

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΕ ΥΠΑΡΧΟΝΤΕΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΝΤΗΖΕΛ

Θ. ΧΟΥΝΤΑΛΑΣ

Δρ, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π

Ρ. Γ. ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΑΚΗΣ

Δρ, Επιμελητής Σχολής Ικάρων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας και ο συνεχώς αυξανόμενος ρυθμός μείωσης των αποθεμάτων ενεργειακών πρώτων υλών αποτελούν τα πιο οξυμένα προβλήματα, τα οποία καλείται να αντιμετωπίσει ο σύγχρονος άνθρωπος. Όπως κάθε θερμική μηχανή έτσι και ο κινητήρας Ντήζελ συμβάλλει στην ύπαρξη των ανωτέρω προβλημάτων. Στην προσπάθεια μείωσης της ανωτέρω αρνητικής συμβολής του κινητήρα Ντήζελ, διεξάγονται έρευνες, οι οποίες δίνουν έμφαση σε διάφορα πεδία, ένα από τα οποία είναι και η χρήση της Μεικτής Καύσης. Η παρούσα εργασία έχει σκοπό να παρουσιάσει την επίδραση που έχει η μεικτή καύση καυσίμου Ντήζελ και Φυσικού Αερίου στη συμπεριφορά υπάρχοντα κινητήρα Ντήζελ, ο οποίος έχει κατάλληλα τροποποιηθεί για αυτό το σκοπό. Με τη διενέργεια πειραματικών μετρήσεων επί του συγκεκριμένου κινητήρα τόσο υπό συνθήκες κλασσικής λειτουργίας όσο και υπό συνθήκες μεικτής καύσης εκτιμήθηκε ότι η υπό εξέταση μέθοδος επηρεάζει θετικά τη συμπεριφορά του κινητήρα όσον αφορά στις εκπομπές NO_x και αιθάλης. Ταυτόχρονα, όμως, επιδρά αρνητικά στην ειδική κατανάλωση καυσίμου, στις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογονανθράκων, ιδιαίτερα στα χαμηλά φορτία λειτουργίας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει καταστεί το κύριο περιβαλλοντικό πρόβλημα των σύγχρονων μεγαλουπόλεων. Με βάση διαθέσιμα στοιχεία διαφαίνεται ότι

κύρια συμβολή στο πρόβλημα αυτό έχουν τα μεταφορικά μέσα ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές. Για το λόγο αυτό διεξάγονται διεθνώς εκτεταμένες έρευνες για την αντιμετώπιση του προβλήματος με ιδιαίτερη έμφαση στη χρήση νέων τεχνολογιών καύσης, τη χρήση εξελιγμένων ή εναλλακτικών καυσίμων και την εξέλιξη των ήδη υπάρχοντων εμβολοφόρων κινητήρων [1-4].

Εξέχουσα θέση στις προσπάθειες αυτές κατέχει η χρήση του φυσικού αερίου ως εναλλακτικού καυσίμου, το οποίο χαρακτηρίζεται από χαμηλές εκπομπές αερίων και στερεών ρυπαντών [5-7]. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα χρήσης του φυσικού αερίου σε υπάρχοντες κινητήρες Ντήζελ, οι οποίοι έχουν κατάλληλα τροποποιηθεί, προκειμένου να καταστεί εφικτή η ταυτόχρονη καύση φυσικού αερίου και καυσίμου Ντήζελ. Απώτερος σκοπός είναι η μελέτη των λειτουργικών προβλημάτων που σχετίζονται με τη χρήση του φυσικού αερίου σε υπάρχοντες κινητήρες Ντήζελ καθώς επίσης και η εκτίμηση της επίδρασης του αερίου καυσίμου στις εκπομπές ρύπων από τον κινητήρα [8]. Η εκτίμηση αυτή θα προέλθει μέσω της συγκριτικής αξιολόγησης της λειτουργίας του κινητήρα με φυσικό αέριο και καύσιμο Ντήζελ (Μεικτή Καύση) και της κλασσικής λειτουργίας, δηλαδή μόνο με καύσιμο Ντήζελ.

2. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΝΤΗΖΕΛ

Ο κινητήρας Ντήζελ είναι γνωστό ότι πλεονεκτεί έναντι όλων σχεδόν των θερμικών μηχανών λόγω του υψηλού βαθμού απόδοσης του [9]. Για το λόγο αυτό ο κινητήρας Ντήζελ χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά σε βαρέως τύπου εφαρμογές όπως είναι η ναυτιλία, η παραγωγή ενέργειας και τα διάφορα βαρέα μεταφορικά οχήματα.

Την τελευταία πενταετία οι κινητήρες αυτοί έχουν εφαρμοσθεί στην περιοχή της αυτοκίνησης, καταλαμβάνοντας μερίδια της τάξης του 50-60%.

Λόγω του γεγονότος αυτού έχει αυξηθεί σημαντικά η συμβολή τους στη ρύπανση, ιδιαίτερα όσον αφορά στις εκπομπές της αιθάλης. Εκτός όμως από την αιθάλη, σημαντικό είναι το μερίδιο συμβολής του κινητήρα Ντήζελ στην παραγωγή και άλλων ρυπαντών. Οι κυριότεροι από αυτούς τους ρυπαντές, είναι οι ακόλουθοι [9-10]:

- Οξείδια του Αζώτου (NOx)

- Άκαυστοι Υδρογονάνθρακες (HC), οι οποίοι εμφανίζονται στα καυσαέρια του κινητήρα σε μικρές αλλά όχι σε αμελητέες ποσότητες.
- Μονοξειδίο του Άνθρακα

