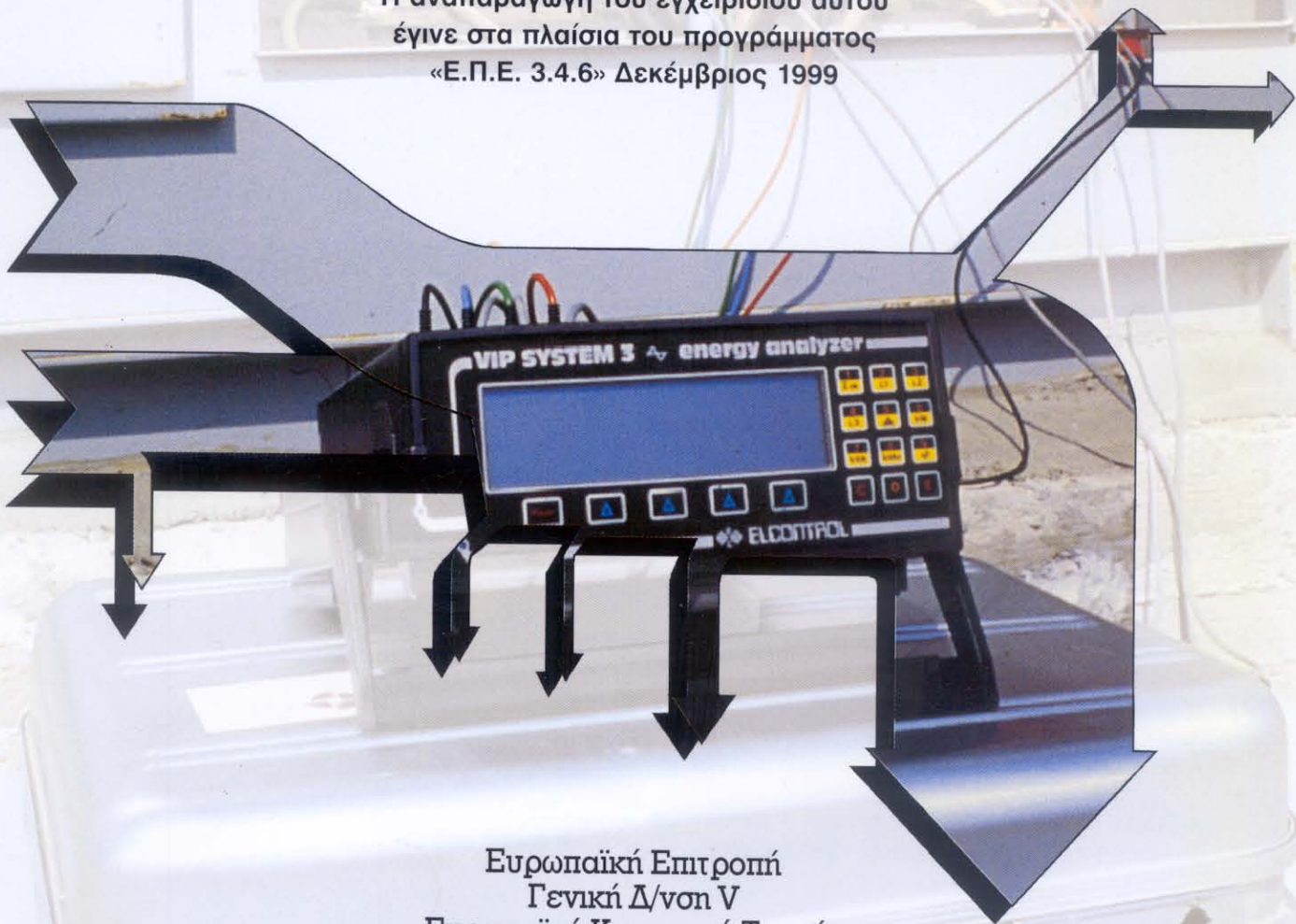




ΚΕΝΤΡΟ  
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ  
ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

# ΟΔΗΓΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η αναπαραγωγή του εγχειριδίου αυτού  
έγινε στα πλαίσια του προγράμματος  
«Ε.Π.Ε. 3.4.6» Δεκέμβριος 1999



Ευρωπαϊκή Επιτροπή  
Γενική Δ/νση V  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

Υπουργείο Εργασίας  
Δ/νση Κοινοτικών Πρωτοβουλιών

# ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΝ

## 1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

### ΣΤΑΔΙΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

- 1. Σχεδιασμός μέτρησης.** Ο σχεδιασμός της μέτρησης περιλαμβάνει την συγκέντρωση όλων των σχετικών τεχνικών στοιχείων που απαιτούνται για την εκτέλεση της μέτρησης. Τα στοιχεία αυτά είναι: τύπος λέβητα (ατμολέβητας, ατμογεννήτρια, λέβητας ζεστού νερού), δυναμικότητα του λέβητα σε kW ή kcal, είδος καυσίμου (πετρέλαιο, μαζούτ, φυσικό αέριο) ώρες λειτουργίας, κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα.
- 2. Επίσκεψη στο λεβητοστάσιο.** Κατά την επίσκεψη στο λεβητοστάσιο γίνεται η πιστοποίηση των τεχνικών στοιχείων των λεβήτων και διερευνάται η δυνατότητα μέτρησης, δηλαδή, εύκολη πρόσβαση στην καμινάδα, ύπαρξη οπής στο σωστό σημείο της καμινάδας για την εισαγωγή του ακροστοιχείου δειγματοληψίας του αναλυτή καυσαερίων.
- 3. Προετοιμασία μέτρησης.** Πριν από την εκτέλεση της μέτρησης θα πρέπει ο λέβητας να έχει λειτουργήσει για τόση ώρα έτσι ώστε να έχει φθάσει σε κανονική θερμοκρασία λειτουργίας.
- 4. Επιλογή σημείου δειγματοληψίας.** Η επιλογή του κατάλληλου σημείου δειγματοληψίας γίνεται σύμφωνα με το Ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 896 «Μέθοδοι δειγματοληψίας καυσαερίων». Σύμφωνα με το πρότυπο το σημείο δειγματοληψίας θα πρέπει να βρίσκεται στο σημείο της καμινάδας με την καλύτερη ανάμειξη των καυσαερίων, επίσης θα πρέπει να αποφεύγονται περιοχές με εισαγωγή αέρα όπως οι θυρίδες, κοντά σε θυρίδες, πριν ή μετά από γωνίες της καπνοδόχου.
- 5. Μέτρηση απόδοσης καύσης και ανάλυσης καυσαερίων.** Η μέτρηση της απόδοσης καύσης του λέβητα καθώς και της ανάλυσης των καυσαερίων γίνεται με τον αναλυτή καυσαερίων. Το ακροφύσιο δειγματοληψίας

