



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (ΤΕΙ) ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

**Αναλυτική Προσέγγιση Δυνατοτήτων  
Εξοικονόμησης Ενέργειας σε  
Συστήματα Παραγωγής Θερμότητας-  
Λέβητα, Καυστήρα**

ΜΑΤΣΙΟΥ ΧΡΙΣΤΙΑΝΝΑ

Επιβλέπων Καθηγητής : ΝΑΖΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2013

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

784  
ΜΙΧ

ΜΗΧ/ΚΟΝ Τ.Ε.

ΜΗΧ/ΚΟΝ

ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί την πτυχιική μου εργασία στα πλαίσια των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανολογίας του ΤΕΙ Πειραιά, υπό την επίβλεψη του κ. Νάζου τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτον ως καθηγητή, διότι μου έμαθε να θέτω υψηλότερα κριτήρια στον εαυτό μου. Δεύτερον, ως εισηγητή της παρούσας πτυχιικής εργασίας, διότι με βοήθησε να διαρθρώσω το θέμα βάσει των ενδιαφερόντων μου και της μελλοντικής επαγγελματικής σταδιοδρομίας μου. Επίσης, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, οι οποίοι μου έδωσαν την ευκαιρία να σπουδάσω και να βρίσκομαι αυτή τη στιγμή εδώ. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου που με στήριξαν και με βοήθησαν κατά τα φοιτητικά μου χρόνια.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη λεβήτων και καυστήρων καθώς και οι δυνατότητές τους να εξοικονομούν ενέργεια.

Σκοπός είναι αρχικά, η κατανόηση της αρχής λειτουργίας των λεβήτων και των καυστήρων. Στη συνέχεια, μέσα από τη διεξαγωγή έρευνας, θα βρεθούν οι πλέον σύγχρονες τεχνολογίες μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση ενέργειας. Τέλος θα γίνουν προτάσεις για βελτίωση των συστημάτων ώστε να αποδίδουν καλύτερα και με αυτό τον τρόπο να επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση ενέργειας.

Η εργασία θα χωριστεί σε τέσσερα κεφάλαια:

1. Το πρώτο μέρος αναφέρεται στην καύση, τον βαθμό απόδοσης και ότι τα επηρεάζει.
2. Στο δεύτερο μέρος, θα αναλυθούν οι λέβητες, οι κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται, τα μέρη από τα οποία απαρτίζονται, οι διεργασίες που πραγματοποιούνται ώστε να μεταδοθεί θερμότητα από τα καυσαέρια στο νερό καθώς και οι νέες τεχνολογίες.
3. Στο τρίτο μέρος, θα αναλυθούν αντίστοιχα οι καυστήρες, οι κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται, τα μέρη από τα οποία απαρτίζονται, καθώς και οι νέες τεχνολογίες που κυκλοφορούν.
4. Τέλος, στο τέταρτο μέρος, θα επισημανθούν, από τη μεριά του φοιτητή, τα μέρη του συστήματος λέβητας- καυστήρας αλλά και της καύσης στα οποία προτείνει να γίνουν μετατροπές ή και βελτιώσεις ώστε να έχουμε βελτίωση του βαθμού απόδοσης, καθώς και εξοικονόμηση ενέργειας.

Η ανάλυση των λεβήτων, των καυστήρων και της καύσης είναι ιδιαίτερα εκτενής, διότι αν δε γίνει πλήρη περιγραφή όλων των πτυχών τους δεν θα είναι εφικτό στη συνέχεια να γίνουν κατανοητές οι διαφορές μεταξύ των συστημάτων. Τέλος θα αναφερθούν οι νέες τεχνολογίες λεβήτων και οι τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση ενέργειας.

Τα επιστημονικό πεδίο στο οποίο θα κινηθεί η πτυχιακή είναι αυτό των Τεχνολογικών Επιστημών. Πιο συγκεκριμένα θα καλύψει αρκετό μέρος των εξής πεδίων της Μηχανολογίας: Μετάδοση Θερμότητας, Ήπιες Μορφές Ενέργειας Μηχανολογικές Εγκαταστάσεις, καθώς και Θέρμανση- Ψύξη – Κλιματισμός (Θ.Ψ.Κ.).

Η συνεισφορά της εργασίας στην επιστήμη της Μηχανολογίας είναι σημαντική, διότι στην εποχή που διανύουμε υπάρχει έλλειψη ενημέρωσης, παραπληροφόρηση και μεγάλος ανταγωνισμός, με αποτέλεσμα πολλές επιστημονικές θεωρίες να διαστρεβλώνονται προκειμένου να ωραιοποιηθεί ένα εμπορικό προϊόν και να θεωρηθεί πιο ανταγωνιστικό από ένα άλλο. Ουσιαστικά μέσω αυτής της εργασίας θα αναλυθούν οι υπάρχοντες τεχνολογίες λεβήτων και καυστήρων σε βάθος καθώς και οι νέες τεχνολογίες με τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματά τους, έχοντας πάντα ως κριτήρια την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος.

**Λέξεις κλειδιά :** καυστήρες, λέβητες, καύση, βαθμός απόδοσης.

## ABSTRACT

The subject of this thesis is to study boilers and burners as well as their capacity to save energy.

The purpose is to first understand the operating principle of boilers and burners. Furthermore, a research will take place in order to find the most recent technologies that achieve energy saving. In conclusion, the student will suggest ways to improve the efficiency of the boiler- burner system.

The thesis will be separated in four chapters:

5. First chapter refers to the burning procedure, the efficiency and everything that affects them.

6. Second chapter analyses boilers, the categories in which they are distinguished, the parts they are composed of, the processes carried out in order to obtain heat transmission from exhaust gas to water, and the new technologies.

7. The third chapter describes in detail burners, the categories in which they are distinguished, the parts they are composed of, and the new technologies.

8. Finally, fourth chapter deals with energy saving and efficiency improving proposals, from the student's perspective, on boiler- burner system and on burning procedure.

The boiler, burner, and burning procedure analysis is too extensive because if the description is not long enough in order to comprehend all the aspects about them, it will not be feasible to understand the differences between the systems. Finally, reference will be made to new boiler technologies and to methods in which energy saving is achieved.

The scientific field the theses will be based on is that of Science Technology and more specifically the following fields of Mechanic Engineering : Heat Transmission, Renewable Energy, Engineering Facilities as well as Heating – Cooling – Air Conditioning.

The contribution of this project to the science of Engineering is important, because in the time period we live in there is lack of awareness, misinformation and big competition which lead to the distortion of many scientific theories in order to beautify the commercial product and to think of it as it is more competitive than another. Mainly, through this theses, boiler and burner technologies will be analyzed in detail as well as new technologies with their advantages and disadvantages, having always as a criterion energy saving and environment protection.

Keywords : boilers, burners, burning, boiler efficiency.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ιστορική Αναδρομή .....	8
Εισαγωγή .....	9
Αντικείμενο Πτυχιακής .....	10

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΑΥΣΗ

1. Καύση .....	11
1.1 Συντελεστής Απόδοσης της Καύσης .....	14

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΛΕΒΗΤΕΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

2. Λέβητες Κεντρικής Θέρμανσης .....	15
2.1 Βαθμός Απόδοσης Λέβητα .....	15
2.1.1 Μέτρηση του Βαθμού Απόδοσης με την Άμεση Μέθοδο.....	16
2.1.2 Μέτρηση του Βαθμού Απόδοσης με την Έμμεση Μέθοδο των Απολειών.....	17
2.1.3 Πρακτική Προσέγγιση Εκτίμησης του Βαθμού Απόδοσης.....	18
2.1.4 Ετήσιος Βαθμός Απόδοσης Λειτουργίας $\eta_a$ .....	20
2.1.5 Βαθμός Απόδοσης Διανομής $\eta_n$ .....	21
2.1.6 Ετήσιος Βαθμός Απόδοσης της Εγκατάστασης Κεντρικής Θέρμανσης $\eta_{ges}$ .....	21
2.2 Ανάλυση Απολειών .....	22
2.2.1 Απώλειες Εστίας – Βαθμός Απόδοσης της .....	22
2.2.2 Απώλειες Θερμότητας στο Περιβάλλον Λόγω Θερμού Καυσαερίου .....	25
2.2.3 Απώλειες Θερμότητας από τα Εξωτερικά Τοιχώματα του Λέβητα στο Περιβάλλον με Συναγωγή και Ακτινοβολία .....	28
2.2.4 Απώλειες Αναμονής $\eta_a$ .....	30
2.3 Βασικά Μέρη Λεβήτων .....	31
2.3.1 Θάλαμος Καύσης .....	31
2.3.2 Η Εσωτερική Επένδυση .....	35
2.3.3 Επιφάνειες Συναγωγής .....	36
2.4 Κατάταξη Λεβήτων .....	37
2.4.1 Κατάταξη Λεβήτων Βάσει Υλικού Κατασκευής .....	37
2.4.2 Κατάταξη Λεβήτων Βάσει Χρησιμοποιούμενου Καυσίμου .....	39
2.4.2.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Λεβήτων Πετρελαίου .....	39
2.4.2.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Λεβήτων Αερίου .....	40
2.4.2.3 Λέβητες Χαμηλών Θερμοκρασιών .....	40
2.4.2.3.1 Λέβητες Συμπύκνωσης .....	41
2.4.2.4 Λέβητες Στερεών Καυσίμων .....	47

2.4.2.4.1	Λέβητας Ξύλου .....	52
2.4.2.4.2	Λέβητας Αεριοποίησης Ξύλου .....	56
2.4.2.4.3	Λέβητες Pellet .....	61
2.4.2.4.4	Λέβητες Πολλαπλής Καύσης με Καυστήρα Βιομάζας (με Κοχλία) .....	67

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

3.	Καυστήρες Κεντρικής Θέρμανσης .....	72
3.1	Καυστήρες Πετρελαίου .....	72
3.1.1	Βασικά Μέρη Καυστήρα με Σταγονιδιοποίηση Υψηλής Πίεσης .....	75
3.1.2	Ρύθμιση Αναλογίας Καυσίμου – Αέρα .....	89
3.2	Καυστήρες Αερίου .....	91
3.2.1	Είδη Καυστήρων .....	91
3.2.2	Ατμοσφαιρικοί Καυστήρες .....	92
3.2.2.1	Είδη Ατμοσφαιρικών Καυστήρων .....	92
3.2.2.2	Βασικά Μέρη .....	94
3.2.2.3	Λειτουργία του Ατμοσφαιρικού Καυστήρα .....	98
3.2.2.4	Προρύθμιση του Καυστήρα .....	99
3.2.2.5	Καυστήρες Εσχαρίου .....	99
3.2.2.6	Εξοπλισμός Ατμοσφαιρικού Καυστήρα .....	99
3.2.3	Καυστήρες Αερίου με Ανεμιστήρα .....	106
3.2.3.1	Γενική Περιγραφή .....	106
3.2.3.2	Βασικά Μέρη .....	107
3.2.3.3	Ρύθμιση Αναλογίας Αερίου/ Αέρα .....	114
3.2.3.4	Όργανα Ασφαλείας και Λειτουργίας .....	115
3.2.3.5	Ρύθμιση Καυστήρων με Ανεμιστήρα .....	117
3.2.4	Καυστήρες Προανάμιξης .....	117
3.3	Καυστήρες Νέας Τεχνολογίας.....	119
3.3.1	Καυστήρες Έναυσης .....	119
3.3.2	Καυστήρες Χαμηλών Εκπομπών .....	119
3.3.2.1	Καυστήρες Πετρελαίου Χαμηλών Εκπομπών .....	119
3.3.2.1.1	Καυστήρες με Ανακυκλοφορία Καυσαερίου .....	119
3.3.2.1.2	Καυστήρες Πλήρους Εξαέριωσης του Καυσίμου (Γαλάζιας Φλόγας) .....	120
3.3.2.2	Καυστήρες Αερίου Χαμηλών Εκπομπών .....	121
3.3.3	Καυστήρες Διπλού Καυσίμου .....	122
3.3.4	Καυστήρες Pellet .....	123

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4. Συμπεράσματα – Προτάσεις Εξοικονόμησης Ενέργειας .....	125
4.1 Ορθολογική Διαχείριση Ενέργειας .....	125
4.2 Αύξηση Συντελεστή Απόδοσης της Καύσης .....	126
4.3 Δυνατότητες Εξοικονόμησης Ενέργειας .....	126
4.3.1 Απώλειες Ενέργειας .....	126
4.3.2 Ελαχιστοποίηση Απωλειών .....	127
4.3.3 Δυνατότητες Εξοικονόμησης Ενέργειας από τους Λέβητες .....	129
4.3.3.1 Επεμβάσεις Χαμηλού Κόστους .....	129
4.3.3.2 Επεμβάσεις Ανακατασκευής .....	129
4.3.3.3 Επεμβάσεις στην Εγκατάσταση .....	130
4.3.4 Δυνατότητες Εξοικονόμησης Ενέργειας από τους Καυστήρες .....	130
4.3.4.1 Επεμβάσεις Χαμηλού Κόστους .....	130
4.3.4.2 Επεμβάσεις Ανακατασκευής.....	131
4.3.5 Σύγκριση Εξοικονόμησης Ενέργειας Ενεργειακών Συστημάτων Θέρμανσης .....	132
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>134</b>



## ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η εξέλιξη του ανθρώπου είναι στενά συνδεδεμένη με τη χρήση ενέργειας. Δεν είναι τυχαίο ότι οι ονομασίες των ιστορικών περιόδων της ανθρωπότητας, λίθινη εποχή, εποχή του σιδήρου ή του χαλκού, προέκυψαν από τη δυνατότητα των ανθρώπων να διαχειρίζονται διαφορετικές μορφές ενέργειας.

Η πρώτη επαφή του ανθρώπου με την καύση ήταν περίπου πριν 500.000 χρόνια. Τότε, χρησιμοποιούσαν την ενέργεια που παράγεται από τη φωτιά για να ζεσταθούν, να μαγειρέψουν, ή ακόμα και για να φωτίσουν τις σπηλιές.

Τον 17<sup>ο</sup> αιώνα αρχίζει πλέον να ερευνάται βαθύτερα η ενέργεια που παράγεται από την καύση. Παρατηρούνται οι πρώτες επιστημονικές μελέτες καθώς και ο σχεδιασμός των πρώτων συστημάτων καύσης.

Η συστηματική μελέτη ξεκινάει κατά την περίοδο της Αναγέννησης. Το 1855 ο Bunsen κατασκεύασε τον πρώτο κινστήρα με φλόγα προανάμιξης και μέτρησε θερμοκρασίες καύσης και ταχύτητες διάδοσης της φλόγας με τη χρήση ενός ειδικού οργάνου, του θερμδομέτρου. Το 1928 οι Burke και Schumman πραγματοποιούν την πρώτη θεωρητική προσέγγιση καθώς και έρευνα , πάνω στις φλόγες διάχυσης.

Το καύσιμο παίζει πρωτεύοντα ρόλο τόσο στην απόδοση ενέργειας, όσο και στη χρήση της τεχνολογίας. Τα καύσιμα διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή, αλλά και από εποχή σε εποχή. Μέχρι το 1850 χρησιμοποιούνταν το ξύλο ως καύσιμη ύλη. Στη συνέχεια ο κόσμος στράφηκε στον άνθρακα και τέλος τον 19<sup>ο</sup> αιώνα μέχρι και σήμερα στο πετρέλαιο και στο φυσικό αέριο. Αντίστοιχη εξέλιξη ακολούθησε και η τεχνολογία της καύσης. Από τους φούρνους και τους ατμοπαραγωγούς (λιγνίτης) περάσαμε στις μηχανές εσωτερικής καύσης και στους αεριοστροβίλους (πετρέλαιο και παράγωγά του). Ακολούθησαν τα δίκτυα φυσικού αερίου και οι μονάδες παραγωγής ενέργειας με συμπαραγωγή.



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αναζήτηση νέων πηγών ενέργειας και ειδικότερα ανανεώσιμων συνεχίζεται μέχρι σήμερα και θα συνεχίζεται και στο μέλλον. Ολοένα και μεγαλύτερη είναι η ανάγκη νέων τεχνολογιών που αποφέρουν οικονομική, φιλική στο περιβάλλον και αποδοτική θέρμανση με απώτερο σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Ένα μεγάλο μέρος της παγκόσμιας ενέργειας που χρησιμοποιείται σήμερα, αφορά την θέρμανση των σπιτιών και την παροχή ζεστού νερού χρήσης.

Στη χώρα μας το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού χρησιμοποιεί κατά κύριο λόγο πετρέλαιο και φυσικό αέριο για τη θέρμανση του σπιτιού και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Με την αύξηση όμως της τιμής των δύο αυτών καυσίμων, και ιδιαίτερα του πετρελαίου θέρμανσης, έχουν οδηγήσει τους καταναλωτές σε αναζήτηση τρόπων μείωσης της κατανάλωσης ή απεξάρτησης από το πετρέλαιο.

Από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί έχει προκύψει ότι στις εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης των κτιρίων στη χώρα μας, υπάρχουν μεγάλα περιθώρια βελτίωσης της απόδοσης των συστημάτων λέβητα – καυστήρα, τα οποία βέβαια σχετίζονται άμεσα με τις οικονομικές συνθήκες που επικρατούν.

Η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους. Κάποιες φορές απαιτείται να γίνουν σημαντικές παρεμβάσεις σε ένα σύστημα προκειμένου να μειώσουμε την ενέργεια που καταναλώνεται σε αυτό. Κάτι τέτοιο όμως προϋποθέτει πολλές φορές και υψηλό κόστος, του οποίου η απόσβεση γίνεται σε βάθος χρόνου. Κάποιες φορές όμως οι αλλαγές αυτές δεν απαιτούν καμία επέμβαση και άρα καμία οικονομική επιβάρυνση. Τέτοιες ενέργειες αφορούν κυρίως τις καθημερινές μας συνήθειες. Έχει παρατηρηθεί έντονα το φαινόμενο στη χώρα μας, λόγω έλλειψης ενημέρωσης ή αμέλειας να υπάρχει μεγάλη σπατάλη ενέργειας.

Ειδικά στο τομέα της θέρμανσης είναι πολύ εύκολο από κακή διαχείριση να προκύπτει μεγάλη κατανάλωση. Οι κάτοικοι λοιπόν σε ένα διαμέρισμα ή μονοκατοικία, με απλές ενέργειες που ως τώρα δεν τις πραγματοποιούσαν ή τις εκτελούσαν λανθασμένα, μπορούν να αποκομίσουν σημαντικά οφέλη χωρίς να μειώνεται η ποιότητα θέρμανσης. Τέτοιες λανθασμένες ενέργειες μπορεί να αφορούν για παράδειγμα την παραπάνω θερμοκρασία που έχουμε ρυθμισμένο το θερμοστάτη στο σπίτι μας, την κάλυψη των θερμαντικών σωμάτων με καλύμματα ή με έπιπλα μπροστά από αυτά κ.α. Πολλές από αυτές τις ενέργειες που αναφέραμε παραπάνω σχετίζονται με τον τρόπο που διαχειριζόμαστε την κεντρική θέρμανση. Λέγοντας τρόπο διαχείρισης αναφερόμαστε σε ενέργειες που γίνονται από εμάς τους ίδιους και αφορούν τις επιλογές που κάνουμε στα θέματα της θέρμανσης.

Η κατανάλωση διαμορφώνεται άμεσα από τα διαστήματα που λειτουργεί τελικά ο καυστήρας. Όσο η ζήτηση για θέρμανση γίνεται σε πολλά και διάσπαρτα διαστήματα, τόσο πιο πολύ ενέργεια χάνεται μεταξύ των διαστημάτων, την οποία ήδη την έχουμε "πληρώσει". Όσο μεγαλύτερα είναι τα κενά μεταξύ των διαστημάτων, θα χρειαστεί περισσότερη ώρα να δουλέψει ο καυστήρας, για να παραχθεί ξανά η απαιτούμενη θερμότητα, κάτι που σημαίνει και μεγαλύτερη κατανάλωση. Ουσιαστικά είναι προτιμότερο το σύστημα λέβητα- καυστήρα να δουλεύει συνεχώς σε χαμηλή θερμοκρασία, παρά μια να δουλεύει για να ανεβάσει τη θερμοκρασία σε αυτή που έχει οριστεί στον θερμοστάτη χώρου και λίγη ώρα αφότου την φτάσει να σβήνουμε το θερμοστάτη.

## ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

Στην πτυχιακή αυτή εργασία θα γίνει αναφορά στη διαδικασία της καύσης και σε όσους παράγοντες την επηρεάζουν. Επίσης θα ερευνηθούν οι πλέον σύγχρονες λύσεις, οπότε θα προστεθούν νέες καύσιμες ύλες και νέες τεχνολογίες στην προαναφερθείσα αναδρομή. Επίσης, θα γίνει λεπτομερής ανάλυση των υαρχόντων λεβήτων και καυστήρων ώστε να είναι κατανοητές οι βελτιώσεις και οι διαφοροποιήσεις τους από τις νεότερες τεχνολογίες.

Σκοπός της εργασίας δεν είναι να προτείνει κάποια βέλτιστη λύση γιατί κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό. Αντιθέτως, έχει ως αντικείμενο την παρουσίαση νέων προϊόντων που ήδη κυκλοφορούν στην ελληνική αγορά. Κάθε σπίτι ή χώρος διαφέρει από κάποιο άλλο, με αποτέλεσμα να διαφοροποιούνται οι ανάγκες του για θέρμανση. Για παράδειγμα μπορεί ένα σπίτι να είναι στο βουνό, να μην έχει μόνωση, να έχει βόρειο προσανατολισμό, να είναι μεγάλο σε τετραγωνικά και ένα άλλο να είναι ένα διαμέρισμα στην πόλη, με καλή μόνωση. Το σπίτι στο βουνό μπορεί καταρχάς λόγω του ότι είναι κοντά σε δασώδη περιοχή να έχει τη δυνατότητα να καίει βιομάζα, επίσης έχει μεγαλύτερες απώλειες από το διαμέρισμα. Οπότε μία λύση θα ήταν ένας λέβητας βιομάζας μεγάλης ισχύος. Για το διαμέρισμα στην πόλη παίζει ρόλο το αν ήθελε κεντρική θέρμανση, αν περνάν αγωγοί φυσικού αερίου από την περιοχή, αν θέλει να αυτονομηθεί από την ήδη υπάρχουσα κεντρική θέρμανση και να βάλει για παράδειγμα μια επίτοιχη μονάδα κ.ά.

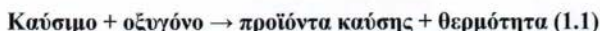
Τα συμπεράσματα που μπορούν να βγούν από την πτυχιακή αυτή είναι η αναθεώρηση των υπάρχων εγκαταστάσεων που πλέον θεωρούνται ιδιαίτερα δαπανηρές (π.χ. πετρελαίου) και η αντικατάστασή τους με άλλες χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, φιλικές προς το περιβάλλον που καίνε ανανεώσιμα καύσιμα. Επίσης στην κατάληξη της αναφέρονται συμπεράσματα του φοιτητή τα οποία αφορούν προτάσεις για μείωση των απωλειών, άρα και αύξηση του βαθμού απόδοσης του λέβητα, κατασκευαστικές αλλαγές που μπορούν να επιφέρουν βελτίωση της απόδοσης του λέβητα κ.ά. Οι προτάσεις αυτές βασίζονται στην εμπειρία που απέκτησε ο φοιτητής μέσα από την αναζήτηση για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### 1. ΚΑΥΣΗ

Η εξοικονόμηση ενέργειας βασίζεται κυρίως στην ποιότητα της καύσης η οποία εξαρτάται από την καλή συνεργασία λέβητα και καυστήρα. Ως καύση ορίζουμε την εξώθερμη χημική αντίδραση καυσίμων ουσιών με το οξυγόνο. Η καύση συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας και άρα υψηλές θερμοκρασίες. Διατηρείται όσο υπάρχουν επαρκείς ποσότητες καυσίμου και οξυγόνου. Η εξίσωση της καύσης μπορεί να γραφεί σε γενική μορφή:



Στις εγκαταστάσεις θέρμανσης το απαραίτητο για την καύση οξυγόνο λαμβάνεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Τα καύσιμα συστατικά των καυσίμων είναι κυρίως το υδρογόνο  $H_2$  και ο άνθρακας  $C$  και δευτερευόντως το θείο  $S$ , το οποίο, όμως, είναι ανεπιθύμητο. Στα καύσιμα πιθανώς περιέχεται οξυγόνο καθώς και ορισμένα συστατικά τα οποία δεν καίγονται, όπως π.χ. άζωτο, νερό (υδρατμικός) ή διοξείδιο του άνθρακα. Επίσης είναι πιθανό να περιέχονται (κυρίως στα στερεά) ορυκτές προσμίξεις (χρώματα κλπ.), τα καλούμε αδρανή.

Τα αέρια καύσιμα, σε σύγκριση με τα στερεά και τα υγρά καύσιμα, έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτούν κάποια διαδικασία προετοιμασίας τους (π.χ. άλεση για τα οποία μπορεί να γίνει με σχετικώς απλά κατασκευαστικά μέτρα.

Παράδειγμα: Η καύση του φυσικού αερίου :



Σημαντική για την καύση είναι και η **θερμογόνος δύναμη** του καυσίμου, η θερμότητα δηλαδή που ελευθερώνει 1kg καυσίμου όταν καίγεται. Υπάρχει ανώτερη και κατώτερη θερμογόνος δύναμη και η σχέση που ισχύει μεταξύ τους είναι :

$$H_v = H_o - (h + w) 600 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \quad (1.3)$$

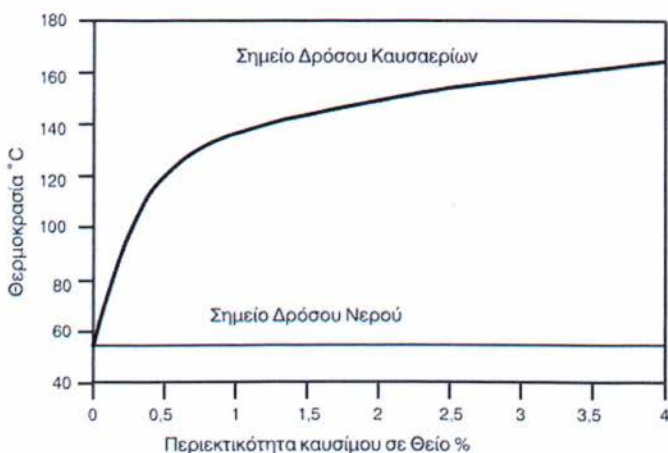
Όπου

- $H_o$  : κατώτερη θερμογόνος δύναμη
- $H_v$  : ανώτερη θερμογόνος δύναμη
- $h$  : % αναλογία  $H_2$
- $w$  : % αναλογία υγρασίας του καυσίμου

$600 \text{kcal/kg}$  = είναι η θερμότητα ατμοποίησης του νερού σε ατμοσφαιρική πίεση.

Στην  $H_o$  οι υδρατμοί έχουν υγροποιηθεί ενώ στην  $H_v$  υπάρχουν. Στην πράξη χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς η  $H_v$ .

Σημείο Δρόσου (Dew point) είναι η θερμοκρασία κάτω από την οποία υγροποιούνται τα συστατικά των καυσαερίων ( $SO_2$ ,  $P_2O_5$  κλπ.) **Διάγραμμα 3.1.**



**Διάγραμμα 1.1** Σχέση σημείου δρόσου καυσαερίων με την περιεκτικότητα καυσίμου σε θείο [2]

**Στοιχειομετρική καύση** είναι η τέλεια καύση. Κατά την στοιχειομετρική καύση το σύνολο του  $O_2$  καίγεται προς  $CO_2$ . Όσο πιο κοντά στη στοιχειομετρική καύση τόσο λιγότερα καυσαέρια, άρα και λιγότερη κατανάλωση καυσίμου. Στην πράξη όμως σπάνια συναντάται τέλεια καύση. Για να εξασφαλισθεί η καύση ολόκληρης της ποσότητας του υπάρχοντος καυσίμου, είναι συνήθως απαραίτητη μία επιπλέον ποσότητα αέρα, η οποία ονομάζεται περίσσεια αέρα (excess air). Η ποσότητα αυτή είναι απαραίτητη συνήθως λόγω της μη τέλειας μίξης καυσίμου - αέρα, εξαρτάται δε από:

$$\lambda = \frac{L}{L_0} \quad (1.4)$$

- Το είδος του καυσίμου
- Την ποιότητα του καυσίμου
- Τον βαθμό ανάμιξης καυσίμου - αέρα

Η περίσσεια αέρα δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

Όπου

- $\lambda$  : περίσσεια αέρα
- $L$  : πραγματικά χρησιμοποιούμενος αέρας
- $L_0$  : Θεωρητικά αναγκαία ποσότητα αέρα

Ορισμένες ενδεικτικές τιμές περίσσειας αέρα για διαφορετικά καύσιμα δίνονται παρακάτω :



Είδος Καυσίμου	Περίσσεια Αέρα
Φυσικό αέριο	1,05
Πετρέλαιο	1,07-1,15
Λιγνίτης	1,25-1,3
Λιθάνθρακας	1,1-2

**Πίνακας 1.1 [2]**

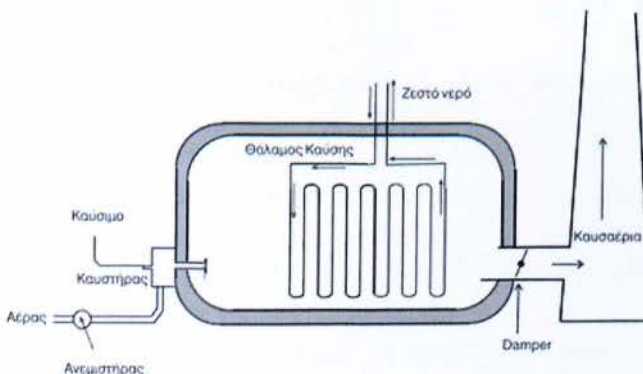
Από την άλλη πλευρά υπερβολική περίσσεια αέρα μειώνει την απόδοση. Οι απώλειες θερμότητας στα καυσαέρια, οι οποίες είναι και οι πιο βασικές, ελαχιστοποιούνται όταν υπάρχει στην καύση η μικρότερη δυνατή περίσσεια αέρα, σε σχέση πάντοτε με την στοιχειομετρική ποσότητα αέρα.

Η κυκλοφορία μέσα στο λέβητα πραγματοποιείται κυρίως με δύο τρόπους:

1. Με φυσική κυκλοφορία
2. Με εξαναγκασμένη κυκλοφορία

**Φυσική κυκλοφορία:** Χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρούς λέβητες. Δεν προσφέρει όμως την δυνατότητα ελέγχου αφ' ενός και αφ' ετέρου η δημιουργούμενη μίξη καυσίμου - αέρα, δεν είναι και τόσο αποδοτική. Το τελευταίο γεγονός απαιτεί μεγαλύτερη περίσσεια αέρα, αυξάνοντας, ως γνωστόν τις απώλειες.

**Εξαναγκασμένη κυκλοφορία:** Κάποια διάταξη ανεμιστήρα φροντίζει για την παροχή αέρα μέσα στους λέβητες. Ο τρόπος αυτός προσφέρει καλύτερη ανάμιξη καυσίμου - αέρα, λόγω της πτώσης πίεσης, του αέρα, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο μεγαλύτερο στροβιλισμό και τελικά καλύτερη μίξη. Επίσης είναι δυνατόν να ελεγχθεί χειροκίνητα ή αυτόματα η ποσότητα του παραπάνω αέρα μέσω μιας διάταξης αυξομείωσης της ροής (damper), σε συνδυασμό ή όχι με έλεγχο της παροχής καυσίμου, επηρεάζοντας έτσι άμεσα το καυτό μίγμα καυσίμου - αέρα και ελέγχοντας άμεσα την πορεία και την ποιότητα της καύσης.



**Εικόνα 1.1 Σχηματική απεικόνιση λέβητα με τεχνητό ελκυσμό[2]**

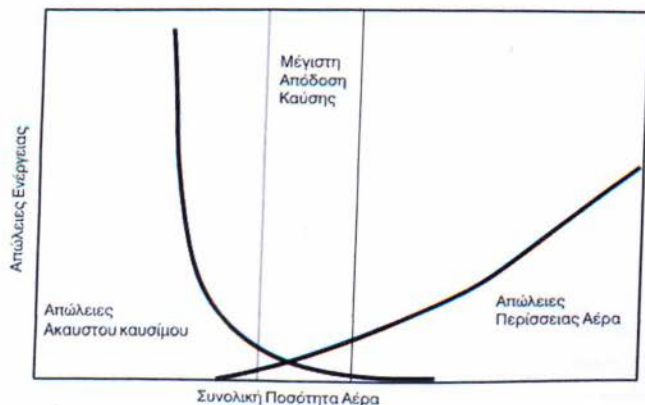
## 1.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Ο συντελεστής απόδοσης της καύσης είναι ένα μέγεθος που προσδιορίζει την ποσότητα της ενέργειας που χρησιμοποιείται από το σύστημα σε σχέση με τη συνολική ποσότητα ενέργειας που παρέχεται στο σύστημα. Ο όρος Συντελεστής Απόδοσης Καύσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της απόδοσης λεβήτων, κλιβάνων, φούρνων καθώς και άλλων συστημάτων καύσης. Προσδιορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Συντελεστής Απόδοσης} = \frac{\text{Εκμεταλλεύσιμη Θερμότητα}}{\text{Προσδιόδομη Θερμότητα}} \times 100 \quad (1.5)$$

Στην **Εικόνα 3.2** παρουσιάζεται η σχέση περίσσειας αέρα με τις απώλειες ενέργειας.

Η μεγαλύτερη απόδοση καύσης επιτυγχάνεται όταν αναμιχθεί πολύ καλά το καύσιμο με το παρεχόμενο αέρα καύσης.



**Εικόνα 1.2** Σχέση περίσσειας αέρα - απωλειών ενέργειας [2]

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **2. ΛΕΒΗΤΕΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ**

Λέβητας ονομάζεται η συσκευή, η οποία με τη βοήθεια κάποιου καυσίμου (υγρού, αερίου, ή στερεού), θερμαίνει ή ατμοποιεί το νερό (υδραυλωτός) ή θερμαίνει τον αέρα(αεριαυλωτός). Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται κυρίως υδραυλωτοί λέβητες.

Οι λειτουργίες του λέβητα διαχωρίζονται σε δύο διαφορετικές διεργασίες. Η πρώτη διεργασία είναι η καύση του υγρού, στερεού ή αερίου καυσίμου. Μέσω της καύσης πραγματοποιείται η παραγωγή θερμότητας. Κατά τη δεύτερη διεργασία αξιοποιείται η παραγόμενη θερμότητα ώστε να μεταδοθεί στον νερό με τον πιο επωφελή τρόπο.

Η καλύτερη κατά το δυνατόν λειτουργία του λέβητα εξαρτάται από τα εξής βασικά σημεία :

- Μεγαλύτερη θερμαινόμενη επιφάνεια σε σχέση με τον καταλαμβανόμενο όγκο και βάρος του λέβητα.
- Μεγαλύτερη μετάδοση θερμότητας ανά μονάδα θερμαινόμενης επιφάνειας.
- Μικρότερος όγκος θαλάμου καύσης ανά μονάδα βάρους του καιόμενου καυσίμου, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα την τέλεια καύση.
- Καλύτερη διάταξη των θερμαινόμενων επιφανειών, ως προς τα κυκλοφορούντα στον θερμαντήρα καυσαέρια.
- Μείωση των απωλειών θερμότητας.
- Μεγάλη αντοχή και ασφάλεια, σε συνδυασμό με το μικρότερο δυνατό πάχος και βάρος των διαφόρων μερών του λέβητα.
- Ευχέρεια και απλότητα στο χειρισμό, την επιθεώρηση, τη συντήρηση και την επισκευή του λέβητα.

#### **2.1 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΛΕΒΗΤΑ**

Κατά την ενεργειακή αξιολόγηση των συστημάτων θερμότητας πρέπει να εφαρμοσθούν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις.

Η πρώτη προσέγγιση θεωρεί μόνιμες καταστάσεις και προσδιορίζει την ποσότητα που προσλαμβάνει ο φορέας θερμότητας (νερό) κατά τη διάρκεια της δοκιμής (ωφέλιμη ονομαστική ισχύς) και της ποσότητας θερμότητας που προσάγεται ταυτόχρονα με το καύσιμο και τον αέρα (προσδιδόμενη ονομαστική ισχύς) (άμεση μέθοδος). Ο άμεσος υπολογισμός του βαθμού απόδοσης λαμβάνει υπ' όψιν στιγμιαίες τιμές και μέσω αυτού μπορεί να γίνει είτε σύγκριση ενέργειας (kWh ή KJ), είτε ροής ενέργειας (kW).

Η δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιεί ισοζύγια ενέργειας για μια εκτεταμένη χρονική περίοδο, συνήθως ένα έτος, όπου λαμβάνονται υπ' όψη απώλειες κατά τους χρόνους ακινησίας και προετοιμασίας, οι οποίες είναι συχνά καθοριστικές για τα ισοζύγια ενέργειας. Κατά τη δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιούνται (π.χ. ετήσιοι) βαθμοί εκμετάλλευσης  $\eta_a$ .



### 2.1.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟ

Ο υπολογισμός του βαθμού απόδοσης με την άμεση μέθοδο γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 304, ΕΛΟΤ EN 303.03 και ΕΛΟΤ EN 305.03, για υγρό, αέριο και στερεό καύσιμο, αντίστοιχα.

**Άμεσος βαθμός απόδοσης του λέβητα :** με τον όρο «βαθμός απόδοσης» του λέβητα, ορίζεται ο λόγος του αποδιδόμενου προς κατανάλωση θερμικού έργου του λέβητα (ωφέλιμο, δηλαδή η ονομαστική ισχύς του λέβητα σε kcal/h) προς το αντίστοιχο θερμικό έργο  $Q_{\text{πρ}}$  ή  $Q_{\text{B}}$ , που προσδίδεται στο θάλαμο καύσης από την καύση του καυσίμου.

Έτσι στη γενική περίπτωση, ορίζουμε το βαθμό απόδοσης του λέβητα με την παρακάτω σχέση :

$$\eta_{\text{άμεσος}} = \frac{Q_{\text{W}}}{Q_{\text{πρ}}} \text{ ή } \eta = \frac{100 \cdot Q_{\text{W}}}{Q_{\text{B}}} \text{ σε } [\%] \quad (2.1)$$

Όπου :

- $Q_{\text{W}}$  : ωφέλιμο έργο ή προσδιδόμενο ισχύς  $[\frac{\text{kcal}}{\text{h}}]$ .
- $Q_{\text{B}}$  ή  $Q_{\text{πρ}}$  : θερμικό έργο που προσδίδεται στο θάλαμο καύσης από την καύση του καυσίμου  $[\frac{\text{kcal}}{\text{h}}]$ .

Ως προσδιδόμενη θερμική ισχύ στο λέβητα, θεωρούμε εκείνη, που αντιπροσωπεύει το καύσιμο που εισέρχεται στην εστία του, καθώς και οποιαδήποτε άλλη θερμική ποσότητα μπαίνει σ'αυτή προερχόμενη από πηγή θερμότητας που βρίσκεται έξω από το λέβητα π.χ. με τον αέρα καύσης ( $m_{\text{L}} \cdot \Delta h_{\text{L}}$ ) όταν έχει προθερμανθεί αυτός με ατμό ή με το προθερμαινόμενο καύσιμο ( $m_{\text{B}} \cdot \Delta h_{\text{B}}$ ). Στην γενική περίπτωση έχουμε :

$$Q_{\text{πρ}} = Q_{\text{B}} = m_{\text{B}} \cdot H_{\text{u}} \quad (2.2)$$

Όπου :

- $Q_{\text{B}}$  ή  $Q_{\text{πρ}}$  : θερμικό έργο που προσδίδεται στο θάλαμο καύσης από την καύση του καυσίμου  $[\frac{\text{kcal}}{\text{h}}]$ .
- $m_{\text{B}}$  : η παροχή καυσίμου.
- $H_{\text{u}}$  : η θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση της μονάδας μάζας του καυσίμου.



## 2.1.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΜΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Στο λέβητα, όπως και σε κάθε θερμική μηχανή, η αξιοποίηση του προσδιδόμενου θερμικού έργου, δεν είναι πλήρης (δηλαδή κατά το μετασχηματισμό του σε ωφέλιμο θερμικό έργο, χάνεται ένα μέρος του προς το περιβάλλον με τη μορφή διαφόρων θερμικών απωλειών). Έτσι, το ωφέλιμο έργο, πάντα υπολείπεται του αντίστοιχα προσδιδόμενου κατά τις απώλειες αυτές, με αποτέλεσμα, πάντοτε ο βαθμός απόδοσης να είναι μικρότερος από τη μονάδα. Οπότε :

$$\eta_{\text{άμεσος}} = \frac{Q_w}{Q_{\text{πρ}}} = \eta_{\text{έμμεσος}} = \frac{Q_{\text{πρ}} - \Sigma Q_i}{Q_{\text{πρ}}} \quad (2.3)$$

Όπου :

- $Q_{\text{ωφ}} = Q_w$  : Η ωφέλιμη θερμική ισχύς του λέβητα. Είναι εκείνη που ο λέβητας προσδίδει στο εργαζόμενο μέσο (συνήθως νερό).
- $Q_{\text{πρ}} = Q_B$  : Η προσδιδόμενη θερμική ισχύς του λέβητα
- $\Sigma Q_i$  : Είναι το άθροισμα όλων των θερμικών απωλειών του λέβητα, που εξετάζονται λεπτομερώς παρακάτω.

Σύμφωνα με τα όσα ειπώθηκαν, μπορεί να γραφεί :

$$\eta_{\text{έμμεσος}} = \frac{m_B \cdot H_u - m_B \cdot \Sigma q_i}{m_B \cdot H_u} = \frac{m_B (H_u - \Sigma q_i)}{m_B \cdot H_u} = \frac{H_u - q_i}{H_u} = 1 - \frac{\Sigma q_i}{H_u} \quad (2.4)$$

Όπου :

- $m_B$  : η παροχή καυσίμου.
- $H_u$  : η θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση της μονάδας μάζας του καυσίμου.
- $\Sigma q_i$  : είναι το άθροισμα των κάθε είδους θερμικών απωλειών που προκύπτουν στο λέβητα από την καύση της μονάδας μάζας καυσίμου ή μ' άλλα λόγια, το μέρος εκείνο της χημικής ενέργειας της μονάδας μάζας καυσίμου, που δεν αποδίδεται στο εργαζόμενο μέσο, αλλά χάνεται, είτε στην ατμόσφαιρα είτε στην τέφρα του καυσίμου.

Οι θερμικές αυτές απώλειες κατανέμονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1.  $q_d$  : απώλειες θερμότητας εξ' αιτίας του καυσίμου που διαφεύγει από τα διάκενα της εσχάρας και πέφτει στην τροφοδόχη, χωρίς να καεί.
2.  $q_t$  : απώλειες θερμότητας από κατάλοιπα του καυσίμου, που βρίσκονται μέσα στην τέφρα, στο τέλος της καύσης.
3.  $q_r$  : απώλειες θερμότητας εξ' αιτίας της αιθάλης και του οπτάνθρακα (Cock), που βρίσκεται στην πτητική τέφρα.
4.  $q_q$  : απώλειες θερμότητας λόγω της θερμοκρασίας των στερεών ή υγρών καταλοίπων της καύσης.

5.  $q_A$  : απώλειες θερμότητας εξ' αιτίας της (σχετικά) υψηλής θερμοκρασίας του καυσαερίου, με την οποία αυτό εγκαταλείπει το λέβητα και εξέρχεται στη ατμόσφαιρα.
6.  $q_U$  : απώλειες θερμότητας εξ' αιτίας της παρατηρούμενης περιεκτικότητας του καυσαερίου σε ορισμένα καύσιμα αέρια που προήλθαν από το καύσιμο αλλά δεν έχουν καεί πλήρως.
7.  $q_S$  : απώλειες θερμότητας εξ' αιτίας της ακτινοβολίας και της μεταφοράς θερμότητας από τα τοιχώματα των εξωτερικών επιφανειών του λέβητα προς το περιβάλλον.

Αν χαρακτηρίσουμε το λόγο  $\frac{q_i}{H_u \cdot 100} = u_i$ , τότε ο βαθμός απόδοσης μπορεί να

γραφεί :

$$\eta = (100 - \sum u_i) \text{ σε } [\%] \quad (2.5)$$

Στην περίπτωση αυτή  $u_i$  θα είναι η απώλεια θερμότητας που οφείλεται στον  $i$  λόγο, ανηγμένη στην  $H_u$  και εκφρασμένη σε % κ. ό

Οι απώλειες από 1 μέχρι 4 εξετάζονται στην επόμενη παράγραφο, με τον όρο απώλειες εστίας.

Παρακάτω γίνεται ανάλυση των απωλειών που αναφέρθηκαν και δίδονται ορισμένες ποσοτικές σχέσεις μ' αυτές.

### 2.1.3 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Η ακριβής μέτρηση του βαθμού απόδοσης ενός λέβητα ή μιας συσκευής είναι δυνατή μόνον σε εργαστήριο. Για το λόγο αυτό για τον έλεγχο υφιστάμενων εγκαταστάσεων στην πράξη χρησιμοποιείται ο έμμεσος βαθμός απόδοσης του λέβητα, ο οποίος στην απλούστερη περίπτωση για υγρό και αέριο καύσιμο εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση :

$$\eta_{\text{έμμεσος}} = 100 - u_A - u_U - u_S \text{ σε } \% \quad (2.6)$$

Όπου :

- $u_A$  : Οι απώλειες λόγω του θερμού καυσαερίου σε %.
- $u_U$  : Οι απώλειες λόγω των άκαυστων συστατικών σε %.
- $u_S$  : Οι απώλειες λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας από τα εξωτερικά τοιχώματα σε %.

Στους λέβητες με συμπύκνωση των υδρατμών, αν ο βαθμός απόδοσης είναι ανηγμένος στην κατώτερη θερμογόνο ικανότητα (όπως συμβατικά επιβάλλεται από τα πρότυπα), είναι δυνατόν ο βαθμός απόδοσης να είναι μεγαλύτερος από 1.

$$\begin{aligned} \eta_s &= \frac{H_s - Q_A - Q_U - Q_S}{H_u} \quad (2.7) \\ &= \frac{H_s}{H_u} - \frac{Q_A}{H_u} - \frac{Q_U}{H_u} - \frac{Q_S}{H_u} \\ &= f - U_A - U_U - U_S > 100 \end{aligned}$$

Επειδή  $f > 100$

Όπου :

- $H_s$  : Η ανώτερα θερμογόνος ικανότητα του καυσίμου.
- $q_A$  : απώλειες θερμότητας εξ' αιτίας της (σχετικά) υψηλής θερμοκρασίας του καυσαερίου, με την οποία αυτό εγκαταλείπει το λέβητα και εξέρχεται στη ατμόσφαιρα.
- $q_U$  : απώλειες θερμότητας εξ' αιτίας της παρατηρούμενης περιεκτικότητας του καυσαερίου σε ορισμένα καύσιμα αέρια που προήλθαν από το καύσιμο αλλά δεν έχουν καεί πλήρως.
- $q_S$  : απώλειες θερμότητας εξ' αιτίας της ακτινοβολίας και της μεταφοράς θερμότητας από τα τοιχώματα των εξωτερικών επιφανειών του λέβητα προς το περιβάλλον.

Πρακτικά οι απώλειες θερμότητας λόγω θερμού καυσαερίου (σε %) υπολογίζονται από τη μετρημένη κατ' όγκο συγκέντρωση σε οξυγόνο  $O_2$  ή διοξείδιο του άνθρακα  $CO_2$  στο ξηρό καυσαέριο, από τις ακόλουθες σχέσεις αντίστοιχα:

$$u_A = t_A - t_L * \frac{A_1}{y_{CO_2\text{μετρ.}(\%)+B}} \text{ σε } \% \quad (2.8)$$

$$u_A = t_G - t_L * \frac{A_2}{21 - y_{O_2\text{μετρ.}(\%)+B}} \text{ σε } \% \quad (2.9)$$

Όπου :

- $u_A$  : απώλειες θερμότητας λόγω θερμού καυσαερίου [%].
- $t_A$  : θερμοκρασία καυσαερίου [ $^{\circ}C$ ].
- $t_G$  : θερμοκρασία ξηρού καυσαερίου [ $^{\circ}C$ ].
- $t_L$  : θερμοκρασία εισόδου αέρα καύσης [ $^{\circ}C$ ].
- $y_{CO_2\text{μετρ.}}$  : μετρούμενη κατ' όγκο συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα  $CO_2$  στο ξηρό καυσαέριο [%].
- $y_{O_2\text{μετρ.}}$  : μετρούμενη κατ' όγκο συγκέντρωση του οξυγόνου  $O_2$  στο ξηρό καυσαέριο [%].
- $A_1, A_2, a$  και  $B$  : συντελεστές που λαμβάνονται από τον ακόλουθο πίνακα συναρτήσει του χρησιμοποιούμενου καυσίμου.



Ενώ οι απώλειες λόγω ατελούς καύσης υπολογίζεται με βάση τη μετρούμενη συγκέντρωση CO στο καυσαέριο σύμφωνα με τη ακόλουθη σχέση :

$$u_U = \frac{a * y_{CO}(\%)}{y_{CO}(\%) + y_{CO_2}(\%)} \text{ σε \% (2.10)}$$

- $u_U$  : απώλειες λόγω ατελούς καύσης[%]
- $y_{CO_2}$ : μετρούμενη κατ' όγκο συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> στο καυσαέριο [%].
- $y_{CO}$ : μετρούμενη κατ' όγκο συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα CO στο καυσαέριο [%].

Συντελεστής	Πετρέλαιο Θέρμανσης (Light Oil)	Φυσικό Αέριο (Natural Gas)	Υγραέριο (Liquified Gas)
$y_{CO_2\text{μετρ.}}(\%)$	15.4	11.7	14
A <sub>1</sub>	0.5	0.37	0.42
A <sub>2</sub>	0.68	0.66	0.63
B	0.007	0.009	0.008
A	52	32	32

**Πίνακας 2.1 Ο συντελεστής  $y_{CO_2\text{max}}$  (%), A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B και a συναρτήσει του χρησιμοποιούμενου καυσίμου [20]**

#### 2.1.4 ΕΤΗΣΙΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ $\eta_a$

Η ετήσια απόδοση λειτουργίας του συγκροτήματος λέβητα – καυστήρα δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$\eta_a = 100 - q_A - q_S - q_B \text{ σε \% (2.11)}$$

Όπου :

- $q_A$  : απώλειες θερμότητας εξ' αιτίας της (σχετικά) υψηλής θερμοκρασίας του καυσαερίου, με την οποία αυτό εγκαταλείπει το λέβητα και εξέρχεται στη ατμόσφαιρα [%].
- $q_S$  : απώλειες θερμότητας εξ' αιτίας της ακτινοβολίας και της μεταφοράς θερμότητας από τα τοιχώματα των εξωτερικών επιφανειών του λέβητα προς το περιβάλλον[%].
- $q_B$  : Η απώλεια αναμονής του συγκροτήματος λέβητα – καυστήρα [%].



### 2.1.5 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ $\eta_V$

Ο βαθμός απόδοσης διανομής της παραγόμενης θερμικής ενέργειας λαμβάνει υπόψη τις απώλειες λόγω διανομής της θερμικής ενέργειας μέσω των σωλήνων διανομής που βρίσκονται εκτός των θερμαινόμενων χώρων. Σε εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης ο βαθμός απόδοσης  $\eta_V$  μπορεί να ληφθεί περίπου 96%.

### 2.1.6 ΕΤΗΣΙΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ $\eta_{ges}$

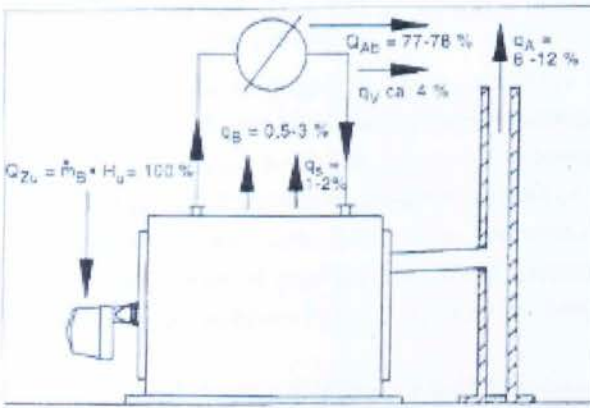
Μετά τα παραπάνω ο ετήσιος βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης κεντρικής θέρμανσης  $\eta_{ges}$

$$\eta_{ges} = \eta_a * \eta_V * 100 \text{ σε \%} \quad (2.12)$$

Όπου :

- $\eta_a$  : ετήσιος βαθμός απόδοσης [%].
- $\eta_V$  : βαθμός απόδοσης διανομής [%].

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται παραστατικά η ροή ενέργειας / απωλειών σε ένα σύγχρονο σύστημα κεντρικής θέρμανσης.



Εικόνα 2.1 Ροή ενέργειας/απωλειών σε σύγχρονο σύστημα κεντρικής θέρμανσης [20]

## 2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

### 2.2.1 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΣΤΙΑΣ – ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ

Οι πρώτες σημαντικές απώλειες, παρατηρούνται στην εστία και οφείλονται στο γεγονός ότι, το καύσιμο που εισάγεται σ' αυτήν, είτε δεν καίγεται όλο, είτε δεν καίγεται τελείως. Έτσι, συχνά παρατηρείται παρουσία καταλοίπων του καυσίμου στην τέφρα, όπως π.χ. στην περίπτωση καύσης στερεού καυσίμου σε εσχάρες, οπότε, μικρά κομμάτια καυσίμου περνούν μέσα απ' τους αρμούς και τα διάκενα των εσχारीών και πέφτουν στην τεφοροδόχη, πριν καούν.

Μπορούν επίσης να παρατηρηθούν, μικρά σωματίδια καυσίμου που δεν πρόλαβαν να καούν όσο αιωρούνταν και έπεσαν κάτω άκαυστα. Ακόμη στην ίδια περίπτωση και ιδίως όταν η φόρτιση της εστίας είναι έντονη, είναι δυνατόν ορισμένη ποσότητα του καυσίμου, να εγκαταλείπει άκαυστη το θάλαμο καύσης και να παρασύρεται από το καυσαέριο προς την ατμόσφαιρα, μαζί με την πτητική τέφρα.

Συνεπώς, οι απώλειες ακαύστων, δημιουργούνται είτε γιατί το καύσιμο εγκαταλείπει το θάλαμο καύσης πιο σύντομα από ό, τι πρέπει (δηλ. το καύσιμο δεν έχει τον απαιτούμενο χρόνο στη διάθεση του φια να καεί τελείως) ή γιατί, παρόλο που ο χρόνος είναι αρκετός, δεν γίνεται τέλεια καύση, επειδή δεν επιτυγχάνεται ο απαιτούμενος βαθμός ανάμειξης καυσίμου και αέρα καύσης. Στην τελευταία περίπτωση, σημειώνεται η παρουσία CO ή H<sub>2</sub> στο καυσαέριο, καθώς επίσης και αιθάλης.

Οι απώλειες u<sub>4</sub> εξαιτίας διαφυγής καυσίμου από τους αρμούς και τα διάκενα της εσχάρας, προέρχονται κυρίως από καύσιμο που δεν έχει εξαερωθεί. Το καύσιμο αυτό, αν είναι σημαντικό σε ποσότητα, πρέπει να επαναφερθεί στην εσχάρα.

