

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3

ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΣΕ ΛΕΒΗΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Επιμέλεια Εργαστηριακών Σημειώσεων

*Δρ. Γλυτσός Θόδωρος
Καθ. Λαζαρίδης Μιχάλης*

1. ΚΑΥΣΗ

Καύση μπορούμε να ονομάσουμε κάθε εξώθερμη χημική αντίδραση ενός υλικού καυσίμου με οξυγόνο (ή αέρα), που συντελείται με αρκετά μεγάλο βαθμό απόδοσης θερμότητας, έτσι ώστε η εκπεμπόμενη ενέργεια υπό μορφή θερμότητας να είναι τεχνικά εκμεταλλεύσιμη. Ελάχιστη προϋπόθεση είναι η εκπεμπόμενη θερμότητα να είναι τόση ώστε να μπορεί να διατηρηθεί η αντίδραση. Μέσω της αντίδρασης της καύσης, η χημική ενέργεια η οποία βρίσκεται αποθηκευμένη στο καύσιμο, με τη βοήθεια του οξειδωτικού μετατρέπεται σε θερμότητα. Σημειώνεται ότι, για να ξεκινήσει κάθε καύση απαιτείται η ενεργοποίηση των αντιδρώντων σωμάτων (ουσίας και οξυγόνου) με δημιουργία σπινθήρα ή με θέρμανσή τους σε κάποια (υψηλή) θερμοκρασία, παρά το ότι κάθε αντίδραση καύσης είναι εξώθερμη και αποδίδει θερμότητα στο περιβάλλον. Η ταχεία χημική αντίδραση καυσίμου και οξειδωτικού δημιουργεί οξείδια τα οποία με τη σειρά τους απαρτίζουν τα καυσαέρια.

1.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

Η καύση χρησιμοποιείται ευρύτατα σε πολλές καθημερινές διεργασίες για την παραγωγή ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, σχεδόν όλοι οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούν την καύση σαν την βασική αρχή για την διαδικασία εναλλαγής ενέργειας. Σύγχρονα προωθητικά συστήματα (αεριοστρόβιλοι αεροπλάνων και πυραύλων) βασίζονται στη καύση, ενώ η θέρμανση (π.χ. κτιρίων) και η παραγωγή ενέργειας σε σταθμούς απαιτούν την καύση στερεού, αερίου ή υγρού καυσίμου.

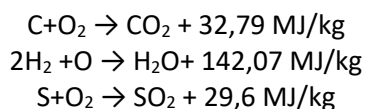
Η καύση λαμβάνει χώρα σε μηχανές δύο τύπων, της μηχανές εσωτερικής και εξωτερικής καύσης. Στις μηχανές εσωτερικής καύσης τα καυσαέρια που παράγονται από την καύση χρησιμοποιούνται απευθείας για να παράγουν κίνηση ενώ στις μηχανές εξωτερικής καύσης γίνεται εκμετάλλευση του θερμικού της περιεχομένου με κάποια διάταξη εναλλαγής/απαγωγής θερμότητας.

Οι μηχανές αυτοκινήτων, φορτηγών κλπ., ατμομηχανές και μηχανές πλοίων ανήκουν στην οικογένεια των μηχανών εσωτερικής καύσης και λειτουργούν είτε με βάση την παραγωγή θερμικής ενέργειας υπό σταθερό όγκο (Otto) ή υπό σταθερή πίεση (diesel). Φούρνοι, κάμινοι, λέβητες και κλίβανοι χρησιμοποιούν την εξωτερική καύση για την παραγωγή θερμότητας.

Το πιο διαδεδομένο σύστημα για τη θέρμανση των χώρων του σπιτιού σήμερα είναι αυτό της κεντρικής θέρμανσης. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος βασίζεται στη μεταφορά θερμότητας μέσω του νερού. Η διαδικασία πραγματοποιείται με χρήση λέβητα, μέσα στον οποίο, με τη βοήθεια του καυστήρα, το νερό αποκτά υψηλή θερμοκρασία και μέσω του κυκλοφορητών και των σωληνώσεων φτάνει στα θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ). Το καυτό νερό μέσω των σωμάτων διαχέει θερμότητα στον αέρα και έτσι επιτυγχάνεται η άνοδος της θερμοκρασίας του χώρου.

1.3 ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Τα περισσότερα καύσιμα περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο, ενώ κάποια άλλα, όπως οι γαιάνθρακες περιέχουν και θείο. Όταν υπάρχει επαρκής ποσότητα οξυγόνου η διαδικασία της καύσης περιλαμβάνει την πλήρη οξείδωση των τριών παραπάνω στοιχείων. Οι βασικές αντιδράσεις που περιγράφουν τα παραπάνω φαινόμενα είναι:



Πλήρης καύση λαμβάνει χώρα όταν το καύσιμο και το οξυγόνο βρίσκονται σε εκείνη την αναλογία ώστε να έχουμε πλήρη καύση όλου του υπάρχοντος καυσίμου και του οξυγόνου προς διοξείδιο του άνθρακα. Στην περίπτωση αυτή παράγονται CO_2 , H_2O και SO_2 , αν στα καύσιμα περιέχεται θείο. Παρουσία υδρατμών το SO_2 δημιουργεί θειικό οξύ, το οποίο μέσω διάχυσης ή μέσω της βροχής (όξινη βροχή) καταλήγει στο έδαφος ή στον υδροφόρο ορίζοντα. Το ίδιο το SO_2 είναι εξαιρετικά διαβρωτικό και επικίνδυνο για το περιβάλλον. Ο πιο οικονομικός τρόπος για την μείωση των εκπομπών SO_2 είναι η χρήση καυσίμων με χαμηλή (ή ιδανικά μηδενική) περιεκτικότητα σε θείο.

Αν δεν υπάρχει επαρκές οξυγόνο για την πλήρη καύση του καυσίμου, ορισμένα από τα άτομα του άνθρακα συνδυάζονται με ένα μόνο άτομο οξυγόνου με αποτέλεσμα να παράγεται CO. Επίσης μία ποσότητα του καυσίμου θα παραμείνει άκαυτη και θα εμφανιστεί με τη μορφή υδρογονανθράκων στα καυσαέρια. Μέρος των υδρογονανθράκων αυτών εμφανίζονται με τη μορφή αιθάλης. Η αιθάλη δηλαδή είναι αιωρούμενα σωματίδια που περιέχουν άνθρακα και προκύπτουν από την ατελή καύση των υδρογονανθράκων. Η συνδυασμένη παρουσία μονοξειδίου του άνθρακα και αιθάλης μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα υγείας σε άτομα που έρχονται σε επαφή με τα καυσαέρια που εκλύονται κατά την καύση.

Είναι γνωστό ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται κατά περίπου 78% κατ' όγκο από άζωτο (N_2). Θεωρητικά, στην τέλεια καύση το N_2 απομακρύνεται χωρίς να αντιδράσει και δεν παράγονται οξειδία του αζώτου. Στην πράξη όμως λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στους χώρους που πραγματοποιείται η καύση, σχηματίζεται μονοξείδιο του αζώτου (NO) είτε με απευθείας αντίδραση του N_2 με το O_2 του αέρα, είτε με αντίδραση του N_2 με ρίζες υδρογονανθράκων που περιέχονται στα καύσιμα. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (π.χ. όταν τα καυσαέρια κινούνται προς την έξοδο της καπνοδόχου ή όταν εξέρχονται από αυτήν, ένα μέρος του NO οξειδώνεται προς διοξείδιο του αζώτου (NO_2). Τα NO και NO_2 συχνά αναφέρονται ως NO_x . Τα οξειδία του αζώτου είναι ρύποι που συμβάλλουν στον σχηματισμό όξινης βροχής και τροποσφαιρικού όζοντος.

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 τέλει μίξης καυσίμου - αέρα, και εξαρτάται από:

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

Η περίσσεια αέρα δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

$$\lambda = \frac{L}{L_o}$$

Όπου λ = περίσσεια αέρα

L = πραγματικά χρησιμοποιούμενος αέρας

L_o = Θεωρητικά αναγκαία ποσότητα αέρα

Για παράδειγμα περίσσεια αέρα 25% σημαίνει ότι στην καύση τροφοδοτείται 25% περισσότερος αέρας από ότι απαιτείται θεωρητικά για πλήρη καύση. Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής περισσειας θα ήταν $\lambda=1,25$.

