

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

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

ΤΜΗΜΑ: Μηχανολογίας

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: Αναστάσιος Μωϋσιάδης

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

1 Πακέτο Εργασίας 6

Στατιστική επεξεργασία όλων των πειραματικών αποτελεσμάτων - Τελική έκθεση

Γεώργιος Φονταράς, Παναγιώτης Πιστικόπουλος, Θεόδωρος Τζαμκιώζης,

Μαρίνα Κουσουλίδου, Ζήσης Σαμαράς, Γεώργιος Μήλτσιος, Αναστάσιος Μωϋσιάδης

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 καύσιμο ντίζελ ως καυσίμων κινητήρων έναυσης με συμπίεση (κινητήρων diesel) καθώς και η αξιολόγηση της επίδρασης ειδικών συνθετικών λιπαντικών στις εκπομπές ρύπων και την απόδοση οχημάτων με κινητήρα diesel. Το παρόν τεύχος αποτελεί την τελική έκθεση του Προγράμματος και περιγράφονται σ' αυτήν το σύνολο των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν στα διάφορα πακέτα εργασίας καθώς και τα αποτελέσματα της μελέτης. Η έκθεση αυτή αποτελεί το Π.Ε.6.

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

Περιεχόμενα

<i>0</i>	<i>Εκτεταμένη Περίληψη</i>	<i>5</i>
<i>1</i>	<i>Εισαγωγή</i>	<i>9</i>
1.1	Αντικείμενο της μελέτης	9
1.2	Δομή προγράμματος	9
<i>2</i>	<i>Επιλογή ειδικών καυσίμων και ειδικών λιπαντικών</i>	<i>12</i>
2.1	Επιλογή βαμβακελαίου.....	12
2.2	Επεξεργασία βαμβακελαίου	13
2.3	Επιλογή λιπαντικών.....	14
<i>3</i>	<i>Περί βιοκαυσίμων και λιπαντικών χαμηλού ιξώδους</i>	<i>16</i>
3.1	Βιοκαύσιμα	16
3.1.1	Τα βιοκαύσιμα στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	16
3.1.2	Βιοντίζελ και φυτικά έλαια	17
3.2	Ειδικά Λιπαντικά.....	21
3.2.1	Τριβή και λιπαντικά κινητήρων	21
3.2.2	Συνθετικά λιπαντικά εξοικονόμησης καυσίμου.....	23
3.2.3	Θεωρητικό δυναμικό μείωσης εκπομπών CO ₂	24
<i>4</i>	<i>Μετρήσεις ιδιοτήτων μιγμάτων βαμβακελαίου – καυσίμου ντίζελ</i>	<i>26</i>
4.1	Μετρήσεις αριθμού κετανίου	26
4.2	Μετρήσεις πυκνότητας	29
4.3	Μετρήσεις θερμογόνου δύναμης	31
4.4	Μετρήσεις ιξώδους.....	32
4.5	Ιδιότητες ψυχρής ροής.....	34
4.6	Άλλες ιδιότητες των καυσίμων μιγμάτων	35
4.7	Χρήση πρόσθετου	36
4.8	Επιλογή καυσίμων μιγμάτων για μετρήσεις εκπομπών	38
<i>5</i>	<i>Μετρήσεις εκπομπών οχημάτων</i>	<i>39</i>
5.1	Μεθοδολογία	39
5.1.1	Πειραματικά οχήματα.....	39
5.1.2	Πρωτόκολλο μετρήσεων	42
5.2	Νομοθετημένες εκπομπές και κατανάλωση καυσίμου	43
5.3	Παρουσίαση μετρήσεων στο νομοθετημένο κύκλο οδήγησης (NEDC).....	51
5.3.1	Μετρήσεις VW Golf	51

5.3.2	Μετρήσεις Renault Laguna	54
5.4	Μη νομοθετημένες σωματιδιακές εκπομπές.....	58
5.4.1	Αποτελέσματα VW Golf	59
5.4.2	Αποτελέσματα Renault Laguna	64
5.5	Ελαστικότητα του κινητήρα	67
6	Επιθεώρηση κινητήρων - τεχνικές παρατηρήσεις	69
6.1	Επιθεώρηση κινητήρων.....	69
6.2	Τεχνικές παρατηρήσεις.....	76
6.2.1	Ψυχρή εκκίνηση	77
6.2.2	Αύξηση θορύβου	78
7	Μετρήσεις σε κινητήρα πέδης.....	79
7.1	Πειραματική Διάταξη	79
7.2	Πρωτόκολλο Μέτρησης.....	81
7.3	Αποτελέσματα.....	82
7.3.1	Μετρήσεις ειδικού καυσίμου	82
7.3.2	Μετρήσεις ειδικών λιπαντικών.....	91
8	Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	102
9	Σύνοψη - Συμπεράσματα.....	105
10	Επόμενα βήματα.....	109
11	Βιβλιογραφία.....	110
12	Παράρτημα.....	114

2 Εκτεταμένη Περίληψη

Το παρόν κείμενο συνοψίζει τα αποτελέσματα έρευνας που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Αρχιμήδης ΙΙ του ΕΠΕΑΕΚ 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. Κεντρική στόχευση ήταν η μελέτη χρήσης βαμβακελαίου ως καυσίμου κινητήρων έναυσης με συμπίεση (κινητήρων diesel). Παράλληλα διερευνήθηκε η επίδραση συνθετικών λιπαντικών χαμηλού ιξώδους στην κατανάλωση καυσίμου και στις εκπομπές ρύπων κινητήρων diesel υπό συμβατικό καύσιμο αλλά και βαμβακέλαιο.

Για την αξιολόγηση των παραπάνω διεξήχθησαν πειραματικές μετρήσεις των ιδιοτήτων του βαμβακελαίου καθώς και μιγμάτων αυτού με συμβατικό καύσιμο diesel κίνησης. Επιπροσθέτως, έγινε χρήση των μιγμάτων αυτών σε πραγματικά οχήματα diesel στα οποία καταγράφηκαν συστηματικά οι εκπεμπόμενοι ρύποι και η λειτουργία του κινητήρα μέσω μετρήσεων τόσο υπό τον νομοθετημένο κύκλο οδήγησης (NEDC) όσο και υπό κύκλους που προσομοιώνουν πραγματική λειτουργία (Artemis). Παράλληλα έγινε εφαρμογή ειδικών λιπαντικών χαμηλής τριβής στα ίδια οχήματα και αξιολογήθηκε η επίδρασή τους μέσω αντίστοιχων μετρήσεων. Τέλος τα πειραματικά καύσιμα και λιπαντικά χρησιμοποιήθηκαν σε κινητήρα πέδης όπου και πραγματοποιήθηκε λεπτομερέστερη μελέτη της επίδρασής τους στη λειτουργία των κινητήρων.

Εξετάστηκαν όλες οι ιδιότητες του βαμβακελαίου και των μιγμάτων του με καύσιμο diesel οι οποίες προδιαγράφονται από την ευρωπαϊκή νομοθεσία (οδηγίες 2003/17/ΕΚ και 1998/70/ΕΚ) η οποία αφορά τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση. Οι ιδιότητες που μετρήθηκαν ήταν η πυκνότητα, η θερμογόνος δύναμη, ο αριθμός κετανίου¹, το ιξώδες, το σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου και το flash point (σημείο ανάφλεξης). Οι λοιπές ιδιότητες των μιγμάτων εκτιμήθηκαν με βάση δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας.

- Οι μετρήσεις αριθμού κετανίου έδειξαν ότι, παρόλο που το βαμβακέλαιο έχει σημαντικά μικρότερο αριθμό κετανίου συγκριτικά με το καύσιμο diesel (41.2 έναντι 52.5), ο αριθμός κετανίου των μιγμάτων καυσίμου diesel – βαμβακελαίου μεταβάλλεται μη γραμμικά και εις τρόπον ώστε σε συγκεντρώσεις έως 30% κατ' όγκο σε βαμβακέλαιο να βελτιώνεται ο αριθμός κετανίου του καυσίμου. Η βιβλιογραφική διερεύνηση έδειξε πως αντίστοιχα φαινόμενα έχουν παρατηρηθεί και με άλλα φυτικά έλαια.

¹ Ο αριθμός κετανίου εκφράζει την αναφλεξιμότητα του καυσίμου και αποτελεί δείκτη ποιότητας για τα καύσιμα diesel αντίστοιχο με τον αριθμό οκτανίου της βενζίνης.

- Όσον αφορά την πυκνότητα σε θερμοκρασία 15°C, που είναι και προδιαγεγραμμένη από την νομοθεσία θερμοκρασία ελέγχου της πυκνότητας, το καύσιμο diesel έχει πυκνότητα 836 kg/m³ ενώ το βαμβακέλαιο 926 kg/m³. Υπολογίστηκε μέσω μετρήσεων πως η αναμενόμενη μέγιστη περιεκτικότητα κατ' όγκο σε βαμβακέλαιο για την οποία η πυκνότητα θα βρίσκεται εντός των προδιαγραφών της νομοθεσίας είναι περίπου 15%.
- Η μεταβολή της θερμογόνου δύναμης των μιγμάτων βαμβακελαίου - καυσίμου diesel συναρτηθεί της κατ' όγκο περιεκτικότητας σε βαμβακέλαιο είναι γραμμική με οριακές τιμές 44.963kJ/kg για το καθαρό καύσιμο diesel και 40.086 kJ/kg για το καθαρό βαμβακέλαιο.
- Οι μετρήσεις ιξώδους έδειξαν ότι αυτό μεταβάλλεται με μη γραμμικό τρόπο με την περιεκτικότητα σε βαμβακέλαιο. Μίγματα περιεκτικότητας έως 20% σε βαμβακέλαιο παρουσιάζουν τιμές κάτω του ανώτατου ορίου που προδιαγράφεται από τη νομοθεσία (4.5 cSt).
- Ιδιαίτερη σημασία για την ομαλή λειτουργία του κινητήρα έχουν οι ιδιότητες ψυχρής ροής των καυσίμων. Μετρήσεις δείχνουν πως μίγματα χαμηλών περιεκτικοτήτων σε βαμβακέλαιο πληρούν τις νομοθετημένες προδιαγραφές για τις ιδιότητες αυτές.

Για την αποφυγή προβλημάτων τα οποία μπορεί να επηρεάσουν την λειτουργία του οχήματος αποφασίστηκε η χρήση πρόσθετου στα καύσιμα το οποίο βελτιώνει τις ιδιότητες ψυχρής ροής και δρα ως καθαριστικό του συστήματος έγχυσης.

Με βάση τα παραπάνω πραγματοποιήθηκε πιλοτική χρήση σε επιβατηγά οχήματα (VW Golf 1.9 TDi, Euro II, Renault Laguna 1.9 dCi Euro III) μιγμάτων με συγκεντρώσεις 10% και 20% σε βαμβακέλαιο αρχικά στο Golf και κατόπιν 10% στο Laguna. Στα οχήματα καταγράφονταν και παρακολουθούνταν όλα τα λειτουργικά χαρακτηριστικά έτσι ώστε να εντοπιστούν και να αναλυθούν οι όποιες επιπτώσεις των καυσίμων στην λειτουργία των κινητήρων. Παράλληλα πραγματοποιούνταν μετρήσεις εκπομπών αερίων ρύπων για κάθε καύσιμο σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές έγκρισης τύπου αλλά και σε άλλους κύκλους οδήγησης. Η διατήρηση των εκπομπών ρύπων των οχημάτων στα προδιαγεγραμμένα επίπεδα αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την εισαγωγή και χρήση οποιουδήποτε βιοκαυσίμου στην Ευρωπαϊκή αγορά. Επίσης εφαρμόστηκαν και αξιολογήθηκαν συνθετικά λιπαντικά χαμηλού ιξώδους.

Οι μετρήσεις εκπομπών αερίων ρύπων, κατανάλωσης καυσίμου και ελαστικότητας έδειξαν ότι:

- Το βαμβακέλαιο στο καύσιμο σε συγκεντρώσεις έως 20% δεν επηρεάζει σημαντικά τις εκπομπές νομοθετημένων ρύπων, οι οποίες σε κάθε περίπτωση βρίσκονται εντός των προδιαγραφών του οχήματος. Η ελαφρά αυξητική τάση που παρατηρείται βρίσκεται κοντά στα όρια ακρίβειας των μετρήσεων.
-

-
- Το βαμβακέλαιο στο καύσιμο σε συγκεντρώσεις ως 20% φαίνεται να έχει μικρή επίδραση στις εκπομπές CO₂ των οχημάτων, ενώ καταγράφηκε μια γενική τάση μείωσης. Μετέπειτα μετρήσεις σε κινητήρα πέδης έδειξαν ότι το εύρος μεταβολής της κατανάλωσης είναι σε κάθε περίπτωση μικρό ενώ πιθανές αυξήσεις ή μειώσεις σχετίζονται περισσότερο με τον τύπο του κινητήρα και την διαχείριση της λειτουργίας του παρά με το καύσιμο.
 - Η χρήση των πειραματικών καυσίμων δεν είχε επίδραση στην ισχύ των κινητήρων.
 - Έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν από εξουσιοδοτημένους τεχνικούς στους κινητήρες και στα συστήματα έγχυσης καυσίμου έδειξαν ότι η χρήση των καυσίμων δεν δημιούργησε οποιαδήποτε μηχανικά προβλήματα στους κινητήρες.
 - Η καθημερινή πρακτική έδειξε ότι σε χαμηλές θερμοκρασίες (κοντά στους 0°C) παρουσιάστηκαν προβλήματα κατά την κρύα εκκίνηση τα οποία ξεπεράστηκαν αρχικά με τη χρήση του πρόσθετου αλλά και τη σταδιακή βελτίωση των χαρακτηριστικών του βαμβακελαίου από τον παραγωγό. Εντούτοις, παρατεταμένη χρήση των μιγμάτων σε χαμηλές θερμοκρασίες οδήγησε σε ατροφία των κινητήρων λόγω απόφραξης του φίλτρου καυσίμου, η οποία αντιμετωπίστηκε με αντικατάστασή του. Τα παραπάνω προβλήματα παρουσιάζονται μόνο κατά την χειμερινή λειτουργία και είναι δυνατό να ξεπεραστούν μέσω διαφόρων τεχνικών κατόπιν εξειδικευμένης μελέτης.
 - Τα λιπαντικά χαμηλού ιξώδους είχαν θετική επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου των οχημάτων ευνοώντας την εξοικονόμηση καυσίμου.
 - Τα επίπεδα εκπομπών ρύπων κατά τη χρήση συνθετικών λιπαντικών χαμηλού ιξώδους δεν διαφοροποιήθηκαν σημαντικά σε σχέση με τα επίπεδα αναφοράς.

Για την καλύτερη κατανόηση της επίδρασης των ειδικών καυσίμων και λιπαντικών στους κινητήρες πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε κινητήρα πέδης οι οποίες περιελάμβαναν μετρήσεις κατανάλωσης, εκπομπών αλλά και της πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Οι μετρήσεις αυτές:

- Κυμάνθηκαν σε συναφή επίπεδα με τις μετρήσεις των οχημάτων, όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων.
 - Έδειξαν ότι η μεταβολή στην κατανάλωση καυσίμου από την παρουσία του βαμβακελαίου είναι μικρού εύρους και μπορεί να είναι θετική ή αρνητική ανάλογα με τις συνθήκες και τη διαχείριση της λειτουργίας του κινητήρα.
 - Το συνθετικό λιπαντικό έχει θετική επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου και μικρές επιπτώσεις στις εκπομπές ρύπων.
 - Η διεργασία της καύσης στον κινητήρα δεν επηρεάζεται από την παρουσία του βαμβακελαίου στο καύσιμο, με εξαίρεση τη λειτουργία στο ρελαντί. Το φαινόμενο
-

αυτό μπορεί να ξεπεραστεί μέσω ειδικής ρύθμισης της διαχείρισης της λειτουργίας του κινητήρα.

Σαν γενικό συμπέρασμα της μελέτης μπορεί να διατυπωθεί ότι τα μίγματα βαμβακέλαιου – καυσίμου diesel, σε αναλογία 10% και 90% αντίστοιχα, μπορούν να εφαρμοστούν σε κινητήρες παλαιότερης και νεότερης τεχνολογίας (τύπου common rail), χωρίς να έχουν καμία επίδραση στην απόδοση 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 των συγκεκριμένων καυσίμων 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 χαμηλού ιξώδους μπορούν να συντελέσουν στην εξοικονόμηση καυσίμου, εφόσον είναι συμβατά με τον τύπο του κινητήρα, χωρίς να επιβαρύνουν τα επίπεδα εκπομπών διαφόρων ρύπων.

Για την περαιτέρω αξιοποίηση του βαμβακελαίου ως καυσίμου σε κινητήρες diesel προτείνονται τα εξής βήματα:

- Συστηματικότερη χρήση των καυσίμων σε πραγματικά οχήματα ελεγχόμενης λειτουργίας - στόλου.
- Διερεύνηση της επίδρασης των μιγμάτων βαμβακελαίου – καυσίμου diesel στο φίλτρο καυσίμου των κινητήρων υπό χαμηλές θερμοκρασίες
- Διερεύνηση διαθέσιμων πρόσθετων-βελτιωτικών ροής ώστε να αποφεύγεται η απόφραξη του φίλτρου καυσίμου στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.
- Περαιτέρω βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών του βαμβακελαίου μέσω της παραγωγικής διαδικασίας.

Τέλος, στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η πρωτοτυπία και η ποιότητα της παραπάνω έρευνας πιστοποιείται από τις δημοσιεύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής σε εθνικά και διεθνή συνέδρια:

Εισήγηση στο SAE 8th International Automotive Congress on Engines for Automobile με θέμα *"Experimental evaluation of cottonseed oil-diesel blends as automotive fuels via vehicle and engine measurements"*

Εισήγηση στο 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τα Βιοκαύσιμα με θέμα *«Μελέτη και αξιολόγηση μιγμάτων φυτικών ελαίων-ντίζελ ως καύσιμα κινητήρων.»*, 26-27 Απριλίου 2007, Νεοχώρι Καρδίτσας

Εισήγηση στο FISITA World Automotive Congress με θέμα *"Evaluation of cottonseed oil – Diesel fuel blends as fuel for automotive diesel engines"*, F2006P380

3 Εισαγωγή

Το θέμα της έκθεσης αυτής είναι η αξιολόγηση του βαμβακελαίου ως καυσίμου κινητήρων έναυσης με συμπίεση (κινητήρων diesel), η αξιολόγηση συνθετικών λιπαντικών χαμηλού ιξώδους καθώς και του συνδυασμένου αποτελέσματος της εφαρμογής τους. Για την επίτευξη των παραπάνω πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε πραγματικά οχήματα και κινητήρες diesel ώστε να διερευνηθεί η επίδραση των καυσίμων και των λιπαντικών στην κατανάλωση καυσίμου και στις εκπομπές ρύπων, νομοθετημένες και μη. 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.

3.1 Αντικείμενο της μελέτης

Στόχος του Προγράμματος, όπως προσδιορίστηκε στο τεύχος υποβολής πρότασης του έργου, είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης ειδικών καυσίμων και λιπαντικών στις εκπομπές και την κατανάλωση καυσίμου σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας κινητήρων diesel σύγχρονης τεχνολογίας. Ως ειδικά καύσιμα επιλέχθηκαν μίγματα βαμβακελαίου με συμβατικό καύσιμο diesel κίνησης σε διάφορες κατ' όγκο αναλογίες. Το βαμβακέλαιο είναι φυτικό έλαιο και αναγνωρίζεται από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία ως βιοκαύσιμο. Ως ειδικά λιπαντικά επιλέχθηκαν συνθετικά λιπαντικά χαμηλού ιξώδους τα οποία περιορίζουν τις τριβές στους κινητήρες και κατ' επέκταση την κατανάλωση καυσίμου. Οι επιλογές αυτές στηρίχθηκαν στην ανάγκη περιορισμού των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις οδικές μεταφορές και μείωσης των εκπομπών CO₂. Η εξοικονόμηση καυσίμων και η μείωση των εκπομπών θερμοκηπίου αποτελούν βασικούς άξονες της Ευρωπαϊκής πολιτικής στον τομέα των μεταφορών.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν επεξηγούνται αναλυτικά οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή των συγκεκριμένων καυσίμων και λιπαντικών. Παράλληλα πραγματοποιείται μια σύντομη ανασκόπηση των εφαρμογών των βιοκαυσίμων σε σύγχρονους κινητήρες diesel καθώς και ορισμένων στοιχείων του Ευρωπαϊκού Δικαίου τα οποία διέπουν την αγορά των βιοκαυσίμων. Επίσης παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τα λιπαντικά των κινητήρων και τις δυνατότητες περιορισμού της κατανάλωσης καυσίμου μέσω της χρήσης συνθετικών λιπαντικών χαμηλού ιξώδους. Ακολουθώς περιγράφονται αναλυτικά οι μετρήσεις και τα πρωτόκολλα που ακολουθήθηκαν τόσο για τις μετρήσεις των καυσίμων και των οχημάτων όσο και για τις μετρήσεις στον κινητήρα πέδης. Ακολουθεί ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων των μετρήσεων. Τέλος, μαζί με τα συμπεράσματα της έρευνας, παρουσιάζονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο αυτό.

3.2 Δομή προγράμματος

Η μελέτη αυτή έχει ως στόχο την εμβάθυνση στις δυνατότητες χρήσης βαμβακελαίου ως καυσίμου κινητήρων diesel αλλά και την επίδραση συνθετικών λιπαντικών χαμηλού

ιξώδους στη λειτουργία και τις εκπομπές ρύπων πραγματικών οχημάτων. Σε πρακτικό επίπεδο η μελέτη εξελίχθηκε σε τρία βήματα τα οποία στοχεύουν στα εξής:

- Να διευκρινισθεί το ερώτημα κατά πόσον οι φυσικές ιδιότητες των μιγμάτων βαμβακελαίου - Diesel προκύπτουν με ευθεία αναλογία από τις ιδιότητες του βαμβακελαίου και του πετρελαίου ξεχωριστά ή αν αυτές παρουσιάζουν μη γραμμικότητες. Σε περίπτωση που διαπιστωθούν μη γραμμικότητες, να γίνει καταρχήν προσδιορισμός της βέλτιστης περιοχής συγκέντρωσης βαμβακελαίου στο πετρέλαιο κίνησης και στη συνέχεια να διερευνηθεί κατά πόσο διάφορες περιεκτικότητες βαμβακελαίου στο καύσιμο είναι συμβατές με τον κινητήρα και τα όρια εκπομπών του οχήματος, εξετάζοντας παράλληλα τα αποτελέσματα της χρήσης πρόσθετου στο καύσιμο μίγμα. (Βήμα 1^ο)
- Μετά τον προσδιορισμό της βέλτιστης συγκέντρωσης βαμβακελαίου να μετρηθεί η επίπτωση στις εκπομπές, στην κατανάλωση, στην ισχύ και στη λειτουργία σύγχρονου οχήματος κατά τη διάρκεια ενός σημαντικού αριθμού χιλιομέτρων (>10.000 επιπλέον km), με παράλληλη βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών του. Συγχρόνως να εξεταστούν και τα αποτελέσματα της χρήσης λιπαντικών χαμηλού ιξώδους στο όχημα. (Βήμα 2^ο)
- Να γίνει λεπτομερής καταγραφή της επίδρασης του βελτιστοποιημένου μίγματος βαμβακελαίου-ντίζελ αλλά και των λιπαντικών χαμηλής τριβής σε κινητήρα πέδης. Να διευκρινιστούν οι όποιες επιδράσεις στη λειτουργία αλλά και στις διεργασίες καύσης που λαμβάνουν χώρα στους κινητήρες και να ολοκληρωθεί η εικόνα που δημιουργήθηκε κατά τις μετρήσεις στα οχήματα.

Για το πρώτο Βήμα του προγράμματος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των ιδιοτήτων των πειραματικών καυσίμων (μίγματα ντίζελ-βαμβακελαίου) και των επιπτώσεών τους στις εκπομπές πραγματικού οχήματος έτσι ώστε να πιστοποιηθούν τα περιθώρια ευρύτερης χρήσης τους. Παράλληλα έγινε εκτεταμένη εφαρμογή των καυσίμων αυτών –για 20000χλμ περίπου- σε πραγματικό όχημα ντίζελ (VW Golf). Τα βασικά συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από το πρώτο Βήμα του προγράμματος οδήγησαν στην επιλογή του βέλτιστου μίγματος βαμβακελαίου-ντίζελ το οποίο μελετήθηκε διεξοδικότερα κατά το δεύτερο Βήμα του Προγράμματος. Επίσης στο τέλος του πρώτου βήματος πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις με ειδικό λιπαντικό ώστε να διαπιστωθούν πιθανά σημεία στα οποία θα έπρεπε να επικεντρωθεί η μετέπειτα έρευνα.

Το δεύτερο Βήμα περιελάμβανε την εφαρμογή του επιλεγέντος μίγματος σε όχημα ντίζελ (Renault Laguna) σύγχρονης τεχνολογίας –υψηλής πίεσης έγχυσης καυσίμου, Common Rail- για 11000χλμ περίπου. Επίσης κατά το Βήμα αυτό πραγματοποιήθηκαν προσπάθειες βελτιστοποίησης του φυτικού ελαίου από τον παραγωγό ώστε να παρουσιάζει καλύτερα χαρακτηριστικά ως καύσιμο. Παράλληλα έγινε εφαρμογή ειδικού λιπαντικού εξοικονόμησης καυσίμου ώστε να διερευνηθεί το περιθώριο μείωσης της κατανάλωσης με τις δύο τεχνολογίες.

Στο τελικό Βήμα του Προγράμματος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε κινητήρα πέδης με μίγμα βαμβακελαίου - ντίζελ χωρίς πρόσθετο, αλλά και μετρήσεις με συμβατικό ντίζελ και λιπαντικό χαμηλού ιξώδους, ώστε να προσδιορισθούν ακριβέστερα (ποσοτικά) οι επιδράσεις τους στη λειτουργία του κινητήρα, κυρίως ως προς τις εκπομπές CO₂ και την κατανάλωση καυσίμου.

Πρέπει να διευκρινιστεί ότι σύμφωνα με το τεύχος υποβολής πρότασης του Προγράμματος Αρχιμήδης ΙΙ η αλλαγή και γήρανση του λιπαντικού για τη μελέτη της επίδρασής του στην απόδοση του κινητήρα και τις εκπομπές έπρεπε να προηγηθεί της εφαρμογής των πειραματικών καυσίμων. Εφόσον όμως αποφασίσθηκε η χρήση του βαμβακελαίου ως ειδικού καυσίμου, μια προσπάθεια η οποία ενέχει μεγάλο βαθμό πρωτοτυπίας – το βαμβακέλαιο έχει ελάχιστα μελετηθεί ως αυτούσιο καύσιμο κινητήρων Diesel - λόγω της έλλειψης βιβλιογραφίας γύρω από τη χρήση του βαμβακελαίου σε πραγματικά οχήματα, κρίθηκε αναγκαία η αντιστροφή της εφαρμογής καυσίμου λιπαντικού στο πρώτο όχημα (VW Golf). Αυτό έγινε ώστε, σε περίπτωση που η χρήση βαμβακελαίου προκαλούσε μηχανικές βλάβες στον κινητήρα, να μη διακυβευτούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων των λιπαντικών αλλά και η εξέλιξη της έρευνας. Όπως θα φανεί στην παρούσα έκθεση κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει και έτσι στο δεύτερο πειραματικό όχημα (Renault Laguna) οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη σειρά που προβλεπόταν στο τεύχος υποβολής πρότασης. Η οικονομία και η επιστημονική πληρότητα του Προγράμματος επέβαλλαν την εσωτερική αυτή αλλαγή η οποία σε καμία περίπτωση δεν επηρέασε το τελικό αποτέλεσμα όπως αυτό προδιαγράφεται από το τεύχος υποβολής πρότασης του Ερευνητικού Προγράμματος.

Τέλος, στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η πρωτοτυπία και η ποιότητα της παραπάνω έρευνας πιστοποιείται από τις δημοσιεύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής σε εθνικά και διεθνή συνέδρια:

Εισήγηση στο SAE 8th International Automotive Congress on Engines for Automobile με θέμα *"Experimental evaluation of cottonseed oil-diesel blends as automotive fuels via vehicle and engine measurements"*

Εισήγηση στο 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τα Βιοκαύσιμα με θέμα *«Μελέτη και αξιολόγηση μιγμάτων φυτικών ελαίων-ντίζελ ως καύσιμα κινητήρων.»*, 26-27 Απριλίου 2007, Νεοχώρι Καρδίτσας

Εισήγηση στο FISITA World Automotive Congress με θέμα *"Evaluation of cottonseed oil – Diesel fuel blends as fuel for automotive diesel engines"*, F2006P380

4 Επιλογή ειδικών καυσίμων και ειδικών λιπαντικών

4.1 Επιλογή βαμβακελαίου

Για τους σκοπούς της συγκεκριμένης έρευνας ως πειραματικά καύσιμα κινητήρων Diesel επιλέχθηκαν τα μίγματα βαμβακελαίου-ντίζελ, η εφαρμογή των οποίων προβλέπεται, όπως θα παρουσιαστεί σε επόμενο κεφάλαιο, από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα βιοκαύσιμα. Η επιλογή του βαμβακελαίου έγινε λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει η πιθανή απευθείας αξιοποίησή του ως καυσίμου οχημάτων. Βασικό εξ αυτών αποτελεί η αμεσότητα με την οποία μπορεί να διοχετευτεί στην ελληνική αγορά ως βιοκαύσιμο σε μίγματα με ντίζελ κίνησης καλύπτοντας μέρος του κενού που έχει δημιουργηθεί στη διείσδυση των βιοκαυσίμων. Όντας φθηνότερο τόσο του πετρελαίου όσο και του βιοντίζελ είναι ανταγωνιστικότερο και ελκυστικότερο στον καταναλωτή ενισχύοντας έτσι την εξοικείωση της αγοράς με τα σχεδόν «άγνωστα» ακόμη βιοκαύσιμα. Η παραγωγή βαμβακελαίου έχει μακρά ιστορία στην ελληνική αγροτική δραστηριότητα και σχετίζεται με μια καλλιέργεια (βάμβακος) την οποία οι Έλληνες αγρότες έχουν δοκιμάσει και γνωρίζουν καλά. Έτσι, μέσω της χρήσης βαμβακελαίου, αποφεύγεται το ρίσκο που εκ των πραγμάτων έχουν όλες οι νεοεισαγόμενες καλλιέργειες ενώ εξασφαλίζεται πολύτιμος χρόνος για την αναδιάρθρωση και εξειδίκευση των παραγωγών στις νέες, αποκαλούμενες και ενεργειακές, καλλιέργειες. Παράλληλα διασφαλίζεται, έστω και σε ένα ελάχιστο επίπεδο, η ασφάλεια του ανεφοδιασμού που στην αγορά καυσίμων έχει βαρύνουσα σημασία.

Το δεύτερο σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης του βαμβακελαίου είναι ότι αποτελεί εθνικό προϊόν διαθέσιμο σε σημαντικές ποσότητες από το οποίο αντλούν έσοδα χιλιάδες οικογένειες Ελλήνων αγροτών. Επίσης εκτός του βαμβακελαίου η καλλιέργεια βάμβακος δίνει ως προϊόν τη λεγόμενη βαμβακόπιτα η οποία προκύπτει κατά την διαδικασία παραγωγής του βαμβακελαίου. Ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να αναφερθεί είναι πως οι ποσότητες παραγωγής ελαίων από έκθλιψη ελαιούχων σπόρων και οι τιμές τους καθορίζονται από την ικανότητα διάθεσης της παραγόμενης πίτας. Η βαμβακόπιτα έχει ζήτηση στην εγχώρια κτηνοτροφία αποτελώντας ζωοτροφή πλούσια σε πρωτεΐνες, φθηνή και μη μεταλλαγμένη, ενώ είναι δυνατή και η καύση της ως βιομάζας.

Σε οικονομικό επίπεδο η χρήση του βαμβακελαίου παρουσιάζει επίσης ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά τόσο από μόνη της όσο και σε σύγκριση με το βιοντίζελ. Η τιμή του ακατέργαστου βαμβακελαίου κυμαίνεται γύρω στα 0,4€/l, ενώ μετά από επεξεργασία δεν ξεπερνά τα 0,55€/l. Η τιμή του βιοντίζελ εκτιμάται στα 0,65€/l (εύρος τιμών μεταξύ 0,55-0,85€/l) αλλά εξαρτάται άμεσα από την τιμή και τη διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης. Έτσι το βιοντίζελ παρουσιάζει κόστος παραγωγής το οποίο βρίσκεται κοντά σε αυτό του πετρελαίου σε αντίθεση με το βαμβακέλαιο το οποίο είναι αισθητά φθηνότερο. Με το κόστος του πετρελαίου, αλλά και της πρώτης ύλης του βιοντίζελ, να είναι εξαρτώμενο από τις διεθνείς αγορές, και κατά συνέπεια έντονα κυμαινόμενο, γίνεται αντιληπτό το

πλεονέκτημα της σταθερότερης και συγχρόνως χαμηλότερης τιμής που παρουσιάζει το βαμβακέλαιο.

Όσον αφορά την είσοδο στην ελληνική αγορά βιοκαυσίμων όπως το βαμβακέλαιο, είναι σκόπιμο να τονιστεί πως η τελευταία δεν λειτουργεί ανταγωνιστικά ή ανασταλτικά προς την εξάπλωση του βιοντίζελ (μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων) αλλά εντελώς συμπληρωματικά. Οι στόχοι όμως τους οποίους θέτει η 2003/30/EK αναφέρονται στο σύνολο των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για τις μεταφορές και χωρίς να αναφέρει περιορισμούς ως προς τον τρόπο. Για να ανταποκριθεί λοιπόν η Ελλάδα στις απαιτήσεις αυτές θα πρέπει είτε να προβεί σε εισαγωγές και παραγωγή βιοκαυσίμων που υποκαθιστούν τη βενζίνη όπως βιοαιθανόλη είτε να υποκαταστήσει μεγαλύτερα ποσοστά πετρελαίου κίνησης ώστε να καλυφθεί το έλλειμμα βιοκαυσίμων στη βενζίνη. Το κόστος της βιοαιθανόλης είναι σχετικά υψηλό ενώ η καλλιέργεια των απαιτούμενων πρώτων υλών ακόμα βρίσκεται σε νηπιακό στάδιο. Ως εκ τούτου έως το 2010 αναμένεται να αντικατασταθεί ποσοστό της βενζίνης από βιοκαύσιμα πολύ μικρότερο του προβλεπόμενου 5.75%. Η ανάγκη παραγωγής βιοκαυσίμων που υποκαθιστούν το πετρέλαιο ενισχύεται επίσης από το γεγονός ότι η ελληνική αγορά καυσίμων είναι ελλειμματική σε πετρέλαιο και πλεονασματική σε βενζίνη. Για το λόγο αυτό η ανάγκη βιοκαυσίμων, υποκατάστατων του πετρελαίου κίνησης, στην πραγματικότητα θα ξεπεράσει κατά πολύ το 5.75% του παραγόμενου ντίζελ κίνησης αφήνοντας χώρο για περισσότερα του ενός προϊόντα.

Με βάση τα παραπάνω έγινε η επιλογή του βαμβακελαίου και των μιγμάτων αυτού με ντίζελ ως ειδικών καυσίμων για της ανάγκες του Προγράμματος. Πιο συγκεκριμένα δοκιμάστηκαν μίγματα βαμβακελαίου - ντίζελ περιεκτικότητας 10% και 20% κατ' όγκο σε βαμβακέλαιο, σύμφωνα με τα όσα παρουσιάζονται στη συνέχεια.

4.2 Επεξεργασία βαμβακελαίου

Το βαμβακέλαιο που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις παρασκευάζεται στις εγκαταστάσεις του σπορελαιουργείου της Θεσσαλονίκης της Αφοί Καραγιώργου ΑΒΕΕ. Για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο κινητήρων, το βαμβακέλαιο που παράγεται με την υπάρχουσα διεργασία έκθλιψης υπόκειται σε περαιτέρω επεξεργασία που περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- i. Εξουδετέρωση της οξύτητας με περίσσεια NaOH, πλύση με νερό για την απομάκρυνση του σάπωνος.
 - ii. Ξήρανση σε κενό 30 mm Hg και διήθηση για την απομάκρυνση σωματιδίων και ιχνών σάπωνος.
 - iii. Απομάκρυνση των κλασμάτων που είναι δυνατό να προκαλέσουν απόφραξη του φίλτρου καυσίμου σε χαμηλές θερμοκρασίες με ψύξη στους -5°C , ωρίμανση - κρυστάλλωση, διήθηση σε θερμοκρασία κάτω των 0°C .
 - iv. Απόσταξη με υδρατμούς σε θερμοκρασία 200°C και κενό 30 mm Hg για την απομάκρυνση υπεροξειδικών ενώσεων.
-

v. Ξήρανση στους 90°C υπό κενό 30 mm Hg για την τελική απομάκρυνση (χωρίς οξειδώσεις) της υγρασίας.

vi. Διήθηση προς απομάκρυνση σωματιδίων.

Η εξέλιξη της παραπάνω επεξεργασίας πραγματοποιήθηκε παράλληλα με την εφαρμογή των καυσίμων στα πειραματικά οχήματα ώστε να βελτιστοποιηθούν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους.

4.3 Επιλογή Λιπαντικών

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής επιλέχθηκαν και εφαρμόστηκαν σε πειραματικά οχήματα συνθετικά λάδια χαμηλής τριβής με στόχο την αναγνώριση των όποιων επιπτώσεων τους στην οικονομία, την απόδοση και τις εκπομπές ρύπων των οχημάτων. Όπως θα παρουσιαστεί στη συνέχεια, τα λιπαντικά χαμηλής τριβής μπορούν να περιορίσουν τις εκπομπές CO₂ των οχημάτων από 0.5-4%. Τα λιπαντικά των οχημάτων αντικαθίστανται κατά μέσο όρο ανά 15,000 χλμ. Ο καταναλωτής είναι ελεύθερος να αγοράσει όποιο λιπαντικό είναι διαθέσιμο στην αγορά και πληροί τις καθορισμένες προδιαγραφές του κινητήρα. Πιθανή εφαρμογή λιπαντικών χαμηλού ιξώδους σε μεγάλη κλίμακα (ως εργοστασιακά αλλά και εμπορικά λιπαντικά), θα διασφαλίσει υπολογίσιμες βελτιώσεις στην κατανάλωση καυσίμου στο σύνολο του στόλου με ιδιαίτερα ευεργετική επίδραση και στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η εφαρμογή εντούτοις τέτοιων λιπαντικών θα πρέπει να εξασφαλίζει την καλή λειτουργία του κινητήρα αλλά και τα προδιαγεγραμμένα επίπεδα εκπομπών αερίων ρύπων του οχήματος ώστε η μείωση της κατανάλωσης να μην πραγματοποιείται σε βάρος άλλων ρύπων. Στόχος της μελέτης είναι τόσο η ποσοτικοποίηση της επίδρασης συνθετικών λιπαντικών στην κατανάλωση των οχημάτων όσο και η διερεύνηση των όποιων επιδράσεων στη λειτουργία και τις εκπομπές ρύπων των οχημάτων.

Πίνακας 4-1 Λιπαντικά που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια του προγράμματος

Κινητήρας	Λιπαντικό αναφοράς	Πειραματικό λιπαντικό
VW Golf 1.9TDi	SAE 15W50, API SL/CF, ACEA A3/B3 Shell Helix Plus Συνθετικό λιπαντικό κινητήρων Diesel και Βενζίνης	SAE 20W50, API SG/CD Meguin Motorenoel Turbo Spezial Ορυκτέλαιο
Renault Laguna 1.9cTDi	SAE 10W40, API CF, ACEA B3 Shell Helix Plus Συνθετικό λιπαντικό κινητήρων Diesel	SAE 5W30, API CF/SL, ACEA A3/B3/B4 Fuchs Titan Supersyn Συνθετικό Λιπαντικό Χαμηλής Κατανάλωσης
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

Τα λιπαντικά που χρησιμοποιήθηκαν στη διάρκεια του Προγράμματος στους διάφορους κινητήρες παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα. Στον πίνακα παρουσιάζονται τα

λιπαντικά τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται στους κινητήρες αυτούς από το ΕΕΘ – λιπαντικά αναφοράς- καθώς και τα πειραματικά λιπαντικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες του Προγράμματος. Για κάθε λιπαντικό δίνονται τόσο η προδιαγραφή κατά SAE όσο και κατά API καθώς και ο τύπος του (συνθετικό ή ορυκτέλαιο). Παρατηρείται ότι, εκτός από τον κινητήρα του VW Golf, τα λιπαντικά αναφοράς σε κάθε περίπτωση αντικαταστάθηκαν από συνθετικά λιπαντικά χαμηλής τριβής τα οποία έφεραν το χαρακτηρισμό «Λιπαντικό χαμηλής κατανάλωσης –Fuel Efficient Lubricant-. Τα λιπαντικά αυτά επιλέχθηκαν επειδή ήταν ήδη διαθέσιμα στην αγορά και επειδή έχουν λάβει το χαρακτηρισμό «Χαμηλής κατανάλωσης». Στην περίπτωση του VW Golf το λιπαντικό αναφοράς αντικαταστάθηκε με ορυκτέλαιο υψηλότερου ιξώδους μετά από παρότρυνση ειδικού τεχνικού της κατασκευάστριας εταιρίας να μην χρησιμοποιηθεί λιπαντικό χαμηλότερου ιξώδους. Έτσι μελετήθηκε η επίδραση ενός λιπαντικού μεγαλύτερου ιξώδους, παλαιότερης τεχνολογίας το οποίο σε αντίθεση με το λιπαντικό αναφοράς δεν ήταν συνθετικό. Αντίστοιχα λιπαντικά χρησιμοποιούνται από επαγγελματικά Diesel οχήματα παλαιότερης τεχνολογίας.

5 Περὶ βιοκαυσίμων και λιπαντικῶν χαμηλοῦ ἰξῶδους

Η υιοθέτηση του πρωτόκολλου του Kyoto από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), σε συνδυασμό με την αύξηση των τιμών των ορυκτών καυσίμων σε παγκόσμιο επίπεδο και τη διασφάλιση των ενεργειακών πόρων, ενισχύει την ανάγκη για ενεργειακά αποδοτικότερες μεταφορές. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ο κλάδος των μεταφορών στην Ευρώπη παρουσίασε αύξηση περίπου 22% των εκπομπών CO₂ κατά την περίοδο 1990-2002 υπονομεύοντας την πρόοδο που πραγματοποιήθηκε σε άλλους κλάδους της οικονομίας. Γίνεται συνεπώς σαφής η ανάγκη περιορισμού των εκπομπών θερμοκηπίου από τις μεταφορές. Η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των οχημάτων καθώς και η προώθηση στην ευρωπαϊκή αγορά φιλικότερων προς το περιβάλλον καυσίμων αποτελούν βασικούς άξονες της ευρωπαϊκής πολιτικής περιορισμού της κατανάλωσης ενέργειας και ενίσχυσης της βιωσιμότητας των μεταφορών. Τόσο τα βιοκαύσιμα όσο και τα λιπαντικά χαμηλού ἰξῶδους αποτελούν τεχνολογίες οι οποίες, εφόσον εφαρμοστούν, μπορούν να συμβάλλουν στον περιορισμό των εκπομπών CO₂ από τα οχήματα. Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μια σύντομη βιβλιογραφική παρουσίαση των χαρακτηριστικών των τεχνολογιών αυτών, του δυναμικού εξοικονόμησης εκπομπών CO₂ και παρατίθενται στοιχεία σχετικά με το υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο που καθορίζει την εφαρμογή τους.

5.1 Βιοκαύσιμα

5.1.1 Τα βιοκαύσιμα στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Το πρόβλημα των κλιματικών αλλαγών καθώς και η αυξανόμενη ανάγκη των ευρωπαϊκών κρατών να αποδεσμευθούν από τα ορυκτά καύσιμα έφεραν στο προσκήνιο την ανάγκη για νέα καθαρότερα και ανανεώσιμα καύσιμα. Το κύριο βάρος της ανάγκης αυτής καλούνται να σηκώσουν τα βιοκαύσιμα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) μέσω της κοινοτικής οδηγίας 2003/30/ΕΚ αναγνωρίζει τη σημασία του ρόλου που θα διαδραματίσουν τα βιοκαύσιμα μελλοντικά στην Ευρώπη θέτοντας το απαραίτητο νομικό πλαίσιο για την πώληση και χρήση τους εντός της ΕΕ. Σύμφωνα με την Οδηγία 2003/30/ΕΚ ως βιοκαύσιμο θεωρείται κάθε υγρό ή αέριο καύσιμο για τις μεταφορές το οποίο παράγεται από βιομάζα. Βιομάζα θεωρείται το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και κατάλοιπων από γεωργικές (συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών), δασοκομικές και συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων.

Τα καθαρά φυτικά έλαια στα οποία συμπεριλαμβάνεται το βαμβακέλαιο εμπίπτουν στην κατηγορία των βιοκαυσίμων και αναγνωρίζονται ως τέτοια όταν προέρχονται από ελαιούχα φυτά, παραγόμενα με συμπίεση, έκθλιψη ή ανάλογες μεθόδους, φυσικά ή εξευγενισμένα αλλά μη χημικώς τροποποιημένα, **όταν είναι συμβατά με τον τύπο του οικείου κινητήρα και τις αντίστοιχες προϋποθέσεις όσον αφορά τις εκπομπές**. Επιπλέον είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι σύμφωνα με την Οδηγία τα βιοκαύσιμα μπορούν να διατίθενται τόσο ως αμιγή βιοκαύσιμα όσο και αναμεμιγμένα με παράγωγα πετρελαιοειδών σύμφωνα με τα συναφή ευρωπαϊκά πρότυπα. Η Οδηγία ορίζει πως στο τέλος του 2005 η

συμμετοχή των βιοκαυσίμων στο εθνικό σύνολο των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για τις μεταφορές πρέπει να ανέρχεται στο 2% και στο 5.75% στο τέλος του 2010. Τα ποσοστά αυτά αναφέρονται στο σύνολο των καυσίμων των μεταφορών και δεν είναι δεσμευτικά ως προς τον τύπο του καυσίμου.

Τα βασικά συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από τα προαναφερθέντα είναι δύο. Πρώτον, ότι το υφιστάμενο ευρωπαϊκό νομικό πλαίσιο καλύπτει πλήρως την χρήση φυτικών ελαίων ως καυσίμων σε κινητήρες εσωτερικής καύσης είτε αμιγή είτε σε ανάμειξη με ορυκτά καύσιμα εφόσον δεν δημιουργούν πρόβλημα στον κινητήρα και με τη χρήση τους δεν παραβιάζονται τα όρια εκπομπών αερίων ρύπων. Δεύτερον, δεδομένης της υποχρεωτικής αύξησης της συμμετοχής των βιοκαυσίμων στα ευρωπαϊκά κράτη στο 5.75% του συνόλου έως το 2010 (εκτίμηση για την Ελλάδα αναφέρει 370000 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου [Μπάτος και Ζευγώλη]) και της χαμηλότατης υφιστάμενης παραγωγής, αναμένεται σημαντική αύξηση της εμπορευσιμότητας των βιοκαυσίμων την επόμενη τετραετία, ειδικά στην Ελλάδα.

5.1.2 Βιοντίζελ και φυτικά έλαια

Η ιδέα της χρήσης καυσίμων προερχόμενων από βιομάζα και λοιπές βιολογικές πηγές σε κινητήρες εσωτερικής καύσης δεν είναι καινούργια. Ο Rudolf Diesel είχε επισημάνει τα πλεονεκτήματα της χρήσης φυσικών ελαίων ως καυσίμων για τον κινητήρα του και τις δυνατότητες ανάπτυξης που αυτά παρείχαν στα φτωχά γεωργικά κράτη. Ωστόσο η χαμηλή μέχρι πρότινος τιμή του πετρελαίου καθώς και η έλλειψη ευαισθητοποίησης γύρω από τα οικολογικά ζητήματα οδήγησαν στην καθολική επικράτηση των ορυκτών καυσίμων έναντι των βιοκαυσίμων. Σήμερα, καθώς οι παράγοντες αυτοί αρχίζουν να αναστρέφονται, τα βιοκαύσιμα αποκτούν ξανά ιδιαίτερο οικονομικό και επιστημονικό ενδιαφέρον. Ειδικά για την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) και ιδιαίτερα για την Ελλάδα, όπου υπάρχει σημαντικό εκμεταλλεύσιμο δυναμικό παραγωγής βιοκαυσίμων [Γερονικολού και Κυρίτσης 2005], το ενδιαφέρον τα επόμενα χρόνια αναμένεται να είναι ακόμα πιο έντονο.

