



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑΣ ΚΩΝΟΥ



ΦΟΙΤΗΤΕΣ: ΟΓΚΡΕΝΙ ΕΛΣΑ (Α.Μ. 6793)
ΣΑΛΙΑΪ ΓΙΑΝΝΗ (Α.Μ. 6802)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΡΩΜΑΙΟΣ (Δρ. Μηχ.)

ΠΑΤΡΑ 2020

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται στη μέτρηση θερμογόνου δύναμης αερίων καυσίμων με την μέθοδο θερμιδομετρίας κώνου. Η συγκεκριμένη διάταξη, χρησιμοποιείται για στερεά υλικά και υγρά καύσιμα. Στόχος της εργασίας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη μέτρηση της θερμογόνου δύναμης αερίων καυσίμων με υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία.

Οι πειραματικές μετρήσεις διενεργήθηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Θερμοδυναμικής του τμήματος Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών, το οποίο διέθετε την πειραματική διάταξη του Θερμιδόμετρου Κώνου.

Ευχαριστούμε θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μας κ. Αλέξανδρο Ρωμαίο, συνεργάτη καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε για την πραγματοποίηση της Εργασίας. Ευχαριστούμε επίσης, το Εργαστήριο Τεχνικής Θερμοδυναμικής του Τμήματος Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών για την παραχώρηση του εξοπλισμού για την εκπόνηση του πειράματος και τους αρμόδιους καθηγητές που συνέβαλλαν σε αυτό.

Ογκρένι Έλσα
Σαλίαϊ Γιάννη
Φεβρουάριος 2020

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Φοιτητές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι Φοιτητές
(Ονοματεπώνυμο)

(Ονοματεπώνυμο)

.....
(Υπογραφή)

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα Πτυχιακή Εργασία παρουσιάζεται μια νέα μεθοδολογία για τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης αέριων καυσίμων, με την χρήση της πειραματικής διάταξης θερμιδόμετρου κώνου. Στα πλαίσια της εργασίας, χρησιμοποιούνται πρότυπα αέρια καύσιμα για τα οποία μετράται και συγκρίνεται η θερμογόνος δύναμη. Στόχος της παραπάνω μεθοδολογίας είναι η όσο το δυνατό καλύτερη προσέγγιση των πειραματικών τιμών σε σχέση με τις πρότυπες τιμές. Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε πέντε κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται γενικά χαρακτηριστικά της καύσης και παρουσιάζονται βασικά στοιχεία των βασικών αερίων καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν. Επιπλέον, αναλύεται η γενική διαδικασία και οι βασικές εξισώσεις της καύσης των αερίων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, των διαθέσιμων πειραματικών διατάξεων για τη μέτρηση της θερμογόνου δύναμης αερίων. Αναλύονται οι τεχνικές θερμοδομετρίας και περιγράφονται αναλυτικά οι λειτουργίες τους αλλά και τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελούνται οι διατάξεις αυτές.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή της πειραματικής διατάξεις του θερμιδόμετρου κώνου και η διαδικασία λειτουργίας του. Στην αρχή παρουσιάζεται η διαδικασία βαθμονόμησης του οργάνου καθώς και ο υπολογισμός των απαραίτητων παραμέτρων. Στη συνέχεια αναλύεται η παρέμβαση που έγινε από τους σπουδαστές για την υλοποίηση των πειραμάτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η επεξεργασία και η μελέτη των αποτελεσμάτων. Φαίνεται αναλυτικά για κάθε αέριο η σειρά των πειραμάτων που έλαβαν μέρος και στη συνέχεια γίνεται η παρουσίαση και ανάλυση των μετρούμενων μεγεθών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η επεξεργασία των παραπάνω πειραμάτων. Και κατόπιν παρουσιάζονται τα σφάλματα και η σύγκριση τους με τις πρότυπες τιμές. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και δίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη μεθόδου, για τη μέτρηση της θερμογόνου δύναμης αερίων καυσίμων με τη χρήση της τεχνικής θερμοδομετρίας κώνου. Βασική επιδίωξη της συγκεκριμένης εργασίας, είναι η διερεύνηση της δυνατότητας χρησιμοποίησης μιας πειραματικής διάταξης δοκιμών δομικών υλικών ως προς την αντίδραση τους στη φωτιά, για την καύση αερίων καυσίμων με στόχο το χαρακτηρισμό της θερμικής τους απόδοσης, διατηρώντας υψηλή ακρίβεια, επαναληψιμότητα και αναπαραγωγιμότητα των μετρήσεων.

Η παραπάνω διαδικασία αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον, διότι η διάταξη του θερμιδόμετρου κώνου είναι σχεδιασμένη για καύση στερεών υλικών όπως, ξύλο, πλαστικά, κλπ. Αρχικά έπρεπε η διάταξη να διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να δέχεται το υλικό το οποίο θα καιγόταν, που στην παρούσα περίπτωση είναι τα αέρια καύσιμα. Επίσης η επιλογή των αερίων ήταν άλλο ένα ζήτημα που έπρεπε να λυθεί διότι έπρεπε να χρησιμοποιηθούν αέρια με μεγάλο ποσοστό καθαρότητας, καθώς και να είναι προσιτά στην αγορά. Εν τέλη τα αέρια που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση του πειράματος ήταν το μεθάνιο το LPG και το προπάνιο. Η ανάπτυξη μιας νέας μεθοδολογίας αποκτά ένα επιστημονικό ενδιαφέρον καθώς παρέχει στο κοινό μία ακόμη αξιόπιστη μέθοδο υπολογισμού της θερμογόνου δύναμης.

Με την κατάλληλη βαθμονόμηση της διάταξης και επιλογή των αερίων (μεθάνιο, LPG, προπάνιο), έγινε για κάθε αέριο ξεχωριστά μια σειρά πειραμάτων η οποία επαναλαμβάνονταν για διαφορετικές παροχές κάθε φορά με σκοπό την καταγραφή της θερμότητας που απελευθερώνεται (HHR), τη συνολική θερμότητα (THR), την παραγωγή μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα (CO & CO₂).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	vii
1. ΚΑΥΣΗ ΑΕΡΙΩΝ	11
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.2 ΚΑΥΣΗ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ	12
1.2.1 Πλήρης και ατελής καύση προπάνιου-εξίσωση προπάνιου και φόρμουλα. 12	
1.2.2 Πλήρης και ατελής καύση υγραερίου – προπάνιου.	12
1.2.3 Η ατελής καύση παράγει μονοξείδιο του άνθρακα.....	13
1.3 ΚΑΥΣΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ	14
1.3.1 Κύρια χαρακτηριστικά του μεθανίου	14
1.3.2 Μόριο μεθανίου	15
1.3.3 Μεθάνιο με οξυγόνο – αντίδραση καύσης	15
2. ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ	17
2.1 ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ JUNKER'S.....	17
2.1.1 Κύρια μέρη	18
2.1.2 Λειτουργία	19
2.2 ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ BOY'S	20
2.2.1 Εξοπλισμός	21
2.2.2 Διαδικασία	21
2.3 ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΚΩΝΟΥ	22
2.3.1. Ιστορική ανάδρομη	22
2.3.2 Σύστημα θερμιδόμετρου κώνου	26
2.3.3 Διαδικασία εξέτασης	27
2.3.4 Τα μέρη ενός θερμιδόμετρου κώνου	27
2.3.5 Σύστημα μέτρησης	28
2.3.6 Σχέση μεταξύ κατανάλωσης οξυγόνου και τιμής θέρμανσης	28

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	31
3.1 ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΚΩΝΟΥ	31
3.2. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΟΥ	34
3.2.1 Βασικά βήματα πριν την έναρξη της λειτουργίας.....	34
3.2.2. Διαδικασία ημερήσιας βαθμονόμησης.....	34
3.3 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	52
4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	57
4.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	58
4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	59
4.3.1 Μεθάνιο.....	59
4.3.2 LPG.....	84
4.3.3 Προπάνιο	102
4.4 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα.....	120
4.4.1 Μεθάνιο.....	120
4.4.2 LPG.....	123
4.4.3 Προπάνιο	126
5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	129
5.1 Μεθάνιο	129
5.2 LPG	132
5.3 ΠΡΟΠΑΝΙΟ	135
5.4 ΣΥΝΟΨΗ.....	137
5.4.1 Συμπεράσματα.....	137
5.4.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	138
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	139

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΚΑΥΣΗ ΑΕΡΙΩΝ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Καύση λέγεται η εξώθερμη αντίδραση μιας ουσίας με το οξυγόνο (είτε με καθαρό οξυγόνο είτε με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα), που συνοδεύεται από εκπομπή φωτός και έκλυση θερμότητας. 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.(Θ. Ορεινός)

Η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας που μετριέται στη μονάδα του Joule ή θερμίδων, όπου $1 \text{calorie} = 4,18 \text{ τζάουλ}$. Η ποιότητα ενός καυσίμου καθορίζεται από την ποσότητα θερμότητας που παράγεται από τα καύσιμα όταν καίγονται σε Joule ή θερμίδες. Πρακτικά, όλα τα καύσιμα δεν καίγονται αποτελεσματικά. Έτσι, ορισμένα καύσιμα που έχουν την ικανότητα να παράγουν περισσότερη θερμότητα σύγκριση με τα άλλα. Αυτή η ικανότητα μπορεί να προσδιοριστεί με βάση την ποσότητα των τζάουλ ή θερμίδων που δημιουργήθηκαν όταν το καύσιμο κάηκε.

Η ποσότητα της ενέργειας που παράγεται όταν 1 μονάδα μάζας καυσίμων καίγεται πλήρως είναι γνωστή ως η θερμογόνος αξία του καυσίμου. Η λέξη "θερμογόνος" χρησιμοποιείται αντί του "joulific", λόγω της χρήσης της λέξης "θερμογόνος", που έχει χρησιμοποιηθεί εδώ και πολύ καιρό. Όταν καεί 1 γραμμάριο κάρβουνου, παράγει 33 κιλό τζάουλ. Έτσι, η θερμογόνος αξία του κάρβουνου είναι 33Kcal/g . εκτός από τον όρο θερμογόνος αξίας, ένας άλλος όρος που χρησιμοποιείται είναι κιλοβάτ ανά χιλιόγραμμα (KWh/kg).

Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη, γνωστή και ως καθαρή θερμογόνος αξία, ενός καυσίμου ορίζεται ως η ποσότητα θερμότητας που απελευθερώνεται με τη σύλληψη μιας καθορισμένης ποσότητας, αρχικά στους $25 \text{ }^\circ\text{C}$ και την επιστροφή της θερμοκρασίας των προϊόντων καύσης στους $150 \text{ }^\circ\text{C}$, η οποία προϋποθέτει την λανθάνουσα θερμότητα του η εξάτμιση του νερού στα προϊόντα αντίδρασης δεν ανακτάται. Εν τω μεταξύ, η υψηλότερη θερμογόνος αξία γνωστή και ως ακαθάριστη θερμογόνος αξία ή ακαθάριστη ενέργεια ενός καυσίμου ορίζεται ως η ποσότητα θερμότητας που απελευθερώνεται από μια καθορισμένη ποσότητα, αρχικά στους $25 \text{ }^\circ\text{C}$ μετά την καύση της και τα προϊόντα έχουν επιστρέψει σε θερμοκρασία $25 \text{ }^\circ\text{C}$, η οποία λαμβάνει υπόψη την λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης του νερού στα προϊόντα καύσης

1.2 ΚΑΥΣΗ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ

1.2.1 Πλήρης και ατελής καύση προπάνιου-εξίσωση προπάνιου και φόρμουλα

Η σωστή καύση του υγραέριο – προπάνιο – είναι σημαντική. Η πλήρης καύση υγραερίου εξοικονομεί χρήματα από το αέριο. Η εξίσωση προπάνιου για την καύση περιλαμβάνει προπάνιο και οξυγόνο ως εισροή καυσίμων, και διοξείδιο του άνθρακα, νερό, θερμότητα και πιθανό μονοξείδιο του άνθρακα ως εκροές. Η ατελής καύση παράγει μονοξείδιο του άνθρακα, το οποίο είναι δηλητηριώδες αέριο.

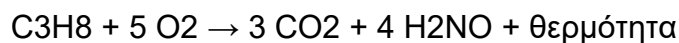
1.2.2 Πλήρης και ατελής καύση υγραερίου – προπάνιου.

Μπλε φλόγα με πλήρη σύνθεση του LPG προπάνιου – υγραέριο – εγκαύματα εντός των ορίων της αναφλεξιμότητας. Τα χαμηλότερα και ανώτερα όρια της αναφλεξιμότητας είναι τα ποσοστά του υγραερίου που πρέπει να υπάρχουν σε ένα μίγμα υγραερίου /αέρα. Αυτό σημαίνει ότι μεταξύ 2,15% και 9,6% του συνολικού μείγματος υγραερίου /αέρα πρέπει να είναι υγραέριο για να είναι εύφλεκτο. Ωστόσο, το βέλτιστο μίγμα είναι 4% υγραέριο /Air.

Έτσι, 4 μέρη υγραέριο (προπάνιου) σε 96 μέρη αέρα. Με πλήρη καύση, ο καυστήρα παράγει μια γαλάζια φλόγα. Έτσι, τα πλουσιότερα μείγματα, εκείνα που πλησιάζουν το 9,6%, είναι πιθανό να υποφέρουν από ατελή καύση. Η κίτρινη φλόγα, η αιθάλη και η υπερβολική συμπύκνωση είναι τρία φυσικά σημάδια ατελούς καύσης. Το φυσικό αέριο – μεθάνιο – τα όρια της αναφλεξιμότητας είναι διαφορετικά, σε 5,4% έως 17%. Το βέλτιστο μίγμα καύσης μεθανίου είναι επίσης διαφορετικό, περίπου 10,42%. (Eric Hahn, elgas 9 November 2019)

Εξίσωση προπάνιου-φόρμουλα καύσης υγραερίου Με την παρουσία αρκετά οξυγόνου, το προπάνιου καίει για να σχηματίσει ατμούς νερού και διοξείδιο του άνθρακα, καθώς και θερμότητα. Έτσι, αυτή είναι η εξίσωση προπάνιου για πλήρη καύση τόσο σε λέξεις όσο και σε χημικούς τύπους:

Προπάνιου + οξυγόνο → διοξείδιο του άνθρακα + νερό + θερμότητα



Εξίσωση προπάνιου για ατελή καύση υγραερίου. Εάν δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο για πλήρη καύση, εμφανίζεται ατελής καύση. Το αποτέλεσμα της ελλιπούς καύσης είναι, για άλλη μια φορά, οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα και η θερμότητα. Αλλά παράγει επίσης μονοξείδιο του άνθρακα.

Εξίσωση προπάνιου για ατελή καύση:

Αέριο + οξυγόνο = νερό + διοξείδιο του άνθρακα + μονοξείδιο του άνθρακα + θερμότητα



1.2.3 Η ατελής καύση παράγει μονοξείδιο του άνθρακα

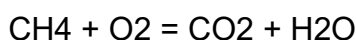
Το μονοξείδιο του άνθρακα – CO – είναι τοξικό αέριο. Είτε οι συσκευές φυσικού αερίου ή προπάνιου (ΥΓΡΑΪΕΡΙΟ) μπορούν να παράγουν μονοξείδιο του άνθρακα, με ατελή καύση. Η εύρυθμη λειτουργία των συσκευών αερίου παράγει ελάχιστα, εάν υπάρχουν, μονοξείδιο του άνθρακα. Καύση και μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Όλες οι συσκευές αερίου, εγχώριες και βιομηχανικές, παράγουν ατμούς νερού, διοξείδιο του άνθρακα και θερμότητα, και συνήθως πολύ μικρές ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα. Εάν εγκατασταθεί και διατηρηθεί σωστά, η λειτουργία της συσκευής αερίου παρέχει γρήγορη και αποδοτική θέρμανση, μαγείρεμα, ζεστό νερό και άλλα, και τα προϊόντα της καύσης δεν δημιουργούν επικίνδυνες καταστάσεις. Εάν μια συσκευή δεν έχει εγκατασταθεί και διατηρηθεί σωστά ή έχει τροποποιηθεί, τα προϊόντα της καύσης ενδέχεται να αλλάξουν και να καταστούν επικίνδυνα για τους ανθρώπους γύρω από τη συσκευή. Κάτι τόσο απλό όσο μια αλλαγή εξαερισμού (η λήψη φρέσκου αέρα στη συσκευή για τη διατήρηση της πλήρους καύσης) μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία μιας συσκευής αερίου και να δημιουργήσει μια επικίνδυνη κατάσταση για τους ανθρώπους γύρω.

Μερικές φορές είναι προφανές όταν μια συσκευή αερίου δυσλειτουργεί. Η αιθάλη, οι κόκκινες ή κίτρινες φλόγες ή οι κακές επιδόσεις είναι δείκτες, αλλά μερικές φορές δεν υπάρχουν ενδείξεις προφανείς. Εάν το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) παράγεται και ξεφεύγει από τη συσκευή στον περιβάλλοντα αέρα, δεν θα είναι προφανής (καμία οσμή και καμία γεύση), αλλά θα είναι πολύ επικίνδυνο. Είναι σημαντικό οι συσκευές αερίου να εγκαθίστανται και να εξυπηρετούνται σωστά κάθε δύο χρόνια, να διατηρούν καλή καύση και ασφαλή, αποδοτική λειτουργία. (Eric Hahn, elgas 9 November 2019)

1.3 ΚΑΥΣΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ

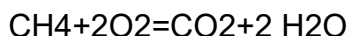
Το μεθάνιο είναι ένα φυσικό αέριο που εξάγεται και χρησιμοποιείται ως καύσιμο. Είναι η κύρια συνιστώσα του φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται σε κουζίνες και θερμαντήρες σε πολλές χώρες. Ένα μόριο μεθανίου αποτελείται από ένα άτομο άνθρακα και 4 άτομα υδρογόνου. Η φόρμουλα του είναι CH₄. Τα τέσσερα άτομα υδρογόνου είναι συνδεδεμένα με το κεντρικό άτομο άνθρακα και κατευθύνονται σε τέσσερις μη-κολάνταρ κατευθύνσεις. Το μόριο είναι τρισδιάστατο και το σχήμα του ονομάζεται τετραδικό. (MEL Science)

Όταν το μεθάνιο καίγεται, τα ομόλογα C-H είναι σπασμένα. Και τα δύο άτομα C και H σχηματίζουν νέους δεσμούς με οξυγόνο, δίνοντας διοξείδιο του άνθρακα CO₂ και νερό H₂O. Οξυγόνο βρέθηκε στον αέρα ως μόρια O₂:



Είναι προφανές, ωστόσο, ότι ένα μόριο οξυγόνου δεν επαρκεί για να κάψει ένα μόριο μεθανίου. Το μεθάνιο περιέχει 5 άτομα (1 C και 4 H). Το άτομο C χρειάζεται 2 άτομα για να σχηματίσουν ένα μόριο CO₂. Μερικά άτομα χρειάζονται ένα άτομο για να σχηματίσουν ένα μόριο του H₂O, και υπάρχουν δύο τέτοια ζευγάρια. Συνοψίζοντας, το μόριο μεθανίου απαιτεί 4 O άτομα, που βρίσκονται σε 2 μόρια οξυγόνου O₂. Από ένα μόριο μεθανίου σχηματίζεται ένα μόριο διοξειδίου του άνθρακα, που περιέχει το άτομο C, και δύο μόρια νερού, που περιέχουν τα 4 άτομα υδρογόνου. Δύο μόρια οξυγόνου καταναλώνονται για να παρέχουν τα 4 άτομα οξυγόνου.

Το πλήρες υπόλοιπο είναι:



Αυτή είναι η ισορροπημένη αντίδραση. Οι αριθμοί μπροστά από τους χημικούς τύπους είναι οι συντελεστές αντίδρασης. Υποδεικνύουν τις αναλογίες μεταξύ του αριθμού των μορίων: για ένα μόριο μεθανίου, δύο μόρια οξυγόνου πρέπει να αντιδράσουν, δημιουργώντας ένα μόριο διοξειδίου του άνθρακα και δύο μόρια νερού. Με τους κατάλληλους συντελεστές, η εξίσωση αντίδρασης δείχνει ότι ο ίδιος αριθμός ατόμων στα αντιδραστήρια βρίσκεται στα προϊόντα:

1.3.1 Κύρια χαρακτηριστικά του μεθανίου

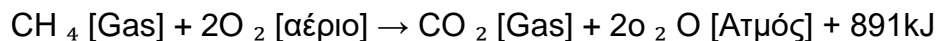
Το μεθάνιο είναι ο απλούστερος αντιπρόσωπος των αλκανίων. Αυτή η ομάδα οργανικών ενώσεων ονομάζεται κορεσμένα ή παραφίνη υδρογονάνθρακες. Έχουν έναν απλό δεσμό μεταξύ των ατόμων του άνθρακα στο μόριο, και οι άλλες διαφορές κάθε ατόμου άνθρακα είναι κορεσμένα με άτομα υδρογόνου. Η πιο σημαντική αντίδραση των αλκάλιων είναι η καύση. Οι αλκανές καίγονται με το σχηματισμό υδρατμών και αερίου διοξειδίου του άνθρακα. Ως αποτέλεσμα αυτής της αντίδρασης, η χημική ενέργεια απελευθερώνεται σε τεράστιες ποσότητες, οι οποίες μπορούν να μετασχηματιστούν σε ηλεκτρική ή θερμική ενέργεια. (MEL Science)

1.3.2 Μόριο μεθανίου

Η καύση του μεθανίου χρησιμοποιείται για την απόκτηση αερίων καύσης, τα οποία παρέχουν ενέργεια σε αεριοστρόβιλους. Σε πολλά μέρη, το μεθάνιο παρέχεται σε σπίτια σε σωλήνες και χρησιμοποιείται για θέρμανση και μαγείρεμα. Σε σύγκριση με άλλους τύπους καυσίμων υδρογονανθράκων, η καύση του φυσικού αερίου (μεθάνιο) χαρακτηρίζεται από την απελευθέρωση μιας χαμηλότερης ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα και μια μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας.

1.3.3 Μεθάνιο με οξυγόνο – αντίδραση καύσης

Η διαδικασία της καύσης του μεθανίου είναι η αλληλεπίδραση του μεθανίου με οξυγόνο. Ως αποτέλεσμα της αντίδρασης, σχηματίζονται νερό, διοξείδιο του άνθρακα και μεγάλη ενέργεια. Η εξίσωση αντίδρασης της καύσης μεθανίου:



Περιγραφή αντίδρασης

1 μόριο μεθανίου σε αλληλεπίδραση με 2 μόρια οξυγόνου σχηματίζει 1 μόριο διοξειδίου του άνθρακα και 2 μόρια νερού. Στη διαδικασία αντίδρασης απελευθερώνεται θερμική ενέργεια ισοδύναμη με 891. Το φυσικό αέριο είναι το πιο αγνό αέριο για καύση, το οποίο έχει μια απλή σύνθεση και δεν απελευθερώνουν επιβλαβείς χημικές ουσίες στον αέρα. Δεδομένου ότι το φυσικό αέριο είναι 95% μεθάνιο, στην καύση του δεν σχηματίζονται σχεδόν καθόλου υποπροϊόντα, ή σχηματίζονται πολύ λιγότερα υποπροϊόντα από ό,τι όταν χρησιμοποιούνται άλλοι τύποι ορυκτών καυσίμων. (MEL Science)

Το CO, ή το μονοξείδιο του άνθρακα, είναι ένα φυσικό προϊόν καύσης υδρογονανθράκων όπως το μεθάνιο (CH₄). Γράφουμε πάντα την απλή, ισορροπημένη εξίσωση που δείχνει CH₄ + 2O₂ → CO₂ + 2H₂O, αλλά στην πραγματικότητα μπορούν να παραχθούν όλα τα είδη των άλλων προϊόντων που περιέχουν C, H, και O (και επίσης N από το άζωτο στον αέρα). Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ιδιαίτερα πιθανό να παραχθεί όταν η καύση είναι υπερβολικά πλούσια, δηλαδή περισσότερο καύσιμο και λιγότερο οξυγόνο. (Quora, [Robert Zehner](#), Ph.D. Physical Chemistry, University of Chicago (1998))

Οι χημικοί τύποι είναι:

Φυσικό αέριο = CH₄ (4:1) συν ένα ποσοστό C₂H₆ (3:1)

Προϊόντα πετρελαίου ~ = [CH₂]_n (2:1)

Άνθρακας ~ = [CH]_n (1:1)

Μπορείτε να δείτε τις ενέργειες ομολόγων μεταξύ των διαφορετικών ατόμων, αν έχετε να είστε πιο ακριβείς. Η θερμότητα της καύσης είναι η διαφορά μεταξύ της ενέργειας στο άθροισμα των ομολόγων O-O, των ομολόγων C-H, των ομολόγων C-C και των ομολόγων C = C στο καύσιμο και στον αέρα, μείον το άθροισμα της ενέργειας στους δεσμούς H-O και C-O στα προϊόντα καύσης.

Τα καύσιμα αλκοόλης περιέχουν οξυγόνο με ομόλογα χαμηλής ενέργειας C-O και H-O, πράγμα που σημαίνει ότι οι άνθρακες έχουν ήδη μερικώς οξειδωθεί και, ως εκ τούτου, έχουν λιγότερη ενέργεια για απελευθέρωση κατά τη διάρκεια της καύσης.

Κάθε αλκοόλ με καύσιμα έχει ισοδύναμο αλκείν υδρογονάνθρακα Η μεθανόλη είναι CH₃OH (ή μόλις CH₄O), η οποία έχει τον ίδιο αριθμό άνθρακα με το μεθάνιο. Αλλά ένας χαφίές της μεθανόλης παράγει λιγότερη θερμότητα από μία ελιά μεθανίου όταν καίγεται, οπότε η μεθανόλη πρέπει να παράγει περισσότερο CO₂ ανά μονάδα ενέργειας από το μεθάνιο.

Ομοίως, η αιθανόλη είναι αιθάνιο + οξυγόνο, και προπάνιο + οξυγόνου είναι προπυλική αλκοόλη. Μπορείτε να συγκρίνετε τις αλκοόλες με υδρογονάνθρακες απλά λέγοντας "η έκδοση αλκοόλ είναι ελαφρώς χειρότερη από το καύσιμο υδρογονανθράκων με τον ίδιο αριθμό ατόμων άνθρακα" (PhD Organic Chemistry, Michigan State University (1969))

Όσο περισσότερο υδρογόνο στα ορυκτά καύσιμα, τόσο καθαρότερο καίει. Έχει να κάνει με τη χημεία της καύσης. Η καύση είναι η διαδικασία συνδυασμού μιας χημικής ουσίας με οξυγόνο για την απελευθέρωση της θερμικής ενέργειας, οπότε πρέπει να δείτε τι συνδυάζει το οξυγόνο με. Όταν καις άνθρακα, μετατρέπεται σε CO₂. Όταν καις υδρογόνο, μετατρέπεται σε H₂O. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα μακράς διάρκειας αέριο του θερμοκηπίου, ενώ το H₂O είναι νερό. Και τα δύο είναι σχεδόν ακίνδυνα, εκτός κι αν έχεις πολύ δρόμο στον αέρα. Το CO₂ δεν είναι ρύπος με τη συνήθη έννοια, αλλά φαίνεται να προκαλεί την υπερθέρμανση του πλανήτη. (Πλαϊνή νότα: οι υδρατμοί είναι επίσης ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου, αλλά είναι σε θέση να ξεφύγουν από την ατμόσφαιρα ως βροχή, έτσι το νερό που παράγεται από την καύση δεν θεωρείται πρόβλημα ρύπανσης.)

Έτσι, αυτό που θέλετε είναι να κάψετε περισσότερο υδρογόνο και λιγότερο άνθρακα. Το φυσικό αέριο είναι σχεδόν εξ ολοκλήρου μεθάνιο, το οποίο είναι CH₄. Τέσσερις φορές περισσότερο υδρογόνο από τον άνθρακα, αυτό το κάνει σχετικά καθαρό. Έχει μεγάλη ενέργεια ανά μονάδα CO₂ που εκπέμπεται. Το αέριο από σχιστόλιθο παίρνει περισσότερη ενέργεια για να βγει από το έδαφος από το συμβατικό φυσικό αέριο, αλλά εξακολουθεί να είναι αρκετά καλό καθώς τα ορυκτά καύσιμα πηγαίνουν.

Ο άνθρακας ποικίλλει σε χημική σύνθεση, αλλά μπορεί να προσεγγίζεται ως [CH] n. Αυτό σημαίνει ίσες ποσότητες ατόμων άνθρακα και υδρογόνου. Αυτό του δίνει τις υψηλότερες εκπομπές CO₂ ανά μονάδα ενέργειας μεγάλων πηγών καυσίμων. Πετρέλαιο, για σύγκριση, μέσους όρους [CH₂] n (δύο υδρογόνα ανά άνθρακα) έτσι είναι κάπου στη μέση μεταξύ φυσικού αερίου και άνθρακα. (Ryan Carlyle, quora)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ

Το Θερμιδόμετρο είναι συσκευή, με την οποία πραγματοποιείται η μέτρηση ποσοτήτων θερμότητας που προσλαμβάνουν ή εκχωρούν τα διάφορα σώματα, στερεά ή ρευστά, υπό διάφορες επιδράσεις, ακόμα και σε χημικές.

Πρόκειται για συσκευές μεγάλης ακριβείας που προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τυχόν θερμικές απώλειες αλλά και να μπορούν να υπολογιστούν και αυτές, ώστε να ληφθούν στη συνέχεια υπόψη, κατασκευάζονται και φυλάσσονται με ιδιαίτερη μεγάλη προσοχή. Ανάλογα δε του σκοπού και του σώματος που θα επιχειρηθεί η μέτρηση υφίσταται ήδη μια μεγάλη ποικιλία θερμιδόμετρων που διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες και τύπους, όπως π.χ. διαβατικοί, ισοθερμικοί μικροθερμιδομετρητές, συνεχούς ροής, διαφορικής σάρωσης, τιτλοποίησης κ.λπ..

Χαρακτηριστικός είναι ο λεγόμενος "θερμιδομετρικός όλμος" (ή "θερμιδομετρική βόμβα") ο οποίος μπορεί να μετρήσει τη θερμότητα καύσης οργανικών ουσιών με ακρίβεια της τάξης του 0,01%

Τα θερμιδόμετρα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης του βιοαερίου είναι το θερμιδόμετρο κώνου, το Junker's (Junker's gas calorimeter) και το Boy's (Boy's gas calorimeter).

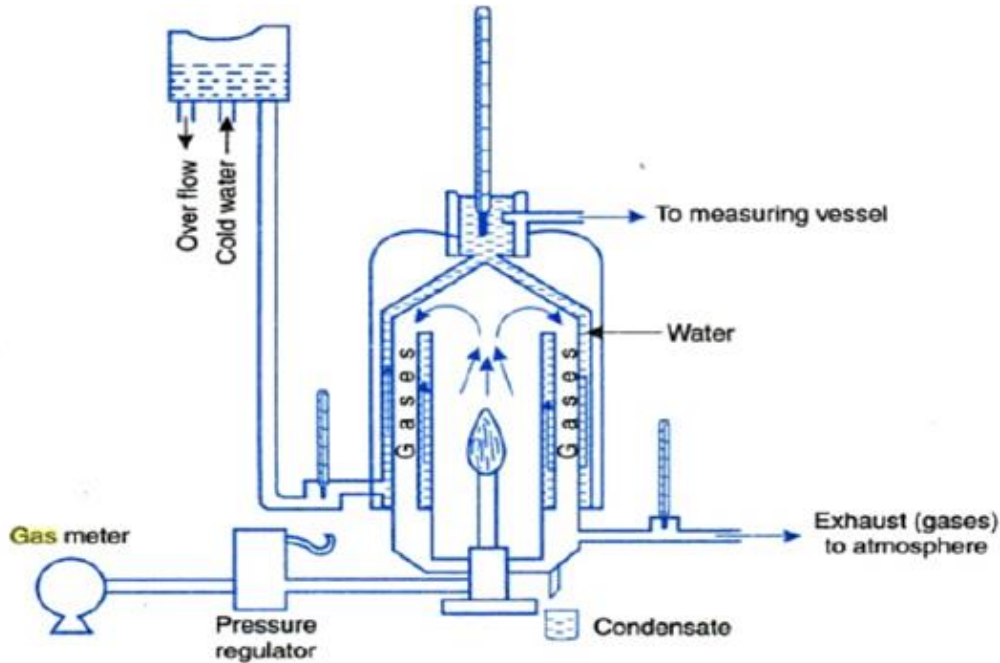
2.1 ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ JUNKER'S

Το θερμιδόμετρο αερίου Junker's(εικόνα 2.1) χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η θερμογόνος δύναμη ενός αερίου καυσίμου. Το θερμιδόμετρο Junker's είναι ένα θερμιδόμετρο ροής, με την μεταφορά θερμότητας να συμβαίνει συνεχώς, σε αντίθεση με ένα θερμιδόμετρο παρτίδας.

Η συσκευή είναι ένας καυτήρας Bunsen με ένα ψυκτικό περίβλημα. Το περίβλημα έχει κυλινδρικό σχήμα και περιέχει νερό, ο καυστήρας βρίσκεται μέσα στον κύλινδρο. Το θερμιδόμετρο επιτρέπει στους χρήστες να μετράνε την θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται κ' εξέρχεται από την συσκευή. Όταν φτάσει σε μια σταθερή κατάσταση, το νερό που ρέει στην συσκευή, συλλέγεται για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Μετρώντας την μάζα και την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού, ο χειριστής μπορεί να υπολογίσει την ενέργεια σε Joule που χρειάστηκε για να θερμανθεί το νερό. Υπάρχει ένας μετρητής ροής για το αέριο καύσιμο έτσι ώστε ο χειριστής να μπορεί να υπολογίσει τον όγκο του αερίου καυσίμου που κάηκε την ίδια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η ποσότητα ενέργειας, σε Joule, που είναι διαθέσιμη ανά λίτρο αερίου, μπορεί στη συνέχεια να υπολογιστεί.

Η συσκευή αποτελείται από ένα κυλινδρικό κέλυφος με δυο διαδρομές για το νερό, και έναν χάλκινο σωλήνα που είναι περιτυλιγμένος γύρω από το θάλαμο καύσης, η μια διαδρομή είναι για το νερό που εισέρχεται και η άλλη για το νερό που εξέρχεται, το νερό περνάει μέσα από το σωλήνα χαλκού. Υπάρχει ένας ρυθμιστής πίεσης στη διαδρομή του νερού που ρέει που συνδέεται περαιτέρω με μετρητή ροής αερίου. Ο

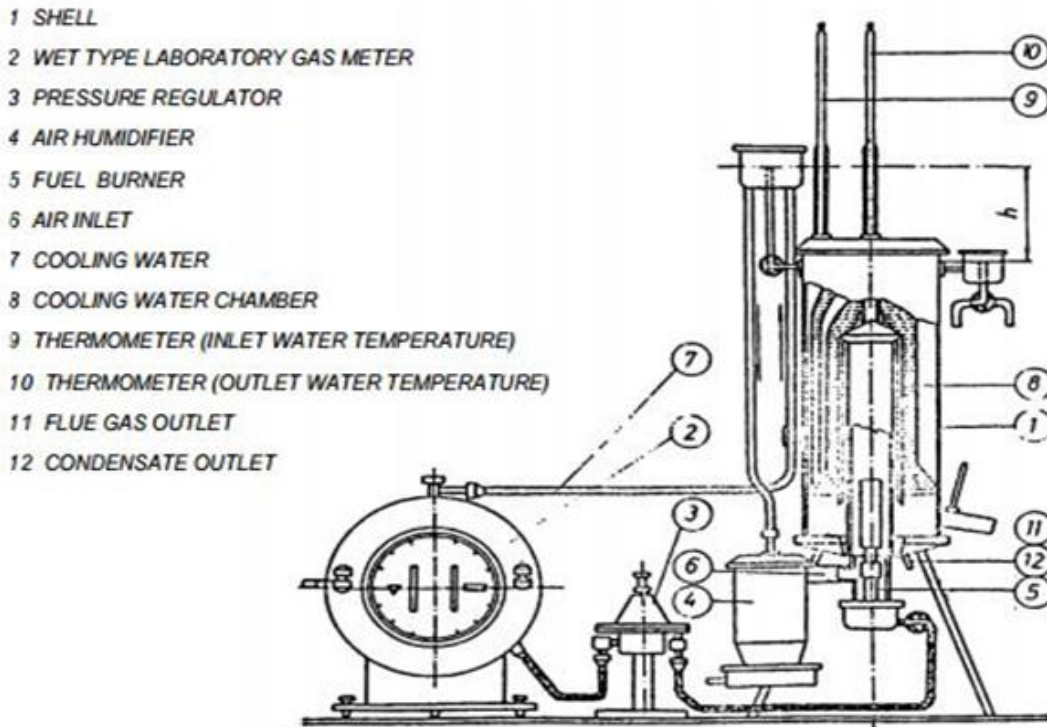
μετρητής ροής αερίου χρησιμοποιείται για την μέτρηση του ρυθμού ροής του αερίου. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται στην συσκευή για να μετρήσουμε την θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού και των καυσαερίων.



Εικόνα 2.1 Θερμιδόμετρο Junker's

2.1.1 Κύρια μέρη

1. Κέλυφος
2. Εργαστηριακός μετρητής αερίου υγρού τύπου
3. Ρυθμιστής πίεσης
4. Υγραντήρας αέρα
5. Καυστήρας καυσίμου
6. Είσοδος αέρα
7. Ψύξη νερού
8. Εναλλάκτης νερού ψύξης
9. Θερμόμετρο (θερμοκρασία νερού εισόδου)
10. Θερμόμετρο (θερμοκρασίας νερού εξόδου)
11. Έξοδος καυσαερίων
12. Έξοδος συμπυκνωμάτων(εικόνα 2.2)



Εικόνα 2.2 Κύρια μέρη ενός θερμιδόμετρου Junker's

2.1.2 Λειτουργία

Το θερμιδόμετρο Junker's λειτουργεί με βάση την αρχή της καύσης ενός αερίου του οποίου ο όγκος είναι γνωστός. Η θερμοκρασία του νερού και του αερίου μετρείται μαζί με τον ρυθμό ροής του αερίου για την μέτρηση της θερμογόνου δύναμης. Ο τύπος είναι:

$$\begin{aligned} & \text{Θερμογόνος δύν. του αερίου} \times \text{Όγκος αερίου} \\ & = \text{Όγκος νερού} \times \text{Αύξηση θερμοκρασίας} \end{aligned}$$

Μια μετρούμενη ποσότητα αερίου της οποίας η θερμογόνος δύναμη απαιτείται να παρασχεθεί σε ένα μετρητή αερίου που μετρά τον όγκο του αερίου και μετά από αυτό το αέριο περνά μέσω του ρυθμιστή πίεσης που μετρά την πίεση του αερίου χρησιμοποιώντας το μανόμετρο. Όταν το αέριο μέσα στο θάλαμο καίγεται τα προϊόντα που παράγονται κατά την καύση ανέρχονται στο θάλαμο και έπειτα κινούνται προς τα κάτω, όπου εξαγονται ως καυσαέρια. Τα καυσαέρια εξαγονται στην ατμόσφαιρα, υπάρχει ένα θερμόμετρο στη έξοδο των καυσαερίων που μετράει την θερμοκρασία τους, η θερμοκρασία τους πρέπει να έχει μικρή διαφορά με την θερμοκρασία δωματίου έτσι ώστε όλη η θερμότητα να έχει απορροφηθεί από το νερό. Το κρύο νερό εισέρχεται στο θερμιδόμετρο από κάτω μέρος και εξέρχεται από το πάνω μέρος. Το συμπυκνωμένο νερό συλλέγεται σε ένα δοχείο. Η ποσότητα του αερίου σε διαδικασία εισερχόμενου και εξερχόμενου αερίου. Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω συλλεχθέντα

δεδομένα μπορούμε να μετρήσουμε την θερμική αξία από τον τύπο όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

2.2 ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ BOY'S

Αυτό το θερμιδόμετρο προορίζεται για τον προσδιορισμό της θερμογόνου δύναμης του αερίου καυσίμου, πειραματικά.. Η μέθοδος βασίζεται στη μεταφορά θερμότητας από την καύση μιας γνωστής ποσότητας αερίου καυσίμου για τη θέρμανση μιας γνωστής ποσότητας νερού που κυκλοφορεί σε χάλκινο εναλλάκτη θερμότητας. Με την παραδοχή ότι η θερμότητα που απορροφάτε από το νερό που κυκλοφορεί είναι ίση με τη θερμότητα που απελευθερώνεται από το αέριο καύσιμο, είναι αρκετά ακριβής για τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης.

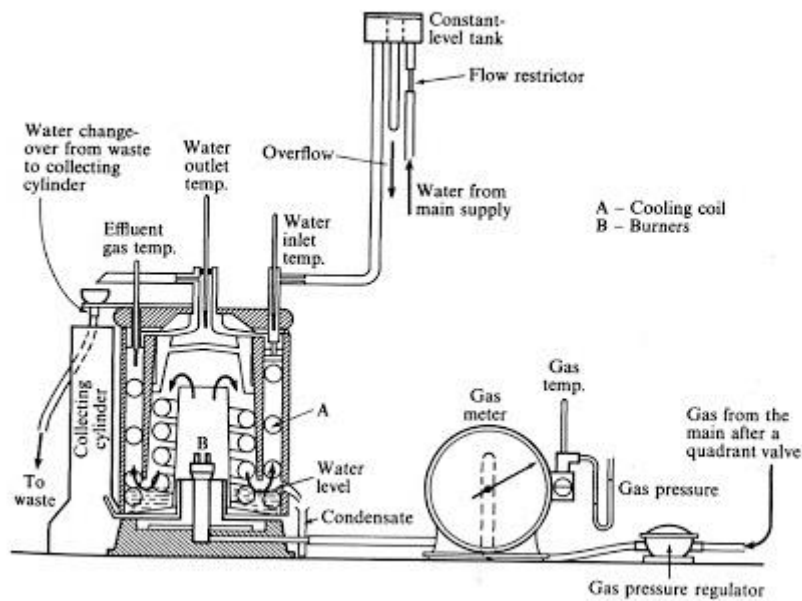
Πρώτον, όταν εξετάζεται η θερμογόνος δύναμη, εξ ορισμού, είναι η συνολική ενέργεια που απελευθερώνεται όταν καίγεται πλήρως με οξυγόνο υπό κανονικές συνθήκες. Οι κανονικές συνθήκες είναι μηδέν βαθμοί Κελσίου (0 °C) και μια ατμόσφαιρα (1 atm, 1.023 bar). Με λίγα λόγια, η θερμογόνος δύναμη αντιπροσωπεύει την ενέργεια που μεταφέρεται στην περιβάλλουσα ποσότητα μονάδας καυσίμου σε σταθερή πίεση. Το θερμιδόμετρο αερίου έχει σχεδιαστεί για να διασφαλίζει ότι η θερμότητα από τον καυστήρα ρέει προς τα πάνω μέσω του δοχείου θερμιδόμετρου και ξαναγυρίζει πάλι μέσα στο δοχείο και να επανατοποθετηθεί ξανά πριν εξαντληθεί.

Από τεχνική άποψη, εξετάζεται η μεθόδους που μπορεί να εξαγει υψηλότερη θερμότητα ή ενέργεια από τη διαδικασία καύσης και να ακολουθήσει τη διαδικασία, λιγότερη ποσότητα ενέργειας που απελευθερώνεται ή ξοδεύεται. Μετά από κάποιες υπολογιστικές και εμπειρικές διαδικασίες, με την κατάσταση του νερού στα προϊόντα καύσης, η ενέργεια που μπορεί να πάρει από την καύση ποικίλει. Οι τιμές που αντιπροσωπεύουν υψηλότερη τιμή θέρμανσης και χαμηλότερη τιμή θέρμανσης είναι αντίστοιχα όταν το νερό είναι σε υγρή μορφή και σε αέρια μορφή. Βασική θεωρία είναι η ενέργεια που απορροφάτε από το νερό όταν εξατμιστεί στο περιβάλλον για να μειώσει την απόδοση θερμότητας από τη διαδικασία. Έτσι, μέσω αυτού του πρακτικού μπορεί να μετρηθεί η διαφορά της ΚΘΔ και της ΑΘΔ του υγρού αερίου.

Η υψηλότερη θερμογόνος δύναμη έχει υψηλότερη ενέργεια, όπως φαίνεται από το όνομα της σε σχέση με την κατώτερη θερμογόνο δύναμη. Αλλά από την εφαρμογή, πρέπει να επιλέξουμε τις κατάλληλες συνθήκες. Ορισμένες από τις διεργασίες διαταράσσονται από τις υψηλότερες τιμές θέρμανσης εξαιτίας του συμπυκνωμένου νερού, επίσης από την άλλη πλευρά, κάποια διαδικασία διαταράσσεται λόγω του σχηματισμού του υδρατμού. Και επίσης αυτές οι τιμές υπολογίζονται υπό κανονικές συνθήκες λόγω της ευκολίας της σύγκρισης, έτσι ώστε η κατάσταση που θα επιλεγεί θα είναι πολύ πιο σημαντική σε πρακτικές περιπτώσεις.

2.2.1 Εξοπλισμός

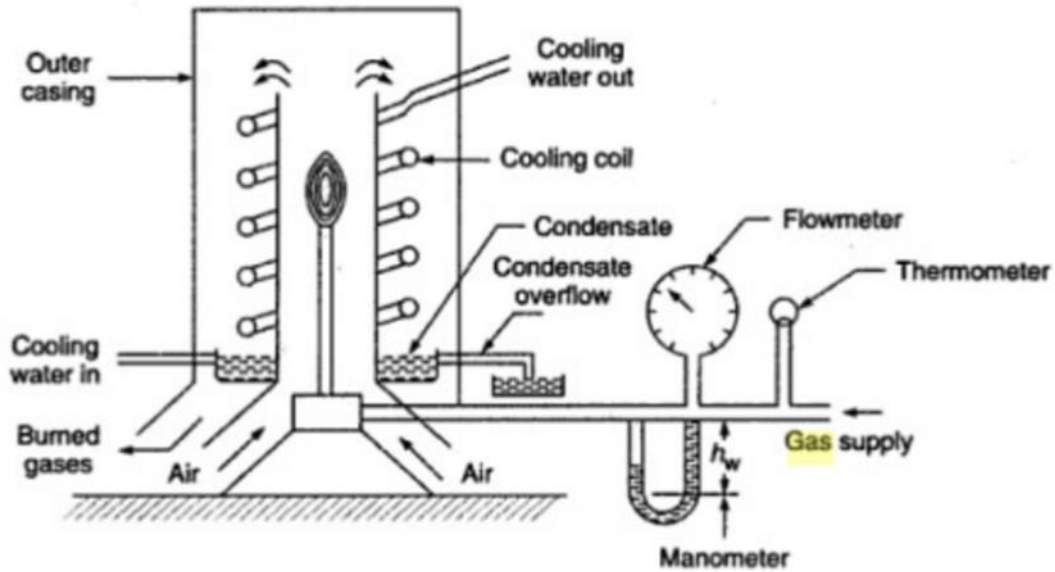
- Θερμιδόμετρο Boy's
- Θερμόμετρο
- Μανόμετρο
- Κεφαλή σταθερής πίεσης
- Χρονόμετρο



Εικόνα 2.3 Θερμιδόμετρο Boy's

2.2.2 Διαδικασία

Η εικόνα 2.3 δείχνει τα εξαρτήματα του θερμιδόμετρου Boy's. Ένας ρυθμιστής πίεσης αερίου χρησιμοποιείται στη γραμμή τροφοδοσίας αερίου για την εξασθένηση τυχόν διακυμάνσεων της πίεσης που θα επηρέαζαν αρνητικά τα αποτελέσματα. Το παρεχόμενο καύσιμο καίγεται μέσα σε ένα κυλινδρικό δοχείο που περιβάλλεται από ένα ψυκτικό πηνίο από μια σταθερή δεξαμενή κεφαλής. Το καυσαέριο κινείται προς τα επάνω στο κυλινδρικό δοχείο και κατόπιν ρέει προς τα κάτω από την κορυφή του δοχείου όπως φαίνεται στο σχήμα. Ο ατμός που σχηματίζεται λόγω της καύσης του υδρογόνου στο καύσιμο και μεταφέρεται με τα αέρια συμπυκνώνεται γύρω από το πηνίο ψύξης και στάζει κάτω στην παγίδα κάτω, όπως φαίνεται στο σχήμα. Η υπερχειλίση του συμπυκνώματος αφαιρείται σε ένα γυάλινο ποτήρι όπως φαίνεται στην εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4 Διαδικασία λειτουργίας

Το εξωτερικό περίβλημα του θερμιδόμετρου είναι εφοδιασμένο με βαριά μόνωση για να αποτρέψει οποιαδήποτε απώλεια θερμότητας στο περιβάλλον:

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής λαμβάνονται οι ακόλουθες αναγνώσεις:

1. Χρόνος εκτέλεσης
2. Πίεση και θερμοκρασία της παροχής αερίου
3. Όγκος καταναλισκόμενου αερίου
4. Μάζα νερού που κυκλοφόρησε
5. Αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού
6. Μάζα συμπυκνωμάτων που συλλέγονται
7. Βαρομετρική ανάγνωση

2.3 ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΚΩΝΟΥ

2.3.1. Ιστορική ανάδρομή

Κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1970 και στις αρχές του 1980 κρίθηκε αναγκαία η κατασκευή ενός αξιόπιστου μηχανικού εργαλείου για τη μέτρηση του ρυθμού απελευθέρωσης της θερμότητας (σε εργαστηριακή κλίμακα). Αυτό συνέβη γιατί ο ρυθμός απελευθέρωσης της θερμότητας αποτελεί την πιο σημαντική και ταυτόχρονα απλή μεταβλητή που απαιτείται για να περιγράψει τον κίνδυνο της πυρκαγιάς.

Ένας αριθμός τέτοιων συσκευών είχαν ήδη κατασκευαστεί κατά τα παρελθόντα έτη. Κανένα όμως δεν κρίθηκε κατάλληλο για την κανονική εργαστηριακή χρήση από τον μηχανικό. Πρόβλημα παρουσιαζόταν τόσο στα σφάλματα μέτρησης, όσο και στη

δυσκολία της λειτουργίας τους. Για να φτάσουμε στον τελικό σχεδιασμό της συσκευής αυτής, η οποία και ονομάστηκε «θερμιδόμετρο κώνου» χρειάστηκαν αρκετά χρόνια διερευνητικής εργασίας.

Η βασική αρχή λειτουργίας του θερμιδόμετρου κώνου έχει παραμείνει αναλλοίωτη έως και σήμερα. Παρόλα αυτά έχουν γίνει πολυάριθμες βελτιώσεις και προσθήκες στην αρχική μορφή της συσκευής του 1982. Η πιο σημαντική αλλαγή της συσκευής αυτής ήταν η εισαγωγή των συστημάτων που αφορούν τη μέτρηση καπνού και αιθάλης. Οι περισσότερες από τις αλλαγές που υπέστη η συσκευή δεν εμπλέκονται με τη λειτουργία της –τεχνικά- αλλά επανασχεδιάστηκαν κάποια μέρη της προκειμένου να είναι πιο αξιόπιστη και πιο εύκολη στη λειτουργία της.

