet, βοηθούν την σωστή λειτουργία του καυστήρα και είναι κάτι που πρέπει να προσέχεται σε όλες τις εγκαταστάσεις. Κάθε κατασκευαστής έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις για την καμινάδα που πρέπει να τοποθετηθεί στον καυστήρα. Είναι απαραίτητο να ακολουθούνται πιστά οι οδηγίες αυτές.

Κεντρική Μονάδα Ελέγχου (Υπολογιστής-PLC)

Όλες οι λειτουργίες και τα μέρη του καυστήρα pellet ελέγχονται και προγραμματίζονται από την Μονάδα Ελέγχου που υπάρχει επάνω του. Αυτή η μονάδα χρησιμοποιεί μία σειρά από αισθητήρες ώστε να προσαρμόσει την καύση και την λειτουργία του καυστήρα ανάλογα με την ζήτηση θερμότητας από την εγκατάσταση. Σε κάθε καυστήρα το πόσο εξελιγμένο ή όχι είναι το σύστημα ελέγχου αυτό, προσφέρει αντίστοιχα πολλές ή λίγες δυνατότητες αλλά και μικρότερη ή περισσότερη οικονομία.

## **ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΛΕΒΗΤΑ PELLETECH 25**

- Ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ζεστού νερού με ενσωματωμένο κυκλοφορητή και δοχείο διαστολής.
- Σύστημα καύσης με αυτόματους κύκλους καθαρισμού.
- Σύστημα καθαρισμού εναλλάκτη με ενσωματωμένα ελατήρια.
- Χυτοσίδηρος καυστήρας κάθετης καύσης με σταθερή προώθηση καυσίμου.
- Ηλεκτρονικό σύστημα έναυσης με κεραμική αντίσταση ταχείας πυράκτωσης χαμηλής κατανάλωσης.



- Ανοξείδωτος θάλαμος δευτερεύουσας καύσης με κυκλική παροχή αέρα και σύστημα ανακύκλωσης των καυσαερίων.
- Αυτόματο σύστημα τροφοδοσίας με κοχλία και διπλές περιστροφικές βαλβίδες με προστασία από επιστροφή φωτιάς στο δοχείο καυσίμου
- Ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενος ανεμιστήρας παροχής αέρα στον καυστήρα.
- Αυτόματο σύστημα ελέγχου λέβητα- καυστήρα με ηλεκτρονικό ελεγκτή με δυνατότητα ρύθμισης όλων των παραμέτρων καύσης, κατανάλωσης και απόδοσης του λέβητα.
- Ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενος ανεμιστήρας καυσαερίων που εξασφαλίζει την ομαλή ροή των καυσαερίων προς την καπνοδόχο, αποτρέποντας την συσσώρευση καπνιάς στον εναλλάκτη και την ανεπιθύμητη απόφραξη του.
- Ατσάλινος εναλλάκτης με οριζόντια τριπλή διαδρομή καυσαερίων και δυνατότητα χρήσης στροβιλιστών.
- Δοχείο pellets χωρητικότητας 100 Kg, με δυνατότητα σύνδεσης με εξωτερικό silo τροφοδοσίας καυσίμου.
- Ατσάλινος λέβητας βαρέως τύπου από χαλυβδοέλασμα μεγάλου πάχους.
- Βάρος του λέβητα: 300 Kg
- Διαστάσεις του λέβητα: 66 X 133 X 86

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα pellet που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα με τα εξής χαρακτηριστικά:  
golden nuggets premium pellets (Αυστριακό)

-θερμιδική αξία :5 kwh/kg

-διάμετρος: 6mm

-περιεκτικότητα σε υγρασία: προσεγγιστικά 10%

-περιεκτικότητα σε σκόνη: <=1%

-περιεκτικότητα σε τέφρα: <= 0,5%

## ΕΥΡΕΣΗ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΟΥ PELLETT

Μετά από μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο βρέθηκε η ακριβής θερμιδική αξία του καυσίμου δοκιμής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Δείγμα	Βάρος κάψας σε gr	Βάρος κάψας + υπολλείμα	Βάρος δείγματος	Βάρος υπολλείματος	Heating (cal/gr)
Αυστριακό Golden nuggets (δοκ.1)	13.8190	13.8281	1.1563	0.0091	4528.5569
Αυστριακό Golden nuggets (δοκ.2)	13.8203	13.8292	0.9359	0.0089	4546.4427

$$H_u : [4528.5569 + 4546.4427] / 2 = 4537.4998 \text{ cal/gr}$$

$$\Rightarrow H_u: 18997.604133 \text{ KJ/Kg}$$

Η υγρασία των pellet όπως μετρήθηκε στο εργαστήριο είναι  $W=7.3\%$

Τα εργαλεία μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι με σειρά :

1. RMS621 Endress and Hauser (θερμοκρασία εισόδου – εξόδου)
2. Kimo Kiray 300 (θερμοκρασία γύρω από τον καυστήρα)
3. Testo 330-1LL
4. Testo 0632.0307 TUV By RgG 207 ( μέτρηση αιθάλης)
5. Testo 330-1LL (μέτρηση εξωτερικής καμινάδας)

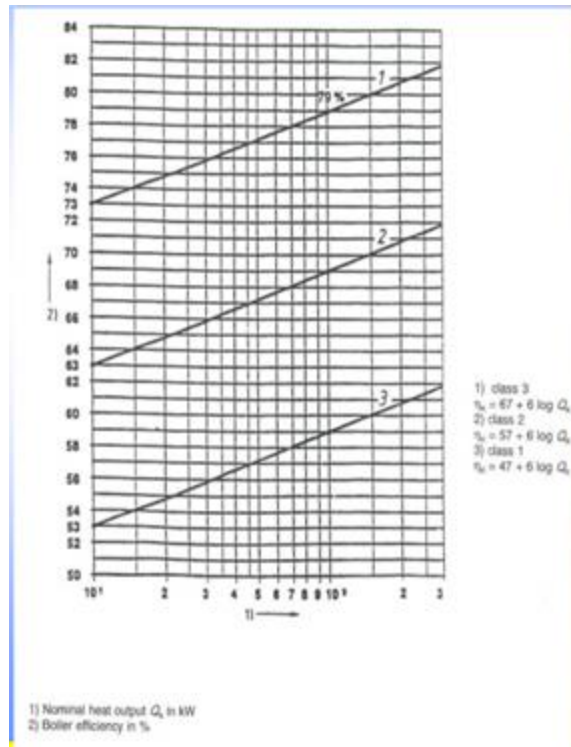
Οι μετρήσεις έγιναν ανά μισή ώρα σε χώρο δοκιμής  $24 \text{ m}^2$  στον καυστήρα για pellet του οποίου ο τύπος είναι: Pelletech 25.

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος μετρήθηκε σε απόσταση ίση από κάθε πλευρά του καυστήρα σε περιφέρεια κύκλου με ακτίνα  $(1.2 \pm 0.1)\text{m}$  σχεδιασμένο στο μέσο της πλευράς του καυστήρα και σε ύψος  $(0.50 \pm 0.01)\text{m}$ .

Δεν υπήρχαν άλλες πηγές θερμότητας στο χώρο που να επηρεάζουν τις μετρήσεις.

Η στατική πίεση σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν  $\leq 2\text{Pa}$ .

Οι απαιτήσεις για την απόδοση του λέβητα και των ορίων εκπομπών χωρίζονται σε 3 κλάσεις. Για να πληρούνται αυτές οι απαιτήσεις δεν θα πρέπει να υπάρχει απόκλιση κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών με τους τύπους που δύνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Η παραγωγή θερμότητας του λέβητα είναι ο μέσος όρος της εξόδου που καταγράφεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Η αναγκαία εξίσωση σχετικά με τις επιμέρους μεθόδους δοκιμής δίνονται στο παράρτημα Α.7 του προτύπου EN 304.

- Υπολογισμός της προσδιδόμενης ισχύος σύμφωνα με το παράρτημα Α.8.1 του προτύπου EN 304:

$$Q_B = B \cdot H_u \quad \text{όπου:}$$

B: είναι η ποσότητα του καυσίμου (Kg/s)

H<sub>u</sub>: είναι η καθαρή θερμογόνος δύναμη (J/Kg)

- Άμεση μέθοδος υπολογισμού απόδοσης  
 $n^1 = Q/Q_B$

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ 1

	n (%)	B (kg/h)	Tw1 (°C)	Tw2 (°C)	Ροή (l/h)	Twall (°C)	Tl (°C)	CO (ppm)	NO (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	P <sub>w</sub> (kw)	Ta (°C)	Aιθ.	qa (%)
P1	86.9	5.5	52.35	56.35	2579.84	16.36	27.1	875	28.5	4.785	16.05	11.755	118.05	5	13.1
P2	89.2	5.5	58.85	66.22	2571.28	23.74	30.65	733.5	50.75	7.73	13	21.365	141.82	8	10.17
P3	86.5	5.5	57.5	60.6	2600.33	15.3	32.85	468	26	3.96	16.9	10.31	109.4	6	13.5

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ 2

	CO <sub>cont</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	CO (%)	OGC (mg/m <sup>3</sup> )
P1	1767.676	0.1414	82.86
P2	916.875	0.07335	42.97
P3	1141.463	0.09131	53.5

Όπου :

n: ο βαθμός απόδοσης που μετρήθηκε μόνο λόγω της απώλειας των καυσαερίων

B: η μάζα καυσίμου

Tw1: η θερμοκρασία εισόδου του νερού

Tw2: η θερμοκρασία εξόδου του νερού

Twall: η μέση θερμοκρασία πέριξ του καυστήρα

Tl: η μέση θερμοκρασία εξωτερικά του καυστήρα

CO: περιεκτικότητα μονοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

NO: περιεκτικότητα μονοξειδίου του αζώτου στα καυσαέρια

CO<sub>2</sub>: περιεκτικότητα διοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

O<sub>2</sub>: περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια

P<sub>w</sub>: θερμική ισχύς που προσδίδεται στο νερό

Ta: η θερμοκρασία των καυσαερίων

Aιθ.: η αιθάλη μετράται με βάση την κλίμακα Bacharach.

qa: ποσοστό των ειδικών απωλειών θερμότητας στα καυσαέρια

OGC: Ολικός αέριος οργανικός άνθρακας

Στοιχεία προγραμμάτων

P1: Παροχή καυσίμου 6" ανά 3". Παροχή αέρα σε στροφές 1930g/min

P2: Παροχή καυσίμου συνεχής (9"). Παροχή αέρα σε στροφές 1770g/min

P3: Παροχή καυσίμου 3.80" ανά 9". Παροχή αέρα σε στροφές 1300g/min

Η μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην εξωτερική καμινάδα έγινε ανά μία ώρα. Η ελάχιστη τιμή ήταν 44.7 °C και η μέγιστη ήταν 96.5 °C.

Η συνολική ποσότητα καυσίμου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν 22 kg και η τέφρα 39.8 gr.

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

	Q(KW)	Q <sub>B</sub> (KW)	n <sup>1</sup> (%)
P1	11.755	29.022	40.5
P2	21.365	29.022	73.6
P3	10.31	29.022	35.5

**Η μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς για θερμοκρασία νερού 60 °C είναι 23,67 KW και κατά συνέπεια ο μέγιστος βαθμός απόδοσης μπορεί να φτάσει σε ποσοστό 81,5%. Η κλάση που αντιστοιχεί σε αυτό το βαθμό απόδοσης είναι η κλάση 3.**

Όπου :

Q: Ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς

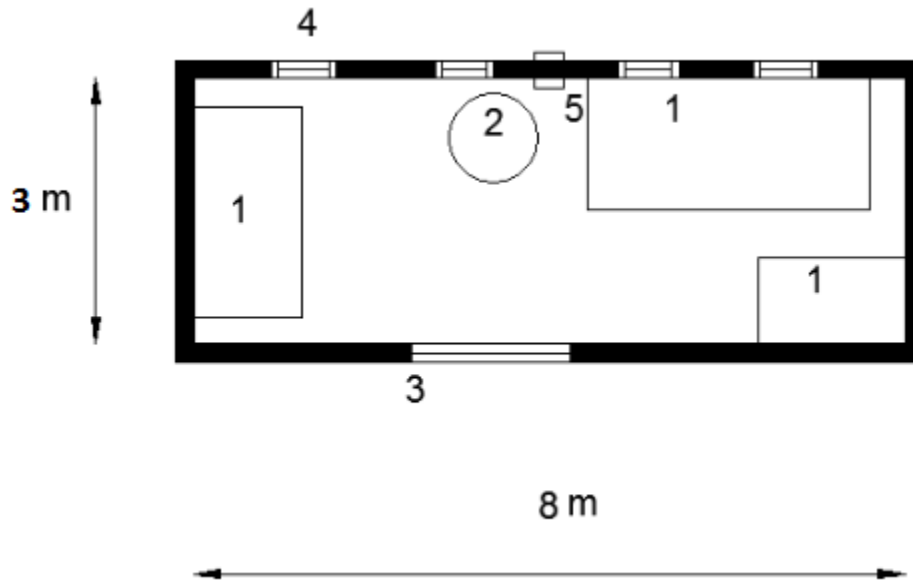
Q<sub>B</sub>: Προσδιδόμενη ισχύς

n<sup>1</sup> : Ο βαθμός απόδοσης όπως υπολογίστηκε από το πρότυπο ΕΛΟΤ

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ**  
**ΛΕΒΗΤΑΣ PELLETECH 25**



ΚΑΤΟΨΗ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ



- 1: Χώρος τοποθέτησης λεβήτων δοκιμών.
- 2: Boiler νερού που συνδέεται με τους λέβητες.
- 3: Συρόμενη πόρτα
- 4: Παράθυρα.
- 5: Εξαερισμός.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ





ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΩΝ PELLET





**Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**  
**Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**  
**Τομέας Περιβάλλοντος και Χρήσης Ενέργειας**  
**Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος (ΕΤΠ)**  
**Διευθυντής: Καθηγητής Ιωάννης Μπάρτζης**

## **ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ**

**ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ**  
**ΑΠΟΔΟΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΗ ΚΑΥΣΗΣ ΕΥΛΙΝΩΝ ΠΛΙΝΘΙΩΝ ΤΥΠΟΥ**  
**PELLET , Pelletech 15-50**

**ΚΟΖΑΝΗ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2013**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Παρούσα Τεχνική Έκθεση, αποτελεί παραδοτέο της σύμβασης για την έκδοση βεβαίωσης ποιότητας καυσαερίων και καταγραφής των αποδόσεων με αντικείμενο τις μετρήσεις των παραπάνω σε συσκευές καύσης συμπιεσμένων ξύλων (τύπου pellet).

Το Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, στα πλαίσια της σύμβασης οργάνωσε και εκτέλεσε τις παρακάτω εργασίες, σύμφωνα με τις διαδικασίες που καθορίζονται στο πρότυπο **ΕΛΟΤ EN303.05** σε τύπους καυστήρων pellet της εταιρείας Σαμουκατσίδης Γεώργιος & ΣΙΑ ΟΕ και συγκεκριμένα για τον καυστήρα **Pelletech 15-50** πραγματοποιήθηκαν:

8. Μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
9. Μετρήσεις θερμοκρασιών του χώρου γύρω από τον καυστήρα.
10. Μετρήσεις θερμοκρασίας καυσαερίων.
11. Μετρήσεις CO, CO<sub>2</sub> και O<sub>2</sub> στα καυσαέρια.
12. Μετρήσεις των θερμοκρασιών του νερού εισόδου και εξόδου.
13. Μετρήσεις των αποδόσεων του καυστήρα.
14. Μετρήσεις αιθάλης.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

Το pellet κατασκευάζεται από συμπίεση καταλοίπων επεξεργασίας του ξύλου. Η καύση του ξύλου στην πράξη είναι η χημική αντίδραση κατά την οποία ο άνθρακας που περιέχει το ξύλο ενώνεται με το οξυγόνο, ελευθερώνοντας ενέργεια καθώς και μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Σε όσο υψηλότερη θερμοκρασία γίνεται η καύση, τόσο πιο πολλές ποσότητες αερίων και μονοξειδίου αναφλέγονται, με αποτέλεσμα υψηλότερες αποδόσεις.

Οι λέβητες pellet βασίζονται σε ηλεκτρονικούς πίνακες κυκλωμάτων για να καθορίσουν τα ποσά καυσίμου pellet που πρέπει να καούν. Τα περισσότερα μοντέλα έχουν λειτουργίες καύσης και μερικά μοντέλα χρησιμοποιούν θερμοστάτη για να ελέγξουν αυτή την καύση. Χρησιμοποιούν επίσης ένα σύστημα πεπιεσμένου αέρα για να διανείμουν τη θερμότητα. Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων τροφοδοσίας των καυστήρων, από το πάνω μέρος ή από μπροστά. Οι μετρήσεις γίνονται στον πρώτο τύπο.

Αντίθετα από άλλες συσκευές καύσης ξύλου, οι λέβητες pellet βασίζονται στα μηχανικά συστήματα τροφοδοσίας του αέρα που τον αντλούν από το περιβάλλον του χώρου. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν έναν ανεμιστήρα που ωθεί τον αέρα στο εσωτερικό του καυστήρα με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ρεύμα αέρα στο μέρος όπου γίνεται η καύση, το σύστημα μερικές φορές χρησιμοποιεί ένα ανεμιστήρα για να παρασύρει τον αέρα από την περιοχή καύσης μέσω του συστήματος εξάτμισης (το λεγόμενο σύστημα αρνητικής πίεσης).

Τα καυσαέρια που δημιουργούνται εξάγονται στον εξωτερικό χώρο (περιβάλλον) μέσω σωλήνα που αποτελείται από ανοξείδωτο εσωτερικό και αλουμινένιο εξωτερικό. Οι λέβητες pellet μπορούν να χρησιμοποιούν μία υπάρχουσα καπνοδόχο, αλλά συνήθως χρειάζεται να τροποποιηθεί έτσι ώστε να περνάει ο σωλήνας που θα γίνεται η εξαγωγή του καπνού.

Ως λόγο αέρα καύσης ( $\lambda$ ), θεωρούμε την πραγματικά χρησιμοποιούμενη ποσότητα αέρα προς εκείνη που θεωρητικά απαιτείται ή αντίστοιχα του πραγματικού λόγου αέρα- καυσίμου, προς τον στοιχειομετρικό.

Ο αέρας, οποίος εισέρχεται ως περίσσεια, αλλά δεν χρησιμοποιείται για την καύση, θερμαίνεται στη θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και εξέρχεται από το σύστημα, μεταφέροντας ωφέλιμη θερμική ενέργεια η οποία μένει ανεκμετάλλευτη, αφού αποβάλλεται στο περιβάλλον μαζί με τα καυσαέρια.

Ο λόγος αέρα καύσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 21 / (21 - Y_{O_2})$$

$Y_{O_2}$  : περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο.

Ο αέρας, ο οποίος εισέρχεται ως περίσσεια, αλλά δεν χρησιμοποιείται για την καύση, θερμαίνεται στη θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και εξέρχεται από το σύστημα, μεταφέροντας ωφέλιμη θερμική ενέργεια η οποία μένει ανεκμετάλλευτη, αφού αποβάλλεται στο περιβάλλον, μαζί με τα καυσαέρια.

Οι απώλειες ενέργειας κατά την καύση μειώνουν το ποσό της διαθέσιμης προς χρήση θερμότητας. Οι μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας, οφείλονται στην υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων και την ατελή καύση του καυσίμου.

Οι απώλειες ξηρών καυσαερίων, εξαρτώνται άμεσα από την ποσότητα της περίσσειας του αέρα, δεδομένου ότι ο μη "καιόμενος" αέρας, εγκαταλείπει τον θάλαμο καύσης με υψηλή θερμοκρασία.

Η θερμότητα η οποία απαιτείται για την θέρμανση του αέρα περιβάλλοντος μέχρι τη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων, ισούται με τις απώλειες αισθητής θερμότητας των ξηρών καυσαερίων. Ο υδρατμός που εμπεριέχεται στα καυσαέρια, απορροφά ποσό θερμότητας ίσο με την λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης συν την αισθητή θερμότητα υπερθέρμανσης του από την θερμοκρασία ατμοποίησης, μέχρι την θερμοκρασία των καυσαερίων.

Η υγρασία του καυσίμου, απορροφά και ένα ποσό θερμότητας, για την θέρμανση της από την θερμοκρασία εισόδου στον θάλαμο καύσης, μέχρι την θερμοκρασία ατμοποίησης.

## **ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

### Η Δεξαμενή

Ο χώρος τοποθέτησης των Pellet (Δεξαμενή-tank), κάποιες φορές είναι μέρος του καυστήρα ενώ άλλες πάλι είναι απλά συνδεδεμένος με τον υπόλοιπο καυστήρα με κάποια σωλήνα ή κοχλία. Τα Pellet από την δεξαμενή με κάποιο μέσο προώθησης (κοχλίας, αστεροειδής βαλβίδα κ.α) προωθούνται στον χώρο καύσης.

### Ο Χώρος Καύσης

Τα pellet μεταφέρονται στον χώρο αυτό από την Δεξαμενή πάντα όμως με την χρήση διαδρομών ή μηχανισμών που εμποδίζουν την υποχώρηση της φωτιάς στον κύριο χώρο της Δεξαμενής. Οι ασφαλιστικές δικλίδες αυτές είναι παρόμοιες στις διάφορες εταιρίες και περιλαμβάνουν βαλβίδες πυρόσβεσης, επικλινείς "διαδρόμους" από τους οποίους γίνεται η πτώση των pellets στον θάλαμο καύσης κ.α. Ο χώρος καύσης διαφέρει σε σχεδιασμό, υλικά κατασκευής και μέγεθος

ανάλογα με το εργοστάσιο παραγωγής και την δυναμικότητα του λέβητα pellet. Στον χώρο καύσης γίνεται το άναμμα, το οποίο όταν είναι αυτόματο γίνεται είτε με χρήση blower θερμού αέρα (ουσιαστικά ένα πιστολάκι υπέρθερμου αέρα) είτε με απλή ηλεκτρική αντίσταση και κατόπιν με την βοήθεια αέρα που προωθείται από ανεμιστήρα συντηρείται και δυναμώνει η φλόγα στον θάλαμο καύσης.

#### Διάταξη ανταλλαγής θερμότητας

Ο χώρος αυτός είναι ουσιαστικά η διαδρομή από την οποία περνούν τα καυσαέρια κατευθυνόμενα προς την καμινάδα και ο οποίος περιλαμβάνει σωληνώσεις και σκαλοπάτια τα οποία περιέχουν το νερό του καυστήρα. Η διαδρομή αυτή είναι λιγότερο ή περισσότερο πολύπλοκη ανάλογα με τον σχεδιασμό του καυστήρα και είναι φτιαγμένη ώστε να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη δυνατή απορρόφηση της θερμότητας των καυσαερίων από το νερό. Αυτό που καθορίζει την απόδοση του καυστήρα είναι η μετάδοση της θερμότητας που παράγεται από την καύση των pellet στο νερό που περιέχουν τα τοιχώματα του καυστήρα.

