

«ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ ΙΙ - ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΤΕΙ (ΕΕΟΤ)»

1.1.1.1 **ΙΔΡΥΜΑ (Φορέας Υλοποίησης) :** ΤΕΙ Σερρών

ΤΜΗΜΑ: Μηχανολογίας

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: Αναστάσιος Μωυσιάδης

1.1.1.2 **ΘΕΜΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ:** **Μελέτη της επίδρασης ειδικών λιπαντικών και καυσίμων στις εκπομπές και τις επιδόσεις πετρελαιοκίνητων οχημάτων.**

2 Πακέτα Εργασίας 4 & 5

Μελέτη των επιπτώσεων του λιπαντικού και του καυσίμου στα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά της καύσης - Έκθεση της 2^{ης} φάσης.

Γεώργιος Φονταράς, Παναγιώτης Πιστικόπουλος, Θεόδωρος Τζαμκιώζης,

Μαρίνα Κουσουλίδου, Ζήσης Σαμαράς, Γεώργιος Μήλτσιος, Αναστάσιος Μωυσιάδης

Ιούλιος 2007

Περίληψη

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος ΕΠΕΑΕΚ Αρχιμήδης ΙΙ. Στόχος της ήταν η θεωρητική και πειραματική διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης του βαμβακελαίου και των μιγμάτων του με συμβατικό ντίζελ ως καυσίμων κινητήρων έναυσης με συμπίεση (κινητήρων diesel) καθώς και η αξιολόγηση της επίδρασης ειδικών συνθετικών λιπαντικών στις εκπομπές ρύπων και την απόδοση του οχήματος. Το παρόν τεύχος περιγράφει την εξέλιξη που έχει πραγματοποιηθεί στα πακέτα εργασίας 4 και 5 (Π.Ε. 4, 5) καθώς και κάποιες συμπληρωματικές εργασίες.

Στα πλαίσια του Προγράμματος ειδικό συνθετικό λιπαντικό χαμηλής τριβής καθώς και ειδικό καύσιμο (μίγμα βαμβακελαίου – ντίζελ 10% σε βαμβακέλαιο) εφαρμόστηκαν σε κινητήρα πέδης. Για την αξιολόγηση της επίδρασής τους στη λειτουργία του κινητήρα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις εκπομπών αέριων ρύπων, κατανάλωσης καυσίμου καθώς και ισχύος του κινητήρα. Στο παρόν κείμενο παρατίθενται στοιχεία σχετικά με τις μεθόδους που ακολουθήθηκαν. Ακολουθεί σύντομη ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων των μετρήσεων.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	4
2	Δομή Προγράμματος.....	5
3	Μετρήσεις	6
3.1	Μεθοδολογία	6
3.2	Νομοθετημένες εκπομπές και κατανάλωση καυσίμου	9
3.2.1	Μετρήσεις πειραματικών καυσίμων	9
3.2.2	Μετρήσεις ειδικών λιπαντικών	18
3.3	Επεξεργασία – Σχολιασμός αποτελεσμάτων	28
4	Σύνοψη - Συμπεράσματα	30

3 Εισαγωγή

Το θέμα της παρούσης έκθεσης είναι η αξιολόγηση του βαμβακελαίου ως καυσίμου κινητήρων έναυσης με συμπίεση (κινητήρων Diesel), η αξιολόγηση συνθετικών λιπαντικών χαμηλής τριβής καθώς και του συνδυασμένου αποτελέσματός τους. Για την επίτευξη των παραπάνω πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε κινητήρα πέδης για την αξιολόγηση της επίδρασης των καυσίμων και των λιπαντικών στην κατανάλωση καυσίμου και στις εκπομπές ρύπων του κινητήρα. Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Αρχιμήδης ΙΙ με τίτλο «Μελέτη της επίδρασης ειδικών λιπαντικών και καυσίμων στις εκπομπές και τις επιδόσεις πετρελαιοκίνητων οχημάτων» με χρηματοδότηση από το Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων και την ΕΕ.

Πρέπει να επισημανθεί πως η πρωτοτυπία αλλά και η επιστημονική αρτιότητα της παρούσας προσπάθειας πιστοποιούνται και από την αποδοχή της εργασίας στο **διεθνές συνέδριο SAE 2007 World Automotive Congress** το οποίο θα λάβει χώρα στη Νάπολι της Ιταλίας καθώς και την δημοσίευση των αποτελεσμάτων αυτής στα πρακτικά του συνεδρίου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μετρήσεις αναλυτικά και παρατίθενται στοιχεία σχετικά με τις μεθόδους που ακολουθήθηκαν. Ακολουθεί σύντομη ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων των μετρήσεων.

4 Δομή Προγράμματος

Η μελέτη αυτή αποτελεί την δεύτερη φάση του Προγράμματος η οποία ακολουθεί την πρώτη φάση. Τα αποτελέσματα της πρώτης φάσης παρουσιάστηκαν στις εκθέσεις των Π.Ε. 1, 2 και 3. Στόχος είναι η εμβάθυνση στις δυνατότητες χρήσης βαμβακελαίου ως καυσίμου κινητήρων ντίζελ αλλά και την επίδραση συνθετικών λιπαντικών χαμηλής τριβής στη λειτουργία και τις εκπομπές ρύπων κινητήρων. Στην πρώτη φάση του Προγράμματος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις τόσο των ιδιοτήτων των πειραματικών καυσίμων όσο και των επιπτώσεών τους στις εκπομπές κινητήρα οχημάτων. Τα βασικά συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν κατά την πρώτη φάση του Προγράμματος αποτελούν τη βάση της συνέχειας που παρουσιάζεται στο παρόν κείμενο και συνοψίζονται στα εξής:

- Μίγματα ντίζελ – βαμβακελαίου περιεκτικότητας έως 10% σε βαμβακέλαιο πληρούν τις νομοθετημένες προδιαγραφές για καύσιμα κινητήρων ντίζελ.
- Τα μίγματα ντίζελ βαμβακελαίου δεν επηρεάζουν την λειτουργία και τις εκπομπές ρύπων των οχημάτων.
- Τα συνθετικά λιπαντικά χαμηλού ιξώδους έχουν θετική επίδραση στις εκπομπές CO₂ των οχημάτων και δεν επηρεάζουν τους υπόλοιπους ρύπους.

Παράλληλα με την εμβάθυνση στη χρήση των πειραματικών καυσίμων, και σύμφωνα με τις δραστηριότητες που περιγράφονται στο τεύχος υποβολής Πρότασης του Υποέργου, η έρευνα επεκτάθηκε στην μελέτη σύγχρονων συνθετικών λιπαντικών χαμηλού ιξώδους και τη διερεύνηση της δυνατότητάς τους να περιορίσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα των οχημάτων αυξάνοντας την απόδοση του κινητήρα. Η επιλογή των λιπαντικών αυτών έγινε με γνώμονα την βαρύνουσα σημασία που έχει αποκτήσει ο περιορισμός της κατανάλωσης καυσίμου αλλά και των εκπομπών CO₂ σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο. Έτσι τόσο τα εξεταζόμενα καύσιμα όσο και τα λιπαντικά έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό την δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου και κατ' επέκταση εκπομπών CO₂ και γι αυτό η συνδυασμένη μελέτη τους έχει μεγάλο ενδιαφέρον. Έχοντας υπ όψιν τα παραπάνω καταρτίσθηκε το ακόλουθο πρόγραμμα μετρήσεων σε κινητήρα πέδης τύπου PSA DW12A common rail:

- Πραγματοποίηση μετρήσεων αερίων εκπομπών, κατανάλωσης καυσίμου και επιδόσεων αναφοράς
 - Επιλογή μίγματος ντίζελ-βαμβακέλαιο περιεκτικότητας 90%-10% v/v αντίστοιχα, ροντάρισμα κινητήρα
 - Πραγματοποίηση μετρήσεων αερίων εκπομπών, κατανάλωσης καυσίμου και πίεσης στον κύλινδρο υπό πειραματικό καύσιμο
 - Επιλογή συνθετικού λιπαντικού, ροντάρισμα κινητήρα
 - Πραγματοποίηση μετρήσεων αερίων εκπομπών, κατανάλωσης καυσίμου και πίεσης στον κύλινδρο υπό συνθετικό λιπαντικό
-

5 Μετρήσεις

Με στόχο την ανάλυση της επίδρασης του μίγματος βαμβακέλαιου-ντίζελ στη λειτουργία κινητήρων Diesel, πραγματοποιήθηκε μία σειρά μετρήσεων σε κινητήρα πέδης σύμφωνα με τα όσα προδιαγράφηκαν στο τεύχος υποβολής Πρότασης του Υποέργου.

Η εφαρμογή των μιγμάτων στα πειραματικά οχήματα κατά την πρώτη φάση της μελέτης έδειξε ότι είναι δυνατή η χρήση μιγμάτων βαμβακελαίου-ντίζελ και συγκεκριμένα ότι η βέλτιστη αναλογία ανάμιξης είναι 10% βαμβακέλαιο και 90% ντίζελ. Έτσι κατά την ανάλυση στον κινητήρα πέδης χρησιμοποιήθηκε μίγμα 10%, χωρίς πρόσθετα, ώστε να καταστεί δυνατή η μελέτη της επίδρασης του βαμβακελαίου στη λειτουργία του κινητήρα και τις διεργασίες καύσης. Επίσης, δεδομένου ότι τα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου υψηλής πίεσης εφαρμόζονται πλέον σχεδόν σε όλα τα επιβατικά πετρελαιοκίνητα οχήματα και για λόγους συγκρισιμότητας με τα αποτελέσματα του δεύτερου πειραματικού οχήματος, οι μετρήσεις στη φάση αυτή διεξήχθησαν σε κινητήρα common rail. Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε παρέχει τη δυνατότητα ενός πιο ακριβούς προσδιορισμού της επίδρασης του μίγματος βαμβακελαίου-ντίζελ στις εκπομπές αέριων ρύπων και στην κατανάλωση καυσίμου.

Παράλληλα με το πειραματικό καύσιμο, μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν και για ένα συνθετικό λιπαντικό χαμηλού ιξώδους σε αντιπαραβολή με το συμβατικό ορυκτέλαιο αναφοράς. Σημειώνεται ότι η χρήση τέτοιων λιπαντικών χρήζει ιδιαίτερης προσοχής διότι μπορεί να συμβάλλει στον περιορισμό των εκπομπών θερμοκηπίου από οχήματα, σε σχετικά χαμηλό κόστος αλλά και σύντομο χρονικό διάστημα, χωρίς την ανάγκη περαιτέρω μηχανικών παρεμβάσεων στον κινητήρα.

5.1 Μεθοδολογία

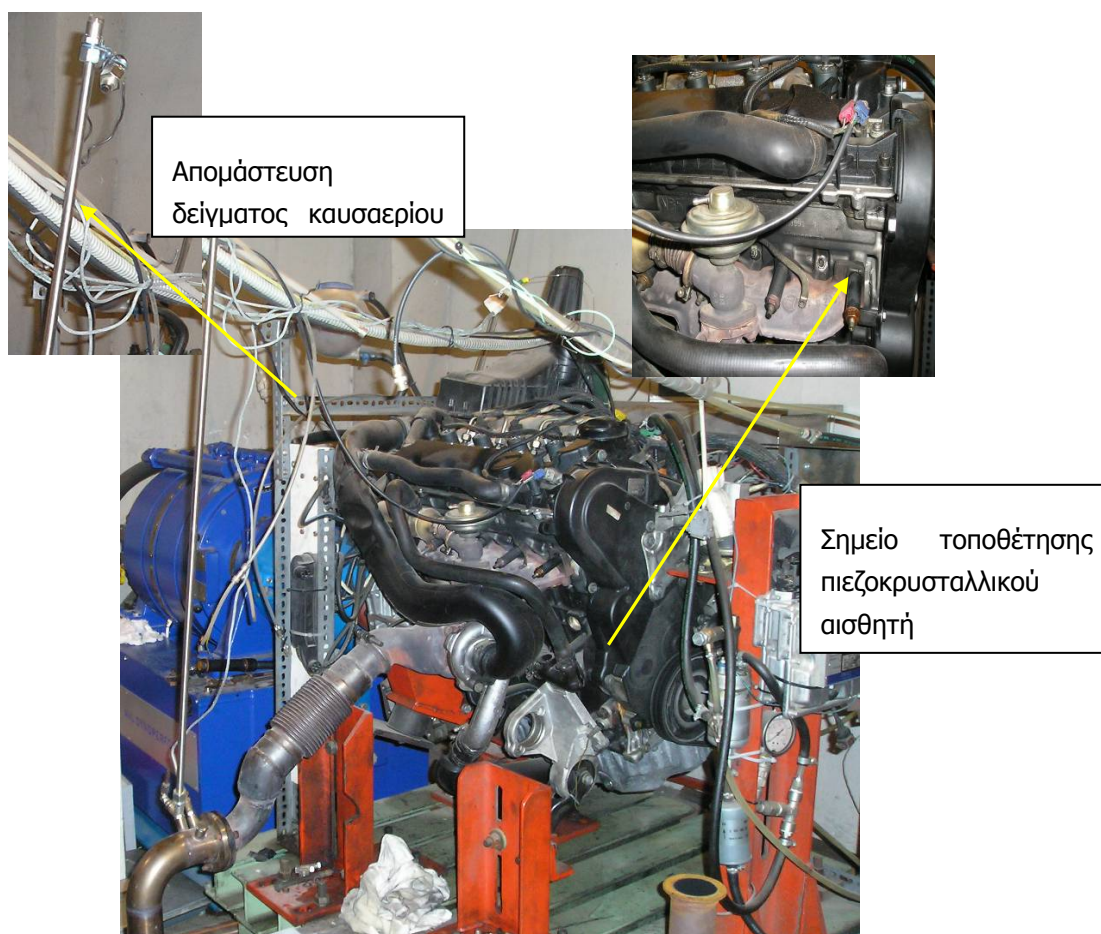
Οι μετρήσεις διεξήχθησαν σε έναν κινητήρα PSA DW12A TED 4, όγκου εμβολισμού 2.2L, με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον Πίνακα (Πίνακας 5-1). Πρόκειται για κινητήρα ελαφρών οχημάτων, common rail, απευθείας έγχυσης, με υπερπληρωτή, ενδιάμεσο ψύκτη αέρα (intercooler) και εσωτερική ανακυκλοφορία καυσαερίου (EGR). Πρέπει να αναφερθεί ότι, για λόγους συγκρισιμότητας των αποτελεσμάτων με αυτά των μετρήσεων που έγιναν στο Common Rail όχημα, δεν έγινε καμία παρέμβαση στη λειτουργία του EGR του κινητήρα. Ο κινητήρας ήταν τοποθετημένος σε πέδη δινορευμάτων. Η πέδη είναι κατασκευής AVL, τύπου 350, ισχύος 350 kW, (Εικόνα 5-1).