Μια ανάπτυξη έρευνας υπήρξε η κατασκευή της ελεγχόμενης ατμόσφαιρας με το θερμιδόμετρο κώνου. Τα οφέλη αυτής της κατασκευής είναι τρία: Α) Δίνεται η δυνατότητα να διεξάγει δοκιμές σε χαμηλά επίπεδα οξυγόνου, ή σε καθαρό άζωτο, που μπορούν να παρέχουν σημαντικές πρόσθετες πληροφορίες για το πολυμερές. Β) Σε ορισμένες εφαρμογές αεροδιαστημικής χρησιμοποιούνται υλικά αναφλεξιμότητας που θα πρέπει στη συνέχεια να μελετηθούν σε πιο επικίνδυνες συνθήκες. Γ) Κατά τη διάρκεια των φάσεων της φωτιάς ένα μέρος της καύσης λαμβάνει χώρα σε ρεύματα αέρα. Τέτοια συμπεριφορά καύσης μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με ένα θερμιδόμετρο κώνου ελεγχόμενης ατμόσφαιρας.

Πολλές παλαιότερες συσκευές για την αξιολόγηση της ευφλεκτότητας δεν βασίζονται σε ρεαλιστικές συνθήκες πυρκαγιάς, ούτε οι μετρήσεις που λαμβάνονται έχουν ιδιαίτερη ποσοτική μηχανική σημασία. Ως εκ τούτου, αυτές οι συσκευές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μόνο για την επιτυχία ή αποτυχία ενός δείγματος, σύμφωνα με κάποια κανονιστική απαίτηση. Επειδή ο σχεδιασμός του και τα στοιχεία του είναι σταθερά και βασίζονται στη μηχανική κατανόηση της φωτιάς, το θερμιδόμετρο κώνου έχει ευρύτερη εφαρμογή. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για:

- Παροχή στοιχείων που απαιτούνται για την state-of-the-art φωτιά.
- Παροχή δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς της φωτιάς, με τη βοήθεια απλών τύπων ή συσχετίσεων.
- Για την κατάταξη των προϊόντων ανάλογα με τις επιδόσεις τους.

Μια μελέτη της δεκαετίας του 1990 έδειξε ότι τα ποσοτικά αποτελέσματα δεν είναι ακόμα ικανά και ορθά σύμφωνα με την πραγματική συμπεριφορά της φωτιάς. Αντίθετα, έχει δειχθεί ότι ο ρυθμός αποδέσμευσης της θερμότητας είναι η πιο σημαντική μεταβλητή που περιγράφει τον κίνδυνο της πραγματικής φωτιάς.

Τα στοιχεία που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια των διάφορων προγραμμάτων δοκιμής πυροδωματίου έχουν δείξει ότι αυτή η μεταβλητή θα μπορούσε να εξηγήσει την απελευθέρωση της θερμότητας που προκύπτει από τις επιφάνειες επί των οποίων εξαπλώνεται η φλόγα. Αυτό είναι δυνατό, δεδομένου ότι η διαδικασία της εξάπλωσης της φλόγας και η διαδικασία ανάφλεξης διέπονται από τις ίδιες θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού.

Πολλές μέθοδοι δοκιμής πυρός είχαν ιδιαίτερα απλή έξοδο δεδομένων. Συνήθως όμως, θα πρέπει να αναφέρονται ένας ή δύο αριθμοί ή ,ενδεχομένως, μία ή δύο καμπύλες. Το θερμιδόμετρο κώνου ,ωστόσο, εξάγει μεγάλες ποσότητες δεδομένων: οι καμπύλες της απελευθέρωσης της θερμότητας, καπνού, CO, CO₂ και άλλων αερίων απόδοσης καθώς επίσης και την απώλεια μάζας. Προστίθεται σε αυτό και ένα μεγάλο ποσό των βαθμωτών δεδομένων, πέρα των 100 μεταβλητών.

Αυτά είναι όλα τα δεδομένα που συλλέγονται εύκολα και αυτόματα από το λογισμικό που χρησιμοποιείται στο θερμιδόμετρο κώνου. Το ζήτημα όμως που

αντιμετωπίζουν οι μηχανικοί είναι η ανταλλαγή δεδομένων και η εισαγωγή στα μοντέλα πυρκαγιών και των μεθόδων υπολογισμού.

Παρά την εντυπωσιακά μεγάλη ποσότητα της έρευνας που έχει γίνει μέχρι τώρα, αναμένεται ότι θα γίνει ακόμα μεγαλύτερη όσον αφορά και τις εφαρμογές του θερμιδόμετρου κώνου τα χρόνια που έρχονται. Πρόκειται για μια συσκευή η οποία έχει ήδη αποδείξει τη χρησιμότητά της για τη βιομηχανία και τα εργαστήρια δοκιμών. Ορισμένες από τις σημαντικές τάσεις που αναμένονται για τα επόμενα χρόνια περιλαμβάνουν:

- Αυξημένη χρήση στην ανάπτυξη πολυμερών.
- Έγκριση σε οικοδομικούς κώδικες και άλλες ρυθμίσεις με διάφορες εφαρμογές που οι απαιτήσεις θα πρέπει να εξυπηρετούνται καλύτερα από μία προσέγγιση του ρυθμού έκλυσης της θερμότητας.
- Μία αύξηση του αριθμού των τύπων του προϊόντος για το οποίο είναι διαθέσιμες συσχετίσεις ή αλγόριθμοι.
- Αυξημένο ενδιαφέρον για τα δεδομένα του θερμιδόμετρου κώνου από μηχανικούς πυροπροστασίας, όπου η μοντελοποίηση της φωτιάς είναι πιο ολοκληρωμένη και πιο επιτυχημένη.

Ένα θερμιδόμετρο κώνου είναι μια σύγχρονη συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μελέτη της συμπεριφοράς μικρών δειγμάτων διαφόρων υλικών σε συμπυκνωμένη φάση. Χρησιμοποιείται ευρέως στον τομέα της Μηχανικής Πυρασφάλειας.

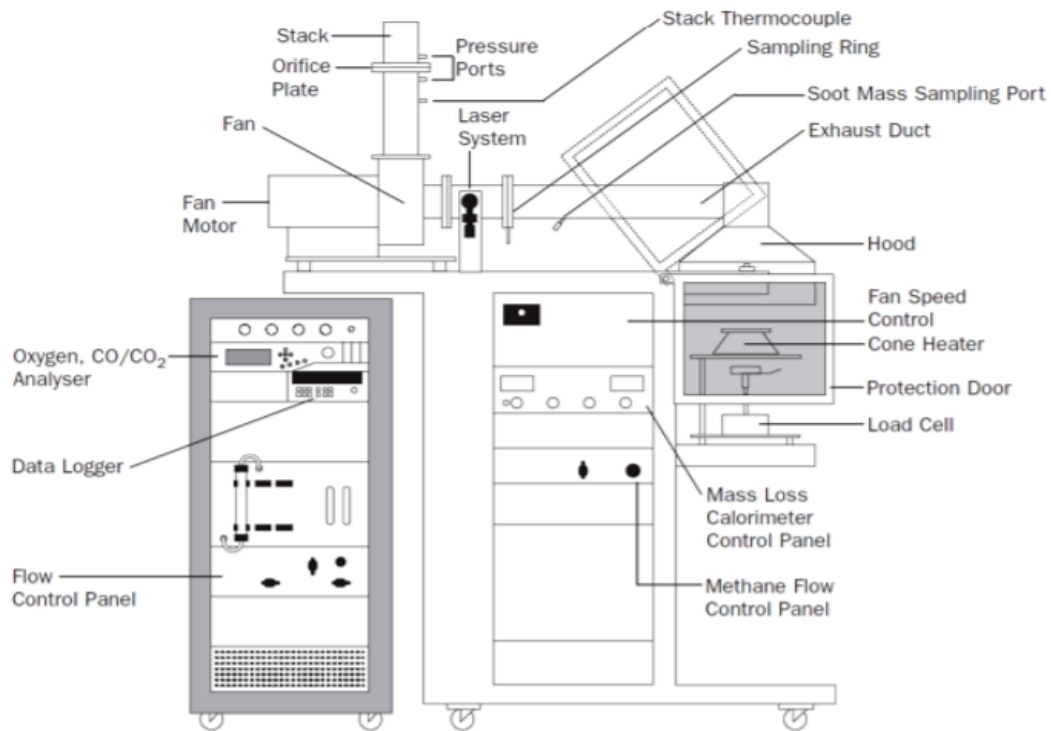
Συγκεντρώνει δεδομένα σχετικά με τον χρόνο ανάφλεξης, την απώλεια μάζας, τα προϊόντα καύσης, τον ρυθμό απελευθέρωσης θερμότητας και άλλες παραμέτρους που σχετίζονται με τις ιδιότητες καύσης του δείγματος. Η αρχή για τη μέτρηση του ρυθμού απελευθέρωσης θερμότητας βασίζεται στην αρχή του Huggett [1] ότι η συνολική θερμότητα καύσης οποιουδήποτε οργανικού υλικού σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την καύση. Η θερμιδομετρία κατανάλωσης οξυγόνου έχει κάνει τη μέτρηση του ρυθμού απελευθέρωσης θερμότητας μιας πυρκαγιάς ένα μέρος ρουτίνας των δοκιμών πυρκαγιάς τόσο για την έρευνα όσο και για τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς. Ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας είναι πρωταρχικό μέτρο πυρκαγιάς το οποίο είναι θεμελιώδες στη σύγχρονη μηχανική πυροπροστασίας. Η συσκευή επιτρέπει σε ένα δείγμα να εκτεθεί σε διαφορετικές ροές θερμότητας πάνω από την επιφάνεια του. Το όνομά του προέρχεται από το κωνικό σχήμα του θερμαντήρα ακτινοβολίας που παράγει μια σχεδόν ομοιόμορφη ροή θερμότητας στην επιφάνεια του υπό μελέτη δείγματος.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και στις αρχές της δεκαετίας του 1980, η κοινότητα των πυρκαγιών πιέζει για αξιόπιστα εργαλεία κλίμακας για τη μέτρηση της αναφλεξιμότητας υλικών με βάση το ρυθμό απελευθέρωσης θερμότητας. Ένα μέτρο των ρυθμών απελευθέρωσης θερμότητας πιστεύεται ότι είναι το πιο αξιόπιστο και ακριβές μέτρο της ευφλεκτότητας ενός υλικού. Δυστυχώς, μόνο λίγα εργαλεία μέτρησης απελευθέρωσης θερμότητας ήταν διαθέσιμα εκείνη τη στιγμή και ήταν δύσκολο να λειτουργήσουν και τα δεδομένα ήταν πολύ ασυμβίβαστα. Ο Κώνος είναι ένα εργαλείο πυρασφάλειας βασισμένο στην αρχή ότι η ποσότητα θερμότητας που απελευθερώνεται από ένα δείγμα καύσης σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται κατά την καύση. Η ποσότητα θερμότητας που παράγει ένα υλικό ευθυγραμμίζεται άμεσα με τη σοβαρότητα μιας πυρκαγιάς, όπως ο ρυθμός αύξησης της πυρκαγιάς. Για να αποκτήσετε πρόσβαση στην ευφλεκτότητα του υλικού, εκτίθεται

σε μια εξωτερική πηγή θερμικής ακτινοβολίας. Ως εκ τούτου, δεδομένου ότι πρόκειται για δοκιμασία εξαναγκασμένης καύσης, οι τιμές των κώνων πιστεύεται ότι συχνά αντανakλούν την ευφλεκτότητα ενός δεύτερου προϊόντος που αναφλέγεται. (ΣΤΑΜΑΤΟΠΟΥΛΟΥ ΗΛΙΑΝΑ, ΣΤΑΜΑΤΟΠΟΥΛΟΥ ΗΛΙΑΝΑ πτυχιακή εργασία πειραματική διερεύνηση θερμοφυσικών ιδιοτήτων υλικών με την μέθοδο καλοριμετρίας κώνου).

Τα βασικά στοιχεία της διάταξης όπως φαίνονται και στην εικόνα 2.5, είναι:

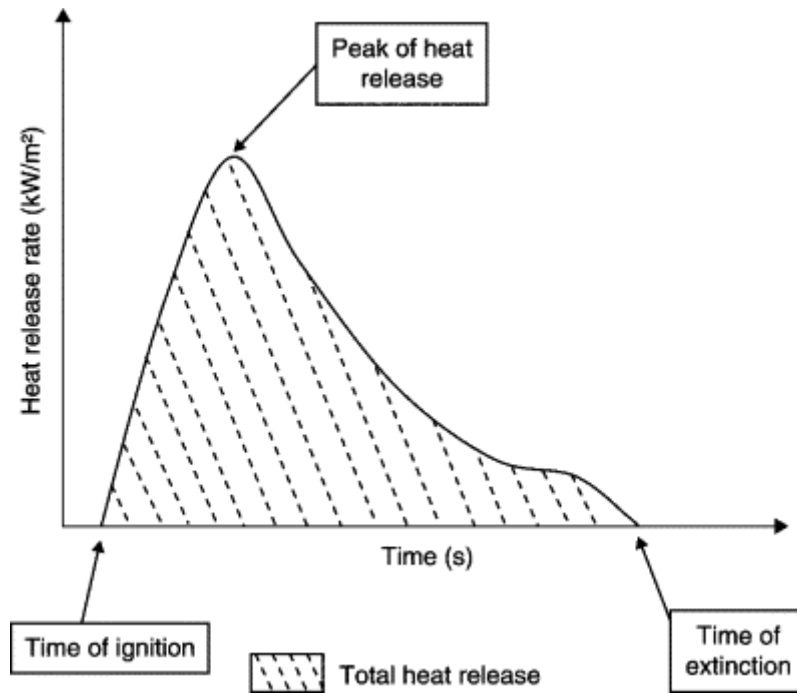
- θερμαντήρας κώνου με μέγιστη εκλυόμενη θερμότητα 100 kW/m^2 , που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κατακόρυφο προσανατολισμό.
- σπινθηριστής ή αναφλεκτήρας (igniter) 10kV , για την ανάφλεξη του υλικού.
- μετρητής ροής θερμότητας (heat flux meter) για την ρύθμιση – βαθμονόμηση της παρεχόμενης θερμότητας στο υπό εξέταση δοκίμιο.
- σύστημα απαγωγής καυσαερίων το οποίο αποτελείται από μία καμινάδα και όργανα καταγραφής των αερίων της καύσης.
- αναλυτές των αερίων της καύσης (O_2 , CO , CO_2)
- αισθητήρες θερμοκρασίας (θερμοζεύγη).
- φωτόμετρο για τον προσδιορισμό της ποσότητας του παραγόμενου καπνού,
- ζυγός ακριβείας για τον προσδιορισμό του ρυθμού απώλειας μάζας του υπό δοκιμή υλικού.
- αισθητήρες μέτρησης διαφορικής πίεσης,
- σύστημα αφύγρανσης



Εικόνα 2.5 Θερμιδόμετρο κώνου και τα μέρη του.

2.3.2 Σύστημα θερμιδόμετρου κώνου

Οι μετρήσεις της ροής αερίου και της συγκέντρωσης οξυγόνου χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ποσότητας απελευθέρωσης θερμότητας ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας: ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας (HRR) εκφράζεται σε kW / m^2 . Η εξέλιξη της HRR με την πάροδο του χρόνου, και ιδίως η τιμή του μέγιστου / μέγιστου (pHRR ή HRRmax), συνήθως λαμβάνεται υπόψη για την αξιολόγηση των ιδιοτήτων φωτιάς. Η ολοκλήρωση της καμπύλης HRR έναντι του χρόνου δίνει την ολική απελευθέρωση θερμότητας (TRR) εκφραζόμενη σε kJ / m^2 . Επιπλέον, η δοκιμή επιτρέπει επίσης τον χαρακτηρισμό του χρόνου ανάφλεξης (TOI), του χρόνου καύσης ή εξαφάνισης (TOF), της απώλειας μάζας κατά την καύση, των ποσοτήτων CO και CO₂ και του συνολικού καπνού που απελευθερώνεται (TSR) (εικόνα 2.6)



Εικόνα 2.6. Διάγραμμα θερμότητας που απελευθερώνεται συναρτήσει του χρόνου.

2.3.3 Διαδικασία εξέτασης

Κατά τη δοκιμή ενός προϊόντος σύμφωνα με το πρότυπο ISO 5660, ένα δείγμα με διάσταση 100 mm x 100 mm υποβάλλεται σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο ακτινοβολίας. Η επιφάνεια του δείγματος θερμαίνεται και αρχίζει να εκπέμπει αέρια πυρόλυσης που αναφλέγονται με ανάφλεξη με σπινθήρα. Τα εκπεμπόμενα αέρια συλλέγονται σε κουκούλα και μεταφέρονται μακριά μέσω συστήματος εξαερισμού. Η απελευθέρωση θερμότητας μετράτε χρησιμοποιώντας τα δεδομένα για τη μετρούμενη συγκέντρωση οξυγόνου στον εκπεμπόμενο καπνό. Η παραγωγή καπνού μετράτε συνεχώς κατά τη διάρκεια της δοκιμής με ένα σύστημα λέιζερ.

2.3.4 Τα μέρη ενός θερμιδόμετρου κώνου

Το θερμιδόμετρο κώνου αποτελείται από πολλά βασικά μέρη και συσκευές. Αυτά τα μέρη μετρούν, καταγράφουν, ρυθμίζουν και ρυθμίζουν αρκετές παραμέτρους όπως θερμοκρασίες, μάζα, ροή αερίου και συγκέντρωση.

Το δοκίμιο τοποθετείται σε μια υποδοχή δείγματος μετάλλου, η οποία τοποθετείται στο κελί φόρτωσης. Η κυψέλη φορτίου καταγράφει το βάρος του δείγματος κατά τη διάρκεια του πειράματος. Υπάρχουν δύο τύποι κατόχων δειγμάτων. Ανάλογα με το δοκίμιο, η θήκης δείγματος μπορεί να έχει ανοιχτές ή κλειστές άκρες. Εάν το δείγμα έχει διογκωτικό τύπο (δηλ. Το δείγμα διογκώνεται και σχηματίζει προστατευτικό στρώμα χαρτιού), μπορεί να τοποθετηθεί ένα ενσύρματο πλέγμα για να διατηρηθεί το δείγμα στη θέση του όταν εμφανιστεί διόγκωση. Το ενσύρματο πλέγμα χρησιμοποιείται πάντοτε όταν δοκιμάζεται σε οριζόντια θέση και με τη βάση δείγματος πλαισιωμένου πλαισίου. Ένας αναφλεκτήρας σπινθήρων βρίσκεται ακριβώς επάνω

από την επιφάνεια του δείγματος κάτω από τον θερμαντήρα κώνου. Αυτό ανάβει τα εύφλεκτα αέρια που αφήνουν το δείγμα όταν θερμαίνεται το δείγμα. Όταν η όλη περιοχή δείγματος καίγεται, ο πυροκροτητής σβήνει και μετακινείται προς τα πλάγια. Πριν από το πείραμα κατά τη βαθμονόμηση, τοποθετείται μια συσκευή μέτρησης της ροής θερμότητας που ψύχεται με νερό στο επίπεδο της επιφάνειας του δείγματος. Στη συνέχεια, ο θερμαντήρας κώνου ρυθμίζεται στη θερμοκρασία που δίνει την επιθυμητή ροή θερμότητας στην επιφάνεια του δείγματος. Κανονικά, ο κώνος είναι τοποθετημένος οριζόντια, αλλά ο κάθετος προσανατολισμός είναι επίσης δυνατός. Το όνομα αυτής της συσκευής ελέγχου προέρχεται από το σχήμα του θερμαντήρα. Ο θερμαντήρας είναι τυλιγμένος σε κωνικό σχήμα από συρματοσχοινο θερμαντικής αντίστασης μήκους πάνω από 3 m, συσκευασμένο σε πυρίμαχο οξειδίο του μαγνησίου.

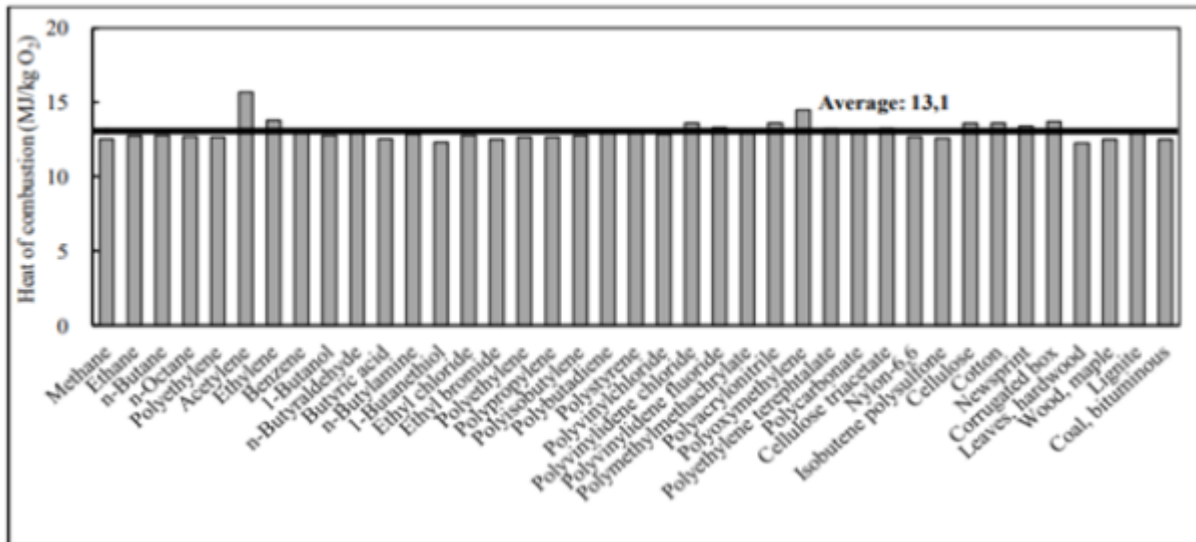
Τα καυσαέρια από το δείγμα καύσης συλλέγονται στο καπό εξαγωγής που βρίσκεται ακριβώς επάνω από τον θερμαντήρα. Ένας ανεμιστήρας καυσαερίων τοποθετείται στη γραμμή καυσαερίων για να ρυθμίσει την παροχή των προϊόντων καύσης. Ο δακτύλιος δειγματοληψίας αερίου βρίσκεται πριν από τον ανεμιστήρα στη γραμμή καυσαερίων. Πριν από την επίτευξη των αναλυτών αερίων, το αέριο που λαμβάνεται από τον δακτύλιο πρώτα διέρχεται μέσω δύο φίλτρων για την απομάκρυνση των σωματιδίων, στη συνέχεια μέσω μιας ψυχρής παγίδας και ενός παράγοντα ξήρανσης για την απομάκρυνση του πιθανού νερού. Μεταξύ του δακτυλίου δειγματοληψίας αερίου και του ανεμιστήρα υπάρχει επίσης καπνός

2.3.5 Σύστημα μέτρησης

Αυτό μετρά την παραγόμενη ποσότητα καπνού με φωτομετρική δέσμη λέιζερ. Ο μόνος αναλυτής που απαιτείται για την εκτέλεση πειραμάτων βασικού θερμιδόμετρου κώνου είναι ο αναλυτής οξυγόνου. Επιπρόσθετοι αναλυτές, όπως αναλυτές μονοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του άνθρακα, προσαρμόζονται συνήθως για να κατανοήσουν καλύτερα τη διαδικασία καύσης και να μειώσουν τις αβεβαιότητες στα αποτελέσματα. Για περαιτέρω ανάλυση των προϊόντων καύσης και τα είδη αερίου, για παράδειγμα ένα φασματομέτρο υπέρυθρων μετασχηματισμού Fourier (FTIR) μπορούν να συζευχθούν μέσω μιας θερμαινόμενης γραμμής.

2.3.6 Σχέση μεταξύ κατανάλωσης οξυγόνου και τιμής θέρμανσης

Η ταχύτητα απελευθέρωσης θερμότητας (HRR) υπολογίζεται από τη συγκέντρωση οξυγόνου στα καυσαέρια. Η θερμότητα που απελευθερώνεται (εικόνα 2.7) από ένα καύσιμο έχει αποδειχθεί ότι είναι ανάλογη με το οξυγόνο που καταναλώνονται κατά την καύση. (HUGGETT, Clayton, 1980) Το 13.1 είναι μια βασική τιμή στις μετρήσεις και τους υπολογισμούς του θερμιδόμετρου του κώνου. Στη μελέτη του Huggett, πολλά καύσιμα φαίνεται να έχουν σχεδόν την ίδια τιμή για θερμότητα καύσης. Οι τιμές είναι πλησιέστερες μεταξύ τους ακόμη και αν υπάρχει μεγάλη διακύμανση στους τύπους καυσίμων. Ο μέσος όρος αυτών των τιμών υπολογίζεται σε 13,1 MJ / kg O₂ (Εικόνα 26) με ακρίβεια ± 5%.



Εικόνα 2.7 Θερμότητα που απελευθερώνεται από καύση διαφόρων καυσίμων δεδομένα από HUGGETT, Clayton. 1980

Το λογισμικό θερμιδόμετρου κώνου υπολογίζει τον ρυθμό απελευθέρωσης θερμότητας με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\dot{q} = (13.1 \cdot 10^3) \cdot 1.1C \frac{(0.2095 - X_{O_2})}{(1.105 - 1.5 \cdot X_{O_2})}$$

q=ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας (kW)

C=συντελεστής πλάκας στομίου (kg^{1/2}m^{1/2}K^{1/2})

ΔP=πτώση πίεσης κατά πλάτος της πλάκας οπών (Pa)

Te=θερμοκρασία αερίου στην πλάκα του στομίου (K)

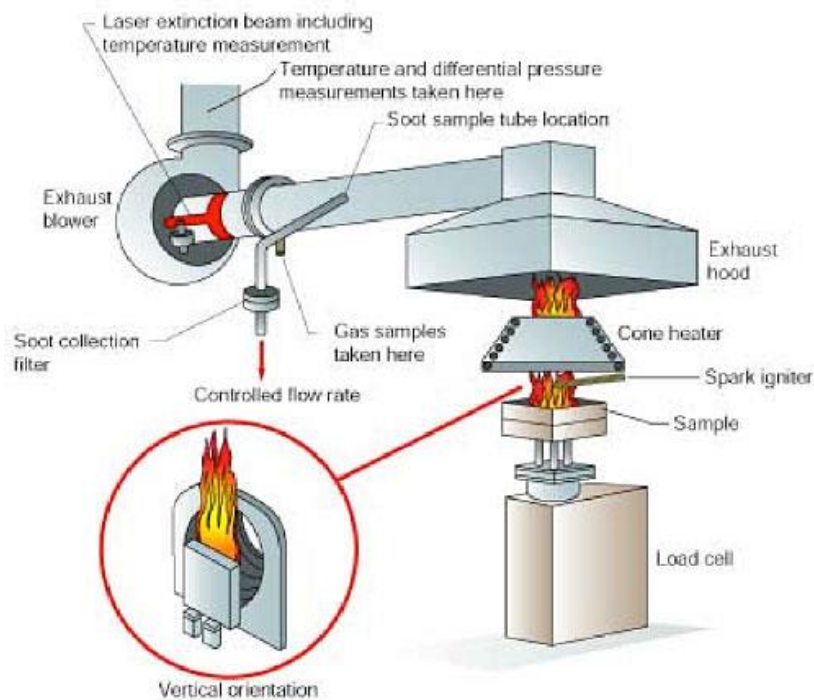
X_{O2}= measured mole fraction of O₂ in the exhaust air

Εάν είναι γνωστό το προς δοκιμή καύσιμο, η πραγματική τιμή για τη θερμότητα καύσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την εκτέλεση πειραμάτων εισάγοντας αυτή την τιμή στο λογισμικό θερμιδόμετρου κώνου. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται το σφάλμα. Αναλυτικά θα δούμε λεπτομέρειες για το θερμιδόμετρο κώνου στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

3.1 ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΚΩΝΟΥ

Παρακάτω φαίνεται η σχηματική απεικόνιση του κώνου. (εικόνα 3.1). Ένα δείγμα τοποθετείται κάτω από ένα ακτινωτό θερμαντήρα σχήματος "κώνου". Τυπικά, τα δείγματα εκτίθενται σε εξωτερική μορφή ροής με θερμαντήρα $35 \text{ kW} / \text{m}^2$. Ωστόσο, για περισσότερα πυρίμαχα υλικά, ο θερμαντήρας αυξήθηκε συχνά στα $50 \text{ kW} / \text{m}^2$. Μόλις δημιουργηθούν αρκετά προϊόντα πυρόλυσης, λαμβάνει χώρα ανάφλεξη. Το προϊόν καύσης κινείται διαμέσου του θερμαντήρα κώνου και μέσω ενός εξαντλημένου αγωγού. Οι μετρήσιμες / υπολογιζόμενες τιμές που τυπικά είναι σημαντικές περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται στον χρόνο ανάφλεξης, τον ρυθμό απώλειας μάζας κατά την καύση, το χρόνο μέχρι και την τιμή της μέγιστης ποσότητας θερμότητας που απελευθερώνεται κατά την καύση.



Εικόνα 3.1 Θερμιδόμετρο κώνου

Παρακάτω (εικόνα 3.2) φαίνεται μία απεικόνιση του θερμιδόμετρου κώνου του εργαστηρίου



Εικόνα 3.2 Θερμιδόμετρο κώνου εργαστηρίου

Τα βασικά στοιχεία της διάταξης είναι:

- θερμαντήρας κώνου με μέγιστη εκλυόμενη θερμότητα 100 kW/m^2 , που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κατακόρυφο προσανατολισμό.
- σπινθηριστής ή αναφλεκτήρας (igniter) 10kV , για την ανάφλεξη του υλικού.
- μετρητής ροής θερμότητας (heat flux meter) για την ρύθμιση – βαθμονόμηση της παρεχόμενης θερμότητας στο υπό εξέταση δοκίμιο.
- σύστημα απαγωγής καυσαερίων το οποίο αποτελείται από μία καμινάδα και όργανα καταγραφής των αερίων της καύσης.
- αναλυτές των αερίων της καύσης (O_2 , CO , CO_2)
- αισθητήρες θερμοκρασίας (θερμοζεύγη).
- φωτόμετρο για τον προσδιορισμό της ποσότητας του παραγόμενου καπνού,
- ζυγός ακριβείας για τον προσδιορισμό του ρυθμού απώλειας μάζας του υπό δοκιμή υλικού.
- αισθητήρες μέτρησης διαφορικής πίεσης,
- σύστημα αφύγρανσης

Το δοκίμιο τοποθετείται σε ένα μεταλλικό υποδοχέα που είναι μονωμένος με αλουμινόχαρτο και ο οποίος τοποθετείται στο ζυγό. Ο ζυγός καταγράφει το βάρος του δοκιμίου καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Ένας αναφλεκτήρας βρίσκεται τοποθετημένος ακριβώς πάνω από την επιφάνεια του δοκιμίου και κάτω από το θερμαντήρα κώνου. Ο αναφλεκτήρας θα αναφλέξει τα εύφλεκτα αέρια που εξέρχονται από το δοκίμιο όταν αυτό θερμαίνεται. Όταν ολόκληρη η επιφάνεια του δείγματος αρχίζει να καίγεται ομοιόμορφα, τότε ο αναφλεκτήρας απενεργοποιείται και αποσύρεται.



Εικόνα 3.3 Θερμιδόμετρο κώνου και τα μέρη του.

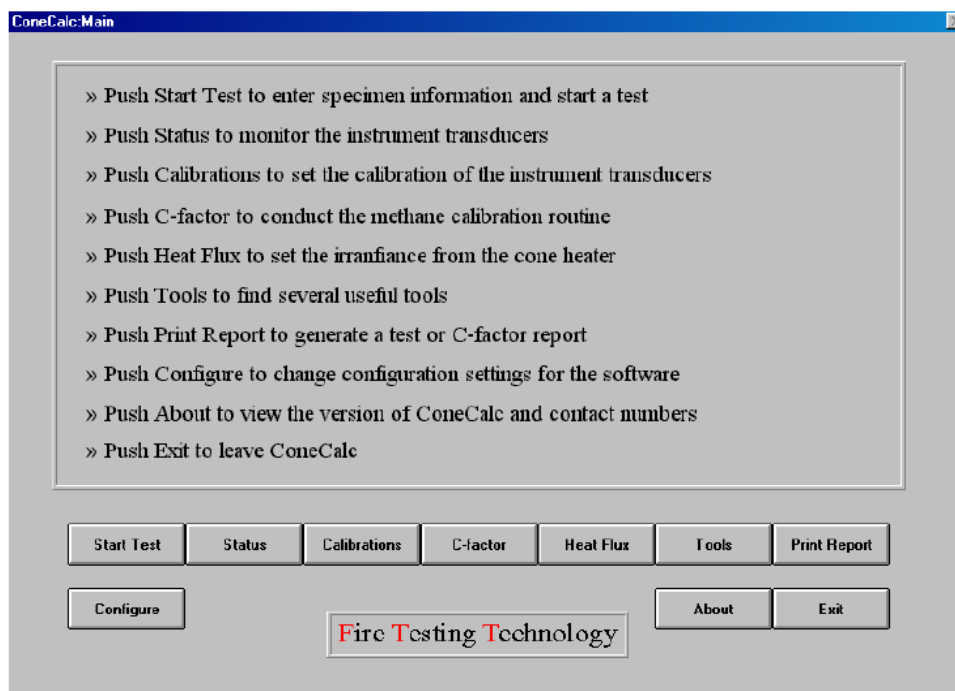
3.2. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΟΥ

3.2.1 Βασικά βήματα πριν την έναρξη της λειτουργίας

1. Ελέγχεται ο αναλυτή αερίων ώστε να έχει παραμείνει ανοικτός τουλάχιστον 24 ώρες πριν τη δοκιμή
2. Στο πίσω μέρος την μονάδας του αναλυτή υπάρχει διακόπτης (Cold Trap) ο οποίο και ανοίγεται για να αφαιρεθούν τυχόν υγρά συμπυκνώματα (νερό που παραμένει από τη διαδικασία προηγούμενης ημέρας). Κατά τη διάρκεια λειτουργίας ο διακόπτης πρέπει να παραμείνει κλειστός.
3. Ελέγχεται η παροχή νερού αν λειτουργεί κανονικά
4. Ελέγχεται η σωστή παροχή αερίων N_2 , CO_2 , CO

3.2.2. Διαδικασία ημερήσιας βαθμονόμησης

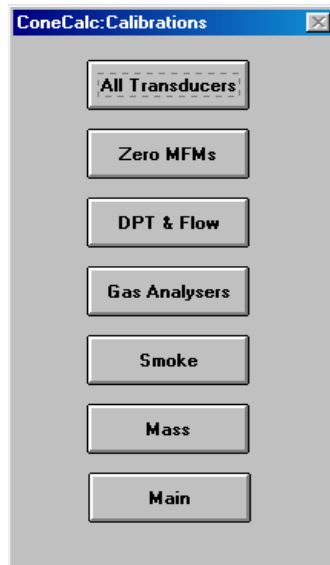
Μετά την έναρξη των Windows με διπλό κλικ στο εικονίδιο ConeCal γίνεται η εισαγωγή στο λογισμικό ελέγχου του θερμιδόμετρου. Τότε φορτώνεται η εφαρμογή και στον Η/Υ εμφανίζεται ένα κύριο μενού με τις δυνατές ρυθμίσεις του θερμιδόμετρου. Το μενού φαίνεται στην εικόνα 3.4. Στο κάτω μέρος της οθόνης υπάρχουν 10 κουμπιά με τα οποία γίνεται η πρόσβαση σε όλες τις λειτουργίες.



Εικόνα 3.4 Αρχικό μενού θερμιδόμετρου

Υπάρχουν βαθμονομήσεις ενός η δύο βημάτων. Στην περίπτωση των δύο βημάτων δημιουργείται μια συνθήκη zero και μια συνθήκη span.την περίπτωση του ενός βήματος δημιουργείται μόνο μια συνθήκη zero.

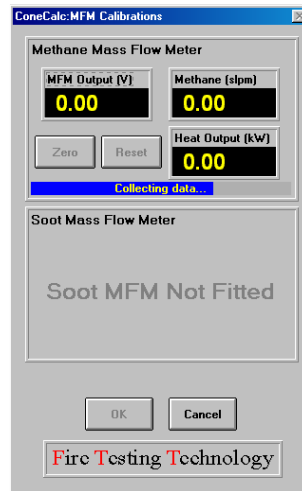
Η πρώτη εργασία που γίνεται είναι η βαθμονόμηση του οργάνου. Με το κουμπί Calibrations. Στην συνέχεια εμφανίζεται στην οθόνη το Calibration Panel όπου φαίνονται τα είδη των βαθμονομήσεων που απαιτούνται ώστε να γίνει αξιόπιστη βαθμονόμηση των δοκιμών που θα γίνουν μετέπειτα. Το Calibration Panel φαίνεται στην εικόνα 3.5.



Εικόνα 3.5 Calibration Panel

A. Zero MFMs

Πατώντας το κουμπί Zero MFMs ρυθμίζεται και μηδενίζεται η παροχή του μεθανίου. (Πρόκειται για βαθμονόμηση ενός βήματος). Στην οθόνη του Η/Υ εμφανίζεται το παράθυρο MFM Calibration εικόνα 3.6.

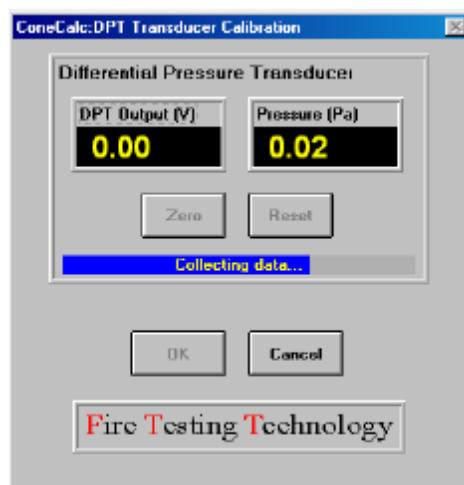


Εικόνα 3.6 MFM Calibration Panel

Όταν η παροχή του μεθανίου είναι μηδέν (η βάνα της μπουκάλας μεθανίου είναι κλειστή) πατώντας το κουμπί zero, στην οθόνη εμφανίζεται μια μπάρα προόδου που στο τέλος θα δώσει μηδέν στην ένδειξη MFM Output (V). Στην συνέχεια με το OK γίνεται η επιστροφή στο Calibration Panel προκειμένου να γίνει η ρύθμιση άλλων transducers.

B. DPT & FLOW

Στο βήμα αυτό γίνεται ενεργοποίηση του εξωτερικού απορροφητήρα που βρίσκεται πάνω από την καμινάδα του οργάνου και στη συνέχεια γίνεται μηδενισμός του Differential Pressure Transducer. Πρόκειται για βαθμονόμηση ενός βήματος.

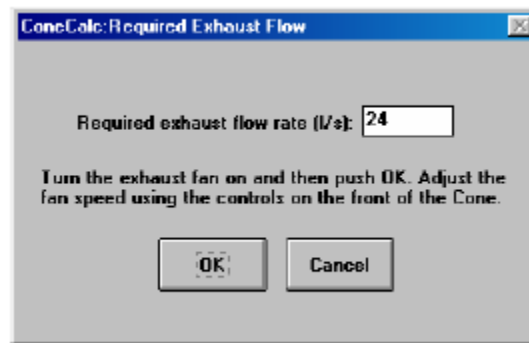


Εικόνα 3.7 DPT Transducer Calibration Panel

Σε αυτό το στάδιο μηδενίζοντας προσφέρεται σαν αρχική (μηδενική) συνθήκη στο όργανο τη λειτουργία του εξωτερικού απορροφητήρα ο οποίος από το σημείο αυτό και μετά παραμένει σε λειτουργία μέχρι να ολοκληρωθούν όλες οι προγραμματισμένες δοκιμές της ημέρας.

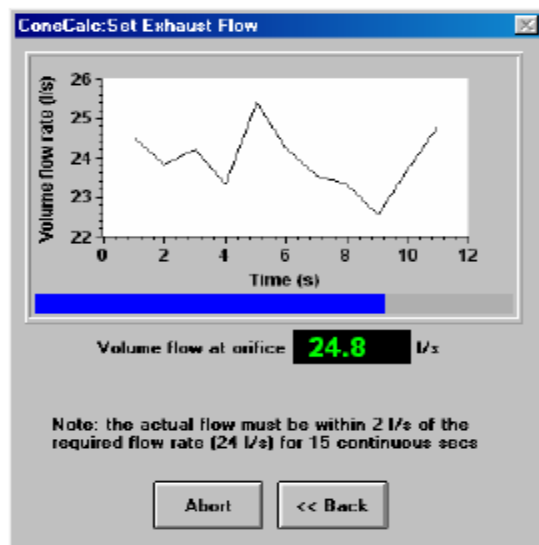
Στη συνέχεια στο Calibration Panel πατώντας το κουμπί DPT & FLOW εμφανίζεται στην οθόνη μηνύματα οδήγησης για τον χρήστη που βοηθάει στη συνειδητοποίηση της αρχικής συνθήκης που θέτεται ότι δηλ. η λειτουργία του απορροφητήρα αποτελεί την αρχική συνθήκη. Πατώντας το Zero εμφανίζεται η μπάρα προόδου της εργασίας (Collecting data).

Έπειτα ενεργοποιείται το exhaust fan του θερμιδόμετρου και αποκαταστήται μια ροή στον αγωγό με παροχή 24 lt/sec Αυτό πρακτικά γίνεται ρυθμίζοντας τις στροφές του κινητήρα - ανεμιστήρα βαθμιαία στην ένδειξη 55 και κάτι (εμπειρικά). Το παράθυρο που ανοίγει στο λογισμικό φαίνεται στην Εικόνα 3.8



Εικόνα 3.8 Απαιτούμενη Παροχή Οργάνου.

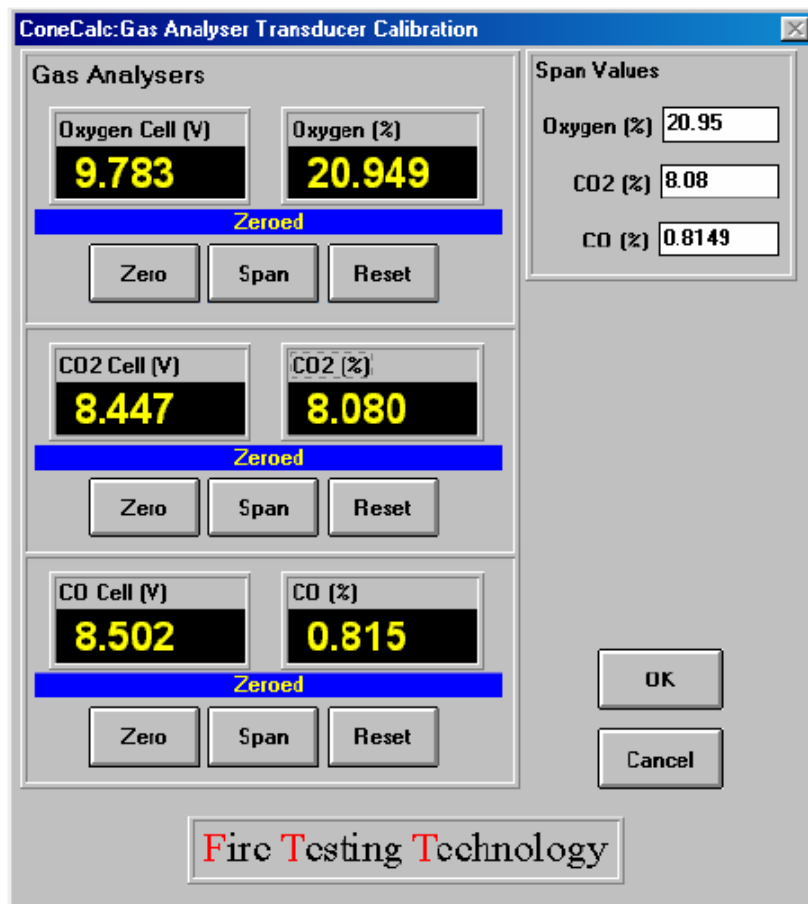
Κατά τη διάρκεια που το όργανο συλλέγει δεδομένα θα πρέπει να γίνει δυνατό ώστε η παροχή στον αγωγό να βρίσκεται κοντά στην τιμή που έχει δοθεί πράγμα που στο λογισμικό επιβεβαιώνεται στην μπάρα προόδου χρωματίζοντας πράσινη την τιμή κατά την ολοκλήρωση στο χρόνο. Αν η τιμή είναι στο κόκκινο η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί. Η πρόοδος της διαδικασίας φαίνεται στην Εικόνα 3.9.



Εικόνα 3.9 Έλεγχος Παροχής στην έξοδο της καμινάδας.

C. Gas Analyzers

Πατώντας το κουμπί Gas Analyzers στο Calibration Panel θέτονται τα όρια της περιεκτικότητας των μετρούμενων αερίων. Η διαδικασία βαθμονόμησης του Αναλυτή Αερίων γίνεται σε δύο βήματα. Στην οθόνη του Η/Υ εμφανίζεται η Εικόνα 3.10.



Εικόνα 3.10 Μενού βαθμονόμησης των αερίων

Οι διαδικασίες χωρίζεται σε LOW CAL και HIGH CAL για όλα τα αέρια. Στην περίπτωση του LOW CAL η διαδικασία είναι ίδια για όλα τα αέρια ενώ προσοχή απαιτείται στην περίπτωση του HIGH CAL όπου γίνεται διαφορετική ρύθμιση για τα (CO, CO₂) και το O₂.

Με την συσκευή σε θέση PUMP ON, ρυθμίζεται η πίεση στα ροόμετρα στην πρόσοψη της συσκευής στην ένδειξη 3.5 οπότε στην πίσω πλευρά στο Cold Trap η ένδειξη της πίεσης πρέπει να είναι στα 5 psi. Ο στόχος είναι να βαθμονομηθεί το όργανο οριοθετώντας το εύρος στο οποίο θα εργάζεται. Αυτό πρακτικά γίνεται θέτοντας ως κάτω όριο όλων των αερίων δηλαδή O₂, CO, CO₂ το 0 (LOW CAL) και ως άνω όριο τις τιμές 20,95 για το O₂, 0,85 για το CO και 8,5 για το CO₂ (HIGH CAL).

Με την συσκευή σε θέση PUMP OFF, θέτονται οι δύο βάνες των αερίων στην πρόσοψη του οργάνου σε Nitrogen. Διοχετεύεται N₂ (Nitrogen Non – scrubbed) ώστε να μηδενιστούν όλες οι ενδείξεις των αερίων στο Servomex δηλαδή των O₂, CO, και CO₂.

Η παροχή στη μπουκάλα αζώτου N₂ ρυθμίζεται στα 3.5 lt/min κοιτώντας το ροόμετρο στη πρόσοψη της συσκευής ή στα 5 psi κοιτώντας το άλλο παροχόμετρο. Όταν αποκατασταθεί η παραπάνω τιμή δουλεύουμε στο Servomex. Πρέπει να τεθούν όλες οι ενδείξεις στο 0 (O₂, CO, CO₂). Πρώτα μηδενίζονται οι τιμές στη συσκευή (Servomex) και μετά στον Η/Υ. Ελέγχονται οι ενδείξεις του Servomex με την οθόνη του Η/Υ Με τον τρόπο αυτό έχουμε ολοκληρώσει την διαδικασία του low calibration.

Στη διαδικασία του high calibration πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη προσοχή γιατί τα πράγματα είναι διαφορετικά για τα span – gases (CO, CO₂) από το O₂. Αρχικά γίνεται high calibration στα αέρια (CO, CO₂).

Στρέφεται σε θέση SPAN η βάνα που ήταν πριν σε θέση Nitrogen. Κατόπιν ελέγχονται τα ροόμετρα στην πρόσοψη της συσκευής (CO, CO₂) να δείχνουν 3.5 lt/min.

Υπάρχει μια αναμονή μέχρι να καταγράψει τις τιμές ο Serenomex σε σχέση με τις μέγιστες τιμές που δόθηκαν. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί μεγάλη απόκλιση (drift) από αυτές που δόθηκαν επαναλαμβάνεται η διαδικασία. Συνήθως δεν παρατηρείται πρόβλημα σε αυτό το μέρος της διαδικασίας.

Για high calibration του O₂ τοποθετείτε η συσκευή σε θέση Pump ON. Μετά την σταθεροποίηση της ροής ενεργοποιείτε το Cold Trap του θερμιδόμετρου. Στη συνέχεια θέτετε η βάνα του O₂ στη θέση Sampling Gas. Σε αυτό το καλιμπράρισμα υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να εμφανιστεί drift.

D. Smoke Calibration

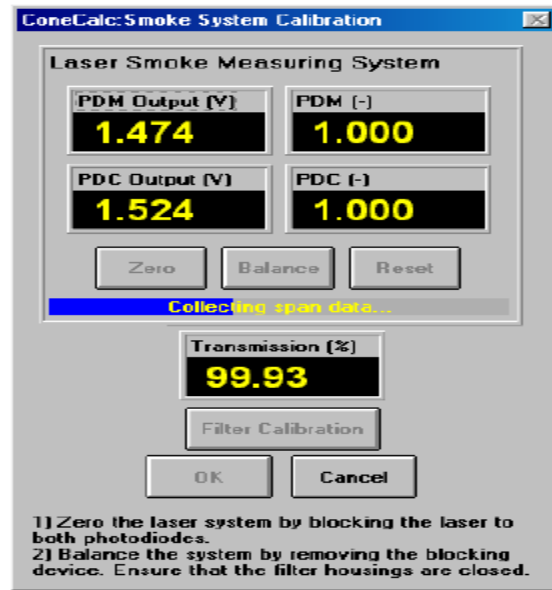
Με το κουμπί SMOKE ξεκινάει η διαδικασία βαθμονόμησης του καπνού στο θερμιδόμετρο. Τότε ενεργοποιείται μια δέσμη laser η οποία διατρέχει τη βάση της καμινάδας. Στον Η/Υ ανοίγει ένα παράθυρο που εμφανίζει τις εντάσεις που καταγράφουν οι φωτοδιόδοι. Στο ίδιο παράθυρο προσφέρεται και το Filter Calibration.

Η διαδικασία της βαθμονόμησης του καπνού γίνεται σε δύο βήματα. Αρχικά τοποθετείται το μαύρο κομμάτι ώστε να κοπεί εντελώς η δέσμη. Στον Η/Υ εμφανίζεται το μηδέν στο ποσοστό μετάδοσης φωτός πατώντας το “Zero”.

Για το Filter Calibration διατίθενται ακόμα και δύο φίλτρα με ονομαστικές τιμές 0.325, 0.8. Με το φίλτρο 0.325 η ένταση της δέσμης μειώνεται στο 50% ενώ με το φίλτρο 0.8 πέφτει στο 16%. Οι τιμές της έντασης (50%, 16%) εμφανίζονται στην οθόνη του Η/Υ. Ενδεικτικά για τα δύο φίλτρα τα ποσοστά μετάδοσης μπορεί να είναι τα ακόλουθα.

Φίλτρο 1	0.325 Transmission	44.48 %
Φίλτρο 2	0.8 Transmission	13.12%

Η εξέλιξη που φαίνεται στην Εικόνα 3.11 δείχνει τιμές της τάσης που πρέπει να καταγράφουν οι φωτοδιόδοι απουσία κάθε εμποδίου στη δέσμη (μαύρο κομμάτι ή φίλτρα) καθώς και την ένταση της μεταδιδόμενης δέσμης που πρέπει να προσεγγίζει το 100%. Οι τιμές αυτές προκύπτουν στο τέλος όλης αυτής της διαδικασίας. Το πάνελ που εμφανίζεται φαίνεται στην Εικόνα 3.11.