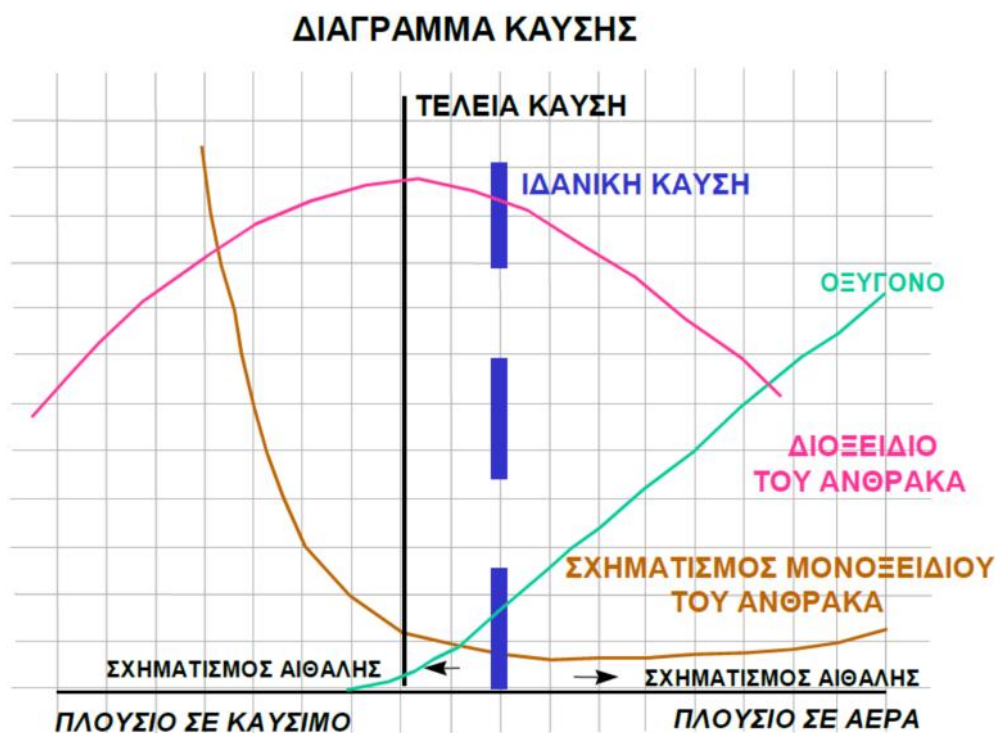
Ορισμένες ενδεικτικές τιμές περισσειας αέρα για διαφορετικά καύσιμα δίνονται παρακάτω:

Πίνακας 1: Περίσσεια αέρα για διάφορα είδη καυσίμου

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

Από το διάγραμμα στο σχήμα 1 φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η περίσσεια αέρα, μειώνεται η κατ' όγκο περιεκτικότητα του διοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια και αυξάνεται η κατ' όγκο περιεκτικότητα του οξυγόνου, το οποίο δεν καταναλώνεται πλήρως. Αντίθετα, πλούσια σε καύσιμο μίγματα οδηγούν σε σημαντικές (και παράλληλα επικίνδυνες) για την υγεία εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα.

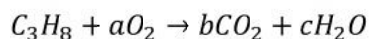


Σχήμα 1.1: Σχέση περίσσειας αέρα, απωλειών ενέργειας. Οι γραφικές παραστάσεις των εκπεμπόμενων αερίων έχουν προκύψει με βάση την κατ' όγκο αναλογία τους στα καυσάερια.

1.4 ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι ένα μίγμα αερίων που αποτελείται σε μεγαλύτερη αναλογία από οξυγόνο (20,95% κατ' όγκο) και άζωτο (78,08% κατ' όγκο) και σε μικρότερες ποσότητες από υδρογόνο, αργό, διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμούς, οξείδια του αζώτου, άλλα ευγενή αέρια (νέο, ήλιο, κρυπτό, ξένο), μεθάνιο, όζον, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, μεθάνιο, αμμωνία, νιτρικό οξύ, θειικό οξύ, υπεροξείδιο του υδρογόνου, ραδόνιο και ιώδιο. Για ευκολία στους υπολογισμούς θα θεωρήσουμε ότι ο αέρας που χρησιμοποιείται για την καύση αποτελείται από 21% O_2 κατ' όγκο και 79% N_2 κατ' όγκο. Αυτό σημαίνει πως σε κάθε γραμμομόριο (mol) οξυγόνου αντιστοιχούν 3,76 γραμμομόρια αζώτου.

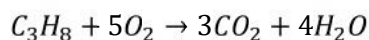
Σε συνθήκες τέλει καύσης, οι υδρογονάνθρακες των καυσίμων οξειδώνονται πλήρως και ο άνθρακας μετατρέπεται σε CO_2 και το H_2 σε H_2O . Για παράδειγμα, κατά την τέλεια καύση ενός mol προπανίου (C_3H_8) έχουμε:



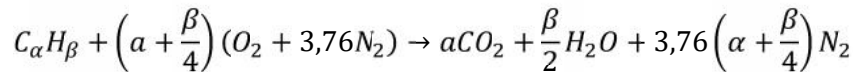
Για να υπολογίσουμε τους συντελεστές στα αντιδρώντα και στα προϊόντα εργαζόμαστε ως εξής:

- Ο συντελεστής b υπολογίζεται από τα άτομα του άνθρακα ($b=3$)
- Ο συντελεστής c υπολογίζεται από τα άτομα του υδρογόνου ($2c=8$ άρα $c=4$)
- Τελευταίο υπολογίζουμε το συντελεστή α για το οξυγόνο ($2a=2b + c$, άρα $a=5$)

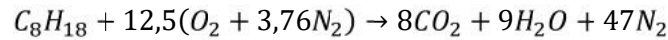
Επομένως η στοιχειομετρική αντίδραση της καύσης του προπανίου είναι:



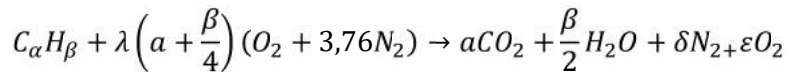
Ο αέρας, όπως αναφέρθηκε παραπάνω περιέχει και άζωτο. Λαμβάνοντας υπόψη και τη διατήρηση της μάζας του αζώτου, η γενική μορφή της στοιχειομετρικής αντίδρασης ενός mol υδρογονάνθρακα (C_aH_b) θα είναι:



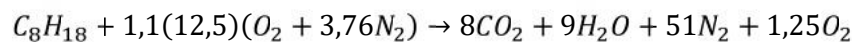
Για παράδειγμα, για τη στοιχειομετρική καύση του οκτανίου (C_8H_{18}) έχουμε:



Σε περίπτωση που στο μίγμα υπάρχει περίσσεια αέρα, η γενική αντίδραση παίρνει τη μορφή:



Οι συντελεστές δ και ε υπολογίζονται από την διατήρηση του συνολικού οξυγόνου και αζώτου. Η καύση του οκτανίου με περίσσεια αέρα 10% γίνεται:

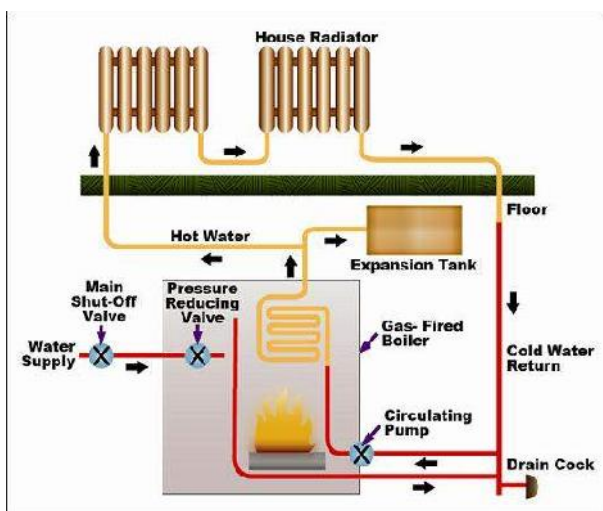


2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΛΕΒΗΤΑ.

Οι λέβητες είναι το κυριότερο τμήμα εξοπλισμού των περισσότερων ενεργειακών μονάδων κεντρικής θέρμανσης. Σ' αυτούς παράγεται θερμότητα από την καύση του καυσίμου, που μπορεί να είναι αέριο, υγρό ή στερεό. Υπάρχουν για παράδειγμα λέβητες φυσικού αερίου, λέβητες μαζούτ ή πετρελαίου diesel και λέβητες ανθράκων ή βιομάζας. Η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμού νερού ή ατμού. Το τελευταίο είναι το συνηθέστερο μέσο θέρμανσης στην βιομηχανία, ενώ για την οικιακή θέρμανση χρησιμοποιούνται κυρίως λέβητες θερμού νερού.