εισάγεται στην καμινάδα και το άκρο του πρέπει να βρίσκεται στο μέσο της ροής των καυσαερίων (μέσο της καπνοδόχου). Αυτό επιτυγχάνεται με τους σύγχρονους αναλυτές καυσαερίων λόγω του ότι ο πυρήνας της ροής των καυσαερίων έχει την μεγαλύτερη θερμοκρασία, έτσι μπορούμε μέσω της ένδειξης της θερμοκρασίας στην οθόνη να προσδιορίσουμε το ακριβές σημείο. Εφ' όσον επιτευχθεί η σωστή δειγματοληψία τα καυσαέρια αναλύονται από τον αναλυτή καυσαερίων και υπολογίζεται η απόδοση καύσης του καθώς επίσης υπολογίζεται η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>x</sub>. Σήμερα οι αναλυτές καυσαερίων που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της απόδοσης των λέβητων είναι ηλεκτρονικά όργανα και πλήρως αυτοματοποιημένα, έτσι ώστε όταν επιτευχθεί σωστή δειγματοληψία, η απόδοση του λέβητα και η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>x</sub> διαβάζεται στην οθόνη των αναλυτών καυσαερίων. Ο αναλυτής καυσαερίων έχει την δυνατότητα να δίνει στιγμιαίες μετρήσεις, όπως επίσης και την μέση τιμή των μετρήσεων για το χρονικό διάστημα που θα παραμείνει συνδεδεμένος με τον λέβητα. Το ΚΑΠΕ έχει στην διάθεση του 3 αναλυτές καυσαερίων : 2 EUROTRON GREENLINE και 1 RBR ECOM-PLUS.

6. **Επεξεργασία αποτελεσμάτων μέτρησης.** Οι μετρήσεις απόδοσης καύσης επεξεργάζονται και υπολογίζεται η μέση απόδοση καύσης του λέβητα για το χρονικό διάστημα που έμεινε συνδεδεμένος ο αναλυτής καυσαερίων στον λέβητα.
7. **Μέτρηση προσδιορισμού του δείκτη αιθάλης.** Η μέτρηση του δείκτη αιθάλης των καυσαερίων του καυστήρα γίνεται με τον αναλυτή καυσαερίων. Η διαδικασία που ακολουθείται γίνεται σύμφωνα με το Ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 525.1 «Ελεγχος των καυσαερίων σε εστίες πετρελαίου - προσδιορισμός του δείκτη αιθάλης». Εφ' όσον επιτευχθεί η σωστή δειγματοληψία, ο δείκτης αιθάλης προσδιορίζεται από τον αναλυτή καυσαερίων. Οι αναλυτές καυσαερίων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του δείκτη αιθάλης των καυσαερίων είναι ηλεκτρονικά όργανα και πλήρως αυτόματοποιημένα, οπότε τοποθετώντας το ειδικό χάρτινο φίλτρο στο ακροστοιχείο δειγματοληψίας του αναλυτή καυσαερίων παίρνουμε κατευθείαν την μέτρηση του δείκτη αιθάλης συγκρίνοντας το με το πρότυπο έντυπο της κλίμακας Bacharach. Οι μετρήσεις προσδιορισμού του δείκτη αιθάλης των καυσαερίων αξιολογούνται οπτικά τοποθετώντας το

χάρτινο ειδικό φίλτρο κάτω από την κλίμακα συγκρίσεως του δείκτη αιθάλης έτσι ώστε η κηλίδα της αιθάλης να καλύπτει τελείως μια σπή της κλίμακας συγκρίσεως. Η πλησιέστερη προς της κηλίδα της αιθάλης σε βαθμό μαυρίσματος επιφάνεια της κλίμακας σύγκρισης, δίνει το δείκτη αιθάλης.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΑΝΑΛΥΤΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	Κύριος λέβητας	Δευτερεύων λέβητας
ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΥΣΗΣ	81,6%	86,9%
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ λ (Περίσσεια Αέρα)	1,94	1,11
ΠΟΣΟΣΤΟ O <sub>2</sub>	10,1%	2,0%
ΠΟΣΟΣΤΟ CO <sub>2</sub>	7,9%	13,8%
ΠΟΣΟΤΗΤΑ CO	0 ppm	0 ppm
ΠΟΣΟΤΗΤΑ NO	63 ppm	102 ppm
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ	284 <sup>0</sup> C	301 <sup>0</sup> C
ΠΟΣΟΤΗΤΑ SO <sub>2</sub>	35 ppm	55 ppm
ΚΑΠΝΟΣ (Κλίμακα Bacharach)	1	5
ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ	19,4%	13,1%

Πίνακας 1. Αποτελέσματα Ανάλυσης Καυσαερίων καυστήρα λέβητα.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΑΝΑΛΥΤΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

### Απόδοση Καύσης (Βαθμός Απόδοσης)

Η απόδοση καύσης εκφράζει το ποσοστό της ενέργειας του καυσίμου που αποδίδεται σαν χρήσιμη θερμική ενέργεια. Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το

ποσοστό από το καύσιμο που καταναλώνεται στο λέβητα, το οποίο αξιοποιείται πράγματι για την παραγωγή ατμού ή την θέρμανση νερού. Ένα μέρος της ενέργειας του καυσίμου μένει ανεκμετάλλευτο α) λόγω απαγωγής των θερμών καυσαερίων στο περιβάλλον, β) λόγω ατελούς καύσης γ) λόγω θέρμανσης κάποιας ποσότητας αέρα. και δ) λόγω απωλειών από τα τοιχώματα του λέβητα. Η τιμή της απόδοσης καύσης επηρεάζεται από όλα τα χαρακτηριστικά της καύσης και αποτελεί τον πιο αποτελεσματικό δείκτη για την πιστοποίηση της καλής λειτουργίας του καυστήρα. Κατά συνέπεια η απόδοση καύσης πρέπει να πλησιάζει την τιμή 100.

### **Θερμοκρασία καυσαερίων**

Οι απώλειες θερμότητας από τα καυσαέρια είναι οι μεγαλύτερες και οι σημαντικότερες από τις συνολικές απώλειες ολόκληρου του συστήματος. Οι απώλειες από τα καυσαέρια είναι όμως, τις περισσότερες φορές, αυτές που ευκολότερα μπορούν να ελεγχθούν και να περιοριστούν με απλή ρύθμιση της αναλογίας αέρα/ καυσίμου που χρησιμοποιείται στο λέβητα.

Η θερμοκρασία απαγωγής των καυσαερίων πρέπει να είναι πάνω από μία τέτοια θερμοκρασία έτσι ώστε να αποφεύγονται οι συμπυκνώσεις των καυσαερίων που οδηγούν σε διαβρώσεις και επίσης όχι πολύ υψηλή για να μην αυξάνονται οι θερμικές απώλειες των καυσαερίων.

Διαβρώσεις δημιουργούνται από την συμπύκνωση της υγρασίας η οποία με το τριοξείδιο του Θείου ( $\text{SO}_3$ ) που περιέχεται στα καυσαέρια δημιουργεί θειικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Το τριοξείδιο του Θείου ( $\text{SO}_3$ ) παράγεται από την καύση του θείου προς διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), το οποίο με την περίσσεια αέρα οξειδώνεται προς τριοξείδιο ( $\text{SO}_3$ ). Για παράδειγμα αν θεωρήσουμε μια περιεκτικότητα του μαζούτ σε θείο 4% (που είναι σήμερα για την Ελλάδα η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα θείου στο μαζούτ 350<sup>0</sup>) η θερμοκρασία καυσαερίων στην οποία αρχίζει συμπύκνωση (σημείο δρόσου) είναι 163<sup>0</sup>C. Παράλληλα η ελάχιστη θερμοκρασία που επιτρέπεται να έχουν οι μεταλλικές επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τα καυσαέρια είναι 120<sup>0</sup>C.