Οι απώλειες u<sub>5</sub> και u<sub>6</sub> υπολογίζονται (κατά Ledinegg) από τον προσδιορισμό της ποσότητας των καυσίμων καταλοίπων μέσα στην τέφρα και της περιεκτικότητας του καυσίμου σε τέφρα. Τέλος, οι απώλειες u<sub>11</sub> (λόγω της παρουσίας άκαυστων αερίων στο καυσαέριο), μπορούν με σχετική ακρίβεια να δοθούν από την παρακάτω σχέση :

$$u_{\beta} = \frac{12644}{H_u} * \frac{y_{CO} * m_c}{0.536 * (y_{CO_2} + y_{CO})} \text{ σε } \% \quad (2.13)$$

Όπου :

- **u<sub>β</sub>** : απώλειες ακαύστων.
- **H<sub>u</sub>** : η θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση της μονάδας μάζας του καυσίμου.
- **y<sub>CO2</sub> και y<sub>CO</sub>** : η κατ' όγκο περιεκτικότητα του καυσαερίου σε CO και CO<sub>2</sub>, αντίστοιχα
- **m<sub>c</sub>** : η περιεκτικότητα του καυσίμου σε άνθρακα

Η παραπάνω απώλεια ( $u_B$ ), προέρχεται, όπως αναφέρθηκε, από την παρουσία CO και  $H_2$  στο καυσαέριο. Η απώλεια που συνεπάγεται η παρουσία του καθενός στο καυσαέριο, μπορεί να εκφρασθεί και χωριστά. Έτσι, αν  $y_{CO}$  είναι η κατ' όγκο περιεκτικότητα του καυσαερίου σε CO, που μετράται και  $\sigma_u$  η ποσότητα του καυσίμου, που έπεσε στην τέφρα περνώντας από τα διάκενα της εσχάρας, τότε για κάθε kg καυσίμου, θα έχουμε

$$(1 - \sigma_u) * V_{GT} * y_{CO} \text{ (Nm}^3_{CO} / \text{kg καυσίμου)} \quad (2.14)$$

Όπου :

- $V_{GT}$  : ο όγκος του ξηρού καυσαερίου που προέκυψε από την καύση 1 kg καυσίμου ( $\text{Nm}^3 / \text{kg}$ ).
- $\sigma_u$  : η ποσότητα του καυσίμου που έπεσε στην τέφρα περνώντας από τα διάκενα της εσχάρας. [kg].
- $y_{CO}$  : η κατ' όγκο περιεκτικότητα του καυσαερίου σε  $CO_2$ .

Η απώλεια θερμότητας που διαπιστώνεται από τη μη καύση αυτής της ποσότητας του CO, είναι :

$$u_{CO} = \frac{y_{CO} * V_{GT} * (1 - \sigma_u) * 12644}{H_u} \quad (2.15)$$

Όπου :

- $V_{GT}$  : ο όγκος του ξηρού καυσαερίου που προέκυψε από την καύση 1 kg καυσίμου ( $\text{Nm}^3 / \text{kg}$ ).
- $\sigma_u$  : η ποσότητα του καυσίμου που έπεσε στην τέφρα περνώντας από τα διάκενα της εσχάρας. [kg].
- $y_{CO}$  : η κατ' όγκο περιεκτικότητα του καυσαερίου σε  $CO_2$ .
- $H_{uCO} = 12644$  ( $\text{kJ} / \text{Nm}^3$ )
- $H_u$  : η θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση της μονάδας μάζας του καυσίμου.

Όμοια, η θερμότητα που χάνεται λόγω της παρουσίας  $H_2$  στο καυσαέριο, είναι :

$$u_{H2} = \frac{y_{H2} * V_{GT} * (1 - \sigma_u) * 10670}{H_u} \quad (2.16)$$

Όπου :

- $V_{GT}$  : ο όγκος του ξηρού καυσαερίου που προέκυψε από την καύση 1 kg καυσίμου ( $\text{Nm}^3 / \text{kg}$ ).
- $\sigma_u$  : η ποσότητα του καυσίμου που έπεσε στην τέφρα περνώντας από τα διάκενα της εσχάρας. [kg].
- $y_{H2}$  : η κατ' όγκο περιεκτικότητα του καυσαερίου σε  $H_2$ .
- $H_{2uH} = 10670$  ( $\frac{\text{kJ}}{\text{Nm}^3}$ )
- $H_u$  : η θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση της μονάδας μάζας του καυσίμου.



$$\text{Φυσικά ισχύει : } u_B = u_{CO} + u_{H_2} \quad (2.17)$$

Ο βαθμός απόδοσης της εστίας, ορίζεται ως εξής :

Αν  $Q_B = m_B \cdot H_u$ , είναι η παροχή θερμότητας που εισάγεται με το καύσιμο στον λέβητα και  $Q_E$  η θερμική ισχύς που χάνεται λόγω των απωλειών της εστίας [ $Q_E = m_B (q_d + q_t + q_r + q_b)$ ], τότε, ο βαθμός απόδοσης της εστίας, θα είναι :

$$\eta_E = \frac{Q_B - Q_E}{Q_B} \quad (2.18)$$

$$\eta_E = 1 - \frac{q_d + q_t + q_r + q_b}{H_u} \quad (2.19)$$

$$\eta_E = 100 - (u_d + u_t + u_r + u_b) \text{ σε \%} \quad (2.20)$$

Όπου :

- $Q_B$  : η παροχή θερμότητας που εισάγεται με το καύσιμο στο λέβητα.
- $Q_E$  : η θερμική ισχύς που χάνεται λόγω των απωλειών της εστίας.
- $u_d$  : απώλειες εξαιτίας διαφυγής καυσίμου από τους αρμούς και τα διάκενα της εσχάρας.
- $u_t$  : απώλειες θερμότητας από κατάλοιπα του καυσίμου, που βρίσκονται μέσα στην τέφρα, στο τέλος της καύσης.
- $u_r$  : απώλειες θερμότητας, εξ αιτίας της αιθάλης και του οπτάνθρακα, που βρίσκεται στην πτητική τέφρα.
- $u_b$  : απώλειες λόγω παρουσίας ακαύστων αερίων στο καυσαέριο.

Ας σημειωθούν οι εξής μέσες τιμές του  $\eta_E$ , για διάφορες περιπτώσεις :

- Για εστίες κονιοποιημένου άνθρακα  $0,95 \div 0,98$
- Για εστίες υγρών καυσίμων  $0,98 \div 0,99$
- Για εστίες αερίου καυσίμου  $1,0$
- Για εστίες με μηχανικές εσχάρες  $0,90 \div 0,96$
- Για εστίες με μόνιμες εσχάρες  $0,80 \div 0,90$

## 2.2.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΟΓΩ ΘΕΡΜΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΟΥ

Όπως αναφέρθηκε, το καυσαέριο που εγκαταλείπει το λέβητα, έχει σχετικά υψηλή θερμοκρασία (στους συνήθεις λέβητες κυμαίνεται από 160 έως 250°C). Η θερμότητα που περιέχεται στο καυσαέριο, εξαιτίας της θερμοκρασίας του αυτής, διαχέεται στο περιβάλλον και είναι η σημαντικότερη θερμική απώλεια του λέβητα. Η απώλεια αυτή εκφρασμένη ως θερμική ισχύς, είναι :

$$Q_G = m_B * \eta_E * \mu_G * (h_{Aa} - h_{AL}) = m_{BI} * \mu_G * (h_{Aa} - h_{AL}) \quad (2.21)$$

Όπου:

- $\mu_G$  : η μάζα του καυσαερίου ανά kg πραγματικά καιόμενου καυσίμου
- $m_{BI} = m_B * \eta_E$  : η ποσότητα του καυσίμου που πραγματικά καίγεται στο λέβητα, στη μονάδα του χρόνου
- $h_{Aa}$  : η ενθαλπία του καυσαερίου, στην έξοδο του από το λέβητα
- $h_{AL}$  : η ενθαλπία του καυσαερίου, στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος

Η  $Q_G$  ανηγμένη στη μονάδα μάζας του πραγματικά καιόμενου καυσίμου, είναι :

$$q_G = \mu_G * (h_{Aa} - h_{AL}) \quad (2.22)$$

Και η σχετική % απώλεια :

$$\begin{aligned} u_A &= \frac{\mu_G * (h_{Aa} - h_{AL})}{Hu * 100} \\ &= \frac{(V_A * c_{p_{m_{Air}}} * (t_A - t_L))}{Hu} \\ &= \frac{(V_{Air} * c_{p_{m_{Air}}} * V_w * c_{p_{m_{H_2O}}}) * (t_A - t_L)}{Hu} \text{ σε \%} \quad (2.23) \end{aligned}$$

Όπου :

- $V_A$  : Ο όγκος σε  $m^3$  του παραγόμενου καυσαερίου ανά kg ή  $m^3$  καιόμενου καυσίμου
- $V_{Air}$  : Ο όγκος σε  $m^3$  του παραγόμενου ξηρού καυσαερίου ανά kg ή  $m^3$  καιόμενου καυσίμου
- $t_A$  : Η θερμοκρασία σε °C του καυσαερίου, στην έξοδο του από το λέβητα
- $t_L$  : Η θερμοκρασία σε °C του καυσαερίου, στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος
- $c_{p_{m_{Air}}}$  : Η μέση ειδική θερμότητα σε  $\frac{kJ}{m^3 * K}$  του ξηρού καυσαερίου στο φάσμα θερμοκρασίας  $t_L$  σε  $t_A$

Εξίσωση για τον προσδιορισμό (ισχύει μέχρι  $T_a = 500^\circ C$ )

$$C_{p_{m_{\text{Atr}}}} = C_{p_{m_{\text{Atr}1}}} + C_{p_{m_{\text{Atr}2}}} + C_{p_{m_{\text{Atr}3}}} + C_{p_{m_{\text{Atr}4}}} + C_{p_{m_{\text{Atr}3}}^2} \text{ σε } \frac{W+h}{m^3 \cdot K} \quad (2.24)$$

$$C_{p_{m_{\text{Atr}}}} = C_{p_{m_{\text{Atr}}}} \cdot \frac{3600}{1000} \text{ σε } \frac{kJ}{m^3 \cdot K} \quad (2.25)$$

Όπου :

- $C_{p_{m_{\text{Atr}1}}} : 0.361 + 0.008 \cdot \frac{t_A}{1000} + 0.034 \cdot \left(\frac{t_A}{1000}\right)^2$
- $C_{p_{m_{\text{Atr}2}}} : 0.085 + 0.19 \cdot \frac{t_A}{1000} - 0.14 \cdot \left(\frac{t_A}{1000}\right)^2$
- $C_{p_{m_{\text{Atr}3}}} : 0.154 \cdot \frac{1-\gamma_{O_2T}}{20.95}$
- $C_{p_{m_{\text{Atr}4}}} : 0.3 \cdot \frac{t_A}{1000} - 0.2 \cdot \left(\frac{t_A}{1000}\right)^2$
- $C_{p_{m_{H_2O}}} :$  Η μέση ειδική θερμότητα σε  $\frac{kJ}{m^3 \cdot K}$  του υδρατμού του καυσαερίου στο φάσμα θερμοκρασιών  $t_i$  και  $t_A$ .
- $C_{p_{m_W}} : 0.414 + 0.038 \cdot \frac{t_A}{1000} + 0.034 \cdot \left(\frac{t_A}{1000}\right)^2$  σε  $\frac{W+h}{m^3 \cdot K}$
- $C_{p_{m_{H_2O}}} ; C_{p_{m_W}} \cdot \frac{3600}{1000}$  σε  $\frac{kJ}{m^3 \cdot K}$
- $V_w = V_{H_2O} = 11.111 \cdot h + 1.243 \cdot \gamma_{H_2O}$  σε  $\frac{m^3}{kg}$

Η τιμή  $u_A$  εξαρτάται από τη θερμοκρασία εξόδου του καυσαερίου από το λέβητα, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, το λόγο αέρα καύσης και το καύσιμο. Ως τάξη μεγέθους, η  $u_G$  στους συνήθεις λέβητες κυμαίνεται από 6% έως 15%.

Στον ακόλουθο **Πίνακα 2.2** δίνονται ενδεικτικά όρια για τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή απολειών θερμότητας λόγω θερμού καυσαερίου (σε %) για λέβητες που τροφοδοτούνται με πετρέλαιο και αέριο καύσιμο, ως συνάρτηση της ωφέλιμης ισχύος και της χρονικής περιόδου κατασκευής του λέβητα.



Παράμετρος	Κατηγοριοποίηση σε αντιστοιχία με την καλυπτόμενη χρονική περίοδο διάθεσης στην αγορά του λέβητα	Ονομαστική θερμική ισχύς μικρότερης από 400 kW					Ονομαστική θερμική ισχύς μεγαλύτερης από 400 kW
		≤ 25	≥ 25 - 35	≥ 35 - 50	≥ 50 - 70	≥ 70 - 400	≥ 400
<b>Περίπτωση για υγρό καύσιμο (Ελαφρύ Πετρέλαιο Θέρμανσης) και αέριο καύσιμο</b>							
<b>Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή απωλειών θερμότητας λόγω θερμού καυσαερίου (σε %)</b>	Περίπτωση α): Μέχρι και την 31 Δεκεμβρίου 1986. Παλαιές εγκαταστάσεις πριν την εφαρμογή του Π.Δ. 300	15	14	13,5	13	12,5	12
	Περίπτωση β): Από 1 Ιανουαρίου 1987 μέχρι και την 31 Δεκεμβρίου 1997. Παλαιές εγκαταστάσεις πλήρη εφαρμογή του Π.Δ. 300	14	13	12,5	12	11,5	11
	Περίπτωση γ): Από 1 Ιανουαρίου 1998 μέχρι και σήμερα. Νέες εγκαταστάσεις πλήρη εφαρμογή του Π.Δ. 335	12	11	10,5	10	9,5	9

*Πίνακας 2.2 Ενδεικτικά όρια για τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή απωλειών θερμότητας λόγω θερμού καυσαερίου (σε %) για λέβητες που τροφοδοτούνται με πετρέλαιο και αέριο καύσιμο, ως συνάρτηση της ωφέλιμης ισχύος και της χρονικής περιόδου διάθεσης του λέβητα στην αγορά.[20]*

## 2.2.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΤΟΥ ΛΕΒΗΤΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Αντιπροσωπεύουν τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον, που παρατηρούνται από το γεγονός ότι τα εξωτερικά τοιχώματα του λέβητα, παρά τη θερμική τους μόνωση, διατηρούνται πάντα σε μεγαλύτερη θερμοκρασία, από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η μεταφορά θερμότητας από όλες τις επιφάνειες λέβητα προσδιορίζεται με την υπολογιστική μέθοδο του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας στο πλήρες ονομαστικό φορτίο λειτουργίας σε kW.

Ο υπολογισμός της απώλειας θερμότητας  $q_s$ , η οποία είναι η απώλεια θερμότητας διαμέσου της ακτινοβολίας και συναγωγής των τοιχωμάτων του λέβητα λόγω υψηλότερης θερμοκρασίας σε σχέση με το περιβάλλον (η τιμή εκφράζεται σε σχέση με την προσδιδόμενη θερμική ισχύ).

Η μεταφορά θερμότητας από όλες τις επιφάνειες του λέβητα προσδιορίζεται με την άλφα- μέθοδο στο πλήρες ονομαστικό φορτίο (kW) σύμφωνα με το πρότυπο EN 304. Η απώλεια  $q_s$  μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$q_s = \frac{\sum Q_{x(i)}}{Q_B \cdot (1 - Q_u)} \quad (2.26)$$

$$Q_{xi} = A_i \cdot a_{tot} \cdot (t_{surf,i} - t_L) \text{ σε W} \quad (2.27)$$

Όπου :

- $Q_{xi}$  : Η εκπομπή θερμότητας από τμήμα των εξωτερικών τοιχωμάτων σε W, υπολογιζόμενη από VDI- Waermeatlas.
- $A_i$  : Η επιφάνεια του τμήματος σε (m<sup>2</sup>)
- $t_{surf,i}$  : Η μέση θερμοκρασία σε °C της i επιφάνειας του λέβητα
- $a_{tot} = a_{CON} + a_{RAD}$  : Ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας σε  $\frac{W}{m^2 \cdot K}$  υπολογιζόμενος από VDI- Waermeatlas
- $a_{CON}$  : Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω συναγωγής σε  $\frac{W}{m^2 \cdot K}$  υπολογιζόμενος από VDI- Waermeatlas
- $a_{conv,i} = 46 \cdot \frac{(t_{surf,i}^4 + t_L^4)}{2}^{-0.62} \cdot (t_{surf,i} - t_L)^{0.33}$
- $a_{RAD}$  : Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω ακτινοβολίας σε  $\frac{W}{m^2 \cdot K}$  υπολογιζόμενος από VDI- Waermeatlas
- $a_{rad,i} = \epsilon_i \cdot \sigma \cdot \frac{t_{surf,i}^4 - t_L^4}{t_{surf,i} - t_L}$
- $\sigma$  : η σταθερά Stefan - Boltzmann =  $5.67E - 0.8 \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$

Οι τιμές της εκπομπής ( $\epsilon$ ) πρέπει να επιλέγονται, ανάλογα με το είδος του υλικού του περιβλήματος και ενδεικτικές τιμές ως ακολούθως:

- Πλαστικά 0,90
- Χυτοσίδηρος, χωρίς επικάλυψη 0,65
- Αλουμίνιο, μη επιχρισμένο 0,10
- Αλουμίνιο βαμμένο 0,50
- Άλλες βαμμένες επιφάνειες 0,95
- Χαλύβδινα μη επιχρισμένα 0,8
- Χάλυβα, επενδυμένο με ψευδάργυρο 0,3
- Χάλυβα, γυαλισμένο με χρώμιο 0,1

Συνεπώς :

$$Q_{xi} = A_i * a_{tot} * (t_{surf,i} - t_L)$$

$$\rightarrow Q_{xi} = \sum_i (a_{conv,i} + a_{rad,i}) * A_i * (t_{surf,i} - t_L) \text{ σε W (2.28)}$$

Στους σύγχρονους λέβητες οι απώλειες από το περίβλημα είναι μικρές λόγω της καλής μόνωσης,  $U_L = 0.005 \div 0.04$  της τάξης δηλαδή του 0,5 έως 4%.



## 2.2.4 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ $q_B$

Οι απώλειες αναμονής είναι ένα μέρος της παραγόμενης ωφέλιμης θερμικής ενέργειας, η οποία είναι απαραίτητη για τη διατήρηση του λέβητα σε μια επιθυμητή θερμοκρασία, όταν δεν υπάρχει ζήτηση θερμικής ενέργειας για τη θέρμανση χώρων ή/ και ζεστού νερού χρήσης.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι απώλειες αναμονής ως ποσοστό της ωφέλιμης θερμικής ισχύος του συγκροτήματος λέβητα – καυστήρα με καύσιμο πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, σύμφωνα με τα αναφερόμενα στο Γερμανικό Πρότυπο DIN 4702 Μέρος 1.

Ωφέλιμη Εγκατεστημένη Ισχύς σε KW	Απώλειες Αναμονής $q_B$ σε %
έως 10	3.0
από 10 έως 20	2.0
από 20 έως 100	1.0
από 100 έως 1000	0.5

*Πίνακας 2.3 Απώλειες αναμονής σε συνάρτηση με την ωφέλιμη εγκατεστημένη ισχύ του συγκροτήματος λέβητα – καυστήρα, σύμφωνα με το Γερμανικό Πρότυπο DIN 4702 Μέρος 1 [20]*

Σύμφωνα με το αναφερόμενο Ευρωπαϊκό Πρότυπο DIN EN 303 Μέρος 2, οι απώλειες αναμονής ως ποσοστό της ωφέλιμης θερμικής ισχύος του συγκροτήματος λέβητα – πιεστικού καυστήρα με καύσιμο πετρέλαιο παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Ωφέλιμη Εγκατεστημένη Ισχύς σε KW	Απώλειες Αναμονής $q_B$ σε %
έως 10	3.0
από 10 έως 20	2.0
από 20 έως 50	1.4
από 50 έως 100	1.0
από 100 έως 300	0.75

*Πίνακας 2.4 Απώλειες αναμονής σε συνάρτηση με την ωφέλιμη εγκατεστημένη ισχύ του συγκροτήματος λέβητα – καυστήρα, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο DIN EN 303 Μέρος 2 [20]*

## 2.3 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΛΕΒΗΤΩΝ

### 2.3.1 ΘΑΛΑΜΟΣ ΚΑΥΣΗΣ

Ο θάλαμος καύσης ως πρώτο σκοπό έχει την πραγματοποίηση βέλτιστης καύσης. Περαιτέρω πρέπει με τη μορφή και το μέγεθός του να παραλαμβάνει όσο το δυνατόν περισσότερη θερμότητα, ώστε να είναι μικρές οι επιφάνειες συναγωγής. Επειδή η φλόγα αποδίδει πολλή θερμότητα με ακτινοβολία, τα τοιχώματα του χώρου καύσης πρέπει να είναι ανάλογα διαμορφωμένα, ώστε να την παραλάβουν.

Έχει αποδειχθεί ότι ο θάλαμος καύσης πρέπει να έχει κάποιες ελάχιστες διαστάσεις, ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη καύση. Το μήκος και η διάμετρος (ή η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου) του θαλάμου καύσης πρέπει να είναι προσαρμοσμένα στη φλόγα του καυστήρα. Αν οι διαστάσεις του είναι μικρότερες από τις αναγκαίες, τότε επηρεάζεται η εξέλιξη της καύσης στη φλόγα. Λόγω των ψυχρότερον τοιχωμάτων, με τα οποία έρχεται σε επαφή η φλόγα, προκύπτει πρόωρη ψύξη της φλόγας, συνολικά ή σε μεμονωμένες περιοχές, με αποτέλεσμα την ατελή καύση και την αύξηση των ρύπων. Αν αντιθέτως ο θάλαμος καύσης είναι πολύ μεγάλος, η φλόγα περιβάλλεται από ψυχρότερες αέριες μάζες και υποψύχεται στις οριακές περιοχές της. Έτσι θα πρέπει να βρεθεί μία σωστή μέση τιμή.

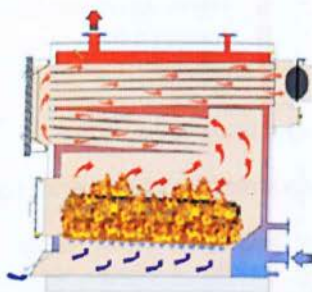
Για τους λέβητες πετρελαίου/ αερίου με ανεμιστήρα έχουν καθοριστεί ελάχιστες διαστάσεις μήκους και διαμέτρου του θαλάμου από πρότυπα (π.χ. ΕΛΟΤ 763, DIN 4702).

Η θερμική φόρτιση των τοιχωμάτων πρέπει να βρίσκεται μέσα σε ορισμένα πλαίσια. Χαμηλή φόρτιση σημαίνει μεγάλες διαστάσεις και άρα αυξημένο κόστος, ενώ πολύ υψηλή φόρτιση μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή καταπόνηση και αστοχία των υλικών.

Η διαμόρφωση του χώρου καύσης είναι ανάλογη με το καίόμενο καύσιμο, εξαρτάται δε και από το υλικό κατασκευής. Έτσι, οι χυτοσίδηροι λέβητες έχουν χώρο καύσης με κυματοειδείς επιφάνειες. Η μεγάλη επιφάνεια που δημιουργείται αυξάνει τη μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία. Αντίθετα οι χαλύβδινοι λέβητες έχουν λόγω κατασκευαστικής ευκολίας λείες επιφάνειες.

Οι περισσότεροι σύγχρονοι λέβητες πετρελαίου και αερίου με ανεμιστήρα, και ειδικά οι χαλύβδινοι κατασκευάζονται σύμφωνα με την αρχή της αναστροφής των καυσαερίων, όπως φαίνεται στη διπλανή **εικόνα 2.2**. Με την κατασκευή αυτή αποφεύγονται οι εσωτερικές επενδύσεις των τοιχωμάτων, οι οποίες έχουν σκοπό την ομοιόμορφη καύση των καυσαερίων και την προστασία των τοιχωμάτων από την φλόγα. Κάθε χώρος καύσης αποτελείται από ένα κοίλο κύλινδρο με κλειστή την πίσω πλευρά. Έτσι, τα καυσαέρια αναγκαστικά επιστρέφουν ρέοντας γύρω από τη φλόγα. Η φλόγα

περιβάλλεται από τα δικά της καυσαέρια κι έτσι εξατμίζονται και καίγονται τυχόν διαφεύγοντα σταγονίδια καυσίμου (αν πρόκειται για λέβητα πετρελαίου). Επιπλέον, με την αντροπή δημιουργείται τύρβη στα όρια της φλόγας, η οποία φθάνει μέχρι τον



Εικόνα 2.2



πυρήνα της φλόγας κι έτσι η περίσσεια του καυσίμου, η οποία υπάρχει πάντοτε εκεί, αναμιγνύεται καλύτερα με την περίσσεια αέρα στο εξωτερικό περίβλημα της φλόγας.

Επομένως η εστία μπορεί να εργάζεται με μικρότερους λόγους αέρα χωρίς να αυξάνει η παραγωγή αιθάλης. Η αιθάλη παράγεται από την οξείδωση  $SO_2$ . Στο άναμμα η αντίθλιψη στον θάλαμο καύσης πρέπει να είναι σχετικά χαμηλή και πολύ γρήγορα πρέπει να μειώνεται στην κανονική αντίθλιψη λειτουργίας. Σ' αντίθετη περίπτωση δημιουργεί πολύ αιθάλη που λερώνει και τον λέβητα και τον καυστήρα μ' αποτέλεσμα μια συνεχή κακή καύση.

Επίσης αυξάνει η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε  $CO_2$  (δηλαδή έχουμε μικρή περίσσεια αέρα), οπότε αυξάνει η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία, με αποτέλεσμα τα καυσαέρια να εγκαταλείπουν το χώρο καύσης με μικρότερες θερμοκρασίες.

Ικανοποιητικές τιμές σύγκρισης για τις παραπάνω παραμέτρους, βασισμένες σε λέβητες με καλή λειτουργία και ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης είναι:

- Βαθμός απόδοσης 91% ÷ 93%
- Ποσοστό  $CO_2$  στα καυσαέρια 11% ÷ 13%
- Βαθμός αιθάλης 0÷1
- Αντίθλιψη θαλάμου καύσης 15÷17 mm Σ.Υ. (για θερμική ισχύ 50.000 kcal/h)
- Θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων 180°C ÷ 200 °C

## A. ΟΓΚΟΣ ΘΑΛΑΜΟΥ ΚΑΥΣΗΣ

Ο καθορισμός του όγκου του θαλάμου καύσης αποτελεί σημαντικό στοιχείο διαμόρφωσης του λέβητα και των διαστάσεών του.

Βασικά επιζητείται ο μικρότερος δυνατός όγκος, ο οποίος θα επιτρέπει φυσικά την τέλεια καύση του εισερχόμενου καυσίμου.

Σαν βάση για τον καθορισμό του όγκου στους λέβητες πετρελαίου ισχύει η σχέση:

$$q_k = \frac{B \cdot H_v}{v} \quad (2.29)$$

Όπου:

- $v$  : Όγκος του θαλάμου καύσης [ $m^3$ ]
- $q_k$  : Ειδική φόρτιση του θαλάμου καύσης [ $\frac{kcal}{h \cdot m^3}$ ]
- $H_v$  : Κατώτερη θερμογόνος δύναμη του καυσίμου [kcal/kg]
- $B$  : Η ποσότητα του καυσίμου ανά ώρα [kg/h]
- 

Δηλαδή αν πολλαπλασιάσουμε τα μεγέθη  $B$  και  $H_v$ , προκύπτουν οι παραγόμενες από την καύση θερμίδες ανά ώρα.

## B. ΘΑΛΑΜΟΣ ΚΑΥΣΗΣ ΣΕ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΥΣ ΛΕΒΗΤΕΣ

Στους χυτοσιδήρους λέβητες, όπου η κατασκευή γίνεται κατά στοιχεία (φέτες), συνήθως ο θάλαμος καύσης δεν είναι κυλινδρικός. Για τη βελτίωση της μετάδοσης θερμότητας συχνά μέσα στο θάλαμο καύσης υπάρχουν πτερύγια διαφόρων μορφών. Συνήθως υπάρχουν διάκενα ανάμεσα στα στοιχεία, οπότε δεν έχουμε λειτουργία σύμφωνα με την αρχή της αναστροφής των καυσαερίων.

Πτερύγια θα μπορούσαν να προστεθούν και στο θάλαμο καύσης χαλύβδινων λεβήτων. Φυσικά πρόκειται για μια κατασκευή για την οποία, ενώ το θερμικό κέρδος είναι μικρό, η αντίστοιχη οικονομική επιβάρυνση είναι δυσανάλογα μεγάλη.



Επειδή η θερμική φόρτιση στους σύγχρονους λέβητες είναι υψηλή, με κίνδυνο την ταχεία αστοχία των υλικών, σε ορισμένους λέβητες εγκαθίσταται μέσα στο θάλαμο καύσης ένα κυλινδρικό στοιχείο από ανοξείδωτο χάλυβα. Το κυλινδρικό στοιχείο μπορεί να είναι πίσω κλειστό (μορφή κάδου) ή ανοικτό. Το χάλυβδινο στοιχείο προστατεύει τα τοιχώματα από την υψηλή θερμική φόρτιση. Το ίδιο ερυθροπυρώνεται και επανεκπέμπει στα τοιχώματα μόνο μέρος της ακτινοβολούμενης θερμότητας από τη φλόγα.

## Γ. ΘΑΛΑΜΟΣ ΚΑΥΣΗΣ ΣΕ ΔΙΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΛΕΒΗΤΕΣ

Διμεταλλικός λέβητας.



Εικόνα 2.3

Ακόμη κατασκευάζονται ειδικοί λέβητες, οι καλούμενοι διμεταλλικοί. Πρόκειται για χάλυβδινους λέβητες, στους οποίους ο (χάλυβδινος) θάλαμος καύσης έχει εσωτερικά ένα χιτώνιο από χυτοσίδηρο. Το χιτώνιο έχει εσωτερικά πτερύγια, για βελτίωση της μετάδοσης θερμότητας, ενώ μπορεί να είναι ενιαίο ή να σχηματίζεται από δακτύλιους. Συνήθως εσωτερικά του χυτοσίδηρου χιτωνίου τοποθετείται ένα κυλινδρικό στοιχείο από ανοξείδωτο χάλυβα για προστασία έναντι υψηλής θερμικής φόρτισης.

Οι διμεταλλικές θερμαντικές επιφάνειες, στις οποίες το νερό έρχεται σε επαφή με το χάλυβα και τα καυσαέρια με τον χυτοσίδηρο, λόγω της μεταβαλλόμενης θερμοκρασίας των καυσαερίων δεν έχουν ομοιόμορφη θερμική φόρτιση. Αυτό αντιμετωπίζεται με μεταβολή της θερμοπερατότητας των διμεταλλικών θερμαντικών επιφανειών, η οποία επιτυγχάνεται με μεταβολή της ποιότητας επαφής χάλυβα/ χυτοσίδηρου και άρα της αντίστασης στη μετάδοση θερμότητας. Στα σημεία στα οποία θέλουμε αυξημένη θερμοπερατότητα οι χυτοσίδηροι δακτύλιοι λειαινόνται, ενώ για μειωμένη θερμοπερατότητα οι χυτοσίδηροι δακτύλιοι αφήνονται τραχείς ή ακόμη δημιουργούνται αυλακώσεις.

## Δ. ΘΑΛΑΜΟΣ ΚΑΥΣΗΣ ΣΕ ΛΕΒΗΤΕΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΚΑΥΣΤΗΡΑ

Εντελώς διαφορετική είναι η φιλοσοφία σχεδιασμού του θαλάμου καύσης των λεβήτων με ατμοσφαιρικό καυστήρα αερίου, οι οποίοι είναι ειδικοί λέβητες. Ο θάλαμος καύσης πρέπει να έχει επαρκείς διαστάσεις ώστε να εγκατασταθεί μέσα σ' αυτόν ο ατμοσφαιρικός καυστήρας αερίου. Επάνω από τον καυστήρα θα πρέπει να υπάρχει επαρκής χώρος, ώστε να εξελίσσεται άγνογα η καύση, χωρίς επηρεασμό της φλόγας.

Οι λέβητες με ατμοσφαιρικό καυστήρα αερίου συνήθως είναι χυτοσίδηροι, υπάρχουν όμως και λέβητες από ανοξείδωτο χάλυβα.

## Ε. ΠΙΕΣΤΙΚΟΣ Ή ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ ΘΑΛΑΜΟΣ ΚΑΥΣΗΣ

Ο πιεστικός θάλαμος καύσης υιοθετήθηκε με μεγάλη επιτυχία το 1945 από τη βιομηχανία λεβήτων YGNIS για την καύση στερεών καυσίμων με μεγάλη περιεκτικότητα στάχτης. Η ανάπτυξη των καυστήρων πετρελαίου και αερίου βασίστηκε στα σχέδια των πιεστικών λεβήτων.

Σε αυτούς τους θαλάμους η καύση γίνεται με πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Η πίεση που επικρατεί στους θαλάμους των λεβήτων αυτών, είναι απαραίτητη για την υπερνίκηση των αντιστάσεων που συναντούν τα καυσαέρια κατά την διαδρομή τους προς την καμινάδα του λέβητα. Οι αντιστάσεις αυτές δημιουργούνται σκοπίμως από τους σχεδιαστές των λεβήτων προκειμένου να επιβραδύνουν και να στροβιλίσουν τα καυσαέρια με σκοπό την μεγαλύτερη μεταφορά θερμικής ενέργειας από τα καυσαέρια προς το νερό.

Το άθροισμα των αντιστάσεων αυτών ονομάζεται αντίθλιψη του λέβητα και μετράται σε mm H<sub>2</sub>O ή mbar. Την υπερπίεση αυτή καλείται να την υπερνικήσει η πτερωτή του ανεμιστήρα του καυστήρα.

Οι καυστήρες λειτουργούν με μία πίεση, περίπου 200÷300mm H<sub>2</sub>O, προ του δίσκου ανάμιξης, τα δε καυσαέρια ωθούνται μέσα στον λέβητα αντί να έλκονται από την καμινάδα, όπως στην περίπτωση των κλασικών λεβήτων. Η αντίσταση συνεπώς του λέβητα προς τα καυσαέρια μπορεί να είναι μεγαλύτερη και οι διατομές των αεριαλών μικρότερες.

Η μεγάλη ταχύτητα των καυσαερίων που πετυχαίνουμε μ' αυτόν τον τρόπο έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της μεταφερόμενης θερμότητας ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας. Από πυροτεχνικής πλευράς η υπό πίεση καύση προσφέρει το μεγάλο πλεονέκτημα μιας συνεχούς και σταθερής ποσότητας αέρα καύσης. Με μία σωστή λειτουργία του καυστήρα μπορεί κανείς να εγγυηθεί έναν μεγάλο βαθμό απόδοσης. Οι λέβητες πιεστικής καύσης μπορούν να δουλέψουν χωρίς καμινάδα, αρκεί να υπάρχει ένας αγωγός των καυσαερίων προς τον ελεύθερο αέρα. Οι αλλαγές στον ελκυσμό της καμινάδας (συνήθως 2 έως 6 mm H<sub>2</sub>O) δεν επηρεάζουν ουσιαστικά την ποσότητα του αέρα καύσης και τον βαθμό απόδοσης. Αντίθετα τον επηρεάζανε πολύ στους κλασικούς λέβητες που με μεγάλη περίσσεια αέρα καύσης η θερμοκρασία της φλόγας μειωνόταν και άκαυστα σταγονίδια πετρελαίου έφευγαν με τα καυσαέρια που μύριζαν πετρέλαιο. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της πιεστικής καύσης είναι η μικρή διατομή της καμινάδας αν τη συγκρίνουμε με τους κλασικούς λέβητες.

Μερικά ακόμη ουσιώδη χαρακτηριστικά των σύγχρονων πιεστικών λεβήτων, τριών διαδρομών είναι:

- **Η επιστρεφόμενη φλόγα στο θάλαμο καύσης**, που κύρια συντελεί στην πλήρη καύση με μικρή περίσσεια αέρα καθώς και στην ομοιόμορφη φόρτιση του θαλάμου καύσης.
- **Η συμμετρική τοποθέτηση των αεριαλών** στους χαλύβδινους λέβητες, που βασικά μας προσφέρει ομοιόμορφη διαστολή όλων των τμημάτων του λέβητα. (Αντιμετώπιση των αυξημένων ειδικών φορτίσεων  $> 25.000 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$  των σύγχρονων πιεστικών λεβήτων).
- **Οι σπειροειδείς στροβιλιστές καυσαερίων**. Πρόκειται για σπειροειδή στοιχεία που τοποθετούνται μέσα στους φλογοσωλήνες και σκοπό έχουν τη δημιουργία στροβιλοειδούς ροής, αυξάνοντας έτσι την ταχύτητα των καυσαερίων με αποτέλεσμα την προσδοκώμενη αύξηση της μεταφοράς θερμότητας στις



επιφάνειες αγωγιμότητας και τη δυνατότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας των καυσαερίων.

Από τα παραπάνω συνοπτικά έχουμε :

#### **Πλεονεκτήματα**

- Μικρότερος όγκος και βάρος λέβητα για την ίδια θερμική ισχύ διότι τη μικρότερη θερμαινόμενη επιφάνεια την αντισταθμίζουν με το να παραμένουν τα καυσαέρια περισσότερο χρόνο μέσα στο λέβητα.
- Καλύτερη καύση, λόγω καλύτερης επαφής ( λόγω πίεσης ) αέρα και καυσίμου.
- Επηρεάζονται ελάχιστα από τις ατέλειες της καμινάδας, ως προς τον ελκυσμό αυτής.
- Οικονομική λειτουργία.

#### **Μειονεκτήματα.**

- Απαιτούν καυστήρα αντίστοιχης δυνατότητας στη δημιουργία της απαιτούμενης πίεσης.
- Συχνά έχουν αυξημένη στάθμη θορύβου.

### **2.3.2 Η ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ**

Η εσωτερική επένδυση, η οποία είναι από πυρίμαχη άργιλλο, χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε παλιότερες κατασκευές για τρεις λόγους:

1. Σωστή και ομοιόμορφη οδήγηση των καυσαερίων, ώστε να αποφεύγονται υπερφορτίσεις κυρίως στα πίσω μέρη του λέβητα.
2. Ανάκλαση της ακτινοβολίας της φλόγας, ώστε να εξατμισθούν όσα σταγονίδια διέφευγαν λόγω ανεπαρκούς σταγονιδιοποίησης ή ασταθούς παροχής του αέρα.
3. Προστασία των τοιχωμάτων του χώρου καύσης από επαφή με ασταθή φλόγα. Η εσωτερική επένδυση ήταν ένα βοηθητικό μέτρο για μη καταλλήλως μελετημένους λέβητες και καυστήρες.

Η εσωτερική επένδυση έχει αρνητική επίδραση στη μετάδοση θερμότητας μέσα στο χώρο καύσης, με αποτέλεσμα οι επιφάνειες συναγωγής, αν δεν είναι αυξημένες, να μην μπορούν να παραλάβουν τη μεγάλη ποσότητα θερμότητας που παραμένει στα καυσαέρια και έτσι να μειώνεται η ισχύς του λέβητα.

Στις σύγχρονες κατασκευές λεβήτων η λύση της αναστροφής των καυσαερίων μέσα στο θάλαμο καύσης και η καλύτερη σταθεροποίηση της φλόγας έχουν παραμερίσει τις δυσκολίες και η ύπαρξη επένδυσης είναι ένδειξη κακού σχεδιασμού.

Εσωτερική επένδυση μπορούμε να συναντήσουμε σήμερα σε μερικούς λέβητες, οι οποίοι για κάποιους λόγους έχουν κοντό θάλαμο καύσης, οπότε τοποθετείται εσωτερική επένδυση σε επίπεδο μέρος (καθρέφτης) του θαλάμου καύσης για να τον προστατεύσει από τη φλόγα.



### 2.3.3 ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ

Ως επιφάνειες συναγωγής νοούνται τα μέρη του λέβητα τα οποία έρχονται σε επαφή με το νερό (ή αντίστοιχα τον αέρα) και παραλαμβάνουν θερμότητα αλλά δεν "βλέπουν" τη φλόγα. Η μετάδοση θερμότητας από τα καυσάερια προς αυτές γίνεται βασικά με συναγωγή (εξ ου και η ονομασία επιφάνειες συναγωγής), ενώ τα καυσάερια συνεχίζουν να αποδίδουν συνεχώς μειωμένο κλάσμα της θερμότητας με την ακτινοβολία, οφειλόμενη στο περιεχόμενο διοξειδίου του άνθρακα και τον περιεχόμενο υδρατμύ.

Οι επιφάνειες συναγωγής του λέβητα πρέπει να παραλάβουν όση θερμότητα δεν αποδόθηκε στο θάλαμο καύσης. Θα πρέπει λοιπόν να έχουν επαρκές μέγεθος, ώστε να παραλάβουν όσο το δυνατόν περισσότερη θερμότητα και να κατεβάσουν τη θερμοκρασία μέχρι την ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή, χωρίς όμως να την παραβιάζουν, διότι σε διαφορετική περίπτωση προκύπτουν κίνδυνοι διάβρωσης.

Για να βελτιωθεί η μετάδοση θερμότητας με συναγωγή, η οποία έχει χαμηλούς συντελεστές στα αέρια (καυσάερια), μας είναι γνωστό ότι θα πρέπει να επιδιώκουμε βελτίωση της τύρβης. Η αύξηση της τύρβης για βελτίωση της συναγωγής έχει, βέβαια ως αποτέλεσμα και την αύξηση της πτώσης πίεσης, η οποία φυσικά δεν πρέπει να υπερβαίνει κάποια τιμή, ανάλογη προς το μέγεθος (θερμική ισχύ) του λέβητα.

Η θερμική ισχύς που πρέπει να παράγει ο λέβητας είναι ίση με τις απώλειες θερμότητας του λέβητα, των σωληνώσεων καθώς και με την ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για τη θέρμανση των χαλύβδινων και υδάτινων μαζών της εγκατάστασης μετά από τις διακοπές λειτουργίας της.

Η απαιτούμενη θερμαινόμενη επιφάνεια του λέβητα (F), προκύπτει από τη σχέση:

$$F = \frac{Q_h}{K \cdot (1+Z_R)} \quad (2.30)$$

Όπου:

- F: θερμαινόμενη επιφάνεια του λέβητα [m<sup>2</sup>]
- Q<sub>h</sub>: απώλειες θερμότητας του κτιρίου, περιλαμβανομένων όλων των προσαυξήσεων [kcal/h]
- K: ειδική φόρτιση θερμαινόμενης επιφάνειας του λέβητα [  $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$  ]
- Z<sub>R</sub>: προσαύξηση για τις απώλειες θερμότητας του δικτύου σωληνώσεων
  - Z<sub>R</sub> = 0,05 για εγκαταστάσεις με προστατευμένο δίκτυο σωληνώσεων
  - Z<sub>R</sub> = 0,10 για λιγότερο προστατευμένο δίκτυο σωληνώσεων
  - Z<sub>R</sub> = 0,15 για δυσμενείς εγκαταστάσεις

Στην πράξη όμως διαφέρουν οι υπολογισμοί. Πρακτικά λαμβάνεται:

$$F = \frac{Q_h}{K} \quad (2.31)$$

Οι τιμές του K ποικίλουν από κατασκευαστή σε κατασκευαστή. Συνήθως ξεκινούν από K= 20.000  $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$  (για τους μικρούς σύγχρονους πιεστικούς λέβητες τριών διαδρομών) μέχρι και K= 50.000  $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$  (για τους μεγάλους λέβητες).

Ένα άλλο αποτελεσματικό μέτρο είναι η χρήση περυγιών, τα οποία ουσιαστικά αυξάνουν την επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας.

Οι επιφάνειες συναγωγής στους χαλύβδινους λέβητες είναι συνήθως σωλήνες, ενώ σε λίγες περιπτώσεις, στους λέβητες με ατμοσφαιρικό καυστήρα αερίου, μπορούν να είναι κανάλια ποικίλης μορφής. Στους σωλήνες η βελτίωση της συναγωγής μπορεί να γίνει είτε με συνεχείς μεταβολές της διεύθυνσης (οφιοειδείς) ή αυξομειώσεις της διατομής των σωλήνων, είτε με την τοποθέτηση μέσα στους σωλήνες διατάξεων αύξησης της τύρβης, όπως στροβιλιστές τοποθετούμενοι στην είσοδο των σωλήνων ή απλές συρμάτινες ελικοειδείς σπείρες.

Σε ορισμένους λέβητες οι σωλήνες καυσαερίων είναι διμεταλλικοί ή και τριμεταλλικοί. Εδώ ο εσωτερικός περυγιοφόρος σωλήνας είναι επίσης χαλύβδινος.

Εντελώς διαφορετική είναι η διαμόρφωση των επιφανειών συναγωγής στους χυτοσίδηρους λέβητες. Οι χυτοσίδηροι λέβητες γενικά χαρακτηρίζονται από διάκενα μεταξύ δύο στοιχείων του λέβητα. Μέσα από τα διάκενα αυτά ρέουν τα καυσαέρια από το χώρο καύσης προς τις επιφάνειες συναγωγής και από εκεί στα κανάλια συλλογής των καυσαερίων. Με την πολλαπλή αυτή διαίρεση σε στρώματα των καυσαερίων και του θερμαντικού μέσου επιτυγχάνεται καλή μετάδοση θερμότητας. Γενικά οι αγωγοί των καυσαερίων θα πρέπει να είναι έτσι διαμορφωμένοι, ώστε η ροή να είναι τυρβώδης, οπότε έχουμε υψηλούς συντελεστές μετάδοσης θερμότητας. Αυτό στους χυτοσίδηρους λέβητες είναι σχετικά εύκολο λόγω των δυνατοτήτων διαμόρφωσης, τις οποίες πρέπει να παρέχει η χύτευση. Η μετάδοση θερμότητας βελτιώνεται και με την προσθήκη πτερυγίων και πτυχώσεων ποικίλων μορφών.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί ο σχεδιασμός των επιφανειών συναγωγής στους λέβητες με ατμοσφαιρικό καυστήρα αερίου. Σ' αυτούς, η θερμότητα των καυσαερίων μεταδίδεται κυρίως στις επιφάνειες συναγωγής, σε αντίθεση με τους λοιπούς λέβητες. Επίσης, επειδή η κίνηση των καυσαερίων οφείλεται αποκλειστικά στην άνωση, οι ταχύτητες είναι χαμηλές και άρα χαμηλοί οι συντελεστές συναγωγής, αν δεν φροντίσουμε να τους βελτιώσουμε με κατασκευαστικά μέτρα βελτίωσης της τύρβης και με τη διάταξη πτερυγίων διάφορων μορφών.

## 2.4 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΛΕΒΗΤΩΝ

Οι λέβητες κατατάσσονται στις παρακάτω βασικές κατηγορίες ανάλογα με:

- A. Το υλικό κατασκευής τους σε χαλύβδινους και χυτοσίδηρους.
- B. Το είδος του χρησιμοποιούμενου καυσίμου σε λέβητες πετρελαίου, αερίου, στερεών καυσίμων.
- Γ. Τον φορέα μετάδοσης της θερμότητας π.χ. στη θέρμανση κατοικιών ο φορέας συνήθως είναι το νερό.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα δοθεί έμφαση στις δύο πρώτες κατατάξεις.

### 2.4.1 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΛΕΒΗΤΩΝ ΒΑΣΕΙ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

#### A. ΧΑΛΥΒΔΙΝΟΙ ΛΕΒΗΤΕΣ

Οι λέβητες αυτοί κατασκευάζονται από χαλυβοελάσματα κατάλληλα διαμορφωμένα σε κύλινδρο και στράντζα και από σωλήνες χωρίς ραφή. Σαν μέθοδος κατασκευής χρησιμοποιείται η ηλεκτροσυγκόλληση.

#### Πλεονεκτήματα:

1. Μικρό βάρος
2. Μικρή ευαισθησία σε γρήγορες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας. (αντοχή σε θερμικά σοκ )
3. Καλός βαθμός απόδοσης.
4. Εύκολη επισκευή, με συγκόλληση.
5. Αντοχή σε μεγάλες πιέσεις.
6. Προσαρμογή των διαστάσεων του λέβητα σε ορισμένες απαιτήσεις
7. Χαμηλότερο κόστος αγοράς.



### **Μειονεκτήματα:**

1. Δεν υπάρχει δυνατότητα αύξησης της ισχύος τους.
2. Δύσκολη μεταφορά στους λέβητες μεγάλης ισχύος.
3. Υφίστανται οξειδώσεις και ηλεκτροδιαβρώσεις.

Κατασκευάζονται σε ισχύς μέχρι 2.000.000kcal/h. Σε λέβητες μέχρι 90.000kcal/h και πίεση λειτουργίας μέχρι 6 bar τα πάχη των ελασμάτων για τον φλογοθάλαμο και τους καθρέπτες είναι τουλάχιστον 4 mm ενώ για τον νεροθάλαμο 3mm.

### **Σχεδιαστικά:**

- Πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την ομοίμορφη κυκλοφορία του νερού μέσα στον νεροθάλαμο για να αποκλείονται οι ατμοποιήσεις.
- Να προβλέπεται δυνατότητα εύκολου καθαρισμού.
- Να υπάρχουν υποδοχές για την τοποθέτηση των θερμοστατών.
- Να υπάρχει οπή παρατήρησης της φλόγας.
- Να υπάρχει πρόβλεψη για κρουνό εκκένωσης.

## **B. ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ ΛΕΒΗΤΕΣ**

Κατασκευάζονται σε φέτες που συνδέονται μεταξύ τους. Κυκλοφορούν σε σειρές π.χ. από 20000 έως 60000 kcal/h, ή από 100000 έως 250000 kcal/h. Η κάθε σειρά έχει διαφορετική σχεδίαση φέτας.

### **Πλεονεκτήματα:**

1. Αντοχή στις διαβρώσεις.
2. Μικρή περιεκτικότητα νερού, άρα μικρή θερμική αδράνεια.
3. Επειδή κατασκευάζονται σε φέτες:

α) Μπορούν να μεταφερθούν φέτα – φέτα στο λεβητοστάσιο και να συναρμολογηθούν εκεί.

β) Σε περίπτωση τρυπήματος ή σπασίματος μιας φέτας μπορεί να αντικατασταθεί.

γ) Αν ο λέβητας δεν είναι ο τελευταίος της σειράς μπορεί να επεκταθεί με προσθήκη φέτας.

### **Μειονεκτήματα:**

1. Μεγάλο κόστος αγοράς.
2. Μεγάλο βάρος.
3. Δύσκολη επισκευή.
4. Μικρή αντοχή στα θερμικά σοκ.
5. Δύσκολος καθαρισμός σε ορισμένους τύπους.

Όπως και στους χαλύβδινους λέβητες, έτσι και στους χυτοσίδηρους η μορφή του θαλάμου καύσης σε συνδυασμό με τις διαδρομές των καυσαερίων και το μέγεθος της



θερμαινόμενης επιφάνειας, συντελούν στη διαμόρφωση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από τον λέβητα σε αποδεκτά επίπεδα ( $t_k \leq 200^\circ\text{C}$ ) και στην επίτευξη υψηλού βαθμού απόδοσης ( $\eta > 90\%$ ).

Σήμερα όλοι οι αξιόλογοι κατασκευαστές χυτοσίδηρων λεβήτων πετρελαίου κατασκευάζουν λέβητες με στρογγυλές και όχι ορθογώνιες φέτες, για ομοιόμορφη κατανομή στην περιφέρεια, των διαστολικών τάσεων, σε περίπτωση θερμικού σοκ, το οποίο υφίσταται συνήθως στο θάλαμο καύσης κατά τη διάρκεια του ανάματος.

Ο κυλινδρικός θάλαμος καύσης είναι ο ιδανικός για την κυλινδρική φλόγα του πετρελαίου.

Ένα ακόμα κοινό γνώρισμα των χυτοσίδηρων και χαλύβδινων λεβήτων είναι η λειτουργία τους με το σύστημα των τριών πλήρων διαδρομών καυσαερίων και ο σχεδιασμός τους για καύση πετρελαίου με πιεστικούς καυστήρες.

Αν δεχθούμε ότι η διάβρωση του χυτοσίδηρου είναι ακόμη πολύ μικρή (εκτιμάται γύρω στο  $\frac{1}{10}$  mm το χρόνο- πειραματικά), τότε θα πρέπει οι χυτοσίδηροί λέβητες να έχουν απεριόριστη διάρκεια ζωής. Όμως υπάρχουν κι άλλοι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην επιλογή ενός καλού λέβητα. Μερικοί από αυτούς είναι το ομοιόμορφο πάχος και η μέθοδος χύτευσης του μαντεμιού, η αντοχή του σε δυσμενείς θερμικές καταπονήσεις (ελαστικότητα υλικού) κ.ά. για παράδειγμα σε εγκαταστάσεις θέρμανσης που λειτουργούν χωρίς βάνα ανάμιξης και με υψηλές θερμοκρασίες νερού ( $70^\circ\text{C} \div 90^\circ\text{C}$ ) προκαλούνται συχνά λόγω της διακοπτόμενης λειτουργίας του λέβητα, ανομοιόμορφες καταπονήσεις των θερμικών επιφανειών του.

## **2.4.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΛΕΒΗΤΩΝ ΒΑΣΕΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ**

### **2.4.2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΛΕΒΗΤΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ**

#### **Πλεονεκτήματα**

- Ύπαρξη δικτύου διανομής.
- Χαμηλή τιμή αγοράς.

#### **Μειονεκτήματα**

- Καταλαμβάνει μεγάλο ωφέλιμο χώρο.
- Υψηλό κόστος λειτουργίας.
- Υψηλό και συνεχώς μεταβαλλόμενο κόστος καυσίμου.
- Ανάγκη συντήρησης.
- Πετρέλαιο μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.
- Ανάγκη προμήθειας μέσω βυτιοφόρων.

## 2.4.2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΛΕΒΗΤΩΝ ΑΕΡΙΟΥ

### Πλεονεκτήματα

Το φυσικό αέριο σε σχέση με το πετρέλαιο:

- Είναι προς το παρόν φτηνότερο (~30%).
- Είναι συνεχώς διαθέσιμο και δεν χρειάζεται να το προαγοράσετε και να το αποθηκεύσετε (πληρώνετε όσο χρησιμοποιείτε).
- Χρησιμοποιεί συνήθως καυτήρες και λέβητες νεότερης γενιάς με καλύτερη απόδοση.
- Έχει γρηγορότερη απόκριση στη ρύθμιση θερμοκρασίας.

### Μειονεκτήματα

- Περιορισμένο δίκτυο διανομής.
- Μηνιαίο πάγιο για την παροχή αερίου.
- Υψηλό κόστος αγοράς (καυστήρας, λέβητας, σωληνώσεις, καλοριφέρ).
- Υψηλό κόστος λειτουργίας.
- Συνεχώς μεταβαλλόμενο κόστος καυσίμου.
- Ανάγκη συντήρησης.
- Φυσικό αέριο μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

## 2.4.2.3 ΛΕΒΗΤΕΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Ως λέβητας χαμηλών θερμοκρασιών, σύμφωνα με την Οδηγία 92/42/ΕΟΚ του Συμβουλίου, θεωρείται λέβητας ο οποίος μπορεί να λειτουργεί συνεχώς με θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας από 35 έως 45°C και που μπορεί, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, να επιτρέψει συμπύκνωση υδρατμών. Στους λέβητες αυτούς περιλαμβάνονται οι λέβητες συμπύκνωσης των υδρατμών των καυσαερίων, οι οποίοι χρησιμοποιούν υγρά καύσιμα.

Οι λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών γενικά λόγω της κατασκευής και της ρύθμισής τους λειτουργούν με μέγιστη θερμοκρασία νερού 75 °C και ελάχιστη τη θερμοκρασία δωματίου, χωρίς να εμφανίζονται συμπυκνώσεις. Προφανώς οι λέβητες αερίου είναι καταλληλότεροι για λειτουργία ως λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών.

Οι χαμηλές θερμοκρασίες νερού μειώνουν τις θερμικές απώλειες ετοιμότητας και καυσαερίων, βελτιώνοντας σημαντικά τον ετήσιο βαθμό εκμετάλλευσης.

Διεθνώς υπάρχει η τάση οι λέβητες να μετατραπούν σε λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών. Στη Γερμανία οι λέβητες θέρμανσης με ισχύ <400 kW από την 1/1/1998 πρέπει να είναι λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών. Αν η ισχύς είναι >70 kW η λειτουργία του λέβητα θα πρέπει να είναι πολυβάθμια ή συνεχής χωρίς βαθμίδες.

Οι λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών είναι κατάλληλοι για εφαρμογές με χαμηλή θερμοκρασία νερού, όπως είναι η ενδοδαπέδια θέρμανση ή σε εγκαταστάσεις θέρμανσης με συνδυασμό με αντλίες θερμότητας.

Οι λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών διαφέρουν κατασκευαστικά από τους συμβατικούς λέβητες μόνο κατά ορισμένες λεπτομέρειες. Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες αφορούν διαμορφώσεις του θαλάμου καύσης και των σωλήνων συναγωγής, οι οποίες έχουν ως στόχο υψηλότερες θερμοκρασίες των καυσαερίων στις επιφάνειες επαφής με τα τοιχώματα, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος συμπύκνωσης υδρατμών. Σε περίπτωση σημαντικής πιθανότητας κίνδυνος συμπύκνωσης τη λύση αποτελούν υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση.