Μέχρι στιγμής οι κύριες μορφές βιοκαυσίμων για χρήση σε μηχανές εσωτερικής καύσης οι οποίες παράγονται και διακινούνται παγκοσμίως είναι η βιοιθανόλη και το βιοντίζελ. Η βιοιθανόλη χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο της βενζίνης και κύρια παραγωγός χώρα είναι η Βραζιλία, ενώ στην Ευρώπη το αυξημένο κόστος παραγωγής περιορίζει τη χρήση της. Στην Ελλάδα ορισμένες καλλιέργειες, όπως το γλυκύ σόργο, προσφέρονται για παραγωγή βιοιθανόλης [Γερονικολού και Κυρίτσης 2005], αλλά τέτοιες δραστηριότητες βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Το βιοντίζελ από την άλλη χρησιμοποιείται σε κινητήρες έναυσης με συμπίεση και η χρήση του είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στην Ευρώπη.

Ως βιοντίζελ ορίζονται οι μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων που χρησιμοποιούνται ως βιοκαύσιμα, οι οποίοι παράγονται από φυτικά έλαια ή ζωικής προέλευσης λιπίδια και έχουν ποιότητα αντίστοιχη με το συμβατικό Diesel. Η σημαντική διάδοση του βιοντίζελ οφείλεται σε διάφορους παράγοντες ανάμεσα στους οποίους ξεχωρίζουν

- Η συγγένειά του με το συμβατικό Diesel, όσον αφορά τα κρισιμότερα χαρακτηριστικά που απαιτούνται από τους κινητήρες, δεδομένου ότι οι κατασκευαστές των κινητήρων απαιτούν πολύ αυστηρές προδιαγραφές ως προς τις ιδιότητες των καυσίμων.
- Η δυνατότητα παραγωγής του από διαφορετικά λάδια ποικίλων ιδιοτήτων και προέλευσης, πράγμα που εξασφαλίζει τη συνεχή προμήθεια πρώτης ύλης κατά τη διάρκεια του έτους από εποχιακές πηγές (καλλιέργειες) και έτσι μπορεί να εξασφαλίσει την παραγωγή του σε βιομηχανική κλίμακα.
- Το γεγονός ότι είναι βιοδιασπώμενο και ότι δρα περιοριστικά στις εκπομπές ορισμένων αερίων ρύπων και του καπνού [McGill et al. 2003, Μπαράκος].

Πέρα από τα παραπάνω πλεονεκτήματα, το βιοντίζελ παρουσιάζει και μειονεκτήματα. Αυτά συνοψίζονται κυρίως

- Στο υψηλό κόστος παραγωγής του, το οποίο μέχρι πρότινος ξεπερνούσε στην Ελλάδα την τιμή πώλησης του συμβατικού Diesel.
- Στην περιεκτικότητά του σε οργανικά και ανόργανα οξέα καθώς και άλλους παράγοντες που προκαλούν φθορά και γήρανση των εξαρτημάτων του κινητήρα [Dieselnet].

Γενικά οι κατασκευαστές κινητήρων και συστημάτων έγχυσης αποτρέπουν τη χρησιμοποίηση μιγμάτων Diesel με βιοντίζελ με συγκεντρώσεις του τελευταίου άνω του 5% κ.ό. (ιδιαίτερα σε κινητήρες με σύγχρονα συστήματα έγχυσης υψηλής πίεσης). Σχετικά πρόσφατα όμως ορισμένοι κατασκευαστές αρχίζουν να αποδέχονται συγκεντρώσεις βιοντίζελ μέχρι 30%.

Όπως ήδη ειπώθηκε, εκτός από το βιοντίζελ, υπάρχει η δυνατότητα απευθείας χρήσης φυτικών ελαίων ως υποκατάστατων ή συμπληρωματικών προς το συμβατικό πετρέλαιο. Παγκοσμίως έχουν μελετηθεί πολλοί διαφορετικοί τύποι ελαίων για απευθείας χρήση όπως κραμβέλαιο, λάδι jatropha [Forson et al. 2004], λάδι καρύδας [Semsri et al.], καουτσουκέλαιο [Ramadhas et al. 2004], βαμβακέλαιο [He and Bao 2004], ακόμα και μαγειρεμένα φυτικά έλαια [Zaher et al. 2003]. Για την Ελλάδα έχουν μελετηθεί και προταθεί το καπνέλαιο [Giannelos et al. 2001] και το λάδι από τοματόσπορο [Giannelos et al. 2004].

Στον Πίνακα 3-1 παρουσιάζονται οι βασικές ιδιότητες διαφόρων φυτικών ελαίων, καθώς και οι ισχύουσες Ευρωπαϊκές προδιαγραφές για τα καύσιμα των κινητήρων Diesel (EN590). Για λόγους σύγκρισης ο Πίνακας παρουσιάζει επίσης τις ισχύουσες Ευρωπαϊκές προδιαγραφές για το βιοντίζελ (EN14214). Όπως φαίνεται από τον Πίνακα, πολλές ιδιότητες των φυτικών ελαίων βρίσκονται εκτός των προδιαγραφών του πετρελαίου και εμποδίζουν την άμεση χρήση τους σε κινητήρες diesel:

-
- Το υψηλό τους ιξώδες είναι 10 ως 20 φορές μεγαλύτερο από εκείνο του πετρελαίου (πράγμα που οφείλεται στο υψηλό μοριακό βάρος και τη χημική δομή των τριγλυκεριδίων). Το μεγάλο ιξώδες οδηγεί σε ανεπαρκή διαμερισμό του καυσίμου κατά την έγχυση με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας της καύσης, τη δημιουργία επικαθίσεων άνθρακα στους εγχυτήρες με πιθανότητα αστοχίας του συστήματος έγχυσης καυσίμου.
 - Η σχετικά υψηλή περιεκτικότητά τους σε ακόρεστες ενώσεις, που περιγράφεται συνολικά από τον αριθμό ιωδίου. Οι ακόρεστοι δεσμοί στις αλυσίδες των λιπαρών οξέων αποτελεί αιτία θερμικής αστάθειας, οξειδωσης και πολυμερισμού, με αποτέλεσμα τη δημιουργία, στις υψηλές θερμοκρασίες της καύσης, στερεών με υφή πλαστικού, που μπορεί να επικαλύψουν μέρη της μηχανής (πιθανότητα αστοχίας της αντλίας και των εγχυτήρων).
 - Οι σχετικά ανεπαρκείς ιδιότητές τους σε συνθήκες ψυχρής ροής, όπως αυτές περιγράφονται από το Σημείο θόλωσης και το Σημείο ροής, καθώς τα φυτικά έλαια στερεοποιούνται (κρυσταλλώνονται) σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα δυσκολία ή και αδυναμία εκκίνησης του κινητήρα σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών. Ο αριθμός κετανίου τους είναι κατά 10 περίπου μονάδες χαμηλότερος από εκείνον του πετρελαίου. Ο μικρός αριθμός κετανίου οφείλεται γενικά στην ύπαρξη διπλών δεσμών και ιδίως αυτών που βρίσκονται στο μέσο της αλυσίδας των ενώσεων. Ο χαμηλός αριθμός κετανίου ευθύνεται για καθυστέρηση της έναυσης (του χρόνου μεταξύ έγχυσης και ανάφλεξης) και συνδέεται γενικά με αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου.
 - Η πυκνότητα των φυτικών ελαίων είναι ελαφρά υψηλότερη (~6%) από την ανώτερη επιτρεπτή του πετρελαίου (λόγω των βαρέων μορίων των ελαίων), ενώ παράλληλα το θερμικό τους περιεχόμενο κατά μάζα είναι μικρότερο (κατά ~12%) εκείνου του πετρελαίου Diesel (κυρίως λόγω του οξυγόνου των λιπαρών οξέων). Καθώς όμως οι αντλίες των κινητήρων εργάζονται σε ογκομετρική βάση, η προσδιδόμενη ενέργεια θα είναι περίπου 5-6% μικρότερη του πετρελαίου και άρα, κατ' αρχήν, αναμένεται ελαφρά μείωση της ισχύος και αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου των κινητήρων.
 - Η καθυστέρηση έναυσης συνδέεται επίσης με το υψηλό ιξώδες και τη χαμηλή πτητικότητα των φυτικών ελαίων. Η χαμηλή τους πτητικότητα αντανakλάται επίσης στο σημείο ανάφλεξης που είναι πολύ υψηλότερο εκείνου του πετρελαίου.
-

Πίνακας 5-1 Ιδιότητες των κυριότερων φυτικών ελαίων [πηγή Giannelos et al. 2004] – Σύγκριση με τις προδιαγραφές του πετρελαίου Diesel (EN590) και του biodiesel (EN14214)

Φυτικό έλαιο	Πυκνότητα @ 15°C (kg/l)	Κιν. Ιξώδες @ 40°C (mm ² /s)	Σημείο ανάφλεξης (°C)	Αριθμός Κετανίου	Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)	CFPP (°C)	Σημείο ροής (°C)	Θείο (wt.%)	Αριθμός Σαπωνοποίησης (mg KOH/g)	Αρ. Ιωδίου	Τέφρα (%)
Αραβοσιτέλαιο	0.9095	34.9	277	37.6	39.5	-1.1	-40	0.01	187-195	122.6	0.01
Βαμβακέλαιο	0.9148	33.5	234	41.8	39.5	1.7	-15	0.01	189-198	105.7	0.01
Φυστικέλαιο	0.9026	39.6	271	41.8	39.8	12.8	-6.7	0.01	187-196	-	0.005
Κραμβέλαιο	0.9115	37	246	37.6	39.7	-3.9	-31.7	0.01	168-181	130	0.054
Σουσαμέλαιο	0.9133	35.5	260	40.2	39.3	-3.9	-9.4	0.01	187-195	106.6	<0.01
Σογιέλαιο	0.9138	32.6	254	37.9	39.6	-3.9	-12.2	0.01	189-195	135 (**)	<0.01
Ηλιέλαιο	0.9161	33.9	274	37.1	39.6	7.2	-15	0.01	188-194	125.5	<0.01
Καπνέλαιο	0.9175	27.7	220	38.7	39.4	-7.8	-14	0.006	193	135	0.008
EN590	0.820 - 0.845 (min-max)	2.0-4.5 (min-max)	55 (min)	51 (min)	45 (*)	max +5/-5°C (Ελλάδα)	-	0.005 (max)	-	-	0.01 (max)
EN14214 (03/2003)	0.860-0.900 (min-max)	3.5-5.0 (min-max)	120 (min)	51 (min)	-	max +5/-5°C (Ελλάδα)	-	0.001 (max)	-	120 (max)	

(*) Δεν προδιαγράφεται (**) Διαφορετική από εκείνη που αναφέρεται στη [Giannelos et al. 2004]

Βασικότερο πλεονέκτημα όμως των φυτικών ελαίων είναι ότι δεν χρειάζονται πολυέξοδες επενδύσεις για την αξιοποίησή τους ενώ αποτελούν παραπροϊόντα της αγροτικής παραγωγής, την οποία μπορούν να ωφελήσουν άμεσα.

Τέλος, είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι στην αμερικανική, αλλά και την ευρωπαϊκή, αγορά διατίθενται συστήματα για τη χρήση καθαρών φυτικών ελαίων σε κινητήρες Diesel. Επιπλέον υπάρχουν ομάδες ανθρώπων που χρησιμοποιούν λάδια για την κίνηση των οχημάτων τους καταγράφοντας συγχρόνως τα προβλήματα που προκύπτουν. Αν και δεν πρόκειται για επιστημονικές έρευνες, εντούτοις η εμπειρία που καταγράφεται μπορεί να ωφελήσει σε επόμενα στάδια της έρευνας στο αντικείμενο.

5.2 Ειδικά Λιπαντικά

Πέραν της χρήσης του βαμβακέλαιου, στα πλαίσια του Προγράμματος μελετήθηκε η επίδραση των συνθετικών λιπαντικών χαμηλού ιξώδους στις εκπομπές CO₂ των οχημάτων και των κινητήρων. Όπως θα παρουσιασθεί στη συνέχεια, η τριβή στα επιμέρους μέρη του κινητήρα είναι υπεύθυνη για ένα σημαντικό ποσοστό αντιστάσεων που παρουσιάζονται στο όχημα και προκαλεί επιπρόσθετη κατανάλωση καυσίμου. Η εφαρμογή λιπαντικών τα οποία περιορίζουν τις απώλειες λόγω τριβών μπορεί άμεσα να βοηθήσει στον περιορισμό μέρους των εκπομπών θερμοκηπίου από τα οχήματα, χωρίς εξωτερικές παρεμβάσεις και μεγάλο κόστος. Στόχος της εργασίας ήταν η πειραματική ποσοτικοποίηση του δυναμικού μείωσης τέτοιων λιπαντικών, παράλληλα με την αξιολόγηση των όποιων περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή μεταβολών της λειτουργίας του κινητήρα που μπορεί να επιφέρει η χρήση τους .

5.2.1 Τριβή και λιπαντικά κινητήρων

Η τριβή εμφανίζεται σε όλα τα κινούμενα μέρη ενός οχήματος, όπου υπάρχει επαφή μεταξύ επιφανειών. Στο εσωτερικό ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης, δαπανάται έργο για την υπερνίκηση της τριβής που παρουσιάζεται λόγω της σχετικής κίνησης των επιμέρους εξαρτημάτων στο εσωτερικό του κινητήρα και στα παρελκόμενα εξαρτήματα (αντλίες, ο ανεμιστήρας, οι γεννήτριες κ.ά). Στην πρώτη περίπτωση αναφερόμαστε στη μηχανική τριβή που περιλαμβάνει την τριβή των εσωτερικών κινούμενων μερών του κινητήρα και στη δεύτερη στο λεγόμενο έργο βοηθητικών μηχανισμών.

Δύο χαρακτηριστικά είδη τριβής μπορούν να παρουσιασθούν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα, η μικτή και η υδροδυναμική τριβή. Και τα δύο είδη τριβής εξαρτώνται από την σχετική ταχύτητα των τριβομένων επιφανειών και το μεταξύ τους φορτίο. Επί πλέον, η μικτή τριβή καθορίζεται τόσο από τις ιδιότητες των επιφανειών όσο και από τις ιδιότητες και την ποσότητα του λιπαντικού. Οι κυριότερες ιδιότητες (σχετικές με την τριβή) μιας επιφάνειας είναι η τραχύτητα, η πλαστικότητα, η τάση αποκοπής και η θερμική αγωγιμότητα, ενώ οι κυριότερες ιδιότητες των λιπαντικών είναι χημικές και προσδιορίζουν την ικανότητα των μορίων του λιπαντικού να επικολλώνται στις επιφάνειες,

Η υδροδυναμική τριβή δεν επηρεάζεται από τις ιδιότητες της επιφάνειας αλλά μόνο από το ιξώδες του λιπαντικού, καθώς επικρατούν αντιστάσεις στην κίνηση μόνο από διατμητικές τάσεις στο λιπαντικό φιλμ και όχι από την αλληλεπίδραση μεταξύ επιφανειών. [Heywood 1998]. Τόσο η μικτή τριβή όσο και η υδροδυναμική τριβή εμφανίζονται στο εσωτερικό του κινητήρα σε διαφορετικά μέρη ή υπό διαφορετικές συνθήκες. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις όπου εμφανίζεται ο συνδυασμός των δύο ειδών τριβής.

Οι αντιστάσεις που παρουσιάζονται λόγω των τριβών στον κινητήρα καθορίζονται κυρίως από το σχεδιασμό του κινητήρα και το χρησιμοποιούμενο λιπαντικό. Με στόχο τη βελτίωση της οικονομίας του καυσίμου, οι κατασκευαστές οχημάτων τα τελευταία χρόνια έχουν επανασχεδιάσει ορισμένα εξαρτήματα του κινητήρα και χρησιμοποιούν πιο εξειδικευμένα υλικά. Επιπροσθέτως, η βιομηχανία λιπαντικών, σε συνεργασία με τους κατασκευαστές κινητήρων, έχει παραγάγει λιπαντικά τα οποία μειώνουν τις τριβές στον κινητήρα. Η χρήση τέτοιων λιπαντικών, αντί των αντίστοιχων συμβατικών, θεωρείται ότι μειώνει την τριβή στον κινητήρα, επιτυγχάνοντας έτσι μείωση στην κατανάλωση καυσίμου.

Τα λιπαντικά μειώνουν την τριβή και τη φθορά σε κρίσιμα συστήματα του οχήματος όπως είναι ο κινητήρας, το κιβώτιο ταχυτήτων και το σύστημα μετάδοσης κίνησης. Χωρίς τη χρήση των λιπαντικών, τα κινούμενα μέρη στο εσωτερικό τέτοιων συστημάτων θα ανέπτυσσαν σημαντική δύναμη τριβής μεταξύ τους που θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας, την κόπωση και τη φθορά. Το λιπαντικό που χρησιμοποιείται σε κινητήρες εξυπηρετεί πολλούς σκοπούς, μερικοί από τους οποίους είναι η μείωση της τριβής, η ψύξη του κινητήρα, ο περιορισμός της φθοράς στα κινούμενα μέρη και η προστασία από τη διάβρωση. Επίσης, τα λιπαντικά παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξοικονόμηση καυσίμου μέσω της επίδρασής τους στις τριβές του κινητήρα.

Το ιξώδες του λιπαντικού είναι ο πλέον σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την τριβή. Καθορίζει, κατ' αρχήν, κατά κύριο λόγο το εάν θα υπάρξει μικτή ή υδροδυναμική τριβή. Το μεγάλο ιξώδες ευνοεί την ανάπτυξη υδροδυναμικής τριβής, η οποία μειώνει την φθορά αλλά αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου όσο αυξάνεται το ιξώδες, επειδή αυξάνει η απώλεια τριβών σε εξαρτήματα στα οποία επικρατεί η υδροδυναμική τριβή όπως είναι τα διάφορα έδρανα. Ακόμη, το λιπαντικό μεγάλου ιξώδους απαιτεί αντλία μεγαλύτερης ισχύος, άρα επί πλέον κατανάλωση καυσίμου.

Υπάρχουν πολλά χαρακτηριστικά των λιπαντικών, τα οποία εισάγονται από διαφορετικούς οργανισμούς, τα πιο γνωστά εκ των οποίων είναι η διαδικασία ελέγχου της ACEA (European Automobile Manufacturers Association), η κατάταξη του API (American Petroleum Institute), ο τύπος ιξώδους κατά SAE (Society of Automotive Engineers) και άλλα χαρακτηριστικά που εισάγονται από κατασκευαστές. Ανάμεσα στα κριτήρια έγκρισης των συγκεκριμένων τεστ, είναι οι ιδιότητες σε προστασία από φθορά, το υπόλειμμα της καύσης, ο τύπος του κινητήρα, η περιεκτικότητα σε υπολείμματα θειικού άλατος και άλλα.

Η SAE κατατάσσει τα λιπαντικά σύμφωνα με το ιξώδες τους. Διακρίνονται δύο χαρακτηριστικοί αριθμοί για τον προσδιορισμό του ιξώδους του λιπαντικού, όπως για

παράδειγμα το 5W-30 ή το 10W-30. Στην περίπτωση του 5W-30, το 5W αναφέρεται στην ρευστότητα όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή, (W=winter grade). Όσο πιο μικρός είναι ο αριθμός, τόσο πιο ρευστό είναι το λιπαντικό σε χαμηλές θερμοκρασίες, γεγονός που κάνει την κρύα εκκίνηση πιο εύκολη. Το 30 αναφέρεται στην ρευστότητα όταν η θερμοκρασία είναι υψηλή. Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός τόσο πιο μεγάλο ιξώδες έχει το λιπαντικό σε μεγάλες θερμοκρασίες και επομένως παρέχει μεγαλύτερη προστασία.

Μία δεύτερη μέθοδος κατάταξης λιπαντικών είναι με βάση την προέλευσή τους. Με βάση την κατάταξη αυτή διακρίνονται σε ορυκτέλαια και σε συνθετικά λιπαντικά. Στη βιβλιογραφία [IEA 2005] αναφέρεται ότι οι κατασκευαστές λιπαντικών ισχυρίζονται πως τα συνθετικά λιπαντικά προσφέρουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα, χωρίς όμως να γίνεται λόγος για τη δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου. Επομένως, τα συνθετικά και τα ορυκτέλαια ίδιου τύπου (grade) ενδέχεται να μην έχουν καμία σημαντική διαφορά όσον αφορά την οικονομία καυσίμου, αλλά παρόλα αυτά να διαφέρουν σε άλλα χαρακτηριστικά όπως το διάστημα αποστράγγισης του λιπαντικού.

5.2.2 Συνθετικά λιπαντικά εξοικονόμησης καυσίμου

Για τον χαρακτηρισμό ενός λιπαντικού ως λιπαντικό εξοικονόμησης καυσίμου, τόσο το Αμερικανικό Πετρελαϊκό Ινστιτούτο (API) όσο και η ACEA, έχουν αναπτύξει ειδικά τεστ που περιλαμβάνουν μετρήσεις σε κινητήρα. Η κατανάλωση καυσίμου πρότυπου κινητήρα στον οποίο εφαρμόζεται το προς εξέταση λιπαντικό συγκρίνεται με την κατανάλωση που μετράται με ένα λιπαντικό αναφοράς. Για να μπορέσει να χαρακτηριστεί κάποιο λιπαντικό ως λιπαντικό το οποίο ευνοεί την εξοικονόμηση καυσίμου θα πρέπει να βελτιώνει την κατανάλωση στον πρότυπο κινητήρα εντός συγκεκριμένων προδιαγεγραμμένων ορίων [Taylor and Coy]. Στην Ευρώπη, το τεστ οικονομίας καυσίμου αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας ένα κινητήρα Mercedes Benz M111, 2.0 λίτρων. Η ελάχιστη απαιτούμενη βελτίωση που μετράται κατά το Ευρωπαϊκό τεστ εξοικονόμησης καυσίμου, στον κινητήρα M111, με στόχο τον προσδιορισμό καταλληλότητας όσον αφορά στην χαμηλή τριβή, το χαμηλό ιξώδες και το HTHS χαμηλό ιξώδες (High Temperature High Shear), είναι της τάξεως του 2.5%. Τέτοιες μετρήσεις πραγματοποιούνται με πρότυπο συνθετικό λιπαντικό το οποίο δεν περιέχει πρόσθετο αντιτριβής που θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των απωλειών τριβής, έχει μεγαλύτερο ιξώδες και μεγαλύτερο ιξώδες HTHS [SMOKERS ET AL. 2006]. Γενικότερα, επειδή στις ευρωπαϊκές πόλεις επικρατούν υψηλές ταχύτητες κατά την οδήγηση, δόθηκε έμφαση στην ανάπτυξη της ανθεκτικότητας των λιπαντικών και όχι στην αποδοτικότητα.

Με τη μείωση του ιξώδους του λιπαντικού, μπορεί να μειωθούν οι απώλειες τριβής και να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση του κινητήρα. Παρόλα αυτά, τα λιπαντικά διαφοροποιούν τις ιδιότητες υπό διαφορετικές συνθήκες οδήγησης/λειτουργίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα λιπαντικά να παρουσιάζουν διαφορετικές ιδιότητες μείωσης της τριβής υπό διαφορετικές θερμοκρασίες. Η εμπειρία σε αυτή την περίπτωση δείχνει ότι όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο πιο παχύρρευστο γίνεται το λιπαντικό και επομένως εμφανίζονται μεγαλύτερες απώλειες τριβών.

Στην έκθεση του IEA για το 2005, που αφορούσε στην εξοικονόμηση καυσίμων από οχήματα, δίνεται μία σύντομη περιγραφή της εξέλιξης των λιπαντικών των κινητήρων στην αγορά κατά τα τελευταία 20 χρόνια [IEA 2005]. Τα τελευταία χρόνια, το ιξώδες των λιπαντικών των κινητήρων έχει μειωθεί σημαντικά. Κατά τις δεκαετίες του 1970 και 1980, οι πιο συνηθισμένοι τύποι λιπαντικών που χρησιμοποιούνταν ήταν του τύπου SAE 10W-40 και 15W-40. Αυτού του τύπου τα λιπαντικά αντικαταστάθηκαν σταδιακά από τα SAE 10W-30 και 5W-30, σε ελαφρά φορτηγά, κατά τη δεκαετία του 1980. Σήμερα, το πιο συνηθισμένο λιπαντικό που χρησιμοποιείται εργοστασιακά, σε κινητήρες επιβατικών οχημάτων και ελαφριών φορτηγών σε όλες τις χώρες-μέλη του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης), είναι το 5W-30 αν και πολλοί καταναλωτές συνεχίζουν να χρησιμοποιούν ακόμα τα 10W-30 και 10W-40, όταν αλλάζουν λιπαντικά. Πρόσφατα, έχουν εμφανιστεί στην αγορά τα πιο εξελιγμένα 5W-20 και 0W-20.

Τα λιπαντικά τύπου 5W-20 χρησιμοποιούνται τώρα σε πολλά δημοφιλή αυτοκίνητα, ως εργοστασιακά λιπαντικά, όπως για παράδειγμα σε όλα σχεδόν τα μοντέλα μετά το 2000 της Honda και μετά το 2001 της Ford. Το λάδι τύπου 0W-20 χρησιμοποιείται μόνο από το νέο υβριδικό όχημα της Honda. Οι κορυφαίες εταιρείες αυτοκινητοβιομηχανίας παραδέχονται ότι το λιπαντικό τύπου 5W-20 θα έπρεπε να ήταν επαρκές για τα πλείστα μοντέρνα (μετά το 1995) επιβατικά οχήματα και ελαφρά φορτηγά, αλλά οι περισσότεροι κατασκευαστές δεν το συνιστούν επίσημα. Παρόλα αυτά, οι κατασκευαστές που έχουν επιφυλάξεις ως προς τη χρήση του 5W-20 σε οχήματα υψηλών επιδόσεων υποβάλλουν τα οχήματα σε δοκιμασίες μεγάλου φορτίου, ρυμούλκησης και υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος.

5.2.3 Θεωρητικό δυναμικό μείωσης εκπομπών CO₂

Είναι δύσκολο να οριστεί μία και μοναδική σχέση που θα συνδέει το λιπαντικό χαμηλού ιξώδους με την εξοικονόμηση καυσίμου. Αντιθέτως, θα ήταν πιο ακριβές να μιλήσουμε για ένα εύρος μείωσης εκπομπών CO₂ μέσω της χρήσης λιπαντικών χαμηλού ιξώδους και βελτιστοποίηση του κινητήρα. Γενικά, το εύρος αυτό κυμαίνεται μεταξύ 1% και 4%. Είναι αναμενόμενο ότι τέτοια ποσοστά δεν επηρεάζονται σημαντικά από το είδος του κινητήρα (βενζίνη ή diesel) και το μέγεθός του.

Σύμφωνα με εταιρίες παραγωγής λιπαντικών μια ρεαλιστική εκτίμηση για τη βελτίωση της απόδοσης που επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης λιπαντικών χαμηλού ιξώδους είναι της τάξης του 2.5% [Cortois and Lopes], [Smokers et al.. 2006]. Παρόλα αυτά, μία σύντομη σχετική ανασκόπηση, έδειξε ένα εύρος δυναμικού μείωσης εκπομπών CO₂ βελτιωμένων κινητήρων και λιπαντικών χαμηλού ιξώδους. Ο Πίνακας 3-2 παρουσιάζει συνοπτικά το δυναμικό μείωσης που ανακτήθηκε από διάφορες βιβλιογραφικές πηγές. Παρατηρείται μία διαφορά μεταξύ παλαιότερων εκτιμήσεων [IEA 1993] και [NRC 1992] και νεώτερων εκτιμήσεων. Αυτή η διαφορά αποκαλύπτει τις παραπάνω βελτιώσεις στην τεχνολογία των λιπαντικών που έχουν επιτευχθεί την τελευταία δεκαετία. Τέλος, πρέπει να σχολιαστεί το γεγονός ότι δεν υπάρχει μία και μοναδική μεθοδολογία στην οποία στηρίχθηκαν οι παραπάνω εκτιμήσεις.

Πίνακας 3.2 Δυναμικό μείωσης CO₂

Πηγή:	ACEA 2005	Smokers et al. 2006	IEA 2005	ECOS 2005	CURTOIS LOPES	US EPA 2004	IEA 1993	NRC 1992
Δυναμικό μείωσης CO₂	3-5%	2.5%	1-3.5%	2-4%	~3%	0.5-3%	0.5%	0.5%

Με βάση τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2, η επίδραση του λιπαντικού στη μείωση των τριβών, στη μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου και κατά συνέπεια και στη μείωση των εκπομπών του CO₂, υπολογίζεται περίπου στο 2-2.5%. Στόχος των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του Προγράμματος είναι η ακριβέστερη ποσοτικοποίηση του δυναμικού αυτού αξιολόγησης της επίδρασής τους στο όχημα σε διάφορους κύκλους οδήγησης, όχι μόνο ως προς την κατανάλωση αλλά και ως προς τις εκπομπές των οχημάτων.

6 Μετρήσεις ιδιοτήτων μιγμάτων βαμβακελαίου – πετρελαίου

Για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των μιγμάτων βαμβακελαίου-Diesel πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις. Τα χαρακτηριστικά των καυσίμων που μελετήθηκαν ήταν η πυκνότητα, το ιξώδες στους 40°C, η ανώτερη θερμογόνος δύναμη, ο αριθμός κετανίου, το σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου, το σημείο θόλωσης, το σημείο ροής, το Flash Point και ο έλεγχος διάβρωσης χάλκινου σύρματος. Τα καύσιμα τα οποία μελετήθηκαν ήταν μίγματα βαμβακελαίου-Diesel με περιεκτικότητες 10% και 20% κ.ο. σε βαμβακέλαιο ενώ πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις συμβατικού Diesel κίνησης (50rpm S) για λόγους αναφοράς. Δεδομένου ότι οι ιδιότητες των φυτικών ελαίων επηρεάζονται από πλήθος παραγόντων όπως τον τύπο της καλλιέργειας, τον καιρό, τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά και τη διαδικασία παραγωγής του ελαίου, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ορισμένων ιδιοτήτων του βαμβακελαίου ώστε να σχηματιστεί μια πληρέστερη εικόνα του ελαίου που χρησιμοποιήθηκε. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συνοψίζονται παρακάτω (Πίνακας 6-1) μαζί με τις προδιαγραφόμενες τιμές των ισχυόντων προτύπων για το Diesel κίνησης (EN590) και για τους μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων (EN14214). Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι κανένα από τα δύο αυτά πρότυπα δεν ανταποκρίνεται στη φύση των μιγμάτων φυτικών ελαίων-Diesel και πως υπάρχει έλλειψη προτύπων για τα βιοκαύσιμα πλην των μεθυλεστέρων. Έτσι η αξιολόγηση των πειραματικών καυσίμων έγινε με βάση τα όσα ισχύουν κυρίως για το πετρέλαιο κίνησης (EN590) και δευτερευόντως για τους μεθυλεστέρες (EN14214).

Ορισμένα χαρακτηριστικά των καυσίμων (αριθμός κετανίου, πυκνότητα, ιξώδες, θερμογόνος δύναμη, χαρακτηριστικά ψυχρής ροής) παίζουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του κινητήρα και προδιαγράφονται λεπτομερώς από την ευρωπαϊκή νομοθεσία (οδηγίες 2003/17/EK και 1998/70/EK). Για το λόγο αυτό αποφασίσθηκαν επιπρόσθετες μετρήσεις με στόχο την πληρέστερη κατανόηση της επίδρασης της αύξησης της περιεκτικότητας του βαμβακελαίου σ' αυτές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

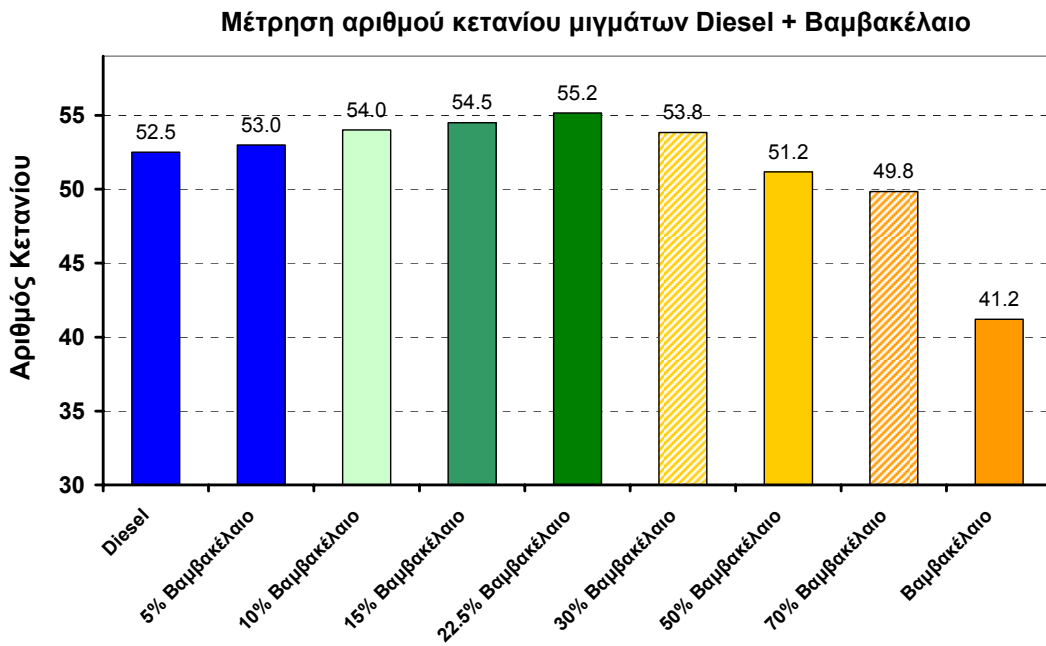
6.1 Μετρήσεις αριθμού κετανίου

Για τον προσδιορισμό του αριθμού κετανίου εφαρμόστηκε μέθοδος προδιαγεγραμμένη από το γερμανικό πρότυπο DIN 51773 σε πρότυπη μηχανή (μονοκύλινδρος κινητήρας Diesel της BASF). Χρησιμοποιούνται πρότυπα καύσιμα γνωστού αριθμού κετανίου και με τον κινητήρα να ρυθμίζεται κάθε φορά στις ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας του, καταγράφεται η παροχή αέρα για κάθε καύσιμο. Από τη διαδικασία αυτή προκύπτει η καμπύλη βαθμονόμησης. Η καμπύλη βαθμονόμησης συνδέει το μετρούμενο μέγεθος, εν προκειμένω την παροχή αέρα, με τον αριθμό κετανίου. Στη συνέχεια πραγματοποιείται μέτρηση των αγνώστων καυσίμων και μέσω της καμπύλης βαθμονόμησης αντιστοιχίζεται η εκάστοτε παροχή αέρα με τον αριθμό κετανίου για κάθε καύσιμο.

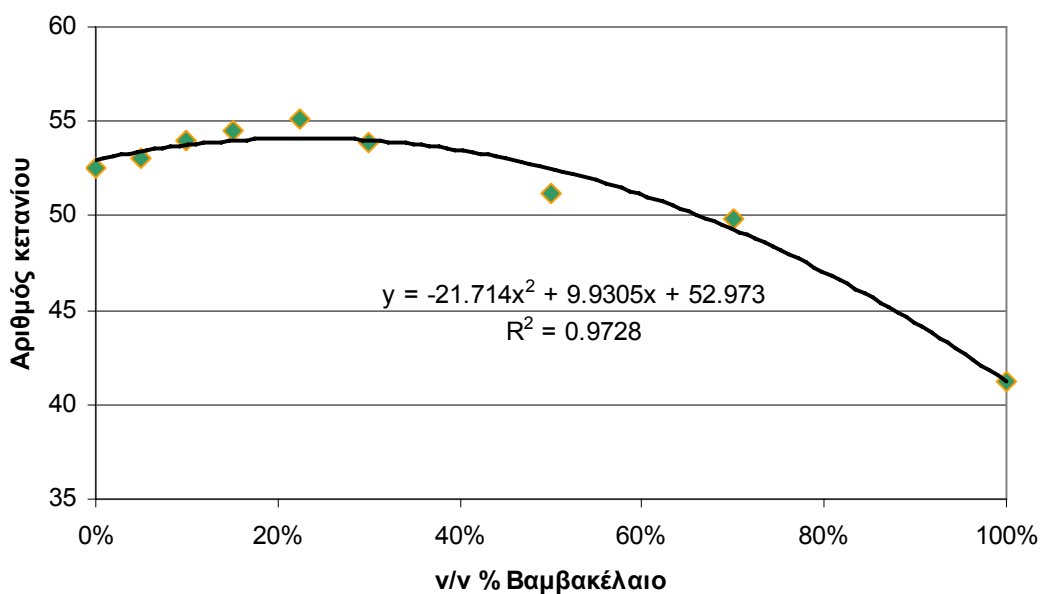
Πίνακας 6-1 Αποτελέσματα Μετρήσεων Ιδιοτήτων Καυσίμων

Ιδιότητα	Diesel (50ppm S)	Μίγμα Ντιζελ - Βαμβακέλαιο 10% v/v	Μίγμα Ντιζελ - Βαμβακέλαιο 20% v/v	Βαμβα- κέλαιο	EN590	EN14214	Πρότυπο Μέτρησης
Πυκνότητα @ 20°C (g/l)	832	841	850	920	820-845	860-900	ASTM 287
Ιξώδες @ 40°C (cSt)	2.72	3	3.79	32.75	2.0-4.6	3.5-5	ASTM D445
Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη (kJ/kg)	44.963	44.475	43.988	40.086	-	-	CEN/TS 14918:2005
Αριθμός Κετανίου	52.5	54	55	41.2	51 (min)	51 (min)	DIN 51773
Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου (°C)	-10	-6	-6	-	-5 (max Greece)	-5	IP 309
Σημείο Θόλωσης (°C)	1	1.7	1.4	-	-	-	ASTM D2500
Σημείο Ροής (°C)	-16	-17	-14	-	-	-	ASTM D97
Flash Point(°C)	67.7	68.4	70.7	-	55 (min)	120 (min)	ASTM D93
Διάβρωση Χάλκινου Σύρματος	1A	1A	1A	-	Class 1	Class 1	ASTM D130

Για την εύρεση του αριθμού κετανίου πραγματοποιήθηκαν κατά την περίοδο Μαΐου-Ιουνίου 2005 μετρήσεις τόσο καθαρού βαμβακελαίου και Diesel όσο και μιγμάτων των δυο καυσίμων που παρασκευάστηκαν σε διάφορες κατ' όγκο αναλογίες. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στην Εικόνα 6-1. Η τιμή του αριθμού κετανίου του βαμβακελαίου που μετρήθηκε (CN 41.2) είναι εντός των αναμενόμενων ορίων και σύμφωνη με τις τιμές που παρουσιάζονται στην βιβλιογραφία [Giannelos et al. 2004].



Εικόνα 6-1 Αποτελέσματα μετρήσεων αριθμού κετανίου βαμβακελαίου και μιγμάτων του με Diesel σε διάφορες κατ' όγκο περιεκτικότητες



Εικόνα 6-2 Μεταβολή αριθμού κετανίου συναρτήσει της περιεκτικότητας βαμβακελαίου

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων αριθμού κετανίου (Εικόνα 6-2) παρατηρήθηκε πως ο αριθμός κετανίου των μιγμάτων Diesel – βαμβακελαίου εξελίσσεται με μη γραμμικό τρόπο. Η παρουσία του βαμβακελαίου στο Diesel σε συγκεντρώσεις μέχρι 30% κατ' όγκο φαίνεται ότι επιδρά ελάχιστα ή ακόμα και βελτιώνει ελαφρά τον αριθμό κετανίου του καυσίμου (μίγματα 5%-20% κατ' όγκο). Επαναληπτικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τον Απρίλιο του 2007 σε μίγμα 10% Βαμβακέλαιο 90% Diesel επιβεβαίωσαν τις αρχικές παρατηρήσεις (CN 55 για το καθαρό Diesel και 56 για το μίγμα 10%). Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί πως ο αριθμός κετανίου του συμβατικού Diesel πλέον κυμαίνεται στο εύρος 55-56 [Τουμπέλη 2007] ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα από την προσθήκη των μεθυλεστέρων που προβλέπεται από την νομοθεσία. Κατά συνέπεια η ανάμιξη βαμβακελαίου στο συμβατικό καύσιμο δεν αναμένεται να δημιουργήσει προβλήματα όσον αφορά τον αριθμό κετανίου ακόμη και σε περιεκτικότητες μεγαλύτερες του 30%.

Αν και αρχικά μοιάζει παράδοξη η σχέση αυτή μεταξύ αριθμού κετανίου και περιεκτικότητας σε βαμβακέλαιο, η βιβλιογραφική διερεύνηση έδειξε πως αντίστοιχα φαινόμενα έχουν παρατηρηθεί και με άλλα έλαια ή οξυγονούχες ενώσεις ενώ μπορούν να γίνουν υποθέσεις σχετικά με το μηχανισμό που προκαλεί το φαινόμενο. Πιο συγκεκριμένα οι Forson et al. αναφέρουν πως η παρουσία φυτικού ελαίου *Jatropha* σε περιεκτικότητα 2.6% κατ' όγκο βελτιώνει τον αριθμό κετανίου καυσίμων Diesel καθώς και την απόδοση του κινητήρα [Forson et al. 2003]. Σύμφωνα με τους Basshuysen και Schafer [Basshuysen and Schafer 2004] μίγματα ειδικά επεξεργασμένου κραμβελαίου και Diesel σε περιεκτικότητες έως 30% παρουσιάζουν αύξηση του αριθμού κετανίου ως προς το συμβατικό Diesel, αύξηση την οποία απέδωσαν στην πτώση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο. Οι Kaliaguine et al. αναφέρουν πως οξυγονωμένα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βελτιωτικά αριθμού κετανίου [Kaliaguine 2003]. Οι Ladommatos και Goacher αναφέρουν πως, γενικά, ένα μεγαλύτερο ποσοστό ισο-παραφινών και ολεφινών στο καύσιμο τείνει να υποβαθμίσει τον αριθμό κετανίου, αλλά αυτό εξαρτάται από το βαθμό διακλάδωσης του μορίου. Εάν παραδείγματος χάριν η διακλάδωση συγκεντρώνεται από τη μία πλευρά ενός μορίου με μακρά αλυσίδα, αυτός ο τύπος ισο-παραφίνης μπορεί στην πραγματικότητα να βελτιώσει τον αριθμό κετανίου [Ladommatos 1994]. Ο αναλυτικότερος προσδιορισμός της επίδρασης του οξυγόνου του μορίου του βαμβακελαίου στον αριθμό κετανίου έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, ξεφεύγει όμως από τους στόχους της μελέτης αυτής.

6.2 Μετρήσεις πυκνότητας

Όπως ήδη ειπώθηκε, η πυκνότητα είναι φυσικό μέγεθος του καυσίμου το οποίο προδιαγράφεται από την νομοθεσία. Σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες 2003/17/EK και 1998/70/EK η πυκνότητα των καυσίμων τα οποία προορίζονται για κινητήρες έναυσης με συμπίεση δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 845 kg/m^3 σε θερμοκρασία 15°C . Στα πλαίσια της έρευνας αυτής έγιναν μετρήσεις της πυκνότητας του καθαρού βαμβακελαίου, αλλά και μιγμάτων Diesel με βαμβακέλαιο. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με κατάλληλα πυκνόμετρα που στηρίζονται στο φαινόμενο της άνωσης. Τα αποτελέσματα των

μετρήσεων πυκνότητας παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-2, βρίσκονται εντός των αναμενόμενων ορίων και συμφωνούν με αντίστοιχες τιμές της βιβλιογραφίας [He and Bao 2003].

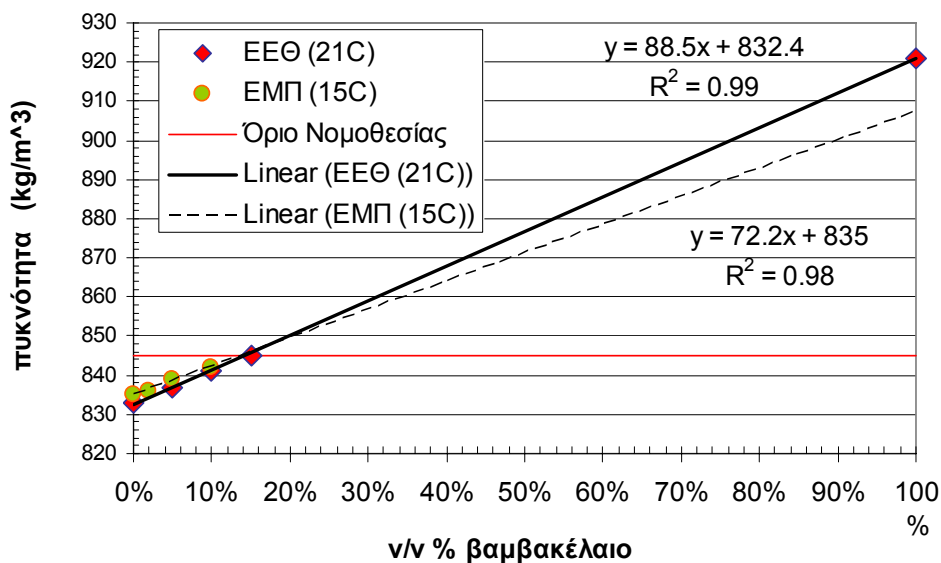
Πίνακας 6-2 Μετρήσεις πυκνότητας

Καύσιμο	Θερμοκρασία [°C]	Πυκνότητα [kg/m³]
Diesel	22	833
Βαμβακέλαιο	21.5	921
Βαμβακέλαιο	27.5	917
Βαμβακέλαιο	46	904
5% v/v Βαμβακέλαιο	21	837
10% v/v Βαμβακέλαιο	21.5	841
15% v/v Βαμβακέλαιο	21	845

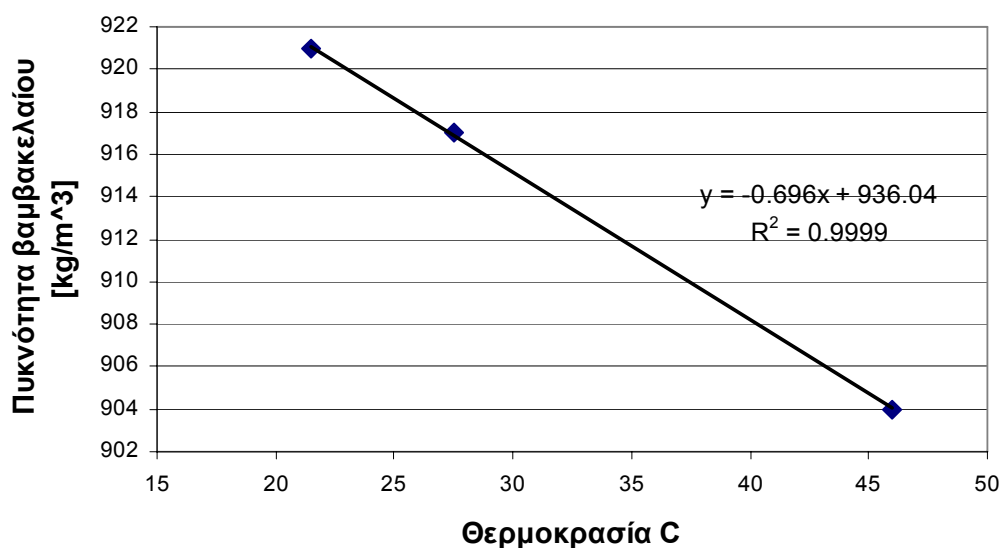
Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6-3, για σταθερή θερμοκρασία η πυκνότητα αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε βαμβακέλαιο. Επιπλέον η Εικόνα 6-4 δείχνει πως η πυκνότητα του βαμβακελαίου στο εύρος θερμοκρασιών χρήσης του καυσίμου μεταβάλλεται επίσης γραμμικά. Σε θερμοκρασία 15°C, που είναι και η προδιαγεγραμμένη, τα καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν αναμένεται να έχουν πυκνότητα το Diesel 835 kg/m³ και το βαμβακέλαιο 926 kg/m³. Λαμβάνοντας ως δεδομένη τη γραμμικότητα της Εικόνας 4-3 εκτιμάται πως η αναμενόμενη μέγιστη περιεκτικότητα κατ' όγκο σε βαμβακέλαιο η οποία θα βρίσκεται εντός των προδιαγραφών της νομοθεσίας θα είναι περίπου 15%.