Τα κύρια μέρη που απαρτίζουν έναν λέβητα θερμού νερού είναι τα παρακάτω:

- Φλογοθάλαμος (ο θάλαμος όπου γίνεται η καύση του πετρελαίου)
- Αυλοί (σύστημα σωλήνων όπου κυκλοφορεί το νερό που θερμαίνεται)
- Εξωτερικό περίβλημα φλογοθαλάμου (πάνω σε αυτό προσαρμόζεται ο καυστήρας)
- Αεριοαυλοί (σωλήνες όπου κυκλοφορούν τα καυσαέρια κατά τη διαδρομή τους προς την καπνοδόχο)
- Θερμομόνωση του λέβητα (με υαλοβάμβακα πάχους 6-8 cm).
- Σωλήνες προσαγωγής και επιστροφής του νερού
- Καυστήρας
- Δοχείο διαστολής
- Κυκλοφορητής



Εικόνα 2.1: Σχηματική παράσταση ενός λέβητα θερμού νερού

Για να γίνει πιο κατανοητή η λειτουργία ενός συστήματος κεντρικής θέρμανσης, θα εξετάσουμε πιο αναλυτικά τη λειτουργία του καυστήρα, του δοχείου διαστολής και του κυκλοφορητή.

Καυστήρας

Ο καυστήρας είναι η διάταξη μέσα στην οποία αναμειγνύεται το καύσιμο και ο απαιτούμενος αέρας και γίνεται η καύση (Εικόνες 2.2α,β). Για κάθε τύπο καυσίμου υπάρχει και ο αντίστοιχος τύπος καυστήρα. Ο καυστήρας προσαρμόζεται στο λέβητα και είναι υπεύθυνος για την παροχή αέρα για την καύση, τον διασκορπισμό του πετρελαίου μέσω των μπεκ και τη δημιουργία σπινθήρα. Ο διασκορπισμός σε λεπτές σταγόνες (εκνέφωση) γίνεται ώστε να είναι εύκολη η εξάτμιση και η καλή ανάμειξη με τον αέρα. Η ανάφλεξη και καύση γίνεται στο θάλαμο καύσης, καθώς το καύσιμο και ο αέρας προχωρούν, συνήθως με έντονα τυρβώδη ροή, από την έξοδο του καυστήρα προς την καμινάδα. Ένας τυπικός καυστήρας συστήματος κεντρικής θέρμανσης αποτελείται από:

- τον ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος κινεί την αντλία πετρελαίου και δίνει επίσης κίνηση στον ανεμιστήρα (φυγοκεντρικός) για να προσάγει τον απαραίτητο αέρα για την καύση.
- την αντλία πετρελαίου, η οποία στέλνει το πετρέλαιο από τη δεξαμενή καυσίμου στο λέβητα σε υψηλή πίεση.
- το μπεκ, το οποίο χρησιμοποιείται για να ψεκάσει το πετρέλαιο. Το μπεκ μπαίνει πάντα υπό γωνία κατάλληλα υπολογισμένη ώστε να γίνεται καλύτερος ψεκασμός του πετρελαίου.
- τον ανεμιστήρα, ο οποίος αναλαμβάνει να στείλει τον αέρα όσο το δυνατόν πιο κατανεμημένα μέσα στο θάλαμο καύσης.
- την ηλεκτρομαγνητική δικλείδα ελέγχου, η οποία τοποθετείται στην παροχή του καυσίμου και κάνει έλεγχο αυτής. Αν η πίεση φτάσει σε χαμηλά επίπεδα διακόπτει το κύκλωμα.
- το τάμπερ, το οποίο είναι ένα διάφραγμα αέρα και χρησιμοποιείται για να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες όταν σταματάει η λειτουργία του λέβητα.
- το Μ/Σ ανύψωσης, ο οποίος αναλαμβάνει να ανεβάσει το επίπεδο της τάσης από τα 230V στα 12KV και να τη μεταφέρει στις ακίδες του σπινθηριστή.
- το σπινθηριστή ή μπουζί, που αποτελείται από δυο ακίδες με τάση 12KV.
- το φωτοκύτταρο για τον έλεγχο της ύπαρξης φλόγας στο θάλαμο.

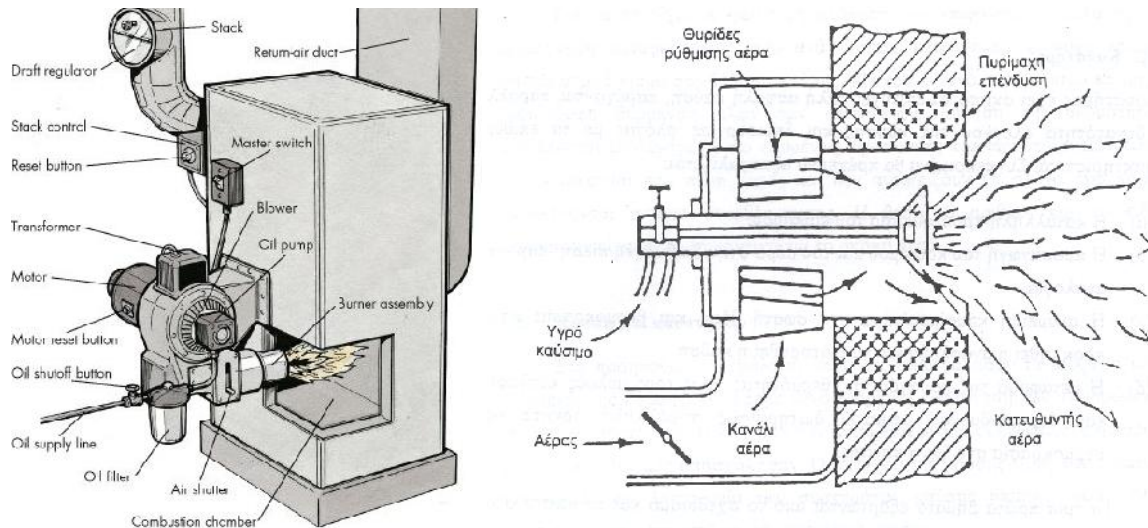
Δοχείο διαστολής

Το δοχείο διαστολής προστατεύει την εγκατάσταση από τις υπερπτήσεις που δημιουργούνται όταν το νερό θερμαίνεται. Όταν αυξάνεται ο όγκος του νερού αποθηκεύεται στο δοχείο διαστολής. Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε μια εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης με θερμοκρασία νερού 10 βαθμούς Κελσίου και με όγκο νερού μέσα στην εγκατάσταση 500 λίτρα. Όταν θέσουμε σε λειτουργία την εγκατάσταση και θερμάνουμε το νερό σε 90 βαθμούς Κελσίου, τότε λόγω διαστολής, η ποσότητα του νερού σε λίτρα θα γίνει περίπου 515 λίτρα. Τα επιπλέον αυτά 15 λίτρα αν δεν αποθηκευτούν κάπου, τότε θα ανέβει η πίεση του νερού μέσα στην εγκατάσταση σε υψηλά επίπεδα, με αποτέλεσμα να έχουμε διάφορες βλάβες, λόγω της πίεσης αυτής. Την επιπλέον λοιπόν αυτήν ποσότητα, την αποθηκεύουμε στο δοχείο διαστολής, διατηρώντας έτσι σταθερή την πίεση νερού μέσα στην εγκατάσταση. Όταν τώρα η θερμοκρασία του νερού πέσει στην αρχική θερμοκρασία (πριν την έναρξη λειτουργίας της εγκατάστασης), τότε ο όγκος του νερού επανέρχεται στα 500 λίτρα.

Κυκλοφορητής

Σε μια εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης το νερό αφού θερμανθεί μέσα στον λέβητα μεταφέρεται στα θερμαντικά σώματα (ή σε μπόιλερ ή σε άλλο μέσο) για την απόδοση ενός ποσού θερμότητας. Στην συνέχεια μεταφέρεται και πάλι στον λέβητα για να θερμανθεί ξανά. Το ζεστό νερό είναι ελαφρύτερο του κρύου και έχει την τάση να ανεβαίνει προς τα πάνω (προς τα θερμαντικά σώματα). Την εγκατάσταση που λειτουργεί έτσι την ονομάζουμε εγκατάσταση φυσικής κυκλοφορίας ή εγκατάσταση με βαρύτητα. Σήμερα εγκατάσταση φυσικής κυκλοφορίας έχουμε σχεδόν μόνο στους ηλιακούς θερμοσίφωνες. στις εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης εφαρμόζεται βεβαιωμένη

κυκλοφορία του νερού. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται μια σειρά από μελέτες για την εφαρμογή των οποίων απαιτούνται μεγάλες διατομές σωληνώσεων και ειδικές κατασκευές. Για να λειτουργήσουν οι εγκαταστάσεις θέρμανσης βεβιασμένης κυκλοφορίας απαιτείται η χρήση κυκλοφορητών. Ο κυκλοφορητής είναι μια αντλία φυγοκεντρικού τύπου που κινείται με την βοήθεια ηλεκτρικού ρεύματος. Μεταφέρει το νερό από το λέβητα προς τα θερμαντικά σώματα και από αυτά ξανά πίσω στον λέβητα. Το είδος του κυκλοφορητή σε κάθε σύστημα κεντρικής θέρμανσης προσδιορίζεται με βάση τις τριβές που δημιουργούνται από τις σωληνώσεις και τα θερμαντικά σώματα.