Από πλευράς ενεργειακής απόδοσης οι λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών παρουσιάζουν υψηλότερους βαθμούς απόδοσης σε σχέση με τους συμβατικούς. Οι λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών μπορούν να αντικαταστήσουν σε υφιστάμενες



εγκαταστάσεις τους συμβατικούς λέβητες, βελτιώνοντας την ενεργειακή συμπεριφορά του συστήματος, με μόνη προϋπόθεση την επαναδιαστασιολόγηση των θερμαντικών σωμάτων, έτσι ώστε να μπορούν να προσφέρουν την απαραίτητη θερμική ισχύ. Σ' αυτήν την περίπτωση το μέγεθος των θερμαντικών σωμάτων είναι σαφώς μεγαλύτερο

#### 2.4.2.3.1 ΛΕΒΗΤΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Οι παραδοσιακοί λέβητες πετρελαίου και αερίου, ανεξαρτήτως βαθμού απόδοσης, χρησιμοποιούν μόνο μέρος της παραγόμενης από την καύση θερμότητας καθώς αποβάλλουν στην ατμόσφαιρα καυσαέρια και υδρατμούς σε υψηλή θερμοκρασία.

Αντίθετα, οι λέβητες συμπύκνωσης αναπτύχθηκαν για την εκμετάλλευση της ενθαλπίας συμπύκνωσης των υδρατμών των καυσαερίων, δηλαδή της ανώτερου θερμογόνου δύναμης του καυσίμου. Οι λέβητες συμπύκνωσης αποτελούν ουσιαστικά υποκατηγορία των λεβήτων χαμηλών θερμοκρασιών. Πρόκειται βασικά για λέβητες οι οποίοι καίνε αέρια καύσιμα, υπάρχουν όμως και ορισμένοι λέβητες πετρελαίου. Τα αέρια καύσιμα έχουν το πλεονέκτημα αυξημένης περιεκτικότητας υδρογόνου, ενώ δεν περιέχουν θείο, τα οξείδια του οποίου τα παραγόμενα από την καύση προκαλούν διάβρωση σε περίπτωση συμπύκνωσης.

Οι λέβητες συμπύκνωσης επιτυγχάνουν καλύτερα αποτελέσματα με συστήματα θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας (ενδοδαπέδια θέρμανση ή σώματα τύπου πάνελ), συστήνονται και για συστήματα θέρμανσης που χρησιμοποιούν κλασικά σώματα καλοριφέρ.

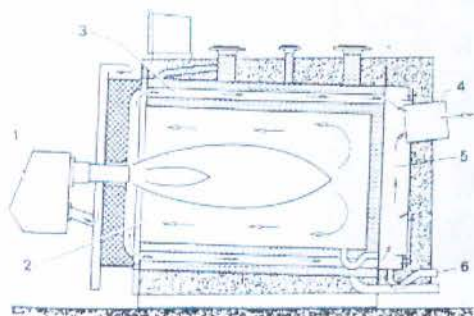
Η απόδοση των λεβήτων συμπύκνωσης είναι αυξημένη κατά 5% - 15% σε σχέση με των συμβατικών συστημάτων και εξασφαλίζουν βαθμό απόδοσης μέχρι 107% περίπου, καθώς εκμεταλλεύονται περίπου το 50% έως 80% της λανθάνουσας θερμότητας των υδρατμών. Μπορούν να υποκαταστήσουν χωρίς καμία μετατροπή στο σύστημα θέρμανσης τους λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών και να βελτιώσουν την ενεργειακή συμπεριφορά του συστήματος.

Τα συμπυκνώματα και μάλιστα τα προερχόμενα από την καύση υγρών καυσίμων θα πρέπει να εξουδετερώνονται πριν να αποχετευθούν.

Για να χρησιμοποιηθούν λέβητες συμπύκνωσης θα πρέπει η θερμοκρασία του νερού να είναι χαμηλότερη από το σημείο δρόσου ή υγροποίησης, το οποίο είναι περίπου 55°C για το φυσικό αέριο και 48° C για το πετρέλαιο.

Από κατασκευαστική άποψη διακρίνουμε δύο δυνατότητες :

1. Συμπύκνωση των υδρατμών μέσα στον ίδιο λέβητα

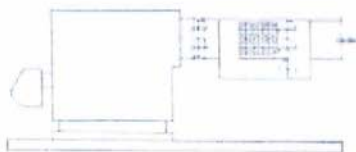


- 1.καυστήρας
- 2.θάλαμος καύσης
- 3.κανάλια συναγωγής
- 4.έξοδος καυσαερίων
- 5.συλλέκτης
- 6.εκροή συμπυκνώματος με σιφώνι

**Εικόνα 2.4 Λέβητας (ανοξείδωτος) με συμπύκνωση υδρατμών μέσα στον ίδιο λέβητα**



## 2. Συμπύκνωση των υδρατμών σε πρόσθετο εναλλάκτη



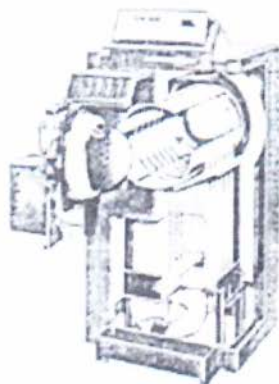
**Εικόνα 2.5 Λέβητας με συμπύκνωση υδρατμών σε πρόσθετο εναλλάκτη**

Το πρώτο είδος απαιτεί κατάλληλο συνολικό σχεδιασμό του συστήματος καυστήρα- λέβητα- συστήματος ρύθμισης και καπνοδόχου, η οποία θα πρέπει να μην είναι ευαίσθητη στην υγρασία. Απαιτεί συνολική κατασκευή ανθεκτική στη διάβρωση ή προστατευμένη από τη διάβρωση.

Οι επιφάνειες αναγκαστικά θα είναι επαυξημένες σε σύγκριση με τους συμβατικούς λέβητες για να παραληφθεί η επί πλέον θερμότητα. Οι επιφάνειες είναι λείες, για να διευκολύνουν τη ροή του συμπυκνώματος. Πλέον ως υλικό κατασκευής των θερμαντικών επιφανειών χρησιμοποιούνται και ο χάλυβας και ο χυτοσίδηρος (μαντέμι). Η διμεταλλική θερμαντική επιφάνεια είναι η πιο σημαντική και απαραίτητη προϋπόθεση, έτσι ώστε η θερμοκρασία της επιφάνειας από την πλευρά των καυσαερίων να είναι πάντα πάνω από το σημείο υγροποίησης των καυσαερίων, έτσι ώστε να αποφεύγεται η υγροποίηση μέσα στο σύστημα θέρμανσης, που οδηγεί σε σοβαρές φθορές γιατί εμφανίζεται θειικό οξύ.

Η διμεταλλική θερμαντική επιφάνεια περιβάλλει το θάλαμο καύσης και επιτρέπει στα καυσαέρια να έρχονται σε επαφή μόνο με το χυτοσίδηρο, ενώ το προς θέρμανση νερό έρχεται σε επαφή μόνο με το χαλύβδινο έλασμα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται τα πλεονεκτήματα των χυτοσίδηρων λεβήτων (μεγάλη διάρκεια ζωής) με των χαλύβδινων (υψηλή απόδοση).

Ακόμη, απαιτείται μια κατάλληλη διάταξη συλλογής και αποχέτευσης του συμπυκνώματος σε κατάλληλη θέση στο λέβητα, **Εικόνα 2.4**. Συχνά η κατασκευαστική διαμόρφωση ενός λέβητα συμπύκνωσης είναι διαφορετική από τις συμβατικές διαμορφώσεις λεβήτων, **Εικόνα 2.6**.



## 2.6 Λέβητας συμπύκνωσης

Στο δεύτερο είδος έχουμε συμβατική κατασκευή λέβητα και προσθήκη ενός εναλλάκτη από υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση. Ο πρόσθετος εναλλάκτης μπορεί είτε να παραδίδεται από τον κατασκευαστή του λέβητα είτε να είναι ξεχωριστός. Ο πρόσθετος εναλλάκτης πρέπει να είναι εφοδιασμένος με διάταξη συλλογής και αποχέτευσης του συμπυκνώματος.

## ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΛΕΒΗΤΩΝ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Για να μπούμε στη λογική της συμπύκνωσης, θα πρέπει πρώτα να περιγράψουμε και να κατανοήσουμε ένα φυσικό μέγεθος που δεν είναι και τόσο αντιληπτό. Τη λανθάνουσα θερμότητα! (latent heat) Λανθάνουσα θερμότητα είναι εκείνο το ποσό της θερμότητας που απορροφά ένα υλικό κατά τη διάρκεια της μετατροπής της φάσης του (από στερεό σε υγρό, ή από υγρό σε αέριο), χωρίς να αυξάνει τη θερμοκρασία του. Στο παράδειγμά που ακολουθεί, αναφερόμαστε στη λανθάνουσα θερμότητα που απορροφά 1ml νερού, καθώς αυτό περνάει από τη στερεή στην αέρια φάση (πάγος → υγρό → αέριο):

Όπως παρατηρούμε, το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας που απορρόφησε το νερό ήταν κατά τη διάρκεια της μετατροπής του από νερό 100°C σε ατμό της ίδιας θερμοκρασίας. Αυτή η ενέργεια είναι η λανθάνουσα θερμότητα και τώρα αρχίζουμε να καταλαβαίνουμε ότι πρόκειται για ένα αρκετά σημαντικό μέγεθος, αν με κάποιον τρόπο μπορούσαμε να την αξιοποιήσουμε...

Εκεί ακριβώς βασίζεται η αρχή λειτουργίας των λεβήτων συμπύκνωσης, στους οποίους τα καυσαέρια πριν οδηγηθούν στην καμινάδα, περνούν μέσα από έναν ειδικό εναλλάκτη όπου υψώνονται και συμπυκνώνονται, μεταφέροντας τη θερμότητά τους αυτή στο νερό του κυκλώματος θέρμανσης. Η καύση του φυσικού αερίου: Το φυσικό αέριο είναι ένα μείγμα αερίων που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) και άλλα αέρια (αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο κ.λ.π.). Το ποσοστό του μεθανίου στο «Ευρωπαϊκό» φυσικό αέριο πλησιάζει το 99%. Άρα όλες οι παραδοχές που θα γίνουν παρακάτω, θα γίνουν με τη λογική ότι αναφερόμαστε σε καθαρό μεθάνιο. Η εξίσωση της καύσης του μεθανίου είναι η παρακάτω:



Επειδή όμως η καύση γίνεται με ατμοσφαιρικό αέρα και όχι με καθαρό οξυγόνο, πρέπει να συμπεριληφθεί στην εξίσωση και το άζωτο (N<sub>2</sub>) που περιλαμβάνεται σε αυτόν σε ποσοστό περίπου 75%, ακόμα κι αν κατά τη διάρκεια της καύσης παραμένει ανενεργό.

Έτσι η εξίσωση της καύσης του «φυσικού αερίου» στην ατμόσφαιρα είναι η παρακάτω:



Όπως φαίνεται λοιπόν, χρειαζόμαστε σχεδόν 10m<sup>3</sup> (για την ακρίβεια 9,52) ατμοσφαιρικού αέρα για να έγουμε τα 2m<sup>3</sup> καθαρού οξυγόνου που απαιτούνται για την καύση 1m<sup>3</sup> φυσικού αερίου. Και τα προϊόντα της καύσης του είναι: N<sub>2</sub> (άζωτο), H<sub>2</sub>O (νερό), CO<sub>2</sub> (διοξείδιο του άνθρακα), αλλά και υποπροϊόντα «ατελούς» καύσης, όπως: CO (μονοξείδιο του άνθρακα) και NO<sub>x</sub> (οξειδία του αζώτου), βλαβερά τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το περιβάλλον.



Μετατροπή γημικών εξισώσεων σε «πραγματικά» νόμους:

1. Ατομικά Βάρη: H = 1 C = 12 O = 16
2. Εξίσωση καύσης:  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2(\text{H}_2\text{O})$
3. Βάρη: 16 64 44 36

Δηλαδή, από 16 kg φυσικού αερίου, παράγονται 36 kg νερού (...και 44 kg διοξειδίου του άνθρακα, αλλά για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις θα μιλήσουμε αργότερα...).

4. Η πυκνότητα του φυσικού αερίου είναι  $0.72 \text{ kg/m}^3$ .
5. Άρα, σύμφωνα με την εξίσωση, από την καύση  $1 \text{ m}^3$  ( $0.72 \text{ Kg}$ ) φυσικού αερίου, παράγονται:  $0.72 \times 36/16 = 1.62 \text{ kg}$  νερού (ή  $1.62 \text{ lt}$  νερού).
6. Ανακτώμενη θερμότητα από τη συμπύκνωση των καυσαερίων. Ας υπολογίσουμε τη θερμότητα που μπορούμε να πάρουμε, ψύχοντας (και συμπυκνώνοντας) τα καυσαέρια από τους  $140^\circ\text{C}$  στους  $60^\circ\text{C}$  ( $\Delta T=80^\circ\text{C}$ ).
7. Αισθητή θερμότητα: Ένα λίτρο νερού δίνει  $1 \text{ Kcal}$  για κάθε  $^\circ\text{C}$ , άρα για τους  $80^\circ\text{C}$  λαμβάνουμε  $80 \text{ Kcal}$ .
8. Λανθάνουσα θερμότητα: Από την αλλαγή της φάσης του νερού (από αέριο σε υγρό), από κάθε λίτρο νερού λαμβάνουμε συνολικά  $2256,3 \text{ J/ml} \times 1000 \text{ ml/lt} = 2256 \text{ KJ} = 540 \text{ Kcal}$ .
9. Έτσι για κάθε  $\text{m}^3$  φυσικού αερίου που κάηκε, σαν συνάρτηση της ψύξης και της συμπύκνωσης των καυσαερίων του, μπορούμε να πάρουμε:  
α)  $1.62 (\text{lt H}_2\text{O}) \times 80 (\text{Kcal}) = 130 \text{ Kcal}$  (από την ψύξη).  
β)  $1.62 (\text{lt H}_2\text{O}) \times 540 (\text{Kcal}) = 902 \text{ Kcal}$  (από τη συμπύκνωση).
10. ΣΥΝΟΛΙΚΑ:  $1.032 \text{ Kcal}$  (ενεργειακό κέρδος) για κάθε  $\text{m}^3$  καυσίμου που καίγεται στο λέβητά μας!

Επεξήγηση επίτευξης βαθμού απόδοσης πάνω από 100%

Για να κατανοήσουμε την έννοια του πραγματικού βαθμού απόδοσης, ας ξαναθυμηθούμε λίγο τα χαρακτηριστικά του καυσίμου μας, του φυσικού αερίου:

- **Θερμογόνος Δύναμη:** Η ενέργεια [kcal] που παράγεται από την καύση  $1 \text{ kg}$  στερεού ή υγρού καυσίμου ή  $1 \text{ m}^3$  αερίου καυσίμου.
- **Κατώτερα Θερμογόνος Δύναμη** (για το φυσικό αέριο  $8.130 \text{ Kcal/m}^3$ ): Η ενέργεια που παράγεται από την πλήρη καύση μίας μονάδας καυσίμου, όταν τα προϊόντα της καύσης απομακρυνθούν σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από εκείνη που απαιτείται για τη συμπύκνωση του ατμού που περιλαμβάνεται σε αυτά.
- **Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη:** Η ενέργεια που παράγεται από την πλήρη καύση μίας μονάδας καυσίμου, όταν όμως τα προϊόντα της καύσης επανέρθουν στη θερμοκρασία που είχε το μίγμα αέρα-καυσίμου πριν την καύση και συμπυκνωθεί όλος ο ατμός που παράχθηκε κατά τη διάρκειά της.

Έχει καθιερωθεί, να υπολογίζεται ο ονομαστικός βαθμός απόδοσης ενός λέβητα βάση της Κατώτερης Θερμογόνου Δύναμης, και δεν υπολογίζεται καθόλου η επιπλέον ενέργεια που θα μπορούσε να εξαχθεί από την ψύξη και συμπύκνωση των καυσαερίων του λέβητα. Ένας λέβητας φυσικού αερίου, με ονομαστικό βαθμό απόδοσης 90%, όταν καταναλώσει  $1 \text{ m}^3$  καυσίμου, παράγει  $(8.130 \times 0.9) = 7.317 \text{ Kcal}$ .

Ο πιο σύγχρονος λέβητας με τεχνολογία συμπύκνωσης και ελεγχόμενη έγει αντίστοιχο βαθμό απόδοσης έως και 95%, άρα με το ίδιο  $1 \text{ m}^3$  καυσίμου, παράγει  $(8.130 \times 0.95) = 7.723 \text{ Kcal} + 1.032 \text{ Kcal}$  (από ψύξη και συμπύκνωση των καυσαερίων του) =  $8.755 \text{ Kcal}$ .

Άρα «συνβατικό» βαθμό απόδοσης:  $8.755 / 8.130 = 1.08$  ή 108% ή απλά... 15 - 20% οικονομικότερος από τον απλό λέβητα!



## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΛΕΒΗΤΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΕΝΑΝΤΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΛΕΒΗΤΑ

Τα πλεονεκτήματα των λεβήτων συμπύκνωσης έναντι των συμβατικών λεβήτων είναι τα εξής:

1. Υψηλότερος βαθμός απόδοσης, γιατί εκμεταλλεύεται και τη θερμότητα των καυσαερίων, μέρος της οποίας ανακτάται μέσω ενός ειδικά σχεδιασμένου εναλλάκτη, στον οποίο πραγματοποιείται η ψύξη και συμπύκνωση των καυσαερίων. Επιπρόσθετα, ο ηλεκτρονικά ελεγχόμενος και μεταβαλλόμενος στροφών ανεμιστήρας του λέβητα συμπύκνωσης, εγγυάται πάντα τέλεια καύση και μεγάλο βαθμό απόδοσης σε όλο το εύρος ισχύος του λέβητα.
2. Πολύ μικρότερες απώλειες από την καμινάδα και τα τοιχώματα, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας (45-50°C) που βρίσκονται τα καυσαερίά του.
3. Εκπομπή χαμηλότερων ποσοστών καυσαερίων, γιατί πλησιάζουν πολύ στο θεωρητικό μοντέλο της «τέλειας» καύσης κάτι που σημαίνει ότι σχεδόν δεν παράγονται «επικίνδυνου» ρύποι όπως το CO (μονοξείδιο του άνθρακα), ή τα NO<sub>x</sub> (οξειδία του αζώτου), κάτι που από οικολογικής απόψεως τους κάνει ιδανικούς – αν όχι υποχρεωτικούς – για πυκνοκατοικημένες πόλεις όπως η Αθήνα! Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι στις προηγμένες Ευρωπαϊκές χώρες, ήδη υλοποιείται σχέδιο αντικατάστασης όλων των συμβατικών λεβήτων με νέους, λέβητες συμπύκνωσης.
4. Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με έναν συμβατικό λέβητα, σε κάθε τύπο εγκατάστασης:
  - Έως 15% σε παραδοσιακά συστήματα με θερμαντικά σώματα (υψηλών θερμοκρασιών 70~80°C).
  - Έως 20% σε μεικτά συστήματα.
  - Έως 35% σε συστήματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης (χαμηλών θερμοκρασιών 40~50°C).
5. Εξοικονόμηση ενέργειας έως 30% σε σχέση με τους παραδοσιακούς λέβητες.
6. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.
7. Προσφέρονται τόσο για κτίρια υπό επισκευή όσο και για νέες εγκαταστάσεις.
8. Η απόδοσή τους είναι αρκετά υψηλή ακόμα και όταν λειτουργούν υπό μερικό φορτίο.
9. Ο όγκος τους είναι γενικά ο ίδιος με αυτόν ενός συμβατικού λέβητα.
10. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν με την πλειονότητα των συστημάτων ελέγχου που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα θέρμανσης.
11. Είναι ιδιαίτερα ελκυστική επένδυση καθώς ο χρόνος απόσβεσής τους είναι συνήθως συντομότερος από 5 χρόνια.

## ΛΕΒΗΤΑΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Το πετρέλαιο θέρμανσης περιέχει υδρογόνο το οποίο, κατά την καύση, μετατρέπεται σε ατμό. Σε περίπτωση που τα καυσαέρια ψυχθούν από την καύση, ο ατμός που περιέχεται σε αυτά συμπυκνώνεται και η θερμότητα από τη διαδικασία συμπύκνωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Τα καυσαέρια πρέπει να ψύχονται σε χαμηλότερη από τη λεγόμενη «θερμοκρασία σημείου υγροποίησης» για να είναι εφικτό να συμπυκνωθούν. Η θερμοκρασία σημείου υγροποίησης εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε υδρογόνο του καυσίμου και ως εκ τούτου, από το περιεχόμενο του ατμού των καυσαερίων. Με πετρέλαιο θέρμανσης η θερμοκρασία σημείου υγροποίησης είναι περίπου 47 °C. Με τη χρήση της λανθάνουσας θερμότητας συμπύκνωσης, η αποδοτικότητα ενός συστήματος θέρμανσης μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά. Στην πράξη, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή 0,5 έως 1 λίτρου συμπυκνώματος ανά κιλό του πετρελαίου θέρμανσης. Εξαιτίας της σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας μεταξύ 45 και 50 °C από τα καυσαέρια που προκύπτουν, οι αεραγωγοί για την απομάκρυνση τους μπορεί να είναι κατασκευασμένοι από πλαστικό σωλήνα.

Η σύγχρονη τεχνολογία για λέβητες συμπύκνωσης μπορεί συνεπώς να εξαγάγει την ενέργεια από το καύσιμο που χρησιμοποιείται με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους λέβητες συμπύκνωσης πετρελαίου να φτάσουν το 98% απόδοσης, αν μετρηθεί σε σχέση με την υψηλότερη τιμή θέρμανσης (μεικτή θερμογόνος δύναμη) του πετρελαίου θέρμανσης, μια τιμή που αντιπροσωπεύει το φυσικό όριο του εφικτού. Ένας παραδοσιακός λέβητας δεν κάνει χρήση αυτής της πρόσθετης θερμότητας η οποία συνεπώς αχρηστεύεται. Σε αυτές τις περιπτώσεις η ενέργεια που περιέχεται στα συμπυκνώματα εκχέεται στο περιβάλλον μέσω της καυνοδόχου ή ενός καπναγωγού. Η τεχνολογία των λεβήτων συμπύκνωσης πετρελαίου συνεπώς επιτυγχάνει την υψηλότερη απόδοση με τη χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου και ελάχιστες εκπομπές ρύπων.

Καθαρό για το περιβάλλον: το πετρέλαιο θέρμανσης χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο είναι ένα καύσιμο ποιότητας, το οποίο ανταποκρίνεται στα καθορισμένα πρότυπα και παρουσιάζει αρκετά ουσιώδη πλεονεκτήματα σε σχέση με το κανονικό πετρέλαιο θέρμανσης. Αυτό σημαίνει ότι οι τοξικές ουσίες που περιέχονται στα καυσαέρια περιορίζονται στο ελάχιστο. Επιπλέον, το συμπύκνωμα δεν χρειάζεται να εξουδετερωθεί. Γι' αυτό και συνιστάται από όλους τους κορυφαίους κατασκευαστές συσκευών θέρμανσης. Το πετρέλαιο θέρμανσης χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο είναι ιδανικό για τις απαιτήσεις της τεχνολογίας λεβήτων συμπύκνωσης και προσφέρει πλεονεκτήματα και για λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών. Το πετρέλαιο θέρμανσης χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο καιεί πολύ καθαρά και κάνει για σταθερά καλή μετάδοση της θερμότητας στον λέβητα. Αυτό οδηγεί σε λέβητες που επιδεικνύουν συνεχώς υψηλά επίπεδα απόδοσης και υψηλό βαθμό αξιοπιστίας. Το πετρέλαιο θέρμανσης χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο θα προσελκύσει φορολογικά πλεονεκτήματα σε πολλές χώρες έναντι των συμβατικών πετρελαίων θέρμανσης. Ως εκ τούτου, οι φορείς χάραξης πολιτικής σκοπεύουν να ενθαρρύνουν τη χρήση πετρελαίου θέρμανσης χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο και, επομένως, να καθιερώσουν μια σημαντική προϋπόθεση για την ευρύτερη χρήση της τεχνολογίας λεβήτων συμπύκνωσης πετρελαίου. Επιπροσθέτως, η τεχνολογία λεβήτων συμπύκνωσης πετρελαίου συνδυάζεται υπέροχα με την ηλιακή-θερμική ενέργεια. Οι ηλιακοί συλλέκτες συμπληρώνουν το σύστημα ζεστού νερού χρήσης και, ανάλογα με το σχεδιασμό του συστήματος, συμβάλλουν και στη θέρμανση του κτιρίου.



#### 2.4.2.4 ΛΕΒΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Τα τελευταία χρόνια η αγορά λεβήτων στερεών καυσίμων ολοένα και αυξάνεται. Είναι μία οικονομική λύση για κεντρική θέρμανση. Βέβαια, από περιοχή σε περιοχή διαφέρει το στερεό καύσιμο καύσιμο που προτιμάται λόγω της αφθονίας καθώς και της τιμής του στην εκάστοτε περιοχή. Ιδιαίτερα διαδεδομένο είναι το pellet, καθώς έχει επιτραπεί στην επαρχία και πρόσφατα στην Αθήνα, και αποδίδει υψηλή θερμογόνο δύναμη σε σχέση με άλλα στερεά καύσιμα. Εξίσου διαδεδομένα είναι το ξύλο, ο ελαιοπυρήνας, το πριονίδι κτλ.

Τα στερεά καύσιμα καίονται κυρίως σε ειδικούς λέβητες, οι οποίοι συνήθως αποτελούν ιδιοκατασκευές. Υπάρχουν όμως και παραγωγές σε σειρά, ορισμένες από τις οποίες αφορούν λέβητες που μπορούν να καίνε εναλλακτικά πετρέλαιο.

Ένας λέβητας μπορεί να είναι κατασκευασμένος να καίει μόνο ξύλο, μόνο pellet, ξύλο και pellet, είτε να είναι πολλαπλής καύσης, δηλαδή να καίει τα πάντα όπως καλαμπόκι πριονίδι κτλ. Σε όλους τους λέβητες στερεών καυσίμων μπορεί να τοποθετηθεί μία φλάντζα στην πόρτα, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να καταργηθεί το εκάστοτε στερεό καύσιμο και με την τοποθέτηση ενός καυστήρα πετρελαίου να μπορεί ο λέβητας να κάψει πετρέλαιο.

Οι λέβητες στερεών καυσίμων έχουν κάποιες ιδιαιτερότητες σε σχέση με τους λέβητες πετρελαίου. Για παράδειγμα χρειάζονται μεγαλύτερο δοχείο διαστολής, ασφαλιστικά για την προστασία του λέβητα από την υπερθέρμανση, καμινάδα μονωμένη, διπλού τοιχώματος έτσι ώστε να γίνεται καλύτερος ελκυσμός των καυσαερίων.

Βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό οργανικής προέλευσης αλλά αυτά που χρησιμοποιούνται κυρίως ως καύσιμη ύλη είναι τα ξύλα, τα pellets (πεπιεσμένα κομμάτια από διάφορα φυτικά προϊόντα, πριονίδι κλπ), η βιοαιθανόλη (αλκοόλη που παράγεται από φυτά όπως το ζαχαρότευτλο και το καλαμπόκι) κλπ

#### Πλεονεκτήματα

- Η βιομάζα θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί ότι κόβεται μπορεί να ξαναφυτευτεί
- Υπάρχει δυνατότητα εγχώριας παραγωγής
- Χαμηλότερο κόστος κατανάλωσης από πετρέλαιο και φυσικό αέριο (επηρεάζεται από την απόδοση του λέβητα και της καύσιμης ύλης)
- Σχετικά μικρό κόστος λειτουργίας (ανάλογα με το είδος)

#### Μειονεκτήματα

- Ανάγκη μεγάλου ωφέλιμου χώρου (καυστήρας-λέβητας + αποθηκευτικός χώρος)
- Υψηλό κόστος συντήρησης όταν χρησιμοποιούνται pellet ή ξύλα χαμηλής ποιότητας
- Ανάγκη συνεχούς ανατροφοδότησης (ανάλογα με το είδος της βιομάζας και του καυστήρα)
- Τακτικό καθάρισμα



## ΟΙ ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ EN 303-4

Το πρότυπο EN 303-5 δεν καθορίζει μόνο κατασκευαστικές και λειτουργικές απαιτήσεις των λεβήτων βιομάζας, αλλά, ταυτόχρονα, θέτει και τα αποδεκτά όρια για τις εκπομπές αερίων ρύπων στα καυσαέρια τους.

Στην πραγματικότητα, ένας από τους θεμελιώδεις στόχους του προτύπου είναι η εξασφάλιση ότι η καύση σε λέβητες βιομάζας οδηγεί σε περιορισμένες εκπομπές αερίων ρύπων. Σημειώνεται ότι η ποσότητα των αερίων ρύπων που εκλύεται από έναν λέβητα βιομάζας εξαρτάται από:

1. Την ονομαστική θερμική ισχύ του λέβητα
2. Τον τρόπο τροφοδοσίας της βιομάζας στο θάλαμο καύσης (χειροκίνητη ή αυτόματη λειτουργία) Την κλάση του λέβητα

Όσον αφορά τις εκπομπές τους, οι λέβητες που ανήκουν στη κλάση 3, μπορεί να χαρακτηριστούν ως οι πιο «καθαροί», ενώ η κλάση 1 ως οι περισσότερο ρυπογόνοι.

Είναι συγκεκριμένα τα όρια εκπομπών που δεν πρέπει να υπερβαίνονται όταν ο λέβητας λειτουργεί στην ονομαστική θερμική ισχύ του. Στην περίπτωση ενός λέβητα που μπορεί να λειτουργήσει σε ένα εύρος θερμικής ισχύος, τότε τα όρια εκπομπών αναφέρονται τόσο στην ονομαστική θερμική ισχύ του όσο και στην ελάχιστη παραγωγή θερμότητας.

Στην περίπτωση της μη αυτόματης τροφοδοσίας λεβήτων βιομάζας τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών, βάσει του EN 303-5, είναι τα εξής

<b>Ονομαστική θερμική ισχύς(kW)</b>	<b>Q ≤ 50 kW</b>		
<i>Εκπομπές σε mg/m<sup>3</sup> @ 10% O<sub>2</sub></i>	<i>Κλάση 1</i>	<i>Κλάση 2</i>	<i>Κλάση 3</i>
Μονοξείδιο του άνθρακα	25000	8000	5000
Οργανικός άνθρακας	2000	300	150
Σκόνη	200	180	150
<b>Ονομαστική θερμική ισχύς(kW)</b>	<b>50 kW &lt; Q ≤ 100 kW</b>		
Μονοξείδιο του άνθρακα	12500	5000	2500
Οργανικός άνθρακας	1500	200	100
Σκόνη	200	180	150
<b>Ονομαστική θερμική ισχύς(kW)</b>	<b>100 kW &lt; Q ≤ 300 kW</b>		
Μονοξείδιο του άνθρακα	12500	2000	1200
Οργανικός άνθρακας	1500	200	100
Σκόνη	200	180	150

Όλες οι παραπάνω τιμές αναφέρονται σε ξηρά καυσαέρια, θερμοκρασίας 0°C και πίεσης 1013 mbar

**Πίνακας 2.5 [10]**

Στην περίπτωση των λέβητων με αυτόματο σύστημα τροφοδοσίας βιομάζας, ο ανωτέρω πίνακας μετασχηματίζεται ως εξής:

<b>Ονομαστική θερμική ισχύς(kW)</b>	<b>Q ≤ 50 kW</b>		
<i>Εκπομπές σε mg/m<sup>3</sup> @ 10% O<sub>2</sub></i>	<i>Κλάση 1</i>	<i>Κλάση 2</i>	<i>Κλάση 3</i>
Μονοξειδίο του άνθρακα	15000	5000	3000
Οργανικός άνθρακας	1750	200	100
Σκόνη	200	180	150
<b>Ονομαστική θερμική ισχύς(kW)</b>	<b>50 kW &lt; Q ≤ 100 kW</b>		
Μονοξειδίο του άνθρακα	12500	4500	2500
Οργανικός άνθρακας	1250	150	80
Σκόνη	200	180	150
<b>Ονομαστική θερμική ισχύς(kW)</b>	<b>100 kW &lt; Q ≤ 300 kW</b>		
Μονοξειδίο του άνθρακα	12500	2000	1200
Οργανικός άνθρακας	1250	150	80
Σκόνη	200	180	150

Όλες οι παραπάνω τιμές αναφέρονται σε ξηρά καυσαέρια, θερμοκρασίας 0°C και πίεσης 1013 mbar

**Πίνακας 2.6 [10]**

Κάθε λέβητας θέρμανσης θα πρέπει να φέρει ειδική πινακίδα σήμανσης (στη γλώσσα της χώρας προορισμού του λέβητα), η οποία θα περιέχει τουλάχιστον τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Όνομα του λέβητα και του κατασκευαστή μαζί με το λογότυπο του κατασκευαστή.
- Κλάση του λέβητα.
- Ονομαστική θερμική ισχύς του λέβητα.
- Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας (σε bar).
- Μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας (σε ° C).
- Ηλεκτρολογικά δεδομένα (τάση, συχνότητα, ένταση ηλεκτρικού ρεύματος) και ισχύς.
- Περιεκτικότητα του λέβητα σε νερό (σε λίτρα).
- Αριθμός παραγωγής και έτος κατασκευής του λέβητα.



## ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΣ ΛΕΒΗΤΩΝ - ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η εγκατάσταση της καπνοδόχου θα πρέπει να πληρεί τις προδιαγραφές του ισχύοντος κανονισμού και τις υποδείξεις του κατασκευαστή. Η καπνοδόχος πρέπει να εξασφαλίζει επαρκή ελκυσμό για την απαγωγή των καυσαερίων, προστασία έναντι συμπίκνωσης και προστασία από καιρικά φαινόμενα. **Η σωστή λειτουργία της καμινάδας είναι πολύ σημαντική για την λειτουργία του λέβητα! Για τη σωστή λειτουργία του θα πρέπει η καμινάδα να**



Εικόνα 2.7

**παρέχει επαρκή ελκυσμό.**

Συστήνεται η εγκατάσταση λείας καπνοδόχου διπλού τοιχώματος με μόνωση. Σύμφωνα με τα DIN 4705 και DIN 18160, η απόρριψη των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα και η μείωση της θερμοκρασίας τους κατά την διαδρομή, πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να αποφεύγεται η συμπίκνωση και τα αποτελέσματά της.

Η σύνδεση της καμινάδας με τον λέβητα θα πρέπει να είναι στεγανή. Μία μη στεγανή καμινάδα μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα στον λέβητα, π.χ. φραγή, πολλή αιθάλη, θόρυβος, κακή λειτουργία του καυστήρα κτλ. Επίσης μεγάλο πρόβλημα δημιουργείται εάν εμφανίζονται αποκολλήσεις και στροβιλισμοί που εμποδίζουν την εύκολη έξοδο των καυσαερίων.

Γενικά η καμινάδα θα πρέπει να διανύει την μικρότερη δυνατή απόσταση από το λέβητα έως τον αγωγό, με τις λιγότερες δυνατές καμπύλες και αλλαγές διεύθυνσης και να διαθέτει το απαραίτητο ύψος. Η ελάχιστη κλίση που θα πρέπει να διαθέτει το τμήμα σύνδεσης με τον αγωγό είναι 5% στη διεύθυνση του λέβητα και το μέγιστο μήκος του 2m.

Η καμινάδα πρέπει να μπορεί να καθαρίζεται, ειδικά στα σημεία εξόδου του λέβητα και σε καμπύλες όπου τα καυσαέρια αλλάζουν διεύθυνση. Στην έξοδο του λέβητα πρέπει να τοποθετηθεί θυρίδα επιθεώρησης και καθαρισμού, η οποία θα πρέπει να καθαρίζεται κάθε χρόνο.

Ο ευθύγραμμος αγωγός θα πρέπει να είναι κάθετος και να διατηρεί την ίδια διατομή σε όλο το μήκος του. Σε περίπτωση αλλαγής κατεύθυνσης δεν επιτρέπεται απόκλιση από την κάθετο πάνω από 30°. Η διάμετρος της καμινάδας δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη από 120mm σε περίπτωση κυλινδρικής διατομής και σε περίπτωση ορθογωνικής διατομής η ελάχιστη μικρότερη πλευρά πρέπει να είναι τουλάχιστον 140 mm. ΠΡΟΣΟΧΗ: Μία καμινάδα με πολύ μικρή διάμετρο φθείρεται και φράζει πολύ γρήγορα. Πολύ μεγάλη διάμετρος έχει ως αποτέλεσμα τα καυσαέρια να κρυσταλλώνονται γρήγορα και να δημιουργείται συμπίκνωση. Έτσι η διάμετρος δεν πρέπει να είναι ούτε υπερβολικά μικρή ούτε μεγάλη.

Η καμινάδα θα πρέπει να είναι ψηλότερη από την κορυφογραμμή της σκεπής, ώστε να εξασφαλίζεται ανεμπόδιτος ελκυσμός. Επίσης θα πρέπει να τοποθετηθεί κάλυμμα (καπέλο) που να εμποδίζει την είσοδο ξένων αντικειμένων μέσα στην



καμινάδα και προστασία από καιρικά φαινόμενα. Σε στέγες με κλίση πάνω από 20%, το μετρούμενο ύψος της καμινάδας από την στέγη πρέπει να είναι τουλάχιστον 1000 mm.

Σε περίπτωση που υπάρχουν αντικείμενα ψηλότερα από την επιφάνεια της στέγης (σοφίτα, πυρίμαχα τοιχώματα) η καμινάδα πρέπει να υπερβαίνει αυτό το ύψος τουλάχιστον κατά 1000 mm. Εάν υπάρχουν καμινάδες που είναι τοποθετημένες σε απόσταση μικρότερη από 3000 mm από αυτά τα στοιχεία, η διαφορά μπορεί να μειωθεί στα 500 mm.

Σε στέγες με κλίση >20%, το ύψος της καμινάδας εξαρτάται από το υλικό και την θέση της καμινάδας ως προς την κορυφογραμμή της στέγης. Ειδικότερα: Καμινάδες τοποθετημένες σε απόσταση μέχρι 1500 mm από την κορυφογραμμή πρέπει να την ξεπερνούν κατά 500 mm για άκαυστο κάλυμμα και κατά 1000 mm για εύφλεκτο κάλυμμα. Καμινάδες τοποθετημένες σε μεγαλύτερη απόσταση πρέπει να διαθέτουν άνοιγμα απόρριψης σε ύψος τουλάχιστον 1000 mm από το κάλυμμα.

Η σύνδεση πολλών λεβήτων στην ίδια καμινάδα δεν είναι σωστή και πρέπει να αποφεύγεται.

## **ΑΙΤΙΑ ΚΑΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΛΕΒΗΤΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΛΟΓΩ ΚΑΜΙΝΑΔΑΣ**

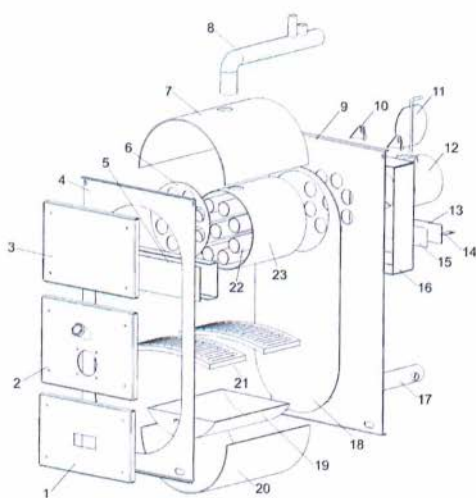
Αίτια κακής λειτουργίας λέβητα στερεών καυσίμων λόγω καμινάδας:

1. Μικρό ενεργό ύψος της καμινάδας
2. Μη στεγανότητα μεταξύ των τμημάτων της καμινάδας
3. Πολύ στενή διατομή της καμινάδας
4. Εμπόδια ή στένωση στη διατομή της καμινάδας
5. Μη στεγανό διάφραγμα
6. Κακώς ρυθμισμένο διάφραγμα ελκυσμού
7. Διαρροή από οπή στην καμινάδα
8. Μη στεγανή ένωση στο άνοιγμα απόρριψης του καπνού
9. Μη στεγανή θυρίδα καθαρισμού καμινάδας
10. Μεγάλο τμήμα της καμινάδας αμόνωτο, πολύ μικρή κλίση
11. Μη στεγανές φλάντζες, κακή μόνωση
12. Μειωμένος ελκυσμός λόγω στρώματος στάχτης στους φλογαυλούς
13. Συσσώρευση στάχτης
14. Μη στεγανή πόρτα και καλύμματα
15. Σπασμένος ρυθμιστής ελκυσμού (κλαπέ)
16. Βοηθητικό στόμιο αέρα καύσης
17. Πολύ υψηλές θερμοκρασίες καυσαερίων (πολύ δυνατός ελκυσμός ή πολύ μικρός λέβητας για κάλυψη θερμικών αναγκών)
18. Πολύ χαμηλές θερμοκρασίες καυσαερίων (λειτουργία σε συνθήκες κάτω από τις συνθήκες λειτουργίας του λέβητα, πολύ μεγάλος λέβητας για κάλυψη θερμικών αναγκών)
19. Καύσιμο με μεγάλο ποσοστό υγρασίας (χαμηλή θερμογόνο δύναμη)

Σε περίπτωση που λόγω θερμοκρασιακών διαφορών ή καιρικών φαινομένων ο ελκυσμός της καμινάδας δεν είναι σταθερός συστήνεται η εγκατάσταση σταθεροποιητή ελκυσμού.

#### 2.4.2.4.1 ΛΕΒΗΤΕΣ ΞΥΛΟΥ

Οι λέβητες ξύλου είναι οι πιο απλές κατασκευές. Αποτελούνται από τον κορμό, τη σχάρα όπου τοποθετούνται τα ξύλα, και το δοχείο στάχτης. Ο ελκυσμός συνήθως είναι βεβιασμένης κυκλοφορίας, οπότε ο λέβητας συνοδεύεται από τον αντίστοιχο φυσητήρα. Παρακάτω απεικονίζονται τα μέρη από τα οποία απαρτίζεται ένας ενδεικτικός λέβητας ξύλου



1. Κάτω πόρτα
2. Μεσαία πόρτα
3. Επάνω πόρτα
4. Εμπρόσθια πλάκα
5. Υδροφόρος γέφυρα
6. Κάλυμμα εναλλάκτη καυσαερίων
7. Υδροθάλαμος
8. Μαστός προσαγωγής
9. Οπίσθια πλάκα
10. Αυτάκια σύνδεσης καπνοθαλάμου
11. Τάμπερ καμινάδας
12. Καπνοδόχος
13. Θυρίδα καπνοθαλάμου
14. Πεταλούδες σύνδεσης θυρίδας
15. Κεραμική φλάντζα θυρίδας

16. Καπνοθάλαμος
17. Μαστός επιστροφής
18. Πάτος φλογοθαλάμου
19. Δοχείο στάχτης
20. Φλογοθάλαμος
21. Μαντεμμένες σχάρες καύσης
22. Φλογαυλοί
23. Εναλλάκτης καυσαερίων

**Εικόνα 2.8 [27]**

Η τροφοδοσία γίνεται χειροκίνητα.. Το μήκος των ξύλων εξαρτάται από το μέγεθος του λέβητα. Ανάλογα με το είδος του ξύλου, αλλάζει σημαντικά η συμπεριφορά στη καύση. Τα καλύτερα καυσόξυλα προέρχονται από «σκληρά ξύλα», δηλαδή πλατύφυλα, όπως δρύς, οξιά, ελιά κ.ά. τα μικρά ξύλα είναι πιο κατάλληλα για προσάναμμα, ενώ για κυρίως καύση προτιμούνται τα μεγάλα ξύλα. Τα ξύλα θα πρέπει απαραίτητως να έχουν ξεραθεί για δύο έτη και να μη περιέχουν υγρασία πάνω από 20%. Συνήθως οι ξυλολέβητες δεν χρησιμοποιούνται αποκλειστικά και μόνο για την καύση ξύλου, αλλά και για μπρικέττες, κάρβουνα ή άλλα στερεά κατάλοιπα κατάλληλα για καύση (όχι πλαστικά, χημικά, εύφλεκτα ή εκρηκτικά υλικά). Οι μπρικέττες πρέπει να είναι ξύλου ή παραπροϊόντων ξύλου.

Η έναυση στους περισσότερους λέβητες γίνεται χειροκίνητα.

Στους λέβητες αυτούς μπορεί πολύ εύκολα να προσαρμοστεί στην πόρτα μία φλάντζα για προσαρμογή καυστήρα πετρελαίου για βοηθητική- εναλλακτική χρήση.



Οι λέβητες ξύλου που τοποθετούνται στο λεβητοστάσιο δεν έχουν τον περιορισμό στη μέγιστη ισχύ που έχουν τα τζάκια και σόμπες και μπορούν άνετα να θερμάνουν τεράστιους χώρους.

Στους λέβητες ξύλου συναντάμε δύο κατηγορίες:

1. Λέβητες ξύλου με φυσικό ελκυσμό (χωρίς ανεμιστήρα)
2. Λέβητες ξύλου με εξαναγκασμένο ελκυσμό (με ανεμιστήρα)

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η τελευταία κατηγορία, των λεβήτων ξύλου με ανεμιστήρα, μια και παρουσιάζει τα περισσότερα πλεονεκτήματα όσον αφορά στον βαθμό απόδοσης της καύσης και την ασφάλεια.

*\*Βαθμός απόδοσης είναι το μέγεθος που μας δείχνει πόση απ' την ενέργεια της εστίας κάναμε χρήση σε σύγκριση με όλη την ποσότητα ενέργειας που παρήγαγαν τα καύσιμα.*

*Για παράδειγμα απόδοση 70% σημαίνει ότι χρησιμοποιήσαμε το 70% της ενέργειας των καυσίμων και το 30% διέφυγε από την καμινάδα*

Στους απλούς λέβητες η καύση δεν είναι ελεγχόμενη ή είναι μερικώς ελεγχόμενη από ένα ταμπερ αέρα το οποίο ανοιγοκλείνει ανάλογα με την θερμοκρασία του λέβητα και ελέγχει ως ένα βαθμό το οξυγόνο που δέχεται ο χώρος καύσης, άρα και την ένταση της καύσης των ξύλων. Η θερμοκρασία του νερού στα σώματα δεν μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια και έτσι πολλές φορές παρατηρείται το φαινόμενο η θερμοκρασία μέσα στον χώρο να είναι μεγαλύτερη από αυτή που ζητάμε.



Εικόνα 2.9 Απλός ξυλολέβητας

## ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

- Εισάγονται στεγνά ξύλα στο κάτω διαμέρισμα του λέβητα και ξεκινάμε την καύση.
- Τα παραγόμενα αέρια της καύσης οδηγούνται με την βοήθεια του ανεμιστήρα στον πάνω θάλαμο του λέβητα όπου επιβραδύνονται για να αποδώσουν την ενέργειά τους.
- Τα αέρια αυτά αναμιγνύονται με ρυθμιζόμενη αυτόματα παροχή οξυγόνου για να γίνει η διαδικασία της πλήρους καύσης.



## ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΛΕΒΗΤΩΝ ΞΥΛΟΥ

ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΟΥ ΕΛΚΥΣΜΟΥ (ΜΕ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ)	ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΜΟΥ (ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ)
Υποβοηθούμενος ελκυσμός	Φυσικός ελκυσμός
Αυτόματη ρύθμιση αέρα καύσης	Χειροκίνητη ρύθμιση αέρα καύσης
Γρήγορη δημιουργία υψηλής θερμοκρασίας (μεγαλύτερη από 1200 °C)	Φλόγα χαμηλής θερμοκρασίας (μικρότερη από 800°C)
Ένα γέμισμα ανά 12 ώρες	Συχνή τροφοδοσία
Κατανάλωση 40% λιγότερου ξύλου	Μεγαλύτερη κατανάλωση

Πίνακας 2.7 [12]

## ΚΑΥΣΗ ΞΥΛΟΥ

Διακρίνουμε τρία βασικά στάδια κατά την διαδικασία καύσης του ξύλου:

1. Κατά την αρχική θέρμανση του ξύλου σε μια εστία καύσης, η περισσότερη ενέργεια καταναλώνεται για την απομάκρυνση της υγρασίας απ' το ξύλο.
2. Με την αύξηση της θερμοκρασίας του ξύλου, περίπου στους 300 °C, αρχίζει η παραγωγή καπνού. Ο καπνός είναι ένα σύννεφο καυσίμων αερίων (CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, κλπ) και σταγόνων πίσσας.
  - Ο καπνός θα αναφλεγεί αν η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή και παρέχεται ανάλογος αέρας καύσης.
  - Αν ο καπνός δεν αναφλεγεί, θα περάσει στην καμινάδα όπου είτε θα συμπυκνωθεί ως πίσσες, είτε θα εξέλθει απ' την καμινάδα ως ρύπος.
3. Καθώς η διαδικασία καύσης προχωράει, τα περισσότερα απ' τα αέρια και η πίσσα εξατμίζονται απ' την μάζα των ξύλων και απομένει κάρβουνο. Το κάρβουνο είναι 100% άνθρακας ο οποίος καίγεται με μία κόκκινη αχλή και ελάχιστη φλόγα και καπνό.

## ΤΟ ΞΥΛΟ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ - ΘΕΡΜΑΝΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

Η θερμαντική ικανότητα του ξύλου εξαρτάται κυρίως από το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας. Τελείως ξερά ξύλα, ανεξαρτήτως είδους, αποδίδουν την ίδια θερμαντική ισχύ που είναι περίπου 19 MJ/ kg ( ή 4.524 kcal/kg)

Αυτή είναι μια θεωρητική τιμή, στην πραγματικότητα υπολογίζουμε την θερμαντική ισχύ του στεγνού ξύλου με υγρασία περίπου 20%:

- Στεγνό ξύλο : 14,5 MJ/kg ( 3.452 kcal/kg)
  - Πετρέλαιο θέρμανσης : 43,1 MJ/kg (10.262 kcal/kg)
- ή  
34,9 MJ/lt ( 8.310 kcal/lt)

## ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η θερμαντική δύναμη του πετρελαίου είναι 3 φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν του στεγνού ξύλου :  $43,1 : 14,5 = 2,97$  ή αν εκφράσουμε το πετρέλαιο σε λίτρα

1 λίτρο πετρελαίου = 2,5 kg στεγνού ξύλου

## ΚΟΣΤΟΣ ΜΕ ΤΡΕΧΟΥΣΕΣ ΤΙΜΕΣ

Πετρέλαιο θέρμανσης	0,95 €/lt	=1,17 €/kg
Στεγνό ξύλο	150 €/Τόνος	=0,15 €/kg

## ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΤΗΣΙΑΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

-2000 λίτρα πετρελαίου	=1900 €
-ισοδύναμο με 5000 kg ξύλου	= 750 €
-Εξοικονόμηση	=1150 €

## ΤΟ ΖΗΤΗΜΑ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

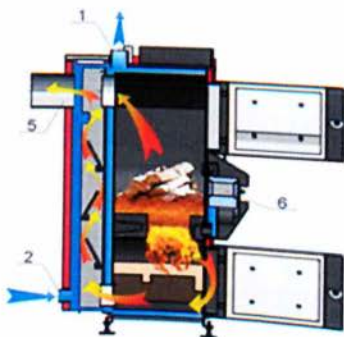
Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του ξύλου σε υγρασία τόσο μικρότερη είναι η θερμαντική του ικανότητα. Ένα μεγάλο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας θα προκαλέσει σχηματισμό πίσσας στην καμινάδα και στον λέβητα. Θα αυξήσει τη συμπύκνωση των υδρατμών στην εσωτερική επιφάνεια των μετάλλων και θα μειώσει τη διάρκεια ζωής τους.

Το ποσοστό υγρασίας στα φρεσκοκομμένα ξύλα προσεγγιστικά μπορούμε να πούμε ότι κυμαίνεται κοντά στο 50%. Μια ξήρανση των ξύλων για ένα χρόνο θα μειώσει το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας περίπου κατά 15%. Τα ξύλα που χρησιμοποιούμε για καύση στους λέβητες δεν πρέπει να περιέχουν υγρασία μεγαλύτερη από 25%. Άρα πρέπει να χρησιμοποιούμε ξύλα που έχουν ξηρανθεί περίπου για δύο σεζόν.

#### 2.4.2.4.2 ΛΕΒΗΤΑΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΞΥΛΟΥ

Οι λέβητες αεριοποίησης λειτουργούν τελείως διαφορετικά από τους απλούς λέβητες ξύλου. Για την επίτευξη της αεριοποίησης απαιτείται τα καιόμενα ξύλα να έχουν πολύ χαμηλό ποσοστό υγρασίας. Είναι πολύ σημαντικό τα ξύλα να μην έχουν υγρασία (20% μέγιστη υγρασία ξύλου). Είναι δυνατή η χρήση με ροκανίδια και πριονίδια σε μικρές ποσότητες (έως 10%), σε ανάμιξη με ξύλα. Επίσης οι λέβητες αυτοί μπορούν να κάψουν μπρικέτες με την προϋπόθεση να έχουν εξίσου χαμηλό ποσοστό υγρασίας με τα ξύλα.

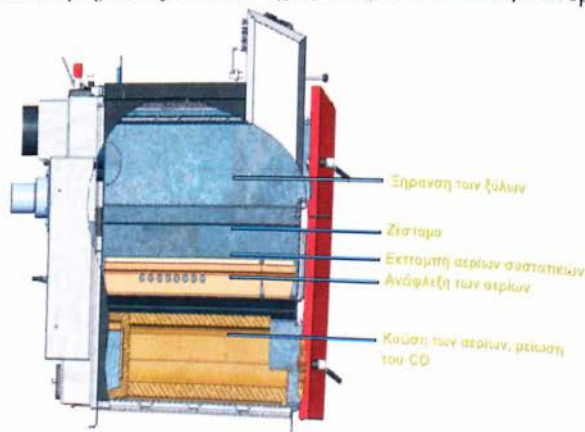
Οι περισσότεροι λέβητες αεριοποίησης είναι ανάστροφης φλόγας, δηλαδή ο θάλαμος τροφοδοσίας είναι στο επάνω μέρος του λέβητα, ενώ στον κάτω θάλαμο οδηγείται η φλόγα με βεβαιασμένη κίνηση του αέρα, την οποία προκαλεί ένας ανεμιστήρας αναρρόφησης. Στο επάνω τμήμα του λέβητα υπό την επίδραση μεσαίας - υψηλής θερμοκρασίας παράγονται κάποια εύφλεκτα αέρια. Στη συνέχεια τα αέρια αυτά μαζί με υπολείμματα από την καύση του ξύλου περνούν μέσω ενός στενού κεραμικού σωλήνα στο κάτω μέρος του λέβητα και ολοκληρώνουν την καύση τους σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία. Η ένταση της αεριοποίησης του ξύλου και η διαδικασία καύσης καθορίζονται από την ποσότητα του εισερχόμενου αέρα στους δύο θαλάμους καύσης του λέβητα.



Εικόνα 2.10

#### ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΛΕΒΗΤΑ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η λειτουργία ενός λέβητα πυρόλυσης-αεριοποίησης χωρίζεται σε τρία στάδια:  
1) ήπια θέρμανση και ξήρανση του ξύλου στο θάλαμο τοποθέτησης του υλικού,  
2) απελευθέρωση της υγρασίας σε μορφή ατμών και αέριων συστατικών,  
3) καύση (αεριοποίηση) του ξύλου που έχει μετατραπεί σε καθαρό άνθρακα.



Εικόνα 2.11



Κάθε ένα από αυτά τα στάδια απαιτεί διαφορετικές συνθήκες. Παρόλαυτα, υπάρχει μόνο ένας τρόπος να ρυθμιστούν αυτές οι συνθήκες μέσα στο λέβητα - κλείνοντας την είσοδο του αέρα.

Με αυτό το τρόπο, δημιουργείται έλλειψη αέρα (οξυγόνου) για το ένα στάδιο και υπερτροφοδοσία για ένα άλλο στάδιο, επιπλέον η θερμοκρασία κάποιες φορές είναι αρκετή και κάποιες φορές όχι.

Εξαιτίας της ατελής καύσης, πολλά εύκαυστα συστατικά άσκοπα διαφεύγουν από την καμινάδα ή αντιδρούν με άλλα προϊόντα της καύσης και δημιουργούν πίσσα.

## ΠΥΡΟΛΥΣΗ



Εικόνα 2.12

Οι ένοιες πυρόλυση και αεριοποίηση συχνά συγχέονται. Η πυρόλυση είναι η χημική διάσπαση οργανικών υλικών με την θέρμανση υπό **πλήρη** απουσία οξυγόνου και άλλων αντιδραστηρίων εκτός πιθανόν από ατμό. Το μίγμα που καίγεται κατά την πυρόλυση αποτελείται από τον αέρα καύσης (κύριο αέρα), τους ατμούς των ξύλων και τη στάχτη που παράγεται στη σχάρα.