Εκτός από τις μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από το ΕΕΘ, στην Εικόνα 6-3 εμφανίζονται αποτελέσματα από σχετικές μετρήσεις της βιβλιογραφίας [Ψυχογιού 2004]. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών του ΕΜΠ και αφορούν επίσης μίγματα Diesel κίνησης – βαμβακελαίου χαμηλής περιεκτικότητας σε βαμβακέλαιο, θερμοκρασίας 15°C. Όπως παρατηρείται, και οι μετρήσεις αυτές επιβεβαιώνουν τα προαναφερθέντα συμπεράσματα ως προς τη γραμμικότητα της μεταβολής της πυκνότητας και ως προς τα επίπεδα των μετρημένων τιμών. Η μικρή διαφοροποίηση που παρατηρείται μεταξύ των δυο σετ μετρήσεων δικαιολογείται από τη διαφορά στη θερμοκρασία μέτρησης.

Με βάση τα παραπάνω, η οριακή περιεκτικότητα βαμβακελαίου που βρίσκεται εντός των προδιαγραφών εκτιμάται στο 15% v/v.



Εικόνα 6-3 Μεταβολή της πυκνότητας του μίγματος συναρτήσει της περιεκτικότητας σε βαμβακέλαιο στους 15 και 21°C



Εικόνα 6-4 Μεταβολή της πυκνότητας του βαμβακελαίου συναρτήσει της θερμοκρασίας

6.3 Μετρήσεις θερμογόνου δύναμης

Η θερμογόνος δύναμη του καυσίμου δεν προδιαγράφεται από την νομοθεσία αλλά αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό του καυσίμου που καθορίζει τα ενεργειακά χαρακτηριστικά των κινητήρων. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της ανώτερης θερμογόνου δύναμης του βαμβακελαίου και μιγμάτων του με Diesel με θερμιδόμετρο τύπου οβίδας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-3 και

βρίσκονται εντός των αναμενόμενων ορίων, συμφωνώντας με αντίστοιχες τιμές της βιβλιογραφίας [Demirbas 1999].

Πίνακας 6-3 Μετρήσεις ανώτερης θερμογόνου δύναμης

Καύσιμο	Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη [kJ/kg]
Diesel	44963
Βαμβακέλαιο 50% v/v	42524
Βαμβακέλαιο	40086

Υπενθυμίζεται ότι επειδή οι αντλίες των κινητήρων λειτουργούν ογκομετρικά, ενδιαφέρει η θερμογόνος δύναμη σε ογκομετρική βάση (ανά λίτρο καυσίμου). Δεδομένου ότι η πυκνότητα του βαμβακελαίου είναι υψηλότερη από εκείνη του πετρελαίου, η ανά λίτρο θερμογόνος δύναμη του βαμβακελαίου είναι μόνο κατά περίπου 0.5% μικρότερη εκείνης του πετρελαίου. Είναι αυτονόητο περαιτέρω ότι η διαφοροποίηση της θερμογόνου δύναμης των μιγμάτων θα είναι αμελητέα.

6.4 Μετρήσεις ιξώδους

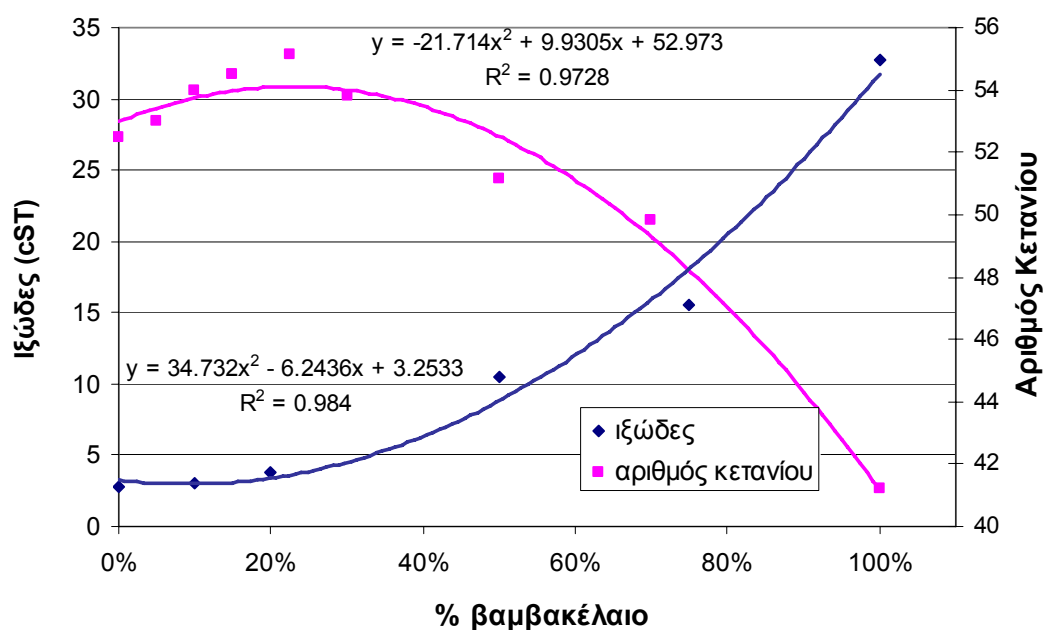
Το ιξώδες προδιαγράφεται από την νομοθεσία τόσο ως προς την κατώτατη όσο και ως προς την ανώτατη τιμή του. Οι μετρήσεις του ιξώδους πραγματοποιήθηκαν με ιξωδόμετρα τύπου U σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM-D445. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα (Πίνακας 6-4) και κινούνται στα αναμενόμενα επίπεδα, με την τιμή ιξώδους που μετρήθηκε για μίγματα με 10% βαμβακέλαιο (3 cST) να βρίσκεται πολύ κοντά στην τιμή που δίνεται από άλλες πηγές [Ψυχογιού 2004] (3.5 cST).

Οι οριακές τιμές του ιξώδους που προβλέπονται από την νομοθεσία (Πίνακας 5-1) είναι 2.0 cST η ελάχιστη και 4.5 cST η μέγιστη. Η προδιαγραφή της ελάχιστης τιμής εξασφαλίζει την ύπαρξη επαρκούς λίπανσης μεταξύ των ολισθαινόντων μερών του συστήματος έγχυσης, ώστε να περιορίζεται η φθορά. Η μέγιστη τιμή διασφαλίζει τη δυνατότητα επαρκούς διαμερισμού του καυσίμου σε σταγονίδια κατά την έγχυση ώστε να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση του ενεργειακού του περιεχομένου και καλύτερη λειτουργία του κινητήρα. Οι μετρήσεις του ιξώδους δείχνουν πως η προδιαγραφή κατώτατης τιμής δεν παραβιάζεται σε καμία περίπτωση, ενώ σχετικά με την ανώτατη τιμή, μίγματα περιεκτικότητας έως και 30% σε βαμβακέλαιο βρίσκονται εντός των νομοθετημένων ορίων.

Πίνακας 6-4 Μετρήσεις Ιξώδους

% Βαμβακέλαιο	Θερμοκρασία (°C)	Ιξώδες (cSt)
0%	40	2.72
10%	40	3.00
20%	40	3.79
50%	40	10.47
75%	40	15.53
100%	40	32.75

Όπως δείχνει η Εικόνα 6-5, το ιξώδες δεν μεταβάλλεται γραμμικά με την περιεκτικότητα του μίγματος σε βαμβακέλαιο. Είναι δε ενδιαφέρον ότι ακολουθεί αντίστροφη πορεία από τον αριθμό κετανίου. Στην βιβλιογραφία δεν βρέθηκε κάποιος μηχανισμός ο οποίος να συνδέει τις δυο αυτές φυσικές ιδιότητες. Παρόλ' αυτά, αντίστοιχες προσεγγίσεις για τη συσχέτιση διαφόρων φυσικών ιδιοτήτων των καυσίμων έχουν αναφερθεί από τους [Demirbas 1999] και [Ladomatos and Goacher 1994]. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζει ενδιαφέρον και χρειάζεται περαιτέρω μελέτη.



Εικόνα 6-5 Μεταβολή του ιξώδους και του αριθμού κετανίου των μιγμάτων συναρτήσει της περιεκτικότητας τους σε βαμβακέλαιο

6.5 Ιδιότητες ψυχρής ροής

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό των καυσίμων το οποίο επίσης προδιαγράφεται από τη νομοθεσία είναι η συμπεριφορά τους σε χαμηλές θερμοκρασίες. Στις χαμηλές θερμοκρασίες αρχίζει η κρυστάλλωση των παραφινών στο καύσιμο, η οποία μπορεί να δημιουργήσει αρκετά μεγάλα συσσωματώματα τα οποία φράσσουν τα φίλτρα και τους σωλήνες του καυσίμου. Ο συνδυασμός μεγάλων στερεών σωματιδίων στο καύσιμο με την περιορισμένη ρευστότητα σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών είναι δυνατόν να εμποδίσει τη λειτουργία του κινητήρα. Για την αποφυγή των δυσλειτουργιών αυτών και άλλων ανεπιθύμητων επιπτώσεων, οι ιδιότητες ψυχρής ροής των καυσίμων ελέγχονται και διαφοροποιούνται μέσα στο έτος, ειδικά σε χώρες της βόρειας Ευρώπης. Στην Ελλάδα απαντώνται δυο τύποι πετρελαίου κίνησης (A, C) ο χειμερινός (1/10-15/03) και ο θερινός (16/03-30/09), οι οποίοι διαφοροποιούνται ως προς τη μέγιστη θερμοκρασία απόφραξης ψυχρού φίλτρου CFPP ($-5^{\circ}\text{C}/+5^{\circ}\text{C}$, χειμώνας/ καλοκαίρι).

Γενικά ο προσδιορισμός της συμπεριφοράς του καυσίμου σε χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω μετρήσεων μεγεθών όπως του σημείου θόλωσης, του σημείου ροής και του σημείου απόφραξης ψυχρού φίλτρου. Το σημείο θόλωσης (Cloud Point) είναι η υψηλότερη θερμοκρασία στην οποία ένα λάδι ή καύσιμο εμφανίζει θόλωση όταν ψύχεται υπό καθορισμένες συνθήκες. Ως σημείο ροής (Pour Point) ορίζεται η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία ένα λάδι ή καύσιμο εξακολουθεί να ρέει όταν ψύχεται χωρίς διαταραχή, υπό καθορισμένες συνθήκες. Τέλος ως σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (CFPP) ορίζεται η υψηλότερη θερμοκρασία στην οποία απαιτούνται περισσότερα από 60s για να περάσει ποσότητα 20ml καυσίμου διαμέσου φίλτρου συγκεκριμένων διαστάσεων. Όπως προαναφέρθηκε, η νομοθεσία προδιαγράφει μόνο την μέγιστη τιμή CFPP για τα καύσιμα που κυκλοφορούν στην Ελλάδα.

Ο Πίνακας 4-5 παρουσιάζει δεδομένα ιδιοτήτων ψυχρής ροής μιγμάτων Diesel-βαμβακελαίου που ελήφθησαν από μετρήσεις. Σημαντικότερο συμπέρασμα είναι ότι οι τιμές δεν διαφοροποιούνται σημαντικά ενώ οι τιμές CFPP διατηρούνται εντός των προδιαγραφών για τα χειμερινά καύσιμα σε όλες τις περιπτώσεις (-5°C).

Πίνακας 6-5 Μετρήσεις ιδιοτήτων ψυχρής ροής μιγμάτων Diesel-βαμβακελαίου

Καύσιμο	Βαμβακέλαιο 10% - Diesel 90%	Απομαργαρινοποιημένο Βαμβακέλαιο 10% - Diesel 90%	Βαμβακέλαιο 20% - Diesel 80%	Απομαργαρινοποιημένο Βαμβακέλαιο 20% - Diesel 80%	Diesel
Προσδιορισμός Ιξώδους	3.8611@40°C	3.8 @40°C 1.49@100°C	4.91@40°C	4.9@40°C 1.822@100°C	3.08@40°C
Σημείο ροής	-17	-13	-14	-18	-16
Σημείο θόλωσης	1.7	1.8	1.4	1.9	1
CFPP	-6	-7	-6	-7	-10

Όπως παρατηρείται, εξετάστηκαν μίγματα με δυο διαφορετικούς τύπους βαμβακελαίου, μίγματα με συμβατικό βαμβακέλαιο και μίγματα με βαμβακέλαιο που είχε υποστεί διεργασία αφαίρεσης μέρους των στεαρινών και των μαργαρινών του. Η επεξεργασία αυτή βελτιώνει ελαφρώς το CFPP των μιγμάτων, ενώ οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται στις άλλες ιδιότητες δεν φανερώνουν κάποια σαφή τάση.

6.6 Άλλες ιδιότητες των καυσίμων μιγμάτων

Εκτός από τις προαναφερθείσες ιδιότητες που μετρήθηκαν υπάρχει ένας αριθμός άλλων φυσικών ιδιοτήτων οι οποίες είναι σημαντικές για την χρήση ενός ελαίου ως καυσίμου. Η πραγματοποίηση ιδιαίτερων μετρήσεων των ιδιοτήτων αυτών δεν κρίθηκε αναγκαία στο στάδιο αυτό αφού υπάρχουν σχετικά δεδομένα στη διεθνή βιβλιογραφία.

Συνοπτικά οι τιμές των ιδιοτήτων που ευρέθησαν για καθαρό βαμβακέλαιο παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-6. Όπως φαίνεται, οι τιμές του καθαρού βαμβακελαίου είναι εντός των θεσμοθετημένων ορίων. Ως εκ τούτου, και με βάση την φύση των ιδιοτήτων αυτών, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι και τα μίγματα του βαμβακελαίου με Diesel θα παρουσιάζουν ιδιότητες οι τιμές των οποίων θα βρίσκονται εντός των προδιαγραφών.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σχολιασθεί πως, με εξαίρεση το περιεχόμενο σε νερό, οι τιμές των ιδιοτήτων που παρουσιάζονται είναι παραπλήσιες με αντίστοιχες άλλων πηγών. Το περιεχόμενο σε νερό όμως σχετίζεται άμεσα με τη διαδικασία παραγωγής και την ποιότητα του ελαίου και μπορεί να ρυθμιστεί κατάλληλα εφόσον το λάδι προορίζεται για χρήση ως καυσίμου.

Πίνακας 6-6 Τιμές φυσικών ιδιοτήτων καθαρού βαμβακελαίου

Ιδιότητα	Τιμή	Πηγή	Προδιαγραφή
Αριθμός ιωδίου	105.7	Giannelos et al. 2004	120 max (EN14214)
Τιμή οξέος (mg KOH/g)	0.24	Tuter 1998	0.5 (EN14214)
Θείο %wt	0.002	Tuter 1998	0.005max (EN590)
Νερό mg/kg	Ίχνη	Tuter 1998	200max (EN590)
Τέφρα % m/m	<0.01	Καραβαλάκης et al.	0.01max (EN590)
Ανθρακούχο υπόλειμμα %m/m	0.272	Καραβαλάκης et al.	0.3max (EN590)

6.7 Χρήση πρόσθετου

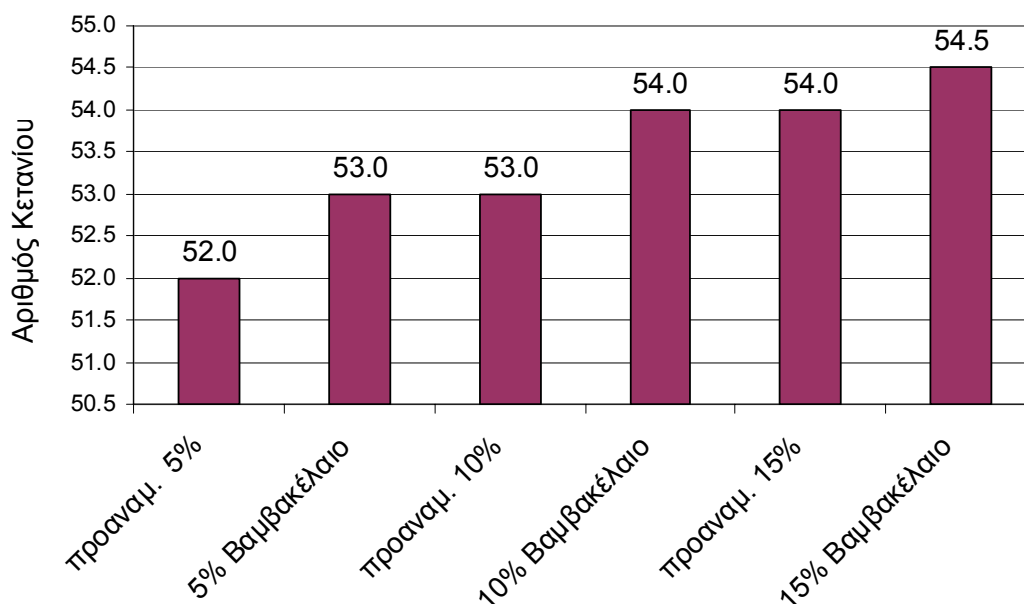
Οι σύγχρονοι κινητήρες Diesel αποτελούν μηχανές ιδιαίτερα ευαίσθητες στην ποιότητα και τις ιδιότητες του καυσίμου, ιδιαίτερα ως προς το σύστημα τροφοδοσίας του καυσίμου, λόγω των πολύ υψηλών πιέσεων που αναπτύσσονται σε αυτό αλλά και του τρόπου με τον οποίο γίνεται η έγχυση του καυσίμου στον κύλινδρο. Όπως ήδη αναφέρθηκε, στη βιβλιογραφία τα φυτικά έλαια ενοχοποιούνται για δυσλειτουργίες στο σύστημα έγχυσης οι οποίες οφείλονται στα χαρακτηριστικά ψυχρής ροής και το υψηλότερο ιξώδες τους [Basshuysen and Schafer 2004], την ιδιότητα τους να πολυμερίζονται [Giannelos et al. 2004] δημιουργώντας πλαστικοειδή σώματα σε διάφορα μέρη του κινητήρα, αλλά και στο γεγονός ότι δημιουργούν επικαθίσεις κυρίως στους εγχυτήρες καυσίμου (coking), οι οποίες αλλοιώνουν τον ψεκασμό μεταβάλλοντας τη λειτουργία του κινητήρα [Pundir et al. 1994].

Αντίστοιχα προβλήματα μπορούν να παρατηρηθούν και με το συμβατικό καύσιμο Diesel όταν αυτό βρίσκεται εκτός των προδιαγραφών, προέρχεται από χαμηλής ποιότητας αργό (πετρέλαιο το οποίο θα προοριζόταν για θέρμανση αλλά διοχετεύεται ως κίνησης) ή είναι νοθευμένο [Owen et al. 1995]. Για το λόγο αυτό, εδώ και αρκετά χρόνια έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται ευρέως πρόσθετα βελτιωτικά των ιδιοτήτων του καυσίμου Diesel. Ανάμεσα τους διακρίνονται καθαριστικά (detergents) που διατηρούν τους εγχυτήρες καθαρότερους, βελτιωτικά ροής (flow improvers) που βελτιώνουν τις ιδιότητες ροής σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, βελτιωτικά αριθμού κετανίου, αντιοξειδωτικά και άλλα, καθώς και συνδυασμοί αυτών [BOSCH 2004, Owen et al. 1995].

Για τον περιορισμό των επιπτώσεων της παρουσίας βαμβακελαίου στον κινητήρα αποφασίστηκε να εξεταστεί η χρήση πρόσθετου στα καύσιμα μίγματα. Το πρόσθετο που αναπτύχθηκε και προτάθηκε για χρήση από τον υπεύθυνο του χημικού τμήματος της Αφοι Καραγιώργου ABEE είναι οργανικής βάσης και λειτουργεί ως καθαριστικό του συστήματος τροφοδοσίας και του κινητήρα και βελτιώνει τις ιδιότητες των καυσίμων σε χαμηλές θερμοκρασίες. Το πρόσθετο αναμιγνυόταν καταρχήν με το καθαρό βαμβακέλαιο σε συγκεντρώσεις 4000 έως 8000 ppm (μερών στο εκατομμύριο), και στη συνέχεια το βαμβακέλαιο με το πρόσθετο αναμιγνυόταν με πετρέλαιο diesel στις τελικές αναλογίες. Σημειώνεται ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις χρησιμοποιήθηκαν τη χειμερινή περίοδο κατά την οποία παρουσιάστηκαν ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Έτσι οι συγκεντρώσεις του προσθέτου στο τελικό καύσιμο μίγμα ήταν της τάξης των:

- 400 ως 800 ppm στην περίπτωση 10% βαμβακελαίου
- 800 ως 1600 ppm στην περίπτωση 20% βαμβακελαίου.

Είναι αυτονόητο ότι στις παραπάνω συγκεντρώσεις το πρόσθετο πρέπει να μην επηρεάζει καμιά άλλη φυσική ιδιότητα του καυσίμου, πέραν εκείνων που καλείται να βελτιώσει. Δειγματοληπτικά και για την πιστοποίηση της παραπάνω υπόθεσης, παράλληλα με τις μετρήσεις αριθμού κετανίου μισμάτων χωρίς πρόσθετο πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις σε προαναμεμιγμένα μίγματα Diesel – βαμβακελαίου - προσθέτου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 6-6.



Εικόνα 6-6 Σύγκριση αριθμού κετανίου καθαρών μιγμάτων και μιγμάτων με πρόσθετο (προαναμεμιγμένα) – Συγκέντρωση προσθέτου στο βαμβακέλαιο 4000 ppm.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6-6, η παρουσία προσθέτου στα προαναμεμιγμένα μίγματα έχει αμελητέα επίπτωση στον αριθμό κετανίου σε σχέση με τα μίγματα χωρίς πρόσθετο, στα όρια της ακρίβειας της μεθόδου μέτρησης του αριθμού κετανίου (± 0.5 αριθμό κετανίου).

Επιπλέον ο Πίνακας 6-7 παρουσιάζει τα αποτελέσματα μετρήσεων που έγιναν στο ιξώδες και τις ιδιότητες ψυχρής ροής των μιγμάτων για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης του προσθέτου. Όπως φαίνεται, το πρόσθετο το οποίο δοκιμάστηκε βελτιώνει ελαφρά τις ιδιότητες ψυχρής ροής. Η αύξηση της συγκέντρωσής του όμως δημιουργεί πρόβλημα καθώς μειώνει το Flash Point των μιγμάτων σε επίπεδα κατώτερα των προδιαγραφών (55°C).

Πίνακας 6-7 Ιδιότητες μιγμάτων βαμβακελαίου-Diesel με πρόσθετο

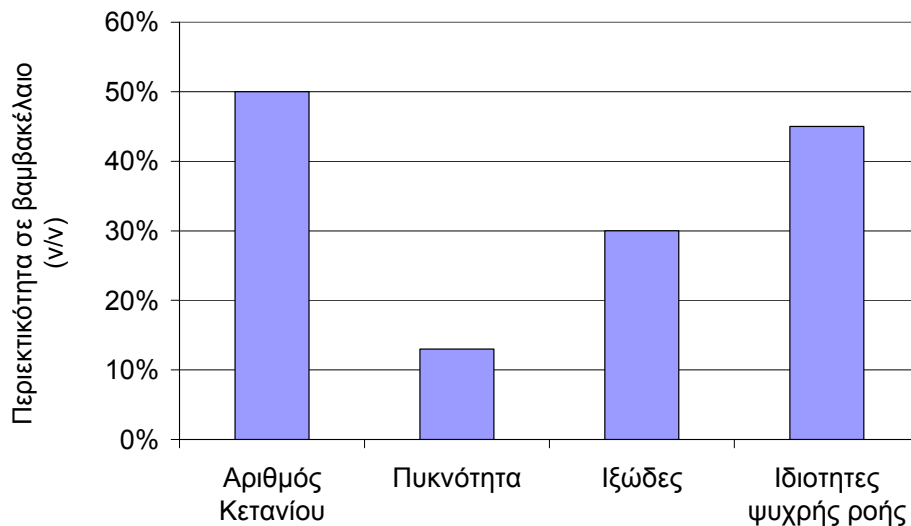
Καύσιμο	Βαμβακέλαιο 10% - Diesel 90%	Βαμβακέλαιο 10% - Diesel 90% - Πρόσθετο 1000ppm	Βαμβακέλαιο 10% - Diesel 90% - Πρόσθετο 5000ppm	Diesel
Προσδιορισμός Ιξώδους	3.86 @40°C	3.85 @40°C	-	3.08@40°C
Σημείο ροής	-17	-18	-18	-16
Σημείο θόλωσης	1.7	1.7	1.5	1
CFPP	-6	-7	-8	-10
Flash Point	68.4	64.5	48.5	67.7

Τέλος παρακολούθηθηκε και καταγράφηκε η συμπεριφορά οχημάτων σε συνθήκες ψυχρής εκκίνησης κατά τη διάρκεια του Προγράμματος. Τα οχήματα οδηγήθηκαν σε διάφορες περιόδους του έτους συμπεριλαμβανομένων και περιόδων με χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος (κοντά και κάτω από τους 0°C). Η παρουσία και η επίδραση του προσθέτου

στις περιόδους αυτές ήταν εμφανής κατά την ψυχρή εκκίνηση. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε ότι με τη χρήση μιγμάτων χωρίς πρόσθετο η εκκίνηση του κρύου κινητήρα γινόταν δυσκολότερη όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος έπεφτε κοντά στους 0°C. Το φαινόμενο εντεινόταν με την αύξηση της περιεκτικότητας σε λάδι, κάτι που ήταν αναμενόμενο. Τα προβλήματα αυτά εξαλείφθηκαν με την προσθήκη του πρόσθετου στα καύσιμα, ενώ περιορισμένες δυσκολίες στην εκκίνηση του κινητήρα παρατηρήθηκαν υπό αυξημένη περιεκτικότητα σε βαμβακέλαιο (20% v/v). Η εξέταση του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμων των οχημάτων έδειξε ότι τόσο τα μίγματα όσο και το πρόσθετο δεν προκάλεσαν φθορές.

6.8 Επιλογή καυσίμων μιγμάτων για μετρήσεις εκπομπών

Στην Εικόνα 6-7 παρουσιάζονται οι μέγιστες περιεκτικότητες βαμβακελαίου στο Diesel για τις οποίες η τιμή της κάθε ιδιότητας του καυσίμου παραμένει εντός των νομοθετημένων προδιαγραφών.



Εικόνα 6-7 Μέγιστες περιεκτικότητες βαμβακελαίου στο Diesel για τις οποίες ικανοποιούνται οι νομοθετημένες προδιαγραφές

Είναι φανερό πως η μέγιστη περιεκτικότητα σε βαμβακέλαιο καθορίζεται από το όριο της μέγιστης επιτρεπόμενης πυκνότητας και είναι περί το 15%. Για το λόγο αυτό ως κύριο πειραματικό καύσιμο επιλέχθηκε μίγμα Diesel - βαμβακελαίου 10%. Παρόλ' αυτά, για την επιτάχυνση της επίδρασης του βαμβακελαίου στον κινητήρα αλλά και την μελέτη της λειτουργίας του σε δυσμενέστερες συνθήκες επιλέχθηκε η χρήση και ενός δεύτερου μίγματος με περιεκτικότητα σε βαμβακέλαιο 20%. Η τιμή της πυκνότητας του καυσίμου αυτού είναι 0.850 kg/l ελαφρώς μεγαλύτερη από τη προδιαγεγραμμένη κατά EN590 (0.845kg/l), μέσα όμως στο επιτρεπτό όριο της EN12214. Η διαφοροποίηση αυτή δεν είχε ουσιαστικές επιπτώσεις στην λειτουργία του κινητήρα. Όπως αναφέρθηκε, τα δύο πειραματικά καύσιμα μελετήθηκαν τόσο με πρόσθετο όσο και χωρίς πρόσθετο.

7 Μετρήσεις εκπομπών οχημάτων

Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε, μίγματα βαμβακελαίου – Diesel επιλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν σε πραγματικά οχήματα Diesel. Για κάθε καύσιμο μίγμα και όχημα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις εκπομπών αερίων ρύπων σύμφωνα με τη νομοθετημένη διαδικασία αλλά και μετρήσεις σε μη νομοθετημένους κύκλους οδήγησης που προσομοιώνουν κίνηση σε αληθινό δρόμο. Επιπλέον των νομοθετημένων ρύπων μετρήθηκαν και μη νομοθετημένες εκπομπές, σύμφωνα με τα όσα περιγράφονται στη συνέχεια. Στόχος των μετρήσεων ήταν να πιστοποιηθεί ότι τα συγκεκριμένα καύσιμα δεν έχουν αρνητικές επιδράσεις στις εκπομπές ρύπων. Υπενθυμίζεται ότι η συνθήκη αυτή είναι αναγκαία για τη σύννομη χρήση ενός βιοκαυσίμου, σύμφωνα με τις προβλέψεις της οδηγίας 2003/30/EK.

Εκτός των πειραματικών καυσίμων, επιλέχθηκε και πραγματοποιήθηκε εφαρμογή ειδικών λιπαντικών (συνθετικά / χαμηλής τριβής) ώστε να μελετηθεί η δυνατότητα περιορισμού των εκπομπών CO₂ αλλά και των νομοθετημένων ρύπων μέσω της χρήσης τέτοιων λιπαντικών. 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 του οχήματος.

7.1 Μεθοδολογία

7.1.1 Πειραματικά οχήματα

Τα οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ένα VW Golf κατασκευής 1996 που φέρει κινητήρα Diesel 1900cc, απευθείας έγχυσης με υπερπληρωτή (TDi), κλάσης εκπομπών Euro 2 και ένα Renault Laguna κατασκευής 2001 που φέρει κινητήρα Diesel 1900cc, απευθείας έγχυσης με υπερπληρωτή (TDi), κλάσης εκπομπών Euro 3, και τεχνολογίας common rail (υψηλής πίεσης έγχυσης), η οποία αποτελεί την επικρατούσα τάση στους κινητήρες Diesel. Η επιλογή των οχημάτων στηρίχθηκε στο γεγονός ότι το ΕΕΘ έχει μακρόχρονα μετρητικά δεδομένα των εκπομπών των συγκεκριμένων οχημάτων αλλά και εμπειρία σχετική με τη λειτουργία του κινητήρα τους.

VW Golf 1.9 TDi

Το VW Golf το οποίο ήταν και το πρώτο όχημα στο οποίο δοκιμάστηκαν τα πειραματικά καύσιμα τροφοδοτήθηκε με 4 διαφορετικά μίγματα Diesel–βαμβακελαίου-προσθέτου:

- Diesel - 10% v/v βαμβακέλαιο,
- Diesel - 10% v/v βαμβακέλαιο+πρόσθετο,
- Diesel - 20% v/v βαμβακέλαιο
- Diesel - 20% v/v βαμβακέλαιο + πρόσθετο

Πρέπει να αναφερθεί πως το βαμβακέλαιο το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα μίγματα του VW Golf παράχθηκε σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο χωρίς όμως να υποστεί κάποια μετεπεξεργασία απομάκρυνσης των βαρύτερων μορίων του όπως συνέβη στην περίπτωση του Renault Laguna.

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η περιεκτικότητα 10% είναι αυτή κατά την οποία πληρούνται όλες οι βασικές νομοθετημένες προδιαγραφές ως προς τις φυσικές ιδιότητες του καυσίμου, ενώ η περιεκτικότητα 20% επιλέχθηκε ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά του οχήματος σε πιο ακραίες συνθήκες και να ενισχυθούν και να επιταχυνθούν οι όποιες επιπτώσεις του βαμβακελαίου στον κινητήρα, λειτουργικές ή μηχανικές. Παράλληλα διερευνήθηκε και η όποια επίδραση του επιλεγέντος προσθέτου στις εκπομπές και τη γενικότερη λειτουργία του κινητήρα.

Τέλος, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, για λόγους ομαλής εξέλιξης του Προγράμματος στο VW Golf εφαρμόστηκε ειδικό λιπαντικό μετά το πέρας της χρήσης του ειδικού καυσίμου όπως φαίνεται και από τα παραπάνω. Πραγματοποιήθηκε συγκριτικός έλεγχος του λιπαντικού αναφοράς του οχήματος συνθετικού (SAE15W50) με ορυκτέλαιο υψηλότερου ιξώδους SAE20W50 παλαιότερης τεχνολογίας ώστε να διαπιστωθεί η επίδραση του λιπαντικού υψηλότερου ιξώδους στη λειτουργία του οχήματος. Οι λόγοι οι οποίοι οδήγησαν στην επιλογή ενός λιπαντικού υψηλότερου ιξώδους για το συγκεκριμένο όχημα αναφέρονται στην παράγραφο 4.3 και δεν αλλοιώνουν τη στόχευση των μετρήσεων που είναι η αποτίμηση της επίδρασης συνθετικών λιπαντικών χαμηλού ιξώδους στην κατανάλωση καυσίμου των οχημάτων. Τα χαρακτηριστικά των λιπαντικών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7-1 Λιπαντικά που χρησιμοποιήθηκαν στα οχήματα

Κινητήρας	Λιπαντικό αναφοράς		Πειραματικό λιπαντικό	
VW Golf 1.9TDi	SAE 15W50, API SL/CF, ACEA A3/B3	Shell Helix Plus Συνθετικό λιπαντικό κινητήρων Diesel και Βενζίνης	SAE 20W50, API SG/CD	Meguin Motorenoel Turbo Spezial Ορυκτέλαιο
Renault Laguna 1.9dCi	SAE 10W40, API CF, ACEA B3	Shell Helix Plus Συνθετικό λιπαντικό κινητήρων Diesel	SAE 5W30, API CF/SL, ACEA A3/B3/B4	Fuchs Titan Supersyn Συνθετικό Λιπαντικό Χαμηλής Κατανάλωσης

Η φάση αυτή του προγράμματος εξελίχθηκε ως εξής:

- Service, εφαρμογή συμβατικού λιπαντικού αναφοράς προδιαγραφών SAE15W50 άνοιγμα και έλεγχος κινητήρα, ροντάρισμα για 1000km με συμβατικό Diesel, πραγματοποίηση μετρήσεων αναφοράς
- Εφαρμογή μίγματος 10% βαμβακελαίου, ροντάρισμα 1900km, μέτρηση
- Εφαρμογή μίγματος 10% βαμβακελαίου με πρόσθετο, ροντάρισμα 2790km, μέτρηση
- Εφαρμογή μίγματος 20% βαμβακελαίου, ροντάρισμα 1250km, μέτρηση

- Εφαρμογή μίγματος 20% βαμβακελαίου με πρόσθετο, ροντάρισμα 1430km, μέτρηση
- Πραγματοποίηση 12.000km με μίγμα 20% βαμβακέλαιο με πρόσθετο, ενδιάμεσες μετρήσεις (τρεις) για τη μελέτη της μακροπρόθεσμης επίδρασης του λιπαντικού στον κινητήρα
- Αλλαγή σε συμβατικό Diesel, ροντάρισμα 2200km, λήψη μετρήσεων αναφοράς, άνοιγμα και έλεγχος κινητήρα
- Εφαρμογή συνθετικού λιπαντικού προδιαγραφών SAE 20W50, ροντάρισμα οχήματος 1250km, μέτρηση



Εικόνα 7-1 Τα πειραματικά οχήματα VW Golf (αριστερά) και Renault Laguna (δεξιά) κατά τη διάρκεια μετρήσεων

Renault Laguna 1.9 cTdi

Το Renault Laguna τροφοδοτήθηκε με μόνο ένα μίγμα Diesel – βαμβακελαίου περιεκτικότητας 10% σε βαμβακέλαιο. Όπως αναφέρθηκε, η περιεκτικότητα 10% είναι αυτή κατά την οποία πληρούνται όλες οι βασικές νομοθετημένες προδιαγραφές ως προς τις φυσικές ιδιότητες του καυσίμου. Το βαμβακέλαιο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για το όχημα αυτό, πέραν της συμβατικής διεργασίας παραγωγής του, είχε υποστεί ειδική επεξεργασία αφαίρεσης των βαρέων μορίων του ελαίου (στεαρινών, μαργαρινών). Μόνο κατά τα τελευταία 1500 χλμ της κίνησής του με τα πειραματικά μίγματα χρησιμοποιήθηκε συμβατικό λάδι για λόγους που συνδέονται με το εργοστάσιο παρασκευής βαμβακελαίου. Επίσης στα μίγματα χρησιμοποιήθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια του Προγράμματος πρόσθετο σε συγκεντρώσεις περίπου 1000ppm.

Παράλληλα με το πειραματικό καύσιμο στο όχημα εφαρμόσθηκε ειδικό συνθετικό λιπαντικό χαμηλού ιξώδους ώστε να μελετηθεί η περαιτέρω δυνατότητα μείωσης των εκπομπών CO₂. Το συνθετικό λιπαντικό που επιλέχθηκε ήταν χαμηλού ιξώδους SAE 5W30, όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενη παράγραφο, και επιλέχθηκε σε αντιδιαστολή με το μεγαλύτερου ιξώδους SAE10W40 συμβατικό λιπαντικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως

αναφορά. Τα χαρακτηριστικά των λιπαντικών παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 7-1).

Η φάση αυτή του προγράμματος εξελίχθηκε ως εξής:

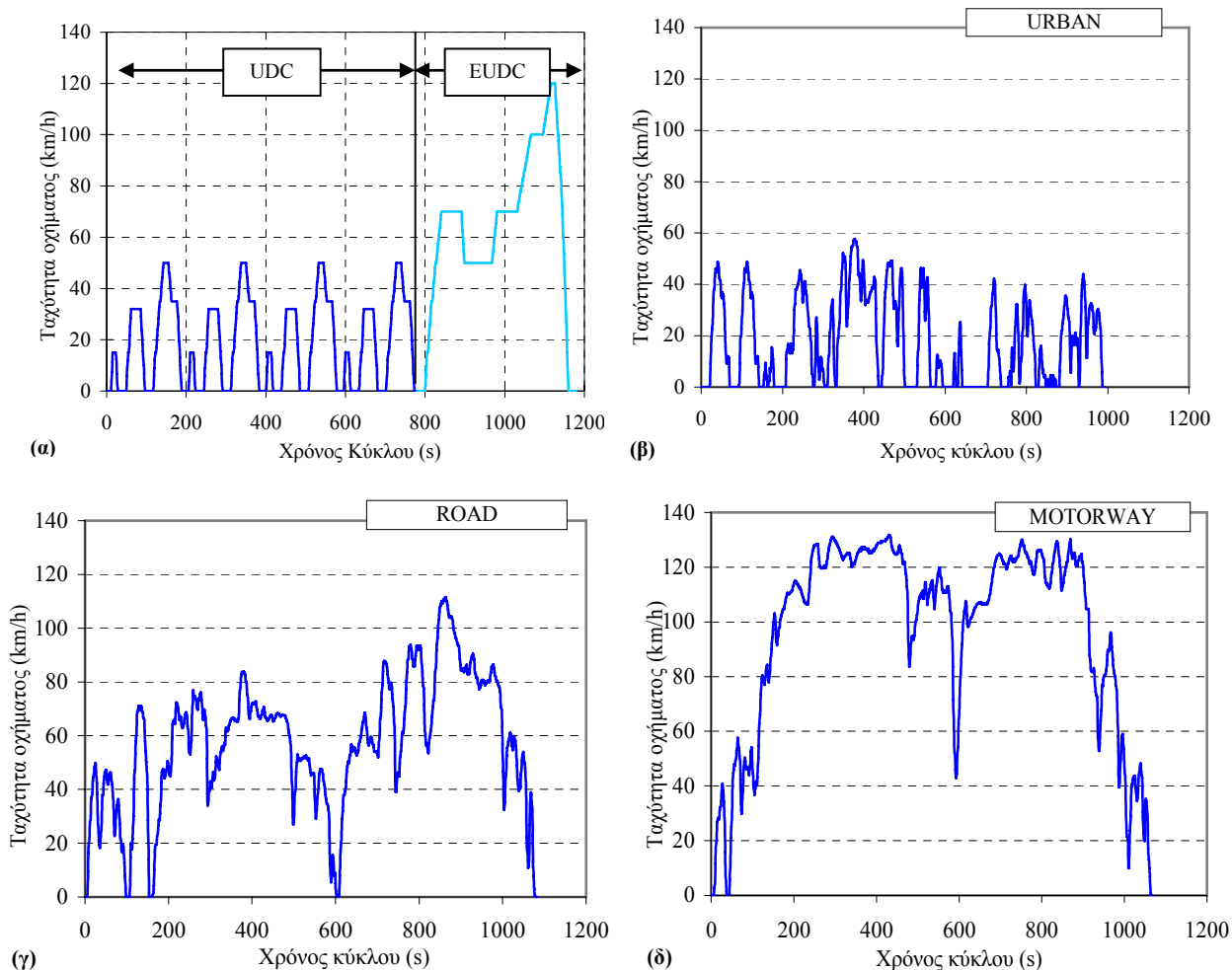
- Service, έλεγχος συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου (εγχυτήρες-αντλία υψηλής πίεσης), ροντάρισμα για 1000km με συμβατικό Diesel, πραγματοποίηση μετρήσεων αναφοράς (λιπαντικό αναφοράς προδιαγραφών SAE10W40)
- Εφαρμογή συνθετικού λιπαντικού SAE 5W30, ροντάρισμα οχήματος 1100km, μέτρηση
- Εφαρμογή μίγματος 10% βαμβακελαίου με πρόσθετο, ροντάρισμα 1900km, μέτρηση
- Πραγματοποίηση 10.000km με το πειραματικό καύσιμο (10% βαμβακέλαιο με πρόσθετο), ενδιάμεσες μετρήσεις (2)
- Αλλαγή σε συμβατικό Diesel, αλλαγή λιπαντικού σε SAE 10W40, έλεγχος συστήματος έγχυσης (εγχυτήρες-αντλία υψηλής πίεσης), ροντάρισμα 1950km, λήψη μέτρησης αναφοράς

Σε όλες τις περιπτώσεις πραγματοποιήθηκαν 2 επαναλήψεις μετρήσεων των εκπεμπόμενων ρύπων (CO_2 , NO_x , HC, CO, σωματίδια –μάζα, αριθμός, κατανομή-), της κατανάλωσης καυσίμου και της ελαστικότητας του κινητήρα σύμφωνα με το πρωτόκολλο που παρουσιάζεται στη συνέχεια.

7.1.2 Πρωτόκολλο μετρήσεων

Για την αξιολόγηση του οχήματος αναφορικά με τις εκπομπές ρύπων και την κατανάλωση καυσίμου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος τις ολικής δειγματοληψίας και ανάλυσης καυσαερίων. Κατά τη μέθοδο αυτή το εξεταζόμενο όχημα οδηγείται εντός εργαστηρίου σε ειδική εξέδρα προσομοίωσης της κίνησης στον δρόμο (πέδη οχημάτων). Η πέδη οχημάτων προσομοιώνει τόσο τις αεροδυναμικές αντιστάσεις και τις αντιστάσεις τριβής όσο και την αδράνεια του οχήματος με ηλεκτρικά και μηχανικά μέσα. Η ταχύτητα του οχήματος κατά τη δοκιμή ακολουθεί προκαθορισμένη χρονική εξέλιξη που ονομάζεται κύκλος οδήγησης. Για τη χορήγηση έγκρισης τύπου σε οχήματα εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης ο κύκλος οδήγησης που χρησιμοποιείται είναι ο Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης (NEDC) και παρουσιάζεται στην Εικόνα 7-2α. Ο NEDC διακρίνεται στο αστικό (UDC) και το υπεραστικό (EUDC) τμήμα. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης συλλέγεται σε σάκκους δείγμα αραιωμένου καυσαερίου με σταθερό ρυθμό δειγματοληψίας. Στο τέλος της μέτρησης το δείγμα αναλύεται και προκύπτουν οι συνολικές τιμές των εκπομπών σε g/km.

Για τη χορήγηση έγκρισης τύπου σε οχήματα εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης ο κύκλος οδήγησης που χρησιμοποιείται είναι ο Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης (NEDC) και παρουσιάζεται στην Εικόνα 7-2α. Ο NEDC διακρίνεται στο αστικό (UDC) και το υπεραστικό (EUDC) τμήμα. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης συλλέγεται σε σάκους δείγμα αραιωμένου καυσαερίου με σταθερό ρυθμό δειγματοληψίας. Στο τέλος της μέτρησης το δείγμα αναλύεται και προκύπτουν οι συνολικές τιμές των εκπομπών σε g/km.



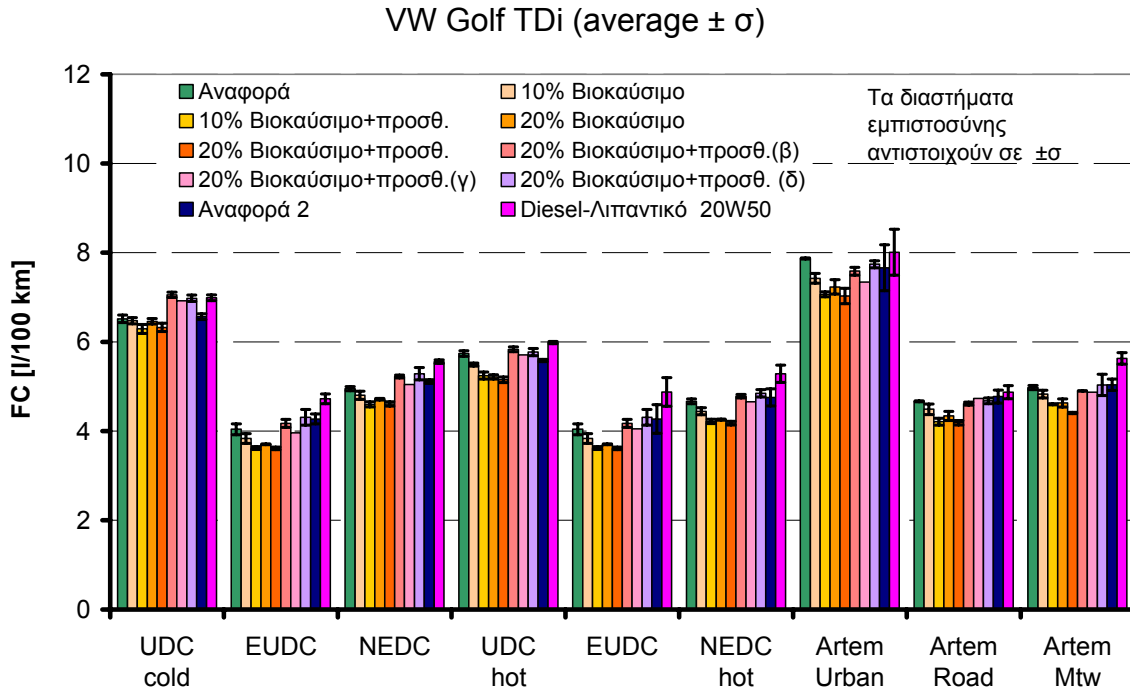
Εικόνα 7-2 Κύκλοι οδήγησης που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις. (α) Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης (NEDC), (β) Αστικός κύκλος ARTEMIS, (γ) Περιαστικός κύκλος ARTEMIS, (δ) Υπεραστικός κύκλος ARTEMIS

Βασικός στόχος των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν ήταν η ποσοτικοποίηση των εκπομπών αερίων ρύπων του οχήματος, όχι μόνο στις συνθήκες οδήγησης που εφαρμόζονται κατά τη δοκιμή έγκρισης τύπου αλλά και σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι κύκλοι οδήγησης Artemis. Οι κύκλοι προσομοιώνουν διαφορετικές συνθήκες κίνησης του αυτοκινήτου σε αστική οδήγηση (URBAN), σε περιαστική οδήγηση (ROAD) που αντιστοιχεί σε κίνηση σε περιφεριακό δρόμο μέσης ταχύτητας, και σε υπεραστική οδήγηση (MOTORWAY) που αντιστοιχεί σε κίνηση σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας. Η εξέλιξη της ταχύτητας των κύκλων Artemis παρουσιάζεται στην Εικόνα 7-2 (β έως δ). Το συνολικό πρωτόκολλο μέτρησης περιελάμβανε έναν NEDC ψυχρής εκκίνησης, έναν UDC θερμής εκκίνησης και τους τρεις κύκλους Artemis.