Εικόνα 2.2: Τυπικές διατάξεις καυστήρα υγρού καυσίμου με εκνέφωση

2.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

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. Ορίζεται ως το πηλίκο της εκμεταλλεύσιμης θερμότητας που παραλαμβάνεται από το σύστημα προς τη συνολική προσδιδόμενη ενέργεια που προσδίδεται σε αυτό.

$$\text{Συντελεστής απόδοσης} = \frac{\text{Εκμεταλλεύσιμη θερμότητα}}{\text{Προσδιδόμενη θερμότητα}} \times 100$$

Η ενέργεια που προσδίδεται σ' ένα σύστημα παραγωγής θερμότητας με καύση είναι κατά κύριο λόγο η χημική ενέργεια του καυσίμου. Για τον υπολογισμό του συντελεστή απόδοσης της μονάδας, στην ενέργεια που προσδίδεται με το καύσιμο προστίθεται επίσης η αισθητή θερμότητα του καυσίμου στη θερμοκρασία που παρέχεται στο σύστημα, η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται στην αντλία του καυσίμου και στους ανεμιστήρες προωθήσεως ή ελκυσμού του αέρα καύσης (αν υπάρχουν), η θερμότητα του ατμού διασκορπισμού του καυσίμου κλπ.

2.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΥΣΗΣ

Ο συντελεστής απόδοσης ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας με καύση είναι μικρότερος από τη μονάδα. Αυτό οφείλεται σε απώλειες ενέργειας, οι οποίες οφείλονται στις αναντιστρεπτότητες της διεργασίας και τις θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον.

- Οι απώλειες λόγω ανάντιστρεπτότητας δεν είναι άμεσα εντοπίσιμες και αναφέρονται στην ποιότητα της θερμικής ενέργειας που παραλαμβάνεται από το μέσο. Οι απώλειες αυτές μπορούν να μειωθούν με κατάλληλη προσαρμογή της θερμοκρασίας της φλόγας.
- Ποσά θερμότητας μεταφέρονται από το σύστημα προς το περιβάλλον μέσω των τοιχωμάτων του λέβητα και μέσω των καυσαερίων που παράγονται κατά την καύση. Οι εκπομπές από τα τοιχώματα γίνονται με ακτινοβολία και με μεταφορά θερμότητας προς το περιβάλλον. Οι απώλειες με τα καυσαέρια είναι ποσοτικά μεγαλύτερες και διακρίνονται στις απώλειες λόγω του θερμικού περιεχομένου των καυσαερίων και σε απώλειες λόγω ατελούς καύσης. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία των καυσαερίων, τόσο αυξάνονται και οι απώλειες ενέργειας. Η παρουσία υδρατμών στα καυσαέρια αυξάνει τις απώλειες, λόγω της θερμότητας (αισθητής και λανθάνουσας) που απάγουν οι υδρατμοί. Οι υδρατμοί προέρχονται από την υγρασία του αέρα που χρησιμοποιείται στην καύση, ενώ παράλληλα μπορούν να σχηματιστούν μέσω του υδρογόνου που περιέχεται στα καύσιμα. Ιδιαίτερα σημαντική για τις απώλειες είναι η περίσσεια αέρα, ο ρόλος της οποίας θα αναλυθεί εκτενέστερα παρακάτω. Ο έλεγχος της σωστής λειτουργίας του καυστήρα του λέβητα και η μόνωση των τοιχωμάτων μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση των απωλειών ενέργειας και αύξηση του συντελεστή απόδοσης. 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

2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΣΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το μίγμα αέρα καυσίμου θα πρέπει να περιέχει μια περίσσεια αέρα για τη σωστή λειτουργία του καυστήρα. Αυξημένη όμως ποσότητα αέρα (άρα και οξυγόνου) οδηγεί σε αυξημένες απώλειες ενέργειας, καθώς το οξυγόνο (αλλά και ο αέρας συνολικά) που δεν καταναλώνεται απορροφά θερμότητα, την οποία στη συνέχεια μεταφέρει στο περιβάλλον, μειώνοντας έτσι την απόδοση του λέβητα. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να επιδιώκεται να βρεθεί η περίσσεια εκείνη του αέρα που θα προκαλεί πλήρη καύση των υδρογονανθράκων των καυσίμων, ελαχιστοποιώντας τα επικίνδυνα καυσαέρια, αλλά παράλληλα δεν θα συμβάλει σε αυξημένες απώλειες του λέβητα.

2.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΛΕΒΗΤΑ

Η απόδοση ενός λέβητα μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα μετρώντας την πραγματική ενέργεια που παρέχεται μέσω του καυσίμου και την τελική ενέργεια που αποδίδεται στο νερό. Επειδή όμως οι ποσότητες αυτές είναι δύσκολο να προσδιοριστούν, χρησιμοποιείται μία έμμεση μέθοδος που βασίζεται στη μέτρηση των αερίων που περιέχονται στα καυσαέρια και στη θερμοκρασία των καυσαερίων. Πιο συγκεκριμένα:

- Αυξημένη θερμοκρασία καυσαερίων σημαίνει μεγάλη περίσσεια οξυγόνου, το οποίο απορροφά και μεταφέρει μέρος της ωφέλιμης θερμότητας στο περιβάλλον.
- Μειωμένη συγκέντρωση κατ' όγκο διοξειδίου του άνθρακα σημαίνει κακή λειτουργία του λέβητα είτε λόγω έλλειψης επαρκούς αέρα για την πλήρη καύση είτε λόγω μεγάλης περισσειας αέρα.
- Αυξημένη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα συνεπάγεται συνθήκες ατελούς καύσης.
- Τέλος αυξημένη συγκέντρωση οξυγόνου στα καυσαέρια παρατηρείται για μεγάλη περίσσεια αέρα στο μίγμα.

Σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας παρατηρείται συχνά τα καυσαέρια περιέχουν μονοξείδιο του άνθρακα ή άλλα άκαυστα συστατικά και συγχρόνως οξυγόνο. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μικρή παροχή αέρα στο θάλαμο καύσης, ενώ συγχρόνως εισρέει δευτερογενής αέρας από διαρροές (όταν ο θάλαμος καύσης λειτουργεί σε μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση) ή σε κανονική παροχή αέρα αλλά κακό διασκορπισμό του καυσίμου και κακή ανάμειξη αέρα - καυσίμου.

2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΥΘΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

Ζητούμενο είναι η εκτίμηση των συντελεστών εκπομπής ρύπων και CO₂ (αέριο θερμοκηπίου) από λέβητα κεντρικής θέρμανσης με βάση τις μετρήσεις που έγιναν στην πηγή. Για τη συγκεκριμένη πηγή οι συντελεστές εκπομπής εκφράζονται σε κιλά (kg) ρύπου ανά τόνο (tn) καυσίμου. Για κάθε σύνολο μετρήσεων σε συγκεκριμένη ρύθμιση του καυστήρα, η διαδικασία υπολογισμού περιλαμβάνει τα ακόλουθα τρία στάδια:

(Α) Εκτίμηση Όγκου Καυσαερίων

Από το γράφημα που δίνει τον ρυθμό εκπομπής καυσαερίων ανά ρυθμό κατανάλωσης καυσίμου των καυσαερίων συναρτήσει της κατ'όγκου συγκέντρωσης CO₂ και από την καμπύλη που αντιστοιχεί στο καύσιμο που χρησιμοποιεί ο λέβητας (Distillate Fuel Oil) (Σχήμα 4) λαμβάνουμε την παροχή καυσαερίων V_{200} (m³/s/tn καυσίμου/h σε 200 °C). Εύκολα μπορεί να δειχθεί ότι $3600 \cdot V_{200}$ είναι ο όγκος των καυσαερίων ανά τόνο καυσίμου σε θερμοκρασία 200 °C. Εφαρμόζοντας τον νόμο των τελείων αερίων (θεωρούμε ισοβαρή μεταβολή) υπολογίζουμε τον όγκο των καυσαερίων ανά τόνο καυσίμου στη θερμοκρασία περιβάλλοντος από την ακόλουθη σχέση:

$$V = 3600 \times V_{200} \times \frac{273 + \theta}{273 + 200}$$

Ο συντελεστής 3600 υπάρχει για τη μετατροπή των ωρών σε δευτερόλεπτα.

