

«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 1

Διερεύνηση της επίδρασης του ειδικού καυσίμου.

Γεώργιος Φονταράς, Παναγιώτης Πιστικόπουλος, Ζήσης Σαμαράς, Γεώργιος Μήλτσιος,
Αναστάσιος Μωϋσιάδης

Απρίλιος 2006

Περίληψη

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος ΕΠΕΑΕΚ Αρχιμήδης ΙΙ. Στόχος της ήταν η θεωρητική και πειραματική διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης του βαμβακελαίου και των μιγμάτων του με συμβατικό ντίζελ ως καυσίμων κινητήρων έναυσης με συμπίεση.

Στο κείμενο αυτό επιχειρείται σύντομη ανασκόπηση των εφαρμογών των βιοκαυσίμων σε σύγχρονους κινητήρες Diesel καθώς και ορισμένων στοιχείων του Ευρωπαϊκού Δικαίου τα οποία διέπουν την αγορά των βιοκαυσίμων. Στη συνέχεια της έκθεσης παρουσιάζονται μετρήσεις διαφόρων φυσικών ιδιοτήτων που πραγματοποιήθηκαν σε μίγματα βαμβακελαίου με Diesel αναλυτικά, αλλά και στις εκπομπές αερίων ρύπων πραγματικού οχήματος, ενώ παρατίθενται και στοιχεία σχετικά με τις μεθόδους που ακολουθήθηκαν. Ακολουθεί σύντομη ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων των μετρήσεων.

Περιεχόμενα

0	Εκτεταμένη Περίληψη	4
1	Εισαγωγή.....	7
2	Βιοκαύσιμα	8
2.1	Τα βιοκαύσιμα στην Ευρωπαϊκή Ένωση	8
2.2	Βιοντίζελ και φυτικά έλαια	9
3	Στόχος της εργασίας - Δραστηριότητες	13
4	Επεξεργασία του βαμβακελαίου	15
5	Μετρήσεις ιδιοτήτων μιγμάτων βαμβακελαίου - πετρελαίου	17
5.1	Μετρήσεις αριθμού κετανίου	17
5.2	Μετρήσεις πυκνότητας	19
5.3	Μετρήσεις θερμογόνου δύναμης	21
5.4	Μετρήσεις ιξώδους.....	22
5.5	Ιδιότητες ψυχρής ροής.....	23
5.6	Άλλες ιδιότητες των καυσίμων μιγμάτων	24
5.7	Χρήση πρόσθετου	25
5.8	Επιλογή καυσίμων μιγμάτων για μετρήσεις εκπομπών.....	28
6	Μετρήσεις εκπομπών αερίων ρύπων.....	29
6.1	Μεθοδολογία	29
6.2	Νομοθετημένες εκπομπές και κατανάλωση καυσίμου	31
6.3	Μη νομοθετημένες σωματιδιακές εκπομπές	38
7	Ελαστικότητα του κινητήρα.....	44
8	Σύνοψη - Συμπεράσματα	45
9	Επόμενα βήματα.....	47
10	Βιβλιογραφία.....	48
11	Παράρτημα	51

2 Εκτεταμένη Περίληψη

Το παρόν κείμενο συνοψίζει τα αποτελέσματα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε στη χρήση βαμβακελαίου ως καυσίμου κινητήρων έναυσης με συμπίεση (κινητήρων Diesel). Για τη διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης του βαμβακελαίου ως καυσίμου κινητήρων Diesel πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ορισμένων κρίσιμων ιδιοτήτων του βαμβακελαίου καθώς και μιγμάτων αυτού με συμβατικό καύσιμο Diesel κίνησης. Επιπροσθέτως, ξεκίνησε και βρίσκεται σε εξέλιξη η χρήση των μιγμάτων αυτών σε πραγματικό όχημα Diesel στο οποίο γίνεται συστηματική καταγραφή τόσο των εκπεμπόμενων ρύπων όσο και της λειτουργίας του κινητήρα.

Εξετάστηκαν όλες οι ιδιότητες του βαμβακελαίου και των μιγμάτων του με Diesel που προδιαγράφονται από την ευρωπαϊκή νομοθεσία (οδηγίες 2003/17/EK και 1998/70/EK) που αφορά τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση. Οι ιδιότητες που μετρήθηκαν ήταν η πυκνότητα, η θερμογόνος δύναμη, ο αριθμός κετανίου και το ιξώδες. Οι λοιπές ιδιότητες των μιγμάτων εκτιμήθηκαν με βάση δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας και κυρίως από μετρήσεις του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών του ΕΜΠ.

- Οι μετρήσεις αριθμού κετανίου έδειξαν ότι, παρόλο που το βαμβακέλαιο έχει σημαντικά μικρότερο αριθμό κετανίου συγκριτικά με το Diesel (41.2 έναντι 52.5), ο αριθμός κετανίου των μιγμάτων Diesel – βαμβακελαίου εξελίσσεται με μη γραμμικό τρόπο, με τα μίγματα βαμβακελαίου - Diesel σε συγκεντρώσεις ως 30% κατ' όγκο να βελτιώνουν τον αριθμό κετανίου του καυσίμου. Η βιβλιογραφική διερεύνηση έδειξε πως αντίστοιχα φαινόμενα έχουν παρατηρηθεί και με άλλα φυτικά έλαια.
 - Σε ό,τι αφορά την πυκνότητα σε θερμοκρασία 15°C, που είναι και προδιαγεγραμμένη από την νομοθεσία θερμοκρασία ελέγχου της πυκνότητας, το Diesel έχει πυκνότητα 836 kg/m³ ενώ το βαμβακέλαιο 926 kg/m³. Υπολογίστηκε μέσω μετρήσεων πως η αναμενόμενη μέγιστη περιεκτικότητα κατ' όγκο σε βαμβακέλαιο η οποία θα βρίσκεται εντός των προδιαγραφών της νομοθεσίας θα κυμαίνεται μεταξύ 10 - 15%.
 - Η μεταβολή της θερμογόνου δύναμης των μιγμάτων βαμβακελαίου - diesel συναρτήσει της κατ' όγκο περιεκτικότητας σε βαμβακέλαιο είναι γραμμική με οριακές τιμές 44963kJ/kg για το καθαρό Diesel και 40086 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 της βιβλιογραφίας δείχνουν πως μίγματα χαμηλών
-

περιεκτικότητας σε βαμβακέλαιο πληρούν τις νομοθετημένες προδιαγραφές για τις ιδιότητες αυτές.