Τις πρώτες δεκαετίες μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, λόγω κυρίως της απαίτησης για ραγδαία ανάπτυξη της βιομηχανίας, δεν δόθηκε από την επιστημονική κοινότητα, η οποία ασχολούνταν με την κατασκευή και ανάπτυξη εμβολοφόρων κινητήρων, η απαιτούμενη προσοχή στον τομέα της μόλυνσης του περιβάλλοντος λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, που προκαλούσαν οι τότε κινητήρες. Όμως τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην προσπάθεια μείωσης των εκπομπών των ανωτέρω ρύπων από τους κινητήρες Ντίζελ. Σύμφωνα με τα επίσημα θεσμοθετημένα όρια της συνθήκης EURO V, η οποία πρόκειται να εφαρμοσθεί μετά το 2007, απαιτείται δραστικότερη μείωση τόσο των σωματιδιακών εκπομπών (αιθάλη) όσο και των εκπομπών οξειδίου του αζώτου (NOx). Για το λόγο αυτό απαιτείται η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την περαιτέρω μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, προκειμένου να επιτύχουμε τα μελλοντικά όρια εκπομπών, τα οποία θα ικανοποιούν την ανωτέρω συνθήκη [7-9].

Οι κυριότεροι τομείς της τεχνολογίας πάνω στους οποίους επικεντρώνεται σήμερα το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, προκειμένου να μειωθούν οι εκπεμπόμενοι ρύποι από τους κινητήρες Ντίζελ, είναι οι ακόλουθοι [9]:

- Βελτίωση των μηχανισμών ανάμειξης καυσίμου και αέρα.
- Χρήση εγχυτήρων πολλών οπών μικρής διαμέτρου.
- Χρήση υψηλής πίεσης έγχυσης έως 2.000 bar.
- Χρήση συστημάτων έγχυσης κοινού οχετού (Common Rail).
- Αύξηση πίεσης υπερπλήρωσης.
- Χρήση τεχνικών επανακυκλοφορίας καυσαερίου.
- Χρήση πολλαπλών εγχύσεων, προέγχυσης (Pilot Injection) ή μετέγχυσης (Post Injection).
- Χρήση συστημάτων επεξεργασίας καυσαερίου.
- Χρήση εξελιγμένων καυσίμων.
- Χρήση τεχνικών μεικτής καύσης.

Στην παρούσα μελέτη θα επικεντρωθούμε στον τελευταίο τομέα, που είναι η τεχνική της μεικτής καύσης. Με τον όρο μεικτή καύση εννοούμε την ταυτόχρονη χρήση δύο καυσίμων, ήτοι του κλασσικού καυσίμου Ντίζελ και ενός άλλου καυσίμου, το οποίο εισάγεται στον κύλινδρο του κινητήρα από τον οχετό εισαγωγής.

Πρόκειται για μια τεχνική, η οποία είναι γνωστή από δεκαετίες και υπόσχεται πολλά για τον περιορισμό των ρύπων από υπάρχοντες κινητήρες Ντίζελ.

3. ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΕΙΚΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΣΕ ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΝΤΗΖΕΛ

Πέραν των όσων αναφέρθηκαν σχετικά με τη συμβολή του κινητήρα Ντίζελ στη δημιουργία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, υπάρχει ένα επιπλέον σημαντικό πρόβλημα, το οποίο πρέπει να αντιμετωπιστεί. Ιδιαίτερα στην Ελλάδα, υπάρχουν αρκετά οχήματα εξοπλισμένα με κινητήρες Ντίζελ παλαιάς και σχετικά νέας τεχνολογίας, οι οποίοι όμως αποτελούν σημαντικούς ρυπαντές στις σύγχρονες μεγαλουπόλεις και ιδιαίτερα στην περιοχή του λεκανοπεδίου Αττικής.

Μια αξιόπιστη και καθαρή από πλευράς ρύπανσης εναλλακτική πηγή καύσιμης ύλης για τους εμβολοφόρους κινητήρες αποτελεί το φυσικό αέριο.

Τα φυσικά αέρια προέρχονται κυρίως από κοιτάσματα του πετρελαίου. Όλα τα είδη του φυσικού αερίου αποτελούνται κυρίως από μεθάνιο, ενώ απουσιάζει τελείως από τη σύστασή τους το μονοξείδιο του άνθρακα, το οποίο σημειωτέον είναι τοξικό. Τα φυσικά αέρια διακρίνονται σε δύο ομάδες [5-6]:

- Ομάδα *H*, των οποίων η ανώτερα θερμογόνο δύναμη κυμαίνεται μεταξύ 10,7 και 13,1 KWh/Nm³.
- Ομάδα *L*, των οποίων η ανώτερα θερμογόνο δύναμη κυμαίνεται μεταξύ 8,4 και 10,5 KWh/Nm³.

Στην πράξη το μοναδικό αέριο της ομάδας *L* είναι το αέριο του Groningen. Τα αέρια όμως αυτά αντικαθίστανται σιγά – σιγά με αέρια της ομάδος *H*. Στην Ελλάδα τα φυσικά αέρια, τα οποία διανέμονται στην κατανάλωση από το έτος 1996 ανήκουν στην ομάδα *H* και είναι [5-6]:

- i) Το αέριο της Ρωσικής Δημοκρατίας της πρώην Σοβιετικής Ένωσης.

ii) Το αέριο της Αλγερίας.

Τα ανωτέρω είδη φυσικού αερίου, τα οποία διανέμονται στον ελληνικό χώρο, διατίθενται στην αγορά σε ανταγωνιστικές τιμές σε σχέση με αυτές του Ντήζελ, γεγονός που τα καθιστά αρκετά ελκυστικά καύσιμα.

Η επί τοις εκατό κατ' όγκον σύσταση των κυριότερων ειδών φυσικού αερίου δίνεται στον πίνακα 1 [5-6]. Παρατηρώντας τον πίνακα, βλέπουμε ότι το φυσικό αέριο δεν περιέχει καθόλου μονοξείδιο του άνθρακα, γεγονός αρκετά θετικό για την περιβαλλοντική του συμπεριφορά.