Οι μετρήσεις περιελάμβαναν τις στροφές του κινητήρα, τη ροπή στρέψης, την παροχή καυσίμου, τη ροή του αέρα και τους νομοθετημένους ρύπους για διάφορα σημεία λειτουργίας του κινητήρα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5-2

Για τη μέτρηση των συγκεντρώσεων των μετρούμενων αέριων ρύπων στο καυσαέριο του κινητήρα, χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλοι αναλυτές καυσαερίου. Αναλυτικότερα, για τη μέτρηση των εκπομπών, χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω εξοπλισμός:

- CO₂ και CO: NDIR
- HC: FID
- NO_x: CLD
- O₂: παραμαγνητικός μετρητής οξυγόνου
- PM: AVL 415S Variable Sampling Smoke meter
- Η κατανάλωση του καυσίμου μετρήθηκε άμεσα με τη χρήση ζυγού υψηλής ακρίβειας
- Η πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου μετρήθηκε με τον πιεζοκρυσταλλικό αισθητή Kistler τύπου 6056^A

Η πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου καταγράφηκε σε κάθε σημείο λειτουργίας με πιεζοκρυσταλλικό αισθητή. Η θέση του αισθητή στον κινητήρα παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα του σήματος πίεσης. Γενικά ο αισθητής δεν πρέπει να επηρεάζει τη ροή των ρευστών μέσα στον κύλινδρο αλλά και το λαμβανόμενο σήμα να μην επηρεάζεται από τη ροή των ρευστών. Επίσης, ο αισθητής πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο έμβολο καθώς ο αυλός επικοινωνίας του αισθητή με τον κύλινδρο μπορεί να αποτελέσει γεννήτρια έντονων θορύβων.



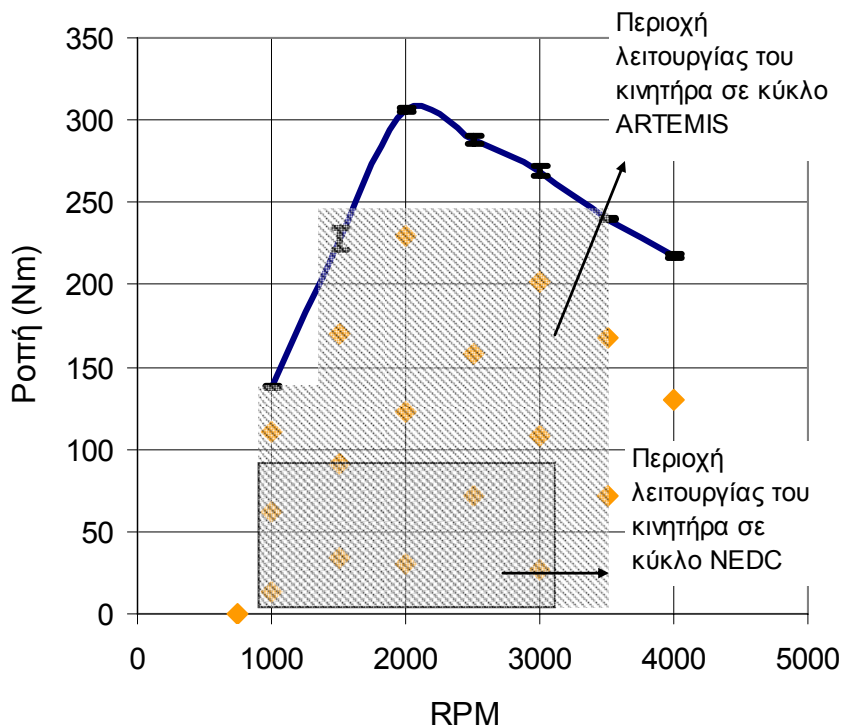
Εικόνα 5-1: Πειραματική διάταξη

Πίνακας 5-1 Χαρακτηριστικά κινητήρα PSA DW12A TED4

Κυβισμός	2179 cm ³
Μέγιστη Ισχύς (@4000 rpm)	96 kW
Μέγιστη Ροπή (@ 2100 rpm)	310 Nm
Τύπος	Υπερπληρωτής
Αριθμός κυλίνδρων	4
Σχέση συμπίεσης	18
Σύστημα έγχυσης	Common Rail

Ο κινητήρας τροφοδοτήθηκε με μίγμα Diesel – βαμβακελαίου περιεκτικότητας 10% σε βαμβακέλαιο. Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες εκθέσεις, η περιεκτικότητα 10% είναι αυτή κατά την οποία πληρούνται όλες οι βασικές νομοθετημένες προδιαγραφές ως προς τις φυσικές ιδιότητες του καυσίμου.

Τα σημεία λειτουργίας του κινητήρα στα οποία έγινε μέτρηση επιλέχθηκαν ώστε να αντιστοιχούν κατά το βέλτιστο δυνατό βαθμό στα σημεία λειτουργίας κατά τους κύκλους οδήγησης που μελετήθηκαν. Η Εικόνα 5-2 δείχνει την περιοχή λειτουργίας του κινητήρα στην οποία ένα όχημα με όμοια χαρακτηριστικά, όπως αυτά του Renault-Laguna, λειτουργεί υπό συνθήκες κύκλων οδήγησης NEDC και Artemis. Τα σημεία λειτουργίας του κινητήρα στα οποία έγινε μέτρηση καλύπτουν όλη σχεδόν την περιοχή λειτουργίας των συγκεκριμένων κύκλων.



Εικόνα 5-2 Σχηματική περιγραφή των σημείων λειτουργίας του κινητήρα, καμπύλη μέγιστου φορτίου κινητήρα και περιοχή λειτουργίας των κύκλων οδήγησης

Το καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε για το πρώτο σετ μετρήσεων ήταν κανονικό ντίζελ (με 50rpm περιεκτικότητα σε θείο) ενώ για το δεύτερο σετ χρησιμοποιήθηκε μίγμα με 10% κατ' όγκο βαμβακέλαιο και 90% κανονικό ντίζελ. Για το τρίτο σετ μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε συμβατικό ντίζελ και συνθετικό λιπαντικό SAE5W30 αντί του συμβατικού λιπαντικού αναφοράς όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Έγιναν μετρήσεις για τον υπολογισμό των εκπομπών, της κατανάλωσης καυσίμου και της πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου.

Πίνακας 5-2 Λιπαντικά που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια του προγράμματος

Κινητήρας	Λιπαντικό αναφοράς		Πειραματικό λιπαντικό	
Κινητήρας Πέδης PSA DW12	SAE 20W50, API SG/CD	Meguin Motorenoel Turbo Spezial, Ορυκτέλαιο	SAE 5W30, API CF/SL, ACEA A3/B3/B5	Fuchs Titan Supersyn Συνθετικό Λιπαντικό Χαμηλής Κατανάλωσης

Για την προετοιμασία του κινητήρα, στο διάστημα μεταξύ των αλλαγών του καυσίμου και λιπαντικού, ο κινητήρας λειτουργούσε για 4 ώρες στις 2500 στροφές και σε φορτίο 100Nm. Η καμπύλη μέγιστου φορτίου μετρήθηκε σε όλες τις περιπτώσεις και παρουσίασε ελάχιστες διαφοροποιήσεις, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5-2.

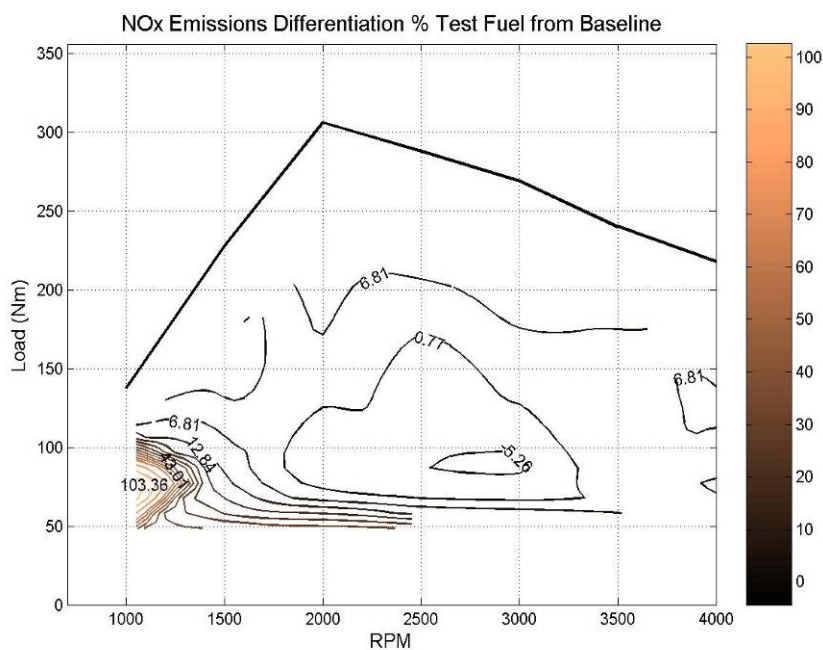
5.2 Νομοθετημένες εκπομπές και κατανάλωση καυσίμου

5.2.1 Μετρήσεις πειραματικών καυσίμων

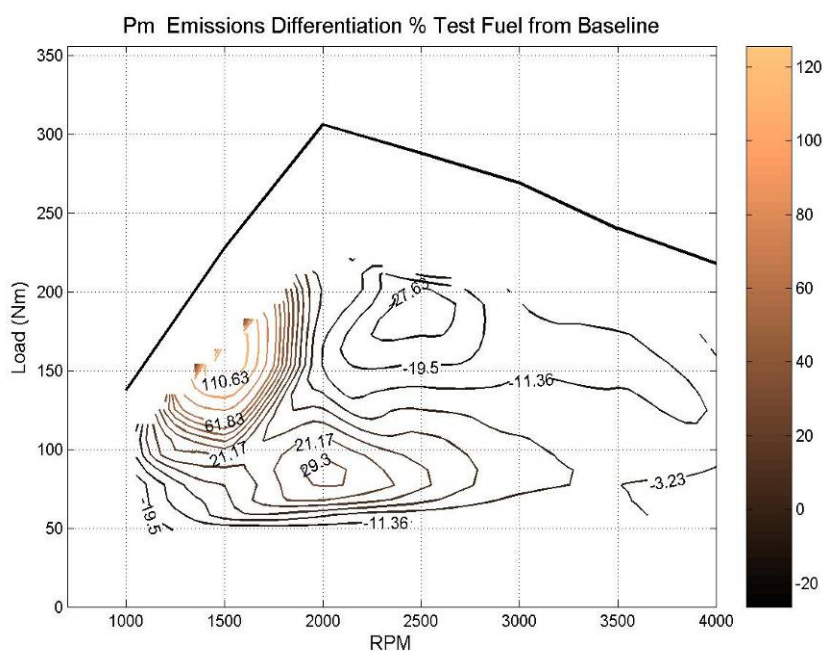
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκπομπών νομοθετημένων ρύπων στον κινητήρα πέδης υπό συμβατικό καύσιμο και μίγμα βαμβακελαίου 10%- ντίζελ 90% παρουσιάζονται στη συνέχεια (Πίνακας 5-3). Τα διάφορα σημεία λειτουργίας παρουσιάζονται με τη σειρά με την οποία έγιναν οι μετρήσεις.

Πίνακας 5-3 Αποτελέσματα μετρήσεων νομοθετημένων ρύπων στα διάφορα σημεία λειτουργίας του κινητήρα υπό συμβατικό καύσιμο και μίγμα βαμβακελαίου-ντίζελ

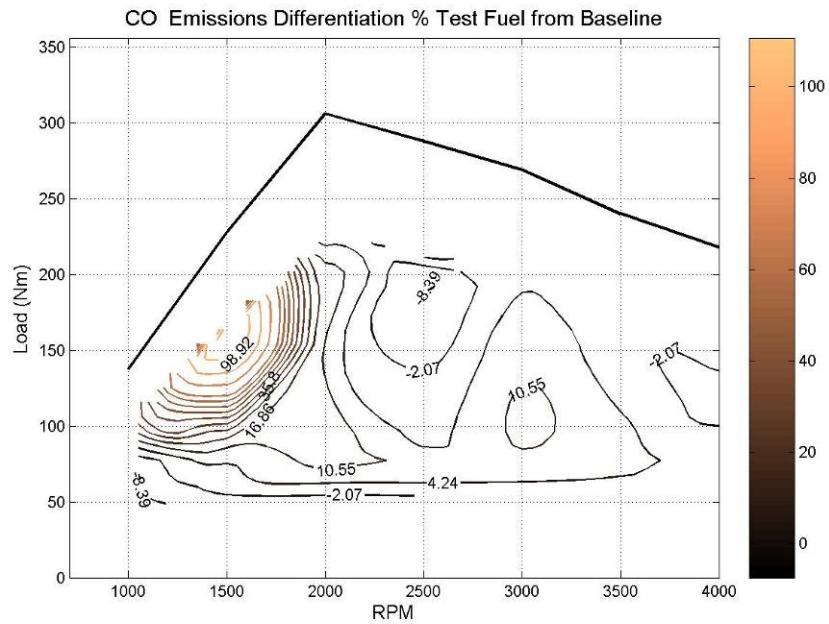
Σημείο Λειτουργίας		Μετρήσεις Αναφοράς					Μετρήσεις με Μίγμα Βαμβακέλαιο 10%				
Στροφές (RPM)	Ροπή (NM)	FC [g/kWh]	CO [g/kwh]	HC [g/kwh]	NOx [g/kwh]	Pm [g/kWh]	FC [g/kWh]	CO [g/kwh]	HC [g/kwh]	NOx [g/kwh]	Pm [g/kWh]
1000	39	304	5.29	0.59	0.35	0.87	313	4.52	0.74	0.52	0.56
4001	116	255	0.51	0.17	8.30	0.16	266	0.49	0.23	8.89	0.14
1000	113	260	0.56	0.09	9.20	0.13	261	0.65	0.12	9.67	0.09
4001	58	330	1.35	0.19	6.85	0.20	349	1.35	0.23	7.17	0.20
1000	75	305	1.75	0.18	2.09	0.68	404	1.62	0.20	4.49	0.48
4001	173	252	1.37	0.16	12.09	0.33	261	1.41	0.16	12.68	0.33
1501	84	268	1.84	0.12	1.38	0.79	286	2.00	0.13	1.56	0.86
752	7	1042	39.17	7.40	2.28	1.15	1345	48.95	14.48	2.43	1.50
3501	83	290	0.90	0.26	5.47	0.12	301	0.96	0.40	5.69	0.12
1501	165	225	0.90	0.08	8.46	0.06	236	1.91	0.09	8.19	0.13
3501	166	234	0.34	0.09	10.66	0.09	239	0.34	0.13	11.30	0.08
2000	78	308	1.56	0.13	1.80	0.50	316	1.75	0.15	1.77	0.65
3001	201	223	0.41	0.09	9.41	0.06	236	0.42	0.09	10.41	0.05
3001	68	300	4.38	0.30	4.25	0.11	294	4.68	0.29	4.21	0.11
2000	230	233	1.48	0.09	9.87	0.05	237	1.39	0.06	11.11	0.04
2501	94	272	1.86	0.15	1.80	0.58	266	1.92	0.10	1.70	0.65
3001	136	238	0.54	0.11	6.53	0.06	245	0.59	0.08	6.66	0.06
2000	155	242	0.40	0.08	7.78	0.06	245	0.44	0.07	8.27	0.05
2501	190	221	0.36	0.07	7.90	0.04	219	0.33	0.05	8.15	0.03



