



Βασικές αρχές καύσης

Σεμινάριο: Ενεργειακός έλεγχος λεβήτων
& εγκαταστάσεων θέρμανσης

Χρήστος Τουρκολιάς- ΚΑΠΕ

15 Οκτωβρίου 2012

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu



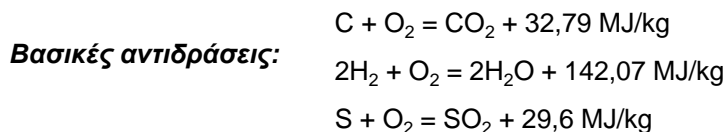
Περιεχόμενα

- Θεωρητικό υπόβαθρο της καύσης
- Ανάλυση καυσαερίων
- Ερμηνεία των μετρούμενων μεγεθών από την ανάλυση καυσαερίων για την αξιολόγηση της διεργασίας της καύσης

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Καύση

- Εξώθερμη χημική αντίδραση κατά την οποία το οξυγόνο αντιδρά με κάποιο είδος καυσίμου εκλύοντας θερμότητα.



- ❑ Το O_2 που απαιτείται λαμβάνεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα (21% O_2 και 79% άζωτο).
- ❑ Αποτελεσματική ανάμειξη του καυσίμου με O_2 .

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Συνιστώσες για την ανάλυση του φαινομένου της καύσης

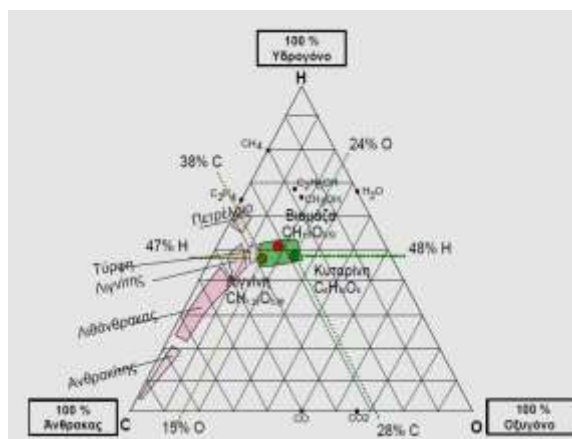
- Ποσοτική και ποιοτική ανάλυση ουσιών και ενώσεων που λαμβάνουν μέρος στο φαινόμενο της καύσης.
 - Στοιχειομετρική ανάλυση
- Υπολογισμός της ταχύτητας της αντίδρασης.



Ανάγκη για λεπτομερή ανάλυση του φαινομένου της καύσης

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Χημική σύσταση καυσίμων



Πηγή: Κακαράς, Σημειώσεις μαθήματος Ατμοπαραγωγή Ι.

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Θερμογόνος δύναμη καυσίμων

- Θερμογόνος δύναμη είναι η ποσότητα θερμότητας που απελευθερώνεται κατά την πλήρη καύση συγκεκριμένης μάζας ενός καυσίμου σε κανονικές συνθήκες.
- Προσδιορισμός μέσω εργαστηριακών μετρήσεων ή από την άθροιση των μερικών ιδιοτήτων των αερίων.

❖ Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (ΑΘΔ)

Συμπεριλαμβάνεται και η θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών που δημιουργήθηκαν κατά την καύση.

❖ Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (ΚΘΔ)

Ισχύει ότι: $AΘΔ > ΚΘΔ$

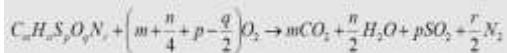
MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Είδη καύσης

- Στοιχειομετρική καύση → Τέλεια καύση του καυσίμου χρησιμοποιώντας ακριβώς την απαιτούμενη ποσότητα O_2 .