Πίνακας 1: Κατ' όγκον σύσταση (%) διαφόρων ειδών φυσικού αερίου
Table 1: Proportion per Volume (%) of various types of natural gas.

	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	CO	N_2	CO_2
<i>Ρώσικο</i>	98	0.6	0.2	0.2	0.5	-	0.8	0.1
<i>Αλγερίας</i>	91.2	6.5	1.1	0.2	-	-	1	-
<i>Groning.</i>	82.9	3.2	0.6	0.2	0.1	-	0.5	-
<i>Βόρ. Θάλλ/σας</i>	88.6	4.6	1.1	0.3	0.1	-	3.9	1.4

Το φυσικό αέριο, εκτός του γεγονότος ότι δεν εγκυμονεί κανένα κίνδυνο τοξικότητας, συμβάλλει σε σημαντικό βαθμό στον περιορισμό των σωματιδιακών εκπομπών (αιθάλη) από τα καυσαέρια ενός κινητήρα, δίνοντας έτσι τιμές σχεδόν μηδενικές, σε σχέση με αυτές που δίνει το κλασσικό καύσιμο Ντήζελ [3].

Η χρήση του φυσικού αερίου σε υπάρχοντες αλλά και σε νέους κινητήρες Ντήζελ συνίσταται στην αναπλήρωση μεγάλου μέρους του καυσίμου Ντήζελ από το αέριο καύσιμο. Το ποσοστό αυτής της αναπλήρωσης μπορεί να φθάσει έως και το 90% («Πιλοτική» Έγχυση Καυσίμου Ντήζελ). Η αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται η λειτουργία αυτών των κινητήρων είναι η ακόλουθη [1,3-4, 7-9]:

Στους κινητήρες αυτούς γίνεται ταυτόχρονη χρήση δύο καυσίμων, ήτοι του κλασσικού Ντήζελ και του φυσικού αερίου. Η παροχή μάζας του καυσίμου Ντήζελ αποτελεί ένα μικρό ποσοστό ως προς τη συνολική παροχή και των δύο καυσίμων που εισέρχονται στον κινητήρα, όταν αυτός λειτουργεί υπό συνθήκες μεικτής καύσης. Το ποσοστό αυτό του καυσίμου Ντήζελ διατηρείται σταθερό για όλα τα φορτία λειτουργίας του κινητήρα υπό

συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής. Οι τιμές του ποσοστού αυτού κυμαίνονται από 10 έως 15% ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Η «πilotική» αυτή έγχυση του καυσίμου Ντήζελ χρησιμοποιείται για την έναυση του εργαζόμενου μείγματος, αφού το φυσικό αέριο λόγω της υψηλής θερμοκρασίας αυταναφλέξεως του δεν μπορεί να αυταναφλεγεί υπό συνθήκες έναυσης Ντήζελ. Όπως είναι ευνόητο το καύσιμο Ντήζελ καλύπτει ένα μικρό ποσοστό της απαιτούμενης από τον κινητήρα ισχύος, ενώ η επιπλέον απαιτούμενη ισχύς καλύπτεται από τη χρήση του φυσικού αερίου.

Στους ανωτέρω κινητήρες, το φυσικό αέριο προσάγεται από τον οχετό εισαγωγής μαζί με τον αέρα ή εγχύεται απευθείας μέσα στο θάλαμο καύσης. Στην περίπτωση υπάρχοντων κινητήρων Ντήζελ συνιστάται η πρώτη μέθοδος καθώς είναι απλή και απαιτεί ελάχιστες μετατροπές στον κινητήρα [8].

Όμως η χρήση του φυσικού αερίου σ' αυτού του είδους τους κινητήρες, απαιτεί διερεύνηση όσον αφορά στην επίδραση που έχει η χρήση του στη δομή του κινητήρα καθώς είναι πιθανόν να υπάρξουν ανεπιθύμητες επιδράσεις. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην αποφυγή των κατωτέρω φαινομένων:

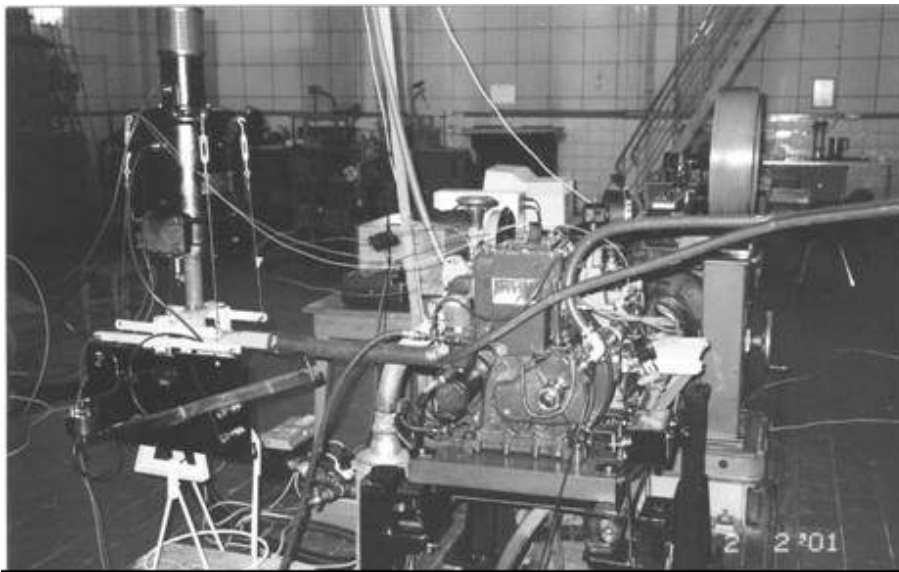
- *Υπερβολικά υψηλή πίεση καύσης.*
- *Κρουστική καύση.*
- *Ατελή καύση.*

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΝΤΗΖΕΛ

Για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων χρήσης του φυσικού αερίου ως συμπληρωματικού καυσίμου σε κινητήρες Ντήζελ, διεξήχθη στο εργαστήριο ΜΕΚ του Ε.Μ.Π. πειραματική έρευνα σε ένα μονοκύλινδρο εργαστηριακό κινητήρα Ντήζελ [8].