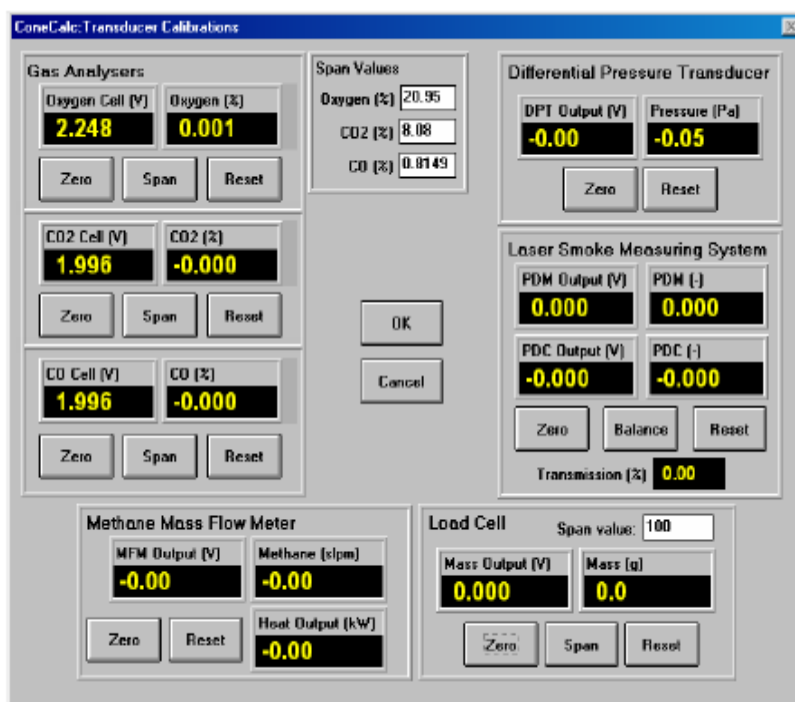
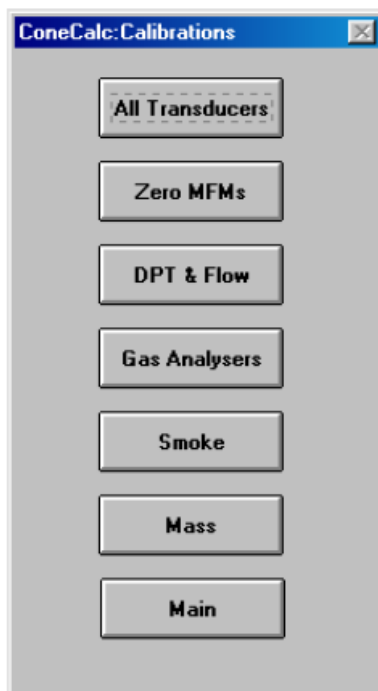


Εικόνα 3.11 Βαθμονόμηση καπνού

Αν οι παραπάνω τιμές δεν επιτυγχάνονται επαναλαμβάνεται η διαδικασία από την αρχή.

E. Mass

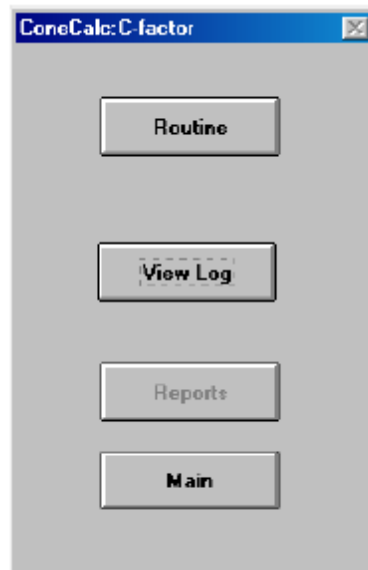
Δεν γίνεται κάποια ρύθμιση παραμένουν τα Factory Settings. Στο σημείο αυτό έχουν ολοκληρωθεί όλες οι επιμέρους ρυθμίσεις που φαίνονται στο Calibration Panel και οι οποίες συνολικά μπορούν να εμφανιστούν πατώντας το κουμπί All Transducers εικόνα 3.12.



Εικόνα 3.12 Συνολική Εμφάνιση των επιμέρους ρυθμίσεων στο τέλος της βαθμονόμησης.

F. Εύρεση του C – factor

Έχοντας τελειώσει όλες οι ρυθμίσεις Calibrations γίνεται επιστροφή στο αρχικό μενού (ConeCalc Main) πατώντας το κουμπί C – factor. Αυτός ο συντελεστής προσδιορίζει μια συνολική σταθερά βαθμονόμησης για όλο το όργανο. Ακόμα ο συντελεστής αυτός προσδιορίζει σε καθημερινή βάση το θερμιδόμετρο όταν χρησιμοποιείται για δοκιμές. Το παράθυρο που ανοίγει στην οθόνη φαίνεται στην Εικόνα 3.13



Εικόνα 3.13 Μενού εύρεσης του C – factor.

Επιβεβαιώνεται ότι ο ανεμιστήρας του οργάνου είναι ήδη σε λειτουργία, η παροχή αέρα στον αγωγό είναι 24 lt/sec και ότι η αντλία αέρα δουλεύει τουλάχιστον για 5 λεπτά πριν την έναρξη της διαδικασίας (PUMP ON). Έπειτα με το κουμπί Routine, εμφανίζεται στην οθόνη ένα παράθυρο (Εικόνα 3.14) με κάποιες πληροφορίες (Pre-calibration Info panel).

CoreCalc: Pre-calibration Information

C-factor Calibration Filename
C:\CC5\...AC0211001.CSV

Apparatus Specification
Initial C-factor:
Duct diameter (m):

Atmospheric Conditions
Ambient temperature (*C):
Ambient pressure (kPa):
Relative humidity (%):

Carbon dioxide
 Non-scrubbed
 Scrubbed

Burner
HRR Level (kW):
Methane E Value (MJ/kg):

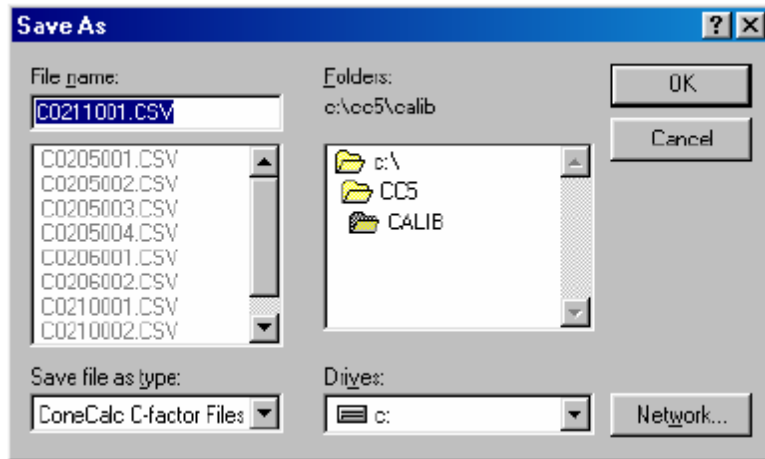
Fire Testing Technology

Εικόνα 3.14 Πληροφορίες ελέγχου συνθηκών

Στο μενού αυτό φαίνεται που σώζεται το αρχείο υπολογισμού και ο τύπος του αρχείου (*.csv). Ακόμα φαίνονται οι συνθήκες του χώρου και η ρύθμιση της εκπεμπόμενης θερμότητας του μεθανίου που πρέπει να είναι στα 5KW.

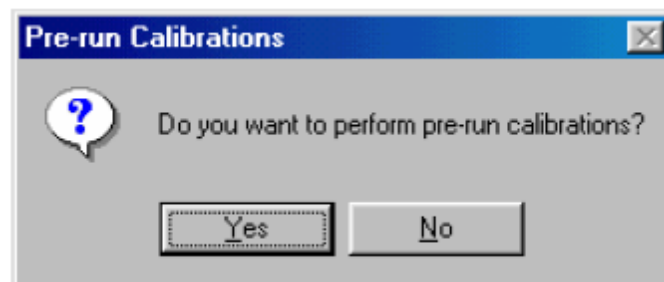
Κατά τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται ένας καυστήρα μεθανίου σε γνωστό επίπεδο “θερμότητας εξόδου” το οποίο σύμφωνα με τα Standards πρέπει να είναι 5KW. Η ρύθμιση αυτή μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας δεδομένων από το όργανο στην πρώτη φάση πριν τη λήξη κάποιου χρόνου μετά τον οποίο γίνεται η ολοκλήρωση των δεδομένων.

Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται αυτόματα σε αρχείο όπως φαίνεται στην Εικόνα 15. Αν υπάρχει η επιθυμία το αρχείο να σωθεί σε άλλο – νέο αρχείο αυτό θα πρέπει να αρχίζει με το γράμμα C και η κατάληξη του αρχείου να είναι *.CSV. Το όνομα του νέου αρχείου που θα σωθεί η τιμή του C-Factor γίνεται στο σημείο αυτό πριν συνεχιστεί η διαδικασία. (Εικόνα 3.15).



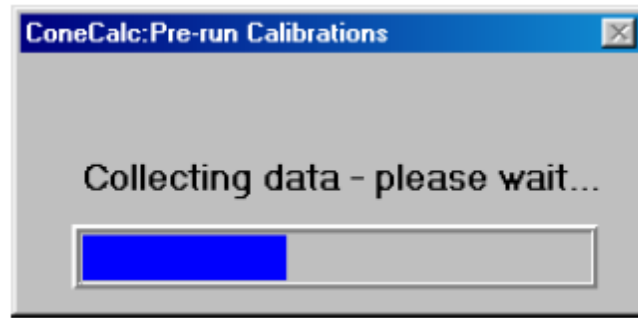
Εικόνα 3.15 Αρχείο Αποθήκευσης της διαδικασίας βαθμονόμησης

Πριν αρχίσει η διαδικασία καύσης του μεθανίου το λογισμικό ρωτά για διαδικασίες pre-run calibrations (Εικόνα 3.16).



Εικόνα 3.16 Pre-run Calibrations

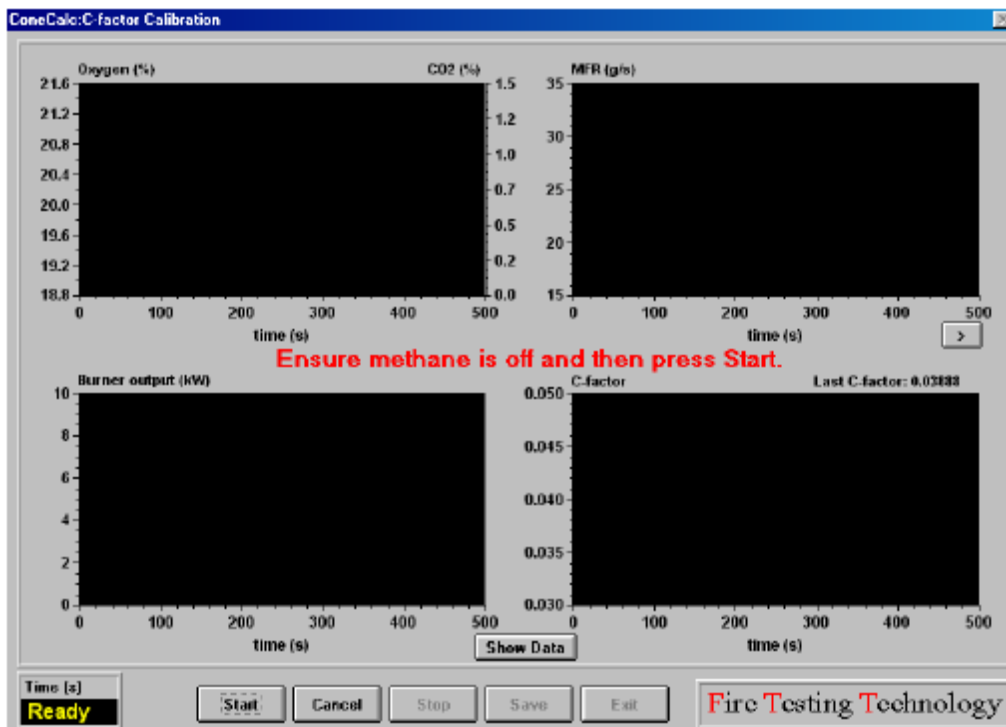
Αν επιλεγθεί το Yes τότε το λογισμικό συλλέγει δεδομένα για 10sec και ένα παράθυρο προόδου εμφανίζεται στην οθόνη. Κατά τη διαδικασία αυτή επιβεβαιώνεται ότι δεν υπάρχει ροή μεθανίου στον καυστήρα και ότι το “αέριο” στους αναλυτές είναι από τον περιβάλλοντα αέρα. Η διαδικασία συλλογής δεδομένων φαίνεται στην Εικόνα 3.17.



Εικόνα 3.17 Διαδικασία συλλογής δεδομένων κατά τους Pre-run Calibrations.

Στη συνέχεια στην οθόνη εμφανίζεται το panel για τη βαθμονόμηση του C-Factor. Στην οθόνη του Η/Υ εμφανίζεται η Εικόνα 3.18 με 4 γραφικές παραστάσεις που περιέχουν:

- a) Συγκέντρωση O_2 , CO_2 ,
- b) Παροχή μάζας στον αγωγό,
- c) Εκλυόμενη θερμότητα από την καύση του μεθανίου,
- d) Εξέλιξη του C- factor.



Εικόνα 3.18 Πάνελ βαθμονόμησης του C-Factor (Εναρξη)

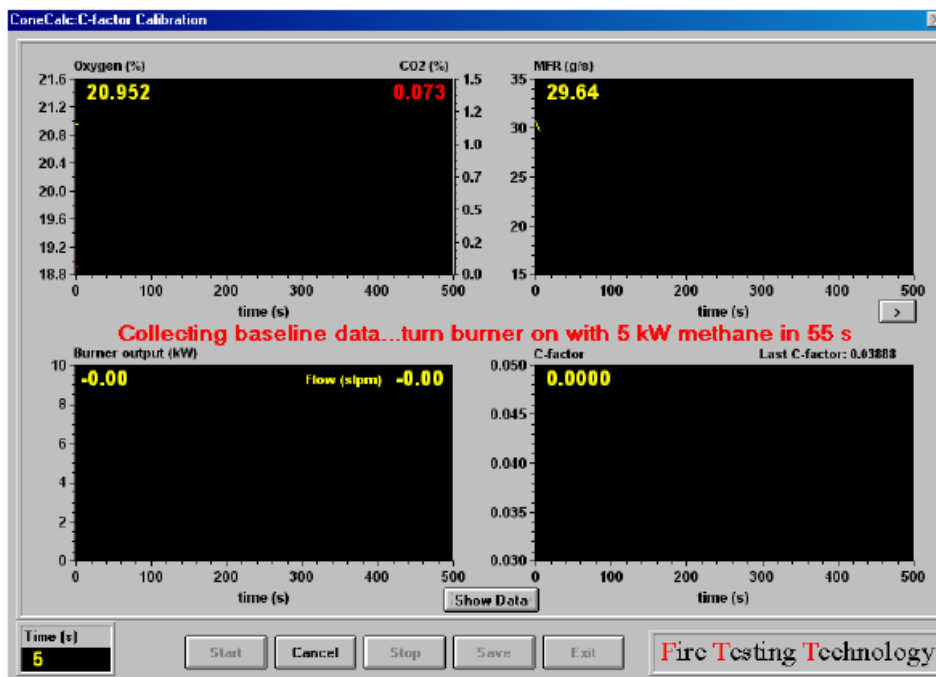
Πριν ξεκινήσει αυτή η διαδικασία ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Τοποθετείται ο καυστήρα στη βάση του κώνου και με τον μεταλλικό χάρακα καθορίζεται η απόστασή του από το χείλος του κώνου να είναι στα 25mm,
- Επιβεβαιώνεται ότι η βάνα του μεθανίου είναι στη θέση OFF στην πρόσοψη του οργάνου,
- Θέτεται ο ρυθμιστής της μπουκάλας του μεθανίου στην πίεση λειτουργίας (5psi),
- Ανοίγεται η παροχή μεθανίου στην μπουκάλα,
- Επιβεβαιώνετε ότι ο σπινθηριστής βρίσκεται εκτός της περιοχής του κώνου.

Η ρουτίνα βαθμονόμησης αποτελείται από 4 στάδια. Μηνύματα-Συμβουλές εμφανίζονται στο κέντρο του παραθύρου ανάμεσα στις γραφικές παραστάσεις.

Στην κορυφή της οθόνης υπάρχει μια περιοχή μηνυμάτων από το λογισμικό που καθοδηγούν το χρήστη στις σημαντικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, όπως π.χ. το πότε πρέπει να ανοιχθεί η παροχή του μεθανίου. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας τα δεδομένα επεξεργάζονται και τα αποτελέσματα δίνονται στην οθόνη. Τα αποτελέσματα επίσης μπορούν να σώζονται και υπάρχει ένα αρχείο με αναφορά και για τα παλιότερα αποτελέσματα υπολογισμών του C – factor στο οποίο αποθηκεύεται και η τελευταία τιμή. Έτσι υπάρχει μια γκάμα τιμών του συντελεστή με την οποία υπάρχει η δυνατότητα κάθε φορά να συγκρίνονται τα νεότερα αποτελέσματα.

Επιβεβαιώνετε ότι δεν υπάρχει ροή μεθανίου στον καυστήρα και με το κουμπί Start ξεκινάει η Baseline Data συλλογή στα πρώτα 60sec. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στην Εικόνα 3.19.

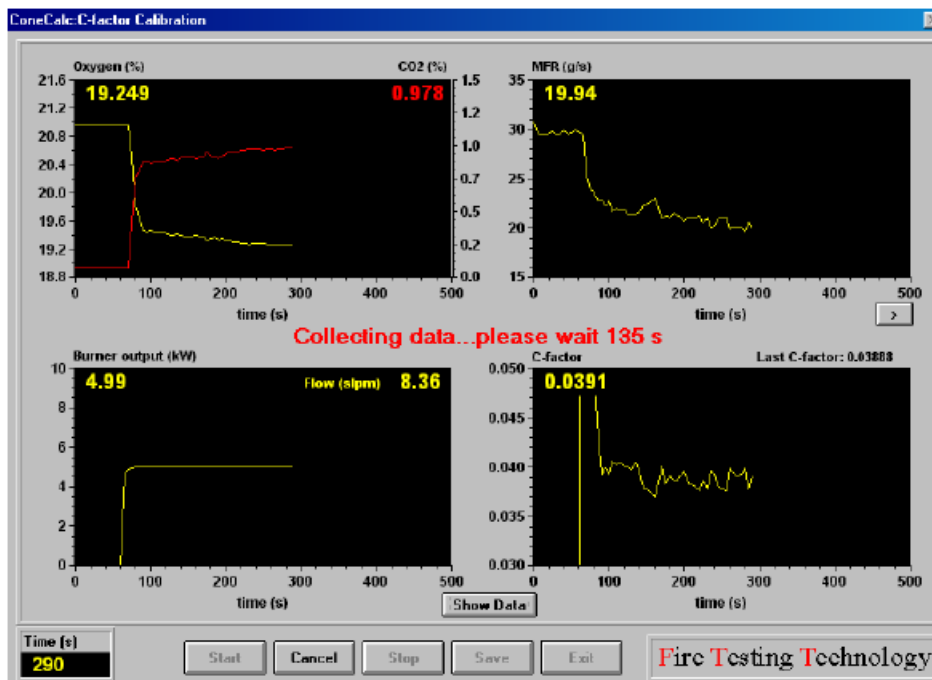


Εικόνα 3.19 C-Factor Routine – Βήμα1

Στην Εικόνα 3.19 υπάρχει μήνυμα αντίστροφης μέτρησης 60sec ανάμεσα στις γραφικές παραστάσεις ενώ ορθή μέτρηση φαίνεται στο πάνελ κάτω αριστερά.

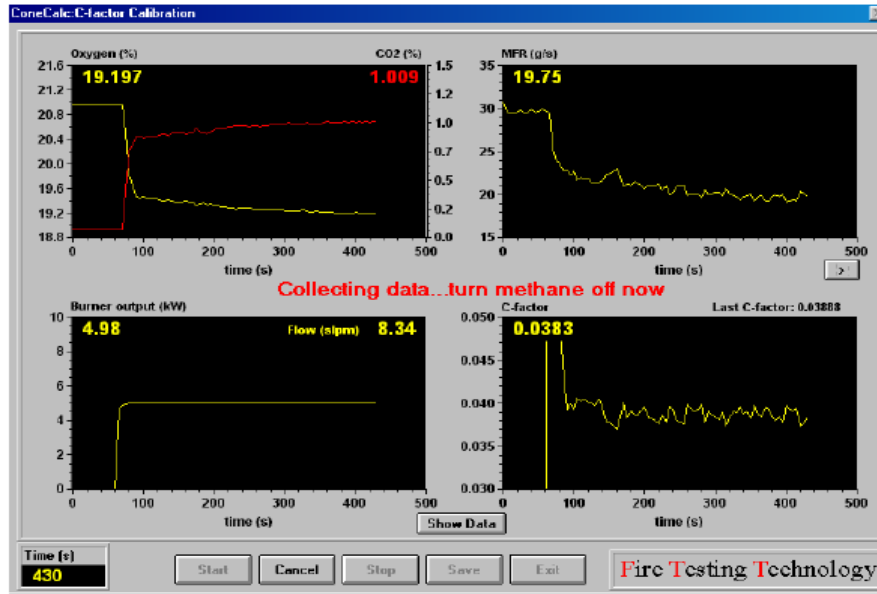
Όταν έχουν απομείνει περίπου 10 - 15sec στην αντίστροφη μέτρηση μετακινείτε ο σπινθηριστής ανάφλεξης σε θέση πάνω ακριβώς από τον καυστήρα του μεθανίου και ανοίγετε σταδιακά η βάνα του μεθανίου στην πρόσοψη του οργάνου. Γίνεται η έναυση και σταθεροποιείτε από τον χειριστή αν απαιτείται την παροχή μεθανίου στην σωστή τιμή (5KW). Αφού γίνει η έναυση μετακινείτε ο σπινθηριστής στην αρχική του θέση και ελέγχεται ότι η φλόγα περνά από το κέντρο του κώνου.

Η συλλογή δεδομένων γίνεται στα επόμενα 180 δευτερόλεπτα ώστε να καθοριστεί η τιμή του C – Factor. Δεν απαιτείται καμιά ενέργεια από τον χρήστη. Στο παράθυρο του Η/Υ φαίνεται η πρόοδος της διαδικασίας. (Εικόνα 3.20)



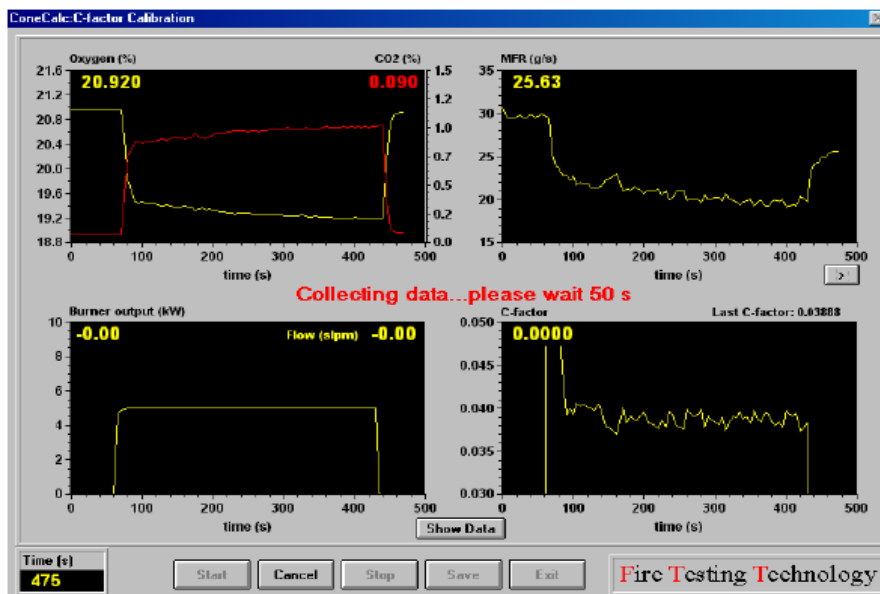
Εικόνα 3.20 Βήμα 3 – Συλλογή Δεδομένων

Όταν η αντίστροφη μέτρηση φθάσει στο 0 κλείνεται η παροχή του μεθανίου και εμφανίζεται ένα μήνυμα στην οθόνη από το πρόγραμμα όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.21.



Εικόνα 3.21 Βήμα 4 Διαδικασία συλλογής δεδομένων

Στα επόμενα 90 δευτερόλεπτα συλλέγονται τα δεδομένα και κατόπιν ο χρήστης πρέπει να σταματήσει τη διαδικασία πατώντας το κουμπί Stop το οποίο γίνεται διαθέσιμο με το τέλος της αντίστροφης μέτρησης (Εικόνα 3.22).



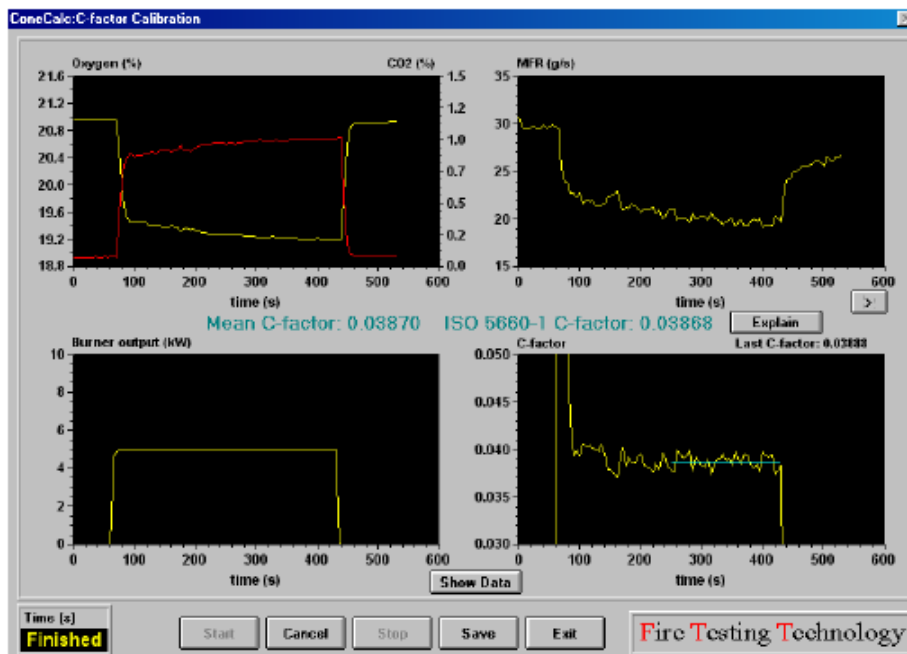
Εικόνα 3.22 Διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων

Έπειτα τα δεδομένα επεξεργάζονται και προκύπτει ο C-Factor. Ο υπολογισμός βασίζεται στο πρότυπο ISO 5660-1 στη διαδικασία που περιγράφεται στο ISO 5660-1: 2002. Τα θερμιδόμετρα είναι κατασκευασμένα ώστε να δίνουν C –factors στο εύρος

(0.035 – 0.045). Επίσης μετρήσεις που γίνονται σε δύο συνεχόμενες μέρες δεν θα πρέπει να δίνουν διαφορά μεγαλύτερη από 0.002 στην τιμή των C –factors.

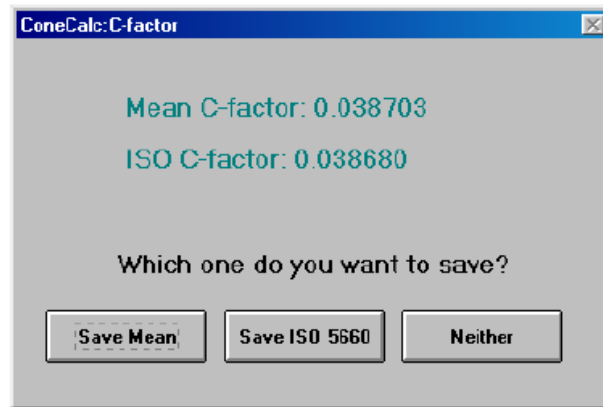
Υπάρχουν 2 τρόποι υπολογισμού του C- factor που δίνουν παρόμοια αποτελέσματα. Το λογισμικό υπολογίζει την τιμή του συντελεστή και με τους 2 τρόπους, για το λόγο αυτό στην οθόνη δίνονται 2 τιμές και επιλέγεται η τιμή εκείνη που είναι σύμφωνη με το πρότυπο ISO – 5660-1.

Στην παρακάτω οθόνη (Εικόνα 3.23) φαίνεται το τέλος της διαδικασίας. Στα γραφήματα δίνεται η χρονική εξέλιξη των μετρούμενων μεγεθών και η μορφή των διαγραμμάτων ενώ στο μέσον του παραθύρου δίνεται η τελική τιμή του C- factor που μέτρησε το όργανο καθώς και η τιμή αναφοράς κατά το πρότυπο ISO – 5660-1. Όταν η μετρηθείσα τιμή του συντελεστή είναι εντός των ορίων που θεωρεί το όργανο, αυτή χρωματίζεται πράσινη, ενώ όταν προκύπτει εκτός ορίων κόκκινη οπότε και επιβάλλεται η επανάληψη της διαδικασίας προσδιορισμού του C – factor.



Εικόνα 3.23 Χρονική εξέλιξη των μετρούμενων ποσοτήτων κατά την καύση του μεθανίου

Πατώντας το κουμπί Save ο χρήστης σώζει τα αποτελέσματα. Λόγω του ότι υπάρχουν 2 τύποι του C-Factor πρέπει να επιλεγθεί ποιος θα σωθεί ώστε να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό της παροχής μάζας (mass flow rate) και της ροής θερμότητας (heat release rate). Στην οθόνη εμφανίζεται το παρακάτω πάνελ (Εικόνα 3.24).

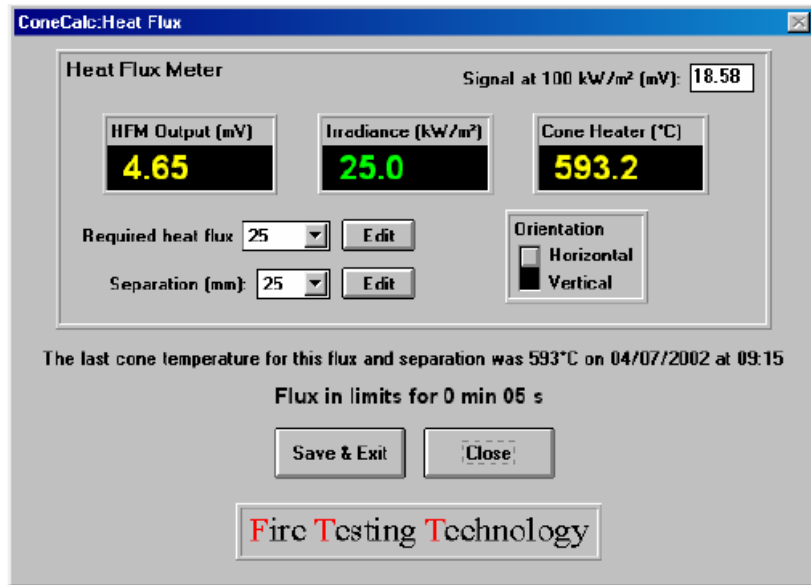


Εικόνα 3.24 Επιλογή τιμής του C-Factor

G. Heat Flux

Στο βήμα αυτό στην υποδοχή που προηγουμένως ετέθη ο καυστήρας μεθανίου τοποθετείτε το αισθητήριο μέτρησης ροής θερμότητας και με τη μεταλλική ράβδο ελέγχετε η απόσταση από τον κώνο ώστε να είναι πάλι στα 25mm. Επιβεβαιώνετε ότι το κύκλωμα του νερού που διαβρέχει περιμετρικά τον αισθητήρα μέτρησης ροής θερμότητας λειτουργεί. Τοποθετείτε στη βάση του ζυγού το θερμομονωτικό υλικό προστασίας του ζυγού. Ενεργοποιείτε ο κώνος πατώντας το κουμπί CONE στην πρόσοψη του οργάνου. Ορίζεται η θερμοκρασία λειτουργίας του κώνου (ενδεικτικά στους 790 °C) βαθμιαία. Αυτό μπορεί να γίνει σε 2 ή 3 βήματα θέτοντας ενδιάμεσες θερμοκρασίες αποκατάστασης (250 – 550 - 790 ή 350 – 790). Στο λογισμικό από το Main Menu επιλέγετε το Heat Flux (Εικόνα 3.25). Ορίζετε στο λογισμικό η ένταση και η απόσταση του αισθητηρίου από το χείλος του κώνου. Επίσης στο πάνελ (εικόνα 3.25) δίνεται επιλογή για τον προσανατολισμό του κομματιού (οριζόντιο ή κατακόρυφο).

Όταν η θερμοκρασία και η ροή θερμότητας έχουν αποκατασταθεί και σταθεροποιηθεί στις τελικά απαιτούμενες το κουμπί Save & Exit γίνεται διαθέσιμο στο χρήστη όπου σώζονται οι ρυθμίσεις πατώντας το. Αφαιρείτε το αισθητήριο διατηρώντας τη θερμοκρασία του κώνου. Υπάρχει η δυνατότητα να γίνει απενεργοποίηση του Shutters του κώνου ώστε στη συνέχεια για την διαδικασία δοκιμών να υπάρχει ελευθερία κινήσεων.



Εικόνα 3.25. Πάνελ ρύθμισης ροής θερμότητας

3.3 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας για τη βαθμονόμηση δεν πραγματοποιήθηκαν όλα τα βήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως στο κεφάλαιο, διότι όπως έχει δηλωθεί και πιο πάνω το θερμιδόμετρο κώνου δεν χρησιμοποιείτε για τον υπολογισμό θερμογόνου δύναμης αέριων καυσίμων.

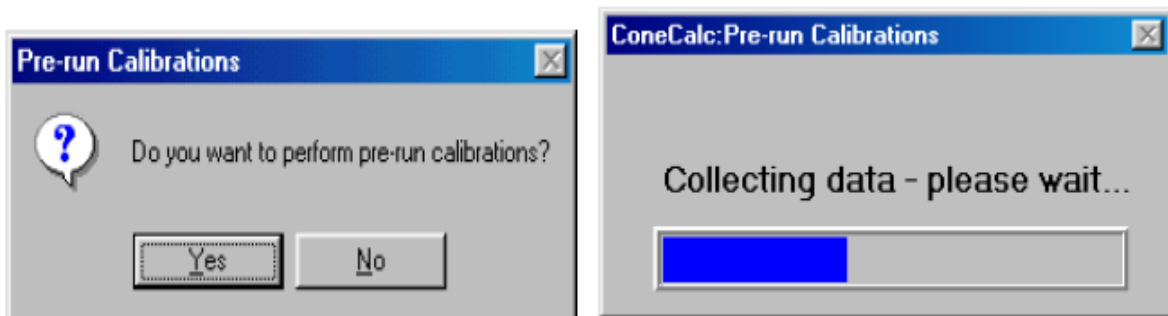
Τα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν από το A (Zero MFMs) έως και το F (Εύρεση του C – factor) αποφεύγοντας το βήμα G (Heat Flux) διότι δεν χρησιμοποιείτε ο κώνος του θερμιδόμετρου

Αφού έχει γίνει έλεγχος για τυχόν διαρροή και έχει συνδεθεί στο τέλος της σωλινογραμμής ο καυστήρας του μεθανίου που αναφέρθηκε προηγουμένως ξεκινάει η διαδικασία των πειραμάτων.

Διαδικασία πειραμάτων:

1. Γίνετε έλεγχος για την ποσότητα και το χρώμα του “Drierite” (δείκτης υγρασίας).
2. Με το Start Test του αρχικού μενού εμφανίζεται στην οθόνη το Test Information Panel (Εικόνα 3.26)
3. Συμπληρώνονται στο πάνελ οι τιμές θερμοκρασίας, υγρασίας και αρχικής μάζας του αερίου στην περίπτωση των πειραμάτων η θερμοκρασία και υγρασία είναι η τιμές του εργαστηρίου που πραγματοποιούνται τα πειράματα και η τιμή για την αρχική μάζα ήταν ένας σταθερός αριθμός κάθε φορά. Το πείραμα συνεχίζεται πατώντας το κουμπί OK.
4. Το λογισμικό ρωτάει για εφαρμογή Pre-run Calibrations. Συνίσταται να γίνονται Pre-run Calibrations πριν από κάθε δοκιμή. Στη φάση αυτή πρέπει να γίνει επιβεβαίωση ότι η αντλία δουλεύει για τουλάχιστον 10 λεπτά και οι αναλυτές δίνουν σταθερές τιμές. Κατά τη διαδικασία Pre-run Calibrations το όργανο συλλέγει δεδομένα από τους transducers για 10s. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται στην Εικόνα 3.27.

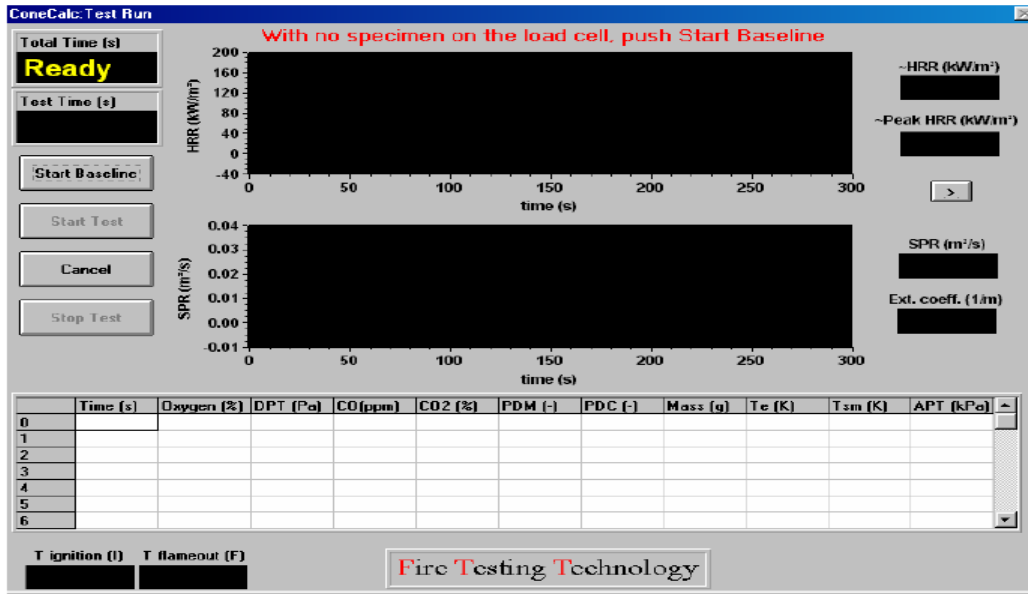
Εικόνα 3.26 Πάνελ Διαδικασίας δοκιμής κομματιού



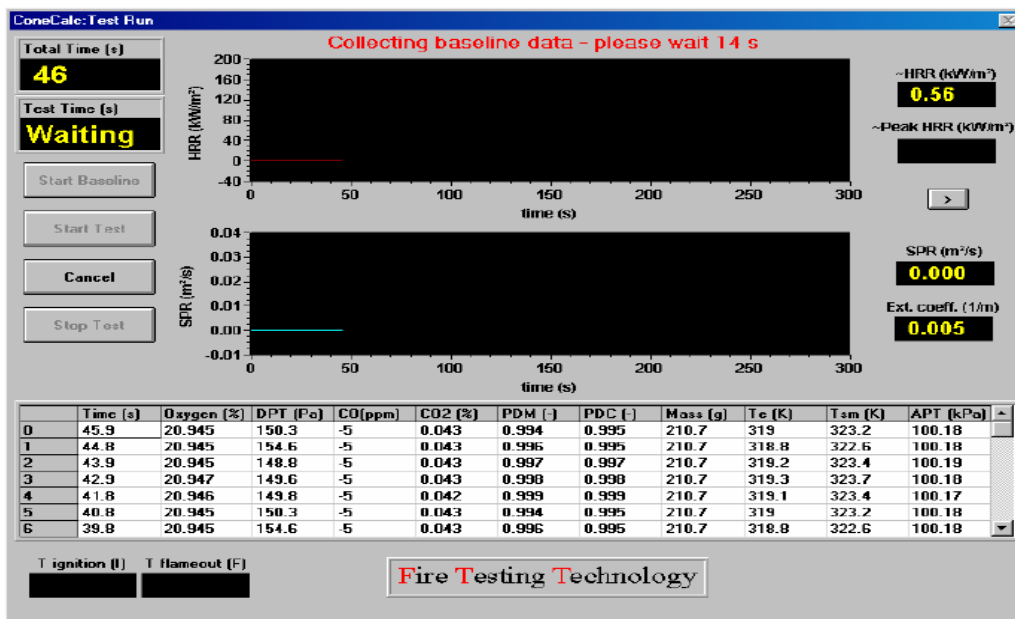
Εικόνα 3.27 Διαδικασία Pre-run Calibrations

5. Test Run

Στην κορυφή του πάνελ που εμφανίζεται, το λογισμικό μας ενημερώνει (Εικόνα 3.28). Στο πάνελ γίνεται επιλογή του Start Baseline. Το λογισμικό ζητάει κάποια Baseline δεδομένα τα οποία καταγράφει σε 60s (Εικόνα 3.29).



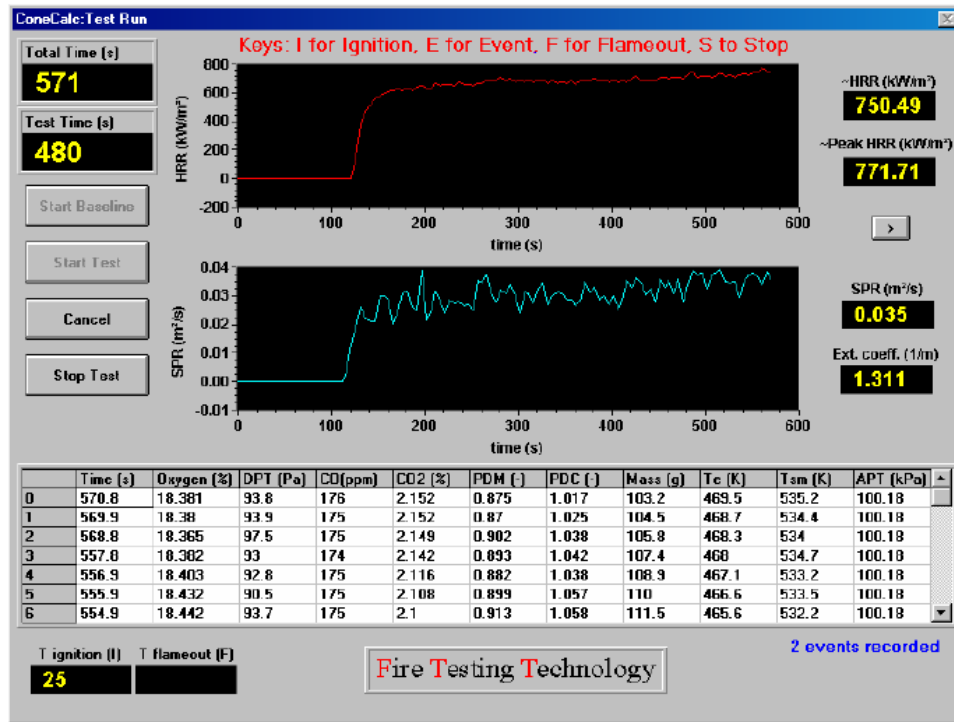
Εικόνα 3.28 Test Run Panel



Εικόνα 3.29 Συλλογή Baseline δεδομένων

6. Position Specimen and Start Test
Αφού γίνει η συλλογή των δεδομένων τοποθετούμε τον σπινθηριστή στη θέση λειτουργίας (κέντρο του κώνου) και επιβεβαιώνεται ότι το κουμπί Ignition είναι πατημένο στο θερμιδόμετρο.
7. Όταν σταθεροποιηθεί η τιμή της επιθυμητής παροχής γίνεται άνοιγμα τους Shutters του κώνου και αμέσως γίνεται επιλογή του Start Test ή S στο remote

control. Κατά τη διαδικασία στην κορυφή του πάνελ (Εικόνα 3.30) εμφανίζονται οι κρίσιμες χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της δοκιμής (I για Ignition, F για Flameout, S για το τέλος της δοκιμής).



Εικόνα 3.30 Εξέλιξη της δοκιμής

8. Όταν τελειώσει το τεστ γίνεται ενημέρωση του λογισμικού και επιλογή του F
9. Όταν η δοκιμή ολοκληρωθεί γίνεται η επιλογή του κουμπιού Stop Test ή στο remote control S.
10. Τα συνολικά αποτελέσματα εμφανίζονται πατώντας στο Main Menu το κουμπί Print Report. (Εικόνα 3.31)
11. Στο βήμα αυτό γίνεται επιλογή Edit Data στην συνέχεια γίνεται επεξεργασία των δεδομένων για το χρονικό διάστημα των 100 seconds που το πείραμα είναι την πιο σταθερή κατάσταση και επιλογή Save.
12. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για τα αποτελέσματα έγιναν με βάση αυτά τα 100seconds.
13. Τα τελευταία 12 βήματα επαναλαμβάνονται ξανά για κάθε αέριο και κάθε παροχή που διεξάχθηκαν στην παρούσα πτυχιακή.

ConeCalc: Print Test Report

Data File
C:\ACC5\...\ACC5_Demo.csv

File Print Close

Configure
Preview Graphs
Edit Data
Select Printer

Test Summary More

Laboratory: Fire Testing Technology
Operator: Andrew Green
Specimen: PMMA
Material name/ID: Cast PMMA
E (MJ/kg): 13.1
Initial mass (g): 220.4

Specimen #:
Test date: 27/05/2002
Thickness (mm): 18
Surface area (cm²): 100

Test Results (between 24 and 624 s) More

	Average	Peak	at time (s)
Heat release rate (kW/m ²):	614.55	721.86	605
Effective heat of comb. (MJ/kg):	22.78	34.19	335
Mass loss rate (g/s):	0.270	0.401	580
Specific extinction area (m ² /kg):	120.08	188.95	335
Carbon monoxide yield (kg/kg):	0.0102	0.0165	335
Carbon dioxide yield (kg/kg):	2.01	8.82	25

Test Averages More

from ignition to ignition plus...	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min
Heat release rate (kW/m ²):	508.59	540.00	559.67	568.18	573.92	580.84
Effective heat of comb. (MJ/kg):	24.37	23.21	23.02	23.09	22.85	22.75
Mass loss rate (g/s):	0.209	0.233	0.242	0.246	0.252	0.255
Specific extinction area (m ² /kg):	105.69	106.77	109.70	111.07	110.13	111.51
Carbon monoxide yield (kg/kg):	0.0074	0.0088	0.0094	0.0098	0.0099	0.0100
Carbon dioxide yield (kg/kg):	2.20	2.09	2.06	2.06	2.03	2.02

Graphs
 Show
 Hide

Εικόνα 3.31 Πίνακας Αποτελεσμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Τα αέρια που εξετάστηκαν με την πειραματική διάταξη του θερμιδόμετρου κώνου είναι το μεθάνιο, το προπάνιο και το LPG. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν 23 πειράματα για τα 3 αέρια. Τα αέρια αυτά διαφέρουν μεταξύ τους. Το μεθάνιο έχει 99,9% καθαρότητα, η περιεκτικότητα του LPG είναι 90% προπάνιο και 10% βουτάνιο, ενώ το προπάνιο που χρησιμοποιήθηκε είναι κατά 85% καθαρό. Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι πειραματικές μετρήσεις που διενεργήθηκαν για όλα τα αέρια καύσιμα σε διαφορετικές ογκομετρικές παροχές. Όλα τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με πρότυπες μετρήσεις και τα αποτελέσματα αναλύονται παρακάτω.

Πίνακας 4.1 Δείγματα που εξετάστηκαν

Μεθάνιο, CH ₄ FLOW (slpm)	LPG FLOW (slpm)	Προπάνιο, C ₃ H ₈ FLOW (slpm)
8.35	0.25	0.26
7.20	0.50	0.51
6.02	0.75	1.02
5.08	1.00	1.27
3.96	1.25	1.52
2.91	1.50	2.08
1.85	1.75	3.01
1.08	-	-
0.54	-	-

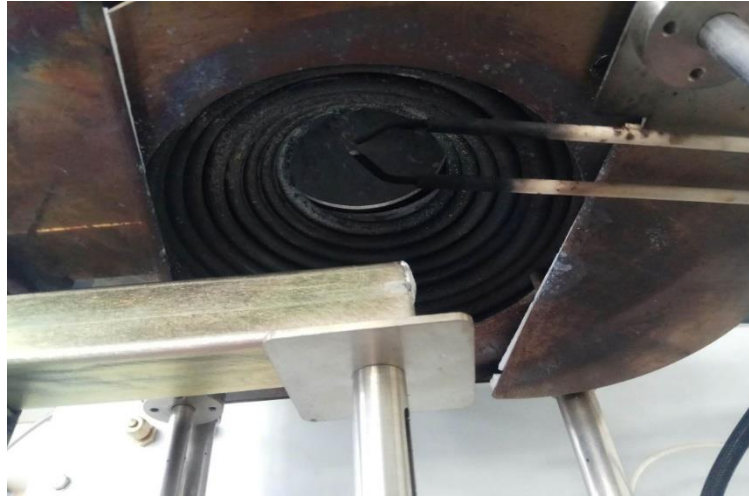
4.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Πριν από κάθε πειραματική διαδικασία συνδέσαμε την κάθε φιάλη του αερίου με σωληνογραμμή στην οποία είναι συνδεδεμένο σε σειρά με βάνες ασφαλείας και ροόμετρο (εικόνα 4.1) για τον υπολογισμό της παροχής. Στην περίπτωση του LPG δεν υπήρχε φιάλη αερίου αλλά το εργαστήριο παρείχε την απαιτούμενη ποσότητα για την διεξαγωγή των πειραμάτων από εξωτερική δεξαμενή. Η σωληνογραμμή ελέγχεται πριν από κάθε πείραμα για διαρροές, για λόγους ασφάλειας και για σταθερή ροή.



Εικόνα 4.1 Ροόμετρα

Αρχικά άνοιγε η παροχή του αερίου, ο σπινθηριστής έχει τοποθετηθεί σε θέση λειτουργίας και έτσι έχουμε την ανάφλεξη του αερίου, κατόπιν απομακρύνουμε τον σπινθηριστή (εικόνα 4.2) σε θέση αδράνειας. Μετά την ανάφλεξη ρυθμίζεται η απαιτούμενη παροχή για κάθε πείραμα. Στο σημείο αυτό αρχίζει η καταγραφή όλων των τιμών που απαιτούνται για την διεξαγωγή των πειραμάτων. Η παραπάνω διαδικασία αναλύεται στο κεφάλαιο 3.



Εικόνα 4.2 Σπινθηριστής σε θέση λειτουργίας

4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

4.3.1 Μεθάνιο

Αρχικά παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα για κάθε παροχή του μεθανίου ξεχωριστά, που προέκυψαν μέσω της πειραματικής διαδικασίας.