Για την αποφυγή τυχόν προβλημάτων τα οποία μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία του οχήματος αποφασίστηκε η χρήση προσθέτου στα καύσιμα, το οποίο βελτιώνει τις ιδιότητες ψυχρής ροής και δρα ως καθαριστικό του συστήματος έγχυσης. Σε χαμηλές θερμοκρασίες (κοντά στους 0°C) παρουσιάστηκαν προβλήματα κατά την κρύα εκκίνηση τα οποία ξεπεράστηκαν με τη χρήση του προσθέτου. Η εκκίνηση του οχήματος με τη χρήση του προσθέτου δεν παρουσίασε κανένα πρόβλημα ακόμα και στους -5°C.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα ξεκίνησε και εξελίσσεται πιλοτική χρήση στην κίνηση επιβατικού οχήματος (VW Golf 1.9 TDi, Euro 2) δύο καυσίμων μιγμάτων με συγκέντρωση 10% και 20% σε βαμβακέλαιο, με και χωρίς χρήση του βελτιωτικού προσθέτου. Στο όχημα καταγράφονται και παρακολουθούνται όλα τα λειτουργικά χαρακτηριστικά έτσι ώστε να εντοπιστούν και να αναλυθούν οι όποιες επιπτώσεις των καυσίμων στην λειτουργία του κινητήρα. Παράλληλα με την παρακολούθηση του οχήματος, σε τακτά διαστήματα πραγματοποιούνται μετρήσεις εκπομπών αερίων ρύπων για κάθε καύσιμο σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές έγκρισης τύπου. Η διατήρηση των εκπομπών ρύπων του οχήματος στα προδιαγεγραμμένα επίπεδα αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την εισαγωγή και χρήση οποιουδήποτε βιοκαυσίμου στην Ευρωπαϊκή αγορά.

Μέχρι τη συγγραφή αυτής της έκθεσης έχουν διανυθεί περίπου 8000 km λειτουργίας του οχήματος. Οι μετρήσεις εκπομπών αερίων ρύπων, κατανάλωσης και ελαστικότητας δείχνουν ότι

- Το βαμβακέλαιο στο καύσιμο σε συγκεντρώσεις ως 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 επιδρά θετικά στις εκπομπές CO₂ και στην κατανάλωση καυσίμου του οχήματος οδηγώντας σε μειώσεις της τάξεως του 3%. Η χρήση προσθέτου οδηγεί σε περαιτέρω βελτιώσεις της τάξεως του 6%.
- Η χρήση των πειραματικών καυσίμων δεν φαίνεται να έχει επίδραση στην ισχύ του κινητήρα.

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

- Συνέχιση και ολοκλήρωση των μετρήσεων στο Golf TDi βάσει του υφισταμένου προγράμματος (πραγματοποίηση χιλιομέτρων, επιπρόσθετες μετρήσεις, άνοιγμα του κινητήρα και έλεγχος για επιπτώσεις στο σύστημα τροφοδοσίας).
-

- Επιλογή και εφαρμογή μίγματος βαμβακελαίου – Diesel – προσθέτου σε αυτοκίνητο σύγχρονης τεχνολογίας με σύστημα έγχυσης Common Rail. Μελέτη της επίδρασης του καυσίμου στη λειτουργία αλλά και στις εκπομπές του οχήματος.
 - Εμβάθυνση στην καύση των συγκεκριμένων καυσίμων μέσω πειραματικών μετρήσεων σε εργαστηριακό κινητήρα. Ανάλυση γραμμής καύσης – σύγκριση με την αντίστοιχη συμβατικού καυσίμου.
-

3 Εισαγωγή

Το θέμα της παρούσας έκθεσης είναι η αξιολόγηση του βαμβακελαίου ως καυσίμου κινητήρων έναυσης με συμπίεση (κινητήρων Diesel). Για τη διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης του βαμβακελαίου ως καυσίμου κινητήρων Diesel πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ορισμένων κρίσιμων ιδιοτήτων του βαμβακελαίου καθώς και μιγμάτων αυτού με συμβατικό καύσιμο Diesel κίνησης. Παράλληλα, μίγματα βαμβακελαίου Diesel χρησιμοποιήθηκαν σε πραγματικό όχημα και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για την αξιολόγηση της επίδρασης των καυσίμων αυτών στις εκπομπές ρύπων του οχήματος, νομοθετημένες και μη.

Σύμφωνα με το έντυπο υποβολής του Υποέργου η ερευνητική δραστηριότητα που περιγράφεται στην παρούσα έκθεση εντάσσεται στην πρώτη φάση της όλης διαδικασίας. Κατά τη φάση αυτή θα πραγματοποιηθούν τα πακέτα εργασίας Π.Ε.1 και Π.Ε.2 τα οποία περιλαμβάνουν το μεν πρώτο αλλαγή του λιπαντικού και γήρανσή του για να μελετηθεί η επίδρασή του στην απόδοση του κινητήρα και στις εκπομπές (**Π.Ε.1**) το δε δεύτερο αλλαγή και του καυσίμου για να μελετηθεί η συνδυασμένη επίδραση λιπαντικού και καυσίμου (**Π.Ε.2**). Παρόλα αυτά, στην πορεία αποφασίσθηκε να προηγηθεί η χρήση του ειδικού καυσίμου, δηλαδή του βαμβακελαίου, αντί του ειδικού λιπαντικού, μια ενέργεια η οποία ενέχει μεγάλο βαθμό πρωτοτυπίας – το βαμβακέλαιο έχει ελάχιστα μελετηθεί ως αυτούσιο καύσιμο κινητήρων Diesel - καθώς και **ιδιαίτερο εθνικό ενδιαφέρον** αφού η Χώρα μας διαθέτει μεγάλο δυναμικό βαμβακελαίου, πιθανή χρήση του οποίου ως καυσίμου θα επηρέαζε όλους τους τομείς της Οικονομίας. Βασικός λόγος για την αλλαγή αυτή ήταν η έλλειψη βιβλιογραφίας για τη χρήση βαμβακελαίου σε πραγματικά οχήματα και η ανάγκη για διαπίστωση ότι η χρήση του δεν θα είχε καταστροφικά αποτελέσματα στον κινητήρα, το οποίο θα είχε ως συνέπεια τη διακοπή του ερευνητικού Προγράμματος. Όπως αποδείχτηκε εκ των πραγμάτων, και προκύπτει και από την παρούσα έκθεση, το βαμβακέλαιο συμπεριφέρθηκε καλά οπότε το Πρόγραμμα θα συνεχισθεί κανονικά με χρήση δηλαδή ειδικού καυσίμου και ειδικού λιπαντικού. Πρέπει να τονισθεί ότι η οικονομία και η επιστημονική πληρότητα του Προγράμματος επέβαλλαν την εσωτερική αυτή αλλαγή η οποία σε καμία περίπτωση δεν θα επηρέασει το τελικό αποτέλεσμα όπως αυτό προδιαγράφεται στο εγκριθέν ερευνητικό Πρόγραμμα.