Στο Σχήμα 1 δίνεται μια απεικόνιση του κινητήρα καθώς επίσης και όλης της πειραματικής εγκατάστασης που χρησιμοποιήθηκε. Παρατηρώντας το Σχήμα 1, προκύπτει ότι οι απαιτούμενες τροποποιήσεις, που έχουν γίνει στη δομή του κινητήρα είναι ελάχιστες. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια το κόστος για τη μετατροπή του εν λόγω κινητήρα προκειμένου αυτός να είναι ικανός για λειτουργία υπό συνθήκες μεικτής καύσης, να είναι αρκετά μικρό [8].

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών εξετάστηκαν διάφορα φορτία, σε διάφορες ταχύτητες περιστροφής, ενώ το καύσιμο Ντίζελ αναπληρώθηκε σε διάφορα ποσοστά. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται μόνο τα αποτελέσματα εκείνα, που αφορούν στη λειτουργία του κινητήρα υπό συνθήκες μεικτής καύσης, με έγχυση «Πιλοτικής» ποσότητας καυσίμου Ντίζελ. Η ποσότητα του καυσίμου Ντίζελ που εγχύεται είναι ιδιαίτερα μικρή και αντιστοιχεί περίπου στο 10 έως 15% αυτής που εγχύεται όταν ο κινητήρας λειτουργεί υπό κλασσικές συνθήκες στο πλήρες φορτίο [8]. Οι αυξομειώσεις του φορτίου επιτυγχάνονται αποκλειστικά και μόνο με τη μεταβολή της παροχής του φυσικού αερίου το οποίο προσάγεται μαζί με τον αναρροφούμενο από τον κινητήρα αέρα μέσω του οχετού εισαγωγής.



Σχήμα 1: Όψη πειραματικής εγκατάστασης (1).
Figure 1: Schematic layout of test installation (1).

Στη συνέχεια δίνεται μια ανάλυση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από τη μελέτη αυτή, όπου για κάθε μετρούμενο μέγεθος γίνεται συγκριτική αξιολόγηση με την τιμή του, όταν ο κινητήρας λειτουργεί ως αμιγώς κινητήρας Ντίζελ. Τα αποτελέσματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :

- Σ' αυτά που αφορούν στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα.
- Σ' αυτά που αφορούν στην εκπομπή ρύπων.

Συγκεκριμένα εξετάζεται η επίδραση της μεικτής καύσης με χρήση φυσικού αερίου

– Ντήζελ στα ακόλουθα λειτουργικά μεγέθη:

- **Μέγιστη Πίεση Καύσης**
- **Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου**
- **Εκπομπή Αιθάλης**
- **Εκπομπή Μονοξειδίου του Άνθρακα (CO)**
- **Εκπομπή Άκαυστων Υδρογονανθράκων (HC)**
- **Εκπομπή Μονοξειδίου του Αζώτου (NO)**

5. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

5.1. Επίδραση της Χρήσης Φυσικού Αερίου στην Μέγιστη Πίεση Καύσης

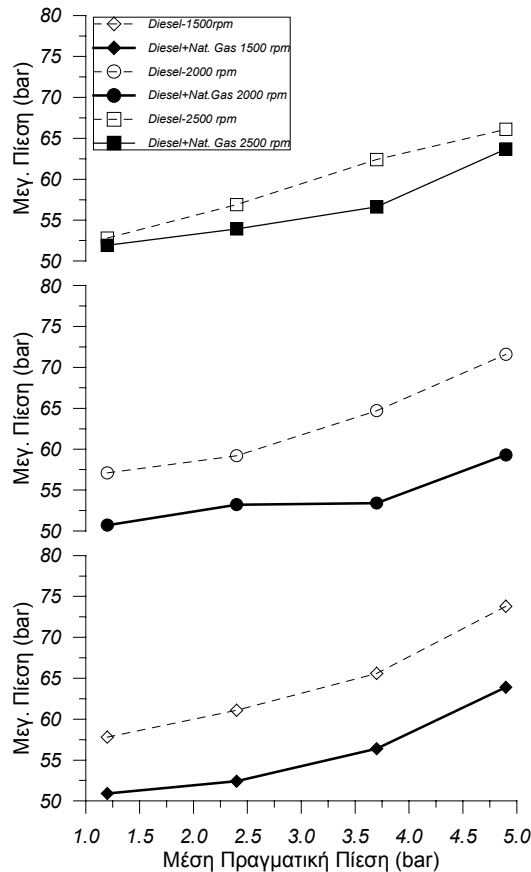
Η μέγιστη πίεση καύσης αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό λειτουργικό μέγεθος για ένα εμβολοφόρο κινητήρα [3,9]. Ένας ιδιαίτερος προβληματισμός, που σχετίζεται με τη χρήση του φυσικού αερίου ως κύρια ποσότητα καυσίμου σε κινητήρες Ντήζελ, οι οποίοι μετά από κατάλληλη τροποποίηση είναι δυνατόν να λειτουργούν υπό συνθήκες μεικτής καύσης, αφορά στις τιμές της μέγιστης πίεσης καύσης.

Για το λόγο αυτό στο Σχήμα 3, δίνεται η μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει του φορτίου του κινητήρα (μέση πραγματική πίεση) σε διάφορες ταχύτητες περιστροφής και για λειτουργία του κινητήρα υπό συνθήκες μεικτής καύσης Ντήζελ και φυσικού αερίου και υπό κλασσικές συνθήκες λειτουργίας (μόνο Ντήζελ).