#### Καπνοδόχος

Η καπνοδόχος είναι ένα από τα σημεία που, σε συνδυασμό με την ποιότητα των Pellet, βοηθούν την σωστή λειτουργία του καυστήρα και είναι κάτι που πρέπει να προσέχεται σε όλες τις εγκαταστάσεις. Κάθε κατασκευαστής έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις για την καμινάδα που πρέπει να τοποθετηθεί στον καυστήρα. Είναι απαραίτητο να ακολουθούνται πιστά οι οδηγίες αυτές.

#### Κεντρική Μονάδα Ελέγχου (Υπολογιστής-PLC)

Όλες οι λειτουργίες και τα μέρη του καυστήρα pellet ελέγχονται και προγραμματίζονται από την Μονάδα Ελέγχου που υπάρχει επάνω του. Αυτή η μονάδα χρησιμοποιεί μία σειρά από αισθητήρες ώστε να προσαρμόσει την καύση και την λειτουργία του καυστήρα ανάλογα με την ζήτηση θερμότητας από την εγκατάσταση. Σε κάθε καυστήρα το πόσο εξελιγμένο ή όχι είναι το σύστημα ελέγχου αυτό, προσφέρει αντίστοιχα πολλές ή λίγες δυνατότητες αλλά και μικρότερη ή περισσότερη οικονομία.

### **ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΛΕΒΗΤΑ PELLETECH 15-50**

- Ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ζεστού νερού με ενσωματωμένο κυκλοφορητή και δοχείο διαστολής.
- Σύστημα καύσης με αυτόματους κύκλους καθαρισμού.
- Σύστημα καθαρισμού εναλλάκτη με ενσωματωμένα ελατήρια.
- Χυτοσίδηρος καυστήρας κάθετης καύσης με σταθερή προώθηση καυσίμου.

- Ηλεκτρονικό σύστημα έναυσης με κεραμική αντίσταση ταχείας πυράκτωσης χαμηλής κατανάλωσης.
- Ανοξείδωτος θάλαμος δευτερεύουσας καύσης με κυκλική παροχή αέρα και σύστημα ανακύκλωσης των καυσαερίων.
- Αυτόματο σύστημα τροφοδοσίας με κοχλία και διπλές περιστροφικές βαλβίδες με προστασία από επιστροφή φωτιάς στο δοχείο καυσίμου
- Ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενος ανεμιστήρας παροχής αέρα στον καυστήρα.
- Αυτόματο σύστημα ελέγχου λέβητα- καυστήρα με ηλεκτρονικό ελεγκτή με δυνατότητα ρύθμισης όλων των παραμέτρων καύσης, κατανάλωσης και απόδοσης του λέβητα.
- Ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενος ανεμιστήρας καυσαερίων που εξασφαλίζει την ομαλή ροή των καυσαερίων προς την καπνοδόχο, αποτρέποντας την συσσώρευση καπνιάς στον εναλλάκτη και την ανεπιθύμητη απόφραξή του.
- Ατσάλινος εναλλάκτης με οριζόντια τριπλή διαδρομή καυσαερίων και δυνατότητα χρήσης στροβιλιστών.
- Δοχείο pellets χωρητικότητας 100 Kg, με δυνατότητα σύνδεσης με εξωτερικό silo τροφοδοσίας καυσίμου.
- Ατσάλινος λέβητας βαρέως τύπου από χαλυβδοέλασμα μεγάλου πάχους.
- Βάρος του λέβητα: 480 Kg
- Διαστάσεις του λέβητα: 133 X 145 X 89

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα pellet που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα με τα εξής χαρακτηριστικά:

golden nuggets premium pellets (Αυστριακό)

-θερμιδική αξία :5 kwh/kg

-διάμετρος: 6mm

-περιεκτικότητα σε υγρασία: προσεγγιστικά 10%

-περιεκτικότητα σε σκόνη: <=1%

-περιεκτικότητα σε τέφρα: <= 0.5%

## ΕΥΡΕΣΗ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΟΥ PELLEΤ

Μετά από μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο βρέθηκε η ακριβής θερμιδική αξία του καυσίμου δοκιμής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Δείγμα	Βάρος κάψας σε gr	Βάρος κάψας + υπόλλειμα	Βάρος δείγματος	Βάρος υπολλείματος	Heating (cal/gr)
Αυστριακό Golden nuggets (δοκ.1)	13.8190	13.8281	1.1563	0.0091	4528.5569
Αυστριακό Golden nuggets (δοκ.2)	13.8203	13.8292	0.9359	0.0089	4546.4427

$$H_u : [4528.5569+4546.4427]/2=4537.4998 \text{ cal/gr}$$

$$\Rightarrow H_u: 18997.604133 \text{ KJ/Kg}$$

Η υγρασία των pellet όπως μετρήθηκε στο εργαστήριο είναι  $W=7.3\%$

Τα εργαλεία μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι με σειρά :

6. RMS621 Endress and Hauser (θερμοκρασία εισόδου – εξόδου)
7. Kimo Kiray 300 (θερμοκρασία γύρω από τον καυστήρα)
8. Testo 330-1LL
9. Testo 0632.0307 TUV By RgG 207 ( μέτρηση αιθάλης)
10. Testo 330-1LL (μέτρηση εξωτερικής καμινάδας)

Οι μετρήσεις έγιναν ανά μισή ώρα σε χώρο δοκιμής  $24 \text{ m}^2$  στον καυστήρα για pellet του οποίου ο τύπος είναι: Pelletech 15-50.

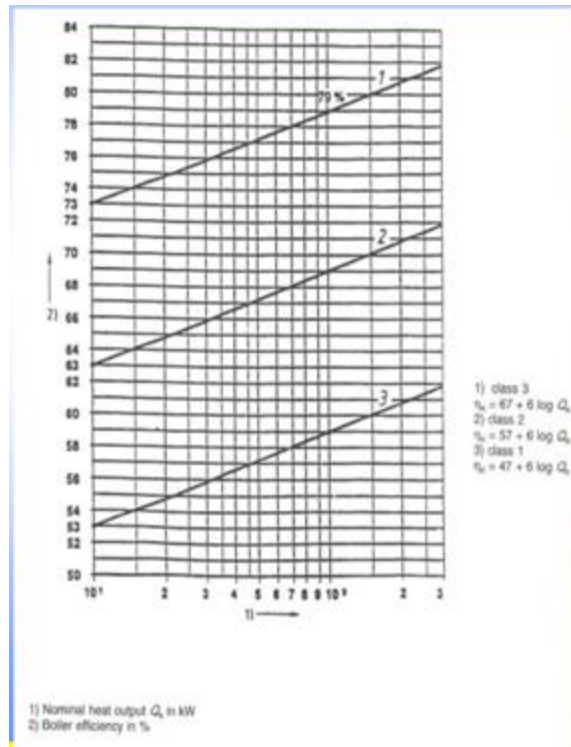
Η θερμοκρασία περιβάλλοντος μετρήθηκε σε απόσταση ίση από κάθε πλευρά του καυστήρα σε περιφέρεια κύκλου με ακτίνα  $(1.2 \pm 0.1)\text{m}$  σχεδιασμένο στο μέσο της πλευράς του καυστήρα και σε ύψος  $(0.50 \pm 0.01)\text{m}$ .

Δεν υπήρχαν άλλες πηγές θερμότητας στο χώρο που να επηρεάζουν τις μετρήσεις.

Η στατική πίεση σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν  $\leq 2\text{Pa}$ .

Οι απαιτήσεις για την απόδοση του λέβητα και των ορίων εκπομπών χωρίζονται σε 3 κλάσεις. Για να πληρούνται αυτές οι απαιτήσεις δεν θα πρέπει να υπάρχει απόκλιση κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών με τους τύπους που δύνονται στο παρακάτω διάγραμμα:





Η παραγωγή θερμότητας του λέβητα είναι ο μέσος όρος της εξόδου που καταγράφεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Η αναγκαία εξίσωση σχετικά με τις επιμέρους μεθόδους δοκιμής δίνονται στο παράρτημα Α.7 του προτύπου EN 304.

- Υπολογισμός της προσδιδόμενης ισχύος σύμφωνα με το παράρτημα Α.8.1 του προτύπου EN 304:

$$Q_B = B \cdot H_u \quad \text{όπου:}$$

B: είναι η ποσότητα του καυσίμου (Kg/s)

$H_u$ : είναι η καθαρή θερμογόνος δύναμη (J/Kg)

- Άμεση μέθοδος υπολογισμού απόδοσης  
 $\eta^1 = Q/Q_B$

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ 1

	n (%)	B (kg/h)	Tw1 (°C)	Tw2 (°C)	Pοή (l/h)	Twall (°C)	Tl (°C)	CO (ppm)	NO (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	P <sub>w</sub> (kw)	Ta (°C)	Αιθ.	qa (%)
P1	87.5	8.9	60.9	66.6	3342.4	23.475	30.35	150	-	6.09	14.7	22.93	146	2	12.5
P2	90.55	8.9	63.2	70.45	3285.7	24.662	31.1	126.5	52	7.3	13.45	26.485	137.5	4	9.45
P3	91.1	8.9	61.5	67.5	3434.83	25.4	35.3	127	56	7.15	13.6	24.50	127.7	5	8.9
P4	89.7	8.9	63.8	73.6	3406.14	24.2	31.85	142	51	7.54	13.2	38.03	150.1	4	10.3
P5	90.8	8.9	63.6	73	3338.62	26.55	34.3	178	72	10.73	9.9	35.88	176	4	9.2
P6	87.9	8.9	63.4	71.8	3328.16	33.4	31.25	159	-	9.38	11.3	33.25	202.3	3	12.1

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ 2

	CO <sub>cont</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	CO (%)	OGC (mg/m <sup>3</sup> )
P1	238.09	0.015	11.16
P2	167.54	0.01265	7.85
P3	171.62	0.0127	8.04
P4	182.05	0.0142	8.53
P5	160.36	0.0178	7.51
P6	163.91	0.0159	7.68

Όπου :

n: ο βαθμός απόδοσης που μετρήθηκε μόνο λόγω της απώλειας των καυσαερίων

B: η μάζα καυσίμου

Tw1: η θερμοκρασία εισόδου του νερού

Tw2: η θερμοκρασία εξόδου του νερού

Twall: η μέση θερμοκρασία πέριξ του καυστήρα

Tl: η μέση θερμοκρασία εξωτερικά του καυστήρα

CO: περιεκτικότητα μονοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

NO: περιεκτικότητα μονοξειδίου του αζώτου στα καυσαέρια

CO<sub>2</sub>: περιεκτικότητα διοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

O<sub>2</sub>: περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια

P<sub>w</sub>: θερμική ισχύς που προσδίδεται στο νερό

Ta: η θερμοκρασία των καυσαερίων

Αιθ.: η αιθάλη μετράται με βάση την κλίμακα Bacharach.

qa: ποσοστό των ειδικών απωλειών θερμότητας στα καυσαέρια

OGC: Ολικός αέριος οργανικός άνθρακας

Στοιχεία προγραμμάτων

P1: Παροχή καυσίμου 1" ανά 11". Αέρας: 33%. Ελκυσμός: 23%

P2: Παροχή καυσίμου 1" ανά 11". Αέρας: 26%. Ελκυσμός: 23%

P3: Παροχή καυσίμου 2" ανά 16". Αέρας: 31%. Ελκυσμός: 23%

P4: Παροχή καυσίμου 3" ανά 21". Αέρας: 32%. Ελκυσμός: 23%

P5: Παροχή καυσίμου 2" ανά 16". Αέρας: 31%. Ελκυσμός: 20%

P6: Παροχή καυσίμου 5.5" ανά 31". Αέρας: 41%. Ελκυσμός: 28%

Η μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην εξωτερική καμινάδα έγινε ανά μία ώρα. Η ελάχιστη τιμή ήταν 94.6 °C και η μέγιστη ήταν 137 °C.

Η συνολική ποσότητα καυσίμου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν 40.05 kg και τέφρα 78 gr.

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ 1

	Q (KW)	Q <sub>B</sub> (KJ/Kg)	n <sup>1</sup> (%)
<b>P1</b>	22.93	46.96	48,8
<b>P2</b>	26.485	46.96	56.4
<b>P3</b>	24.5	46.96	52.2
<b>P4</b>	38.03	46.96	80.9
<b>P5</b>	35.88	46.96	76.4
<b>P6</b>	33.25	46.96	70.8

**Η μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς για θερμοκρασία νερού 73.6 °C είναι 38.03 KW και κατά συνέπεια ο μέγιστος βαθμός απόδοσης μπορεί να φτάσει σε ποσοστό 80.9%. Η κλάση που αντιστοιχεί σε αυτό το βαθμό απόδοσης είναι η κλάση 3.**

Όπου :

Q: Ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς

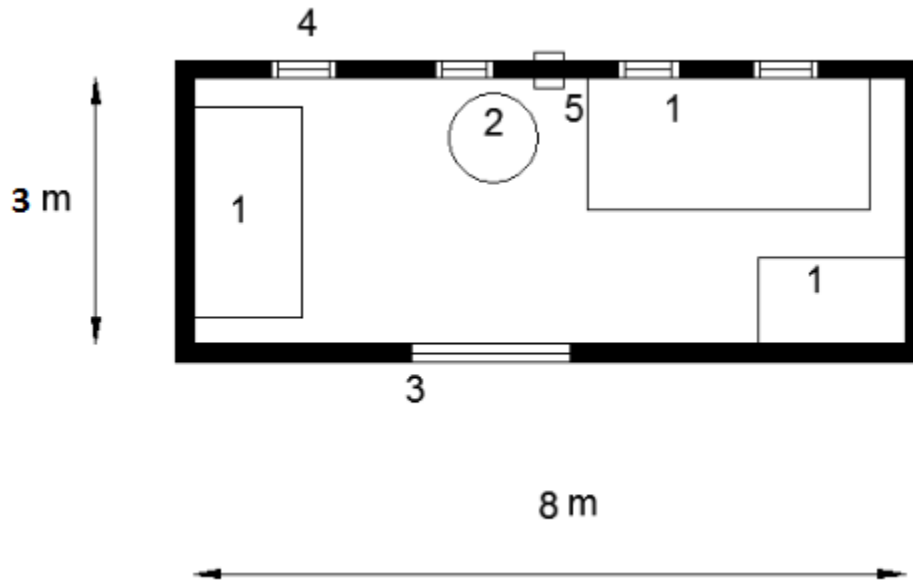
Q<sub>B</sub>: Προσδιδόμενη ισχύς

n<sup>1</sup> : Ο βαθμός απόδοσης όπως υπολογίστηκε από το πρότυπο ΕΛΟΤ

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ**  
**ΛΕΒΗΤΑΣ PELLETECH 15-50**



ΚΑΤΟΨΗ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ



- 1: Χώρος τοποθέτησης λεβήτων δοκιμών.
- 2: Boiler νερού που συνδέεται με τους λέβητες.
- 3: Συρόμενη πόρτα
- 4: Παράθυρα.
- 5: Εξαερισμός.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΩΝ PELLEΤ





**Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**  
**Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**  
**Τομέας Περιβάλλοντος και Χρήσης Ενέργειας**  
**Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος (ΕΤΠ)**  
**Διευθυντής: Καθηγητής Ιωάννης Μπάρτζης**

## **ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ**

**ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ**  
**ΑΠΟΔΟΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΗ ΚΑΥΣΗΣ ΕΥΛΙΝΩΝ ΠΛΙΝΘΙΩΝ ΤΥΠΟΥ**  
**PELLET, PELLETECH VISIO.**

**ΚΟΖΑΝΗ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2013**



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Παρούσα Τεχνική Έκθεση, αποτελεί παραδοτέο της σύμβασης για την έκδοση βεβαίωσης ποιότητας καυσαερίων και καταγραφής των αποδόσεων με αντικείμενο τις μετρήσεις των παραπάνω σε συσκευές καύσης ξύλινων πλινθίων (τύπου pellet).

Το Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, στα πλαίσια της σύμβασης οργάνωσε και εκτέλεσε τις παρακάτω εργασίες, σύμφωνα με τις διαδικασίες που καθορίζονται στο πρότυπο **ΕΛΟΤ EN14785**, καθώς και στο πρότυπο **ΕΛΟΤ EN 303.05** σε τύπους σομπών pellet της εταιρείας Σαμουκατσίδης Γεώργιος & ΣΙΑ ΟΕ και συγκεκριμένα για την σόμπα **Pelletech Visio** με ονομαστική ισχύ 24 kw και 6 kw ακτινοβολία πραγματοποιήθηκαν:

15. Μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
16. Μετρήσεις θερμοκρασιών του χώρου γύρω από την σόμπα.
17. Μετρήσεις θερμοκρασίας καυσαερίων.
18. Μετρήσεις CO, CO<sub>2</sub> και O<sub>2</sub> στα καυσαέρια.
19. Μετρήσεις των θερμοκρασιών του νερού εισόδου και εξόδου.
20. Μετρήσεις των αποδόσεων της σόμπας.
21. Μετρήσεις αιθάλης.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

Το pellet κατασκευάζεται από συμπίεση καταλοίπων επεξεργασίας του ξύλου. Η καύση του ξύλου στην πράξη είναι η χημική αντίδραση κατά την οποία ο άνθρακας που περιέχει το ξύλο ενώνεται με το οξυγόνο, ελευθερώνοντας ενέργεια καθώς και μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Σε όσο υψηλότερη θερμοκρασία γίνεται η καύση, τόσο πιο πολλές ποσότητες αερίων και μονοξειδίου αναφλέγονται, με αποτέλεσμα υψηλότερες αποδόσεις.

Οι σόμπες pellet βασίζονται σε ηλεκτρονικούς πίνακες κυκλωμάτων για να καθορίσουν τα ποσά καυσίμου pellet που πρέπει να καούν. Τα περισσότερα μοντέλα έχουν λειτουργίες καύσης και μερικά μοντέλα χρησιμοποιούν θερμοστάτη για να ελέγξουν αυτή την καύση. Χρησιμοποιούν επίσης ένα σύστημα πεπιεσμένου αέρα για να διανείμουν τη θερμότητα. Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων τροφοδοσίας των σομπών, από το πάνω μέρος ή από μπροστά. Οι μετρήσεις γίνονται στον πρώτο τύπο.

Αντίθετα από άλλες συσκευές καύσης ξύλου, οι σόμπες pellet βασίζονται στα μηχανικά συστήματα τροφοδοσίας του αέρα που τον αντλούν από το περιβάλλον του χώρου. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν έναν ανεμιστήρα που ωθεί τον αέρα στο εσωτερικό της σόμπας με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ρεύμα αέρα στο μέρος όπου γίνεται η καύση, το σύστημα μερικές φορές χρησιμοποιεί ένα ανεμιστήρα για να παρασύρει τον αέρα από την περιοχή καύσης μέσω του συστήματος εξάτμισης (το λεγόμενο σύστημα αρνητικής πίεσης).

Τα καυσαέρια που δημιουργούνται εξάγονται στον εξωτερικό χώρο (περιβάλλον) μέσω σωλήνα που αποτελείται από ανοξείδωτο εσωτερικό και αλουμινένιο εξωτερικό. Οι σόμπες pellet μπορούν να χρησιμοποιούν μία υπάρχουσα καπνοδόχο, αλλά συνήθως χρειάζεται να τροποποιηθεί έτσι ώστε να περνάει ο σωλήνας που θα γίνεται η εξαγωγή του καπνού.

Ως λόγο αέρα καύσης ( $\lambda$ ), θεωρούμε την πραγματικά χρησιμοποιούμενη ποσότητα αέρα προς εκείνη που θεωρητικά απαιτείται ή αντίστοιχα του πραγματικού λόγου αέρα- καυσίμου, προς τον στοιχειομετρικό.

Ο αέρας, οποίος εισέρχεται ως περίσσεια, αλλά δεν χρησιμοποιείται για την καύση, θερμαίνεται στη θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και εξέρχεται από το σύστημα, μεταφέροντας ωφέλιμη θερμική ενέργεια η οποία μένει ανεκμετάλλευτη, αφού αποβάλλεται στο περιβάλλον μαζί με τα καυσαέρια.

Ο λόγος αέρα καύσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 21 / (21 - Y_{O_2})$$

$Y_{O_2}$  : περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο.

Ο αέρας, ο οποίος εισέρχεται ως περίσσεια, αλλά δεν χρησιμοποιείται για την καύση, θερμαίνεται στη θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και εξέρχεται από το σύστημα, μεταφέροντας ωφέλιμη θερμική ενέργεια η οποία μένει ανεκμετάλλευτη, αφού αποβάλλεται στο περιβάλλον, μαζί με τα καυσαέρια.

Οι απώλειες ενέργειας κατά την καύση μειώνουν το ποσό της διαθέσιμης προς χρήση θερμότητας. Οι μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας, οφείλονται στην υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων και την ατελή καύση του καυσίμου.

Οι απώλειες ξηρών καυσαερίων, εξαρτώνται άμεσα από την ποσότητα της περίσσειας του αέρα, δεδομένου ότι ο μη "καιόμενος" αέρας, εγκαταλείπει τον θάλαμο καύσης με υψηλή θερμοκρασία.

Η θερμότητα η οποία απαιτείται για την θέρμανση του αέρα περιβάλλοντος μέχρι τη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων, ισούται με τις απώλειες αισθητής θερμότητας των ξηρών καυσαερίων. Ο υδρατμός που εμπεριέχεται στα καυσαέρια, απορροφά ποσό θερμότητας ίσο με την λαμβάνουσα θερμότητα ατμοποίησης συν την αισθητή θερμότητα υπερθέρμανσης του από την θερμοκρασία ατμοποίησης, μέχρι την θερμοκρασία των καυσαερίων.

Η υγρασία του καυσίμου, απορροφά και ένα ποσό θερμότητας, για την θέρμανση της από την θερμοκρασία εισόδου στον θάλαμο καύσης, μέχρι την θερμοκρασία ατμοποίησης.

## **ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

### Η Δεξαμενή

Ο χώρος τοποθέτησης των Pellet (Δεξαμενή-tank), κάποιες φορές είναι μέρος της σόμπας ενώ άλλες πάλι είναι απλά συνδεδεμένος με την υπόλοιπη σόμπα με κάποια σωλήνα ή κοχλία. Τα Pellet από την δεξαμενή με κάποιο μέσο προώθησης (κοχλίας, αστεροειδής βαλβίδα κ.α) προωθούνται στον χώρο καύσης.