Παροχή 8,34 slpm

Στο διάγραμμα 4.1α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη παροχή του μεθανίου. Αρχικά όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα (4.1α) υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο δεν απελευθερώνεται θερμότητα. Παρατηρείται όμως μία γρήγορη άνοδος του ρυθμού έκλυσης θερμότητας σε χρόνο $t=12$ sec για την δοκιμή. Στην συνέχεια ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, μετά από μερικά δευτερόλεπτα ($t=26$ sec) αυξάνεται ραγδαία μέχρι να φτάσει στο μέγιστο σημείο (peak HRR). Στο τέλος του γραφήματος βλέπουμε μια απότομη αύξηση της καμπύλης, αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αποκόπτεται απότομα και όχι σταδιακά.

Επίσης στο διαγράμματα 1α έχει απομονωθεί το χρονικό διάστημα από $t=50$ sec έως $t=150$ sec, όπου είναι το χρονικό διάστημα που ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας είναι πιο σταθερός, και το χρονικό διάστημα αυτό έχει χρησιμοποιηθεί στα πειράματα για τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης. Σε κάθε παροχή έχει γίνει ο ίδιος υπολογισμός με την αντίστοιχη χρονική περίοδο του κάθε διαγράμματος.

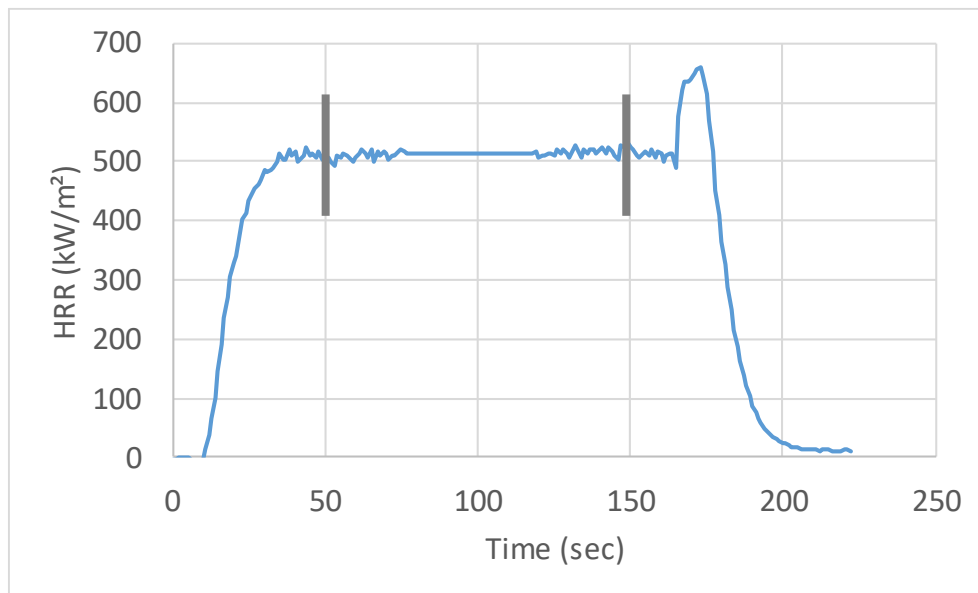
Στο διάγραμμα 4.1β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την πρώτη παροχή του μεθανίου. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=15$ sec οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=75$ sec που αποκτά μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.1γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής καπνού σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη παροχή του μεθανίου. Οι τιμές καθώς και οι μεταβολές τους είναι αμελητέες. Αυτό δηλώνει ότι τα αέρια που χρησιμοποιήθηκαν στην

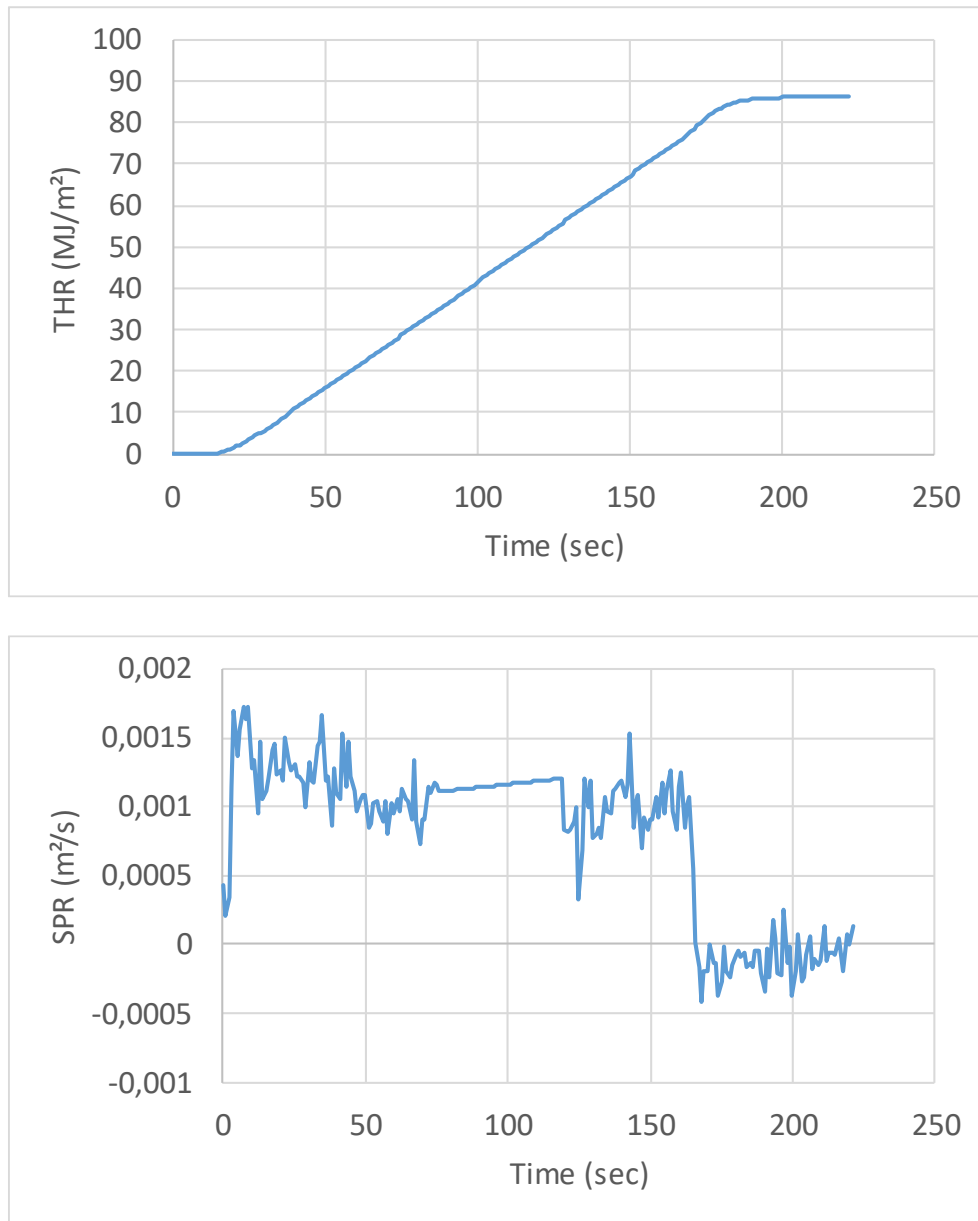
διεξαγωγή των πειραμάτων είναι καθαρά. Μια τέτοια συμπεριφορά είναι αναμενόμενη, και για τον λόγο αυτό δεν καταγράφηκε ο καπνός σε κανένα άλλο πείραμα.

Στο διάγραμμα 4.1δ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου για την πρώτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας, δηλαδή μία απότομη αύξηση σε χρόνο $t=8\text{sec}$ και ένα μέγιστο σημείο σε χρόνο $t=35\text{ sec}$. Επίσης εμφανίζεται και η απότομη αύξηση της καμπύλης στο τέλος του διαγράμματος.

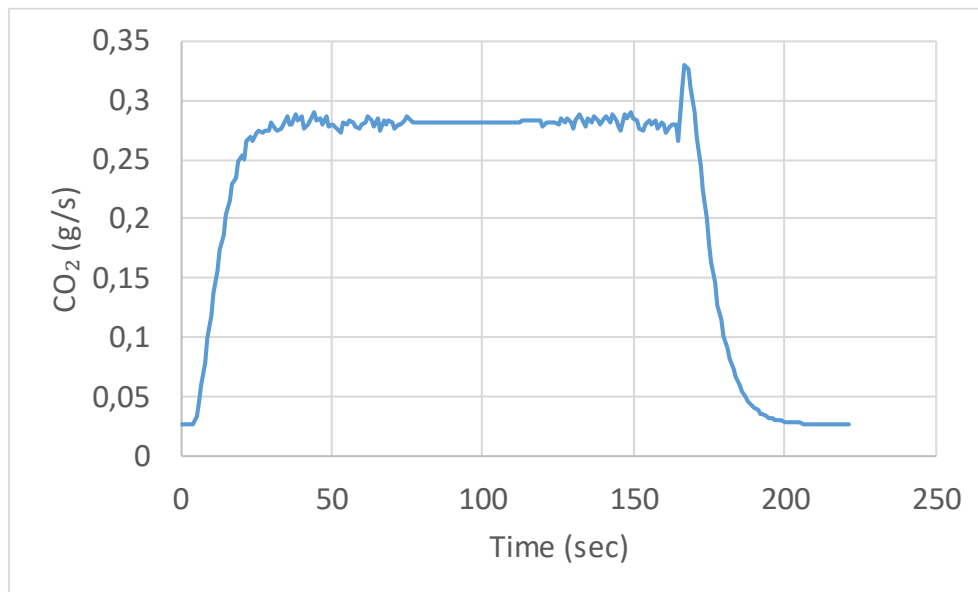
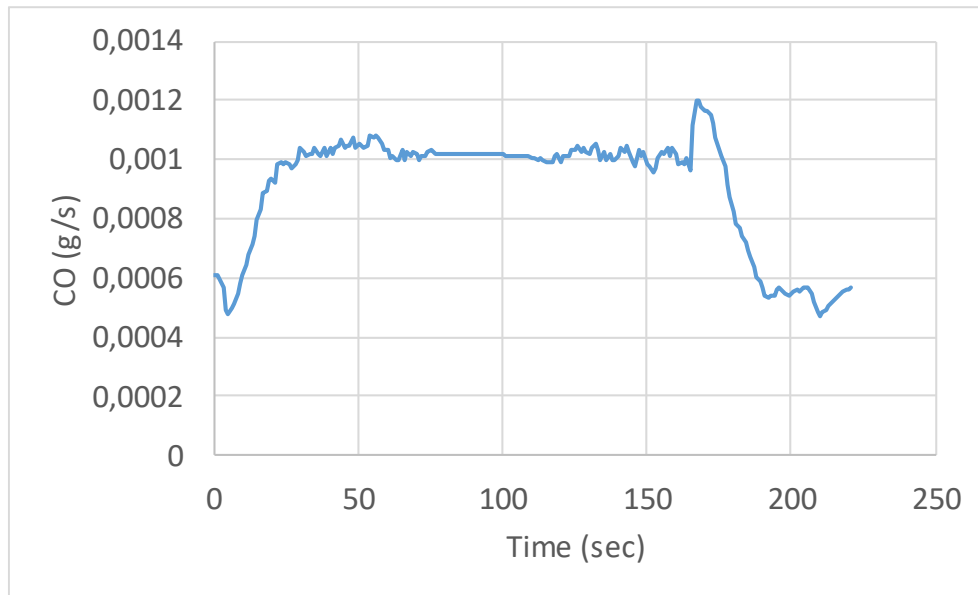
Στο διάγραμμα 4.1ε αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη παροχή του μεθανίου. Η καμπύλη παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου. Συγκεκριμένα την χρονική στιγμή $t=2\text{ sec}$ παρατηρείται μία απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής μονοξειδίου ενώ από την χρονική στιγμή $t=35\text{ sec}$ και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει μια σταθερότητα, καθώς και την απότομη αυξομείωση στο τέλος. Επίσης παρατηρείτε ότι το ποσοστό του μονοξειδίου είναι της τάξεως του 10^{-4} που σημαίνει ότι η καύση είναι σχεδόν πλήρης.



Διάγραμμα 4.1: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m²)



Διάγραμμα 4.1 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών β) Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m^2), γ) Παραγωγή Καπνού-SPR (m^2/sec)



Διάγραμμα 4.1 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 δ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), ε) Έκλυση CO (gr/sec)

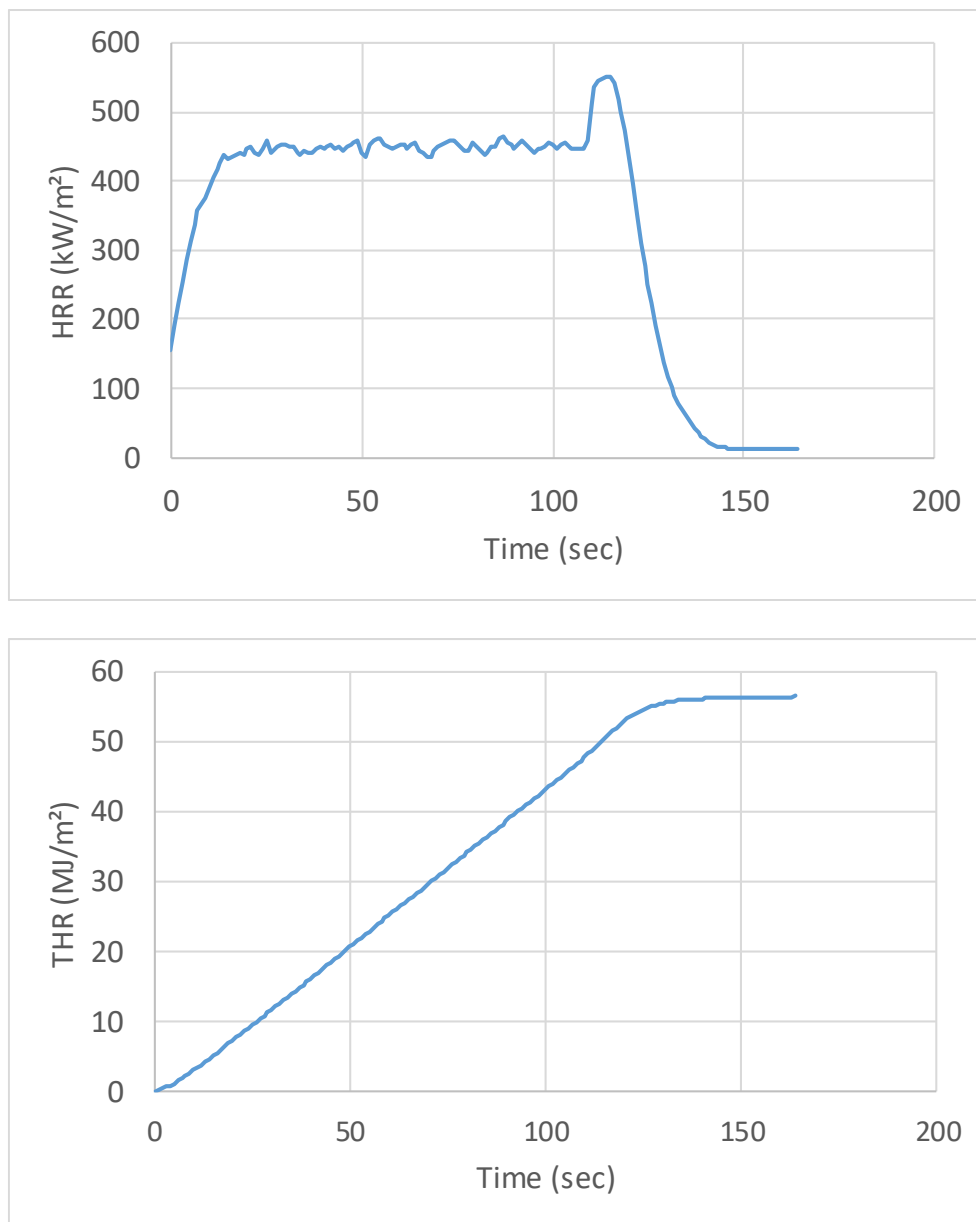
Παροχή 7,20 slpm

Στο διάγραμμα 4.2α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την δεύτερη παροχή του μεθανίου. Αρχικά παρατηρείται μία γρήγορη άνοδος του ρυθμού έκλυσης θερμότητας σε χρόνο $t=2 \text{ sec}$ για την δοκιμή. Στην συνέχεια ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, μετά από μερικά δευτερόλεπτα ($t=15\text{sec}$) αυξάνεται ραγδαία μέχρι να φτάσει στο μέγιστο σημείο (peak HRR). Στο τέλος του γραφήματος βλέπουμε μια απότομη αύξηση της καμπύλης, αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αποκόπτεται απότομα και όχι σταδιακά.

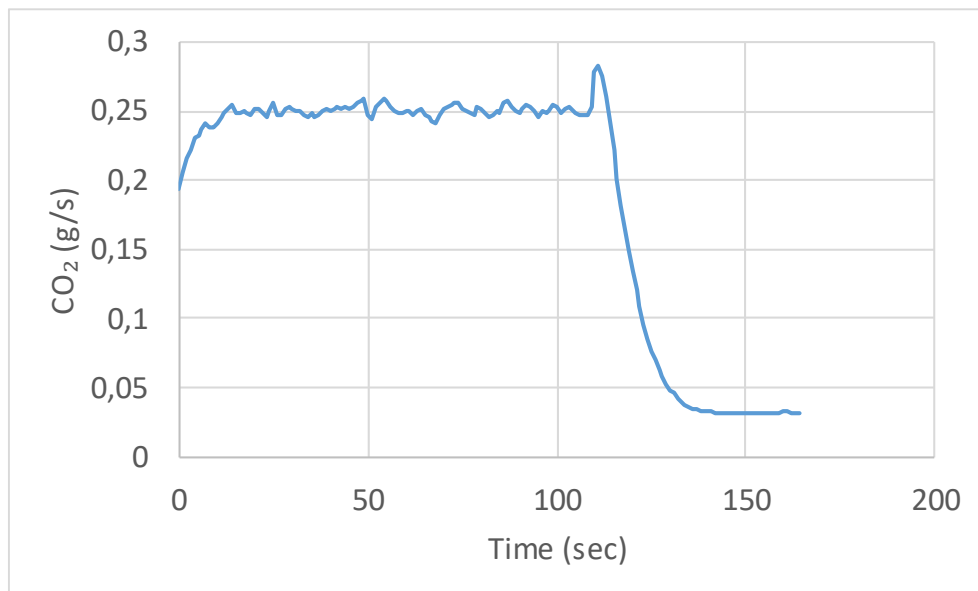
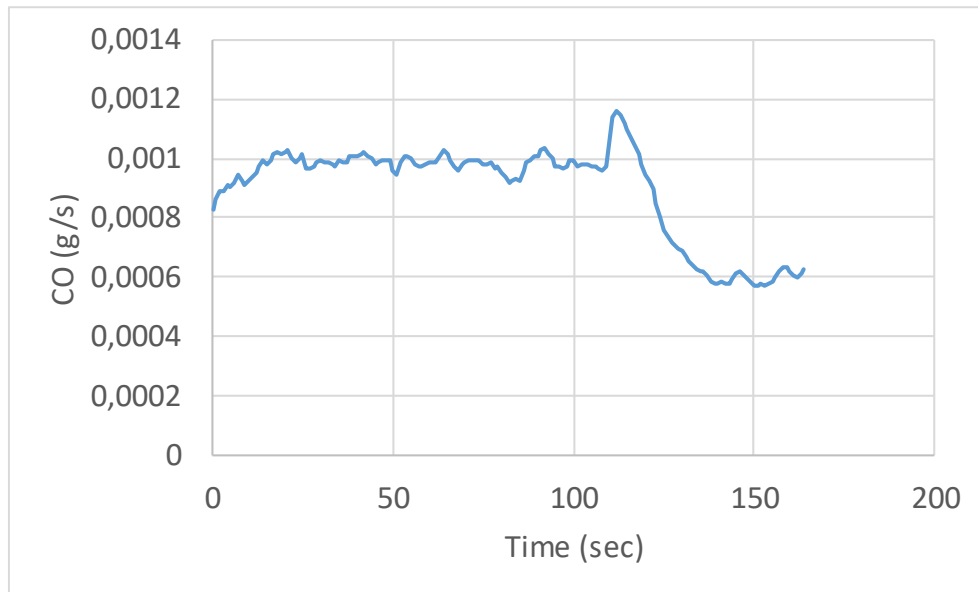
Στο διάγραμμα 4.2β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την δεύτερη παροχή του μεθανίου. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=5 \text{ sec}$ οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=130 \text{ sec}$ που αποκτά μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.2γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου για την δεύτερη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας, δηλαδή μία απότομη αύξηση σε χρόνο $t=2\text{sec}$ και ένα μέγιστο σημείο σε χρόνο $t=15 \text{ sec}$. Επίσης εμφανίζεται και η απότομη αύξηση της καμπύλης στο τέλος του διαγράμματος.

Στο διάγραμμα 4.2δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για την δεύτερη παροχή του μεθανίου. Η καμπύλη παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου. Συγκεκριμένα την χρονική στιγμή $t=2 \text{ sec}$ παρατηρείται μία απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής μονοξειδίου ενώ από την χρονική στιγμή $t=20 \text{ sec}$ και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει μια σταθερότητα, καθώς και την απότομη αυξομείωση στο τέλος. Επίσης παρατηρείτε ότι το ποσοστό του μονοξειδίου είναι της τάξεως του 10^{-4} που σημαίνει ότι η καύση είναι σχεδόν πλήρης.



Διάγραμμα 4.2: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m²), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m²),



Διάγραμμα 4.2 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

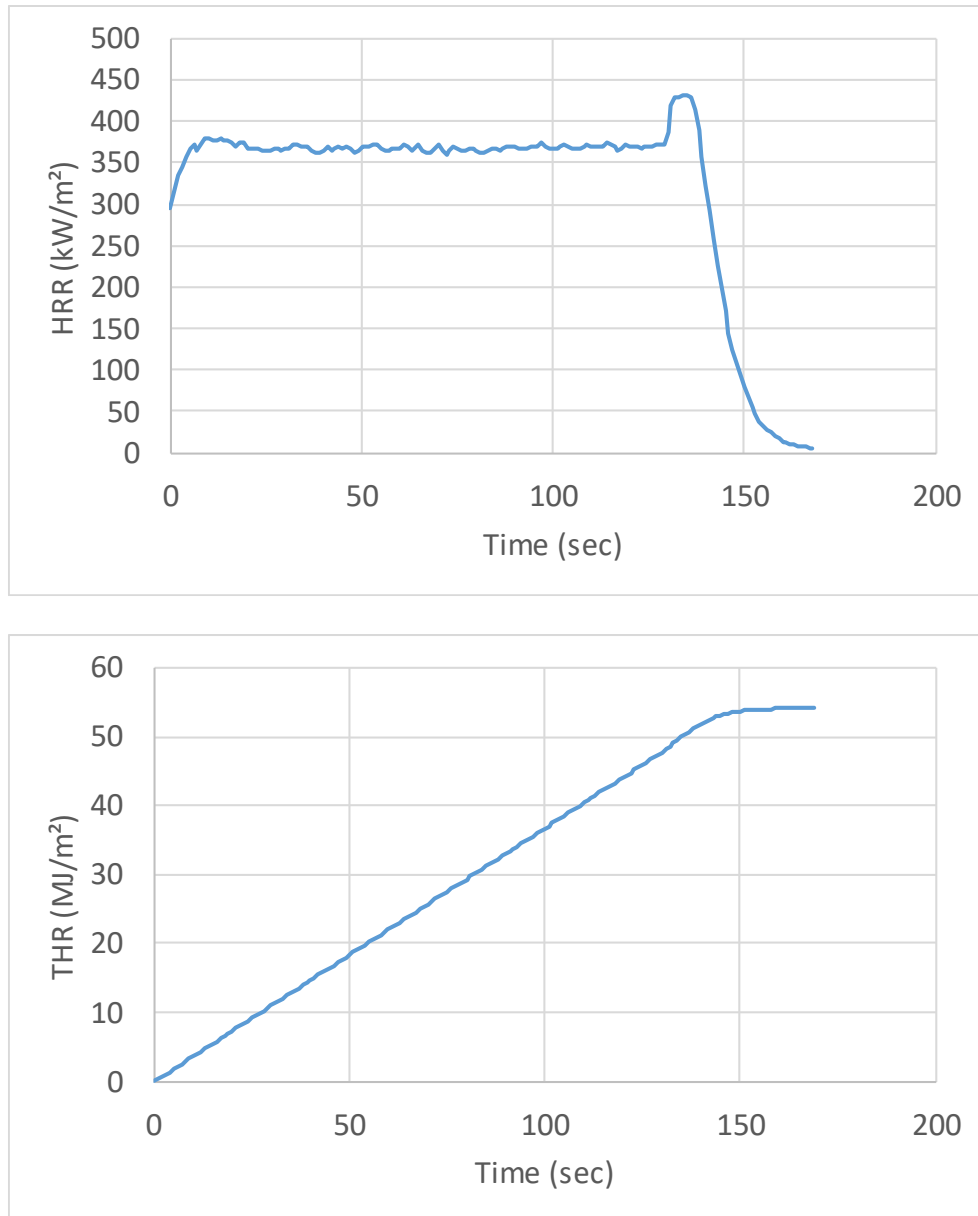
Παροχή 6,02 slpm

Στο διάγραμμα 4.3α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την τρίτη παροχή του μεθανίου. Αρχικά παρατηρείται μία γρήγορη άνοδος του ρυθμού έκλυσης θερμότητας σε χρόνο $t=2$ sec για την δοκιμή. Στην συνέχεια ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, μετά από μερικά δευτερόλεπτα ($t=10$ sec) αυξάνεται ραγδαία μέχρι να φτάσει στο μέγιστο σημείο (peak HRR). Στο τέλος του γραφήματος βλέπουμε μια απότομη αύξηση της καμπύλης, αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αποκόπτεται απότομα και όχι σταδιακά.

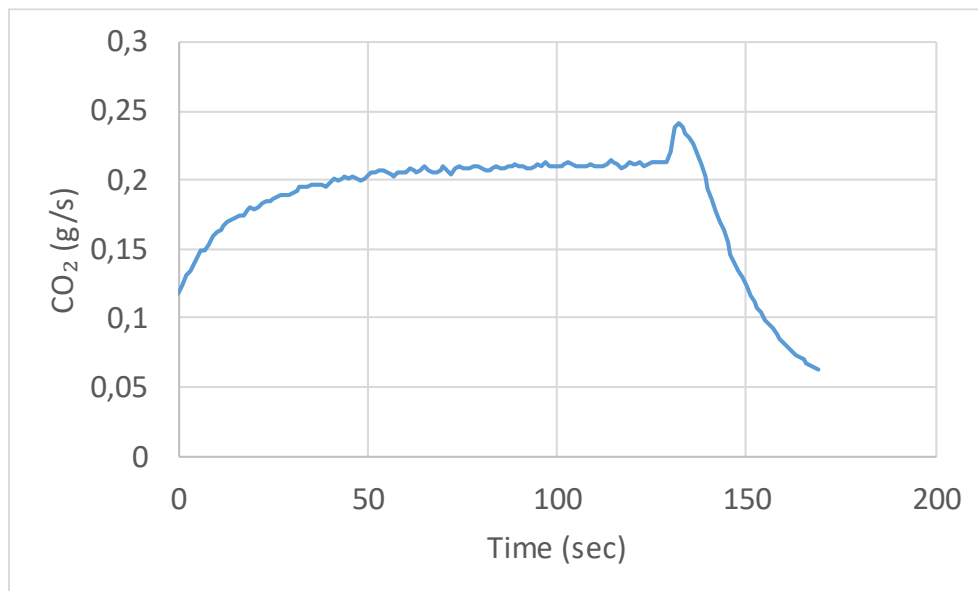
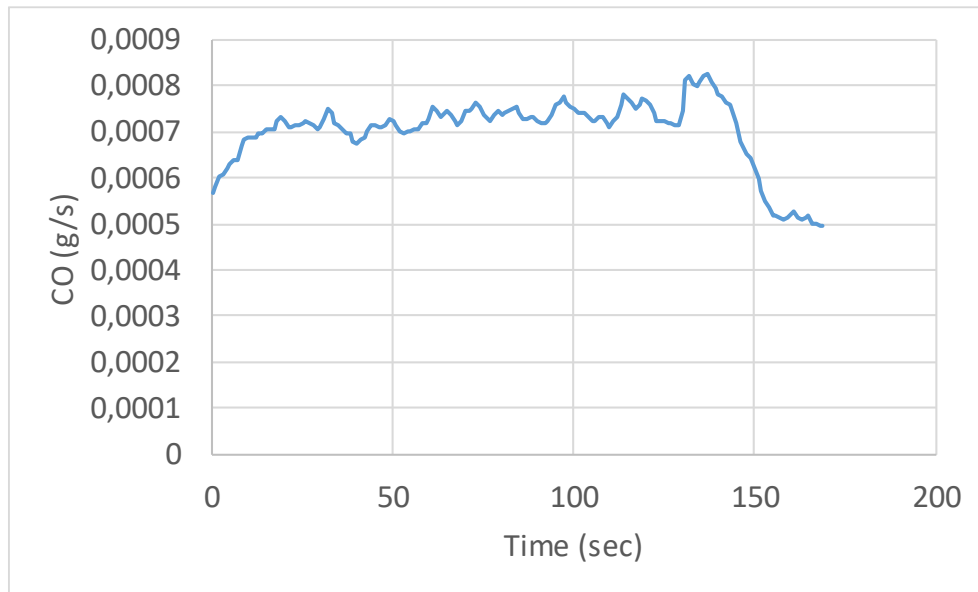
Στο διάγραμμα 4.3β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την τρίτη παροχή του μεθανίου. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=5$ sec οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=140$ sec που αποκτά μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.3γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου για την τρίτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας, δηλαδή μία σταδιακή αύξηση με μέγιστο σημείο σε χρόνο $t=40$ sec, και στη συνέχεια παραμένει σταθερό μέχρι $t=132$ sec. Επίσης εμφανίζεται και η απότομη αύξηση της καμπύλης στο τέλος του διαγράμματος.

Στο διάγραμμα 4.3δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για την τρίτη παροχή του μεθανίου. Η καμπύλη παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου. Συγκεκριμένα την χρονική στιγμή $t=2$ sec παρατηρείται μία απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής μονοξειδίου ενώ από την χρονική στιγμή $t=20$ sec και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει μια σταθερότητα, καθώς και την απότομη αυξομείωση στο τέλος. Επίσης παρατηρείτε ότι το ποσοστό του μονοξειδίου είναι της τάξεως του 10^{-4} που σημαίνει ότι η καύση είναι σχεδόν πλήρης.



Διάγραμμα 4.3: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m^2), β) Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m^2),



Διάγραμμα 4.3 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

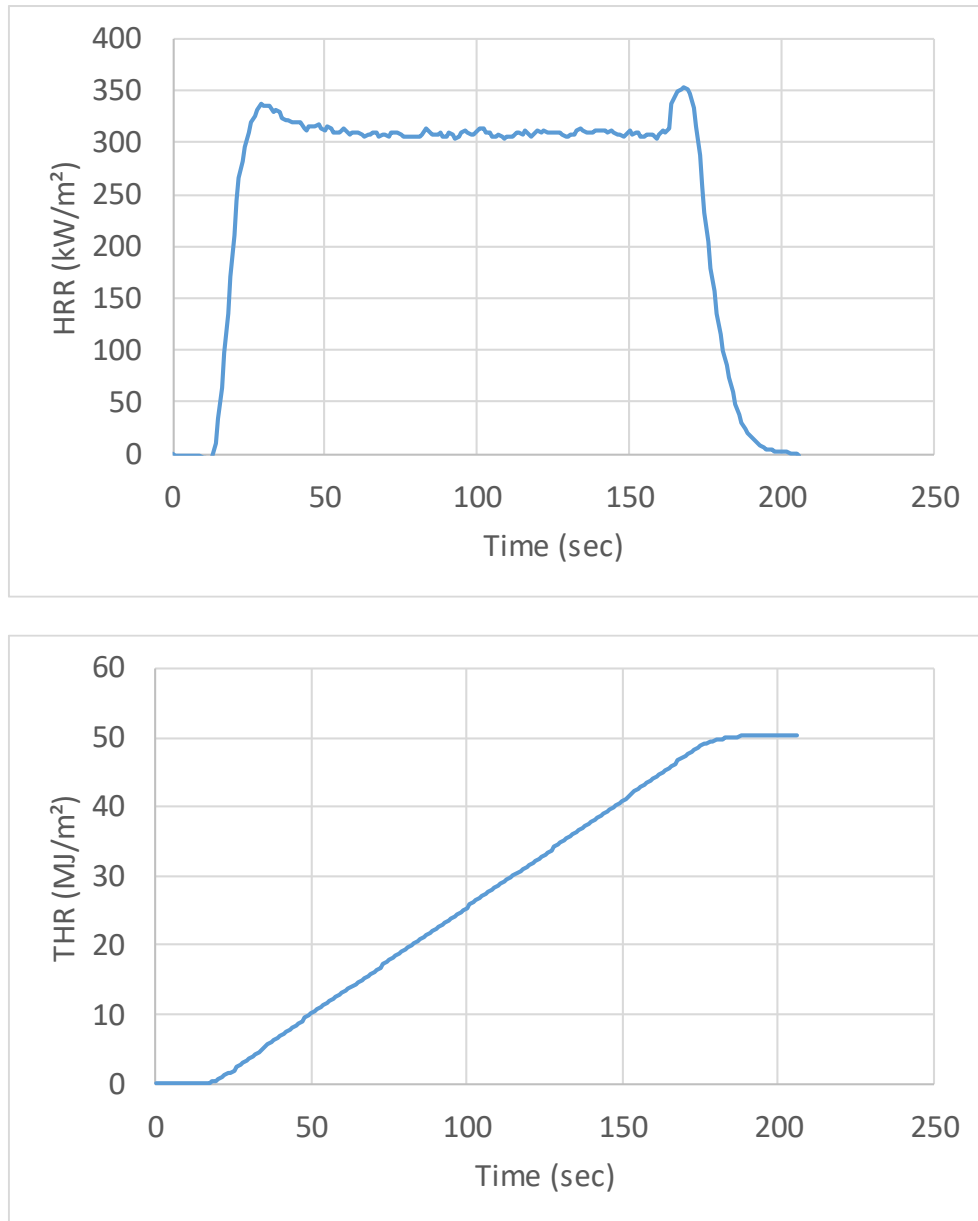
Παροχή 5,08 slpm

Στο διάγραμμα 4.4α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την τέταρτη παροχή του μεθανίου. Αρχικά όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα (4.4α) υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο δεν απελευθερώνεται θερμότητα. Στην συνέχεια ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, μετά από μερικά δευτερόλεπτα ($t=18\text{sec}$) αυξάνεται ραγδαία μέχρι να φτάσει στο μέγιστο σημείο (peak HRR). Στο τέλος του γραφήματος βλέπουμε μια απότομη αύξηση της καμπύλης, αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αποκόπτεται απότομα και όχι σταδιακά.

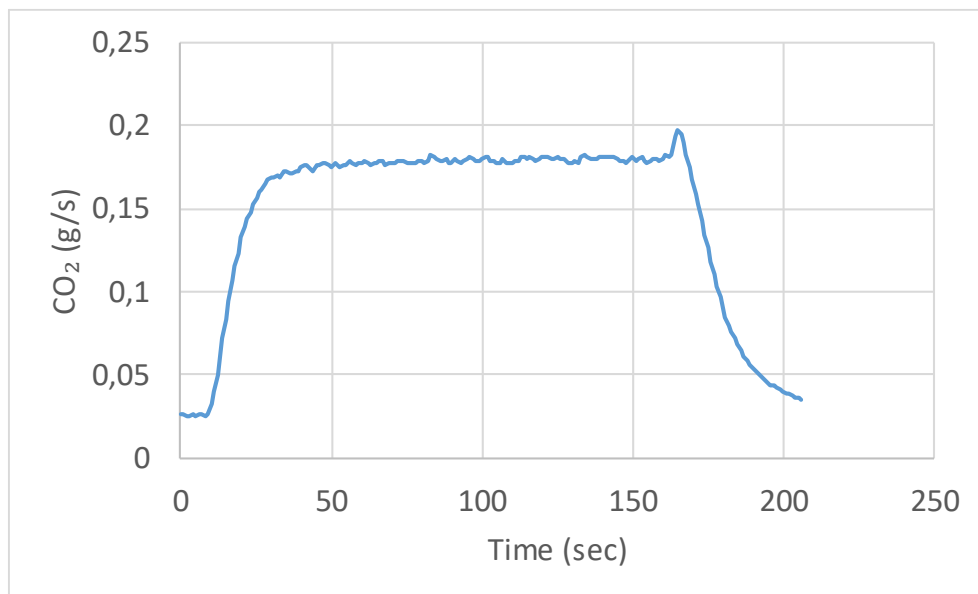
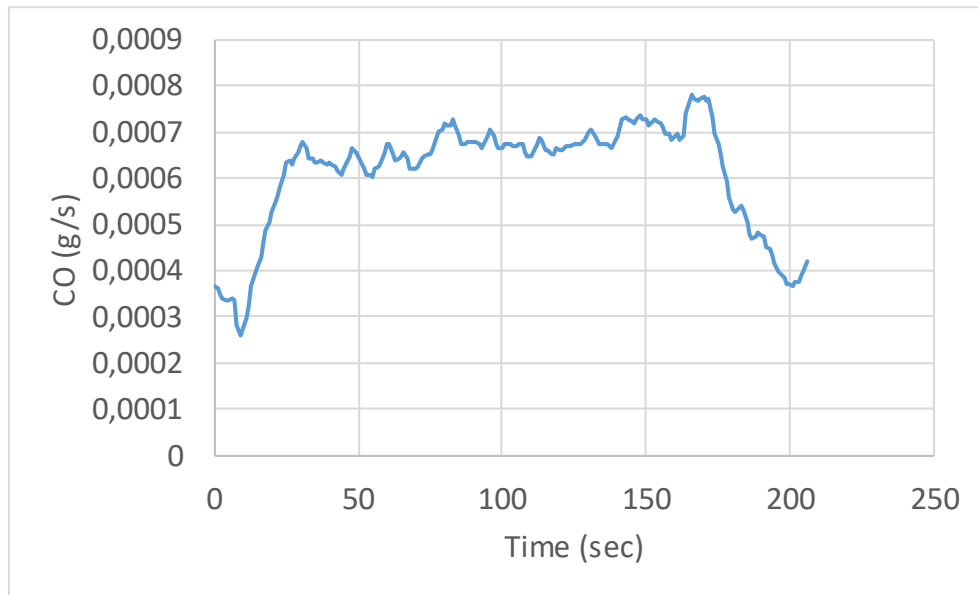
Στο διάγραμμα 4.4β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την τέταρτη παροχή του μεθανίου. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=20\text{ sec}$ οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=180\text{ sec}$ που αποκτά μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.4γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου για την τέταρτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας, δηλαδή μία απότομη αύξηση σε χρόνο $t=8\text{sec}$ και ένα μέγιστο σημείο σε χρόνο $t=30\text{ sec}$. Επίσης εμφανίζεται και η απότομη αύξηση της καμπύλης στο τέλος του διαγράμματος.

Στο διάγραμμα 4.4δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για την τέταρτη παροχή του μεθανίου. Η καμπύλη παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου. Συγκεκριμένα την χρονική στιγμή $t=2\text{ sec}$ παρατηρείται μία απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής μονοξειδίου ενώ από την χρονική στιγμή $t=28\text{ sec}$ και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει μια σταθερότητα. Επίσης παρατηρείτε ότι το ποσοστό του μονοξειδίου είναι της τάξεως του 10^{-4} που σημαίνει ότι η καύση είναι σχεδόν πλήρης καθώς και την απότομη αυξομείωση στο τέλος.



Διάγραμμα 4.4: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m²), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m²)



Διάγραμμα 4.4 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 Θερμότητας-THR (MJ/m^2), γ) Έκλυση CO_2 (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

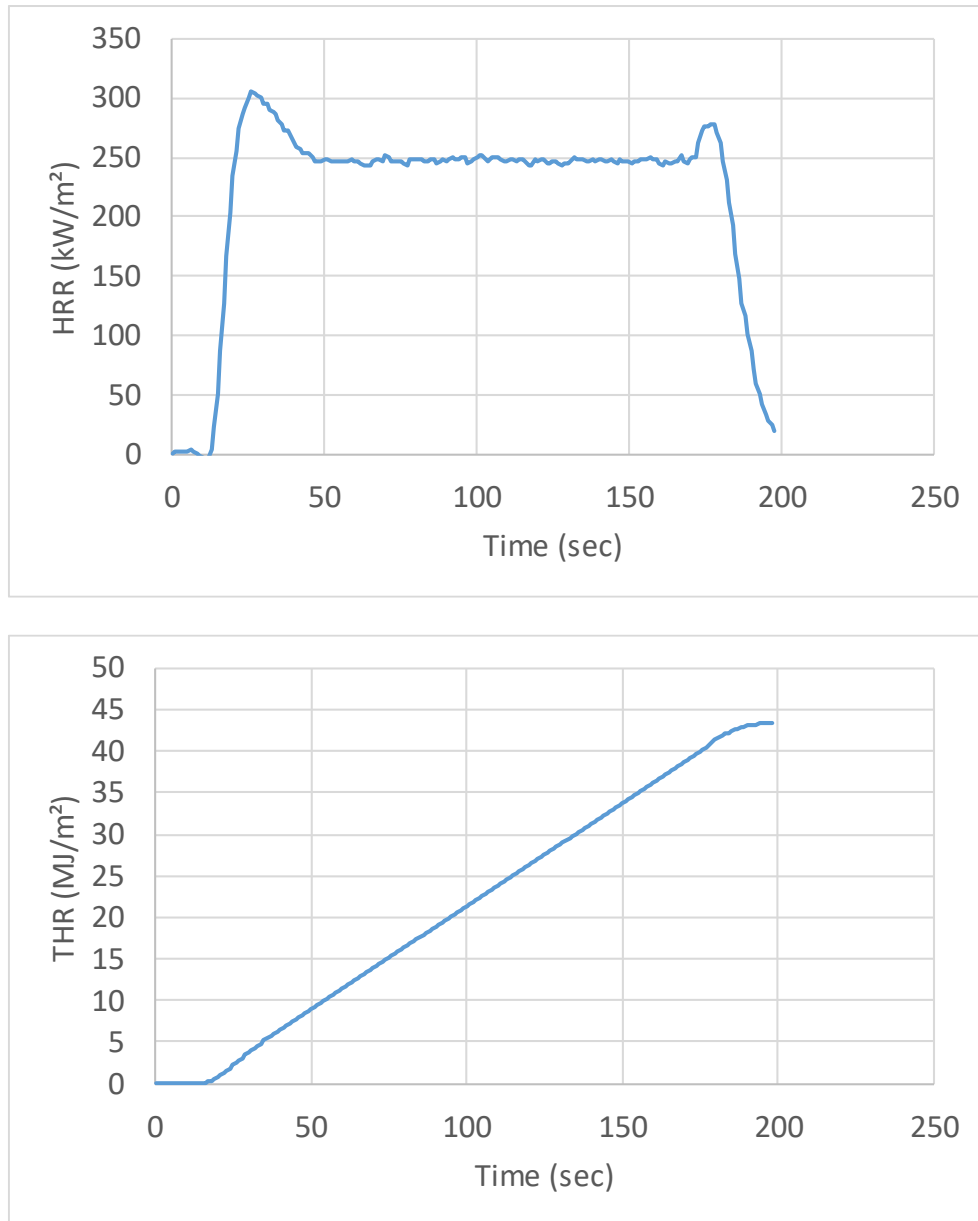
Παροχή 3,96 slpm

Στο διάγραμμα 4.5α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πέμπτη παροχή του μεθανίου. Αρχικά όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα (4.5α) υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο δεν απελευθερώνεται θερμότητα. Παρατηρείται όμως μία γρήγορη άνοδος του ρυθμού έκλυσης θερμότητας σε χρόνο $t=15$ sec για την δοκιμή. Στην συνέχεια ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, μετά από μερικά δευτερόλεπτα ($t=28$ sec) αυξάνεται ραγδαία μέχρι να φτάσει στο μέγιστο σημείο (peak HRR). Στο τέλος του γραφήματος βλέπουμε μια απότομη αύξηση της καμπύλης, αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αποκόπτεται απότομα και όχι σταδιακά.

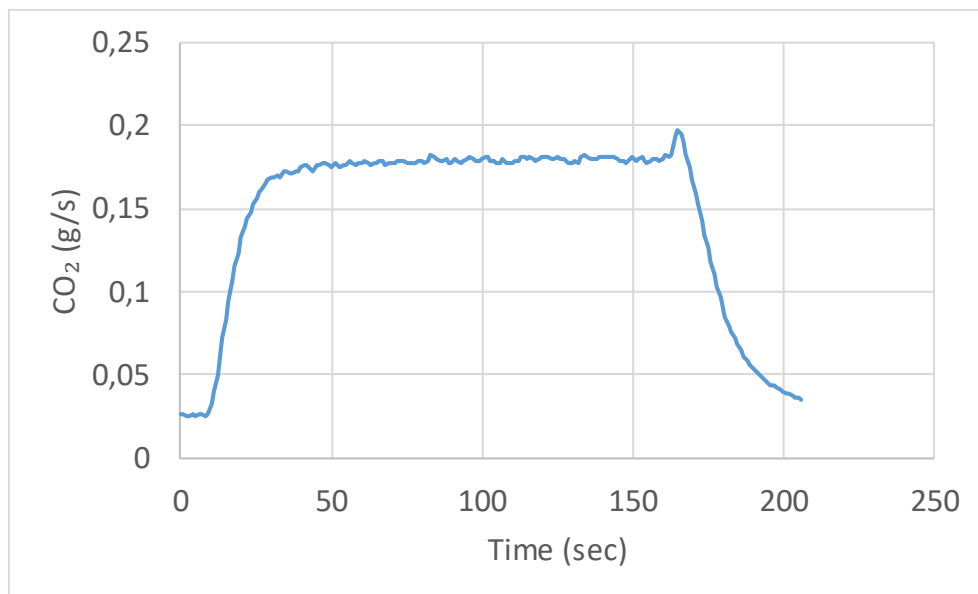
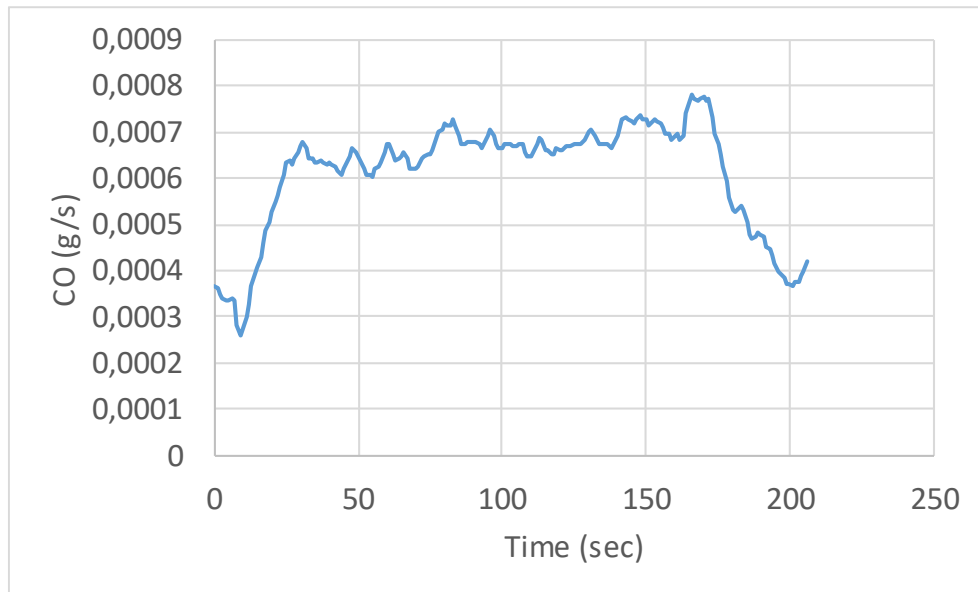
Στο διάγραμμα 4.5β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την πέμπτη παροχή του μεθανίου. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=20$ sec οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=180$ sec που χαρακτηρίζεται σαν μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.5γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου για την πέμπτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας, δηλαδή μία απότομη αύξηση σε χρόνο $t=9$ sec και ένα μέγιστο σημείο σε χρόνο $t=27$ sec. Επίσης εμφανίζεται και η απότομη αύξηση της καμπύλης στο τέλος του διαγράμματος.

Στο διάγραμμα 4.5δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πέμπτη παροχή του μεθανίου. Η καμπύλη παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου. Αρχικά παρατηρείται μια αύξηση μέχρι $t=4$ sec και έπειτα μια πτώση μέχρι $t=11$ sec, η οποία εμφανίζεται λόγω της χειροκίνητης ρύθμισης της παροχής. Συγκεκριμένα την χρονική στιγμή $t=11$ sec παρατηρείται μία απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής μονοξειδίου ενώ από την χρονική στιγμή $t=28$ sec και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει μια σταθερότητα. Επίσης παρατηρείτε ότι το ποσοστό του μονοξειδίου είναι της τάξεως του 10^{-4} που σημαίνει ότι η καύση είναι σχεδόν πλήρης καθώς και μια απότομη αυξομείωση στο τέλος.



Διάγραμμα 4.5: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m²), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m²)



Διάγραμμα 4.5 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

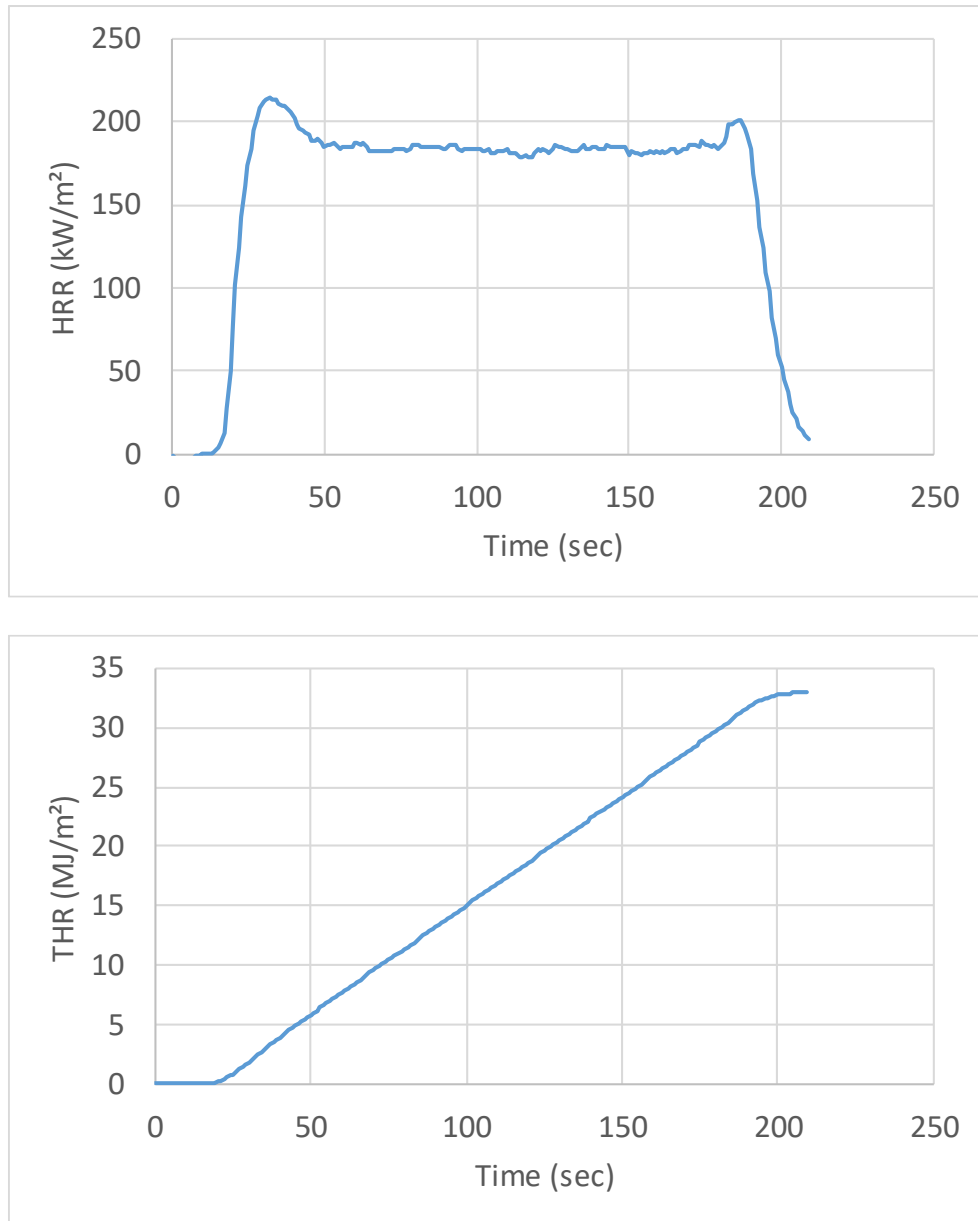
Παροχή 2,91 slpm

Στο διάγραμμα 4.6α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την έκτη παροχή του μεθανίου. Αρχικά όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα (4.6α) υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο δεν απελευθερώνεται θερμότητα. Στην συνέχεια ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, μετά από μερικά δευτερόλεπτα ($t=17\text{sec}$) αυξάνεται ραγδαία μέχρι να φτάσει στο μέγιστο σημείο (peak HRR). Στο τέλος του γραφήματος βλέπουμε μια απότομη αύξηση της καμπύλης, αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αποκόπτεται απότομα και όχι σταδιακά.