Παρατηρώντας το Σχήμα 2 είναι προφανές ότι όχι μόνο δεν υπάρχει κίνδυνος από την ανάπτυξη υπερβολικών πιέσεων καύσης [3,9] κατά την λειτουργία του κινητήρα υπό συνθήκες μεικτής καύσης, αλλά αντίθετα οι τιμές της μέγιστης πίεσης καύσης με τη χρήση του φυσικού αερίου για όλες τις εξεταζόμενες συνθήκες είναι σαφώς μικρότερες των αντίστοιχων τιμών για λειτουργία του κινητήρα μόνο με καύσιμο Ντήζελ.

Η διαφορά αυτή στη μέγιστη πίεση καύσης αυξάνει με τη μείωση της ταχύτητας περιστροφής.

Συνεπώς η χρήση του φυσικού αερίου δεν εγκυμονεί κανένα κίνδυνο για την ασφαλή λειτουργία των μηχανικών μερών του κινητήρα.



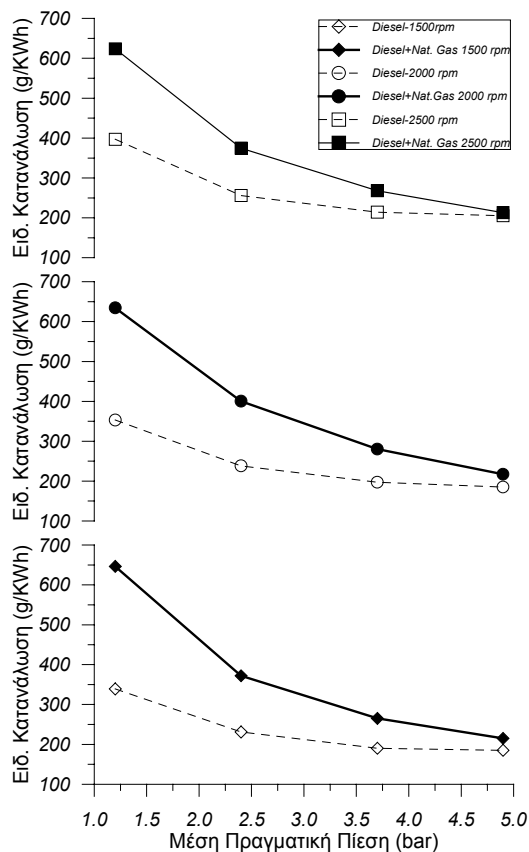
Σχήμα 2: Μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της μέσης πραγματικής πίεσης.
Figure 2 Variation of max. cylinder pressure as function of brake mean effective pressure.

5.2. Επίδραση της Χρήσης Φυσικού Αερίου στην Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου

Βασικό στόχο στη λειτουργία ενός εμβολοφόρου κινητήρα αποτελεί η επίτευξη της ελάχιστης δυνατής τιμής της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου με την παράλληλη όμως διατήρηση των εκπομπών ρύπων σε αποδεκτά όρια [3,9]. Στο Σχήμα 3 δίνεται η μεταβολή της ολικής (φυσικού αερίου και καυσίμου Νητζελ) ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει του φορτίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής και για λειτουργία του κινητήρα υπό συνθήκες μεικτής καύσης και υπό κλασσικές συνθήκες αντίστοιχα.

Από το Σχήμα 3 είναι εμφανές ότι οι τιμές της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου με τη χρήση της μεικτής καύσης είναι αυξημένες σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές υπό κλασσικές συνθήκες λειτουργίας. Ειδικότερα, στο χαμηλό φορτίο λειτουργίας η διαφορά στις τιμές της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου ανάμεσα στις συνθήκες μεικτής καύσης και κλασσικής λειτουργίας είναι σημαντική. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην κακή ποιότητα καύσης του φυσικού αερίου. Αντίθετα, στο υψηλό φορτίο η ποιότητα καύσης του

φυσικού αερίου βελτιώνεται σημαντικά γεγονός που οδηγεί στη σημαντική μείωση της διαφοράς των τιμών της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου για συνθήκες μεικτής καύσης και κλασσικές συνθήκες αντίστοιχα.



Σχήμα 3: Μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της μέσης πραγματικής πίεσης.
Figure 3: Variation of brake specific fuel consumption as function of brake mean effective pressure.

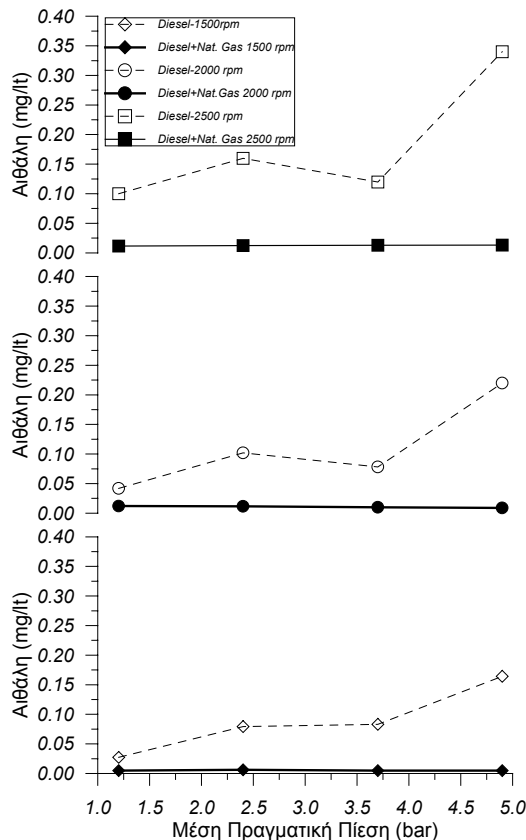
6. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ ΡΥΠΩΝ

Απώτερος σκοπός από τη χρήση της μεικτής καύσης είναι η δυνατότητα περιορισμού των εκπομπών ρύπων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) και αιθάλης, αφού ο ταυτόχρονος περιορισμός τους είναι ιδιαίτερα δύσκολος στους κινητήρες Ντίζελ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε παράμετρος, που μειώνει τον ένα ρύπο προκαλεί αντίστοιχα αύξηση του άλλου. Δηλαδή, οι δύο παραπάνω αναφερόμενοι ρύποι επηρεάζονται κατά αντίστροφο τρόπο [3,9]. Προσοχή πρέπει να δοθεί και στις εκπομπές ακαύστων υδρογονανθράκων (HC) και μονοξειδίου του άνθρακα (CO). Οι τελευταίοι δύο ρύποι στην περίπτωση των κινητήρων Ντίζελ, οι οποίοι λειτουργούν υπό κλασσικές συνθήκες λειτουργίας, είναι ιδιαίτερα χαμηλοί.