Η υπερβολικά υψηλή θερμοκρασία καυσαερίων οφείλεται κυρίως σε κακές συνθήκες λειτουργίας του λέβητα οι οποίες οφείλονται κυρίως:

- Στην πολύ μικρή ή μεγάλη περίσσεια αέρα καύσης.

- Στις αποθέσεις πάνω στους αυλούς είτε από την πλευρά του νερού είτε από την πλευρά της καύσης.
- Στην λειτουργία του λέβητα σε μεγαλύτερο από το κανονικό φορτίο.
- Στην κακή ρύθμιση του καυστήρα ή χρησιμοποίηση ακατάλληλου καυστήρα για τον υπάρχοντα τύπο λέβητα και καυσίμου.

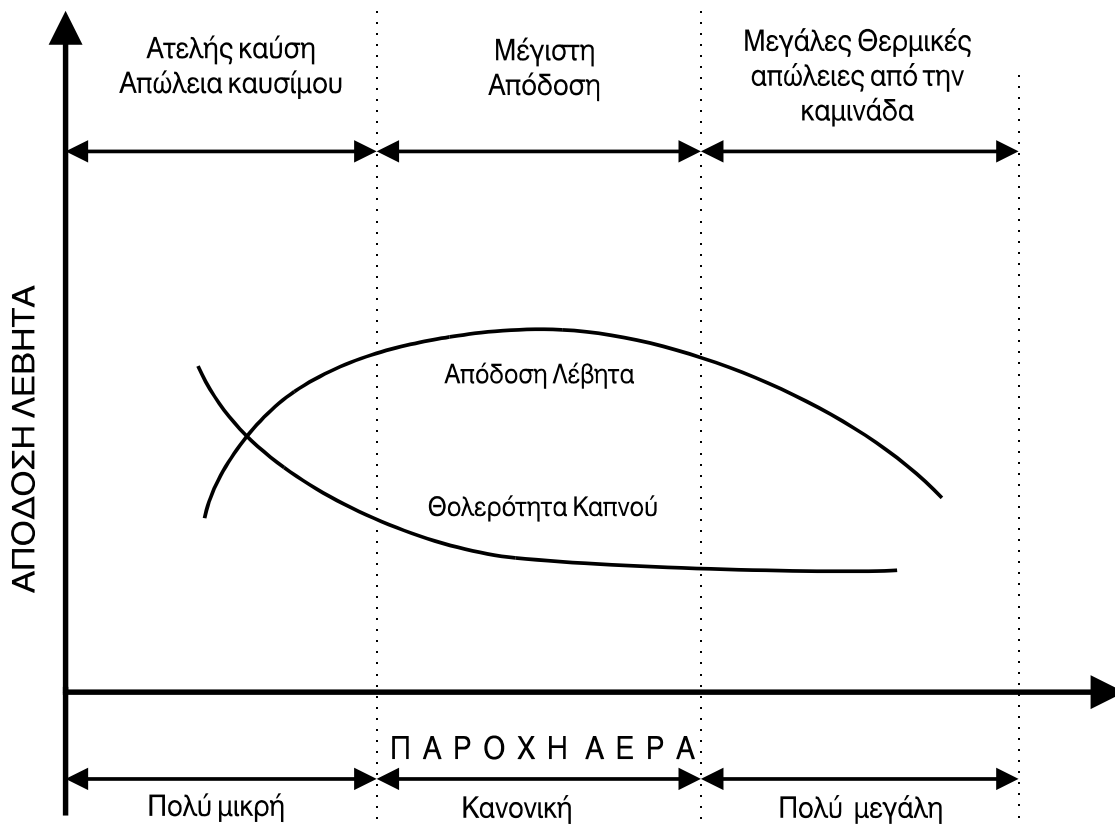
## **Συντελεστής Lambda (Περίσσεια αέρα)**

Είναι ο λόγος του παρεχόμενου αέρα στον καυστήρα προς τον στοιχειομετρικά απαιτούμενο για ιδανική καύση.

Στοιχειομετρική καύση έχουμε όταν όλος ο άνθρακας, το υδρογόνο και το θείο του καυσίμου καίγονται προς διοξείδιο του άνθρακος, νερό και διοξείδιο του θείου με το ελάχιστο ποσό οξυγόνου. Για τον συνήθη τύπο μαζούτ η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για στοιχειομετρική καύση είναι περίπου 3,2 Kg οξυγόνου ανά Kg καυσίμου. Επειδή όμως ο αέρας περιέχει 21% κατ' όγκο (ή 23% κατά βάρος οξυγόνο), απαιτούνται θεωρητικά 13,8 Kg αέρα/ Kg καυσίμου. Όλη η ποσότητα του οξυγόνου καίγεται κατά την διάρκεια της καύσης ενώ το άζωτο απομακρύνεται προς την καμινάδα αφού προηγουμένως θερμανθεί απάγοντας έτσι σημαντικά ποσά θερμότητας προς το περιβάλλον.

Για να γίνει πλήρης καύση θα πρέπει να υπάρχει πλήρης ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα, έτσι ώστε κάθε μόριο καυσίμου να έλθει σε επαφή με κάθε μόριο οξυγόνου και να ενωθούν. Όμως τόσο τέλεια ανάμιξη καυσίμου με οξυγόνο στην πράξη είναι αδύνατη. Για το λόγο αυτό θα πρέπει στον χώρο καύσης να υπάρχει περισσότερο οξυγόνο από το θεωρητικά απαιτούμενο στοιχειομετρικό για να επιτευχθεί πλήρης καύση. Διαφορετικά η καύση θα είναι ατελής με αποτέλεσμα την παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα ή και απαγωγή άκαυστου καυσίμου υπό μορφή αιθάλης.

Λέγεται ότι υπάρχει 20% περίσσεια αέρα ή ο συντελεστής Lambda είναι 1,20 όταν η ποσότητα του αέρα που παρέχεται στον λέβητα είναι κατά 20% μεγαλύτερη από αυτήν που απαιτείται θεωρητικά. Το οξυγόνο της περίσσειας αέρα δεν λαμβάνει μέρος στην καύση αλλά απάγεται από τον λέβητα με τα καυσαέρια, αφού προηγουμένως θερμανθεί.



Διάγραμμα 1. Σχέση παροχής αέρα προς την απόδοση του λέβητα και την θολερότητα των καυσαερίων.

Το ποσοστό της περίσσειας αέρα παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του λέβητα. Όταν υπάρχει μικρή περίσσεια αέρα η καύση είναι ατελής υπάρχει απώλεια καυσίμου και ο λέβητας “καπνίζει” ενώ αντίθετα όσο μεγαλύτερη είναι η περίσσεια αέρα τόσο περισσότερος αέρας περνάει από τον θάλαμο καύσης προς την καμινάδα και τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα θερμότητας που απάγεται προς το περιβάλλον. Και στις δύο περιπτώσεις η απόδοση του λέβητα είναι μειωμένη.