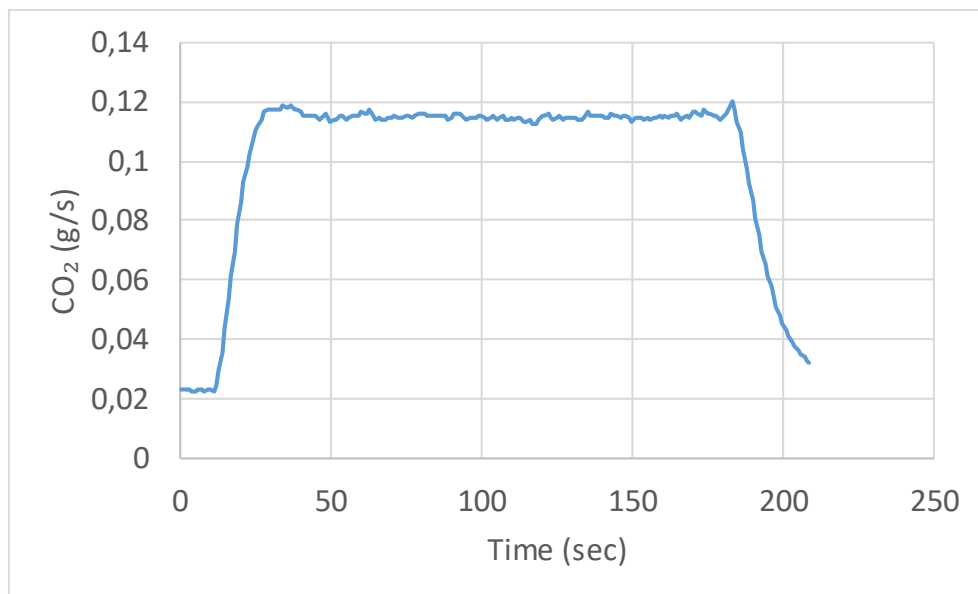
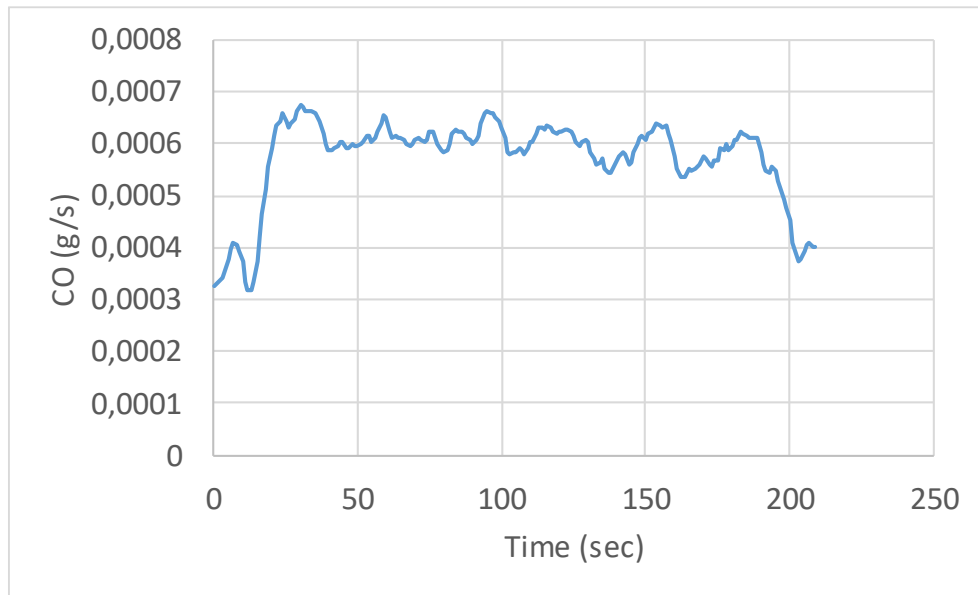
Στο διάγραμμα 4.6β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την έκτη παροχή του μεθανίου. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=23\text{ sec}$ οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=195\text{ sec}$ που αποκτά μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.6γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου για την έκτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας, δηλαδή μία απότομη αύξηση σε χρόνο $t=13\text{sec}$ και ένα μέγιστο σημείο σε χρόνο $t=29\text{ sec}$. Επίσης εμφανίζεται και η απότομη αύξηση της καμπύλης στο τέλος του διαγράμματος.

Στο διάγραμμα 4.6δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για την έκτη παροχή του μεθανίου. Η καμπύλη παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου. Συγκεκριμένα την χρονική στιγμή $t=16\text{ sec}$ παρατηρείται μία απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής μονοξειδίου ενώ από την χρονική στιγμή $t=34\text{ sec}$ και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει μια σταθερότητα. Επίσης παρατηρείτε ότι το ποσοστό του μονοξειδίου είναι της τάξεως του 10^{-4} που σημαίνει ότι η καύση είναι σχεδόν πλήρης καθώς και μια απότομη αυξομείωση στο τέλος.



Διάγραμμα 4.6: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m²), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m²)



Διάγραμμα 4.6 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

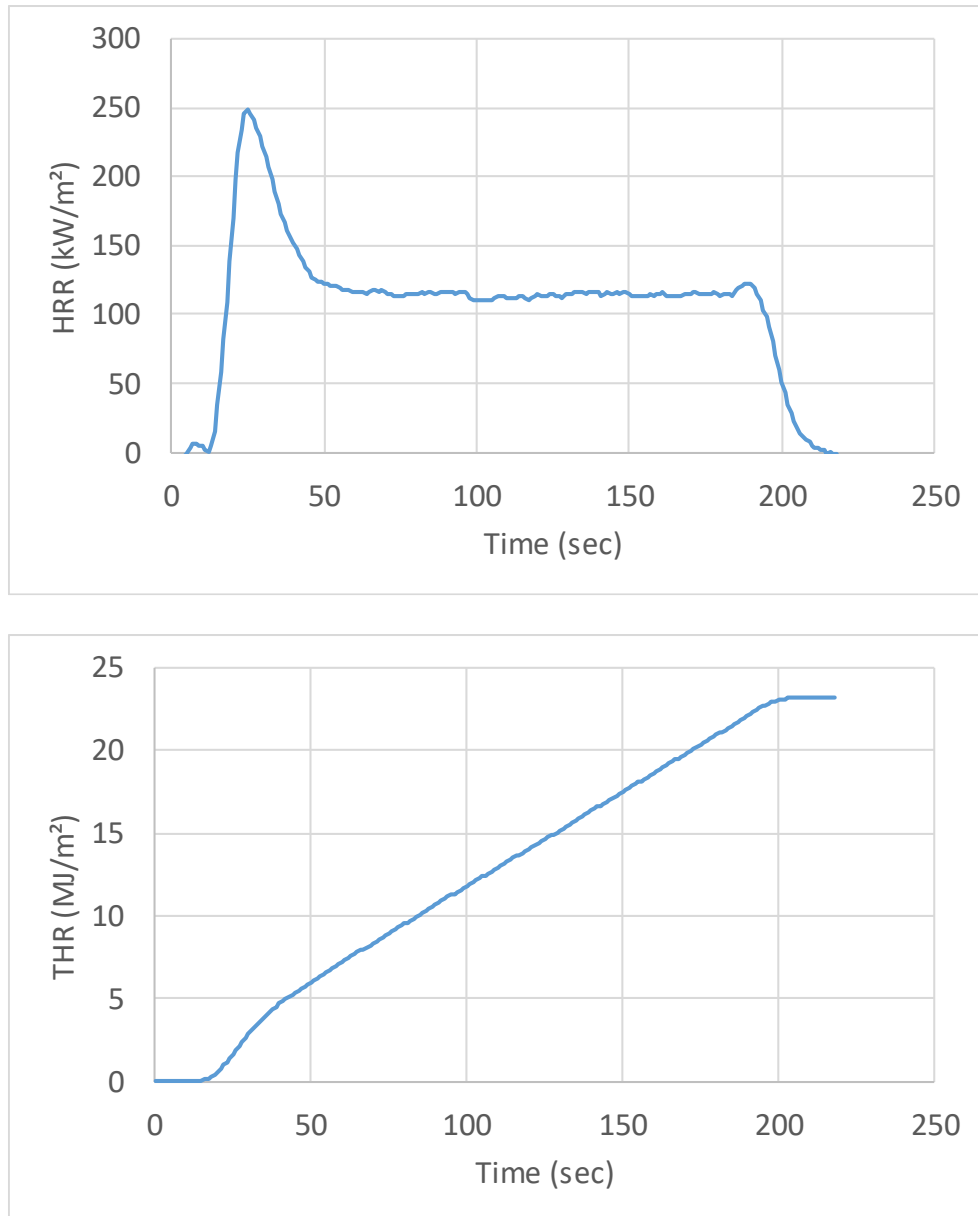
Παροχή 1,85 slpm

Στο διάγραμμα 4.7α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την έβδομη παροχή του μεθανίου. Αρχικά όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα (4.7α) υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο δεν απελευθερώνεται θερμότητα. Παρατηρείται όμως μία γρήγορη άνοδος του ρυθμού έκλυσης θερμότητας σε χρόνο $t=12$ sec για την δοκιμή. Στην συνέχεια ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, μετά από μερικά δευτερόλεπτα ($t=26$ sec) αυξάνεται ραγδαία μέχρι να φτάσει στο μέγιστο σημείο (peak HRR). Στο τέλος του γραφήματος βλέπουμε μια μικρή αύξηση της καμπύλης, αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αποκόπτεται απότομα και όχι σταδιακά. Επίσης η καμπύλη έχει μικρότερο εύρος τιμών γιατί η παροχή είναι πολύ μικρή και η ένταση της φλόγας επίσης.

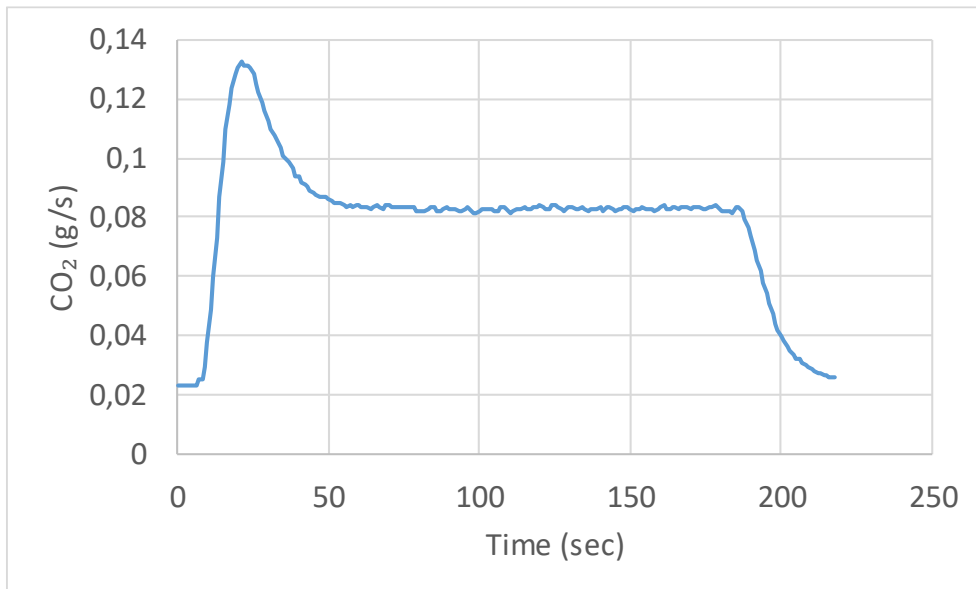
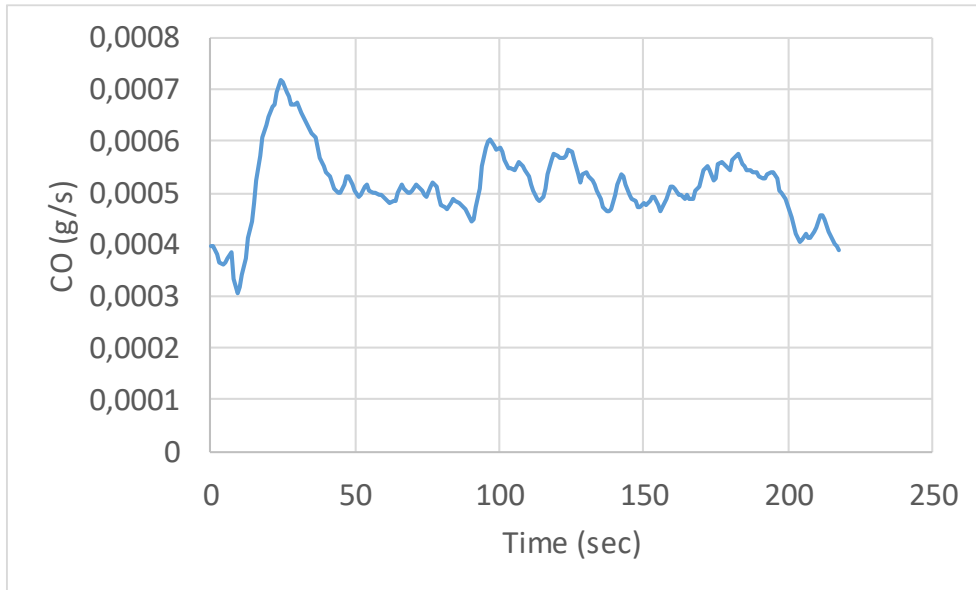
Στο διάγραμμα 4.7β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την έβδομη παροχή του μεθανίου. Παρατηρείται ότι η καμπύλη έχει μια ομαλή αύξηση, ενώ την χρονική στιγμή $t=38$ sec οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=200$ sec που αποκτά μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.7γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου για την έβδομη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας, δηλαδή μία απότομη αύξηση σε χρόνο $t=6$ sec και ένα μέγιστο σημείο σε χρόνο $t=23$ sec. Επίσης παρατηρείτε ότι η απότομη αύξηση της καμπύλης στο τέλος του διαγράμματος δεν υπάρχει λόγω της μικρής παροχής του πειράματος .

Στο διάγραμμα 4.7δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για την έβδομη παροχή του μεθανίου. Η καμπύλη παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου, ωστόσο δεν είναι το ίδιο σταθερή. Συγκεκριμένα από την χρονική στιγμή $t=0$ sec έως $t=26$ sec παρατηρείται μία απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής μονοξειδίου, με μια μικρή πτώση ενδιάμεσα που οφείλεται στην χειροκίνητη ρύθμιση της παροχής. Ενώ από την χρονική στιγμή $t=46$ sec και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει μια σταθερότητα. Επίσης παρατηρείτε ότι το ποσοστό του μονοξειδίου είναι της τάξεως του 10^{-4} που σημαίνει ότι η καύση είναι σχεδόν πλήρης καθώς και μια απότομη αυξομείωση στο τέλος.



Διάγραμμα 4.7: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m²), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m²)



Διάγραμμα 4.7 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

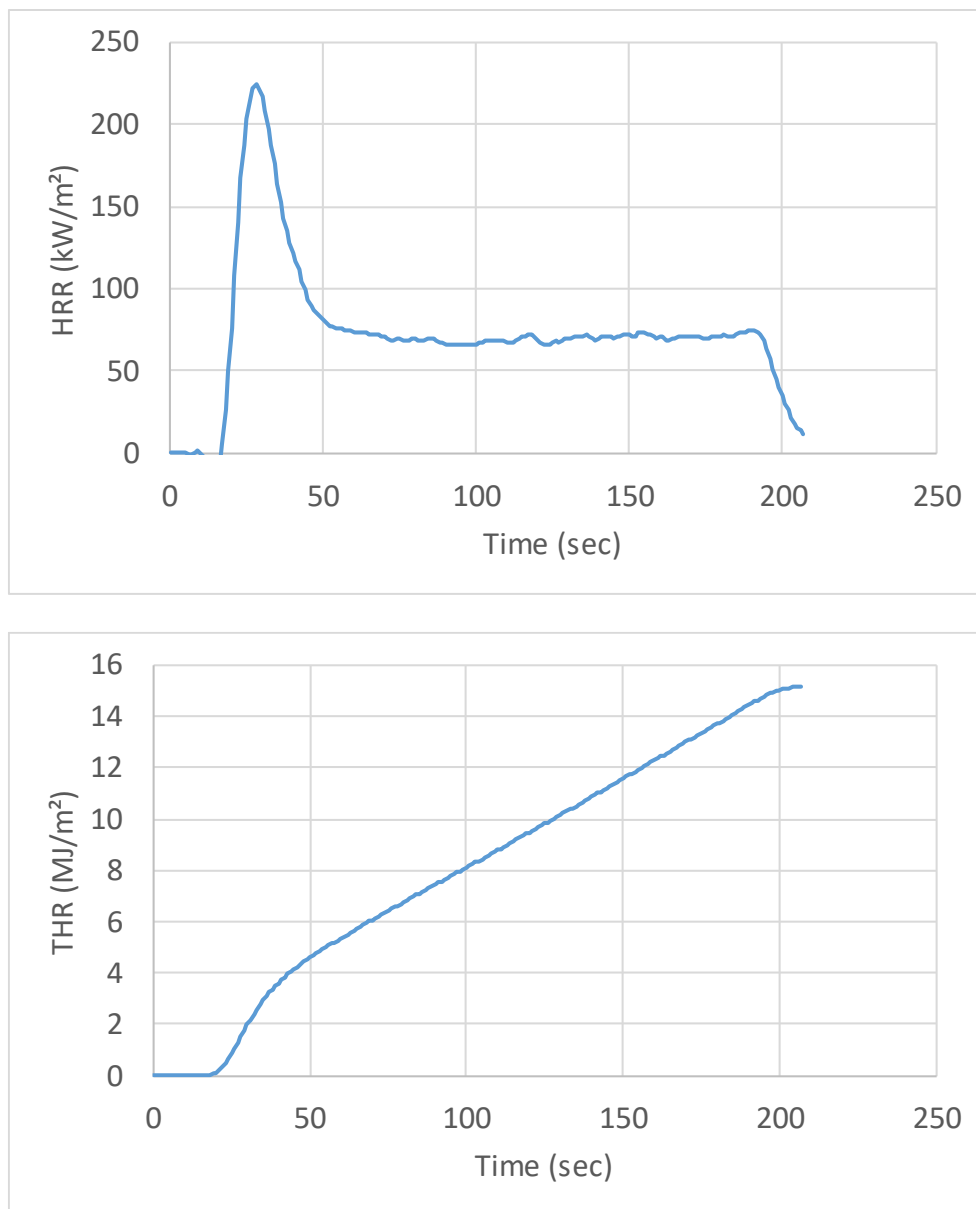
Παροχή 1,08 slpm

Στο διάγραμμα 4.8α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την όγδοη παροχή του μεθανίου. Αρχικά όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα (4.8α) υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο δεν απελευθερώνεται θερμότητα. Παρατηρείται όμως μία γρήγορη άνοδος του ρυθμού έκλυσης θερμότητας σε χρόνο $t=16$ sec για την δοκιμή. Στην συνέχεια ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, μετά από μερικά δευτερόλεπτα ($t=29$ sec) αυξάνεται ραγδαία μέχρι να φτάσει στο μέγιστο σημείο (peak HRR). Επίσης η καμπύλη έχει μικρότερο εύρος τιμών γιατί η παροχή είναι πολύ μικρή και η ένταση της φλόγας επίσης και δεν εμφανίζεται η αυξομείωση στο τέλος της καμπύλης.

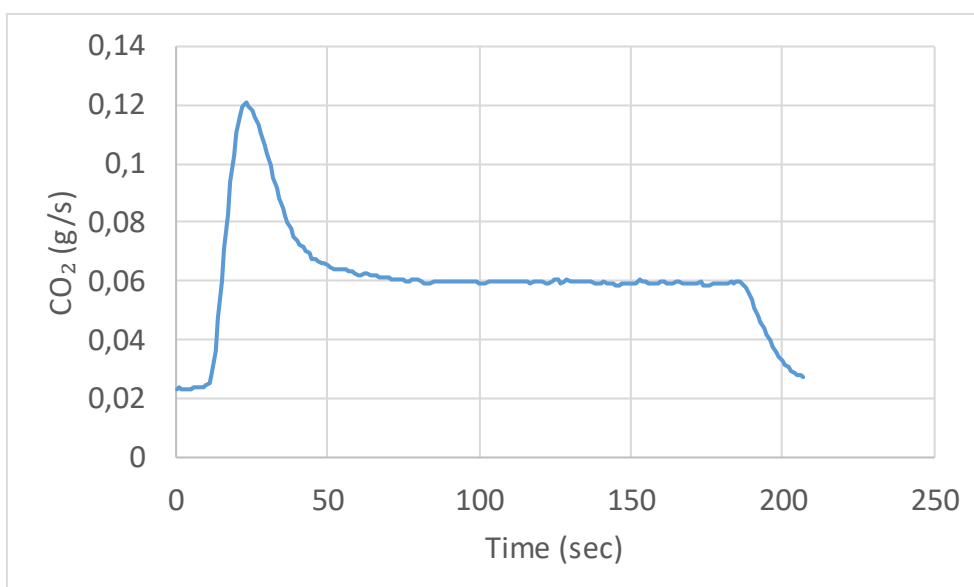
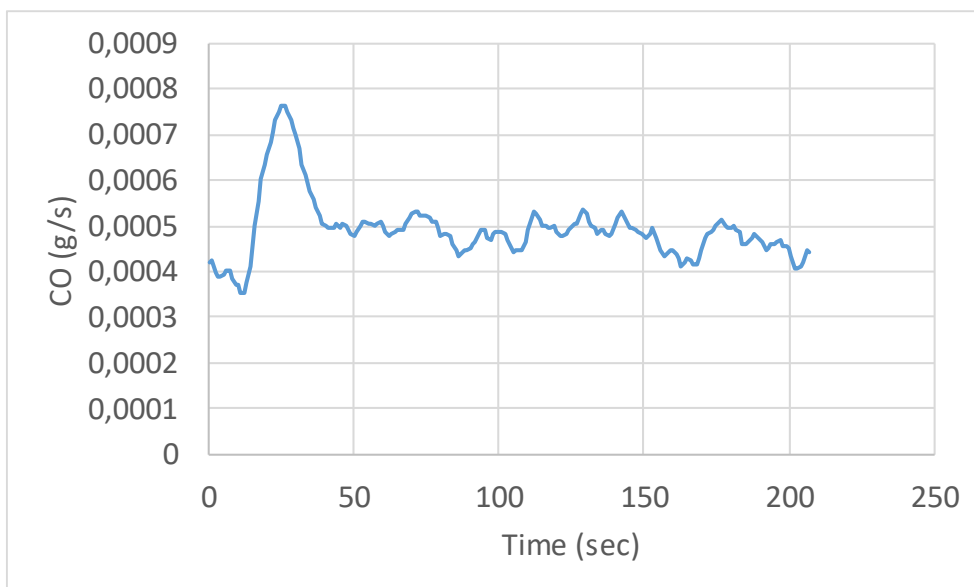
Στο διάγραμμα 4.8β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την όγδοη παροχή του μεθανίου. Παρατηρείται ότι η καμπύλη έχει μια αργή αύξηση, ενώ την χρονική στιγμή $t=19$ sec οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=195$ sec που αποκτά μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.8γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου για την όγδοη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας, δηλαδή μία απότομη αύξηση σε χρόνο $t=13$ sec και ένα μέγιστο σημείο σε χρόνο $t=27$ sec. Η σταθερότητα της καμπύλης από χρόνο $t=4$ sec έως $t=11$ sec δικαιολογείται διότι η παροχή ρυθμίζεται χειροκίνητα.

Στο διάγραμμα 4.8δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για την όγδοη παροχή του μεθανίου. Η καμπύλη παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου. Συγκεκριμένα την χρονική στιγμή $t=0$ sec παρατηρείται μία απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής μονοξειδίου μέχρι $t=29$ sec. Ενώ από την χρονική στιγμή $t=43$ sec και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει μια σταθερότητα. Η πτώση της καμπύλης από χρόνο $t=4$ sec έως $t=14$ sec δικαιολογείται διότι η παροχή ρυθμίζεται χειροκίνητα.



Διάγραμμα 4.8: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m²), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m²)



Διάγραμμα 4.8 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

4.3.2 LPG

Αρχικά παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα για κάθε παροχή του LPG ξεχωριστά, που προέκυψαν μέσω της πειραματικής διαδικασίας.

Παροχή 0,50 slpm

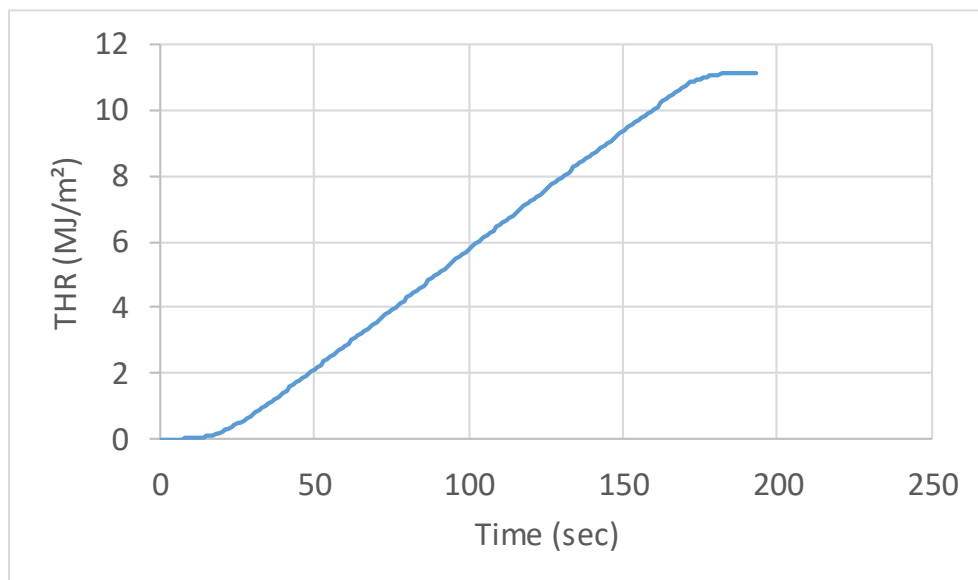
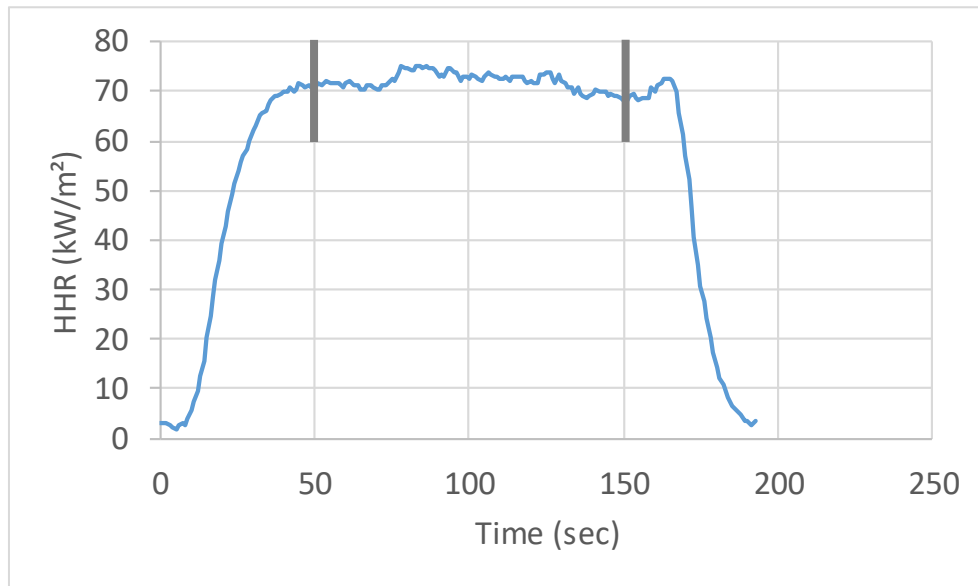
Στο διάγραμμα 4.9α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη παροχή του LPG. Αρχικά όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα (4.9α) υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο δεν απελευθερώνεται θερμότητα. Παρατηρείται όμως μία γρήγορη άνοδος του ρυθμού έκλυσης θερμότητας σε χρόνο $t=8$ sec για την δοκιμή. Στην συνέχεια ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, μετά από μερικά δευτερόλεπτα ($t=43$ sec) αυξάνεται ραγδαία μέχρι να φτάσει στο μέγιστο σημείο (peak HRR). Στο τέλος του γραφήματος βλέπουμε μια απότομη αύξηση της καμπύλης, αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αποκόπτεται απότομα και όχι σταδιακά.

Επίσης στο διαγράμματα 4.9α έχει απομονωθεί το χρονικό διάστημα από $t=50$ sec έως $t=150$ sec, όπου είναι το χρονικό διάστημα που ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας είναι πιο σταθερός, και το χρονικό διάστημα αυτό έχει χρησιμοποιηθεί στα πειράματα για τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης. Σε κάθε παροχή έχει γίνει ο ίδιος υπολογισμός με την αντίστοιχη χρονική περίοδο του κάθε διαγράμματος.

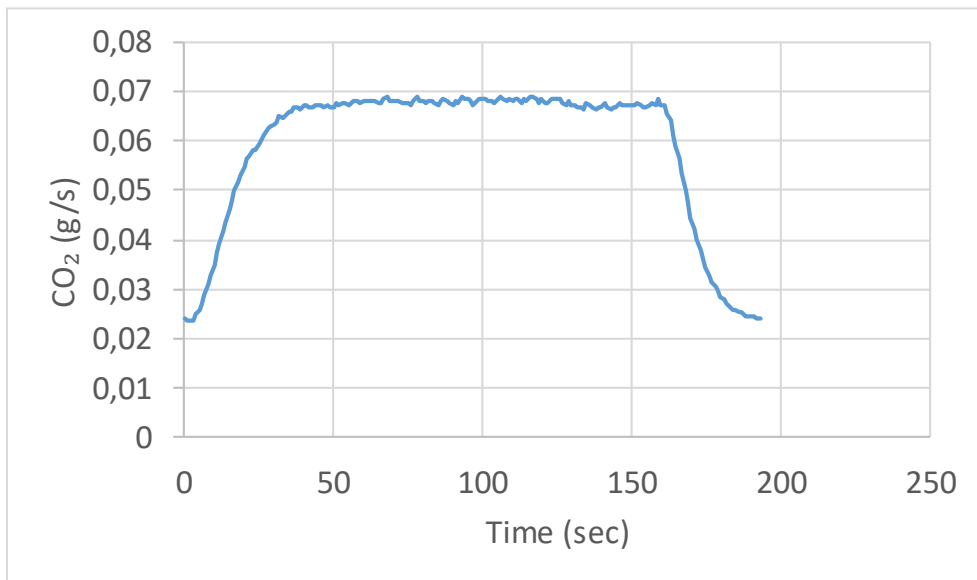
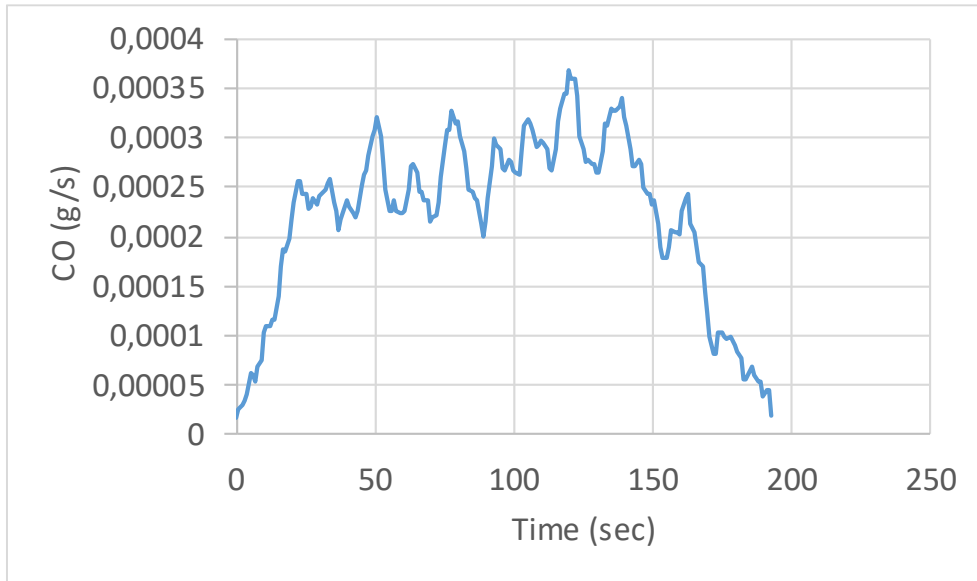
Στο διάγραμμα 4.9β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την πρώτη παροχή του LPG. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=18$ sec οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=181$ sec που αποκτά μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.9γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου για την πρώτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου παρουσιάζει μια απότομη αύξηση από το πρώτο δευτερόλεπτο του πειράματος μέχρι να σταθεροποιηθεί σε χρόνο $t=44$ sec.

Στο διάγραμμα 4.9δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη παροχή του LPG. Η καμπύλη παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου. Συγκεκριμένα από την χρονική στιγμή $t=0$ sec παρατηρείται μία απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής μονοξειδίου ενώ από την χρονική στιγμή $t=25$ sec και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει μια σταθερότητα με μικρές μεταβολές. Επίσης παρατηρείτε ότι το ποσοστό του μονοξειδίου είναι της τάξεως του 10^{-4} που σημαίνει ότι η καύση είναι σχεδόν πλήρης.



Διάγραμμα 4.9: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m^2), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m^2)



Διάγραμμα 4.9 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Παραγωγή Καπνού-SPR (m^2/sec), δ) Έκλυση CO_2 (gr/sec), ε) Έκλυση CO (gr/sec)

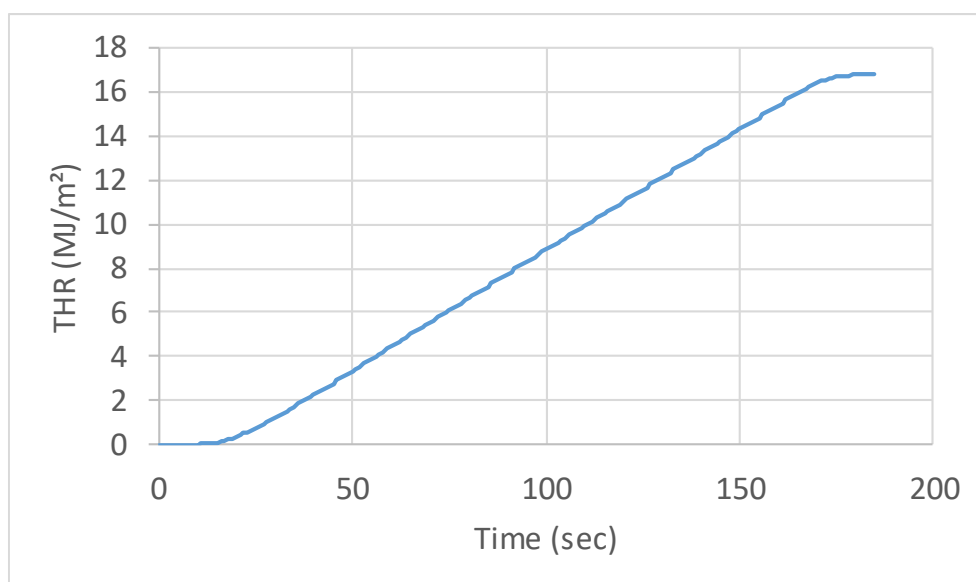
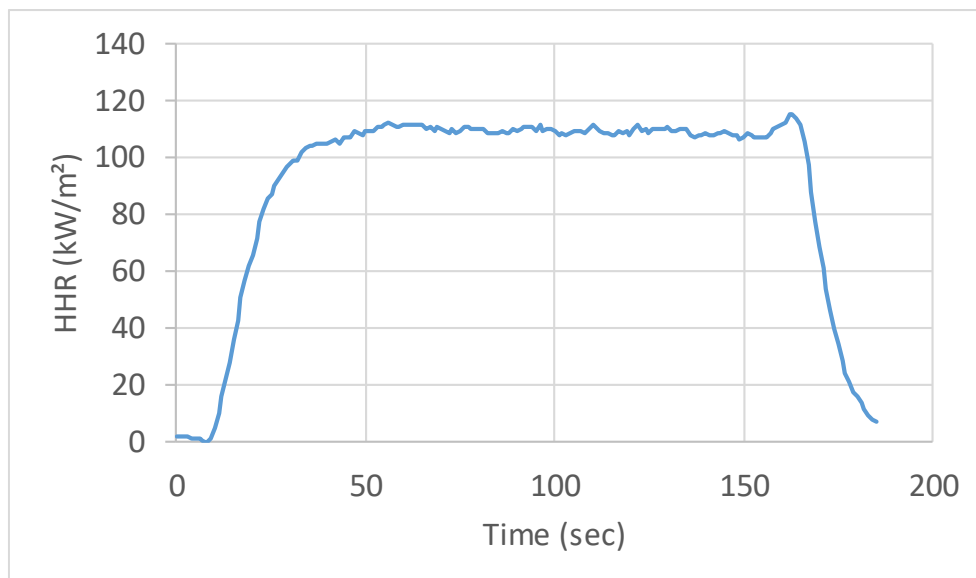
Παροχή 0,75 slpm

Στο διάγραμμα 4.10α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την δεύτερη παροχή του LPG. Αρχικά όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα (4.10α) υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο δεν απελευθερώνεται θερμότητα. Παρατηρείται όμως μία γρήγορη άνοδος του ρυθμού έκλυσης θερμότητας σε χρόνο $t=11$ sec για την δοκιμή. Στην συνέχεια ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, μετά από μερικά δευτερόλεπτα ($t=42$ sec) αυξάνεται ραγδαία μέχρι να φτάσει στο μέγιστο σημείο (peak HRR). Στο τέλος του γραφήματος βλέπουμε μια απότομη αύξηση της καμπύλης, αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αποκόπτεται απότομα και όχι σταδιακά.

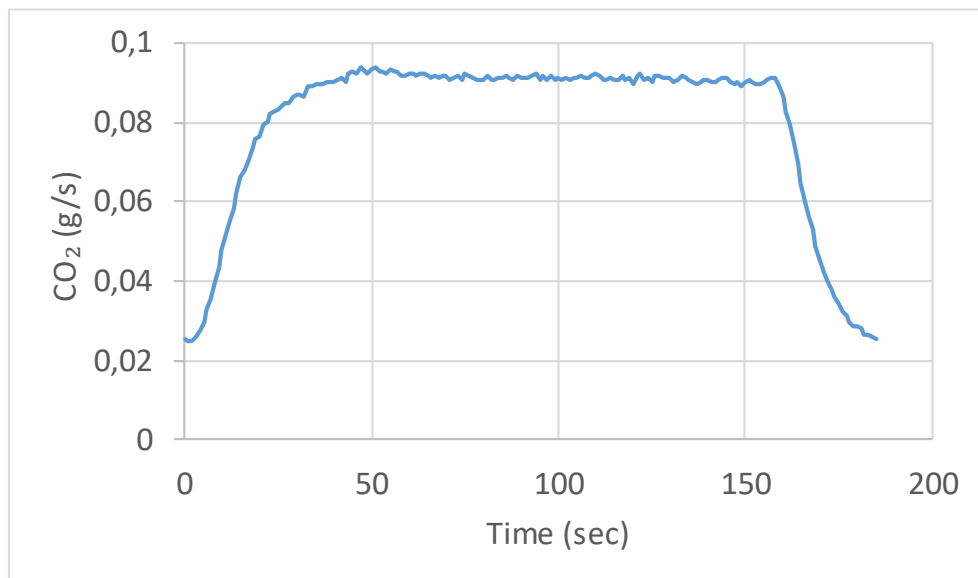
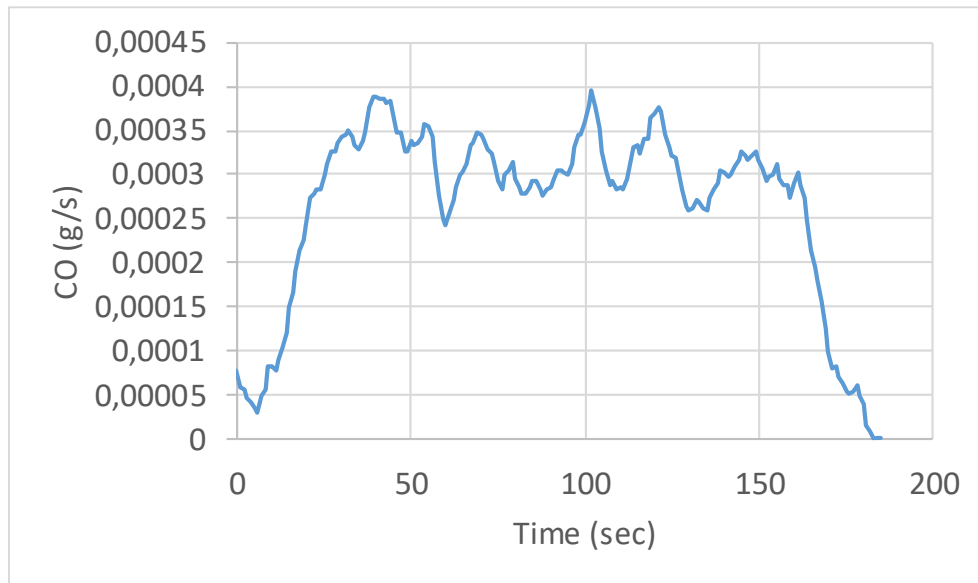
Στο διάγραμμα 4.10β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την δεύτερη παροχή του LPG. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=19$ sec οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=173$ sec που αποκτά μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.10γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου για την δεύτερη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας, δηλαδή μία απότομη αύξηση από χρόνο $t=0$ sec έως $t=50$ sec.α

Στο διάγραμμα 4.10δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για την δεύτερη παροχή του LPG. Η καμπύλη παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου. Συγκεκριμένα από την χρονική στιγμή $t=0$ sec παρατηρείται μία απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής μονοξειδίου μέχρι $t=35$ sec. Ενώ από την χρονική στιγμή $t=35$ sec και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει μια σταθερότητα με μικρές διακυμάνσεις. Επίσης παρατηρείται ότι το ποσοστό του μονοξειδίου είναι της τάξεως του 10^{-4} που σημαίνει ότι η καύση είναι σχεδόν πλήρης.



Διάγραμμα 4.10: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m^2), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m^2)



Διάγραμμα 4.10 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

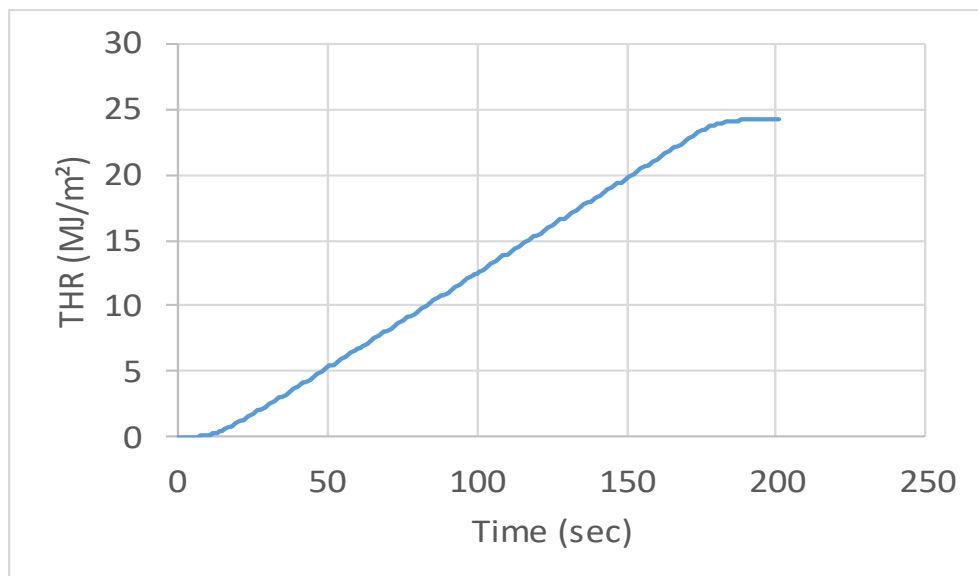
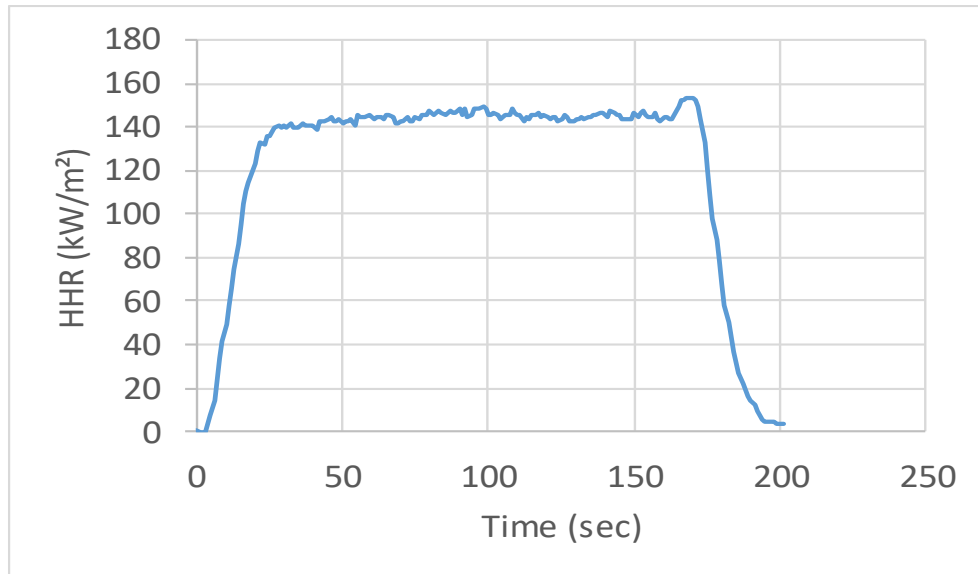
Παροχή 1 slpm

Στο διάγραμμα 4.11α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την τρίτη παροχή του LPG. Αρχικά όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα (4.11α) υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο δεν απελευθερώνεται θερμότητα. Παρατηρείται όμως μία γρήγορη άνοδος του ρυθμού έκλυσης θερμότητας σε χρόνο $t=5$ sec για την δοκιμή. Στην συνέχεια ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, μετά από μερικά δευτερόλεπτα ($t=31$ sec) αυξάνεται ραγδαία μέχρι να φτάσει στο μέγιστο σημείο (peak HRR). Στο τέλος του γραφήματος βλέπουμε μια απότομη αύξηση της καμπύλης, αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αποκόπτεται απότομα και όχι σταδιακά.

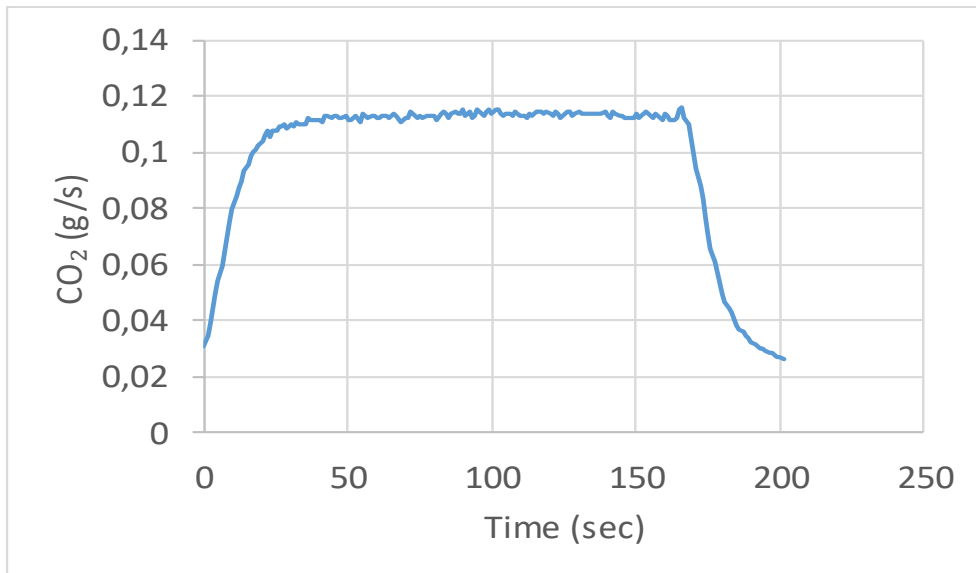
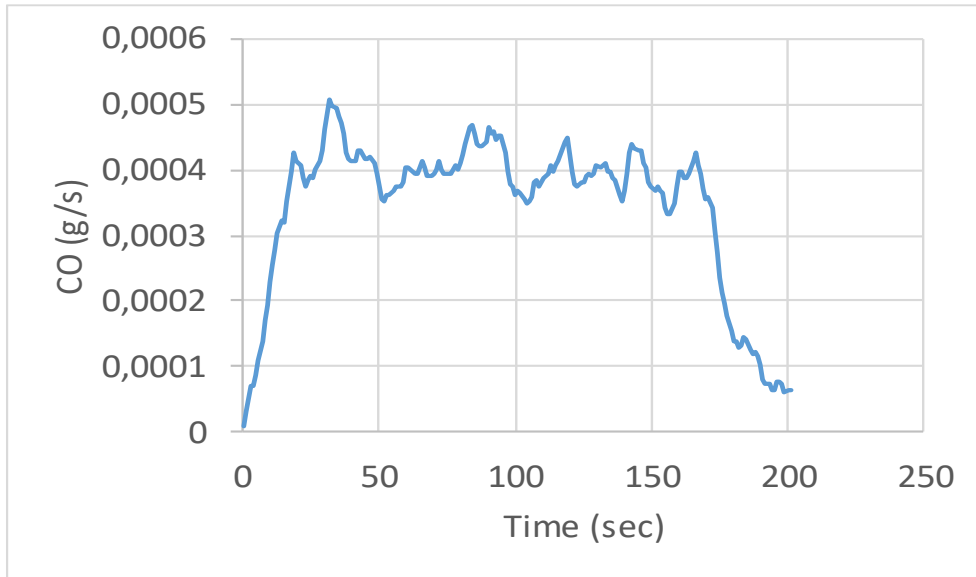
Στο διάγραμμα 4.11β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την τρίτη παροχή του LPG. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=13$ sec οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=183$ sec που αποκτά μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.11γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου για την τρίτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας, δηλαδή μία απότομη αύξηση από τον χρόνο $t=0$ sec μέχρι $t=25$ sec. Κατόπιν μένει σταθερή μέχρι το τέλος του πειράματος. Επίσης εμφανίζεται και η απότομη αύξηση της καμπύλης στο τέλος του διαγράμματος.