- I) Δεν υπάρχει καθόλου O_2 στα προϊόντα της καύσης.
 II) Απαιτείται συνήθως μία επιπλέον ποσότητα αέρα, η οποία ονομάζεται περίσσεια αέρα και εξαρτάται από:
- α) Το είδος του καυσίμου
 - β) Την ποιότητα του καυσίμου
 - γ) Τον βαθμό ανάμιξης καυσίμου - αέρα

Στοιχειομετρική καύση κατά FDBR



MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Είδη καύσης

- Καύση με περίσσεια αέρα → Καύση με ποσότητα O_2 σημαντικά μεγαλύτερη από την απαιτούμενη με αποτέλεσμα στα προϊόντα της καύσης να υπάρχει και O_2 , ενώ μεγαλύτερη είναι η ποσότητα θερμότητας που απάγεται προς το περιβάλλον.
 - ✓ Διαυγή καυσαέρια
- Ατελής καύση → Καύση με ποσότητα O_2 μικρότερη από την απαιτούμενη με αποτέλεσμα στα προϊόντα της καύσης να υπάρχουν C και CO.
 - ✓ Εκπομπή ποσότητας καπνού με τα καυσαέρια

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Παραγόμενη φλόγα ανά είδος καύσης

Στοιχειομετρική καύση



Καύση με περίσσεια O₂



Ατελής καύση



Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Παράδειγμα

- Στοιχειομετρική καύση

$$C_nH_xS_y + O_2 = CO_2 + SO_2 + H_2O + Q_1$$
- Καύση με περίσσεια αέρα

$$C_nH_xS_y + O_2 = CO_2 + SO_2 + H_2O + O_2 + Q_2$$
- Ατελής καύση

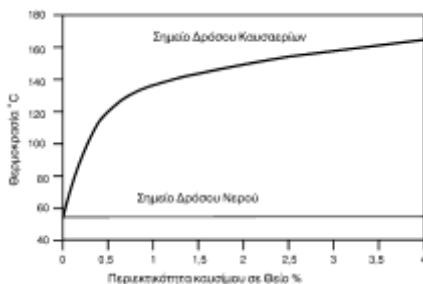
$$C_nH_xS_y + O_2 = CO + SO_2 + H_2O + Q_3$$
- Ατελής καύση

$$C_nH_xS_y + O_2 = C + SO_2 + H_2O + Q_4$$

Ισχύει ότι: $Q_1 > Q_2, Q_3, Q_4$

Σημείο Δρόσου

- Η θερμοκρασία κάτω από την οποία υγροποιούνται τα συστατικά των καυσαερίων.



MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Ανάλυση καυσαερίων

- Έλεγχος της σωστής και αποδοτικής λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης.
- Μέτρηση όλων των απαραίτητων μεγεθών για την αξιολόγηση της διεργασίας της καύσης.
- Απαραίτητο εργαλείο για τη σωστή ρύθμιση του συστήματος παραγωγής θερμότητας.



Πηγή: www.sts.gr



Αναλυτής Καυσαερίων
 Testo 327

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Απόδοση καύσης

- Ποσοστό της ενέργειας του καυσίμου που αποδίδεται σαν χρήσιμη θερμική ενέργεια.
- Αντιπροσωπευτικότερος δείκτης καλής λειτουργίας του λέβητα.
- Ποσοστό της ενέργειας μένει ανεκμετάλλευτο εξαιτίας:
 - Απαγωγής θερμών καυσαερίων στο περιβάλλον
 - Ατελούς καύσης
 - Θέρμανσης κάποιας ποσότητας αέρα
 - Απωλειών από τοιχώματα του λέβητα



Τιμή απόδοσης καύσης → 100%

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Θερμοκρασία καυσαερίων

- Η θερμοκρασία των καυσαερίων σχετίζεται με τις συνολικές θερμικές απώλειες.
- Ρύθμιση της αναλογίας αέρα/καυσίμου.

Η θερμοκρασία απαγωγής των καυσαερίων πρέπει να έχει συγκεκριμένη τιμή ώστε να αποφεύγονται οι συμπυκνώσεις των καυσαερίων που οδηγούν σε διάβρωση και ταυτόχρονα να μην αυξάνονται οι θερμικές απώλειες.



Αποδεκτά όρια θερμοκρασίας καυσαερίων: 180-250°C.

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Υπερβολικά υψηλή θερμοκρασία καυσαερίων

- 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.