(Β) Εκτίμηση Συντελεστών Εκπομπής SO₂, NO_x, CO

Αρχικά μετατρέπεται η συγκέντρωση των αερίων από ppm σε μg/m³ με τη βοήθεια του τύπου:

$$C_{\mu g/m^3} = \frac{PM_i}{RT} \times C_{ppm}$$

Όπου P, T οι τιμές της πίεσης και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος (σε βαθμούς Kelvin) M_i το μοριακό βάρος της κάθε ένωσης (σε gr/mole) και R η παγκόσμια σταθερά των αερίων (σε μονάδες S.I.). Στη συνέχεια ο ζητούμενος συντελεστής εκπομπής του αερίου i σε kg/tn καυσίμου εύκολα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$e_i = C_{\mu g/m^3} \times V_{\theta} \times 10^{-9}$$

Ο συντελεστής 10⁻⁹ υπάρχει για τη μετατροπή των μg σε kg.

(Γ) Εκτίμηση Συντελεστή Εκπομπής CO₂

Όσον αφορά το αέριο CO₂ δεν μετράται η συγκέντρωση σε ppm αλλά η κατ' όγκο αναλογία του (C_{CO2}). Για το λόγο αυτό, αφού υπολογιστεί ο όγκος των καυσαερίων σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (V_θ) πολλαπλασιάζεται με την κατ' όγκο συγκέντρωση για να υπολογιστεί ο όγκος του CO₂ στα καυσαέρια.

$$V_{CO2(\theta)} = \frac{C_{CO2}}{100} V_{\theta}$$

Ως γνωστόν, τα 44 gr CO₂ (μάζα ενός γραμμομορίου), έχουν όγκο 22,4 lt. σε κανονικές συνθήκες. Από την εξίσωση των τελείων αερίων (ισοβαρής μεταβολή) υπολογίζουμε τον όγκο του ενός γραμμομορίου στη θερμοκρασία περιβάλλοντος (θ °C) σε lt:

$$22,4 \frac{273 + \theta}{273} = V_{mol(\theta)}$$

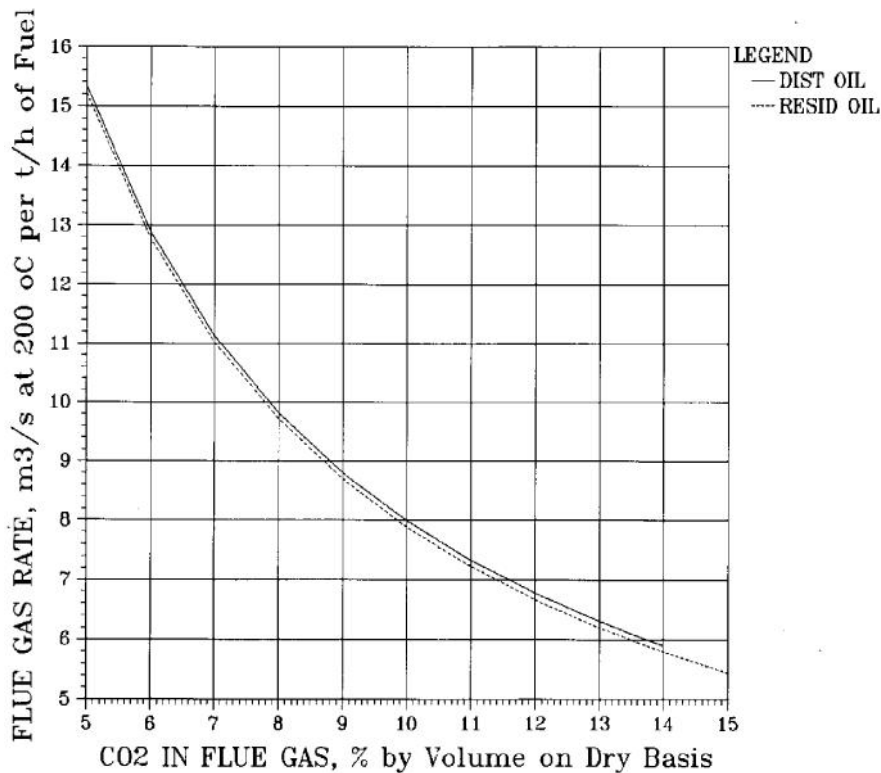
Επομένως, η μάζα/όγκο του 1 mole CO₂ (kg ανά m³) σε θ°C θα είναι:

$$m_{CO_2} = \frac{44 \times 10^{-3}}{V_{mol(\theta)} \times 10^{-3}}$$

Οι συντελεστές 10⁻³ σε αριθμητή και παρονομαστή υπάρχουν για τη μετατροπή των gr σε kg και των lt σε m³).

Τέλος, ο ζητούμενος συντελεστής εκπομπής θα είναι:

$$e_{CO_2} = V_{CO_2(\theta)} \times m_{CO_2}$$



Σχήμα 4: Όγκος καυσαερίων από Ντίζελ και Μαζούτ, ως συνάρτηση της συγκέντρωσης του CO₂ (% κατ' όγκο σε ξηρά βάση) στα καυσαέρια.

(Δ) Εκτίμηση «Ενεργειακών» Συντελεστών Εκπομπής

Η ενέργεια που αποδίδει ένα καύσιμο κατά την καύση του ονομάζεται θερμογόνος δύναμη του καυσίμου και δίδεται σε μονάδες ενέργειας (συνήθως Kcal ή KWh) ανά κιλό (kg) κατανάλωσης καυσίμου. Μπορούμε να υπολογίσουμε τους «ενεργειακούς» συντελεστές εκπομπής (e_{ie}) των SO₂, NO_x, CO και CO₂ διαιρώντας τις τιμές που υπολογίστηκαν στα βήματα Β και Γ με τη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου.

3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΛΕΒΗΤΑ

3.1 ΦΟΡΗΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ BRIGON

Το σύστημα Brigon οργάνων μέτρησης και αναλυτών αερίων που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ποιότητας καύσης και τον εύκολο, γρήγορο και ακριβή προσδιορισμό των συγκεντρώσεων CO_2 , O_2 , CO και αιθάλης στα καυσαέρια. Επιπλέον παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης της πίεσης (ελκυσμού) των καυσαερίων στην καπνοδόχο, της πίεσης μέσα στο θάλαμο καύσης και της θερμοκρασίας των καυσαερίων. Με χρήση των παραπάνω παραμέτρων καύσης, μπορούμε να εκτιμήσουμε και να βελτιώσουμε την απόδοση της καύσης, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερες θερμότητες στο λέβητα με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση καυσίμου. Γίνεται επίσης εφικτή η μείωση των συγκεντρώσεων αερίων που συμβάλουν στο πρόβλημα της αέριας ρύπανσης και μείωση των αιτιών που προκαλούν δυσφορία στα άτομα ή δύναται να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στην υγεία. Το σύνολο των οργάνων/αναλυτών του συστήματος παρουσιάζεται στην εικόνα 3.1. Στην παρούσα εργαστηριακή άσκηση θα αναλύσουμε τα όργανα προσδιορισμού των κατ' όγκο συγκεντρώσεων των O_2 και CO_2 , τον μετρητή προσδιορισμού επιπέδων αιθάλης και τον κανόνα υπολογισμού απόδοσης της καύσης.



Εικόνα 3.1: Φορητό σύστημα μέτρησης Brigon

1. Μέτρηση CO_2 και O_2

Ο μετρητής CO_2/O_2 FYRITE, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της κατ' όγκο περιεκτικότητας του CO_2 και του O_2 μέσα στα καυσαέρια (σε ποσοστό % κατ' όγκο, ξηρή βάση). Τα χαρακτηριστικά των μετρήσεων είναι:

Εύρος μέτρησης : 0 με 20% κατ' όγκο

Ακρίβεια μέτρησης : $\pm 0,5\%$ κατ' όγκο

Περιγραφή του οργάνου

Το όργανο αποτελείται από δύο δοχεία υγρού τα οποία συνδέονται με κεντρικό βαθμονομημένο σωλήνα κατασκευασμένο από ανθεκτικό πλαστικό. Το κατώτερο τμήμα του δοχείου στο κάτω μέρος της συσκευής είναι μονωμένο με λαστιχένιο διάφραγμα το οποίο περιβάλλει μια μικρή μεταλλική κυκλική πλάκα. Πάνω από την πλάκα έχει τοποθετηθεί ελαστική μεμβράνη (διάφραγμα) από ανθεκτικό πλαστικό. Στο κάτω δοχείο βρίσκεται και το απορροφητικό υγρό που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της % κατ' όγκο συγκέντρωσης των CO_2 ή O_2 . Το δοχείο στο

πάνω τμήμα της συσκευής κλείνεται με πλαστικό καπάκι, στο κέντρο του οποίου υπάρχει βαλβίδα δύο θέσεων με έμβολο. Με τη βοήθεια του ελατηρίου η βαλβίδα βρίσκεται στην ανώτερη θέση της, διατηρώντας έτσι το όργανο αεροστεγές. Αν η βαλβίδα πιεστεί στην κατώτερη θέση, ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να εισέλθει στο εσωτερικό του οργάνου. Στο άκρο του κεντρικού σωλήνα υπάρχει κινητή κλίμακα μέτρησης για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων αερίων στα καυσαέρια.