### Ο Χώρος Καύσης

Τα pellet μεταφέρονται στον χώρο αυτό από την Δεξαμενή πάντα όμως με την χρήση διαδρομών ή μηχανισμών που εμποδίζουν την υποχώρηση της φωτιάς στον κύριο χώρο της Δεξαμενής. Οι ασφαλιστικές δικλίδες αυτές είναι παρόμοιες στις διάφορες εταιρίες και περιλαμβάνουν βαλβίδες πυρόσβεσης, επικλινείς "διαδρόμους" από τους οποίους γίνεται η πτώση των pellets στον θάλαμο καύσης κ.α. Ο χώρος καύσης διαφέρει σε σχεδιασμό, υλικά κατασκευής και μέγεθος

ανάλογα με το εργοστάσιο παραγωγής και την δυναμικότητα της σόμπας pellet. Στον χώρο καύσης γίνεται το άναμμα, το οποίο όταν είναι αυτόματο γίνεται είτε με χρήση blower θερμού αέρα (ουσιαστικά ένα πιστολάκι υπέρθερμου αέρα) είτε με απλή ηλεκτρική αντίσταση και κατόπιν με την βοήθεια αέρα που προωθείται από ανεμιστήρα συντηρείται και δυναμώνει η φλόγα στον θάλαμο καύσης.

#### Διάταξη ανταλλαγής θερμότητας

Ο χώρος αυτός είναι ουσιαστικά η διαδρομή από την οποία περνούν τα καυσαέρια κατευθυνόμενα προς την καμινάδα και ο οποίος περιλαμβάνει σωληνώσεις και σκαλοπάτια τα οποία περιέχουν το νερό της σόμπας. Η διαδρομή αυτή είναι λιγότερο ή περισσότερο πολύπλοκη ανάλογα με τον σχεδιασμό της σόμπας και είναι φτιαγμένη ώστε να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη δυνατή απορρόφηση της θερμότητας των καυσαερίων από το νερό. Αυτό που καθορίζει την απόδοση της σόμπας είναι η μετάδοση της θερμότητας που παράγεται από την καύση των pellet στο νερό που περιέχουν τα τοιχώματα της σόμπας.

#### Καπνοδόχος

Η καπνοδόχος είναι ένα από τα σημεία που, σε συνδυασμό με την ποιότητα των Pellet, βοηθούν την σωστή λειτουργία της σόμπας και είναι κάτι που πρέπει να προσέχεται σε όλες τις εγκαταστάσεις. Κάθε κατασκευαστής έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις για την καμινάδα που πρέπει να τοποθετηθεί στην σόμπα. Είναι απαραίτητο να ακολουθούνται πιστά οι οδηγίες αυτές.

#### Κεντρική Μονάδα Ελέγχου (Υπολογιστής-PLC)

Όλες οι λειτουργίες και τα μέρη της σόμπας pellet ελέγχονται και προγραμματίζονται από την Μονάδα Ελέγχου που υπάρχει επάνω της. Αυτή η μονάδα χρησιμοποιεί μία σειρά από αισθητήρες ώστε να προσαρμόσει την καύση και την λειτουργία της σόμπας ανάλογα με την ζήτηση θερμότητας από την εγκατάσταση. Σε κάθε σόμπα το πόσο εξελιγμένο ή όχι είναι το σύστημα ελέγχου αυτό, προσφέρει αντίστοιχα πολλές ή λίγες δυνατότητες αλλά και μικρότερη ή περισσότερη οικονομία.

## **ΕΥΡΕΣΗ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΟΥ PELLEΤ**

Μετά από μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο βρέθηκε η ακριβής θερμιδική αξία του καυσίμου δοκιμής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Δείγμα	Βάρος κάψας σε gr	Βάρος κάψας + υπολλειμα	Βάρος δείγματος	Βάρος υπολλείματος	Heating (cal/gr)
Αυστριακό Golden nuggets (δοκ.1)	13.8190	13.8281	1.1563	0.0091	4528.5569
Αυστριακό Golden nuggets (δοκ.2)	13.8203	13.8292	0.9359	0.0089	4546.4427

$$H_u : [4528.5569 + 4546.4427] / 2 = 4537.4998 \text{ cal/gr}$$

$$\Rightarrow H_u: 18997.604133 \text{ KJ/Kg}$$

Η υγρασία των pellet όπως μετρήθηκε στο εργαστήριο είναι  $W=7.3\%$

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο λόγος αέρα καύσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 21 / (21 - Y_{O_2})$$

$Y_{O_2}$  : περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο.

Τα pellet που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα με τα εξής χαρακτηριστικά:

golden nuggets premium pellets (Αυστριακό)

-θερμιδική αξία : 5 kWh/kg

-διάμετρος: 6mm

-περιεκτικότητα σε υγρασία: προσεγγιστικά 10%

-περιεκτικότητα σε σκόνη:  $\leq 1\%$

-περιεκτικότητα σε τέφρα:  $\leq 0,5\%$

Τα εργαλεία μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι με σειρά :

11. RMS621 Endress and Hauser (θερμοκρασία εισόδου – εξόδου)

12. Kimo Kiray 300 (θερμοκρασία γύρω από τον καυστήρα)

13. Testo 330-1LL

14. Testo 0632.0307 TUV By RgG 207 ( μέτρηση αιθάλης)

15. Testo 330-1LL (μέτρηση εξωτερικής καμινάδας)

Οι μετρήσεις έγιναν ανά μισή ώρα χώρο δοκιμής 24 m<sup>2</sup> στην σόμπα για pellet της οποίας ο τύπος είναι: Pelletech Visio.

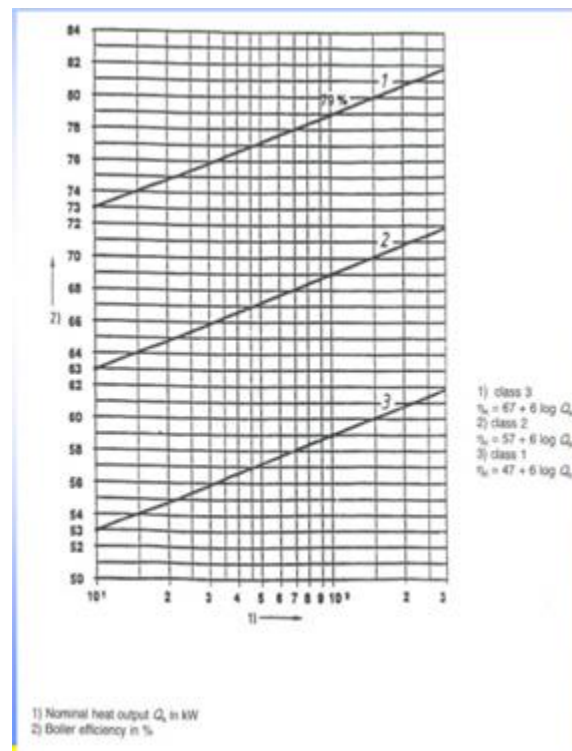
Η θερμοκρασία περιβάλλοντος μετρήθηκε σε απόσταση ίση από κάθε πλευρά της σόμπας σε περιφέρεια κύκλου με ακτίνα  $(1.2 \pm 0.1)$ m σχεδιασμένο στο μέσο της πλευράς της σόμπας και σε ύψος  $(0.50 \pm 0.01)$ m.

Το διασταυρούμενο ρεύμα της σόμπας δοκιμής και του περιβάλλοντος δεν ήταν μεγαλύτερο από 0,5m/s.

Δεν υπήρχαν άλλες πηγές θερμότητας στο χώρο που να επηρεάζουν τις μετρήσεις.

Η στατική πίεση σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν  $\leq 2\text{Pa}$ .

Οι απαιτήσεις για την απόδοση της σόμπας και των ορίων εκπομπών χωρίζονται σε 3 κλάσεις. Για να πληρούνται αυτές οι απαιτήσεις δεν θα πρέπει να υπάρχει απόκλιση κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών με τους τύπους που δύνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Η παραγωγή θερμότητας της σόμπας είναι ο μέσος όρος της εξόδου που καταγράφεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Η αναγκαία εξίσωση σχετικά με τις επιμέρους μεθόδους δοκιμής δίνονται στο παράρτημα A.7 του προτύπου EN 304.

- Υπολογισμός της προσδιδόμενης ισχύος σύμφωνα με το παράρτημα A.8.1 του προτύπου EN 304:

$$Q_B = B \cdot H_u$$

όπου:

B: είναι η ποσότητα του καυσίμου (Kg/s)

$H_u$ : είναι η καθαρή θερμογόνος δύναμη (J/Kg)

- Υπολογισμός της αποδιδόμενης ισχύος στον χώρο μέσω ακτινοβολίας σύμφωνα με το παράρτημα Α.6.2.4 του προτύπου EN 14785 :  
 $P_{SH} = P - P_w$
- Άμεση μέθοδος υπολογισμού απόδοσης  
 $n^1 = Q/Q_B$

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ 1

	n (%)	B (kg/h)	Tw1 (°C)	Tw2 (°C)	Ροή (l/h)	Tr (°C)	Tl (°C)	CO (ppm)	NO (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	Pw (kw)	Ta (°C)	Αιθ.	qa (%)
P1	85.8	5.87	50.2	56	1838.895	20.25	32.03	381	24	4.91	12.42	15.25	122.82	7	14.2
P2	87.3	5.87	53.4	62.8	1834.815	26.01	40.05	1120.75	37	7.71	13.05	19.96	166.12	8	12.7

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ 2

	CO <sub>cont</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	CO (%)	OGC (mg/m <sup>3</sup> )
P1	444.05	0.0381	20.8
P2	1409.74	0.112	66.08

Όπου :

n: ο βαθμός απόδοσης που μετρήθηκε μόνο λόγω της απώλειας των καυσαερίων

B: η μάζα καυσίμου

Tw1: η θερμοκρασία εισόδου του νερού

Tw2: η θερμοκρασία εξόδου του νερού

Twall: η μέση θερμοκρασία πέριξ του καυστήρα

Tl: η μέση θερμοκρασία εξωτερικά του καυστήρα

CO: περιεκτικότητα μονοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

NO: περιεκτικότητα μονοξειδίου του αζώτου στα καυσαέρια

CO<sub>2</sub>: περιεκτικότητα διοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

O<sub>2</sub>: περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια

$P_w$ : θερμική ισχύς που προσδίδεται στο νερό  
 $T_a$ : η θερμοκρασία των καυσαερίων  
Αιθ.: η αιθάλη μετράται με βάση την κλίμακα Bacharach.  
 $q_a$ : ποσοστό των ειδικών απωλειών θερμότητας στα καυσαέρια  
OGC: Ολικός αέριος οργανικός άνθρακας

Στοιχεία προγραμμάτων

P1: Παροχή καυσίμου 4.5" ανά 9". Παροχή αέρα σε στροφές 1760g/min

P2: Παροχή καυσίμου 6" ανά 9". Παροχή αέρα σε στροφές 1930 g/min

Η μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην εξωτερική καμινάδα έγινε ανά μία ώρα. Η ελάχιστη τιμή ήταν 38 °C και η μέγιστη ήταν 89.7 °C.

Η θερμοκρασία του χώρου δοκιμής στην αρχή της πρώτης δοκιμής ήταν 15.3 °C και στην τελευταία δοκιμή 25.1 °C, που ήταν και η μέγιστη θερμοκρασία.

Η συνολική ποσότητα καυσίμου ήταν 23.5 kg με τέφρα 40 gr.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

	$Q_w$ (KW)	$P_{SH}$ (KW)	$Q_B$ (KW)	$n^1$ (%)
P1	15.25	11.32	30.97	85.81
P2	19.96	6.81	30.97	86.43

**Η μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς για θερμοκρασία νερού 60 °C είναι 19.96KW με ακτινοβολία 6.81 KW και κατά συνέπεια ο μέγιστος βαθμός απόδοσης μπορεί να φτάσει σε ποσοστό 86.43%. Η κλάση που αντιστοιχεί σε αυτό το βαθμό απόδοσης είναι η κλάση 3.**

Όπου :

$Q_w$ : Η ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς στο νερό

$P_{SH}$ : Η ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς στο χώρο μέσω ακτινοβολίας

$Q_B$ : Η προσδιδόμενη ισχύς

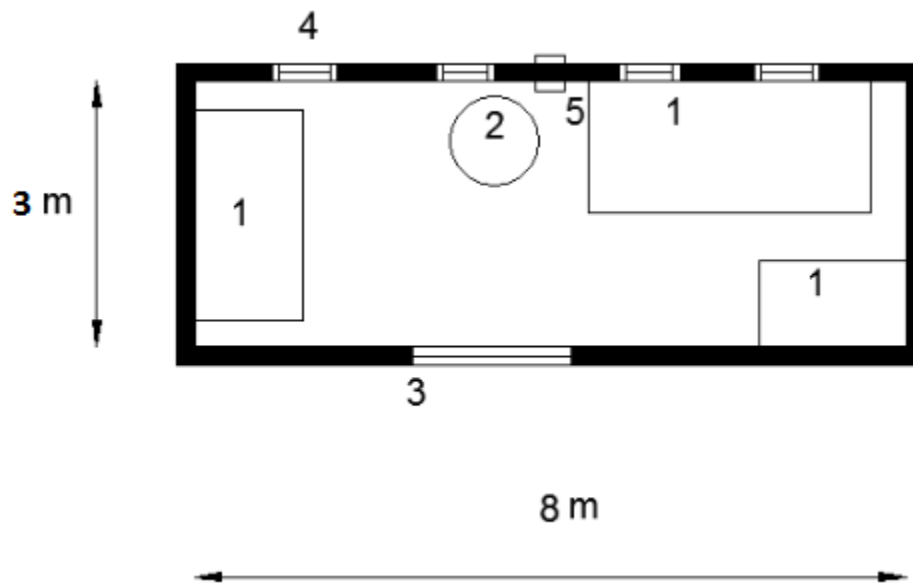
$n^1$ : Ο βαθμός απόδοσης όπως υπολογίστηκε από το πρότυπο ΕΛΟΤ



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ**  
**ΣΟΜΠΑ PELLETECH VISIO**



**ΚΑΤΟΨΗ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ**



- 1: Χώρος τοποθέτησης λεβήτων δοκιμών.
- 2: Boiler νερού που συνδέεται με τους λέβητες.
- 3: Συρόμενη πόρτα

- 4: Παράθυρα.
- 5: Εξαερισμός.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΩΝ PELLEΤ





**Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**  
**Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**  
**Τομέας Περιβάλλοντος και Χρήσης Ενέργειας**  
**Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος (ΕΤΠ)**  
**Διευθυντής: Καθηγητής Ιωάννης Μπάρτζης**

## **ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ**

**ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ**  
**ΑΠΟΔΟΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΗ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ,**  
**HYDROWOOD 40**

**ΚΟΖΑΝΗ, ΜΑΡΤΙΟΣ 201**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Παρούσα Τεχνική Έκθεση, αποτελεί παραδοτέο της σύμβασης για την έκδοση βεβαίωσης ποιότητας καυσαερίων με αντικείμενο τις μετρήσεις ποιότητας των καυσαερίων σε συσκευές καύσης στερεών καυσίμων.

Το Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, στα πλαίσια της σύμβασης οργάνωσε και εκτέλεσε τις παρακάτω εργασίες, σύμφωνα με τις διαδικασίες του Παραρτήματος Α' που καθορίζονται στο πρότυπο **ΕΛΟΤ EN303-5**, σε τύπους καυστήρων στερεών καυσίμων καθώς και του προτύπου **ΕΛΟΤ EN304** σε τύπους λεβήτων της εταιρείας Σαμουκατσίδης Γεώργιος & ΣΙΑ ΟΕ και συγκεκριμένα για τον ξυλολέβητα **Hydrowood 40** πραγματοποιήθηκαν:

22. Μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
23. Μετρήσεις θερμοκρασιών του χώρου γύρω από τον ξυλολέβητα.
24. Μετρήσεις θερμοκρασίας καυσαερίων.
25. Μετρήσεις CO, CO<sub>2</sub> και O<sub>2</sub> στα καυσαέρια.
26. Μετρήσεις των θερμοκρασιών του νερού εισόδου και εξόδου.
27. Μετρήσεις των αποδόσεων του ξυλολέβητα.
28. Μετρήσεις αιθάλης.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

Η καύση του ξύλου στην πράξη είναι η χημική αντίδραση κατά την οποία ο άνθρακας που περιέχει το ξύλο ενώνεται με το οξυγόνο, ελευθερώνοντας ενέργεια καθώς και μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Απαραίτητη προϋπόθεση για να γίνει αυτή η αντίδραση είναι να υπάρχει θερμότητα. Γι' αυτό και σε όσο υψηλότερη θερμοκρασία γίνεται η καύση, τόσο πιο πολλές ποσότητες αερίων και μονοξειδίου αναφλέγονται, με αποτέλεσμα υψηλότερες αποδόσεις, δηλαδή γίνεται πιο τέλεια η καύση και μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας ανακτάται στο χώρο.

Οι κλειστές εστίες έχουν υψηλή απόδοση γιατί η καύση γίνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Από την εκλυόμενη ενέργεια ένα μέρος αποδίδεται με ακτινοβολία στον περιβάλλοντα χώρο, ένα άλλο μέρος θερμαίνει τα τοιχώματα της εστίας και ένα άλλο μέρος διαφεύγει μαζί με τα καυσαέρια μέσα από τον καπναγωγό. Στις μαντεμένιες εστίες η ενέργεια που θερμαίνει τα τοιχώματα αξιοποιείται θερμαίνοντας αέρα, ο οποίος κυκλοφορεί γύρω απ' αυτά τα τοιχώματα και από εκεί στο χώρο, δηλ. τα τοιχώματα της εστίας παίζουν το ρόλο του εναλλάκτη θερμότητας.

Είναι ευνόητο ότι για να υπάρξει και να συνεχίσει η καύση χρειάζεται αέρα, τον οποίο το τζάκι έλκει μέσα από το χώρο προς την εστία και ο οποίος αέρας αναπληρώνεται με ίση ποσότητα κρύου που μπαίνει από τις χαραμάδες. Γι' αυτό και τα τζάκια ακτινοβολίας κρυώνουν το σπίτι αντί να το ζεσταίνουν. Στην συνέχεια θα δούμε πώς αυτά τα στοιχεία της καύσης, τα οποία είναι μεταβλητά, δηλ. ποσότητα αέρα, θερμοκρασία καύσης και ξύλο, αλλάζουν τα αποτελέσματα και συνεπώς την λειτουργία και απόδοση.

Με τον όρο συνεχής καύση εννοούμε ότι η διαδικασία γίνεται χωρίς διακοπή, δηλ. καινούργιο οξειδωτικό και καύσιμο τροφοδοτούνται συνέχεια στο θάλαμο καύσης και τα προϊόντα της καύσης απομακρύνονται συνεχώς (παραδείγματα: εστίες, αεριοστρόβιλοι).

Στη διακοπτόμενη καύση, καύσιμο και αέρας εισέρχονται στο θάλαμο, όπου γίνεται η έναυση. Καύσιμο και αέρας καίγονται, δημιουργούνται προϊόντα και απελευθερώνεται μεγάλο ποσό ενέργειας. Τα καυσαέρια που δημιουργούνται ακολούθως εγκαταλείπουν τον θάλαμο και εκλύονται στο περιβάλλον μέσα από την όδυσή τους στον καπναγωγό.

Ως λόγο αέρα καύσης ( $\lambda$ ), θεωρούμε την πραγματικά χρησιμοποιούμενη ποσότητα αέρα προς εκείνη που θεωρητικά απαιτείται ή αντίστοιχα του πραγματικού λόγου αέρα –καυσίμου, προς τον στοιχειομετρικό.

Η συνιστώμενη τιμή του λόγου αέρα ποικίλλει, ανάλογα με το είδος του καυσίμου και τον τύπο του τζακιού.

Ο αέρας, ο οποίος εισέρχεται ως περίσσεια, αλλά δεν χρησιμοποιείται για την καύση, θερμαίνεται στην θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και εξέρχεται από το

σύστημα, μεταφέροντας ωφέλιμη θερμική ενέργεια η οποία μένει ανεκμετάλλευτη, αφού αποβάλλεται στο περιβάλλον, μαζί με τα καυσαέρια.

Ο λόγος αέρα καύσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 21 / (21 - \gamma_{O_2})$$

$\gamma_{O_2}$ : κ.ο. περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο.

Η παρατήρηση της φλόγας, μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη, για τον προσδιορισμό του επιπέδου τύρβης που επικρατεί στον θάλαμο καύσης (και συνακόλουθα τις συνθήκες ανάμιξης), όπως και για την πρόληψη φαινομένων επαφής της φλόγας με επιφάνειες του θαλάμου (μη επιθυμητή κατάσταση, αφού μειώνεται ο βαθμός απόδοσης της καύσης και καταπονούνται τα υλικά).

Οι απώλειες ενέργειας κατά την καύση μειώνουν το ποσό της διαθέσιμης προς χρήση θερμότητας.

Οι μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας, οφείλονται στην υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων και την ατελή καύση του καυσίμου.

Μικρότερες απώλειες εμφανίζονται λόγω ακτινοβολίας ή μεταφοράς από τον θάλαμο καύσης. Απαρτίζονται από: αισθητή θερμότητα των ξηρών καυσαερίων και την αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα των υδρατμών στα καυσαέρια.

Οι απώλειες ξηρών καυσαερίων, εξαρτώνται άμεσα από την ποσότητα της περίσσειας του αέρα, δεδομένου ότι ο μη «καϊόμενος» αέρας, εγκαταλείπει τον θάλαμο καύσης με υψηλή θερμοκρασία.

Η θερμότητα η οποία απαιτείται για την θέρμανση του αέρα περιβάλλοντος μέχρι την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων, ισούται με τις απώλειες αισθητής θερμότητας των ξηρών καυσαερίων. Ο υδρατμός που εμπεριέχεται στα καυσαέρια, απορροφά ποσό θερμότητας ίσο με την λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης συν την αισθητή θερμότητα υπερθέρμανσης του από την θερμοκρασία ατμοποίησης, μέχρι την θερμοκρασία των καυσαερίων. Τα ζεστά καυσαέρια που ανέρχονται προκαλούν εισροή φρέσκου αέρα που ενεργοποιεί τη φωτιά.

## **ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

### **Ο Καπναγωγός**

Ο καπναγωγός, είναι το σύστημα απαγωγής των καυσαερίων από το θάλαμο καύσης, την εστία. Αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στοιχείο του τζακιού, στην ουσία είναι ο αφανής ήρωας, απ' αυτόν ξεκινούν και τελειώνουν πολλά προβλήματα λειτουργίας αλλά και απόδοσης. Η διατομή όσο και η κατασκευή του καπναγωγού, όσο και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του, πρέπει να είναι σύμφωνα με αυστηρές προδιαγραφές και κανονισμούς λειτουργίας και ασφάλειας.