Στο κείμενο που ακολουθεί πραγματοποιείται κατ' αρχήν 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. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μετρήσεις αναλυτικά και παρατίθενται στοιχεία σχετικά με τις μεθόδους που ακολουθήθηκαν. Ακολουθεί ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων των μετρήσεων. Τέλος, μαζί με τα συμπεράσματα της έρευνας παρουσιάζονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο αυτό.

4 Βιοκαύσιμα

Η ιδέα της χρήσης καυσίμων τα οποία προέρχονται από βιομάζα και λοιπές βιολογικές πηγές σε κινητήρες εσωτερικής καύσης δεν είναι καινούρια. Ο ίδιος ο εφευρέτης των κινητήρων έναυσης με συμπίεση 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 Ελλάδα όπου υπάρχει σημαντικό εκμεταλλεύσιμο δυναμικό παραγωγής βιοκαυσίμων [Γερονικολού και Κυρίτσης 2005], το ενδιαφέρον τα επόμενα χρόνια αναμένεται να είναι ακόμα πιο έντονο.

4.1 Τα βιοκαύσιμα στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η συνεχής ενίσχυση των κλιματικών αλλαγών του πλανήτη καθώς και η αυξανόμενη ανάγκη των ευρωπαϊκών κρατών να αποδесμευτούν 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 λεγόμενα 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 για τις μεταφορές θεωρείται κάθε υγρό ή αέριο καύσιμο 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 βαμβάκελαιο 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 ως 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 τέλος του 2010 στο 5.75%. 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 τη χρήση φυτικών

ελαίων ως καυσίμων σε κινητήρες εσωτερικής καύσης είτε αμιγή είτε σε ανάμιξη 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 πενταετία ειδικά στην Ελλάδα.

4.2 Βιοντίζελ και φυτικά έλαια

Μέχρι στιγμής οι κύριες μορφές βιοκαυσίμων για χρήση σε μηχανές εσωτερικής καύσης οι οποίες παράγονται και διακινούνται παγκοσμίως είναι η βιοαιθανόλη και το βιοντίζελ. Η βιοαιθανόλη 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 βιοαιθανόλης [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 σε ό,τι 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, γεγονός το οποίο 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 αέριων 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 αναφέρθηκε, εκτός από το βιοντίζελ, υπάρχει η δυνατότητα απευθείας χρήσης φυτικών ελαίων ως υποκατάστατων ή συμπληρωματικών προς τα συμβατικό πετρέλαιο. Παγκοσμίως έχουν μελετηθεί πολλοί διαφορετικοί τύποι ελαίων για απευθείας χρήση όπως κραμβέλαιο, λάδι jatropa [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 2-1 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 ευρίσκονται εκτός των προδιαγραφών του πετρελαίου και αποτρέπουν την άμεση χρήση τους σε κινητήρες diesel:

- Το υψηλό τους ιξώδες είναι 10 ως 20 φορές μεγαλύτερο από εκείνο του πετρελαίου (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 παροχής καυσίμου.
 - Η σχετικά υψηλή περιεκτικότητά τους σε ακόρεστες ενώσεις, που περιγράφεται συνολικά από τον αριθμό ιωδίου. Οι ακόρεστοι δεσμοί στις αλυσίδες των λιπαρών οξέων αποτελούν αιτία θερμικής αστάθειας, οξειδωσης και πολυμερισμού, με αποτέλεσμα τη δημιουργία, στις υψηλές θερμοκρασίες της καύσης, στερεών με υψηλή πλαστικότητα, 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 θάλωσης 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.
-

Πίνακας 4-1 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]

- 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 χειροτέρευση 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 καταρχήν αναμένεται ελαφρά μείωση της ισχύος και αύξηση της κατανάλωσης των κινητήρων.
- Η καθυστέρηση έναυσης συνδέεται επίσης με το υψηλό ιξώδες και τη χαμηλή πτητικότητα των φυτικών ελαίων. Η χαμηλή τους πτητικότητα αντανακλάται επίσης στο σημείο ανάφλεξης που είναι πολύ υψηλότερο εκείνου του πετρελαίου.

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.

Κλείνοντας 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. Άν και δεν πρόκειται για επιστημονικές έρευνες, εντούτοις η εμπειρία που καταγράφεται μπορεί να ωφελήσει σε επόμενα στάδια της έρευνας στο αντικείμενο.

5 Στόχος - Δραστηριότητες

Η παράθεση των δεδομένων της βιβλιογραφίας του κεφαλαίου 2 ισχύει βέβαια και για το βαμβακέλαιο που αποτελεί το στόχο της ερευνητικής δραστηριότητας. Η ανάλυση που προηγήθηκε οδήγησε την προσπάθεια της Επιστημονικής Ομάδας στις παρακάτω δράσεις:

- Να διευκρινίσει 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, τότε να γίνει καταρχήν προσδιορισμός της βέλτιστης περιοχής συγκέντρωσης βαμβακελαίου στο πετρέλαιο κίνησης. Παράλληλα να διερευνήσει τη χρήση πρόσθετου στο καύσιμο μίγμα που θα έχει ως στόχο τη βελτίωση των ιδιοτήτων ψυχρής ροής και την αποφυγή εμφάνισης προβλημάτων στο σύστημα τροφοδοσίας του κινητήρα. (ΒΗΜΑ 1^ο)
- Μετά τον προσδιορισμό της ενδεχόμενης βέλτιστης συγκέντρωσης βαμβακελαίου να μετρηθεί η επίπτωση στις εκπομπές, στην κατανάλωση και στην ισχύ οχήματος κατά τη διάρκεια ενός πρώτου, σχετικά μικρού, αριθμού χιλιομέτρων (~8000 km), με παράλληλη εναλλακτική χρήση του πρόσθετου στη διάρκεια αυτή των 8000 km. (ΒΗΜΑ 2^ο)
- Να διερευνηθεί η όποια επίπτωση της χρήσης των επιλεγμένων καυσίμων στα μηχανικά μέρη του κινητήρα και στη λειτουργία του μέσω της πραγματοποίησης μεγάλου αριθμού επιπλέον χιλιομέτρων (>10.000 επιπλέον km). (ΒΗΜΑ 3^ο).