Η εισαγωγή των καυσαερίων γίνεται μέσω λαστιχένιου σωλήνα που καταλήγει σε μεταλλικό ακροφύσιο. Στο άλλο άκρο υπάρχει πλαστικός σύνδεσμος που εφαρμόζει αεροστεγώς στην βαλβίδα του πάνω τμήματος του οργάνου. Για την απομάκρυνση των υδρατμών από το δείγμα αέρα, υπάρχει ενσωματωμένο στο λαστιχένιο σωλήνα μικρό δοχείο συλλογής υδρατμών, το οποίο περιέχει μάλλινο ύφασμα ή βαμβάκι. Για τη διευκόλυνση της εισροής και της κίνησης του δείγματος μέσα στο σωλήνα υπάρχει αναρροφητής (πλαστική αντλία) που λειτουργεί χειροκίνητα (πίεση από τον χρήστη). Θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη προσοχή στην τακτική αντικατάσταση του υφάσματος και στον καθαρισμό του δοχείου από τους υδρατμούς.



Εικόνα 3.2: Αναλυτής CO₂ FYRITE

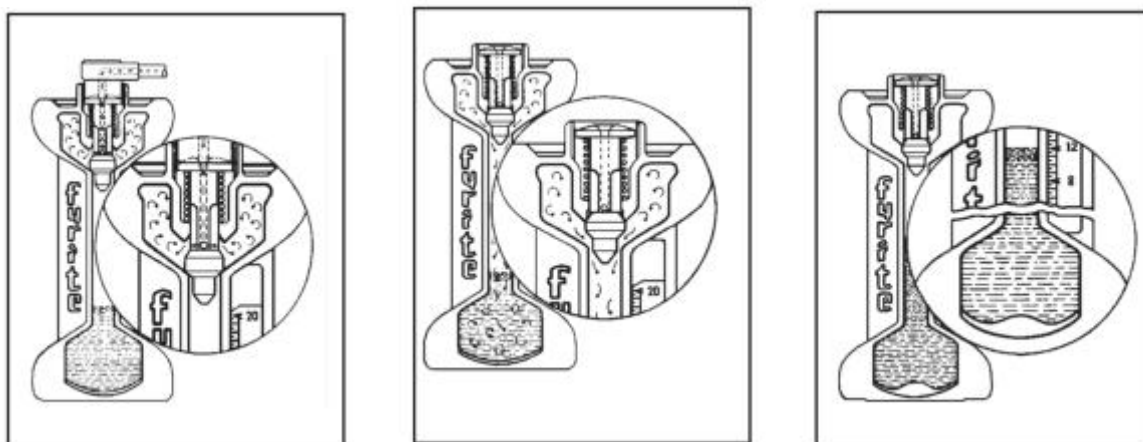
Περιγραφή της αρχής λειτουργίας του οργάνου

Η λειτουργία του οργάνου στηρίζεται στην εκλεκτική απορρόφηση του αερίου που βρίσκεται στο αέριο δείγμα (CO₂ ή O₂) από κατάλληλη χημική ένωση που περιέχεται σε χρωματισμένο υγρό (μπλέ για O₂ και κόκκινο για CO₂) εντός του οργάνου. Στην περίπτωση του CO₂ χρησιμοποιείται σαν αντιδραστήριο το υδροξείδιο του καλίου (KOH) ενώ για το O₂ χρησιμοποιείται τριχλωριούχο χρώμιο (CrCl₃). Πιο συγκεκριμένα, ένα δείγμα από τα καυσαέρια αντλείται μέσα στη συσκευή FYRITE μέσω του στοιχείου αναρρόφησης. Το CO₂ ή το O₂ των καυσαερίων αντιδρά με το υγρό διάλυμα και απορροφάται, γεγονός που οδηγεί στη μείωση του συνολικού όγκου του αερίου και του υγρού διαλύματος. Η μείωση του όγκου, δημιουργεί μια αναρρόφηση και ωθεί την ελαστική μεμβράνη που βρίσκεται στον πυθμένα του οργάνου να καμπυλωθεί προς τα επάνω. Με την κίνηση αυτή της μεμβράνης η στάθμη του απορροφητικού υγρού ανυψώνεται κατά ποσό ανάλογο της ποσότητας του απορροφούμενου αερίου. Η ανάγνωση της ένδειξης πάνω στην κινητή κλίμακα δίνει το ποσοστό επί τοις % κατ' όγκο του αερίου που απορροφήθηκε από το υγρό, δηλαδή του CO₂ ή του O₂.

Μεθοδολογία μέτρησης με τη συσκευή FYRITE

1. Πιέζουμε τη βαλβίδα στο άνω τμήμα του οργάνου στιγμιαία. Επειδή το υγρό εντός του οργάνου είναι έντονα διαβρωτικό, προσέχουμε να κρατάμε το όργανο μακριά από το πρόσωπο μας. Στη συνέχεια, γυρίζουμε το όργανο ανάποδα μέχρι το υγρό να μετακινηθεί από το από το ένα δοχείο στο άλλο. Επαναφέρουμε τη συσκευή στην αρχική της θέση.
2. Τοποθετούμε τη συσκευή υπό γωνία κλίσης 45° για 10 δευτερόλεπτα για να διευκολύνουμε τη ροή σταγόνων του υγρού, που έχουν εγκλωβιστεί τα τοιχώματα, προς το κάτω δοχείο. Επαναφέρουμε τη συσκευή στην κανονική της θέση. Στην περίπτωση της μέτρησης του O_2 η διαδικασία των βημάτων 1,2 επαναλαμβάνεται τουλάχιστον άλλες 2 φορές.
3. Στη συνέχεια και για το CO_2 και για το O_2 ελέγχουμε ότι η στάθμη του υγρού δεν μεταβλήθηκε παραπάνω από 50% σε σχέση με την αρχική της θέση. Αν αυτό έχει συμβεί επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία των βημάτων 1,2. Αν οι μεταβολές στη στάθμη εξακολουθούν να είναι μεγάλες, απαιτείται αντικατάσταση του υγρού πλήρωσης του οργάνου.
4. Πιέζουμε τη βαλβίδα στο άνω τμήμα του οργάνου στιγμιαία.
5. Μετακινούμε την κινητή κλίμακα του κορμού για να κάνουμε ταύτιση του σημείου 0 (μηδέν) της κλίμακας με τη στάθμη του επάνω μέρους του υγρού και σφίγγουμε τη βίδα ρύθμισης της κλίμακας.
6. Τοποθετούμε το μεταλλικό ακροφύσιο σε ειδική οπή του αγωγού εξόδου των καυσαερίων. Πιέζουμε τον αναρροφητή 2-3 φορές ώστε να εισέλθει αέρας από τα καυσαέρια μέσα στο σωλήνα. Τοποθετούμε τον πλαστικό σύνδεσμο στην βαλβίδα του οργάνου και κρατάμε το όργανο σε κατακόρυφη θέση.
7. Πιέζουμε τον πλαστικό σύνδεσμο ώστε να ανοίξει η βαλβίδα του οργάνου. Κρατώντας τη βαλβίδα πιεσμένη προς τα κάτω ενεργοποιούμε 18 φορές τον αναρροφητή. Μετά την 18 επανάληψη κρατάμε τον αναρροφητή πιεσμένο και απομακρύνουμε τον πλαστικό σύνδεσμο κλείνοντας έτσι την βαλβίδα του οργάνου. Με την κίνηση αυτή διασφαλίζουμε τον εγκλωβισμό των καυσαερίων στο εσωτερικό του οργάνου μέτρησης.
8. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 1 και 2 της μέτρησης για να αναμιχθεί το υγρό με το καυσαέριο, χωρίς να ακουμπήσουμε τη βαλβίδα.
9. Με την συσκευή σε κατακόρυφη θέση, διαβάζουμε άμεσα την ένδειξη της κινητής κλίμακας που αντιστοιχεί στο ύψος του υγρού. Αργοπορία στην ανάγνωση της μέτρησης πάνω από 10 δευτερόλεπτα μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικό σφάλμα.
10. Πιέζουμε τη βαλβίδα στο επάνω μέρος για εκτόνωση της πίεσης μέσα στη συσκευή.

Για να κατανοηθεί καλύτερα η διαδικασία χρήσης του οργάνου, ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας του κατά τη διάρκεια του βήματος 7. Όταν η βαλβίδα, μέσω του πλαστικού συνδέσμου, πιέζεται προς τα κάτω, ο κεντρικός σωλήνας μονώνεται και ταυτόχρονα δημιουργείται μία είσοδος εισαγωγής αέρα στο άνω δοχείο του οργάνου (Εικόνα 3.3.α).



Εικόνες 3.3.α,β,γ (από αριστερά προς τα δεξιά): Περιγραφή της εισροής του δείγματος στο FYRITE και της αντίδρασης του αερίου με το απορροφητικό μέσο.