Τα θερμά καυσαέρια που γίνονται ελαφρύτερα ανεβαίνουν προς τα επάνω ενώ ταυτόχρονα έλκεται ψυχρός αέρας στην εστία. Ο καπναγωγός όταν κατασκευάζεται σε εξωτερικό τοίχο πρέπει να είναι μονωμένος για να αποφεύγεται η ψύξη των καυσαερίων που προκαλεί μείωση του ελκυσμού και επικαθίσεις στα τοιχώματα του. Σημαντικό στοιχείο επίσης, είναι και το καπέλο, καθώς και το ύψος της καμινάδας στην στέγη, ώστε να αποφεύγονται οι στροβιλισμοί από πνέοντες ανέμους. Επειδή η κίνηση του καπνού μέσα στον καπναγωγό είναι ελικοειδής, ο ιδανικός καπναγωγός είναι κυκλικός και με λεία τοιχώματα για να αποφεύγονται οι τριβές.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην συντήρηση και καθαρισμό του καπναγωγού. Πρέπει να καθαρίζεται 2 φορές τον χρόνο, για να αποφεύγεται η ανάφλεξη των επικαθίσεων, (καπνιάς). Ο καθαρισμός πρέπει να είναι μηχανικός, δηλ, με βούρτσα ή ειδικά εργαλεία. Ο χημικός καθαρισμός δεν είναι αρκετός.

### Η Εστία

Εστία είναι ο χώρος μέσα στον οποίο γίνεται η χημική αντίδραση που λέγεται καύση του ξύλου. Στον "θάλαμο καύσης" γίνεται η ανάφλεξη των αερίων και η καύση του άνθρακα που έχει το ξύλο.

Η κατασκευή της εστίας πρέπει να γίνεται με ειδικά υλικά και τεχνική, με αυστηρές προδιαγραφές, για να αποδίδει και να μην καπνίζει.

Επίσης μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται και στην μόνωση, τόσο των τοίχων και πατωμάτων, όσο και στην κατασκευή της διακόσμησης, για να αποφεύγονται οι καταπονήσεις φερόντων στοιχείων (κολόνες, δοκάρια, τοίχοι με μόνωση) και να είναι απολύτως ασφαλής.

Τα τζάκια με μεγάλο ελκυσμό δεν καπνίζουν, παρουσιάζουν όμως μειωμένη απόδοση. Αυτό συμβαίνει διότι ο μεγάλος ελκυσμός αυξάνει την ταχύτητα των καυσαερίων μέσα στον καπναγωγό και ως εκ τούτου, μεγαλύτερη ποσότητα ζεστού αέρα από το χώρο διαφεύγει μέσω της καμινάδας, ενώ ταυτόχρονα ίση ποσότητα ψυχρού αέρα μπαίνει απ' έξω, από τις χαραμάδες, λόγω της υποπίεσης που δημιουργείται μέσα στο χώρο.

## **ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΕΥΛΟΛΕΒΗΤΑ HYDROWOOD 40**

- Χώρος καύσης από διπλό τοίχωμα αποτελούμενο από χαλυβδοέλασμα μεγάλου πάχους και από GG-20 πιστοποιημένο χυτοσίδηρο εσωτερικά με μεγάλη αντοχή στην θερμική και χημική καταπόνηση που συντελείται από την καύση.
- Ηλεκτροκίνητο διάφραγμα με ελατήριο επιστροφής για τον έλεγχο του αέρα της κύριας και της δευτερεύουσας καύσης.
- Ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενος ανεμιστήρας καυσαερίων για την ρύθμιση της έντασης της καύσης ανάλογα με την επιθυμητή θερμοκρασία.



- Ηλεκτρονικός ελεγκτής λέβητα με τον οποίο πραγματοποιείται ο έλεγχος και ο προγραμματισμός όλων των λειτουργιών του.
- Ατσάλινος εναλλάκτης με οριζόντιους φλογοαυλούς τεσσάρων διαδρομών με δυνατότητα χρήσης στροβιλιστών.
- Ειδική ατσάλινη περιμετρική κατασκευή ροής αέρα στον χώρο καύσης η οποία διανέμει ομοιόμορφα τον εισερχόμενο αέρα στα ξύλα εξασφαλίζοντας την σωστή καύση χωρίς υπολείμματα.
- Σύστημα δευτερογενούς καύσης με ρυθμιζόμενη παροχή αέρα στα άκαυστα αέρια που παράγονται κατά τη καύση, προσθέτοντας περισσότερο οξυγόνο στην φωτιά.
- Ειδική πυρίμαχη μονωτική επένδυση της πόρτας για μείωση στο ελάχιστο της διαφυγής θερμότητας από τον λέβητα στο λεβητοστάσιο.
- Συρτάρι συλλογής της στάχτης.
- Βάρος της συσκευής : 390 kg
- Διαστάσεις της συσκευής : 66 × 84 × 127

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο λόγος αέρα καύσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 21 / (21 - Y_{O_2})$$

$Y_{O_2}$  : περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο.

Τα ξύλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα με τα εξής χαρακτηριστικά:

Ξύλο: οξιά.

Περιεκτικότητα σε υγρασία: 15%

Κατώτερη θερμογόνο δύναμη  $H_u$ : 4700 Kcal/Kg

$H_u$ : 19677.95 kJ/kg

Έχουν κύριο συστατικό τον άνθρακα σε αναλογία 47.9%, οξυγόνο 43.3%, το υδρογόνο 6,2%, και το άζωτο 0,22%

Τα εργαλεία μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι με σειρά :

16. RMS621 Endress and Hauser (θερμοκρασία εισόδου – εξόδου)

17. Kimo Kiray 300 (θερμοκρασία γύρω από τον καυστήρα)

18. Testo 330-1LL

19. Testo 0632.0307 TUV By RgG 207 ( μέτρηση αιθάλης)

20. Testo 330-1LL (μέτρηση εξωτερικής καμινάδας)

Οι μετρήσεις έγιναν ανά μισή ώρα σε χώρο δοκιμής 24 m<sup>2</sup> σε ξυλολέβητα του οποίου ο τύπος είναι: hydrowood 40.

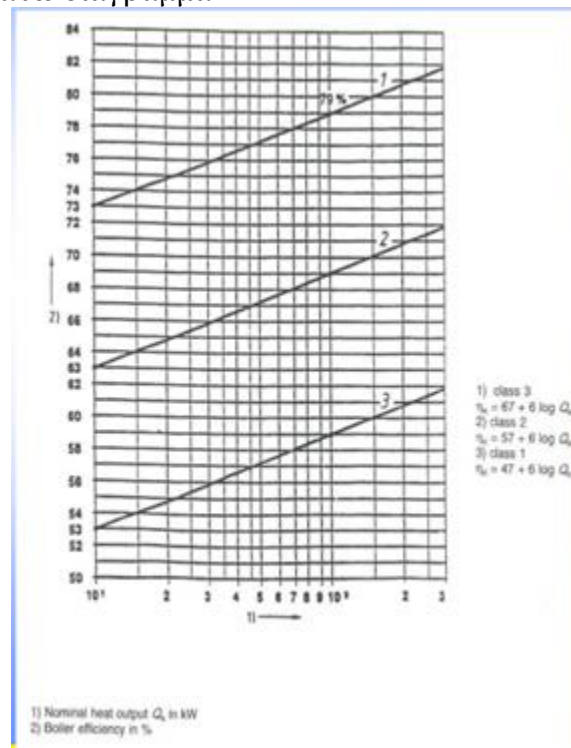
Η θερμοκρασία περιβάλλοντος μετρήθηκε σε απόσταση ίση από κάθε πλευρά του ξυλολέβητα σε περιφέρεια κύκλου με ακτίνα  $(1.2 \pm 0.1)\text{m}$  σχεδιασμένο στο μέσο της πλευράς του καυστήρα και σε ύψος  $(0.50 \pm 0.01)\text{m}$ .

Το διασταυρούμενο ρεύμα του ξυλολέβητα δοκιμής και του περιβάλλοντος δεν ήταν μεγαλύτερο από  $0,5\text{m/s}$ .

Δεν υπήρχαν άλλες πηγές θερμότητας στο χώρο που να επηρεάζουν τις μετρήσεις.

Η στατική πίεση σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν  $\leq 2\text{Pa}$ .

Οι απαιτήσεις για την απόδοση του λέβητα και των ορίων εκπομπών χωρίζονται σε 3 κλάσεις. Για να πληρούνται αυτές οι απαιτήσεις δεν θα πρέπει να υπάρχει απόκλιση κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών με τους τύπους που δύνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Η παραγωγή θερμότητας του λέβητα είναι ο μέσος όρος της εξόδου που καταγράφεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Η αναγκαία εξίσωση σχετικά με τις επιμέρους μεθόδους δοκιμής δίνονται στο παράρτημα A.7 του προτύπου EN 304.

- Υπολογισμός της προσδιδόμενης ισχύος σύμφωνα με το παράρτημα A.8.1 του προτύπου EN 304:

$$Q_B = B \cdot H_u$$

όπου:

B: είναι η ποσότητα του καυσίμου (Kg/s)

H<sub>υ</sub>: είναι η καθαρή θερμογόνος δύναμη (J/Kg)

- Άμεση μέθοδος υπολογισμού απόδοσης  
 $n^1 = Q/Q_B$

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ 1

n (%)	B (kg/h)	Tw1 (°C)	Tw2 (°C)	Ροή (l/h)	Twall (°C)	Tl (°C)	CO (ppm)	NO (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	P <sub>w</sub> (kw)	Ta (°C)	Αιθ.	qa (%)
83.9	8.8	61.18	71.53	3262.808	28.204	32.86	3071.7	21.78	9.001	10.07	38.13	216.31	7	16.05

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ 2

	CO <sub>cont</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	CO (%)	OGC (mg/m <sup>3</sup> )
P1	2810.338	0.225	70.25

Όπου :

n: ο βαθμός απόδοσης που μετρήθηκε μόνο λόγω της απώλειας των καυσαερίων

B: η μάζα καυσίμου

Tw1: η θερμοκρασία εισόδου του νερού

Tw2: η θερμοκρασία εξόδου του νερού

Twall: η μέση θερμοκρασία πέριξ του καυστήρα

Tl: η μέση θερμοκρασία εξωτερικά του καυστήρα

CO: περιεκτικότητα μονοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

NO: περιεκτικότητα μονοξειδίου του αζώτου στα καυσαέρια

CO<sub>2</sub>: περιεκτικότητα διοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

O<sub>2</sub>: περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια

P<sub>w</sub>: θερμική ισχύς που προσδίδεται στο νερό

Ta: η θερμοκρασία των καυσαερίων

Αιθ.: η αιθάλη μετράται με βάση την κλίμακα Bacharach.

qa: ποσοστό των ειδικών απωλειών θερμότητας στα καυσαέρια

OGC: Ολικός αέριος οργανικός άνθρακας

Η μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην εξωτερική καμινάδα έγινε ανά μία ώρα. Η ελάχιστη τιμή ήταν 70.5 °C και η μέγιστη ήταν 100.3 °C.  
Η συνολική ποσότητα καυσίμου ήταν 44 kg με τέφρα 1.44 kg.

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Q(KW)	Q <sub>B</sub> (KW)	n <sup>1</sup> (%)
38.13	48.10	79.2

**Η μέση αποδιδόμενη ισχύς για θερμοκρασία νερού 65 °C είναι 38.13KW και κατά συνέπεια ο μέσος βαθμός απόδοσης είναι 79.2%. Η κλάση που αντιστοιχεί σε αυτό το βαθμό απόδοσης είναι η κλάση 3.**

Όπου :

Q: Ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς

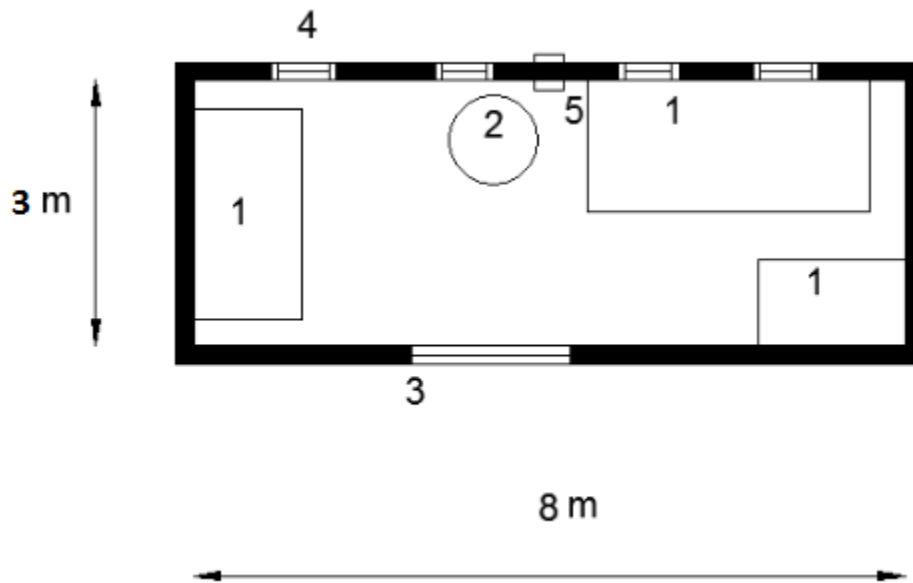
Q<sub>B</sub>: Προσδιδόμενη ισχύς

n<sup>1</sup> : Ο βαθμός απόδοσης όπως υπολογίστηκε από το πρότυπο ΕΛΟΤ

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ**  
**ΕΥΛΟΛΕΒΗΤΑΣ HYDROWOOD 40**



ΚΑΤΟΨΗ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ



- 1: Χώρος τοποθέτησης λεβήτων δοκιμών.
- 2: Boiler νερού που συνδέεται με τους λέβητες.
- 3: Συρόμενη πόρτα
- 4: Παράθυρα.
- 5: Εξαερισμός.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ





**Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**  
**Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**  
**Τομέας Περιβάλλοντος και Χρήσης Ενέργειας**  
**Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος (ΕΤΠ)**  
**Διευθυντής: Καθηγητής Ιωάννης Μπάρτζης**

## **ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ**

**ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ**  
**ΑΠΟΔΟΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ,**  
**(HYDRO 30)**

**ΚΟΖΑΝΗ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2013**



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Παρούσα Τεχνική Έκθεση, αποτελεί παραδοτέο της σύμβασης για την έκδοση βεβαίωσης ποιότητας καυσαερίων με αντικείμενο τις μετρήσεις ποιότητας των καυσαερίων σε συσκευές καύσης στερεών καυσίμων.

Το Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, στα πλαίσια της σύμβασης οργάνωσε και εκτέλεσε τις παρακάτω εργασίες, σύμφωνα με τις διαδικασίες του παραρτήματος Α' που καθορίζονται στο πρότυπο **ΕΛΟΤ EN13240**, καθώς και του Παραρτήματος Α' που καθορίζονται στο πρότυπο **ΕΛΟΤ EN13229** σε ξυλόσομπες της εταιρείας Σαμουκατσίδης Γεώργιος & ΣΙΑ ΟΕ και συγκεκριμένα για την ξυλόσομπα καλοριφέρ **HYDRO 30** πραγματοποιήθηκαν:

29. Μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
30. Μετρήσεις θερμοκρασιών του χώρου γύρω από την ξυλόσομπα.
31. Μετρήσεις θερμοκρασίας καυσαερίων.
32. Μετρήσεις CO, CO<sub>2</sub> και O<sub>2</sub> στα καυσαέρια.
33. Μετρήσεις των θερμοκρασιών του νερού εισόδου και εξόδου.
34. Μετρήσεις των αποδόσεων της ξυλόσομπας.
35. Μετρήσεις αιθάλης.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

Η καύση του ξύλου στην πράξη είναι η χημική αντίδραση κατά την οποία ο άνθρακας που περιέχει το ξύλο ενώνεται με το οξυγόνο, ελευθερώνοντας ενέργεια καθώς και μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Απαραίτητη προϋπόθεση για να γίνει αυτή η αντίδραση είναι να υπάρχει θερμότητα. Γι' αυτό και σε όσο υψηλότερη θερμοκρασία γίνεται η καύση, τόσο πιο πολλές ποσότητες αερίων και μονοξειδίου αναφλέγονται, με αποτέλεσμα υψηλότερες αποδόσεις, δηλαδή γίνεται πιο τέλεια η καύση και μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας ανακτάται στο χώρο.

Οι κλειστές εστίες έχουν υψηλή απόδοση γιατί η καύση γίνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Από την εκλυόμενη ενέργεια ένα μέρος αποδίδεται με ακτινοβολία στον περιβάλλοντα χώρο, ένα άλλο μέρος θερμαίνει τα τοιχώματα της εστίας και ένα άλλο μέρος διαφεύγει μαζί με τα καυσαέρια μέσα από τον καπναγωγό. Στις μαντεμένιες εστίες η ενέργεια που θερμαίνει τα τοιχώματα αξιοποιείται θερμαίνοντας αέρα, ο οποίος κυκλοφορεί γύρω απ' αυτά τα τοιχώματα και από εκεί στο χώρο, δηλ. τα τοιχώματα της εστίας παίζουν το ρόλο του εναλλάκτη θερμότητας.

Είναι ευνόητο ότι για να υπάρξει και να συνεχίσει η καύση χρειάζεται αέρα, τον οποίο η ξυλόσομπα έλκει μέσα από το χώρο προς την εστία και ο οποίος αέρας αναπληρώνεται με ίση ποσότητα κρύου που μπαίνει από τις χαραμάδες.

Με τον όρο συνεχής καύση εννοούμε ότι η διαδικασία γίνεται χωρίς διακοπή, δηλ. καινούργιο οξειδωτικό και καύσιμο τροφοδοτούνται συνέχεια στο θάλαμο καύσης και τα προϊόντα της καύσης απομακρύνονται συνεχώς (παραδείγματα: εστίες, αεριοστρόβιλοι).

Στη διακοπτόμενη καύση, καύσιμο και αέρας εισέρχονται στο θάλαμο, όπου γίνεται η έναυση. Καύσιμο και αέρας καίγονται, δημιουργούνται προϊόντα και απελευθερώνεται μεγάλο ποσό ενέργειας. Τα καυσαέρια που δημιουργούνται ακολούθως εγκαταλείπουν τον θάλαμο και εκλύονται στο περιβάλλον μέσα από την όδυσή τους στον καπναγωγό.

Ως λόγο αέρα καύσης ( $\lambda$ ), θεωρούμε την πραγματικά χρησιμοποιούμενη ποσότητα αέρα προς εκείνη που θεωρητικά απαιτείται ή αντίστοιχα του πραγματικού λόγου αέρα –καυσίμου, προς τον στοιχειομετρικό.

Η συνιστώμενη τιμή του λόγου αέρα ποικίλλει, ανάλογα με το είδος του καυσίμου και τον τύπο της ξυλόσομπας.

Ο αέρας, ο οποίος εισέρχεται ως περίσσεια, αλλά δεν χρησιμοποιείται για την καύση, θερμαίνεται στην θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και εξέρχεται από το σύστημα, μεταφέροντας ωφέλιμη θερμική ενέργεια η οποία μένει ανεκμετάλλευτη, αφού αποβάλλεται στο περιβάλλον, μαζί με τα καυσαέρια.

Ο λόγος αέρα καύσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 21 / (21 - \gamma_{O_2})$$

$\gamma_{O_2}$ : κ.ο. περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο.

Η παρατήρηση της φλόγας, μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη, για τον προσδιορισμό του επιπέδου τύρβης που επικρατεί στον θάλαμο καύσης (και συνακόλουθα τις συνθήκες ανάμιξης), όπως και για την πρόληψη φαινομένων επαφής της φλόγας με επιφάνειες του θαλάμου (μη επιθυμητή κατάσταση, αφού μειώνεται ο βαθμός απόδοσης της καύσης και καταπονούνται τα υλικά).

Οι απώλειες ενέργειας κατά την καύση μειώνουν το ποσό της διαθέσιμης προς χρήση θερμότητας.

Οι μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας, οφείλονται στην υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων και την ατελή καύση του καυσίμου.

Μικρότερες απώλειες εμφανίζονται λόγω ακτινοβολίας ή μεταφοράς από τον θάλαμο καύσης. Απαρτίζονται από: αισθητή θερμότητα των ξηρών καυσαερίων και την αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα των υδρατμών στα καυσαέρια.

Οι απώλειες ξηρών καυσαερίων, εξαρτώνται άμεσα από την ποσότητα της περίσσειας του αέρα, δεδομένου ότι ο μη «καϊόμενος» αέρας, εγκαταλείπει τον θάλαμο καύσης με υψηλή θερμοκρασία.

Η θερμότητα η οποία απαιτείται για την θέρμανση του αέρα περιβάλλοντος μέχρι την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων, ισούται με τις απώλειες αισθητής θερμότητας των ξηρών καυσαερίων. Ο υδρατμός που εμπεριέχεται στα καυσαέρια, απορροφά ποσό θερμότητας ίσο με την λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης συν την αισθητή θερμότητα υπερθέρμανσης του από την θερμοκρασία ατμοποίησης, μέχρι την θερμοκρασία των καυσαερίων. Τα ζεστά καυσαέρια που ανέρχονται προκαλούν εισροή φρέσκου αέρα που ενεργοποιεί τη φωτιά.

## **ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

### **Ο Καπναγωγός**

Ο καπναγωγός, είναι το σύστημα απαγωγής των καυσαερίων από το θάλαμο καύσης, την εστία. Αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στοιχείο της ξυλόσομπας, στην ουσία είναι ο αφανής ήρωας, απ' αυτόν ξεκινούν και τελειώνουν πολλά προβλήματα λειτουργίας αλλά και απόδοσης. Η διατομή όσο και η κατασκευή του καπναγωγού, όσο και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του, πρέπει να είναι σύμφωνα με αυστηρές προδιαγραφές και κανονισμούς λειτουργίας και ασφάλειας. Τα θερμά καυσαέρια που γίνονται ελαφρύτερα ανεβαίνουν προς τα επάνω ενώ ταυτόχρονα έλκεται ψυχρός αέρας στην εστία. Ο καπναγωγός όταν κατασκευάζεται σε εξωτερικό τοίχο πρέπει να είναι μονωμένος για να αποφεύγεται η ψύξη των καυσαερίων που προκαλεί μείωση του ελκυσμού

και επικαθίσεις στα τοιχώματα του. Σημαντικό στοιχείο επίσης, είναι και το καπέλο, καθώς και το ύψος της καμινάδας στην στέγη, ώστε να αποφεύγονται οι στροβιλισμοί από πνέοντες ανέμους. Επειδή η κίνηση του καπνού μέσα στον καπναγωγό είναι ελικοειδής, ο ιδανικός καπναγωγός είναι κυκλικός και με λεία τοιχώματα για να αποφεύγονται οι τριβές.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην συντήρηση και καθαρισμό του καπναγωγού. Πρέπει να καθαρίζεται 2 φορές τον χρόνο, για να αποφεύγεται η ανάφλεξη των επικαθήσεων, (καπνιάς). Ο καθαρισμός πρέπει να είναι μηχανικός, δηλ, με βούρτσα ή ειδικά εργαλεία. Ο χημικός καθαρισμός δεν είναι αρκετός.