Η εκτενής πυρόλυση που αφήνει μόνο άνθρακα ως κατάλοιπο λέγεται *ανθρακοποίηση*. Η πυρόλυση είναι μια ειδική περίπτωση θερμόλυσης.

Σε αντίθεση με την πυρόλυση η αεριοποίηση λαμβάνει χώρα υπό μερική απουσία οξυγόνου. Πιο αναλυτική προσέγγιση γίνεται στο ακόλουθο κεφάλαιο.

## ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΕΡΙΟΥ ΣΥΝΘΕΣΗΣ (SYNGAS)

Όταν θερμαίνουμε ξύλα σε υψηλή θερμοκρασία <<απουσία>> ή με **μικρή ποσότητα** οξυγόνου, τότε, τα ξύλα δεν καίγονται αλλά βαθμιαία μετατρέπονται σε άνθρακα, απανθρακώνονται. Δηλαδή οι οργανικές ενώσεις του ξύλου μετατρέπονται σε άνθρακα. Με τον τρόπο αυτό παράγονται τα ξυλοκάρβουνα.

Κατά την απανθράκωση των ξύλων βγαίνουν (αποστάζουν) διάφορα προϊόντα, όπως είναι ορισμένα **εύφλεκτα αέρια**, ένα ευκίνητο υγρό που είναι γνωστό σαν **ξύλοξος** και ένα μαύρο παχύρευστο υγρό, η **πίσσα**.

Εάν εκμεταλλευτούμε τα παραπάνω προϊόντα, που προέρχονται από τον άνθρακα και κατά συνέπεια τα ξύλα, ο άνθρακας μοιάζει να είναι θησαυρός. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα προϊόντα του ξύλου και πως συνέβαλαν μέχρι τώρα στην ανθρωπότητα.

Ο ξύλοξος, που αναφέρθηκε παραπάνω, είναι ένα πορτοκαλί όξινο υγρό που σχηματίζεται κατά την ξηρή απόσταξη των ξύλων και περιέχει κυρίως μεθυλική αλκοόλη, οξικό οξύ και ακετόνη. Οπότε καταλαβαίνουμε ότι είναι ένα εύφλεκτο προϊόν, το οποίο μπορούμε να το εκμεταλλευτούμε όπως ακριβώς την πίσσα και τα εύφλεκτα αέρια ή αλλιώς syngas.

Το syngas αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

1. **Αζωτο N<sub>2</sub>** 50,9 %
2. **Μονοξειδίο του άνθρακα** 27 %
3. **Υδρογόνο** 14 %
4. **Διοξειδίο του άνθρακα** 4,5 %
5. **Μεθάνιο** 3 %
6. **Οξυγόνο** 0,6 %

Το syngas είναι ο γνωστός σε όλους μας καπνός, που εμφανίζεται πριν ανάψει ένα ξύλο. Στη συνέχεια γίνεται η ίδια η φλόγα, καίγοντας όμως ταυτόχρονα και τα υπόλοιπα εύφλεκτα στοιχεία του ξύλου. **Το syngas πρώτοι στην ιστορία το επεξεργάστηκαν και το έβγαλαν στο φως οι Ναζί κατά τον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο.** Λόγω του ότι η Γερμανία και οι γύρω περιοχές δεν έχουν πολλά ενεργειακά κοιτάσματα και πιο συγκεκριμένα κοιτάσματα πετρελαίου, οι Ναζί βρήκαν ένα τρόπο να αντικαταστήσουν το πετρέλαιο με τα ξύλα, έτσι ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες τους στο θέμα της ενέργειας και να μην εξαρτώνται χώρες όπως η Ρωσία ή άλλες με πλούσιο υπέδαφος.

Αυτός ο τρόπος λέγεται **αεριοποίηση**, δηλαδή απανθρακώνοντας τα ξύλα εκμεταλλεύονται τα αέρια, που προέρχονται από αυτά. Η αεριοποίηση του ξύλου είναι μια διαδικασία στην οποία οργανικό υλικό μετατρέπεται σε καύσιμο αέριο κάτω από την επίδραση της θερμότητας (πυρόλυση) - η διαδικασία φτάνει σε θερμοκρασία 1.400 ° C (2550 ° F). Η πρώτη χρήση της αεριοποίησης του ξύλου χρονολογείται από το 1870, όταν χρησιμοποιήθηκε ως προπομπός του φυσικού αερίου για το φωτισμό του δρόμου και το μαγείρεμα.

Βάσει των παραπάνω η σωστή ορολογία δεν είναι λέβητας «πυρόλυσης», αλλά αεριοποίησης, διότι στους λέβητες εμπορίου η καύση δεν γίνεται με πλήρη απουσία οξυγόνου (πυρόλυση), αλλά με μερική (αεριοποίηση).

## **Η ΠΥΡΟΛΥΣΗ ΩΣ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ**

Η φυτική ύλη αποσυντίθεται λόγω θέρμανσης απουσία αέρα και παράγει πτωχό αέριο και ως υπόλειμμα πυρολιγνιτικά υλικά (ξυλόπισσα και ξυλάνθρακα). Τα πυρολιγνιτικά υλικά με απόσταξη μπορούν να δώσουν ποικιλία χημικών προϊόντων. Η πυρόλυση (εσώθερμη αντίδραση) γίνεται σε κλειστά δοχεία και σε θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ 500- 600°C. Ένας τόνος ξηρού ξύλου με πυρόλυση αποδίδει:

- 300 κιλά ξυλάνθρακα
- 140 m<sup>3</sup> καύσιμο αέριο
- 14 λίτρα μεθυλικής αλκοόλης
- 53 λίτρα οξικό οξύ
- 8 λίτρα εστέρες
- 3 λίτρα ακετόνη
- 76 λίτρα λάδι ξύλου
- 12 λίτρα λάδι "creosote" και
- 30 κιλά πίσσα



Με την πυρόλυση η ενεργειακή μετατροπή της βιομάζας φτάνει σε απόδοση το 90%, ενώ για τις ενεργειακές ανάγκες πυρόλυσης απαιτείται περίπου το 10% του παραγόμενου αερίου. Η μέθοδος αυτή έχει ενδιαφέρον όταν είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν και τα τρία είδη προϊόντων, δηλαδή το αέριο, το βιοάνθρακα και το βιοέλαιο τα οποία παράγονται αντίστοιχα σε ποσοστά 60%, 20% και 20%.

#### Βιοάνθρακας

Χαρακτηριστικές φυσικοχημικές ιδιότητες του Βιοάνθρακα:

- Πυκνότητα : 0,2- 0,9 g/cm<sup>3</sup>
- Τέφρα : 0- 10%
- Ειδική επιφάνεια: 1- 2 m<sup>2</sup>/gr

Τυπική Στοιχειακή σύνθεση βιοάνθρακα:

- Άνθρακας: 83%
- Υδρογόνο: 3%
- Οξυγόνο: 11%
- Άζωτο: 0.3%
- Τέφρα: 2.7%

Η θερμοαντική αξία του βιοάνθρακα κυμαίνεται μεταξύ 22 MJ/ kg- 33 MJ/ kg ή 12300 Btu/lb- 13500 Btu/lb.

Ειδικότερα, ο βιοάνθρακας που προκύπτει από την πυρόλυση των κλαδοδεμάτων ελιάς έχει τα κατωτέρω χαρακτηριστικά.

Χαρακτηριστικά	Τιμή
Θερμαντική αξία	6.644 KJ/Kg
Πηκτικά	5,19%
Τέφρα	9,33%
Υγρασία	2,27%

**Πίνακας 2.8 Χαρακτηριστικά του βιοάνθρακα που προκύπτει από πυρόλυση ελαιοκλαδεμάτων [8]**

Η ενεργειακή συμπύκνωση του βιοάνθρακα αποτελεί χρήσιμη προεργασία που μπορεί να λύσει προβλήματα που σχετίζονται με τη μορφή, τη σύσταση, την μεταφορά και την καύση. Οι διάφορες μορφές της ενεργειακά συμπυκνωμένης βιομάζας (μπρικέττας, δισκία), μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ξήρανση αγροτικών προϊόντων καθώς και σε βιομηχανίες ή να μετατραπούν παραπέρα σε εξευγενισμένα αέρια και υγρά καύσιμα.

#### Βιοέλαιο

Η μέση στοιχειακή σύνθεση του βιοελαίου είναι:

- Άνθρακας: 51%
- Υδρογόνο: 8%
- Οξυγόνο: 40%
- Άζωτο: 0.9%
- Θείο: 0.01%
- Τέφρα: 0.09%



Η θερμογόνος δύναμη του βιοελαίου κυμαίνεται μεταξύ 20 MJ/kg- 30 MJ/kg. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται τα χαρακτηριστικά του βιοελαίου που προκύπτει από πυρόλυση ελαιοκλαδεμάτων.

Χαρακτηριστικά	Τιμή
Θερμαντική αξία	8.263 Kcal/Kg
Σημείο ανάφλεξης	98°C

**Πίνακας 2.9 Θερμαντική αξία και σημείο ανάφλεξης βιοελαίου που προκύπτει από πυρόλυση ελαιοκλαδεμάτων [8]**

Τα πυρολιγνικά υγρά εξαπίζονται εύκολα με θέρμανση οπότε παραμένει η πίσσα από την οποία, με απόσταξη και σε διαφορετικές θερμοκρασίες, λαμβάνονται προϊόντα όπως κρεζόλη ( $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$ ), gaiacol, καύσιμο βαρύ λάδι και ρετσίνι.

Τα αέρια προϊόντα οδηγούνται σε διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου, το οποίο δεσμεύει το οξικό οξύ. Το οξικό ασβέστιο καθαρό και χωρίς ίχνη νερού μετατρέπεται στη θερμοκρασία των 500°C σε ακετόνη και ανθρακικό ασβέστιο. Στο τελευταίο αυτό στάδιο της κλασματικής απόσταξης ανακτώνται τα ελαφρά προϊόντα όπως η αλκοόλη, η ακετόνη, το οξικό μεθύλιο κλπ.

#### Αέριο πυρόλυσης

Τα αέρια που δεν συμπυκνώνονται και έχουν παραχθεί από την πυρόλυση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας για τη λειτουργία της μονάδας πυρόλυσης ή να χρησιμοποιηθούν σε τυχόν διεργασίες ξήρανσης και θέρμανσης.

Η ογκομετρική σύνθεση του παραγόμενου αερίου από την πυρόλυση της βιομάζας είναι:

- CO :15%
- CO<sub>2</sub> :28%
- H<sub>2</sub> :6.5%
- CH<sub>4</sub> :3.5%
- C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> :2%
- N<sub>2</sub> :45%

Η θερμαντική αξία του αερίου πυρόλυσης κυμαίνεται μεταξύ 3200- 4500 Btu/ lb/

Προϊόντα πυρόλυσης	Απόδοση %
Βιοάνθρακας	34,7
Βιοέλαιο	5,5
Αέριο πυρόλυσης	39,3
Νερό	20,5

**Πίνακας 2.10 Απόδοση σε βιοάνθρακα, βιοέλαιο και αέριο πυρόλυσης ελαιοκλαδεμάτων (εργαστηριακή εγκατάσταση πυρόλυσης) [8]**

Προϊόντα πυρόλυσης	Μέση Θερμαντική Αξία (MJ/kg)
Βιοάνθρακας	29
Βιοέλαιο	21
Αέριο πυρόλυσης	8

Πίνακας 2.11 Μέση θερμαντική αξία προϊόντων πυρόλυσης κλαδοδεμάτων ελιάς [8]

#### 2.4.2.4.3 ΛΕΒΗΤΑΣ PELLET

#### ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΛΕΒΗΤΑ PELLET

Παρά τις τεράστιες διαφορές που συναντάμε από λέβητα σε λέβητα υπάρχουν πέντε κοινά σημεία που συναντάμε σε κάθε λέβητα pellet. Αυτά είναι :

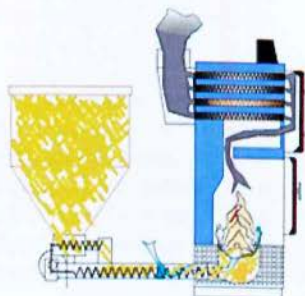
1. Δεξαμενή
2. Χώρος Καύσης
3. Διάταξη συναλλαγής θερμότητας
4. Καπνοδόχος
5. Κεντρική Μονάδα Ελέγχου

Η **δεξαμενή** είναι ουσιαστικά ο χώρος όπου αποθηκεύεται το καύσιμο, δηλαδή τα pellet. Μπορεί να αποτελεί είτε κομμάτι του λέβητα ή να είναι εντελώς ανεξάρτητη από αυτόν και να συνδέεται μέσω ενός κοιλία με το χώρο καύσης.

Τα pellet μεταφέρονται από τη δεξαμενή στο **χώρο καύσης** με τη χρήση διαδρομών ή μηχανισμών που εμποδίζουν την επιστροφή της φλόγας προς τη δεξαμενή. 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. Στο χώρο καύσης γίνεται το άναμμα των pellet, 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.

Αφού δημιουργηθεί η φλόγα πρέπει με κάποιο τρόπο να χρησιμοποιηθεί για να ζεστανουμε το νερό του λέβητα. Ουσιαστικά όλα τα καυσαέρια κάνουν διαδρομές περνώντας μέσα από έναν **εναλλάκτη θερμότητας** ο οποίος αποτελείται από σωλήνες και σκαλοπάτια τα οποία περιέχουν το νερό. Όσο πιο πολύπλοκες είναι οι σωληνώσεις ή αλλιώς διαδρομές, τόσο μεγαλύτερη είναι η απορρόφηση της θερμότητας των καυσαερίων από το νερό. Το κατά πόσον η θερμότητα που παράγεται από την καύση των pellet μεταδίδεται στο νερό που περιέχουν τα τοιχώματα του λέβητα, είναι και αυτό που καθορίζει την απόδοση του λέβητα.

Η **καπνοδόχος** είναι ένα από τα σημεία που, σε συνδυασμό με την ποιότητα των Pellet, βοηθούν την σωστή λειτουργία του λέβητα και είναι κάτι που πρέπει να προσέχεται σε όλες τις



Εικόνα 2.13

εγκαταστάσεις. Η καπνοδόχος θα πρέπει να παρέχει γρήγορη και αβίαστη διαφυγή των καυσαερίων. Θα πρέπει να είναι ανοξείδωτη και με διπλά τοιχώματα ούτως ώστε να μην αφήνει τα κατάλοιπα της καύσης να κάτσουν στα τοιχώματά της. Οι καυστήρες pellet δεν χρειάζονται καπνοδόχους μεγάλης διατομής. Βέβαια η επιλογή της καπνοδόχου εξαρτάται πάντοτε από τις οδηγίες του κατασκευαστή του λέβητα.

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



*Εικόνα 2.14 Λέβητας ξύλου – Pellet*



*Εικόνα 2.15 Λέβητας Pellet*



## ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ PELLETS ΞΥΛΟΥ

Η ποιότητα των καυσίμων είναι αποφασιστικής σημασίας για την αποδοτική λειτουργία ενός λέβητα pellet. Ιδιαίτερα στην περίπτωση οικιακών καταναλωτών, είναι απαραίτητη η χρήση μόνο πιστοποιημένων ποιοτικά pellets, τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους.

Όταν τα pellets ξύλου εισήχθησαν για πρώτη φορά ως καύσιμο για την οικιακή θέρμανση στην Ευρώπη, μια σειρά από θέματα ποιότητας έκαναν γρήγορα την εμφάνισή τους. Τα θέματα αυτά σχετίζονταν τόσο με τη συμπεριφορά του καυσίμου κατά τον χειρισμό του (μεταφορά, αποθήκευση, κ.λπ.) όσο και με τις ιδιότητες καύσης του. Σημαντικά κριτήρια ποιότητας, όπως είναι π.χ. η χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα και σκόνη (θρύμματα), το υψηλό σημείο τήξεως τέφρας κ.λπ. είναι πρωταρχικής σημασίας



*Εικόνα 2.16*

χαρακτηριστικά καυσίμου για την αποτελεσματική καύση στο λέβητα.

Παραδείγματος χάριν, ένα βασικό ζήτημα ήταν η ανθεκτικότητα των pellets και η περιεκτικότητά τους σε σκόνη. Καθώς τα pellets οδηγούνται με πνευματικό σύστημα από τα φορτηγά μεταφοράς στο χώρο αποθήκευσής τους με μεγάλη ταχύτητα, σε περίπτωση χαμηλής μηχανικής αντοχής συνθλίβονται και μετατρέπονται σε πριονίδι. Το πριονίδι, όμως, έχει εντελώς διαφορετικές ιδιότητες καύσης από ότι τα pellets και δεν μπορεί να καεί αποτελεσματικά σε λέβητες pellet.

Ένα αντίστοιχα σημαντικό ζήτημα είναι το περιεχόμενο σε τέφρα (στάχτη) των καυσίμων, όπως και συμπεριφορά τήξης αυτής της τέφρας. Υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα, η οποία συχνά βρίσκεται να σχετίζεται με χαμηλότερη θερμοκρασία τήξεως τέφρας, οδηγούσε σε αποτυχημένη λειτουργία του λέβητα, καθώς η τηγμένη τέφρα επικαθόταν σε διάφορα σημεία του λέβητα εμποδίζοντας την ομαλή καύση των pellets. Παράλληλα, αποδείχθηκε ότι υψηλή τέφρα οδηγεί στην εκπομπή αυξημένων ρύπων, γεγονός που δημιουργεί περιβαλλοντικά και αδειοδοτικά/νομικά ζητήματα στη λειτουργία του λέβητα. Επίσης η προέλευση του pellet είναι καθοριστική. Σε περίπτωση που πρώτη ύλη είναι μη-καθαρό ξύλο (π.χ. χημικά επεξεργασμένο, βαμμένο, κ.λπ.) δεν είναι μόνο πιο πιθανό να οδηγήσει σε βλάβες στη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης, αλλά να οδηγήσει και σε αυξημένες εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων, με συνέπεια την παύση της λειτουργίας του από τον νόμο. Για να εξαλειφθεί αυτό το φαινόμενο, τα πρότυπα ποιότητας των pellets περιλαμβάνουν την μέτρηση μιας λίστας χημικών στοιχείων που είναι ενδεικτικά για μολύνσεις όπως το άζωτο, το θείο και τα βαρέα μέταλλα. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του νέου προτύπου ENplus A1 τα pellets ξύλου πρέπει να περιέχουν κατ'ανώτατο όριο το 1% σε σκόνη. Κατά τη διάρκεια, βέβαια, της τροφοδοσίας του υλικού σε δεξαμενή/σιλό αποθήκευσης, η ανάπτυξη κάποιας σκόνης είναι δύσκολο να αποφευχθεί, μπορεί όμως να μειωθεί σημαντικά, αναλόγως την ποιότητα του καυσίμου.

Το νέο Ευρωπαϊκό πρότυπο για τα καύσιμα στερεής βιομάζας τέθηκαν σε ισχύ από το 2011. Το εν λόγω πρότυπο, συνέχεια του γενικού προτύπου EN14961-1,



είναι το EN14961-2 “Στερεά βιοκαύσιμα - προδιαγραφές καυσίμων και των τάξεων - Μέρος 2: Pellet ξύλου για μη βιομηχανική χρήση”. Το νέο ευρωπαϊκό πρότυπο ποιότητας pellet ξύλου εφαρμόζεται στην Ευρώπη από την ENplus, που απαιτεί τις πλέον αυστηρές προδιαγραφές ποιότητας. Η πιστοποίηση ENplus δεν καθορίζει μόνο πρότυπα ποιότητας για το προϊόν pellet, αλλά και για το εμπόριο του. Βασικό πλεονεκτήματα για έναν καταναλωτή να επιλέξει ENplus ποιότητας pellet ξύλου είναι η βεβαιότητα ότι προμηθεύεται πιστοποιημένης ποιότητας προϊόν, με συνέπεια να κάνει αποδοτικές, οικονομικές και οικολογικές καύσεις στο λέβητα ή τη σόμπα του. Σημειώνεται ότι το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN14961-2 είναι στη διαδικασία μετατροπής του σε παγκόσμιο πρότυπο από τον Οργανισμό ISO.

Το πρότυπο EN 14961-2 περιλαμβάνει τις κατηγορίες ποιότητας A1 και A2 τα οποία μπορούν να χαρακτηριστούν με τον όρο ENplus. Η κατηγορία A1 είναι τα ανώτερης ποιότητας pellet ξύλου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οικιακούς λέβητες και σόμπες pellet. Η κατηγορία A2 χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερης ισχύος εγκαταστάσεις, ενώ είναι και καύσιμο με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε τέφρα (στάχτη). Τα pellets για βιομηχανικές εφαρμογές πιστοποιούνται μέσω της κατηγορίας B και δεν καλούνται με τον όρο ENplus.

Για την οικιακή θέρμανση σε ιδιωτικά νοικοκυριά, συνιστάται η χρήση μόνο πιστοποιημένων κατά ENplus pellets ξύλου κατηγορίας A1. Pellet κατηγορίας A2 χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές λεβήτων αυξημένης ισχύος (άνω των 100 kW) και διαφέρουν από την A1 κατηγορία ως προς την περιεκτικότητα τους σε τέφρα και την συμπεριφορά τήξης της τέφρας (η οποία είναι απαιτούμενη μέτρηση για το ENplus πρότυπο, αλλά όχι για το EN). Επίσης, το εύρος των βασικών πρώτων υλών για την παραγωγή αυτών των pellet είναι ευρύτερο από ό, τι για την κατηγορία ENplus A1. Σε κάθε περίπτωση, οι κατασκευαστές λεβήτων πρέπει να επιτρέπουν και τη χρήση pellet κατηγορίας A2 στους λέβητές τους.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των διάφορων κατηγοριών pellet ξύλου σύμφωνα με το πρότυπο EN 14961-2.

<b>Κατηγορίες &amp; Χαρακτηριστικά Ποιότητας Pellet ξύλου</b>				
<b>σύμφωνα με το πρότυπο EN 14961-2</b>				
<b>Παράμετρος Ποιότητας</b>	<b>Μονάδες</b>	<b>Κατηγορία ENPlus-A1</b>	<b>Κατηγορία ENPlus-A2</b>	<b>Κατηγορία EN-B</b>
<b>Διάμετρος</b>	mm	6 ή 8 ±1	6 ή 8 ± 1	6 ή 8 ±1
<b>Μήκος</b>	mm	3.15 – 40	3.15 – 40	3.15 - 40
<b>Πυκνότητα</b>	kg/m <sup>3</sup>	>600	>600	>600
<b>Θερμαντική αξία</b>	MJ/kg	16.5 – 19	16.5 – 19	16.5 - 19
<b>Υγρασία</b>	%	<10	<10	<10
<b>Ανθεκτικότητα</b>	%	>97.5	>97,5	>97.5

Κατηγορίες & Χαρακτηριστικά Ποιότητας Pellet ξύλου σύμφωνα με το πρότυπο EN 14961-2				
Παράμετρος Ποιότητας	Μονάδες	Κατηγορία ENPlus-A1	Κατηγορία ENPlus-A2	Κατηγορία EN-B
Τέφρα	%	<0.7	<1.5	<3
Σημείο Τήξεως Τέφρας	°C	>1200	>1100	>1100
Υλικό Προέλευσης (πρώτη ύλη)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Παρθένα ξυλεία</li> <li>• Μη χημικά επεξεργασμένα υπολείμματα ξύλου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ολόκληρα δέντρα χωρίς ριζικό σύστημα Παρθένα ξυλεία</li> <li>• Υπολείμματα κλαδεμάτων</li> <li>• Μη χημικά επεξεργασμένα υπολείμματα ξύλου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δασικές και λοιπές καλλιέργειες &amp; παρθένα ξυλεία</li> <li>• Μη χημικά επεξεργασμένα υπολείμματα ξύλου &amp; χρησιμοποιημένα ξύλα</li> </ul>

*Πίνακας 2.12 Συνοπτική παρουσίαση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των διάφορων κατηγοριών pellet ξύλου σύμφωνα με το πρότυπο EN 14961-2. [13]*

### ΤΑ PELLEΤ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΩΣ ΜΕΣΟΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής αποτελεί αναμφίβολα μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που καλούνται να καλύψουν τα συστήματα ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.

Η εξάρτηση της οικονομίας από τα ορυκτά καύσιμα και η τεράστια κατανάλωση τους για την παραγωγή ενέργειας, έχει χαρακτηριστεί από επιστήμονες και πολιτικούς ως ο βασικότερος παράγοντας για την όξυνση του φαινομένου του της υπερθέρμανσης του πλανήτη, με όλες τις γνωστές συνέπειες (άνοδος μέσης στάθμης θάλασσας, ακραία καιρικά φαινόμενα κ.λπ.).

Η ουδετερότητα των πέλλετς ως προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) δεν προκύπτει από το γεγονός ότι δεν εκλύουν κατά την καύση τους το συγκεκριμένο αέριο· κάτι τέτοιο είναι αδύνατο για οποιαδήποτε καύση ένωσης που περιέχει άνθρακα. Η φιλικότητα των πέλλετς για το περιβάλλον απορρέει από το γεγονός ότι για την παραγωγή τους χρησιμοποιούνται φυσικές πρώτες ύλες (π.χ. υπολείμματα υλοτομίας, πριονίδι, ειδικές καλλιέργειες) που για την ανάπτυξή τους απορροφούν περίπου ίση ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα όση με εκείνη που εκλύουν κατά την καύση τους. Κατά συνέπεια, το συνολικό ισοζύγιο μεταφοράς διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι, κατά προσέγγιση, μηδενικό. Βέβαια, υπάρχουν διάφοροι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για έναν αυστηρότερο υπολογισμό του ισοζυγίου άνθρακα, όπως η απόδοση του συστήματος



καύσης των πέλλετς ή η ενεργειακή κατανάλωση των μονάδων παραγωγής αυτών των βιοκαυσίμων.

Αρκετές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί πανευρωπαϊκά την τελευταία δεκαετία για να αποσαφηνιστεί το ερώτημα αν όντως τα πέλλετς βιομάζας αποτελούν φιλικότερο καύσιμο προς το περιβάλλον σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Σε σχετική μελέτη του κρατικού Τμήματος Εμπορίας και Βιομηχανίας της Μ. Βρετανίας (2003) όπου εξετάζονταν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από διάφορα καύσιμα, σε όλο το φάσμα του κύκλου ζωής τους, διαπιστώθηκε ότι ανά μεγαβατώρα (MWh), τα πέλλετς βιομάζας παράγουν λιγότερο του 5% των αντίστοιχων εκπομπών από πετρέλαιο. Σε σύγκριση, δε, με το φυσικό αέριο (το οποίο «διαφημίζεται» για καθαρό καύσιμο) οι ίδιοι επιστήμονες εκτίμησαν ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα πέλλετς αντιστοιχούν μόλις στο 5,5%. Εν πάση περιπτώσει, τόσο το πετρέλαιο όσο και το φυσικό αέριο αποτελούν, εξ ορισμού, μη ανανεώσιμα καύσιμα, σε αντίθεση με την βιομάζα που, επίσης εξ ορισμού, είναι ανανεώσιμο καύσιμο.

Η περιφέρμη Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (U.S.EPA) αναφέρεται στα πέλλετς ξύλου ως ανανεώσιμο καύσιμο που παράγεται από συμπιεσμένο και ξηρό ξύλο ή άλλες πηγές βιομάζας. Προσθέτει ότι οι σόμπες που χρησιμοποιούν πέλλετς βιομάζας μολύνουν τόσο λίγο ώστε να μην είναι αναγκαία η πιστοποίησή τους από την U.S.EPA. (όπως γίνεται με τις συμβατικές σόμπες ξύλου).

Ειδικό Αυστριακό Ινστιτούτο για την Αστικοποίηση και την Κατοικία (Salzburger Institute for Urbanization and Housing) ανέφερε ως αποτέλεσμα έρευνας ότι ένα μέσο νοικοκυριό στην Αυστρία που χρησιμοποιεί πέλλετς αντί για πετρέλαιο για τη θέρμανση συμβάλει στην προστασία του περιβάλλοντος μειώνοντας κατά 10 τόνους την ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εκλύει ετησίως.

Η απευθείας σύνδεση που υπάρχει μεταξύ της χρήσης των πέλλετς και της προστασίας του περιβάλλοντος αποδεικνύεται, στην πράξη, και από το γεγονός ότι τις μεγαλύτερες καταναλώσεις πέλλετς εμφανίζονται σε χώρες και οικονομικά προηγμένες και περιβαλλοντικά ευαίσθητες. Προεξέχουσα αυτών, η Σουηδία, η χώρα με την μεγαλύτερη κατανάλωση πέλλετς βιομάζας στην Ευρώπη, η οποία, μάλιστα, χρησιμοποίησε περισσότερη βιομάζα από πετρέλαιο το 2009 για να καλύψει τις ενεργειακές της ανάγκες.

Τα παγκόσμια παραδείγματα από επίσημους, αξιόπιστους φορείς και μελέτες που αποδεικνύουν την συνεισφορά των πέλλετς βιομάζας στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι πάρα πολλά. Το διοξείδιο του άνθρακα δεν είναι, όμως, το μόνο αέριο προϊόν της καύσης που απασχολεί.

Μεταξύ της περιόδου 1980-2000 υπήρξε κατακόρυφη πτώση των εκπεμπόμενων ποσοτήτων μονοξειδίου του άνθρακα (CO) από συστήματα οικιακής καύσης πέλλετς· γεγονός που αποδίδεται στην τεχνολογική εξέλιξη των συστημάτων αυτών. Ομοίως ταιωρούμενα σωματίδια (PM10) αποτελούν έναν εξίσου σημαντικό ρύπο κατά την καύση στερεών καυσίμων. Αντίστοιχα με την περίπτωση του μονοξειδίου του άνθρακα, είναι τόσο ραγδαία η εξέλιξη της τεχνολογίας των συστημάτων καύσης πέλλετς ώστε να έχει επιτευχθεί μείωση στα εκπεμπόμενα σωματίδια της τάξης του 1% μέσα σε μια εικοσαετία. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εκπομπές των PM10 από την καύση πέλλετς είναι λιγότερες από το 5% εκείνων που εκλύονται από συμβατικά τζάκια με καυσόξυλα.

## ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η ποιότητα των pellet είναι πολύ σημαντικός παράγοντας (θερμογόνος δύναμη, υγρασία και περιεκτικότητα στάχτης), καθώς και η ισχύς στην οποία είναι ρυθμισμένος ο καυστήρας.

Σύμφωνα με ρυθμισμένη ισχύ, ο χρόνος τροφοδοσίας μπορεί να ποικίλλει για παράδειγμα από 3,68 έως 8,21 δευτερόλεπτα, σε διαστήματα 15 δευτερολέπτων. Έτσι η κατανάλωση μπορεί να είναι 0,7-1,25 kg/h για εξωτερικές θερμοκρασία -5°C, το οποίο σημαίνει 16- 30 kg/ημέρα ή 480-900 kg/μήνα. Για ένα σιλό 500 lit η αυτονομία μπορεί να φτάσει περίπου στις 10 μέρες.

Εάν χρησιμοποιηθούν agropellets (ηλιόσπορος), θα καίγονται, αλλά θα πρέπει να καθαρίζεται πολύ συχνά ο καυστήρας (ακόμα και 2 φορές τη μέρα) λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε στάχτη. Εάν χρησιμοποιείτε κανονικά pellet με χαμηλή περιεκτικότητα στάχτης (DIN+ πιστοποίηση) θα χρειάζεται να καθαρίζετε τον καυστήρα μια φορά έως δύο φορές την βδομάδες.

### **2.4.2.4.4 ΛΕΒΗΤΑΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΜΕ ΚΑΥΣΤΗΡΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ (ΜΕ ΚΟΧΛΙΑ)**

#### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Οι λέβητες πολλαπλής καύσης με καυστήρα βιομάζας τύπου κοχλία, προορίζονται για καύση στερεών καυσίμων σε μορφή κόκκων με αυτόματη τροφοδοσία μέσω κοχλία, ή για στερεά καύσιμα όπως ξύλα ή μπρικέτες με χειροκίνητη τροφοδοσία. Ορισμένοι διαθέτουν επίσης φλάντζα για προσαρμογή καυστήρα πετρελαίου για βοηθητική-εναλλακτική χρήση, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 2.17**.

Στο εμπόριο κυκλοφορούν κυρίως χαλύβδινοι λέβητες, φλογαυλωτοί, ελεύθερης ροής καυσαερίων και βγαίνουν σε δύο εκδόσεις. Στη μία περίπτωση, **Εικόνα 2.17 β**, ο λέβητας έχει δύο πόρτες, η επάνω είναι για καθαρισμό των αυλών και ο κάτω θάλαμος για χειροκίνητη τροφοδοσία, έναυση και επιθεώρηση, ενώ η κάτω πόρτα για περισυλλογή και απομάκρυνση της στάχτης. Όταν ανοίγει η πάνω πόρτα για τροφοδοσία ξύλου, στον επάνω θάλαμο με τους αυλούς είναι τοποθετημένη Στην άλλη περίπτωση, **Εικόνα 2.17 α**, με τρεις πόρτες, η επάνω είναι για καθαρισμό των αυλών, η μεσαία για χειροκίνητη τροφοδοσία, έναυση και επιθεώρηση και η κάτω για περισυλλογή και απομάκρυνση της στάχτης.



α) Έκδοση με τρεις πόρτες



β) Έκδοση με δύο πόρτες

Εικόνα 2.17



Θεωρείται να έχει περισσότερες απώλειες η έκδοση με τις δύο πόρτες, γιατί όταν ανοίγει η πάνω πόρτα κάποιο μέρος από τη θερμοκρασία των καυσαερίων που περνά από τον θάλαμο των αυλών διαφεύγει στο περιβάλλον. Για αυτό το λόγο και για να μην έρχονται τα καυσαέρια στο πρόσωπο όταν π.χ. τροφοδοτεί ο χρήστης ξύλα, τοποθετείται μία μεταλλική πόρτα, **Εικόνα 2.18**, η οποία όμως δεν είναι μονωμένη γύρω γύρω, όπως είναι η επάνω πόρτα στην έκδοση με τις τρεις πόρτες.



**Εικόνα 2.18** Εσωτερικό λέβητα πολλαπλής καύσης

Η τροφοδοσία του καυσίμου γίνεται μέσω κοχλίας που κινείται από κατάλληλα προσαρμοσμένο ηλεκτρομειωτήρα, και η παροχή του αέρα από φυσητήρα κατευθείαν στην εστία καύσης. Η ρύθμιση του κοχλίας και του φυσητήρα γίνεται από τον πίνακα ελέγχου.

Ο λέβητας διαθέτει σιλό αποθήκευσης προσαρμοσμένο στον κορμό του, όπου γίνεται η αποθήκευση του καυσίμου. Επίσης διαθέτει μηχανικό σύστημα πυροπροστασίας έναντι επιστροφής φλόγας στο σιλό.

## **ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ**

Η λειτουργία του λέβητα βασίζεται στον φυσικό ελκυσμό με ελεύθερη ροή των καυσαερίων μέσω της καπνοδόχου. Η καύση πραγματοποιείται στην εστία καύσης, η φλόγα διαχέεται σε όλο το φλογοθάλαμο, και κατόπιν τα καυσαέρια εξέρχονται μέσω των αυλών και καταλήγουν στον καπνοσυλλέκτη και τελικά στην καμινάδα.

## **ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ**

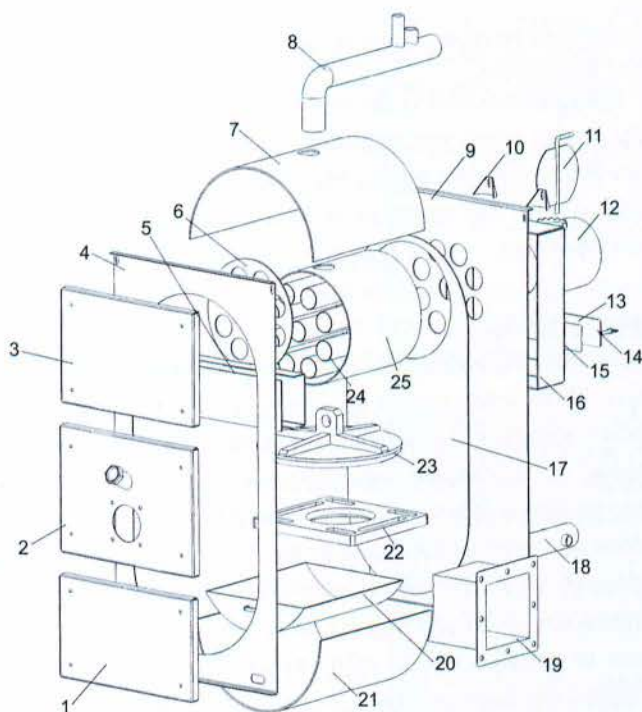
### **1.ΣΧΑΡΑ**

Η σχάρα συνήθως είναι κατασκευασμένη από χυτοσίδηρο (μαντέμι). Τοποθετείται γύρω από την εστία καύσης ξύλων και βελτιώνει την απόδοση της καύσης λόγω αποθήκευσης θερμότητας, και επιτρέπει την τροφοδοσία και ξύλων.



## 2.ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ

Ο καταλύτης είναι κατασκευασμένος από χυτοσίδηρο (μαντέμι). Κρεμιέται με ειδικό γάντζο επάνω από την εστία καύσης, ώστε να διαβρέχεται από τη φλόγα κατά την καύση. Καθώς είναι πυρακτωμένος, κατακαίει όλα τα στερεά σωματίδια που διαφεύγουν από την εστία και συνεισφέρει στη μετάκαυση. Επίσης κατά την καύση αποθηκεύει θερμότητα, την οποία αποδίδει όταν σβήσει η φλόγα. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνει την απόδοση του λέβητα, και διατηρεί το λέβητα ζεστό για περισσότερο χρόνο, επιτρέποντας έτσι την ανάφλεξη του καυσίμου στην εστία μετά από περισσότερο χρόνο.



- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| 1. Κάτω πόρτα                     | 14. Πεταλούδες σύνδεσης θυρίδας        |
| 2. Μεσαία πόρτα                   | 15. Κεραμική φλάντζα θυρίδας           |
| 3. Επάνω πόρτα                    | 16. Καπνοθάλαμος                       |
| 4. Εμπρόσθια πλάκα                | 17. Πάτος φλογοθαλάμου                 |
| 5. Υδροφόρος γέφυρα               | 18. Μαστός επιστροφής                  |
| 6. Κάλυμμα εναλλάκτη καυσαερίων   | 19. Φλάντζα προσαρμογής πυρηνοκαυστήρα |
| 7. Υδροθάλαμος                    | 20. Λοχείο στάχτης                     |
| 8. Μαστός προσαγωγής              | 21. Φλογοθάλαμος                       |
| 9. Οπίσθια πλάκα                  | 22. Μαντεμένια σχάρα                   |
| 10. Αυτάκια σύνδεσης καπνοθαλάμου | 23. Μαντεμένιος καταλύτης              |
| 11. Τάμπερ καμινάδας              | 24. Φλογαυλοί                          |
| 12. Καπνοδόχος                    | 25. Εναλλάκτης καυσαερίων              |
| 13. Θυρίδα καπνοθαλάμου           |  |

*Εικόνα 2.19 Μέρη λέβητα πολλαπλής καύσης [27]*

### 3. ΠΥΡΗΝΟΚΑΥΣΤΗΡΑΣ

Ο πυρηνοκαυστήρας προορίζεται για την τροφοδοσία του καυσίμου εντός του λέβητα και την αποδοτική καύση του. Αποτελείται από τον κορμό, την εστία καύσης, τον κοχλία τροφοδοσίας, τον ηλεκτρομειωτήρα και το φυσητήρα.

### 4. ΚΟΡΜΟΣ ΠΥΡΗΝΟΚΑΥΣΤΗΡΑ

Είναι αποσπώμενο εξάρτημα, και συναρμολογείται στη φλάντζα στο πλάι του λέβητα με οχτώ βίδες. Διαθέτει φλάντζα στο επάνω μέρος για σύνδεση με το σιλό. Επάνω στον κορμό προσαρμολογούνται όλα τα υπόλοιπα εξαρτήματα του πυρηνοκαυστήρα.

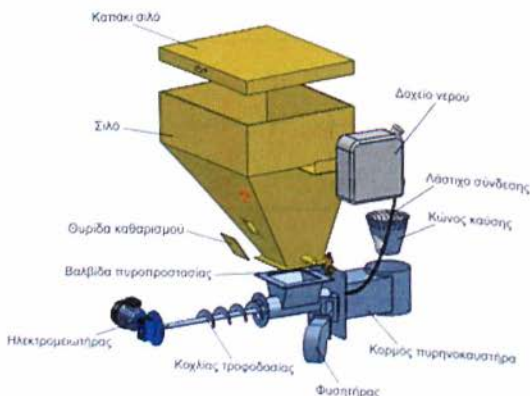
### 5. ΕΣΤΙΑ ΚΑΥΣΗΣ

Η εστία καύσης είναι κατασκευασμένη από χυτοσίδηρο, για αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες της φλόγας.

Στην εστία, πραγματοποιείται η καύση του λέβητα. Το καύσιμο προωθείται στην περιφέρεια της εστίας μέσω του κοχλία. Καθώς νέο καύσιμο εισέρχεται από κάτω, η στάχτη που βρίσκεται στο χείλος της εστίας, πέφτει κάτω. Ο φυσητήρας διοχετεύει τον κατάλληλο για την καύση αέρα στην εστία μέσω των περιφερειακών οπών που υπάρχουν στην εστία.

### 6. ΚΟΧΛΙΑΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Ο κοχλίας είναι συγκολλημένος πάνω σε άξονα, ο οποίος παίρνει κίνηση από τον ηλεκτρομειωτήρα. Μεταξύ του κοχλία και του ηλεκτρομειωτήρα, παρεμβάλλεται πύρος ασφαλείας, μέσω του οποίου μεταδίδεται η κίνηση από τον ηλεκτρομειωτήρα στον κοχλία. Ο πύρος σε περίπτωση υπερφόρτισης του κοχλία σπάει ώστε να αποτραπεί βλάβη στο μειωτήρα ή τον κινητήρα. Ο κοχλίας καλύπτει όλη τη διατομή του σωλήνα τροφοδοσίας ώστε να μην αφήνει υπολείμματα καυσίμου. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην καλή και ανεμπόδιστη λειτουργία του κοχλία, καθώς και στη στερεή σύνδεσή του με το μειωτήρα. Στις εκδόσεις με δύο άξονες, ο πρώτος άξονας παραλαμβάνει το καύσιμο από το σιλό και το προωθεί σε μία οπή μέσω της οποίας το καύσιμο πέφτει στο δεύτερο άξονα, ο οποίος στη συνέχεια ωθεί το καύσιμο στην εστία καύσης.



*Εικόνα 2.20 Ενδεικτικό σύστημα τροφοδοσίας λέβητα Pellet [27]*



## **7.ΗΛΕΚΤΡΟΜΕΙΩΤΗΡΑΣ**

Ο ηλεκτρομειωτήρας δίνει κίνηση στον κοχλία τροφοδοσίας. Συνδέεται στον πίνακα ελέγχου, από όπου και ελέγχεται η λειτουργία του.

## **8.ΦΥΣΗΤΗΡΑΣ**

Ο φυσητήρας διοχετεύει τον αέρα που είναι απαραίτητος για την καύση στην εστία. Η ποσότητα του αέρα ρυθμίζεται κυρίως από τον πίνακα ελέγχου και δευτερευόντως από το τάμπερ που βρίσκεται επάνω στο σώμα του φυσητήρα (συνίσταται να είναι πλήρως ανοιχτό και η ρύθμιση να γίνεται μέσω του πίνακα). Για αύξηση του αέρα το τάμπερ τοποθετείται σε πιο ανοικτή θέση, ενώ για μείωση του αέρα σε πιο κλειστή θέση.

Ο φυσητήρας επίσης διαθέτει κλαπέ που εμποδίζει τα καυσαέρια να επιστρέψουν όταν αυτός δε λειτουργεί. Η ρύθμιση του κλαπέ γίνεται με ρύθμιση αντίβαρου. Το αντίβαρο θα πρέπει να είναι ρυθμισμένο έτσι ώστε το κλαπέ να κλείνει αυτόματα όταν η ροή του αέρα σταματάει.

Ο δευτερεύων αέρας ρυθμίζεται από το διάφραγμα στη μεσαία πόρτα (έκδοση 3 πορτών) ή στην πάνω πόρτα (έκδοση 2 πορτών) του λέβητα.

## **9.ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (ΣΙΛΟ)**

Το σιλό χρησιμοποιείται για την αποθήκευση καυσίμου αυτόματης τροφοδοσίας. Είναι συνδεδεμένο στο πάνω μέρος του πυρηνοκαυστήρα. Καθώς έχει κεκλιμένες πλευρές επιτρέπει την ελεύθερη πτώση του καυσίμου στον κοχλία τροφοδοσίας, χωρίς να μένουν κατάλοιπα.

Διαθέτει ανοιγόμενο καπάκι με αμορτισέρ για εύκολο άνοιγμα. Η επαφή του καπακιού με το σιλό είναι στεγανή, ώστε να μην εισέρχεται αέρας για λόγους ασφαλείας σε περίπτωση επιστροφής φλόγας. Επίσης διαθέτει θυρίδα επιθεώρησης στάθμης του καυσίμου, και σήτα προστασίας στο επάνω μέρος. Στο κάτω μέρος διαθέτει ανοιγόμενη θυρίδα καθαρισμού.

Προσέξτε να μην εισέλθουν στο σιλό ξένα σώματα, όπως πέτρες, κομμάτια ξύλου, πλαστικά ή μεταλλικά υλικά κτλ., τα οποία μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στον κοχλία τροφοδοσίας.

Για μεγαλύτερη αυτονομία μπορεί να τοποθετηθεί μεγαλύτερη δεξαμενή καυσίμου εξωτερικά ή παράπλευρη αποθήκη, με κατάλληλη ανάλογα με την εγκατάσταση μεταφορά του καυσίμου από την εξωτερική αποθήκη καυσίμου στο σιλό του λέβητα. Σε κάθε περίπτωση η τροφοδοσία πρέπει να γίνεται στο σιλό και σε καμία περίπτωση κατευθείαν στο λέβητα με οποιουδήποτε είδους ιδιοκατασκευές.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3. ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Για να επιτύχουμε μια τέλεια καύση, με πλήρη αξιοποίηση της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου δεν αρκεί μόνο ένας πολύ καλός λέβητας, αλλά και ένας πολύ καλός καυστήρας. Οι καυστήρες που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης πρέπει να εξασφαλίζουν την οικονομική και ασφαλή καύση με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο η ποιότητα κατασκευής του καυστήρα, όσο και η σχέση λειτουργίας του με το θάλαμο καύσης του συγκεκριμένου λέβητα. Γι' αυτό και ο κάθε κατασκευαστής λεβήτων, συνήθως προτείνει κάποιους ενδεδειγμένους τύπους καυστήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ικανοποιητικά αποτελέσματα.[3]

Σήμερα στη χώρα μας οι περισσότερες εγκαταστάσεις θέρμανσης χρησιμοποιούν ως καύσιμο το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο. Παρατηρείται όμως μία τάση προς μετατροπή των εγκαταστάσεων πετρελαίου σε εγκαταστάσεις με καύσιμο βιομάζα και κυρίως pellet. Ο λόγος σαφώς, είναι η αύξηση της τιμής του πετρελαίου θέρμανσης. Το pellet είναι ένα καύσιμο φιλικό προς το περιβάλλον και με υψηλή θερμογόνο δύναμη. Επίσης, έχει νομιμοποιηθεί το pellet ακόμα και στις αστικές πόλεις, εδώ και περίπου ένα χρόνο.

Επομένως, οι καυστήρες πέραν του ότι εκσυγχρονίζονται, πληθαίνουν και οι κατηγορίες τους, ο τρόπος λειτουργίας και πιθανόν πολλά άλλα.

#### 3.1 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

Το πετρέλαιο για να καεί απαιτεί προετοιμασία σε αέρια μορφή ή σε σταγονίδια. Μόνο τότε μπορεί να αναμιχθεί καλά με τον αέρα και να καεί πλήρως. Έτσι διακρίνουμε δύο είδη καυστήρων:

1. Τις κοινές θερμάστρες με εξάτμιση του καυσίμου
2. Τους καυστήρες σταγονιδιοποίησης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στους λέβητες εγκαταστάσεων θέρμανσης.

Σε όλα τα είδη καυστήρων σταγονιδιοποίησης το καύσιμο σταγονιδιοποιείται μηχανικά σε λεπτότατα σταγονίδια. Το μέγεθος των σταγονιδίων εξαρτάται από τη μέθοδο παραγωγής τους και το ιξώδες του καυσίμου και είναι περίπου 40 έως 200μμ. Όσο μικρότερα είναι τα σταγονίδια, τόσο μεγαλύτερη είναι η συνολική επιφάνεια εξάτμισης των υδρογονανθράκων υπό την επίδραση της θερμοκρασίας της φλόγας και των τοιχωμάτων του λέβητα. Έτσι μπορεί να πραγματοποιηθεί καλή ανάμιξη των ατμών του καυσίμου με τον αέρα καύσης, ο οποίος προσάγεται με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα.

Αν η ανάμιξη με τον αέρα καύσης γίνει σε συνδυασμό με πλήρη εξάτμιση του καυσίμου μέσω πρόσθετης θέρμανσης, τότε λαμβάνεται μια γαλάζια φλόγα. Ενώ αν ανάμιξη του αέρα καύσης γίνει με σταγονίδια πετρελαίου, τότε προκύπτει μια κίτρινη φλόγα με έντονη ακτινοβολία, οφειλόμενη σε διάπυρους σκελετούς άνθρακα των υδρογονανθράκων.

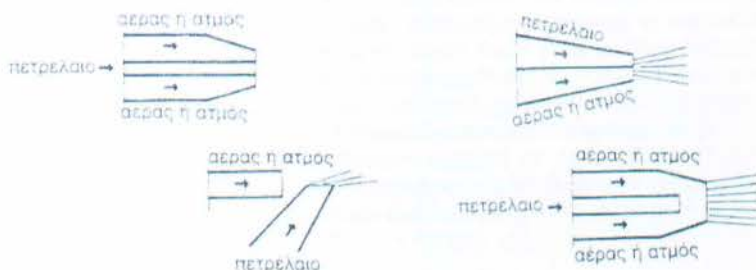
Όσο μικρότερο το μέγεθος των σταγονιδίων, τόσο καλύτερη η καύση και μικρότερη η παραγωγή αιθάλης. Όμως τα σταγονίδια δεν μπορούν να είναι μικρότερα από ένα οριακό μέγεθος, διότι τότε το νέφος καυσίμου δεν θα μπορεί να διεισδύσει στη ροή του αέρα καύσης, ενώ ευνοείται και σχηματισμός των οξειδίων του αζώτου.  $NO_x$ .

Η σταγονιδιοποίηση του καυσίμου μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους:

1. Σταγονιδιοποίηση με περιστροφή (φυγοκεντρικά)
2. Σταγονιδιοποίηση με έγχυση
3. Σταγονιδιοποίηση με υπερήχους
4. Σταγονιδιοποίηση με υψηλή πίεση

Στη σταγονιδιοποίηση με περιστροφή το καύσιμο σταγονιδοποιείται με την επίδραση της φυγόκεντρης δύναμης ταχέως περιστρεφόμενου δίσκου (6000 στροφές ανά λεπτό).

Στη σταγονιδιοποίηση με έγχυση το καύσιμο συμπαρασύρεται και σταγονιδοποιείται σε ένα ειδικό ακροφύσιο με πεπιεσμένο αέρα ή με ατμό. Ο τρόπος δράσης δείχνεται στην παρακάτω **Εικόνα 3.1**



**Εικόνα 3.1 Σταγονιδιοποίηση με έγχυση**

Η ποσότητα του πεπιεσμένου αέρα για τη σταγονιδιοποίηση δεν επαρκεί για την πλήρη καύση του πετρελαίου. Έτσι πρέπει να προσαχθεί με τη βοήθεια ανεμιστήρα και δευτερευόν αέρας καύσης. Οι καυστήρες έγχυσης που εργάζονται με αέρα υψηλής πίεσης ή με ατμό χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εστίες καύσης.

Στη σταγονιδιοποίηση με υπερήχους εφαρμόζεται στο καύσιμο μια υψηλή συχνότητα, μεγαλύτερη από 20MHz, και το καύσιμο διασκορπίζεται σε μικρότατα σταγονίδια. Η μέθοδος δεν έχει φθάσει σε ωριμότητα αγοράς.

Στους καυστήρες με σταγονιδιοποίηση υψηλής πίεσης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στις κεντρικές θερμάνσεις, το καύσιμο συμπιέζεται σε υψηλή αρχική πίεση και σταγονιδοποιείται σε ένα ειδικό ακροφύσιο. Στο νέφος καυσίμου που δημιουργείται προσάγεται ο αέρας καύσης με ένα ανεμιστήρα. Το είδος αυτό παρουσιάζει τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα από την άποψη μηχανική κατασκευής, χειρισμού, συντήρησης και ασφάλειας λειτουργίας. Παρακάτω θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με αυτό το είδος καυστήρα.

Τα βασικά μέρη του καυστήρα αυτού είναι:

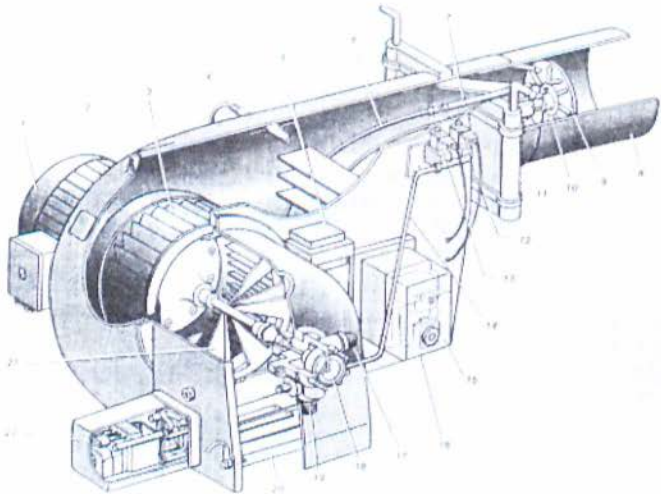
1. Ο κινητήρας
2. Ο ανεμιστήρας
3. Η αντλία καυσίμου
4. Τα ακροφύσια καυσίμου
5. Η διάταξη ανάμιξης
6. Η διάταξη ρύθμισης της παροχής αέρα
7. Τα ηλεκτρόδια έναυσης
8. Ο μετασχηματιστής
9. Οι μαγνητικές βαλβίδες
10. Η διάταξη επιτήρησης της φλόγας
11. Το όργανο ρύθμισης και ελέγχου (αυτοματισμός)

Η λειτουργία του καυστήρα περιγράφεται με τη βοήθεια της παρακάτω εικόνας και έχει ως εξής: κλείνοντας τον κύριο διακόπτη ξεκινά ο κινητήρας του καυστήρα (1). Συγχρόνως ο μετασχηματιστής έναυσης (5) αποκτά τάση και στα ηλεκτρόδια (7) δημιουργείται σπινθήρας. Ο ανεμιστήρας (3) που κινείται από τον κινητήρα (1) στέλνει αέρα μέσω του φλογοσωλήνα (8) στον θάλαμο καύσης του λέβητα. Η αντλία καυσίμου (18) προωθεί καύσιμο, το οποίο δεν μπορεί να φθάσει στα δύο ακροφύσια (10), επειδή είναι κλειστές οι μαγνητικές βαλβίδες (12 και 13).



Μετά από περίπου 20-30 s λειτουργίας του ανεμιστήρα ανοίγει η μαγνητική βαλβίδα για το πρώτο ακροφύσιο (12). Το καύσιμο σταγονιδιοποιείται στο ακροφύσιο και αναμιγνύεται με τον αέρα σε ένα ευανάφλεκτο μίγμα. Η φλόγα δημιουργείται από τις εκκενώσεις υψηλής τάσης. Αν ο καυστήρας είναι διβάθμιος, περίπου 20s μετά την έναυση ανοίγει και η δεύτερη μαγνητική βαλβίδα (13) για το δεύτερο ακροφύσιο. Τώρα ο καυστήρας εργάζεται σε πλήρες φορτίο.