Ένα δείγμα αέρα αντλείται στο άνω δοχείο μέσω του αναρροφητή. Τουλάχιστον 18 πιέσεις του αναρροφητή απαιτούνται για να διασφαλιστεί ότι τόσο ο σωλήνας, όσο και το ανώτερο τμήμα έχουν πλήρως καθαριστεί πλήρως από υπολείμματα προηγούμενων αέριων δειγμάτων. Κατά τη διάρκεια της 18 αναρρόφησης, ο αναρροφητής διατηρείται υπό πίεση καθώς η βαλβίδα ελευθερώνεται και ανέρχεται στην ανώτερη θέση (Εικόνα 3.3.β). Με τον τρόπο αυτό διοχετεύονται περίπου 60 cm³ από το μετρούμενο δείγμα στο εσωτερικό του οργάνου. Το δείγμα έρχεται σε επαφή με το υγρό μέτρησης και το περιεχόμενο CO₂ ή O₂ απορροφάται προκαλώντας (όταν το όργανο επανέλθει σε κατακόρυφη θέση) μετακίνηση του διαφράγματος προς τα πάνω και άνοδο του υγρού ανάλογα με την ποσότητα του απορροφούμενου αερίου (εικόνα 3.3.γ).

2. Μέτρηση Αιθάλης

Το παρακάτω όργανο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αιθάλης που υπάρχει μέσα στα καυσαέρια. Η παρουσία μαύρου καπνού είναι η καλύτερη ένδειξη ατελούς καύσης στους καυστήρες πετρελαίου καθώς μεγάλες συγκεντρώσεις αιθάλης εμφανίζονται κατά την ταυτόχρονη παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα, CO.

Περιγραφή του οργάνου-Αρχή λειτουργίας μέτρησης του οργάνου

Το όργανο αποτελείται από αντλία με μεταλλικό κορμό και έμβολο, η οποία καταλήγει σε σωλήνα αναρρόφησης καυσαερίων. Η εναπόθεση των σωματιδίων της αιθάλης γίνεται πάνω σε ειδικά χάρτινα φίλτρα, που τοποθετούνται μετά τον σωλήνα αναρρόφησης. Ο προσδιορισμός της αιθάλης γίνεται μέσω άμεσης σύγκρισης του ίχνους πάνω στο χάρτινο φίλτρο με 10 δείγματα αιθάλης της κλίμακας Bacharach. Η κλίμακα αυτή κυμαίνεται μεταξύ 1-10 με τις μεγαλύτερες τιμές να αντιστοιχούν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις αιθάλης. Αν το αποτύπωμα στο χάρτινο φίλτρο δεν ταιριάζει απόλυτα με κάποια από δείγματα της κλίμακας και εμφανίζεται να είναι ανάμεσα σε δείγματα με τιμές X και X+1, τότε του αποδίδεται η τιμή X,5. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζεται ο αριθμός αιθάλης. Ένας λέβητας πετρελαίου πρέπει κατά τη ορθή λειτουργία του να δίνει δείγματα που δεν υπερβαίνουν την τιμή 1 στην κλίμακα Bacharach.

Μια ορισμένη ποσότητα καυσαερίων αναρροφείται από το σημείο δειγματοληψίας μέσα στο σωλήνα αναρρόφησης έλκοντας και ωθώντας το έμβολο της αντλίας συνολικά 10 φορές. Διερχόμενο από το μεταλλικό σωλήνα δειγματοληψίας μέσα στον κύλινδρο της αντλίας, το δείγμα καυσαερίων περνάει μέσα από το χάρτινο φίλτρο. Το συνεπαγόμενο αποτύπωμα καπνού πάνω στο φίλτρο συγκρίνεται στη συνέχεια με τις τιμές της κλίμακας Bacharach για τον καθορισμό του αριθμού αιθάλης.



Εικόνα 3.4: Μετρητής αιθάλης Brigon και κλίμακα Bacharach

Μεθοδολογία της μέτρησης

1. Τοποθετούμε το χάρτινο φίλτρο στην ειδική υποδοχή του οργάνου και βιδώνουμε σφιχτά για τη συγκράτηση του φίλτρου.
2. Εισάγουμε τη μεταλλική άκρη μέσα στην οπή του αγωγού των καυσαερίων (η ίδια οπή που χρησιμοποιήθηκε και για τις προηγούμενες μετρήσεις).
3. Συλλέγουμε το αέριο δείγμα αντλώντας με σταθερό ρυθμό 10 φορές. Μια βαλβίδα ελέγχου προσαρμοσμένη πάνω στο μετρητή αιθάλης εμποδίζει την αναστροφή της ροής των καυσαερίων και συνεπώς πιθανές απώλειες σωματιδίων που έχουν ήδη κατακρατηθεί πάνω στο χάρτινο φίλτρο.
4. Μετά την άντληση του δείγματος καυσαερίων, απομακρύνουμε το χάρτινο φίλτρο και συγκρίνουμε το μαυρισμένο αποτύπωμα με τις διαφορετικές αποχρώσεις της κλίμακας Bacharach για καθορισμό του αριθμού αιθάλης.

3. Κανόνας Υπολογισμού

Με τη βοήθεια του κανόνα υπολογισμού προσδιορίζεται η τελική απώλεια και η απόδοση της καύσης για τα παρακάτω καύσιμα:

α. Βαρύ και ελαφρύ πετρέλαιο

β. Κωκ*

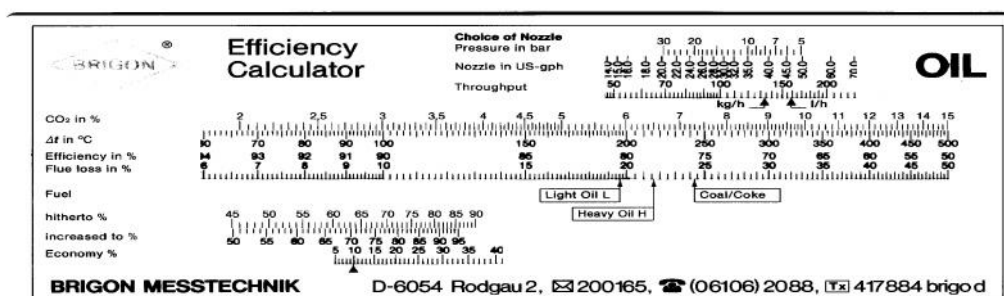
γ. Αέρια καύσιμα (Φυσικό αέριο, Φυσικό αέριο με υποβοήθηση ανεμιστήρα, Προπάνιο, Βουτάνιο)

*Κώκ ή Οπτάνθρακας: Παράγεται με ξηρή απόσταξη των γαιανθράκων, δηλαδή με πύρωση σε κλειστές εστίες χωρίς την παρουσία αέρα. Κατά την ξηρή απόσταξη οι γαιάνθρακες διασπώνται και παράγονται πτητικά συστατικά, που περιέχουν ως κύριο συστατικό το φωταέριο και στερεό υπόλειμμα, δηλαδή το κώκ. Το κωκ είναι καύσιμο με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα που χρησιμοποιείται κυρίως σε εργοστάσια παραγωγής και επεξεργασίας μετάλλων.

Περιγραφή του κανόνα

Ο κανόνας αποτελείται από:

- κλίμακα συγκέντρωσης CO₂ (%)
- κινητή κλίμακα διαφοράς θερμοκρασίας, ΔT (°C)
- κλίμακα απόδοσης καύσης (%)
- Κλίμακα απωλειών θερμότητας (%)
- κλίμακα πίεσης (bar)



Εικόνα 3.5: Κανόνας υπολογισμού απόδοσης και απωλειών

Μεθοδολογία μέτρησης απόδοσης καύσης

1. Επιλέγουμε τον κατάλληλο πίνακα ανάλογα με το αν η καύση γίνεται με υγρό καύσιμο ή αέριο
2. Αφού έχουμε προσδιορίσει την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO₂ και τη διαφορά θερμοκρασίας $\Delta T = T_1 - T_2$, όπου T_2 είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου, ενώ T_1 είναι η

Θερμοκρασία των καυσαερίων, μετακινούμε την τιμή αυτή της διαφοράς θερμοκρασίας κάτω από την καθορισμένη τιμή συγκέντρωσης του CO₂.

3. Η απόδοση της καύσης (%) δίνεται στην αμέσως επόμενη γραμμή από τη γραμμή της θερμοκρασίας, ενώ η τιμή των % απωλειών της καύσης αναγράφεται στην παρακάτω γραμμή, στο σημείο ένδειξης του κόκκινου βέλους, ανάλογα με τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιείται.