Η ατελής καύση που οφείλεται σε παροχή αέρα μικρότερη από την κανονική γίνεται εύκολα αντιληπτή εξαιτίας του καπνού που εκπέμπεται. Επίσης καύση με ποσότητα αέρα μικρότερη από την κανονική, (όπου κανονική εννοούμε την ποσότητα του αέρα που απαιτείται για στοιχειομετρική καύση αυξημένη κατά το ποσό του αέρα που απαιτείται για πλήρη καύση), συνεπάγεται και άλλες λειτουργικές δυσκολίες. Αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος που αρκετοί λέβητες λειτουργούν με μεγάλη περίσσεια αέρα που δίνει διαυγή καυσαέρια και σταθερότερη λειτουργία. Έτσι όμως έχουμε αυξημένες απώλειες και επομένως μικρότερο βαθμό απόδοσης του λέβητα.



## Υπολογισμός περισσειας αέρα

Αν υποθέσουμε ότι το καύσιμο αποτελείται μόνο από άνθρακα και η καύση γίνει μόνο με καθαρό οξυγόνο (όχι αέρα) τότε τα προϊόντα της καύσης (τα καυσαέρια) θα είναι καθαρό διοξείδιο του άνθρακα. Αν η καύση γίνει με την θεωρητική ποσότητα αέρα, τότε το ποσοστό του οξυγόνου στον αέρα θα αντικατασταθεί από το διοξείδιο του άνθρακα, δηλαδή τα καυσαέρια θα περιέχουν κατ' όγκο 21% διοξείδιο του άνθρακα και 79% άζωτο (δεδομένου ότι στην καύση ένας όγκος οξυγόνου δίνει ένα όγκο CO<sub>2</sub>). Αν τώρα, αντί της θεωρητικής ποσότητας του αέρα, χρησιμοποιηθεί κάποια περίσσεια αέρα, τα καυσαέρια αραιώνονται με την περίσσεια αυτή του αέρα και επομένως η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO<sub>2</sub> θα είναι μικρότερη από 21%. Και όσο μεγαλύτερη είναι η περίσσεια αέρα, τόσο μικρότερη θα είναι η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO<sub>2</sub> και τόσο μεγαλύτερη σε O<sub>2</sub>. Αυτό που συμβαίνει με την καύση του καθαρού άνθρακα συμβαίνει και με την καύση οποιουδήποτε καύσιμου.

Για κάθε τύπο καυσίμου, που περιέχει ορισμένη αναλογία άνθρακα προς υδρογόνο, υπάρχει μια μέγιστη περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO<sub>2</sub> που αντιστοιχεί στην καύση με τον θεωρητικά απαιτούμενο αέρα μόνο, δηλαδή με μηδέν περίσσεια αέρα. Στην περίπτωση αυτή η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο είναι επίσης μηδέν. Για το μαζούτ η μέγιστη τιμή CO<sub>2</sub> είναι :

$$CO_{2max} = 15,6\% \text{ κατ' όγκο στα ξηρά καυσαέρια}$$

Έτσι γενικότερα στην καύση οποιουδήποτε καυσίμου όσο η περίσσεια αέρα μεγαλώνει τόσο μικραίνει η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO<sub>2</sub> και τόσο μεγαλώνει η περιεκτικότητά τους σε O<sub>2</sub>. Η περίσσεια του αέρα μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Περίσσεια αέρα \%} = \left[ \frac{CO_2 \text{ max}}{CO_2} - 1 \right] \times 100$$

$CO_{2max}$  = μέγιστη δυνατή περιεκτικότητα κατ' όγκο των ξηρών καυσαερίων σε CO<sub>2</sub> (δηλαδή αυτή που αντιστοιχεί σε μηδέν περίσσεια αέρα)

CO<sub>2</sub> = η περιεκτικότητα των ξηρών καυσαερίων σε CO<sub>2</sub> στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Δηλαδή για μαζούτ (που η μέγιστη περιεκτικότητα των ξηρών καυσαερίων σε CO<sub>2</sub> είναι 15,6%) όταν μετρηθεί CO<sub>2</sub> = 12% τότε η περίσσεια αέρα είναι :

$$\left[ \frac{15,6}{12} - 1 \right] \times 100 = 30, \text{ δηλαδή } 30\%$$

Γενικά κανόνας είναι η μεγιστοποίηση της περιεκτικότητας των καυσαερίων σε διοξείδιο του άνθρακα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η οικονομικότερη περίσσεια αέρα και ο μέγιστος βαθμός αποδόσεως του λέβητα.

Ένας αποτελεσματικός τρόπος για την ρύθμιση της περίσσειας αέρα σε ένα λέβητα είναι να αρχίσουμε με μία σχετικά μικρή περίσσεια αέρα και να την αυξάνουμε διαρκώς όσο η περιεκτικότητα του CO<sub>2</sub> στα καυσαέρια αυξάνεται. Αν η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO<sub>2</sub> αρχίσει να μικραίνει πάλι σημαίνει πως μόλις περάσαμε την βέλτιστη περίσσεια αέρα.

Για να επιτευχθεί ο καλύτερος βαθμός απόδοσης του λέβητα θα πρέπει στα καυσαέρια να μην υπάρχει καθόλου μονοξείδιο του άνθρακα, ενώ συγχρόνως η περιεκτικότητα σε οξυγόνο να είναι όσο το δυνατό μικρότερη και σε διοξείδιο του άνθρακα όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Έτσι η καύση γίνεται με την μικρότερη δυνατή περίσσεια αέρα.

### **Μονοξείδιο του Άνθρακα.**

Είναι η ποσότητα CO που περιέχεται στα καυσαέρια σαν προϊόν ατελούς καύσης. Η τιμή της δίνεται σε μέρη όγκου ανά εκατομμύριο (Parts Per Million), σε κανονικές συνθήκες (Θερμοκρασία 0<sup>0</sup>C και πίεση 1 Atm) και πρέπει να είναι ελάχιστη. Όταν τα καυσαέρια περιέχουν:

- CO ή καπνό, χωρίς οξυγόνο σημαίνει ότι γίνεται ατελής καύση λόγω μικρής παροχής αέρα στον θάλαμο καύσης.
- CO ή καπνό, και συγχρόνως οξυγόνο μπορεί να οφείλεται σε δύο αίτιες:
  1. Κανονική παροχή αέρα στον θάλαμο καύσης αλλά κακή ανάμιξη αέρα-καυσίμου.
  2. Μικρή παροχή αέρα στον θάλαμο καύσης, ενώ συγχρόνως εισροή δευτερογενή αέρα από διαρροές λόγω της υποπίεσης στον θάλαμο καύσης.

## **Αιθάλη (Καπνός)**

Εκφράζει την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε άκαυστο καύσιμο και μετράται σε μονάδες της κλίμακας Bacharach. Η τιμή του θα πρέπει να πλησιάζει το 0 της κλίμακας. Σε αντίθετη περίπτωση ισχύει ότι και στην περίπτωση που το CO είναι αυξημένο.

## **Ποσότητα Οξειδίων Αζώτου**

Είναι η ποσότητα NO που περιέχεται στα καυσαέρια εκφρασμένη σε ppm, σε κανονικές συνθήκες. Η τιμή του εξαρτάται από την περίσσεια αέρα και την θερμοκρασία καυσαερίων. Πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη.