Αν αυξηθεί η πίεση ή η θερμοκρασία, τότε κατ' αρχήν ξεπερνιέται η κατώτερη οριακή στάθμη του ρυθμιστικού οργάνου (ρυθμιστικό πίεσης ή θερμοκρασίας) και η μαγνητική βαλβίδα κλείνει το δεύτερο ακροφύσιο. Αν ξεπερασθεί η ανώτερη οριακή τιμή, τότε η μαγνητική βαλβίδα για το πρώτο ακροφύσιο σταματάει τον κινητήρα. Όταν πέσει η πίεση ή η θερμοκρασία τότε, αφού αρχίσει να λειτουργεί ο ανεμιστήρας, ξεκινάει ο καυστήρας με το πρώτο ακροφύσιο και ούτω καθεξής. Σε ορισμένους καυστήρες, αν δεν ξεπερασθεί η κατώτερη οριακή τιμή του ρυθμιστικού οργάνου, το δεύτερο ακροφύσιο παραμένει εκτός λειτουργίας. Έτσι επιτυγχάνεται να αναλάβει το πρώτο ακροφύσιο τη ρύθμιση του φορτίου μέσα σε ένα εκλεγμένο διάστημα, όταν η θερμοκρασιακή απαίτηση παρουσιάζει διακυμάνσεις.



1. Κινητήρας
2. Άνοιγμα επιθεώρησης
3. Ανεμιστήρας
4. Επιτηρητής φλόγας
5. Μετασχηματιστής έναυσης
6. Καλώδιο έναυσης
7. Ηλεκτρόδια έναυσης
8. Φλογοσωλήνας
9. Δίσκος ανάμιξης
10. Ακροφύσια καυσίμου
11. Φλάντζα στερέωσης
12. Μαγνητική βαλβίδα για το ακροφύσιο 1
13. Μαγνητική βαλβίδα για το ακροφύσιο 2

14. Αγωγός καυσίμου υπό πίεση
15. Συσσκευή διεύθυνσης
16. Ακροδέκτες ηλεκτρ. σύνδεσης
17. Σύνδεση αγωγού προσαγωγής καυσίμου
18. Αντλία καυσίμου
19. Σύνδεση αγωγού επιστοφής καυσίμου
20. Κλαπέτο αέρα στην αναρρόφηση
21. Διάφραγμα για την κύρια ρύθμιση παροχής αέρα
22. Κινητήρας του κλαπέτου για τη ρύθμιση παροχής αέρα

Εικόνα 3.2 Καυστήρας πετρελαίου[3]



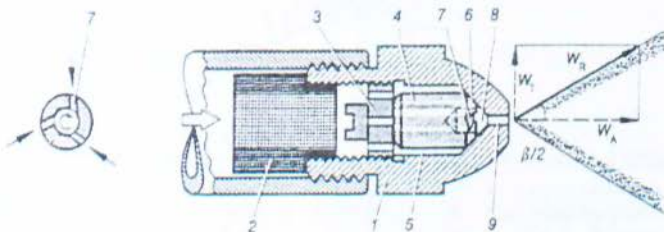
### 3.1.1 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΜΕ ΣΤΑΓΟΝΙΔΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

#### ΤΟ ΑΚΡΟΦΥΣΙΟ

Το ακροφύσιο του καυσίμου είναι βασικό στοιχείο του καυστήρα με σταγονιδιοποίηση υψηλής πίεσης. Από την ακρίβεια και την ποιότητα του εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η ποιότητα της καύσης και η ασφαλής λειτουργία. Για την κατανόηση των μεγεθών των ακροφυσίων, δίνεται το παρακάτω παράδειγμα. Για θερμαντική ανάγκη 16.000 kcal/h, που αντιστοιχεί σε παροχή καυσίμου 2,3 lit/h, η οπή του ακροφυσίου είναι περίπου 200 μm (0.2 mm). Έτσι λόγω φθοράς πρέπει τα ακροφύσια να αντικαθίστανται κάθε χρόνο, το πολύ κάθε δύο χρόνια.

Το ακροφύσιο σταγονιδιοποίησης εκτελεί τις ακόλουθες εργασίες:

1. Σταγονιδιοποίηση του καυσίμου σε λεπτότατα σταγονίδια ως πρώτο βήμα για την ανάμιξη με τον αέρα καύσης.
2. Καθορισμός μιας ορισμένης μορφής της φλόγας σε συνδυασμό με τη διάταξη οδήγησης του αέρα.
3. Καθορισμός της ισχύος του καυστήρα με τον καθορισμό της παροχής καυσίμου.



1. Κορμός ακροφυσίου
2. Φίλτρο καυσίμου
3. Κοχλία πυρήνα με οπές διέλευσης
4. Πυρήνας ακροφυσίου
5. Κυλινδρικός θάλαμος

6. Επιφάνεια στεγανοποίησης του πυρήνα στροβιλισμού με εγκοπές
7. Εφαπτομενική εγκοπή
8. Θάλαμος στροβιλισμού
9. Οπή ακροφυσίου

*Εικόνα 3.3 Απλό ακροφύσιο σταγονιδιοποίησης υψηλής πίεσης[3]*

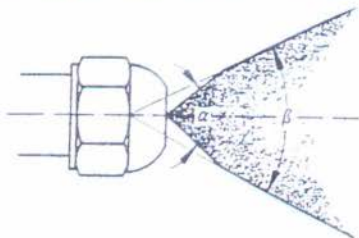
Σήμερα τα ακροφύσια διακρίνονται σε δύο βασικούς τύπους, το απλό ακροφύσιο και το ακροφύσιο αντεπιστροφής καυσίμου.

#### A. ΤΟ ΑΠΛΟ ΑΚΡΟΦΥΣΙΟ

Τα απλά ακροφύσια χρησιμοποιούνται σε μονοβάθμιους μικρούς καυστήρες ισχύος μέχρι 500.kW και εργάζονται με πιέσεις 6 έως 16 bar.

Η κατασκευή και ο τρόπος λειτουργίας ενός απλού ακροφυσίου δείχνεται στην *Εικόνα 3.3*. Ο κυλινδρικός θάλαμος (5) του κορμού του ακροφυσίου (1), με το φίλτρο καυσίμου (2), έχει μπροστά μια κωνική έδραση, επάνω στην οποία κάθεται στεγανά η επιφάνεια στεγανοποίησης (6) του πυρήνα (4) του ακροφυσίου. Ο πυρήνας του ακροφυσίου συγκρατείται από τον κοχλία (3). Η διέλευση του καυσίμου στο θάλαμο στροβιλισμού (8) και περαιτέρω στην οπή του ακροφυσίου (9) μπορεί να γίνει μόνον μέσω λεπτών εγκοπών (7), οι οποίες είναι διαταγμένες εφαπτομενικά στην επιφάνεια στεγανοποίησης. Λόγω της εφαπτομενικής εισόδου το καύσιμο αποκτά στο θάλαμο στροβιλισμού μια έντονη περιστροφική κίνηση.

Κατά την πορεία προς την οπή εξόδου αυξάνεται σημαντικά η περιστροφική ταχύτητα του περιστρεφόμενου δακτυλίου καυσίμου λόγω της κωνικής εισόδου στην οπή του ψεκασμού. Αυτό (απλοποιημένα) συμβαίνει με τον ακόλουθο τρόπο : κάτω από την επίδραση μόνον της φυγόκεντρης δύναμης, από την περιστροφή τα σταγονίδια θα εκτοξεύονταν μόνον εφαπτομενικά με τη μορφή ενός δίσκου, όπως σε ένα φυγόκεντρικό (περιστροφικό) σταγονιδιοποιητή. Επειδή όμως συγχρόνως δρα στην αξονική κατεύθυνση μια συνιστώσα της ταχύτητας λόγω της πίεσης, προκύπτει ως συνισταμένη  $u_R$  μια τροχιά των σταγονιδίων τέτοια, ώστε το καύσιμο να ψεκάζεται περίπου με μια κωνική περιβάλλουσα επιφάνεια. Η γωνία αυτή του κώνου χαρακτηρίζεται ως γωνία ανοίγματος  $\alpha$ , όπως δείχνεται στην **Εικόνα 3.4**. Η γωνία ανοίγματος εξαρτάται από το μήκος της οπής. Αν μειωθεί το μήκος της οπής, η γωνία του κώνου αυξάνει. Η γωνία ανοίγματος είναι διαφορετική από την ενεργό γωνία ψεκασμού  $\beta$ , η οποία προκύπτει υπό την επίδραση του αέρα καύσης και του περιβάλλοντος. Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η σχέση των γωνιών ανοίγματος και ψεκασμού.



**Εικόνα 3.4 Γωνία ανοίγματος  $\alpha$  και γωνία ψεκασμού  $\beta$  ακροφυσίου**

γωνία ανοίγματος $\alpha$	60°	70°	80°	90°	100°	110°
γωνία ψεκασμού $\beta$	30°	45°	60°	70°	80°	90°

**Πίνακας 3.1 Γωνίες ανοίγματος και ψεκασμού ακροφυσίου[3]**


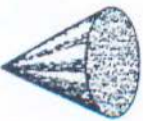
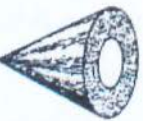
Για να προσαρμοσθεί η φλόγα στο χώρο καύσης εκτός από τη γωνία ψεκασμού μπορεί να μεταβληθεί η κατανομή των σταγονιδίων μέσα στον κώνο. Ο κώνος μπορεί να είναι κοίλος ή πλήρης, **Εικόνα 3.5**.



**Εικόνα 3.5 Μορφές κώνου ψεκασμού ακροφυσίων πετρελαίου**

Η γωνία ψεκασμού, η κατανομή των σταγονιδίων και η οδήγηση του αέρα καύσης καθορίζουν τη μορφή και το μήκος της φλόγας. Έτσι θα πρέπει να μην αντικαθίσταται ο τύπος ακροφυσίου, ο οποίος έχει αποδειχθεί βέλτιστος για ένα χώρο καύσης. Στον παρακάτω πίνακα δείχνεται η κατανομή των σταγονιδίων και οι χαρακτηρισμοί ακροφυσίων ορισμένων κατασκευαστών.



εικόνα	μορφή κώνου ψεκασμού	σήμανση τύπου του κατασκευαστή			
		Danfoss	Delavan	Monarch	Steinen
	κοίλος	H	A	NS PL	H (PH)
	πλήρης	S	B	R PLP	S
	universal	B	W	(AR)	Q

**Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικές κατανομές σταγονιδίων ψεκασμού ακροφυσίων[3]**

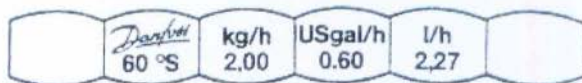
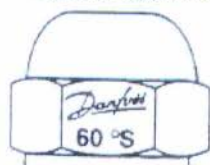
Τα ακροφύσια, **Εικόνα 3.1**, κατασκευάζονται με γωνίες ψεκασμού  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $80^\circ$ , και  $90^\circ$ , έτσι ώστε η φλόγα να μπορεί να προσαρμοσθεί στον εκάστοτε χώρο καύσης. Γενικά με μεγαλύτερες γωνίες ψεκασμού επιτυγχάνουμε καλύτερη ανάμιξη καυσίμου- αέρα. Επίσης με μεγαλύτερες γωνίες ψεκασμού επιτυγχάνουμε μικρότερα σταγονίδια. Ομοίως μια κατανομή σταγονιδίων κοίλου κώνου θα ενεργούσε καλύτερα.

Πάντως πρέπει να προτιμώνται τα ακροφύσια τα συνιστώμενα από τον κατασκευαστή του λέβητα. Συνήθως χρησιμοποιούνται ακροφύσια με γωνίες  $45^\circ$  και  $60^\circ$ .

Αν επάνω στα τοιχώματα του λέβητα συγκεντρώνεται άκαυστο καύσιμο ή αιθάλη, αυτό πολλές φορές οφείλεται στο ότι το ακροφύσιο δεν δίνει καλή κατανομή σταγονιδίων και πρέπει να αλλάξει.

Η ευρωπαϊκή τυποποίηση για τα ακροφύσια είναι σε στάδιο εξέλιξης. Έτσι τα ακροφύσια, για ιστορικούς λόγους, κυκλοφορούν με αμερικάνικη τυποποίηση. Κάθε ακροφύσιο έχει τυπωμένο επάνω του, **Εικόνα 3.6**, εκτός από τα στοιχεία του κατασκευαστή (όνομα, τύπος) και τα εξής:

- τη γωνία ψεκασμού
- την παροχή καυσίμου



**Εικόνα 3.6 Σήμανση ακροφυσίων πετρελαίου**

Η παροχή καυσίμου αναφέρεται σε πίεση 7 bar (100 psi) και δίνεται σε αμερικάνικα γαλλόνια ανά ώρα. 1 US gal/ h= 3,78 lit/h. Ορισμένα ακροσφύσια φέρουν επιπλέον σήμανση της παροχής σε kg/ h ή και σε lit/h.

Υπάρχει και γερμανική τυποποίηση (DIN 4790), η οποία περιλαμβάνει προς το παρόν μόνο μικρά ακροσφύσια ονομαστικής παροχής 1,0 έως 3,15 kg/ h.

Οι συνθήκες αναφοράς της παροχής είναι:

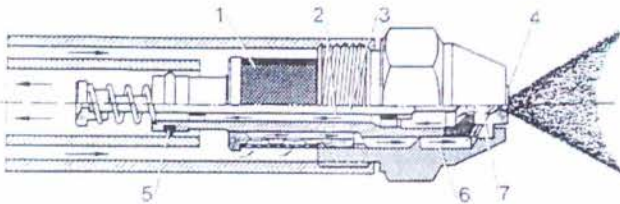
- θερμοκρασία 75° C
- ιξώδες 3,4 mm<sup>2</sup>/s
- πυκνότητα 0,84 kg/lit (στους 15° C)

## **Β. ΤΟ ΑΚΡΟΦΥΣΙΟ ΑΝΤΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ**

Τα ακροσφύσια αντεπιστροφής καυσίμου χρησιμοποιούνται σε μεγάλους καυστήρες, διβάθμιους ή συνεχούς ρύθμισης και εργάζονται με πιέσεις 10 έως 20 bar.

Τα ακροσφύσια αντεπιστροφής, **Εικόνα 3.7**, έχουν έναντι των κοινών το πλεονέκτημα ότι η ποσότητα πετρελαίου που ανακυκλοφορεί είναι ανεξάρτητη από την πραγματική παροχή, οπότε η ταχύτητα στις εφαιπτομενικές εγκοπές του θαλάμου στροβιλισμού παραμένει σχεδόν σταθερή. Μειονέκτημα αποτελεί η μεταβολή (αύξηση) της γωνίας ψεκασμού, αν στραγγαλισθεί η ροή (για μείωση της παροχής).

Στο ακροσφύσιο αντεπιστροφής, **Εικόνα 3.7**, το καύσιμο ρέει μέσω του φίλτρου και των εσωτερικών καναλιών μέχρι πριν από την πλάκα του θαλάμου στροβιλισμού. Εκεί όλη η ποσότητα του καυσίμου υπόκειται σε στροβιλισμό. Μια επί μέρους ποσότητα, εξαρτώμενη από την αντίθλιψη αντεπιστροφής, επιστρέφει μέσω του καναλιού επιστροφής, ενώ η υπόλοιπη εξέρχεται από την οπή του ακροφυσίου και σταγονιδιοποιείται. Όταν ο καυστήρας δεν λειτουργεί, τότε η οπή του ακροφυσίου κλείνεται μέσω μιας αποφρακτικής βελόνας με τη βοήθεια ελατηρίου.



1. φίλτρο
2. κανάλι επιστροφής
3. ακίδα ακροφυσίου
4. πλάκα ακροφυσίου

5. στεγανωτικός δακτύλιος
6. κανάλι προσαγωγής
7. θάλαμος στροβιλισμού

**Εικόνα 3.7 Τομή ακροφυσίου αντεπιστροφής καυσίμου[3]**



Η παροχή καυσίμου αναφέρεται σε πίεση 7 bar (100 psi) και δίνεται σε αμερικάνικα γαλλόνια ανά ώρα. 1 US gal/ h= 3,78 lit/h. Ορισμένα ακροσφύσια φέρουν επιπλέον σήμανση της παροχής σε kg/ h ή και σε lit/h.

Υπάρχει και γερμανική τυποποίηση (DIN 4790), η οποία περιλαμβάνει προς το παρόν μόνο μικρά ακροσφύσια ονομαστικής παροχής 1,0 έως 3,15 kg/ h.

Οι συνθήκες αναφοράς της παροχής είναι:

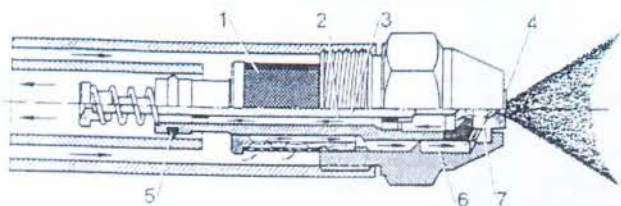
- θερμοκρασία 75° C
- ιξώδες 3,4 mm<sup>2</sup>/s
- πυκνότητα 0,84 kg/lit (στους 15° C)

## **B. ΤΟ ΑΚΡΟΦΥΣΙΟ ΑΝΤΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ**

Τα ακροσφύσια αντεπιστροφής καυσίμου χρησιμοποιούνται σε μεγάλους καυστήρες, διβάθμιους ή συνεχούς ρύθμισης και εργάζονται με πιέσεις 10 έως 20 bar.

Τα ακροσφύσια αντεπιστροφής, **Εικόνα 3.7**, έχουν έναντι των κοινών το πλεονέκτημα ότι η ποσότητα πετρελαίου που ανακυκλοφορεί είναι ανεξάρτητη από την πραγματική παροχή, οπότε η ταχύτητα στις εφαπτομενικές εγκοπές του θαλάμου στροβιλισμού παραμένει σχεδόν σταθερή. Μειονέκτημα αποτελεί η μεταβολή (αύξηση) της γωνίας ψεκασμού, αν στραγγαλισθεί η ροή (για μείωση της παροχής).

Στο ακροσφύσιο αντεπιστροφής, **Εικόνα 3.7**, το καύσιμο ρέει μέσω του φίλτρου και των εσωτερικών καναλιών μέχρι πριν από την πλάκα του θαλάμου στροβιλισμού. Εκεί όλη η ποσότητα του καυσίμου υπόκειται σε στροβιλισμό. Μια επί μέρους ποσότητα, εξαρτώμενη από την αντίθλιψη αντεπιστροφής, επιστρέφει μέσω του καναλιού επιστροφής, ενώ η υπόλοιπη εξέρχεται από την οπή του ακροφυσίου και σταγονιδιοποιείται. Όταν ο καυστήρας δεν λειτουργεί, τότε η οπή του ακροφυσίου κλείνεται μέσω μιας αποφρακτικής βελόνας με τη βοήθεια ελατηρίου.



1. φίλτρο
2. κανάλι επιστροφής
3. ακίδα ακροφυσίου
4. πλάκα ακροφυσίου

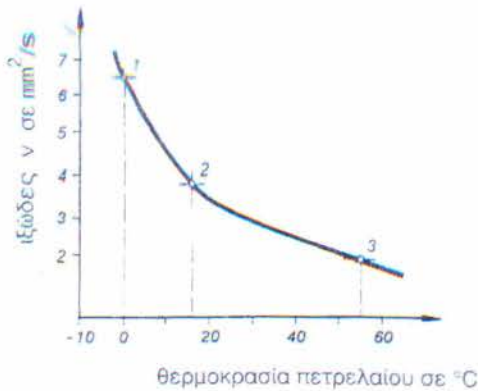
5. στεγανωτικός δακτύλιος
6. κανάλι προσαγωγής
7. θάλαμος στροβιλισμού

**Εικόνα 3.7 Τομή ακροφυσίου αντεπιστροφής καυσίμου[3]**

## ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η προθέρμανση καυσίμου είναι απαραίτητη στους βιομηχανικούς καυστήρες οι οποίοι καίνε μαζούτ. Η προθέρμανση μπορεί να γίνει ηλεκτρονικά ή με τη βοήθεια αναλλακτών με ατμό ή θερμικά έλαια.

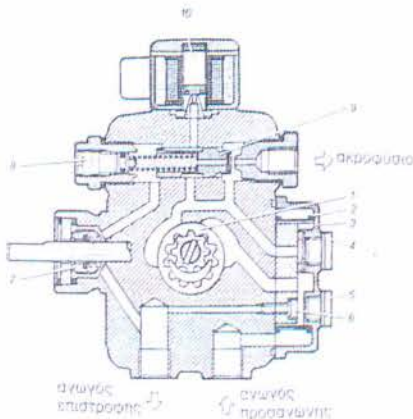
Σήμερα συνίσταται η προθέρμανση καυσίμου και για το ελαφρύ πετρέλαιο EL, ειδικά αν οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλές, διότι τότε αποκλίνει η τιμή του κινηματικού ιξώδους από την ονομαστική τιμή των  $3,5 \text{ mm}^2 / \text{s}$  όπως φαίνεται στο *Διάγραμμα 3.1*.



*Διάγραμμα 3.1 Εξάρτηση του κινηματικού ιξώδους του πετρελαίου EL από τη θερμοκρασία[3]*

## ΑΝΤΛΙΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Οι απαιτούμενες για τη σταγονιδιοποίηση του καυσίμου αντλίες υψηλής πίεσης είναι επί το πλείστον αντλίες οδοντωτών τροχών με εξωτερική ή εσωτερική οδόντωση, *Εικόνα 3.8*. Πλεονέκτημα των αντλιών οδοντωτών τροχών είναι ο ογκομετρικός τρόπος λειτουργίας τους, ο οποίος εξασφαλίζει σταθερή παροχή. Για μεγάλες ισχύεις χρησιμοποιούνται κοχλιωτές και φυγοκεντρικές αντλίες. Στους μικρούς και μεσαίους καυστήρες η αντλία καυσίμου κινείται μαζί με τον ανεμιστήρα από τον ίδιο κινητήρα.



1. αντλία οδοντωτών τροχών
2. φίλτρο πετρελαίου
3. καπάκι αντλίας
4. σύνδεση μέτρησης στην κατάθλιψη
5. σύνδεση μέτρησης στην αναρρόφηση
6. κοχλίας ρύθμισης by-pass
7. στεγανοποίηση ατράκτου
8. άτρακτος ρύθμισης πίεσης πετρελαίου
9. έμβολο της βαλβίδας ταχείας φραγής
10. μαγνητική βαλβίδα

*Εικόνα 3.8 Αντλία καυσίμου [3]*



Μια τέτοια αντλία είναι εφοδιασμένη με βαλβίδα ταχείας φραγής (9), εργαζόμενη υδραυλικά για να μη στάζει το ακροφύσιο, όταν διακοπεί η τροφοδοσία. Η βαλβίδα αυτή ρυθμίζει επίσης την πίεση καυσίμου. Υπάρχει ακόμη και μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα (10) σε μια εσωτερική παράκαμψη (by-pass) μεταξύ αγωγού προσαγωγής και αγωγού επιστροφής καυσίμου, παραμένει ανοιχτή όταν δεν έχει ρεύμα, η οποία διευθύνεται από το όργανο ελέγχου (αυτοματισμό) του καυστήρα. Αν η μαγνητική βαλβίδα πάρει σήμα από τον αυτοματισμό, κλείνει τον αγωγό παράκαμψης, αναπτύσσεται πίεση στο καύσιμο και ανοίγει η βαλβίδα ταχείας φραγής και το καύσιμο οδηγείται στο ακροφύσιο. Αν κάποια στιγμή αργότερα κλείσει ο καυστήρας, ακινητοποιείται ο ανεμιστήρας, ενώ συγχρόνως ανοίγει η μαγνητική βαλβίδα την παράκαμψη, οπότε η βαλβίδα ταχείας φραγής μέσω της πίεσης του ελατηρίου της διακόπτει ακαριαία την τροφοδοσία καυσίμου.

Σε ορισμένες αντλίες οδοντωτών τροχών υπάρχει μια ενσωματωμένη μαγνητική βαλβίδα, η οποία διακόπτει την άμεση προσαγωγή καυσίμου προς το ακροφύσιο. Σε άλλες αντλίες δεν υπάρχει μαγνητική βαλβίδα, αλλά αυτή εγκαθίσταται χωριστά στον αγωγό προσαγωγής καυσίμου προς το ακροφύσιο.

Η ρύθμιση της πίεσης σταγονιδιοποίησης γίνεται μέσω του ελατηρίου της βαλβίδας (8).

Ένα ενσωματωμένο φίλτρο (2) προστατεύει την οδόντωση από φθορές λόγω σκληρών ακαθαρσιών. Τα υγρά καύσιμα έχουν επαρκή λιπαντική ικανότητα και έτσι λιπαίνουν αυτά την αντλία.

Επειδή η αντλία χρησιμεύει συγχρόνως για την αναρρόφηση από τη δεξαμενή αποθήκευσης, αν το μανομετρικό ύψος είναι μεγάλο απαιτείται και ενδιάμεση αντλία.

Η αντλία πρέπει να έχει παροχή τουλάχιστον 1,5 φορές τη μέγιστη παροχή του ακροφυσίου, έτσι ώστε η βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης να διατηρεί σχεδόν σταθερή τη ρυθμισμένη πίεση, ιδίως σε καυστήρες με ρυθμιζόμενη ισχύ.

## Ο ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑΣ ΤΟΥ ΚΑΥΣΤΗΡΑ

Ο ανεμιστήρας του καυστήρα είναι στοιχείο μεγάλης σημασίας για την ποιότητα της καύσης. Στους μικρούς και μεσαίους καυστήρες είναι ενσωματωμένος μέσα στο κέλυφος του καυστήρα, ενώ στους μεγάλους βιομηχανικούς καυστήρες είναι εξωτερικός. Η εξωτερική εγκατάσταση επιτρέπει ευκολότερη προσαρμογή στις συνθήκες πίεσης.

Το συνηθέστερο χρησιμοποιούμενο είδος ανεμιστήρα είναι ο ακτινικός ανεμιστήρας με δρομέα τυμπάνου. Ο δρομέας παλιότερα κατασκευαζόταν στρατζαριστός από χαλύβδινα ελάσματα. Σήμερα, συνήθως είναι χυτός από ελαφρό μέταλλο ή συνθετικό υλικό. Τα πτερύγια είναι ακτινικά, με κλίση προς τα εμπρός ή προς τα πίσω.

Στους μεγάλους λέβητες (με εξωτερικούς ανεμιστήρες) οι δρομείς έχουν πτερύγια με κλίση προς τα εμπρός. Αυτοί παρουσιάζουν σε μικρές παροχές κάποια αστάθεια. Δίνουν όμως μεγαλύτερες ταχύτητες στην περίμετρο του δρομέα, οι οποίες μετατρέπονται σε στατικές πιέσεις λόγω της μορφής του κελύφους του ανεμιστήρα (μορφή διαχύτη). Με κατάλληλη μορφή επιτυγχάνεται χαμηλός θόρυβος και υψηλός βαθμός απόδοσης, ο οποίος φθάνει μέχρι και 80%.

Οι στροφές του ανεμιστήρα γενικά είναι 1400 έως 2800, συνήθως 2800, όπου στις υψηλές στροφές έχουμε καλύτερη ανάμιξη καυσίμου-αέρα, όμως δημιουργείται μεγαλύτερος θόρυβος και καταπονείται περισσότερο η αντλία καυσίμου.

Η ρύθμιση της παροχής του αέρα μπορεί να γίνεται είτε με τη βοήθεια της διάταξης ανάμιξης είτε με τη βοήθεια κατάλληλου κλαπέτου.

Η ρύθμιση της παροχής του αέρα μέσω της διάταξης ανάμιξης γίνεται με ρύθμιση της πτώσης πίεσης σ' αυτήν. Όμως η βέλτιστη ρύθμιση μ' αυτόν τον τρόπο είναι δύσκολη και απαιτεί δοκιμές.

Η ρύθμιση της παροχής του αέρα συνήθως γίνεται στην πλευρά της αναρρόφησης με κατάλληλο κλαπέτο, στοιχείο 20 στην **Εικόνα 3.2**, ή άλλη κατάλληλη διάταξη στραγγαλισμού. Αυτό το είδος της ρύθμισης είναι εύκολο και



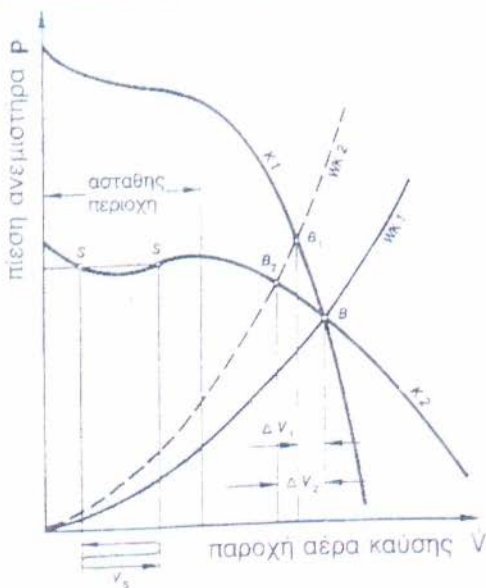
επιτρέπει την αυτόματη διακοπή του αέρα όταν σταματήσει ο καυστήρας. Μπορεί να γίνει όμως και με κατάλληλη διάταξη στραγγαλισμού στην κατάθλιψη του ανεμιστήρα μέσα στο κέλυφος.

Στους διβάθμιους καυστήρες και στους καυστήρες συνεχούς ρύθμισης είναι αναγκαία η αυτόματη ρύθμιση, για να προσαρμόζεται με ακρίβεια η παροχή του αέρα στη μεταβαλλόμενη παροχή καυσίμου. Για μικρές περιοχές ρύθμισης αρκεί επί το πλείστον μια απλή ρύθμιση. Σε μεγάλες περιοχές ρύθμισης ή υψηλές απαιτήσεις για την ποιότητα της γκαζής απαιτείται ρύθμιση διπλής επενέργειας.

Η συμπεριφορά του καυστήρα εξαρτάται από τη χαρακτηριστική καμπύλη του ανεμιστήρα. Η χαρακτηριστική καμπύλη, όπως φαίνεται και στο **Διάγραμμα 3.2**, πρέπει στην περιοχή λειτουργίας να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη κλίση, έτσι ώστε να έχουμε σταθερή παροχή αέρα παρά τις αναπόφευκτες διακυμάνσεις της πίεσης. Στην εικόνα η καμπύλη  $K_1$  έχει μεγαλύτερη κλίση από την καμπύλη  $K_2$ . Έτσι αν αυξηθεί για κάποιο λόγο η αντίθλιψη στο λέβητα κατά το ποσό  $\Delta p$ , τότε η παροχή θα μειωθεί κατά  $\Delta V$ . Η μεταβολή αυτή  $\Delta V_1$  στην καμπύλη  $K_1$  είναι μικρότερη από τη μεταβολή  $\Delta V_2$  στην καμπύλη  $K_2$ . Μικρές μεταβολές της παροχής του αέρα σημαίνουν σταθερή καύση χωρίς κραδασμούς κατά την εκκίνηση ή τη λειτουργία.

Αν η χαρακτηριστική καμπύλη είναι κοίλη σε μια περιοχή, η περιοχή αυτή είναι περιοχή ασταθούς λειτουργίας, επειδή για την ίδια πίεση μπορούν να υπάρχουν δύο διαφορετικές παροχές αέρα. Ο καυστήρας δεν πρέπει να είναι ρυθμισμένος για την περιοχή αυτή. Όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 3.2**, όταν η παροχή του αέρα στραγγαλισθεί έντονα, το σημείο λειτουργίας  $S$  μπορεί να μεταπέσει στην κοίλη περιοχή της χαρακτηριστικής καμπύλης, οπότε θα διακυμαίνεται μεταξύ δύο τιμών, δηλαδή παρουσιάζονται κραδασμοί.

Οι πτώσεις πίεσης σε λέβητες υπερπίεσης υπόκεινται σε τυποποίηση και είναι περίπου 50 έως 700 Pa (5 έως 70 mm ΥΣ). Κατά την εκκίνηση η αντίσταση του λέβητα είναι 2 έως 3 φορές μεγαλύτερη.



- $K_1$**  : καμπύλη ανεμιστήρα με μεγάλη κλίση
- $K_2$**  : καμπύλη ανεμιστήρα με μικρή κλίση
- $WK_1$**  : καμπύλη αντίστασης για συνεχή λειτουργία
- $WK_2$**  : καμπύλη αυξημένης αντίστασης (π.χ. κατά την εκκίνηση)
- $B$**  : σημείο συνεχούς λειτουργίας
- $B_1, B_2$**  : σημείο μεταβαλλόμενης λειτουργίας με μειωμένη παροχή
- $S$**  : σημείο ασταθούς λειτουργίας

**Διάγραμμα 3.2** Χαρακτηριστικές καμπύλες ανεμιστήρων καυστήρα [3]



## ΤΟ ΚΕΛΥΦΟΣ ΤΟΥ ΚΑΥΣΤΗΡΑ

Το κέλυφος του καυστήρα περιβάλλει ορισμένα από τα στοιχεία του, ενώ ορισμένα είναι εξωτερικά, **Εικόνα 3.2**. Μπορεί χονδρικά να διααιρεθεί στο τμήμα του ανεμιστήρα (με τον κινητήρα, το δρομέα, την αντλία καυσίμου κλπ.) και στο φλογοσωλήνα (με τα ακροφύσια, τα ηλεκτρόδια έναυσης, τη διάταξη ανάμιξης κλπ.).

Η μορφή του καθορίζεται από τη σχετική θέση της ατράκτου του ανεμιστήρα ως προς τον άξονα του φλογοσωλήνα, η οποία μπορεί να είναι κάθετη, **Εικόνα 3.2**, ή παράλληλη (καυστήρας Monoblock, **Εικόνα 3.16**)

Η βάση του κελύφους είναι συνήθως από χυτό μέταλλο, ενώ κάποια μέρη του καλύμματος σε μικρούς καυστήρες μπορούν να είναι κατασκευασμένα από πλαστικό. Συχνά το κέλυφος είναι επενδυμένο εσωτερικά με ηχομονωτικό υλικό.

Η στερέωση του καυστήρα στο λέβητα συνήθως γίνεται μέσω της φλάντζας, απλής ή περιστρεφόμενης **Εικόνα 3.2**.

## ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

Η διάταξη ανάμιξης αποτελείται από το φλογοσωλήνα, το ακροφύσιο και την κεφαλή του καυστήρα με τα στοιχεία οδήγησης και ανακοπής του αέρα. Η διάταξη αυτή έχει σκοπό την κατά το δυνατό καλύτερη ανάμιξη του νέφους του καυσίμου με τον αέρα καύσης με ελάχιστη περίσσεια. Από αυτήν εξαρτάται η ποιότητα του μίγματος, η μορφή και το μήκος της φλόγας, ο βαθμός απόδοσης και η καλή καύση χωρίς άκαυστα. Εκτός από την καλή ανάμιξη, η διάταξη αυτή πρέπει να σταθεροποιεί τη φλόγα, ώστε να αποφεύγονται οι διακυμάνσεις.

Από τα συστήματα ανάμιξης σε καυστήρες λεβήτων θέρμανσης χρησιμοποιούνται βασικά δύο συστήματα, το σύστημα στροβιλισμού, **Εικόνα 3.9**, και το σύστημα με το δίσκο ανακοπής, **Εικόνα 3.11**, ενώ για μικρούς καυστήρες έχει αναπτυχθεί ένα ειδικό σύστημα, το επονομαζόμενο σύστημα ανάμιξης τύπου ρουκέτας, **Εικόνα 3.12**.

Στο πρώτο σύστημα στο εσωτερικό του στομίου του φλογοσωλήνα μπορεί να υπάρχουν κοχλιοειδώς διατεταγμένα ελάσματα οδήγησης του αέρα, **Εικόνα 3.9**, τα οποία προκαλούν περιστροφή του αέρα με το νέφος του καυσίμου και εντατικοποιούν την ανάμιξη. Πρόκειται για απλή διάταξη, συνηθισμένη σε μικρούς καυστήρες.

Υπάρχει όμως, και άλλο, καλύτερο σύστημα στροβιλισμού, **Εικόνα 3.9**. Σ' αυτό το σύστημα η παροχή αέρα καύσης ρέει καταρχήν μέσω εφαπτομενικών καναλιών μιας διάταξης στροβιλισμού και εισέρχεται στο θάλαμο του στροβιλισμού, όπου τίθεται σε έντονη περιστροφική κίνηση. Κατά την έξοδο από το ακροφύσιο αέρα, το οποίο έχει συγκλίνουσα- αποκλίνουσα διαμόρφωση, αυξάνει η ταχύτητα περιστροφής. Στο αποκλίνον τμήμα της η ροή διευρύνεται και αναμιγνύεται με το ψεκαζόμενο καύσιμο. Στο κέντρο του κώνου περιστροφής δημιουργείται μια ζώνη υποπίεσης, στην οποία εισρέουν θερμά αέρια της φλόγας. Αυτά τα ανακυκλοφορούντα θερμά αέρια προκαλούν την ασφαλή έναυση και καύση του μίγματος αέρα- καυσίμου. Η διάταξη στροβιλισμού χρησιμοποιείται κατά προτίμηση σε καυστήρες με κωνική και πλατιά φλόγα.

Στο δεύτερο σύστημα μέσα στον φλογοσωλήνα υπάρχει ένας δίσκος ανάλογος με αυτόν της **Εικόνας 3.11**, ο οποίος επιτρέπει με απλό τρόπο τον χωρισμό του αέρα σε ζώνες: κεντρικά από το εσωτερικό άνοιγμα του δίσκου, στο μέσο με περιστροφική επίδραση από λοξές εγκοπές και εξωτερικά από το δακτυλιοειδές διάκενο μεταξύ δίσκου και φλογοσωλήνα. Από το δακτυλιοειδές διάκενο μεταξύ δίσκου και φλογοσωλήνα σχηματίζεται μια δέσμη αέρα, η οποία συνεισφέρει σημαντικά στην ανάμιξη. Η δέσμη αυτή πρέπει να είναι κατά το δυνατό κάθετη στη γωνία ψεκασμού, ώστε να επιτευχθεί βέλτιστη ανάμιξη.

Πίσω από το δίσκο ανακοπής δημιουργείται μια ζώνη υποπίεσης, έτσι ώστε κοντά στο δίσκο σχηματίζεται ένας δακτύλιος έναυσης, ενώ με την ανακυκλοφορία θερμών καυσαερίων σταθεροποιείται η φλόγα.

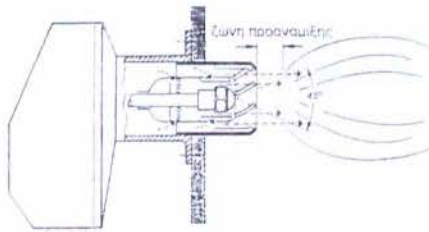
Αν ο δίσκος ανακοπής είναι τοποθετημένος λανθασμένα, τότε μπορούν να αναπτυχθούν σχετικές ταχύτητες, οι οποίες προκαλούν απόκλιση της δέσμης του μίγματος και η φλόγα γίνεται ασταθής. Ο δίσκος προφυλάσσει επίσης το ακροφύσιο από υπερθέρμανση από την ακτινοβολία της φλόγας και των τοιχωμάτων του λέβητα.

Για κάθε λέβητα θα πρέπει η θέση του ακροφυσίου σε σχέση με το φλογοσωλήνα και το δίσκο ανακοπής να είναι η κατάλληλη, για να υπάρχει ορθή προσαρμογή της φλόγας.

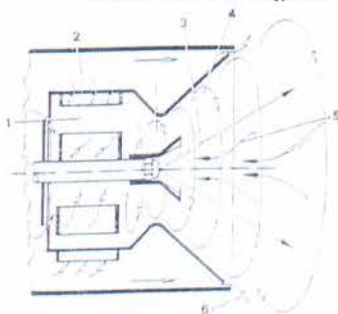
Για τους μικρούς καυστήρες, οι οποίοι έχουν πρόβλημα σταθεροποίησης της φλόγας, έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα ανάμιξης, εμπνευσμένο από το σχεδιασμό της ρουκέτας, το οποίο επιτρέπει άψογη καύση χωρίς αιθάλη με γαλάζια φλόγα.

Ένα τέτοιο σύστημα αποτελείται από ένα διάφραγμα και ένα σωλήνα ανάμιξης, προσαρμοσμένα στο σωλήνα καύσης. Στο σύστημα αυτό όλος ο αέρας καύσης ρέει μέσα από το κεντρικό άνοιγμα του διαφράγματος, μέσα από το οποίο διέρχεται και ο κώνος διασποράς των σταγονιδίων του καυσίμου. Η υψηλής ταχύτητας ροή αέρα αναμιγνύεται με τα σταγονίδια, ενώ προκαλεί επί πλέον ανακυκλοφορία (κατά την εκκίνηση αέρα και σε λειτουργία καυσαερίων) μέσω του διακένου μεταξύ διαφράγματος και σωλήνα ανάμιξης. Τα ανακυκλοφορούντα θερμά καυσαέρια θερμαίνουν έντονα το μίγμα αέρα- καυσίμου, προκαλώντας άψογη καύση.

Με την εισαγωγή καυσαερίων μέσω οπών στο σωλήνα καύσης, τα οποία πλέον λειτουργούν ως αδρανές αέριο, επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των οξειδίων του αζώτου  $\text{NO}_x$ , αν και η καύση γίνεται με την ελάχιστη δυνατή περίσσεια αέρα.



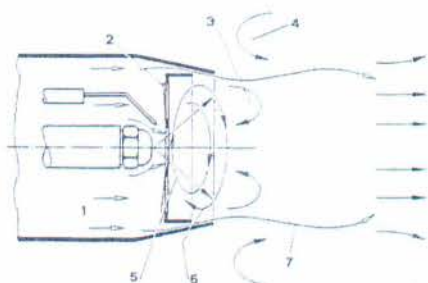
**Εικόνα 3.9 Σύστημα ανάμιξης με ελάσματα στροβιλισμού**



1. κυκλώνιο
2. εφαπτομενικά κανάλια
3. κώνος ψεκασμού καυσίμου
4. στροβιλιζόμενος πρωτεύων αέρας
5. ανακυκλοφορία καυσαερίων
6. δευτερεύων αέρας

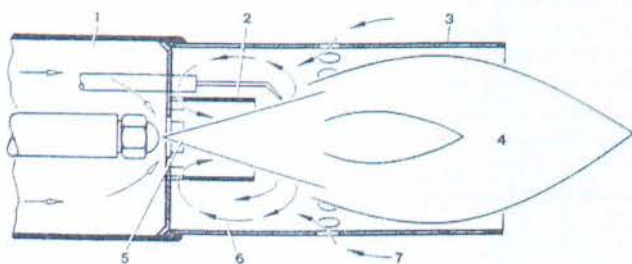
**Εικόνα 3.10 Διάταξη στροβιλισμού**





1. αέρας υπό πίεση
2. εφαπτομενικές εγκοπές
3. εσωτερική ανακυκλοφορία καυσαερίων
4. εξωτερική ανακυκλοφορία καυσαερίων
5. κώνος ψεκασμού καυσίμου
6. περιστρεφόμενη ροή πρωτεύοντος αέρα
7. δευτερεύον αέρας

*Εικόνα 3.11 Σύστημα ανάμιξης με δίσκο ανακοπής*

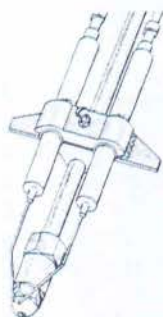


1. αέρας καύσης
2. σωλήνας ανάμιξης
3. φλογοσωλήνας
4. γαλάζια φλόγα
5. κώνος ψεκασμού
6. περιστρεφόμενη ροή πρωτεύοντος αέρα
7. δευτερεύον αέρας

*Εικόνα 3.12 Σύστημα ανάμιξης τύπου ρουκέτας*

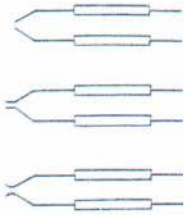
### ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΝΑΥΣΗΣ

Η έναυση του μίγματος καυσίμου- αέρα γίνεται με ηλεκτρικό σπινθήρα, ο οποίος δημιουργείται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, *Εικόνα 3.13*. Ο απαραίτητος μετασχηματιστής ανυψώνει την τάση μέχρι τα 10- 15 KV.

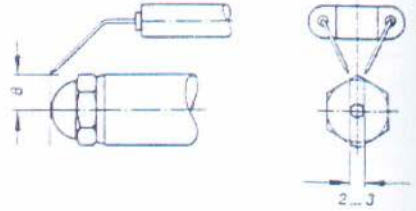


*Εικόνα 3.13 Ακροφύσιο με ηλεκτρόδια*

Σημαντική είναι η σωστή διάταξη των ηλεκτροδίων σε σχέση με το ακροφύσιο. Η απόσταση των άκρων των ηλεκτροδίων είναι περίπου 2 έως 5mm. Τα ηλεκτρόδια μπορούν να έχουν κλίση ευθεία ή κεκλιμένη, *Εικόνα 3.14*.



**Εικόνα 3.14** Μορφές ηλεκτροδίων



**Εικόνα 3.15** Αποστάσεις ηλεκτροδίων

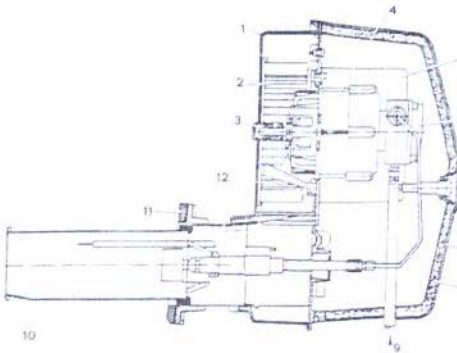
Πρέπει να προσεχθεί, η απόσταση των ηλεκτροδίων από το δίσκο και την κεφαλή του ακροφυσίου να είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την απόσταση των ηλεκτροδίων μεταξύ τους. Τα ηλεκτρόδια δεν πρέπει να έρχονται σε επαφή με τη δέσμη καυσίμου, επειδή τότε μπορεί να δημιουργηθεί βραχυκύκλωμα (από αγωγή απανθρακωμένα σταγονίδια) και να σβήσει η φλόγα. Τα ηλεκτρόδια πρέπει να έχουν τέτοια θέση, ώστε με τη βοήθεια της ροής του αέρα να εισέρχεται ο σπινθήρας με μορφή τόξου μέσα στο νέφος και να το ανάβει.

Σε μεγάλους καυστήρες, ιδίως καυστήρες βαρέως καυσίμου, η ηλεκτρική έναυση δεν είναι επαρκώς ασφαλής. Σ' αυτούς χρησιμοποιούνται ειδικοί καυστήρες έναυσης (καυστήρες- πιλότοι), οι οποίοι λειτουργούν με αέριο ή ελαφρό καύσιμο και μπορούν να αναφθούν ηλεκτρικά.

### ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

Στους καυστήρες με ενσωματωμένο ανεμιστήρα ο ηλεκτροκινητήρας κινεί μέσω ελαστικής σύνδεσης από κοινού τον ανεμιστήρα και την αντλία καυσίμου, **Εικόνα 3.2 και Εικόνα 3.16**. Οι μικροί ηλεκτροκινητήρες είναι μονοφασικοί, διπολικοί με πυκνωτή. Οι μεγαλύτεροι είναι τριφασικοί, συνηθέστερα διπολικοί. Εκκινούν, αναλόγως μεγέθους, με ζεύξη αστέρα, τριγώνου ή αστεροτριγώνου.

Σε μεγάλους καυστήρες ο ανεμιστήρας και η αντλία έχουν συχνά χωριστή κίνηση. Επίσης υπάρχει δυνατότητα ηλεκτρονικής ρύθμισης του αριθμού στροφών του κινητήρα, ώστε να μπορεί να ρυθμίζεται καλύτερα η παροχή του αέρα, ανάλογα με τη βαθμίδα φόρτισης του καυστήρα.



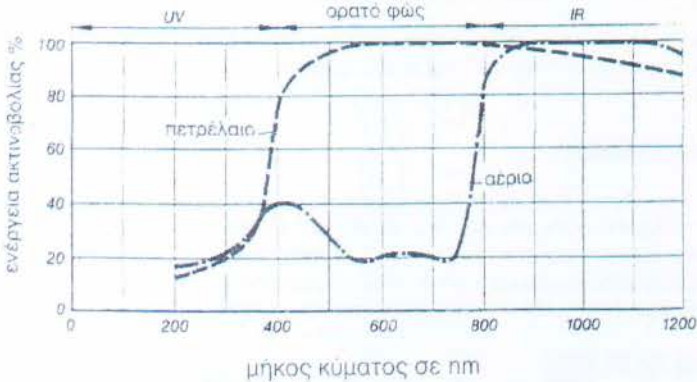
1. κέλυφος
2. πτερωτή
3. άτρακτος
4. ηλεκτροκινητήρας
5. αυτοματισμός
6. αντλία
7. κάλυμμα
8. ηχομόνωση
9. προσαγωγή καυσίμου
10. φλογοσωλήνας
11. φλάντζα στερέωσης
12. ακροφύσιο

**Εικόνα 3.16** Καυστήρας Monoblock [3]



## ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΠΙΤΗΡΗΣΗΣ ΦΛΟΓΑΣ

Οι αυτόματοι καυστήρες απαιτούν επιτήρηση της φλόγας για τη διακοπή της παροχής καυσίμου σε περίπτωση μη δημιουργίας ή σβέσης της φλόγας. Τούτο γίνεται με αυτόματο σύστημα επιτήρησης της φλόγας. Το σύστημα επιτήρησης αποτελείται από αισθητήρα της φλόγας και όργανο ελέγχου. Ο αισθητήρας της φλόγας "βλέπει" αν η φλόγα καίει ή έχει σβήσει. Στην **Εικόνα 3.17** δίνεται η φασματική κατανομή φλογών πετρελαίου και αερίου σε ενεργό θερμοκρασία 1650°C.



**Εικόνα 3.17** Φασματική κατανομή φλογών σε ενεργό θερμοκρασία 1650°C [3]

Το όργανο ελέγχου παίρνει τα σήματα από τον αισθητήρα και στέλνει τα σήματα διεύθυνσης. Για την έναρξη λειτουργίας τα σήματα είναι:

1. Έναρξη έναυσης (σπινθηρισμού)
2. Εκκίνηση κινητήρα με τον ανεμιστήρα και την αντλία καυσίμου
3. Παροχή καυσίμου από τη μαγνητική βαλβίδα
4. Έλεγχος της φλόγας
5. Παύση έναυσης (σπινθηρισμού)

Για να σβήσει ο καυστήρας:

1. Διακοπή παροχής καυσίμου από τη μαγνητική βαλβίδα
  2. Παύση κινητήρα
  3. Ενδεχομένως ένδειξη σφάλματος (βλάβης)
- Η ένδειξη σφάλματος γίνεται οπτικά ή ακουστικά.

Σήμερα χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα είδη αισθητήρα:

### ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΦΛΟΓΑΣ

Ο φωτοηλεκτρικός αισθητήρας φλόγας είναι απλό και φθινό στοιχείο. Βλέπει φως στην περιοχή 400 έως 800 nm. Μπορεί να είναι ένα φωτοστοιχείο ή μια φωτοαντίσταση.

Το φωτοστοιχείο (φωτοκύτταρο) έχει ένα στρώμα σεληνίου, όπου με την πρόσπτωση φωτός παράγεται ασθενής συνεχής τάση, η οποία ενισχυόμενη ηλεκτρονικά δίνει σήμα στο όργανο ελέγχου. Η ευαισθησία απόκρισης στο φωτοστοιχείο είναι 25÷150 Lux με ρεύμα 8÷25 mA.

Η φωτοαντίσταση έχει ένα στρώμα θειούχου καδμίου, όπου με τη πρόσπτωση φωτός μεταβάλλεται η ηλεκτρική του αντίσταση, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η ένταση του διερχόμενου ρεύματος. Η ευαισθησία απόκρισης στη φωτοαντίσταση είναι 15÷25 Lux με ρεύμα 6÷160 mA.

## ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (IR)

Ο αισθητήρας υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR= Infra Red) στηρίζεται στο ότι όλες οι φλόγες εκτός από μια σταθερή ακτινοβολία εκπέμπουν και συνεχή παλμικά σήματα. Ο αισθητήρας περιλαμβάνει ένα δέκτη από πυρίτιο, ο οποίος λαμβάνει τα παλμικά σήματα της φλόγας και τα μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα. Το ηλεκτρικό σήμα μετατρέπεται σε ενισχυτή και οδηγείται στο όργανο ελέγχου.

## ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (UV)

Ο αισθητήρας υπεριώδους ακτινοβολίας (UV= Ultra Violet) χρησιμοποιείται για την επιτήρηση διαφανών και γαλαζίων φλογών. Χρησιμοποιείται σε καυστήρες αερίου ή διπλού καυσίμου.

## ΦΙΑΤΡΟ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Για να είναι άψογη η λειτουργία του συστήματος σταγονιδιοποίησης απαιτείται πολλαπλό φιλτράρισμα του καυσίμου. Εκτός από τα φίλτρα στην αντλία καυσίμου και στο ακροφύσιο συνιστάται να εγκαθίσταται ένα κύριο φίλτρο στον αγωγό αναρρόφησης ανάμεσα στη δεξαμενή αποθήκευσης και στον καυστήρα. Το υλικό του φίλτρου δεν πρέπει να αλλοιώνεται από το πετρέλαιο.

## Η ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η διάταξη (ή συσκευή) ελέγχου, γνωστή και ως αυτοματισμός του καυστήρα, διευθύνει και επιτηρεί όλες τις λειτουργίες του καυστήρα. Οι σχετικές απαιτήσεις ασφαλείας εξαρτώνται κατά πρώτον από το μέγεθος (θερμική ισχύ) του καυστήρα και από τον τρόπο λειτουργίας του, αν δηλαδή είναι διακοπτόμενη ή συνεχής.

Οι μικροί καυστήρες με παροχή  $\leq 30$  kg/h έχουν διατάξεις ελέγχου, στις οποίες η εκτέλεση του προγράμματος διευθύνεται και εξελίσσεται με απλό τρόπο μέσω διμεταλλικών στοιχείων.

Με την εμφάνιση απαίτησης θέρμανσης μέσω π.χ. του σήματος ενός θερμοστάτη αρχίζει η λειτουργία του κινητήρα και της διάταξης έναυσης (μπορεί να προηγηθεί λειτουργία του προθερμαντήρα καυσίμου, αν υπάρχει). Μετά το πέρας ενός χρόνου εκκίνησης και προέναυσης, η μαγνητική βαλβίδα παίρνει σήμα παροχής καυσίμου. Ανοίγει, το καύσιμο ψεκάζεται και ανάβει η φλόγα. Μετά την παρέλευση ενός χρόνου μετέναυσης κλείνει η διάταξη έναυσης. Εντός του μέγιστου επιτρεπόμενου χρόνου ασφαλείας 10 s πρέπει η διάταξη επιτήρησης φλόγας να δώσει σήμα ύπαρξης φλόγας, διαφορετικά ακολουθεί απόξευση βλάβης.

Στην περίπτωση μιας απόξευξης βλάβης μετά από ένα χρόνο αναμονής, μέσα στον οποίο μπορεί να ψυχθεί η θερμική ασφάλεια, πρέπει να ενεργοποιηθεί το κομβίο απομανδάλωσης στο όργανο ελέγχου, για να προκληθεί νέα προσπάθεια εκκίνησης.

Σε κάθε απόξευση του καυστήρα, κανονική ή βλάβης, μέσω του οργάνου ελέγχου, σταματά ο κινητήρας και κλείνει η μαγνητική βαλβίδα καυσίμου. Έτσι διακόπτεται η παροχή καυσίμου και σβήνει η φλόγα.

Κατά τη φάση της πρόπλυσης (προαερισμού) το όργανο ελέγχου διενεργεί έλεγχο ξένου φωτός. Αν εντός του χρόνου πρόπλυσης δοθεί σήμα ύπαρξης φωτός ή φλόγας, ακολουθεί απόξευση βλάβης.