Στο διάγραμμα 4.11δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για την τρίτη παροχή του LPG. Η καμπύλη παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου. Συγκεκριμένα από την χρονική στιγμή $t=0$ sec παρατηρείται μία απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής μονοξειδίου μέχρι την χρονική στιγμή $t=22$ sec και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει μια σταθερότητα με μικρές αυξομειώσεις. Επίσης παρατηρείτε ότι το ποσοστό του μονοξειδίου είναι της τάξεως του 10^{-4} που σημαίνει ότι η καύση είναι σχεδόν πλήρης.



Διάγραμμα 4.11: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m²), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m²)



Διάγραμμα 4.11 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

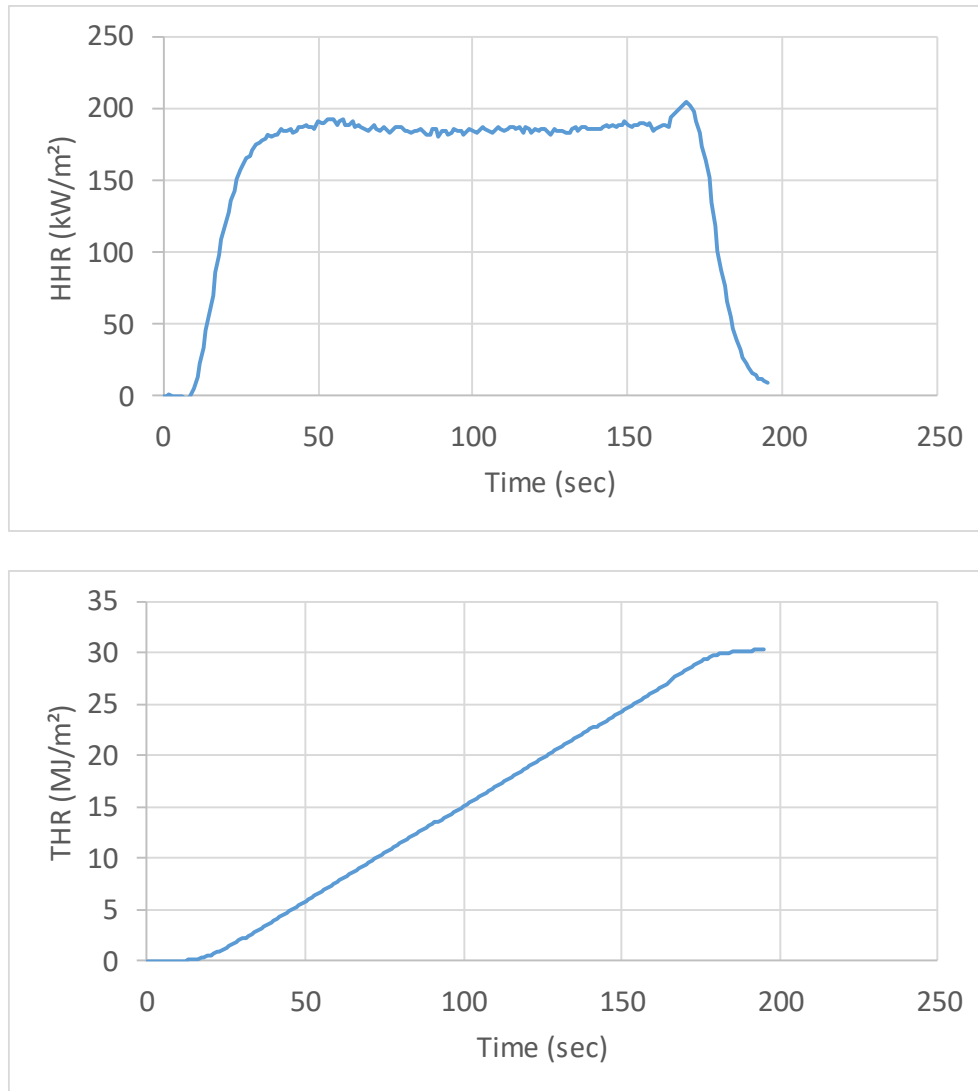
Παροχή 1,25 slpm

Στο διάγραμμα 4.12α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την τέταρτη παροχή του LPG. Αρχικά όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα (4.12α) υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο δεν απελευθερώνεται θερμότητα. Παρατηρείται όμως μία γρήγορη άνοδος του ρυθμού έκλυσης θερμότητας σε χρόνο $t=10$ sec για την δοκιμή. Στην συνέχεια ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, μετά από μερικά δευτερόλεπτα ($t=42$ sec) αυξάνεται ραγδαία μέχρι να φτάσει σε ένα σταθερό σημείο μέχρι το τέλος του πειράματος. Στο τέλος του γραφήματος βλέπουμε μια απότομη αύξηση της καμπύλης, αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αποκόπτεται απότομα και όχι σταδιακά.

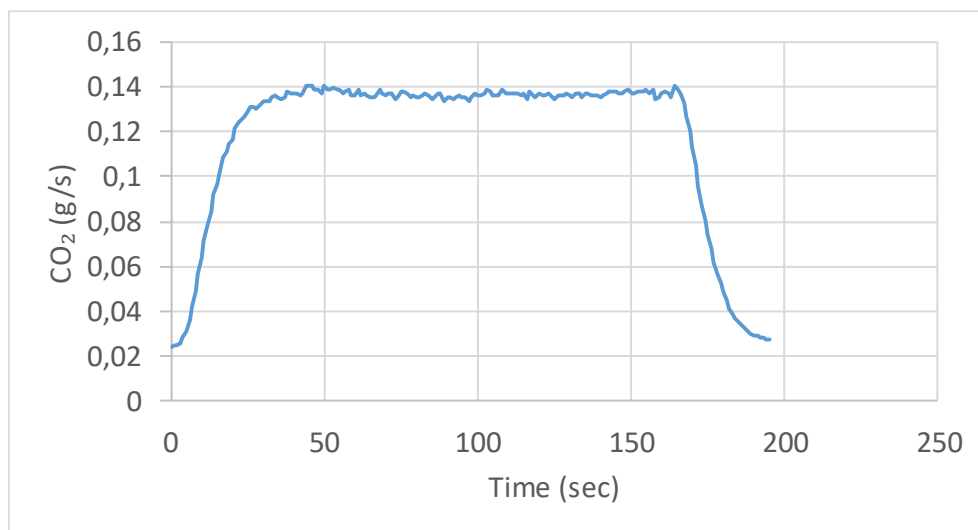
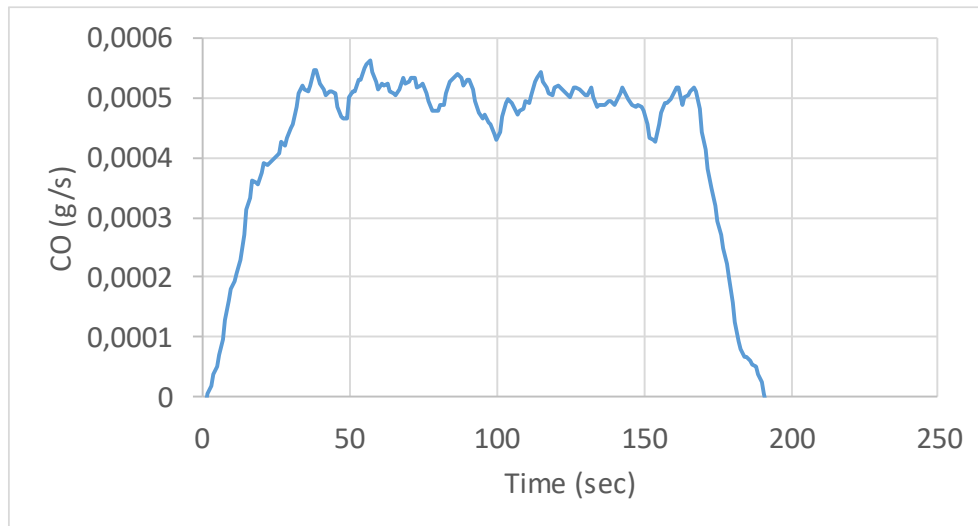
Στο διάγραμμα 4.12β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την τέταρτη παροχή του LPG. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=20$ sec οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=184$ sec που αποκτά μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.12γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου για την τέταρτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας, δηλαδή μία απότομη αύξηση από τη χρονική στιγμή $t=0$ sec μέχρι $t=45$ sec, έπειτα παραμένει σταθερή μέχρι το τέλος του πειράματος.

Στο διάγραμμα 4.12δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για την τέταρτη παροχή του LPG. Η καμπύλη παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου. Συγκεκριμένα την χρονική στιγμή $t=4$ sec παρατηρείται μία απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής μονοξειδίου ενώ από την χρονική στιγμή $t=34$ sec και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει μια σταθερότητα. Επίσης παρατηρείτε ότι το ποσοστό του μονοξειδίου είναι της τάξεως του 10^{-4} που σημαίνει ότι η καύση είναι σχεδόν πλήρης.



Διάγραμμα 4.12: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m²), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m²)



Διάγραμμα 4.12 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

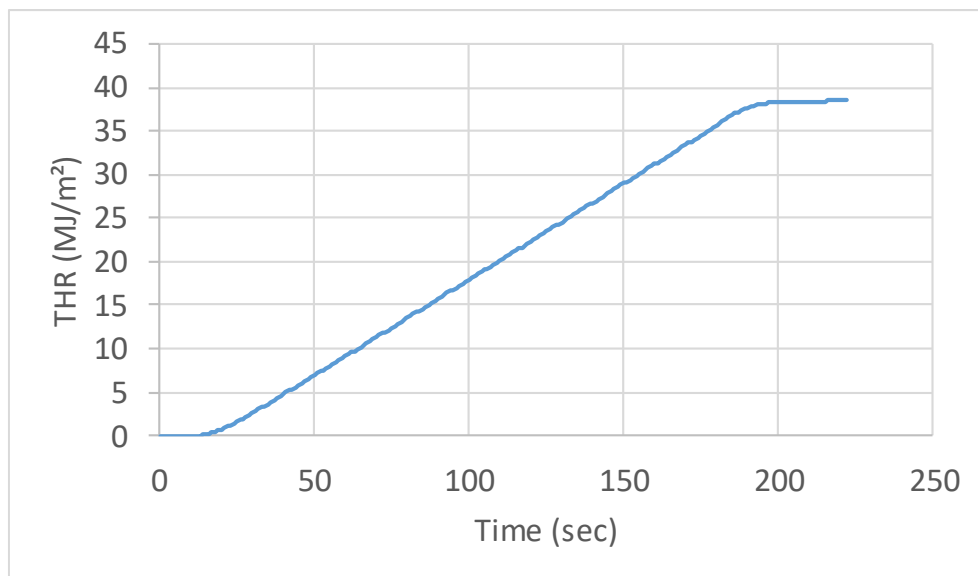
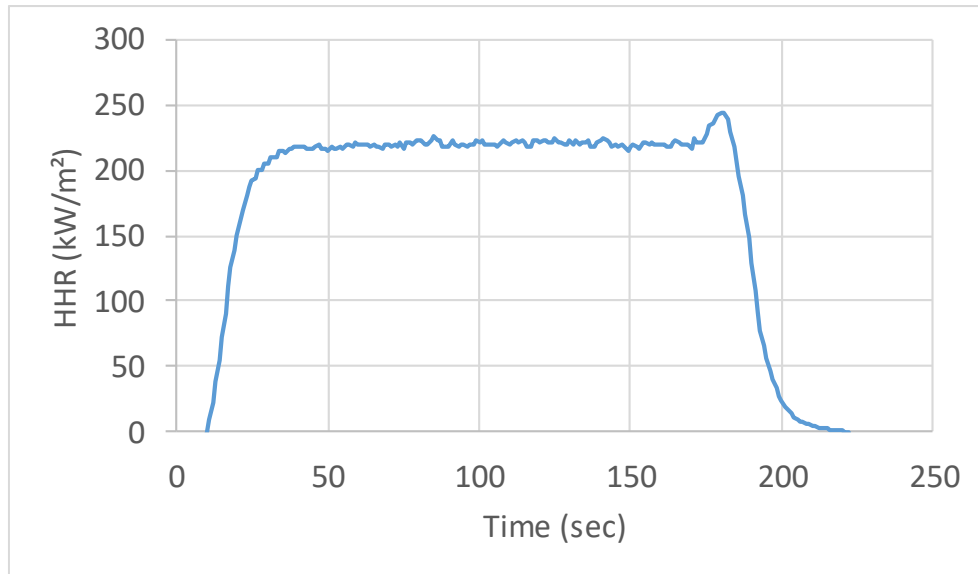
Παροχή 1,50 slpm

Στο διάγραμμα 4.13α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πέμπτη παροχή του LPG. Αρχικά όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα (4.13α) υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο δεν απελευθερώνεται θερμότητα. Παρατηρείται όμως μία γρήγορη άνοδος του ρυθμού έκλυσης θερμότητας σε χρόνο $t=12$ sec για την δοκιμή. Στην συνέχεια ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, μετά από μερικά δευτερόλεπτα ($t=40$ sec) αυξάνεται ραγδαία μέχρι να φτάσει σε μια σταθερή κατάσταση. Στο τέλος του γραφήματος βλέπουμε μια απότομη αύξηση της καμπύλης, αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αποκόπτεται απότομα και όχι σταδιακά.

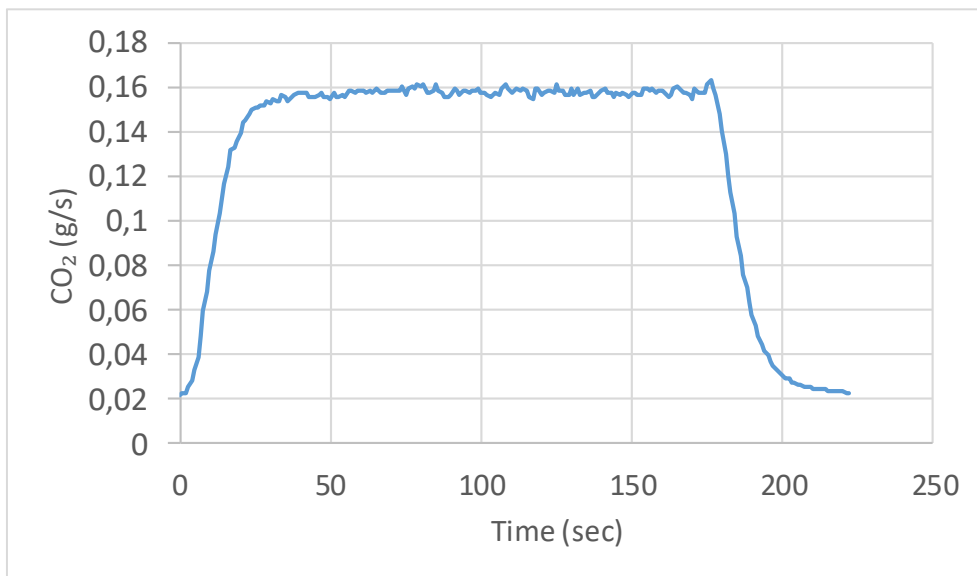
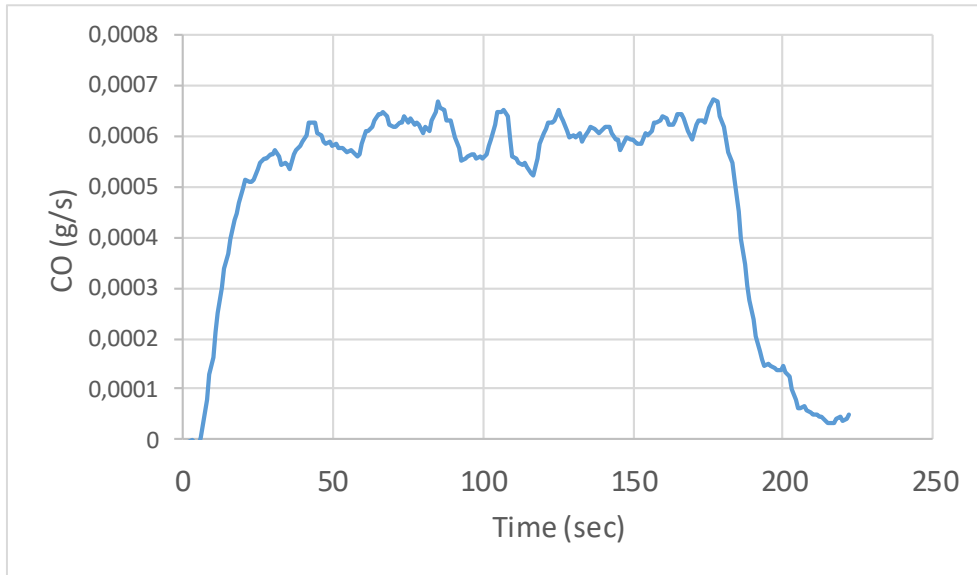
Στο διάγραμμα 4.13β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την πέμπτη παροχή του LPG. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=20$ sec οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=195$ sec που αποκτά μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.13γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου για την πέμπτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας, δηλαδή μία απότομη αύξηση από τη χρονική στιγμή $t=0$ sec μέχρι το χρόνο $t=30$ sec. Κατόπιν παραμένει σταθερή με μια απότομη αύξηση της καμπύλης στο τέλος του διαγράμματος λόγω της απότομης αποκοπής της παροχής.

Στο διάγραμμα 4.13δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πέμπτη παροχή του LPG. Η καμπύλη παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου. Συγκεκριμένα την χρονική στιγμή $t=7$ sec παρατηρείται μία απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής μονοξειδίου ενώ από την χρονική στιγμή $t=30$ sec και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει μια σταθερότητα. Επίσης παρατηρείτε ότι το ποσοστό του μονοξειδίου είναι της τάξεως του 10^{-4} που σημαίνει ότι η καύση είναι σχεδόν πλήρης.



Διάγραμμα 4.13: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m²), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m²)



Διάγραμμα 4.13 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

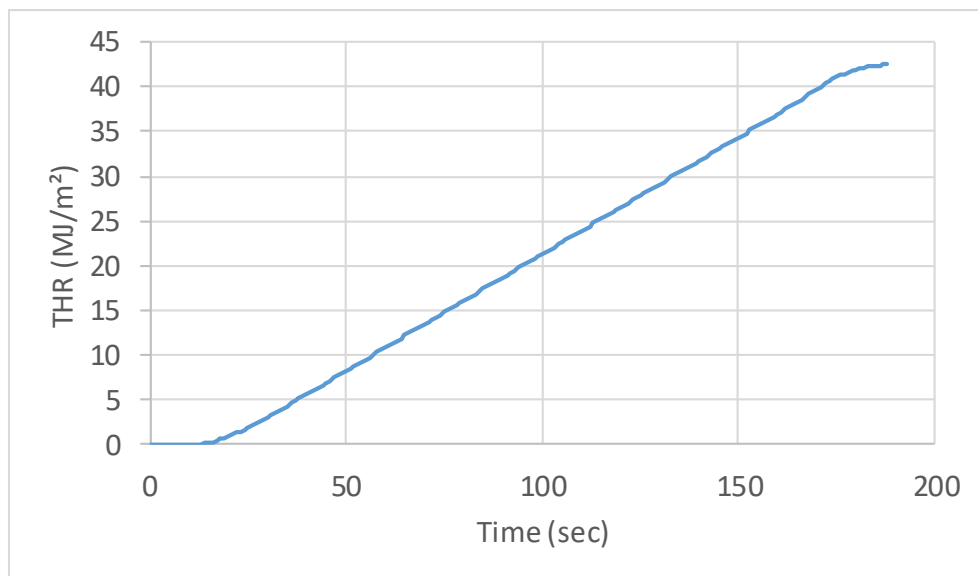
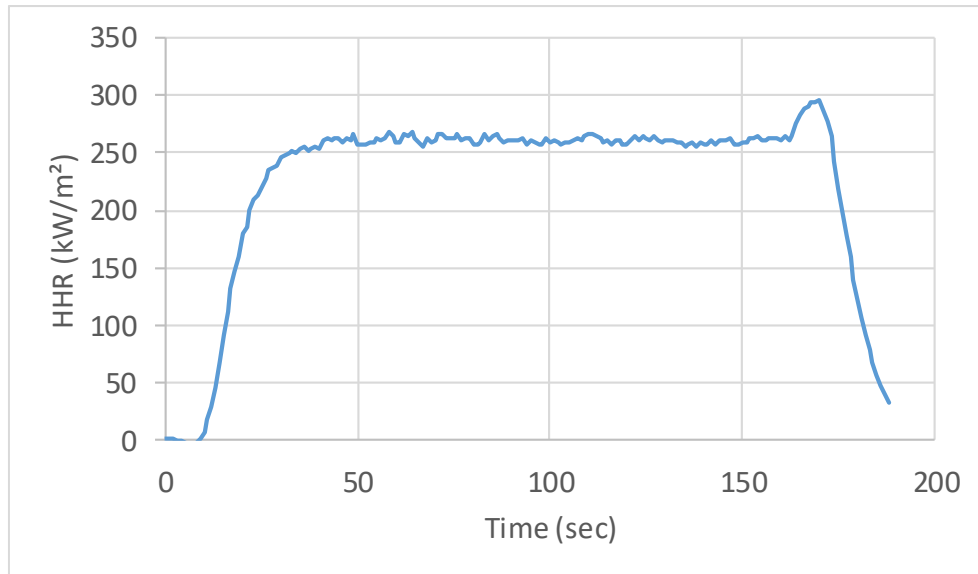
Παροχή 1,75 slpm

Στο διάγραμμα 4.14α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την έκτη παροχή του LPG. Αρχικά όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα (4.14α) υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα στο οποίο δεν απελευθερώνεται θερμότητα. Παρατηρείται όμως μία γρήγορη άνοδος του ρυθμού έκλυσης θερμότητας σε χρόνο $t=9$ sec για την δοκιμή. Στην συνέχεια ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, μετά από μερικά δευτερόλεπτα ($t=40$ sec) αυξάνεται ραγδαία μέχρι να φτάσει σε ένα σταθερό σημείο μέχρι το τέλος του πειράματος. Στο τέλος του γραφήματος βλέπουμε μια απότομη αύξηση της καμπύλης, αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αποκόπτεται απότομα και όχι σταδιακά.

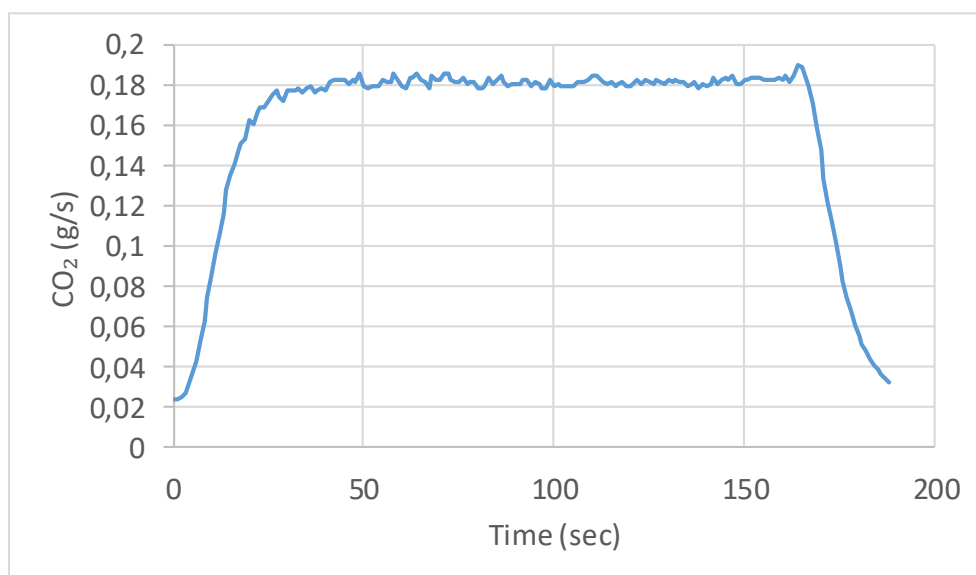
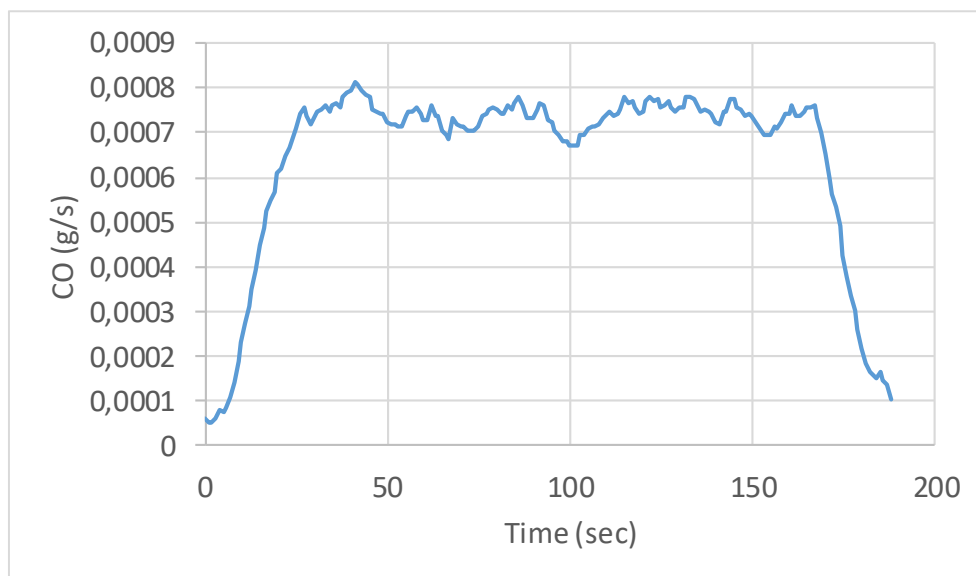
Στο διάγραμμα 4.14β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την έκτη παροχή του LPG. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=20$ sec οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=182$ sec που αποκτά μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.14γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου για την έκτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας, δηλαδή μία απότομη αύξηση σε χρόνο $t=0$ sec και από το χρόνο $t=30$ sec και έπειτα παραμένει σταθερή. Επίσης εμφανίζεται και η απότομη αύξηση της καμπύλης στο τέλος του διαγράμματος.

Στο διάγραμμα 4.14δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου σε συνάρτηση με τον χρόνο για την έκτη παροχή του LPG. Η καμπύλη παρουσιάζει αμελητέες διαφορές σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου. Συγκεκριμένα από την χρονική στιγμή $t=2$ sec παρατηρείται μία απότομη αύξηση του ρυθμού παραγωγής μονοξειδίου ενώ από την χρονική στιγμή $t=30$ sec και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει μια σταθερότητα με μικρές διακυμάνσεις.



Διάγραμμα 4.14: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m^2), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m^2)



Διάγραμμα 4.14 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

4.3.3 Προπάνιο

Αρχικά παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα για κάθε παροχή του προπάνιου ξεχωριστά, που προέκυψαν μέσω της πειραματικής διαδικασίας. Στα διαγράμματα αναπαρίστανται οι μεταβολές των τιμών για το χρονικό διάστημα που έχει χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης. Δεν υπάρχουν οι ολικές χρονοσειρές των πειραμάτων όπως στα αέρια που προηγήθηκαν.

Παροχή 0,255 slpm

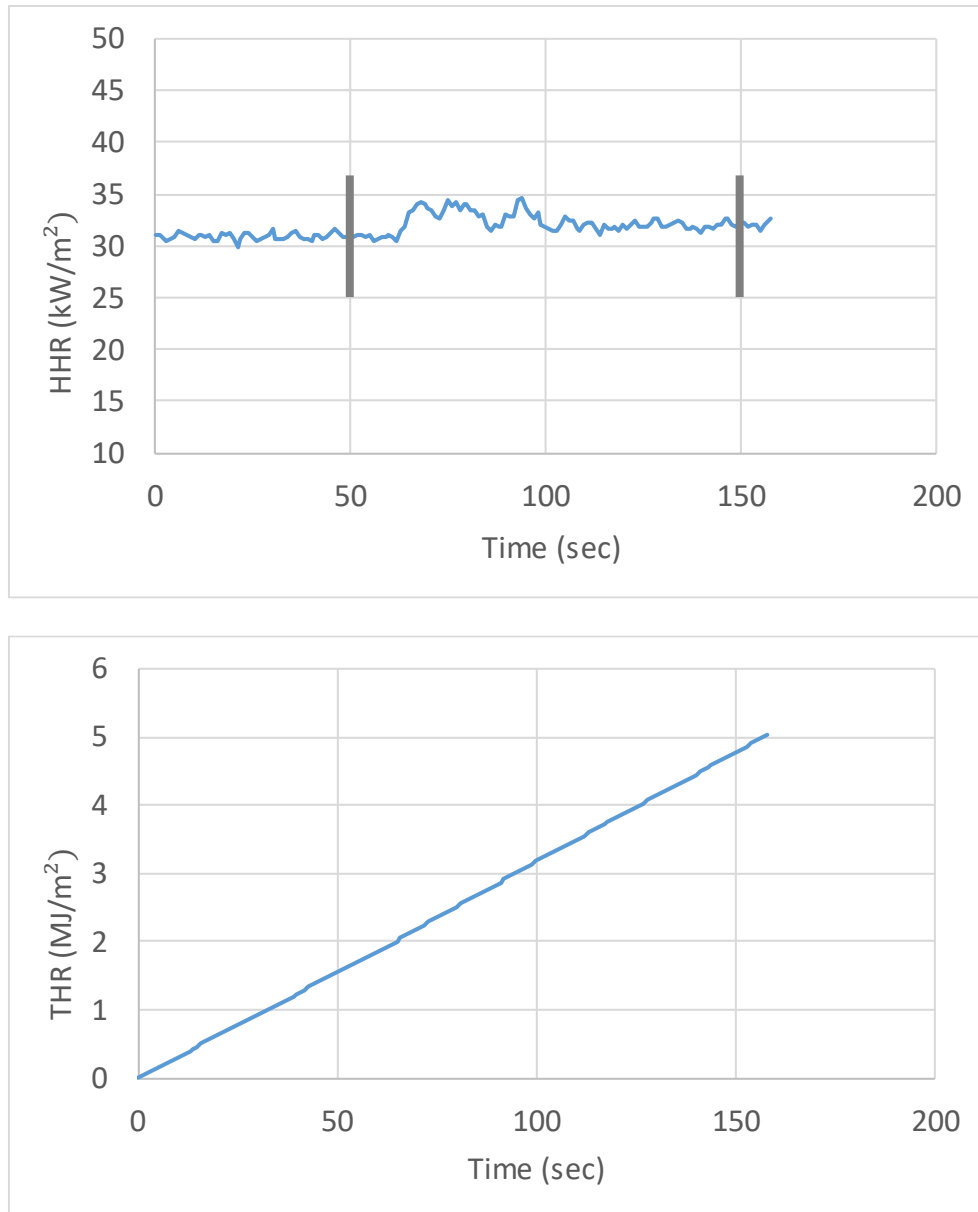
Στο διάγραμμα 4.15α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη παροχή του προπάνιου. Ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας είναι σταθερός από $t=54\text{sec}$ μέχρι $t=154\text{sec}$ με πολύ μικρές διακυμάνσεις.

Επίσης στο διαγράμματα 4.9α έχει απομονωθεί το χρονικό διάστημα από $t=50\text{sec}$ έως $t=150\text{sec}$, όπου είναι το χρονικό διάστημα που ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας είναι πιο σταθερός, και το χρονικό διάστημα αυτό έχει χρησιμοποιηθεί στα πειράματα για τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης. Σε κάθε παροχή έχει γίνει ο ίδιος υπολογισμός με την αντίστοιχη χρονική περίοδο του κάθε διαγράμματος.

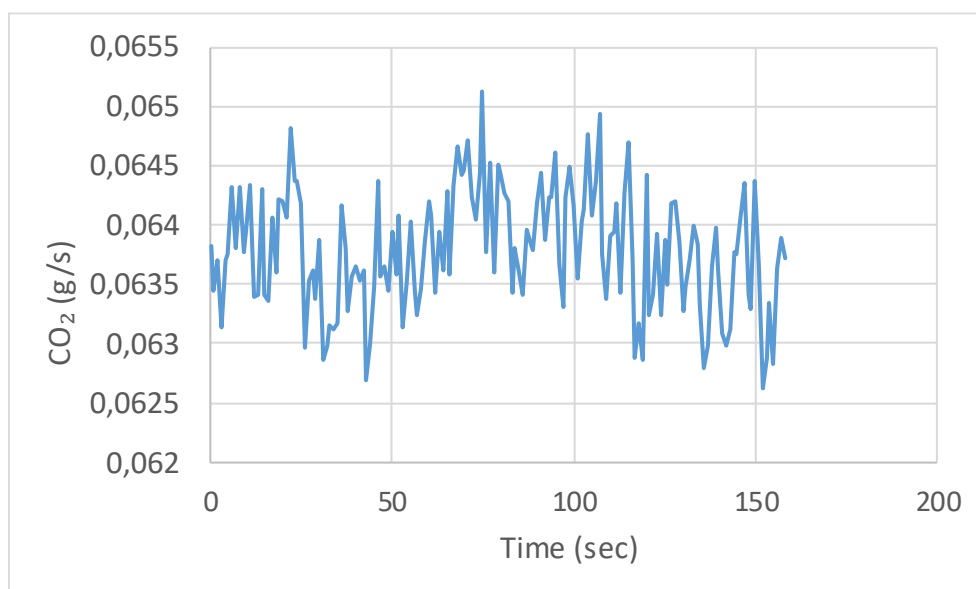
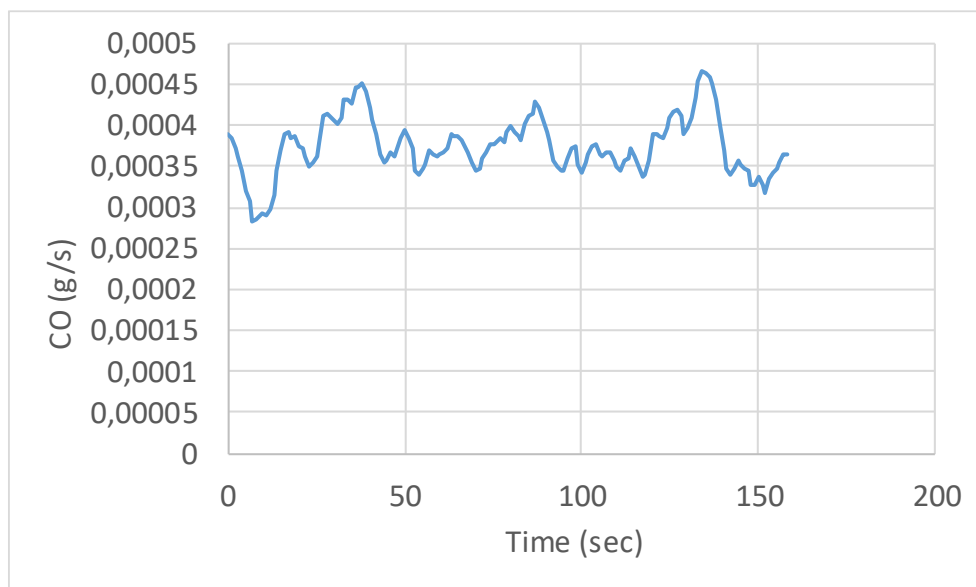
Στο διάγραμμα 4.15β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την πρώτη παροχή του προπάνιου. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=54\text{sec}$ οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=154\text{sec}$ που χαρακτηρίζεται ως μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.15γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα για την πρώτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας καθώς και η σταθερότητα των τιμών το χρονικό διάστημα $t=54\text{sec}$ μέχρι $t=154\text{sec}$.

Στο διάγραμμα 4.15δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη παροχή του προπάνιου. Η καμπύλη παρουσιάζει συνεχόμενες διακυμάνσεις αλλά σε μικρό εύρος.



Διάγραμμα 4.15: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m²), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m²)



Διάγραμμα 4.15 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

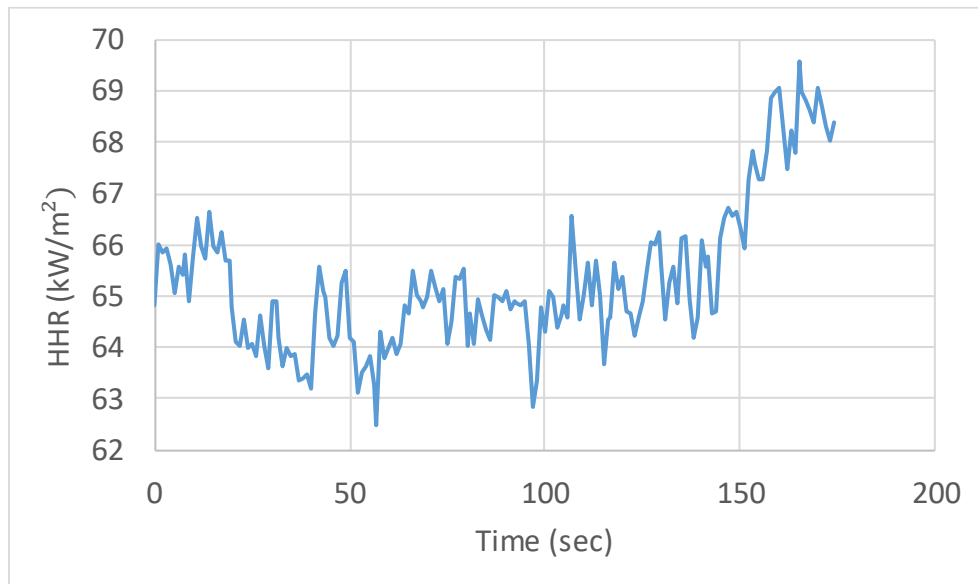
Παροχή 0,511 slpm

Στο διάγραμμα 4.16α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την δεύτερη παροχή του προπάνιου. Ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας είναι σταθερός από $t=20\text{sec}$ μέχρι $t=120\text{sec}$ με πολύ μικρές διακυμάνσεις.

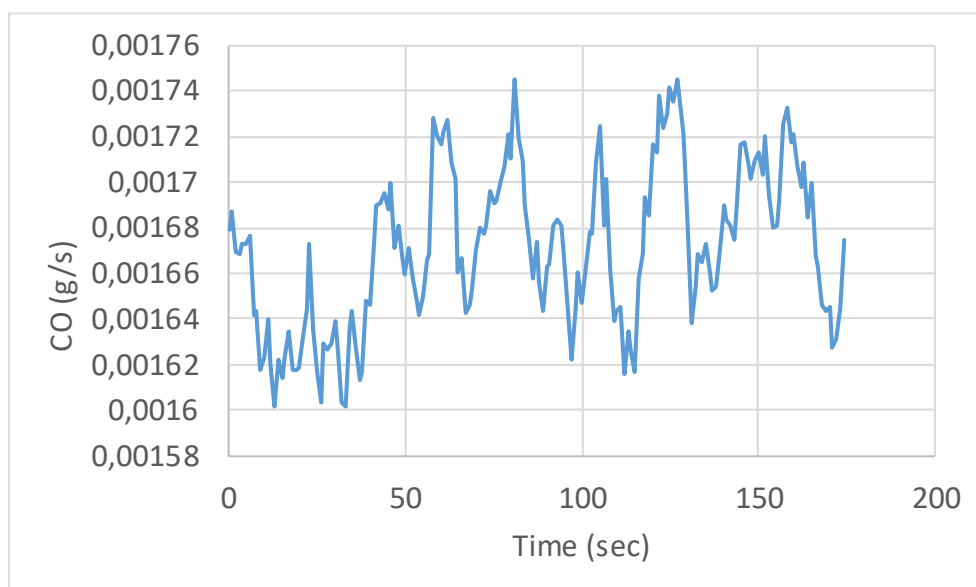
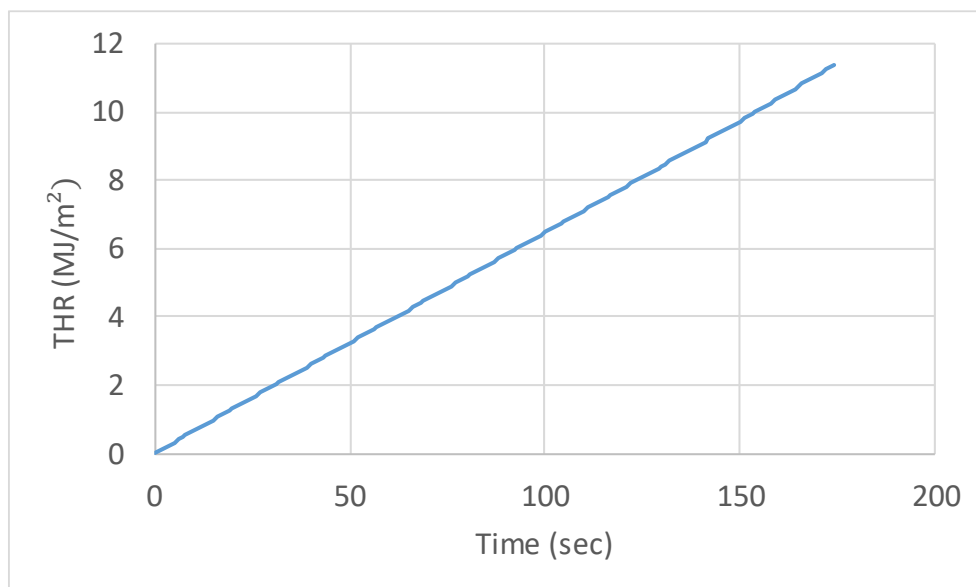
Στο διάγραμμα 4.16β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την δεύτερη παροχή του προπάνιου. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=20\text{sec}$ οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=120\text{sec}$ που χαρακτηρίζεται ως μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.16γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα για την δεύτερη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας καθώς και η σταθερότητα των τιμών το χρονικό διάστημα $t=20\text{sec}$ μέχρι $t=120\text{sec}$.

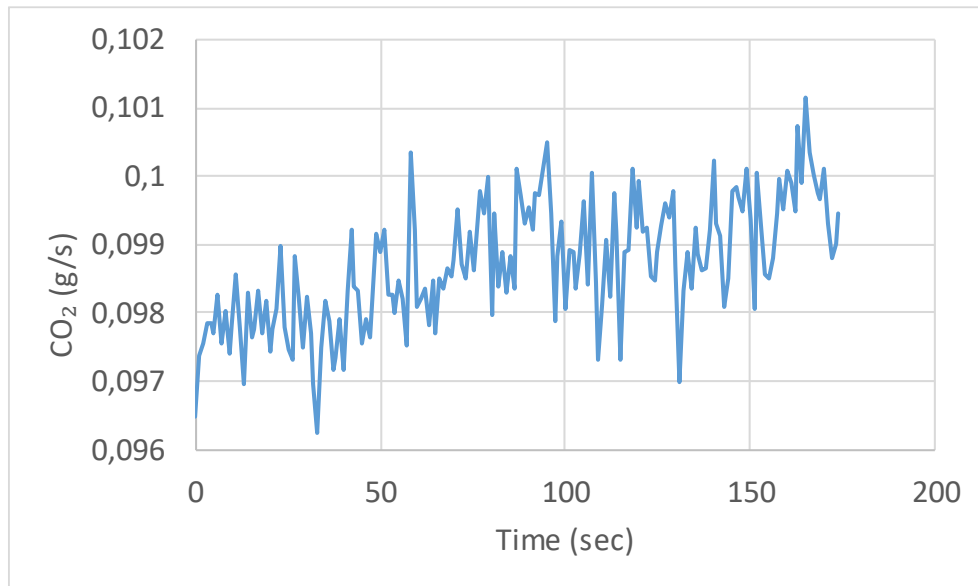
Στο διάγραμμα 4.16δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα σε συνάρτηση με τον χρόνο για την δεύτερη παροχή του προπάνιου. Η καμπύλη παρουσιάζει συνεχόμενες διακυμάνσεις αλλά σε μικρό εύρος.



Διάγραμμα 4.16: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m^2),



Διάγραμμα 4.16 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m^2), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m^2), γ) Έκλυση CO_2 (gr/sec),



Διάγραμμα 4.16 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
δ) Έκλυση CO (gr/sec)

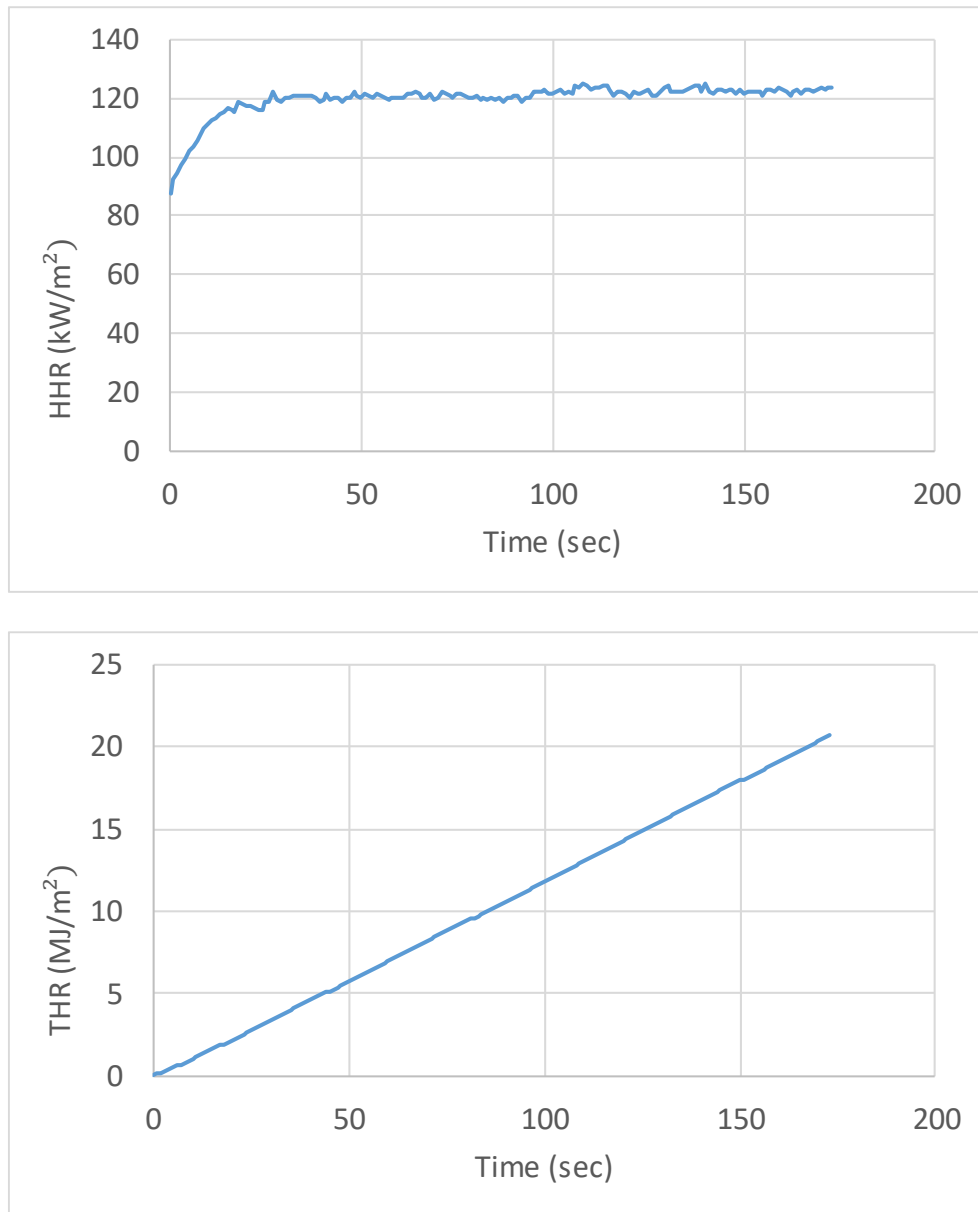
Παροχή 1,015 slpm

Στο διάγραμμα 4.17α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την τρίτη παροχή του προπάνιου. Ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας είναι σταθερός από $t=70\text{sec}$ μέχρι $t=170\text{sec}$ με πολύ μικρές διακυμάνσεις.

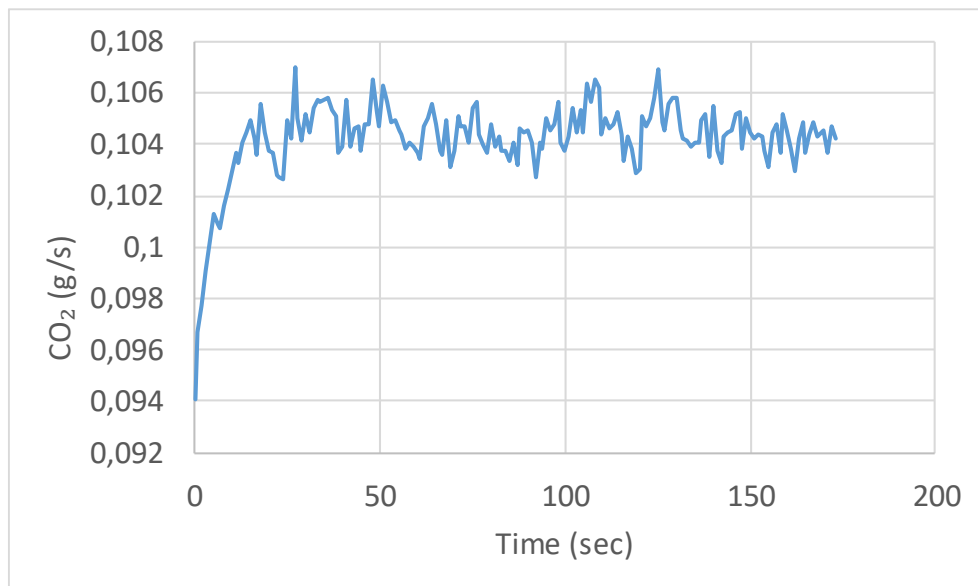
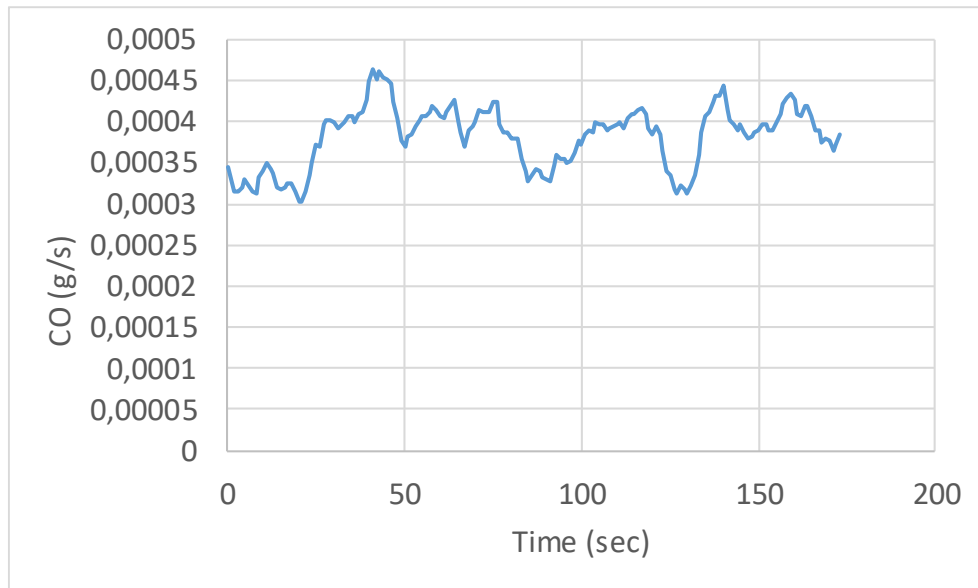
Στο διάγραμμα 4.17β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την τρίτη παροχή του προπάνιου. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=70\text{ sec}$ οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=170\text{ sec}$ που χαρακτηρίζεται ως μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.17γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα για την τρίτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας καθώς και η σταθερότητα των τιμών το χρονικό διάστημα $t=70\text{sec}$ μέχρι $t=170\text{sec}$.