## **Ποσότητα Διοξειδίου του Θείου**

Είναι η ποσότητα SO<sub>2</sub> που περιέχεται στα καυσαέρια, εκφρασμένη σε ppm. Η τιμή του εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα θείου στο καύσιμο και θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη.

## **Θερμικές Απώλειες Καύσης**

Είναι το ποσοστό της Θερμικής ενέργειας του καυσίμου που δεν αξιοποιείται. Η τιμή του προκύπτει σαν (100 - Θερμική Απόδοση Καύσης) και θα πρέπει να πλησιάζει το 0.

## **ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

Στον πίνακα 1 όπου αναγράφονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του καυστήρα του λέβητα παρατηρούμε τα εξής:

-Η απόδοση καύσης είναι υψηλή και στον κύριο λέβητα και κανονική στο δεύτερο λέβητα.

-Η περίσσεια αέρα είναι κανονική προς σχετικά μικρή ( $\lambda=1,11$ ) στον κύριο λέβητα που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα καλής λειτουργίας τους λέβητα, ενώ στον δεύτερο λέβητα είναι πολύ υψηλή ( $\lambda=1,94$ ) με αποτέλεσμα να θερμαίνεται άσκοπα ποσότητα αέρα.

-Η ποσότητα οξυγόνου είναι κανονική προς χαμηλή στον κύριο λέβητα, ενώ στον δεύτερο λέβητα είναι υψηλή πράγμα που σημαίνει άσκοπη θέρμανση περιττού αέρα.

-Η ποσότητα CO είναι πολύ χαμηλή και στους δύο λέβητες πράγμα που σημαίνει ότι η ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα είναι πολύ καλή.

-Η αιθάλη (καπνός) είναι ελάχιστη και στους δύο λέβητες παράγοντας πολύ σημαντικός για την ποιότητα καύσης και των δύο λεβήτων.

-Η θερμοκρασία καυσαερίων είναι ιδιαίτερα υψηλή στο κύριο λέβητα γεγονός που πρέπει να μας προβληματίσει για τα αίτια, ενώ στον δεύτερο είναι σχετικά κανονική (λίγο υψηλή)

Προτείνεται στην συγκεκριμένη περίπτωση να γίνουν τα εξής:

- Να αυξηθεί η περίσσεια αέρα ( $\lambda$ ) του κύριου λέβητα στα κανονικά επίπεδα 1,2 - 1,3 και να μελετηθεί η επίπτωση της ρύθμισης στην θερμοκρασία καυσαερίων και την απόδοση καύσης.
- Να μειωθεί η περίσσεια αέρα του δεύτερου λέβητα κάτι το οποίο θα πρέπει να αυξήσει την αποδοτικότητα της καύσης.

## **2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΚΑΜΕΡΑΣ**

### **ΣΤΑΔΙΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ**

1. **Σχεδιασμός μέτρησης.** Ο σχεδιασμός της μέτρησης αφορά την επαφή με τον υπεύθυνο μηχανικό για τον προσδιορισμό της ημερομηνίας μέτρησης, τον προσδιορισμό των σημείων μέτρησης, δηλαδή σε ποιους αγωγούς μεταφοράς θερμών υγρών ή ατμού θα εκτελεστούν θερμογραφήματα για τον προσδιορισμό της μονώσης των καθώς επίσης και σε τυχόν υπάρχοντες φούρνους ή λεβητες. Επίσης γίνεται συγκέντρωση όλων των σχετικών στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά είναι : αριθμός φούρνων ή λεβήτων, θερμοκρασία έψησης ή καύσης αντίστοιχα, πάχος και υλικό μόνωσης. Επίσης όσον αφορά τους αγωγούς μεταφοράς θερμών υγρών ή ατμού την διάμετρο των αγωγών, το πάχος και το υλικό της μόνωσης, τα συνολικά μέτρα των αγωγών καθώς και την θερμοκρασία του υγρού ή ατμού.

Επίσης όταν πρόκειται για την αποτύπωση της θερμικής συμπεριφοράς του κελύφους ενός κτιρίου (τοίχων, παραθύρων, κ.α.) καταγράφεται το υλικό κατασκευής τους (μπετόν, τούβλα, μόνωση, επίχρισμα, τύπος κουφωμάτων, χρήση μονών ή διπλών υαλοπινάκων) και γενικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

**2. Επίσκεψη στον χώρο μέτρησης.** Κατά την επίσκεψη στους χώρους μέτρησης διερευνάται η δυνατότητα θερμογράφησης των αγωγών και των επιφανειών των λεβήτων και φούρνων, δηλαδή αν υπάρχει κατάλληλος χώρος για την διέλευση του χειριστή με την θερμογραφική κάμερα κοντά από τις προς μέτρηση επιφάνειες και αγωγούς.

Για την θερμογράφηση του κελύφους επιλέγεται μια μέρα που να είναι κρύα και συννεφιασμένη για την αποφυγή της θέρμανσης των τοίχων από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Η διαδικασία που ακολουθείται γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο του ΕΛΟΤ 1364 «Θερμομόνωση - ανίχνευση ανομοιομορφιών σε κελύφη κτιρίων - μέθοδος υπέρυθρων ακτίνων»

**3. Προετοιμασία μέτρησης.** Όπως ειπώθηκε τα θερμογραφήματα δημιουργούνται με την θερμογραφική κάμερα. Η θερμογραφική κάμερα ανιχνεύει την υπέρυθρη ακτινοβολία από την προς θερμογράφηση επιφάνεια και μετρά την θερμοκρασία της επιφανείας. Πριν την θερμογράφηση θα πρέπει οι λέβητες και οι φούρνοι να λειτουργούν στις συνήθεις θερμοκρασίες λειτουργίας τους έτσι ώστε οι μετρήσεις να είναι κατά το δυνατόν αντιπροσωπευτικές. Η θερμογραφική κάμερα θα πρέπει να λειτουργήσει για 5 περίπου λεπτά πριν την θερμογράφηση για να γίνει αυτόματα η βαθμονόμηση της.

Για την θερμογράφηση του κελύφους θα πρέπει η εσωτερική θερμοκρασία να είναι αρκετά μεγαλύτερη από την εξωτερική έτσι ώστε να είναι δυνατόν να εντοπιστούν οι απώλειες θερμότητας από το κέλυφος του κτιρίου καθώς και τα σημεία όπου η υπάρχουσα μόνωση είναι υποβαθμισμένη.

#### Μέτρηση θερμοκρασίας επιφανείας με χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Κάθε σώμα σε μια θερμοκρασία πάνω από τους 0<sup>0</sup>C εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία. Μεταξύ της θερμοκρασίας ενός αντικειμένου και της ποσότητας ενέργειας που ακτινοβολεί, υπάρχει μια σταθερή σχέση. Είναι επομένως πιθανό να επιτευχθεί η ακριβής μέτρηση της θερμοκρασίας του αντικειμένου μετρώντας την ποσότητα της ακτινοβολίας.

Η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι μία μορφή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, άλλες μορφές είναι το ορατό φως, η υπεριώδης ακτινοβολία, ακτίνες γ και μικροκύματα.