### Διάταξη ανταλλαγής θερμότητας

Ο χώρος αυτός είναι ουσιαστικά η διαδρομή από την οποία περνούν τα καυσαέρια κατευθυνόμενα προς την καμινάδα και ο οποίος περιλαμβάνει σωληνώσεις και σκαλοπάτια τα οποία περιέχουν το νερό της σόμπας. Η διαδρομή αυτή είναι λιγότερο ή περισσότερο πολύπλοκη ανάλογα με τον σχεδιασμό της σόμπας και είναι φτιαγμένη ώστε να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη δυνατή απορρόφηση της θερμότητας των καυσαερίων από το νερό. Αυτό που καθορίζει την απόδοση της σόμπας είναι η μετάδοση της θερμότητας που παράγεται από την καύση των ξύλων στο νερό που περιέχουν τα τοιχώματα της σόμπας.

### Η Εστία

Εστία είναι ο χώρος μέσα στον οποίο γίνεται η χημική αντίδραση που λέγεται καύση του ξύλου. Στον "θάλαμο καύσης" γίνεται η ανάφλεξη των αερίων και η καύση του άνθρακα που έχει το ξύλο.

Η κατασκευή της εστίας πρέπει να γίνεται με ειδικά υλικά και τεχνική, με αυστηρές προδιαγραφές, για να αποδίδει και να μην καπνίζει.

Επίσης μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται και στην μόνωση, τόσο των τοίχων και πατωμάτων, όσο και στην κατασκευή της διακόσμησης, για να αποφεύγονται οι καταπονήσεις φερόντων στοιχείων (κολόνες, δοκάρια, τοίχοι με μόνωση) και να είναι απολύτως ασφαλής.

Οι ξυλόσομπες με μεγάλο ελκυσμό δεν καπνίζουν, παρουσιάζουν όμως μειωμένη απόδοση. Αυτό συμβαίνει διότι ο μεγάλος ελκυσμός αυξάνει την ταχύτητα των καυσαερίων μέσα στον καπναγωγό και ως εκ τούτου, μεγαλύτερη ποσότητα ζεστού αέρα από το χώρο διαφεύγει μέσω της καμινάδας, ενώ ταυτόχρονα ίση ποσότητα ψυχρού αέρα μπαίνει απ' έξω, από τις χαραμάδες, λόγω της υποπίεσης που δημιουργείται μέσα στο χώρο.

## **ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΕΥΛΟΣΟΜΠΑΣ ΚΑΛΟΡΙΦΕΡ HYDRO 30**

- Διπλού τοιχώματος χώρος καύσης, κατασκευασμένος από χαλυβδοέλασμα. Μεγάλου πάχους τύπου υδροχιτωνίου με εσωτερική πυρίμαχη επένδυση χυτοσιδήρου τύπου GG-20.
- Σύστημα δευτερογενούς καύσης με ρυθμιζόμενη παροχή αέρα στα άκαυστα αέρια που παράγονται κατά την καύση, προσθέτοντας περισσότερο οξυγόνο στην φωτιά.
- Θάλαμος κυκλοφορίας θερμού νερού (υδροχιτώνιο) που αυξάνει στο μέγιστο τις θερμαινόμενες επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον θάλαμο καύσης.
- Ρυθμιστικό εισαγωγής αέρα κύριας και δευτερογενούς καύσης με το οποίο επιτυγχάνεται ο έλεγχος της καύσης και της κατανάλωσης ξύλου.
- Αεροστεγή χυτοσίδηρη πόρτα με κεραμικό κρύσταλλο υψηλής αντοχής σε θερμικά σοκ 750 °C. Αυτοκαθαριζόμενο .
- Σύστημα αεροκουρτίνας με ρυθμιζόμενη παροχή αέρα στο κρύσταλλο και αποτροπή προσκόλλησης της καπνιάς.
- Ξύστρα καθαρισμού των υδραυλών ροής του θερμού νερού από τις επικαθίσεις πίσσας και καπνιάς.
- Εξωτερική μεταλλική διακοσμητική επένδυση με ειδική ηλεκτροστατική βαφή σε πολλές αποχρώσεις.
- Ρυθμιζόμενα ελαστικά πόδια.
- Προεγκατεστημένες σωληνώσεις παροχής και επιστροφής του ζεστού νερού από και προς το δίκτυο στο πίσω μέρος της σόμπας με δυνατότητα επιλογής της compact έκδοσης με ενσωματωμένο κυκλοφορητή, δοχείο διαστολής και θερμοστάτη νερού.
- Διπλός εναλλάκτης υδραυλών ροής θερμού νερού για μεταφορά της θερμότητας από τον θάλαμο καύσης και από τα καυσάεiria προς το νερό.
- Ενσωματωμένη θερμοστατική βαλβίδα ασφαλείας 95 °C , 3Bar και αυτόματος εξαερωτής.
- Χώρος αποθήκευσης καυσόξυλων.
- Συρτάρι συλλογής της στάχτης.
- Βάρος συσκευής :220 Kg
- Διαστάσεις συσκευής : 64 × 53 × 121

### **ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ**

Οι απαιτήσεις των υλικών, του σχεδιασμού και της κατασκευής πληρούνται όπως προδιαγράφονται στο κεφάλαιο 4 και στα 2 πρότυπα. Οι απαιτήσεις ασφαλείας που προδιαγράφονται στο κεφάλαιο 5 και οι απαιτήσεις απόδοσης που περιγράφονται στο κεφάλαιο 6 πληρούνται. Επίσης, οι οδηγίες εγκατάστασης και

λειτουργίας είναι σύμφωνες με τις απαιτήσεις που προδιαγράφονται στο κεφάλαιο 7.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο λόγος αέρα καύσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 21 / (21 - Y_{O_2})$$

$Y_{O_2}$  : περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο.

Τα ξύλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα με τα εξής χαρακτηριστικά:

Ξύλο: οξιά.

Περιεκτικότητα σε υγρασία: 15%

Κατώτερη θερμογόνος δύναμη  $H_u$ : 4700 Kcal/Kg

$H_u$ : 19677.95 kJ/kg

Έχουν κύριο συστατικό τον άνθρακα σε αναλογία 47.9%, οξυγόνο 43.3%, το υδρογόνο 6,2%, και το άζωτο 0,22%

Τα εργαλεία μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι με σειρά :

21. RMS621 Endress and Hauser (θερμοκρασία εισόδου – εξόδου)
22. Kimo Kiray 300 (θερμοκρασία γύρω από τον καυστήρα)
23. Testo 330-1LL
24. Testo 0632.0307 TUV By RgG 207 ( μέτρηση αιθάλης)
25. Testo 330-1LL (μέτρηση εξωτερικής καμινάδας)

Οι μετρήσεις έγιναν ανά μισή ώρα σε χώρο δοκιμής 24 m<sup>2</sup> σε ξυλόσομπα καλοριφέρ της οποίας ο τύπος είναι: HYDRO 30.

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος μετρήθηκε σε απόσταση ίση από κάθε πλευρά της ξυλόσομπας σε περιφέρεια κύκλου με ακτίνα (1.2 ± 0.1)m σχεδιασμένο στο μέσο της πλευράς της ξυλόσομπας και σε ύψος (0.50 ± 0.01)m.

Το διασταυρούμενο ρεύμα της ξυλόσομπας δοκιμής και του περιβάλλοντος δεν ήταν μεγαλύτερο από 0,5m/s.

Δεν υπήρχαν άλλες πηγές θερμότητας στο χώρο που να επηρεάζουν τις μετρήσεις.

Η στατική πίεση σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν ≤ 2Pa.

- Ο βαθμός απόδοσης βρέθηκε με χρήση της παρακάτω σχέσης:  
 $n = 100 - (q_a + q_b + q_r)$

με  $q_a(\%)$  την αναλογία απωλειών μέσω ειδικής θερμότητας στα καυσαέρια  $Q_a$  που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής (ως βάση καύσης),  $q_b(\%)$  την αναλογία απωλειών μέσω λανθάνουσας θερμότητας στα καυσαέρια  $Q_b$  που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής (ως βάση καύσης),  $q_r(\%)$  την αναλογία απωλειών μέσω καυσίμων συστατικών στο υπόλειμμα που περνούν από την εσχάρα  $Q_r$  που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής (ως βάση καύσης).

Όπου :

$$Q_a = (t_a - t_r) X \left\{ \left[ C_{pmd} X (C - Cr) / (0,536 X (CO + CO_2)) \right] + \left[ C_{pm_{H_2O}} X 1,92 X (2H + W) / 100 \right] \right\}$$

$$q_a = 100 X Q_a / H_u$$

$$Q_b = 12644 X CO X (C - Cr) / \{0,536 X (CO_2 + CO)\} X 100$$

$$q_b = 100 X Q_b / H_u$$

$$Q_r = 335 X b X R / 100$$

$$q_r = 100 X Q_r / H_u$$

- Ολική θερμική ισχύς εξόδου:  
 $P = (n X B X H_u) / (100 X 3600)$

- Ισχύς εξόδου θέρμανσης χώρου:  
 $PSH = P - P_w$  όπου  
 $P$ : η συνολική προσδιδόμενη ισχύς και  
 $P_w$ : η ισχύς θέρμανσης του νερού

- Η ροή μάζας των καυσαερίων είναι:  
 $m = [B X 1,3 X (C - Cr) / 0,536 X (CO_2 + CO)] + (9H + W) / 100] / 3,6$

- Βαθμός απόδοσης συστήματος καύσης:

άμεση μέθοδος:  $n = Q_{\omega\phi} / Q_{\text{προσδ}}$   
 και

έμμεση μέθοδος:  $n = 1 - Q_{\text{απ}} / Q_{\text{προσδ}}$

όπου:

$Q_{\omega\phi}$ : αποδιδόμενη ισχύς στην έξοδο του συστήματος

$Q_{\text{προσδ}}$ : προσδιδόμενη στο στο σύστημα ισχύς

$Q_{\text{απ}}$ : συνολικές απώλειες του συστήματος

$$CO_{\text{content}} = CO_{\text{AVG}} X \left[ \frac{(21 - O_2_{\text{standardized}})}{(21 - O_{\text{AVG}})} \right]$$

Με το  $O_2_{\text{standardized}}$  να λαμβάνεται στα καυσαέρια ίσο με 13%.

$$CO_{\text{AVG}} (\text{mg}/\text{m}^3) = CO_{\text{AVG}}(\text{ppm}) X d_{\text{co}}$$

$$d_{\text{co}} = 1,25 \text{ και } Cr = 11,74\%$$

- Τιμή της ειδικής θερμότητας των προϊόντων καύσης  
Ειδική θερμότητα ξηρών καυσαερίων σε πρότυπες συνθήκες

$$C_{pmd} = 3,6 \times \{0,361 + 0,008 \times (t_a/1000) + 0,034 \times (t_a/1000)^2 + [0,085 + 0,19 \times (t_a/1000) - 0,14 \times (t_a/1000)^2] \times (CO_2/100) + [0,03 \times (t_a/1000) - 0,2 \times (t_a/1000)^2] \times (CO_2/100)\}$$

Ειδική θερμότητα υδρατμού

$$C_{pH_2O} = 3,6 \times [0,414 + 0,038 \times (t_a/1000) + 0,034 \times (t_a/1000)^2]$$

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

n (%)	B (kg/h)	Tw1 (°C)	Tw2 (°C)	Ροή (l/h)	Twall (°C)	Tl (°C)	CO ppm	NO (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	Pw (kw)	Ta (°C)	Αιθ.	qa (%)
75.3	6.75	52.52	55.96	2709.06	25.85	37.23	3790.12	20.37	6.13	14.65	10.82	236.53	6	24.7

Όπου :

n: ο βαθμός απόδοσης που μετρήθηκε μόνο λόγω της απώλειας των καυσαερίων

B: η μάζα καυσίμου

Tw1: η θερμοκρασία εισόδου του νερού

Tw2: η θερμοκρασία εξόδου του νερού

Twall: η μέση θερμοκρασία πέριξ του καυστήρα

Tl: η μέση θερμοκρασία εξωτερικά του καυστήρα

CO: περιεκτικότητα μονοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

NO: περιεκτικότητα μονοξειδίου του αζώτου στα καυσαέρια

CO<sub>2</sub>: περιεκτικότητα διοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

O<sub>2</sub>: περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια

Pw: θερμική ισχύς που προσδίδεται στο νερό

Ta: η θερμοκρασία των καυσαερίων

Αιθ.: η αιθάλη μετράται με βάση την κλίμακα Bacharach.

qa: ποσοστό των ειδικών απωλειών θερμότητας στα καυσαέρια

Η μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην εξωτερική καμινάδα έγινε ανά μία ώρα. Η ελάχιστη τιμή ήταν 93.2 °C και η μέγιστη ήταν 198.6°C.



Η θερμοκρασία του χώρου δοκιμής στην αρχή της πρώτης δοκιμής ήταν 15 °C και στην τελευταία δοκιμή 29.6 °C , που ήταν και η μέγιστη θερμοκρασία.  
 Η συνολική διάρκεια των μετρήσεων ήταν 4 ώρες με συνολική ποσότητα καυσίμου 27 kg και τέφρα 580 gr.

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ 1

Qa(KJ/Kg)	Qb(KJ/Kg)	Qr(KJ/Kg)	qb (%)	qr (%)
4860.45	496.67	39.463	2.5240	0.2005

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ 2

CO <sub>cont</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	CO (%)	OGC (mg/m <sup>3</sup> )	C <sub>pm</sub> H <sub>2</sub> O (Kg/K.m <sup>3</sup> )	C <sub>pm</sub> d (Kg/K.m <sup>3</sup> )	m (g/s)
5968.69	0.3790	149.2	1.5292	1.3403	25.4601

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ 3

n <sup>1</sup> (%)	P (kw)	P <sub>SH</sub> (kw)
72.57	26.77	15.95

Όπου :

Q<sub>a</sub> , q<sub>a</sub> : Οι θερμικές απώλειες των καυσαερίων

Q<sub>b</sub> , q<sub>b</sub> : Οι χημικές απώλειες των καυσαερίων

Q<sub>r</sub> , q<sub>r</sub> : Οι θερμικές απώλειες του υπολείμματος σχάρας

OGC: Ολικός αέριος οργανικός άνθρακας

m : Η ροή μάζας των καυσαερίων

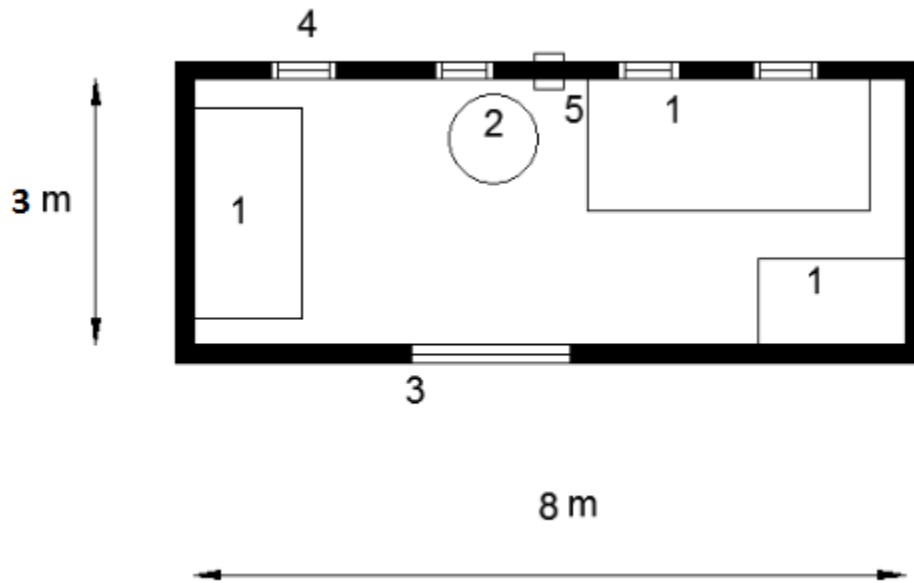
n<sup>1</sup> : Ο βαθμός απόδοσης όπως υπολογίστηκε από το πρότυπο ΕΛΟΤ

P: Η συνολική θερμική ισχύς  
P<sub>SH</sub>: η ισχύς που προσδίδεται στο χώρο

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ**  
**ΕΥΛΟΣΟΜΠΑ ΚΑΛΟΡΙΦΕΡ ΗΥΔΡΟ 30**



## ΚΑΤΟΨΗ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ



1: Χώρος τοποθέτησης λεβήτων δοκιμών.

2: Boiler νερού που συνδέεται με τους λέβητες.

3: Συρόμενη πόρτα

4: Παράθυρα.

5: Εξαερισμός.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ





**Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**  
**Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**  
**Τομέας Περιβάλλοντος και Χρήσης Ενέργειας**  
**Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος (ΕΤΠ)**  
**Διευθυντής: Καθηγητής Ιωάννης Μπάρτζης**

## **ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ**

**ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ**  
**ΑΠΟΔΟΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ, (PLANO**  
**EF 810-IDRO)**

**ΚΟΖΑΝΗ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2013**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Παρούσα Τεχνική Έκθεση, αποτελεί παραδοτέο της σύμβασης για την έκδοση βεβαίωσης ποιότητας καυσαερίων με αντικείμενο τις μετρήσεις ποιότητας των καυσαερίων σε συσκευές καύσης στερεών καυσίμων.

Το Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, στα πλαίσια της σύμβασης οργάνωσε και εκτέλεσε τις παρακάτω εργασίες, σύμφωνα με τις διαδικασίες του Παραρτήματος Α' που καθορίζονται στο πρότυπο **ΕΛΟΤ EN13240**, καθώς και του Παραρτήματος Α' που καθορίζονται στο πρότυπο **ΕΛΟΤ EN13229** σε τύπους τζακιών της εταιρείας Σαμουκατσίδης Γεώργιος & ΣΙΑ ΟΕ και συγκεκριμένα για το τζάκι κλειστής εστίας **PLANO EF 810-IDRO** πραγματοποιήθηκαν:

36. Μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
37. Μετρήσεις θερμοκρασιών του χώρου γύρω από το τζάκι.
38. Μετρήσεις θερμοκρασίας καυσαερίων.
39. Μετρήσεις CO, CO<sub>2</sub> και O<sub>2</sub> στα καυσαέρια.
40. Μετρήσεις των θερμοκρασιών του νερού εισόδου και εξόδου.
41. Μετρήσεις των αποδόσεων του τζακιού.
42. Μετρήσεις αιθάλης.
43. Μετρήσεις ογκομετρικής παροχής και ταχύτητας αέρα.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

Η καύση του ξύλου στην πράξη είναι η χημική αντίδραση κατά την οποία ο άνθρακας που περιέχει το ξύλο ενώνεται με το οξυγόνο, ελευθερώνοντας ενέργεια καθώς και μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Απαραίτητη προϋπόθεση για να γίνει αυτή η αντίδραση είναι να υπάρχει θερμότητα. Γι' αυτό και σε όσο υψηλότερη θερμοκρασία γίνεται η καύση, τόσο πιο πολλές ποσότητες αερίων και μονοξειδίου αναφλέγονται, με αποτέλεσμα υψηλότερες αποδόσεις, δηλαδή γίνεται πιο τέλεια η καύση και μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας ανακτάται στο χώρο.

Οι κλειστές εστίες έχουν υψηλή απόδοση γιατί η καύση γίνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Από την εκλυόμενη ενέργεια ένα μέρος αποδίδεται με ακτινοβολία στον περιβάλλοντα χώρο, ένα άλλο μέρος θερμαίνει τα τοιχώματα της εστίας και ένα άλλο μέρος διαφεύγει μαζί με τα καυσαέρια μέσα από τον καπναγωγό. Στις μαντεμένιες εστίες η ενέργεια που θερμαίνει τα τοιχώματα αξιοποιείται θερμαίνοντας αέρα, ο οποίος κυκλοφορεί γύρω απ' αυτά τα τοιχώματα και από εκεί στο χώρο, δηλ. τα τοιχώματα της εστίας παίζουν το ρόλο του εναλλάκτη θερμότητας.

Είναι ευνόητο ότι για να υπάρξει και να συνεχίσει η καύση χρειάζεται αέρα, τον οποίο το τζάκι έλκει μέσα από το χώρο προς την εστία και ο οποίος αέρας αναπληρώνεται με ίση ποσότητα κρύου που μπαίνει από τις χαραμάδες. Γι' αυτό και τα τζάκια ακτινοβολίας κρύνουν το σπίτι αντί να το ζεσταίνουν.

Στην συνέχεια θα δούμε πώς αυτά τα στοιχεία της καύσης, τα οποία είναι μεταβλητά, δηλ. ποσότητα αέρα, θερμοκρασία καύσης και ξύλο, αλλάζουν τα αποτελέσματα και συνεπώς την λειτουργία και απόδοση.

Με τον όρο συνεχής καύση εννοούμε ότι η διαδικασία γίνεται χωρίς διακοπή, δηλ. καινούργιο οξειδωτικό και καύσιμο τροφοδοτούνται συνέχεια στο θάλαμο καύσης και τα προϊόντα της καύσης απομακρύνονται συνεχώς (παραδείγματα: εστίες, αεριοστρόβιλοι).

Στη διακοπτόμενη καύση, καύσιμο και αέρας εισέρχονται στο θάλαμο, όπου γίνεται η έναυση. Καύσιμο και αέρας καίγονται, δημιουργούνται προϊόντα και απελευθερώνεται μεγάλο ποσό ενέργειας. Τα καυσαέρια που δημιουργούνται ακολούθως εγκαταλείπουν τον θάλαμο και εκλύονται στο περιβάλλον μέσα από την όδυσή τους στον καπναγωγό.

Ως λόγο αέρα καύσης ( $\lambda$ ), θεωρούμε την πραγματικά χρησιμοποιούμενη ποσότητα αέρα προς εκείνη που θεωρητικά απαιτείται ή αντίστοιχα του πραγματικού λόγου αέρα –καυσίμου, προς τον στοιχειομετρικό.

Η συνιστώμενη τιμή του λόγου αέρα ποικίλλει, ανάλογα με το είδος του καυσίμου και τον τύπο του καυστήρα.