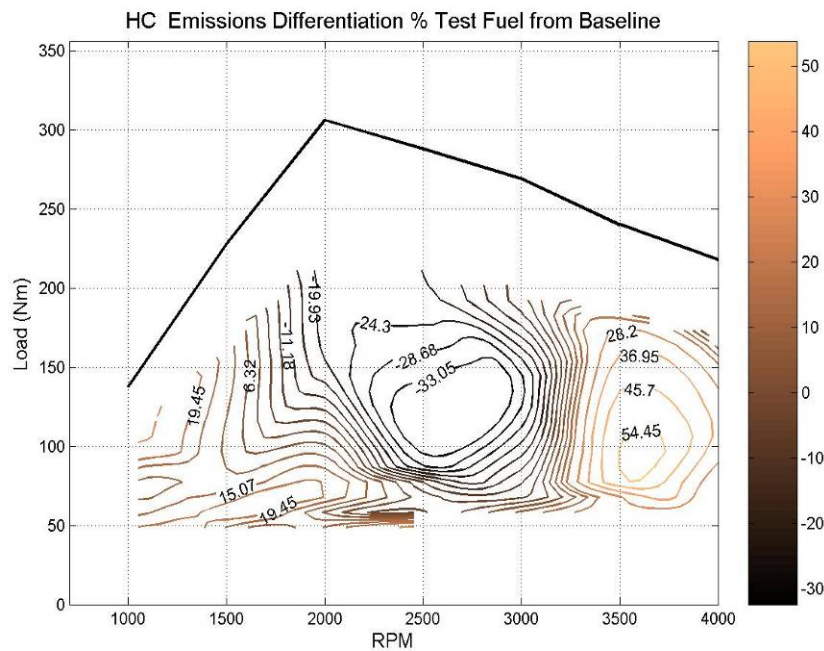
Εικόνα 5-5 Ποσοστιαίες διαφορές του υπό δοκιμή καυσίμου σε σχέση με το καύσιμο αναφοράς για εκπομπές NOx σε διαφορετικό φορτίο και στροφές κινητήρα



Εικόνα 5-6 Ποσοστιαίες διαφορές του υπό δοκιμή καυσίμου σε σχέση με το καύσιμο αναφοράς για εκπομπές PM σε διαφορετικό φορτίο και στροφές κινητήρα



Εικόνα 5-7 Ποσοστιαίες διαφορές του υπό δοκιμή καυσίμου σε σχέση με το καύσιμο αναφοράς για εκπομπές CO σε διαφορετικό φορτίο και στροφές κινητήρα



Εικόνα 5-8 Ποσοστιαίες διαφορές του υπό δοκιμή καυσίμου σε σχέση με το καύσιμο αναφοράς για εκπομπές HC σε διαφορετικό φορτίο και στροφές κινητήρα

Όπως φαίνεται από την Εικόνα 5-3, οι μεταβολές της κατανάλωσης καυσίμου, και κατά συνέπεια των εκπομπών CO₂, είναι περιορισμένες και μόνο σε ένα σημείο λειτουργίας παρουσιάζεται σημαντική αύξηση. Αντίστοιχη αύξηση παρατηρείται στο ίδιο σημείο και στη μεταβολή της παροχής αέρα λόγω διαφοροποίησης της λειτουργίας του EGR στον κινητήρα (Εικόνα 5-4). Έτσι μπορεί να ειπωθεί ότι στο συγκεκριμένο σημείο η μεταβολή οφείλεται κυρίως στη λειτουργία του EGR παρά στην παρουσία του βαμβακελαίου. Γενικά η ύπαρξη βαμβακελαίου παρουσιάζεται ουδέτερη ως προς τις εκπομπές CO₂.

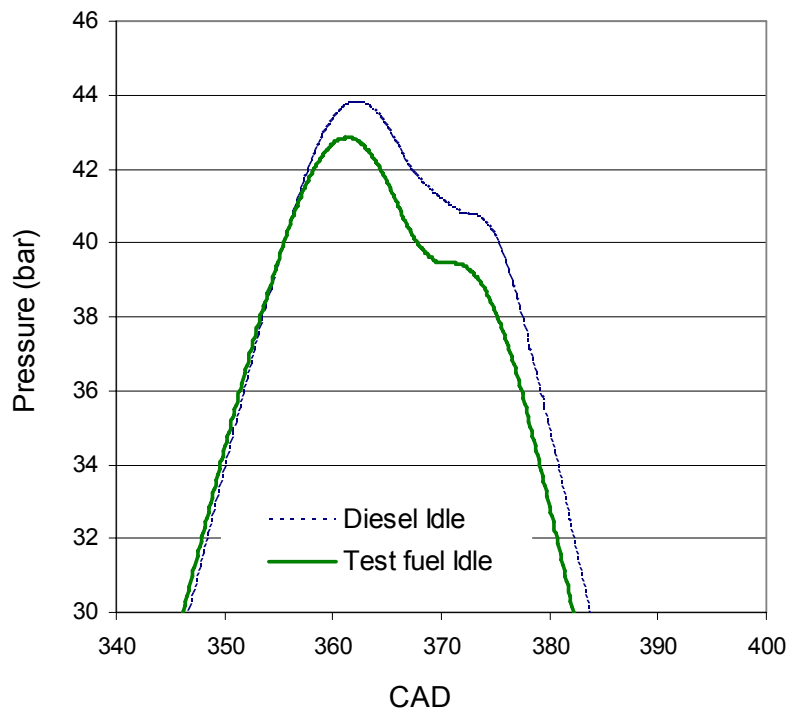
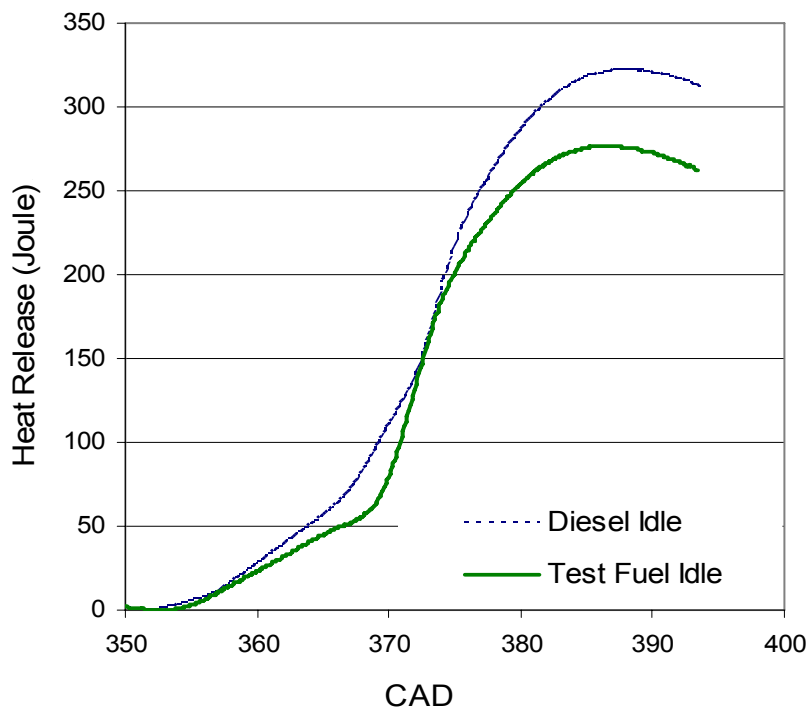
Με τη χρήση των πειραματικών καυσίμων στον κινητήρα, δεν παρουσιάστηκαν συστηματικές τάσεις αύξησης ή μείωσης των εκπομπών αερίων ρύπων. Οι μεταβολές των εκπομπών NO_x (Εικόνα 5-5) ακολουθούν, όπως ήταν αναμενόμενο, τις μεταβολές της παροχής αέρα με μικρές τις περισσότερες φορές διακυμάνσεις. Οι εκπομπές σωματιδιακής μάζας παρουσιάζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις με αυξήσεις και μειώσεις της τάξης του ±30% σε διαφορετικά σημεία λειτουργίας του κινητήρα (Εικόνα 5-6). Σε ένα μεμονωμένο σημείο παρουσιάζεται διπλασιασμός της εκπεμπόμενης μάζας, γεγονός το οποίο όμως δεν θα μπορούσε με ασφάλεια να αποδοθεί στην παρουσία του βαμβακελαίου. Οι εκπομπές CO (Εικόνα 5-7) κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα για όλα σχεδόν τα σημεία λειτουργίας του κινητήρα, με εξαίρεση το σημείο λειτουργίας 1500RPM/160Nm, όπου παρουσιάζεται ένα μεμονωμένο επεισόδιο αύξησης των εκπομπών CO. Οι εκπομπές των HC κυμαίνονται μεταξύ -35% και +55% για διαφορετικά σημεία λειτουργίας. Όσον αφορά τους ρύπους CO και HC, οι διαφορές που παρατηρούνται θεωρούνται μη σημαντικές σε σχέση με την επίδραση που έχει ο οξειδωτικός καταλύτης των οχημάτων στους συγκεκριμένους ρύπους.

Ένα σημείο λειτουργίας το οποίο μελετήθηκε ξεχωριστά από τα υπόλοιπα είναι κι αυτό στο οποίο ο κινητήρας λειτουργεί σε ρελαντί. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας σ' αυτό το σημείο παρατηρήθηκαν αυξήσεις σε όλες τις μετρούμενες εκπομπές (Πίνακας 5-4).

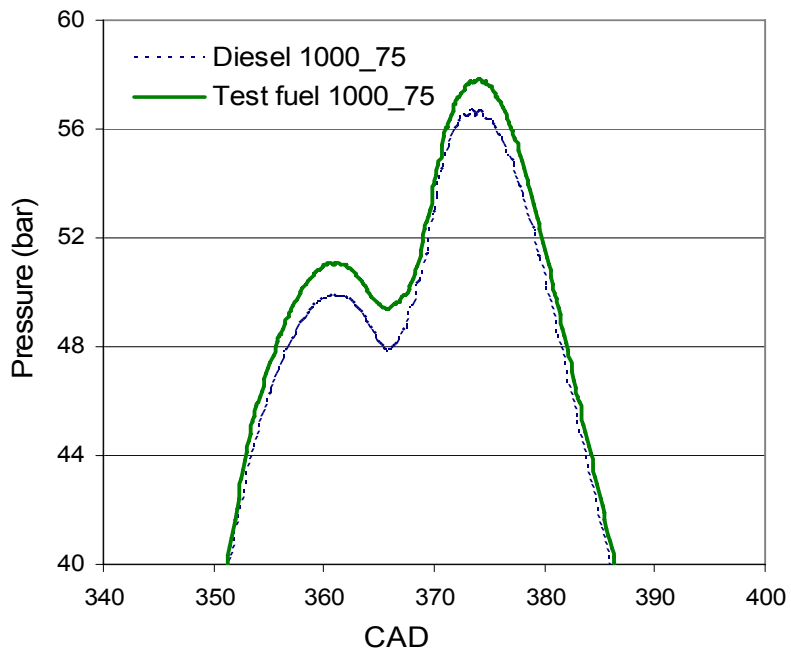
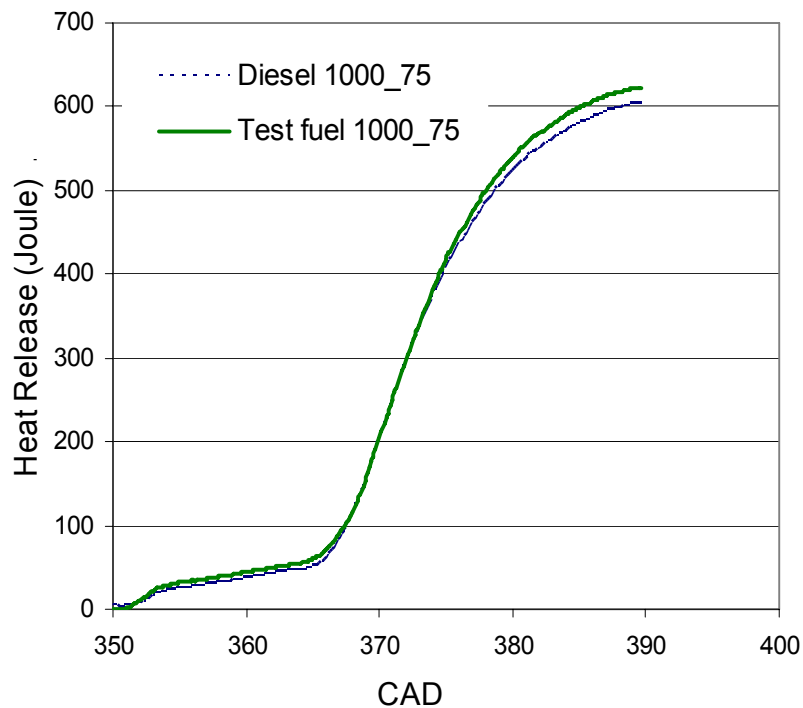
Πίνακας 5-4 Ποσοστιαίες μεταβολές που παρατηρήθηκαν από τη χρήση του υπό δοκιμή καυσίμου σε σχέση με το καύσιμο αναφοράς