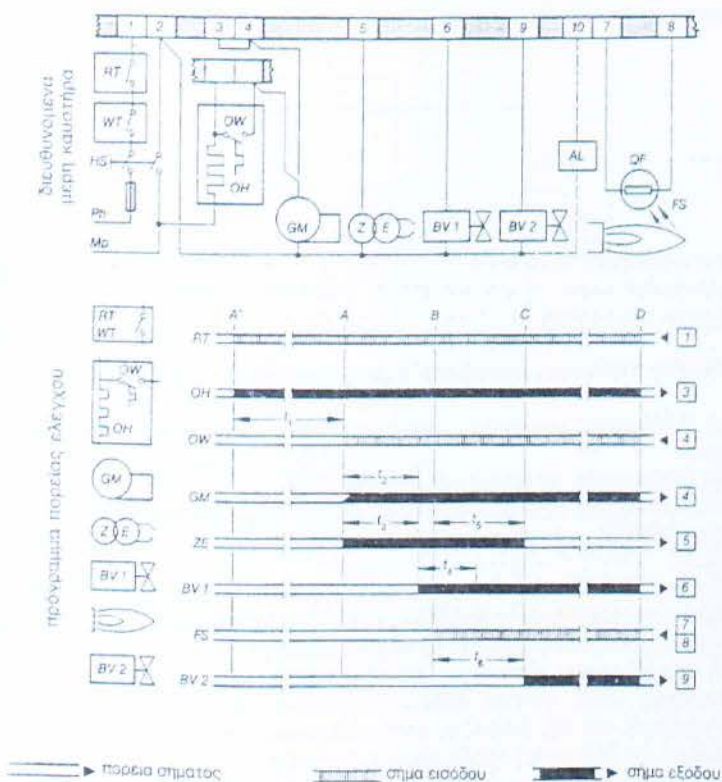
Αν κατά τη λειτουργία του καυστήρα σβήσει η φλόγα για κάποιο λόγο, τότε κατ' αρχήν επιχειρείται μια κανονική νέα εκκίνηση. Σε ορισμένα όργανα ελέγχου μετά από σβέση φλόγας ακολουθεί απόξευση της έναυσης και έλεγχος αν εντός του χρόνου ασφαλείας λαμβάνει χώρα εκ νέου δήλωση ύπαρξης φλόγας.

Σε καυστήρες με παροχή  $>30$  kg/h ο χρόνος ασφαλείας είναι για την εκκίνηση μόνον 5 s, ενώ σε λειτουργία μόνον 1 s. Επιτρέπεται μια επανεκκίνηση, όχι όμως μια άμεση επανέναυση.



Στα χρησιμοποιούμενα σήμερα όργανα ελέγχου η εκτέλεση του προγράμματος διευθύνεται μέσω εκκεντροφόρου κυλίνδρου, κινούμενου από σύγχρονο κινητήρα. Υπάρχουν βέβαια και ηλεκτρονικά όργανα ελέγχου, διευθυνόμενα από μικροεπεξεργαστές, στα οποία όλα τα βήματα διευθύνσης μπορούν να αναγγέλλονται οπτικά, για να μπορεί σε περίπτωση βλάβης να βρεθεί ταχύτερα η αιτία.

Στο **Διάγραμμα 3.3** δίνεται ένα παράδειγμα προγράμματος διεύθυνσης διβάθμιου καυστήρα με παροχή >30 kg/h.



- AL** : διάταξη συναγερού
- FD** : αισθητήρας φωτοαντίστασης
- GM** : κινητήρας
- OH** : προθερμα- ντήρας πετρελαίου
- TR** : ρυθμιστής θερμοκρασίας ή πίεσης
- ZE** : μετασχημα- τιστής έναυσης
- A** : εκκίνηση με προθερμαντήρα πετρελαίου
- B** : χρονικό σημείο σχηματισμού φλόγας
- $t_1$  : χρόνος προθέρμανσης μέχρι τη δήλωση ετοιμότητας από την επαφή **OW**
- $t_2$  : χρόνος απόπλυσης ανεμιστήρα

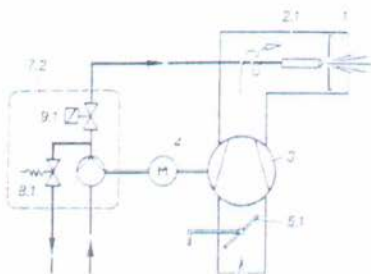
- BV** : μαγνητική βαλβίδα
- HS** : κύριος διακόπτης
- TW** : επιτηρητής θερμοκρασίας ή πίεσης
- FS** : σήμα φλόγας
- OW** : επαφή ετοιμότητας
- A'** : εκκίνηση χωρίς Προθερμαντήρα
- C** : θέση σε συνεχή λειτουργία
- D** : κανονική σβέση
- $t_3$  : χρόνος προέναυσης
- $t_5$  : χρόνος μετέναυσης
- $t_6$  : χρόνος μεταξύ σχηματισμού φλόγας και ελευθέρωσης της 2<sup>ης</sup> βαθμίδας

**Διάγραμμα 3.3** Διάγραμμα σύνδεσης και πρόγραμμα διεύθυνσης διβάθμιου καυστήρα πετρελαίο [3]

### 3.1.2 ΡΥΘΜΙΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ- ΑΕΡΑ

Υπάρχουν διάφορες δυνατότητες ρύθμισης της σωστής αναλογίας καυσίμου/αέρα. Η επιλογή του συστήματος ρύθμισης εξαρτάται από το μέγεθος, τον τρόπο και την περιοχή λειτουργίας του καυστήρα.

Το απλούστερο σύστημα εφαρμόζεται στους μονοβάθμιους μικρούς καυστήρες. Σ' αυτούς ρυθμίζεται η απαιτούμενη παροχή καυσίμου μέσω της επιλογής ακροφυσίου και ρύθμισης της πίεσης της αντλίας καυσίμου, ενώ η αντίστοιχη απαιτούμενη παροχή αέρα ρυθμίζεται μέσω στραγγαλισμού της ροής (με κλαπέτο ή διάφραγμα) στην αναρρόφηση ή την κατάθλιψη, **Εικόνα 3.18**.



**Εικόνα 3.18 Ρύθμιση αναλογίας καυσίμου/αέρα μονοβάθμιου καυστήρα [3]**

Για τους διβάθμιους καυστήρες υπάρχουν τρεις δυνατότητες ρύθμισης της παροχής καυσίμου:

1. μέσω δύο ξεχωριστών ακροφυσίων, **Εικόνα 3.19**
2. μέσω ενός ακροφυσίου για δύο διαφορετικές πιέσεις, **Εικόνα 3.20**
3. μέσω ενός ρυθμιζόμενου ακροφυσίου επιστροφής, **Εικόνα 3.21 και Εικόνα 3.22**.

Η λύση με τα δύο ξεχωριστά ακροφύσια, **Εικόνα 3.19**, παραμένει απλή. Το πρώτο ανοίγει μέσω της μαγνητικής βαλβίδας στην αντλία καυσίμου, ενώ η δεύτερη μέσω είτε μόνον ενός χρονικού ρελέ, είτε μετά από απαίτηση ενός δεύτερου ρυθμιστή θερμοκρασίας ή πίεσης στον καυστήρα σε συνδυασμό με ένα χρονικό ρελέ. Η ρύθμιση της παροχής αέρα γίνεται επίσης διαβάθμια με τη βοήθεια κινητήρα ρύθμισης, που επενεργεί επί της διάταξης στραγγαλισμού. Φυσικά αυτό το σύστημα ρύθμισης δεν παρέχει τις βέλτιστες προϋποθέσεις ανάμιξης.

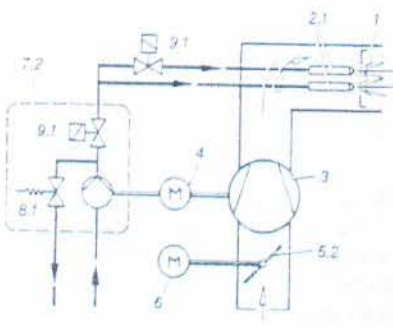
Στη λύση ενός ακροφυσίου για δύο διαφορετικές πιέσεις, **Εικόνα 3.20**, είναι κατά την εκκίνηση της 1<sup>ης</sup> βαθμίδας ανοιχτές και οι δύο μαγνητικές βαλβίδες. Όταν απαιτηθεί η 2<sup>η</sup> βαθμίδα, κλείνει η μαγνητική βαλβίδα στην επιστροφή και το ακροφύσιο δέχεται όλη την παροχή. Η ρύθμιση της παροχής αέρα γίνεται επίσης διαβάθμια με τη βοήθεια κινητήρα ρύθμισης, όπως στην προηγούμενη περίπτωση.

Στη λύση ενός ρυθμιζόμενου ακροφυσίου επιστροφής, **Εικόνα 3.21**, είναι εγκαταστημένοι στον αγωγό επιστροφής μια ρυθμιζόμενη διάταξη στραγγαλισμού και μια μαγνητική βαλβίδα. Η ελάχιστη παροχή καυσίμου προκύπτει για ανοικτή τη μαγνητική βαλβίδα και ρυθμίζεται με το χέρι. Η ρύθμιση της παροχής αέρα γίνεται μέσω στραγγαλιστικής διάταξης στην αναρρόφηση ή την κατάθλιψη, ρυθμιζόμενης είτε μέσω ηλεκτροκινητήρα είτε μέσω υδραυλικού συστήματος διευθυνόμενου από την πίεση του καυσίμου.

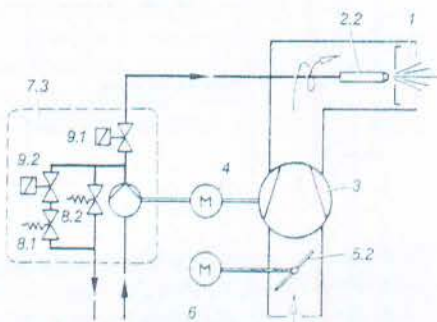
Τα ακριβότερα συστήματα εργάζονται χωρίς βαθμίδες (συνεχώς) και ρυθμίζουν βέλτιστη αναλογία καυσίμου/αέρα. Σε συμβατικό σύστημα η κίνηση ενός κινητήρα ρύθμισης μεταδίδεται αμέσως σε ένα οδηγό δίσκο και από εκεί μέσω βάρκρων σε μια ρυθμιστική βαλβίδα στην επιστροφή του καυσίμου, **Εικόνα 3.22**. Μέσω εκκέντρων στον οδηγό δίσκο ρυθμίζεται η παροχή αέρα. Σε νεότερα συστήματα δεν υπάρχουν μηχανικά στοιχεία μετάδοσης κίνησης. Οι διατάξεις στραγγαλισμού καυσίμου και



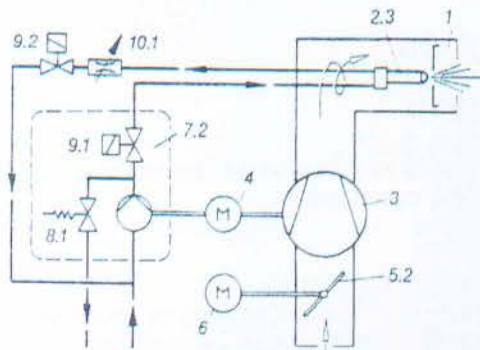
αέρα έχουν δικό τους κινητήρα ρύθμισης και διευθύνονται από μικροεπεξεργαστή, ώστε σε όλη την περιοχή ρύθμισης να επιτυγχάνεται βέλτιστη καύση.



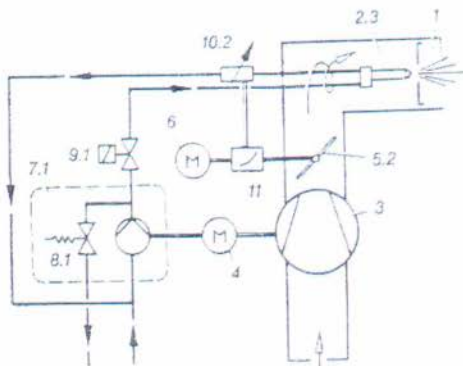
**Εικόνα 3.19** Ρύθμιση αναλογίας καυσίμου/αέρα διβάθμιον καυστήρα με 2 ακροφύσια και σταθερή πίεση καυσίμου [3]



**Εικόνα 3.20** Ρύθμιση αναλογίας καυσίμου/αέρα διβάθμιον καυστήρα με 1 ακροφύσιο και μεταβλητή πίεση καυσίμου [3]



**Εικόνα 3.21** Ρύθμιση αναλογίας καυσίμου/αέρα διβάθμιον καυστήρα με ρυθμιζόμενο ακροφύσιο επιστροφής [3]



- 7.2 αντλία με διάταξη ρύθμισης πίεσης και πρόσθετη μαγνητική βαλβίδα  
 7.3 αντλία με διπλή διάταξη ρύθμισης πίεσης  
 8.1 ρυθμιζόμενη διάταξη ρύθμισης πίεσης  
 8.2 ρυθμιζόμενη διάταξη ρύθμισης πίεσης υψηλότερης πίεσης

1. διάταξη ανάμιξης  
 2.1 κανονικό ακροφύσιο  
 2.2 ζεύγος ακροφυσίων  
 2.3 ακροφύσιο  
 3. ανεμιστήρας καυστήρα  
 4. ηλεκτροκινητήρας  
 5.1 χειροκίνητη διάταξη στραγγαλισμού  
 5.2 μηχανοκίνητη διάταξη στραγγαλισμού  
 6. ηλεκτροκινητήρας ρύθμισης  
 7.1 αντλία με διάταξη ρύθμισης πίεσης  
 9.1 μαγνητική βαλβίδα προσαγωγής ανοικτή χωρίς ρεύμα  
 9.2 μαγνητική βαλβίδα επιστροφής κλειστή χωρίς ρεύμα  
 10.1 χειροκίνητη βαλβίδα ρύθμισης πίεσης  
 10.2 αυτόματη βαλβίδα ρύθμισης πίεσης  
 11 οδηγός με έκκεντρα ρύθμισης

Εικόνα 3.22 Ρύθμιση αναλογίας καυσίμου / αέρα καυστήρα με ακροφύσιο επιστροφής συνεχούς ρύθμισης (modular)[3]

## 3.2 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΑΕΡΙΟΥ

### 3.2.1 ΕΙΔΗ ΚΑΥΣΤΗΡΩΝ

Οι καυστήρες αερίων κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τα παρακάτω κριτήρια:

1. **το καυτό αέριο** σε καυστήρες :
  - 1.1 μιας οικογένειας
  - 1.2 δύο οικογενειών
  - 1.3 ή όλων των οικογενειών αερίων
2. **τον τρόπο προσαγωγής του αέρα καύσης** σε καυστήρες :
  - 2.1 ατμοσφαιρικούς καυστήρες αερίου (χωρίς ανεμιστήρα)- Καυστήρες ατμοσφαιρικοί συναντώνται σε συσκευές μαγειρέματος, σε οικιακές συσκευές θέρμανσης χώρου και νερού χρήσης, σε μικρούς λέβητες και σε ορισμένες βιομηχανικές εφαρμογές
  - 2.2 καυστήρες αερίου με ανεμιστήρα- Σε μεγαλύτερους λέβητες και σε βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται καυστήρες με ανεμιστήρα. Προφανώς ο διαφορετικός τρόπος προσαγωγής του αέρα καύσης και οι διαφορετικές εφαρμογές συνετέλεσαν σε διαφορετικές κατασκευαστικές διαμορφώσεις.
3. **τον τρόπο λειτουργίας** σε καυστήρες :
  - 3.1 χειροκίνητους
  - 3.2 ημιαυτόματους
  - 3.3 αυτόματους



## 3.2.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ

### 3.2.2.1 ΕΙΔΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΚΑΥΣΤΗΡΩΝ

Οι ατμοσφαιρικοί καυστήρες χρησιμοποιούνται κυρίως στην περιοχή χαμηλών πιέσεων για οικιακές και βιοτεχνικές συσκευές. Οι καυστήρες αυτοί είναι απλοί στην κατασκευή και εργάζονται με μικρό θόρυβο. Η δημιουργία του μίγματος καυσίμου/αέρα καύσης γίνεται με φυσικό τρόπο (διάχυση βοηθούμενη από υποπίεση και άνωση) χωρίς κινητά μέρη. Η ρύθμιση της ισχύος γίνεται απλά με τον στραγγαλισμό της ροής αερίου, ενώ η αναρροφούμενη ποσότητα αέρα αυτορυθμίζεται.

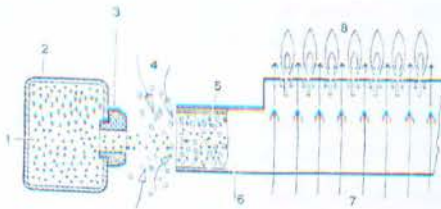
Υπάρχουν δύο ειδών ατμοσφαιρικοί καυστήρες:

1. ο καυστήρας διάχυσης και

2. ο καυστήρας έγχυσης

Ο καυστήρας διάχυσης δεν έχει εφαρμογή στην περιοχή της θέρμανσης και γι' αυτό στην παρούσα εργασία δε θα ασχοληθούμε περαιτέρω.

Ο καυστήρας έγχυσης (low pressure aerated burner ή natural draught burner, injectionsbrenner), γνωστός και ως Bunsen, χαρακτηρίζεται από προανάμιξη αερίου και αέρα. Ο καυστήρας αυτός αναρροφά τον αέρα καύσης σε δύο στάδια, **Εικόνα 3.23**. Ένα μέρος του αέρα καύσης, ο πρωτεύον αέρας, αναρροφάται από το εξερχόμενο από το ακροφύσιο αέριο (εκτόνωση και δημιουργία υποπίεσης), ενώ το υπόλοιπο, ο δευτερεύον αέρας, αναρροφάται με διάχυση υποβοηθούμενη από την άνωση, η οποία δημιουργείται λόγω της διαφοράς πυκνοτήτων καυσαερίων και αέρα.



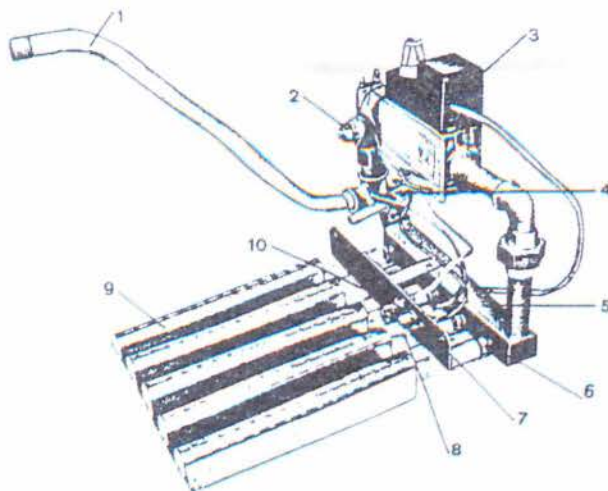
1. αέριο
2. σωλήνας διανομής
3. κύριο ακροφύσιο
4. πρωτεύον αέρας
5. μίγμα αερίου/αέρα
6. εσχάριο
7. δευτερεύον αέρας
8. κύρια φλόγα

**Εικόνα 3.23 Αρχή λειτουργίας ατμοσφαιρικού καυστήρα [3]**

Έτσι προκύπτει μια μικρότερη και εντονότερη φλόγα, λόγω μικρότερης περίσσειας αέρα καύσης. Εργάζεται με (υπερ)πίεση αερίου 18 (2<sup>η</sup> οικογένεια) έως 50 mbar (3<sup>η</sup> οικογένεια). Όσο μεγαλύτερη η υπερπίεση, τόσο μεγαλύτερο το ποσοστό του πρωτεύοντος αέρα.

Δεν υπάρχει περιορισμός ελάχιστου ή μέγιστου μεγέθους ενός ατμοσφαιρικού καυστήρα. Πρακτικά όμως, κατασκευάζονται ατμοσφαιρικοί καυστήρες ελάχιστης θερμικής ισχύος 50 έως 80 W, επειδή μικρότερες φλόγες κινδυνεύουν να σβήσουν λόγω ψύξης από τις κινήσεις του αέρα. Οι καυστήρες έναυσης (φλόγες επαγρύπνησης) έχουν θερμική φόρτιση 100- 200 W.

Επίσης πρακτικά δεν κατασκευάζονται μεμονωμένοι ατμοσφαιρικοί καυστήρες με θερμική φόρτιση μεγαλύτερη από 50 kW. Μπορούν όμως να δημιουργηθούν μεγαλύτεροι καυστήρες από συνδυασμό μεμονωμένων, σε διάταξη σχάρας, **Εικόνα 3.24**, με μέγιστη τιμή 1200 kW.



1. αγωγός αερίου
2. κρουρός
3. συσκευή ελέγχου
4. πιεζοηλεκτρικός αναφλεκτήρας
5. αγωγός διανομής
6. κύριο ακροφύσιο
7. ηλεκτρόδιο έναυσης
8. θερμοστοιχείο επιτήρησης της φλόγας έναυσης
9. εσχάρια
10. καυστήρας έναυσης

**Εικόνα 3.24 Ατμοσφαιρικός καυστήρας αερίου [3]**

Η απόσταση μεταξύ των μεμονωμένων καυστήρων πρέπει να εκλεγεί έτσι, ώστε αφ' ενός να είναι δυνατή η προσαγωγή του αναγκαίου δευτερεύοντος αέρα καύσης σε κάθε καυστήρα (ελάχιστη απόσταση) και αφ' ετέρου τα θερμά καυσαέρια του ενός καυστήρα να μπορούν να προθερμάνουν το μίγμα αερίου/ αέρα μέχρι την ελάχιστη θερμοκρασία ανάφλεξης (περίπου 630°C).

Στην περιοχή 60÷ 100% της ονομαστικής φόρτισης η αναρρόφηση πρωτεύοντος αέρα είναι ανάλογη προς τη θερμική φόρτιση, όταν μεταβάλλεται η θερμική φόρτιση με μεταβολή της πίεσης του ακροφυσίου. Σε μικρότερες θερμικές φορτίσεις η αναρρόφηση πρωτεύοντος αέρα μειώνεται και αυξάνει το ποσοστό του δευτερεύοντος αέρα, με αποτέλεσμα την αύξηση του μήκους της φλόγας. Οι κανονικοί ατμοσφαιρικοί καυστήρες μπορούν να λειτουργούν στην περιοχή 30÷ 100% της ονομαστικής φόρτισης με στραγγαλισμό της ροής στο ακροφύσιο. Ορισμένοι, μάλιστα, μπορούν να λειτουργήσουν στην περιοχή 15÷ 100% της ονομαστικής φόρτισης. Όμως, όταν η φόρτιση είναι μικρότερη από το 40% της ονομαστικής τότε μπορεί να έχουμε αυξημένο σχηματισμό CO, ακόμη και αιθάλης, όταν στο καύσιμο αέριο περιέχονται ανώτεροι υδρογονάνθρακες.

Οι ατμοσφαιρικοί καυστήρες για οικιακές συσκευές κυρίως, διακρίνονται σε :

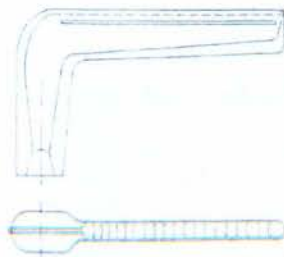
1. καυστήρες εσχαρίου (μπάρας) (bar burner, Stabbrenner)
2. καυστήρες θερμαντήρων νερού (water heater burner, Wasserheizbrenner)
3. καυστήρες εστιών μαγειρέματος (cooking burner, Kochstellenbrenner)

Υπάρχει επίσης μια πληθώρα ειδικών καυστήρων.

Οι καυστήρες εσχαρίου χρησιμοποιούνται σε ατμοσφαιρικούς λέβητες και θερμαντήρες χώρου. Έχουν θερμική φόρτιση μέχρι 50 kW ανά εσχάριο.

Οι καυστήρες θερμαντήρων νερού, **Εικόνα 3.25**, χρησιμοποιούνται σε θερμαντήρες ροής (ταχυθερμοσίφωνες), θερμαντήρες ανακυκλοφορίας και θερμαντήρες συνδυασμένης λειτουργίας. Έχουν θερμική φόρτιση μέχρι 2 kW ανά καυστήρα.





**Εικόνα 3.25 Καυστήρας θερμαντήρων νερού**

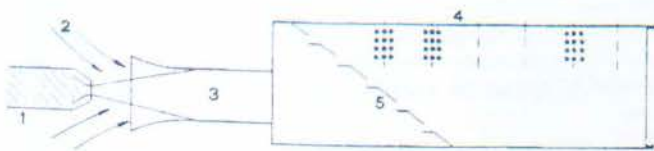
Οι καυστήρες εστιών μαγειρέματος χρησιμοποιούνται σε οικιακές και βιοτεχνικές συσκευές καθώς και σε θερμοσίφωνες αποθήκευσης. Έχουν θερμική φόρτιση μέχρι 15 kW ανά συσκευή.

Οι καυστήρες εσχαρίου διατάσσονται συνήθως σε ομάδες και έτσι δημιουργείται μια σχάρα, δηλαδή μια ορθογώνια επιφάνεια, για προσαρμογή της επιφάνειας του καυστήρα στον εναλλάκτη θερμότητας, ώστε να έχουμε καλή θέρμανση με μικρές ταχύτητες και μικρή πτώση πίεσης.

### 3.2.2.2 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ

Ένας ατμοσφαιρικός καυστήρας αποτελείται από (Εικόνα 3.26):

1. Το ακροφύσιο
2. Το σωλήνα ανάμιξης
3. Τον εσωτερικό χώρο του καυστήρα
4. Την πλάκα του καυστήρα

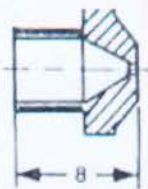


1. ακροφύσιο
2. πρωτεύον αέρας
3. σωλήνας ανάμιξης
4. πλάκα καυστήρα
5. διάταξη ανάμιξης

**Εικόνα 3.26 Κατασκευαστική διαμόρφωση ατμοσφαιρικού καυστήρα [3]**

### ΤΟ ΑΚΡΟΦΥΣΙΟ

Το ακροφύσιο συνήθως κατασκευάζεται από ορείχαλκο. Το ακροφύσιο, **Εικόνα 3.27**, έχει κατάλληλη για τη ροή εσωτερική διαμόρφωση και είναι κοχλιωμένο σε φορέα ακροφυσίων επάνω στον αγωγό-διανομέα αερίου (**Εικόνα 3.23**). Συνήθως έχει σταθερή διατομή και κωνική είσοδο. Για κάθε οικογένεια αερίου πρέπει να χρησιμοποιείται ακροφύσιο διαφορετικής διατομής. Επίσης κρίνεται σκόπιμο να χρησιμοποιούνται διαφορετικά ακροφύσια για τις δύο ομάδες H και L της 2<sup>ης</sup> οικογένειας.



**Εικόνα 3.27 Ακροφύσιο αερίου**

Η εξερχόμενη από το ακροφύσιο δέσμη αερίου, εκτονώνεται με μια γωνία περίπου 18<sup>ο</sup> και αναρροφά αέρα, ο οποίος στην πορεία αναμιγνύεται με τη δέσμη αερίου.

Στην περιοχή χαμηλών πιέσεων ( $p < 100$  mbar) οι συνήθεις πιέσεις των ακροφυσίων είναι:

- 2<sup>η</sup> οικογένεια 9 ÷ 14 mbar (900 ÷ 1400 Pa)
- 3<sup>η</sup> οικογένεια 30 ÷ 50 mbar (3000 ÷ 5000 Pa)

Η ροή αερίου η διερχόμενη από ένα ακροφύσιο μπορεί να υπολογισθεί κατά προσέγγιση

$$V_{\text{αερ}} = \alpha A \sqrt{\frac{2p_d}{\rho}} \quad (3.1)$$

Όπου

- $\alpha$  : ο συντελεστής ακροφυσίου  $\alpha = 0,8 \div 0,85$
- $A$  : η διατομή του ακροφυσίου σε  $m^2$   $A = \pi \cdot d_a^2 / 4$
- $d_a$  : η διάμετρος του ακροφυσίου σε  $m$
- $\rho$  : η πυκνότητα του αερίου σε  $kg/m^3$
- $p_d$  : η πίεση του ακροφυσίου σε  $Pa$

Συνήθως αναρροφάται μέχρι το 60% του συνολικού αέρα καύσης

### Ο ΣΩΛΗΝΑΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

Ο σωλήνας ανάμιξης συντελεί στην ανάμιξη αερίου και πρωτεύοντος αέρα. Δεν έχει υψηλή θερμική φόρτιση και κατασκευάζεται είτε από χαλυβδοελάσματα με προστασία έναντι διάβρωσης, είτε από χυτό αλουμίνιο. Στις βιοτεχνικές συσκευές κατασκευάζεται συνήθως από χυτοσίδηρο.

Ο σωλήνας ανάμιξης στην απλούστερη περίπτωση είναι ένας κυλινδρικός σωλήνας. Αποτελεσματικότερη είναι η κωνική διευρυνόμενη κατασκευή (σωλήνας Venturi), με γωνία διεύρυνσης περίπου  $4^\circ$ . Τότε λειτουργεί ως διαχύτης και μετατρέπει μέρος της κινητικής ενέργειας σε πίεση, αναγκαία για την υπερνίκηση της αντίστασης ροής στην πλάκα του καυστήρα.

Στους καυστήρες χαμηλών πιέσεων ο σωλήνας ανάμιξης συνήθως έχει τα εξής κατασκευαστικά χαρακτηριστικά:

- Η στενότερη διατομή του σωλήνα ανάμιξης είναι περίπου ίση με το μισό του αθροίσματος των διατομών των ανοιγμάτων στην πλάκα του καυστήρα.
- Το μήκος του σωλήνα ανάμιξης πρέπει να είναι τουλάχιστον οχταπλάσιο της μικρότερης διαμέτρου του.
- Η είσοδος του σωλήνα ανάμιξης πρέπει να είναι διευρυμένη και στρογγυλεμένη, **Εικόνα 3.26**.
- Η απόσταση μεταξύ ακροφυσίου και εισόδου στον σωλήνα ανάμιξης δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τη διάμετρο του σωλήνα ανάμιξης.

Το ποσοστό του πρωτεύοντος αέρα  $\Pi$  το οποίο αναρροφάται

$$\Pi = \frac{\text{αναρροφούμενος αέρας}}{\text{αερίο}} \quad \frac{m^3}{m^3} \quad (3.2)$$

μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά

$$\Pi = (0,6 - 0,7) \cdot K \cdot \frac{D}{d_a} \cdot \left( \frac{d}{d_a} \right)^3 \quad (3.3)$$

Όπου

- $K$  : ο συντελεστής εισροής ( $K \approx 1,03$ )
- $D$  : η διάμετρος του σωλήνα ανάμιξης σε  $m$
- $d_a$  : η διάμετρος του ακροφυσίου σε  $m$
- $d$  : η σχετική πυκνότητα του αερίου

Από την εξίσωση συνάγεται ότι μικρά ακροφύσια βελτιώνουν την αναρρόφηση πρωτεύοντος αέρα, όπως και μεγαλύτερες διαμέτροι του σωλήνα ανάμιξης. Όμως μεγαλύτερες διαμέτροι του σωλήνα ανάμιξης μειώνουν την πίεση στον καυστήρα. Άρα ο σχεδιασμός θα πρέπει να συμβιβάζει τις αντιδιαμετρικές επιρροές.



## Ο ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ ΤΟΥ ΚΑΥΣΤΗΡΑ

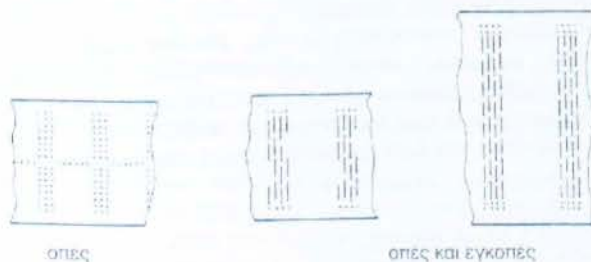
Το σώμα του καυστήρα κατασκευάζεται από τα ίδια υλικά με τα οποία κατασκευάζεται και ο σωλήνας ανάμιξης.

Ο εσωτερικός χώρος του καυστήρα πρέπει να διανέμει ομοιόμορφα το μίγμα αερίου- πρωτεύοντος αέρα στις οπές της πλάκας του καυστήρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδίως σε καυστήρες με μακριά εσχάρια, χρησιμοποιούνται εσωτερικές διατάξεις για να βοηθήσουν τη διανομή, **Εικόνα 3.26**. Η μορφή των εσωτερικών διατάξεων είναι εμπειρική.

Το μέγεθος του εσωτερικού χώρου του καυστήρα πρέπει να είναι το ελάχιστο αναγκαίο, ώστε ο χώρος να αποπλένεται γρήγορα από τα κατάλοιπα αερίου, ανάμεσα σε δύο διαδοχικές φάσεις λειτουργίας του καυστήρα με μικρό χρονικό διάστημα μεταξύ τους, για να αποφευχθεί αντεπιστροφή φλόγας.

## Η ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΚΑΥΣΤΗΡΑ

Η πλάκα του καυστήρα φέρει ανοίγματα, **Εικόνα 3.26**, μέσα από τα οποία εξέρχεται το μίγμα αερίου- πρωτεύοντος αέρα και καίγεται ως προαναμιγμένη φλόγα στον εσωτερικό κώνο, ενώ στον εξωτερικό κώνο καίγεται το υπόλοιπο του αερίου με τη βοήθεια του διαχεόμενου δευτερεύοντος αέρα. Τα ανοίγματα μπορεί να είναι οπές ή εγκοπές ή συνδυασμοί των δύο, **Εικόνα 3.28**.



**Εικόνα 3.28** Ανοίγματα σε πλάκα του καυστήρα εσχαρίου

Η πλάκα του καυστήρα πρέπει να έχει ορθό σχεδιασμό, ώστε αφ' ενός να διανέμει ομοιόμορφα το μίγμα για να έχουμε σταθερή καύση και άψογη μετάδοση της έναυσης μεταξύ φλογών και μεμονωμένων καυστήρων και αφ' ετέρου να σταθεροποιεί τις φλόγες έναντι σβέσης και αντεπιστροφής.

Η πλάκα του καυστήρα εσχαρίου συνήθως κατασκευάζεται από ελάσματα ανοξείδωτου χάλυβα, ανθεκτικού σε υψηλές θερμοκρασίες, πάχους 0,3 έως 0,7 mm. Η πλάκα στην κάτω πλευρά της ψύχεται από το μίγμα και έχει θερμοκρασία μέχρι 250°C, δηλαδή πολύ κάτω από το σημείο έναυσης.

## ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΦΛΟΓΑΣ

Η πλάκα του καυστήρα πρέπει να είναι κατάλληλα σχεδιασμένη και να φέρει συγκεκριμένα στοιχεία έτσι ώστε να σταθεροποιούνται οι φλόγες έναντι σβέσης και αντεπιστροφής.

## A. ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΦΛΟΓΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ

Για την σταθεροποίηση των φλογών έναντι αντεπιστροφής (ανάφλεξη του μίγματος στο εσωτερικό του καυστήρα) οι μεν οπές στην πλάκα πρέπει να έχουν μικρές διαμέτρους, οι δε εγκοπές μικρά πλάτη σε σχέση με το μήκος.

Οι φλόγες δεν μπορούν να διεισδύσουν μέσα από μικρά ανοίγματα, επειδή με μικρά ανοίγματα επιτυγχάνουμε χαμηλή θερμοκρασία της κάτω επιφάνειας της πλάκας του καυστήρα (θερμοκρασία μικρότερη από 250°C, δηλαδή μικρότερη από τη θερμοκρασία ανάφλεξης), οπότε διακόπτεται εκεί η αντίδραση.

Συνήθως οπές διαμέτρου 0,55 έως 0,8 mm θεωρούνται ασφαλείς. Ομοίως οι εγκοπές δεν πρέπει να είναι πλατύτερες από 0,6 mm. Στους καυστήρες εστιών μαγειρέματος και λοιπούς καυστήρες με μεγάλα μήκη καναλιών (από το εσωτερικό του καυστήρα μέχρι την επιφάνεια της πλάκας) το πλάτος μπορεί να φθάσει τα 3mm.

## B. ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΦΛΟΓΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΣΒΕΣΗΣ

Για την σταθεροποίηση της φλόγας έναντι σβέσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρία βασικά μέτρα, ακόμη και σε συνδυασμό μεταξύ τους:

1. Μικρή ταχύτητα εξόδου στην πλάκα του καυστήρα
2. Συντηρητές φλόγας
3. Φλόγες συντήρησης (φλόγα επαγρύπνησης ή φλόγα- πλότεος)

Η πρώτη δυνατότητα αποφεύγεται, επειδή οδηγεί σε μικρή φόρτιση, ενώ αυξάνει τον κίνδυνο επιστροφής της φλόγας.

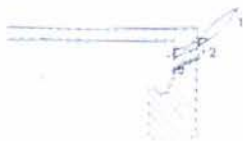
Στη σταθεροποίηση με συντηρητή φλόγας, **Εικόνα 3.29**, ο δευτερεύον αέρας ρέει γύρω από ένα εμπόδιο, πίσω από το οποίο δημιουργείται περιοχή ανακυκλοφορίας με μια ροή επιστροφής προς την πλάκα, η οποία σταθεροποιεί τη φλόγα με τα θερμά καυσαέρια. Στους καυστήρες με πολλαπλές φλόγες αναρροφώνται θερμά καυσαέρια από τα όρια και έτσι επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση.



1. Αέριο
2. Αέρας
3. Ζώνη αντίδρασης
4. Ζώνη ανακυκλοφορίας (καυσαέριο + αέρας)
5. Όριο δέσμης
6. Όριο μεταξύ των ροών αερίου και αέρα με ζώνη ανάμιξης

**Εικόνα 3.29** Σταθεροποίηση με συντηρητή φλόγας

Η σταθεροποίηση με φλόγες συντήρησης είναι η αποτελεσματικότερη. Πρόκειται για μικρές βοηθητικές φλόγες στην περίμετρο του καυστήρα, **Εικόνα 3.30**. Αυτές είναι επαρκώς σταθεροποιημένες λόγω της μικρής θερμικής φόρτισης και της μικρής ταχύτητας ροής τους. Ανάβουν πάλι την κύρια φλόγα σε περίπτωση σβέσης. Στους καυστήρες εσχαρίου βασικά χρησιμοποιείται σταθεροποίηση με φλόγες συντήρησης.



1. κύρια φλόγα
2. φλόγα συντήρησης

**Εικόνα 3.30** Σταθεροποίηση με φλόγα συντήρησης



## ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝ ΑΕΡΑΣ

Ο δευτερεύον αέρας αποτελεί το 40÷ 50 % του συνολικού αέρα καύσης. Ο δευτερεύον αέρας πρέπει να διανέμεται έτσι, ώστε αφ' ενός να υπάρχει επαρκής περίσσεια αέρα για άψογη καύση (και μη σχηματισμό ρύπων π.χ. CO και αιθάλη) και αφ' ετέρου να μην προκύπτουν τοπικά αυξημένες ταχύτητες ροής, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε αστάθεια της φλόγας.

Σε μεγάλους καυστήρες σχάρας, αποτελούμενους από πολλούς καυστήρες εσχάριου, υπάρχει περίπτωση δημιουργίας τοπικά έλλειψης αέρα, αν ο αέρας μπορεί να απορροφηθεί μόνο από τα όρια της σχάρας. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με παροχή αέρα από κάτω ή με διατάξεις οδήγησης του αέρα κάτω από τον καυστήρα.

### **3.2.2.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΚΑΥΣΤΗΡΑ**

Η διαδικασία της καύσης γίνεται σε δύο φάσεις στον ατμοσφαιρικό καυστήρα. Στην πρωτεύουσα φλόγα (εσωτερικός κώνος) καίγεται μέρος του καυσίμου (60÷70%) με τη βοήθεια του υπάρχοντος στο μίγμα πρωτεύοντος αέρα. Το υπόλοιπο καίγεται στον εξωτερικό κώνο με τη βοήθεια του διαχεόμενου δευτερεύοντος αέρα. Για να είναι η καύση πλήρης, πρέπει με τη διάχυση και την ανάμιξη να δημιουργείται σε κάθε σημείο της φλόγας τουλάχιστον στοιχειομετρικό μίγμα.

Το ύψος του θαλάμου καύσης πρέπει να είναι επαρκές, ώστε μέσα σ' αυτό να προλάβουν να περατωθούν οι χημικές αντιδράσεις, ώστε να μην έχουμε σχηματισμό CO.

Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό του πρωτεύοντος αέρα, τόσο καλύτερη η καύση και μικρότερο το μήκος της φλόγας. Εφόσον ο πρωτεύον αέρας παίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα της καύσης, παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο και στο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας.

Αν το αέριο καύσιμο περιέχει ανώτερους υδρογονάνθρακες (προπάνιο, βουτάνιο, πεντάνιο) με μεγαλύτερα μόρια, τότε η αντίδραση καύσης λαμβάνει χώρα σε περισσότερα βήματα και μέσα στη φλόγα εμφανίζονται ελεύθερα μόρια άνθρακα με κίνδυνο παραγωγής CO και αιθάλης. Η φλόγα στις περιοχές έλλειψης αέρα έχει λόγω άνθρακα ένα κίτρινο χρώμα. Έτσι στη φλόγα διακρίνουμε βασικά μια εσωτερική περιοχή με περισσότερο ή λιγότερο κίτρινο χρώμα και μια εξωτερική περιοχή, η οποία είτε δεν είναι φωτεινή είτε έχει ελαφρό γαλαζοπράσινο χρώμα. Αν στη φλόγα ο κίτρινος πυρήνας είναι μικρός, τότε συνήθως δεν υπάρχει κίνδυνος σχηματισμού αιθάλης. Αν, όμως, όλη η φλόγα είναι κίτρινη, (ένδειξη τοπικής έλλειψης οξυγόνου και άρα ανεπαρκούς πρωτεύοντος αέρα) τότε υφίσταται μεγάλη πιθανότητα σχηματισμού CO και αιθάλης.

Η λειτουργία συνοδεύεται από θορύβους, οι οποίοι αυξάνουν με την αύξηση της φόρτισης. Οι θόρυβοι διακρίνονται σε θορύβους ροής (κατά την αναρρόφηση του πρωτεύοντος αέρα) και σε θορύβους της φλόγας.

Οι θόρυβοι ροής δημιουργούνται από τον στραγγαλισμό της εισροής του πρωτεύοντος αέρα, που μπορεί να προκαλέσει ακόμη και κραδασμούς στο εσωτερικό του καυστήρα, ιδίως όταν η πίεση του αερίου είναι υψηλή. Συνήθως αντιμετωπίζονται με μικρή αύξηση της διαμέτρου του ακροφυσίου.

Οι θόρυβοι της φλόγας οφείλονται σε αστάθειες στα ανοίγματα της πλάκας του καυστήρα, ιδίως όταν έχουμε υψηλή θερμοκή φόρτιση, αυξημένο πρωτεύοντα αέρα και αέρια με μικρή ταχύτητα φλόγας. Αντιμετωπίζονται με στραγγαλισμό της ροής του αερίου, προσέχοντας να μην μεταπέσουμε σε περίπτωση κίτρινης φλόγας.

Όταν ο καυστήρας λειτουργεί διακεκομμένα, υπάρχει περίπτωση κινδύνου βαθμιαίας απόφραξης των ανοιγμάτων της πλάκας από σκόνη μεταφερόμενη από τον πρωτεύοντα αέρα. Αυτό οδηγεί σε χειρότερηση της φλόγας λόγω μείωσης της αναρρόφησης του πρωτεύοντος αέρα και ενδεχομένως σε σχηματισμό CO και αιθάλης. Αν μάλιστα καίγονται τα σωματίδια της σκόνης (ίνες, τρίχες, κλπ.), τότε σχηματίζονται επικαθίσεις, οι οποίες δεν μπορούν να καθαρισθούν από έξω.



Ορισμένοι κατασκευαστές προστατεύουν τα ανοίγματα εισόδου πρωτεύοντος αέρα με καθοριζόμενες σήτες (πλέγματα).

Όπως έχει προαναφερθεί, οι κανονικοί ατμοσφαιρικοί καυστήρες μπορούν να λειτουργούν στην περιοχή 30 έως 100% της ονομαστικής φόρτισης με στραγγαλισμό της ροής στο ακροφύσιο. Ορισμένοι, μάλιστα, μπορούν να λειτουργήσουν στην περιοχή 15 έως 100%. Όμως όταν η φόρτιση είναι μικρότερη από 40% της ονομαστικής, τότε μπορεί να έχουμε αυξημένο σχηματισμό CO και αιθάλης, όταν στο καύσιμο αέριο περιέχονται ανώτεροι υδρογονάνθρακες.

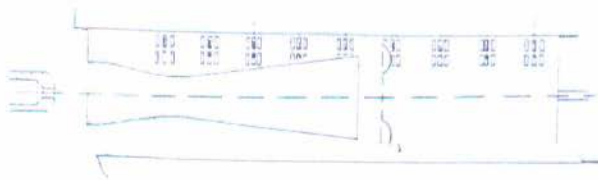
Στους συμβατικούς ατμοσφαιρικούς καυστήρες λεβήτων θέρμανσης δεν είναι δυνατή η διβάθμια λειτουργία, επειδή μπορεί να ρυθμιστεί η παροχή αερίου αλλά όχι και ο αέρας καύσης για μερικό φορτίο, οπότε προκύπτει μεγάλη περίσσεια αέρα και μείωση του βαθμού απόδοσης του λέβητα.

### 3.2.2.4 ΠΡΟΥΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΚΑΥΣΤΗΡΑ

Οι ατμοσφαιρικοί καυστήρες συνήθως προρυθμίζονται στο εργοστάσιο κατασκευής τους για λειτουργία με φυσικό αέριο της ομάδας H, δηλαδή με ονομαστικό δείκτη Wobbe  $W_o = 15.0 \text{ kWh/m}^3$ . Φέρουν στην πινακίδα τους ειδική ένδειξη, η οποία π.χ. για τη Γερμανία είναι EE= Erdgas- Einstellung (ρύθμιση για φυσικό αέριο). Με τη ρύθμιση αυτή μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς καμία τεχνική μεταβολή με όλα τα αέρια αυτής της ομάδας.

### 3.2.2.5 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΕΣΧΑΡΙΟΥ

Οι καυστήρες εσχαρίου χρησιμοποιούνται σε ατμοσφαιρικούς λέβητες και αερολέβητες και σε θερμαντήρες χώρου. Ο σωλήνας ανάμιξης μπορεί να βρίσκεται είτε εμπρός, **Εικόνα 3.26**, είτε μέσα στον καυστήρα, **Εικόνα 3.31**. Οι οπές και εγκοπές είναι διατεταγμένες κατά ομάδες διανεμημένες έτσι, ώστε να προκύπτουν πολλαπλές φλόγες με ενδιάμεσα διαστήματα για καλύτερη αναρρόφηση δευτερεύοντος αέρα. Δεν χρησιμοποιούνται συντηρητές φλόγας ή φλόγες συντήρησης. Η σταθεροποίηση γίνεται με κατάλληλη διαστασιολόγηση των ανοιγμάτων και ρύθμιση των ταχυτήτων εξόδου.



**Εικόνα 3.31 Καυστήρας εσχαρίου για λέβητα θέρμανσης**

### 3.2.2.6 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΚΑΥΣΤΗΡΑ

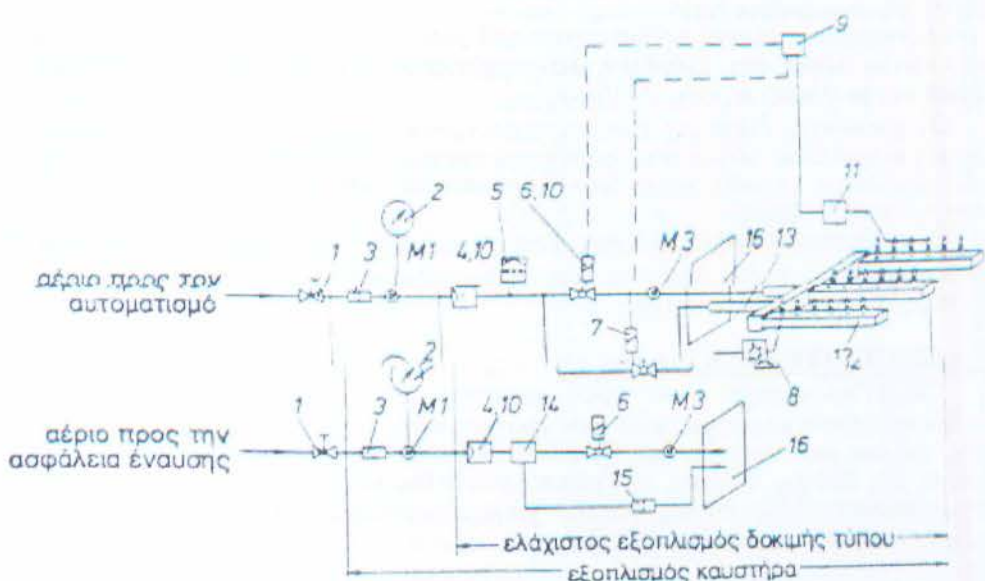
Κάθε ατμοσφαιρικός καυστήρας πρέπει να είναι εξοπλισμένος με ένα ελάχιστο αριθμό οργάνων για κανονική εκκίνηση, λειτουργία και σβέση. Ο ελάχιστος εξοπλισμός ενός ατμοσφαιρικού καυστήρα σύμφωνα με το DIN 4788 Teil δίνεται στην **Εικόνα 3.32**.

Η χειροκίνητη αποφρακτική διάταξη είναι απαραίτητη για την ταχεία διακοπή της παροχής αερίου. Η διάταξη επιτήρησης της φλόγας φροντίζει τη διακοπή της παροχής αερίου, όταν για κάποιο λόγο σβήσει η φλόγα. Το φίλτρο αερίου προβλέπεται για την κατακράτηση ρύπων, οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν βλάβες, κυρίως αποφράξεις. Πρέπει να τοποθετείται κατά το δυνατόν κοντά στη σύνδεση του αερίου, πάντως όχι μετά από το όργανο αυτορρύθμισης και τη διάταξη



έναυσης. Ο ρυθμιστής πίεσης πρέπει να έχει στην είσοδό του περιστόμιο για μέτρηση της πίεσης. Σε διαφορετική περίπτωση πρέπει να προβλεφθεί ανάλογη θέση.

Οι ατμοσφαιρικοί καυστήρες συνήθως είναι εξοπλισμένοι με συνεχή φλόγα έναυσης, η οποία θερμαίνει ένα θερμοστοιχείο που κρατά ανοιχτή μια αντίστοιχη βαλβίδα. Αυτός ο τρόπος επιτήρησης της φλόγας έχει μεγάλους χρόνους ασφαλείας περίπου 30 sec. Είναι όμως δυνατόν να χρησιμοποιηθεί άμεση έναυση με ηλεκτρικό σπινθήρα και αισθητήρα φλόγας με ράβδο ιονισμού ή φωτοκύτταρο υπεριώδους ακτινοβολίας (UV). Σε ατμοσφαιρικούς καυστήρες μέχρι 350 kW μπορεί να χρησιμοποιηθεί θερμοηλεκτρική ασφάλεια έναυσης με επιτήρηση της φλόγας ανάφλεξης, ενώ σε μεγαλύτερες ισχύες πρέπει να χρησιμοποιηθεί διάταξη επιτήρησης με χρόνο ασφαλείας 5 έως 15 sec. Επίσης σε καυστήρες χειροκίνητης λειτουργίας χωρίς ιδιαίτερη διάταξη έναυσης επιτρέπεται θερμική φόρτιση μέχρι 5 kW και μέγιστος χρόνος ασφαλείας 60 se



1. χειροκίνητη αποφρακτική βαλβίδα
2. μετρητής πίεσης αερίου
3. φίλτρο αερίου
4. ρυθμιστής πίεσης
5. επιτηρητής πίεσης
6. όργανο αυτορρυθμισμού
7. βαλβίδα αερίου έναυσης
8. διάταξη έναυσης
9. αυτοματισμός καυστήρα
10. όργανο προρύθμισης

11. αισθητήρας φλόγας
12. καυστήρας αερίου
13. καυστήρας έναυσης
14. ασφάλεια έναυσης
15. φίλτρο αερίου έναυσης
16. άνοιγμα προσαγωγής αέρα
- M1: θέση μέτρησης για την πίεση σύνδεσης
- M2: θέση μέτρησης για την πίεση ροής στην κεφαλή του καυστήρα

Εικόνα 3.32 Ελάχιστος εξοπλισμός ατμοσφαιρικού καυστήρα κατά DIN 4788 Teil 1[3]

## ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΝΑΥΣΗΣ

Η έναυση του μίγματος καυσίμου- αέρα στους ατμοσφαιρικούς καυστήρες μπορεί να γίνεται με ημιαυτόματες ή με πλήρως αυτόματες διατάξεις έναυσης.

Οι διατάξεις έναυσης ανάβουν την κύρια φλόγα είτε έμμεσα (ημιαυτόματα) μέσω φλόγας έναυσης (φλόγα πιλότος, καυστήρες έναυσης), είτε άμεσα (αυτόματα) επάνω στα εσχάρια.

Η ημιαυτόματη έναυση βασίζεται στην έναυση της κύριας φλόγας μέσω μιας ή περισσότερων ήδη αναμμένων φλογών έναυσης, οι οποίες με τη σειρά τους ανάβονται πιεζοηλεκτρικά. Ο αριθμός και το μέγεθος των φλογών έναυσης εξαρτάται από το συνολικό μέγεθος του καυστήρα.

Στους πιεζοηλεκτρικούς αναπτήρες αναπτύσσεται μέσω πίεσης σε χαλαζιακούς κρυστάλλους τάση περίπου 20kV, η οποία εκφορτιζόμενη παράγει σπινθήρα. Η μέθοδος εγγυάται υψηλή θερμοκρασία του σπινθήρα, μεγάλη διάρκεια ζωής και υψηλή ασφάλεια λειτουργίας.

Η έναυση της φλόγας έναυσης κανονικά γίνεται μόνον κατά την αρχική θέση σε λειτουργία. Κατά την ακόλουθη λειτουργία η φλόγα έναυσης παραμένοντας αναμμένη καταναλώνει περίπου 25 l/h αερίου.

Οι αυτόματες διατάξεις έναυσης λειτουργούν όπως οι αντίστοιχες στους καυστήρες πετρελαίου. Μέσω μετασχηματιστή αναπτύσσεται τάση έναυσης 7 έως 16 kV. Σε μικρότερα μεγέθη καυστήρων χρησιμοποιούνται σπινθηριστές ανάλογοι εκείνων του αυτοκινήτου.

Οι αυτόματες διατάξεις έναυσης είναι οικονομικότερες, επειδή δεν χρειάζεται να καίει συνεχώς η φλόγα έναυσης. Έτσι αντισταθμίζονται οι αυξημένες δαπάνες επένδυσης για την αυτόματη έναυση.

## ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΠΙΤΗΡΗΣΗΣ ΦΛΟΓΑΣ

Οι αυτόματοι καυστήρες απαιτούν επιτήρηση της κύριας φλόγας ή της φλόγας έναυσης για να μην μπορούν να εξέλθουν άκαυστες ποσότητες αερίου. Για την επιτήρηση της φλόγας έναυσης χρησιμοποιούνται θερμοηλεκτρικές διατάξεις, ενώ για την επιτήρηση της κύριας φλόγας χρησιμοποιούνται διατάξεις ιονισμού ή αισθητήρες υπεριώδους ακτινοβολίας (UV).

### **A. ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΠΙΤΗΡΗΣΗΣ ΦΛΟΓΑΣ**

Οι θερμοηλεκτρικές διατάξεις επιτήρησης φλόγας είναι αναγκαίες σε όλους τους καυστήρες με φλόγα έναυσης.



**Εικόνα 3.33 Αρχή λειτουργίας της θερμοηλεκτρικής ασφάλειας έναυσης**

Η θερμοηλεκτρική διάταξη επιτήρησης φλόγας, γνωστή ως θερμοηλεκτρική ασφάλεια έναυσης, βασίζει τη λειτουργία της στη θερμική φόρτιση δύο θερμοστοιχείων από τη φλόγα έναυσης, **Εικόνα 3.33**. Το παραγόμενο θερμικό ρεύμα κρατάει ανοιχτή μια μαγνητική βαλβίδα για την οδό προσαγωγής αερίου στη φλόγα

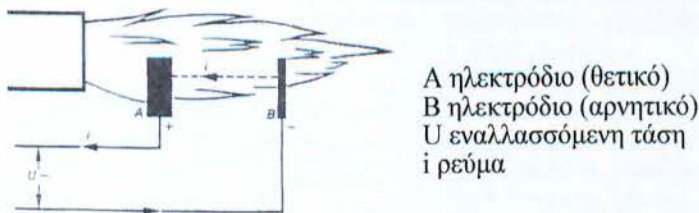


ένανσης και στην κύρια φλόγα. Αν διακοπεί το θερμικό ρεύμα ή πέσει κάτω από μια ελάχιστη τιμή, τότε κλείνουν από την πίεση ελατηρίου τόσο η βαλβίδα αερίου ένανσης, όσο και η κύρια βαλβίδα αερίου.