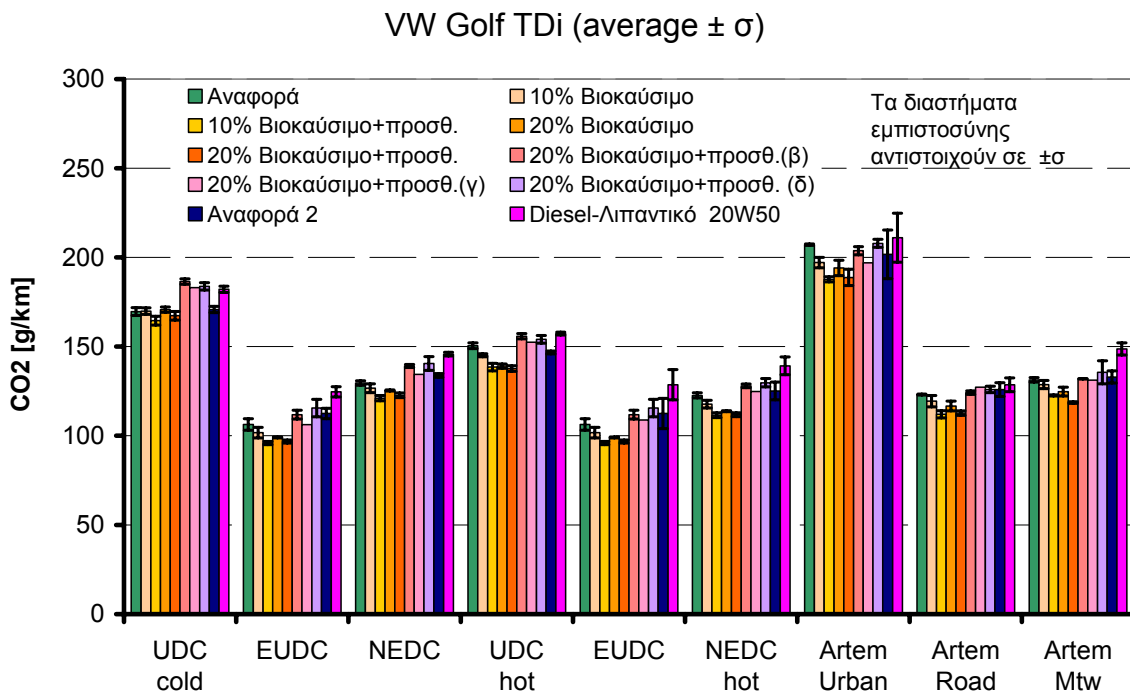
7.2 Νομοθετημένες εκπομπές και κατανάλωση καυσίμου

Οι μέσες τιμές και η διασπορά των αποτελεσμάτων των μετρήσεων των νομοθετημένων ρύπων για τα διάφορα καύσιμα και λιπαντικά που δοκιμάστηκαν παρουσιάζονται στις

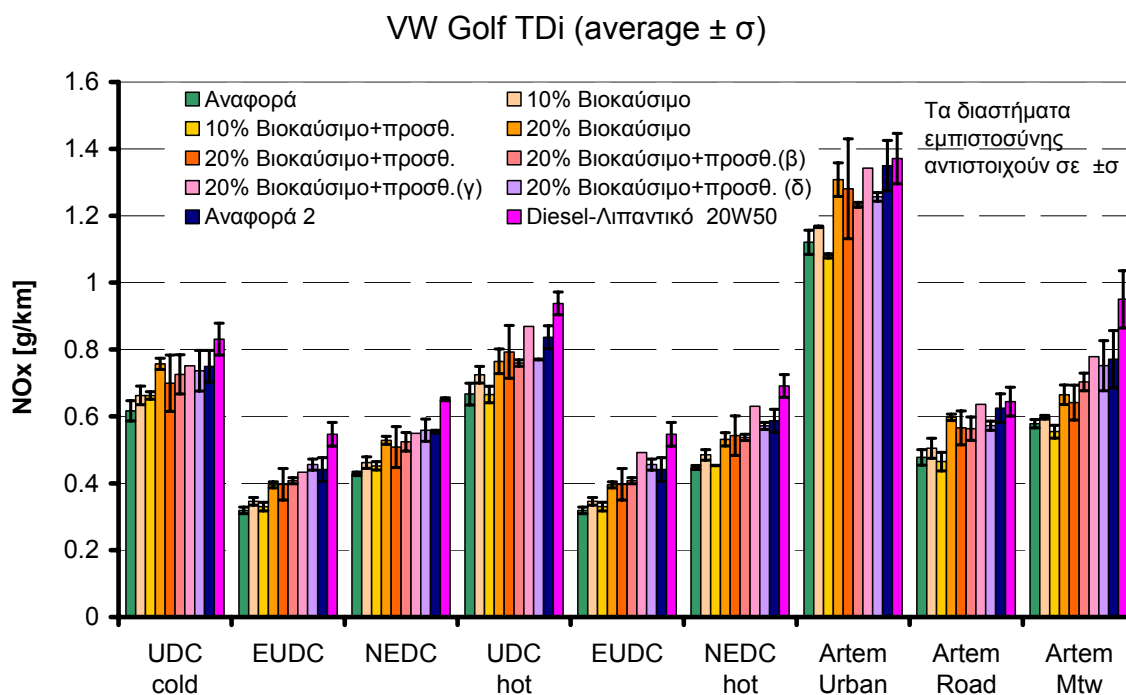
εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 7-3 έως Εικόνα 7-14). Στο παράρτημα παρατίθενται αναλυτικά τα αποτελέσματα όλων των μετρήσεων



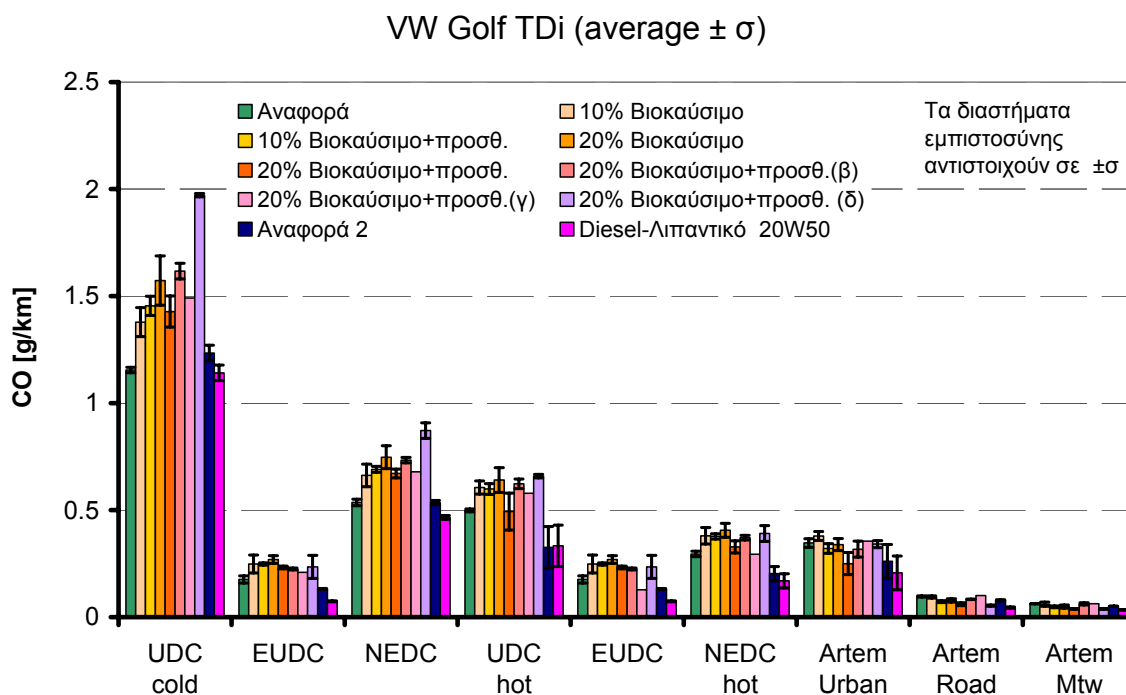
Εικόνα 7-3 Αποτελέσματα μετρήσεων κατανάλωσης καυσίμου VW Golf



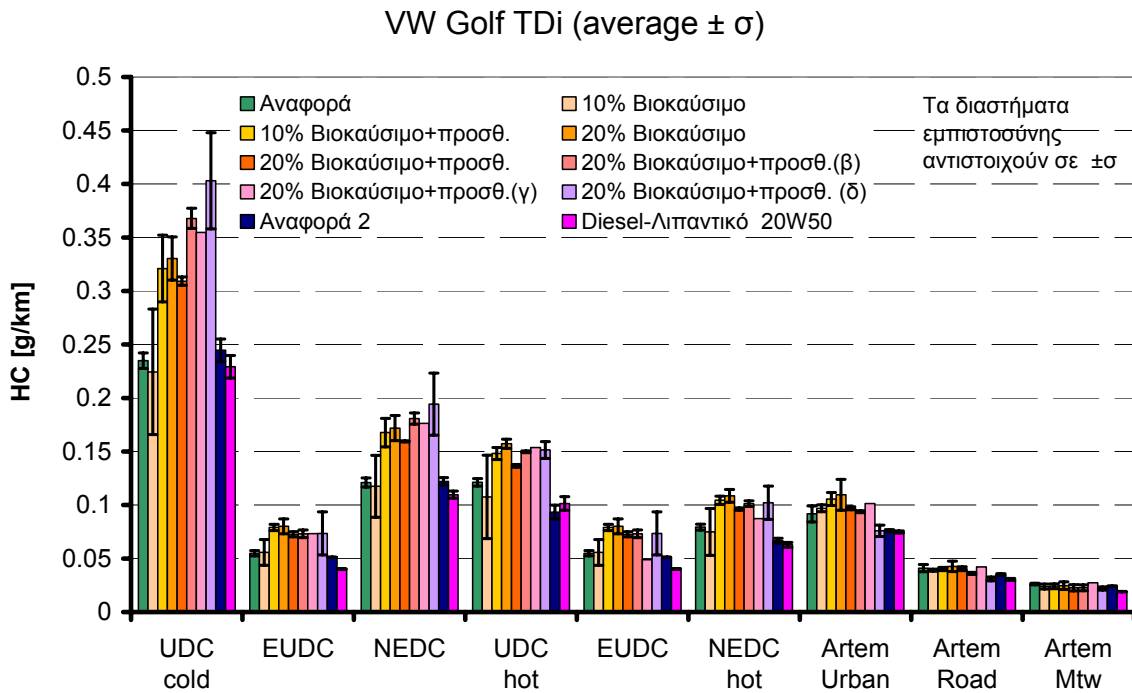
Εικόνα 7-4 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών CO₂ VW Golf



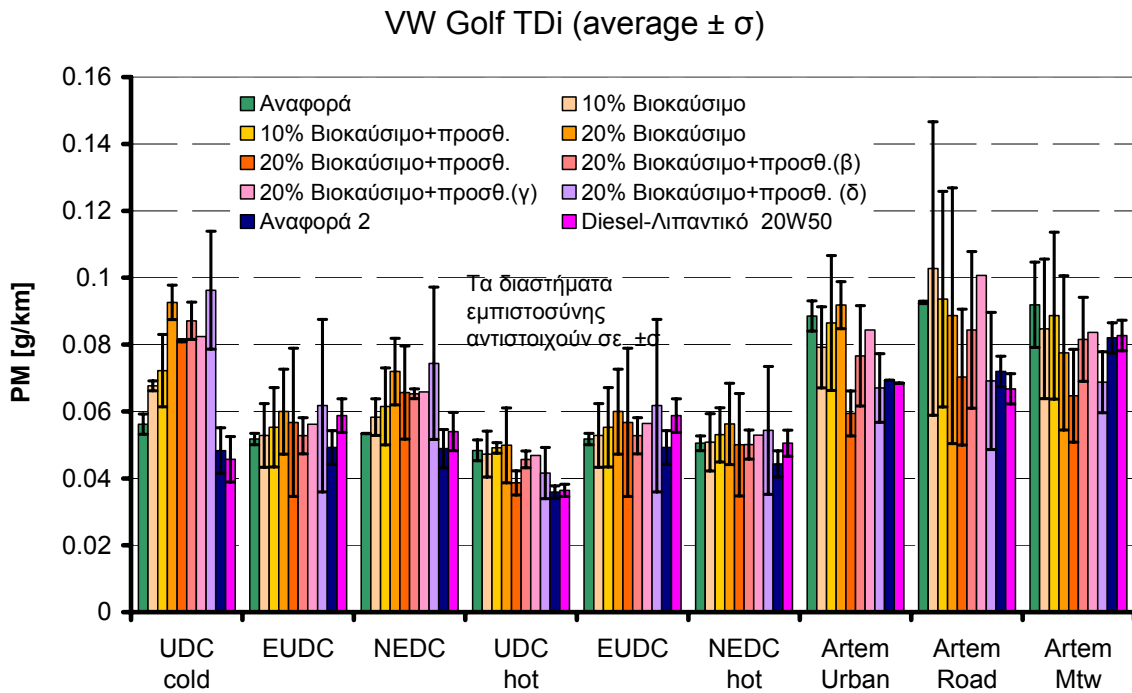
Εικόνα 7-5 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών NOx VW Golf



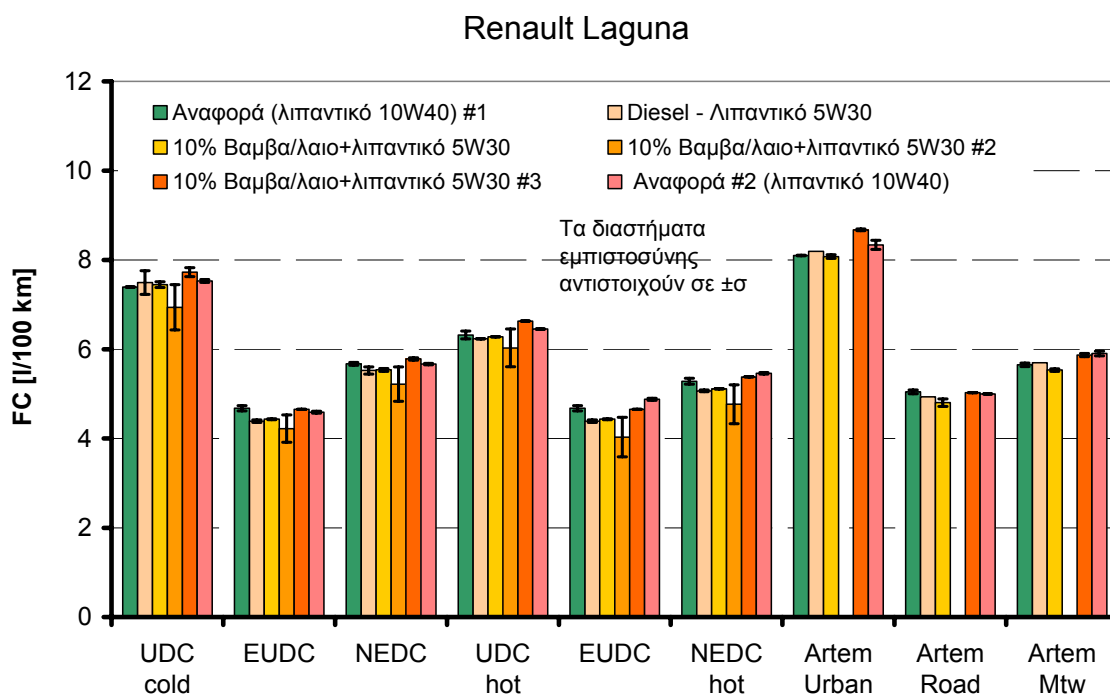
Εικόνα 7-6 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών CO VW Golf



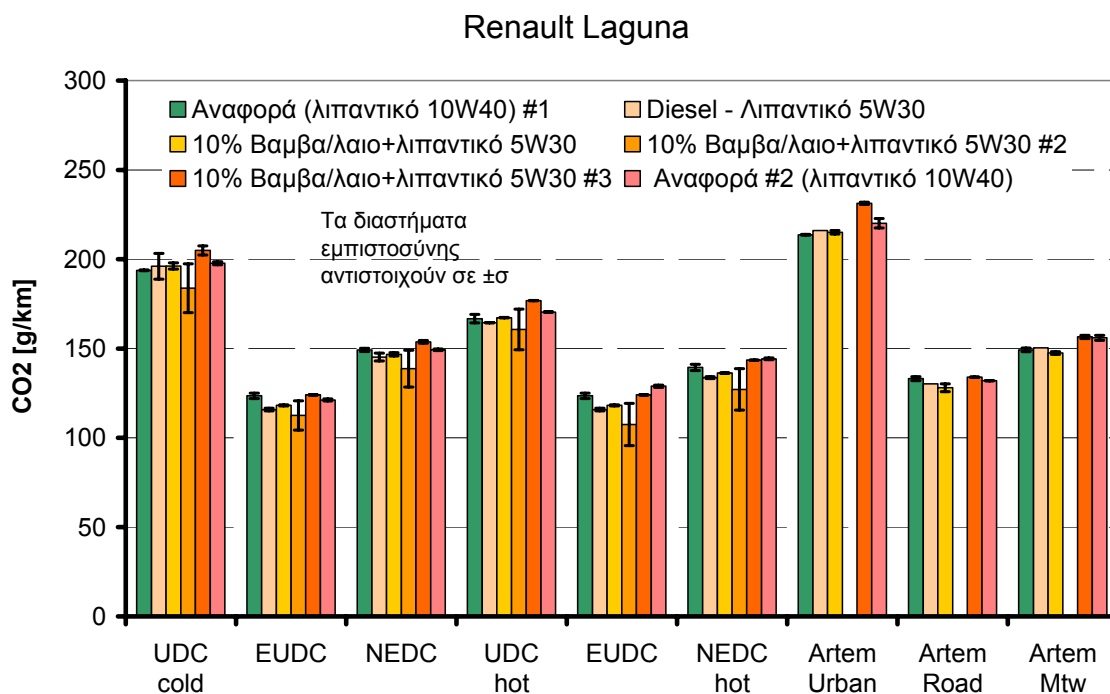
Εικόνα 7-7 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών HC VW Golf



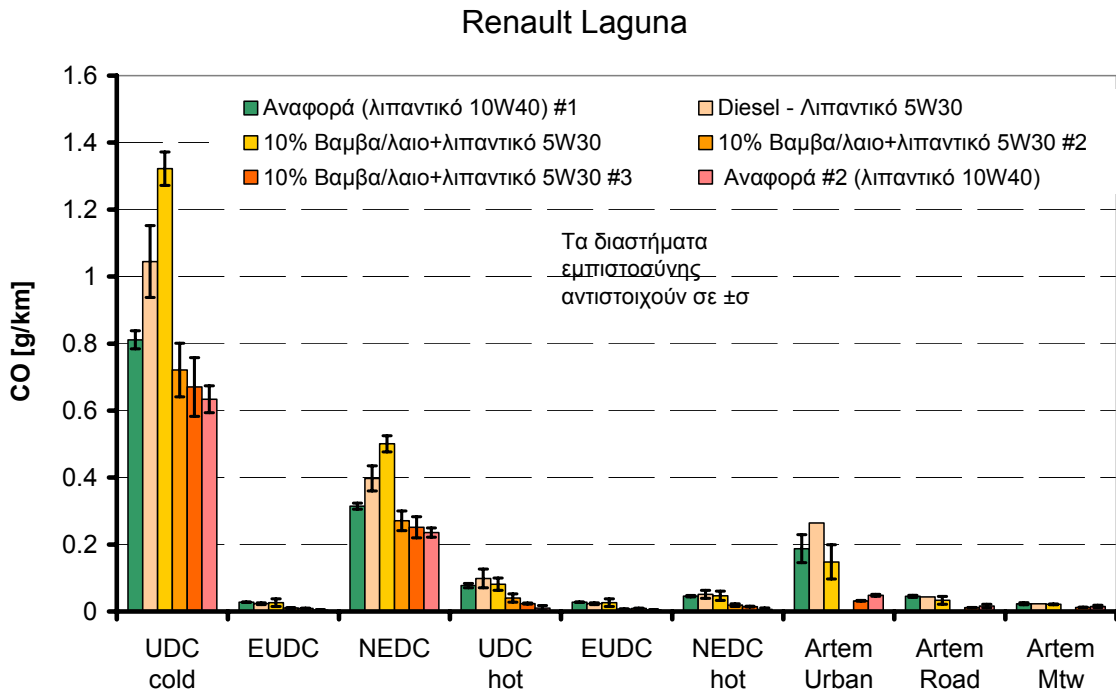
Εικόνα 7-8 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών σωματιδίων VW Golf



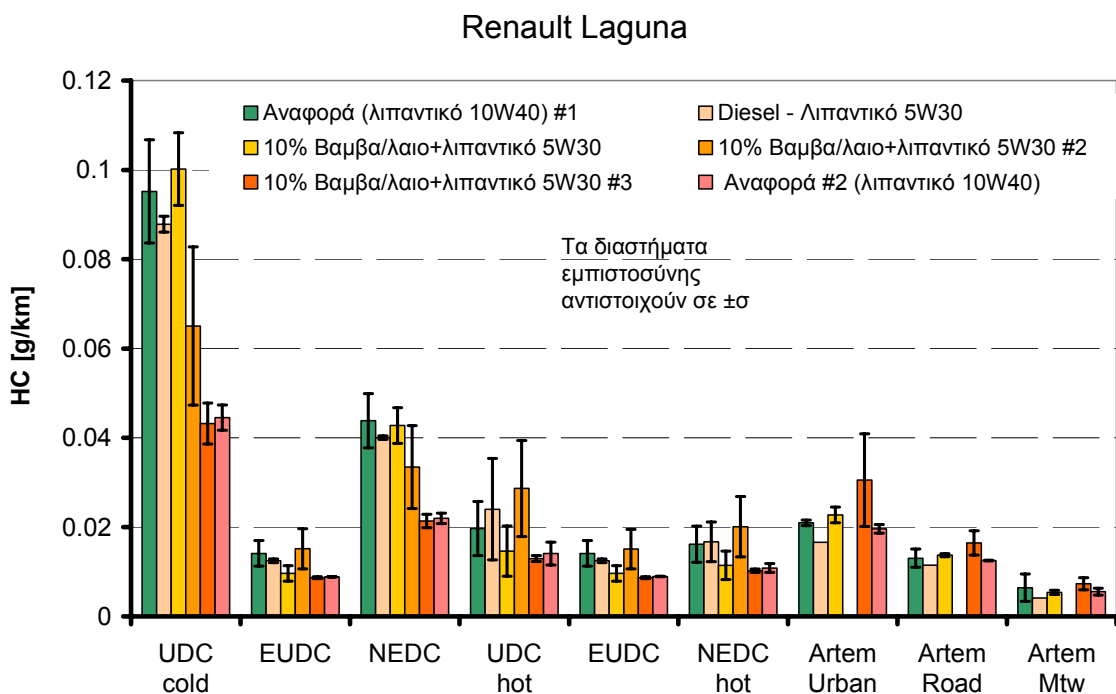
Εικόνα 7-9 Αποτελέσματα μετρήσεων κατανάλωσης καυσίμου Renault Laguna



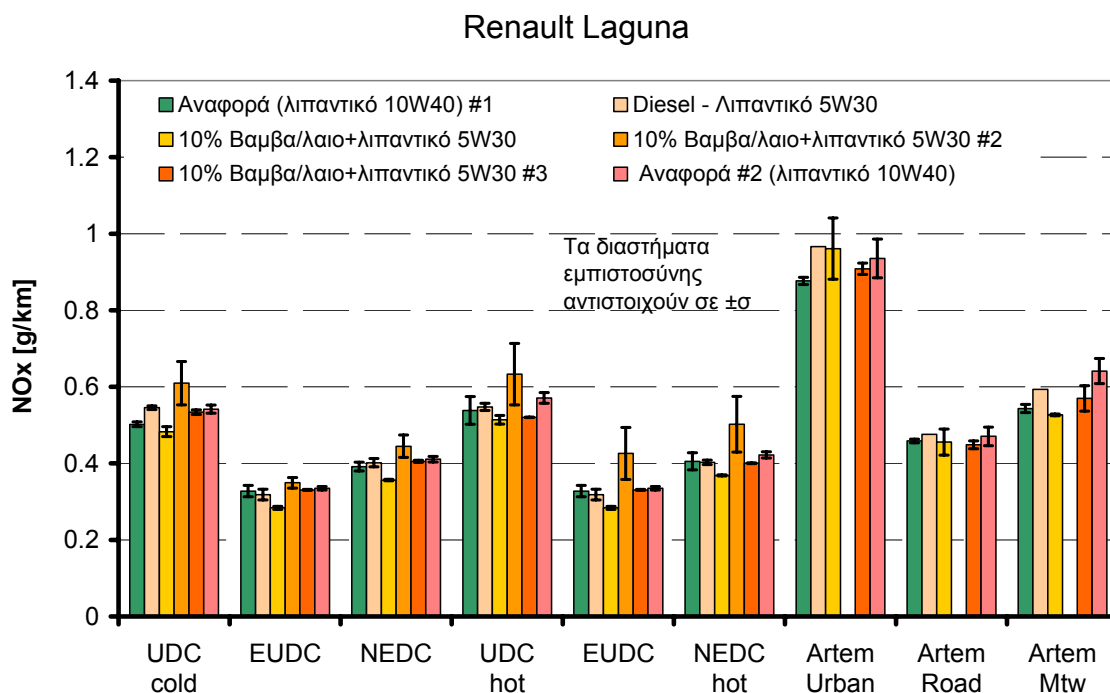
Εικόνα 7-10 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών CO₂ Renault Laguna



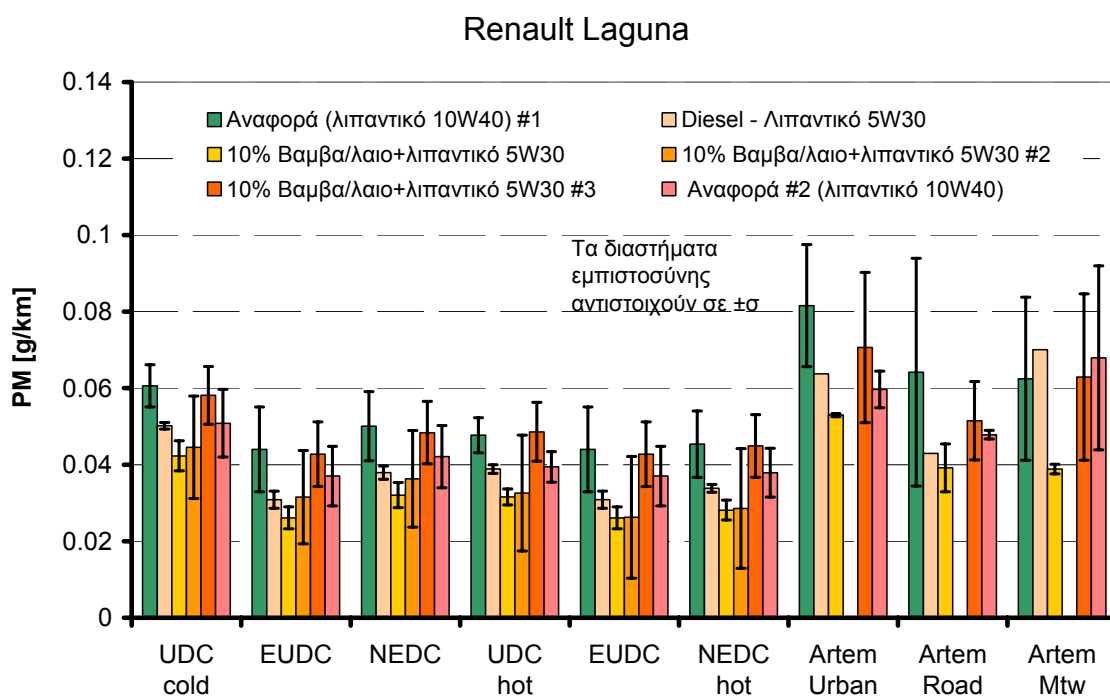
Εικόνα 7-11 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών CO Renault Laguna



Εικόνα 7-12 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών HC Renault Laguna



Εικόνα 7-13 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών NOx Renault Laguna



Εικόνα 7-14 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών PM Renault Laguna

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που παρουσιάζονται στα παραπάνω διαγράμματα δεν έδειξαν σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στη λειτουργία με το καύσιμο αναφοράς και με τα μίγματα πετρελαίου και βαμβακελαίου όσον αφορά τις εκπομπές των οχημάτων. Οι μεταβολές βρίσκονται, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, εντός των ορίων επαναληψιμότητας των μετρήσεων.

Στην Εικόνα 7-3 παρουσιάζονται οι εκπομπές CO₂ του VW Golf και στην Εικόνα 7-10 του Renault Laguna. Παρατηρείται ότι η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές CO₂ ακολουθούν ταυτόσημη εξέλιξη, όπως ήταν αναμενόμενο. Και στις δύο περιπτώσεις οι μετρήσεις αναφοράς σε κάθε κύκλο επιβεβαιώνουν ότι η συνολική απόδοση του οχήματος δεν μεταβλήθηκε μετά την εφαρμογή των πειραματικών καυσίμων. Παρατηρείται επίσης πως στην περίπτωση του VW Golf ο κύκλος ψυχρής εκκίνησης παρουσιάζει μια υπολογίσιμη απόκλιση από τον μέσο όρο των μετρήσεων αναφοράς κατά τη χρήση των μιγμάτων, με ορισμένες μετρήσεις να βρίσκονται υψηλότερα κι άλλες χαμηλότερα του μέσου όρου. Σε όλους τους άλλους κύκλους οδήγησης η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές διοξειδίου υπό πειραματικά καύσιμα παραμένουν στα ίδια ή και ελαφρώς χαμηλότερα επίπεδα με αυτά υπό συμβατικό ντίζελ και για τα δυο οχήματα. Είναι πιθανό οι διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά του πετρελαίου ή του βαμβακελαίου να προκαλούν τις αντίστοιχες διακυμάνσεις στην κατανάλωση καυσίμου των οχημάτων. Τέλος, οι εκπομπές CO₂ και των δυο οχημάτων βελτιώνονται ελαφρά στην πλειοψηφία των κύκλων οδήγησης με τη χρήση συνθετικών λιπαντικών χαμηλού ιξώδους.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκπομπών αερίων ρύπων των οχημάτων παρουσιάζονται για κάθε κύκλο οδήγησης στις παραπάνω εικόνες (Εικόνα 7-5 έως Εικόνα 7-14). Ως γενική παρατήρηση πρέπει να αναφερθεί πως οι εκπομπές των οχημάτων παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά όταν αυτά λειτουργούν με τα πειραματικά καύσιμα παρά με το συμβατικό. Το Renault Laguna έχει την τάση να παρουσιάζει σε όλες τις περιπτώσεις μικρότερο εύρος διασποράς, γεγονός που εξηγείται από το πιο σύγχρονο σύστημα τροφοδοσίας και διαχείρισης του κινητήρα το οποίο φέρει. Σε κάθε περίπτωση παρατηρήθηκε ότι τα μίγματα βαμβακελαίου-ντίζελ έχουν την τάση να αυξάνουν ελαφρώς τα επίπεδα εκπομπών στον ψυχρό αστικό κύκλο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παρουσιάζονται αυξημένες εκπομπές στον νομοθετημένο μικτό κύκλο, NEDC, με τους ρύπους όμως να βρίσκονται σε όλες τις περιπτώσεις εντός των προδιαγεγραμμένων για τα δυο οχήματα ορίων. Σε ρύπους με μεγάλη μεταβλητότητα, όπως η σωματιδιακή μάζα (Pm), η αύξηση αυτή παραμένει εντός των ορίων αβεβαιότητας των μετρήσεων. Αναλυτικότερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων στο νομοθετημένο κύκλο ακολουθεί στη συνέχεια. Στους κύκλους πραγματικής οδήγησης, οι εκπομπές των οχημάτων δεν παρουσιάζουν αξιόλογες διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα βιοκαύσιμα και το συμβατικό ντίζελ. Όσον αφορά τις εκπομπές υδρογονανθράκων και μονοξειδίου είναι πολύ σημαντική η παρατήρηση πως τα επίπεδα εκπομπών δεν διαφοροποιούνται χρονικά κατά την εξέλιξη της μελέτης και στα δυο οχήματα. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει πως η χρήση των μιγμάτων δεν επηρεάζει τη λειτουργία των οξειδωτικών καταλυτών των οχημάτων. Τέλος, όσον αφορά τη χρήση συνθετικών λιπαντικών σε όλες τις περιπτώσεις δεν προκάλεσε ουσιαστικές μεταβολές στα επίπεδα εκπομπών. Εξαιρέση ίσως αποτελούν οι εκπομπές CO και Pm του Renault Laguna οι οποίες φαίνεται να αυξάνουν και να μειώνονται ελαφρώς

αντίστοιχα. Οι μεταβολές αυτές παραμένουν εντός του ορίου ακρίβειας τέτοιων μετρήσεων και δεν μπορούν να αποδοθούν με σιγουριά στο λιπαντικό ή κάποιο άλλο παράγοντα.

7.3 Παρουσίαση μετρήσεων στο νομοθετημένο κύκλο οδήγησης (NEDC)

Όπως προαναφέρθηκε, ο NEDC είναι ο επίσημος κύκλος του τεστ λήψης έγκρισης τύπου των οχημάτων στην Ευρώπη. Για να κυκλοφορήσει ένα επιβατηγό όχημα στην Ευρωπαϊκή αγορά πρέπει να πληροί όλες τις προδιαγραφές εκπομπών που ορίζονται από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία για τον επίσημο κύκλο οδήγησης (NEDC). Γίνεται αντιληπτό ότι η απαίτηση της διατήρησης των ορίων εκπομπών των οχημάτων, η οποία είναι αναγκαία συνθήκη για την κυκλοφορία των βιοκαυσίμων στην αγορά, κρίνεται βάσει των αποτελεσμάτων των μετρήσεων στον NEDC. Στην παράγραφο αυτή πραγματοποιείται λεπτομερέστερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων στον κύκλο NEDC, η οποία πιστοποιεί και τη συμβατότητα των μιγμάτων βαμβακελαίου-Diesel όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων. Τέλος, επισημαίνεται ότι η λειτουργία των οχημάτων στον NEDC είναι αυστηρά ελεγχόμενη εκ κατασκευής ώστε να εξασφαλίζονται τα προδιαγεγραμμένα όρια εκπομπών. Το γεγονός αυτό μπορεί να αναιρεί την αντιπροσωπευτικότητα του κύκλου σε σχέση με τις πραγματικές συνθήκες οδήγησης, αλλά βοηθά στην αξιολόγηση των επιπτώσεων των διαφορετικών καυσίμων και λιπαντικών στη λειτουργία του κινητήρα.

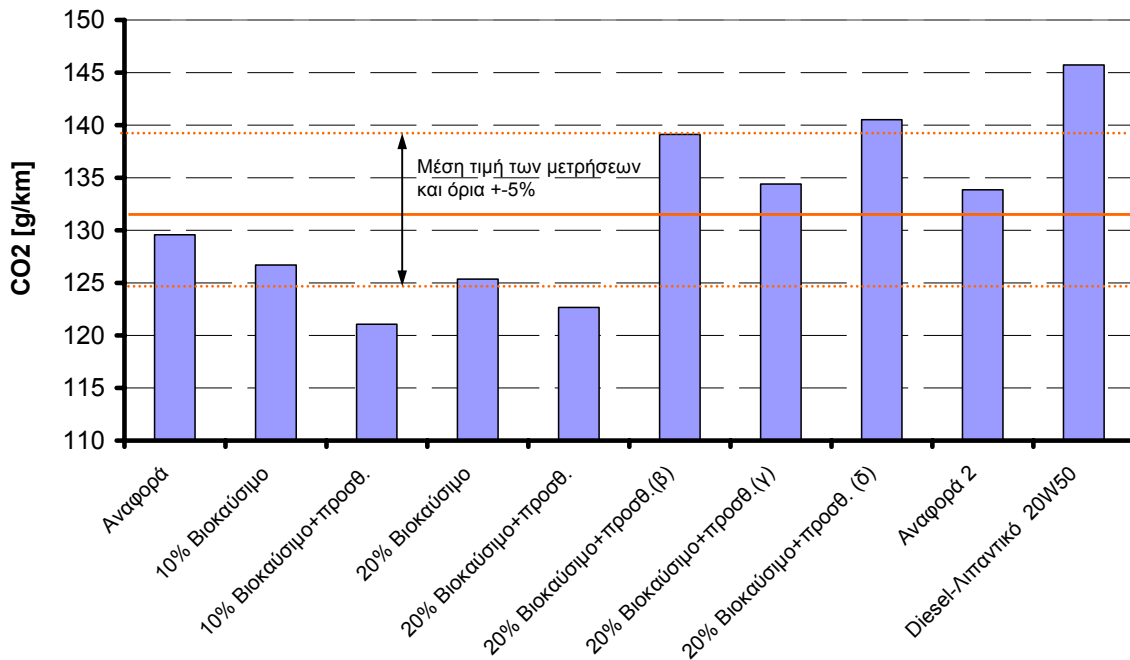
7.3.1 Μετρήσεις VW Golf

Στην Εικόνα 7-15 έως και την Εικόνα 7-19 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εκπομπών αερίων ρύπων στον κύκλο NEDC για το VW Golf. Παράλληλα παρουσιάζονται τα όρια των προδιαγραφών του οχήματος (Euro 2) για τους νομοθετημένους ρύπους.

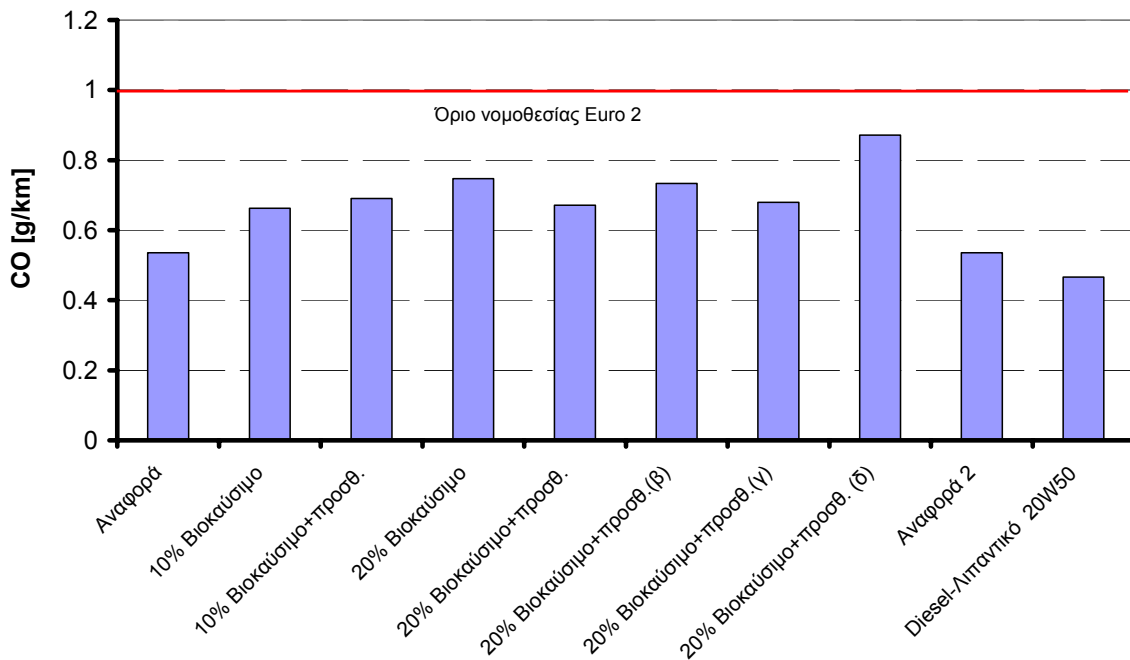
Η Εικόνα 7-15 δείχνει πως, ενώ οι μετρήσεις CO₂ αναφοράς του οχήματος βρέθηκαν στα ίδια επίπεδα και κοντά στο μέσο όρο των συνολικών μετρήσεων, οι μετρήσεις με βιοκαύσιμα παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις. Οι διακυμάνσεις αυτές όμως βρίσκονται πολύ κοντά στα νομοθετημένα όρια ακρίβειας των μετρήσεων (+-5%) και κατ'επέκταση δεν μπορεί να διατυπωθεί κάποιο σαφές συμπέρασμα αναφορικά με την επίδραση των μιγμάτων στην κατανάλωση καυσίμου. Το γεγονός ότι οι δύο μετρήσεις αναφοράς βρίσκονται στα ίδια επίπεδα αρχικά και τελικά καταδεικνύει πως η χρήση των βιοκαυσίμων δεν προκάλεσε μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στη λειτουργία του κινητήρα. Επίσης φαίνεται πως η χρήση ορυκτελαίου υψηλού ιξώδους οδηγεί σε υπολογίσιμη αύξηση των εκπομπών CO₂, όπως ήταν αναμενόμενο.

Κατά τη χρήση φυτικών ελαίων ως καυσίμων, οι παράγοντες που μπορούν να έχουν θετική επίδραση στις εκπομπές CO₂ είναι διάφοροι. Ενδεικτικά αναφέρονται η αύξηση του αριθμού κετανίου, η αύξηση της απόδοσης της αντλίας καυσίμου λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας, ενώ η παρουσία πρόσθετου μπορεί να δρα ευνοϊκά λειτουργώντας ως βελτιωτικό ροής. Από την άλλη μεριά, παράγοντες όπως μηχανικές βλάβες στο σύστημα

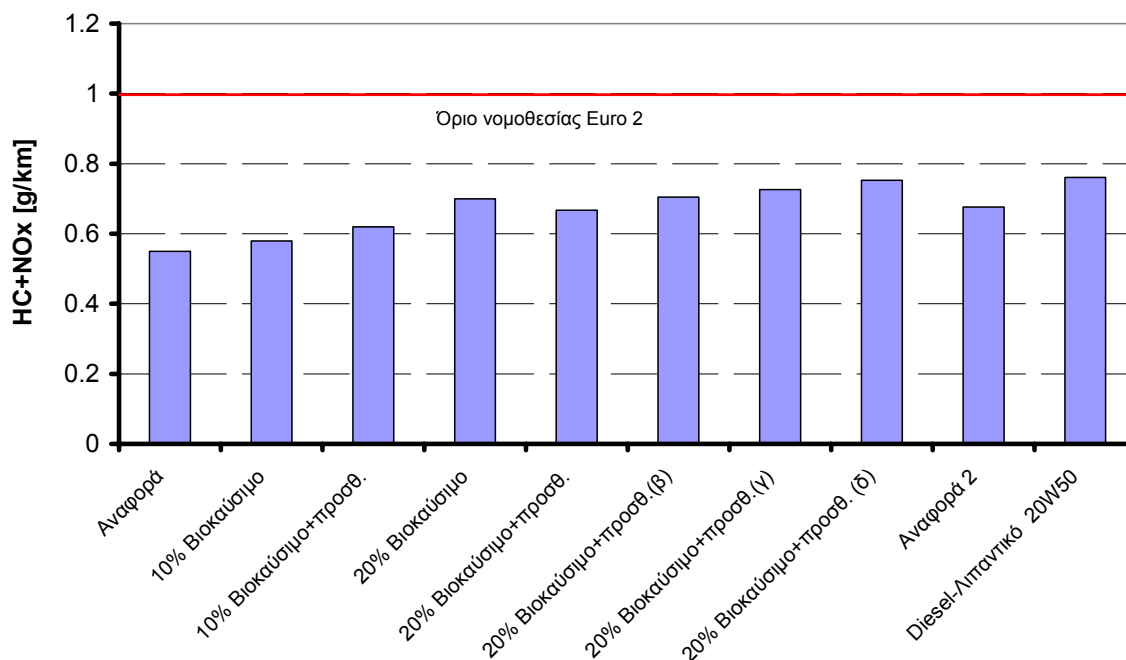
μετάδοσης ή στα φρένα, διαφοροποίηση της ποιότητας/σύστασης του καυσίμου ή άλλοι μη προβλέψιμοι παράγοντες μπορεί να έχουν αρνητική επίδραση στις εκπομπές.



Εικόνα 7-15 Εκπομπές CO₂ VW Golf για τις διάφορες μετρήσεις σε NEDC

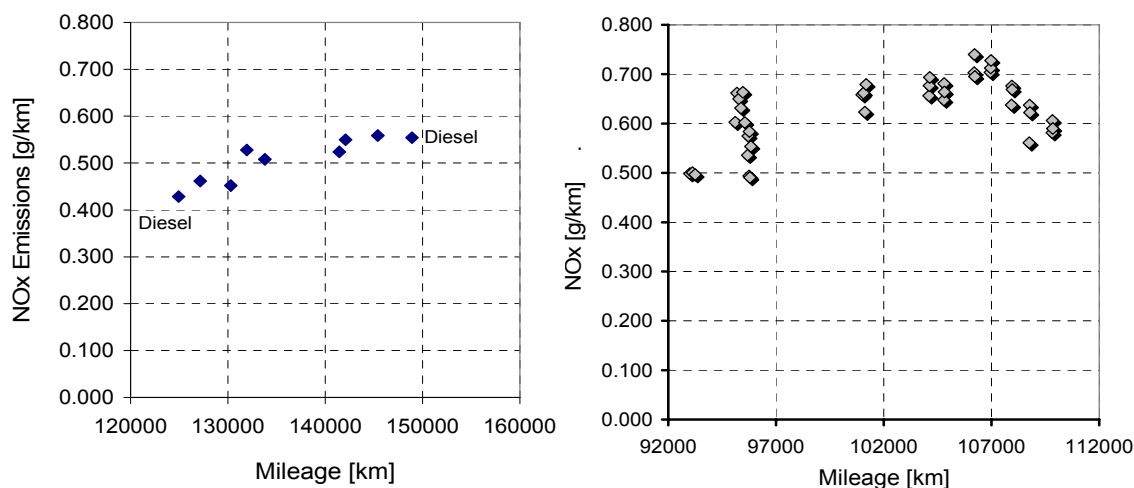


Εικόνα 7-16 Εκπομπές CO VW Golf για τις διάφορες μετρήσεις σε NEDC



Εικόνα 7-17 Εκπομπές HC + NOx VW Golf για τις διάφορες μετρήσεις σε NEDC

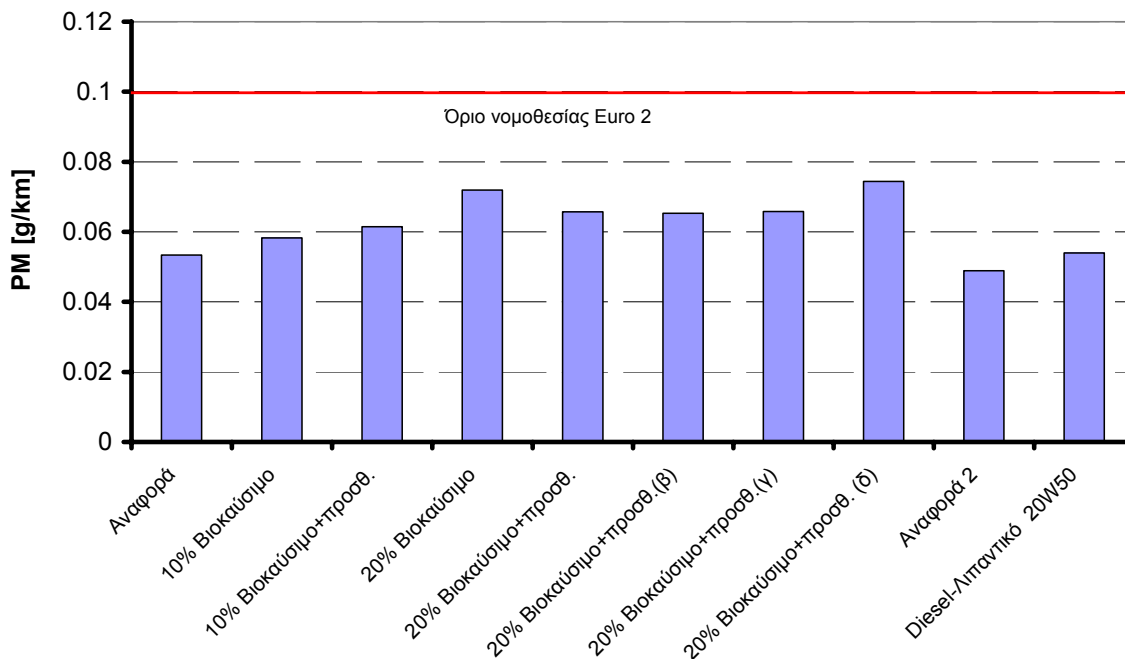
Στην Εικόνα 7-16 και στην Εικόνα 7-17 παρουσιάζονται οι εκπομπές CO και το άθροισμα των εκπομπών NOx και HC αντίστοιχα (το τελευταίο προδιαγράφεται νομοθετικά για οχήματα Diesel). Η οριζόντια γραμμή στα διαγράμματα δείχνει το νομοθετημένο όριο για την κατηγορία οχημάτων Euro 2. Σε όλες τις περιπτώσεις οι εκπομπές του οχήματος παραμένουν κάτω από τα νομοθετημένα όρια εκπομπών. Οι εκπομπές δεν φαίνεται να επηρεάζονται από το λιπαντικό που χρησιμοποιείται στο όχημα.