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Συντελεστής Lambda

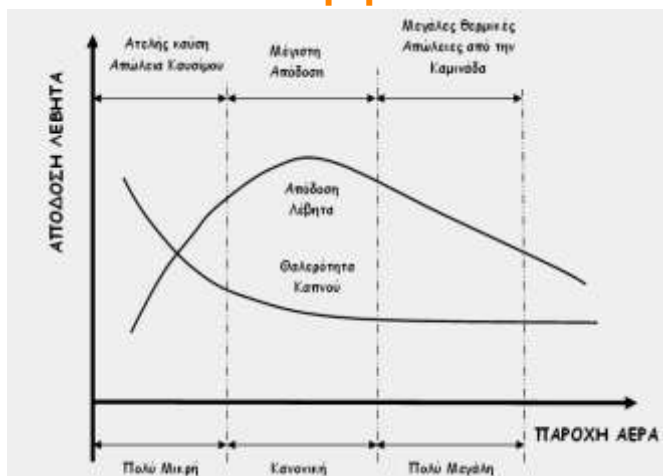
- Ο λόγος του παρεχόμενου αέρα στον καυστήρα προς τον στοιχειομετρικά απαιτούμενο για ιδανική καύση.
- πχ. Ο συντελεστής Lambda είναι 1,20 όταν η ποσότητα του αέρα που παρέχεται στον λέβητα είναι κατά 20% μεγαλύτερη από αυτήν που απαιτείται θεωρητικά.



Τυπικές τιμές συντελεστή Lambda: 1,20-1,30.

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Σχέση παροχής αέρα προς την απόδοση λέβητα



MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Υπολογισμός περίσσειας αέρα

- Στην καύση οποιουδήποτε καυσίμου όσο η περίσσεια αέρα μεγαλώνει τόσο μικραίνει η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO₂ και τόσο μεγαλώνει η περιεκτικότητά τους σε O₂.

$$\text{Περίσσεια αέρα \%} = [(CO_2\text{max}/CO_2) - 1] \cdot 100\%$$

CO₂max = Η μέγιστη δυνατή περιεκτικότητα κατ' όγκο των καυσαερίων σε CO₂ (δηλαδή αυτή που αντιστοιχεί σε μηδέν περίσσεια αέρα)

CO₂ = Η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO₂ στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Παράδειγμα υπολογισμού περίσσειας αέρα

- Για την περίπτωση μαζούτ η μέγιστη περιεκτικότητα των ξηρών καυσαερίων σε CO₂ είναι 15,6%.
- Εάν μετρηθεί ότι η πραγματική περιεκτικότητα ισούται με CO₂=12%, η περίσσεια υπολογίζεται:

$$\text{Περίσσεια αέρα \%} = [(15,6\%/12\%)-1] \cdot 100 \% = 30\%$$

Περίσσεια αέρα

- Μεγιστοποίηση της περιεκτικότητας των καυσαερίων σε CO₂ έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η οικονομικότερη περίσσεια αέρα και ο μέγιστος βαθμός απόδοσης του λέβητα.
- Ρύθμιση της περίσσειας αέρα σε ένα λέβητα με την εισαγωγή μιας μικρής περίσσειας αέρα αρχικά και στη συνέχεια αυξάνουμε σταδιακά όσο η περιεκτικότητα του CO₂ στα καυσαέρια αυξάνεται.
- Για να επιτευχθεί ο καλύτερος βαθμός απόδοσης του λέβητα θα πρέπει στα καυσαέρια να μην υπάρχει καθόλου CO, ενώ συγχρόνως η περιεκτικότητα σε O₂ να είναι όσο το δυνατό μικρότερη και σε CO₂ όσο το δυνατόν μεγαλύτερη.

Υπολογισμός CO₂

- Ποσοστό CO₂ που περιέχεται στα καυσαέρια (%).
- Όταν η περιεκτικότητα CO₂ στα καυσαέρια είναι μειωμένη τότε υπάρχει μεγάλη περίσσεια αέρα.
 - ✓ Μείωση παροχής αέρα
 - ✓ Μέτρηση δείκτη αιθάλης



Προτεινόμενες τιμές ποσοστού CO₂ → 10-13%

Υπολογισμός CO

- Ποσότητα CO που περιέχεται στα καυσαέρια σαν προϊόν ατελούς καύσης (ppm).
- Όταν τα καυσαέρια περιέχουν CO ή καπνό χωρίς O₂
 - Ατελής καύση λόγω μικρή παροχής αέρα στον θάλαμο καύσης
- Όταν τα καυσαέρια περιέχουν CO ή καπνό με O₂
 - Κανονική παροχή αέρα αλλά κακή ανάμειξη αέρα-καυσίμου
 - Μικρή παροχή αέρα και ταυτόχρονα εισροή δευτερογενούς αέρα από διαρροές λόγω της υποπίεσης στον θάλαμο καύσης