Ο αέρας, ο οποίος εισέρχεται ως περίσσεια, αλλά δεν χρησιμοποιείται για την καύση, θερμαίνεται στην θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και εξέρχεται από το σύστημα, μεταφέροντας ωφέλιμη θερμική ενέργεια η οποία μένει ανεκμετάλλευτη, αφού αποβάλλεται στο περιβάλλον, μαζί με τα καυσαέρια.

Ο λόγος αέρα καύσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 21 / (21 - \gamma O_2)$$

$\gamma O_2$ : κ.ο. περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο.

Η παρατήρηση της φλόγας, μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη, για τον προσδιορισμό του επιπέδου τύρβης που επικρατεί στον θάλαμο καύσης (και συνακόλουθα τις συνθήκες ανάμιξης), όπως και για την πρόληψη φαινομένων επαφής της φλόγας με επιφάνειες του θαλάμου (μη επιθυμητή κατάσταση, αφού μειώνεται ο βαθμός απόδοσης της καύσης και καταπονούνται τα υλικά).

Οι απώλειες ενέργειας κατά την καύση μειώνουν το ποσό της διαθέσιμης προς χρήση θερμότητας.

Οι μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας, οφείλονται στην υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων και την ατελή καύση του καυσίμου.

Μικρότερες απώλειες εμφανίζονται λόγω ακτινοβολίας ή μεταφοράς από τον θάλαμο καύσης. Απαρτίζονται από: αισθητή θερμότητα των ξηρών καυσαερίων και την αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα των υδρατμών στα καυσαέρια.

Οι απώλειες ξηρών καυσαερίων, εξαρτώνται άμεσα από την ποσότητα της περίσσειας του αέρα, δεδομένου ότι ο μη «καιόμενος» αέρας, εγκαταλείπει τον θάλαμο καύσης με υψηλή θερμοκρασία.

Η θερμότητα η οποία απαιτείται για την θέρμανση του αέρα περιβάλλοντος μέχρι την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων, ισούται με τις απώλειες αισθητής θερμότητας των ξηρών καυσαερίων. Ο υδρατμός που εμπεριέχεται στα καυσαέρια, απορροφά ποσό θερμότητας ίσο με την λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης συν την αισθητή θερμότητα υπερθέρμανσης του από την θερμοκρασία ατμοποίησης, μέχρι την θερμοκρασία των καυσαερίων. Τα ζεστά καυσαέρια που ανέρχονται προκαλούν εισροή φρέσκου αέρα που ενεργοποιεί τη φωτιά.

## **ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

### **Ο Καπναγωγός**

Ο καπναγωγός, είναι το σύστημα απαγωγής των καυσαερίων από το θάλαμο καύσης, την εστία. Αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στοιχείο του τζακιού, στην ουσία είναι ο αφανής ήρωας, απ' αυτόν ξεκινούν και τελειώνουν πολλά προβλήματα λειτουργίας αλλά και απόδοσης. Η διατομή όσο και η κατασκευή του καπναγωγού,

όσο και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του, πρέπει να είναι σύμφωνα με αυστηρές προδιαγραφές και κανονισμούς λειτουργίας και ασφάλειας. Τα θερμά καυσαέρια που γίνονται ελαφρύτερα ανεβαίνουν προς τα επάνω ενώ ταυτόχρονα έλκεται ψυχρός αέρας στην εστία. Ο καπναγωγός όταν κατασκευάζεται σε εξωτερικό τοίχο πρέπει να είναι μονωμένος για να αποφεύγεται η ψύξη των καυσαερίων που προκαλεί μείωση του ελκυσμού και επικαθίσεις στα τοιχώματα του. Σημαντικό στοιχείο επίσης, είναι και το καπέλο, καθώς και το ύψος της καμινάδας στην στέγη, ώστε να αποφεύγονται οι στροβιλισμοί από πνέοντες ανέμους. Επειδή η κίνηση του καπνού μέσα στον καπναγωγό είναι ελικοειδής, ο ιδανικός καπναγωγός είναι κυκλικός και με λεία τοιχώματα για να αποφεύγονται οι τριβές.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην συντήρηση και καθαρισμό του καπναγωγού. Πρέπει να καθαρίζεται 2 φορές τον χρόνο, για να αποφεύγεται η ανάφλεξη των επικαθίσεων, (καπνιάς). Ο καθαρισμός πρέπει να είναι μηχανικός, δηλ, με βούρτσα ή ειδικά εργαλεία. Ο χημικός καθαρισμός δεν είναι αρκετός.

## Η Εστία

Εστία είναι ο χώρος μέσα στον οποίο γίνεται η χημική αντίδραση που λέγεται καύση του ξύλου. Στον "θάλαμο καύσης" γίνεται η ανάφλεξη των αερίων και η καύση του άνθρακα που έχει το ξύλο.

Η κατασκευή της εστίας πρέπει να γίνεται με ειδικά υλικά και τεχνική, με αυστηρές προδιαγραφές, για να αποδίδει και να μην καπνίζει.

Επίσης μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται και στην μόνωση, τόσο των τοίχων και πατωμάτων, όσο και στην κατασκευή της διακόσμησης, για να αποφεύγονται οι καταπονήσεις φερόντων στοιχείων (κολόνες, δοκάρια, τοίχοι με μόνωση) και να είναι απολύτως ασφαλής.

Τα τζάκια με μεγάλο ελκυσμό δεν καπνίζουν, παρουσιάζουν όμως μειωμένη απόδοση. Αυτό συμβαίνει διότι ο μεγάλος ελκυσμός αυξάνει την ταχύτητα των καυσαερίων μέσα στον καπναγωγό και ως εκ τούτου, μεγαλύτερη ποσότητα ζεστού αέρα από το χώρο διαφεύγει μέσω της καμινάδας, ενώ ταυτόχρονα ίση ποσότητα ψυχρού αέρα μπαίνει απ' έξω, από τις χαραμάδες, λόγω της υποπίεσης που δημιουργείται μέσα στο χώρο.

## **ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΤΖΑΚΙΟΥ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΕΣΤΙΑΣ PLANO EF 810-IDRO**

- Στιβαρό σώμα εστίας από χαλυβδοέλασμα 4-5mm ρομποτικά συγκείμενο με άριστη στεγανότητα.
- Αεροστεγή κάθετα συρόμενη πόρτα με κεραμικό κρύσταλλο αντοχής σε θερμικά σοκ 750 °C – αυτοκαθαριζόμενο.
- Σύστημα αεροκουρτίνας με ρυθμιζόμενη παροχή αέρα απευθείας στο κρύσταλλο αποτρέποντας την προσκόλληση καπνιάς.
- GG-20 χυτοσίδηρος μεταξύ υδροχιτώνιου και χώρου καύσης.
- Βεντιλατέρ 300 m<sup>3</sup>/h το οποίο προωθεί θερμό αέρα στο χώρο.
- Διαδρομή αέρα κύριας και δευτερεύουσας καύσης.
- Σύστημα δευτερεύουσας καύσης με παροχή επιπλέον οξυγόνου στα άκαυστα αέρια για τέλεια καύση.
- Διαδρομή θερμού αέρα στον εναλλάκτη.
- Έξοδος θερμού αέρα από τον εναλλάκτη στο χώρο.
- Θάλαμος νερού τύπου υδροχιτώνα 5mm.
- Εξωτερική μόνωση υδροχιτώνιου για την αποφυγή απώλειας θερμότητας.
- Βάση με ρυθμιζόμενα πόδια.
- Στιβαρός γραμμικός οδηγός κύλισης με πανεύκολη και αθόρυβη λειτουργία για το άνοιγμα της πόρτας με ενισχυμένο σύστημα τροχαλίας-καδένας-αντίβαρου. Η προσθήκη ελαστικών στοπ στην αρχή και στο τέλος της διαδρομής προσδίδει αθόρυβο και χωρίς κραδασμούς τερματισμό της πόρτας.
- Ρυθμιστικό εισαγωγής αέρα κύριας-δευτερεύουσας καύσης.
- Ρυθμιζόμενο κλαπέ (tamper) για τον πλήρη έλεγχο της ροής των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα και την μέγιστη εκμετάλλευση της θερμογόνου δύναμης των ξύλων.
- Οι διαστάσεις της συσκευής είναι : 112 X 98 X 179
- Βάρος συσκευής: 360 kg

### **ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ**

Οι απαιτήσεις των υλικών, του σχεδιασμού και της κατασκευής πληρούνται όπως προδιαγράφονται στο κεφάλαιο 4 και στα 2 πρότυπα. Οι απαιτήσεις ασφαλείας που προδιαγράφονται στο κεφάλαιο 5 και οι απαιτήσεις απόδοσης που περιγράφονται στο κεφάλαιο 6 πληρούνται. Επίσης, οι οδηγίες εγκατάστασης και λειτουργίας είναι σύμφωνες με τις απαιτήσεις που προδιαγράφονται στο κεφάλαιο 7.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο λόγος αέρα καύσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 21 / (21 - Y_{O_2})$$

$Y_{O_2}$  : περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο.

Τα ξύλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα με τα εξής χαρακτηριστικά:

Ξύλο: οξιά.

Περιεκτικότητα σε υγρασία: 15%

Κατώτερη θερμογόνο δύναμη  $H_u$ : 4700 Kcal/Kg

$H_u$ : 19677.95 kJ/kg

Έχουν κύριο συστατικό τον άνθρακα σε αναλογία 47.9%, οξυγόνο 43.3%, το υδρογόνο 6,2%, και το άζωτο 0,22%

Τα εργαλεία μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι με σειρά :

26. RMS621 Endress and Hauser (θερμοκρασία εισόδου – εξόδου)

27. Kimo Kiray 300 (θερμοκρασία γύρω από τον καυστήρα)

28. Testo 330-1LL

29. Testo 0632.0307 TUV By RgG 207 ( μέτρηση αιθάλης)

30. Testo 330-1LL (μέτρηση εξωτερικής καμινάδας)

31. Kimo LV 110

Οι μετρήσεις έγιναν ανά μισή ώρα σε χώρο δοκιμής 24 m<sup>2</sup> σε τζάκι κλειστής εστίας του οποίου ο τύπος είναι: PLANO EF 810-IDRO..

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος μετρήθηκε σε απόσταση ίση από κάθε πλευρά του τζακιού σε περιφέρεια κύκλου με ακτίνα (1.2 ± 0.1)m σχεδιασμένο στο μέσο της πλευράς του τζακιού και σε ύψος (0.50 ± 0.01)m.

Το διασταυρούμενο ρεύμα του τζακιού δοκιμής και του περιβάλλοντος δεν ήταν μεγαλύτερο από 0,5m/s.

Δεν υπήρχαν άλλες πηγές θερμότητας στο χώρο που να επηρεάζουν τις μετρήσεις.

Η στατική πίεση σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν  $\leq 2Pa$ .

- Ο βαθμός απόδοσης βρέθηκε με χρήση της παρακάτω σχέσης:

$$\eta = 100 - (q_a + q_b + q_r)$$

με  $q_a$ (%) την αναλογία απωλειών μέσω ειδικής θερμότητας στα καυσαέρια  $Q_a$  που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής (ως βάση καύσης),  $q_b$ (%) την αναλογία απωλειών μέσω λανθάνουσας θερμότητας στα καυσαέρια  $Q_b$  που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής (ως βάση καύσης),  $q_r$ (%) την αναλογία απωλειών μέσω καυσίμων συστατικών στο υπόλειμμα που

περνούν από την εσχάρα  $Q_r$  που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής (ως βάση καύσης).

Όπου :

$$Q_a = (t_a - t_r) X \{ [(C_{pmd} X (C - Cr)) / (0,536 X (CO + CO_2))] + [C_{pm} H_2O X 1,92 X (2H + W) / 100] \}$$

$$q_a = 100 X Q_a / H_u$$

$$Q_b = 12644 X CO X (C - Cr) / \{ 0,536 X (CO_2 + CO) \} X 100$$

$$q_b = 100 X Q_b / H_u$$

$$Q_r = 335 X b X R / 100$$

$$q_r = 100 X Q_r / H_u$$

- Ολική θερμική ισχύς εξόδου:

$$P = (n X B X H_u) / (100 X 3600)$$

- Ισχύς εξόδου θέρμανσης χώρου:

$$P_{SH} = P - P_w \text{ όπου}$$

P: η συνολική προσδιδόμενη ισχύς και

$P_w$ : η ισχύς θέρμανσης του νερού

- Η ροή μάζας των καυσαερίων είναι:

$$m = [B X 1,3 X (C - Cr) / 0,536 X (CO_2 + CO)] + (9H + W) / 100 / 3,6$$

- Βαθμός απόδοσης συστήματος καύσης:

άμεση μέθοδος:  $n = Q_{\omega\phi} / Q_{\text{προσδ}}$

και

έμμεση μέθοδος:  $n = 1 - Q_{\text{απ}} / Q_{\text{προσδ}}$

όπου:

$Q_{\omega\phi}$ : αποδιδόμενη ισχύς στην έξοδο του συστήματος

$Q_{\text{προσδ}}$ : προσδιδόμενη στο σύστημα ισχύς

$Q_{\text{απ}}$ : συνολικές απώλειες του συστήματος

$$CO_{\text{content}} = CO_{\text{AVG}} X [(21 - O_2^{\text{standarized}}) / (21 - O_{\text{AVG}})]$$

Με το  $O_2^{\text{standarized}}$  να λαμβάνεται στα καυσαέρια ίσο με 13%.

$$CO_{\text{AVG}} (\text{mg}/\text{m}^3) = CO_{\text{AVG}} (\text{ppm}) X d_{\text{co}}$$

$$d_{\text{co}} = 1,25 \text{ και } Cr = 11,748\%$$

- Τιμή της ειδικής θερμότητας των προϊόντων καύσης

Ειδική θερμότητα ξηρών καυσαερίων σε πρότυπες συνθήκες

$$C_{pmd} = 3,6 \times \{0,361 + 0,008 \times (t_a/1000) + 0,034 \times (t_a/1000)^2 + [0,085 + 0,19 \times (t_a/1000) - 0,14 \times (t_a/1000)^2] \times (CO_2/100) + [0,03 \times (t_a/1000) - 0,2 \times (t_a/1000)^2] \times (CO_2/100)\}$$

Ειδική θερμότητα υδρατμού

$$C_{pH_2O} = 3,6 \times [0,414 + 0,038 \times (t_a/1000) + 0,034 \times (t_a/1000)^2]$$

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

n (%)	B (kg/h)	Tw1 (°C)	Tw2 (°C)	Ροή (l/h)	Twall (°C)	Tl (°C)	CO (ppm)	NO (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	P <sub>w</sub> (kw)	T <sub>a</sub> (°C)	Αιθ.	q <sub>a</sub> (%)
78.5	11.045	57.03	61.33	3134.7	40.88	75.5	2499.3	15	6.36	14.41	16.27	216.03	7	21.5

Ογκομετρική παροχή αέρα (m <sup>3</sup> /h)	Ταχύτητα αέρα (m/s)	Θερμοκρασία αέρα (°C)
99.36	4.96	63.52

Όπου :

n: ο βαθμός απόδοσης που μετρήθηκε μόνο λόγω της απώλειας των καυσαερίων

B: η μάζα καυσίμου

Tw1: η θερμοκρασία εισόδου του νερού

Tw2: η θερμοκρασία εξόδου του νερού

Twall: η μέση θερμοκρασία πέριξ του καυστήρα

Tl: η μέση θερμοκρασία εξωτερικά του καυστήρα

CO: περιεκτικότητα μονοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

NO: περιεκτικότητα μονοξειδίου του αζώτου στα καυσαέρια

CO<sub>2</sub>: περιεκτικότητα διοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

O<sub>2</sub>: περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια

P<sub>w</sub>: θερμική ισχύς που προσδίδεται στο νερό

T<sub>a</sub>: η θερμοκρασία των καυσαερίων

Αιθ.: η αιθάλη μετράται με βάση την κλίμακα Bacharach.

q<sub>a</sub>: ποσοστό των ειδικών απωλειών θερμότητας στα καυσαέρια

Η μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην εξωτερική καμινάδα έγινε ανά μία ώρα. Η ελάχιστη τιμή ήταν 105.1 °C και η μέγιστη ήταν 176.3 °C.

Η συνολική διάρκεια των μετρήσεων ήταν 4 ώρες με συνολική ποσότητα καυσίμου 44.18 kg και τέφρα 1.10 kg.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ 1

Qa(KJ/Kg)	Qb(KJ/Kg)	Qr(KJ/Kg)	qb (%)	qr (%)
4230.759	1340.89	39.355	6.81	0.199

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ 2

CO <sub>cont</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	CO (%)	OGC (mg/m <sup>3</sup> )	Cpm H <sub>2</sub> O (Kg/K.m <sup>3</sup> )	Cpmd (Kg/K.m <sup>3</sup> )	m (g/s)
3792.6	0.303	94.8	1.52565	1.33965	28.83

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ 3

n <sup>1</sup> (%)	P (kw)	P <sub>SH</sub> (kw)
71.49	43.16	26.89

Όπου :

Q<sub>a</sub> , q<sub>a</sub> : Οι θερμικές απώλειες των καυσαερίων

Q<sub>b</sub> , q<sub>b</sub> : Οι χημικές απώλειες των καυσαερίων

Q<sub>r</sub> , q<sub>r</sub> : Οι θερμικές απώλειες του υπολείμματος σχάρας

OGC: Ολικός αέριος οργανικός άνθρακας

m : Η ροή μάζας των καυσαερίων

n<sup>1</sup> : Ο βαθμός απόδοσης όπως υπολογίστηκε από το πρότυπο ΕΛΟΤ

P: Η συνολική θερμική ισχύς

P<sub>SH</sub>: η ισχύς που προσδίδεται στο χώρο

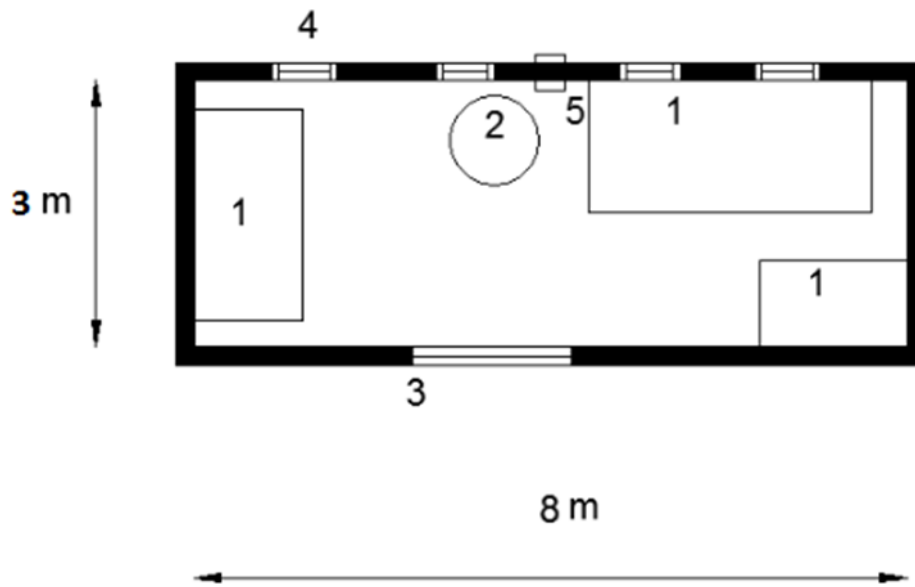
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

### ΤΖΑΚΙ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΕΣΤΙΑΣ PLANO EF 810-IDRO





## ΚΑΤΟΨΗ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ



1: Χώρος τοποθέτησης λεβήτων δοκιμών.

2: Boiler νερού που συνδέεται με τους λέβητες.

3: Συρόμενη πόρτα

4: Παράθυρα.

5: Εξαερισμός.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ





**Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**  
**Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**  
**Τομέας Περιβάλλοντος και Χρήσης Ενέργειας**  
**Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος (ΕΤΠ)**  
**Διευθυντής: Καθηγητής Ιωάννης Μπάρτζης**

## **ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ**

**ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ**  
**ΑΠΟΔΟΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ, (WS**  
**55)**

**ΚΟΖΑΝΗ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2013**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Παρούσα Τεχνική Έκθεση, αποτελεί παραδοτέο της σύμβασης για την έκδοση βεβαίωσης ποιότητας καυσαερίων με αντικείμενο τις μετρήσεις ποιότητας των καυσαερίων σε συσκευές καύσης στερεών καυσίμων.

Το Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, στα πλαίσια της σύμβασης οργάνωσε και εκτέλεσε τις παρακάτω εργασίες, σύμφωνα με τις διαδικασίες του Παραρτήματος Α' που καθορίζονται στο πρότυπο **ΕΛΟΤ EN13240** καθώς και του Παραρτήματος Α' που καθορίζονται στο πρότυπο **ΕΛΟΤ EN13229** σε αερόθερμες ξυλόσομπες της εταιρείας Σαμουκατσίδης Γεώργιος & ΣΙΑ ΟΕ και συγκεκριμένα για την αερόθερμη ξυλόσομπα **WS 55** πραγματοποιήθηκαν:

44. Μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
45. Μετρήσεις θερμοκρασιών του χώρου γύρω από τον ξυλόσομπα.
46. Μετρήσεις θερμοκρασίας καυσαερίων.
47. Μετρήσεις CO, CO<sub>2</sub> και O<sub>2</sub> στα καυσαέρια.
48. Μετρήσεις των θερμοκρασιών του νερού εισόδου και εξόδου.
49. Μετρήσεις των αποδόσεων της ξυλόσομπας.
50. Μετρήσεις αιθάλης.
51. Μετρήσεις ογκομετρικής παροχής και ταχύτητας αέρα.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

Η καύση του ξύλου στην πράξη είναι η χημική αντίδραση κατά την οποία ο άνθρακας που περιέχει το ξύλο ενώνεται με το οξυγόνο, ελευθερώνοντας ενέργεια καθώς και μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Απαραίτητη προϋπόθεση για να γίνει αυτή η αντίδραση είναι να υπάρχει θερμότητα. Γι' αυτό και σε όσο υψηλότερη θερμοκρασία γίνεται η καύση, τόσο πιο πολλές ποσότητες αερίων και μονοξειδίου αναφλέγονται, με αποτέλεσμα υψηλότερες αποδόσεις, δηλαδή γίνεται πιο τέλεια η καύση και μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας ανακτάται στο χώρο.