6.1. Επίδραση της Χρήσης Φυσικού Αερίου στην Εκπομπή Αιθάλης

Οι κινητήρες Ντίζελ αποτελούν τη σημαντικότερη πηγή σχηματισμού και εκπομπής σωματιδιακών εκπομπών (αιθάλη) [9-11]. Στο Σχήμα 4 δίνεται η μεταβολή της εκπεμπόμενης αιθάλης συναρτήσει του φορτίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής και για συνθήκες μεικτής καύσης και κλασσικής λειτουργίας αντίστοιχα.

Παρατηρούμε ότι η επίδραση της μεικτής καύσης είναι καταλυτική στην εκπομπή αιθάλης καθώς παρατηρείται σημαντικότερη μείωση της συγκέντρωσης της στα καυσαέρια του κινητήρα. Το γεγονός αυτό παρατηρείται σε όλες τις εξεταζόμενες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Σε πολλές περιπτώσεις η μείωση αυτή μπορεί να φθάσει έως και το 95% γεγονός που ουσιαστικά οδηγεί σε εκμηδενισμό την εκπεμπόμενη αιθάλη. Πρόκειται για καθοριστική μείωση, η οποία μπορεί να συμβάλει στην επίλυση του προβλήματος των σωματιδιακών εκπομπών στις μεγαλουπόλεις όσον αφορά βέβαια στη λειτουργία των υπάρχοντων κινητήρων Ντίζελ.

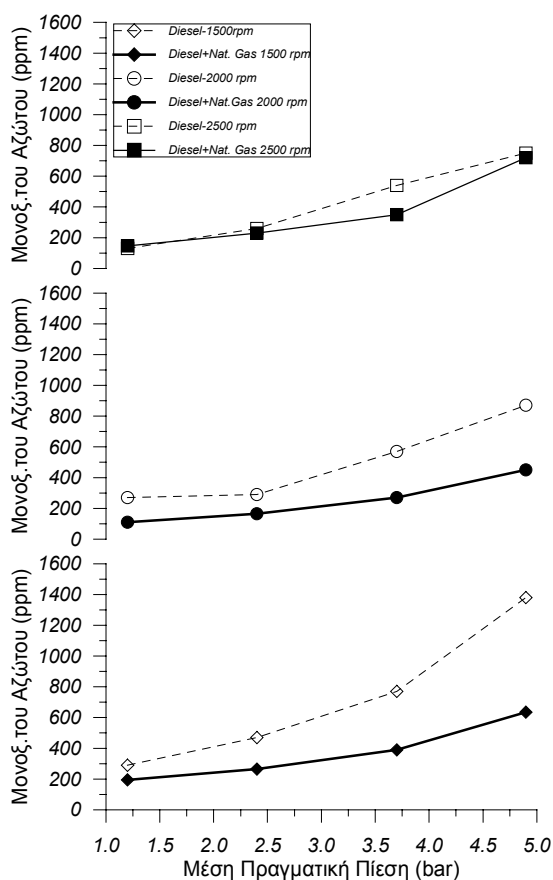


Σχήμα 4: Μεταβολή της εκπεμπόμενης αιθάλης συναρτήσει της μέσης πραγματικής πίεσης.
Figure 4: Variation of soot emissions as function of brake mean effective pressure.

6.2. Επίδραση της Χρήσης Φυσικού Αερίου στις Εκπομπές NO_x

Ο δεύτερος σημαντικός ρύπος είναι τα οξειδία του αζώτου (NO_x). Η συγκέντρωσή τους στα καυσαέρια της εξαγωγής των κινητήρων Ντήζελ είναι ιδιαίτερα υψηλή και μεταβάλλεται κατά αντίθετο τρόπο, σε σχέση με τη μεταβολή των εκπομπών αιθάλης [9-11]. Στο Σχήμα 5 δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης μονοξειδίου του αζώτου συναρτήσει του φορτίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής για συνθήκες μεικτής καύσης και κλασικής λειτουργίας.

Παρατηρώντας το Σχήμα 5, βλέπουμε ότι η χρήση του φυσικού αερίου ως κύριου καυσίμου σε έναν κινητήρα Ντήζελ, ο οποίος λειτουργεί υπό συνθήκες μεικτής καύσης, συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των εκπομπών NO . Η μείωση αυτή σε ορισμένες περιπτώσεις (χαμηλή ταχύτητα περιστροφής και υψηλό φορτίο λειτουργίας) φθάνει έως και το 60% σε σχέση πάντα με τις αντίστοιχες εκπομπές NO υπό κλασσικές συνθήκες λειτουργίας. Η μείωση αυτή συνοδεύεται από παράλληλη μείωση, σε ακόμη μεγαλύτερο ποσοστό, των εκπομπών αιθάλης.