Τιμή ποσότητας CO → Όσο το δυνατόν μικρότερη

Υπολογισμός αιθάλης (καπνού)

- Περιεκτικότητα των καυσαερίων σε άκαυστο καύσιμο (μονάδες κλίμακας Bacharach).
- Παράγοντες που επηρεάζουν:
 - Περίσσεια αέρα



Τιμή ποσότητας αιθάλης → Κλίμακα 0

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Υπολογισμός NOx

- Ποσότητα NOx που περιέχεται στα καυσαέρια (ppm).
- Παράγοντες που επηρεάζουν:
 - Περίσσεια αέρα
 - Θερμοκρασία καυσαερίων



Τιμή ποσότητας NOx → Όσο το δυνατόν μικρότερη

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Υπολογισμός SO₂

- Ποσότητα SO₂ που περιέχεται στα καυσαέρια (ppm).
- Παράγοντες που επηρεάζουν:
 - Περικεκτικότητα θείου στο καύσιμο



Τιμή ποσότητας SO₂ → Όσο το δυνατόν μικρότερη

Θερμικές απώλειες καύσης

- Ποσοστό θερμικής ενέργειας που δεν αξιοποιείται (%).
- Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Θερμικές απώλειες} = [100\% - \text{Βαθμός απόδοσης καύσης}]$$



Τιμή ποσοστού απωλειών → 0%

Ελκυσμός

- Τα καυσαέρια έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη από εκείνη του ατμοσφαιρικού αέρα και επομένως μικρότερο ειδικό βάρος με αποτέλεσμα να ανεβαίνουν προς τα πάνω μέσω της καμινάδας.
- Δημιουργία υποπίεσης (δηλαδή αρνητική πίεση) στην βάση της καμινάδας.
- Ο ελκυσμός εξαρτάται από το ύψος της καπνοδόχου και από την θερμοκρασία των καυσαερίων (η οποία καθορίζει την μέση τιμή του ειδικού βάρους αυτών μεταξύ βάσης και κορυφής της καπνοδόχου).

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Ελκυσμός

$$DP = 0.35 \cdot L \cdot P_a \cdot \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_g} \right)$$

DP = ελκυσμός καμινάδας (mm/H₂O)

L = το ενεργό ύψος της καμινάδας (m)

P_a = η βαρομετρική πίεση της ατμόσφαιρας (mbar)

T_a = η εξωτερική θερμοκρασία (°K)

T_g = η μέση θερμοκρασία των καυσαερίων (°K)

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Ελκυσμός

- Ενδεικτικές τιμές:
 - Ισχύς λέβητα 30.000 kcal/h → 0,075-0,15 mbar
 - Ισχύς λέβητα 30.000-100.000 kcal/h → 0,15-0,20 mbar
 - Ισχύς λέβητα 100.000-400.000 kcal/h → 0,20-0,30 mbar

Σωστός ελκυσμός → Σωστή καύση εντός του λέβητα.

Κακός ελκυσμός → Μέρος των καυσαερίων δεν θα φύγει από την καμινάδα.

Υπερβολικός ελκυσμός → Γρηγορότερη έξοδος των καυσαερίων με αποτέλεσμα να μην προλαβαίνουν τα καυσαέρια να ανταλλάξουν την θερμότητά τους με τα τοιχώματα του λέβητα.

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Ισχύουσες απαιτήσεις λειτουργίας και εκπομπών

ΥΑ 189533/2011: Ρύθμιση θεμάτων σχετικών με τη λειτουργία των σταθερών εστιών καύσης για τη θέρμανση κτιρίων και νερού.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΑΕΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΑ
Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή απωλειών θερμότητας λόγω θερμικών καυσαερίων, σε %	15	15
Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της περιεκτικότητας κατ' όγκο των καυσαερίων σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO) ανηγμένη σε οξυγόνο αναφοράς 3%, σε ppm.	90	90
Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της περιεκτικότητας κατ' όγκο των καυσαερίων σε οξειδία του αζώτου (NOx) ανηγμένη σε οξυγόνο αναφοράς 3%, σε ppm.	150	150 για Υγραέριο 125 για Φυσικό Αέριο
Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του δείκτη αιθάλης κατά Bacharach.	1	1 για Υγραέριο 0 για Φυσικό Αέριο
Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της περιεκτικότητας των καυσαερίων σε οξυγόνο (O ₂) σε % κ.ο. (ισχύει μόνο για πιστοποιημένους καυστήρες)	7	7