## B. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΙΟΝΙΣΜΟΥ

Η επιτήρηση με διάταξη ιονισμού βασίζεται στο φαινόμενο ότι μέσα στη φλόγα δημιουργούνται ιόντα. Έτσι στη φλόγα δημιουργείται ηλεκτρική αγωγιμότητα των καυσαερίων. Αν τώρα επιβληθεί τάση σε δύο ηλεκτρόδια που προεξέχουν μέσα στη φλόγα, **Εικόνα 3.34**, τότε μεταξύ των ηλεκτροδίων ρέει ρεύμα μέσω των (ιονισμένων) καυσαερίων, για όσο χρόνο διατηρείται η καύση. Η φλόγα προφανώς λειτουργεί ως ανορθωτής (το ρεύμα που τη διαρρέει είναι συνεχές), πράγμα το οποίο είναι σημαντικό για την επιτήρηση της φλόγας, επειδή επιτρέπει τη διάκριση ενός εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο εμφανίζεται στην περίπτωση βραχυκυκλώματος.

Τα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται από υλικό ανθεκτικό στις υψηλές θερμοκρασίες και μη αναφλεγόμενο. Συχνά στην πράξη αντί του πρώτου ηλεκτροδίου (ηλεκτρόδιο Α **Εικόνα 3.34**) χρησιμοποιείται ως θετικό ηλεκτρόδιο κάποιο δομικό στοιχείο του καυστήρα.



**Εικόνα 3.34 Αρχή λειτουργίας της διάταξης επιτήρησης ιονισμού**

## Γ. ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Ο αισθητήρας υπεριώδους ακτινοβολίας (UV= Ultra Violet) χρησιμοποιείται για την επιτήρηση διαφανών και γαλαζίων φλογών, όπως είναι οι φλόγες αερίου. Στις φλόγες αερίου το ενεργό τμήμα ακτινοβολίας βρίσκεται στην περιοχή υπεριώδους ακτινοβολίας με μήκη κύματος μεταξύ 190 και 270 nm, όπου ο αισθητήρας UV μπορεί να αποκριθεί χωρίς κίνδυνο να παρερμηνευθεί ξένο φως.

Ο αισθητήρας UV αποτελείται από μια λυχνία γεμάτη με αέριο και δύο ηλεκτρόδια υπό τάση. Με την εμφάνιση υπεριώδους ακτινοβολίας το αέριο καθίσταται αγωγίμο, οπότε μπορεί να ρέει ρεύμα, το οποίο δίνει σήμα στο όργανο ελέγχου.

Η επιτήρηση της φλόγας με αισθητήρα UV χρησιμοποιείται σε καυστήρες με ανεμιστήρα. Έχει το μειονέκτημα της υψηλής τιμής και της περιορισμένης διάρκειας ζωής, περίπου 10.000 h.

## ΤΟ ΟΡΓΑΝΟ ΕΛΕΓΧΟΥ

Το όργανο ελέγχου, όπως και στους καυστήρες πετρελαίου διευθύνει και επιτηρεί όλες τις λειτουργίες του καυστήρα.

Στα χρησιμοποιούμενα σήμερα όργανα ελέγχου η εκτέλεση του προγράμματος διευθύνεται από μικροεπεξεργαστές.

Το όργανο ελέγχου παίρνει τα σήματα από τους αισθητήρες και στέλνει τα σήματα διεύθυνσης.

Αν υπάρξει απαίτηση θέρμανσης, τότε στο όργανο ελέγχου ακολουθείται το εξής πρόγραμμα:

1. Έλεγχος των απαιτήσεων λειτουργίας της εγκατάστασης, όπως έλεγχος α στον επιτηρητή πίεσης επικρατεί επαρκής πίεση.

2. Έλεγχος του συστήματος επιτήρησης της φλόγας
3. Έναρξη έναυσης
4. Ζεύξη της μαγνητικής βαλβίδας αερίου για την παροχή καυσίμου

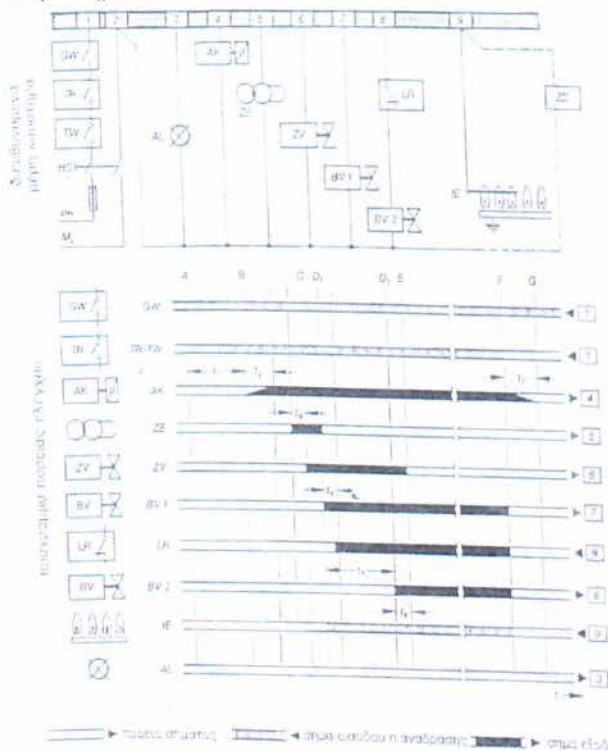
Φυσικά σε κάθε βήμα τηρούνται χρόνοι αναμονής, καθοριζόμενοι από τα πρότυπα.

Αν μέσα στους χρόνους ασφαλείας δεν προκύψει η κύρια φλόγα, τότε το όργανο ελέγχου διακόπτει την παροχή αερίου, μεταπίπτει σε απόξευση βλάβης και ο καυστήρας μανδάλωνεται έναντι επανεκκίνησης. Η απομανδάλωση μπορεί στη συνέχεια να γίνει μόνο με το χέρι. Η ένδειξη απόξευσης βλάβης γίνεται οπτικά ή και ακουστικά.

Αν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας σβήσει η φλόγα, σε καυστήρες με θερμική ισχύ μέχρι 350 kW μπορεί να επιχειρηθεί μια επανέναυση ή επανεκκίνηση. Αν αποτύχει και αυτή η προσπάθεια, ακολουθεί απόξευση βλάβης.

Η απόξευση του καυστήρα γίνεται αυτόματα λόγω απόκρισης του ρυθμιστή, επιτηρητή ή περιοριστή.

Ανάλογα με τον εξοπλισμό της όλης εγκατάστασης (καυστήρας, λέβητας, σύστημα προσαγωγής αέρα και σύστημα αγωγής καυσαερίων) με μηχανοκίνητα κλαπέτα, βαλβίδες διβάθμιας ή βαθμωτής (modular) λειτουργίας κλπ., είναι αναγκαία σε ειδικές περιπτώσεις, ιδιαίτερα προγράμματα ζεύξης. Στην **Εικόνα 3.35** δίνεται παράδειγμα προγράμματος διεύθυνσης διβάθμιου καυστήρα αερίου χωρίς ανεμιστήρα.



- AK : κλαπέτο καυσαερίων
- BV : μαγνητική βαλβίδα
- IE : ηλεκτρόδιο ιονισμού
- LR : ρυθμιστής ισχύος
- ZD : ανιχνευτής φλόγας έναυσης
- ZE : μετασηματιστής έναυσης
- A : εκκίνηση
- B : άνοιγμα κλαπέτου καυσαερίων AK
- C : σχηματισμός φλόγας έναυσης
- D1 : σχηματισμός κύριας φλόγας με την 1<sup>η</sup> βαθμίδα
- D2 : επέκταση κύριας φλόγας με την 2<sup>η</sup> βαθμίδα
- E : θέση σε συνεχή λειτουργία
- F : κανονική σβήση
- G : κλείσιμο κλαπέτου καυσαερίων AK
- AL : διάταξη συναγερμού
- GW : επιτηρητής πίεσης αερίου
- HS : κύριος διακόπτης ετοιμότητας λειτουργίας
- TR : ρυθμιστής θερμοκρασίας
- TW : επιτηρητής θερμοκρασίας
- ZV : βαλβίδα αερίου έναυσης

- t<sub>1</sub> : χρόνος αναμονής
- t<sub>2</sub> : χρόνος ανοίγματος κλαπέτου καυσαερίων
- t<sub>3</sub> : χρόνος προέναυσης

- t<sub>4</sub> : χρόνος ασφαλείας
- t<sub>5</sub> : χρόνος μετάβασης από 1<sup>η</sup> σε 2<sup>η</sup> βαθμίδα
- t<sub>6</sub> : χρόνος ασφαλείας 2<sup>ης</sup> βαθμίδας
- t<sub>7</sub> : χρόνος κλεισίματος

**Εικόνα 3.35** Σύνδεση και πρόγραμμα διεύθυνσης διβάθμιου καυστήρα αερίου χωρίς ανεμιστήρα [3]

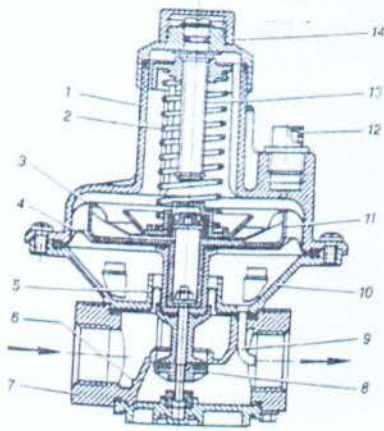


## ΟΡΓΑΝΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ο ελάχιστος εξοπλισμός ενός καυστήρα συμπεριλαμβάνει τον ρυθμιστή πίεσης (4), τον επιτηρητή πίεσης (5), και τη μαγνητική βαλβίδα (6), τα οποία αποτελούν όργανα απαραίτητα για την ασφάλεια και τη λειτουργία του καυστήρα.

Οι ρυθμιστές πίεσης αερίου εγκαθίστανται αμέσως πριν από τον καυστήρα. Αυτοί φροντίζουν ώστε η πίεση του αερίου να διατηρείται σε ένα σταθερό ύψος, ανεξάρτητα από τις εμφανιζόμενες μερικές φορές διακυμάνσεις της πίεσης του δικτύου. Το ύψος αυτό εξαρτάται από την οικογένεια αερίου π.χ. 18 mbar για αέρια της 2<sup>ης</sup> οικογένειας (ασφαλέστερα 20 mbar) για οικιακή χρήση.

Οι ρυθμιστές πίεσης-αερίου πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του DIN 3392. Ο ρυθμιστής πίεσης, **Εικόνα 3.36**, διαθέτει μια μεμβράνη εργασίας, η οποία μετατοπίζεται λόγω της πίεσης του αερίου μετατοπίζει το δίσκο της βαλβίδας του ρυθμιστή, ρυθμίζοντας έτσι την πίεση εξόδου μέσω στραγγαλισμού. Η πίεση λειτουργίας προρρυθμίζεται μέσω ρυθμιζόμενου ελατηρίου.



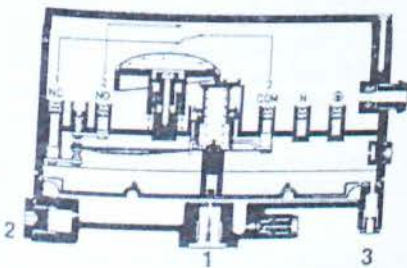
1. καπάκι κελύφους
2. ελατήριο πίεσης δέουσας τιμής
3. μεμβράνη ασφαλείας
4. μεμβράνη εργασίας
5. μεμβράνη αντιστάθμισης
6. έδρα ρυθμιστή
7. κέλυφος ρυθμιστή
8. δίσκος βαλβίδας ρυθμιστή
9. κανάλι μετάδοσης πίεσης αερίου
10. κέλυφος μεμβράνης
11. δίσκος μεμβράνης
12. ακροφύσιο αναπνοής και/ή δυνατότητα σύνδεσης για αγωγό διαρροής
13. άτρακτος ρύθμισης πίεσης
14. καπάκι

**Εικόνα 3.36 Ρυθμιστής πίεσης αερίου [3]**

Ο ρυθμιστής πίεσης αερίου έχει ένα άνοιγμα αναπνοής, για να κινείται η μεμβράνη χωρίς αντίθλιψη. Σε μεγαλύτερα μεγέθη στο άνοιγμα είναι συνδεδεμένος αγωγός εξαερισμού. Πάντως είναι πιθανό αντί ανοίγματος αναπνοής να υπάρχει μεμβράνη ασφαλείας.

Αν η πίεση σύνδεσης του δικτύου τροφοδοσίας είναι μεγαλύτερη από 50 mbar, τότε σύμφωνα με το DIN 3380 στον αγωγό προσαγωγής πρέπει να εγκατασταθεί ένας δεύτερος ρυθμιστής πίεσης, επειδή ο ρυθμιστής πίεσης πριν από τον καυστήρα δεν μπορεί να ρυθμίζει υπερβάλλουσες διαφορές πίεσης.

Οι επιτηρητές πίεσης αερίου, **Εικόνα 3.37**, είναι όργανα τα οποία χρησιμοποιούνται για την επιτήρηση μιας εγκατάστασης ή συσκευής κατανάλωσης αερίου έναντι πολύ υψηλής ή πολύ χαμηλής πίεσης.



1. ή 2 σύνδεση με αγωγό αερίου
3. άνοιγμα αναπνοής

**Εικόνα 3.37 Επιτηρητής πίεσης αερίου σε τομή**

Συνήθως χρησιμοποιούνται για την επιτήρηση συσκευών κατανάλωσης αερίου έναντι πολύ χαμηλής πίεσης (ασφάλεια έλλειψης αερίου). Αν η πίεση του αερίου είναι μικρότερη από την τιμή ρύθμισης του επιτηρητή πίεσης, τότε αυτός δεν επιτρέπει την εκκίνηση του καυστήρα ή διακόπτει τη λειτουργία του.

Ο επιτηρητής ροής ρυθμίζεται είτε από τον προμηθευτή του καυστήρα, είτε από τον εγκαταστάτη του στο λεβητοστάσιο. Η ρύθμιση βρίσκεται επί το πλείστον στα 20- 50 % της απαιτούμενης πίεσης ροής.

Η αρχή λειτουργίας ενός επιτηρητή πίεσης είναι ίδια με εκείνη ενός ρυθμιστή πίεσης. Η μεμβράνη του ενεργοποιεί ένα μικροαυτόματο, ο οποίος διακόπτει την παροχή αερίου ή κλείνει την κύρια βαλβίδα αερίου.

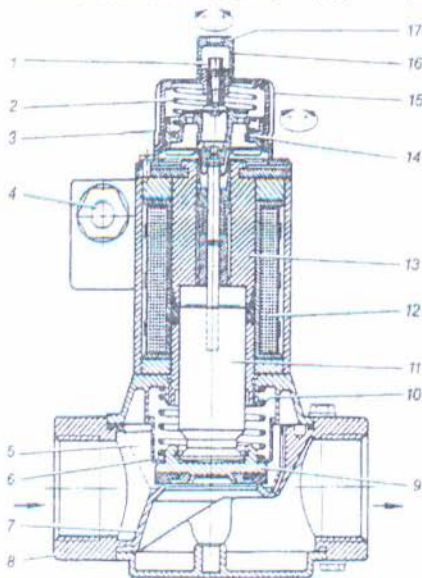
Οι επιτηρητές πίεσης αερίου πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του DIN 3398.

Στον εξοπλισμό του καυστήρα περιλαμβάνεται η κύρια βαλβίδα αερίου. Αυτή ενεργοποιείται κατά βάση ηλεκτρομηχανικά και χρησιμοποιεί στη ρύθμιση και τη φραγή της κύριας παροχής αερίου. Ανάλογα με την κατασκευή μπορεί να παρέχει το αέριο γρήγορα ή αργά, διβάθμια ή βαθμωτά (modular).

Οι βαλβίδες αερίου πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του DIN 3394. Το πρότυπο αυτό διακρίνει τρεις ομάδες βαλβίδων αερίου, Α, Β, και C ανάλογα με τη στεγανότητά τους.

Οι βαλβίδες αερίου μπορούν να είναι μαγνητικές, μηχανοκίνητες ή ακόμη να είναι ενσωματωμένες μαζί με κάποιο άλλο όργανο.

Οι μαγνητικές βαλβίδες, **Εικόνα 3.38**, έχουν κέλυφος με έδρα της βαλβίδας και ένα ηλεκτρομαγνήτη, ο οποίος περιλαμβάνει ένα πηνίο και μια άγκυρα, στην οποία είναι στερεωμένος ο δίσκος της βαλβίδας. Η ροή του αερίου ελευθερώνεται μετά από διέγερση του πηνίου (π.χ. από τον αυτοματισμό της εξυπηρετούμενης συσκευής), το οποίο ανυψώνει το δίσκο της βαλβίδας μέσω της άγκυρας. Η φραγή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός κατάλληλου ελατηρίου. Η ρύθμιση της παροχής του αερίου γίνεται με ρύθμιση στραγγαλισμού, η οποία μπορεί να αλλάξει μόνο με εργαλείο. Αν υπάρχει απαίτηση για διβάθμια λειτουργία ή αργό άνοιγμα, προφανώς η κατασκευή της μαγνητικής βαλβίδας έχει διαφορετική διαμόρφωση.



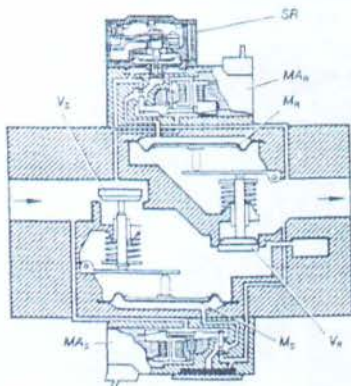
1. βελόνα ακροφυσίου
2. ελατήριο
3. κντίο πέδης
4. σύνδεση καλωδίωσης
5. φίλτρο
6. απαγωγή ρύπων
7. έδρα βαλβίδας
8. κέλυφος βαλβίδας
9. δίσκος βαλβίδας με στεγανοποιητικό
10. ελατήριο φραγής
11. άγκυρα
12. μαγνήτης
13. κάψουλα μαγνήτη
14. έμβολο
15. κύρια ρύθμιση ποσότητας
16. προστατευτικό καπάκι με κορώνα ρύθμισης
17. ρύθμιση ταχείας κίνησης

**Εικόνα 3.38 Μαγνητική βαλβίδα αργού ανοίγματος [3]**



Οι μηχανοκίνητες βαλβίδες χρησιμοποιούνται σε καυστήρες με ανεμιστήρα και μόνο σπάνια σε ατμοσφαιρικούς. Έχουν κέλυφος με έδρα της βαλβίδας και ένα σύστημα κίνησης. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία συστημάτων κίνησης. Το συνηθέστερο είναι το σύστημα on/ off (δύο θέσεων). Υπάρχουν για μεγάλης ισχύος καυστήρες βαλβίδες διβάθμιας ή βαθμωτής (modular) λειτουργίας, οι οποίες επιτρέπουν μία ακόμη θέση, δηλαδή ανοίγουν κατ'αρχήν στο 50% ή μπορούν να λειτουργούν σε κάθε θέση μεταξύ 10 και 100%.

Σε μικρά μεγέθη καυστήρων χρησιμοποιούνται συνδυασμένα όργανα, τα οποία γενικά περιέχουν εκτός από τη βαλβίδα ρύθμισης και ασφαλείας και το ρυθμιστή πίεσης, **Εικόνα 3.39**. Χρησιμοποιούνται σε ημιαυτόματα και αυτόματα συστήματα έναυσης.



$V_R$  : ρυθμιστική βαλβίδα με ρυθμιστή  
 $V_S$  : αποφρακτική βαλβίδα ασφαλείας  
 $M_R$  : μεμβράνη ρύθμισης για την  $V_R$   
 $M_S$  : μεμβράνη ρύθμισης για την  $V_S$   
 $M_A_R$  : μαγνητική κίνηση για την  $V_R$   
 $M_A_S$  : μαγνητική κίνηση για την  $V_S$   
 $SR$  : βαθμωτός ρυθμιστής για την πίεση εκκίνησης και πλήρους φορτίου

**Εικόνα 3.39** Συνδυασμένη βαλβίδα αερίου [3]

### 3.2.3 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΑΕΡΙΟΥ ΜΕ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ

#### 3.2.3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Στους καυστήρες με ανεμιστήρα όλος ο αέρας καύσης παρέχεται από κατάλληλο ανεμιστήρα. Χρησιμοποιούνται σε ισχύς μεγαλύτερες από 50 kW, επειδή για μικρότερα μεγέθη είναι αντισυμβατικοί, λόγω ακριβότερων οργάνων ασφαλείας και ρύθμισης. Η ύπαρξη του ανεμιστήρα καθιστά δυνατή την καλή ανάμιξη του αέρα με το καύσιμο αέριο μέσα στην κεφαλή του καυστήρα, με την ελάχιστη απαιτούμενη **περίσσεια αέρα**. Λόγω της μικρής **περίσσειας αέρα**, της καλής ανάμιξης και του στροβιλισμού έχουμε υψηλές πυκνότητες ενέργειας και επιθυμητό καθορισμό της μορφής της φλόγας. Επίσης έχουμε τη δυνατότητα ρύθμισης της ισχύος λόγω της δυνατότητας ρύθμισης των παροχών αερίου και αέρα.

Οι καυστήρες με ανεμιστήρα είναι όλοι σχεδιασμένοι για λειτουργία με υπερπίεση. Στους λέβητες υπερπίεσης ο ανεμιστήρας του καυστήρα, εκτός από την αναρρόφηση του αέρα καύσης και την σταθεροποίηση της φλόγας, αναλαμβάνει και την υπερνίκηση των αντιστάσεων στο θάλαμο καύσης και τα κανάλια συναγωγής των καυσαερίων. Η καπνοδόχος απλώς απάγει τα καυσαέρια με τον ελκυσμό της.

Ο καυστήρας με ανεμιστήρα, **Εικόνα 3.40**, έχει περίπου τα ίδια στοιχεία με τον καυστήρα πετρελαίου, εκτός από την αντλία καυσίμου, ενώ περιλαμβάνει, όπως αναφέρθηκε και στον ατμοσφαιρικό καυστήρα διατάξεις ρύθμισης, έναυσης και ασφαλείας για το αέριο. Έτσι δεν θα χρειασθεί να περιγραφούν πάλι ορισμένα στοιχεία.

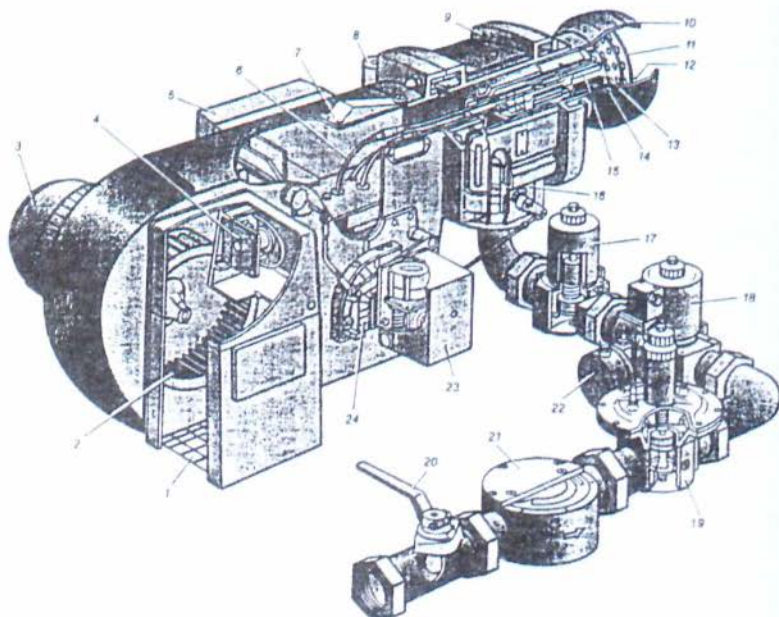
Υπάρχουν βέβαια, καυστήρες στους οποίους όλα τα μέρη σχηματίζουν ενιαίο σώμα (monoblock).

### 3.2.3.2 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ

#### Ο ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑΣ ΤΟΥ ΚΑΥΣΤΗΡΑ

Ο ανεμιστήρας του καυστήρα αερίου είναι ίδιος με τον ανεμιστήρα του καυστήρα πετρελαίου.

Για την επιτήρηση της λειτουργίας του ανεμιστήρα υπάρχουν συνήθως επιτηρητές της πίεσης του αέρα (σπανιότερα διακόπτες φυγόκεντρης δύναμης), στοιχείο 4 στην **Εικόνα 3.40**, οι οποίοι ελέγχουν την ασφαλή παροχή αέρα. Σε περίπτωση βλάβης διακόπτουν τη λειτουργία και μανδαλώνουν.



1. άνοιγμα αναρρόφησης αέρα
2. πτερωτή ανεμιστήρα
3. κινητήρας
4. Επιτηρητής πίεσης αέρα
5. συσκευή ελέγχου (αυτοματισμός)
6. καλώδια έναυσης
7. άνοιγμα παρατήρησης
8. αρθρωτή φλάντζα συντήρησης
9. φλάντζα στερέωσης
10. φλογοσωλήνας
11. δίσκοι ανάμιξης
12. αισθητήριο επιτήρησης φλόγας
13. δακτύλιος ακροφυσίων αερίου
14. δακτύλιος ανάμιξης

15. ηλεκτρόδιο έναυσης
16. κλαπέτο ρύθμισης αερίου
17. αποφρακτική βαλβίδα για διαρροή αερίου
18. αποφρακτική βαλβίδα ασφαλείας
19. ρυθμιστής πίεσης αερίου
20. αποφρακτικός κρονοός αερίου
21. φίλτρο αερίου
22. επιτηρητής πίεσης αερίου
23. μηχανισμός ρύθμισης παροχής αέρα/αερίου
24. διάταξη προσαγωγής της παροχής αέρα

Εικόνα 3.40 Καυστήρας με ανεμιστήρα [3]



## Ο ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

Σε καυστήρες αερίου με ενσωματωμένο ανεμιστήρα, ο κινητήρας είναι μικρότερος σε σύγκριση με εκείνο του καυστήρα πετρελαίου, επειδή δεν υπάρχει αντλία καυσίμου. Κατά τα άλλα οι κινητήρες είναι ίδιοι.

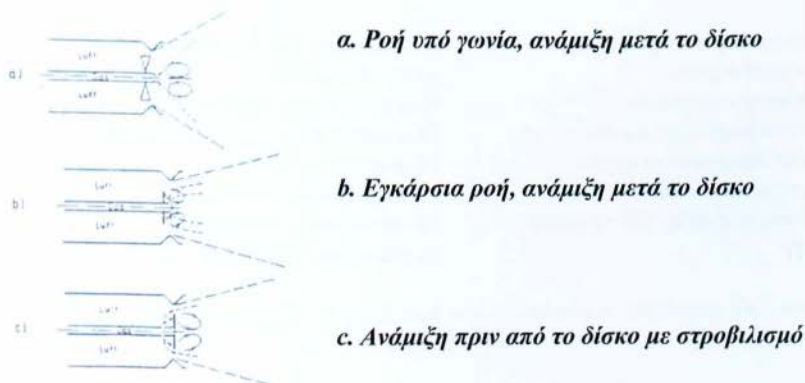
### ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

Στον καυστήρα, ανάλογα με το μέγεθός του, η διανομή αερίου μπορεί να γίνεται είτε από ακροφύσια ενός μεμονωμένου σωλήνα, είτε από συνδυασμό περισσοτέρων σωλήνων, **Εικόνα 3.41**. Οι δέσμες αερίου σχηματίζουν γωνία με τη ροή του αέρα, συνήθως  $90^\circ$ , για καλύτερη ανάμιξη. Η πίεση του αερίου στην έξοδο από τα ακροφύσια πρέπει, προφανώς να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την πίεση του αέρα εκεί. Η έξοδος του αερίου γίνεται είτε πριν από το δίσκο ανάμιξης, είτε μετά το δίσκο στο νεκρό χώρο ανακυκλοφορίας. Η διαμόρφωση των ακροφυσίων δεν παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάμιξη.

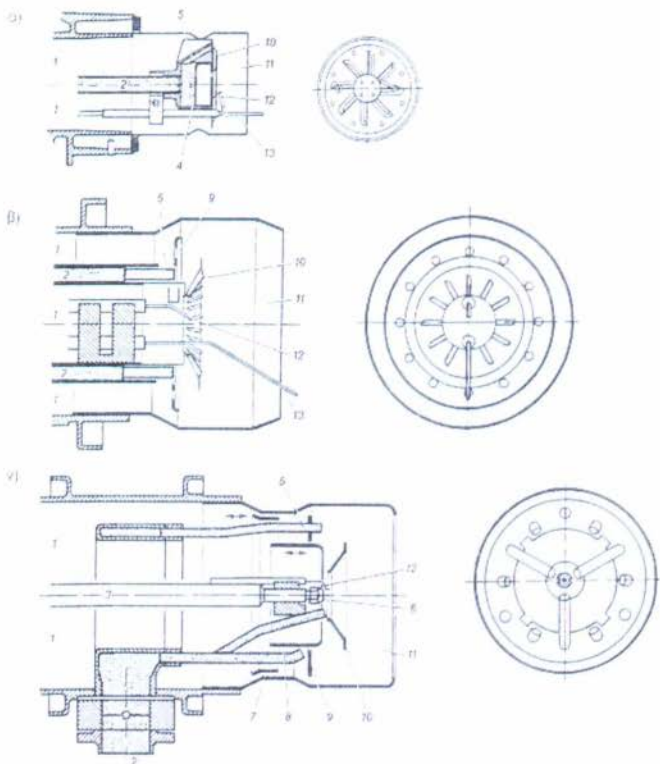
Η διάταξη ανάμιξης είναι ανάλογη προς τη διάταξη ανάμιξης ενός καυστήρα πετρελαίου. Αποτελείται από το φλογαυλό, το σωλήνα ακροφυσίων και την κεφαλή του καυστήρα με τα στοιχεία οδήγησης και ανακοπής του αέρα. Η διάταξη αυτή έχει σκοπό την κατά το δυνατόν καλύτερη ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα καύσης με ελάχιστη περίσσεια. Από αυτήν εξαρτάται η ποιότητα του μίγματος, η μορφή και το μήκος της φλόγας, ο βαθμός απόδοσης και η καλή καύση χωρίς άκαυστα. Εκτός από την καλή ανάμιξη, η διάταξη αυτή πρέπει να σταθεροποιεί τη φλόγα, ώστε να αποφεύγονται κραδασμοί.

Χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα ανάμιξης, τα οποία περιλαμβάνουν συνδυασμούς αφ' ενός ροής του καυσίμου σε δέσμες εγκάρσιες ή λοξές προς τη ροή του αέρα και αφ' ετέρου δίσκο ανακοπής ή δακτύλιους στροβιλισμού, **Εικόνα 3.41** και **Εικόνα 3.42**.

Σε μεγαλύτερους καυστήρες για να μειωθεί το μήκος της φλόγας εντατικοποιούμε την ανάμιξη με στροβιλισμό της ροής του αέρα και (σπανίως) του καυσίμου. Οι δακτύλιοι στροβιλισμού είναι ελάσματα οδήγησης του αέρα διατεταγμένα κοχλιοειδώς, τα οποία προκαλούν περιστροφή του αέρα με το καύσιμο και εντατικοποιούν την ανάμιξη.



**Εικόνα 3.41 Διατάξεις ακροφυσίων και διατάξεις ανάμιξης σε καυστήρες με ανεμιστήρα**



- α) Ακροφύσιο αερίου με δίσκο ανακοπής με εγκοπές για μικρές ισχύεις  
 β) Στεφάνη ακροφυσίων αερίου με συνδυασμό δίσκων ανακοπής με οπές και εγκοπές για μεσαίες ισχύεις  
 γ) Στεφάνη με 12 ακροφύσια αερίου και 1 ακροφύσιο πετρελαίου και συνδυασμό δίσκων ανακοπής με οπές και εγκοπές για μεσαίες ισχύεις

- |   |  |
|---|--|
| 1. προσαγωγή αέρα στην κεφαλή               | 8. κάμνολλα ρύθμισης λειτουργίας μερικού φορτίου       |
| 2. προσαγωγή αερίου                         | 9. δίσκος ανακοπής με οπές                             |
| 3. προσαγωγή πετρελαίου                     | 10. δίσκος ανακοπής με εγκοπές                         |
| 4. φορέας ακροφυσίων αερίου                 | 11. φλογοσωλήνας                                       |
| 5. στεφάνη ακροφυσίων αερίου                | 12. ηλεκτρόδια έναυσης                                 |
| 6. ακροφύσιο πετρελαίου                     | 13. ηλεκτρόδιο ιονισμού (αισθητήριο επιτήρησης φλόγας) |
| 7. δακτύλιος ανάμιξης για τη φάση εκκίνησης |  |

Εικόνα 3.42 Διατάξεις ακροφυσίων και διατάξεις ανάμιξης σε καυστήρες με ανεμιστήρα [3]



## ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΝΑΥΣΗΣ

Κάθε καυστήρας με ανεμιστήρα πρέπει να έχει μια διάταξη έναυσης για αυτόματη εκκίνηση. Μέχρι τη θερμική ισχύ των 120 kW η έναυση είναι άμεση ηλεκτρική. Μεταξύ 120 kW και 350 kW με άμεση ηλεκτρική έναυση η εκκίνηση πρέπει να γίνεται αργά (π.χ. με μαγνητικές βαλβίδες αργού ανοίγματος). Για θερμική ισχύ από 350 kW και πάνω η εκκίνηση πρέπει να γίνεται με ισχύ μικρότερη από το 50%, ενώ η ρύθμιση πρέπει να είναι τουλάχιστον διβάθμια. Σε ακόμη μεγαλύτερα μεγέθη (800 kW) απαιτείται πρώτα έναυση μιας φλόγας έναυσης, διότι πλέον δεν επαρκεί η ηλεκτρική άμεση έναυση για μια άψογη εκκίνηση.

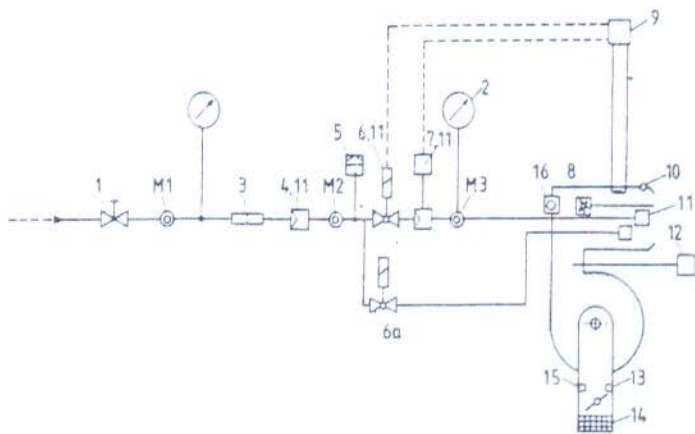
Η έναυση του μίγματος καυσίμου/ αέρα γίνεται με ηλεκτρικό σπινθήρα, ο οποίος δημιουργείται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Ο απαραίτητος μετασχηματιστής ανυψώνει την τάση μέχρι τα 7 έως 16 kV. Μικροί καυστήρες μπορούν να έχουν μόνο ένα ηλεκτρόδιο έναυσης, το οποίο ανάβει τη φλόγα με τάση περίπου 5 kV, ενώ ως δεύτερο ηλεκτρόδιο χρησιμεύει κάποιο στοιχείο μεγάλης μάζας.

Σημαντική είναι η σωστή διάταξη των ηλεκτροδίων σε σχέση με τα ακροφύσια. Ο σπινθήρας πρέπει να δημιουργείται σε περιοχή με αναφλέξιμο μίγμα αερίου/ αέρα.

## ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΥΣΤΗΡΑ ΜΕ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ

Κάθε καυστήρας με ανεμιστήρα πρέπει να είναι εξοπλισμένος με ένα ελάχιστο αριθμό οργάνων για κανονική εκκίνηση, λειτουργία και σβέση. Ο ελάχιστος εξοπλισμός ενός καυστήρα με ανεμιστήρα σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 676 δίνεται στην **Εικόνα 3.43**. Είναι περίπου ίδιος με αυτόν του παλαιότερου DIN 4788 Teil 2.

Βλέπουμε ότι και στον καυστήρα με ανεμιστήρα είναι απαραίτητα ορισμένα όργανα τα οποία συναντήσαμε και στον ατμοσφαιρικό καυστήρα, δηλαδή η χειροκίνητη αποφρακτική διάταξη, η διάταξη επιτήρησης της φλόγας, τα φίλτρα αερίου, ο ρυθμιστής και ο επιτηρητής πίεσης. Υπάρχουν όμως και ορισμένα ειδικά στοιχεία, όπως ο έλεγχος λειτουργίας του ανεμιστήρα και οι τερματικοί διακόπτες ελάχιστου και μέγιστου αέρα.



1. χειροκίνητη αποφρακτική διάταξη
2. μετρητής πίεσης αερίου
3. φίλτρο αερίου
4. ρυθμιστής πίεσης αερίου
5. επιτηρητής πίεσης
6. αποφρακτική διάταξη ασφαλείας
7. διάταξη ρύθμισης για πολυβάθμιο καυστήρα

8. διάταξη έναυσης
9. διάταξη επίτηρησης φλόγας αέρα
10. όργανο προρύθμισης
11. έλεγχος λειτουργίας ανεμιστήρα Μέτρησης
12. θερματικός διακόπτης
13. προστασία για κινητά μέρη

14. θερματικός διακόπτης μέγιστου
- $M_1$  : θέση μέτρησης για την πίεση σύνδεσης  
 $M_3$  : θέση μέτρησης για την πίεση στην κεφαλή

Εικόνα 3.43 Ελάχιστος εξοπλισμός καυστήρα με ανεμιστήρα σύμφωνα με ΕΛΟΤΕΝ 676 [3]

## ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΠΙΤΗΡΗΣΗΣ ΦΛΟΓΑΣ

Ως διατάξεις επιτήρησης φλόγας χρησιμοποιούνται είτε η ράβδος ιονισμού, είτε ο αισθητήρας υπερϊόδους ακτινοβολίας.

## Η ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η διάταξη ελέγχου, όπως και στους λοιπούς καυστήρες, διευθύνει και επιτηρεί όλες τις λειτουργίες του καυστήρα. Η κατασκευή της είναι ανάλογη με την κατασκευή της αντίστοιχης διάταξης για καυστήρες πετρελαίου.

Στους μικρούς καυστήρες με θερμική ισχύ μέχρι 120 kW, οι οποίοι λειτουργούν on/ off, η εκτέλεση του προγράμματος μέχρι τώρα διευθυνόταν με απλό τρόπο μέσω διμεταλλικών στοιχείων. Στις πιο σύγχρονες διατάξεις ελέγχου η εκτέλεση του προγράμματος διευθύνεται μέσω εκκεντροφόρου κυλίνδρου, κινούμενου από σύγχρονο κινητήρα. Υπάρχουν βέβαια και ηλεκτρονικά όργανα ελέγχου, διευθυνόμενα από μικροεπεξεργαστές, στα οποία όλα τα βήματα διευθύνσης μπορούν να αναγγέλλονται οπτικά, για να μπορεί σε περίπτωση βλάβης να βρεθεί ταχύτερα η αιτία.

Με την εμφάνιση απαίτησης θέρμανσης μέσω π.χ. του σήματος ενός θερμοστάτη γίνεται μετά την εκκίνηση του καυστήρα έλεγχος κατ' αρχήν της πίεσης

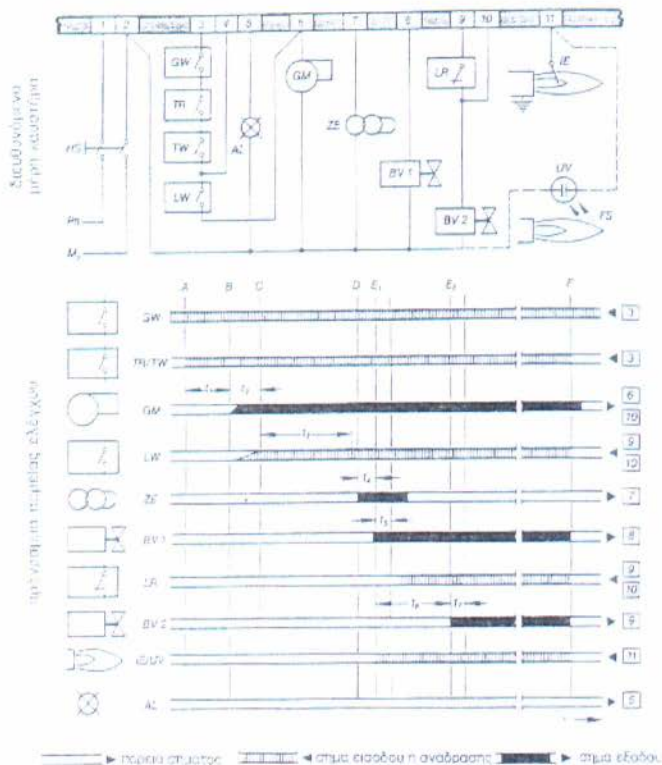


του αερίου, έλεγχος του συστήματος επιτήρησης της φλόγας και στη συνέχεια ξεκινάει ο κινητήρας του ανεμιστήρα. Κατά τη διάρκεια ενός χρόνου πρόπλυσης (προαερισμού) πρέπει ο επιτηρητής πίεσης αέρα να κλείσει την επαφή του λόγω επάρκειας της πίεσης, διότι διαφορετικά διακόπτεται το πρόγραμμα λειτουργίας. Μετά τον χρόνο πρόπλυσης αρχίζει η προένανση, με το πέρας της οποίας οι βαλβίδες αερίου παίρνουν σήμα να ανοίξουν. Εντός του μέγιστου επιτρεπόμενου χρόνου ασφαλείας πρέπει η διάταξη επιτήρησης φλόγας να δώσει σήμα ύπαρξης φλόγας, διαφορετικά ακολουθεί απόξευση βλάβης. Στην περίπτωση μιας απόξευσης βλάβης πρέπει να ενεργοποιηθεί το κομβίο απομανδάλωσης στο όργανο ελέγχου, για να προκληθεί νέα προσπάθεια εκκίνησης. Οι χρόνοι ασφαλείας καθορίζονται από τα αντίστοιχα πρότυπα περί καυστήρων.

Σε κάθε κανονική απόξευση του καυστήρα, μέσω του οργάνου ελέγχου σταματά ο κινητήρας και κλείνουν οι βαλβίδες αερίου. Έτσι διακόπτεται η παροχή αερίου και σβήνει η φλόγα.

Οι καυστήρες αερίου με θερμική ισχύ άνω των 120 kW πρέπει (όπως έχει ήδη αναφερθεί) να λειτουργούν τουλάχιστον διβάθμια.

Στην **Εικόνα 3.44** δίνεται ένα παράδειγμα προγράμματος διεύθυνσης διβάθμιου καυστήρα με ανεμιστήρα.



**AL** : διάταξη συναγερωμού  
**GM** : κινητήρας  
**HS** : κύριος διακόπτης για ετοιμότητα Λειτουργίας  
**LR** : ροθμιστής ισχύος  
**TR** : ροθμιστής θερμοκρασίας ή πίεσης  
**UV** : δίοδος υπεριώδους φλόγας  
**A** : εκκίνηση  
**C** : ελευθέρωση από επιτηρητή πίεσης αέρα  
**D** : σχηματισμός φλόγας έναυσης  
**E<sub>1</sub>** : σχηματισμός κύριας φλόγας με την 1<sup>η</sup> βαθμίδα  
**E<sub>2</sub>** : σχηματισμός κύριας φλόγας με τη 2<sup>η</sup> βαθμίδα  
**BV** : μαγνητική βαλβίδα

**GW** : επιτηρητής πίεσης αερίου  
**IE** : ηλεκτρόδιο ιονισμού  
**LW** : επιτηρητής πίεσης αέρα  
**TW** : επιτηρητής θερμοκρασίας ή πίεσης  
**ZE** : μετασχηματιστής έναυσης  
**B** : εκκίνηση ανεμιστήρα  
**F** : κανονική σβέση  
**t<sub>1</sub>** : χρόνος αναμονής  
**t<sub>2</sub>** : εκκίνηση ανεμιστήρα  
**t<sub>3</sub>** : χρόνος απόπλυσης  
**t<sub>4</sub>** : χρόνος προέναυσης  
**t<sub>5</sub>** : χρόνος ασφαλείας 1<sup>ης</sup> βαθμίδας  
**t<sub>6</sub>** : χρόνος μετάβασης από την 1<sup>η</sup> στη 2<sup>η</sup> βαθμίδα  
**t<sub>7</sub>** : χρόνος ασφαλείας 2<sup>ης</sup> βαθμίδας

Εικόνα 3.44 Σύνδεση και πρόγραμμα διεύθυνσης διβάθμιου καυστήρα αερίου με ανεμιστήρα [3]



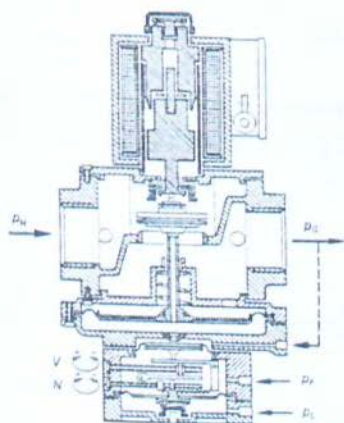
### 3.2.3.3 ΡΥΘΜΙΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΑΕΡΙΟΥ / ΑΕΡΑ

Υπάρχουν διάφορες δυνατότητες ρύθμισης της αναλογίας αερίου/ αέρα, ανάλογα με το μέγεθος και την εφαρμογή.

Η απλούστερη περίπτωση είναι εκείνη του μονοβάθμιου καυστήρα. Η παροχή αερίου ρυθμίζεται με στραγγαλισμό στη μαγνητική βαλβίδα ή ρύθμιση της πίεσης στο ρυθμιστή, ενώ η αντίστοιχη παροχή αέρα με τη βοήθεια κλαπέτου ή διαφράγματος στην αναρρόφηση ή την κατάθλιψη, όπως στους καυστήρες πετρελαίου.

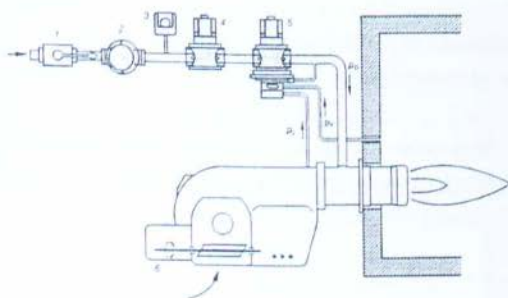
Στους διβάθμιους καυστήρες η παροχή αερίου ρυθμίζεται μέσω διβάθμιων μαγνητικών βαλβίδων (βασικό και μέγιστο φορτίο). Η ρύθμιση της παροχής αέρα γίνεται όπως στους καυστήρες πετρελαίου.

Τα συστήματα βαθμωτής (modular) ή συνεχούς ρύθμισης μπορούν να εφαρμοσθούν σχετικά απλά και στους μικρότερους καυστήρες. Εκτός από τη συνδυασμένη μηχανική ή ηλεκτρονική ρύθμιση στους καυστήρες αερίου υπάρχει δυνατότητα και πνευματικής ρύθμισης, **Εικόνα 3.45**.



- $p_N$  : πίεση εισόδου από δίκτυο
- $p_G$  : πίεση εξόδου προς καυστήρα
- $p_L$  : πίεση εισόδου αέρα καύσης
- $p_F$  : πίεση εισόδου από θάλαμο καύσης
- $V$  : κοχλίας ρύθμισης για την αναλογία αερίου/ αέρα στο όργανο
- $N$  : κοχλίας ρύθμισης για μετατόπιση μηδενικού σημείου της κανονικής αναλογίας

**Εικόνα 3.45** Παράδειγμα πνευματικής ρύθμισης αναλογίας αερίου/ αέρα [3]



1. χειροκίνητη αποφρακτική διάταξη
2. φίλτρο αερίου
3. επιτηρητής πίεσης αερίου
4. ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα
5. πνευματικός ρυθμιστής αναλογίας με τους αγωγούς σημάτων για τις  $p_G$ ,  $p_L$  και  $p_F$
6. ρύθμιση κλαπέτου αέρα

**Εικόνα 3.46** Παράδειγμα πνευματικής ρύθμισης αναλογίας αερίου/ αέρα [3]

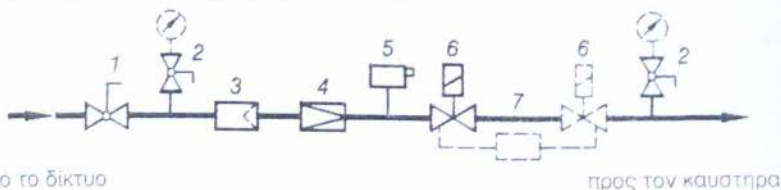
Συνήθως αυτός ο ρυθμιστής είναι συνδυσασμένος σε ένα ενιαίο όργανο που εκτελεί ακόμη τη λειτουργία της μαγνητικής βαλβίδας και του ρυθμιστή πίεσης αερίου. Εγκαθίσταται χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις κατά το δυνατόν κοντά στον καυστήρα.

Βασικό στοιχείο της πνευματικής συνδυσασμένης ρύθμισης είναι ο μηχανισμός κίνησης του δίσκου της βαλβίδας, ο οποίος αποτελείται από 2 μεμβράνες για την παραλαβή της στατικής πίεσης του αέρα καύσης μέσα στο κέλυφος του καυστήρα και της πίεσης αερίου αμέσως πριν το ακροφύσιο. Μετάξύ των δύο μεμβρανών υπάρχει ένας ρυθμιζόμενος μοχλός. Με μείωση ή αύξηση των βραχιόνων του μοχλού μεταβάλλεται αναλογικά η σχέση του μοχλού και επομένως η αναλογία αερίου/ αέρα.

Βασικό μέγεθος λειτουργίας είναι η πίεση του αέρα καύσης  $p_L$  στη διάταξη ανάμειξης. Αν αυξηθεί αυτή η πίεση του αέρα, τότε προκαλεί μια μετατόπιση του μηχανισμού κίνησης των μεμβρανών, μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία με τη ρύθμιση της πίεσης του αέρα. Η εκάστοτε απαιτούμενη παροχή αερίου ρυθμίζεται χωρίς ουσιαστική καθυστέρηση. Ως δεύτερο μέγεθος διόρθωσης μπορεί ακόμη να συνδεθεί η πίεση του θαλάμου καύσης  $p_F$ .

### 3.2.3.4 ΟΡΓΑΝΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Αρκετά από τα όργανα του ελάχιστου εξοπλισμού για την ασφάλεια και λειτουργία ενός καυστήρα με ανεμιστήρα είναι ίδια με αυτά που συμπεριλαμβάνονται στον εξοπλισμό του καυστήρα χωρίς ανεμιστήρα.

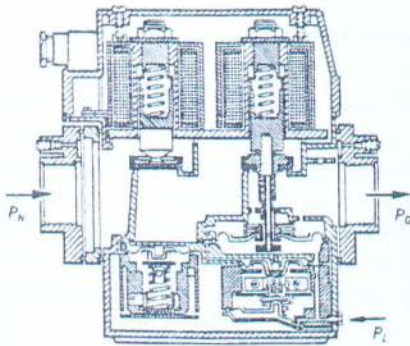


- |                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 1. χειροκίνητη αποφρακτική διάταξη | 5. επιτηρητής πίεσης             |
| 2. μέτρηση πίεσης αερίου           | 6. Αποφρακτική διάταξη ασφαλείας |
| 3. φίλτρο αερίου                   | 7. Όργανο ελέγχου διαρροής       |
| 4. ρυθμιστής πίεσης αερίου         |                                  |

**Εικόνα 3.47** Εξοπλισμός καυστήρα με ανεμιστήρα με διάταξη ελέγχου στεγανότητας [3]

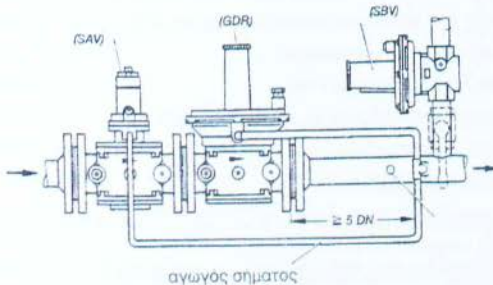
Αν ο καυστήρας έχει θερμική ισχύ μικρότερη από 350 kW απαιτείται μια βαλβίδα ασφαλείας, ενώ αν έχει θερμική ισχύ μεγαλύτερη από 350 kW τότε απαιτούνται δύο βαλβίδες της ομάδας A κατά DIN 3394.





$p_N$  : πίεση εισόδου από δίκτυο  
 $p_G$  : πίεση εξόδου προς καυστήρα  
 $p_L$  : πίεση εισόδου αέρα καύσης

**Εικόνα 3.48** Συνδυασμένο όργανο ρύθμισης και φραγής για καυστήρα με ανεμιστήρα [3]



**Εικόνα 3.49** Ρυθμιστής με βαλβίδες ασφαλείας (SAV και SBV. GDR = ρυθμιστής) [3]

Για θερμική ισχύ μεγαλύτερη από 350 kW συνιστάται η εγκατάσταση και μιας διάταξης ελέγχου στεγανότητας.

Στους μικρούς καυστήρες (όπως και στους καυστήρες χωρίς ανεμιστήρα) χρησιμοποιούνται συνδυασμένα όργανα μικρού όγκου, τα οποία περιέχουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία, όπως φίλτρο, ρυθμιστή, επιτηρητή και βαλβίδες, **Εικόνα 3.48**.

Αν η προπίεση είναι μεγαλύτερη από 100 mbar, τότε πρέπει πριν το ρυθμιστή να εγκατασταθεί μια αποφρακτική βαλβίδα ασφαλείας (SAV), **Εικόνα 3.49**, η οποία διακόπτει την παροχή αερίου αν ξεπεραστεί η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση. Συνιστάται μετά το ρυθμιστή να εγκατασταθεί μια αποφρακτική βαλβίδα απόρριψης (SBV) με ασφαλή απαγωγή αερίου στο ύπαιθρο.

### 3.2.3.5 ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΥΣΤΗΡΑ ΜΕ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ

Οι καυστήρες με ανεμιστήρα δεν ρυθμίζονται εξ' αρχής στο εργοστάσιο για μια δεδομένη θερμική φόρτιση. Η ρύθμιση γίνεται στην εστία καύσης στο χώρο εγκατάστασης, ώστε να υπάρχει προσαρμογή στις ανάγκες. Η ρύθμιση γίνεται με τη βοήθεια μετρήσεων της περιεκτικότητας του  $O_2$  ή  $CO_2$  στα ξηρά καυσαέρια. Με αυτές προσδιορίζεται ο λόγος αέρα και ο βαθμός απόδοσης. Για τη ρύθμιση είναι απαραίτητη η γνώση της σύστασης του αερίου και της θερμογόνου δύναμης.

Η παροχή αερίου ρυθμίζεται με τη βοήθεια μετρητή αερίου ή ενός ροομέτρου. Η παροχή ρυθμίζεται κατά περίπτωση.

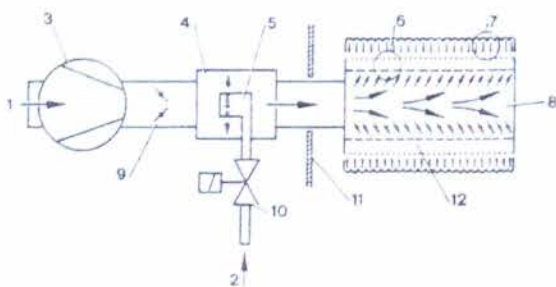
### 3.2.4 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΠΡΟΑΝΑΜΙΞΗΣ

Οι καυστήρες προανάμιξης είναι καυστήρες με ανεμιστήρα. Χαρακτηριστικό τους είναι η προανάμιξη του συνολικά αναγκαίου αέρα καύσης με το αέριο πριν την προσαγωγή τους στην κεφαλή του καυστήρα.

Καυστήρες προανάμιξης χρησιμοποιούνται:

- Σε θερμαντήρες οροφής υπέρυθρης ακτινοβολίας.
- Σε θερμαντήρες ανακυκλοφορίας ανώτερης θερμογόνου δύναμης με ονομαστική ισχύ μέχρι περίπου 40 kW.
- Σε λέβητες με μικρή ισχύ μέχρι 100 kW και φόρτιση σχάρας  $300 \div 1000 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$ .
- Σε λέβητες με ισχύ άνω των 100 kW και φόρτιση σχάρας  $150 \div 400 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$ .

Ο καυστήρας προανάμιξης περιλαμβάνει μια διάταξη (ή θάλαμο) προανάμιξης αερίου/ αέρα καύσης και μια ειδική κεφαλή καύσης, **Εικόνα 3.50**.