FC	CO	HC	NO _x	Pm	Air Flow
29%	25%	96%	6%	30%	13%

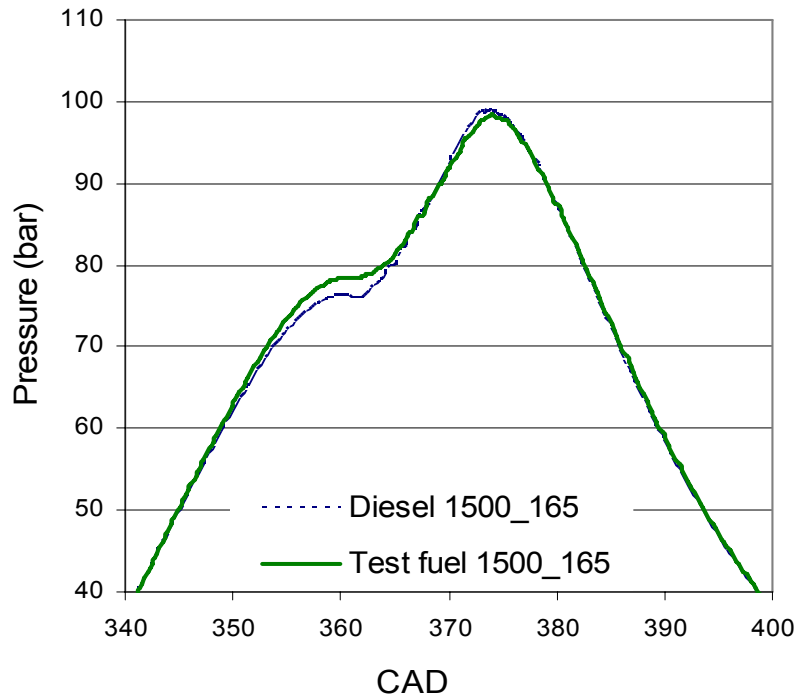
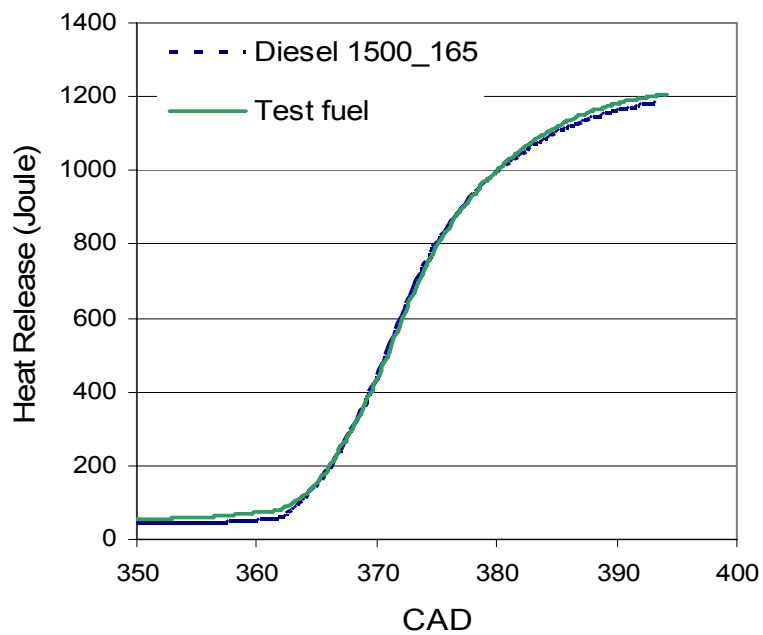
Η αύξηση της τάξης του 13% στην παροχή του αέρα υποδηλώνει μικρότερη ανακυκλοφορία καυσαερίου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, η οποία πιθανώς δικαιολογεί μία σχετική αύξηση των NO_x (6%). Παρόλα αυτά, κάτι τέτοιο δεν δικαιολογεί την μεγάλη αύξηση στην κατανάλωση του καυσίμου η οποία μπορεί να σχετίζεται με την παρουσία του βαμβακελαίου στο καύσιμο και το πρόγραμμα ελέγχου του κινητήρα το οποίο έχει αναπτυχθεί, όπως αναφέρθηκε, για συμβατικό καύσιμο. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι στο Common Rail πειραματικό όχημα, υπό συνθήκες χαμηλού φορτίου και στροφών, παρατηρήθηκε αύξηση του θορύβου των κινητήρων γεγονός το οποίο συσχετίστηκε με μεταβολές στην καύση του καυσίμου. Η κατανόηση των φαινομένων αυτών είναι ευκολότερη μέσω της επεξεργασίας των δεδομένων των δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων τα οποία ελήφθησαν από τον κινητήρα (Εικόνα 5-9 έως Εικόνα 5-12).

**a****β**

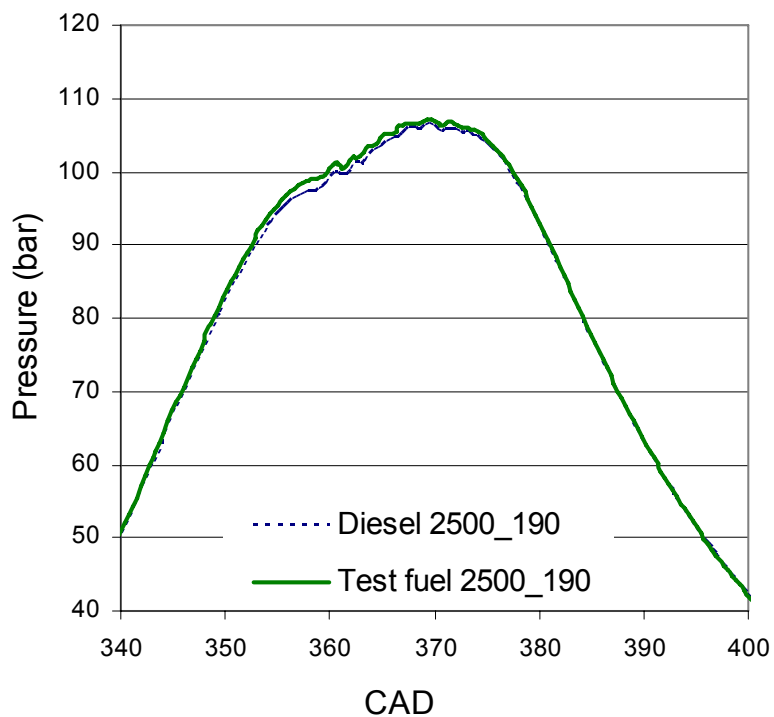
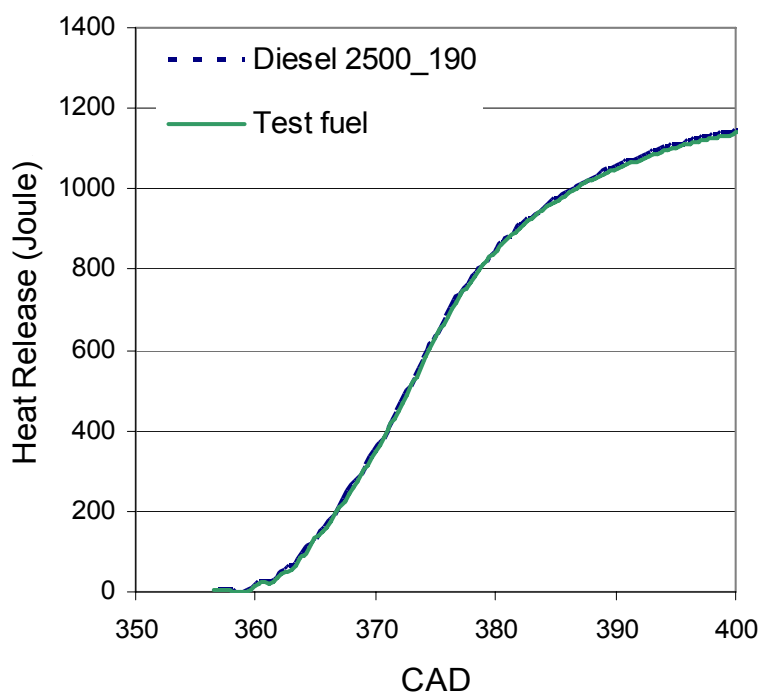
Εικόνα 5-9 Διάγραμμα πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου (α) και έκλυσης θερμότητας (β) για τη φάση του ρελαντί

**a****b**

Εικόνα 5-10 Διάγραμμα πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου (α) και έκλυσης θερμότητας (β) για 1000RPM και φορτίο 75Nm

**a****β**

Εικόνα 5-11 Διάγραμμα πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου (α) και έκλυσης θερμότητας (β) για 1500RPM και φορτίο 165Nm

**a****β**

Εικόνα 5-12 Διάγραμμα πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου (α) και έκλυσης θερμότητας (β) για 2500RPM και φορτίο 190Nm

Στις παραπάνω εικόνες παρουσιάζεται η πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου και η αντίστοιχη καμπύλη έκλυσης θερμότητας, οι οποίες μετρήθηκαν για συγκεκριμένα σημεία λειτουργίας του κινητήρα. Η πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου παρουσίασε μικρές διαφοροποιήσεις για τα δύο καύσιμα. Ορισμένες μεταβολές παρατηρήθηκαν στη μέγιστη πίεση για χαμηλό αριθμό στροφών (Εικόνα 5-10,α), αλλά χωρίς καμία σημαντική επίδραση στην εξέλιξη της έκλυσης θερμότητας. Για μετρήσεις που έγιναν σε υψηλότερο αριθμό στροφών, η εικόνα που παρουσιάστηκε είναι όμοια με αυτή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5-12(α,β), υποδηλώνοντας ότι το μίγμα βαμβακελαίου-ντίζελ δεν έχει καμία επίδραση στην καύση. Τα αποτελέσματα του ελέγχου της αποδιδόμενης ισχύος του κινητήρα είναι αντίστοιχα αυτών που προέκυψαν από τα τεστ ελεύθερης επιτάχυνσης οχημάτων. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι το μίγμα βαμβακελαίου-ντίζελ δεν έχει επίδραση στην αποδιδόμενη από τον κινητήρα ισχύ.

Η καταγραφή της πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου και ο υπολογισμός της έκλυσης θερμότητας έδειξαν ότι γενικά η παρουσία του βαμβακελαίου στο καύσιμο δεν έχει καμία επίδραση στη διαδικασία της καύσης για όλα τα μετρούμενα σημεία, εκτός από το ρελαντί (Εικόνα 5-9,α-β). Στο ρελαντί παρατηρείται ότι για τα μίγματα βαμβακελαίου-ντίζελ η πρώτη φάση της καύσης είναι πιο αργή και διαρκεί περίπου 5 μοίρες γωνίας στροφάλου (CAD) περισσότερο. Η επόμενη φάση της καύσης είναι πιο γρήγορη στην περίπτωση που χρησιμοποιείται το πειραματικό καύσιμο. Στις 370CAD (10° ATDC) περίπου, το ίδιο ποσό ενέργειας εκλύεται και στις δύο περιπτώσεις. Παρόλα αυτά, μετά από αυτό το σημείο η καύση παρουσιάζει την ίδια εικόνα και για τα δύο καύσιμα, τελειώνοντας στις 387 CAD. Στην περίπτωση του υπό δοκιμή καυσίμου η ενέργεια που εκλύεται είναι κατά 14% λιγότερη σε σχέση με το καύσιμο αναφοράς. Η μείωση της ελκυσόμενης θερμότητας πρέπει να οφείλεται σε άκαυστο καύσιμο, γεγονός που δικαιολογεί και τη μεγάλη αύξηση των HC στις εκπομπές αλλά και της κατανάλωσης καυσίμου.

Αντίστοιχα φαινόμενα μπορούν να δημιουργηθούν από χειροτέρευση της διασποράς του καυσίμου η οποία οδηγεί και σε καθυστέρηση της ανάφλεξης, με αποτέλεσμα η καύση να παρουσιάσει την παραπάνω εικόνα. Επιπλέον, οι μεταβολές στον ρυθμό έκλυσης θερμότητας μπορούν να εξηγήσουν και την αύξηση του θορύβου που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της φάσης του ρελαντί στο όχημα. Τα παραπάνω προβλήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν με μεταβολές στον ηλεκτρονικό έλεγχο του κινητήρα. Λόγω της υπολογίσιμης συνεισφοράς της φάσης του ρελαντί στις μετρούμενες εκπομπές, κατά τη λήψη της έγκρισης τύπου των οχημάτων οι κατασκευαστές υιοθετούν αυστηρότερες στρατηγικές ελέγχου των κινητήρων κατά τη συγκεκριμένη φάση. Στην περίπτωση του υπό δοκιμή καυσίμου μία λύση θα ήταν η αύξηση της προπορείας έγχυσης και της πίεσης έγχυσης του καυσίμου.