Οι κλειστές εστίες έχουν υψηλή απόδοση γιατί η καύση γίνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Από την εκλυόμενη ενέργεια ένα μέρος αποδίδεται με ακτινοβολία στον περιβάλλοντα χώρο, ένα άλλο μέρος θερμαίνει τα τοιχώματα της εστίας και ένα άλλο μέρος διαφεύγει μαζί με τα καυσαέρια μέσα από τον καπναγωγό. Στις μαντεμένιες εστίες η ενέργεια που θερμαίνει τα τοιχώματα αξιοποιείται θερμαίνοντας αέρα, ο οποίος κυκλοφορεί γύρω απ' αυτά τα τοιχώματα και από εκεί στο χώρο, δηλ. τα τοιχώματα της εστίας παίζουν το ρόλο του εναλλάκτη θερμότητας.

Είναι ευνόητο ότι για να υπάρξει και να συνεχίσει η καύση χρειάζεται αέρα, τον οποίο η ξυλόσομπα έλκει μέσα από το χώρο προς την εστία και ο οποίος αέρας αναπληρώνεται με ίση ποσότητα κρύου που μπαίνει από τις χαραμάδες.

Με τον όρο συνεχής καύση εννοούμε ότι η διαδικασία γίνεται χωρίς διακοπή, δηλ. καινούργιο οξειδωτικό και καύσιμο τροφοδοτούνται συνέχεια στο θάλαμο καύσης και τα προϊόντα της καύσης απομακρύνονται συνεχώς (παραδείγματα: εστίες, αεριοστρόβιλοι).

Στη διακοπτόμενη καύση, καύσιμο και αέρας εισέρχονται στο θάλαμο, όπου γίνεται η έναυση. Καύσιμο και αέρας καίγονται, δημιουργούνται προϊόντα και απελευθερώνεται μεγάλο ποσό ενέργειας. Τα καυσαέρια που δημιουργούνται ακολούθως εγκαταλείπουν τον θάλαμο και εκλύονται στο περιβάλλον μέσα από την όδυσή τους στον καπναγωγό.

Ως λόγο αέρα καύσης ( $\lambda$ ), θεωρούμε την πραγματικά χρησιμοποιούμενη ποσότητα αέρα προς εκείνη που θεωρητικά απαιτείται ή αντίστοιχα του πραγματικού λόγου αέρα –καυσίμου, προς τον στοιχειομετρικό.

Η συνιστώμενη τιμή του λόγου αέρα ποικίλλει, ανάλογα με το είδος του καυσίμου και τον τύπο της ξυλόσομπας.

Ο αέρας, ο οποίος εισέρχεται ως περίσσεια, αλλά δεν χρησιμοποιείται για την καύση, θερμαίνεται στην θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και εξέρχεται από το σύστημα, μεταφέροντας ωφέλιμη θερμική ενέργεια η οποία μένει ανεκμετάλλευτη, αφού αποβάλλεται στο περιβάλλον, μαζί με τα καυσαέρια.

Ο λόγος αέρα καύσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 21 / (21 - Y_{O_2})$$

$Y_{O_2}$ : κ.ο. περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο.

Η παρατήρηση της φλόγας, μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη, για τον προσδιορισμό του επιπέδου τύρβης που επικρατεί στον θάλαμο καύσης (και συνακόλουθα τις συνθήκες ανάμιξης), όπως και για την πρόληψη φαινομένων επαφής της φλόγας με επιφάνειες του θαλάμου (μη επιθυμητή κατάσταση, αφού μειώνεται ο βαθμός απόδοσης της καύσης και καταπονούνται τα υλικά).

Οι απώλειες ενέργειας κατά την καύση μειώνουν το ποσό της διαθέσιμης προς χρήση θερμότητας.

Οι μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας, οφείλονται στην υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων και την ατελή καύση του καυσίμου.

Μικρότερες απώλειες εμφανίζονται λόγω ακτινοβολίας ή μεταφοράς από τον θάλαμο καύσης. Απαρτίζονται από: αισθητή θερμότητα των ξηρών καυσαερίων και την αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα των υδρατμών στα καυσαέρια.

Οι απώλειες ξηρών καυσαερίων, εξαρτώνται άμεσα από την ποσότητα της περίσσειας του αέρα, δεδομένου ότι ο μη «καϊόμενος» αέρας, εγκαταλείπει τον θάλαμο καύσης με υψηλή θερμοκρασία.

Η θερμοκρασία η οποία απαιτείται για την θέρμανση του αέρα περιβάλλοντος μέχρι την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων, ισούται με τις απώλειες αισθητής θερμότητας των ξηρών καυσαερίων. Ο υδρατμός που εμπεριέχεται στα καυσαέρια, απορροφά ποσό θερμότητας ίσο με την λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης συν την αισθητή θερμότητα υπερθέρμανσης του από την θερμοκρασία ατμοποίησης, μέχρι την θερμοκρασία των καυσαερίων. Τα ζεστά καυσαέρια που ανέρχονται προκαλούν εισροή φρέσκου αέρα που ενεργοποιεί τη φωτιά.

## **ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

### **Ο Καπναγωγός**

Ο καπναγωγός, είναι το σύστημα απαγωγής των καυσαερίων από το θάλαμο καύσης, την εστία. Αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στοιχείο της ξυλόσομπας, στην ουσία είναι ο αφανής ήρωας, απ' αυτόν ξεκινούν και τελειώνουν πολλά προβλήματα λειτουργίας αλλά και απόδοσης. Η διατομή όσο και η κατασκευή του καπναγωγού, όσο και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του, πρέπει να είναι σύμφωνα με αυστηρές προδιαγραφές και κανονισμούς λειτουργίας και ασφάλειας. Τα θερμά καυσαέρια που γίνονται ελαφρύτερα ανεβαίνουν προς τα επάνω ενώ ταυτόχρονα έλκεται ψυχρός αέρας στην εστία. Ο καπναγωγός όταν κατασκευάζεται σε εξωτερικό τοίχο πρέπει να είναι μονωμένος για να αποφεύγεται η ψύξη των καυσαερίων που προκαλεί μείωση του ελκυσμού

και επικαθίσεις στα τοιχώματα του. Σημαντικό στοιχείο επίσης, είναι και το καπέλο, καθώς και το ύψος της καμινάδας στην στέγη, ώστε να αποφεύγονται οι στροβιλισμοί από πνέοντες ανέμους. Επειδή η κίνηση του καπνού μέσα στον καπναγωγό είναι ελικοειδής, ο ιδανικός καπναγωγός είναι κυκλικός και με λεία τοιχώματα για να αποφεύγονται οι τριβές.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην συντήρηση και καθαρισμό του καπναγωγού. Πρέπει να καθαρίζεται 2 φορές τον χρόνο, για να αποφεύγεται η ανάφλεξη των επικαθίσεων, (καπνιάς). Ο καθαρισμός πρέπει να είναι μηχανικός, δηλ, με βούρτσα ή ειδικά εργαλεία. Ο χημικός καθαρισμός δεν είναι αρκετός.

## Η Εστία

Εστία είναι ο χώρος μέσα στον οποίο γίνεται η χημική αντίδραση που λέγεται καύση του ξύλου. Στον "θάλαμο καύσης" γίνεται η ανάφλεξη των αερίων και η καύση του άνθρακα που έχει το ξύλο.

Η κατασκευή της εστίας πρέπει να γίνεται με ειδικά υλικά και τεχνική, με αυστηρές προδιαγραφές, για να αποδίδει και να μην καπνίζει.

Επίσης μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται και στην μόνωση, τόσο των τοίχων και πατωμάτων, όσο και στην κατασκευή της διακόσμησης, για να αποφεύγονται οι καταπονήσεις φερόντων στοιχείων (κολόνες, δοκάρια, τοίχοι με μόνωση) και να είναι απολύτως ασφαλής.

Οι ξυλόσομπες με μεγάλο ελκυσμό δεν καπνίζουν, παρουσιάζουν όμως μειωμένη απόδοση. Αυτό συμβαίνει διότι ο μεγάλος ελκυσμός αυξάνει την ταχύτητα των καυσαερίων μέσα στον καπναγωγό και ως εκ τούτου, μεγαλύτερη ποσότητα ζεστού αέρα από το χώρο διαφεύγει μέσω της καμινάδας, ενώ ταυτόχρονα ίση ποσότητα ψυχρού αέρα μπαίνει απ' έξω, από τις χαραμάδες, λόγω της υποπίεσης που δημιουργείται μέσα στο χώρο.

## **ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΑΕΡΟΘΕΡΜΗΣ ΕΥΛΟΣΟΜΠΑΣ WS 55**

- GG-20 χυτοσίδηρη επένδυση των εσωτερικών τοιχωμάτων του χώρου καύσης για μεγάλη αντοχή στο χρόνο και στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται με αντανάκλαση της θερμικής ακτινοβολίας.
- Ρυθμιστικό εισαγωγής αέρα κύριας καύσης.
- Κατασκευή της σόμπας με διπλό τοίχωμα (ατσάλι – μαντέμι) με χαλυβδοέλασμα μεγάλου πάχους.
- Ρυθμιστικό εισαγωγής αέρα αεροκουρτίνας.
- Πρόσθετο εξωτερικό μεταλλικό τοίχωμα εναλλαγής θερμού αέρα.
- Βεντιλατέρ 220 m<sup>3</sup>/h προώθησης ζεστού αέρα κορυφαίου οίκου.
- Ρυθμιζόμενα πόδια με πλαστικό πέλμα.
- Δυνατότητα επιλογής της εξόδου της καμινάδας κάθετα ή οριζόντια.
- Εξωτερικά καλύμματα της σόμπας με ηλεκτροστατική βαφή.
- Πόρτα με κεραμικό τζάμι με άριστα αποτελέσματα αντοχής και μετάδοσης της θερμότητας και πολύ καλή οπτική επαφή με την φωτιά.
- Μεταλλικό συρτάρι συλλογής της στάχτης.
- Οι διαστάσεις της συσκευής είναι: 55 X 46 X 104.5
- Βάρος συσκευής: 120 kg

### **ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ**

Οι απαιτήσεις των υλικών, του σχεδιασμού και της κατασκευής πληρούνται όπως προδιαγράφονται στο κεφάλαιο 4 και στα 2 πρότυπα. Οι απαιτήσεις ασφαλείας που προδιαγράφονται στο κεφάλαιο 5 και οι απαιτήσεις απόδοσης που περιγράφονται στο κεφάλαιο 6 πληρούνται. Επίσης, οι οδηγίες εγκατάστασης και λειτουργίας είναι σύμφωνες με τις απαιτήσεις που προδιαγράφονται στο κεφάλαιο 7.

### **ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Ο λόγος αέρα καύσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 21 / (21 - Y_{O_2})$$

$Y_{O_2}$  : περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο.



Τα ξύλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα με τα εξής χαρακτηριστικά:

Ξύλο: οξιά.

Περιεκτικότητα σε υγρασία: 15%

Κατώτερη θερμογόνο δύναμη Hu: 4700 Kcal/Kg

Hu: 19677.95 kJ/kg

Έχουν κύριο συστατικό τον άνθρακα σε αναλογία 47.9%, οξυγόνο 43.3%, το υδρογόνο 6,2%, και το άζωτο 0,22%

Τα εργαλεία μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι με σειρά :

32. Kimo Kiray 300 (θερμοκρασία γύρω από την ξυλόσομπα)

33. Testo 330-1LL

34. Testo 0632.0307 TUV By RgG 207 ( μέτρηση αιθάλης)

35. Testo 330-1LL (μέτρηση εξωτερικής καμινάδας)

36. Kimo LV 110

Οι μετρήσεις έγιναν ανά μισή ώρα σε χώρο δοκιμής 24 m<sup>2</sup> σε αερόθερμη ξυλόσομπα της οποίας ο τύπος είναι: WS 55.

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος μετρήθηκε σε απόσταση ίση από κάθε πλευρά της ξυλόσομπας σε περιφέρεια κύκλου με ακτίνα (1.2 ± 0.1)m σχεδιασμένο στο μέσο της πλευράς της ξυλόσομπας και σε ύψος (0.50 ± 0.01)m.

Δεν υπήρχαν άλλες πηγές θερμότητας στο χώρο που να επηρεάζουν τις μετρήσεις.

Η στατική πίεση σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν ≤ 2Pa.

- Ο βαθμός απόδοσης βρέθηκε με χρήση της παρακάτω σχέσης:

$$n=100-(q_a+q_b+q_r)$$

με q<sub>a</sub>(%) την αναλογία απωλειών μέσω ειδικής θερμότητας στα καυσαέρια Q<sub>a</sub> που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής (ως βάση καύσης), q<sub>b</sub>(%) την αναλογία απωλειών μέσω λανθάνουσας θερμότητας στα καυσαέρια Q<sub>b</sub> που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής (ως βάση καύσης), q<sub>r</sub>(%) την αναλογία απωλειών μέσω καυσίμων συστατικών στο υπόλειμμα που περνούν από την εσχάρα Q<sub>r</sub> που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής (ως βάση καύσης).

Όπου :

$$Q_a=(t_a-t_r)X\{[(C_{pmd}X(C-Cr))/(0,536X(CO+CO_2))]\}+\{C_{pm}H_2O X 1,92X(2H+W)/100\}$$

$$q_a=100XQ_a/H_u$$

$$Q_b = 12644X CO X (C-Cr)/ \{0,536 X (CO_2+ CO)\} X 100]$$

$$q_b = 100 \times Q_b / H_u$$

$$Q_r = 335 \times b \times R / 100$$

$$q_r = 100 \times Q_r / H_u$$

- Ολική θερμική ισχύς εξόδου:

$$P = (n \times B \times H_u) / (100 \times 3600)$$

- Η ροή μάζας των καυσαερίων είναι:

$$m = [B \times 1,3 \times (C - Cr) / 0,536 \times (CO_2 + CO)] + (9H + W) / 100] / 3,6$$

- Βαθμός απόδοσης συστήματος καύσης:

άμεση μέθοδος:  $n = Q_{\omega\phi} / Q_{\text{προσδ}}$

και

έμμεση μέθοδος:  $n = 1 - Q_{\text{απ}} / Q_{\text{προσδ}}$

όπου:

$Q_{\omega\phi}$ : αποδιδόμενη ισχύς στην έξοδο του συστήματος

$Q_{\text{προσδ}}$ : προσδιδόμενη στο σύστημα ισχύς

$Q_{\text{απ}}$ : συνολικές απώλειες του συστήματος

$$CO_{\text{content}} = CO_{\text{AVG}} \times [(21 - O_2^{\text{standardized}}) / (21 - O_{\text{AVG}})]$$

Με το  $O_2^{\text{standardized}}$  να λαμβάνεται στα καυσαέρια ίσο με 13%.

$$CO_{\text{AVG}} (\text{mg}/\text{m}^3) = CO_{\text{AVG}} (\text{ppm}) \times d_{\text{co}}$$

$$d_{\text{co}} = 1,25 \text{ και } Cr = 11,74\%$$

- Τιμή της ειδικής θερμότητας των προϊόντων καύσης

Ειδική θερμότητα ξηρών καυσαερίων σε πρότυπες συνθήκες

$$C_{\text{pmd}} = 3,6 \times \{0,361 + 0,008 \times (t_a / 1000) + 0,034 \times (t_a / 1000)^2 + [0,085 + 0,19 \times (t_a / 1000) - 0,14 \times (t_a / 1000)^2] \times (CO_2 / 100) + [0,03 \times (t_a / 1000) - 0,2 \times (t_a / 1000)^2] \times (CO_2 / 100)\}$$

Ειδική θερμότητα υδρατμού

$$C_{\text{pmH}_2\text{O}} = 3,6 \times [0,414 + 0,038 \times (t_a / 1000) + 0,034 \times (t_a / 1000)^2]$$

## ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

n (%)	B (kg/h)	T <sub>wall</sub> (°C)	T <sub>I</sub> (°C)	CO (ppm)	NO (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	T <sub>a</sub> (°C)	Αιθ.	q <sub>a</sub> (%)
65.5	2.935	33.36	55.56	2652	19.75	7.29	13.45	367.83	7	34.5

Ογκομετρική παροχή αέρα (m <sup>3</sup> /h)	Ταχύτητα αέρα (m/s)	Θερμοκρασία αέρα (°C)
51.87	2.26	61.28

Όπου :

n: ο βαθμός απόδοσης που μετρήθηκε μόνο λόγω της απώλειας των καυσαερίων

B: η μάζα καυσίμου

T<sub>wall</sub>: η μέση θερμοκρασία περίξ της ξυλόσομπας

T<sub>I</sub>: η μέση θερμοκρασία εξωτερικά της ξυλόσομπας

CO: περιεχόμενο μονοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

NO: περιεχόμενο μονοξειδίου του αζώτου στα καυσαέρια

CO<sub>2</sub>: περιεχόμενο διοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

O<sub>2</sub>: περιεχόμενο οξυγόνου στα καυσαέρια

T<sub>a</sub>: η θερμοκρασία των καυσαερίων

Αιθ.: η αιθάλη μετράται με βάση την κλίμακα Bacharach.

q<sub>a</sub>: ποσοστό των ειδικών απωλειών θερμότητας στα καυσαέρια

Η μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην εξωτερική καμινάδα έγινε ανά μία ώρα. Η ελάχιστη τιμή ήταν 55.4 °C και η μέγιστη ήταν 88.3 °C.

Η θερμοκρασία του χώρου δοκιμής στην αρχή της πρώτης δοκιμής ήταν 16.5 °C και στην τελευταία δοκιμή 30.1 °C . Η μέγιστη θερμοκρασία, όμως, στο χώρο ήταν 33.2 °C.

Η συνολική διάρκεια των μετρήσεων ήταν 4 ώρες με συνολική ποσότητα καυσίμου 11.74 kg και τέφρα 500 gr.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ 1

Q <sub>a</sub> (KJ/Kg)	Q <sub>b</sub> (KJ/Kg)	Q <sub>r</sub> (KJ/Kg)	q <sub>b</sub> (%)	q <sub>r</sub> (%)
6788.89	299.4164	39.329	1.5215	0.1998

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ 2

OGC (mg/m <sup>3</sup> )	CO <sub>cont</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	CO (%)	C <sub>pm</sub> H <sub>2</sub> O (Kg/K.m <sup>3</sup> )	C <sub>pm</sub> d (Kg/K.m <sup>3</sup> )	m (g/s)
87.8	3512.58	0.2652	1.5572	1.3639	9.6604

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ 3

n <sup>1</sup> (%)	P (kw)
63.77	10.23

Όπου :

Q<sub>a</sub> , q<sub>a</sub> : Οι θερμικές απώλειες των καυσαερίων

Q<sub>b</sub> , q<sub>b</sub> : Οι χημικές απώλειες των καυσαερίων

Q<sub>r</sub> , q<sub>r</sub> : Οι θερμικές απώλειες του υπολείμματος σχάρας

m : Η ροή μάζας των καυσαερίων

n<sup>1</sup> : Ο βαθμός απόδοσης όπως υπολογίστηκε από το πρότυπο ΕΛΟΤ

OGC: Ολικός αέριος οργανικός άνθρακας

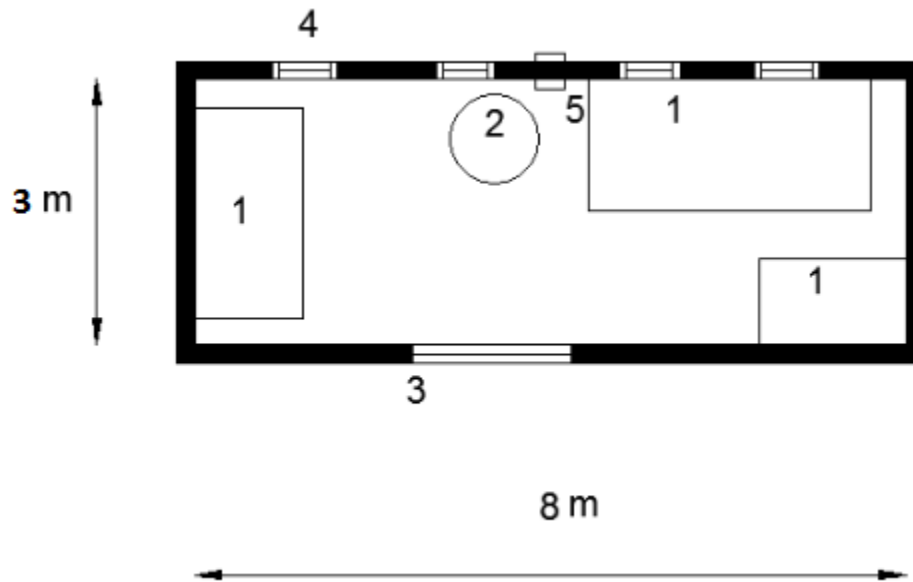
P: η ισχύς που μεταφέρεται στο χώρο

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

### ΑΕΡΟΘΕΡΜΗ ΕΥΛΟΣΟΜΠΑ WS 55



## ΚΑΤΟΨΗ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ



- 1: Χώρος τοποθέτησης λεβήτων δοκιμών.
- 2: Boiler νερού που συνδέεται με τους λέβητες.
- 3: Συρόμενη πόρτα
- 4: Παράθυρα.
- 5: Εξαερισμός.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ





**Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**  
**Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**  
**Τομέας Περιβάλλοντος και Χρήσης Ενέργειας**  
**Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος (ΕΤΠ)**  
**Διευθυντής: Καθηγητής Ιωάννης Μπάρτζης**

## **ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ**

**ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ**  
**ΑΠΟΔΟΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΞΥΛΙΝΩΝ ΠΛΙΝΘΙΩΝ ΤΥΠΟΥ**  
**PELLET, (P55)**

**KOZANH, ΜΑΡΤΙΟΣ 2013**



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Παρούσα Τεχνική Έκθεση, αποτελεί παραδοτέο της σύμβασης για την έκδοση βεβαίωσης ποιότητας καυσαερίων και καταγραφής των αποδόσεων με αντικείμενο τις μετρήσεις των παραπάνω σε συσκευές καύσης συμπιεσμένου ξύλου (τύπου pellet).

Το Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, στα πλαίσια της σύμβασης οργάνωσε και εκτέλεσε τις παρακάτω εργασίες, σύμφωνα με τις διαδικασίες του Παραρτήματος Α' που καθορίζονται στο πρότυπο **ΕΛΟΤ EN14785**, σε τύπους σομπών pellet της εταιρείας Σαμουκατσίδης Γεώργιος & ΣΙΑ ΟΕ και συγκεκριμένα για την αερόθερμη σόμπα pellet **P55** με ονομαστική ισχύ 13 kw πραγματοποιήθηκαν:

52. Μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
53. Μετρήσεις θερμοκρασιών του χώρου γύρω από τον σόμπα pellet.
54. Μετρήσεις θερμοκρασίας καυσαερίων.
55. Μετρήσεις CO, CO<sub>2</sub> και O<sub>2</sub> στα καυσαέρια.
56. Μετρήσεις των αποδόσεων της σόμπας pellet.
57. Μετρήσεις αιθάλης.
58. Μετρήσεις ογκομετρικής παροχής και ταχύτητας αέρα.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

Το pellet κατασκευάζεται από συμπίεση καταλοίπων επεξεργασίας του ξύλου. Η καύση του ξύλου στην πράξη είναι η χημική αντίδραση κατά την οποία ο άνθρακας που περιέχει το ξύλο ενώνεται με το οξυγόνο, ελευθερώνοντας ενέργεια καθώς και μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Σε όσο υψηλότερη θερμοκρασία γίνεται η καύση, τόσο πιο πολλές ποσότητες αερίων και μονοξειδίου αναφλέγονται, με αποτέλεσμα υψηλότερες αποδόσεις.