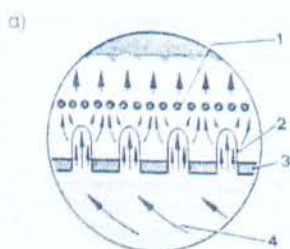
- |                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| 1. προσαγωγή αέρα       | 7. μέτωπο φλόγας              |
| 2. προσαγωγή αερίου     | 8. εσχάριο καυστήρα           |
| 3. ανεμιστήρας αέρα     | 9. ρύθμιση παροχής αέρα       |
| 4. μίκτης αέρα – αερίου | 10. μαγνητική βαλβίδα         |
| 5. διανομέας αερίου     | 11. πλάκα καυστήρα            |
| 6. επιφάνεια καυστήρα   | 12. διάταξη διανομής μίγματος |

Εικόνα 3.50 Δομή ενός καυστήρα προανάμιξης αερίου/ αέρα [3]



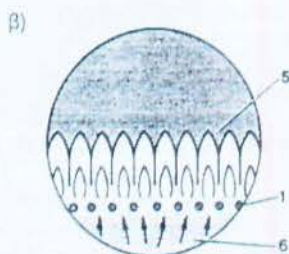
Με τη διάταξη προανάμιξης επιτυγχάνεται ομογενές μίγμα με  $\lambda=1$  έως  $\lambda=1,4$ . Η προανάμιξη υποβοηθείται από την παρεχόμενη από τον ανεμιστήρα υψηλή ενέργεια ανάμιξης.

Η ειδική κεφαλή καύσης είναι συνήθως κυλινδρικής μορφής και είναι κατασκευασμένη από ένα πολύ λεπτό μεταλλικό πλέγμα από ανοξείδωτο θερμοανθεκτικό χάλυβα ή από κεραμικό υλικό. Το πλέγμα έχει πυκνή ομοιόμορφη διάτρηση. Για να είναι ομογενής η διανομή του μίγματος χρησιμοποιούνται κατά κανόνα αντίστοιχες διατάξεις διανομής, π.χ. διάτρητα ελάσματα, **Εικόνα 3.51α**. έτσι επιτυγχάνεται ομοιόμορφη επιφανειακή θερμική φόρτιση της κεφαλής.



**α) είσοδος μίγματος αερίου/ αέρα στην κεφαλή καύσης**

1. επιφάνεια καυστήρα
2. δέσμες μίγματος υψηλής ταχύτητας
3. διάταξη αναμονής



**β) φλόγες στην κεφαλή καύσης**

4. μίγμα χαμηλής ταχύτητας
5. κλειστό μέτωπο φλόγας
6. Διανεμόμενο μίγμα αερίου- αέρα

**Εικόνα 3.51 Λεπτομέρειες καυστήρα προανάμιξης [3]**

Δημιουργούνται πολλές ομοιόμορφες φλόγες, πολύ κοντά η μία στην άλλη, με ίδιο μήκος και ίδια ταχύτητα. Λόγω της κατασκευής δεν απαιτούνται φλόγες σταθεροποίησης ή διατάξεις έναντι αντεπιστροφής φλόγας.

Η φλόγα, λόγω της απορρόφησης θερμότητας από τη μάζα της κεφαλής καύσης, έχει χαμηλή πυκνότητα εκπεμπόμενης ενέργειας, οπότε προκύπτουν χαμηλές εκπομπές  $\text{NO}_x$  και  $\text{CO}$ .

Σε ορισμένους καυστήρες προανάμιξης, **Εικόνα 3.52**, η καύση υποστηρίζεται από καταλύτες, για να μειωθούν περισσότερο οι εκπομπές  $\text{NO}_x$  και  $\text{CO}$ . Στον καυστήρα αυτό η επιφάνεια του καυστήρα είναι ένα πλέγμα από ανοξείδωτο χάλυβα υψηλής θερμικής αντοχής με ημισφαιρική μορφή. Ο καταλύτης εφαρμόζεται ως επίστρωση στο πλέγμα. Το στρώμα αποτελείται από ένα πορώδη φορέα (π.χ. οξειδίο αλουμινίου), στους πόρους του οποίου βρίσκεται ο πραγματικός καταλύτης (παλάδιο).

Το ομογενές μίγμα αερίου/ αέρα διανέμεται κάτω από το ημισφαιρικό πλέγμα και καίγεται επάνω στην επιφάνεια με μη ορατή γαλάζια φλόγα. Μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας εκπέμπεται από την ερυθροπυρωμένη επιφάνεια του πλέγματος.



**Εικόνα 3.52 Καταλυτικός καυστήρας προανάμιξης**

### 3.3 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΝΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

#### 3.3.1 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΕΝΑΥΣΗΣ

Οι μεγάλοι καυστήρες συνήθως συνοδεύονται από καυστήρες έναυσης (φλόγα πιλότος), **Εικόνα 3.53**, οι οποίοι εξασφαλίζουν την άσφογη έναυση. Οι καυστήρες έναυσης είναι προφανώς μικροί και έχουν χαμηλή θερμική φόρτιση, 100- 200 W, μέχρι 1000 W σε ειδικές περιπτώσεις. Θερμαίνουν τη διάταξη επιτήρησης φλόγας (για να μη διακοπεί η παροχή καυσίμου όπως φαίνεται παρακάτω) και επί πλέον μεταδίδουν την έναυση στον κύριο καυστήρα. Επειδή λειτουργούν συνεχώς, δίνεται προσοχή στη φύλαξή τους έναντι ρύπανσης. Υπάρχουν επίσης καυστήρες έναυσης χωρίς σωλήνα ανάμιξης (και άρα αναρρόφηση πρωτεύοντος αέρα), συνήθως με συντηρητή φλόγας.



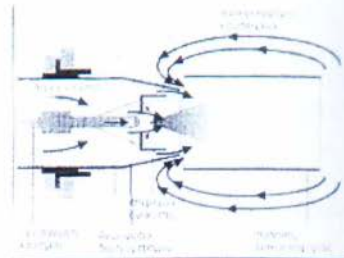
Εικόνα 3.53 Καυστήρας έναυσης

#### 3.3.2 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Γενικά, η βασική αρχή λειτουργίας των καυστήρων αντιρρυπαντικής τεχνολογίας είναι η ψύξη της φλόγας μέσω αναστροφής των καυσαερίων, διαδικασία που αυξάνει τον όγκο της και συνεπώς την επιφάνεια ακτινοβολίας της φλόγας. Η σταθερότητα της φλόγας και το χρώμα της μέσα στο θάλαμο καύσης του λέβητα μας δίνουν τις πρώτες ενδείξεις για την ποιότητα της καύσης. Κυριαρχούν δύο είδη καυστήρων : α)καυστήρες με ανακυκλοφορία καυσαερίου, β)καυστήρες πλήρους εξαέρωσης του καυσίμου.

#### 3.3.2.1 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΧΑΜΗΛΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ 3.3.2.1.1 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΟΥ

Στους καυστήρες αυτούς, τα σταγονίδια του καυσίμου αναμιγνύονται με τον αέρα καύσης και διασκορπίζονται με μορφή νέφους σταγονιδίων με τη βοήθεια των θερμών καυσαερίων που επιστρέφουν τοπικά στο σημείο έναυσης. Η θερμοκρασία εξαέρωσης του πετρελαίου βρίσκεται ανάμεσα στους 160°C και 380°C, ενώ η θερμοκρασία έναυσης του μείγματος αέρα - καυσίμου βρίσκεται στους 230 °C έτσι, πριν την έναυση μπορεί να μην γίνει πλήρης εξάτμιση του καυσίμου και αναγκαστικά παραμένει ένα μέρος άκαυστου άνθρακα (αιθάλη), που δίνει στη φλόγα το κίτρινο χρώμα της.



Εικόνα 3.54 Καυστήρας χαμηλών εκπομπών NO<sub>x</sub> με ανακυκλοφορία καυσαερίων

Η μείωση των εκπομπών NO<sub>x</sub> σε αυτό το είδος των καυστήρων επιτυγχάνεται με τοποθέτηση ενός σωλήνα ανακυκλοφορίας μπροστά από την κεφαλή του καυστήρα. Μέσω του σωλήνα αυτού οδηγούνται καυσαέρια ξανά πίσω στη φλόγα και έτσι αποφεύγεται η ανύψωση της θερμοκρασίας στο κέντρο της άνω των 1300 °C.

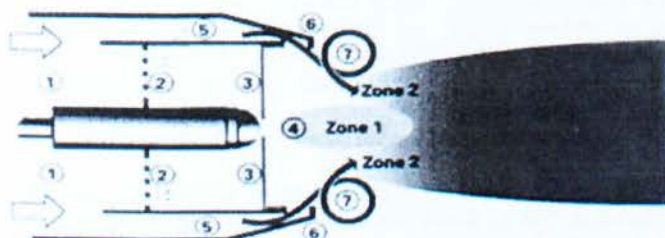
Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των καυστήρων αυτών είναι η σταθεροποίηση της καύσης μέσω της επιφάνειας ανακοπής στην κεφαλή του καυστήρα. Προϋπόθεση για τη σταθεροποίηση της αντίδρασης είναι η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ της ταχύτητας της ροής του μείγματος και της φλόγας. Η επιφάνεια ανακοπής αυξάνει την ταχύτητα του εισερχόμενου αέρα λόγω της στένωσης της διατομής. Όσον αφορά τη ροή, πέφτει σημαντικά η ταχύτητα έτσι ώστε με εξίσωση των ταχυτήτων των δύο ρευμάτων να μπορεί να σχηματισθεί μέτωπο φλόγας. Οι καυστήρες αυτοί λειτουργούν με πίεση



ανεμιστήρα 3 – 6 mbar. Στην **Εικόνα 3.54** παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας του καυστήρα χαμηλών εκπομπών  $\text{NO}_x$  με ανακυκλοφορία καυσαερίων.

### 3.3.2.1.2 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΕΞΑΕΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (ΓΑΛΑΖΙΑΣ ΦΛΟΓΑΣ)

Σε αντίθεση με την προηγούμενη τεχνική, η παρούσα εξασφαλίζει πλήρη εκνέφωση του καυσίμου. Σε γενικές γραμμές, ο τρόπος λειτουργίας ενός τέτοιου καυστήρα απεικονίζεται παρακάτω.



**Εικόνα 3.55 Καυστήρας χαμηλών εκπομπών  $\text{NO}_x$  γαλάζιας φλόγας [20]**

Ο πρωτογενής αέρας (1) φτάνει την πλάκα ανακοπής (3) στην κεφαλή του καυστήρα αφού έχει ήδη μειώσει την ταχύτητά του περνώντας από μια διάτρητη πλάκα (2).

Έτσι, το διασκορπισμένο καύσιμο εξαερώνεται αναμειγνύόμενο με τον αέρα καύσης. Προκύπτει έτσι ένα ομογενές πλούσιο μείγμα το οποίο καίγεται στο κέντρο της φλόγας (4). Ο δευτερογενής αέρας (5) εισέρχεται με μεγαλύτερη από τον πρωτογενή λόγω της ειδικής κατασκευής του καυστήρα προκαλώντας στροβιλισμούς κατά την έξοδό του από την κεφαλή του καυστήρα. Η υποπίεση που επικρατεί στο κάτω μέρος της πλάκα ανακοπής απορροφά θερμά καυσαέρια από την ζώνη (4), οπότε το καύσιμο εξατμίζεται πλήρως και καίγεται στη ζώνη (2). Η χαρακτηριστική γαλάζια φλόγα που σχηματίζεται λόγω της πλήρους εξάτμισης του καυσίμου αποδεικνύει ότι η καύση είναι εξαιρετικά «καθαρή» και δε διαφέρει από την καύση του φυσικού αερίου.

Γενικά, η ανακυκλοφορία μειώνει αισθητά τη θερμοκρασία της φλόγας διότι τα καυσαέρια συμπεριφέρονται σαν αδρανές μέσον αφού δεν καίγονται, σχετικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας και συνεπώς μειώνουν τη θερμοκρασία του γύρω χώρου. Έτσι, ο σχηματισμός μονοξειδίου του αζώτου μειώνεται λόγω ομοιόμορφου μείγματος που δεν επιτρέπει την ανάπτυξη θερμοκρασιακών αιχμών στη ζώνη καύσης καθώς και λόγω των γενικά χαμηλών θερμοκρασιών φλόγας. Επιπλέον, εμποδίζεται ο σχηματισμός αιθάλης.

Μια παραλλαγή αυτής της μεθόδου πραγματοποιείται με περιστροφή του αέρα εισόδου, κάτι που ευνοεί την καλή ανάμιξη του με το καύσιμο. Σε αυτή την περίπτωση ο αέρας καύσης δεν εισέρχεται αξονικά αλλά περιστροφικά με εραπτομενική ταχύτητα ως προς τον άξονα της φλόγας. Το υγρό καύσιμο μετατρέπεται σε νέφος σταγονιδίων με τη βοήθεια των καυσαερίων που επιστρέφουν στη φλόγα ενώ με αύξηση της περιστροφής του αέρα αυξάνει και η εσωτερική (μέσα στον κύλινδρο) ανακυκλοφορία των θερμών καυσαερίων καθώς και η εξωτερική ανακυκλοφορία των ψυχρότερων καυσαερίων. Με αυτό τον τρόπο σχηματίζεται ένα σχετικά πλατύ μέτωπο φλόγας, κάτι που εξασφαλίζει σταθερές συνθήκες καύσης. Εκτός της μείωσης των εκπομπών  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ , και αιθάλης, αποφεύγονται υψηλές θερμοκρασιακές αιχμές.

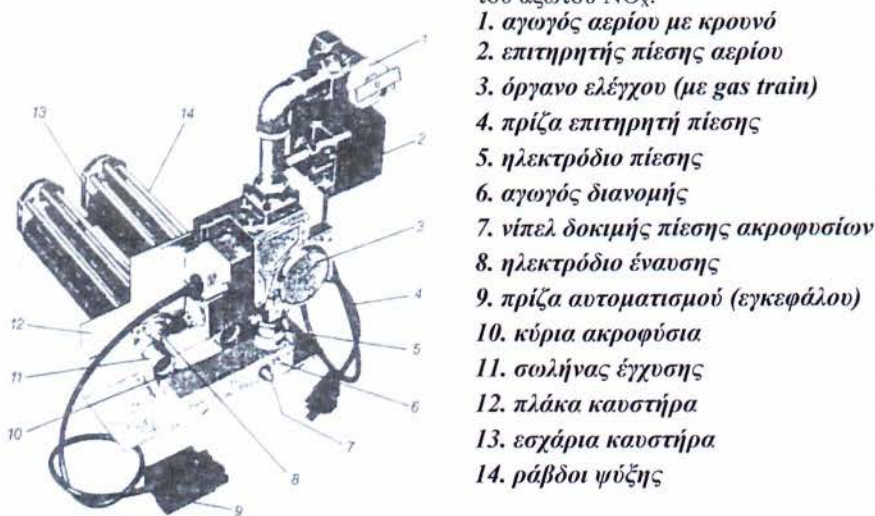
### 3.3.2.2 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΑΕΡΙΟΥ ΧΑΜΗΛΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Η ανάγκη μείωσης της παραγωγής οξειδίων του αζώτου  $\text{NO}_x$  στη φλόγα αερίου οδήγησε στο σχεδιασμό ειδικών καυστήρων αερίου, όπως οι δύο τύποι οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω.

Καυστήρες χαμηλού  $\text{NO}_x$  είναι ο καυστήρας εσχαρίου **Εικόνα 3.56**, ο οποίος είναι εξοπλισμένος με ειδικές ράβδους ψύξης. Οι ράβδοι ψύξης, **Εικόνα 3.57**, απάγουν στην κορυφή της φλόγας, όπου η θερμοκρασία θα ήταν πολύ υψηλή, σημαντικές ποσότητες θερμότητας προς περιοχές χαμηλότερων θερμοκρασιών φλόγας. Επίσης, οι ράβδοι ψύξης, οι οποίες ερυθροπυρώνονται, απάγουν με ακτινοβολία σημαντικές ποσότητες θερμότητας προς τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης. Η προκύπτουσα μείωση της θερμοκρασίας της φλόγας συντελεί στη μείωση της παραγωγής οξειδίων του αζώτου.

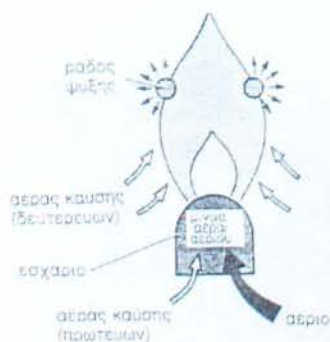
Οι ράβδοι ψύξης κατασκευάζονται από υλικό ανθεκτικό στις υψηλές θερμοκρασίες και μη αναφλεγόμενο.

Καυστήρας χαμηλού  $\text{NO}_x$  είναι και ο δεύτερος καυστήρας εσχαρίου ειδικής κατασκευής, **Εικόνα 3.58**. Με τη βοήθεια κατάλληλων μορφών των ακροφυσίων και πλήρη ανάμιξη καύσιμου αερίου/ αέρα επιτυγχάνεται ένα ομοιόμορφο θερμοκρασιακό πεδίο σε όλη την περιοχή των φλογών. Επί πλέον από τα ειδικά ανοίγματα εξόδου του μίγματος καύσιμου αερίου/ αέρα στην πλάκα του εσχαρίου, προκύπτουν μικρές επί μέρους φλόγες. Οι μικρές επί μέρους φλόγες έχουν λόγω του ειδικού σχήματος τους (ομπρέλας) αυξημένες επιφάνειες, οι οποίες συντελούν σε αυξημένη αποβολή θερμότητας με ακτινοβολία προς το περιβάλλον. Έτσι λόγω μείωσης της θερμοκρασίας της φλόγας προκύπτει μείωση της παραγωγής οξειδίων του αζώτου  $\text{NO}_x$ .

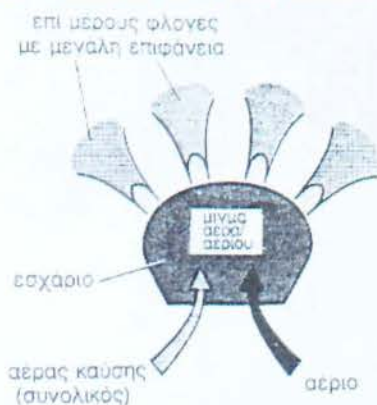


**Εικόνα 3.56 Καυστήρας χαμηλού  $\text{NO}_x$  [3]**





**Εικόνα 3.57 Τρόπος δράσης των ράβδων ψύξης**

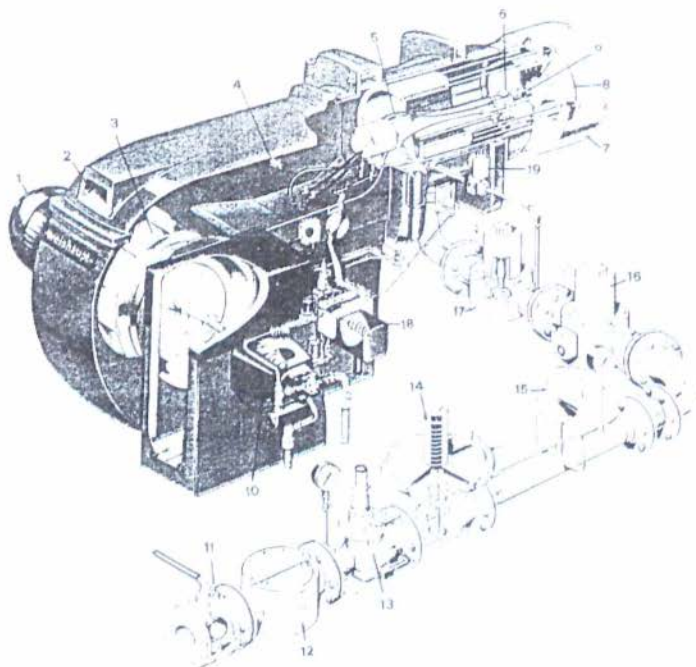


**Εικόνα 3.58 Μέθοδος ψύξης της φλόγας σε καυστήρα**

### 3.3.3 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΔΙΠΛΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι επιθυμητό να μπορεί να καίγεται στο λέβητα αέριο ή εναλλακτικά υγρό καύσιμο, είτε για λόγους ασφάλειας της τροφοδοσίας της εγκατάστασης με καύσιμο, ιδίως όταν δεν είναι επιτρεπτό να σταματήσει η λειτουργία για κάποιο έστω μικρό χρονικό διάστημα, είτε λόγω δυνατότητας επιλογής καυσίμου με βάση τις (διακυμενόμενες) τιμές των καυσίμων. Τότε είναι δυνατόν είτε να υπάρχουν διαθέσιμοι ένας καυστήρας αερίου καυσίμου και ένας καυστήρας υγρού καυσίμου, είτε ένας καυστήρας διπλού καυσίμου, ο οποίος μπορεί να καίει εναλλακτικά και τα δύο καύσιμα.

Οι καυστήρες διπλού καυσίμου είναι προφανώς καυστήρες με ανεμιστήρα, **Εικόνα 3.59**, διαθέτουν όλα τα αναγκαία συστήματα για να μπορούν να κάψουν και τα δύο καύσιμα. Αντίστοιχα για την καύση του υγρού καυσίμου διαθέτουν όλα τα αναγκαία στοιχεία, όπως αντλία καυσίμου, ακροφύσια κλπ.



- |                        |                                   |   |
|------------------------|-----------------------------------|---|
| 1. κινητήρας           | 9. ακροφύσιο πετρελαίου           | 15. επιτηρητής πίεσης αερίου                |
| 2. άνοιγμα παρατήρησης | 10. αντλία καυσίμου               | 16. αποφρακτική βαλβίδα ασφαλείας           |
| 3. πτερωτή ανεμιστήρα  | 11. αποφρακτικός κρουνοός αερίου  | 17. βαλβίδα αερίου                          |
| 4. αισθητήρας φλόγας   | 12. φίλτρο αερίου                 | 18. μηχανισμός ρύθμισης παροχών αέρα/αερίου |
| 5. καλώδια έναυσης     | 13. αποφρακτική βαλβίδα ασφαλείας | 19. βαλβίδα αερίου έναυσης                  |
| 6. ηλεκτρόδια έναυσης  | 14. ρυθμιστής πίεσης αερίου       |   |
| 7. φλογοσωλήνας        |                                   |   |
| 8. δίσκος ανάμιξης     |                                   |   |

*Εικόνα 3.59 Καυστήρας διπλού καυσίμου [3]*

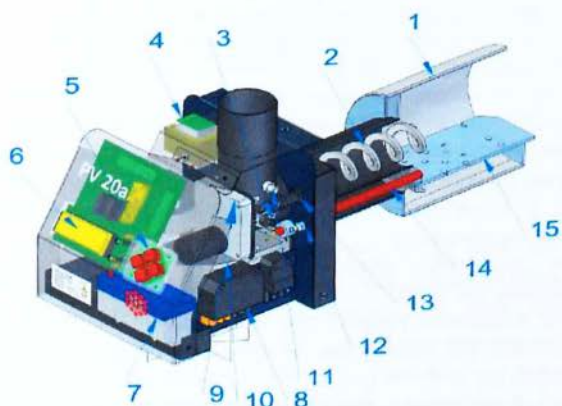
### 3.3.4 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ PELLEΤ

Οι καυστήρες Pellet είναι μία σύγχρονη τεχνολογία στο χώρο της κεντρικής θέρμανσης με αποτέλεσμα η τεχνολογία καθώς και η απόδοσή τους διαφέρει ανάλογα με τον κατασκευαστή. Διαφορές που μπορεί να παρατηρηθούν από καυστήρα σε καυστήρα που κυκλοφορεί στο εμπόριο αφορούν παραδείγματος χάρη τη διάμετρο του καυσίμου που καίνε, την προώθηση του υλικού, το μήκος της φλόγας που παράγουν, την ισχύ, τον όγκο τους, τη διάμετρο της μπούκας κ.ά.

Σε γενικές γραμμές οι καυστήρες Pellet μπορούν να προσαρμοστούν σχεδόν σε οποιοδήποτε λέβητα και να τον μετατρέψουν από λέβητα πετρελαίου-αερίου-ξύλου σε λέβητα pellet. Ο καυστήρας pellet αποτελείται από ένα σωλήνα (που εισάγει το pellet) και από το σύστημα καύσης. Ο καυστήρας είναι εφοδιασμένος με ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου για την ασφάλεια της καύσης. Η διαδικασία έναρξης είναι εντελώς αυτόματη με αποτέλεσμα να υπάρχει ένα γρήγορο και αποδοτικό ξεκίνημα. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση αντικατάστασης του καυστήρα



πετρελαίου με καυστήρα pellet το κόστος είναι μικρό, το οικονομικό όφελος λόγω της χαμηλής τιμής του pellet είναι μεγάλο και η απόσβεση του συστήματος άμεση.



- |                           |                                 |
|---------------------------|---------------------------------|
| 1. Εστία καύσης           | 9. Κινητήρας κοχλία             |
| 2. Εσωτερικός κοχλίας     | 10. Φυσητήρας                   |
| 3. Θερμοστάτης ασφαλείας  | 11. Αισθητήρας στάθμης καυσίμου |
| 4. Κύριος μετασχηματιστής | 12. Περικόχλιο σύνδεσης         |
| 5. Πληκτρολόγιο           | 13. Φωτοκύτταρο                 |
| 6. Οθόνη                  | 14. Αντίσταση έναυσης           |
| 7. Μπαταρία προστασίας    | 15. Σχάρα                       |
| 8. Φίσα σύνδεσης          |                                 |

*Εικόνα 3.60 Ενδεικτική απεικόνιση καυστήρα Pellet σε τομή [27]*

## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 4.1 ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για την ορθολογική χρήση της ενέργειας θα πρέπει να γίνεται αποδοτικότερη χρήση των εγκαταστάσεων (καυστήρες, λέβητες) με το σταθερό κατά το δυνατόν φορτίο, ώστε να αποφεύγονται ενεργοβόρες διακυμάνσεις φορτίου. Οι διακυμάνσεις φορτίου απαιτούν μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, λόγω των σχετικά μεγάλων φάσεων αναπροσαρμογής, οι οποίες γίνονται ακόμα σημαντικότερες όσο αυξάνει το μέγεθος της παραγωγικής μονάδος. Σε περίπτωση ύπαρξης πολλών καυστήρων, κυρίως σε λέβητες, υιοθετείται υπό το πρίσμα μίας ορθολογικότερης αποδοτικότερης εκμετάλλευσης, η μερική παύση λειτουργίας ενός ή περισσότερων καυστήρων με βάση τις πραγματικές απαιτήσεις.

Ανάλογα με το είδος καυσίμου απαιτείται μεγαλύτερος ή μικρότερος χρόνος προετοιμασίας για καύση. Το φυσικό αέριο για παράδειγμα είναι έτοιμο για επί τόπου καύση. Αντίθετα το μαζούτ 3500, χρειάζεται προθέρμανση. Το ξύλο σαν καύσιμο μπορεί κατά την φύλαξή του, να έχει απορροφήσει υγρασία, οπότε χρειάζεται ξήρανση.

Περιοδική ή ακόμη και συνεχής παρακολούθηση βασικών παραμέτρων λειτουργίας της μονάδας, όπως μετρήσεις θερμοκρασίας, μέτρηση περίσσειας αέρα κ.λ.π. δίνουν μία καλή εικόνα της καύσης. Περιοδικά μία εκτίμηση της απόδοσης της καύσης, με την μέθοδο της ανάλυσης των καυσαερίων, συμπληρώνει την παραπάνω εικόνα.

Η πράξη έχει δείξει ότι εάν είναι δυνατή μία μείωση της περίσσειας αέρα κατά 15% θα βελτιώνε κατά 1,5% τον συντελεστή απόδοσης της καύσης, γι' αυτόν τον λόγο η περίσσεια του αέρα καύσης θα πρέπει να περιορίζεται στα κατώτερα εφικτά επίπεδα.

Στα πλαίσια της ορθολογικής διαχείρισης περιλαμβάνεται και η διαδικασία συντήρησης. Οι βασικές καθώς και οι δευτερεύουσες ρυθμίσεις του καυστήρα θα πρέπει να ελέγχονται και να συμφωνούν απόλυτα με τις συστάσεις του κατασκευαστή.

Η στεγανότητα στους αγωγούς αέρα καθώς και στους αγωγούς των καυσαερίων, θα πρέπει να ελέγχεται περιοδικά με σχολαστικότητα, για αποφυγή απωλειών ή ροής δευτερεύοντα αέρα μέσα στα παραπάνω κυκλώματα, γεγονός που αλλοιώνει τις συνθήκες της καύσης εις βάρος της αποδοτικότητας. Θυρίδες επιθεώρησης οι οποίες δεν καλύπτονται ή δεν ασφαλίζουν τελείως, πρέπει να αντικαθιστώνται ή να επισκευάζονται, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη στεγανότητα. Διατάξεις στεγανοποίησης οι οποίες παρουσιάζουν διαρροές πρέπει να επισκευάζονται επίσης. Σε εναλλάκτες θερμότητας πρέπει επίσης να δίνεται προσοχή, για την περίπτωση διαρροών.

Στις εσωτερικές επιφάνειες του καυστήρα, έχουμε συνήθως εναπόθεση καταλοίπων της καύσης, τα οποία εξαρτώνται από την φύση του καυσίμου. Περιοδικός καθαρισμός των εσωτερικών επιφανειών του καυστήρα και των ακροφυσίων θα βοηθούσε στην διατήρηση υψηλού συντελεστή απόδοσης. Εξωτερικός λεπτομερής οπτικός και όχι μόνο έλεγχος, θα εντόπιζε "θερμές εστίες", οι οποίες είναι ενδείξεις τοπικών προβλημάτων.



## 4.2 ΑΥΞΗΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Στα πλαίσια της εξοικονόμησης ενέργειας πρέπει κατ' αρχήν να εστιαστεί η προσοχή στην αύξηση του συντελεστή απόδοσης του εξεταζόμενου συστήματος. Από τον ορισμό του τελευταίου προκύπτει ότι η μείωση των απωλειών στο σύστημα παίζει πρωταρχικό ρόλο.

Περίσσεια αέρα σε σχέση με την στοιχειομετρικά απαιτούμενη ποσότητα μέχρι κάποιο βαθμό, προσφέρει καλύτερες συνθήκες καύσης, αλλά αυξάνει και την θερμοκρασία των καυσαερίων, αυξάνοντας παράλληλα τις απώλειες θερμότητας στα τελευταία που παίζουν το σημαντικότερο ρόλο.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων αποτελεί μια αρκετά καλή πηγή πληροφοριών για την ποιότητα της καύσης. Ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες καυσαερίων προειδοποιούν για μεγάλες απώλειες σε αυτά. Μεγάλη δηλαδή ποσότητα της προσφερόμενης θερμότητας διοχετεύεται στα καυσαέρια και κατά συνέπεια χάνεται στο περιβάλλον, χωρίς να αξιοποιείται για τον συγκεκριμένο επιθυμητό σκοπό. Η εμπειρία δείχνει ότι μια μείωση της θερμοκρασίας των καυσαερίων κατά 25°C αυξάνει κατά 1% τον συντελεστή απόδοσης της καύσης σε ένα λέβητα. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία των καυσαερίων δεν πρέπει να πέσει κάτω από μια συγκεκριμένη (ανάλογα με το καύσιμο και την περιεκτικότητα του σε θείο) θερμοκρασία, λόγω υγροποίησης συστατικών και δημιουργίας οξέων με αποτέλεσμα διαβρώσεις.

Εγκατάσταση ή βελτίωση της ήδη υπάρχουσας θερμομόνωσης, του θαλάμου καύσης συμβάλει σημαντικά στη μείωση των απωλειών λόγω ακτινοβολίας θερμότητας στο περιβάλλον.

## 4.3 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 4.3.1 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι κύριες αιτίες απωλειών ενέργειας είναι:

- Ατελής Καύση
- Απώλειες στα καυσαέρια
- Απώλειες λόγω ακτινοβολίας ή μεταφοράς
- Απώλειες λόγω υγρασίας στο καύσιμο

Για την επίτευξη της εξοικονόμησης ενέργειας πρέπει να ελαχιστοποιηθούν όλες οι παραπάνω αιτίες απώλειας αξιοποιήσιμης ενέργειας

### 4.3.2 ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

1. Ελαχιστοποίηση απωλειών λόγω καυσαερίων : Οι απώλειες αυτές μπορούν να μειωθούν είτε

α) αυξάνοντας το ποσοστό του CO<sub>2</sub> στα καυσαέρια. Αυτό εξαρτάται κυρίως από τον καυστήρα και την καλή συνεργασία καυστήρα – λέβητα.

β) μειώνοντας τη θερμοκρασία των καυσαερίων. Αυτό εξαρτάται από το λέβητα. θερμοκρασία καυσαερίων είναι μια ένδειξη, για το αν ο λέβητας έχει πράγματι την ισχύ για την οποία αγοράστηκε, για το αν έχει επικαθίσει κάπνα στη θερμαινόμενη επιφάνεια, και για το αν έχει πιάσει άλατα ο νεροθάλαμος από τη μεριά της θερμαινόμενης επιφάνειας.

Προκειμένου να επιτευχθούν τα α, β θα πρέπει να έχουν πραγματοποιηθεί τα παρακάτω:

- Να έχει επιλεγεί ο κατάλληλος καυστήρας. Αυτό σημαίνει ότι η γεωμετρία της φλόγας του ( μήκος – διάμετρος) να ταιριάζει με τη γεωμετρία του θαλάμου καύσης.
- Η κατάθλιψη του καυστήρα ( η πίεση δηλαδή που μπορεί να δημιουργηθεί στον θάλαμο καύσης ) να είναι μεγαλύτερη από την αντίθλιψη ( η πίεση που απαιτείται στο θάλαμο καύσης για να φύγουν τα καυσαέρια ) του λέβητα, συνήθως κατά 20%.
- Οι καυστήρες με αυτόματο τάμπερ δεν επιτρέπουν την φυσική κυκλοφορία του αέρα μέσω του καυστήρα στο λέβητα και από εκεί στην καμινάδα, που έχει σαν αποτέλεσμα να κρύνει το νερό του λέβητα και να χάνουμε θερμική ενέργεια.
- Ο λέβητας θα πρέπει να είναι καθαρός από αιθάλη ή άλλα κατάλοιπα καύσης που μειώνουν την αγωγιμότητα της επιφάνειας συναλλαγής.

Ο Ρόλος της Αιθάλης στην Απόδοση του Λέβητα						
Πάχος αιθάλης σε mm	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Αύξηση κατανάλωσης %	2	4	6	8.5	10.5	13.5
Αύξηση της θερμοκρασίας καυσαερίων σε °C	20	50	80	110	140	170

- Ο λέβητας θα πρέπει να είναι καθαρός από επικαθίσεις αλάτων στην επιφάνεια συναλλαγής από την πλευρά του νεροθαλάμου. Αν υπάρχει υπόνοια τέτοιων επικαθίσεων θα πρέπει να γίνεται μόνο χημικός καθαρισμός. Ο χημικός καθαρισμός πρέπει να γίνεται μόνο όταν υπάρχει απόλυτη ανάγκη, γιατί μειώνει τη ζωή του λέβητα.

Ο Ρόλος των Αλάτων στην Απόδοση του Λέβητα			
Πάχος αλάτων σε mm	0.7	1.5	3
Αύξηση κατανάλωσης %	2	2.6	4
Αύξηση της θερμοκρασίας καυσαερίων σε °C	20	30	50



- Πρέπει να επιδιώκεται η μέγιστη δυνατή καθυστέρηση των καυσαερίων ώστε να αυξάνεται ο χρόνος μεταφοράς άρα και η ποσότητα της θερμότητας από τα καυσαέρια στο νερό. Σε αυτό βοηθάει η αντικατάσταση των συνηθισμένων σπειροειδών στροβιλιστών καυσαερίων με πτερυγοφόρους επιβραδυντές που μειώνουν κατά πολύ την θερμοκρασία των καυσαερίων.

2. Ελαχιστοποίηση απωλειών λόγω ακτινοβολίας : Όπως κάθε θερμό σώμα που βρίσκεται σε ένα ψυχρό περιβάλλον ακτινοβολεί θερμότητα, έτσι και ο λέβητας που κατά κανόνα είναι το θερμότερο αντικείμενο στο λεβητοστάσιο, ακτινοβολεί θερμική ενέργεια. Η απώλεια αυτή μπορεί να φτάσει και το 4%. Ένας καλά μονωμένος λέβητας δεν ακτινοβολεί πάνω από το 1% της θερμικής του ισχύος. Οι λέβητες πρέπει να είναι μονωμένοι σε όλες τις πλευρές τους και όχι μόνο ο νεροθάλαμος όπως πολλοί κατασκευαστές κάνουν με αποτέλεσμα η πόρτα και ο πίσω καθρέφτης του καπνοθαλάμου να φθάνουν σε απαράδεκτα υψηλές θερμοκρασίες. Αν διαπιστωθεί ότι στο λέβητα υπάρχουν επιφάνειες που με δυσκολία μπορούν να αγγιχθούν από τον κάτοχο, τότε θα πρέπει να μονωθούν με παπλώματα ορυκτοβάμβακα και υαλοβάμβακα που επιφέρουν πολύ καλό αποτέλεσμα.

3. Ελαχιστοποίηση απωλειών λόγω ατελούς καύσης : Αν στην ανάλυση των καυσαερίων στην καμινάδα βρούμε προϊόντα όπως αιθάλη C, μονοξείδιο του άνθρακα CO, ή υδρογονάνθρακες  $C_nH_{2n+2}$ , τότε σίγουρα το καύσιμο καίγεται ατελώς και δεν αποδίδει όλη την θερμαντική του ικανότητα. Στην περίπτωση αυτή ο καυστήρας χρειάζεται επιειγόντως ρύθμιση.

Η ρύθμιση του καυστήρα πρέπει να γίνεται από αδειούχο συντηρητή κεντρικών θερμάνσεων, ο οποίος με τη βοήθεια των κατάλληλων μετρητικών οργάνων θα επαναφέρει τον καυστήρα στη σωστή λειτουργία και θα δώσει φύλλο ελέγχου και καλής λειτουργίας της εγκατάστασης.

4. Ελαχιστοποίηση απωλειών εστίας καύσης σε λέβητες στερεών καυσίμων :

Προκειμένου να επιτευχθούν οι ελάχιστες απώλειες στην εστία καύσης θα πρέπει να έχουν προηγηθεί τα εξής:

- Σωστή ρύθμιση του χρόνου προώθησης/ τροφοδοσίας του καυσίμου και του χρόνου παύσης, ώστε να προλαβαίνει η τροφοδοτούμενη ποσότητα να καίγεται χωρίς την ύπαρξη άκρυστου υλικού λόγω π.χ. υπερτροφοδότησης.
- Σωστή ρύθμιση του απαιτούμενου βαθμού ανάμειξης καυσίμου και αέρα καύσης.
- Σωστός υπολογισμός του χρόνου παραμονής του καυσίμου στο θάλαμο καύσης, ώστε να έχει τον απαιτούμενο χρόνο στη διάθεσή του να καεί τελείως.
- Εξαερίωση του καυσίμου πριν καεί, ώστε να αποφεύγονται οι απώλειες διαφυγής καυσίμου από τους αρμούς και τα διάκενα της εσχάρας.

### 4.3.3 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΛΕΒΗΤΕΣ

#### 4.3.3.1 ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

- Επισκευή ή αναβάθμιση θερμομόνωσης επιφανειών λέβητα.
- Εγκατάσταση στροβιλιστήρων καυσαερίου στους αεριανούς του λέβητα για ενίσχυση της εναλλαγής θερμότητας μεταξύ θερμού καυσαερίου και νερού.
- Εγκατάσταση περυγίων στροβιλισμού φλόγας στην εστία (βέλτιστη ανάμιξη του αέρα καύσης με το διασκορπιζόμενο καύσιμο).
- Συγκόλληση ελασμάτων με ρομπότ αντί με το χέρι, ώστε να μην τίθεται θέμα διαρροών.
- Στους λέβητες στερεών καυσίμων θα μπορούσε να τοποθετηθεί ένας μαντεμένιος καταλύτης ώστε να καίγονται τα αιωρούμενα σωματίδια.
- Εγκατάσταση μόνιμου μετρητικού συστήματος για την επιτήρηση των παραμέτρων της καύσης (ανάληψη καυσαερίων, μέτρηση καυσίμου, ηλεκτρική μέτρηση).
- Εγκατάσταση συστήματος επαναφοράς διαφυγόντος καυσίμου από τους αρμούς και τα διάκενα της εσχάρας, εφόσον είναι σημαντική η ποσότητα στο θάλαμο καύσης.

#### 4.3.3.2 ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

- Αντικατάσταση παλαιών λεβήτων με νέους υψηλής απόδοσης και χαμηλής θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων.
- Εγκατάσταση ξεχωριστού λέβητα κάλυψης θερινών αναγκών παραγωγής θερμού νερού χρήσης, σε κτίρια με κάλυψη των αναγκών αυτών από την καύση πετρελαίου..
- Εγκατάσταση εναλλάκτη ανάκτησης θερμότητας από τα θερμά καυσαέρια, σε λέβητες υψηλών θερμοκρασιών εξόδου καυσαερίων.
- Εγκατάσταση αυτοματισμού βελτιστοποίησης της καύσης για την διατήρηση του σωστού λόγου αέρα καύσης σε σχέση με το φορτίο.
- Εγκατάσταση συστήματος περιοδικής έναυσης πολλών λεβήτων (sequence firing control) με ρύθμιση του κάθε υδροστάτη ανάλογα με ένα συγκεκριμένο φορτίο.
- Εγκατάσταση σταθμού συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού ή ένταξη σε δίκτυο τηλεθέρμανσης, σε αντικατάσταση του υφιστάμενου συγκροτήματος για την κάλυψη της θέρμανσης χώρων ή / και νερού χρήσης.(σε συνδυασμό και με άλλα ενεργειακά συστήματα π.χ. ηλεκτρικής παροχής).
- Μεγαλύτερη θερμαινόμενη επιφάνεια σε σχέση με τον καταλαμβανόμενο όγκο και βάρος του λέβητα. Για παράδειγμα αύξηση αριθμού φλογαλών ή διαμέτρου τους.
- Μεγαλύτερη μετάδοση θερμότητας ανά μονάδα θερμαινόμενης επιφάνειας.
- Μικρότερος όγκος θαλάμου καύσης ανά μονάδα βάρους του καιόμενου καυσίμου, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα την τέλεια καύση.
- Καλύτερη διάταξη των θερμαινόμενων επιφανειών, ως προς τα κυκλοφορούντα στον θερμαντήρα καυσαέρια.



#### 4.3.3.3 ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

- Εγκατάσταση διαφραγμάτων στην καπνοδόχο για μείωση των θερμικών απωλειών ελκυσμού κατά τα ενδιάμεσα διαστήματα αργίας του συγκροτήματος.
- Εγκατάσταση σταθεροποιητή ελκυσμού της καμινάδας σε περίπτωση θερμοκρασιακών διαφορών ή κακών καιρικών φαινομένων.
- Όσο το δυνατό μικρότερη απόσταση, λιγότερες καμπύλες και αλλαγές διεύθυνσης από τον λέβητα ως τον αγωγό ώστε να έχουμε όσο το δυνατό ελαχιστοποίηση τοπικών και γραμμικών απωλειών.

#### 4.3.4 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ

##### 4.3.4.1 ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

- Μελετημένη σχέση λειτουργίας καυστήρα με θάλαμο καύσης, ώστε να αναπτύσσεται ικανοποιητικά η φλόγα.
- Μικρή διάμετρος ακροφυσίου, ώστε να βελτιώνεται ο πρωτεύοντας αέρας αναρρόφησης.
- Σταθεροποίηση της φλόγας έναντι σβέσης με φλόγες συντήρησης (φλόγα πλότος).
- Μεγάλο ποσοστό πρωτεύοντος αέρα, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη καύση και μεγαλύτερο μήκος της φλόγας. Εφόσον ο πρωτεύον αέρας παίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα καύσης, παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο και στο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας.
- Στους ατμοσφαιρικούς καυστήρες αερίου με αυτόματες διατάξεις έναυσης παρατηρείται εξοικονόμηση καυσίμου, άρα και ενέργειας επειδή δε χρειάζεται να καίει συνεχώς η φλόγα έναυσης (όπως στην ημιαυτόνομη έναυση).
- Αντικατάσταση εγχυτήρων καυσίμου με μικρότερους ή αντικατάσταση όλου του καυστήρα με όμοιο μικρότερης ισχύος σε υπερδιαστασιολογημένα συστήματα.
- Υπάρχουν καυστήρες με αυτόματο 'τάμπερ' αέρα που υποβοηθούν κατ'αυτόν τον τρόπο την εξοικονόμηση ενέργειας καθώς εμποδίζουν την είσοδο κρύου αέρα όταν ο καυστήρας είναι ανενεργός.
- Τοποθέτηση συστήματος αντιστάθμισης, ή αλλιώς ηλεκτρονικού ελέγχου του καυστήρα. Η φιλοσοφία του συστήματος στηρίζεται στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του νερού που διαρρέει την εγκατάσταση θέρμανσης, σύμφωνα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Πρόκειται δηλαδή για ένα σύστημα αντιστάθμισης θέρμανσης.

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας του νερού που διαρρέει την εγκατάσταση πραγματοποιείται μέσω ενός ειδικού μικροϋπολογιστή, ο οποίος διαμορφώνει τη διάρκεια λειτουργίας του καυστήρα σύμφωνα με τις επικρατούσες συνθήκες.

Η εγκατάσταση του συστήματος δεν απαιτεί τρίοδη ή τετράοδη αναμικτική βάνα, όπως αυτό συμβαίνει με τις γνωστές έως τώρα αντισταθμίσεις. Περιλαμβάνει την τοποθέτηση ενός αισθητηρίου εξωτερικής θερμοκρασίας, ενός αισθητηρίου θερμοκρασίας του νερού της προσαγωγής και ενός αισθητηρίου της θερμοκρασίας του

νερού της επιστροφής. Οι μετρήσεις των παραπάνω αισθητηρίων υφίστανται επεξεργασία από ειδικό μικροϋπολογιστή, ο οποίος εγκαθίσταται στο χώρο του λεβητοστασίου.

#### **Πλεονεκτήματα**

1. Οικονομία 25%- 35%.
2. Εύκολη εγκατάσταση χωρίς συγκολλήσεις σωληνώσεων.
3. Ανθεκτικότητα στο χρόνο καθώς δε διαθέτει μηχανικά μέρη.
4. Χαμηλό κόστος εγκατάστασης.
5. Ελάχιστος χρόνος απόσβεσης του κόστους εγκατάστασης.
6. Δεν απαιτείται συντήρηση.

#### **4.3.4.2 ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

- Αντικατάσταση παλαιών καυστήρων με νέους πολυβάθμους, διπλού καυσίμου (πετρελαίου-φυσικού αερίου) όπου είναι εφικτό.



### 4.3.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Για να υπολογισθεί η εξοικονόμηση ενέργειας σε διαφορετικά ενεργειακά συστήματα θέρμανσης ελήφθη ως παράδειγμα κατοικία 160 m<sup>2</sup> με ετήσιες ενεργειακές ανάγκες 19.200 kWh, εγκατάσταση ισχύος 16 kW και συνολική ετήσια λειτουργία 1.200 ώρες. Στον παρακάτω πίνακα αναλύεται η ετήσια κατανάλωση σε ευρώ για τα διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και η αντίστοιχη εξοικονόμηση.

Τύπος εγκατάστασης	Τιμές καυσίμων	Ονομαστική θερμογόνος δύναμη	Βαθμός απόδοσης	Ποσότητα καυσίμου	Ετήσια κατα-νάλωση (€)	Ετήσια Εξοικονόμηση (€)
Λέβητας πετρελαίου παλαιάς τεχνολογίας	1,40 €/lt	11,90 kWh/lt	75%	2.151 lt	3.012	Τιμή βάσ
Λέβητας πετρελαίου σύγχρονης τεχνολογίας	1,40 €/lt	11,90 kWh/lt	82%	1.968 lt	2.755	8,5%
Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	1,40 €/lt	11,90 kWh/lt	98%	1.646 lt	2.305	23,5%
Λέβητας φυσικού αερίου	1,26 €/m <sup>3</sup>	11,50 kWh/m <sup>3</sup>	90%	1.855 m <sup>3</sup>	2.337	22,4%
Λέβητας φυσικού αερίου συμπύκνωσης	1,26 €/m <sup>3</sup>	11,50 kWh/m <sup>3</sup>	98%	1.704 m <sup>3</sup>	2.147	28,7%
Ξυλολέβητας	0,20 €/kg	4,07 kWh/kg	75%	6.290 kg	1.258	58,2%
Λέβητας pellet	0,25 €/kg	5,10 kWh/kg	82%	4.591 kg	1.148	61,9%

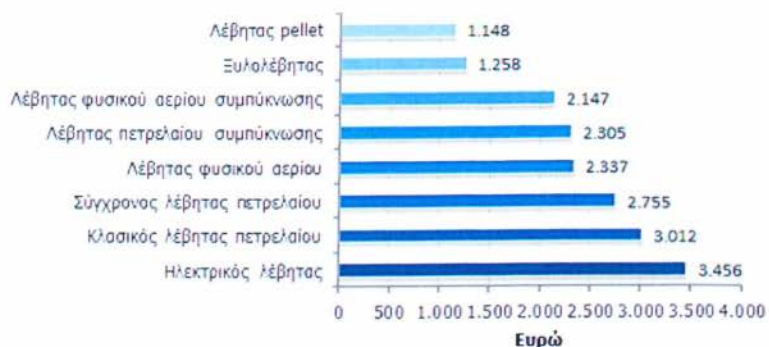
*Πίνακας 4.1 Συγκριτικός πίνακας εξοικονόμησης ενέργειας [26]*

Τα βασικά συμπεράσματα εξοικονόμησης σε σχέση με λέβητα πετρελαίου παλαιάς τεχνολογίας είναι:

1. Η πρώτη μέγιστη εξοικονόμηση επιτυγχάνεται εάν η οικία χρησιμοποιεί ως πηγή θερμότητας λέβητα pellet. Η ετήσια εξοικονόμηση σε αξία είναι 61,9%, ένα όφελος της τάξης 1.865€.
2. Η δεύτερη εξοικονόμηση επιτυγχάνεται με λέβητα ξύλου, μία ετήσια εξοικονόμηση σε αξία 58,2%, ένα όφελος €1.754.
3. Με λέβητες πετρελαίου συμπύκνωσης και φυσικού αερίου συμπύκνωσης επιτυγχάνεται μικρότερη, αλλά όχι αμελητέα, εξοικονόμηση ενέργειας, 23,5% και 28,7% αντίστοιχα.

Ως θερμογόνος δύναμη πετρελαίου έχει ληφθεί η ονομαστική μέση τιμή 11,9 kWh/lit. Στη πράξη όμως και για ασφάλεια στους υπολογισμούς συνήθως λαμβάνεται η κατώτατη θερμογόνος δύναμη, 10 kWh/lit. Εάν οι υπολογισμοί στον πίνακα γίνουν με αυτή τη θερμογόνος δύναμη, οι εξοικονομήσεις θα ήταν μεγαλύτερες.

Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται το ετήσιο κόστος θέρμανσης για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης.



**Γράφημα 4.1** Ετήσιο κόστος θέρμανσης[26]

Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας σε αξία σε σχέση με κλασικό λέβητα πετρελαίου.



**Γράφημα 4.2** Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας σε αξία σε σχέση με κλασικό λέβητα πετρελαίου [26]



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] [http://courseware.mech.ntua.gr/ml22058/pdfs/M1\\_INTRODUCTION\\_1.pdf](http://courseware.mech.ntua.gr/ml22058/pdfs/M1_INTRODUCTION_1.pdf) (Πρόσβαση 3/3/2013)
- [2] [http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS\\_LEBHOTES.pdf](http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS_LEBHOTES.pdf) (Πρόσβαση 3/3/2013)
- [3] Κωνσταντίνος Γ. Πασπαλάς (2001). *Καυστήρες – Λέβητες. Θεσσαλονίκη*. Εκδόσεις: Συλλόγου Μηχανολόγων – Ηλεκτρολόγων Βορείου Ελλάδος.
- [4] Αλέξανδρος Σπ. Χονδρογιάννης (2000). *Υδραυλικά και Θέρμανση στη Σύγχρονη Κατοικία*, Γ'. Αθήνα.
- [5] <http://www.enforce-eeen.eu/gre/technology/hs> (Πρόσβαση 7/4/2013)
- [6] [http://www.buderus.gr/information/heating\\_technologies/oil\\_condensing\\_boilers.html](http://www.buderus.gr/information/heating_technologies/oil_condensing_boilers.html) (Πρόσβαση 7/4/2013)
- [7] [http://library.tee.gr/digital/dkr/dkr\\_m432/dkr\\_m432\\_kef4c.pdf](http://library.tee.gr/digital/dkr/dkr_m432/dkr_m432_kef4c.pdf) (Πρόσβαση 20/4/2013)
- [8] [http://www.eleourgiki.gr/docs/year1/drasi\\_aii6/pirolisi.pdf](http://www.eleourgiki.gr/docs/year1/drasi_aii6/pirolisi.pdf) (Πρόσβαση 20/4/2013)
- [9] <http://www.mechanicalsolutions.gr/biomass-boilers.html> (Πρόσβαση 20/4/2013)
- [10] <http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biomass/1750-main-biomass-fired-boiler-specifications-according-to-en303-5-standard-part-b> (Πρόσβαση 7/5/2013)
- [11] [http://www.ydravlikos.gr/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=322:--&catid=57:--&Itemid=107](http://www.ydravlikos.gr/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=322:--&catid=57:--&Itemid=107) (Πρόσβαση 7/5/2013)
- [12] <https://sites.google.com/site/alfatechniki/kiturami/lebetas-xylou-kf/technologiat-kauses-xylou> (Πρόσβαση 7/5/2013)
- [13] [http://oxiallopetreleo.blogspot.gr/2011/01/pellet\\_6136.html](http://oxiallopetreleo.blogspot.gr/2011/01/pellet_6136.html) (Πρόσβαση 25/5/2013)
- [14] [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/synolikes\\_epembaseis\\_sygkrotima\\_lebit\\_a.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/synolikes_epembaseis_sygkrotima_lebit_a.htm) (Πρόσβαση 25/5/2013)
- [15] <http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biomass/1878-wood-pellets-quality-classes> (Πρόσβαση 25/5/2013)
- [16] <http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biomass/90-biomass-pellets-as-a-mean-of-encountering-climate-change-threats> (Πρόσβαση 7/6/2013)
- [17] <http://users.sch.gr/fantakis/PROTH.htm> (Πρόσβαση 12/7/2013)

- [18] <http://users.sch.gr/fantakis/ARTHRA/LEVITES-KENTRIKVN-THERM.pdf>  
(Πρόσβαση 12/7/2013)
- [19] <http://www.home-biology.gr/index.php/tropoi-thermansis-aktinovolies-typoi>  
(Πρόσβαση 12/7/2013)
- [20] ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. – ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΥΛΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ
- [21] <http://www.texnothermiki.gr/gr/levites2.htm> (Πρόσβαση 26/7/2013)
- [22] <http://ktirio.gr/innet/UsersFiles/sa/documents/articles/2011-10-67.pdf>  
(Πρόσβαση 31/7/2013)
- [23] <http://www.agelopoulos.gr/page-30.html> (Πρόσβαση 26/8/2013)
- [24] [http://gnosis-dimitrius.blogspot.gr/2012/07/blog-post\\_3336.html](http://gnosis-dimitrius.blogspot.gr/2012/07/blog-post_3336.html) (Πρόσβαση 26/8/2013)
- [25] <http://www.enerpro.gr/electronic.php> (Πρόσβαση 26/8/2013)
- [26] <http://www.tempa.gr/el/newsletter/arthra/497-syγκrissi-eksoikonomisis-energeias-energeiakon-systimaton-thermansis.html> (Πρόσβαση 26/8/2013)
- [27] ΤΕΧΝΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΙΑ ΤΗΡΜΟΣΤΑΗΛ Α.Ε.Β.Ε.
- [28] Ευστάθιος Αθ. Ζωγόπουλος, Νικόλαος Χρ. Φέτσης, Δημήτριος Δημ. Ταζόγλου (2003). *Εγκαταστάσεις Θέρμανσης*. Αθήνα : Κλειδάριθμος.
- [29] Eberhard Spenger (1997). *Θέρμανση και Κλιματισμός Παρασκευή θερμού νερού χρήσης και ψύξη*, μτφρ. Ν.Μ. Δημάκος και Μ.Ζ. Παπαθανασίου. Αθήνα : Μόσχος Γκιουρδάς.
- [30] Τσότογλου Σταύρος (2012). «Κανστίρες pellet Pellas X». Υδραυλικός. *Τεύχος 1461*.