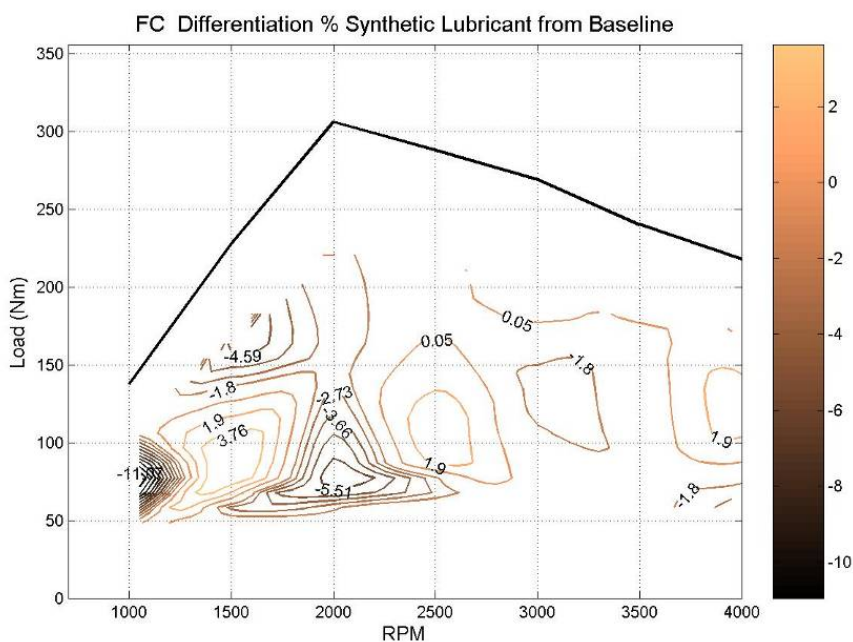
5.2.2 Μετρήσεις ειδικών λιπαντικών

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκπομπών νομοθετημένων ρύπων στον κινητήρα πέδης υπό λιπαντικό αναφοράς και λιπαντικό χαμηλού ιξώδους παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (**Σφάλμα! Λανθασμένη αναφορά σελιδοδείκτη στον εαυτό του.**).

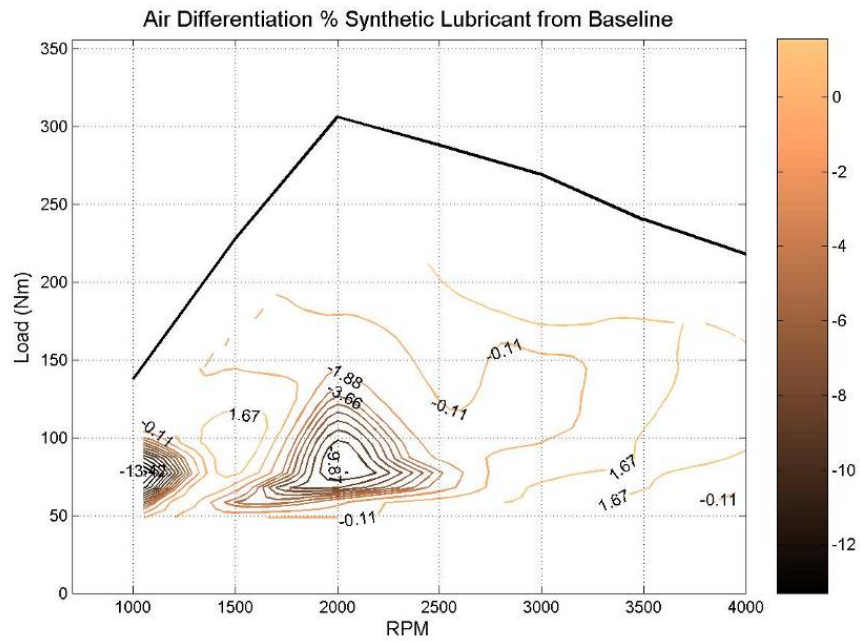
Πίνακας 5-5 Αποτελέσματα μετρήσεων νομοθετημένων ρύπων στα διάφορα σημεία λειτουργίας του κινητήρα υπό λιπαντικό αναφοράς και λιπαντικό χαμηλού ιξώδους

Σημείο Λειτουργίας		Μετρήσεις Αναφοράς					Μετρήσεις με Λιπαντικό Χαμηλού Ιξώδους				
Στροφές (RPM)	Ροπή (NM)	FC [g/kWh]	CO [g/kwh]	HC [g/kwh]	NOx [g/kwh]	Pm [g/kWh]	FC [g/kWh]	CO [g/kwh]	HC [g/kwh]	NOx [g/kwh]	Pm [g/kWh]
1000	39	304	5.29	0.59	0.35	0.87	313	4.52	0.74	0.52	0.56
4001	116	255	0.51	0.17	8.30	0.16	266	0.49	0.23	8.89	0.14
1000	113	260	0.56	0.09	9.20	0.13	261	0.65	0.12	9.67	0.09
4001	58	330	1.35	0.19	6.85	0.20	349	1.35	0.23	7.17	0.20
1000	75	305	1.75	0.18	2.09	0.68	404	1.62	0.20	4.49	0.48
4001	173	252	1.37	0.16	12.09	0.33	261	1.41	0.16	12.68	0.33
1501	84	268	1.84	0.12	1.38	0.79	286	2.00	0.13	1.56	0.86
752	7	1042	39.17	7.40	2.28	1.15	1345	48.95	14.48	2.43	1.50
3501	83	290	0.90	0.26	5.47	0.12	301	0.96	0.40	5.69	0.12
1501	165	225	0.90	0.08	8.46	0.06	236	1.91	0.09	8.19	0.13
3501	166	234	0.34	0.09	10.66	0.09	239	0.34	0.13	11.30	0.08
2000	78	308	1.56	0.13	1.80	0.50	316	1.75	0.15	1.77	0.65
3001	201	223	0.41	0.09	9.41	0.06	236	0.42	0.09	10.41	0.05
3001	68	300	4.38	0.30	4.25	0.11	294	4.68	0.29	4.21	0.11
2000	230	233	1.48	0.09	9.87	0.05	237	1.39	0.06	11.11	0.04
2501	94	272	1.86	0.15	1.80	0.58	266	1.92	0.10	1.70	0.65
3001	136	238	0.54	0.11	6.53	0.06	245	0.59	0.08	6.66	0.06
2000	155	242	0.40	0.08	7.78	0.06	245	0.44	0.07	8.27	0.05
2501	190	221	0.36	0.07	7.90	0.04	219	0.33	0.05	8.15	0.03

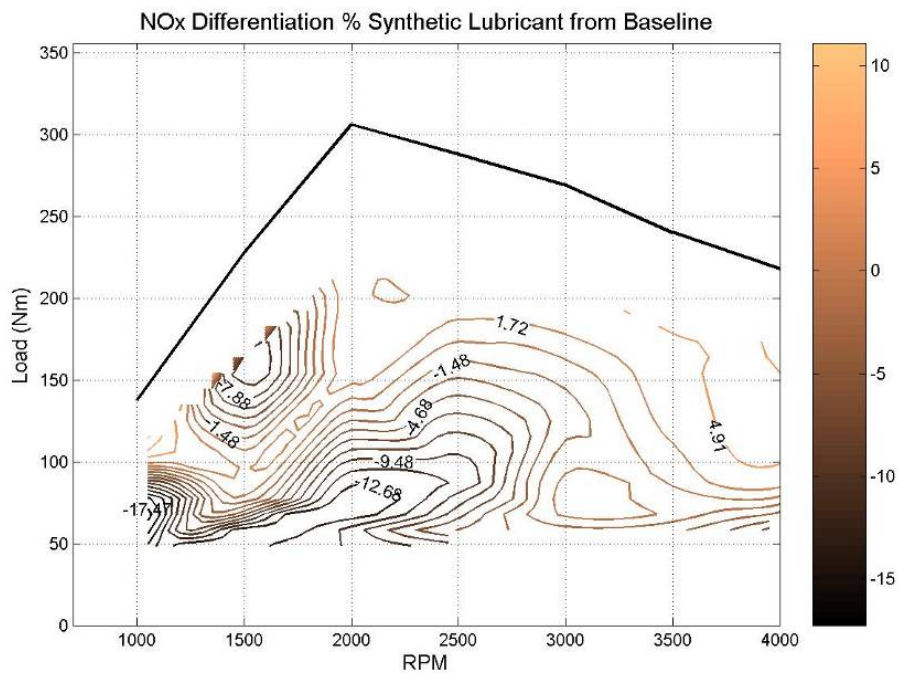
Στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 5-13 έως Εικόνα 5-18) παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές των μεγεθών που καταγράφηκαν κατά τις μετρήσεις, υπό μορφή χαρτών λειτουργίας.



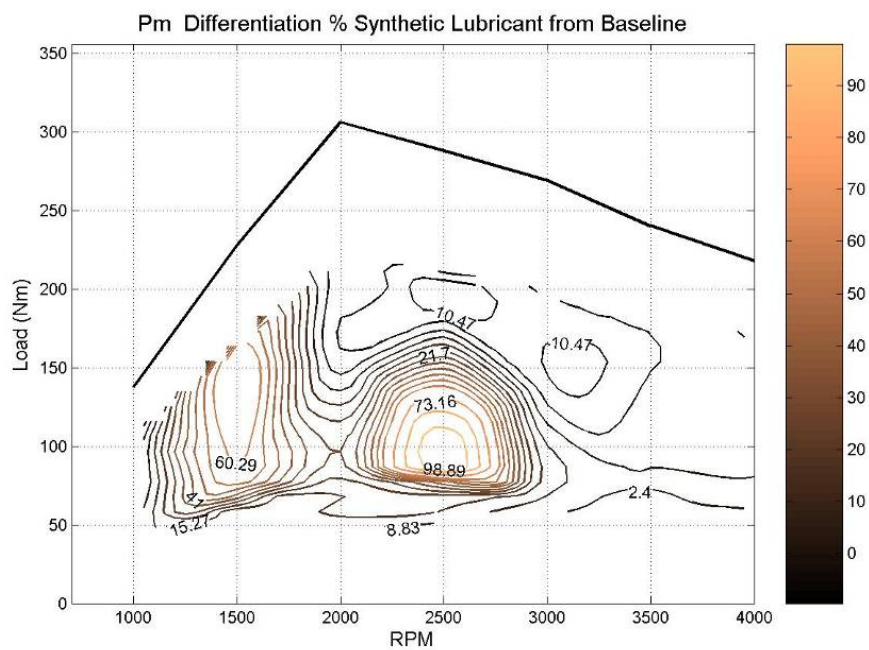
Εικόνα 5-13 Ποσοστιαία διαφορά μετρήσεων κατανάλωσης καυσίμου συνθετικού λιπαντικού χαμηλής τριβής – λιπαντικού αναφοράς στο πεδίο λειτουργίας του κινητήρα



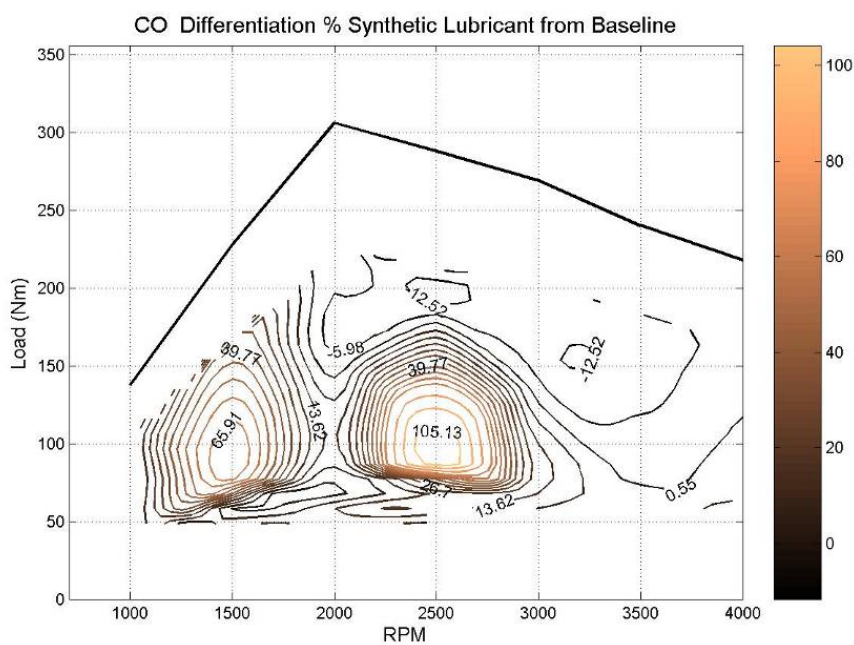
Εικόνα 5-14 Ποσοστιαία διαφορά μετρήσεων παροχής αέρα συνθετικού λιπαντικού χαμηλής τριβής – λιπαντικού αναφοράς στο πεδίο λειτουργίας του κινητήρα



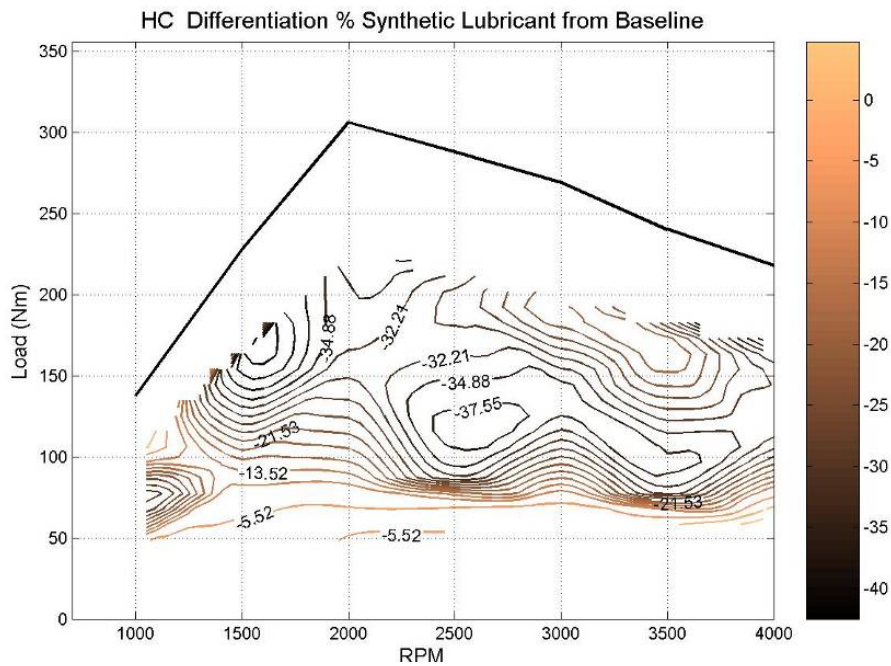
Εικόνα 5-15 Ποσοστιαία διαφορά μετρήσεων NOx συνθετικού λιπαντικού χαμηλής τριβής – λιπαντικού αναφοράς στο πεδίο λειτουργίας του κινητήρα