Εικόνα 7-18 Μεταβολές στα επίπεδα εκπομπών NOx σε NEDC για το VW Golf κατά τη διάρκεια του προγράμματος (αριστερά) και σε παλαιότερες μετρήσεις (δεξιά)

Η ελαφρά αύξηση που παρατηρείται μοιάζει να έχει συστηματικό χαρακτήρα και να ακολουθεί την αύξηση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε βαμβακέλαιο. Παρόλη την αυξητική τάση, οι επιπτώσεις είναι μικρές και γι' αυτό μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες,

ιδιαίτερα σε σύγκριση με τα όρια εκπομπών στα οποία υπακούει το αυτοκίνητο. Επιπλέον στην εικόνα Εικόνα 7-18 παρουσιάζονται οι καταγεγραμμένες μεταβολές στις εκπομπές NOx σε κύκλο NEDC πριν την έναρξη και κατά τη διάρκεια του προγράμματος. Είναι σαφές πως οι μεταβολές που παρατηρήθηκαν ήταν αναμενόμενες, ενώ τα επίπεδα εκπομπών παρέμειναν εντός των φυσιολογικών διακυμάνσεων για το συγκεκριμένο όχημα σε όλες τις περιπτώσεις.



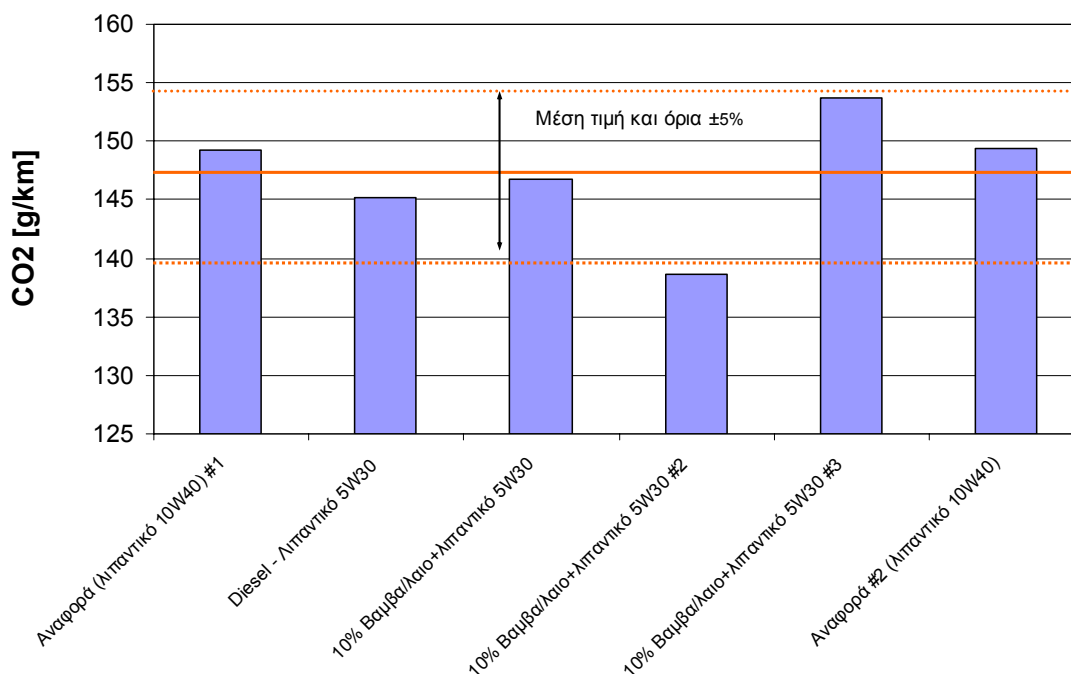
Εικόνα 7-19 Εκπομπές σωματιδίων VW Golf για τις διάφορες μετρήσεις σε NEDC

Οι εκπομπές σωματιδιακής μάζας ανά καύσιμο παρουσιάζονται στην Εικόνα 7-19. Όπως και στις περιπτώσεις των άλλων ρύπων έτσι και για τα σωματίδια οι εκπομπές παραμένουν σε κάθε περίπτωση κάτω από τα προδιαγεγραμμένα όρια. Ως γενικό συμπέρασμα μπορεί να θεωρηθεί πως υπάρχει μια ελαφρώς αυξητική τάση, η οποία όμως είναι αρκετά μικρή ώστε η επίδραση των καυσίμων στις εκπομπές σωματιδιακής μάζας να θεωρηθεί επίσης αμελητέα. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, το λιπαντικό δεν φαίνεται να επιδρά στα επίπεδα εκπομπών Pm του οχήματος.

7.3.2 Μετρήσεις Renault Laguna

Στην Εικόνα 7-20 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων CO₂ στο Renault Laguna για τον κύκλο NEDC. Τα επίπεδα εκπομπών CO₂ παρουσιάζονται αρκετά σταθερά και κοντά στην ίδια μέση τιμή για την πλειοψηφία των μετρήσεων. Μόνο μία μέτρηση βρίσκεται εκτός του ορίου του ±5% η οποία όμως δεν θεωρείται αντιπροσωπευτική. Συμπεραίνεται ότι η χρήση μιγμάτων βαμβακελαίου ντίζελ δεν είχε υπολογίσιμη επίδραση στα επίπεδα εκπομπών CO₂ του οχήματος. Δεδομένου ότι οι μετρήσεις αναφοράς βρίσκονται στα ίδια επίπεδα, θεωρείται ότι τα πειραματικά καύσιμα δεν είχαν κάποια μόνιμη επίδραση στη λειτουργία του κινητήρα.

Επιπλέον, η χρήση λιπαντικού χαμηλής τριβής φαίνεται πως έχει θετική επίδραση στις εκπομπές CO₂, οι οποίες με τη χρήση του μειώνονται κατά περίπου 2%. Η τιμή αυτή βρίσκεται κοντά σε αυτήν που προτείνεται από τη βιβλιογραφία για χρήση τέτοιων λιπαντικών.

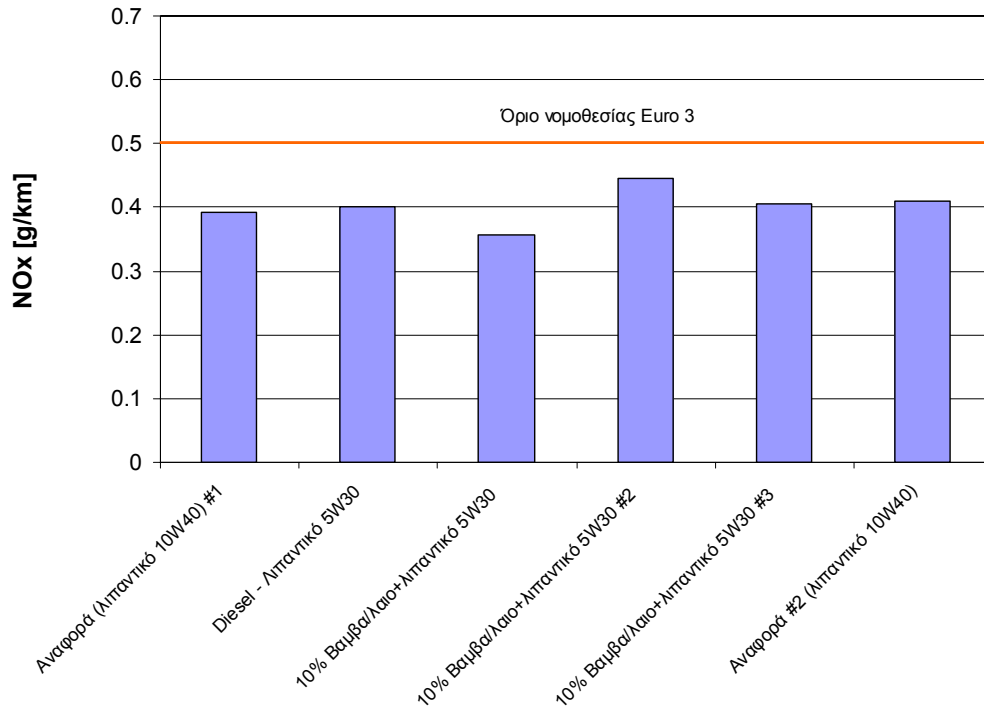


Εικόνα 7-20 Εκπομπές CO₂ Renault Laguna για τις διάφορες μετρήσεις σε NEDC

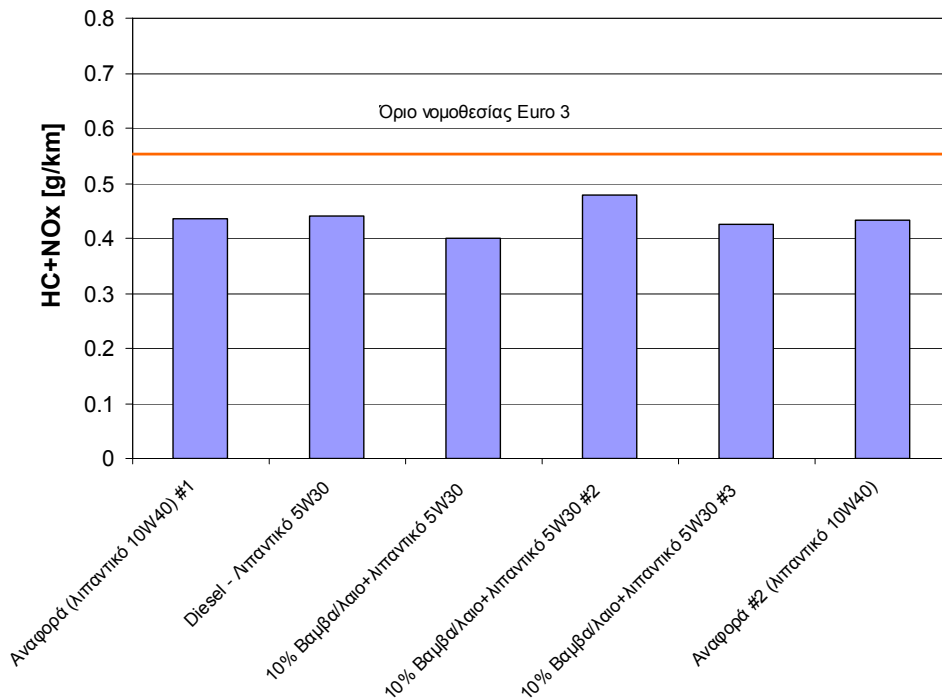
Στην Εικόνα 7-21 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εκπομπών NO_x. Οι εκπομπές NO_x παρουσιάζουν αξιοσημείωτη σταθερότητα στην περίπτωση του οχήματος με δυο μόνο μετρήσεις να διαφοροποιούνται ελαφρά από τη συνολική μέση τιμή. Κατά συνέπεια η εφαρμογή του βαμβακελαίου αλλά και του συνθετικού λιπαντικού δεν είχε αντίκτυπο στα επίπεδα των εκπομπών αυτών. Επιπλέον, η λειτουργία του κινητήρα δεν διαφοροποιήθηκε με την πάροδο του χρόνου. Αντίστοιχη είναι και η Εικόνα 7-22 όπου παρουσιάζεται το άθροισμα HC+NO_x, όπως προβλέπεται από τη νομοθεσία. Και πάλι τα επίπεδα εκπομπών παραμένουν σχετικά σταθερά και αρκετά κάτω από τα προδιαγεγραμμένα όρια.

Στην εικόνα Εικόνα 7-24 παρουσιάζονται οι εκπομπές CO. Το CO παρουσιάζει μεγαλύτερη μεταβλητότητα από τους προαναφερθέντες ρύπους, αλλά σε όλες τις περιπτώσεις τα επίπεδα εκπομπών παραμένουν αρκετά κάτω από τα νομοθετημένα όρια. Γενικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων δεν δείχνουν κάποια συστηματική τάση αύξησης ή μείωσης. Το γεγονός ότι οι μετρήσεις αναφοράς παραμένουν σε συναφή επίπεδα δείχνει ότι δεν υπήρξε μεταβολή της λειτουργίας του καταλύτη του οχήματος.

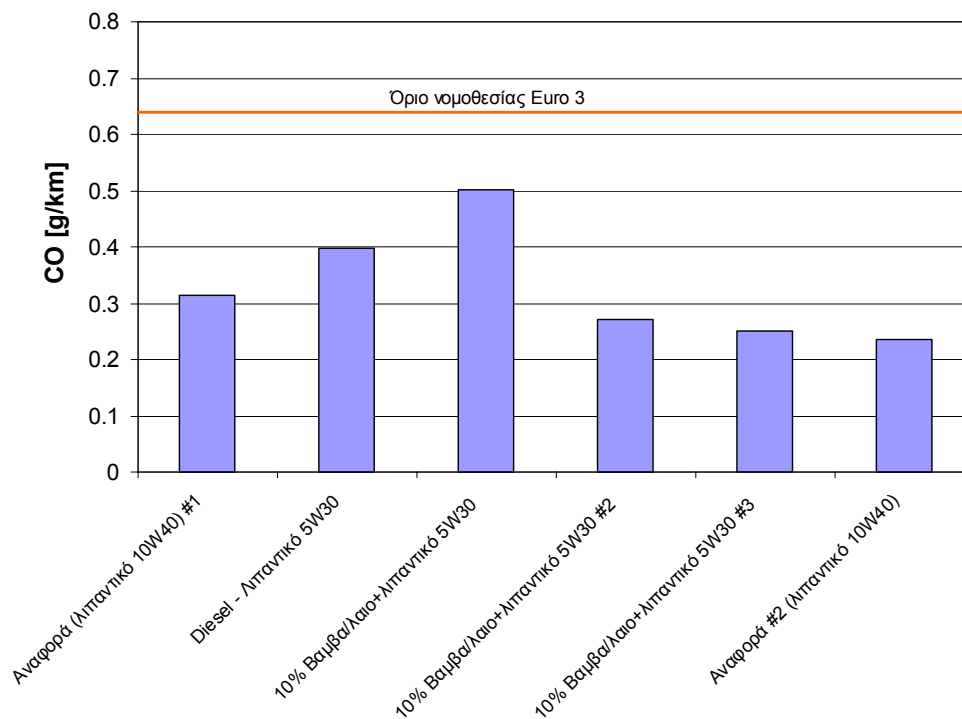
Τέλος, η εικόνα για τις εκπομπές σωματιδιακής μάζας (Εικόνα 7-24) είναι αντίστοιχη με αυτή των εκπομπών CO. Η μεταβλητότητα των μετρήσεων είναι αρκετά μεγάλη ώστε να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα σχετικά με τις τάσεις μείωσης των εκπομπών που μπορεί να επισημανθούν. Τα επίπεδα σε κάθε περίπτωση παραμένουν εντός ορίων.



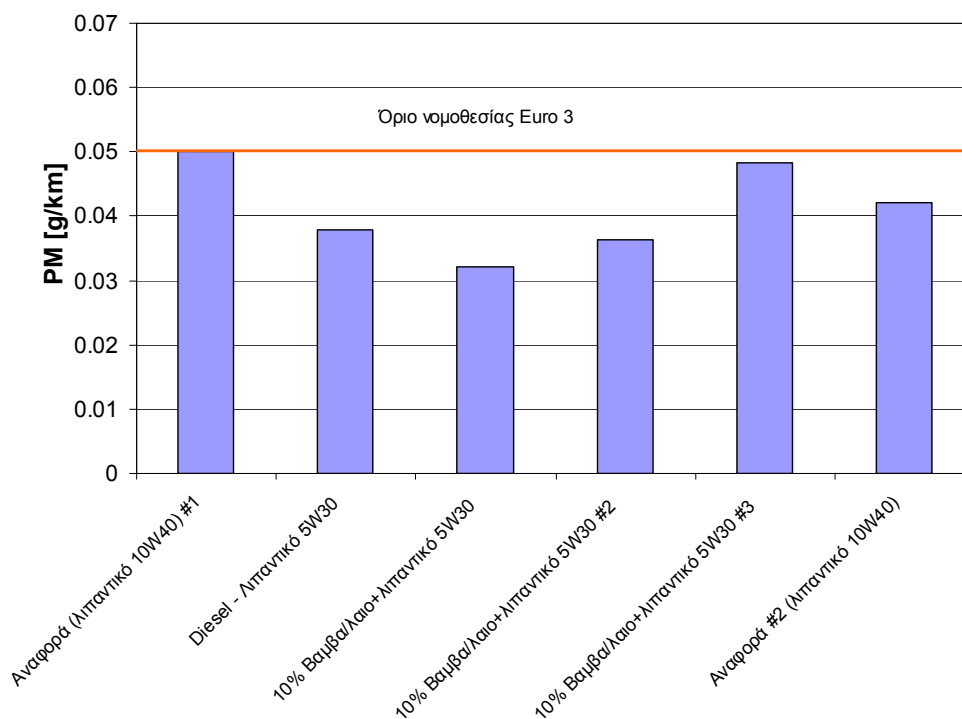
Εικόνα 7-21 Εκπομπές NOx Renault Laguna για τις διάφορες μετρήσεις σε κύκλο NEDC



Εικόνα 7-22 Εκπομπές HC +NOx Renault Laguna για τις διάφορες μετρήσεις σε NEDC



Εικόνα 7-23 Εκπομπές CO Renault Laguna για τις διάφορες μετρήσεις σε NEDC

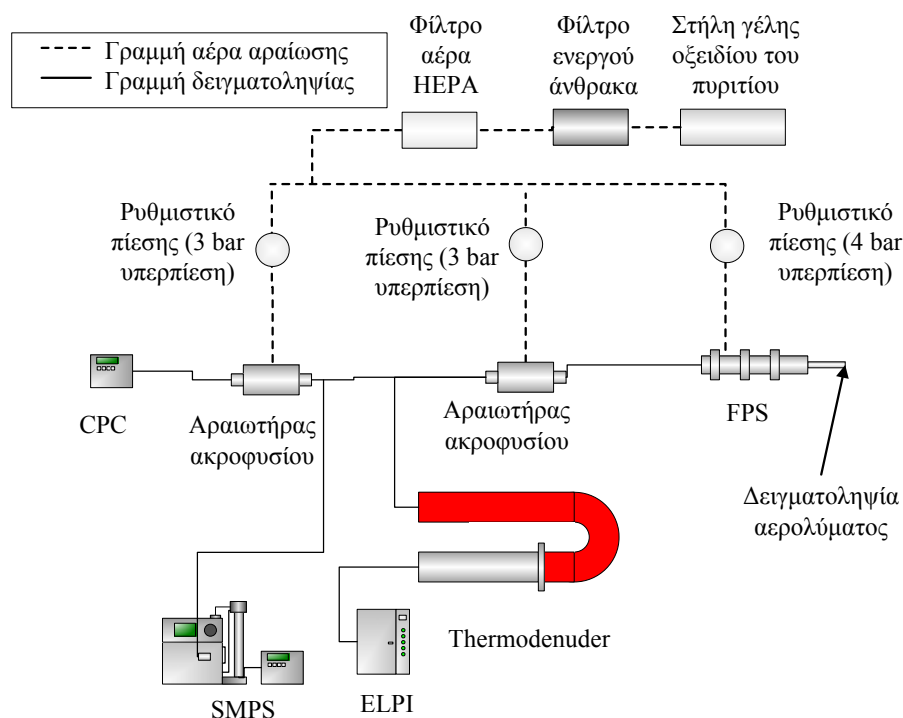


Εικόνα 7-24 Εκπομπές Pm Renault Laguna για τις διάφορες μετρήσεις σε NEDC

7.4 Μη νομοθετημένες σωματιδιακές εκπομπές

Δεδομένου του ενδιαφέροντος το οποίο παρουσιάζουν οι εκπομπές σωματιδίων από επιστημονικής πλευράς, αλλά και λόγω των σημαντικών επιπτώσεων των τελευταίων στην ανθρώπινη υγεία, οι μετρήσεις σωματιδίων επεκτάθηκαν και σε μη νομοθετημένα μεγέθη. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στα πειραματικά οχήματα παράλληλα με τις μετρήσεις των νομοθετημένων εκπομπών.

Για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε η διάταξη αραίωσης και δειγματοληψίας που παρουσιάζεται στην Εικόνα 7-25. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στον αγωγό αραίωσης μέσω του αραιωτήρα FPS (Fine Particle Sampler) κατασκευής Dekati. Λόγω των σχετικά υψηλών σωματιδιακών εκπομπών, χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον βαθμονομημένοι αραιωτήρες τύπου ακροφυσίου, ώστε να μειωθούν οι σωματιδιακές συγκεντρώσεις εντός των ορίων μέτρησης των διαφόρων οργάνων. Συγκεκριμένα, για τον προσδιορισμό της αριθμητικής σωματιδιακής συγκέντρωσης χρησιμοποιήθηκε απαριθμητής σωματιδίων (TSI's Condensation Particle Counter CPC 3010) και ηλεκτρικός προσκρουστήρας χαμηλής πίεσης (Dekati's Electrical Low Pressure Impactor - ELPI). Ο τελευταίος δειγματοληπτούσε μέσω προσροφητήρα πτητικών ουσιών (Dekati's Thermodenuder) που λειτουργούσε στους 250°C για την απομάκρυνση των (ημι)-πτητικών σωματιδίων (και επομένως μετρούσε στερεά σωματίδια μόνο). Στα σταθερά σημεία χρησιμοποιήθηκε ο κατανεμητής μεγέθους κινητικότητας σωματιδίων με σάρωση (TSI's SMPS 3936L) αντί του CPC για την μέτρηση της αριθμητικής κατανομής του συνόλου των σωματιδίων επιτρέποντας παράλληλα τον προσδιορισμό της αριθμητικής τους κατανομής μεγέθους.

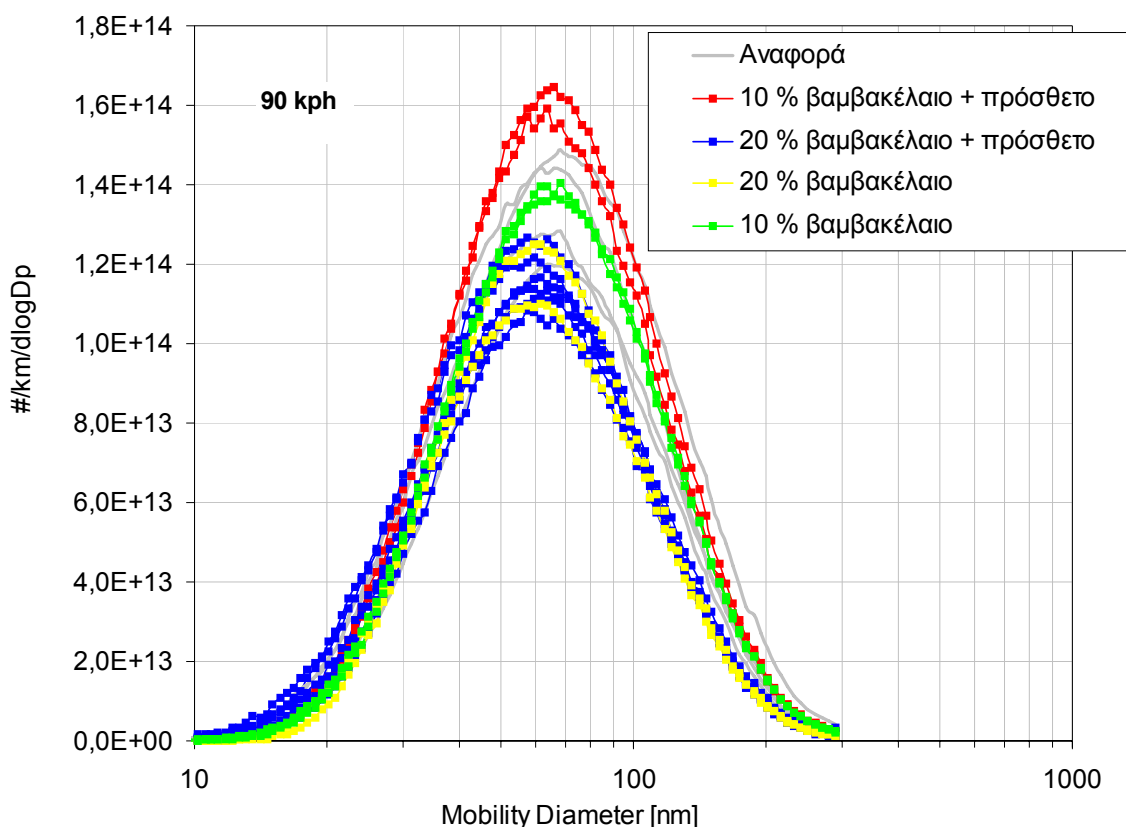


Εικόνα 7-25: Σχηματική απεικόνιση του συστήματος δειγματοληψίας για τον χαρακτηρισμό μη νομοθετημένων σωματιδιακών εκπομπών

Σε αντιστοιχία με τη σωματιδιακή μάζα, οι εκπομπές αριθμού σωματιδίων έχουν εκφρασθεί ανά διανυσθέν χιλιόμετρο. Πρέπει να σημειωθεί ότι, σε αντίθεση με τον απαριθμητή σωματιδίων, η αναγωγή των ενδείξεων του ELPI (ρεύμα) σε αριθμητική συγκέντρωση δεν είναι άμεση αλλά απαιτεί την γνώση της ενεργού πυκνότητας των σωματιδίων. Καθώς αυτή η πληροφορία δεν είναι διαθέσιμη, έγινε η υπόθεση μοναδιαίας πυκνότητας (όπως συνηθίζεται σε μελέτες όπου χρησιμοποιείται το ELPI). Επιπλέον τα αποτελέσματα του ELPI έχουν διορθωθεί για απώλειες στερεών σωματιδίων στο εσωτερικό του προσροφητήρα, σύμφωνα με τη βαθμονόμηση της κατασκευάστριας εταιρίας.

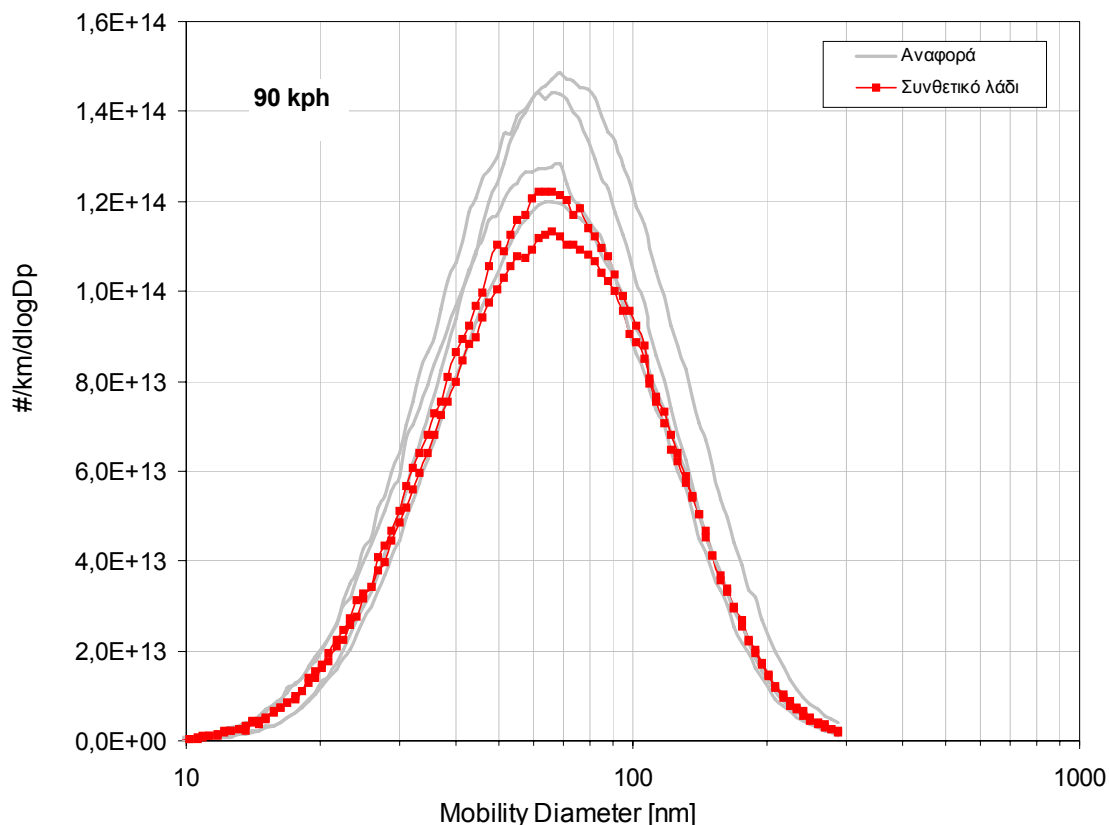
7.4.1 Αποτελέσματα VW Golf

Στην Εικόνα 7-26 παρατίθενται οι κατανομές του συνολικού αριθμού σωματιδίων όπως μετρήθηκαν με το SMPS στα 90 km/h με τα διάφορα καύσιμα. Πέρα από τη διαφοροποίηση στα απόλυτα επίπεδα, δεν υπήρξε αξιοσημείωτη διαφορά στη μορφή της κατανομής με την γεωμετρική μέση διάμετρο να κυμαίνεται μεταξύ 60 και 69 nm. Παρόμοιες τάσεις παρουσιάστηκαν και στα υπόλοιπα σταθερά σημεία που εξετάστηκαν.



Εικόνα 7-26: Κατανομές συνολικού αριθμού σωματιδίων στα 90 km/h για τα καύσιμα που μελετήθηκαν

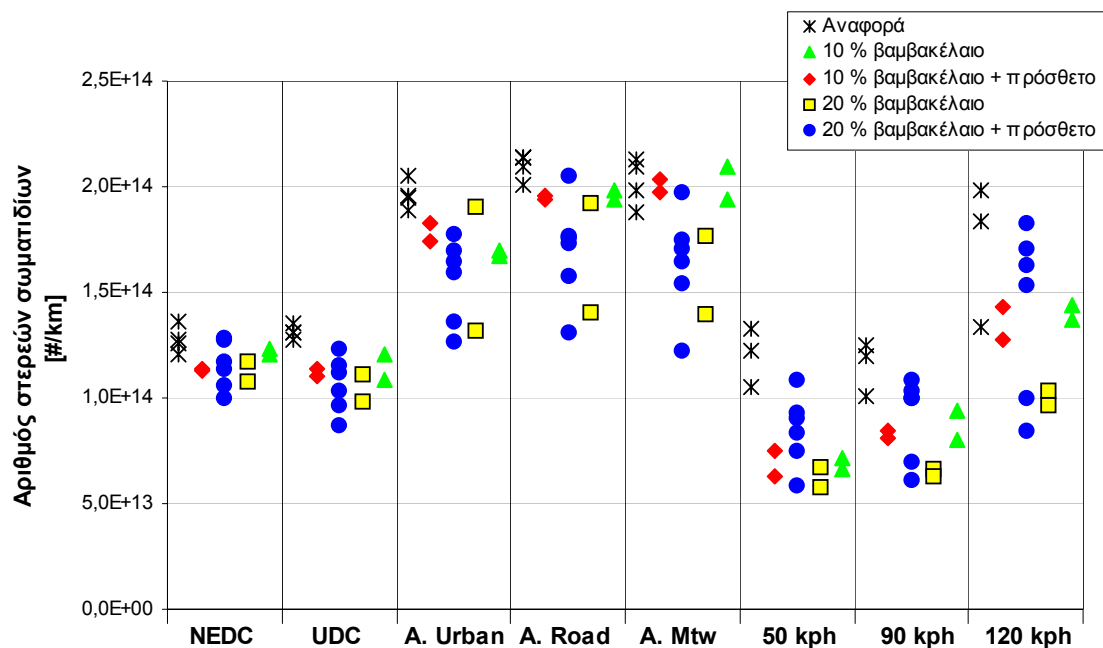
Στην Εικόνα 7-27 παρατίθενται οι κατανομές του συνολικού αριθμού σωματιδίων όπως μετρήθηκαν με το SMPS στα 90 km/h με τα διάφορα λιπαντικά. Παρατηρείται μια μείωση της τάξης του 10% στα απόλυτα επίπεδα των εκπομπών σωματιδίων, όταν χρησιμοποιείται λιπαντικό λάδι χαμηλής τριβής. Πέρα από τη διαφοροποίηση στα απόλυτα επίπεδα, δεν υπήρξε αξιοσημείωτη διαφορά στη μορφή της κατανομής με την γεωμετρική μέση διάμετρο να κυμαίνεται μεταξύ 65 και 69nm. Παρόμοιες τάσεις παρουσιάστηκαν και στα υπόλοιπα σταθερά σημεία που εξετάστηκαν.



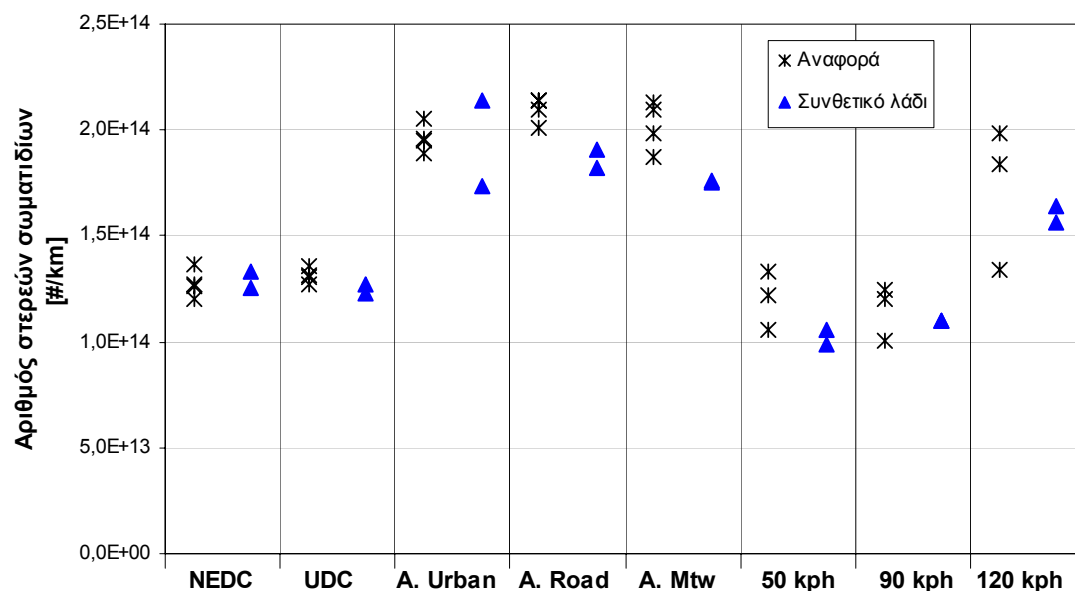
Εικόνα 7-27: Κατανομές συνολικού αριθμού σωματιδίων στα 90 km/h για τα λιπαντικά που μελετήθηκαν

Οι προσδιοριζόμενες εκπομπές αριθμού στερεών σωματιδίων συνοψίζονται στην Εικόνα 7-28. Οι εκπομπές του οχήματος στις μετρήσεις με το καύσιμο αναφοράς κυμάνθηκαν από 1.2×10^{14} έως 2.1×10^{14} #/km με τα απόλυτα επίπεδα να επηρεάζονται σημαντικά από τις συνθήκες οδήγησης (κύκλος οδήγησης). Η προσθήκη 10% βαμβακέλαιου με ή χωρίς πρόσθετο στο καύσιμο επέφερε μείωση στις εκπομπές στερεών σωματιδίων στους κύκλους οδήγησης της τάξης του 10% , ενώ στα σταθερά σημεία καταγράφηκε σημαντική μείωση της τάξης του 30%. Αντίθετα, η προσθήκη 20% βαμβακέλαιου στο καύσιμο οδήγησε σε συστηματικά χαμηλότερες εκπομπές στερεών σωματιδίων (κατά μέσο όρο 30 %). Οι μετρήσεις με 20% βαμβακέλαιο και πρόσθετο παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη

διασπορά σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες μετρήσεις. Η χρήση 20% βαμβακελαίου και πρόσθετου οδηγεί σε αντίστοιχη μείωση (κατά μέσο όρο 20%).



Εικόνα 7-28 : Εκπομπές αριθμού στερεών σωματιδίων.



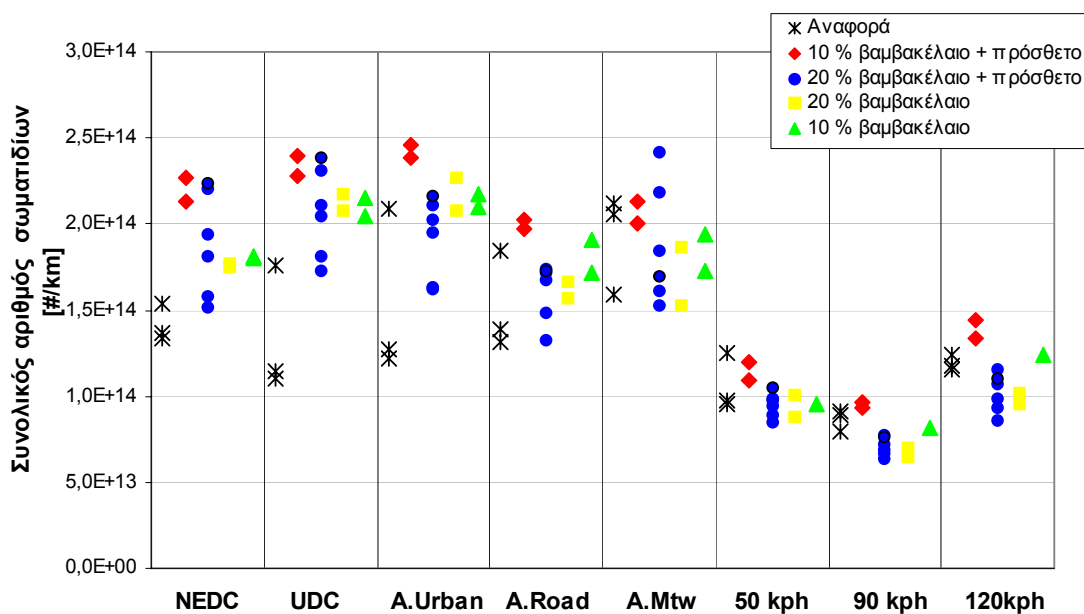
Εικόνα 7-29: Εκπομπές αριθμού στερεών σωματιδίων.

Στην Εικόνα 7-29 συνοψίζεται η επίδραση του συνθετικού λιπαντικού στις εκπομπές αριθμού στερεών σωματιδίων, σε σχέση με το συμβατικό λιπαντικό. Η χρήση συνθετικού λιπαντικού επέφερε μείωση στις εκπομπές στερεών σωματιδίων της τάξης του 8% στους κύκλους Artemis Road και Motorway. Στους υπόλοιπους κύκλους τα επίπεδα των εκπομπών δεν επηρεάζονται. Αν και ο αριθμός των μετρήσεων που διεξήχθησαν με συνθετικό λιπαντικό δεν είναι μεγάλος, η μικρή διασπορά των μετρήσεων ενισχύει τα παραπάνω συμπεράσματα.

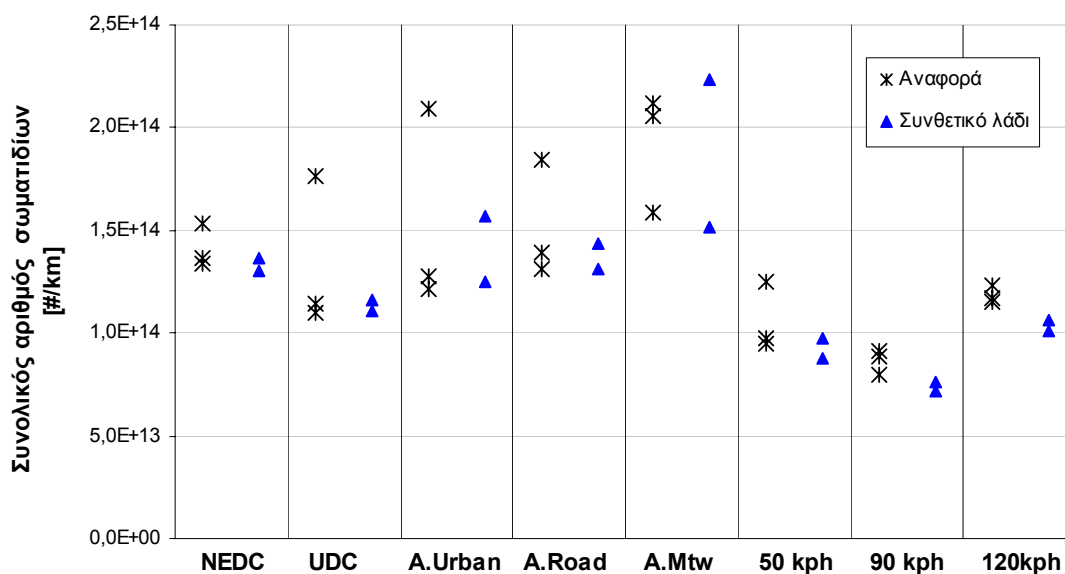
Οι προσδιοριζόμενες εκπομπές συνολικού αριθμού σωματιδίων συνοψίζονται στην Εικόνα 7-30. Ο συνολικός αριθμός εκπεμπόμενων σωματιδίων χρησιμοποιώντας το καύσιμο αναφοράς κυμάνθηκε μεταξύ 7.3×10^{13} και 2.1×10^{14} #/km². Η επίπτωση της χρήσης μιγμάτων βαμβακελαίου στο συνολικό εκπεμπόμενο αριθμό σωματιδίων δεν ήταν σύμφωνη για τις διάφορες συνθήκες οδήγησης που εξετάστηκαν. Συγκεκριμένα, σε αστικές συνθήκες οδήγησης η χρήση όλων των μιγμάτων βαμβακελαίου οδήγησε σε 30% κατά μέσο όρο αύξηση των εκπομπών. Δεδομένου ότι τέτοια αύξηση δεν εμφανίστηκε στις εκπομπές στερεών σωματιδίων, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι αυτή οφείλεται στο σχηματισμό πτητικών σωματιδίων. Αντίθετα, στις υπόλοιπες συνθήκες οδήγησης δεν υπάρχει ουσιαστική διαφοροποίηση στις εκπομπές. Τέλος, από τα υπό εξέταση μίγματα, οι χαμηλότερες εκπομπές συνολικού αριθμού σωματιδίων προκύπτουν από το μίγμα που περιέχει 20% βαμβακέλαιο.

Στην Εικόνα 7-31 συνοψίζεται η επίδραση του συνθετικού λιπαντικού στις εκπομπές συνολικού αριθμού σωματιδίων, σε σχέση με το συμβατικό λιπαντικό. Η χρήση συνθετικού λιπαντικού φαίνεται να επιφέρει μείωση στις συνολικές εκπομπές σωματιδίων της τάξης του 15% σε υπεραστικές συνθήκες οδήγησης (90 km/h και 120km/h). Στους υπόλοιπους κύκλους τα επίπεδα των εκπομπών δεν επηρεάζονται. Στις μετρήσεις αυτές η διασπορά των μετρήσεων είναι μεγάλη, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων αναφορικά με την επίδραση του συνθετικού λιπαντικού στις εκπομπές συνολικού αριθμού σωματιδίων.

² Το γεγονός ότι η ελάχιστη εκπομπή συνολικού αριθμού σωματιδίων ήταν μικρότερη από αυτή για τα στερεά σωματίδια πιθανότατα οφείλεται στην υπόθεση μοναδιαίας πυκνότητας για την αναγωγή του ρεύματος του ELPI σε συγκέντρωση.



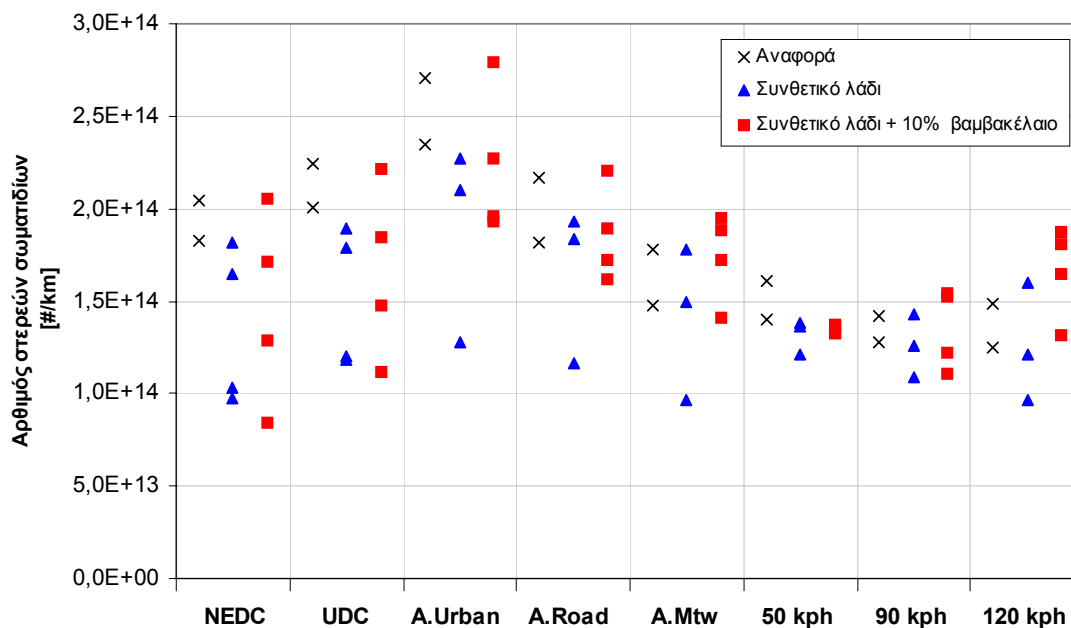
Εικόνα 7-30: Εκπομπές συνολικού αριθμού σωματιδίων



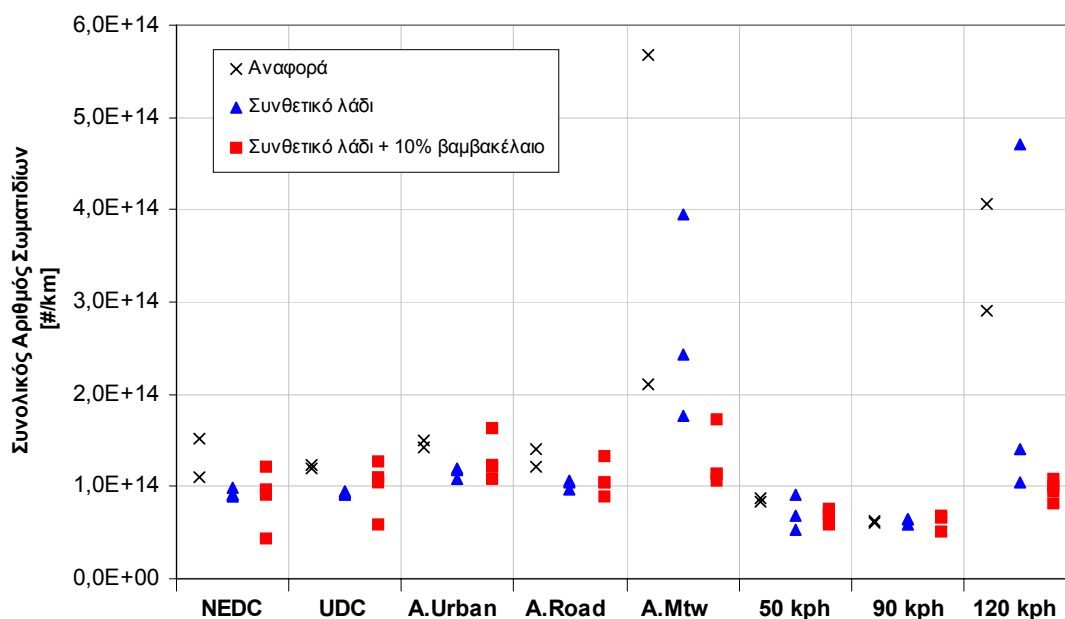
Εικόνα 7-31: Εκπομπές συνολικού αριθμού σωματιδίων

7.4.2 Αποτελέσματα Renault Laguna

Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται τα αποτελέσματα των μη νομοθετημένων σωματιδιακών εκπομπών. Αυτά περιλαμβάνουν τις εκπομπές συνολικού αριθμού στερεών σωματιδίων (Εικόνα 7-32), τις εκπομπές συνολικού αριθμού σωματιδίων (Εικόνα 7-33) και κατανομές συνολικού αριθμού σωματιδίων στα 90 και 120 km/h (Εικόνα 7-34 a,b). Η διάταξη μέτρησης είναι η ίδια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις του VW Golf και απεικονίζεται παραπάνω. Λόγω του περιορισμένου αριθμού μετρήσεων είναι δύσκολο να προκύψει κάποιο ασφαλές συμπέρασμα για την επίπτωση τόσο του λιπαντικού, όσο και του συνδυασμού λιπαντικού με 10 % βαμβακέλαιο. Συγκεκριμένα, στατιστική ανάλυση των μετρήσεων (έλεγχος υπόθεσης, hypothesis test), δείχνει ότι, για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, υπάρχουν ανεπαρκείς ενδείξεις ώστε να καταρριφθεί η υπόθεση μηδέν, ότι δηλαδή οι μέσες τιμές των μετρήσεων για κάθε κύκλο οδήγησης είναι ίσες. Αξίζει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι, σε υπεραστικές συνθήκες οδήγησης (Artemis Motorway, 120 Km/h) και καύσιμο Diesel, σχηματίζονται σωματίδια στην περιοχή πυρήνωσης (< 50 nm), τα οποία οδηγούν σε αύξηση των εκπομπών συνολικού αριθμού σωματιδίων. Η προσθήκη 10% βαμβακελαίου φαίνεται να εμποδίζει το σχηματισμό αυτών των νανοσωματιδίων. Η κατανομή του συνολικού αριθμού σωματιδίων στα 120 km/h (Εικόνα 7-34) ενισχύει το παραπάνω συμπέρασμα. Περαιτέρω πειράματα είναι απαραίτητα για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων.