3.2 ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΚΑΝΕ (μοντέλο 455 GR)

Το όργανο αποτελεί χαρακτηριστικό αναλυτή μέτρησης καυσαερίων σε οικιακούς και βιομηχανικούς λέβητες. Παρόμοιας φιλοσοφίας όργανα χρησιμοποιούνται ευρύτατα από επαγγελματίες μηχανολόγους/συντηρητές για τη διάγνωση προβλημάτων για τη σωστή ρύθμιση της λειτουργίας ενός λέβητα. Πρέπει να σημειωθεί ότι με βάση υπουργική απόφαση του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (απόφαση 189533/07.11.11, ΦΕΚ' Β 2654 09.11.2011) απαιτείται στα συστήματα κεντρικής θέρμανσης συντήρηση τουλάχιστον 1 φορά το χρόνο με υποχρέωση του συντηρητή να εκδίδει πιστοποιημένο φύλλο συντήρησης. Η συντήρηση πραγματοποιείται υποχρεωτικά με ηλεκτρονικό αναλυτή καυσαερίων που υπόκειται σε ετήσια βαθμονόμηση.

Ο αναλυτής ΚΑΝΕ παρέχει τη δυνατότητα απευθείας μέτρησης των CO₂ (% κατ' όγκο), CO (ppm ή μg/m³), NO (ppm ή μg/m³), θερμοκρασίας και πίεσης καυσαερίων. Με ειδικό λογισμικό υπολογίζονται το O₂ (% κατ' όγκο), η αναλογία CO₂/CO, η απόδοση της καύσης, οι απώλειες της καύσης και η περίσσεια οξυγόνου.

Αρχή λειτουργίας της μέτρησης των CO₂, CO και NO

Ο υπολογισμός των οξειδίων του άνθρακα (CO και CO₂) γίνεται με τη χρήση NDIR (Nondispersive Infrared) αισθητήρων. Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στην εκλεκτική απορρόφηση συγκεκριμένων μηκών κύματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα αέρια (φάσματα απορρόφησης των αερίων). Ένας αισθητήρας NDIR αποτελείται από μια πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας, η οποία συνήθως συνοδεύεται από οπτικό φίλτρο που περιορίζει τις εκπομπές μόνο σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία διέρχεται από θάλαμο στον οποίο οδηγείται και το προς εξέταση αέριο δείγμα. Η εξασθένηση της ακτινοβολίας είναι απευθείας ανάλογη της ποσότητας του κάθε οξειδίου του άνθρακα, επιτρέποντας έτσι τον ακριβή υπολογισμό της συγκέντρωσης του.

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του NO γίνεται με τη χρήση ηλεκτροχημικού αισθητήρα. Στους αισθητήρες αυτούς λόγω χημικής αντίδρασης του αερίου με συγκεκριμένα υλικά, παράγεται ένα ηλεκτρικό σήμα που είναι ανάλογο της συγκέντρωσης του αερίου. Ένας τυπικός ηλεκτροχημικός αισθητήρας αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια που διαχωρίζονται από ένα λεπτό στρώμα ηλεκτρολύτη. Τα δύο ηλεκτρόδια συνδέονται με ηλεκτρική αντίσταση. Το αέριο έρχεται σε επαφή (υπό ελεγχόμενη ροή) με ένα από τα δύο ηλεκτρόδια και αντιδρά χημικά μέσω μηχανισμών οξείδωσης ή αναγωγής. Στα ηλεκτρόδια επιλέγονται υλικά που δρουν καταλυτικά για τις παραπάνω αντιδράσεις. Με τον τρόπο αυτό παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα ανάλογο της συγκέντρωσης του αερίου.

Περιγραφή του οργάνου-Μεθοδολογία μέτρησης

Το όργανο αποτελείται από το βασικό «κορμό» μέσα στον οποίο βρίσκονται τα αισθητήρια αέριων ρύπων και μικροπεριβαλλοντικών παραμέτρων. Το όργανο συνδέεται με σωλήνα δειγματοληψίας, που καταλήγει σε μεταλλικό ακροφύσιο. Τα αισθητήρια πίεσης και θερμοκρασίας βρίσκονται πάνω στο μεταλλικό ακροφύσιο, το οποίο εισέρχεται στο σωλήνα των καυσαερίων από ειδική οπή. Τα καυσαέρια πριν εισέλθουν από το σωλήνα δειγματοληψίας στο εσωτερικό του οργάνου διέρχονται από θάλαμο συμπίκνωσης υδρατμών (ώστε να υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις σε «ξηρό» δείγμα αέρα) στον οποίο περιέχεται και φίλτρο κατακράτησης των αιωρούμενων σωματιδίων. Στο όργανο υπάρχει περιστροφικός διακόπτης, που ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται ρυθμίζει την

κατάσταση λειτουργίας και τις παραμέτρους που εμφανίζονται στην οθόνη. Κατά την έναρξη λειτουργίας του, το όργανο πρέπει να βρίσκεται σε «καθαρό» περιβάλλον, στην ιδανική περίπτωση εκτός του χώρου που είναι τοποθετημένο το σύστημα λέβητα/καυστήρα. Κατά τη διάρκεια του πρώτου λεπτού λειτουργίας του, πραγματοποιείται με καθαρό δείγμα αέρα εσωτερική βαθμονόμηση των αισθητηρίων και υπολογίζεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το όργανο παρέχει τη δυνατότητα αποθήκευσης 99 ομάδων παραμέτρων (συγκεντρώσεις αερίων, θερμοκρασία, πίεση, απόδοση και απώλειες) σε εσωτερική μνήμη που διαθέτει.



Εκφώνηση Εργαστηριακής Άσκησης 3

1. Να συμπληρώσετε τους συντελεστές στην εξίσωση καύσης του οκτανίου με την περίσσεια αέρα ίση με $\lambda=1,XX$ όπου XX τα τελευταία ψηφία του αριθμού μητρώου του πρώτου αλφαβητικά μέλους της ομάδας σας (π.χ. αν τα τελευταία ψηφία είναι 62 τότε η περίσσεια αέρα είναι $\lambda=1,62$). Παρακαλώ να αναφέρετε τον Α.Μ. που χρησιμοποιείτε.
2. Να κατασκευάσετε πίνακες με τις μετρήσεις που πραγματοποιήσατε στο λέβητα του Πολ. Κρήτης. Να εξηγήσετε γιατί αυξάνεται η κατ' όγκο αναλογία του O_2 και μειώνεται η κατ' όγκο αναλογία του CO_2 με την αύξηση της παροχής αέρα. Να εξηγήσετε τις μεταβολές της απόδοσης που παρατηρείτε. Να επιλέξετε ποια από τις συνθήκες λειτουργίας στις οποίες πήρατε μετρήσεις είναι η ιδανική για τη λειτουργία του συστήματος σας και να δικαιολογήσετε την επιλογή σας.
3. Για να συγκρίνουμε το ρυπαντικό φορτίο από διάφορες πηγές δε μας αρκούν οι τιμές των συγκεντρώσεων αλλά χρησιμοποιούμε τους συντελεστές εκπομπής των ρύπων. Να υπολογίσετε τους συντελεστές εκπομπής των CO_2 , NO και NO_2 (σε kg ρύπου/tn καυσίμου) με βάση τις συγκεντρώσεις του αναλυτή καυσαερίων της ΚΑΝΕ για την κατάσταση στην οποία θεωρήσατε στο προηγούμενο ερώτημα ότι έχετε βέλτιστη λειτουργία του λέβητα. Λάβετε πίεση ίση με 10^5 Pa και θερμοκρασία περιβάλλοντος ίση με $20^\circ C$. Θεωρήστε ότι το NO_2 αποτελεί το 10% της συγκέντρωσης των NO_x που μετρήσατε με τον αναλυτή καυσαερίων της ΚΑΝΕ. Στον τύπο μετατροπής των ppm σε $\mu g/m^3$, το M.B της κάθε ένωσης είναι σε $g/mole$.
4. Να υπολογίσετε την ενέργεια που παρέχει η καύση του πετρελαίου στο λέβητα (σε KWh) χρησιμοποιώντας το συντελεστή απόδοσης για την ιδανική συνθήκη λειτουργίας του ερωτήματος 2. Θεωρήστε ότι ο λέβητας λειτουργεί 8 ώρες και το «μπεκ» του καυστήρα παρέχει καύσιμο με ρυθμό $1,8$ kg/h. Δίδεται ότι 1 cal= $4,184$ Joule και 1 Wh= 3600 Joule και η θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου ίση με 10250 Kcal/kg.
5. Να υπολογίσετε τους «ενεργειακούς» συντελεστές εκπομπής (e_{ie}) των CO_2 , NO και NO_2 (σε kg ρύπου/KWh παρεχόμενης ενέργειας μέσω του πετρελαίου) χρησιμοποιώντας τους συντελεστές εκπομπής σε kg ρύπου/tn καυσίμου του ερωτήματος 3 και την παραπάνω τιμή της θερμογόνου δύναμης του πετρελαίου.