Εικόνα 5-16 Ποσοστιαία διαφορά μετρήσεων Pm συνθετικού λιπαντικού χαμηλής τριβής – λιπαντικού αναφοράς στο πεδίο λειτουργίας του κινητήρα



Εικόνα 5-17 Ποσοστιαία διαφορά μετρήσεων CO συνθετικού λιπαντικού χαμηλής τριβής – λιπαντικού αναφοράς στο πεδίο λειτουργίας του κινητήρα



Εικόνα 5-18 Ποσοστιαία διαφορά μετρήσεων HC συνθετικού λιπαντικού χαμηλής τριβής – λιπαντικού αναφοράς στο πεδίο λειτουργίας του κινητήρα

Αντίθετα ίσως με το αναμενόμενο, η χρήση του λιπαντικού χαμηλού ιξώδους στον κινητήρα πέδης δεν έδωσε συστηματικές τάσεις μείωσης των εκπομπών όσον αφορά το CO₂ και την κατανάλωση καυσίμου (Εικόνα 5-13). Ανάλογα βέβαια με τα σημεία λειτουργίας παρατηρούνται μειώσεις της κατανάλωσης οι οποίες είναι υπολογίσιμες. Για ένα εύρος στροφών από 1000-2000 rpm και εύρος φορτίου 50-150Nm παρουσιάζεται μείωση που κυμαίνεται μεταξύ -11% μέχρι -2%. Συγκεκριμένα, για το σημείο λειτουργίας 1000 RPM και φορτίο 75Nm η κατανάλωση καυσίμου παρουσιάζει μία μείωση της τάξης του 11%, η οποία δεν μπορεί να οφείλεται μόνο στη χρήση του λιπαντικού χαμηλού ιξώδους. Στο ίδιο σημείο λειτουργίας, η σχετική μείωση της παροχής του αέρα είναι της τάξης του 13%, γεγονός που δικαιολογεί την παραπάνω μεταβολή. Σημαντική μείωση παρατηρείται επίσης στις 1500 στροφές 160Nm η οποία δεν συνοδεύεται από αλλαγές στην παροχή αέρα, οπότε μπορεί να αποδοθεί στο λιπαντικό. Στις υψηλότερες στροφές παρατηρούνται μειώσεις της τάξης του 1-1,8%, με εξαίρεση μεμονωμένα σημεία όπου υπάρχουν μικρές αυξήσεις. Γενικά, κρίνεται ότι η συνολική εικόνα είναι ελαφρώς ευνοϊκή όσον αφορά την εξοικονόμηση καυσίμου.

Οι εκπομπές των NO_x κυμαίνονται μεταξύ -17% και +12% για διαφορετικά σημεία λειτουργίας, με μια γενικότερη τάση μείωσης στο μεγαλύτερο μέρος του πεδίου λειτουργίας του κινητήρα. Οι εκπομπές αυτές βέβαια εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ανακυκλοφορία καυσαερίου. Επειδή η ανακυκλοφορία δεν ήταν επαναλήψιμη από μέτρηση σε μέτρηση παρουσιάστηκαν τα παραπάνω φαινόμενα και δεν είναι ασφαλής η εξαγωγή συμπερασμάτων.

Οι εκπομπές των σωματιδίων παρουσιάζουν μία εικόνα αύξησης για όλο σχεδόν το εύρος στροφών και φορτίων του κινητήρα. Το γεγονός αυτό έρχεται σε αντίθεση με στοιχεία που αφορούν τη χρήση συνθετικών λιπαντικών, η οποία θεωρείται πως μειώνει τις εκπομπές σωματιδίων. Η αύξηση αυτή βέβαια είναι εν μέρει αναμενόμενη δεδομένων των πτώσεων που παρατηρήθηκαν στις εκπομπές NOx.

Οι εκπομπές των HC παρουσιάζουν μία συνολική τάση μείωσης (Εικόνα 5-18). Κυμαίνονται μεταξύ -35% και -5% για διαφορετικά σημεία λειτουργίας. Το γεγονός αυτό κατά πάσα πιθανότητα δικαιολογείται από τη χρήση συνθετικού λιπαντικού. Αντίθετα, οι εκπομπές του CO παρουσιάζουν μία μεγάλη αύξηση (Εικόνα 5-17). Οι διακυμάνσεις σε αυτούς τους ρύπους είναι πολύ μικρές σε σχέση με την επίδραση που θα είχε ο οξειδωτικός καταλύτης στις αντίστοιχες εκπομπές.

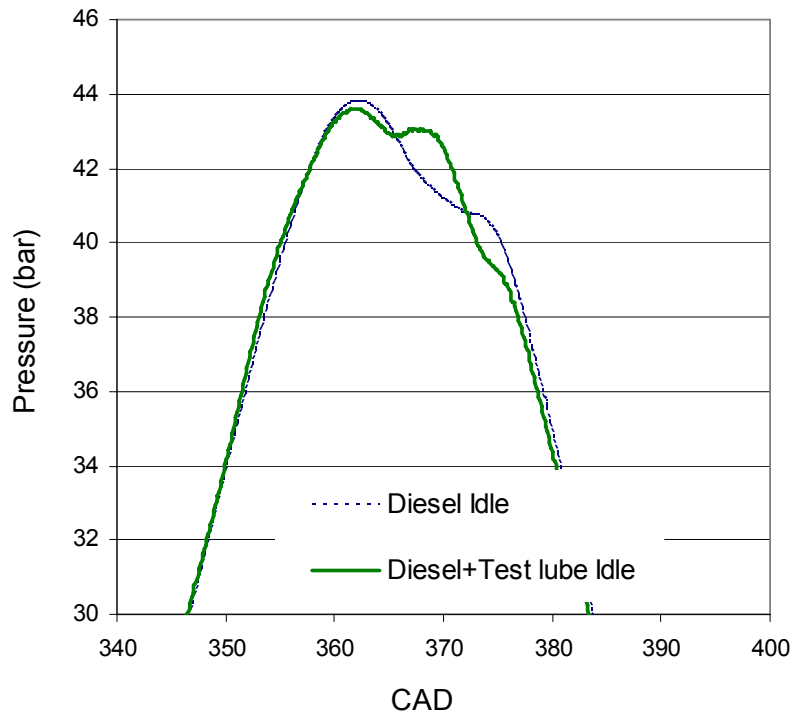
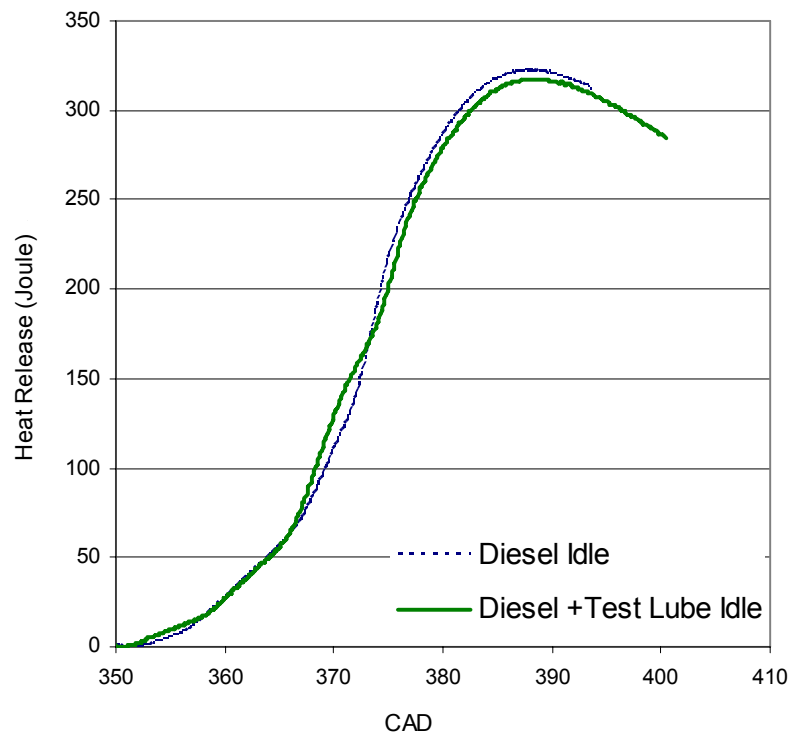
Ένα σημείο λειτουργίας το οποίο μελετήθηκε ξεχωριστά από τα υπόλοιπα είναι το ρελαντί. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης παρατηρήθηκαν αυξήσεις στην κατανάλωση καυσίμου και στις μετρούμενες εκπομπές των NOx (**Σφάλμα! Λανθασμένη αναφορά σελιδοδείκτη στον εαυτό του.**). Συγκεκριμένα, για την κατανάλωση καυσίμου παρατηρήθηκε μία ελάχιστη αύξηση της τάξης του 3%, ενώ για τις εκπομπές NOx παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της τάξης του 45%.

Η αύξηση της τάξης του 1.4% στην παροχή του αέρα υποδηλώνει ελαφρώς μικρότερη ανακυκλοφορία καυσαερίου σε σχέση με τη μέτρηση αναφοράς, γεγονός που δικαιολογεί την αύξηση των εκπομπών NOx και την αντίστοιχη μείωση εκπομπών σωματιδίων. Αντίστοιχα, λόγω μικρότερης ανακυκλοφορίας καυσαερίου (EGR), αυξάνεται πιθανότατα και η κατανάλωση καυσίμου.

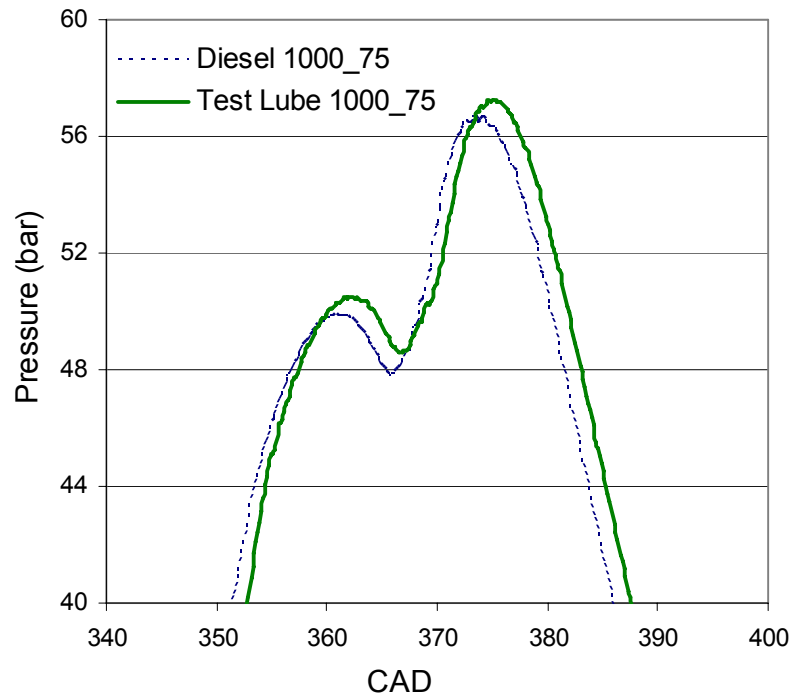
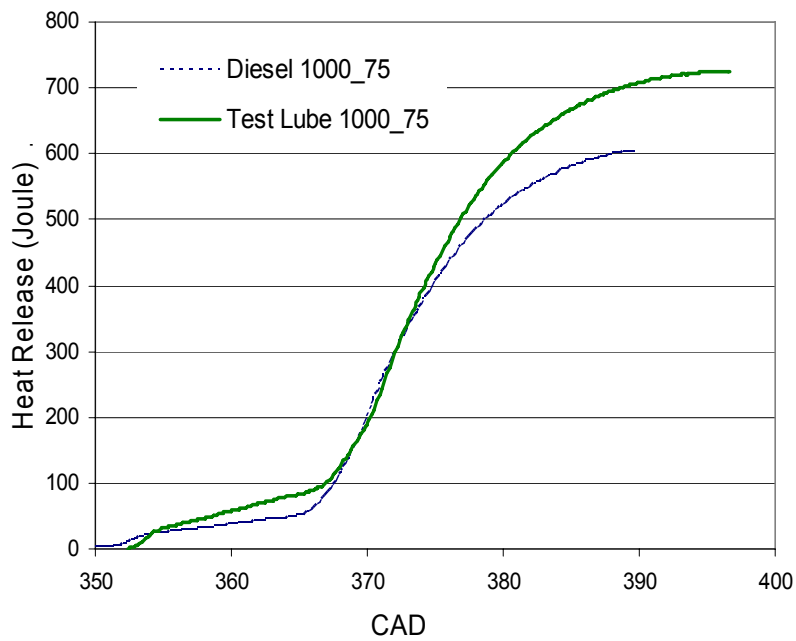
Πίνακας 5-6 Ποσοστιαίες μεταβολές που παρατηρήθηκαν από τη χρήση του υπό δοκιμή λιπαντικού σε σχέση με το λιπαντικό αναφοράς