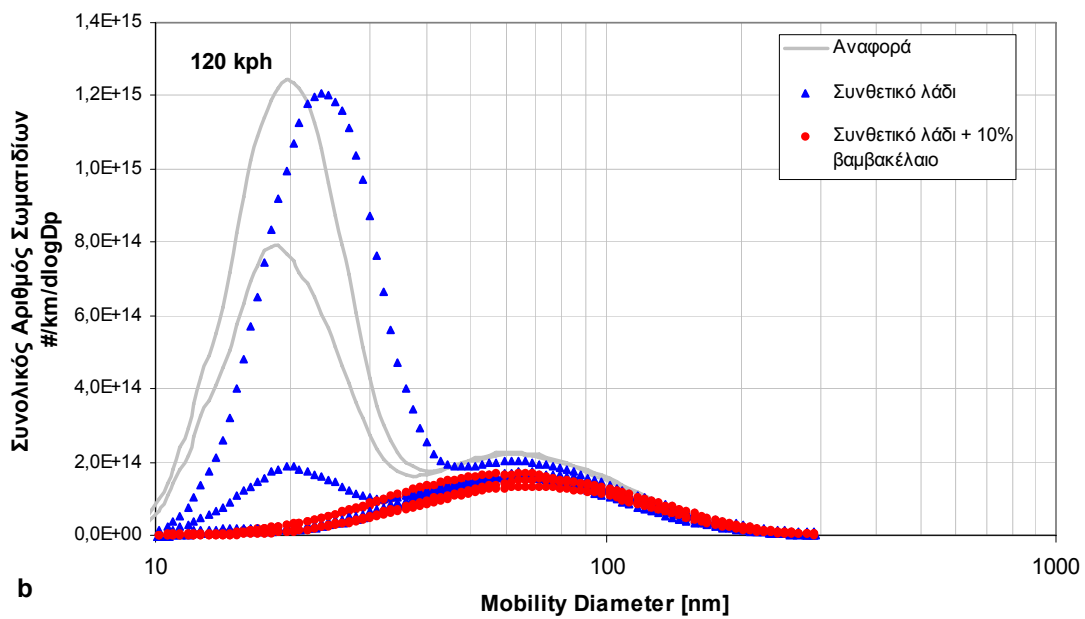
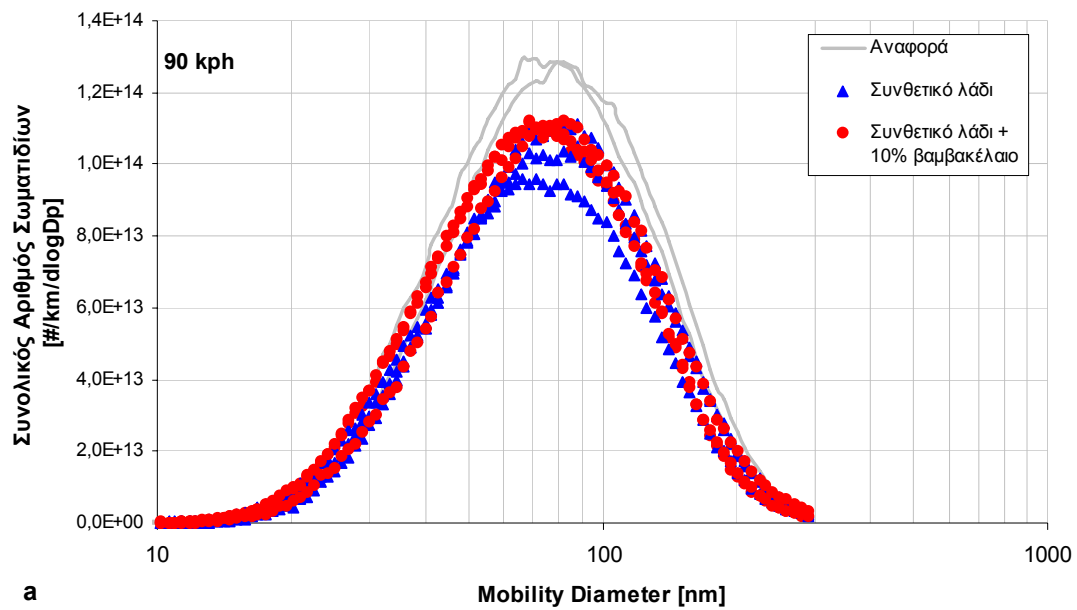
Εικόνα 7-32: Εκπομπές στερεού αριθμού σωματιδίων



Εικόνα 7-33: Εκπομπές συνολικού αριθμού σωματιδίων

Στην Εικόνα 7-34a, παρουσιάζονται οι κατανομές του συνολικού αριθμού σωματιδίων στα 90 km/h. Η χρήση τόσο συνθετικού λαδιού όσο και ο συνδυασμός συνθετικού λαδιού με 10% βαμβακέλαιο επιφέρουν μια μικρή μείωση της τάξης του 15 %, κατα μέσο όρο, στα απόλυτα επίπεδα των εκπομπών σωματιδίων. Πέρα από τη διαφοροποίηση στα απόλυτα επίπεδα, δεν υπήρξε αξιοσημείωτη διαφορά στη μορφή της κατανομής με την γεωμετρική μέση διάμετρο να κυμαίνεται μεταξύ 74 και 82 nm.

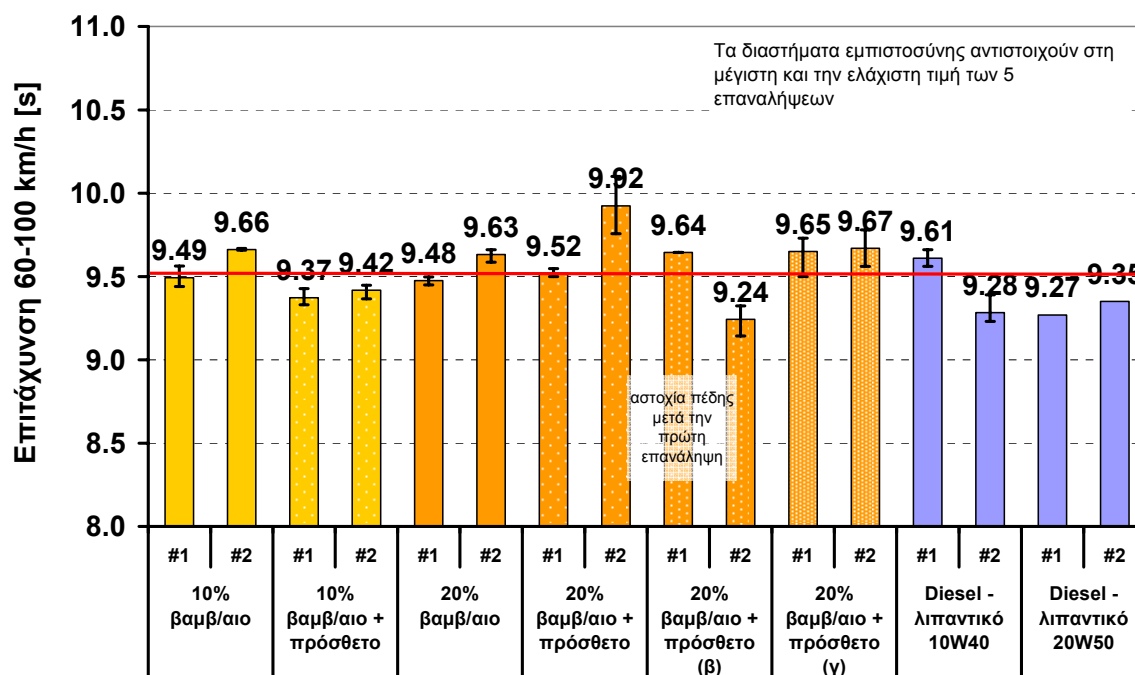
Στην Εικόνα 7-34 b παρουσιάζονται οι κατανομές συνολικού αριθμού σωματιδίων στα 120 km/h. Η χρήση 10% βαμβακελαίου φαίνεται να εμποδίζει τη δημιουργία νανοσωματιδίων, στο συγκεκριμένο κινητήρα προδιαγραφών Euro III. Δεδομένης της ευαισθησίας που παρουσιάζει ο σχηματισμός νανασωματιδίων αναφορικά με τις συνθήκες αραίωσης και δειγματοληψίας, περαιτέρω μετρήσεις πρέπει να διεξαχθούν ώστε να προκύψει ασφαλές συμπέρασμα.



Εικόνα 7-34: Κατανομές συνολικού αριθμού σωματιδίων στα 90 km/h (α) και 120 km/h (β)

7.5 Ελαστικότητα του κινητήρα

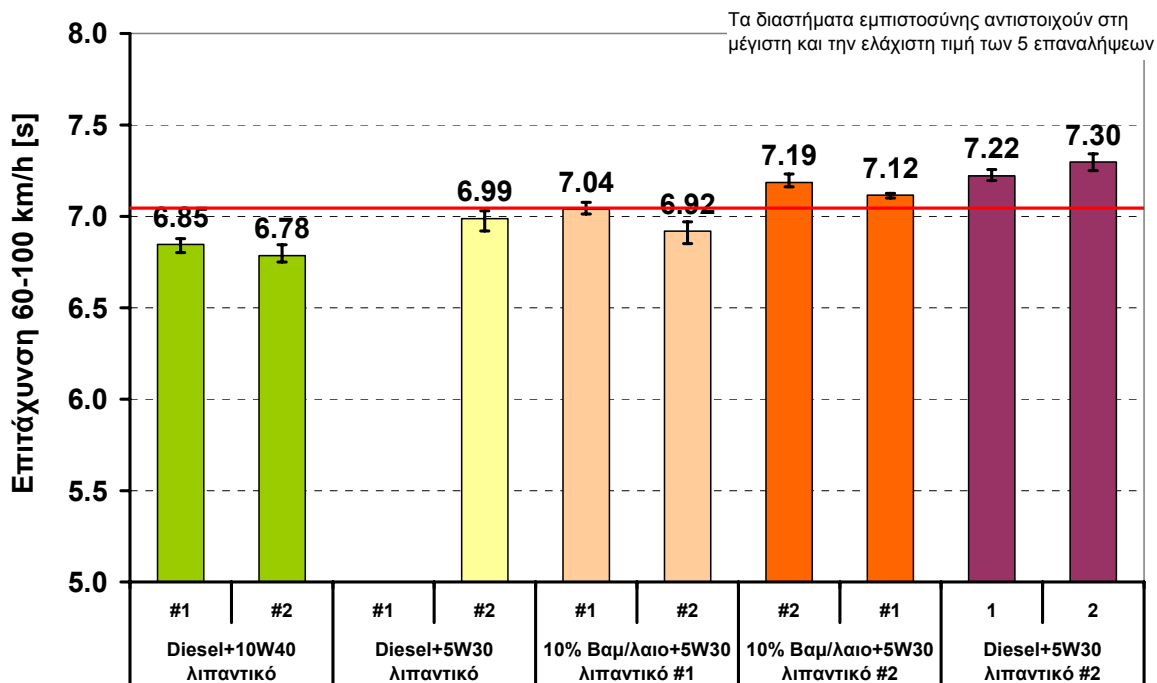
Για την διερεύνηση της επίδρασης των καυσίμων και των λιπαντικών στην ισχύ των κινητήρων των οχημάτων πραγματοποιήθηκαν δοκιμές επιτάχυνσης, ως μέτρο της ελαστικότητας των κινητήρων. Κατά τη δοκιμή επιτάχυνσης το όχημα επιταχύνεται από τα 60km/h στα 100km/h με 4^η ταχύτητα και με τη θέση του επιταχυντή στο μέγιστο (φούλ γκάζ). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 7-35 για το VW Golf και στην Εικόνα 7-36 για το Renault Laguna.



Εικόνα 7-35 Αποτελέσματα δοκιμών επιταχύνσεων για τα διάφορα καύσιμα/λιπαντικά στο VW Golf

Όπως φαίνεται από την Εικόνα 7-35, στην περίπτωση του VW Golf η πλειοψηφία των μετρήσεων βρίσκεται εντός ενός εύρους $\pm 2.5\%$ από το συνολικό μέσο όρο (κόκκινη γραμμή του διαγράμματος στα 9,51sec) και μόνο 2 μετρήσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερες αποκλίσεις παραμένοντας πάντα εντός του $\pm 3\%$. Επίσης δεν παρατηρείται κάποια συστηματική τάση βελτίωσης ή επιδείνωσης με την πάροδο του χρόνου, δεδομένου ότι τα αποτελέσματα στο διάγραμμα παρουσιάζονται με τη χρονολογική σειρά κατά την οποία ελήφθησαν. Η διασπορά των μετρήσεων δεν μεταβάλλεται με την χρήση του φυτικού ελαίου σε σχέση με την αντίστοιχη με χρήση συμβατικού καυσίμου όπως και με την μεταβολή του λιπαντικού του κινητήρα. Συμπεραίνεται λοιπόν πως η παρουσία του βαμβακέλαιου σε περιεκτικότητες 10% και 20% κατ' όγκο, όπως και η παρουσία πρόσθετου στα καύσιμα, δεν επιδρούν στην αποδιδόμενη ισχύ. Η χρήση συνθετικού λιπαντικού επίσης δεν είχε επίπτωση στην αποδιδόμενη από τον κινητήρα ισχύ. Σημειώνεται ότι για τεχνικούς λόγους δεν ήταν δυνατή η πραγματοποίηση της λήψης της αρχικής μέτρησης αναφοράς. Εντούτοις, δεδομένα παλαιότερων μετρήσεων του

συγκεκριμένου οχήματος δείχνουν ότι όλα τα αποτελέσματα βρίσκονται στον συνήθη μέσο όρο για το όχημα αυτό.



Εικόνα 7-36 Αποτελέσματα δοκιμών επιταχύνσεων για τα διάφορα καύσιμα/λιπαντικά στο Renault Laguna

Στην Εικόνα 7-36 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των τεστ ελεύθερης επιτάχυνσης για το Renault Laguna. Όπως και για το προηγούμενο όχημα, οι διακυμάνσεις είναι περιορισμένες και με εξαίρεση τις τιμές 6.78 και 7.3 εντός του εύρους $\pm 3\%$ από τη μέση τιμή των μετρήσεων (κόκκινη γραμμή 7.03sec). Τόσο τα πειραματικά καύσιμα όσο και το συνθετικό λιπαντικό δεν προκαλούν σημαντικές μεταβολές στην ισχύ του κινητήρα. Σε αντίθεση με το VW Golf, παρατηρείται εντούτοις μια τάση μείωσης της ισχύος με την πάροδο του χρόνου. Η αύξηση αυτή των χρόνων επιτάχυνσης παραμένει και μετά την αλλαγή του καυσίμου σε συμβατικό Diesel, γεγονός που υποδηλώνει είτε ότι προκλήθηκε φθορά του κινητήρα είτε ότι πρόκειται για συμπτωματικό γεγονός. Όπως θα φανεί σε επόμενο κεφάλαιο, οπτική και ηλεκτρονική εξέταση του κινητήρα δεν έδειξε κάποια βλάβη ή φθορά στο σύστημα έγχυσης. Επίσης, αναλυτικές μετρήσεις ισχύος που πραγματοποιήθηκαν σε κινητήρα πέδης έδειξαν πως η τελευταία δεν επηρεάζεται ούτε από την παρουσία του βιοκαυσίμου ούτε από τη χρήση του συνθετικού λιπαντικού. Δεδομένων των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του πρώτου οχήματος, συμπεραίνεται πως η παρατηρούμενη τάση αύξησης είναι μάλλον συμπτωματική ή πρέπει να αποδοθεί σε άλλους, εξωγενείς, παράγοντες.

8 Επιθεώρηση κινητήρων - τεχνικές παρατηρήσεις

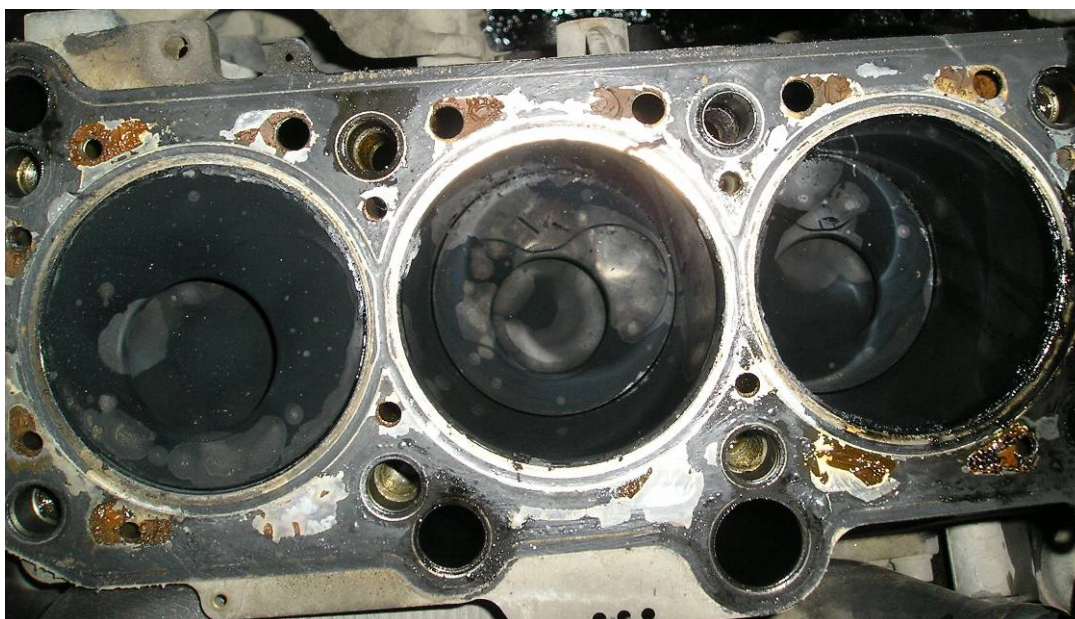
Εκτός από τον έλεγχο των εκπομπών και της αποδιδόμενης ισχύος των οχημάτων, οι κινητήρες τους παρακολουθήθηκαν συστηματικά στα πλαίσια του Προγράμματος για πιθανές μηχανικές βλάβες και άλλες δυσλειτουργίες. Η λεπτομερής καταγραφή της κατάστασης των κινητήρων και των συστημάτων έγχυσης καυσίμου πριν και μετά τη χρήση των μιγμάτων βαμβακελαίου-ντίζελ ήταν απαραίτητη για την πληρέστερη κατανόηση της επίδρασης των πειραματικών καυσίμων στους κινητήρες. Τα αποτελέσματα και οι παρατηρήσεις που προέκυψαν από τις τεχνικές επιθεωρήσεις και την καθημερινή παρακολούθηση των οχημάτων παρουσιάζονται στη συνέχεια.

8.1 Επιθεώρηση κινητήρων

Παράλληλα με την καθημερινή παρακολούθηση των πειραματικών οχημάτων για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των καυσίμων στους κινητήρες πραγματοποιήθηκαν και οι ακόλουθες ενέργειες:

- Οπτική επιθεώρηση του κινητήρα και του συστήματος έγχυσης του VW Golf από τεχνίτη με εμπειρία στους κινητήρες Diesel της VW
- Οπτική και ηλεκτρονική επιθεώρηση του συστήματος έγχυσης του Renault Laguna από εξουσιοδοτημένο συνεργείο

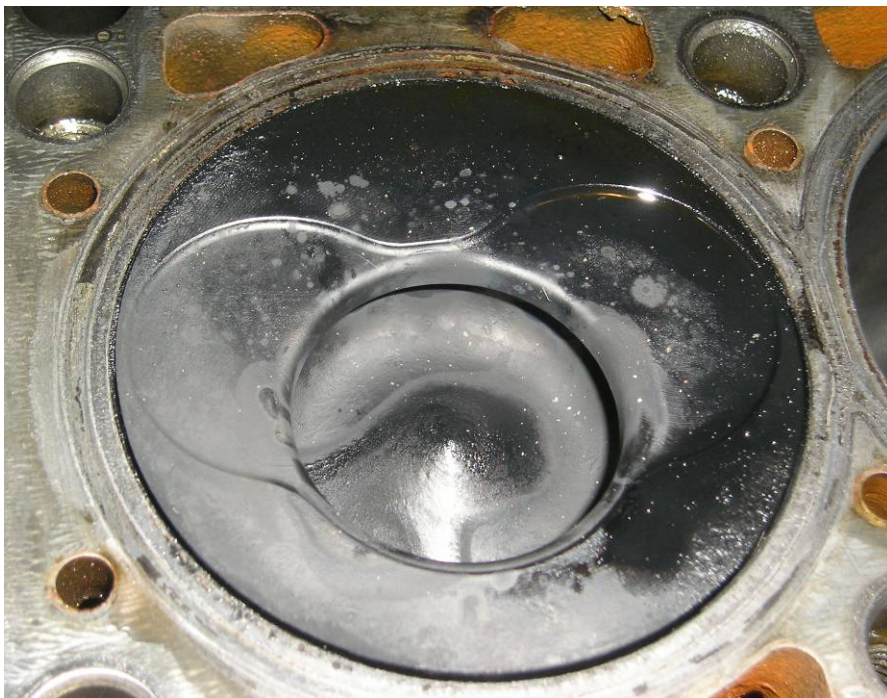
Σχετικά με την επιθεώρηση του κινητήρα και του συστήματος έγχυσης καυσίμου του VW Golf, στις παρακάτω φωτογραφίες παρουσιάζονται τα κυριότερα μηχανικά μέρη πριν και μετά την εφαρμογή των πειραματικών καυσίμων.



Εικόνα 8-1 Αρχική κατάσταση εσωτερικού κυλίνδρων και κεφαλών εμβόλων του VW Golf



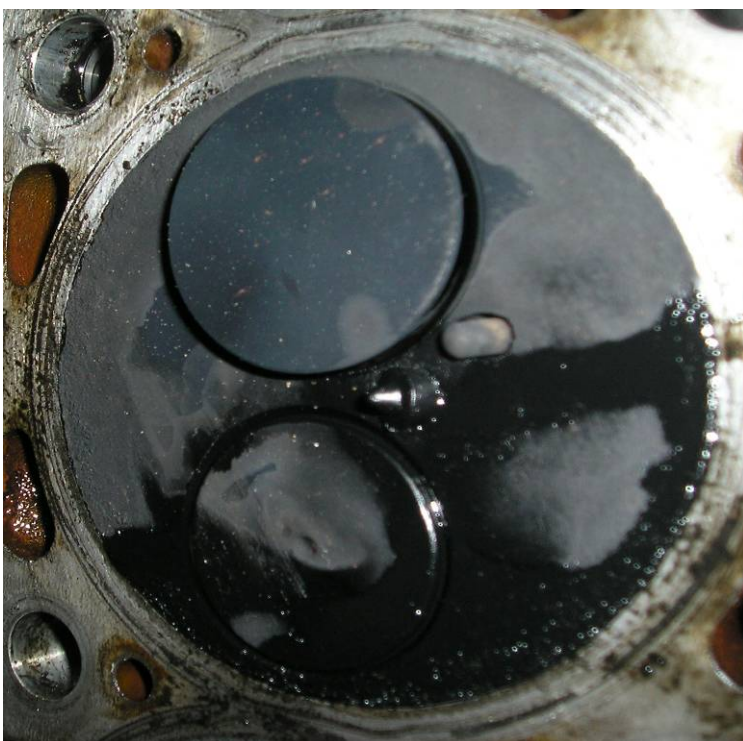
Εικόνα 8-2 Κατάσταση εσωτερικού κυλίνδρου του VW Golf μετά τη χρήση των μιγμάτων βαμβακελαίου - diesel



Εικόνα 8-3 Κατάσταση κεφαλής εμβόλου του VW Golf μετά τη χρήση των μιγμάτων βαμβακελαίου - diesel



Εικόνα 8-4 Αρχική κατάσταση βαλβίδων και κεφαλής κινητήρα του VW Golf



Εικόνα 8-5 Βαλβίδες και κεφαλή του VW Golf μετά την εφαρμογή των μιγμάτων βαμβακελαίου - diesel



Εικόνα 8-6 Αρχική κατάσταση βαλβίδων και κεφαλής κινητήρα του VW Golf (διακρίνεται ο εγχυτήρας)



Εικόνα 8-7 Κατάσταση βαλβίδων του VW Golf μετά τη χρήση των μιγμάτων βαμβακελαιου-diesel



Εικόνα 8-8 Αρχική κατάσταση εγχυτήρων καυσίμου του VW Golf



Εικόνα 8-9 Κατάσταση εγχυτήρων καυσίμου του VW Golf μετά τη χρήση των μιγμάτων βαμβακελαίου - diesel



Εικόνα 8-10 Εγχυτήρας καυσίμου VW Golf μετά την εφαρμογή των μιγμάτων βαμβακελαιίου-diesel

Όπως γίνεται φανερό, δεν παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις στην κατάσταση του κινητήρα πριν και μετά την εφαρμογή του βαμβακελαιίου. Οι φωτογραφίες δείχνουν πως η χρήση των πειραματικών καυσίμων δεν οδήγησε στη δημιουργία επικαθίσεων στο εσωτερικό των κυλίνδρων και στις βαλβίδες. Ιδιαίτερα, στους εγχυτήρες καυσίμου, που είναι ίσως το πιο ευαίσθητο εξάρτημα στο συγκεκριμένο κινητήρα, δεν παρατηρήθηκε καμία αλλοίωση, όπως cocking, εμφάνιση πολυμερών, άλλες επικαθίσεις και βρωμιά (πουρί). Ο τεχνικός ο οποίος "έλυσε" τον κινητήρα και στις δύο περιπτώσεις δεν παρατήρησε οποιαδήποτε αλλαγή στην κατάσταση του κινητήρα.

Στην περίπτωση του Renault Laguna, όπως προαναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκε οπτικός έλεγχος των εγχυτήρων και ηλεκτρονική διάγνωση της κατάστασης του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου πριν και μετά τη χρήση των πειραματικών καυσίμων από εξουσιοδοτημένο συνεργείο. Το όχημα αυτό παρουσιάζει περισσότερες ιδιαιτερότητες σε σχέση με το προηγούμενο καθώς το σύστημα έγχυσης καυσίμου υψηλής πίεσης (Common Rail) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στην ποιότητα του καυσίμου. Όπως φαίνεται στις επόμενες εικόνες (Εικόνα 8-11, Εικόνα 8-12) η χρήση των πειραματικών καυσίμων και σε αυτή την περίπτωση δεν είχε επιπτώσεις στους εγχυτήρες, οι οποίοι παρουσιάζουν πανομοιότυπη εικόνα στην αρχή και το τέλος του Προγράμματος. Επίσης πρέπει να τονιστεί και σε αυτή την περίπτωση η απουσία επικαθίσεων και άλλων ξένων σχηματισμών στον εγχυτήρα.



Εικόνα 8-11 Εγχυτήρας καυσίμου Renault Laguna αρχική κατάσταση



Εικόνα 8-12 Εγχυτήρας καυσίμου Renault Laguna μετά την εφαρμογή των μιγμάτων βαμβακελαίου-diesel

Τα αποτελέσματα του ηλεκτρονικού ελέγχου, όπως προέκυψαν από το ειδικό διαγνωστικό, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8-1). Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την τυποποιημένη από τον κατασκευαστή (Bosch) διαδικασία εντοπισμού σφαλμάτων λειτουργίας Common Rail συστημάτων.

Πίνακας 8-1 Αποτελέσματα ηλεκτρονικού ελέγχου συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου

Έλεγχος συστήματος έγχυσης καυσίμου Renault Laguna			
Μέτρηση	Αναφορά	Τελική	Μονάδες
RPM	811	875	1/min
Πίεση Rail	251	260	MPa
Παροχή Αέρα	44	56	kg/h
Θερμοκρασία Νερού	87	87	°C
Θερμοκρασία Αέρα	32	26	°C
Θερμοκρασία Καυσίμου	60	60	°C
Πίεση στο σωλήνα αναρρόφησης	1007	1006	hPa
Ποσότητα ψεκασμού	8	8.4	mm ³ /κυβ.
Διάρκεια ψεκασμού/προψεκασμού	0.43	0.46	msec
Εκκίνηση Κεντρικού ψεκασμού	-0.56	-0.54	°KW
Διαρκής ψεκασμός, κεντρικός ψεκασμός	0.58	0.64	msec
Ποσοστιαίο σήμα EGR	5	5	%
Ποσοστιαίο σήμα υπερπίεσης	75	75	%
Ποσοστιαίο σήμα πίεσης	19.5	21.1	%
Ποσοστιαίο σήμα για μονάδα μέτρησης	19.5	20.8	%
Τάση μπαταρίας	14	14.1	Volt

Τα αποτελέσματα του ελέγχου δεν έδειξαν κάποια δυσλειτουργία στο σύστημα έγχυσης καυσίμου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων κρίθηκαν από τον τεχνικό πως βρίσκονται εντός των προδιαγεγραμμένων ορίων και η αντλία υψηλής πίεσης δεν εμφάνισε προβλήματα στη λειτουργία της. Το σύστημα ελέγχου του οχήματος δεν εμφάνισε κωδικούς σφαλμάτων σχετικούς με το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου.

8.2 Τεχνικές παρατηρήσεις

Η γενική συμπεριφορά των οχημάτων κατά τη διάρκεια του Προγράμματος θεωρείται ικανοποιητική και εντός των προδιαγεγραμμένων ορίων. Οι μετρήσεις έδειξαν πως τα πειραματικά καύσιμα δεν έχουν επιπτώσεις στις εκπομπές και την αποδιδόμενη ισχύ του κινητήρα. Εντούτοις, η εμπειρία από την καθημερινή χρήση των πειραματικών καυσίμων έδειξε πως υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί να εμφανιστούν προβλήματα στη λειτουργία των οχημάτων. Τα προβλήματα αυτά σχετίζονται με δυσκολία εκκίνησης του κινητήρα σε

ψυχρές συνθήκες και, σπανιότερα, με ατροφία του κινητήρα. Επίσης παρατηρήθηκε αύξηση του θορύβου του κινητήρα σε σημεία χαμηλού φορτίου-χαμηλών στροφών, η οποία όμως δεν συνδέεται με λειτουργικά προβλήματα αλλά με τον ηλεκτρονικό έλεγχο του κινητήρα.

8.2.1 Ψυχρή εκκίνηση

Παρόλο που οι ιδιότητες ψυχρής ροής των πειραματικών καυσίμων βρέθηκαν να είναι παρεμφερείς με αυτές του Ντίζελ κίνησης και εντός των προδιαγεγραμμένων για την Ελλάδα τιμών, υπό συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών (θερμοκρασία περιβάλλοντος κοντά στους 0°C) παρουσιάστηκαν δυσκολίες κατά την ψυχρή εκκίνηση στους κινητήρες των οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, η εκκίνηση των κινητήρων πραγματοποιούνταν μετά από αυξημένο χρόνο λειτουργίας της μίζας (μιζάρισμα) σε σχέση με το κανονικό. Η πτώση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος επιδεινώνει τα προβλήματα αυτά, ενώ η ψυχρή εκκίνηση ήταν δυσχερέστερη στο VW Golf κατά τη χρήση μίγματος περιεκτικότητας 20% σε βαμβακέλαιο σε σχέση με τα μίγματα περιεκτικότητας 10%. Οι δυσκολίες αυτές, μετά από εκτεταμένη χρήση σε περιόδους χαμηλών θερμοκρασιών, είχαν ως αποτέλεσμα και στα δύο οχήματα ατροφία του κινητήρα και αδυναμία ψυχρής εκκίνησης.

Τα φαινόμενα δυσκολίας ψυχρής εκκίνησης και ατροφίας ξεπεράστηκαν άμεσα και στις δυο περιπτώσεις με την αντικατάσταση του φίλτρου καυσίμου. Η αλλαγή αυτή στο φίλτρο καυσίμου πραγματοποιήθηκε και στα δύο οχήματα μετά από περίπου 10.000χλμ χρήσης των πειραματικών καυσίμων. Η απόφραξη του φίλτρου καυσίμου μπορεί συνεπώς να συνδέεται με παρατεταμένη χρήση του βαμβακελαίου η οποία επιταχύνεται από την πτώση της θερμοκρασίας. Τα υπάρχοντα δεδομένα εντούτοις δεν επιτρέπουν την διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων γύρω από το πρόβλημα αυτό το οποίο απαιτεί εξειδικευμένη μελέτη.

Σχετικά με την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων πρέπει να σημειωθεί ότι η παρουσία πρόσθετου στο καύσιμο είχε θετική επίδραση στην ψυχρή εκκίνηση υπό χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Έτσι στο VW Golf τα μίγματα με πρόσθετο εμφάνισαν καλύτερη συμπεριφορά ως προς την ψυχρή εκκίνηση σε χαμηλές θερμοκρασίες σε σχέση με τα μίγματα βαμβακελαίου-ντίζελ με πρόσθετο. Δεδομένου ότι οι αναλύσεις έδειξαν μικρή επίδραση του πρόσθετου στις ιδιότητες ψυχρής ροής των καυσίμων, εκτιμάται πως η βελτιωτική συμπεριφορά του πρόσθετου οφείλεται στη πτώση του flash point που αυτό επιφέρει.

Τέλος, πολύ μεγάλη σημασία στην εμφάνιση των παραπάνω φαινομένων έχει και η ποιότητα του χρησιμοποιούμενου ελαίου. Είναι χαρακτηριστικό πως στο Renault Laguna χρησιμοποιήθηκαν συστηματικά βαμβακέλαια τα οποία είχαν υποστεί ειδική επεξεργασία απομάκρυνσης των βαρέων μορίων του ελαίου. Το λάδι αυτό, σε συνδυασμό με τη συνεχή χρήση πρόσθετου στα μίγματα, είχε ως αποτέλεσμα τα φαινόμενα δυσκολίας ψυχρής εκκίνησης να είναι σημαντικά περιορισμένα σε σχέση με αυτά που παρατηρήθηκαν στο VW Golf. Απόφραξη του φίλτρου καυσίμου συνέβη όταν το όχημα τροφοδοτήθηκε με μίγματα τα οποία περιείχαν μη επεξεργασμένο βαμβακέλαιο. Εκτιμάται πως η χρήση

επεξεργασμένου ελαίου θα καθυστερούσε την απόφραξη του φίλτρου ή ενδεχομένως και να την απέτρεπε. Για την πλήρη κατανόηση του μηχανισμού απόφραξης του φίλτρου καυσίμου και του αντίκτυπου που έχει σε αυτήν η ποιότητα του ελαίου χρειάζονται στοχευμένες μετρήσεις υπό ελεγχόμενες συνθήκες.

Συμπερασματικά, η εμφάνιση τέτοιων συμπτωμάτων προβληματίζει αλλά δεν αναιρεί την δυνατότητα χρήσης μιγμάτων βαμβακελαίου-ντίζελ ως καυσίμων οχημάτων. Αρχικά τα προβλήματα αυτά εμφανίστηκαν σε συγκεκριμένες εποχές του έτους, κατά τις οποίες η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν χαμηλή. Υπάρχουν δυνατότητες αντιμετώπισης των φαινομένων, όπως η χρήση ειδικών πρόσθετων που βελτιώνουν τις ιδιότητες ψυχρής ροής ή η αφαίρεση των βαρύτερων μορίων των ελαίων που προκαλούν τη φραγή του φίλτρου. Η λύση της εφαρμογής μετασκευασμένων συστημάτων θέρμανσης του καυσίμου έχει δοκιμαστεί με επιτυχία στο παρελθόν αλλά ξεφεύγει από τους στόχους της παρούσας έρευνας. Τέλος, ο οπτικός έλεγχος που πραγματοποιήθηκε στους εγχυτήρες καυσίμου και των δυο οχημάτων, καθώς και ο ηλεκτρονικός έλεγχος του συστήματος υψηλής πίεσης του Common Rail οχήματος, έδειξαν πως το σύστημα τροφοδοσίας των οχημάτων δεν παρουσίασε αστοχίες. Ειδικά για τους εγχυτήρες πρέπει να αναφερθεί πως δεν εμφανίστηκαν επικαθίσεις οι οποίες παρατηρούνται μετά από χρόνιες χρήσεις βιοκαυσίμων.

8.2.2 Αύξηση θορύβου

Κατά τη χρήση των μιγμάτων βαμβακελαίου – ντίζελ στο Renault Laguna παρατηρήθηκε αύξηση του θορύβου του κινητήρα σε σημεία λειτουργίας χαμηλού φορτίου-χαμηλών στροφών. Η εξέταση του κινητήρα καθώς και οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν έδειξαν πως το φαινόμενο αυτό δεν συνδέεται με λειτουργικά προβλήματα αλλά με τον ηλεκτρονικό έλεγχο του κινητήρα. Όπως φάνηκε από τις μετέπειτα μετρήσεις στον κινητήρα πέδης, στα σημεία αυτά υπάρχει διαφοροποίηση στη γραμμή καύσης του καυσίμου, η οποία μπορεί να προκαλέσει αντίστοιχη αύξηση του θορύβου. Η διαφοροποίηση αυτή προκαλείται από τις μεταβολές των ιδιοτήτων του καυσίμου σε σχέση με το συμβατικό ντίζελ και εμφανίζεται στα σημεία αυτά όπου ο έλεγχος του κινητήρα είναι πιο αυστηρός λόγω των προδιαγραφών εκπομπών και θορύβου που πρέπει να πληροί το όχημα. Αντίστοιχα φαινόμενα έχουν παρατηρηθεί στο συγκεκριμένο όχημα κατά τη χρήση μιγμάτων βιοντίζελ-ντίζελ σε περιεκτικότητες 10-13% v/v και καταδεικνύουν την ανάγκη διαφοροποίησης του ηλεκτρονικού ελέγχου των σύγχρονων κινητήρων ώστε να μπορούν να διαχειριστούν καύσιμα με μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά. Πέραν της πιθανής όχλησης του οδηγού, θεωρείται ότι η αύξηση αυτή του θορύβου δεν έχει επιπτώσεις στη λειτουργία του οχήματος.

9 Μετρήσεις σε κινητήρα πέδης

Με στόχο την ανάλυση της επίδρασης του μίγματος βαμβακελαίου-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 τα δύο πρώτα Βήματα 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 του 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 στο Βήμα αυτό διεξήχθησαν σε κινητήρα common rail. Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε παρέχει τη δυνατότητα ενός πιο ακριβούς προσδιορισμού της επίδρασης του μίγματος βαμβακελαίου-ντίζελ στις εκπομπές αερίων 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.

9.1 Πειραματική Διάταξη

Οι μετρήσεις διεξήχθησαν σε έναν κινητήρα PSA DW12A TED 4, όγκου εμβολισμού 2.2L, με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον Πίνακα (Πίνακας 9-1). 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 9-1).

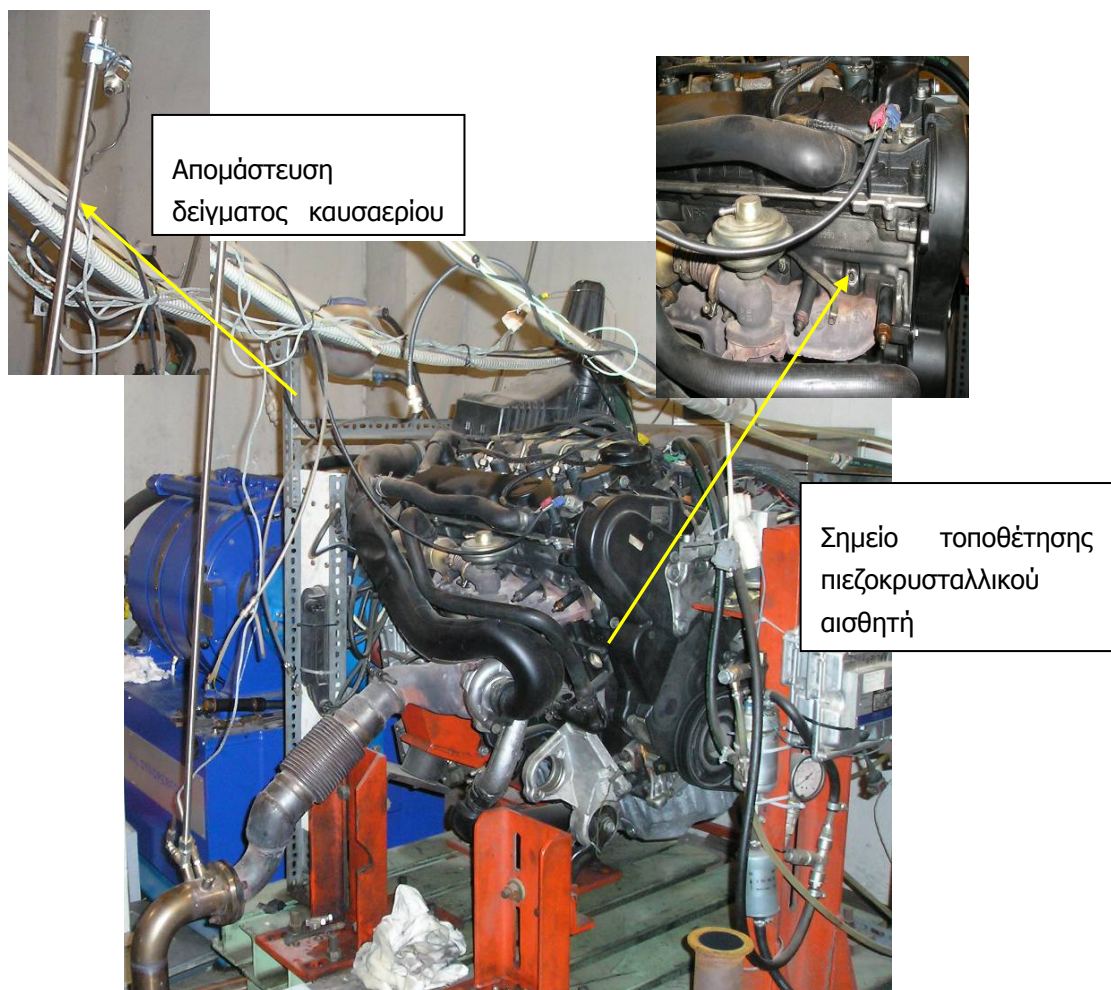
Οι μετρήσεις περιελάμβαναν τις στροφές του κινητήρα, τη ροπή στρέψης, την παροχή καυσίμου, τη ροή του αέρα και τους νομοθετημένους ρύπους για διάφορα σημεία λειτουργίας του κινητήρα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 9-2

Για τη μέτρηση των συγκεντρώσεων των μετρούμενων αερίων 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

- NOx: 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 αισθητήρα Kistler τύπου 6056A

Η πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου καταγράφηκε σε κάθε σημείο λειτουργίας με πιεζοκρυσταλλικό αισθητήρα. Η θέση του αισθητήρα στον κινητήρα παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα του σήματος πίεσης. Γενικά ο αισθητήρας 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 αισθητήρας πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο έμβολο καθώς ο αυλός επικοινωνίας του αισθητήρα με τον κύλινδρο μπορεί να αποτελέσει πηγή έντονων θορύβων.



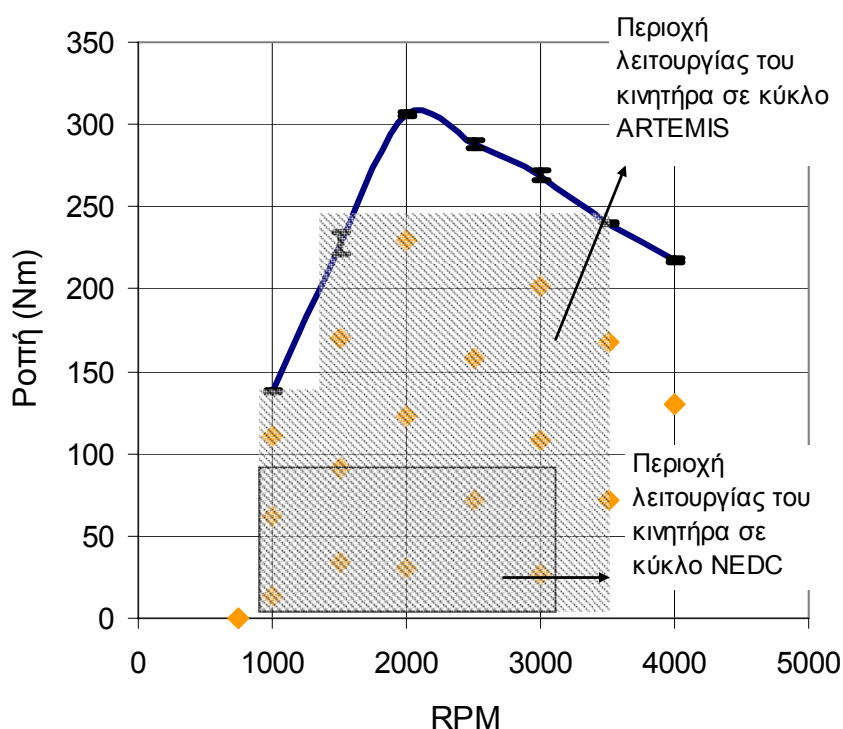
Εικόνα 9-1: Πειραματική διάταξη

Πίνακας 9-1 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

9.2 Πρωτόκολλο Μέτρησης

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 9-2 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 9-2 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 9-2 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 9-2.