Όταν η θερμοκρασία του προς θερμογράφιση αντικειμένου αυξάνεται, δύο σημαντικά πράγματα συμβαίνουν. Κατ' αρχάς, η ποσότητα της ακτινοβολουμένης ενέργειας από την επιφάνεια του αντικειμένου αυξάνεται υπερβολικά γρήγορα και δεύτερον, η συγκέντρωση της ενέργειας είναι μεγαλύτερη στα μικρά μήκη κύματος. Η γνώση αυτού του αποτελέσματος μας επιτρέπει να καθιερώσουμε ακριβής κανόνες εφαρμογής. Για παράδειγμα, ένα όργανο ανίχνευσης υπέρυθρης ακτινοβολίας, το οποίο είναι ευαίσθητο μόνο στα μικρά μήκη κύματος χρησιμοποιείται για μετρήσεις επιφανειών υψηλής θερμοκρασίας. Για μετρήσεις επιφανειών χαμηλής θερμοκρασίας το όργανο ανίχνευσης υπέρυθρης ακτινοβολίας πρέπει να είναι ευαίσθητο σε μεγαλύτερα μήκη κύματος αφού η περισσότερη ακτινοβολουμένη ενέργεια είναι συγκεντρωμένη στην περιοχή αυτή.

Ο σκοπός του οπτικού συστήματος είναι να συλλέγει και να εστιάζει την εισερχόμενη υπέρυθρη ακτινοβολία από τον σένσορα με την μικρότερη δυνατή απώλεια μετάδοσης. Η υπέρυθρη ακτινοβολία, αφού περάσει το οπτικό σύστημα εστιάζεται στην ευαίσθητη περιοχή του σένσορα. Ο σένσορας μετατρέπει την υπέρυθρη ακτινοβολία σε ένα ηλεκτρικό σήμα που απαιτεί να ενισχυθεί και να διαμορφωθεί σε μια τελική ανάγνωση θερμοκρασίας.

Ικανότητα ακτινοβολίας. Τα χαρακτηριστικά των υλικών, ειδικά σε σχέση προς την ικανότητα των υλικών να απορροφούν, να μεταδίδουν ή να αντανακλούν υπέρυθρη ακτινοβολία, οδηγούν στην ικανότητα ακτινοβολίας των υλικών.

Η ικανότητα ακτινοβολίας των προς θερμογράφιση υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή των κτιρίων είναι :

σοβάς	:	0,910
τούβλα	:	0,930
Γυαλί	:	0,940
Μάρμαρο	:	0,930
Χρώματα	:	0,920-0,960

4. **Δημιουργία θερμογραφημάτων.** Η δημιουργία των θερμογραφημάτων γίνεται με την απλή σκόπηση του scanner της θερμοκάμερας προς την προς εξέταση επιφάνεια και στην συνέχεια αποθηκεύεται σε μαγνητική δισκέττα.
5. **Επεξεργασία θερμογραφημάτων.** Τα αποθηκευμένα στη δισκέττα θερμογραφήματα επεξεργάζονται σε Η/Υ και εκτυπώνονται σε έγχρωμο εκτυπωτή.

## Παράδειγμα

### ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΤΜΟΥ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Έγιναν μετρήσεις με την θερμογραφική κάμερα στο δίκτυο μεταφοράς ατμού (λέβητας - «κάσα» - ατμοστρόβιλοι - παραγωγή) και στις μονάδες παραγωγής. Οι μετρήσεις είχαν στόχο μία ενδεικτική αποτύπωση της παρούσας κατάστασης του δικτύου μεταφοράς ατμού. Τα θερμογραφήματα προσφέρουν την πληροφορία με την οποία μπορεί κανείς στην συνέχεια να αποφασίσει για τυχόν επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας με την αντικατάσταση των υπάρχουσών μονώσεων.

Αν πάρουμε το Θερμογράφημα 1 σαν παράδειγμα με τα ακόλουθα δεδομένα:

Εσωτερική διάμετρος σωλήνα	$d_i = 130 \text{ mm}$
Εξωτερική διάμετρος μόνωσης (πάχος 120 mm)	$d_a = 380 \text{ mm}$
Μήκος συγκεκριμένου σωλήνα	$l = 0,8 \text{ m}$
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μόνωσης	$\lambda = 0,12 \text{ W/mK}$
Θερμοκρασία επιφανείας μόνωσης (μέτρηση μέσης τιμής θερμοκρασίας με την κάμερα)	$\theta_o = 65 \text{ }^\circ\text{C}$
Θερμοκρασία ατμού	$\theta_F = 450 \text{ }^\circ\text{C}$

Παραλείποντας την θερμική αντίσταση ατμού - σωλήνα καθώς και το πάχος του σωλήνα οι απώλειες προσδιορίζονται από την εξίσωση:

$$\phi / l = \frac{\theta_F - \theta_o}{1 / \Lambda_R}$$

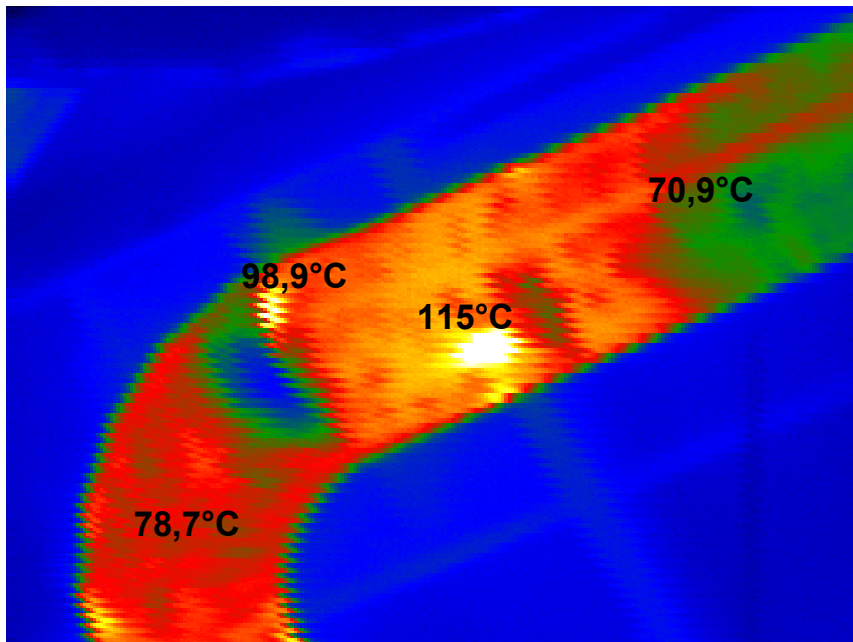
ο συντελεστής θερμικής αντίστασης του σωλήνα είναι:

$$\frac{1}{\Lambda_R} = \frac{\ln(d_a - d_i)}{2\pi\lambda}$$

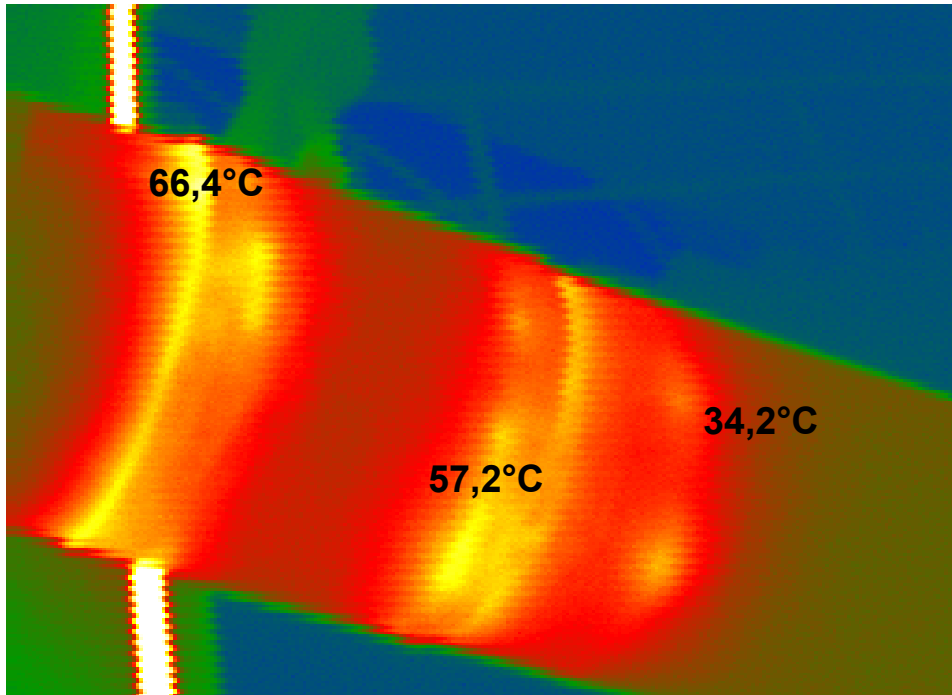
άρα οι απώλειες του συγκεκριμένου τμήματος με ετήσια διάρκεια λειτουργίας του εργοστασίου 2500 h είναι **542,5 kWh**.

Με θερμογόνο δύναμη του μαζούτ 3500, 9600 kcal/kg οι απώλειες σε καύσιμο είναι **49 kg** μαζούτ ετησίως για το συγκεκριμένο τμήμα σωλήνα.

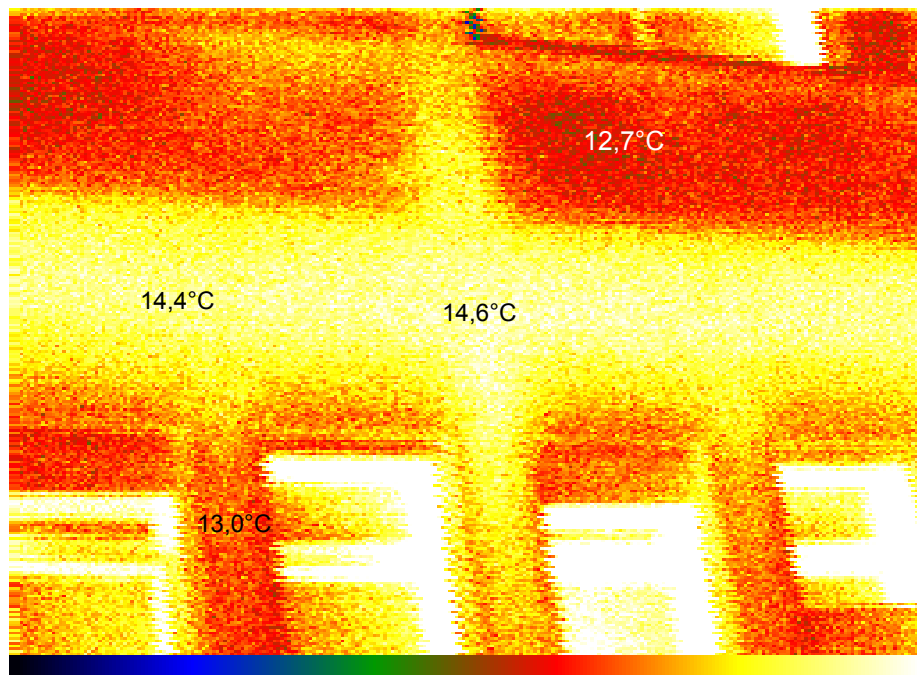




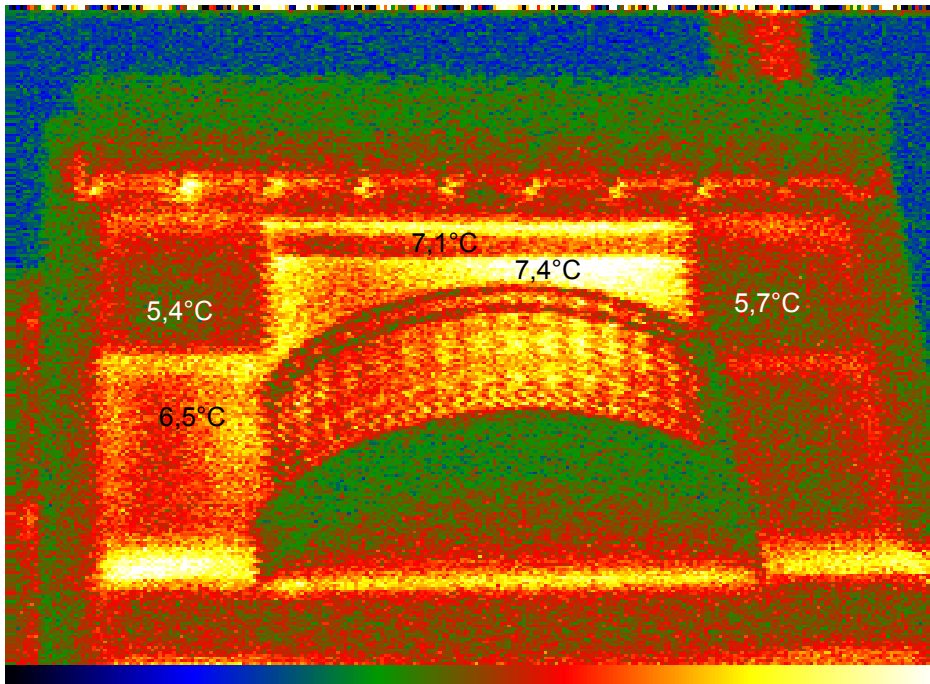
**ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΤΜΟΥ**