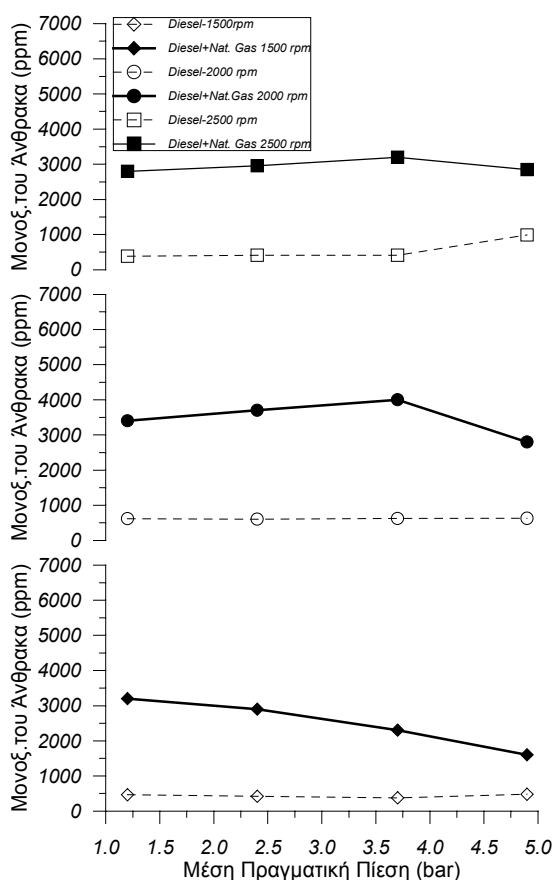


Σχήμα 5: Μεταβολή της συγκέντρωσης μονοξειδίου του αζώτου συναρτήσει της μέσης πραγματικής πίεσης.
Figure 5: Variation of nitric oxide as function of brake mean effective pressure.

6.3. Επίδραση της Χρήσης Φυσικού Αερίου στην Εκπομπή CO

Το μονοξειδίο του άνθρακα είναι ένας ρύπος ο οποίος απαντάται στα καυσαέρια του κινητήρα Ντήζελ σε μικρά ποσοστά [3,9].

Στο Σχήμα 6 δίνεται η μεταβολή του CO συναρτήσει του φορτίου του κινητήρα για διάφορες ταχύτητες περιστροφής και για λειτουργία με συνθήκες μεικτής καύσης και αμιγώς Ντήζελ. Παρατηρώντας το Σχήμα 6, βλέπουμε ότι η χρήση του φυσικού αερίου ως κύριου καυσίμου σε έναν κινητήρα Ντήζελ, ο οποίος λειτουργεί υπό συνθήκες μεικτής καύσης, συμβάλλει στην αύξηση των εκπομπών του CO σε σχέση με αυτές που παρατηρούνται υπό κλασσικές συνθήκες λειτουργίας. Στο υψηλό φορτίο λειτουργίας παρατηρείται μια τάση μείωσης των εκπομπών CO για λειτουργία υπό συνθήκες μεικτής καύσης. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στη βελτίωση της ποιότητας καύσης του φυσικού αερίου. Και σ' αυτή όμως την περίπτωση, οι τιμές του CO εξακολουθούν να είναι υψηλότερες σε σχέση με αυτές για λειτουργία του κινητήρα υπό κλασσικές συνθήκες. Αυτό αποτελεί ένα μειονέκτημα της μεικτής καύσης.

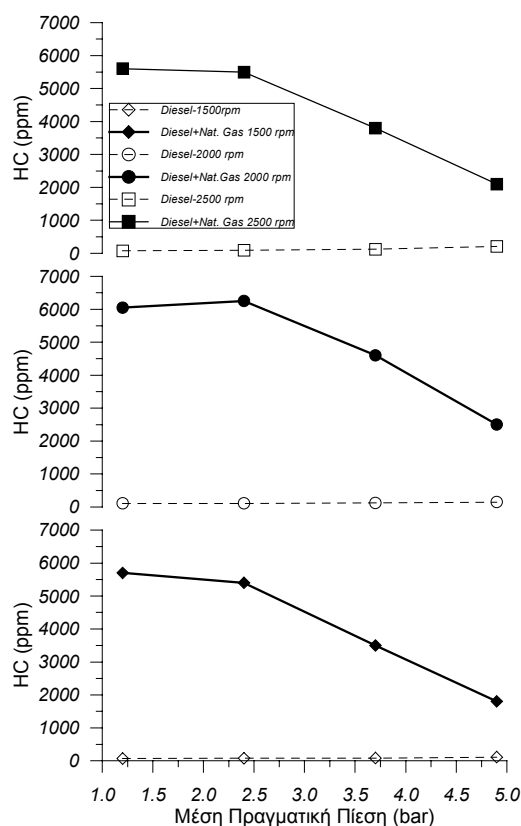


Σχήμα 6: Μεταβολή της συγκέντρωσης Μονοξειδίου του άνθρακα συναρτήσει της μέσης πραγματικής πίεσης.
Figure 6: Variation of carbon monoxide as function of brake mean effective pressure.

6.4. Επίδραση της Χρήσης Φυσικού Αερίου στις Εκπομπές Υδρογονανθράκων (HC)

Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες αποτελούν ένα ρύπο ο οποίος απαντάται στα καυσαέρια του κινητήρα Ντήζελ. Για λειτουργία του κινητήρα μόνο με καύσιμο Ντήζελ, οι τιμές των HC βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα [3,9].

Στο Σχήμα 7, δίνεται η μεταβολή των εκπεμπόμενων HC συναρτήσει του φορτίου του κινητήρα για διάφορες ταχύτητες περιστροφής και για λειτουργία υπό συνθήκες μεικτής καύσης και υπό κλασσικές συνθήκες λειτουργίας.



Σχήμα 7: Μεταβολή της συγκέντρωσης άκαυστων υδρογονανθράκων συναρτήσει της μέσης πραγματικής πίεσης.