9.3 Αποτελέσματα

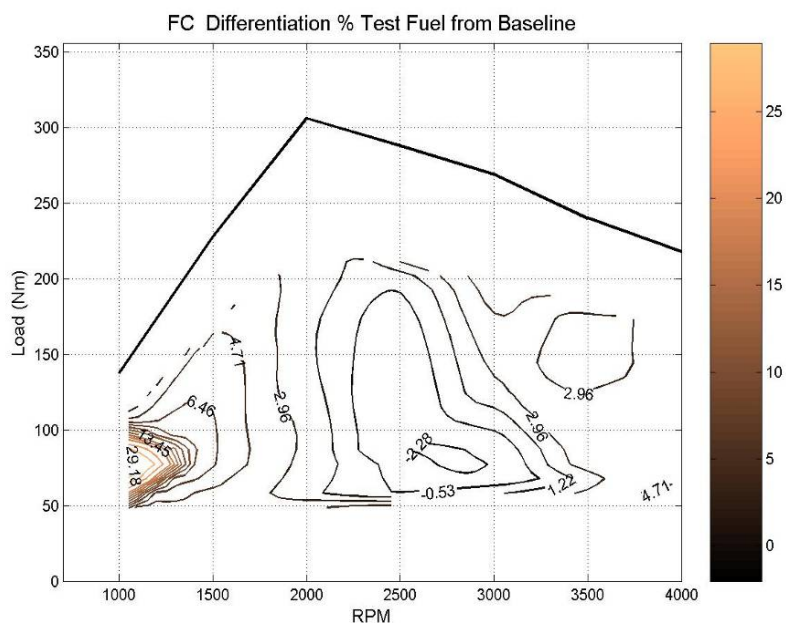
9.3.1 Μετρήσεις ειδικού καυσίμου

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκπομπών νομοθετημένων ρύπων στον κινητήρα πέδης υπό συμβατικό καύσιμο και μίγμα βαμβακελαίου 10%-ντίζελ 90% παρουσιάζονται στη συνέχεια (Πίνακας 9-3). Τα διάφορα σημεία λειτουργίας παρουσιάζονται με τη σειρά με την οποία έγιναν οι μετρήσεις.

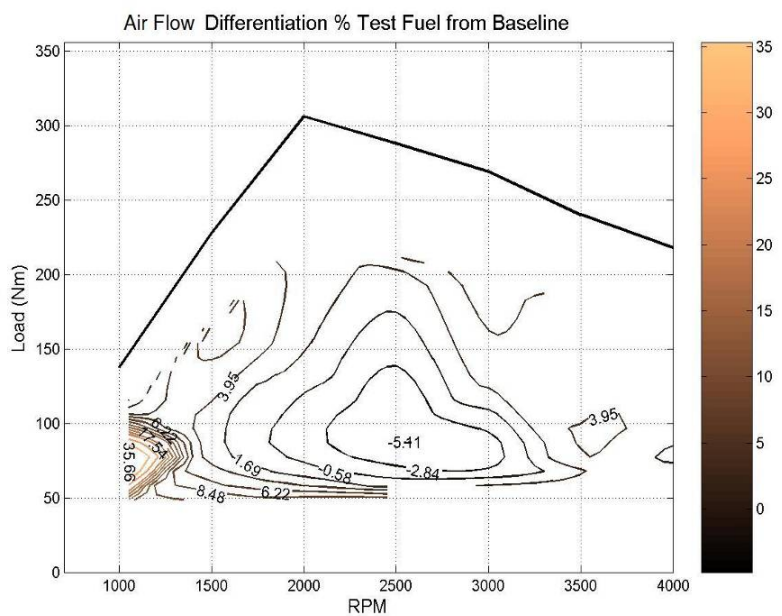
Πίνακας 9-3 Αποτελέσματα μετρήσεων νομοθετημένων ρύπων στα διάφορα σημεία λειτουργίας του κινητήρα υπό συμβατικό καύσιμο και μίγμα βαμβακελαίου-ντίζελ

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

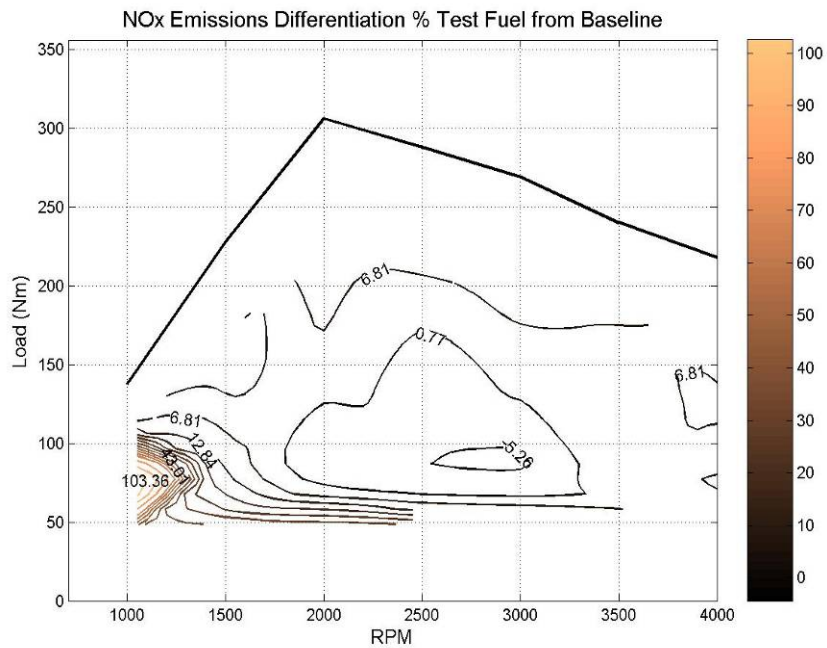
Στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 9-3 έως Εικόνα 9-4) παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές των μεγεθών που καταγράφηκαν κατά τις μετρήσεις υπό μορφή χαρτών λειτουργίας.



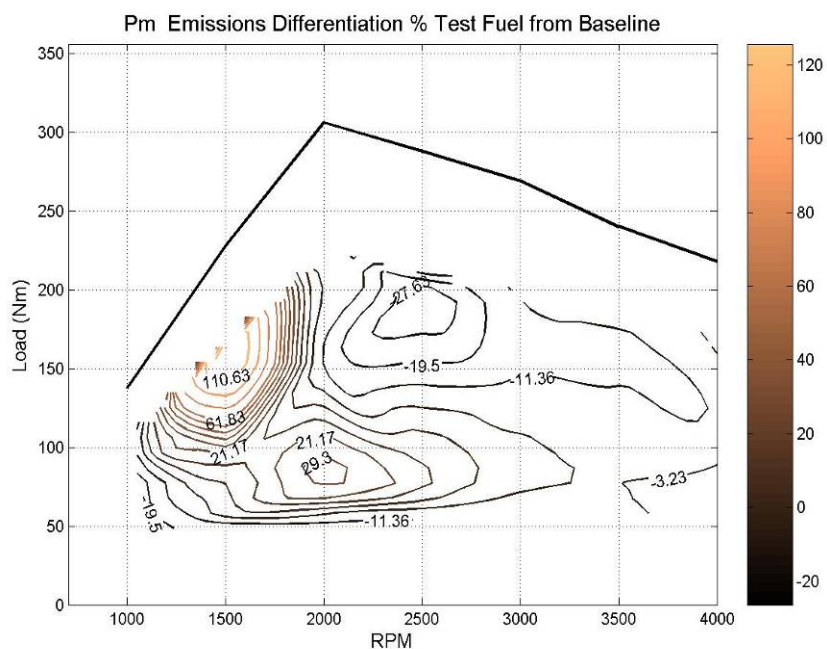
Εικόνα 9-3 Ποσοστιαίες διαφορές του υπό δοκιμή καυσίμου σε σχέση με το καύσιμο αναφοράς για κατανάλωση καυσίμου σε διαφορετικό φορτίο και στροφές κινητήρα



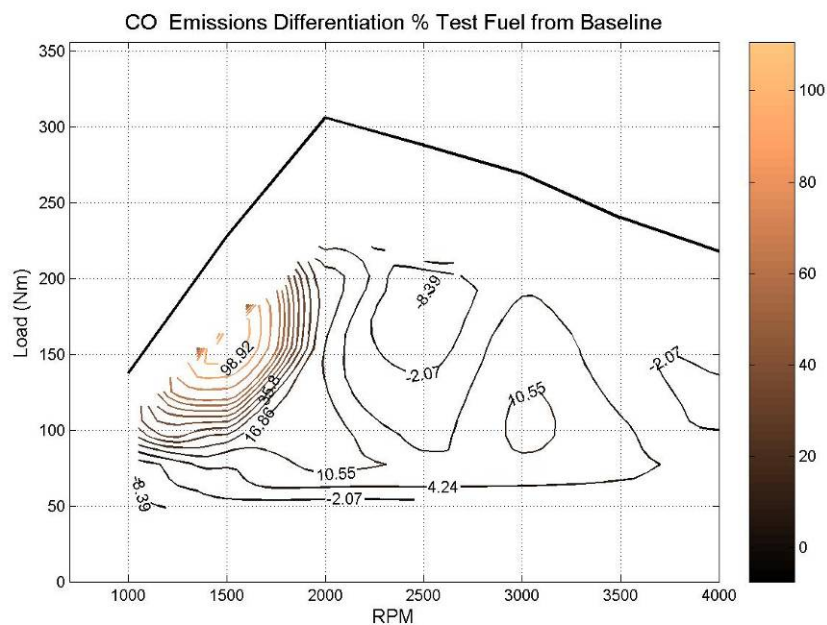
Εικόνα 9-4 Ποσοστιαίες διαφορές του υπό δοκιμή καυσίμου σε σχέση με το καύσιμο αναφοράς για παροχή αέρα σε διαφορετικό φορτίο και στροφές κινητήρα



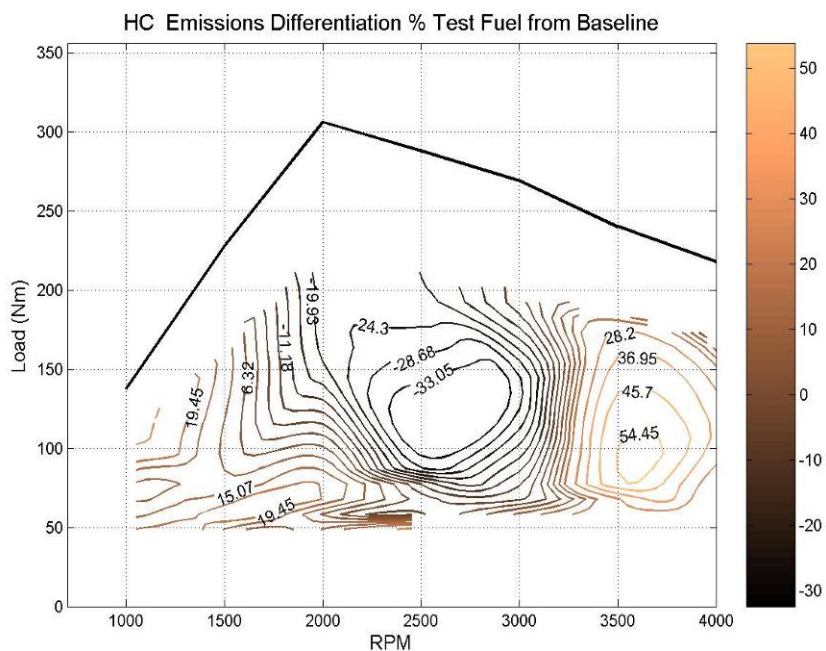
Εικόνα 9-5 Ποσοστιαίες διαφορές του υπό δοκιμή καυσίμου σε σχέση με το καύσιμο αναφοράς για εκπομπές NOx σε διαφορετικό φορτίο και στροφές κινητήρα



Εικόνα 9-6 Ποσοστιαίες διαφορές του υπό δοκιμή καυσίμου σε σχέση με το καύσιμο αναφοράς για εκπομπές PM σε διαφορετικό φορτίο και στροφές κινητήρα



Εικόνα 9-7 Ποσοστιαίες διαφορές του υπό δοκιμή καυσίμου σε σχέση με το καύσιμο αναφοράς για εκπομπές CO σε διαφορετικό φορτίο και στροφές κινητήρα



Εικόνα 9-8 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 9-3 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 9-4). 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.

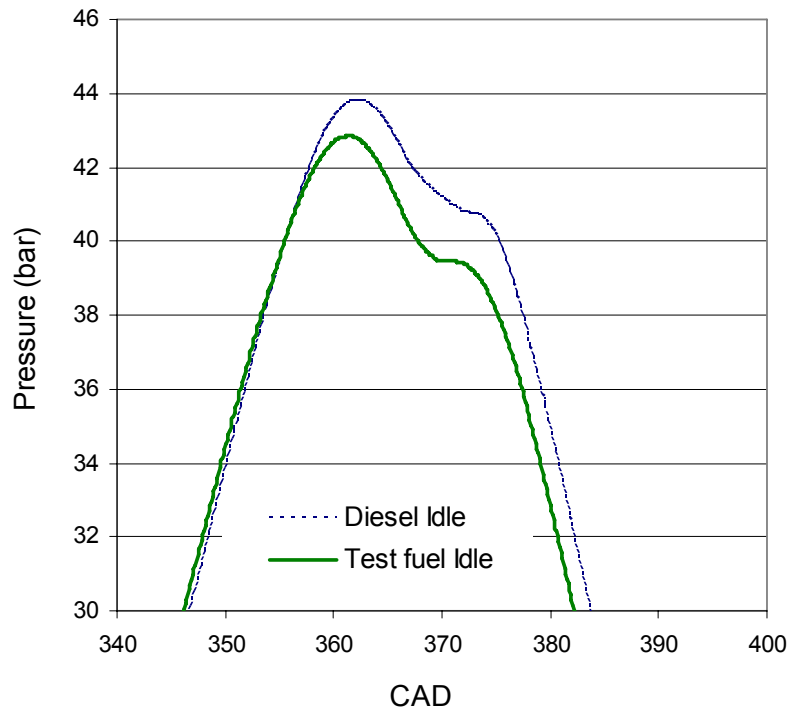
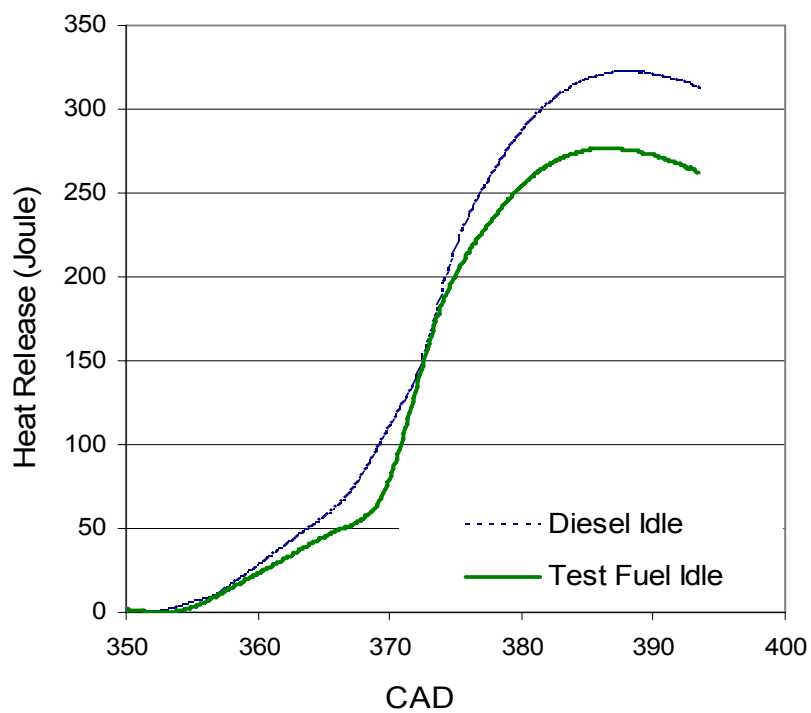
Με τη χρήση των πειραματικών καυσίμων στον κινητήρα, δεν παρουσιάστηκαν συστηματικές τάσεις αύξησης ή μείωσης των εκπομπών αερίων ρύπων. Οι μεταβολές των εκπομπών NO_x (Εικόνα 9-5) ακολουθούν, όπως ήταν αναμενόμενο, τις μεταβολές της παροχής αέρα με μικρές τις περισσότερες φορές διακυμάνσεις. Οι εκπομπές σωματιδιακής μάζας παρουσιάζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις με αυξήσεις και μειώσεις της τάξης του $\pm 30\%$ σε διαφορετικά σημεία λειτουργίας του κινητήρα (Εικόνα 9-6). 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 9-7) 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 9-4).

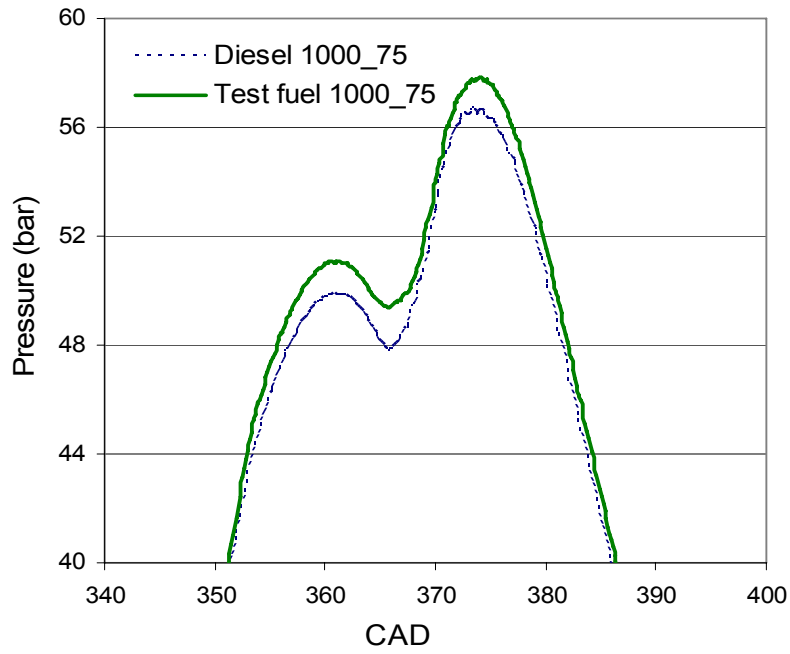
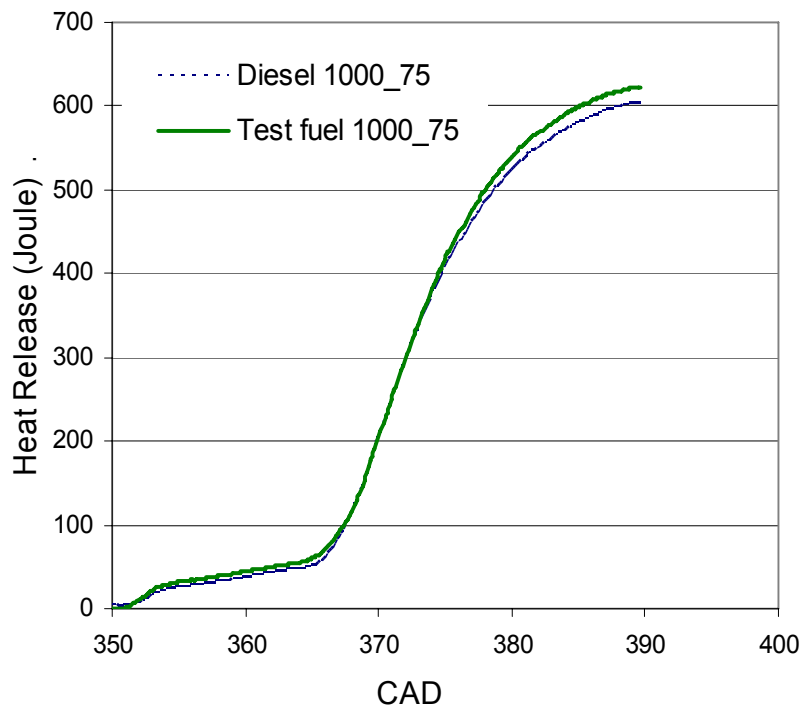
Πίνακας 9-4 Ποσοστιαίες μεταβολές που παρατηρήθηκαν από τη χρήση του υπό δοκιμή καυσίμου σε σχέση με το καύσιμο αναφοράς

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

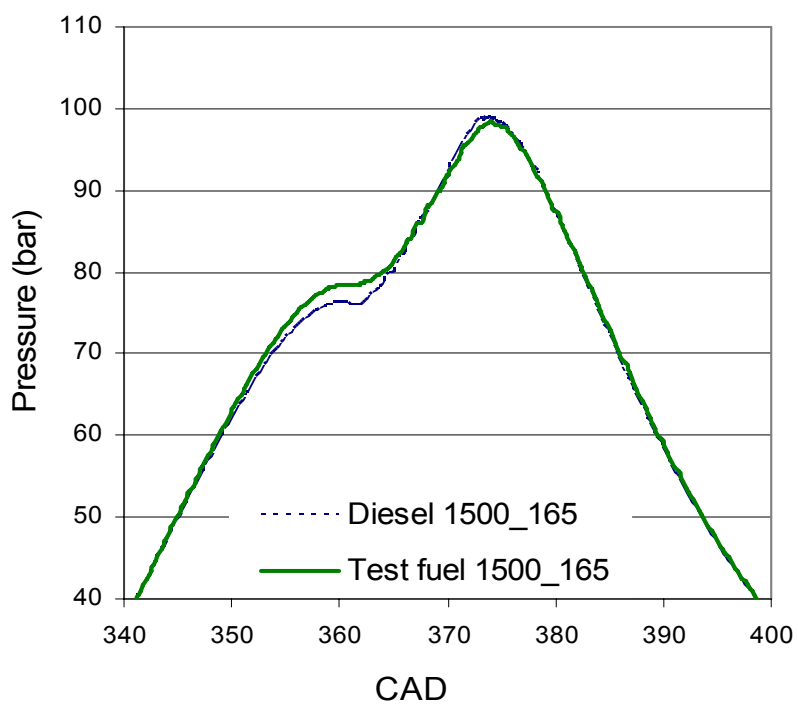
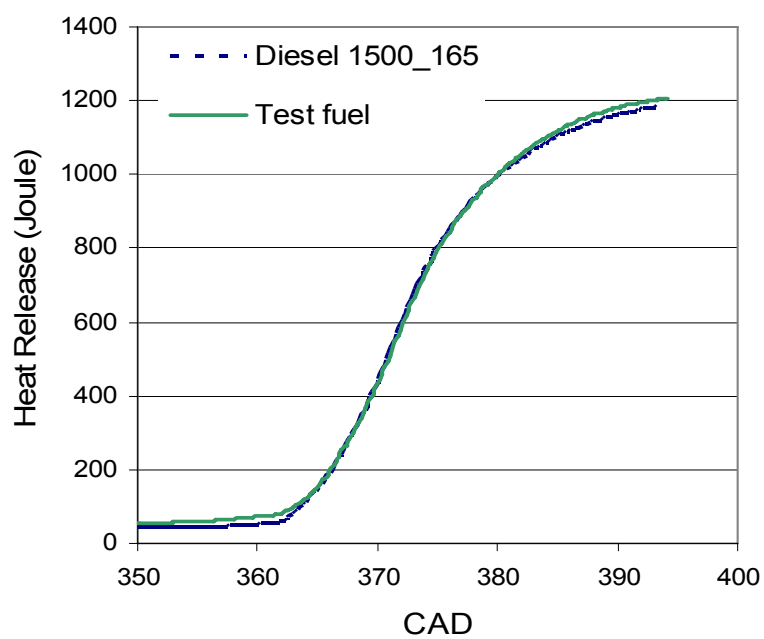
Η αύξηση της τάξης του 13% στην παροχή του αέρα υποδηλώνει μικρότερη ανακυκλοφορία καυσαερίου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, η οποία πιθανώς δικαιολογεί μία σχετική αύξηση των NO_x (6%). Παρόλα αυτά, κάτι τέτοιο δεν δικαιολογεί την μεγάλη αύξηση στην κατανάλωση του καυσίμου η οποία μπορεί να σχετίζεται 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 9-9 έως Εικόνα 9-12).

**a****β**

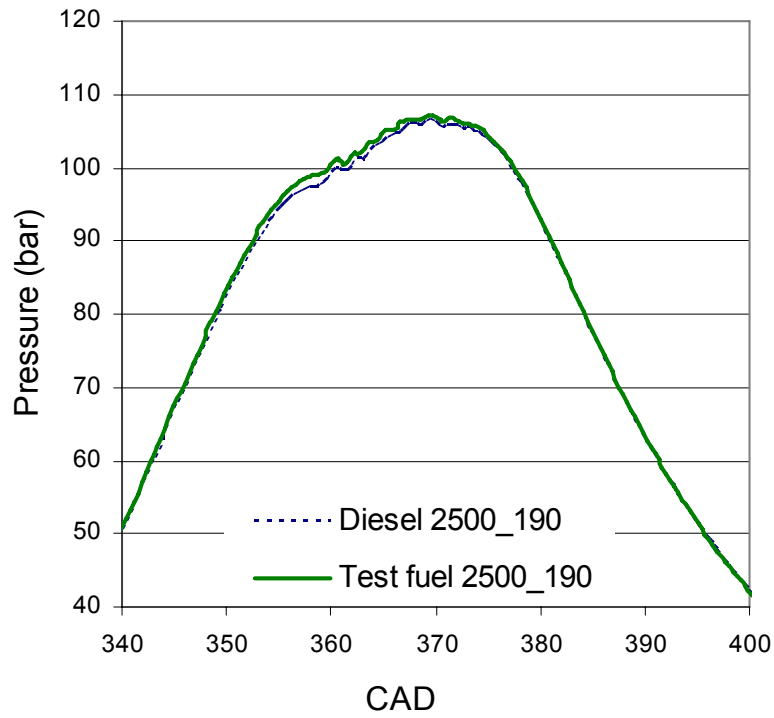
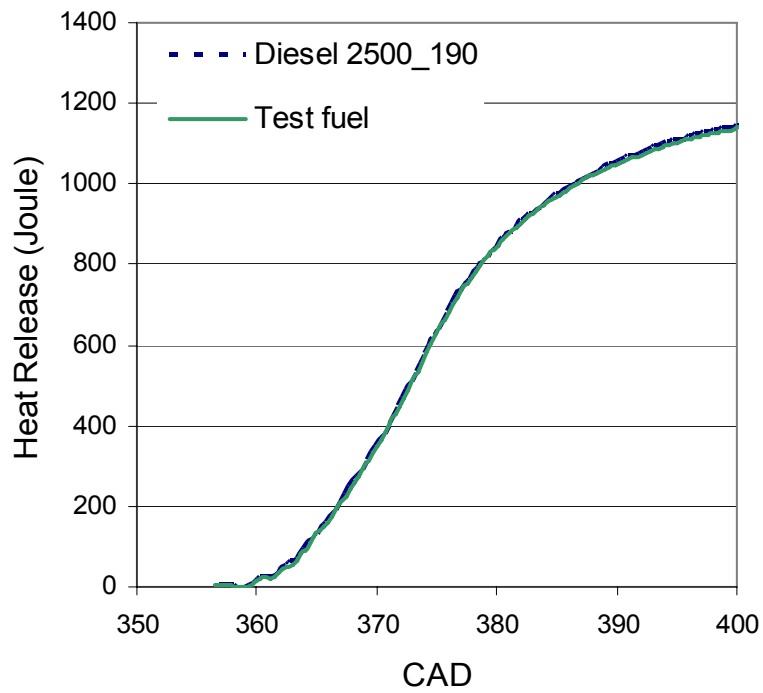
Εικόνα 9-9 Διάγραμμα πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου (α) και έκλυσης θερμότητας (β) για τη φάση του ρελαντί

**α****β**

Εικόνα 9-10 Διάγραμμα πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου (α) και έκλυσης θερμότητας (β) για 1000RPM και φορτίο 75Nm

**a****β**

Εικόνα 9-11 Διάγραμμα πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου (α) και έκλυσης θερμότητας (β) για 1500RPM και φορτίο 165Nm

**α****β**

Εικόνα 9-12 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 9-10,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 9-12(α,β), υποδηλώνοντας ότι το μίγμα βαμβακέλαιου-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 βαμβακέλαιου-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 βαμβακέλαιου στο καύσιμο δεν έχει καμία επίδραση στη διαδικασία της καύσης για όλα τα μετρούμενα σημεία, εκτός από το ρελαντί (Εικόνα 9-9,α-β). Στο ρελαντί παρατηρείται ότι για τα μίγματα βαμβακέλαιου-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.

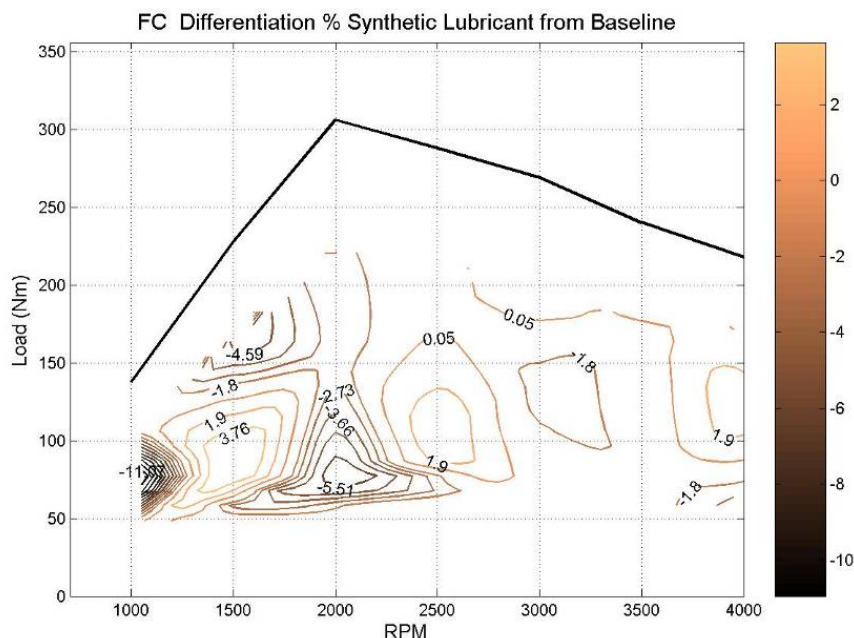
9.3.2 Μετρήσεις ειδικών λιπαντικών

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκπομπών νομοθετημένων ρύπων στον κινητήρα πέδης υπό λιπαντικό αναφοράς και λιπαντικό χαμηλού ιξώδους παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 9-5).

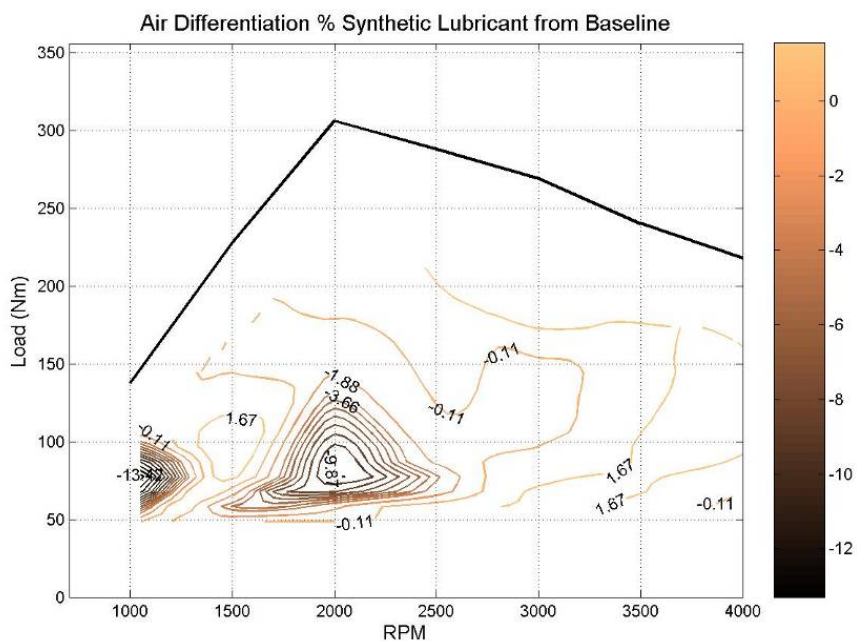
Πίνακας 9-5 Αποτελέσματα μετρήσεων νομοθετημένων ρύπων στα διάφορα σημεία λειτουργίας του κινητήρα υπό λιπαντικό αναφοράς και λιπαντικό χαμηλού ιξώδους

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

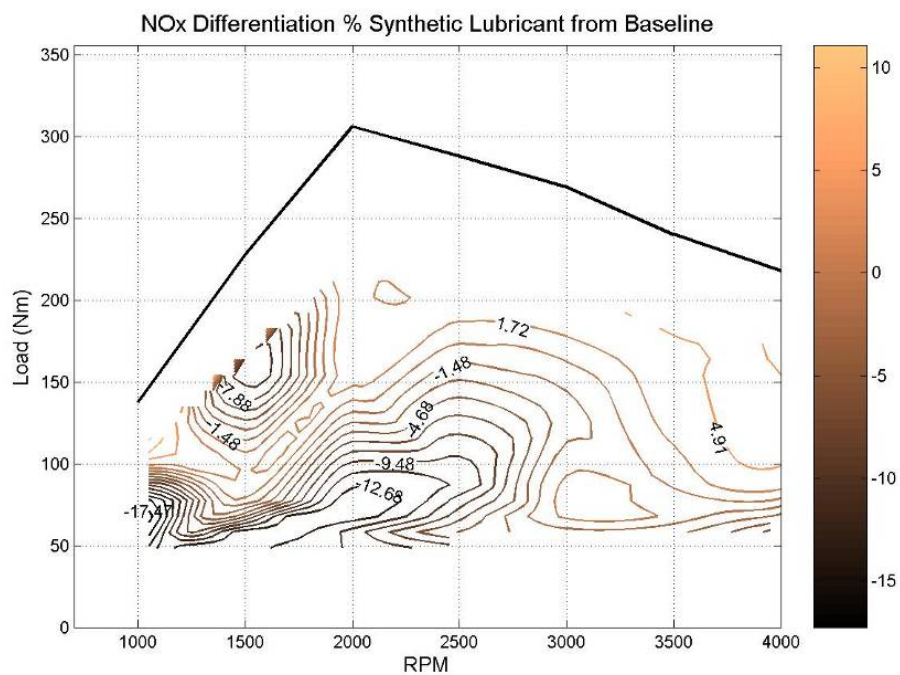
Στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 9-13 έως Εικόνα 9-18) παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές των μεγεθών που καταγράφηκαν κατά τις μετρήσεις, υπό μορφή χαρτών λειτουργίας.



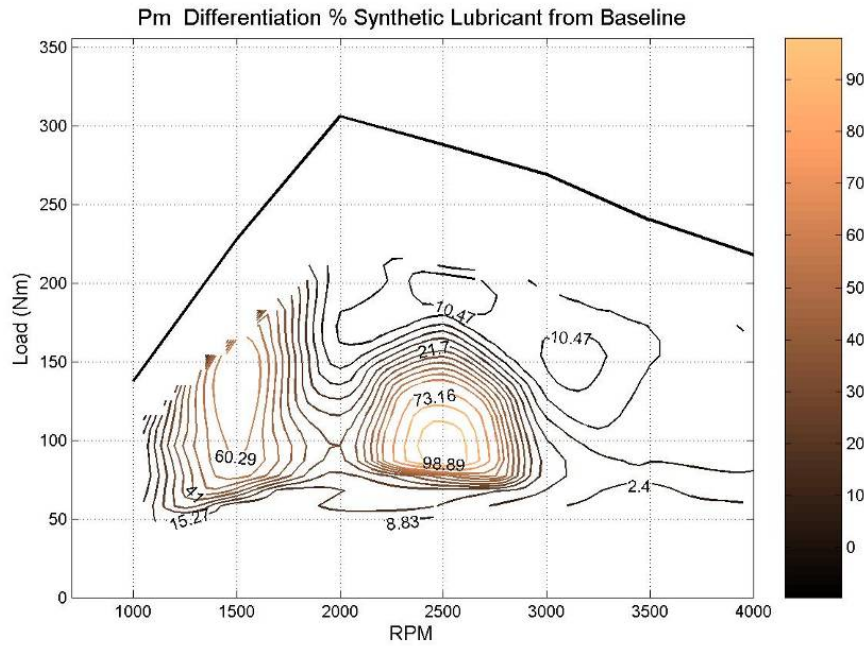
Εικόνα 9-13 Ποσοστιαία διαφορά μετρήσεων κατανάλωσης καυσίμου συνθετικού λιπαντικού χαμηλής τριβής – λιπαντικού αναφοράς στο πεδίο λειτουργίας του κινητήρα



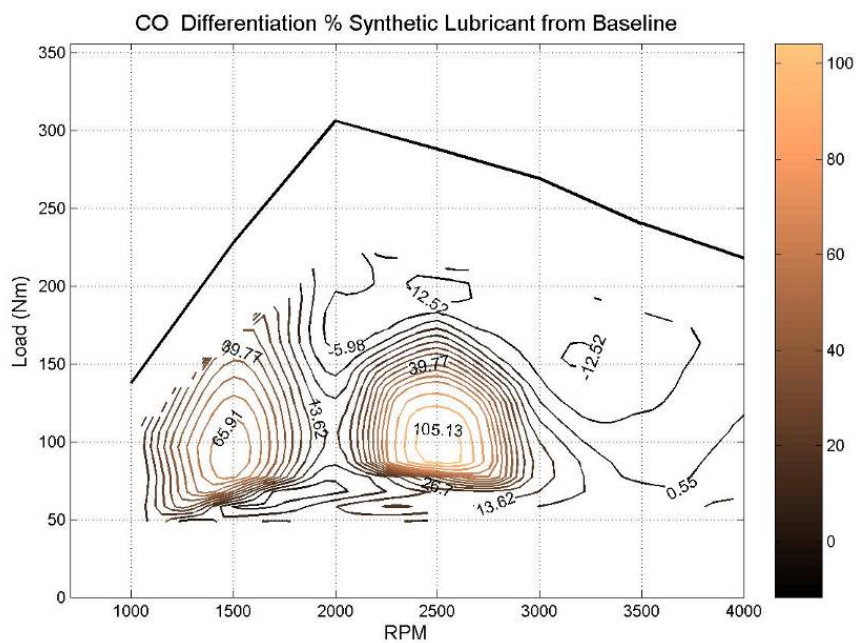
Εικόνα 9-14 Ποσοστιαία διαφορά μετρήσεων παροχής αέρα συνθετικού λιπαντικού χαμηλής τριβής – λιπαντικού αναφοράς στο πεδίο λειτουργίας του κινητήρα



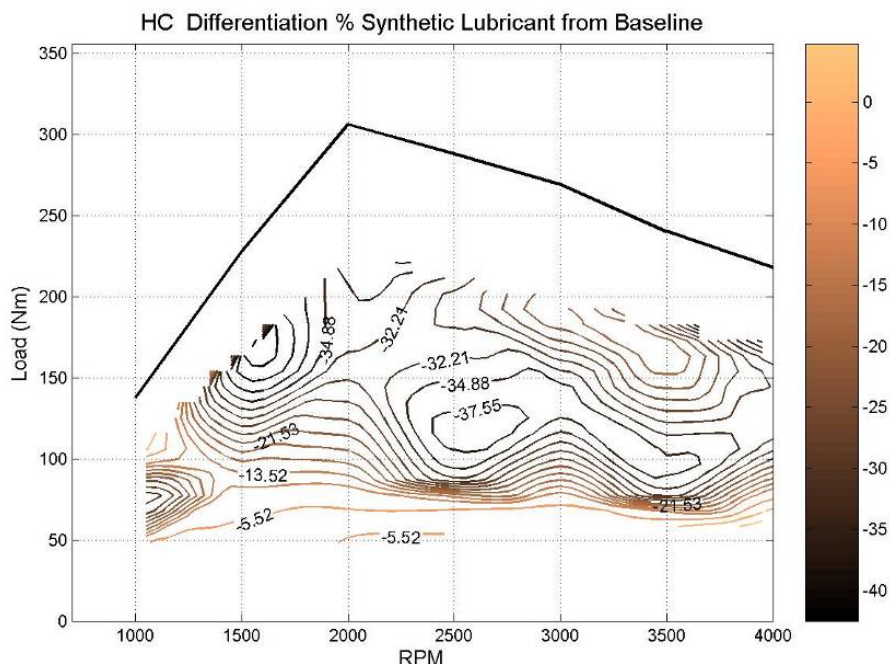
Εικόνα 9-15 Ποσοστιαία διαφορά μετρήσεων NOx συνθετικού λιπαντικού χαμηλής τριβής – λιπαντικού αναφοράς στο πεδίο λειτουργίας του κινητήρα



Εικόνα 9-16 Ποσοστιαία διαφορά μετρήσεων Pm συνθετικού λιπαντικού χαμηλής τριβής – λιπαντικού αναφοράς στο πεδίο λειτουργίας του κινητήρα



Εικόνα 9-17 Ποσοστιαία διαφορά μετρήσεων CO συνθετικού λιπαντικού χαμηλής τριβής – λιπαντικού αναφοράς στο πεδίο λειτουργίας του κινητήρα



Εικόνα 9-18 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 9-13). 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 9-18). 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 9-17). Οι διακυμάνσεις σε αυτούς τους ρύπους είναι πολύ μικρές σε σχέση με την επίδραση που θα είχε ο οξειδωτικός καταλύτης στις αντίστοιχες εκπομπές.

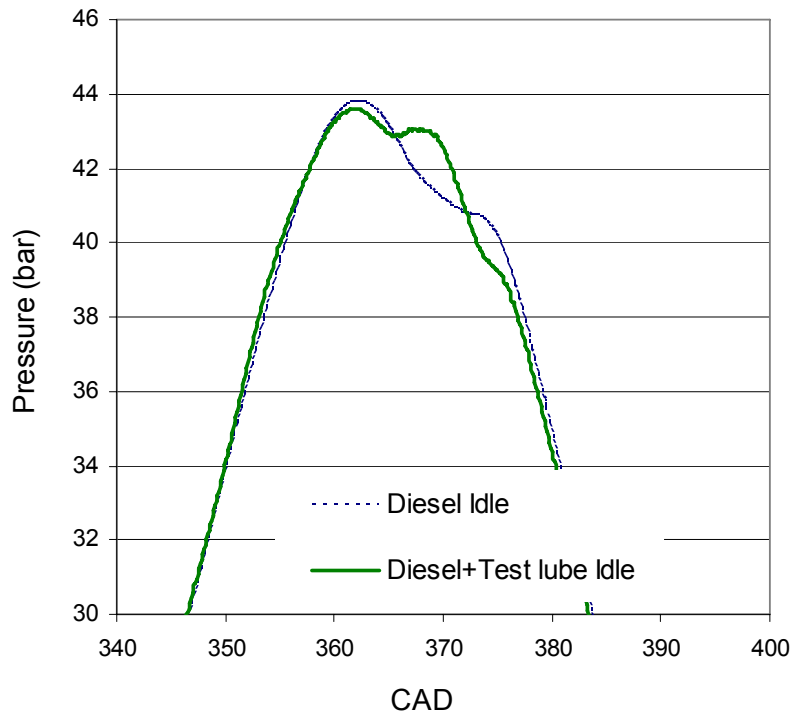
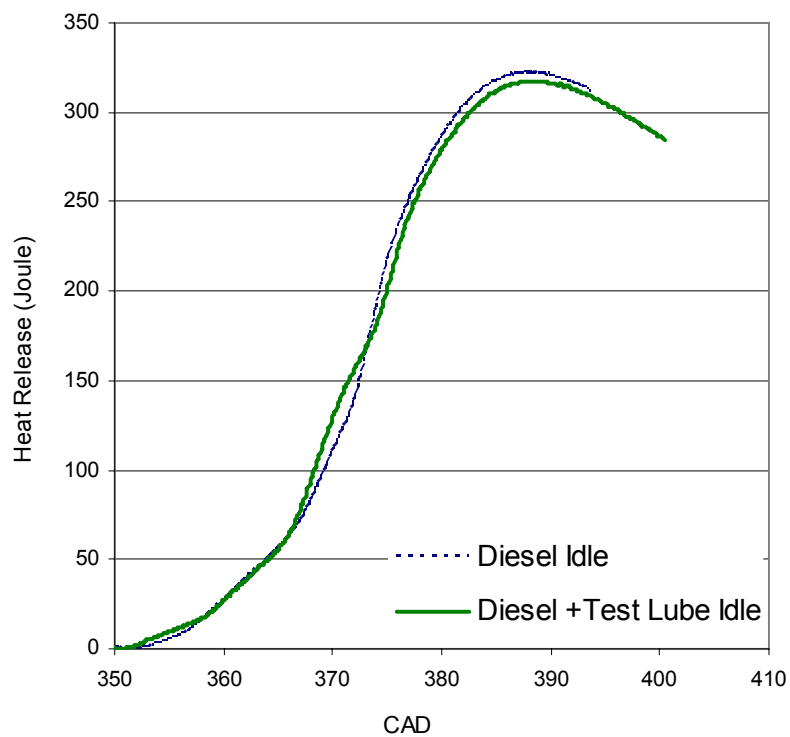
Ένα σημείο λειτουργίας το οποίο μελετήθηκε ξεχωριστά από τα υπόλοιπα είναι το ρελαντί. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης παρατηρήθηκαν αυξήσεις στην κατανάλωση καυσίμου και στις μετρούμενες εκπομπές των NOx (Πίνακας 9-6). Συγκεκριμένα, για την κατανάλωση καυσίμου παρατηρήθηκε μία ελάχιστη αύξηση της τάξης 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.