FC	CO	HC	Nox	PM	Airflow
3%	-13%	-22%	45%	-15%	1.4%

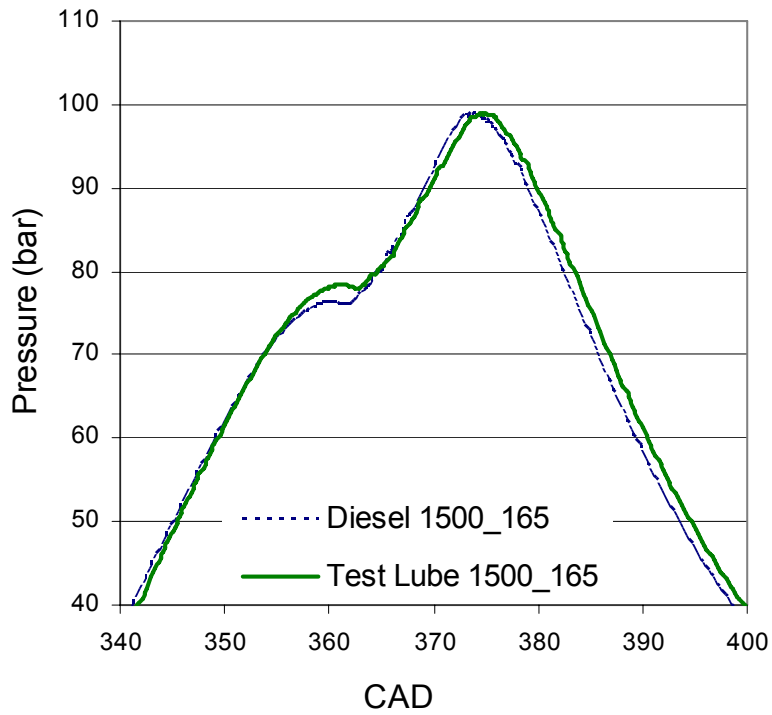
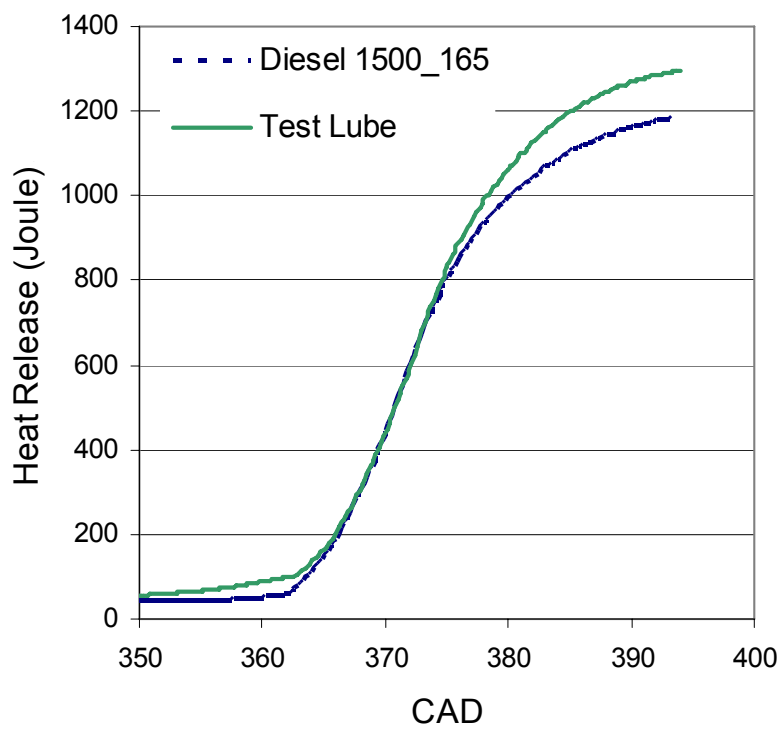
Στις διαγράμματα που ακολουθούν, παρουσιάζεται η εξέλιξη της πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου και η αντίστοιχη καμπύλη έκλυσης θερμότητας, σύμφωνα με τις μετρήσεις που διεξήχθησαν για συγκεκριμένα σημεία λειτουργίας του κινητήρα.

**a****β**

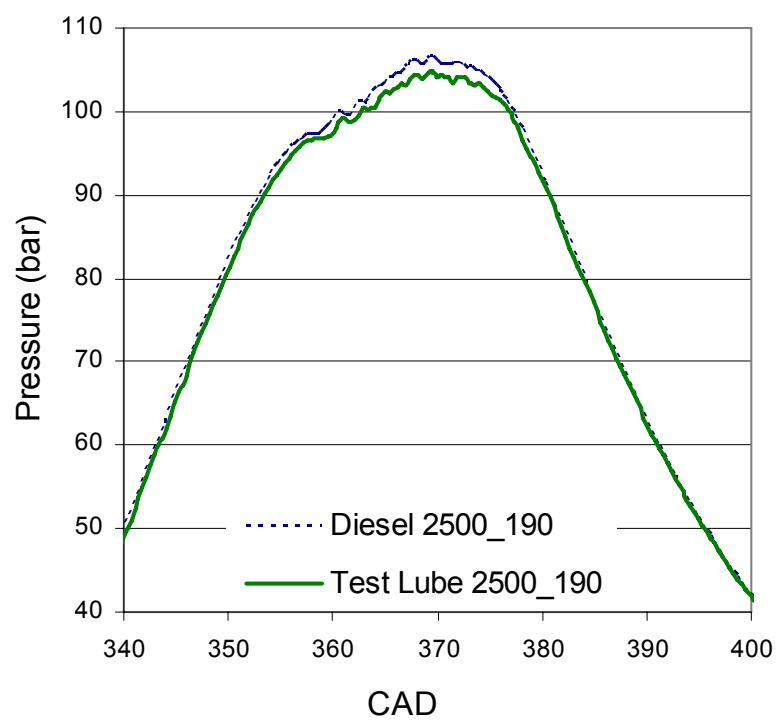
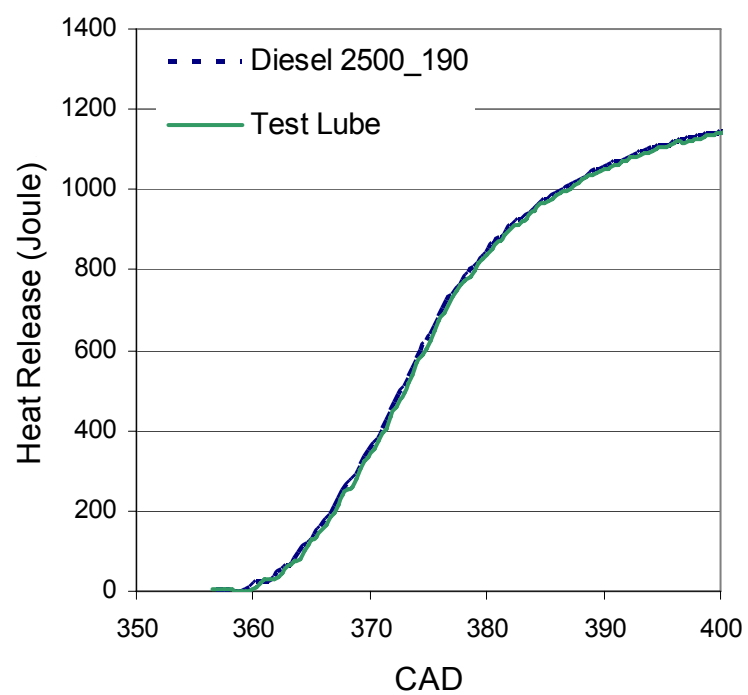
Εικόνα 5-19 Διάγραμμα πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου (α) και έκλυσης θερμότητας (β) για τη φάση του ρελαντί

**α****β**

Εικόνα 5-20 Διάγραμμα πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου (α) και έκλυσης θερμότητας (β) για 1000 RPM και φορτίο 75Nm

**a****β**

Εικόνα 5-21 Διάγραμμα πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου (α) και έκλυσης θερμότητας (β) για 1500 RPM και φορτίο 165Nm

**α****β**

Εικόνα 5-22 Διάγραμμα πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου (α) και έκλυσης θερμότητας (β) για 2500 RPM και φορτίο 190 Nm

Η καταγραφή της πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου και ο υπολογισμός της έκλυσης θερμότητας έδειξαν ότι η αντικατάσταση του λιπαντικού στον κινητήρα πέδης με λιπαντικό χαμηλής τριβής δεν έχει σημαντικές επιδράσεις στη διαδικασία της καύσης.

Στις Εικόνες 3-20 έως 3-23 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου και των υπολογισμών καμπύλης έκλυσης θερμότητας για ορισμένα από τα σημεία λειτουργίας του κινητήρα. Γενικά η πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου παρουσίασε μικρές διαφοροποιήσεις για τα δύο λιπαντικά σε σημεία λειτουργίας υψηλών στροφών με τις εικόνες να είναι αντίστοιχες της Εικόνα 5-22.

Ορισμένες μεταβολές παρατηρήθηκαν στη μέγιστη πίεση για σχετικά χαμηλό αριθμό στροφών (1000-1500, Εικόνα 5-20 και Εικόνα 5-21), με την καμπύλη έκλυσης θερμότητας να διαφοροποιείται ως προς τη συνολική εκλυόμενη θερμότητα αλλά όχι ως προς τη χρονική εξέλιξή της. Στα ίδια σημεία παρατηρήθηκε και μείωση του υπολογιζόμενου έργου τριβών, η οποία μπορεί εν μέρει να αποδοθεί στην ύπαρξη λιπαντικού χαμηλού ιξώδους εκτός από τη διαφοροποίηση της λειτουργίας του EGR του κινητήρα.

Στην καμπύλη εξέλιξης της πίεσης κατά τη φάση του ρελαντί παρατηρείται μια διαφοροποίηση η οποία όμως δεν μεταβάλλει την γραμμή καύσης, η οποία και στις δυο περιπτώσεις παραμένει σχεδόν ίδια.

5.3 Επεξεργασία – Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στην ενότητα αυτή θα πραγματοποιηθεί μια συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα οχήματα και στον κινητήρα πέδης. Στόχος της παρουσίασης αυτής είναι η αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων και η διεξαγωγή των όποιων συμπερασμάτων αναφορικά με την επίδραση των ειδικών καυσίμων και λιπαντικών στους κινητήρες Diesel σε ότι αφορά στην κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO₂.

Στον πίνακα 3-7 παρουσιάζονται οι διαφοροποιήσεις των μέσων τιμών των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν με μίγματα βαμβακελαίου-ντίζελ στα δυο αυτοκίνητα σε όλους τους κύκλους οδήγησης από τη μέση τιμή των αντίστοιχων μετρήσεων αναφοράς.

Πίνακας 3-7 Λόγος της μέσης τιμής των μετρήσεων με τα ειδικά καύσιμα προς τη μέση τιμή των μετρήσεων αναφοράς για τα διάφορα οχήματα-καύσιμα-κύκλους οδήγησης

Όχημα/Καύσιμο	Ρυπος	UDC cold	EUDC	NEDC	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw	M.O.	Max	Min
Laguna 10%	Καταν/ση	0.98	0.99	0.98	1.01	0.99	0.98	0.99	1.01	0.98
Golf 10%		0.98	0.90	0.93	0.93	0.92	0.94	0.93	0.98	0.90
Golf 20%		1.03	0.95	0.99	0.95	0.96	0.95	0.97	1.03	0.95
Laguna 10%	CO ₂	0.99	1.00	0.99	1.02	1.00	0.99	1.00	1.02	0.99
Golf 10%		0.98	0.90	0.94	0.94	0.93	0.95	0.94	0.98	0.90
Golf 20%		1.05	0.97	1.01	0.97	0.97	0.97	0.99	1.05	0.97
Laguna 10%	CO	1.08	1.10	1.08	0.57	0.75	0.88	0.91	1.10	0.57
Golf 10%		1.19	1.62	1.26	1.15	0.95	0.95	1.19	1.62	0.95
Golf 20%		1.35	1.52	1.38	1.06	0.86	0.88	1.18	1.52	0.86
Laguna 10%	HC	1.05	1.05	1.05	1.47	1.26	1.31	1.20	1.47	1.05
Golf 10%		1.14	1.27	1.17	1.21	1.04	0.95	1.13	1.27	0.95
Golf 20%		1.47	1.41	1.45	1.14	1.01	0.95	1.24	1.47	0.95
Laguna 10%	NO _x	1.00	0.98	0.99	0.98	0.96	0.89	0.97	1.00	0.89
Golf 10%		0.97	0.89	0.93	0.91	0.88	0.85	0.91	0.97	0.85
Golf 20%		1.07	1.10	1.09	1.04	1.06	1.05	1.07	1.10	1.04
Laguna 10%	PM	0.96	0.99	0.97	1.00	1.00	0.74	0.94	1.00	0.74
Golf 10%		1.34	1.07	1.17	1.05	1.19	1.00	1.14	1.34	1.00
Golf 20%		1.68	1.14	1.34	0.96	1.00	0.87	1.17	1.68	0.87

Φαίνεται από τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα πως τα μίγματα βαμβακελαίου-ντίζελ έχουν μικρές επιπτώσεις στην κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO₂ του Common Rail οχήματος, η οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον κύκλο οδήγησης. Στην περίπτωση του παλαιότερου οχήματος τα μίγματα φαίνεται να έχουν θετική επίδραση στην οικονομία του καυσίμου κατά τη χρήση μιγμάτων 10% v/v (μειώσεις έως 10%), ενώ η εικόνα με τα μίγματα 20% είναι παρεμφερής με αυτή του Common Rail οχήματος (ελαφρές μειώσεις της τάξης του 1%). Φαίνεται πως και στα δυο οχήματα η αύξηση της μέσης ταχύτητας ευνοεί την εξοικονόμηση καυσίμου μέσω της χρήσης των μιγμάτων, γεγονός που υποδηλώνει ότι στις μέσες και υψηλότερες στροφές τα πειραματικά καύσιμα αποδίδουν καλύτερα. Η επισήμανση αυτή επιβεβαιώθηκε, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, και από τις μετρήσεις στον κινητήρα πέδης.

Στον πίνακα 3-8 παρουσιάζονται οι διαφοροποιήσεις των μέσων τιμών των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν με λιπαντικά χαμηλού ιξώδους στα δυο αυτοκίνητα, σε όλους τους κύκλους οδήγησης, από τη μέση τιμή των αντίστοιχων μετρήσεων αναφοράς.