Επί πλέον των παραπάνω φυσικών ιδιοτήτων, είναι αυτονόητο ότι τα φυτικά έλαια που προορίζονται για χρήση σε κινητήρες diesel πρέπει να καλύπτουν και άλλες προδιαγραφές, όπως καθαρότητα (όπως αυτή εκφράζεται με το περιεχόμενο σε τέφρα και σε σωματίδια) και περιεχόμενο σε νερό. Αυτά πρέπει να διασφαλιστούν με κατάλληλες διαδικασίες στο σπορελαιουργείο παραγωγής τους.

Μέχρι στιγμής έχουν ολοκληρωθεί τα πρώτα δύο βήματα του Προγράμματος, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται αναλυτικά στο παρόν κείμενο. Το 3^ο βήμα ευρίσκεται σε εξέλιξη και αναμένεται να ολοκληρωθεί μέσα στους προσεχείς μήνες. Αναλυτικά οι δραστηριότητες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-1.

Παράλληλα, με βάση τα μέχρι στιγμής αποτελέσματα, έχουν δρομολογηθεί νέες δραστηριότητες, οι οποίες έχουν ως στόχο τη μελέτη των καυσίμων σε κινητήρες τελευταίας τεχνολογίας καθώς και την εμπάθυνση στην καύση σε πέδη κινητήρων. Οι δραστηριότητες αυτές θα αποτελέσουν το 4^ο βήμα του Προγράμματος. Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της εφαρμογής των καυσίμων αυτών πιλοτικά σε οχήματα ελεγχόμενου στόλου. Για την πραγματοποίηση ενός τέτοιου πλάνου είναι αναγκαία η συνεργασία με άλλους φορείς.

Το 1^ο και 2^ο βήμα αποτελούν μέρος της πρώτης φάσης του Προγράμματος, το 3^ο βήμα δεν αποτελεί συμβατική υποχρέωση του Προγράμματος και το 4^ο βήμα αποτελεί μέρος της δεύτερης φάσης του προγράμματος.

Πίνακας 5-1 Δραστηριότητες στα πλαίσια του Προγράμματος

Βήμα	Εργασία	Κατάσταση
Βήμα 1ο	Μετρήσεις αριθμού κετανίου	Ολοκληρώθηκε
	Μετρήσεις πυκνότητας	
	Μετρήσεις ιξώδους	
	Μετρήσεις θερμογόνου δύναμης	
	Βιβλιογραφική ανασκόπηση άλλων ιδιοτήτων	
	Αξιολόγηση πιθανών καυσίμων	
	Επιλογή καυσίμων μιγμάτων	
Βήμα 2ο	Επιλογή πειραματικού οχήματος	Ολοκληρώθηκε
	Service και καταγραφή (φωτογράφιση) κατάστασης κινητήρα	
	Ροντάρισμα (1030km)	
	Μέτρηση εκπομπών και κατανάλωσης αναφοράς	
	Αλλαγή καυσίμου (10% βαμβακέλαιο)	
	Ροντάρισμα (1900km)	
	Μέτρηση (εκπομπές, κατανάλωση, ισχύς) (10% βαμβακέλαιο)	
	Αλλαγή καυσίμου (10% βαμβακέλαιο+πρόσθετο)	
	Ροντάρισμα (2790km)	
	Μέτρηση (εκπομπές, κατανάλωση, ισχύς) (10% βαμβακέλαιο+πρόσθετο)	
	Αλλαγή καυσίμου (20% βαμβακέλαιο)	
	Ροντάρισμα (1250km)	
	Μέτρηση (εκπομπές, κατανάλωση, ισχύς) (20% βαμβακέλαιο)	
	Αλλαγή καυσίμου (20% βαμβακέλαιο+πρόσθετο)	
	Ροντάρισμα (1430km)	
Μέτρηση (εκπομπές, κατανάλωση, ισχύς) (20% βαμβακέλαιο+πρόσθετο)		
Βήμα 3ο	Οδήγηση > 5000 km	Σε εξέλιξη
	Μέτρηση (εκπομπές, κατανάλωση, ισχύς)	
	Πιθανή αλλαγή καυσίμου αν κριθεί αναγκαίο	
	Οδήγηση > 5000 km	
	Μέτρηση (εκπομπές, κατανάλωση, ισχύς)	
	Καταγραφή (φωτογράφιση) κατάστασης κινητήρα και service	

Επιστροφή σε συμβατικό καύσιμο
Ροντάρισμα (>1000km)
Μέτρηση (εκπομπές, κατανάλωση, ισχύς) αναφοράς

6 Επεξεργασία του βαμβακελαίου

Το βαμβακέλαιο που χρησιμοποιείται στις μετρήσεις παρασκευάζεται στις εγκαταστάσεις του σπορελαιουργείου της Θεσσαλονίκης της Αφοι Καραγιώργου ΑΒΕΕ. Για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο κινητήρων, το βαμβακέλαιο που παράγεται με την υπάρχουσα διεργασία έκθλιψης υπόκειται σε περαιτέρω επεξεργασία που αναπτύχθηκε για τη ιδιαίτερη αυτή εφαρμογή. Η επεξεργασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

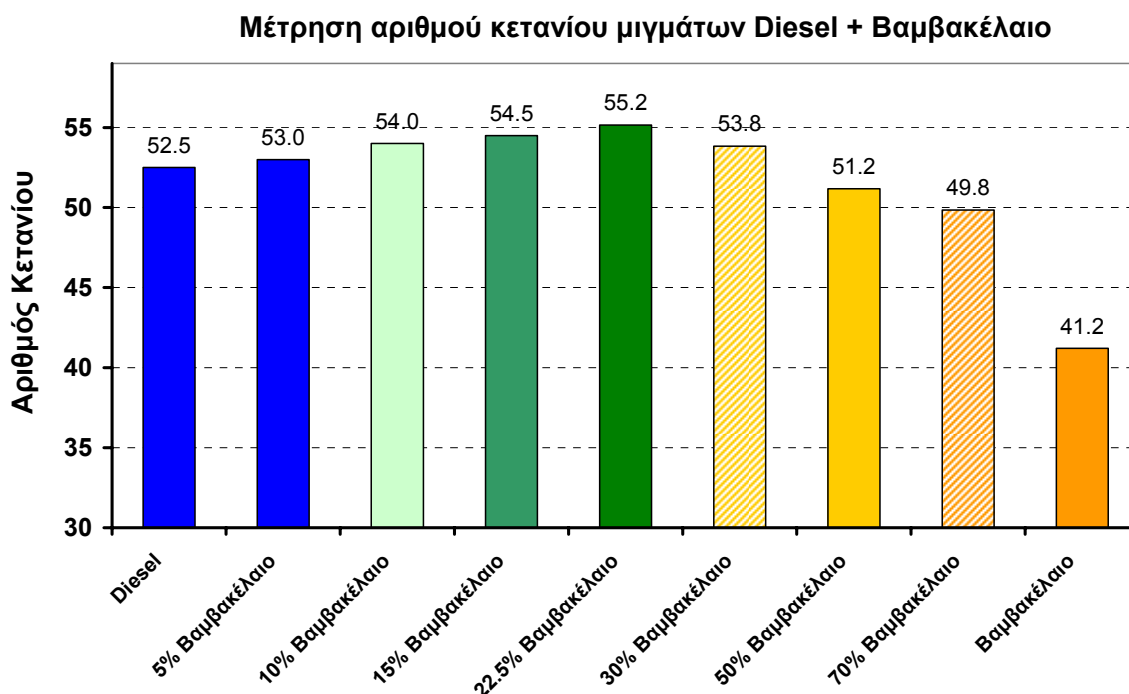
- i. Εξουδετέρωση της οξύτητας με περίσσεια NaOH, πλύση με νερό για την απομάκρυνση του σάπωνος.
 - ii. Ξήρανση σε κενό 30 mm Hg και διήθηση για την απομάκρυνση σωματιδίων και ιχνών σάπωνος.
 - iii. Απομάκρυνση των κλασμάτων που είναι δυνατό να προκαλέσουν απόφραξη του φίλτρου καυσίμου σε χαμηλές θερμοκρασίες 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
-