Figure 7: Variation of unburnt hydrocarbons as function of brake mean effective pressure.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα που δίνονται στο Σχήμα 7, βλέπουμε ότι η χρήση του φυσικού αερίου ως κύριου καυσίμου σε κινητήρα Ντήζελ, ο οποίος λειτουργεί με συνθήκες μεικτής καύσης, συμβάλλει στην αύξηση των εκπομπών των HC σε σχέση με αυτές για αμιγώς λειτουργία Ντήζελ. Στο υψηλό φορτίο λειτουργίας του κινητήρα παρατηρείται μείωση της διαφοράς των τιμών των HC μεταξύ της αμιγούς λειτουργίας Ντήζελ και αυτών της μεικτής καύσης λόγω της βελτίωσης της ποιότητας καύσης του φυσικού αερίου.

Το γεγονός αυτό είναι αρκετά ενθαρυντικό εάν λάβουμε υπ' όψιν μας και την συμπεριφορά των υπόλοιπων ρύπων στις υπ' όψιν συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη πειραματική μελέτη προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση, που έχει η χρήση του φυσικού αερίου ως κύρια ποσότητα καυσίμου, στις εκπομπές ρύπων αλλά και στη λειτουργική συμπεριφορά ενός υπάρχοντα κινητήρα Ντήζελ. Ο κινητήρας αυτός έχει κατάλληλα τροποποιηθεί προκειμένου να είναι σε θέση να λειτουργήσει υπό συνθήκες μεικτής καύσης φυσικού αερίου και καυσίμου Ντήζελ.

Από τα πειραματικά αποτελέσματα προκύπτει ότι για όλες τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα (ταχύτητα περιστροφής και φορτίο) η χρήση του φυσικού αερίου οδηγεί σε μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή, όταν ο κινητήρας λειτουργεί αποκλειστικά με καύσιμο Ντήζελ. Αυτό έχει ως συνέπεια να μην υφίσταται κίνδυνος για τα διάφορα μηχανικά μέρη του κινητήρα.

Όμως, η λειτουργία ενός κινητήρα Ντήζελ υπό συνθήκες μεικτής καύσης έχει ως συνέπεια την αύξηση των τιμών της ολικής ειδικής κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές υπό κλασσικές συνθήκες λειτουργίας. Όμως, με την αύξηση του φορτίου η διαφορά αυτή μειώνεται και στο πλήρες φορτίο οι δύο τιμές σχεδόν συγκλίνουν.

Όσον αφορά στις εκπομπές αερίων ρύπων, η μεικτή καύση έχει θετική επίδραση (μείωση έως και 60%) στην εκπομπή οξειδίων του αζώτου σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές υπό κλασσική λειτουργία. Αντίθετα, η μεικτή καύση επηρεάζει αρνητικά (αύξηση) τις εκπομπές CO και HC όπου παρατηρείται σημαντική διαφορά σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές για κλασσική λειτουργία. Όμως και για αυτούς τους δύο ρύπους η διαφορά αυτή μειώνεται, όταν ο κινητήρας λειτουργεί στο υψηλό φορτίο.

Εκεί όμως που η μεικτή καύση φαίνεται να έχει καταλυτική επίδραση είναι οι σωματιδιακές εκπομπές (αιθάλη), οι οποίες για όλες τις συνθήκες που εξετάστηκαν μειώθηκαν σημαντικά (έως και 95%) σε σχέση με τις αντίστοιχες εκπομπές υπό κλασσική λειτουργία του κινητήρα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη θετική επίδραση στην εκπομπή NO_x

μας οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι η χρήση του φυσικού αερίου ως κύριου καυσίμου σε ήδη υπάρχοντες κινητήρες Ντήζελ αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνική ελέγχου των σωματιδιακών εκπομπών ταυτόχρονα και των εκπομπών οξειδίων του αζώτου. Τα αρνητικά αποτελέσματα της μεικτής καύσης μπορούν να περιοριστούν σημαντικά εάν γίνουν κατάλληλες τροποποιήσεις στο χρονισμό έγχυσης του υγρού καυσίμου Ντήζελ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. G.A. Karim, A Review of Combustion Processes in the Dual Fuel Engine–The Gas Diesel Engine, **Progr. Energy Combustion Sci., Vol. 6**, 1980, pp. 277-285.
2. Π. Κωτσιόπουλος, Μεικτή Καύση σε Κινητήρες Εσωτερικής Καύσης, **Διδακτορική Διατριβή, Τμ. Μηχ. Μηχ. ΕΜΠ**, 1989.
3. E. F. Obert, Internal Combustion Engines and Air Pollution, **Intext. Educ. Publ., New York**, 1973.
4. P. Mtui, P. Hill, Natural Gas Fuelling of Diesel Engines, **Automotive Engineering**, 1988.
5. Το Φυσικό Αέριο και οι Χρήσεις του, **Δημόσια Επιχείρηση Αερίου**, 1997.
6. Φυσικό Αέριο – Βασικές Αρχές Καύσης, **Δημόσια Επιχείρηση Αερίου**, 1998.
7. D. T. Hountalas, R. G. Papagiannakis, Development of a Simulation Model for Direct Injection Dual Fuel Diesel – Natural Gas Engines, **SAE Journal of Engines, Sect. 3**, 2000, pp. 373-383
8. R. G. Papagiannakis and D. T. Hountalas, "Experimental Investigation Concerning the Effect of Natural Gas Percentage on Performance and Emissions of a DI Dual Fuel Diesel Engine", **Int. Journal Applied Thermal Engineering, Vol. 23**, 2003, pp. 353-365
9. J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, **McGraw–Hill Book Co.,, New York**, 1988.
10. G. A. Lavoie, J.B. Heywood, J.C. Keck, Experimental and theoretical study of nitric oxide formation in internal combustion engines, **Combust Sci. and Technol, Vol. 1**, 1970, pp. 313-326.

-
11. D. A. Kouremenos, C. D. Rakopoulos, D. T. Hountalas, Experimental Investigation of the Performance and Exhaust Emissions of a Swirl Chamber Diesel Engine Using JP-8 Aviation Fuel, **International Journal of Energy Research**, Vol. 21, 1997.