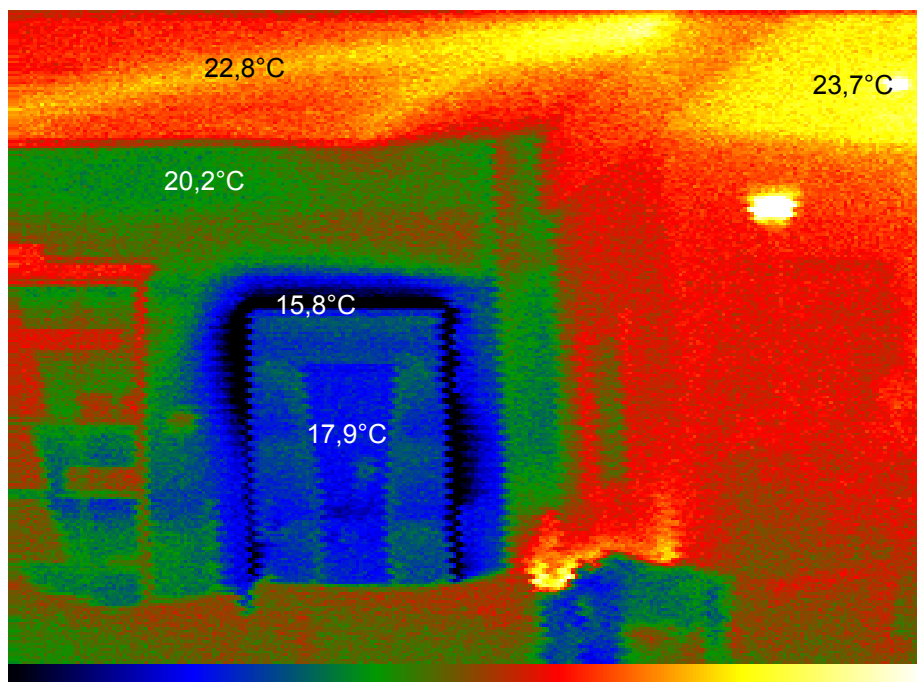
**ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ ΑΤΜΟΥ**



ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΟΨΗΣ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ



ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΟΨΗ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑΣ



ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

### **3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ**

#### **ΣΤΑΔΙΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ**

- 1. Σχεδιασμός μέτρησης.** Ο σχεδιασμός της μέτρησης αφορά την επαφή με τον υπεύθυνο μηχανικό για τον προσδιορισμό της ημερομηνίας μέτρησης, τον προσδιορισμό των σημείων μέτρησης, δηλαδή σε ποια ηλεκτρικά μηχανήματα θα συνδεθεί ο αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας (αεροσυμπιεστές, κάποια σημαντικά και ενεργοβόρα μηχανήματα ή και όλων των μηχανημάτων). Επίσης γίνεται συγκέντρωση όλων των σχετικών στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά είναι : τιμολόγια ηλεκτρικού ρεύματος όπου αναγράφονται ο τύπος του τιμολογίου (B1, B2, Γ22) η εγκατεστημένη ισχύς, το συνφ, η Καταγραφείσα Μεγίστη Ζήτηση και η κατανάλωση της συγκεκριμένης χρονικής περιόδου.
- 2. Επίσκεψη στον χώρο μέτρησης και στον υποσταθμό Η/Ε.** Κατά την επίσκεψη στους χώρους μέτρησης διερευνάται η δυνατότητα μέτρησης, δηλαδή αν είναι εφικτή η σύνδεση του αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας στον υποσταθμό Η/Ε ή στους ηλεκτρικούς πίνακες των προς μέτρηση μηχανημάτων.
- 3. Προετοιμασία μέτρησης.** Κατά την σύνδεση του αναλυτή ηλεκτρικής (των καλωδίων τάσης και των αμπεροτσιμπίδων) στον προς μέτρηση ηλεκτρικό πίνακα θα πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή. Αν είναι δυνατόν να γίνεται προσωρινή διακοπή παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και η σύνδεση του οργάνου να γίνεται, αν είναι δυνατόν, από τον αρμόδιο ηλεκτρολόγο σε συνεργασία με τον εκτελούντα την μέτρηση.
- 4. Συνδεσμολογία.** Η συνδεσμολογία του αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας στον ηλεκτρικό πίνακα περιγράφεται στον εγχειρίδιο του οργάνου (ELCONTROL VIP System 3). Σημαντικό είναι να γίνεται σωστή σύνδεση (στην περίπτωση αυτή ο αναλυτής αναγράφει στην οθόνη Ο.Κ.) του οργάνου έτσι ώστε οι μετρήσεις να είναι αντιπροσωπευτικές. Ο έλεγχος της σωστής συνδεσμολογίας γίνεται αυτόματα από τον αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας.
- 5. Μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών.** Η μέτρηση των ηλεκτρικών μεγεθών όπως ειπώθηκε γίνεται με τον αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας. Εφ' όσον επιτευχθεί η σωστή συνδεσμολογία στον ηλεκτρικό πίνακα οι μετρήσεις

διαβάζονται στην οθόνη του οργάνου. Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν: Στιγμιαίες και προγραμματι-σμένης διάρκειας μετρήσεις ανά φάση και στο σύνολο τάσης, έντασης, φαινόμενης αέργου και ενεργού ισχύος, συνφ, ενέργειας. Οι μετρήσεις είναι στιγμιαίες και ανανεώνονται κάθε 20 δευτερόλεπτα, επίσης υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης των μετρήσεων στη μνήμη (memory rack) για μεγάλο χρονικό διάστημα.

6. **Επεξεργασία στοιχείων μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών.** Οι αποθηκευμένες στη μνήμη (memory rack) μετρήσεις αναλύονται και επεξεργάζονται με το λογισμικό πακέτο VIP Utilities 2.0, η λειτουργία του οποίου περιγράφεται στο εγχειρίδιο λειτουργίας VIP System 3 Management Software. Από τα αποτελέσματα αυτά δημιουργούνται γραφήματα στα οποία απεικονίζεται η απορρόφηση ισχύος κατά την χρονική περίοδο της μέτρησης καθώς και η διακύμανση του συνφ. Επίσης αναγράφεται και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε kWh του μετρούμενου μηχανήματος για την συγκεκριμένη χρονική περίοδο καθώς και η άεργος ισχύς ανά φάση και στο σύνολο των τριών φάσεων.

## Παράδειγμα

### ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας συνδέθηκε στον υποσταθμό της ΔΕΗ για τον υπολογισμό της συνολικής κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και του συνημίτονου  $\phi$  από όλα τον εξοπλισμό του νοσοκομείου. Επίσης, διαπιστώθηκαν οι διακυμάνσεις της ισχύος στην διάρκεια του χρόνου μέτρησης. Ο χρόνος των μετρήσεων ήταν περίπου ένα εικοσιτετράωρο..

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται:

- Η ισχύς (KW) που απορροφάται από όλο τον εξοπλισμό του νοσοκομείου καθώς και οι διακυμάνσεις του συνφ.

Παρατηρούμε ότι υπάρχουν έντονες διακυμάνσεις ηλεκτρικής ισχύος κατά την διάρκεια της μέτρησης, συγκεκριμένα η μεγαλύτερη αύξηση ισχύος παρατηρείται τις πρωινές ώρες κυρίως λόγω λειτουργίας των πλυντηρίων και των συσκευών της κουζίνας. Επίσης τις πρωινές ώρες το προσωπικό του νοσοκομείου χρησιμοποιεί για θέρμανση ηλεκτρικές θερμάστρες με

αποτέλεσμα να υπερφορτώνεται το δίκτυο και να εμφανίζονται αιχμές ηλεκτρικής ισχύος.

Το συνφ παρουσιάζει σχετικά μικρές διακυμάνσεις και εμφανίζει τις μικρότερες τιμές (0,75) κατά την διάρκεια της νύκτας κυρίως λόγω των επαγωγικών φορτίων των λαμπτήρων φθορισμού (Διάγραμμα ). Προτείνεται η διόρθωση του συντελεστή ισχύος (συνφ) με την παράλληλη ζεύξη πυκνωτών.