7 Μετρήσεις ιδιοτήτων μιγμάτων βαμβακελαίου - πετρελαίου

Τα χαρακτηριστικά του βαμβακελαίου τα οποία μετρήθηκαν ήταν η πυκνότητα, η θερμογόνος δύναμη, το ιξώδες και ο αριθμός κετανίου. Η πυκνότητα, το ιξώδες και ο αριθμός κετανίου είναι βασικές ιδιότητες του καυσίμου, οι οποίες προδιαγράφονται από την ευρωπαϊκή νομοθεσία (οδηγίες 2003/17/EK και 1998/70/EK) η οποία αναφέρεται στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση.

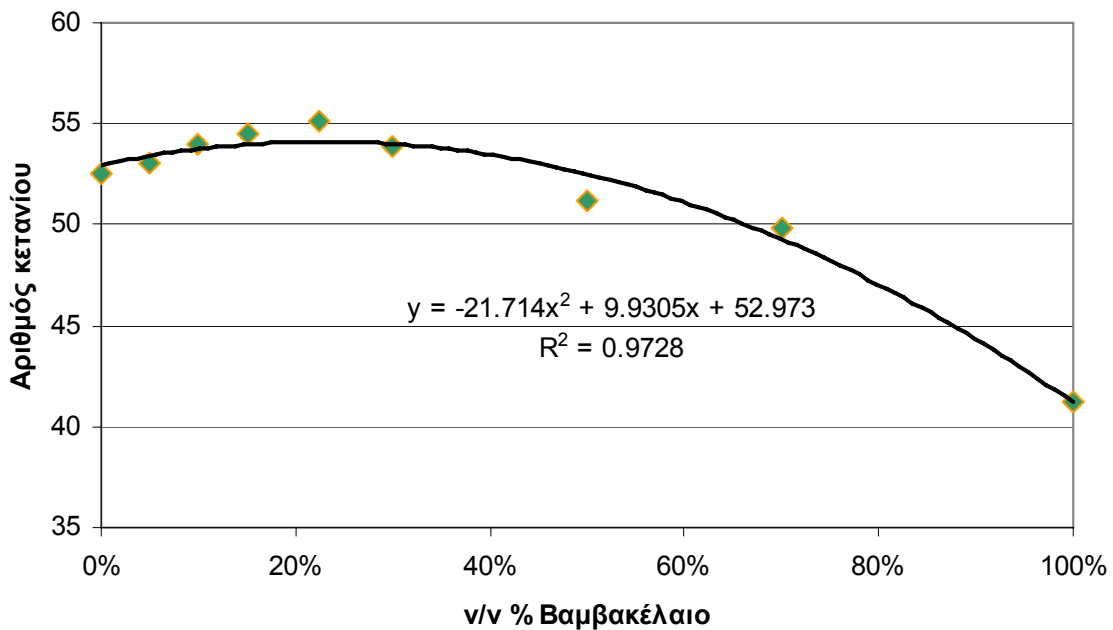
7.1 Μετρήσεις αριθμού κετανίου

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.



Εικόνα 7-1 Αποτελέσματα μετρήσεων αριθμού κετανίου βαμβακελαίου και μιγμάτων του με Diesel σε διάφορες κατ' όγκο περιεκτικότητες

Για τις μετρήσεις του αριθμού κετανίου χρησιμοποιήθηκαν 3 πρότυπα καύσιμα με αριθμούς κετανίου 40, 50 και 54 έτσι ώστε να καλύπτεται όλο το εύρος των αναμενόμενων τιμών του αριθμού κετανίου των δειγμάτων. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις τόσο καθαρού βαμβακελαίου και καθαρού Diesel όσο και μιγμάτων των δύο καυσίμων που παρασκευάστηκαν σε διάφορες κατ' όγκο αναλογίες. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στην Εικόνα 7-1. Η τιμή του αριθμού κετανίου του βαμβακελαίου που μετρήθηκε (CN 41.2) είναι εντός των αναμενόμενων ορίων και σύμφωνη με τις τιμές που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία [Giannelos et al. 2004].



Εικόνα 7-2 Μεταβολή αριθμού κετανίου συναρτήσει της περιεκτικότητας σε βαμβακελαιο

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων αριθμού κετανίου (Εικόνα 7-2) 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). 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 σε θείο του καυσίμου. Οι Kaliaguine et al. αναφέρουν πως οξυγονωμένα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βελτιωτικά αριθμού κετανίου [Kaliaguine 2003]. Οι Ladommatos and 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 μακριά 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 έρευνας αυτής.