Στο διάγραμμα 4.17δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα σε συνάρτηση με τον χρόνο για την τρίτη παροχή του προπάνιου. Η καμπύλη παρουσιάζει συνεχόμενες διακυμάνσεις αλλά σε μικρό εύρος.



Διάγραμμα 4.17: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m²), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m²)



Διάγραμμα 4.17 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

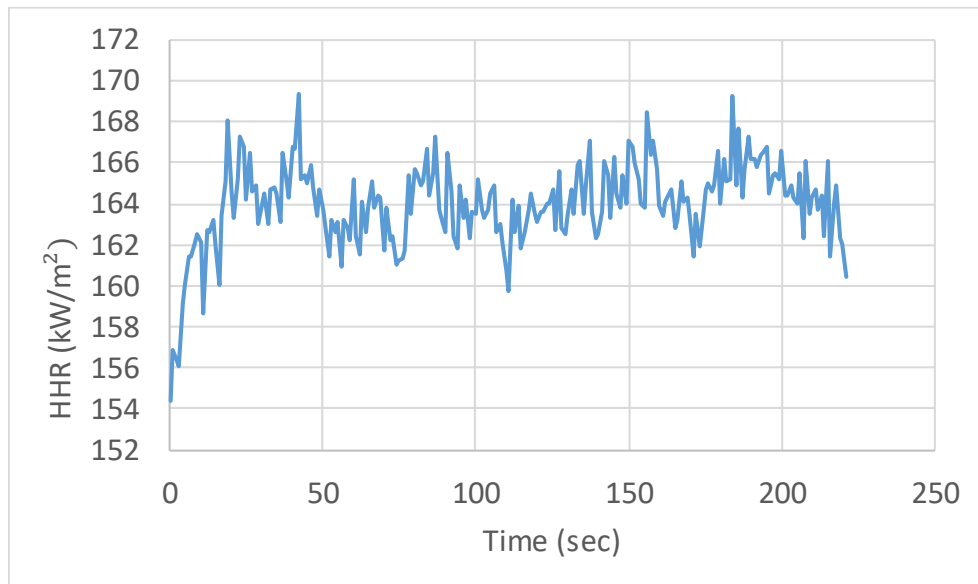
Παροχή 1,272 slpm

Στο διάγραμμα 4.18α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την τέταρτη παροχή του προπάνιου. Ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας είναι σταθερός από $t=95\text{sec}$ μέχρι $t=195\text{sec}$ με πολύ μικρές διακυμάνσεις.

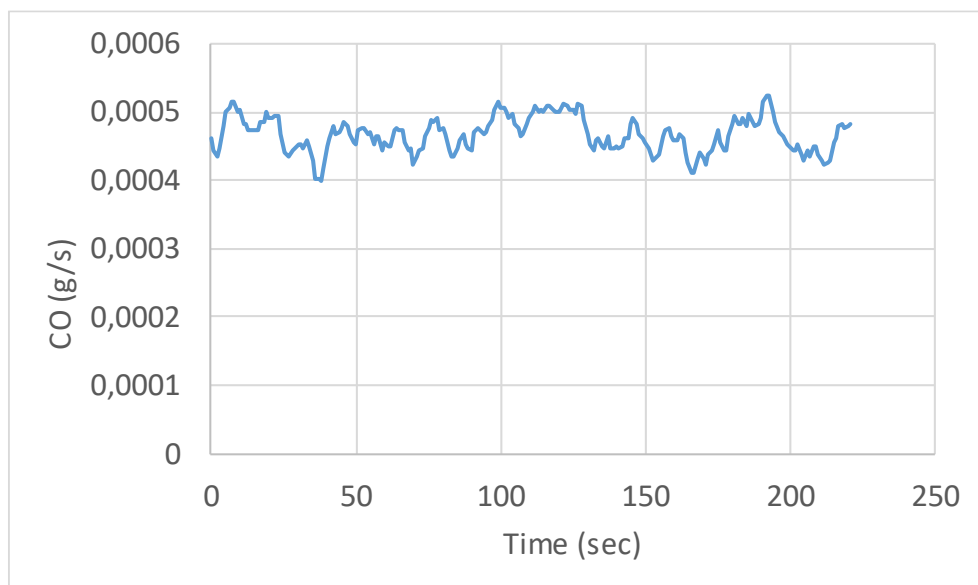
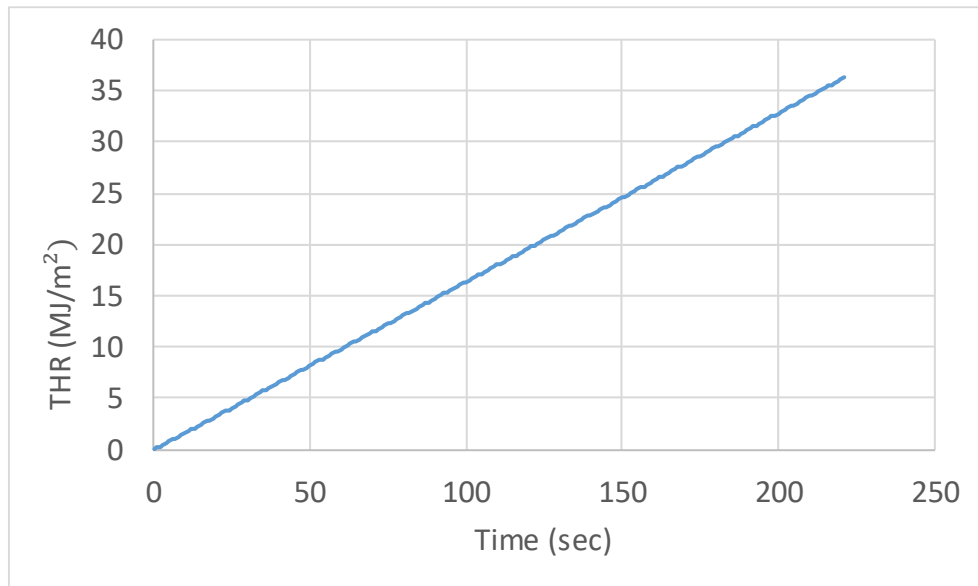
Στο διάγραμμα 4.18β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την τέταρτη παροχή του προπάνιου. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=95\text{ sec}$ οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=195\text{ sec}$ που χαρακτηρίζεται ως μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.18γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα για την τέταρτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας καθώς και η σταθερότητα των τιμών το χρονικό διάστημα $t=95\text{sec}$ μέχρι $t=195\text{sec}$.

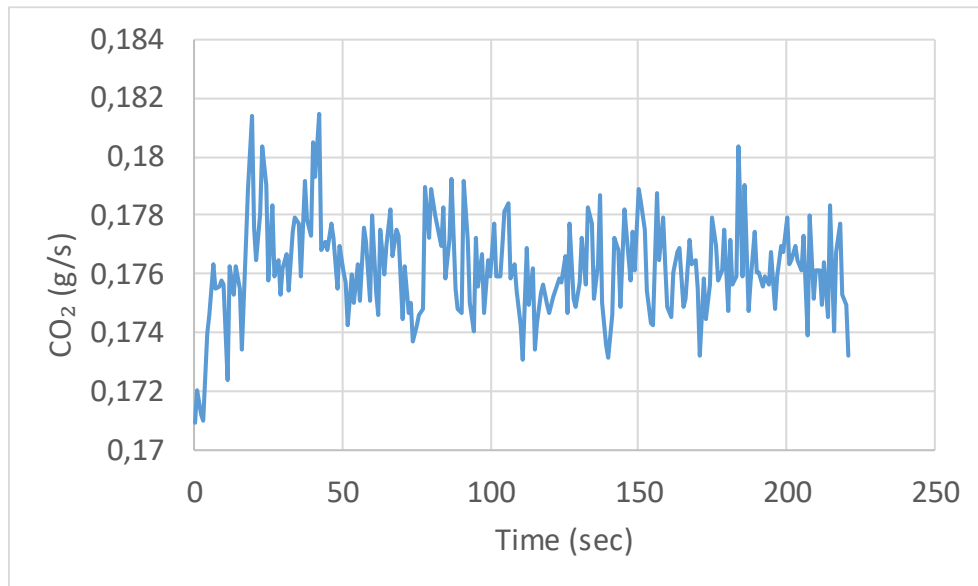
Στο διάγραμμα 4.18δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα σε συνάρτηση με τον χρόνο για την τέταρτη παροχή του προπάνιου. Η καμπύλη παρουσιάζει συνεχόμενες διακυμάνσεις αλλά σε μικρό εύρος.



Διάγραμμα 4.18: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m²)



Διάγραμμα 4.18 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 β) Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m²), γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec)



Διάγραμμα 4.18 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
δ) Έκλυση CO (gr/sec)

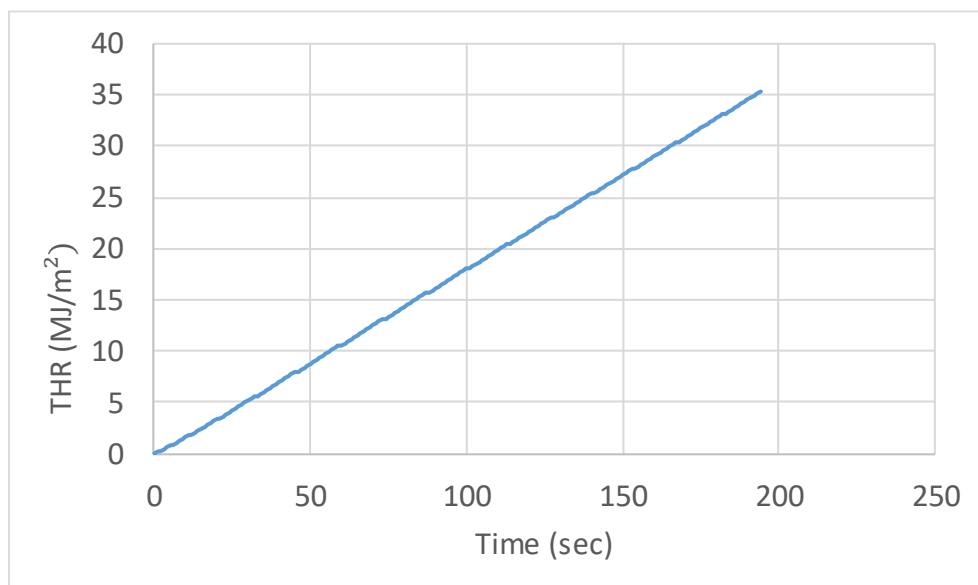
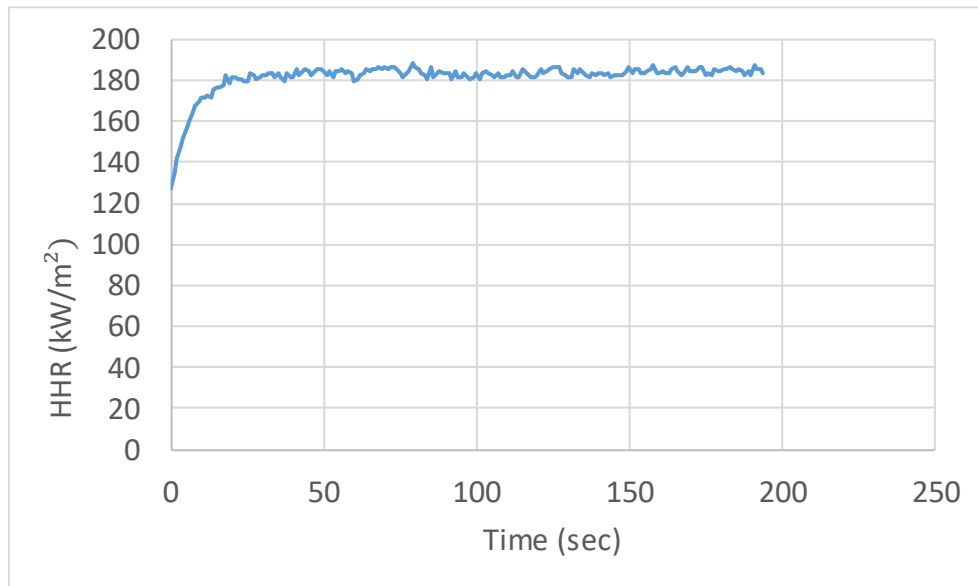
Παροχή 1,516 slpm

Στο διάγραμμα 4.19α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πέμπτη παροχή του προπάνιου. Ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας είναι σταθερός από $t=80\text{sec}$ μέχρι $t=180\text{sec}$ με πολύ μικρές διακυμάνσεις.

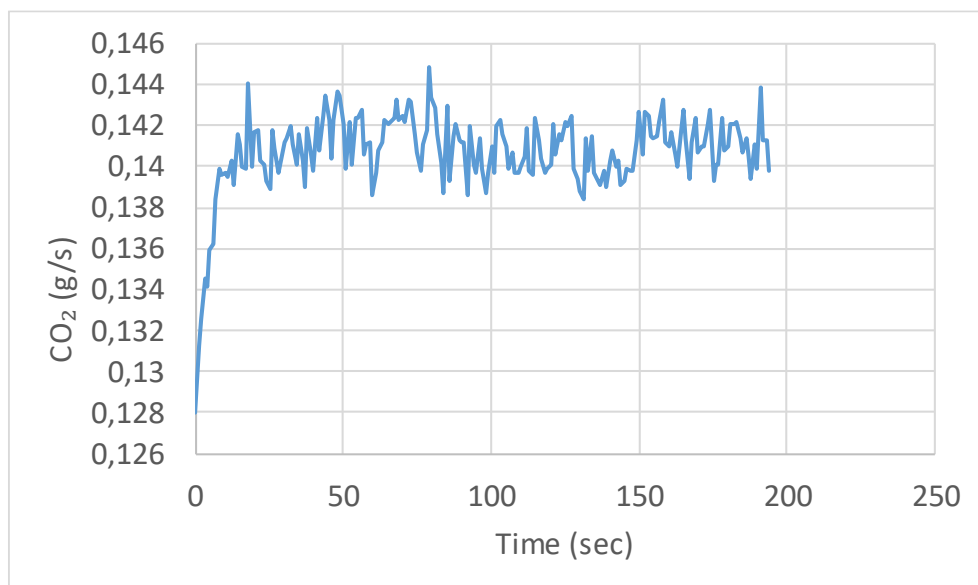
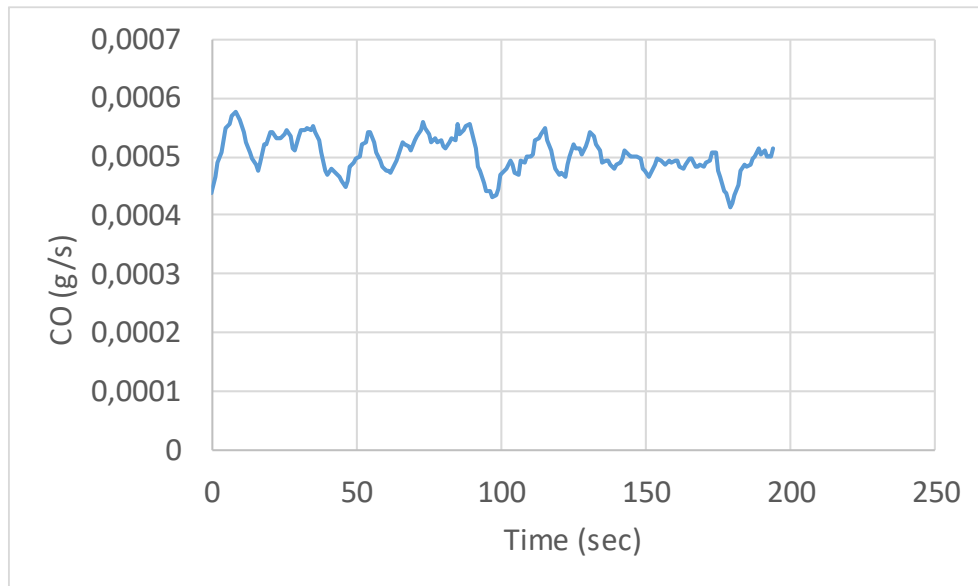
Στο διάγραμμα 4.19β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την πέμπτη παροχή του προπάνιου. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=80\text{ sec}$ οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=180\text{ sec}$ που χαρακτηρίζεται ως μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.19γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα για την πέμπτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας καθώς και η σταθερότητα των τιμών το χρονικό διάστημα $t=80\text{sec}$ μέχρι $t=180\text{sec}$.

Στο διάγραμμα 4.19δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πέμπτη παροχή του προπάνιου. Η καμπύλη παρουσιάζει συνεχόμενες διακυμάνσεις αλλά σε μικρό εύρος.



Διάγραμμα 4.19: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m^2), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m^2)



Διάγραμμα 4.19 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

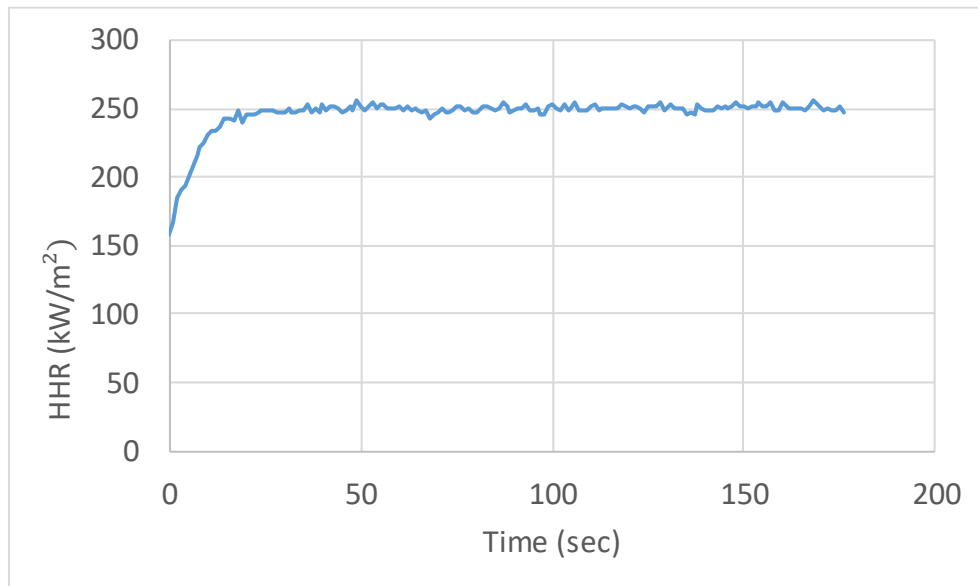
Παροχή 2,080 slpm

Στο διάγραμμα 4.20α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την έκτη παροχή του προπάνιου. Ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας είναι σταθερός από $t=70\text{sec}$ μέχρι $t=170\text{sec}$ με πολύ μικρές διακυμάνσεις.

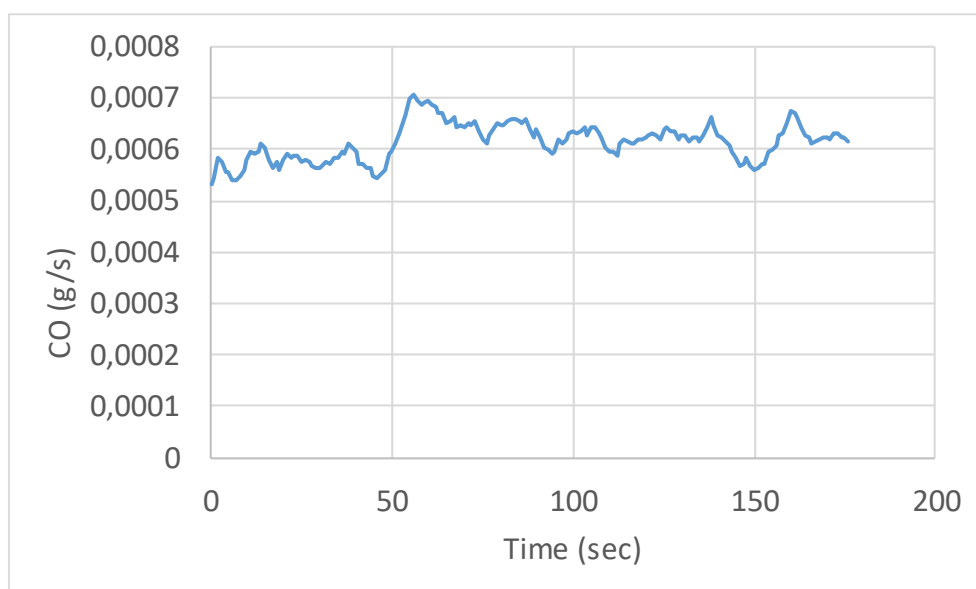
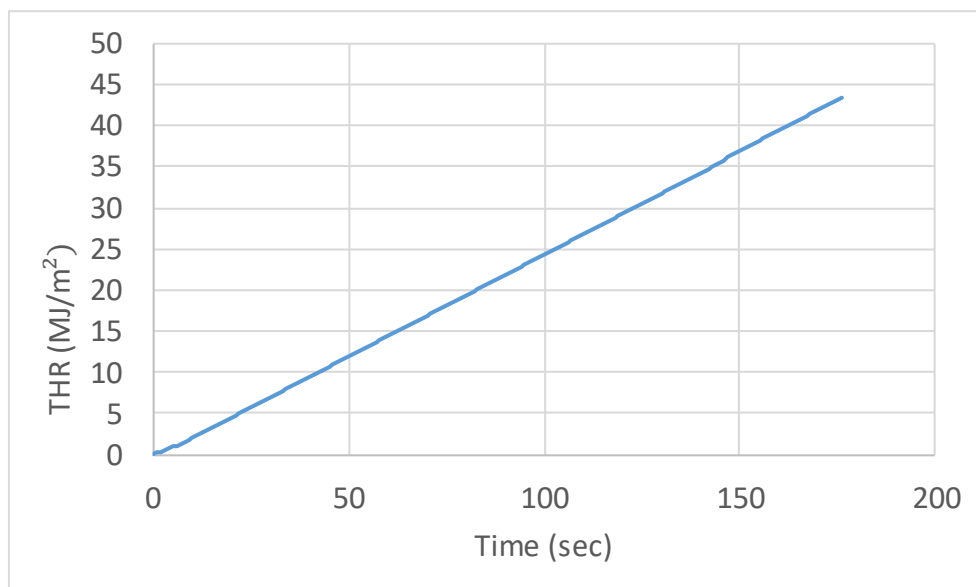
Στο διάγραμμα 4.20β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την έκτη παροχή του προπάνιου. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=70\text{ sec}$ οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=170\text{ sec}$ που χαρακτηρίζεται ως μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.20γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα για την έκτη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας καθώς και η σταθερότητα των τιμών το χρονικό διάστημα $t=70\text{sec}$ μέχρι $t=170\text{sec}$.

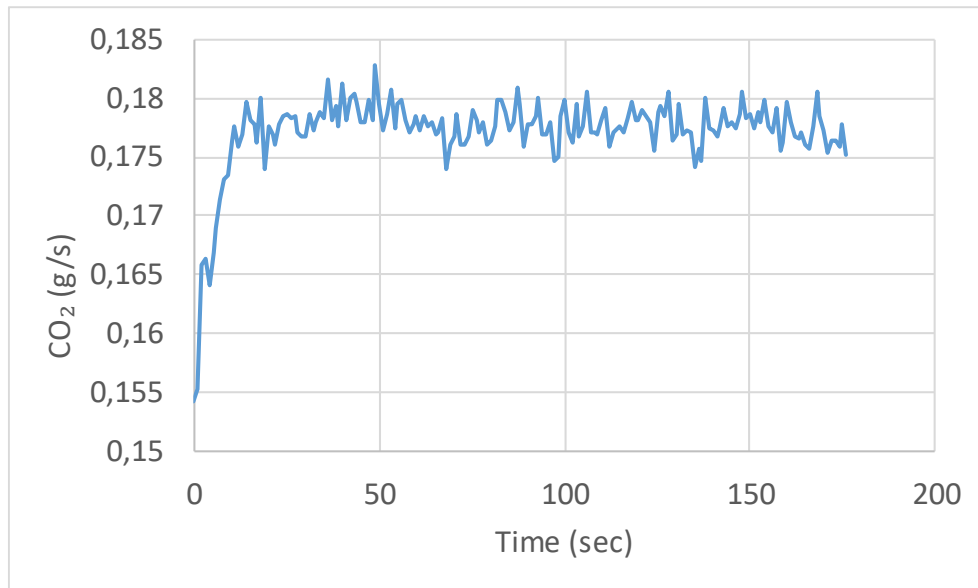
Στο διάγραμμα 4.20δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα σε συνάρτηση με τον χρόνο για την έκτη παροχή του προπάνιου. Η καμπύλη παρουσιάζει συνεχόμενες διακυμάνσεις αλλά σε μικρό εύρος.



Διάγραμμα 4.20: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m²),



Διάγραμμα 4.20 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 β) Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m²), γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec)



Διάγραμμα 4.20 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
δ) Έκλυση CO (gr/sec)

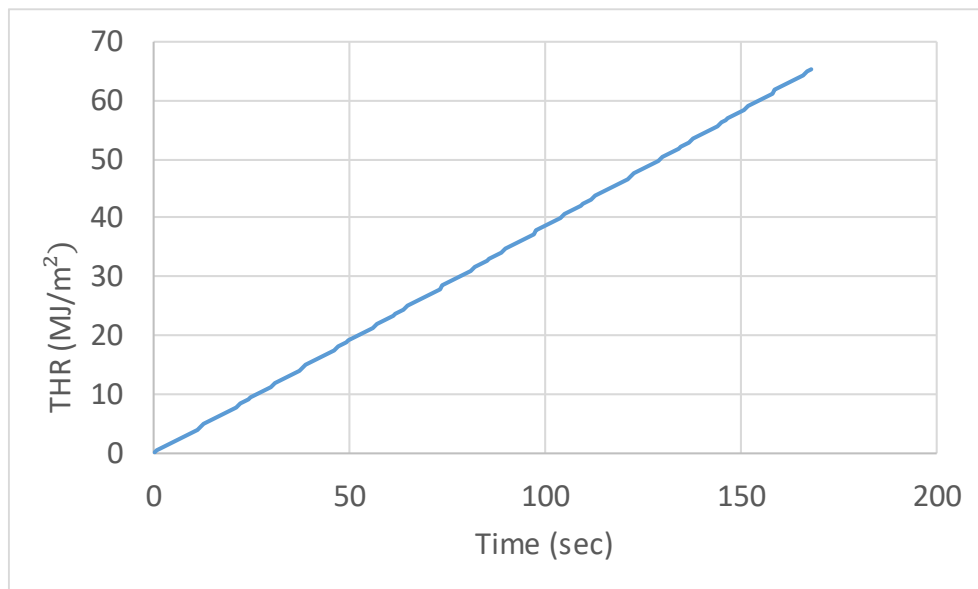
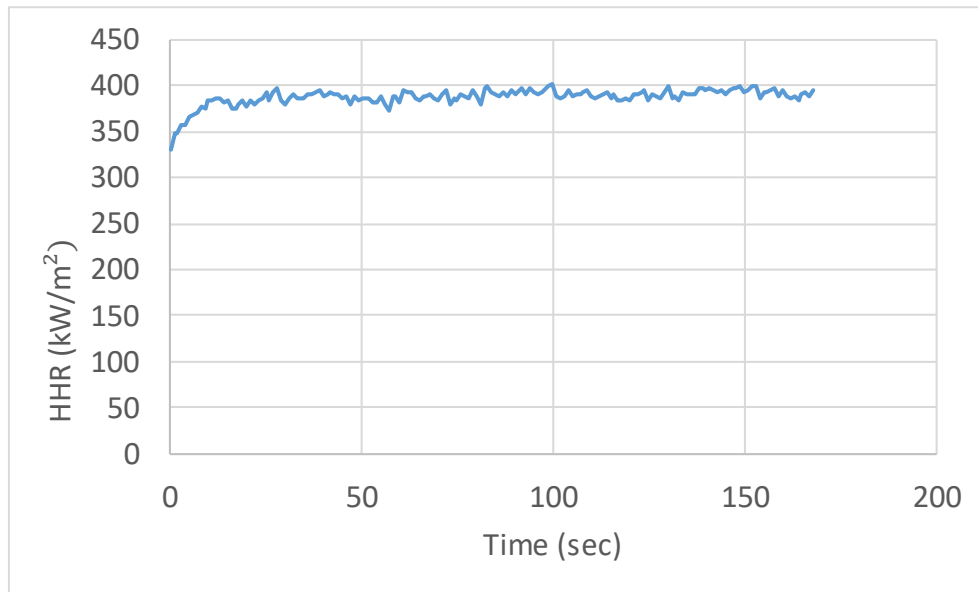
Παροχή 3,011 slpm

Στο διάγραμμα 4.21α απεικονίζεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε συνάρτηση με τον χρόνο για την έβδομη παροχή του προπάνιου. Ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας είναι σταθερός από $t=60\text{sec}$ μέχρι $t=160\text{sec}$ με πολύ μικρές διακυμάνσεις.

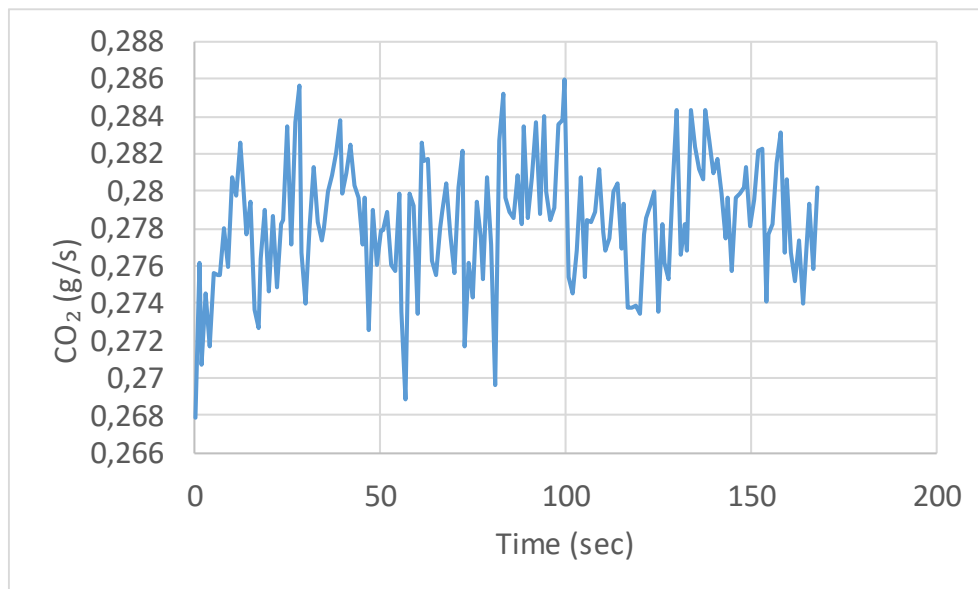
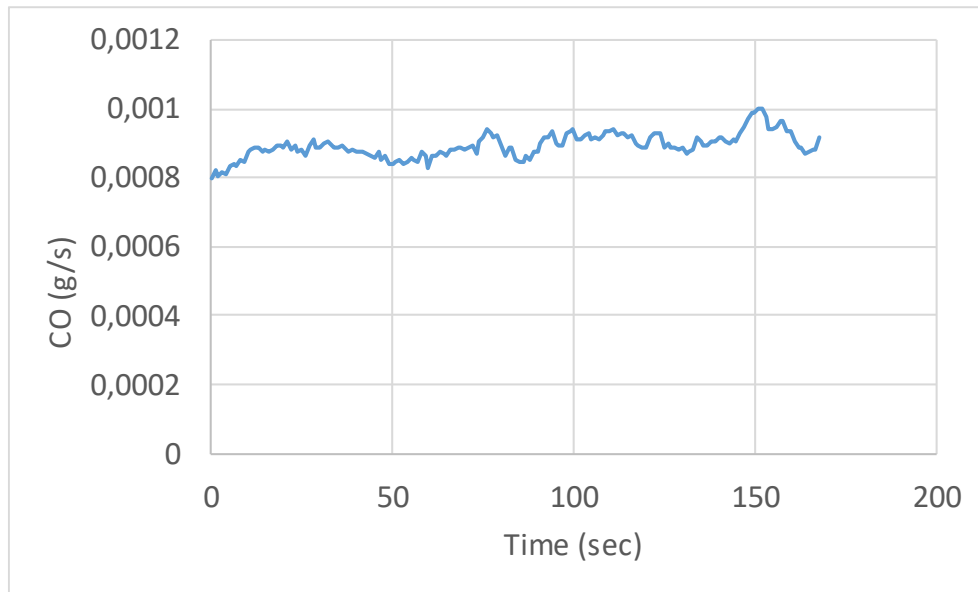
Στο διάγραμμα 4.21β απεικονίζεται η συνολική έκλυση θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για την έβδομη παροχή του προπάνιου. Παρατηρείται ότι, την χρονική στιγμή $t=60\text{sec}$ οι καμπύλη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι την χρονική στιγμή $t=160\text{sec}$ που χαρακτηρίζεται ως μία σταθερή συμπεριφορά.

Στο διάγραμμα 4.21γ απεικονίζεται ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα για την έβδομη παροχή. Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας καθώς και η σταθερότητα των τιμών το χρονικό διάστημα $t=60\text{sec}$ μέχρι $t=160\text{sec}$.

Στο διάγραμμα 4.21δ αναπαριστάνεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα σε συνάρτηση με τον χρόνο για την έβδομη παροχή του προπάνιου. Η καμπύλη παρουσιάζει συνεχόμενες διακυμάνσεις αλλά σε μικρό εύρος.



Διάγραμμα 4.21: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m^2), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m^2),



Διάγραμμα 4.21 (συνέχεια): Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

4.4 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα

Αρχικά παρουσιάζονται και αναλύονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για το μεθάνιο.

4.4.1 Μεθάνιο

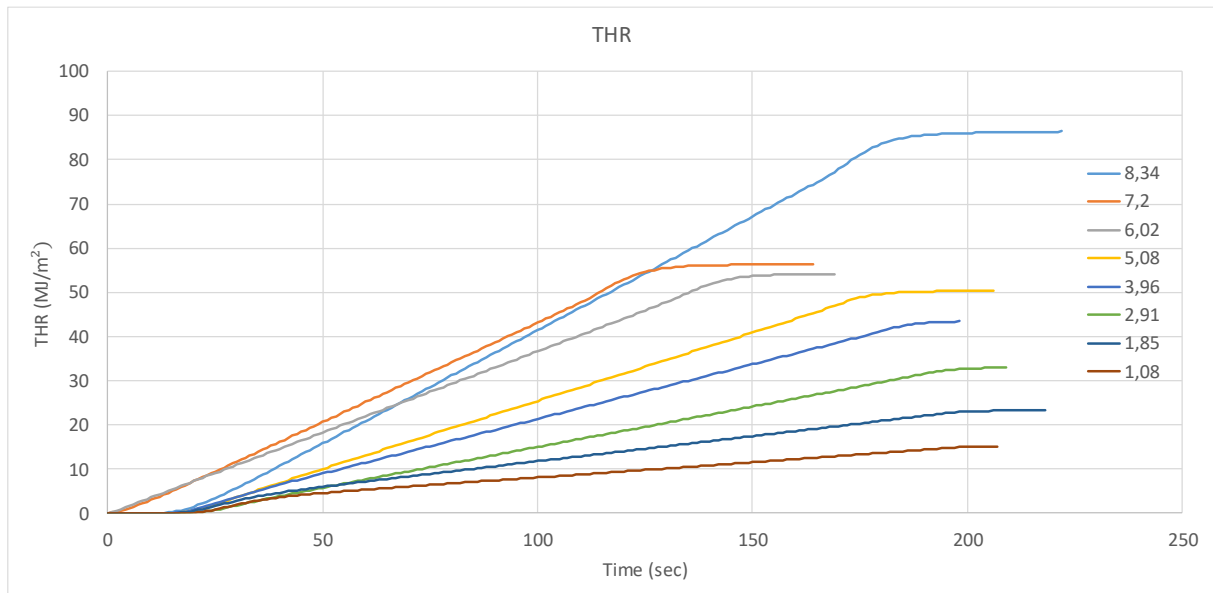
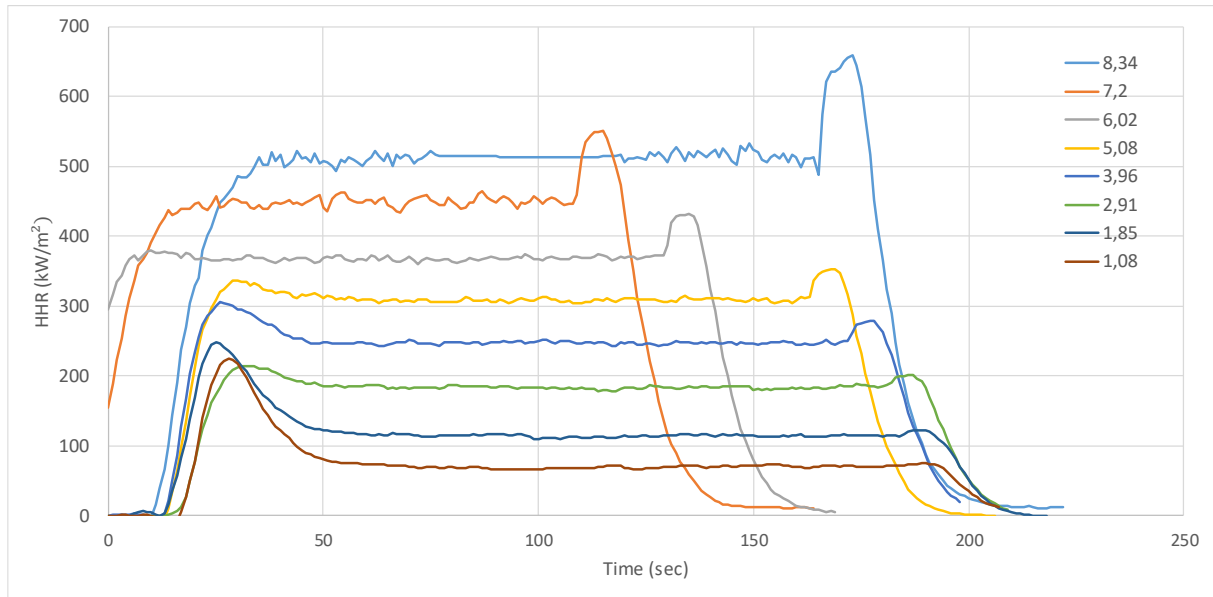
Στο διάγραμμα 4.22α απεικονίζεται η μέση τιμή του ρυθμού έκλυσης θερμότητας των επιμέρους δοκιμών ανά παροχή. Παρατηρείται ότι το HRR_{mean} διαφοροποιείται για κάθε παροχή, την υψηλότερη τιμή την παρουσιάζει η παροχή 8,34 slpm, ενώ την χαμηλότερη τιμή την παρουσιάζει η παροχή 1,08 slpm.

Στο διάγραμμα 4.22β αναπαριστάνεται η μέση τιμή της συνολική έκλυσης θερμότητας των επιμέρους δοκιμών ανά παροχή. Με βάση το διάγραμμα (22β), προκύπτει ότι η παροχή 8,34 slpm, παρουσιάζει την υψηλότερη συνολική έκλυση θερμότητας ενώ η παροχή 1,08 slpm, παρουσιάζει την χαμηλότερη συνολική έκλυση θερμότητας.

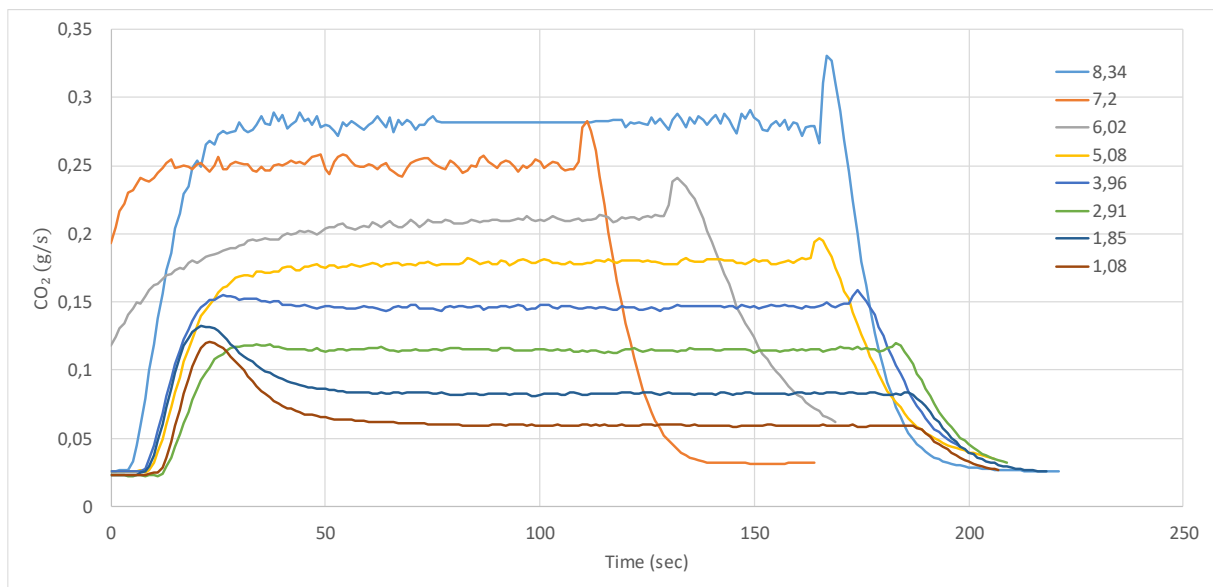
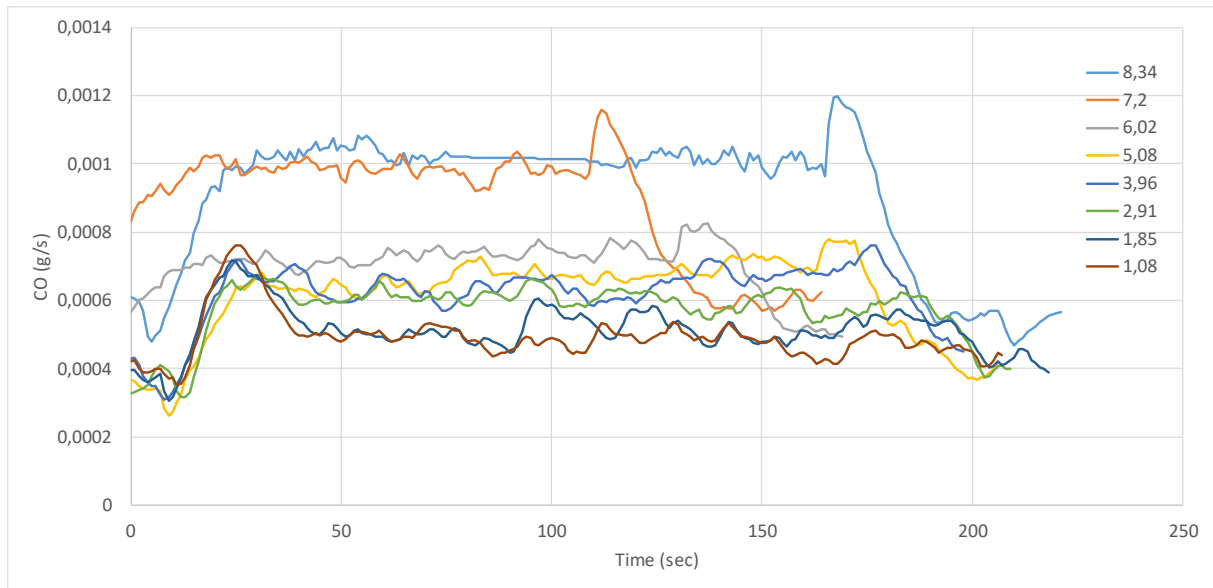
Στο διάγραμμα 4.22γ αναπαριστάνεται το μονοξείδιο που παράγεται για κάθε παροχή. Τα μεγέθη αυτά, προκύπτουν από την μέση τιμή του μονοξειδίου που παρήχθη για όλες τις δοκιμές ανά παροχή. Παρατηρείται μικρή διαφοροποίηση των δύο πρώτων παροχών ως προς την υψηλότερη παραγωγή μονοξειδίου. Το ίδιο ισχύει και για τις δύο χαμηλότερες παροχές, οι οποίες έχουν μικρές διαφορές μεταξύ τους.

Στο διάγραμμα 4.22δ απεικονίζεται η παραγωγή διοξειδίου για κάθε παροχή. Τα μεγέθη αυτά προκύπτουν από την μέση τιμή του διοξειδίου που παρήχθη για όλες τις δοκιμές ανά παροχή. Με βάση το διάγραμμα (4.22δ) συμπεραίνεται ότι η υψηλότερη παραγωγή μονοξειδίου εμφανίζεται για την πρώτη παροχή ενώ η χαμηλότερη εμφανίζεται για την μικρότερη παροχή. Επίσης παρατηρείτε ότι ο διάγραμμα του διοξειδίου έχει την ίδια μορφή με το διάγραμμα του ρυθμού έκλυσης θερμότητας.

Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε για τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα όλων των παροχών συμπεραίνεται ότι τα μετρούμενα μεγέθη επηρεάζονται σημαντικά κατά την καύση ανάλογα με την παροχή.



Διάγραμμα 4.22: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m^2), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m^2)



Διάγραμμα 4.22 (συνέχεια): Συνολικές χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

4.4.2 LPG

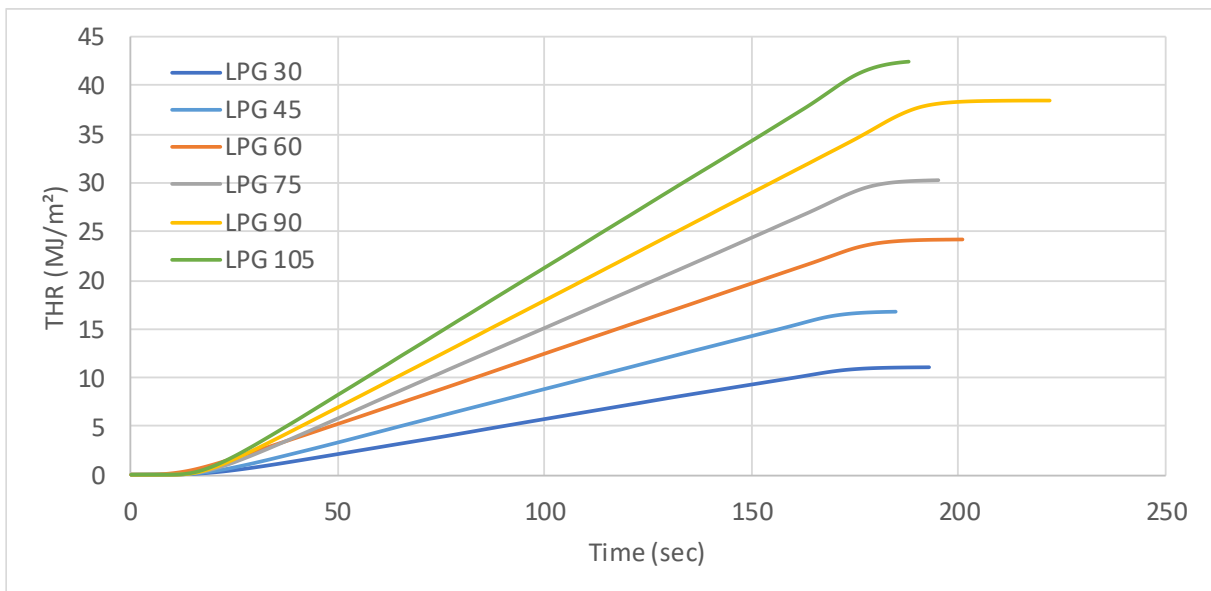
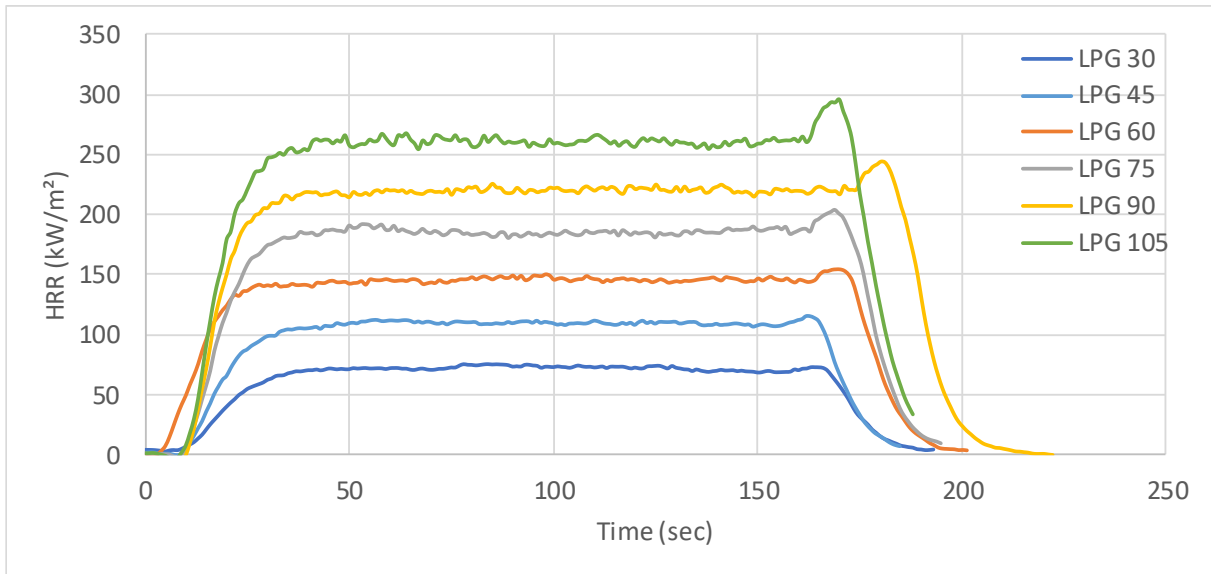
Στο διάγραμμα 4.23α απεικονίζεται η μέση τιμή του ρυθμού έκλυσης θερμότητας των επιμέρους δοκιμών ανά παροχή. Παρατηρείται ότι το HRR_{mean} διαφοροποιείται για κάθε παροχή, την υψηλότερη τιμή την παρουσιάζει η παροχή 105 slph, ενώ την χαμηλότερη τιμή την παρουσιάζει η παροχή 30 slph.