Οι σόμπες pellet βασίζονται σε ηλεκτρονικούς πίνακες κυκλωμάτων για να καθορίσουν τα ποσά καυσίμου pellet που πρέπει να καούν. Τα περισσότερα μοντέλα έχουν λειτουργίες καύσης και μερικά μοντέλα χρησιμοποιούν θερμοστάτη για να ελέγξουν αυτή την καύση. Χρησιμοποιούν επίσης ένα σύστημα πεπιεσμένου αέρα για να διανείμουν τη θερμότητα. Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων τροφοδοσίας των σομπών, από το πάνω μέρος ή από μπροστά. Οι μετρήσεις γίνονται στον πρώτο τύπο.

Αντίθετα από άλλες συσκευές καύσης ξύλου, οι σόμπες pellet βασίζονται στα μηχανικά συστήματα τροφοδοσίας του αέρα που τον αντλούν από το περιβάλλον του χώρου. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν έναν ανεμιστήρα που ωθεί τον αέρα στο εσωτερικό της σόμπας με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ρεύμα αέρα στο μέρος όπου γίνεται η καύση, το σύστημα μερικές φορές χρησιμοποιεί ένα ανεμιστήρα για να παρασύρει τον αέρα από την περιοχή καύσης μέσω του συστήματος εξάτμισης (το λεγόμενο σύστημα αρνητικής πίεσης).

Τα καυσαέρια που δημιουργούνται εξάγονται στον εξωτερικό χώρο (περιβάλλον) μέσω σωλήνα που αποτελείται από ανοξείδωτο εσωτερικό και αλουμινένιο εξωτερικό. Οι σόμπες pellet μπορούν να χρησιμοποιούν μία υπάρχουσα καπνοδόχο, αλλά συνήθως χρειάζεται να τροποποιηθεί έτσι ώστε να περνάει ο σωλήνας που θα γίνεται η εξαγωγή του καπνού.

Ως λόγο αέρα καύσης ( $\lambda$ ), θεωρούμε την πραγματικά χρησιμοποιούμενη ποσότητα αέρα προς εκείνη που θεωρητικά απαιτείται ή αντίστοιχα του πραγματικού λόγου αέρα- καυσίμου, προς τον στοιχειομετρικό.

Ο αέρας, οποίος εισέρχεται ως περίσσεια, αλλά δεν χρησιμοποιείται για την καύση, θερμαίνεται στη θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και εξέρχεται από το σύστημα, μεταφέροντας ωφέλιμη θερμική ενέργεια η οποία μένει ανεκμετάλλευτη, αφού αποβάλλεται στο περιβάλλον μαζί με τα καυσαέρια.

Ο λόγος αέρα καύσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 21 / (21 - Y_{O_2})$$

ΥΟ<sub>2</sub> : περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο.

Ο αέρας, ο οποίος εισέρχεται ως περίσσεια, αλλά δεν χρησιμοποιείται για την καύση, θερμαίνεται στη θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και εξέρχεται από το σύστημα, μεταφέροντας ωφέλιμη θερμική ενέργεια η οποία μένει ανεκμετάλλευτη, αφού αποβάλλεται στο περιβάλλον, μαζί με τα καυσαέρια.

Οι απώλειες ενέργειας κατά την καύση μειώνουν το ποσό της διαθέσιμης προς χρήση θερμότητας. Οι μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας, οφείλονται στην υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων και την ατελή καύση του καυσίμου.

Οι απώλειες ξηρών καυσαερίων, εξαρτώνται άμεσα από την ποσότητα της περίσσειας του αέρα, δεδομένου ότι ο μη "καιόμενος" αέρας, εγκαταλείπει τον θάλαμο καύσης με υψηλή θερμοκρασία.

Η θερμότητα η οποία απαιτείται για την θέρμανση του αέρα περιβάλλοντος μέχρι τη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων, ισούται με τις απώλειες αισθητής θερμότητας των ξηρών καυσαερίων. Ο υδρατμός που εμπεριέχεται στα καυσαέρια, απορροφά ποσό θερμότητας ίσο με την λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης συν την αισθητή θερμότητα υπερθέρμανσης του από την θερμοκρασία ατμοποίησης, μέχρι την θερμοκρασία των καυσαερίων.

Η υγρασία του καυσίμου, απορροφά και ένα ποσό θερμότητας, για την θέρμανση της από την θερμοκρασία εισόδου στον θάλαμο καύσης, μέχρι την θερμοκρασία ατμοποίησης.

## **ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

Η Δεξαμενή

Ο χώρος τοποθέτησης των Pellet (Δεξαμενή-tank), κάποιες φορές είναι μέρος της σόμπας ενώ άλλες πάλι είναι απλά συνδεδεμένος με την υπόλοιπη σόμπα με κάποια σωλήνα ή κοχλία. Τα Pellet από την δεξαμενή με κάποιο μέσο προώθησης (κοχλίας, αστεροειδής βαλβίδα κ.α) προωθούνται στον χώρο καύσης.

Ο Χώρος Καύσης

Τα pellet μεταφέρονται στον χώρο αυτό από την Δεξαμενή πάντα όμως με την χρήση διαδρομών ή μηχανισμών που εμποδίζουν την υποχώρηση της φωτιάς στον κύριο χώρο της Δεξαμενής. Οι ασφαλιστικές δικλίδες αυτές είναι παρόμοιες στις διάφορες εταιρίες και περιλαμβάνουν βαλβίδες πυρόσβεσης, επικλινείς "διαδρόμους" από τους οποίους γίνεται η πτώση των pellets στον θάλαμο καύσης

κ.α. Ο χώρος καύσης διαφέρει σε σχεδιασμό, υλικά κατασκευής και μέγεθος ανάλογα με το εργοστάσιο παραγωγής και την δυναμικότητα της σόμπας pellet. Στον χώρο καύσης γίνεται το άναμμα, το οποίο όταν είναι αυτόματο γίνεται είτε με χρήση blower θερμού αέρα (ουσιαστικά ένα πιστολάκι υπέρθερμου αέρα) είτε με απλή ηλεκτρική αντίσταση και κατόπιν με την βοήθεια αέρα που προωθείται από ανεμιστήρα συντηρείται και δυναμώνει η φλόγα στον θάλαμο καύσης.

### Καπνοδόχος

Η καπνοδόχος είναι ένα από τα σημεία που, σε συνδυασμό με την ποιότητα των Pellet, βοηθούν την σωστή λειτουργία της σόμπας και είναι κάτι που πρέπει να προσέχεται σε όλες τις εγκαταστάσεις. Κάθε κατασκευαστής έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις για την καμινάδα που πρέπει να τοποθετηθεί στην σόμπα. Είναι απαραίτητο να ακολουθούνται πιστά οι οδηγίες αυτές.

### Κεντρική Μονάδα Ελέγχου (Υπολογιστής-PLC)

Όλες οι λειτουργίες και τα μέρη της σόμπας pellet ελέγχονται και προγραμματίζονται από την Μονάδα Ελέγχου που υπάρχει επάνω της. Αυτή η μονάδα χρησιμοποιεί μία σειρά από αισθητήρες ώστε να προσαρμόσει την καύση και την λειτουργία της σόμπας ανάλογα με την ζήτηση θερμότητας από την εγκατάσταση. Σε κάθε σόμπα το πόσο εξελιγμένο ή όχι είναι το σύστημα ελέγχου αυτό, προσφέρει αντίστοιχα πολλές ή λίγες δυνατότητες αλλά και μικρότερη ή περισσότερη οικονομία.

## **ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΑΕΡΟΘΕΡΜΗΣ ΣΟΜΠΑΣ PELLETT P55**

- Ψηφιακό controller τύπου PLC με οθόνη με ελληνικό menu. Το menu επιτρέπει την ρύθμιση της έντασης της καύσης, την ένταση του θερμού αέρα, τον αυτόματο προγραμματισμό έναυσης – σβησίματος με χρονοδιάγραμμα, την αναβάθμιση της σόμπας ανάλογα με το καύσιμο.
- Βεντιλατέρ καύσης αρνητικής πίεσης ελεγχόμενο από τον ψηφιακό ελεγκτή.
- Βεντιλατέρ θερμού αέρα 260 m<sup>3</sup>/h ρυθμιζόμενης έντασης.
- Σύστημα προστασίας με πιεσοστάτη για διακοπή της καύσης σε περίπτωση φραξίματος της καμινάδας.
- Έξοδος καυσαερίων σε διάμετρο 80mm.
- Εισαγωγή νωπού αέρα στο χώρο καύσης για την αποφυγή δημιουργίας υποπίεσης στο χώρο.
- Σύστημα τροφοδοσίας pellet στο χώρο καύσης με ηλεκτρικό μειωτήρα και κοχλία ηλεκτρονικά ελεγχόμενο από το controller με προστασία σε περίπτωση εμπλοκής.

- Ρυθμιζόμενα πόδια.
- Θύρα πρόσβασης στον εναλλάκτη για τακτικό καθαρισμό της στάχτης και των καταλοίπων της καύσης.
- Θυρίδες εξόδου θερμού αέρα στο χώρο.
- Σύστημα αεροκουρτίνας με παροχή αέρα στο πυρίμαχο τζάμι για την αποτροπή προσκόλλησης της καπνιάς.
- Ποτήρι καύσης pellet από χυτοσίδηρο με ειδικές θυρίδες διέλευσης αέρα.
- Κάδος συλλογής στάχτης.
- Χώρος καύσης από πιστοποιημένο GG-20 χυτοσίδηρο με μεγάλη αντοχή στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται και θερμική ακτινοβολία.
- Αεροστεγής ανοιγόμενη πόρτα με κεραμικό τζάμι πολύ μεγάλης αντοχής στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται (750 °C).
- Αισθητήρας θερμοκρασίας χώρου ο οποίος ελέγχει την ένταση της καύσης ανάλογα με την επιθυμητή θερμοκρασία που έχει ρυθμίσει ο χρήστης.
- Δοχείο pellet μεγάλης χωρητικότητας (24 Kg) με αισθητήρα στάθμης καυσίμου ο οποίος δίνει ηχητικό σήμα για την επαναπλήρωση με pellet.
- Σύστημα modem με κάρτα GSM για απομακρυσμένη λειτουργία και διάγνωση της σύμπας μέσω κινητού τηλεφώνου.

## ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Οι απαιτήσεις των υλικών, του σχεδιασμού και της κατασκευής πληρούνται όπως προδιαγράφονται στο κεφάλαιο 4. Οι απαιτήσεις ασφαλείας που προδιαγράφονται στο κεφάλαιο 5 και οι απαιτήσεις απόδοσης που περιγράφονται στο κεφάλαιο 6 πληρούνται. Επίσης, οι οδηγίες εγκατάστασης και λειτουργίας είναι σύμφωνες με τις απαιτήσεις που προδιαγράφονται στο κεφάλαιο 7.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο λόγος αέρα καύσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 21 / (21 - Y_{O_2})$$

$Y_{O_2}$  : περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο.

Τα pellet που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα με τα εξής χαρακτηριστικά:

golden nuggets premium pellets (Αυστριακό)

-θερμιδική αξία :5 kwh/kg

-διάμετρος: 6mm

-περιεκτικότητα σε υγρασία: προσεγγιστικά 10%

-περιεκτικότητα σε σκόνη: <=1%

-περιεκτικότητα σε τέφρα: <= 0,5%

## ΕΥΡΕΣΗ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΟΥ PELLET

Μετά από μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο βρέθηκε η ακριβής θερμιδική αξία του καυσίμου δοκιμής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Δείγμα	Βάρος κάψας σε gr	Βάρος κάψας + υπολλειμα	Βάρος δείγματος	Βάρος υπολλείματος	Heating (cal/gr)
Αυστριακό Golden nuggets (δοκ.1)	13.8190	13.8281	1.1563	0.0091	4528.5569
Αυστριακό Golden nuggets (δοκ.2)	13.8203	13.8292	0.9359	0.0089	4546.4427

$$H_u : [4528.5569 + 4546.4427] / 2 = 4537.4998 \text{ cal/gr}$$

$$\Rightarrow H_u : 18997.604133 \text{ KJ/Kg}$$

Η υγρασία των pellet όπως μετρήθηκε στο εργαστήριο είναι  $W=7.3\%$

Τα εργαλεία μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι με σειρά :

37. Kimo Kiray 300 (θερμοκρασία γύρω από τον καυστήρα)

38. Testo 330-1LL

39. Testo 0632.0307 TUV By RgG 207 ( μέτρηση αιθάλης)

40. Testo 330-1LL (μέτρηση εξωτερικής καμινάδας)

41. Kimo LV 110(μέτρηση αέρα)

Οι μετρήσεις έγιναν ανά μισή ώρα χώρο δοκιμής  $24 \text{ m}^2$  στην σόμπα για pellet της οποίας ο τύπος είναι: P 55.

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος μετρήθηκε σε απόσταση ίση από κάθε πλευρά της σόμπας σε περιφέρεια κύκλου με ακτίνα  $(1.2 \pm 0.1)\text{m}$  σχεδιασμένο στο μέσο της πλευράς της σόμπας και σε ύψος  $(0.50 \pm 0.01)\text{m}$ .

Δεν υπήρχαν άλλες πηγές θερμότητας στο χώρο που να επηρεάζουν τις μετρήσεις.

Η στατική πίεση σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν  $\leq 2\text{Pa}$ .

- Ο βαθμός απόδοσης βρέθηκε με χρήση της παρακάτω σχέσης:  
 $n=100-(q_a+q_b+q_r)$

με  $q_a(\%)$  την αναλογία απωλειών μέσω ειδικής θερμότητας στα καυσαέρια  $Q_a$  που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής (ως βάση καύσης),  $q_b(\%)$  την αναλογία απωλειών μέσω λανθάνουσας θερμότητας στα καυσαέρια  $Q_b$  που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής (ως βάση καύσης),  $q_r(\%)$  την αναλογία απωλειών μέσω καυσίμων συστατικών στο υπόλειμμα που περνούν από την εσχάρα  $Q_r$  που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη στο καύσιμο δοκιμής (ως βάση καύσης).

Όπου :

$$Q_a=(t_a-t_r)X\{[(C_{pmd}X(C-C_r))/(0,536X(CO+CO_2))]+\{C_{p_{H_2O}}X1,92X(2H+W)/100\}\}$$
$$q_a=100XQ_a/H_u$$

$$Q_b = 12644X CO X (C-C_r) / \{0,536 X (CO_2+ CO)\} X 100]$$
$$q_b=100 X Q_b/H_u$$

$$Q_r=335 X b X R/100$$
$$q_r=100 X Q_r/H_u$$

- Ολική θερμική ισχύς εξόδου:  
 $P= (n X B X H_u)/(100X3600)$

- Η ροή μάζας των καυσαερίων είναι:  
 $m=[B X 1,3 X (C-C_r)/0,536 X (CO_2+ CO)]+(9H+W)/100]/3,6$

- Βαθμός απόδοσης συστήματος καύσης:

άμεση μέθοδος:  $n= Q_{\omega\phi}/Q_{\text{προσδ}}$

και

έμμεση μέθοδος:  $n=1-Q_{\text{απ}}/Q_{\text{προσδ}}$

όπου:

$Q_{\omega\phi}$ : αποδιδόμενη ισχύς στην έξοδο του συστήματος

$Q_{\text{προσδ}}$ : προσδιδόμενη στο σύστημα ισχύς

$Q_{\text{απ}}$ : συνολικές απώλειες του συστήματος

$$CO_{\text{content}}= CO_{\text{AVG}} X [(21- O_2\text{standarized})/(21-O_{\text{AVG}})]$$

Με το  $O_2\text{ standarized}$  να λαμβάνεται στα καυσαέρια ίσο με 13%.

$$CO_{\text{AVG}} (\text{mg}/\text{m}^3)= CO_{\text{AVG}}(\text{ppm}) X d_{\text{co}}$$

$$D_{\text{co}}=1,25 \text{ και } C_r=11.34\%$$

- Τιμή της ειδικής θερμότητας των προϊόντων καύσης  
Ειδική θερμότητα ξηρών καυσαερίων σε πρότυπες συνθήκες

$$C_{pmd} = 3,6 \times \{0,361 + 0,008 \times (t_a/1000) + 0,034 \times (t_a/1000)^2 + [0,085 + 0,19 \times (t_a/1000) - 0,14 \times (t_a/1000)^2] \times (CO_2/100) + [0,03 \times (t_a/1000) - 0,2 \times (t_a/1000)^2] \times (CO_2/100)\}$$

Ειδική θερμότητα υδρατμού

$$C_{pH_2O} = 3,6 \times [0,414 + 0,038 \times (t_a/1000) + 0,034 \times (t_a/1000)^2]$$

## ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ 1

n (%)	B (kg/h)	T <sub>wall</sub> (°C)	T <sub>I</sub> (°C)	CO (ppm)	NO (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	T <sub>a</sub> (°C)	Αιθ.	q <sub>a</sub> (%)
82.2	2.06	33.82	56.31	205.37	32.25	5.58	15.22	176.48	5	17.78

Ογκομετρική παροχή αέρα (m <sup>3</sup> /h)	Ταχύτητα αέρα (m/s)	Θερμοκρασία αέρα (°C)
45.12	2.30	52.5

Όπου :

n: ο βαθμός απόδοσης που μετρήθηκε μόνο λόγω της απώλειας των καυσαερίων

B: η μάζα καυσίμου

T<sub>wall</sub>: η μέση θερμοκρασία περίξ του καυστήρα

T<sub>I</sub>: η μέση θερμοκρασία εξωτερικά του καυστήρα

CO: περιεκτικότητα μονοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

NO: περιεκτικότητα μονοξειδίου του αζώτου στα καυσαέρια

CO<sub>2</sub>: περιεκτικότητα διοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια

O<sub>2</sub>: περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια

T<sub>a</sub>: η θερμοκρασία των καυσαερίων

Αιθ.: η αιθάλη μετράται με βάση την κλίμακα Bacharach.

q<sub>a</sub>: ποσοστό των ειδικών απωλειών θερμότητας στα καυσαέρια

Η μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην εξωτερική καμινάδα έγινε ανά μία ώρα. Η ελάχιστη τιμή ήταν 26.2 °C και η μέγιστη ήταν 68.3 °C.

Η θερμοκρασία του χώρου δοκιμής στην αρχή της πρώτης δοκιμής ήταν 20.4 °C και στην τελευταία δοκιμή 38.5 °C, που ήταν και η μέγιστη θερμοκρασία.



Η συνολική διάρκεια των μετρήσεων ήταν 4 ώρες με συνολική ποσότητα καυσίμου 8.24 kg και τέφρα 40 gr.

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ 1

Qa(KJ/Kg)	Qb(KJ/Kg)	Qr(KJ/Kg)	qb (%)	qr (%)
3377.77	30.801	37.989	0.16213	0.1999

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ 2

CO <sub>cont</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	OGC (mg/m <sup>3</sup> )	CO (%)	C <sub>pm</sub> H <sub>2</sub> O (Kg/K.m <sup>3</sup> )	C <sub>pm</sub> d (Kg/K.m <sup>3</sup> )	m (g/s)
355.31	16.65	0.020	1.5145	1.3319	9.2359

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ 3

n <sup>1</sup> (%)	P (kw)
81.85	8.89

Όπου :

Q<sub>a</sub> , q<sub>a</sub> : Οι θερμικές απώλειες των καυσαερίων

Q<sub>b</sub> , q<sub>b</sub> : Οι χημικές απώλειες των καυσαερίων

Q<sub>r</sub> , q<sub>r</sub> : Οι θερμικές απώλειες του υπολείμματος σχάρας

m : Η ροή μάζας των καυσαερίων

OGC: Ολικός αέριος οργανικός άνθρακας

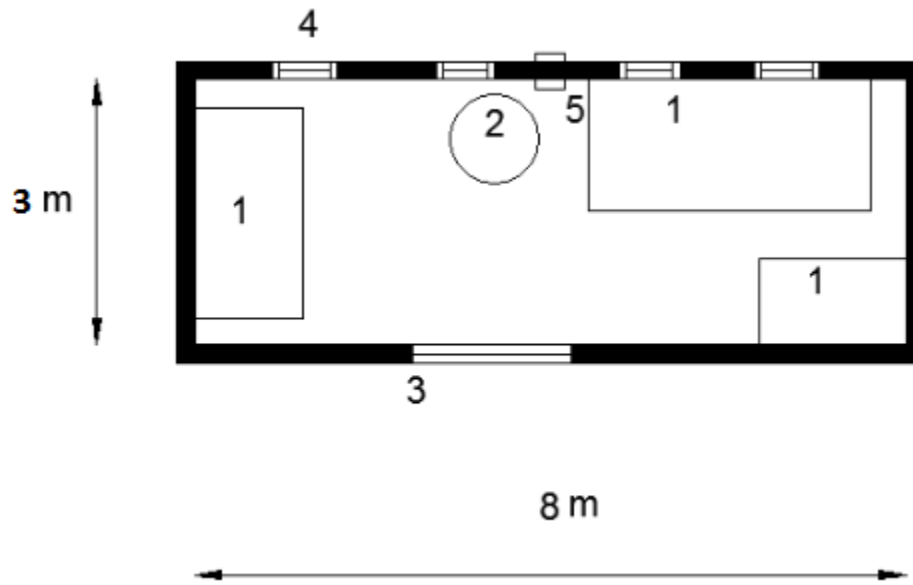
n<sup>1</sup> : Ο βαθμός απόδοσης όπως υπολογίστηκε από το πρότυπο ΕΛΟΤ

P: η ισχύς που μεταφέρεται στο χώρο

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ**  
**ΑΕΡΟΘΕΡΜΗ ΣΟΜΠΑ PELLETS P 55**



ΚΑΤΟΨΗ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ



- 1: Χώρος τοποθέτησης λεβήτων δοκιμών.
- 2: Boiler νερού που συνδέεται με τους λέβητες.
- 3: Συρόμενη πόρτα
- 4: Παράθυρα.
- 5: Εξαερισμός.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΧΩΡΟΥ ΔΟΚΙΜΗΣ ΛΕΒΗΤΩΝ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΩΝ PELLET