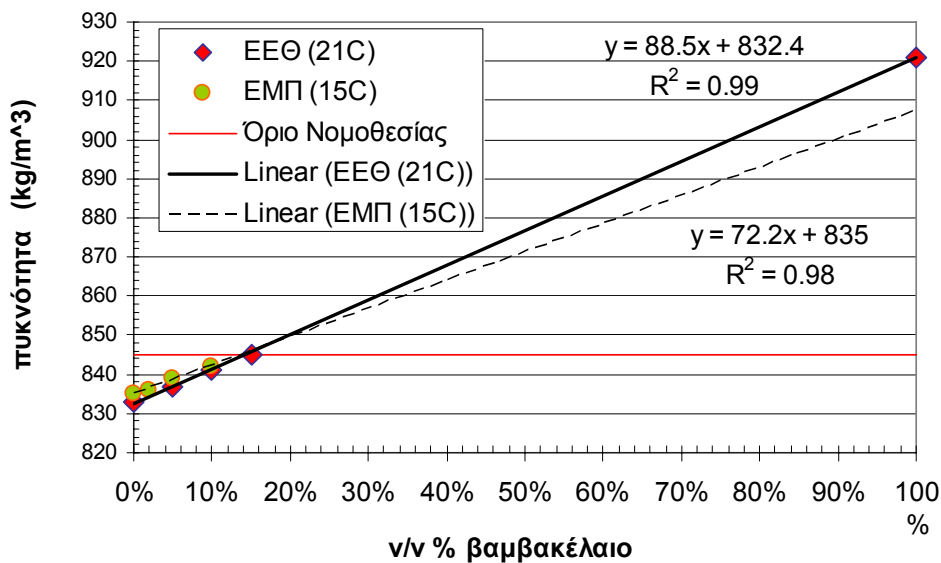
7.2 Μετρήσεις πυκνότητας

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 πραγματοποιήθηκαν 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 5-1, ευρίσκονται εντός των αναμενόμενων ορίων και συμφωνούν με αντίστοιχες τιμές της βιβλιογραφίας [He and Bao 2003].

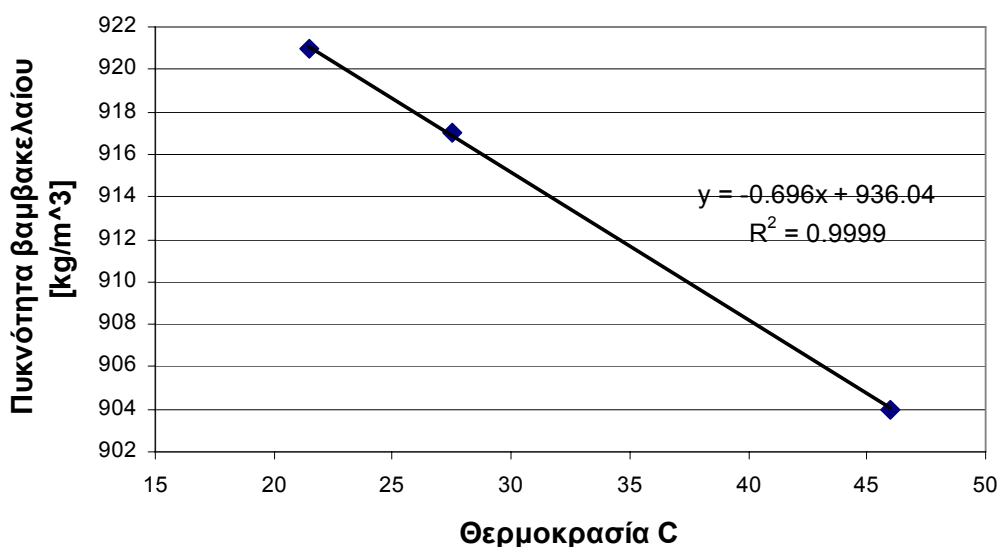
Πίνακας 7-1 Μετρήσεις πυκνότητας

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 7-3, για σταθερή θερμοκρασία η πυκνότητα αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε βαμβακέλαιο. Επιπλέον η Εικόνα 7-4 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 5-3 εκτιμάται πως η αναμενόμενη μέγιστη περιεκτικότητα κατ' όγκο σε βαμβακέλαιο η οποία θα βρίσκεται εντός των προδιαγραφών της νομοθεσίας θα είναι περίπου 15%.



Εικόνα 7-3 Μεταβολή της πυκνότητας του μίγματος συναρτήσει της περιεκτικότητας σε βαμβακέλαιο στους 15 και 21°C



Εικόνα 7-4 Μεταβολή της πυκνότητας του βαμβακελαίου συναρτήσει της θερμοκρασίας

Εκτός από τις μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από το ΕΕΘ, στην Εικόνα 7-3 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. Τέλος, η οριακή περιεκτικότητα βαμβακελαίου η οποία ευρίσκεται εντός των προδιαγραφών είναι σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά περίπου 15% κατ' όγκο.

7.3 Μετρήσεις θερμογόνου δύναμης

Η θερμογόνος δύναμη του καυσίμου δεν προδιαγράφεται από τη 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 5-2 και βρίσκονται εντός των αναμενόμενων ορίων, συμφωνώντας με αντίστοιχες τιμές της βιβλιογραφίας [Demirbas 1999].

Πίνακας 7-2 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 εργάζονται 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.

7.4 Μετρήσεις Ιξώδους

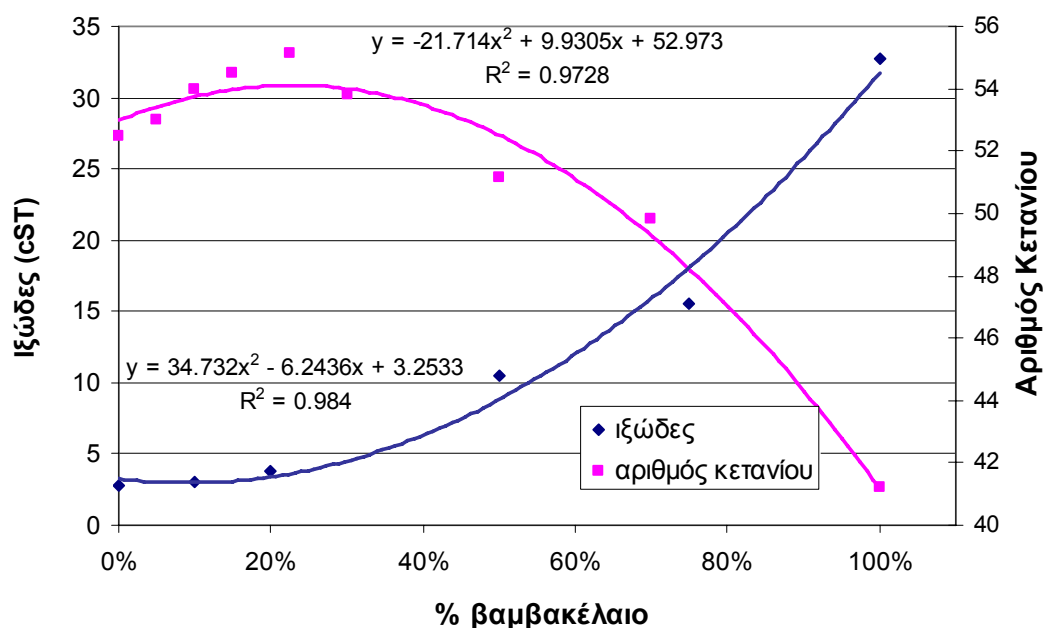
Το ιξώδες προδιαγράφεται από τη νομοθεσία τόσο ως προς την κατώτατη όσο και ως προς την ανώτατη τιμή του. Οι μετρήσεις του ιξώδους πραγματοποιήθηκαν με ιξωδόμετρα τύπου U σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM-D445. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-3 και κινούνται στα αναμενόμενα επίπεδα της βιβλιογραφίας, με την τιμή ιξώδους που μετρήθηκε για μίγματα με 10% βαμβακέλαιο (3 cST) να βρίσκεται πολύ κοντά στην τιμή που δίνεται στην [Ψυχογιού 2004] (3.5 cST).