Πίνακας 3-8 Λόγος της μέσης τιμής των μετρήσεων με τα ειδικά λιπαντικά προς τη μέση τιμή των μετρήσεων αναφοράς για τα διάφορα οχήματα-λιπαντικά -κύκλους οδήγησης

Όχημα	Ρυπος	UDC cold	EUDC	NEDC	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw	M.O.	Max	Min
Laguna	FC	1.00	0.95	0.97	0.98	0.92	0.94	0.96	1.00	0.92
Golf		0.94	0.88	0.91	0.95	0.85	0.89	0.90	0.95	0.85
Laguna	CO ₂	1.00	0.95	0.97	0.98	0.92	0.94	0.96	1.00	0.92
Golf		0.93	0.88	0.90	0.94	0.85	0.89	0.90	0.94	0.85
Laguna	CO	1.45	1.47	1.44	2.26	1.47	1.96	1.68	2.26	1.44
Golf		1.05	2.08	1.15	1.24	2.08	1.47	1.51	2.08	1.05
Laguna	HC	1.26	1.09	1.22	1.42	1.08	1.24	1.22	1.42	1.08
Golf		1.05	1.32	1.11	1.06	1.31	1.16	1.17	1.32	1.05
Laguna	NO _x	1.05	0.96	1.00	0.99	0.96	0.97	0.99	1.05	0.96
Golf		0.82	0.70	0.75	0.80	0.70	0.75	0.75	0.82	0.70
Laguna	PM	0.90	0.76	0.82	0.89	0.76	0.81	0.83	0.90	0.76
Golf		1.14	0.86	0.95	1.16	0.86	0.94	0.98	1.16	0.86

Παρατηρείται ότι και για τα δυο αυτοκίνητα, σε όλους τους κύκλους οδήγησης, τα συνθετικά λιπαντικά χαμηλού ιξώδους έχουν θετική επίδραση στις εκπομπές CO₂ και την κατανάλωση καυσίμου. Η μείωση στην περίπτωση του Renault Laguna είναι της τάξης του 4%, ενώ στο VW Golf αγγίζει το 10%. Η μεγάλη διαφοροποίηση στην περίπτωση του δεύτερου οχήματος δεν μπορεί να δικαιολογηθεί αποκλειστικά από την αντικατάσταση ορυκτελαίου με συνθετικό λιπαντικό υψηλότερης ποιότητας. Μεγαλύτερος αριθμός επαναλήψεων των μετρήσεων θα έδινε μια καλύτερη εικόνα της επίπτωσης των συνθετικών λιπαντικών στο συγκεκριμένο όχημα. Κοινή παρατήρηση και για τα δυο οχήματα είναι πως η εξοικονόμηση καυσίμου μέσω της χρήσης λιπαντικών χαμηλού ιξώδους αυξάνει με την αύξηση της μέσης ταχύτητας του οχήματος, κάτι το οποίο ήταν πλήρως αναμενόμενο βάσει των όσων έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα.

Σε μια προσπάθεια να συγκριθούν τα παραπάνω αποτελέσματα με αυτά των μετρήσεων στον κινητήρα πέδης, δημιουργήθηκε σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μοντέλο οχήματος με χαρακτηριστικά παρεμφερή αυτών των πειραματικών οχημάτων (μάζα, ταχύτητες, ελαστικά κτλ). Στο μοντέλο αυτό εισήχθησαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων του κινητήρα και πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις των νομοθετημένων κύκλων και των κύκλων Artemis. Τα αποτελέσματα των διαφοροποιήσεων ανάμεσα στις προσομοιώσεις αναφοράς και αυτές με τα πειραματικά καύσιμα και λιπαντικά παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες.

Πίνακας 3-9 Απόκλιση της προσομοιωμένης κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με την προσομοιωμένη κατανάλωση αναφοράς για τους νομοθετημένους κύκλους

UDC		EUDC		NEDC	
10% Βαμβ/λαιο	Λιπαντικό χαμηλού ιξώδους	10% Βαμβ/λαιο	Λιπαντικό χαμηλού ιξώδους	10% Βαμβ/λαιο	Λιπαντικό χαμηλού ιξώδους
2.1%	0.0%	1.2%	-1.1%	1.5%	-1.1%

Πίνακας 3-10 Απόκλιση της προσομοιωμένης κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με την προσομοιωμένη κατανάλωση αναφοράς για τους κύκλους Artemis

Artemis Urban		Artemis Road		Artemis Motorway	
10% Βαμβ/λαιο	Λιπαντικό χαμηλού ιξώδους	10% Βαμβ/λαιο	Λιπαντικό χαμηλού ιξώδους	10% Βαμβ/λαιο	Λιπαντικό χαμηλού ιξώδους
3.1%	-0.9%	2.0%	-2.1%	0.1%	-1.5%

Σε αντίθεση με τις μετρήσεις, οι προσομοιώσεις δείχνουν ελαφρές αυξήσεις της κατανάλωσης καυσίμου του οχήματος με τη χρήση μίγματος βαμβακελαίου – ντίζελ 10%. Οι αυξήσεις αυτές κυμαίνονται από 3% έως 0.1%, ανάλογα με τον κύκλο οδήγησης. Όπως και στις μετρήσεις έτσι κι εδώ, η αποδοτικότητα των μιγμάτων βαμβακελαίου αυξάνει με την αύξηση της μέσης ταχύτητας του κύκλου. Ειδικά, σε συνθήκες πραγματικής οδήγησης σε αυτοκινητόδρομο δεν υπάρχει πρακτικά καμία διαφοροποίηση. Σε σχέση με την αύξηση της κατανάλωσης, η οποία αντιβαίνει στα αποτελέσματα των μετρήσεων, πρέπει να

αναφερθεί ότι το εύρος των μεταβολών κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με αυτά των μετρήσεων και ότι η πτώση της απόδοσης που παρατηρήθηκε στο ρελαντί του κινητήρα πέδης είναι δυνατό να οδηγήσει σε τέτοια αποτελέσματα.

Όσον αφορά το λιπαντικό χαμηλού ιξώδους, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων συμβαδίζουν πλήρως με αυτά των μετρήσεων ως προς την τάση μείωσης, όχι όμως ως προς την έκταση της μείωσης. Όπως όμως προαναφέρθηκε κάθε κινητήρας, ανάλογα με τη σχεδίασή του, έχει διαφορετική συμπεριφορά στην χρήση λιπαντικών χαμηλού ιξώδους. Τέλος, όπως είναι αναμενόμενο, η αύξηση της ταχύτητας ευνοεί την οικονομία του καυσίμου και σε αυτή την περίπτωση.

6 Σύνοψη - Συμπεράσματα

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι μετρήσεις που διεξήχθησαν στον κινητήρα πέδης PSA DW12A TED έδειξαν ότι η παρουσία βαμβακελαίου στο καύσιμο δεν επηρεάζει σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές NOx. Οι διακυμάνσεις που παρατηρήθηκαν σε συγκεκριμένα σημεία λειτουργίας οφείλονται σε διαφορετική λειτουργία του EGR.
- Σε διάφορα σημεία λειτουργίας του κινητήρα, οι εκπομπές των PM, CO και HC παρουσίασαν αυξομειώσεις, αλλά δεν ήταν δυνατή η εξαγωγή συμπεράσματος ως προς την τάση που ακολουθούν γενικότερα.
- Η καταγραφή της πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου και ο υπολογισμός της έκλυσης θερμότητας έδειξαν ότι η παρουσία του βαμβακελαίου στο καύσιμο δεν έχει καμία επίδραση στη διαδικασία της καύσης. Αυτό ισχύει για όλα τα μετρούμενα σημεία εκτός από το ρελαντί.
- Η λειτουργία στη φάση του ρελαντί μελετήθηκε ξεχωριστά. Παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στην κατανάλωση του καυσίμου και στις εκπομπές HC, προφανώς λόγω φτωχής καύσης. Τα δεδομένα από τη μέτρηση της πίεσης και τον υπολογισμό της έκλυσης θερμότητας έδειξαν ότι σε αυτό το σημείο η εξέλιξη της καύσης επηρεάζεται από την παρουσία του βαμβακελαίου, πιθανώς από τη χειρότερη διασπορά του καυσίμου. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί μέσω του σωστού προγραμματισμού του ηλεκτρονικού ελέγχου των οχημάτων.
- Η μετρήσεις συνθετικών λιπαντικών στον κινητήρα πέδης έδειξε μικρές μειώσεις της κατανάλωσης καυσίμου και διαφοροποιήσεις των εκπομπών ρύπων. Η ανάλυση των δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων δεν αποκάλυψε σημαντικές αλλαγές στη διεργασία της καύσης με τη χρήση συνθετικού λιπαντικού.
- Τα δεδομένα των μετρήσεων στον κινητήρα εισήχθησαν σε μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας οχήματος και τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι σε αντιστοιχία με αυτά των μετρήσεων των οχημάτων.

Ως γενικότερο συμπέρασμα μπορεί να διατυπωθεί ότι τα μίγματα βαμβακελαίου-ντίζελ σε αναλογία 10% και 90% αντίστοιχα μπορούν να εφαρμοστούν σε diesel κινητήρες παλαιότερης και νεότερης τεχνολογίας (τύπου common rail), χωρίς να έχουν καμία επίδραση στη λειτουργία του κινητήρα και στις εκπομπές ρύπων. Η κατανάλωση καυσίμου ενδέχεται να παρουσιάσει μείωση ή ελαφρά αύξηση ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα και του οχήματος αλλά και τις επικρατούσες συνθήκες περιβάλλοντος. Για την ομαλότερη χρήση του συγκεκριμένου μίγματος πρέπει να ρυθμιστεί η διαχείριση της φάσης του ρελαντί και να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα φραγής του φίλτρου καυσίμου σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες με τη χρήση ειδικού πρόσθετου. Τέλος, τα συνθετικά λιπαντικά

χαμηλής τριβής μπορούν να βοηθήσουν στην εξοικονόμηση καυσίμου, εφόσον είναι συμβατά με τον τύπο του κινητήρα, χωρίς να επιβαρύνουν τα επίπεδα εκπομπών άλλων ρύπων.

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος του Υποέργου

Αναστάσιος Μωυσιάδης
Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός
Καθηγητής

7 Παράρτημα

Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών αερίων ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου.

Πίνακας 5-1 Μετρήσεις εκπομπών στον κινητήρα πέδης υπό συμβατικό καύσιμο

RPM	NT	FC[g/kWh]	CO ₂ [g/kwh]	co [g/kwh]	HC [g/kwh]	NO _x [g/kwh]	Pm [g/kWh]
1000	39	304.5	968.28	5.29	0.59	0.35	0.87
4001	116	254.6	809.51	0.51	0.17	8.30	0.16
1000	113	260.1	827.19	0.56	0.09	9.20	0.13
4001	58	330.2	1050.11	1.35	0.19	6.85	0.20
1000	75	304.8	969.12	1.75	0.18	2.09	0.68
4001	173	252.4	802.60	1.37	0.16	12.09	0.33
1501	84	267.9	851.83	1.84	0.12	1.38	0.79
752	7	1042.4	3314.74	39.17	7.40	2.28	1.15
3501	83	290.3	923.04	0.90	0.26	5.47	0.12
1501	165	225.3	716.42	0.90	0.08	8.46	0.06
3501	166	234.0	744.02	0.34	0.09	10.66	0.09
2000	78	308.4	980.86	1.56	0.13	1.80	0.50
3001	201	223.2	709.71	0.41	0.09	9.41	0.06
3001	68	300.1	954.20	4.38	0.30	4.25	0.11
2000	230	232.7	740.10	1.48	0.09	9.87	0.05
2501	94	272.0	865.04	1.86	0.15	1.80	0.58
3001	136	237.6	755.45	0.54	0.11	6.53	0.06
2000	155	241.5	768.11	0.40	0.08	7.78	0.06
2501	190	220.5	701.22	0.36	0.07	7.90	0.04

Πίνακας 5-2 Μετρήσεις εκπομπών στον κινητήρα πέδης με μίγμα βαμβακελαιίου ντίζελ 10%

RPM	NT	FC[g/kWh]	CO ₂ [g/kwh]	CO [g/kwh]	HC [g/kwh]	NO _x [g/kwh]	Pm [g/kWh]
1000	39	312.7	994.53	4.52	0.74	0.52	0.56
4001	116	266.5	847.35	0.49	0.23	8.89	0.14
1000	113	261.2	830.47	0.65	0.12	9.67	0.09
4001	58	349.0	1109.68	1.35	0.23	7.17	0.20
1000	75	404.3	1285.82	1.62	0.20	4.49	0.48
4001	173	260.6	828.78	1.41	0.16	12.68	0.33
1501	84	285.9	909.09	2.00	0.13	1.56	0.86
752	7	1345.2	4277.89	48.95	14.48	2.43	1.50
3501	83	301.5	958.62	0.96	0.40	5.69	0.12
1501	165	235.8	749.74	1.91	0.09	8.19	0.13
3501	166	238.7	759.14	0.34	0.13	11.30	0.08
2000	78	315.9	1004.68	1.75	0.15	1.77	0.65

3001	201	235.7	749.38	0.42	0.09	10.41	0.05
3001	68	294.1	935.20	4.68	0.29	4.21	0.11
2000	230	236.9	753.26	1.39	0.06	11.11	0.04
2501	94	265.8	845.31	1.92	0.10	1.70	0.65
3001	136	244.7	778.16	0.59	0.08	6.66	0.06
2000	155	245.3	780.19	0.44	0.07	8.27	0.05
2501	190	219.3	697.35	0.33	0.05	8.15	0.03

Πίνακας 5-3 Μετρήσεις εκπομπών στον κινητήρα πέδης με ντίζελ και λιπαντικό χαμηλού ιξώδους

RPM	NT	FC[g/kWh]	CO ₂ [g/kwh]	CO [g/kwh]	HC [g/kwh]	NO _x [g/kwh]	Pm [g/kWh]
1000	39	308.59	981.32	5.57	0.59	0.30	0.92
4001	116	261.39	831.22	0.52	0.12	8.89	0.16
1000	113	261.36	831.14	0.53	0.10	10.54	0.11
4001	58	318.55	1012.99	1.34	0.21	6.35	0.20
1000	75	265.35	843.83	1.75	0.13	1.72	0.66
4001	173	250.85	797.69	1.34	0.09	12.53	0.34
1501	84	282.91	899.64	3.13	0.10	1.40	1.26
752	7	1071.59	3407.65	34.10	5.79	3.30	0.99
3501	83	285.69	908.49	0.89	0.17	5.47	0.13
1501	165	213.28	678.22	1.25	0.05	7.57	0.10
3501	166	232.15	738.24	0.31	0.08	11.05	0.08
2000	78	289.92	921.94	1.59	0.11	1.56	0.61
3001	201	225.55	717.24	0.38	0.07	9.79	0.06
3001	68	298.60	949.56	4.97	0.29	4.27	0.12
2000	230	228.84	727.72	1.37	0.05	10.41	0.04
2501	94	279.56	888.99	4.06	0.10	1.61	1.22
3001	136	232.30	738.72	0.51	0.07	6.41	0.06
2000	155	235.88	750.09	0.38	0.06	7.99	0.05
2501	190	219.43	697.77	0.32	0.05	8.07	0.04

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος του Υποέργου

Αναστάσιος Μωυσιάδης
Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός
Καθηγητής