Στο διάγραμμα 4.23β αναπαριστάνεται η μέση τιμή της συνολική έκλυση θερμότητας των επιμέρους δοκιμών ανά παροχή. Με βάση το διάγραμμα (23β), προκύπτει ότι η παροχή 105 slph, παρουσιάζει την υψηλότερη συνολική έκλυση θερμότητας ενώ η παροχή 30 slph, παρουσιάζει την χαμηλότερη συνολική έκλυση θερμότητας.

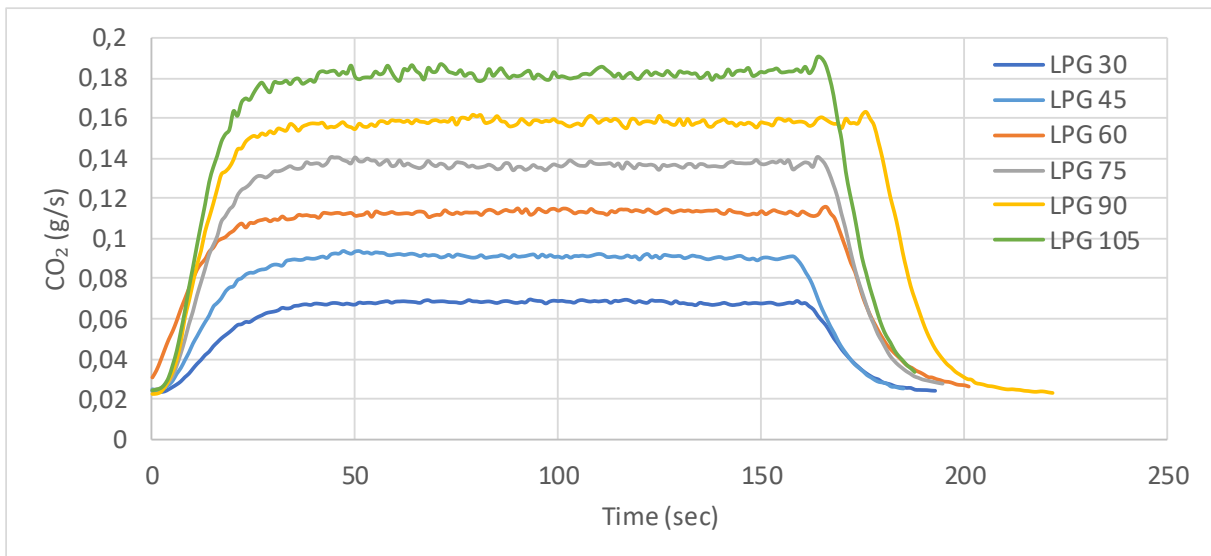
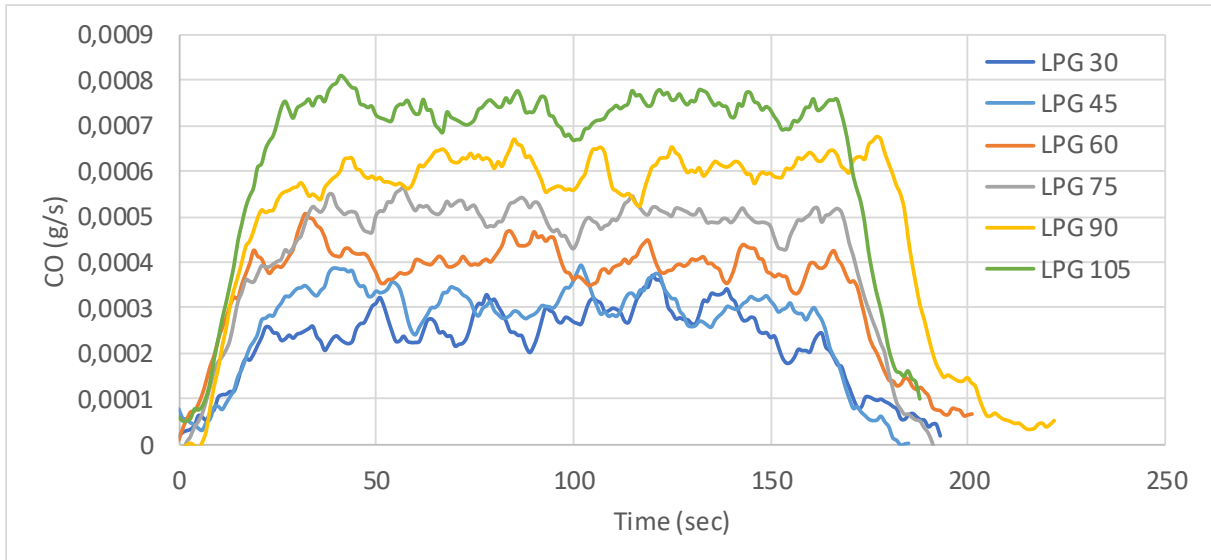
Στο διάγραμμα 4.23γ αναπαριστάνεται το μονοξείδιο που παράγεται για κάθε παροχή. Τα μεγέθη αυτά, προκύπτουν από την μέση τιμή του μονοξειδίου που παρήχθη για όλες τις δοκιμές ανά παροχή. Η μεγαλύτερη παροχή εμφανίζει την υψηλότερη παραγωγή μονοξειδίου. Παρατηρείται μικρή διαφορά για τις δύο χαμηλότερες παροχές, οι οποίες έχουν μικρές διαφορές μεταξύ τους.

Στο διάγραμμα 4.23δ απεικονίζεται η παραγωγή διοξειδίου για κάθε παροχή. Τα μεγέθη αυτά προκύπτουν από την μέση τιμή του διοξειδίου που παρήχθη για όλες τις δοκιμές ανά παροχή. Με βάση το διάγραμμα (4.23δ) συμπεραίνεται ότι η υψηλότερη παραγωγή μονοξειδίου εμφανίζεται για την πρώτη παροχή ενώ η χαμηλότερη εμφανίζεται για την μικρότερη παροχή. Επίσης παρατηρείτε ότι ο διάγραμμα του διοξειδίου έχει την ίδια μορφή με το διάγραμμα του ρυθμού έκλυσης θερμότητας.

Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε για τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα όλων των παροχών συμπεραίνεται ότι τα μετρούμενα μεγέθη επηρεάζονται σημαντικά κατά την καύση ανάλογα με την παροχή.



Διάγραμμα 4.23: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m^2), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m^2)



Διάγραμμα 4.23 (συνέχεια): Συνολικές χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

4.4.3 Προπάνιο

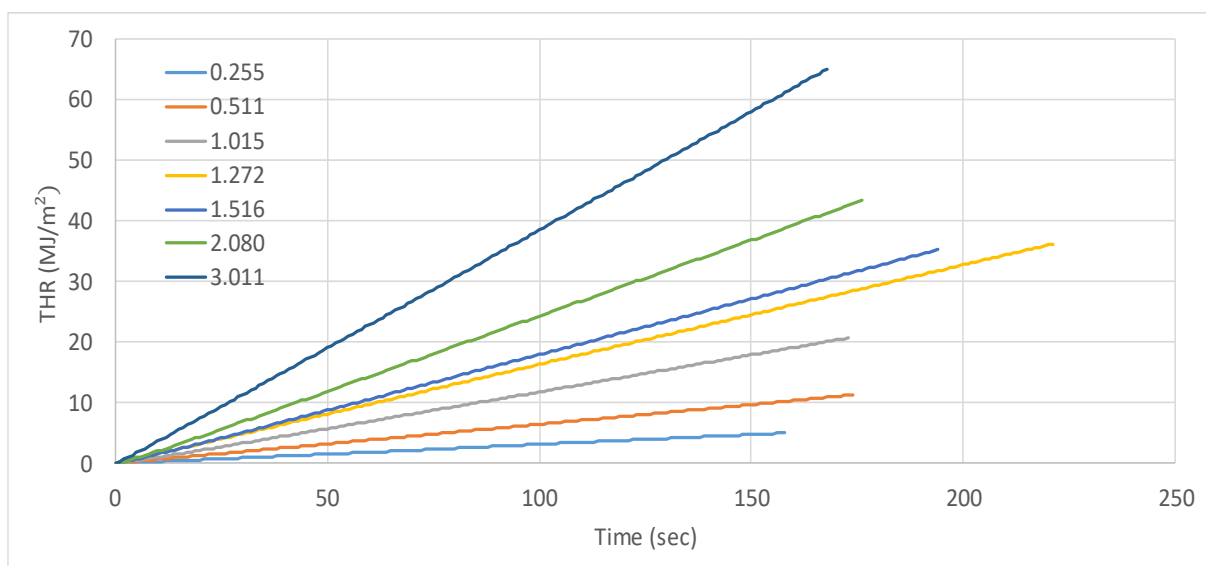
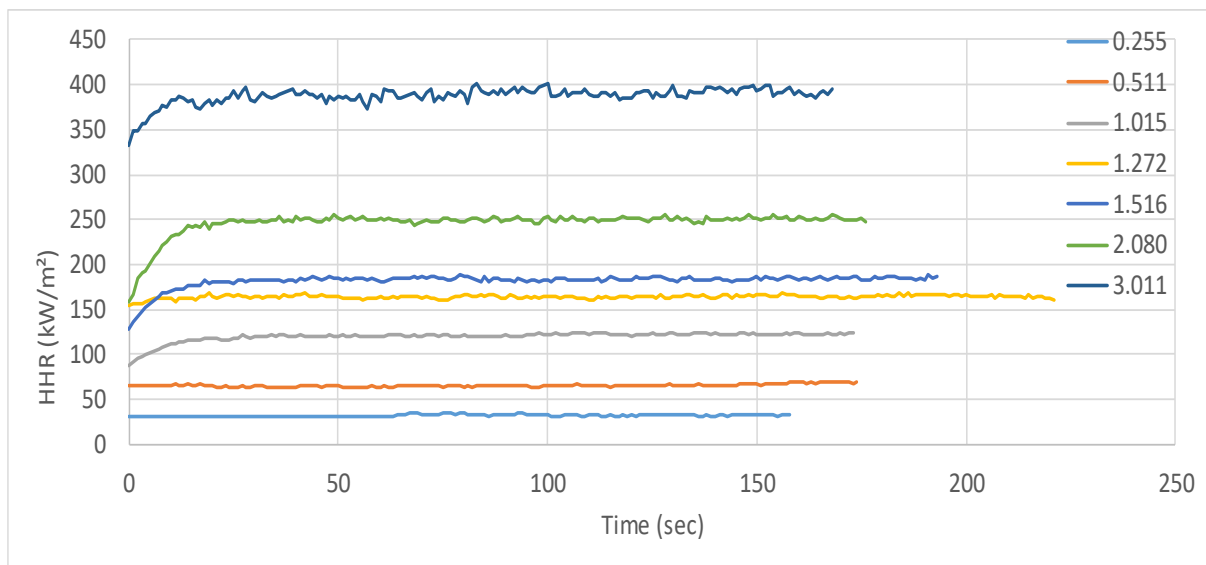
Στο διάγραμμα 4.24α απεικονίζεται η μέση τιμή του ρυθμού έκλυσης θερμότητας των επιμέρους δοκιμών ανά παροχή. Παρατηρείται ότι το HRR_{mean} διαφοροποιείται για κάθε παροχή, την υψηλότερη τιμή την παρουσιάζει η παροχή 3,011 slpm, ενώ την χαμηλότερη τιμή την παρουσιάζει η παροχή 0,255 slpm.

Στο διάγραμμα 4.24β αναπαριστάνεται η μέση τιμή της συνολική έκλυση θερμότητας των επιμέρους δοκιμών ανά παροχή. Με βάση το διάγραμμα (24β), προκύπτει ότι η παροχή 3,011 slpm, παρουσιάζει την υψηλότερη συνολική έκλυση θερμότητας ενώ η παροχή 0,255 slpm, παρουσιάζει την χαμηλότερη συνολική έκλυση θερμότητας.

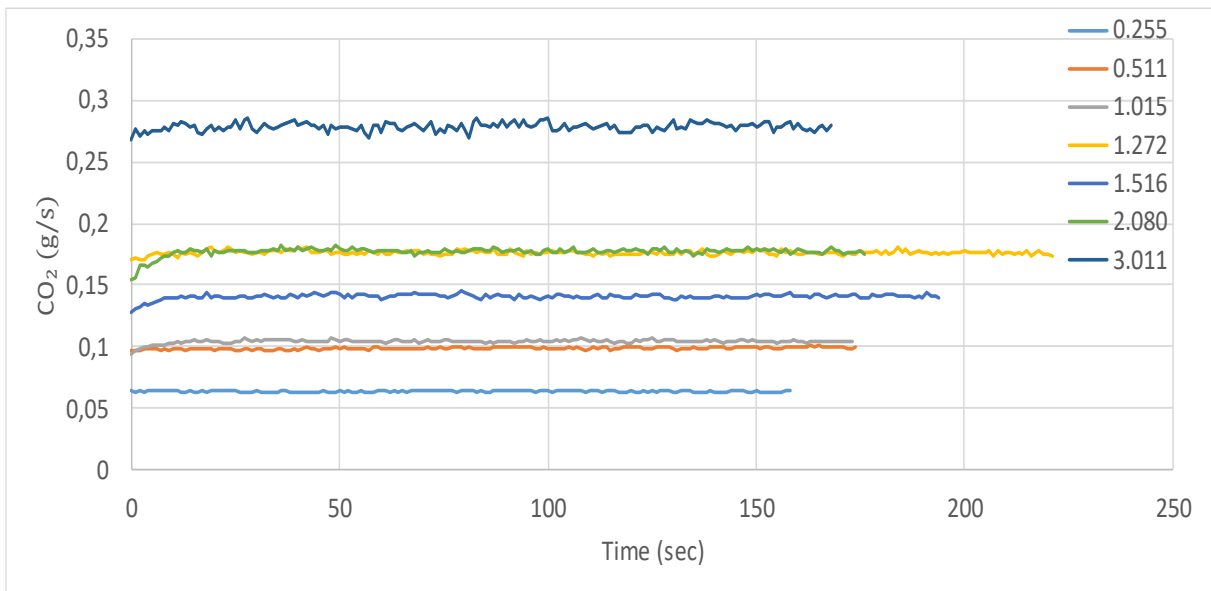
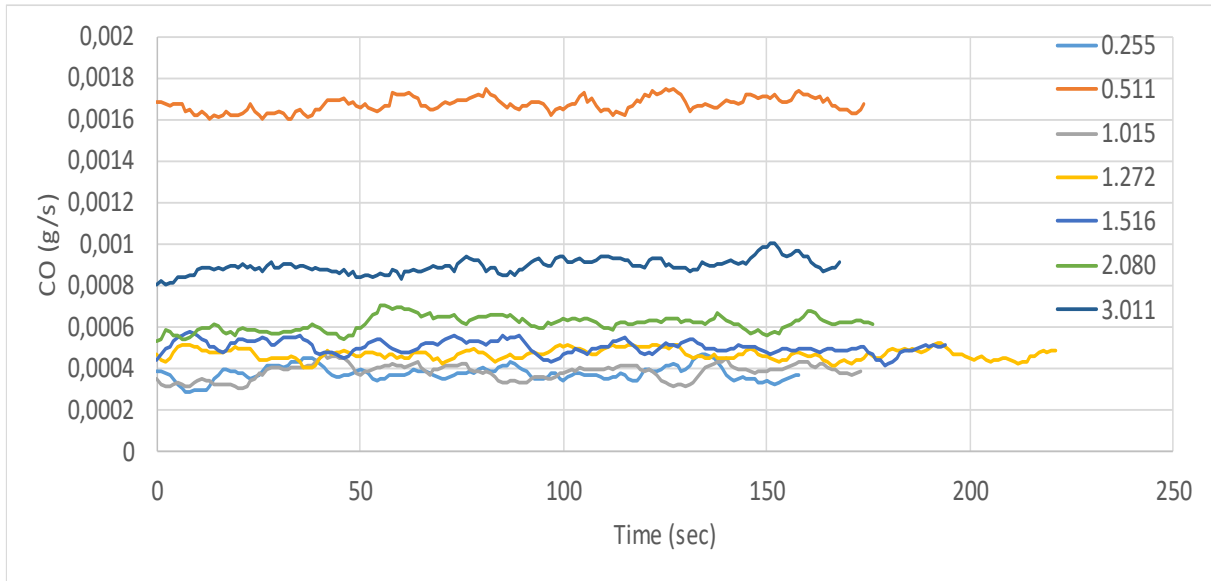
Στο διάγραμμα 4.24γ αναπαριστάνεται το μονοξειδίο που παράγεται για κάθε παροχή. Τα μεγέθη αυτά, προκύπτουν από την μέση τιμή του μονοξειδίου που παρήχθη για όλες τις δοκιμές ανά παροχή. Παρατηρείται ότι την υψηλότερη παραγωγή μονοξειδίου την εμφανίζει η παροχή 0,511slpm, αυτό μπορεί να οφείλετε σε σφάλμα του μετρητικού οργάνου. Ενώ η αμέσως επόμενη παροχή είναι η 3,011slpm. Ωστόσο στις χαμηλότερες παροχές, οι διαφορές είναι μικρές.

Στο διάγραμμα 4.24δ απεικονίζεται η παραγωγή διοξειδίου για κάθε παροχή. Τα μεγέθη αυτά προκύπτουν από την μέση τιμή του διοξειδίου που παρήχθη για όλες τις δοκιμές ανά παροχή. Με βάση το διάγραμμα (4.24δ) συμπεραίνεται ότι η υψηλότερη παραγωγή μονοξειδίου εμφανίζεται για την πρώτη παροχή ενώ η χαμηλότερη εμφανίζεται για την μικρότερη παροχή.

Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε για τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα όλων των παροχών συμπεραίνεται ότι τα μετρούμενα μεγέθη επηρεάζονται σημαντικά κατά την καύση ανάλογα με την παροχή.



Διάγραμμα 4.24: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 α) Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m^2), β) Συνολική Έκλυση
 Θερμότητας-THR (MJ/m^2)



Διάγραμμα 4.24 (συνέχεια): Συνολικές χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών
 γ) Έκλυση CO₂ (gr/sec), δ) Έκλυση CO (gr/sec)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στον πίνακα 5.1 εμφανίζονται η θερμογόνος δύναμη της βιβλιογραφίας για κάθε αέριο ξεχωριστά. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει η σύγκριση με τις πειραματικές τιμές.

Πίνακας 5.1 Θερμογόνος δύναμη της βιβλιογραφίας

Gases	(MJ/m ³)
Methane	39,8
Net Propane	86,1
Net Butane	112,9
Gross Propane	93,1
Gross Butane	121,8
Net LPG	88,78
Gross LPG	95,97

5.1 Μεθάνιο

Στο πίνακα 5.2 που ακολουθεί εμφανίζονται αναλυτικά οι πειραματικές μετρήσεις. Στην πρώτη στήλη είναι η χρονική περίοδος σε δευτερόλεπτα που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης. Στην επόμενη στήλη εμφανίζεται η παροχή του αερίου σε standard liter per minute (slpm). Στην τρίτη στήλη εμφανίζεται η συνολική θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση του αερίου σε Mega Joule ανά τετραγωνικό μέτρο. Κατόπιν υπολογίζεται η παροχή σε κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Ενώ στην επόμενη στήλη εμφανίζεται σε κυβικά μέτρα. Στην τελευταία στήλη υπολογίζεται η θερμογόνος δύναμη για κάθε παροχή και μετριέται σε Mega Joule ανά κυβικό μέτρο.

Πίνακας 5.2 Πειραματικές μετρήσεις του μεθανίου

CH ₄					
Time (sec)	FLOW (slpm)	Qall (MJ/m ²)	υ (m ³ /s)	V (m ³)	ΔH(exp-CH ₄) (MJ/m ³)
100	8,35	51,50	0,0001392	0,01391667	37,01
80	7,20	35,90	0,0001200	0,00960000	37,40
100	6,02	36,80	0,0001003	0,01003333	36,68
100	5,08	30,90	0,0000847	0,00846667	36,50
100	3,96	24,70	0,0000660	0,00660000	37,42
100	2,91	18,30	0,0000485	0,00485000	37,73
100	1,85	11,40	0,0000308	0,00308333	36,97
100	1,08	6,90	0,0000180	0,00180000	38,33
100	0,54	3,70	0,0000090	0,00090000	41,11

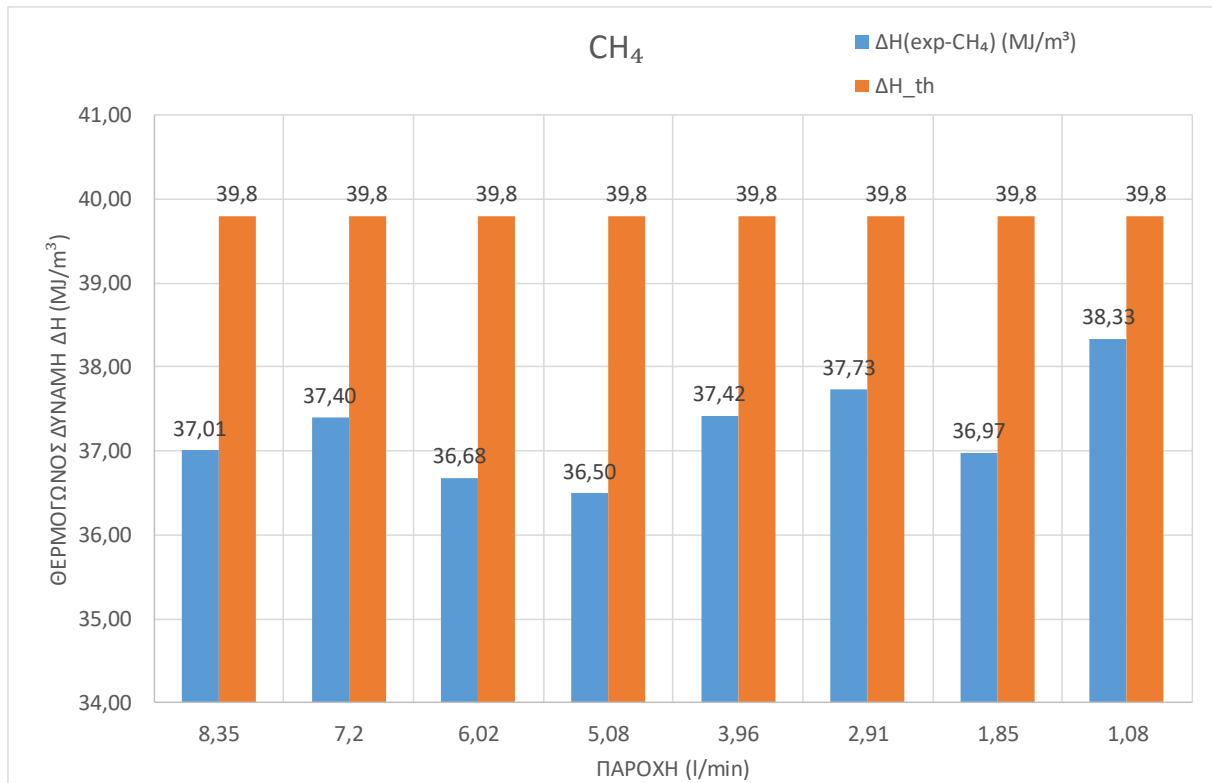
Στον παρακάτω (πίνακα 5.3) υπολογίζεται η μέση τιμή της θερμογόνου δύναμης καθώς και η απόκλιση που έχει από την τιμή της βιβλιογραφίας. Παρατηρείται ότι η απόκλιση είναι 6.4%. Η απόκλιση αυτή είναι αναμενόμενη καθώς οι τιμές των μετρήσεων δεν αποκλίνουν πολύ από το σφάλμα του θερμιδόμετρου που είναι $\pm 5\%$, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3. Τέλος φαίνεται η τυπική απόκλιση όπου είναι η διακύμανση των τιμών μεταξύ τους, της θερμογόνου δύναμης, η τιμή αυτή είναι 0.6%.

Πίνακας 5.3

CH ₄	
Μέση τιμή (MJ/m ³)	37,25
Απόκλιση	6,40%
Τυπική απόκλιση (%)	0,60
Θεωρητική MT (MJ/m ³)	39,80

Στο διάγραμμα 5.1 φαίνεται η σύγκριση της θερμογόνου δύναμης που έχει υπολογιστεί για κάθε παροχή (μπλε στήλη) και με πορτοκαλή χρώμα η τιμή της θερμογόνου δύναμης της βιβλιογραφίας.

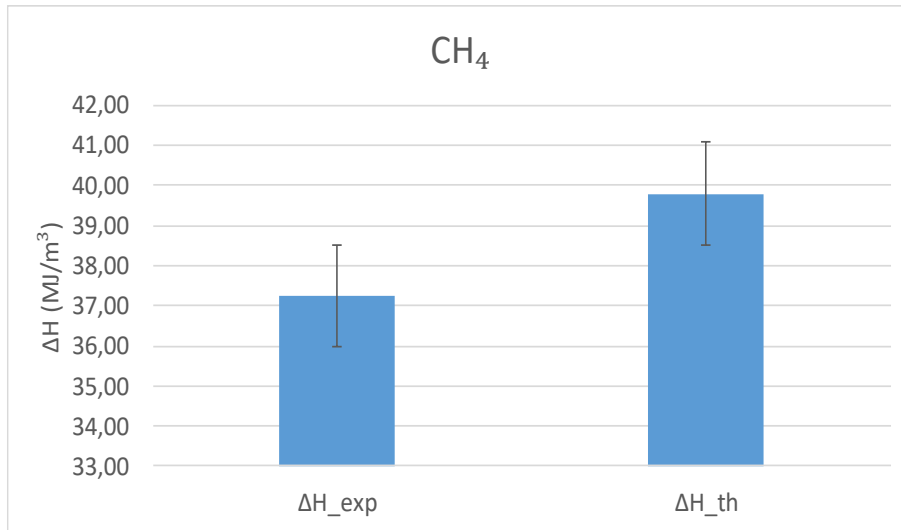
Το παρακάτω διάγραμμα συνεισφέρει στην διάκριση της τυχών ύποπτης τιμής (όπως φαίνεται στον πίνακα 5.2 και είναι η τελευταία παροχή, με τιμή 41.11 MJ/m²) και με την μέθοδο απόρριψης τιμών απορρίφθηκε. Η ύποπτη τιμή δεν χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό των αποτελεσμάτων, και για αυτόν τον λόγο δεν παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 5.1 Σύγκριση θερμογόνου δύναμης

Στο διάγραμμα 5.2 απεικονίζεται το σφάλμα μεταξύ της πειραματικής τιμής της θερμογόνου δύναμης και της τιμής της βιβλιογραφίας. Παρατηρείται η απόκλιση των τιμών σε μορφή διαγράμματος και η απόκλιση αυτή είναι στα πλαίσια του λογικού και ανέχεται στα 6.4% όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Ένα πιο οπτικό παράδειγμα της διαφοράς των πειραματικών τιμών με αυτή της βιβλιογραφίας είναι το επόμενο διάγραμμα που κάνει πιο αντιληπτό στον μέσο αναγνώστη την απόκλιση που υπάρχει ανάμεσα στις δύο τιμές.



Διάγραμμα 5.2 Σύγκριση θερμογόνου δύναμης θεωρητικής και πειραματικής τιμής

5.2 LPG

Στο πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5.4) εμφανίζονται αναλυτικά οι πειραματικές μετρήσεις. Στην πρώτη στήλη είναι η χρονική περίοδος σε δευτερόλεπτα που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης. Στην επόμενη στήλη εμφανίζεται η παροχή του αερίου σε standard liter ανά ώρα (slph), ενώ στην επόμενη στήλη εμφανίζεται σε standard liter ανά λεπτό (slpm) Στην τέταρτη στήλη εμφανίζεται η συνολική θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση του αερίου σε Mega Joule ανά τετραγωνικό μέτρο. Κατόπιν υπολογίζεται η παροχή σε κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Ενώ στην επόμενη στήλη εμφανίζεται σε κυβικά μέτρα. Στην τελευταία στήλη υπολογίζεται η θερμογόνος δύναμη για κάθε παροχή και μετριέται σε Mega Joule ανά κυβικό μέτρο.

Πίνακας 5.4 Πειραματικές μετρήσεις του LPG

LPG						
Time (sec)	FLOW (slph)	FLOW (slpm)	Qall (MJ/m ²)	ύ (m ³ /s)	V (m ³)	ΔH (exp-LPG) (MJ/m ³)
100	15	0,25	3,3	0,0000042	0,0004	79,20
100	30	0,50	7,2	0,0000083	0,0008	86,40
100	45	0,75	11,0	0,0000125	0,0013	88,00
100	60	1,00	14,5	0,0000167	0,0017	87,00
100	75	1,25	18,6	0,0000208	0,0021	89,28
100	90	1,50	22,0	0,0000250	0,0025	88,00
100	105	1,75	26,1	0,0000292	0,0029	89,49

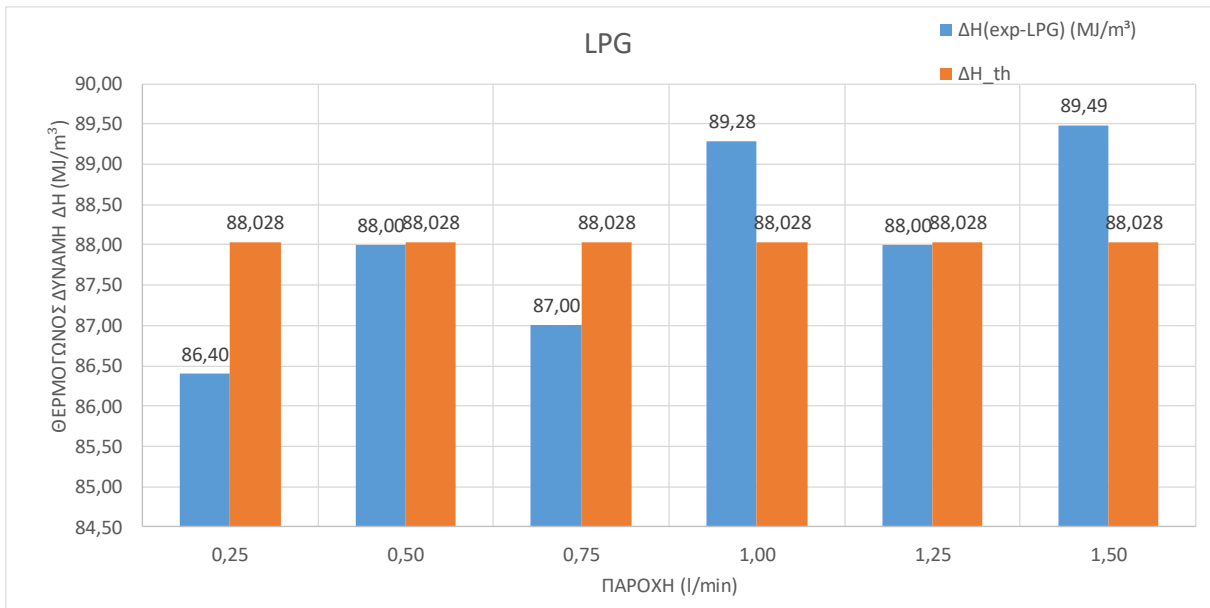
Στον παρακάτω πίνακα υπολογίζεται η μέση τιμή της θερμογόνου δύναμης καθώς και η απόκλιση που έχει από την τιμή της βιβλιογραφίας. Παρατηρείται ότι η απόκλιση είναι 0,85%, η απόκλιση αυτή είναι αναμενόμενη καθώς οι τιμές των μετρήσεων δεν αποκλίνουν πολύ από το σφάλμα του θερμοδόμετρου που είναι $\pm 5\%$, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3. Τέλος φαίνεται η τυπική απόκλιση όπου είναι η διακύμανση των τιμών μεταξύ τους, της θερμογόνου δύναμης, η τιμή αυτή είναι 1,22%.

Πίνακας 5.5

LPG	
Μέση τιμή (MJ/m^3)	88,03
Απόκλιση	0,85%
Τυπική απόκλιση (%)	1,22
Θεωρητική MT (MJ/m^3)	88,78

Στο διάγραμμα 5.3 φαίνεται η σύγκριση της θερμογόνου δύναμης που έχει υπολογιστεί για κάθε παροχή (μπλε στήλη) και με πορτοκαλή χρώμα η τιμή της θερμογόνου δύναμης της βιβλιογραφίας.

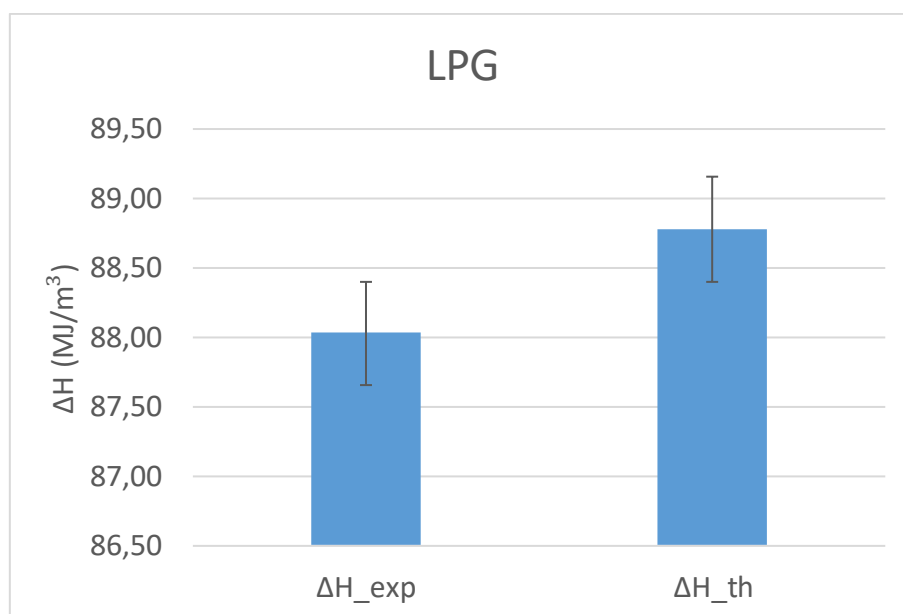
Το παρακάτω διάγραμμα συνεισφέρει στην διάκριση της τυχών ύποπτης τιμής (όπως φαίνεται στον πίνακα 5.4 και είναι η πρώτη παροχή, με τιμή $79,2 \text{ MJ}/\text{m}^2$) και με την μέθοδο απόρριψης τιμών απορρίφθηκε. Η ύποπτη τιμή δεν χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό των αποτελεσμάτων, και για αυτόν τον λόγο δεν παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 5.3 Σύγκριση θερμογόνου δύναμης για κάθε παροχή

Στο διάγραμμα 5.4 απεικονίζεται το σφάλμα μεταξύ της πειραματικής τιμής της θερμογόνου δύναμης και της τιμής της βιβλιογραφίας. Παρατηρείται η απόκλιση των τιμών σε μορφή διαγράμματος και η απόκλιση αυτή είναι στα πλαίσια του λογικού και ανέχεται στα 0,85% όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Ένα πιο οπτικό παράδειγμα της διαφοράς των πειραματικών τιμών με αυτή της βιβλιογραφίας είναι το επόμενο διάγραμμα που κάνει πιο αντιληπτό στον μέσο αναγνώστη την απόκλιση που υπάρχει ανάμεσα στις δύο τιμές.



Διάγραμμα 5.4 Σύγκριση θερμογόνου δύναμης θεωρητικής και πειραματικής τιμής

5.3 ΠΡΟΠΑΝΙΟ

Στο πίνακα 5.6 που ακολουθεί εμφανίζονται αναλυτικά οι πειραματικές μετρήσεις. Στην πρώτη στήλη είναι η χρονική περίοδος σε δευτερόλεπτα που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης. Στην επόμενη στήλη εμφανίζεται η παροχή του αερίου σε standard liter per minute (slpm). Στην τρίτη στήλη εμφανίζεται η συνολική θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση του αερίου σε Mega Joule ανά τετραγωνικό μέτρο. Κατόπιν υπολογίζεται η παροχή σε κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Ενώ στην επόμενη στήλη εμφανίζεται σε κυβικά μέτρα. Στην τελευταία στήλη υπολογίζεται η θερμογόνος δύναμη για κάθε παροχή και μετριέται σε Mega Joule ανά κυβικό μέτρο.

Πίνακας 5.6 Πειραματικές μετρήσεις του προπάνιου

C ₃ H ₈					
Time (sec)	q' (slpm C ₃ H ₈)	Qall (MJ/m ²)	υ (m ³ /s)	V (m ³)	ΔH (exp_C ₃ H ₈) (MJ/m ³)
100	0,26	3,2	4,25000E-06	4,25000E-04	75,29
100	0,51	6,5	8,51667E-06	8,51667E-04	76,32
100	1,02	12,2	1,69167E-05	1,69167E-03	72,12
100	1,27	16,4	2,12000E-05	2,12000E-03	77,36
100	1,52	18,4	2,52667E-05	2,52667E-03	72,82
100	2,08	25,0	3,46667E-05	3,46667E-03	72,12
100	3,01	37,6	5,01833E-05	5,01833E-03	74,93

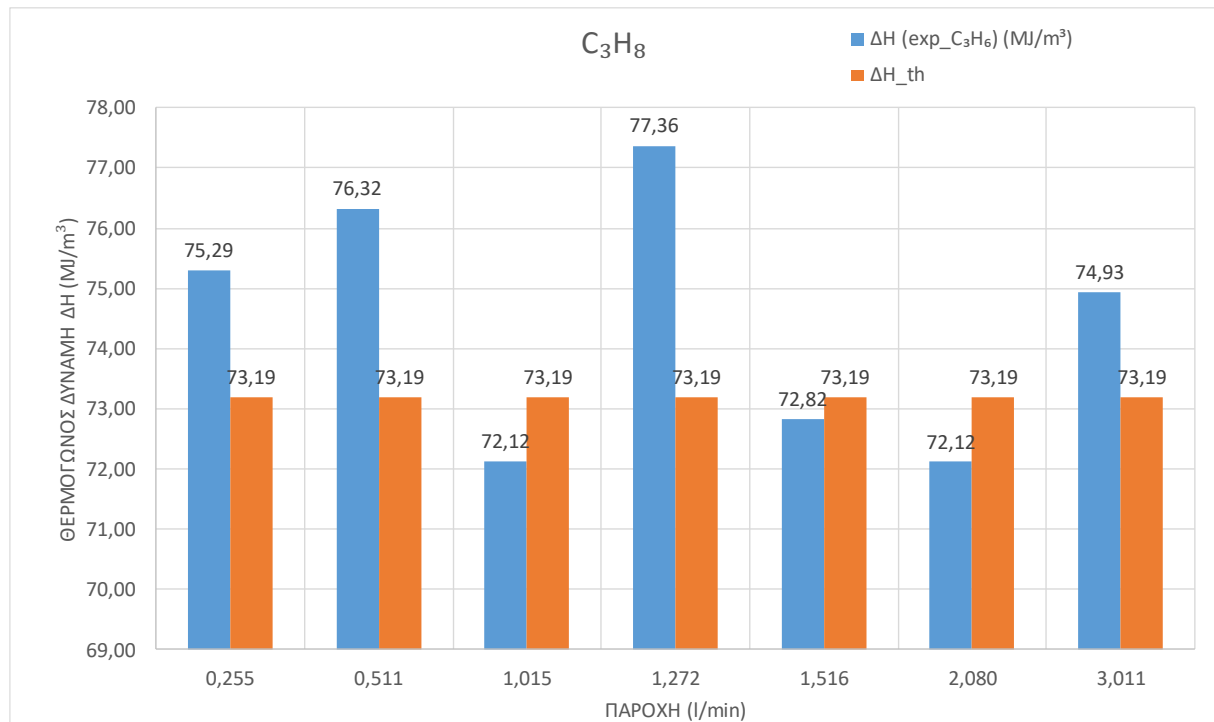
Στον παρακάτω πίνακα υπολογίζεται η μέση τιμή της θερμογόνου δύναμης καθώς και η απόκλιση που έχει από την τιμή της βιβλιογραφίας. Παρατηρείται ότι η απόκλιση είναι 1,69%, η απόκλιση αυτή είναι αναμενόμενη καθώς οι τιμές των μετρήσεων δεν αποκλίνουν πολύ από το σφάλμα του θερμιδόμετρου που είναι ±5%, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.2.3. Τέλος φαίνεται η τυπική απόκλιση όπου είναι η διακύμανση των τιμών μεταξύ τους, της θερμογόνου δύναμης, η τιμή αυτή είναι 2,10%.

Πίνακας 5.7

C ₃ H ₈	
Μέση τιμή (MJ/m ³)	74,42
Απόκλιση	1,69%
Τυπική απόκλιση (%)	2,10
Θεωρητική ΜΤ (MJ/m ³)	73,19

Στο διάγραμμα 5.4 φαίνεται η σύγκριση της θερμογόνου δύναμης που έχει υπολογιστεί για κάθε παροχή (μπλε στήλη) και με πορτοκαλή χρώμα η τιμή της θερμογόνου δύναμης της βιβλιογραφίας.

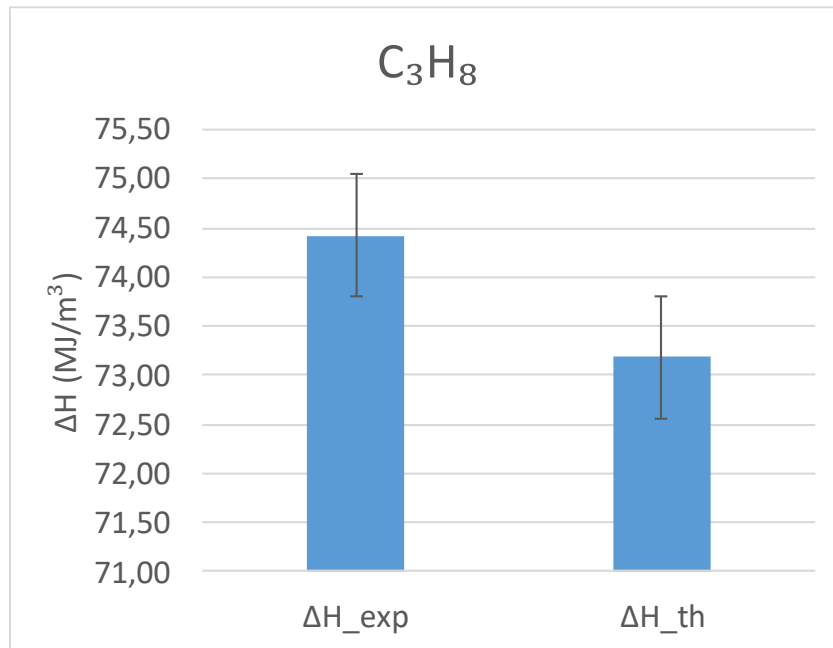
Το παρακάτω διάγραμμα συνεισφέρει στην διάκριση της τυχών ύποπτης τιμής η οποία στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει και έτσι δεν εφαρμόστηκε κάποια περεταίρω διαδικασία.



Διάγραμμα 5.4 Σύγκριση θερμογόνου δύναμης για κάθε παροχή

Στο διάγραμμα 5.5 απεικονίζεται το σφάλμα μεταξύ της πειραματικής τιμής της θερμογόνου δύναμης και της τιμής της βιβλιογραφίας. Παρατηρείται η απόκλιση των τιμών σε μορφή διαγράμματος και η απόκλιση αυτή είναι στα πλαίσια του λογικού και ανέχεται στα 1,69% όπως αναφέρθηκε και παραπάνω

Ένα πιο οπτικό παράδειγμα της διαφοράς των πειραματικών τιμών με αυτή της βιβλιογραφίας είναι το επόμενο διάγραμμα που κάνει πιο αντιληπτό στον μέσο αναγνώστη την απόκλιση που υπάρχει ανάμεσα στις δύο τιμές.



Διάγραμμα 5.5 Σύγκριση θερμογόνου δύναμης θεωρητικής και πειραματικής τιμής

5.4 ΣΥΝΟΨΗ

5.4.1 Συμπεράσματα

Τα βασικά συμπεράσματα που απορρέουν από την παραπάνω διαδικασία είναι τα εξής

- Η πειραματική τιμή της θερμογόνος δύναμη του μεθανίου είναι 37.25 MJ/m³ και η απόκλιση από την τιμή της βιβλιογραφίας είναι 6.4%.
- Η πειραματική τιμή της θερμογόνος δύναμη του LPG είναι 88.03 MJ/m³ και η απόκλιση από την τιμή της βιβλιογραφίας είναι 0.85%.
- Η πειραματική τιμή της θερμογόνος δύναμη του προπάνιου είναι 74.42 MJ/m³ και η απόκλιση από την τιμή της βιβλιογραφίας είναι 1.69%.
- Το αέριο με την μεγαλύτερη απόκλιση είναι το μεθάνιο καθώς και το αέριο με την μικρότερη απόκλιση είναι το LPG.
- Όλες οι παραπάνω αποκλίσεις είναι αναμενόμενες και καμία δεν ξεπερνάει τα ανεκτά όρια. Οι αποκλίσεις αυτές οφείλονται σε σφάλματα των μετρήσεων του θερμιδόμετρου αλλά και των ροόμετρων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και σε σφάλματα που οφείλονται σε μετατροπές μονάδων και στρογγυλοποιήσεις.
- Οι υπολογισμοί της θερμογόνου δύναμης ταυτίζονται με αυτούς της βιβλιογραφίας επομένως η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε λειτουργεί και είναι αξιόπιστη.

5.4.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Μερικές προτάσεις για πιο αναλυτική έρευνα είναι αρχικά η επιλογή παραπάνω αερίων ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη συλλογή δεδομένων και άρα μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Με αυτόν τον τρόπο θα είναι πιο εμφανές το οποιοδήποτε σφάλμα αλλά και πιο εύκολο να διαπιστωθεί κάποιο λάθος κατά την διάρκεια της συλλογής των δεδομένων αλλά και μετέπειτα στην επεξεργασία των δεδομένων.

Μία άλλη πρόταση θα ήταν να γίνει περισσότερο από ένα πείραμα για κάθε παροχή ώστε να υπάρχει μικρότερο ποσοστό σφάλματος στις επιμέρους μετρήσεις και κατ' επέκταση μικρότερα σφάλματα στον υπολογισμό της τελικής τιμής της θερμογόνου δύναμης. Μια τέτοια διαδικασία θα έδινε την δυνατότητα μιας πιο αναλυτικής περιγραφής της διαδικασίας που έλαβε μέρος στην παρούσα πτυχιακή. Θα έδινε επίσης αποτελέσματα τα οποία θα ήταν πιο ακριβή και με μικρότερες αποκλίσεις από αυτές που διεξάχθηκαν παραπάνω.

Στις πειραματικές μετρήσεις επίσης, δεν έχει πραγματοποιηθεί διόρθωση της παροχής με την πίεση των αερίων το οποίο είναι σημαντικό για μεγαλύτερη ακρίβεια.

Τέλος απαιτείται ανάλυση αβεβαιοτήτων στις πειραματικές μετρήσεις, για το καθορισμό της συνολικής πραγματικής αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

R. H. Shipman, Liquefied Petroleum Gas Association

Johan Lindholm, Anders Brink and Mikko Hupa, CONE CALORIMETER – A TOOL FOR MEASURING HEAT RELEASE RATE

John M. Simmie, Detailed chemical kinetic models for the combustion of hydrocarbon fuels

Nikolaos Cristian Nutu, LPG as a Fuel for Diesel Engines-Experimental Investigations

"(Answered Jan 11, 2014 Upvoted by Bob Mouk, PhD Organic Chemistry, Michigan State University (1969)

Kateřina Āern, Kateřina Kopelentov, Martin Zeman, BIOGAS AND ITS ENERGY USE

Seyed Ehsan Hosseini , Mazlan Abdul Wahid Biogas utilization: Experimental investigation on biogas flameless combustion in lab-scale furnace

Yaru S.S, Adegun I.K, Akintunde M.A Determination Of Thermo-Physical Properties Of Forty Day Incubation Cattle Dung Biogas

Seyed Ehsan Hosseini Mazlan Abdul Wahid, Development of biogas combustion in combined heat power generation

Emma Lindkvist , Maria T. Johansson and Jakob Rosenqvist, Methodology for Analysing Energy Demand in Biogas Production Plants—A Comparative Study of Two Biogas Plants

A.F. Colorado, B.A. Herrera, A.A. Amell, Performance of a Flameless combustion furnace using biogas and natural gas

Μαρας Κοττσαγιαννη, In-situ, ταχεία και μη-διαταρακτική διαγνωστική διαδικασιών καύσης και των προϊόντων με φασματοσκοπία πλάσματος επαγόμενο από λέιζερ (LIBS)

Σταματοπούλου Ηλιάνα, Χριστοπούλου Ανδριανή, “Βαθμονόμηση οργάνου με τη χρήση του λογισμικού FTT ConeCalc”, Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου.

ΚΥΔΩΝΙΑΤΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, Παρακολούθηση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος μικρής ισχύος

N. Ανδρίτσος, Ενέργεια και Περιβάλλον

Σιούλος Κωνσταντίνος, Περιβαλλοντικά, ενεργειακά, κοινωνικά και οικονομικά οφέλη από την παραγωγή και χρήση του βιοαερίου

<http://www.whatischemistry.unina.it/en/combust.html> (combustion of methane)

[https://melscience.com/US-en/articles/interaction-methane-oxygen-combustion-reaction/\(MEL](https://melscience.com/US-en/articles/interaction-methane-oxygen-combustion-reaction/(MEL) Science interaction of methane with oxygen- combustion reaction)

<https://www.elgas.com.au/blog/2208-complete-incomplete-combustion-of-lpg-propane-equations> (LPG Gas Blog, Eric Hahn, elgas)

<https://www.quora.com/How-can-natural-gas-combustion-produce-CO> (quora, Robert Zehner, Ph.D. Physical Chemistry, University of Chicago (1998)

<https://www.quora.com/Why-does-natural-gas-combustion-emit-less-CO2-Joule-than-coal-or-oil>

<https://www.quora.com/Why-does-shale-gas-emit-50-less-CO2-than-coal> (Ryan Carlyle)

<https://www.quora.com/Why-is-coal-more-polluting-than-oil> (Jan 6, 2013 · Upvoted by Steven Merz, PhD Candidate Chemical Engineering)

http://lyk-evsch-n-smyrn.att.sch.gr/EYliko/Chemistry_Yliko/KafsiKaiStoiheiometrikoιYpologismoi.pdf (Θ. Ορεινός)

https://www.agmrc.org/media/cms/manuredigesters_FC5C31F0F7B78.pdf An Analysis of Energy Conservation Service Production Costs from October 2007 Anaerobic Digestion Systems on U.S. Livestock Production Facilities

<https://engineersintellect.blogspot.com/2015/06/junkers-gas-calorimeter-1.html>

<https://www.quora.com/Why-does-natural-gas-combustion-emit-less-CO2-Joule-than-coal-or-oil>