Οι οριακές τιμές του ιξώδους που προβλέπονται από την νομοθεσία (Πίνακας 4-1) 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 7-3 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 7-5, το ιξώδες δεν μεταβάλλεται γραμμικά με την περιεκτικότητα του μίγματος σε βαμβακέλαιο. Είναι δε ενδιαφέρον ότι ακολουθεί αντίστροφη πορεία από τον αριθμό κετανίου. Στη βιβλιογραφία δεν βρέθηκε κάποιος μηχανισμός ο οποίος να συνδέει τις δυο αυτές φυσικές ιδιότητες. Παρόλα αυτά, αντίστοιχες προσεγγίσεις για τη συσχέτιση διαφόρων φυσικών ιδιοτήτων των καυσίμων έχουν αναφερθεί από τους [Demirbas 1999] και [Ladomatou and Goacher 1994]. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζει ενδιαφέρον και χρειάζεται περαιτέρω μελέτη.



Εικόνα 7-5 Μεταβολή του ιξώδους και του αριθμού κετανίου των μιγμάτων συναρτήσει της περιεκτικότητας τους σε βαμβακέλαιο

7.5 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°C/+5°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 τη μέγιστη τιμή CFPP για τα καύσιμα που κυκλοφορούν στην Ελλάδα.

Ο Πίνακας 5-4 παρουσιάζει δεδομένα ιδιοτήτων ψυχρής ροής μιγμάτων Diesel-βαμβακελαίου, τα οποία ελήφθησαν από μετρήσεις του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών του ΕΜΠ σε μίγματα Diesel με βαμβακέλαιο [Ψυχογιού 2004]. Σημαντικότερο συμπέρασμα είναι ότι οι τιμές δεν διαφοροποιούνται σημαντικά ενώ οι τιμές CFPP διατηρούνται εντός των προδιαγραφών.

Πίνακας 7-4 Μετρήσεις ιδιοτήτων ψυχρής ροής μιγμάτων Diesel-βαμβακελαίου [Ψυχογιού 2004]

% v/v Βαμβακέλαιο	Σημείο Θόλωσης °C	Σημείο Ροής °C	CFPP °C
0%	7	-12	-8
2%	9	-12	-8
5%	10	-11	-9
10%	10	-10	-10

7.6 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 5-5. 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 7-5 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)
Διάβρωση Χαλκού στους 50°C 3 ώρες	No 1a	Tuter 1998	No1 (EN590)
Νερό mg/kg	Ίχνη	Tuter 1998	200max (EN590)
Τέφρα % m/m	<0.01	Καρβαλάκης et al.	0.01max (EN590)
Ανθρακούχο υπόλειμμα %m/m	0.272	Καρβαλάκης et al.	0.3max (EN590)

7.7 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. Ανάμεσά 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

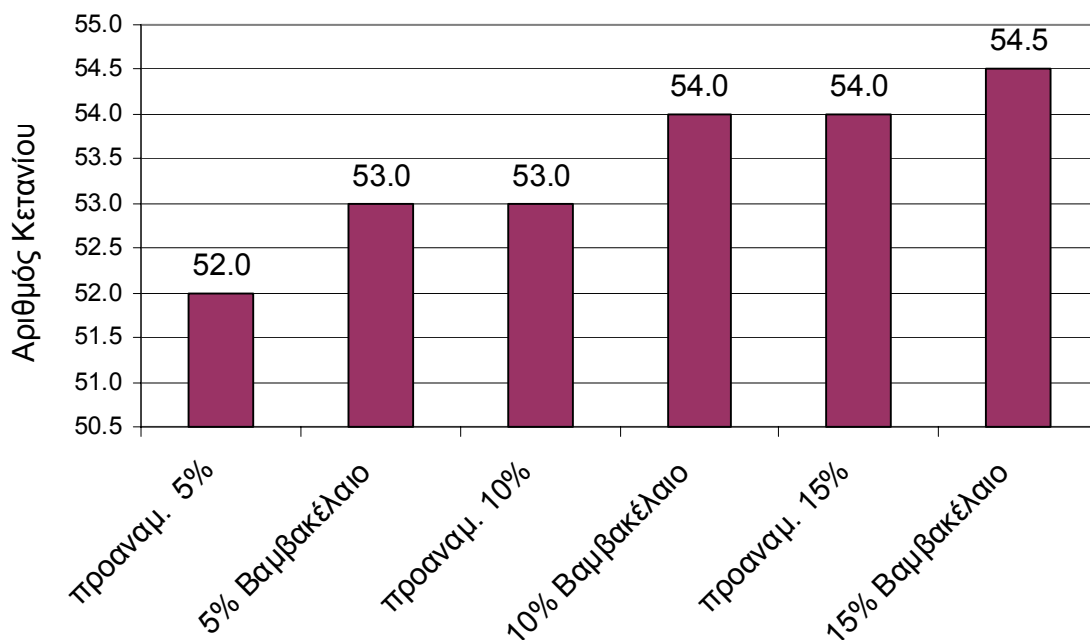
Καραγιώργου ABEE είναι οργανικής βάσης και λειτουργεί ως καθαριστικό του συστήματος τροφοδοσίας και του κινητήρα και βελτιώνει τις ιδιότητες των καυσίμων σε χαμηλές θερμοκρασίες. Το πρόσθετο αναμιγνυόταν καταρχήν με το καθαρό βαμβακέλαιο σε συγκεντρώσεις 4000 έως 8000 ppm (μερών στο εκατομμύριο), και 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 έως 800 ppm στην περίπτωση 10% βαμβακελαίου
- 800 έως 1600 ppm στην περίπτωση 20% βαμβακελαίου.