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Ενδεικτικές παρατηρήσεις αποτελεσμάτων αναλυτή καυσαερίων

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

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Ενδεικτικές παρατηρήσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης καυσαερίων

Απόδοση καύσης

Οριακά αποδεκτή (86,9%) στο δευτερεύων λέβητα & χαμηλή (81,6%) στον κύριο λέβητα



Τιμή απόδοσης καύσης: 100%

Περίσσεια αέρα

Σχετικά μικρή (1,1) στον δευτερεύων λέβητα & πολύ υψηλή στον κύριο λέβητα (1,94) → **άσκοπη θέρμανση ποσότητας αέρα**



Τυπικές τιμές συντελεστή Lambda: 1,20 – 1,30

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Ενδεικτικές παρατηρήσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης καυσαερίων

Ποσότητα Οξυγόνου

Σχετικά χαμηλή (2%) στο δευτερεύων λέβητα & υψηλή στον κύριο λέβητα → **άσκοπη θέρμανση περιττού αέρα**

Ποσότητα CO₂

Ελάχιστα αυξημένη (13,8%) στον δευτερεύων λέβητα & πολύ χαμηλή (7,9%) στον κύριο λέβητα → **αυξημένη τιμή περισσειας αέρα**



Προτεινόμενη τιμή CO₂: 10% – 13%

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Ενδεικτικές παρατηρήσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης καυσαερίων

Ποσότητα CO

Πολύ χαμηλή (0 ppm) και στους δυο λέβητες → **πολύ καλή ανάμιξη καυσίμου με αέρα**



Τιμή ποσότητας CO: Όσο το δυνατό μικρότερη

Ποσότητα NO

Υψηλή (102 ppm) στον δευτερεύων λέβητα → **αυξημένη θερμοκρασία καυσαερίων**



Προτεινόμενη τιμή NO: Όσο το δυνατό μικρότερη

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Ενδεικτικές παρατηρήσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης καυσαερίων

Θερμοκρασία καυσαερίων

Ιδιαίτερα υψηλή (301 °C) στο δευτερεύων λέβητα και σχετικά υψηλή (284 °C) στον κύριο λέβητα → **διάβρωση και αύξηση θερμικών απωλειών**



Αποδεκτά όρια: 180 °C – 250 °C

Ποσότητα SO₂

Αυξημένη (55 ppm) στον δευτερεύων λέβητα



Προτεινόμενη τιμή SO₂: Όσο το δυνατό μικρότερη

Ενδεικτικές παρατηρήσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης καυσαερίων

Αιθάλη (καπνός)

Αυξημένη (Κλίμακα Bacharach 5) στον δευτερεύων λέβητα



Τιμή ποσότητας: Κλίμακα Bacharach 0

Θερμικές απώλειες καύσης

Υψηλές (19,4%) στον κύριο λέβητα → **χαμηλή απόδοση καύσης**



Τιμή ποσοστού απωλειών: 0% (Φ.Α)/1% (πετρ.)

Τυπικές τιμές αποτελεσμάτων ανάλυσης καυσαερίων

ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	Κύριος λέβητας	Δευτερεύων Λέβητας	Τυπικές τιμές
ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΥΣΗΣ	81,6%	86,9%	90%
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ Lambda	1,94	1,11	1,25
ΠΟΣΟΣΤΟ O ₂	10,1%	2%	6%
ΠΟΣΟΣΤΟ CO ₂	7,9%	13,8%	12%
ΠΟΣΟΤΗΤΑ CO	0 ppm	0 ppm	0 ppm
ΠΟΣΟΤΗΤΑ NO	63 ppm	102 ppm	63 ppm
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ	284 °C	301 °C	200 °C
ΠΟΣΟΤΗΤΑ SO ₂	35 ppm	55 ppm	35 ppm
ΚΑΠΝΟΣ (Κλίμακα Bacharach)	1	5	1
ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ	19,4%	13,1%	10%

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu

Ευχαριστώ για την προσοχής σας!!!

MOVing from Inspection to Domestic Advice by service companies
www.movida-project.eu