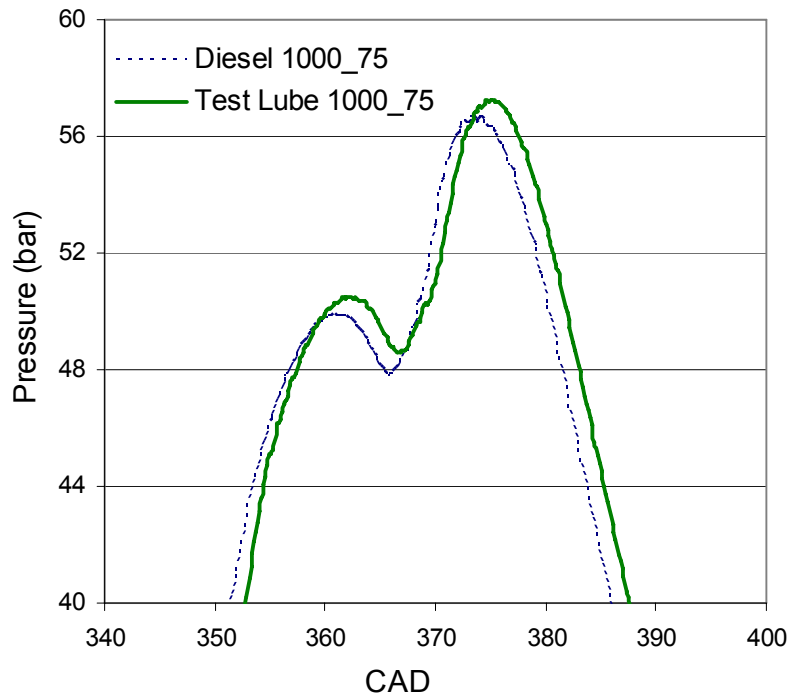
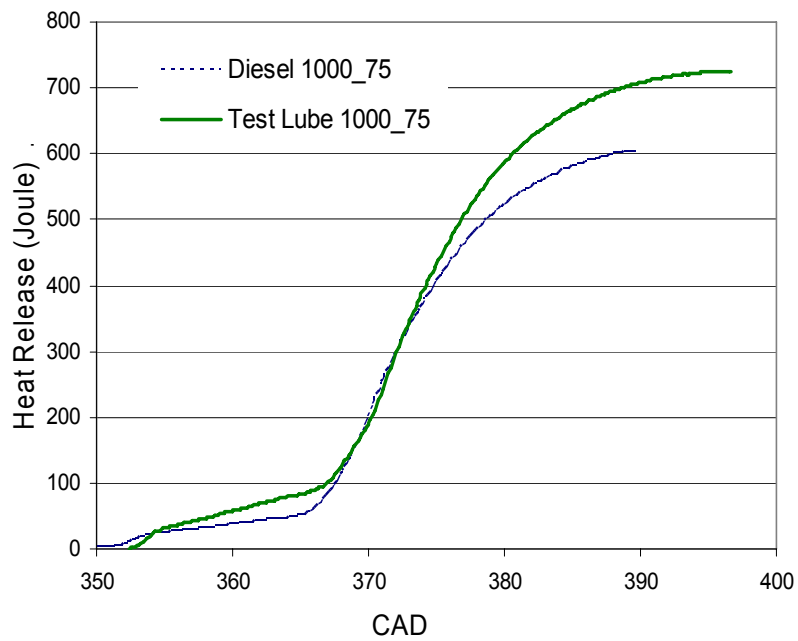
Πίνακας 9-6 Ποσοστιαίες μεταβολές που παρατηρήθηκαν από τη χρήση του υπό δοκιμή λιπαντικού σε σχέση με το λιπαντικό αναφοράς

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

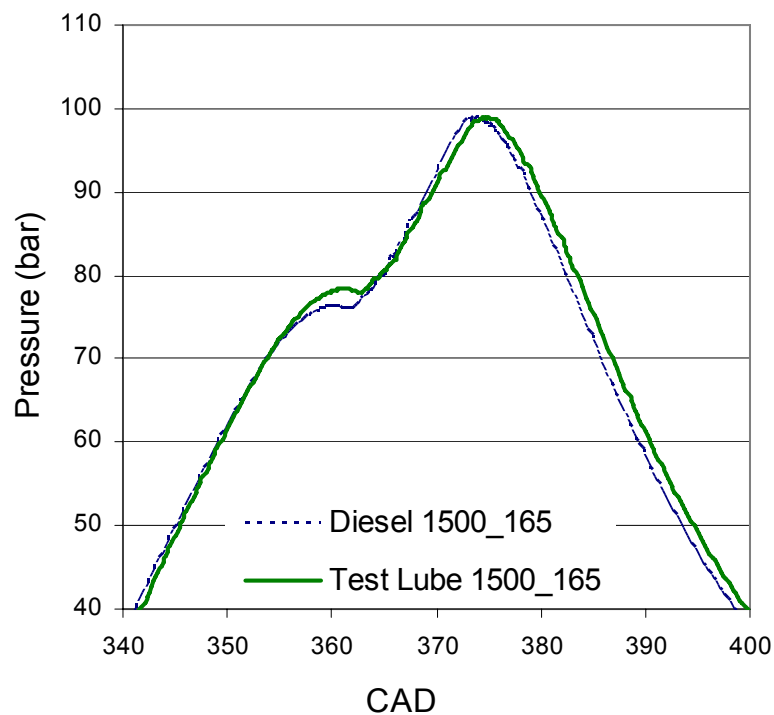
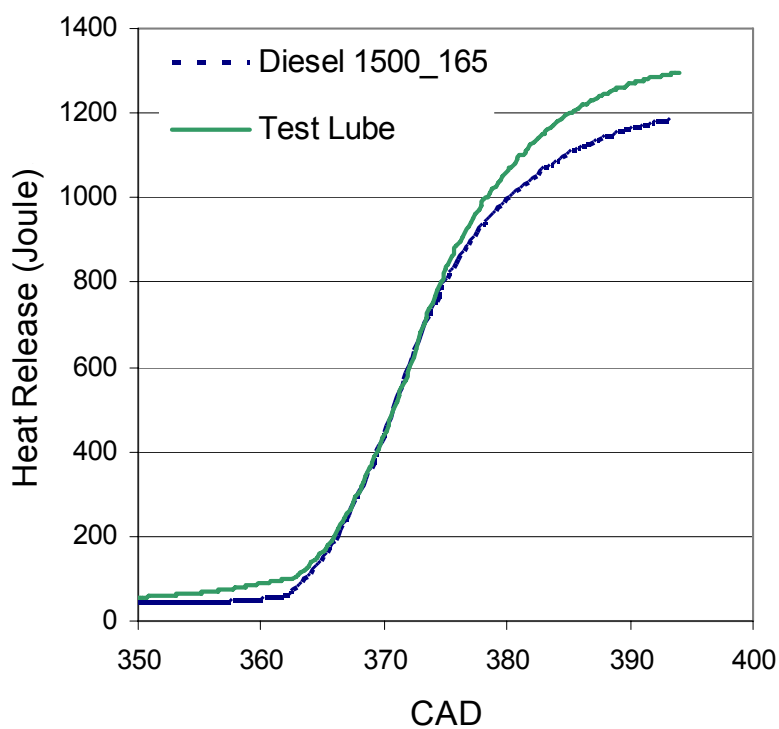
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η εξέλιξη της πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου και η αντίστοιχη καμπύλη έκλυσης θερμότητας, σύμφωνα με τις μετρήσεις που διεξήχθησαν για συγκεκριμένα σημεία λειτουργίας του κινητήρα.

**a****β**

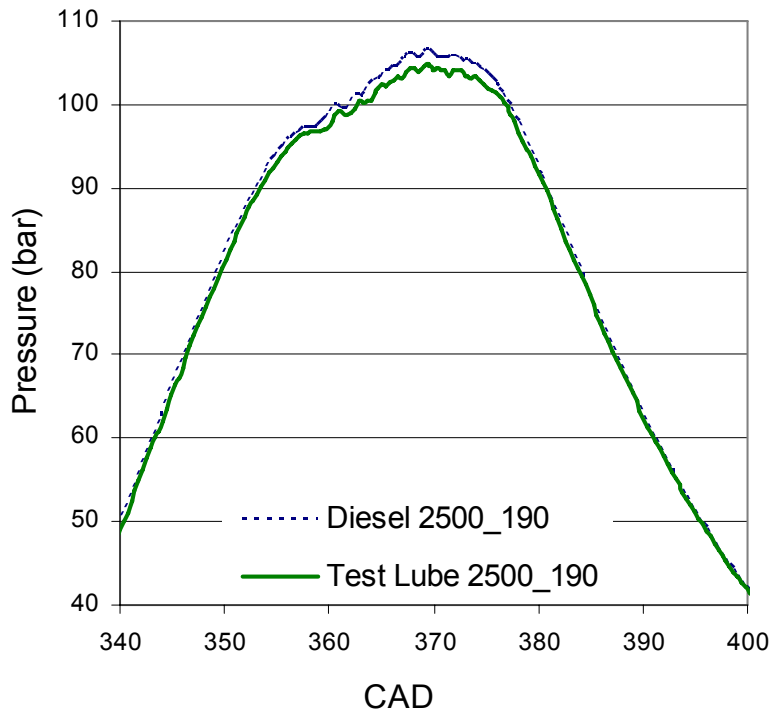
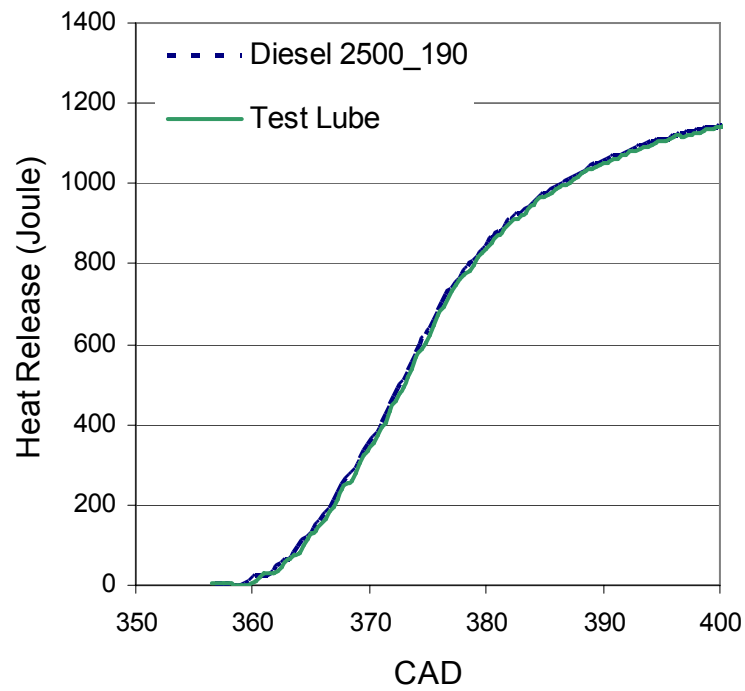
Εικόνα 9-19 Διάγραμμα πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου (α) και έκλυσης θερμότητας (β) για τη φάση του ρελαντί

**α****β**

Εικόνα 9-20 Διάγραμμα πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου (α) και έκλυσης θερμότητας (β) για 1000 RPM και φορτίο 75Nm

**a****b**

Εικόνα 9-21 Διάγραμμα πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου (α) και έκλυσης θερμότητας (β) για 1500 RPM και φορτίο 165Nm

**a****β**

Εικόνα 9-22 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 7-20 έως 7-23 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 9-22.

Ορισμένες μεταβολές παρατηρήθηκαν στη μέγιστη πίεση για σχετικά χαμηλό αριθμό στροφών (1000-1500, Εικόνα 9-20 και Εικόνα 9-21), 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.

10 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 8-1 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 10-1 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 στο προηγούμενο κεφάλαιο και από τις μετρήσεις στον κινητήρα πέδης.

Στον πίνακα 8-2 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 10-2 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	Ρυθός	UDC cold	EUDC	NEDC	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw	M.O.	Max	Min
Laguna Golf	FC	1.00 0.94	0.95 0.88	0.97 0.91	0.98 0.95	0.92 0.85	0.94 0.89	0.96 0.90	1.00 0.95	0.92 0.85
Laguna Golf	CO ₂	1.00 0.93	0.95 0.88	0.97 0.90	0.98 0.94	0.92 0.85	0.94 0.89	0.96 0.90	1.00 0.94	0.92 0.85
Laguna Golf	CO	1.45 1.05	1.47 2.08	1.44 1.15	2.26 1.24	1.47 2.08	1.96 1.47	1.68 1.51	2.26 2.08	1.44 1.05
Laguna Golf	HC	1.26 1.05	1.09 1.32	1.22 1.11	1.42 1.06	1.08 1.31	1.24 1.16	1.22 1.17	1.42 1.32	1.08 1.05
Laguna Golf	NO _x	1.05 0.82	0.96 0.70	1.00 0.75	0.99 0.80	0.96 0.70	0.97 0.75	0.99 0.75	1.05 0.82	0.96 0.70
Laguna Golf	PM	0.90 1.14	0.76 0.86	0.82 0.95	0.89 1.16	0.76 0.86	0.81 0.94	0.83 0.98	0.90 1.16	0.76 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 ταχύτητα του οχήματος, κάτι το οποίο ήταν πλήρως αναμενόμενο βάσει των όσων αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 5.2.

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 10-3 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 10-4 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.

11 Σύνοψη - Συμπεράσματα

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η αξία του βαμβακέλαιου καθώς και άλλων φυτικών ελαίων ως συμπληρωματικού καυσίμου κινητήρων Diesel έχει επισημανθεί από το παρελθόν και σήμερα υπάρχουν σημαντικά περιθώρια αξιοποίησής του.
 - Η ευρωπαϊκή νομοθεσία επιτρέπει τη χρήση βιοκαυσίμων, όπως το βαμβακέλαιο, εφόσον όμως αυτά είναι συμβατά με τον κινητήρα του οχήματος και εφόσον πληρούνται οι προδιαγραφές εκπομπών αερίων ρύπων.
 - Η τριβές στους κινητήρες προκαλούν υπολογίσιμες απώλειες ενέργειας αυξάνοντας την κατανάλωση και τις εκπομπές CO₂. Τα λιπαντικά χαμηλού ιξώδους παρουσιάζουν υπολογίσιμο δυναμικό μείωσης της κατανάλωσης και του CO₂.
 - Οι σημαντικότερες φυσικές ιδιότητες των μιγμάτων βαμβακελαίου – Diesel μετρήθηκαν και επαληθεύτηκε ότι τα μίγματα αυτά πληρούν τις νομοθετημένες προδιαγραφές (EN590) για χρήση σε κινητήρες έναυσης με συμπίεση.
 - Σχετικά με τον αριθμό κετανίου του βαμβακελαίου και των μιγμάτων του με Diesel προέκυψε πως ο τελευταίος είναι μικρός για το καθαρό βαμβακέλαιο, ενώ παραμένει εντός των προδιαγραφών για μίγματα περιεκτικότητας μέχρι 30% κατ' όγκο σε βαμβακέλαιο.
 - Παρατηρήθηκε ελαφρά αύξηση του αριθμού κετανίου σε μίγματα χαμηλών περιεκτικότητας (5-20% v/v), εικόνα η οποία συμβαδίζει με αυτή μιγμάτων άλλων καυσίμων φυτικής προέλευσης με ντίζελ.
 - Η πυκνότητα του βαμβακελαίου είναι υψηλή. Σε μίγματα όμως με περιεκτικότητα σε βαμβακέλαιο έως ~15% κατ' όγκο η πυκνότητα βρίσκεται εντός των προδιαγραφών που προβλέπονται από τη νομοθεσία.
 - Η θερμογόνος δύναμη των μιγμάτων χαμηλής περιεκτικότητας σε βαμβακέλαιο δεν διαφέρει σημαντικά από αυτή του Diesel, οπότε δεν αναμένονται επιπτώσεις στην απόδοση των κινητήρων.
 - Το ιξώδες των μιγμάτων βαμβακελαίου – Diesel με περιεκτικότητα σε βαμβακέλαιο έως και 20% παραμένει εντός των προδιαγραφών.
 - Μετρήσεις δείχνουν ότι οι ιδιότητες ψυχρής ροής των μιγμάτων βαμβακελαίου – Diesel με βαμβακέλαιο έως 10% δεν επηρεάζονται σημαντικά από την παρουσία του ελαίου και παραμένουν εντός των προδιαγραφών της νομοθεσίας.
-

- Ειδική τεχνική ραφινάρισματος, η οποία αναπτύχθηκε από τον παραγωγό του βαμβακελαίου με στόχο τη βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών του ως καυσίμου, είχε θετικά αποτελέσματα κατά τη χρήση των μιγμάτων σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.
 - Η εφαρμογή βαμβακελαίου σε κινητήρες Diesel πραγματικών οχημάτων για περίπου 20000 και 11000χλμ αντίστοιχα ολοκληρώθηκε χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα.
 - Στα πειραματικά οχήματα εφαρμόστηκαν λιπαντικά χαμηλού ιξώδους και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των εκπομπών και της κατανάλωσης καυσίμου.
 - Η κατανάλωση καυσίμου των οχημάτων κατά τη διάρκεια του Προγράμματος κινήθηκε γύρω από τον μέσο όρο της κατανάλωσης υπό συμβατικό καύσιμο. Σημαντικές διακυμάνσεις παρατηρήθηκαν με τη χρήση πειραματικών καυσίμων στο VW Golf σε διάφορους κύκλους οδήγησης και σε αρκετές περιπτώσεις υπήρξε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου έως και 6%. Στο common rail όχημα παρατηρήθηκαν πολύ μικρές διακυμάνσεις και μια πολύ ελαφρά τάση μείωσης της τάξης του 1%.
 - Η χρήση συνθετικών λιπαντικών χαμηλού ιξώδους είχε θετική επίδραση στις εκπομπές CO₂ των οχημάτων. Το common rail όχημα παρουσίασε μειώσεις της τάξης του 4%, ενώ η εξοικονόμηση καυσίμου αυξάνει με την αύξηση της ταχύτητας του οχήματος.
 - Οι μετρήσεις που διεξήχθησαν στα οχήματα σε κύκλο οδήγησης NEDC έδειξαν ότι τα υπό δοκιμή καύσιμα έχουν περιορισμένη επίδραση στις εκπομπές. Οι αντίστοιχες μετρήσεις που έγιναν σε κύκλους οδήγησης Artemis έδειξαν μεγαλύτερες μεταβολές.
 - Η ελαφρά αυξητική τάση στα επίπεδα εκπομπών που παρατηρείται σε ορισμένους κύκλους οδήγησης βρίσκεται κοντά στο εύρος των μετρήσεων. Τα επίπεδα εκπομπών σε καμία περίπτωση δεν ξεπέρασαν τα νομοθετημένα όρια των οχημάτων.
 - Οι εκπομπές ρύπων με τα λιπαντικά χαμηλής τριβής παρέμειναν στα συνηθισμένα επίπεδα στην πλειοψηφία των κύκλων οδήγησης.
 - Η λειτουργία των οξειδωτικών καταλυτών δεν επηρεάστηκε από την εφαρμογή του βαμβακελαίου.
 - Όσον αφορά τις μη νομοθετημένες εκπομπές σωματιδίων, η χρήση βαμβακελαίου έχει αντίθετη επίδραση στα δύο οχήματα διαφορετικής τεχνολογίας.
 - Στο VW Golf Euro II, η χρήση βαμβακελαίου οδηγεί σε μείωση των εκπομπών στερεών σωματιδίων και αύξηση του συνολικού αριθμού
-

σωματιδίων, σε αστικές συνθήκες οδήγησης. Φαίνεται δηλαδή ότι το βαμβακέλαιο ευνοεί τον σχηματισμό νανοσωματιδίων. Σε υπεραστικές συνθήκες οδήγησης δεν μετρήθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στα επίπεδα εκπομπών σωματιδίων.

- Στο Renault Laguna Euro III, η χρήση βαμβακελαίου οδηγεί σε μείωση των νανοσωματιδίων που εμφανίζονται σε υπεραστικές συνθήκες. Σε αστικές συνθήκες δεν υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στα επίπεδα εκπομπών.
 - Το συνθετικό λιπαντικό δεν επιφέρει σημαντική αλλαγή στα επίπεδα εκπομπών των δύο οχημάτων. Παρόλα αυτά, εξαιτίας του μικρού αριθμού μετρήσεων, δεν μπορούν να εξαχθούν ακριβή συμπεράσματα.
 - Η επίδραση του βαμβακελαίου στο συνολικό αριθμό σωματιδίων που εκπέμπονται από το Common Rail όχημα είναι πιο έντονη από την αντίστοιχη στο παλαιότερης τεχνολογίας. Έτσι τη στιγμή που η χρήση βαμβακελαίου στο Golf επιφέρει αύξηση των συνολικά εκπεμπόμενων σωματιδίων της τάξης του 30%, στο Renault σημειώνεται μείωση της τάξης του 70%.
 - Από τα μίγματα που δοκιμάστηκαν στο Golf, το μίγμα 20% βαμβακέλαιο οδηγεί στις χαμηλότερες εκπομπές σωματιδίων.
 - Η χρήση των πειραματικών καυσίμων δεν βρέθηκε να έχει επίδραση στην ισχύ των κινητήρων, όπως αυτό πιστοποιήθηκε από μετρήσεις ελαστικότητας (έλεγχος επιτάχυνσης).
 - Οπτική εξέταση των κινητήρων και έλεγχος των συστημάτων τροφοδοσίας καυσίμου δεν έδειξε κάποια αλλοίωση ή βλάβη.
 - Σε περιπτώσεις χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος παρουσιάστηκε δυσκολία στην εκκίνηση του κρύου κινητήρα, η οποία επιδεινώθηκε με την αύξηση της περιεκτικότητας σε βαμβακέλαιο. Η εισαγωγή πρόσθετου στα καύσιμα βοήθησε στην αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού.
 - Μετά από μακροχρόνια χρήση υπό χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος παρουσιάστηκαν προβλήματα ατροφίας των κινητήρων, τα οποία ξεπεράστηκαν με την αντικατάσταση του φίλτρου καυσίμου.
 - 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.

12 Επόμενα βήματα

Για την περαιτέρω αξιοποίηση του βαμβακελαίου ως καυσίμου σε κινητήρες Diesel συνιστώνται τα εξής βήματα:

- Συστηματικότερη χρήση των καυσίμων σε πραγματικά οχήματα ελεγχόμενης λειτουργίας.
 - Διερεύνηση της επίδρασης των μιγμάτων βαμβακελαίου-Diesel στο φίλτρο καυσίμου των κινητήρων υπό χαμηλές θερμοκρασίες
 - Διερεύνηση διαθέσιμων πρόσθετων-βελτιωτικών ροής ώστε να αποφεύγεται η απόφραξη του φίλτρου καυσίμου στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.
 - Βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών του βαμβακελαίου μέσω της παραγωγικής διαδικασίας.
-

13 Βιβλιογραφία

- [Γερονικολού και Κυρίτσης 2005] Λ. Γερονικολού, Σπ. Κυρίτσης, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, "Νέες τάσεις στα βιοκαύσιμα", παρουσίαση στο 3ο Εθνικό Συνέδριο για την εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
- [Καραβαλάκης et al.] Γ. Καραβαλάκης, Σ. Στούρνας, Δ. Καρώνης, Φ. Ζαννίκος, Α. Αναστασάκος, "Αξιολόγηση Γεωργικών Πρώτων Υλών για την Παραγωγή Βιοντίζελ στον Ελλαδικό Χώρο" ΕΜΠ, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, E-Mail: gkaraval@mail.ntua.gr
- [Μπαράκος] Ν. Μπαράκος, «Πιλοτική εφαρμογή χρήσης βιοντίζελ στον ελλαδικό χώρο»
- [Μπάτος και Ζευγώλη] Κ. Μπάτος, Ν. Ζευγώλη, "Παραγωγή και Εμπορία Βιοκαυσίμων στην Νοτιοανατολική Ευρώπη-Προβλήματα και προοπτικές"
- [Τουμπέλη 2007] Α. Τουμπέλη, «Επίδραση της προσθήκης του Βιοντίζελ FAME στην ποιότητα του πετρελαίου κίνησης», 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εναλλακτικών Καυσίμων και Βιοκαυσίμων, Νεοχώρι Καρδίτσας, Απρίλιος 2007
- [Ψυχογιού 2004] Ι. Π. Ψυχογιού "Μελέτη ιδιοτήτων μιγμάτων φυτικών ελαίων και χρήσης τους σε οχήματα εκτός δρόμου", Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Χημικών Μηχανικών Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών, Ιούνιος 2004
- [Andre 2004] Andrè, M. 2004. "The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions". Science of the Total Environment 334-335, 73-84
- [Basshuysen and Schafer 2004] R. van Basshuysen, F. Schafer, "Internal Combustion Engine Handbook, Basics, Components, Systems and Perspectives", SAE International Publications, Siemens VDO Automotive
- [BOSCH 2004] H. Bauer, K.H. Dietsche, T. Jager, "Diesel Engine Management", Published by Robert Bosch GmbH, 2004, Automotive Aftermarket Division
-

-
- [Cortois and Lopes] Cortois G. and Lopes M. *Effect of engine lubricant on fuel economy the experimental approach*, TOTAL Raffinage Distribution Research Center and Lubricants Department
- [Demirbas 1999] A. Demirbas, "A direct route to the calculation of heating values of liquid fuels by using their density and viscosity measurements", *Energy Conversion and Management* 41 (2000) 1609-1614
- [Dieselnet] www.dieselnet.com
- [ECOS 2005] Chris Calwell, *Fuel Savings Possibilities from Low Viscosity Synthetic Motor Oils*, Presentation at the International Energy Association Workshop on Low Rolling Resistance Tyres, Paris 11/2005, downloaded from http://www.iea.org/Textbase/work/workshopdetail.asp?WS_ID=227
- [Forson et al. 2004] F. Forson, E. Oduro, E. Donkoh, "Performance of jatropha oil blends in a diesel engine", *Renewable Energy* 29 (2004) 1135-1145
- [He and Bao 2004] Y. He, Y. Bao, "Study on cottonseed oil as a partial substitute for diesel oil in fuel for single cylinder diesel engine", Technical note, *Renewable Energy* 30 (2005) 805-813
- [Heywood 1998] Heywood John B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill 1998, ISBN0-07-100499-8
- [IEA 1993] *Cars and Climate Change*, International Energy Agency and Organisation for Economic Co-Operation and Development Joint Report, 1993
- [IEA 2005] *Making cars more fuel efficient: Technology for Real Improvements on the Road*, International Energy Agency and European Conference of Ministers of Transport Joint Report, 2005
- [Kaliaguine 2003] K. El Marrouni, S. Kaliaguine, H. Abou-Racid, "DFT studies of the hydrogen abstraction from primary alcohols by O₂ in relation with cetane number data", *Journal of Molecular Structure* 631 (2003) 241-250
- [Ladomatos and Goacher 1994] Nicos Ladomatos and John Goacher, "Equations for predicting the cetane number of diesel fuels from their
-

- physical properties", 3 August 1994, Fuel Vol 74 No. 7, pp. 1083-1093, 1995
- [Giannelos et al. 2001] P. Giannelos, F. Zannikos, S. Stournas, E. , G. Anastopoulos, "Tobacco seed oil as an alternative diesel fuel: physical and chemical properties", Industrial Crops and Products 16 (2002) 1-9
- [Giannelos et al. 2004] P. Giannelos, S. Shizas, E. Lois, F. Zannikos, G. Anastopoulos, "Physical, chemical and fuel related properties of tomato seed oil for evaluating its direct use in diesel engines", Industrial Crops and Products 2005, article in press
- [McGill et al. 2003] R. McGill, J. Storey, R. Wagner, D. Irick, . Aakko, M. Westerholm, N. Nylund, M. Lappi, "Emission performance of selected biodiesel fuels", Sae Technical Paper SAE 2003-01-1866, JSAE 20030111
- [NRC 1992] *Automotive Economy: How far should we go?*, Committee on Fuel Economy of Automobiles and Light Trucks Energy Engineering Board Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council, National Academy Press 1992
- [Owen et al. 1995] K. Owen, T. Coley, "Automotive Fuels Handbook, Second Edition", Published by SAE Inc. 1995
- [Pundir et al. 1994] B. P. Pundir, S.K. Singal, and A.K. Gondal, "Diesel Fuel Quality: Engine Performance and Emissions", SAE Technical Paper Series, Paper No 942020
- [Ramadhas et al. 2004] A. Ramadhas, S. Jayaraj, C. Muraleedharan, "Characterization and effect of using rubber seed oil as fuel in the compression ignition engines", Technical Note, Renewable Energy 30 (2005) 795-803
- [Semsri et al.] A. Semrisi, C. Charooenphonphanich, P. Kammool, "Study of Injector Nozzle of DI Diesel Engine for Blended Coconut Oils", Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering King Mongkut s Institute of Technology Ladkrabang
- [Smokers et al. 2006] Smokers R., Vermeulen R., van Mieghem R., Gense R., Skinner I., Fergusson M., MacKay E., ten Brink P., Fontaras G. Samaras Z., Review and analysis of the
-

reduction potential and costs of technological and other measures to reduce CO₂-emissions from passenger cars
Final Report Contract nr. SI2.408212 October 31, 2006

[Taylor and Coy]

R.I. Taylor and R.C.Coy *Improved Fuel Efficiency by Lubricant Design : A Review*, Shell Research & Technology Centre, Thornton, P.O. Box 1, Chester, CH1 3SH, UK
downloaded from
<http://www.iantaylor.org.uk/papers/IMechEFE2000.pdf>

[US EPA 2004]

United States Environmental Protection Agency, "A glance at clean Freight Strategies Low Viscosity Lubricants"
<http://www.epa.gov/smartway/documents/lowviscositylubres.pdf>

[Zaher et al. 2003]

F. A. Zaher, O. A. Megahed, O. S. EL Kinawy, "Utilization of Used Frying Oil as Diesel Engine Fuel", *Energy Sources*, 25:819–826, 2003

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος του Υποέργου

Αναστάσιος Μωυσιάδης
Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός
Καθηγητής

14 Παράρτημα

Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών αερίων ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου.

Πίνακας 14-1 Μετρήσεις εκπομπών CO₂ VW Golf

CO ₂ [g/km]	UDC cold	EUDC	NEDC	UDC hot	EUDC	NEDC hot	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw
100% Diesel #1	168.06	108.63	130.48	149.34	108.63	123.63	206.85	122.85	132.20
100% Diesel #2	171.17	104.03	128.69	151.62	104.03	121.56	207.38	123.26	130.43
10% Βαμβ/λαιο #1	171.15	103.81	128.44	145.80	103.81	119.22	199.19	121.69	130.29
10% Βαμβ/λαιο #2	168.58	99.63	124.95	144.58	99.63	116.23	195.02	117.20	127.08
10% Βαμβ/λαιο+προσθ. #1	166.30	96.54	122.12	139.97	96.54	112.49	188.68	113.51	122.85
10% Βαμβ/λαιο+προσθ. #2	162.74	95.28	119.99	136.94	95.28	110.61	186.65	110.62	122.37
20% Βαμβ/λαιο #1	169.64	99.30	125.12	138.17	99.30	113.62	197.12	118.66	126.44
20% Βαμβ/λαιο #2	171.71	98.90	125.60	139.90	98.90	114.00	191.04	114.76	122.95
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #1	165.58	96.17	121.75	136.55	96.17	111.07	185.51	111.73	118.34
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #2	168.96	97.38	123.57	138.76	97.38	112.61	191.97	113.58	118.91
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #3	187.53	110.12	138.50	156.86	110.12	127.30	205.36	123.53	131.98
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #4	185.38	113.58	139.73	154.78	113.58	128.71	202.08	124.87	131.89
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #5	183.05	106.25	134.39	152.47	108.81	124.81	197.03	127.20	131.17
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #6	182.28	112.10	137.81	155.63	112.10	128.08	209.45	127.21	130.99
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #7	185.16	119.00	143.27	152.57	119.00	131.36	206.30	124.73	140.13
100% Diesel #3	171.49	110.01	132.53	146.20	110.01	123.34	202.87	121.82	134.72
100% Diesel #4	170.06	114.98	135.17	147.17	114.98	126.82	200.61	130.02	131.18
100% Diesel 20W50	180.84	126.64	146.46	156.70	134.61	142.71	201.36	125.89	146.25
100% Diesel 20W50	183.38	122.56	145.00	157.85	122.56	135.62	220.70	131.35	151.06
average	174.37	107.10	131.77	147.47	107.66	122.30	199.75	121.29	130.59

Πίνακας 14-2 Μετρήσεις κατανάλωσης καυσίμου VW Golf

FC [l/100 km]	UDC cold	EUDC	NEDC	UDC hot	EUDC	NEDC hot	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw
100% Diesel #1	6.46	4.13	4.98	5.70	4.13	4.71	7.86	4.66	5.01
100% Diesel #2	6.58	3.96	4.92	5.78	3.96	4.63	7.88	4.68	4.94
10% Βαμβ/λαιο #1	6.53	3.91	4.87	5.52	3.91	4.50	7.50	4.57	4.89
10% Βαμβ/λαιο #2	6.43	3.76	4.74	5.47	3.76	4.39	7.35	4.40	4.77
10% Βαμβ/λαιο+προσθ. #1	6.36	3.64	4.64	5.30	3.64	4.25	7.11	4.27	4.61
10% Βαμβ/λαιο+προσθ. #2	6.22	3.60	4.56	5.19	3.60	4.18	7.03	4.16	4.59
20% Βαμβ/λαιο #1	6.42	3.71	4.70	5.18	3.71	4.25	7.35	4.41	4.70
20% Βαμβ/λαιο #2	6.51	3.70	4.73	5.25	3.70	4.27	7.12	4.27	4.57
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #1	6.26	3.59	4.57	5.11	3.59	4.15	6.91	4.15	4.40
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #2	6.39	3.63	4.64	5.20	3.63	4.21	7.15	4.22	4.42
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #3	7.10	4.11	5.20	5.87	4.11	4.76	7.65	4.59	4.90
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #4	7.01	4.24	5.25	5.80	4.24	4.81	7.52	4.64	4.90
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #5	6.92	3.96	5.05	5.71	4.05	4.66	7.34	4.73	4.87
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #6	6.93	4.18	5.19	5.83	4.18	4.79	7.80	4.73	4.86
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #7	7.03	4.43	5.38	5.71	4.43	4.90	7.68	4.63	5.20
100% Diesel #3	6.59	4.18	5.06	5.57	4.18	4.69	7.70	4.62	5.11
100% Diesel #4	6.54	4.37	5.16	5.60	4.37	4.82	7.62	4.93	4.97
100%Diesel 20W50	6.94	4.80	5.59	5.97	5.10	5.42	7.65	4.77	5.54
100%Diesel 20W50	7.03	4.65	5.53	6.00	4.65	5.15	8.37	4.98	5.72
average	6.64	4.03	4.99	5.57	4.05	4.61	7.50	4.55	4.89

Πίνακας 14-3 Μετρήσεις εκπομπών CO VW Golf

CO [g/km]	UDC cold	EUDC	NEDC	UDC hot	EUDC	NEDC hot	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw
100% Diesel #1	1.15	0.16	0.52	0.49	0.16	0.29	0.36	0.09	0.06
100% Diesel #2	1.16	0.19	0.55	0.50	0.19	0.30	0.33	0.10	0.06
10% Βαμβ/λαιο #1	1.33	0.22	0.62	0.58	0.22	0.35	0.36	0.10	0.07
10% Βαμβ/λαιο #2	1.43	0.28	0.70	0.63	0.28	0.41	0.39	0.09	0.05
10% Βαμβ/λαιο+προσθ. #1	1.49	0.24	0.70	0.58	0.24	0.37	0.34	0.08	0.05
10% Βαμβ/λαιο+προσθ. #2	1.42	0.25	0.68	0.62	0.25	0.39	0.31	0.07	0.04
20% Βαμβ/λαιο #1	1.49	0.26	0.71	0.60	0.26	0.38	0.32	0.08	0.05
20% Βαμβ/λαιο #2	1.65	0.28	0.78	0.68	0.28	0.43	0.36	0.07	0.04
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #1	1.38	0.24	0.66	0.43	0.24	0.31	0.21	0.06	0.04
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #2	1.48	0.23	0.69	0.55	0.23	0.35	0.29	0.07	0.04
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #3	1.64	0.22	0.74	0.61	0.22	0.36	0.34	0.08	0.07
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #4	1.59	0.23	0.72	0.64	0.23	0.38	0.29	0.08	0.06
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #5	1.49	0.21	0.68	0.58	0.13	0.29	0.35	0.10	0.06
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #6	1.98	0.27	0.90	0.66	0.27	0.42	0.33	0.05	0.04
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #7	1.97	0.20	0.85	0.65	0.20	0.36	0.35	0.06	0.04
100% Diesel #3	1.24	0.14	0.54	0.33	0.14	0.21	0.27	0.08	0.05
100% Diesel #4	1.23	0.13	0.53	0.32	0.13	0.20	0.26	0.08	0.05
100%Diesel 20W50	1.17	0.07	0.47	0.40	0.07	0.19	0.26	0.05	0.03
100%Diesel 20W50	1.12	0.08	0.46	0.26	0.08	0.15	0.15	0.04	0.03
average	1.44	0.20	0.66	0.53	0.20	0.32	0.31	0.07	0.05

Πίνακας 14-4 Μετρήσεις εκπομπών HC VW Golf

HC [g/km]	UDC cold	EUDC	NEDC	UDC hot	EUDC	NEDC hot	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw
100% Diesel #1	0.23	0.05	0.12	0.12	0.05	0.08	0.10	0.04	0.03
100% Diesel #2	0.24	0.06	0.12	0.12	0.06	0.08	0.09	0.04	0.03
10% Βαμβ/λαιο #1	0.27	0.06	0.14	0.14	0.06	0.09	0.10	0.04	0.03
10% Βαμβ/λαιο #2	0.18	0.05	0.10	0.08	0.05	0.06	0.09	0.04	0.02
10% Βαμβ/λαιο+προσθ. #1	0.34	0.08	0.18	0.15	0.08	0.11	0.11	0.04	0.03
10% Βαμβ/λαιο+προσθ. #2	0.30	0.08	0.16	0.14	0.08	0.10	0.10	0.04	0.02
20% Βαμβ/λαιο #1	0.32	0.08	0.16	0.15	0.08	0.10	0.12	0.05	0.03
20% Βαμβ/λαιο #2	0.34	0.09	0.18	0.16	0.09	0.11	0.10	0.04	0.02
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #1	0.31	0.07	0.16	0.14	0.07	0.10	0.10	0.04	0.02
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #2	0.31	0.07	0.16	0.14	0.07	0.10	0.10	0.04	0.02
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #3	0.36	0.07	0.18	0.15	0.07	0.10	0.09	0.04	0.02
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #4	0.37	0.08	0.18	0.15	0.08	0.10	0.09	0.04	0.02
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #5	0.35	0.07	0.18	0.15	0.05	0.09	0.10	0.04	0.03
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #6	0.43	0.09	0.21	0.16	0.09	0.11	0.07	0.03	0.02
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #7	0.37	0.06	0.17	0.15	0.06	0.09	0.08	0.03	0.02
100% Diesel #3	0.25	0.05	0.13	0.10	0.05	0.07	0.08	0.04	0.03
100% Diesel #4	0.24	0.05	0.12	0.09	0.05	0.06	0.07	0.03	0.02
100% Diesel 20W50	0.24	0.04	0.11	0.11	0.04	0.06	0.07	0.03	0.02
100% Diesel 20W50	0.22	0.04	0.11	0.10	0.04	0.06	0.08	0.03	0.02
average	0.30	0.06	0.15	0.13	0.06	0.09	0.09	0.04	0.02

Πίνακας 14-5 Μετρήσεις εκπομπών NOx VW Golf

NOx [g/km]	UDC cold	EUDC	NEDC	UDC hot	EUDC	NEDC hot	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw
100% Diesel #1	0.60	0.33	0.42	0.64	0.33	0.44	1.10	0.46	0.59
100% Diesel #2	0.64	0.31	0.43	0.69	0.31	0.45	1.15	0.49	0.57
10% Βαμβ/λαιο #1	0.68	0.35	0.47	0.74	0.35	0.50	1.17	0.53	0.60
10% Βαμβ/λαιο #2	0.64	0.34	0.45	0.71	0.34	0.47	1.17	0.48	0.59
10% Βαμβ/λαιο+προσθ. #1	0.65	0.32	0.44	0.68	0.32	0.45	1.08	0.48	0.57
10% Βαμβ/λαιο+προσθ. #2	0.67	0.34	0.46	0.65	0.34	0.45	1.08	0.45	0.54
20% Βαμβ/λαιο #1	0.77	0.40	0.54	0.79	0.40	0.55	1.34	0.60	0.69
20% Βαμβ/λαιο #2	0.75	0.39	0.52	0.74	0.39	0.52	1.27	0.59	0.64
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #1	0.76	0.43	0.55	0.85	0.43	0.58	1.39	0.60	0.68
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #2	0.64	0.36	0.46	0.74	0.36	0.50	1.18	0.53	0.60
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #3	0.77	0.41	0.54	0.77	0.41	0.54	1.23	0.54	0.68
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #4	0.68	0.40	0.50	0.75	0.40	0.53	1.24	0.59	0.72
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #5	0.75	0.43	0.55	0.87	0.49	0.63	1.34	0.64	0.78
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #6	0.69	0.44	0.54	0.77	0.44	0.56	1.27	0.58	0.70
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #7	0.78	0.47	0.58	0.77	0.47	0.58	1.25	0.56	0.80
100% Diesel #3	0.74	0.42	0.54	0.83	0.42	0.57	1.38	0.61	0.82
100% Diesel #4	0.76	0.46	0.57	0.85	0.46	0.60	1.32	0.64	0.72
100% Diesel 20W50	0.80	0.57	0.65	0.96	0.57	0.71	1.42	0.61	0.89
100% Diesel 20W50	0.86	0.52	0.65	0.91	0.52	0.67	1.32	0.67	1.01
average	0.72	0.41	0.52	0.77	0.41	0.54	1.25	0.56	0.69

Πίνακας 14-6 Μετρήσεις εκπομπών PM VW Golf

PM [g/km]	UDC cold	EUDC	NEDC	UDC hot	EUDC	NEDC hot	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw
100% Diesel #1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.09	0.09	0.08
100% Diesel #2	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.09	0.09	0.10
10% Βαμβ/λαιο #1	0.07	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.09	0.13	0.10
10% Βαμβ/λαιο #2	0.07	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.07	0.07	0.07
10% Βαμβ/λαιο+προσθ. #1	0.08	0.06	0.07	0.05	0.06	0.06	0.10	0.12	0.11
10% Βαμβ/λαιο+προσθ. #2	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07
20% Βαμβ/λαιο #1	0.10	0.07	0.08	0.06	0.07	0.06	0.10	0.12	0.09
20% Βαμβ/λαιο #2	0.09	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05	0.09	0.06	0.06
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #1	0.08	0.07	0.08	0.04	0.07	0.06	0.06	0.08	0.07
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #2	0.08	0.04	0.06	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #3	0.08	0.06	0.07	0.05	0.06	0.05	0.09	0.10	0.09
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #4	0.09	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #5	0.08	0.06	0.07	0.05	0.06	0.05	0.08	0.10	0.08
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #6	0.11	0.08	0.09	0.05	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08
20% Βαμβ/λαιο+προσθ. #7	0.08	0.04	0.06	0.04	0.04	0.04	0.06	0.05	0.06
100% Diesel #3	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.04	0.07	0.08	0.09
100% Diesel #4	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.07	0.07	0.08
100% Diesel 20W50	0.05	0.06	0.06	0.04	0.06	0.05	0.07	0.06	0.08
100% Diesel 20W50	0.04	0.06	0.05	0.04	0.06	0.05	0.07	0.07	0.09
average	0.07	0.06	0.06	0.04	0.06	0.05	0.08	0.08	0.08

Πίνακας 14-7 Μετρήσεις εκπομπών CO₂ Renault Laguna

CO ₂ [g/km]	UDC cold	EUDC	NEDC	UDC hot	EUDC	NEDC hot	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw
#1 Αναφορά	193.58	124.58	149.85	168.35	124.58	140.66	213.75	133.92	149.95
#2 Αναφορά	193.87	122.41	148.60	165.03	122.41	138.13	213.47	132.38	148.53
#3 Συνθετικό Λιπαντικό	201.12	115.29	146.70	164.32	115.29	133.32			
#4 Συνθετικό Λιπαντικό	190.90	116.34	143.63	164.49	116.34	134.08	216.00	130.16	150.41
#5 10% Βαμβ/λαιο+συνθετικό λιπαντικό	194.91	117.95	146.07	167.31	117.95	136.15	215.73	129.57	148.04
#6 10% Βαμβ/λαιο+συνθετικό λιπαντικό	197.45	118.39	147.40	167.19	118.39	136.39	214.33	126.43	146.99
#7 10% Βαμβ/λαιο+συνθετικό λιπαντικό έλεγχος	183.74	112.52	138.62	160.68	107.44	127.05			
#8 10% Βαμβ/λαιο+συνθετικό λιπαντικό (12/06)	203.08	124.11	153.20	176.74	124.11	143.51	230.78	134.03	157.12
#9 10% Βαμβ/λαιο+συνθετικό λιπαντικό (12/06)	206.71	123.94	154.25	176.84	123.94	143.43	231.67	133.88	155.81
#10 Συνθετικό λιπαντικό	198.31	121.62	149.63	170.53	129.29	144.50	218.25	132.03	156.91
#11 Συνθετικό λιπαντικό	197.17	120.76	149.00	170.26	128.43	143.87	221.97	131.89	154.96
average	196.44	119.81	147.90	168.34	120.74	138.28	219.55	131.59	152.08

Πίνακας 14-8 Μετρήσεις κατανάλωσης καυσίμου Renault Laguna

FC [l/100 km]	UDC cold	EUDC	NEDC	UDC hot	EUDC	NEDC hot	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw
#1 Αναφορά	7.39	4.72	5.70	6.38	4.72	5.33	8.11	5.07	5.68
#2 Αναφορά	7.40	4.64	5.65	6.25	4.64	5.23	8.09	5.01	5.62
#3 Συνθετικό Λιπαντικό	7.68	4.37	5.58	6.23	4.37	5.05			
#4 Συνθετικό Λιπαντικό	7.30	4.41	5.47	6.23	4.41	5.08	8.19	4.93	5.70
#5 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό	7.40	4.43	5.51	6.28	4.43	5.11	8.10	4.86	5.55
#6 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό	7.49	4.44	5.56	6.27	4.44	5.12	8.04	4.74	5.51
#7 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό έλεγχος	6.94	4.22	5.22	6.03	4.03	4.77			
#8 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό (12/06)	7.65	4.65	5.76	6.63	4.65	5.38	8.66	5.03	5.89
#9 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό (12/06)	7.80	4.65	5.80	6.63	4.65	5.38	8.69	5.02	5.84
#10 Συνθετικό λιπαντικό	7.55	4.61	5.68	6.46	4.90	5.47	8.27	5.00	5.94
#11 Συνθετικό λιπαντικό	7.51	4.57	5.66	6.45	4.86	5.45	8.41	4.99	5.87
average	7.46	4.52	5.60	6.35	4.55	5.22	8.28	4.96	5.73

Πίνακας 14-9 Μετρήσεις εκπομπών CO Renault Laguna

CO [g/km]	UDC cold	EUDC	NEDC	UDC hot	EUDC	NEDC hot	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw
#1 Αναφορά	0.83	0.03	0.32	0.08	0.03	0.05	0.22	0.05	0.03
#2 Αναφορά	0.79	0.03	0.31	0.07	0.03	0.04	0.16	0.04	0.02
#3 Συνθετικό Λιπαντικό	0.97	0.03	0.37	0.12	0.03	0.06			
#4 Συνθετικό Λιπαντικό	1.12	0.02	0.42	0.08	0.02	0.04	0.26	0.04	0.02
#5 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό	1.36	0.03	0.52	0.09	0.03	0.06	0.18	0.04	0.02
#6 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό	1.29	0.02	0.48	0.07	0.02	0.04	0.11	0.02	0.02
#7 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό έλεγχος	0.72	0.01	0.27	0.04	0.01	0.02			
#8 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό (12/06)	0.61	0.01	0.23	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01
#9 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό (12/06)	0.73	0.01	0.27	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01
#10 Συνθετικό λιπαντικό	0.66	0.01	0.25	0.02	0.01	0.01	0.05	0.02	0.02
#11 Συνθετικό λιπαντικό	0.61	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.01
average	0.88	0.02	0.33	0.06	0.02	0.03	0.12	0.03	0.02

Πίνακας 14-10 Μετρήσεις εκπομπών HC Renault Laguna

HC [g/km]	UDC cold	EUDC	NEDC	UDC hot	EUDC	NEDC hot	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw
#1 Αναφορά	0.09	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
#2 Αναφορά	0.10	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00
#3 Συνθετικό Λιπαντικό	0.09	0.01	0.04	0.03	0.01	0.02			
#4 Συνθετικό Λιπαντικό	0.09	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00
#5 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό	0.11	0.01	0.05	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
#6 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό	0.09	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
#7 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό έλεγχος	0.07	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02			
#8 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό (12/06)	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01
#9 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό (12/06)	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
#10 Συνθετικό λιπαντικό	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
#11 Συνθετικό λιπαντικό	0.05	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
average	0.07	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01

Πίνακας 14-11 Μετρήσεις εκπομπών NOx Renault Laguna

NOx [g/km]	UDC cold	EUDC	NEDC	UDC hot	EUDC	NEDC hot	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw
#1 Αναφορά	0.51	0.34	0.40	0.56	0.34	0.42	0.88	0.46	0.55
#2 Αναφορά	0.50	0.32	0.38	0.51	0.32	0.39	0.87	0.46	0.54
#3 Συνθετικό Λιπαντικό	0.54	0.31	0.39	0.55	0.31	0.40			
#4 Συνθετικό Λιπαντικό	0.55	0.33	0.41	0.54	0.33	0.41	0.97	0.48	0.59
#5 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό	0.49	0.28	0.36	0.52	0.28	0.37	1.02	0.48	0.52
#6 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό	0.47	0.29	0.36	0.51	0.29	0.37	0.90	0.43	0.53
#7 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό έλεγχος	0.61	0.35	0.44	0.63	0.43	0.50			
#8 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό (12/06)	0.53	0.33	0.40	0.52	0.33	0.40	0.92	0.46	0.59
#9 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό (12/06)	0.54	0.33	0.41	0.52	0.33	0.40	0.90	0.44	0.55
#10 Συνθετικό λιπαντικό	0.53	0.33	0.41	0.56	0.33	0.42	0.90	0.45	0.62
#11 Συνθετικό λιπαντικό	0.55	0.34	0.42	0.58	0.34	0.43	0.97	0.49	0.66
average	0.53	0.32	0.40	0.55	0.33	0.41	0.93	0.46	0.57

Πίνακας 14-12 Μετρήσεις εκπομπών PM Renault Laguna

PM [g/km]	UDC cold	EUDC	NEDC	UDC hot	EUDC	NEDC hot	Artem Urban	Artem Road	Artem Mtw
#1 Αναφορά	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.09	0.09	0.08
#2 Αναφορά	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.07	0.04	0.05
#3 Συνθετικό Λιπαντικό	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03			
#4 Συνθετικό Λιπαντικό	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.06	0.04	0.07
#5 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.04
#6 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.04
#7 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό έλεγχος	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03			
#8 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό (12/06)	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.08	0.06	0.08
#9 10% Βαμβα/λαιο+συνθετικό λιπαντικό (12/06)	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.04	0.05
#10 Συνθετικό λιπαντικό	0.06	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.05	0.08
#11 Συνθετικό λιπαντικό	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.06	0.05	0.05
average	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.07	0.05	0.06

Πίνακας 14-13 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 14-14 Μετρήσεις εκπομπών στον κινητήρα πέδης με μίγμα βαμβακελαίου ντιζελ 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 14-15 Μετρήσεις εκπομπών στον κινητήρα πέδης με ντιζελ 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