Σημειώνεται ότι μέχρι το παρόν στάδιο της μελέτης δεν έγινε καμιά προσπάθεια βελτιστοποίησης της συγκέντρωσης του προσθέτου στα καύσιμα μίγματα. Η πρόσμιξή του στηρίχθηκε σε προηγούμενες παρατηρήσεις και εμπειρική γνώση.

Είναι αυτονόητο ότι στις παραπάνω συγκεντρώσεις το πρόσθετο οφείλει να μην επηρεάζει καμιά άλλη φυσική ιδιότητα του καυσίμου πέραν εκείνων που καλείται να βελτιώσει. Λόγω των πολύ χαμηλών συγκεντρώσεών του αναμένονται μη μετρήσιμες διαφοροποιήσεις των διαφόρων ιδιοτήτων.

Δειγματοληπτικά και για την πιστοποίηση της παραπάνω υπόθεσης, παράλληλα με τις μετρήσεις αριθμού κετανίου μιγμάτων χωρίς πρόσθετο πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις σε προαναμεμιγμένα μίγματα Diesel – βαμβακελαίου - προσθέτου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 7-6.



Εικόνα 7-6 Σύγκριση αριθμού κετανίου καθαρών μιγμάτων και μιγμάτων με πρόσθετο (προαναμεμιγμένα) – Συγκέντρωση προσθέτου στο βαμβακέλαιο 4000 ppm.

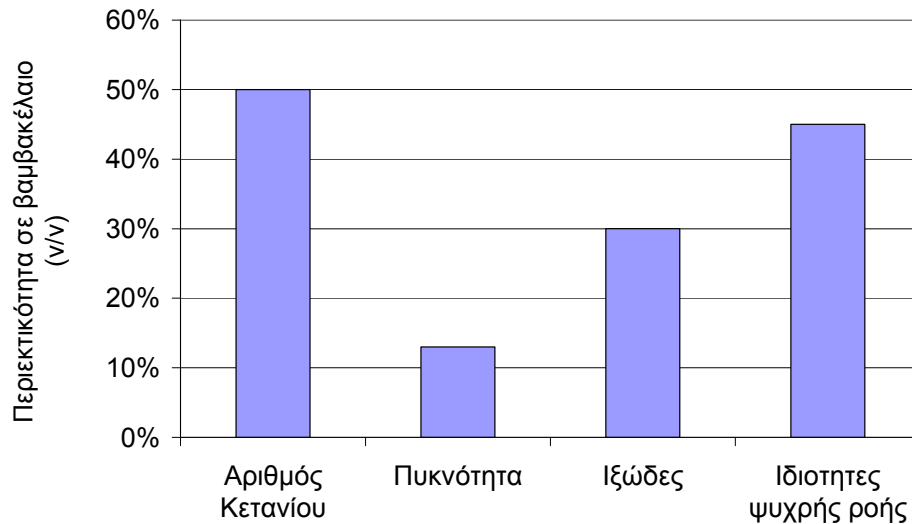
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 7-6, η παρουσία προσθέτου στα προαναμεμιγμένα μίγματα έχει αμελητέα επίπτωση στον αριθμό κετανίου σε σχέση με τα μίγματα χωρίς πρόσθετο, στα όρια της ακρίβειας της μεθόδου μέτρησης του αριθμού κετανίου (± 0.5 αριθμό κετανίου).

Μέχρι το σημείο αυτό της μελέτης, δεν έγιναν μετρήσεις της επίπτωσης του προσθέτου στα χαρακτηριστικά ροής σε χαμηλές θερμοκρασίες (CFPP, σημείο ροής ή άλλα). Παρακολούθηθηκε και καταγράφηκε όμως η συμπεριφορά του κινητήρα του οχήματος σε συνθήκες ψυχρής εκκίνησης κατά τη διάρκεια του 2^{ου} Βήματος του Προγράμματος (και συνεχίζεται η παρακολούθηση αυτή κατά το 3^ο Βήμα). Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3-1, το αυτοκίνητο οδηγήθηκε και οδηγείται κανονικά 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 έγινε ιδιαίτερα 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 προσθέτου στα καύσιμα, ενώ καμία δυσκολία στην εκκίνηση του κινητήρα δεν παρατηρήθηκε, ακόμη και στους -5°C, με αυξημένη περιεκτικότητα σε βαμβακέλαιο (20% v/v).

Σημειώνεται εδώ ότι περισσότερα δεδομένα θα είναι διαθέσιμα με τη λήξη της παρακολούθησης του οχήματος, όπου σκοπείται το άνοιγμα, η λεπτομερειακή εξέταση και η φωτογράφιση του κινητήρα και των στοιχείων του. Ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στο φίλτρο πετρελαίου, τους εγχυτήρες και την αντλία καυσίμου, ώστε να διαπιστωθεί η οποιαδήποτε ενδεχόμενη επίπτωση.

7.8 Επιλογή καυσίμων μιγμάτων για μετρήσεις εκπομπών

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



Εικόνα 7-7 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 τα 13%. Για το λόγο αυτό ως κύριο πειραματικό καύσιμο επιλέχθηκε μίγμα Diesel - βαμβακελαίου 10%. Παρόλα 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 δευτέρου μίγματος με περιεκτικότητα σε βαμβακέλαιο 20%. Η τιμή της πυκνότητας του καυσίμου αυτού είναι 0.850 kg/l, ελαφρώς μεγαλύτερη από την προδιαγεγραμμένη κατά EN590 (0.845kg/l) μέσα, όμως, στο επιτρεπτό όριο της EN12214. Η διαφοροποίηση αυτή είναι πολύ μικρή και δεν αναμένεται να έχει ουσιαστικές επιπτώσεις στη λειτουργία του κινητήρα.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα δύο πειραματικά καύσιμα μελετήθηκαν τόσο με πρόσθετο όσο και χωρίς πρόσθετο.

8 Μετρήσεις εκπομπών αερίων ρύπων

Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε δύο μίγματα βαμβακελαίου – ντίζελ με και χωρίς βελτιωτικό πρόσθετο χρησιμοποιήθηκαν σε πραγματικό όχημα VW Golf 1.9 TDi. Για κάθε καύσιμο μίγμα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις εκπομπών αερίων ρύπων σύμφωνα με το νομοθετημένο κύκλο οδήγησης, αλλά και επιπρόσθετες μετρήσεις σε κύκλους οδήγησης που προσομοιώνουν κίνηση σε αληθινό δρόμο. 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.

8.1 Μεθοδολογία

Το όχημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα VW Golf κατασκευής 1996 που φέρει κινητήρα Diesel 1900cc, απευθείας έγχυσης, με υπερπληρωτή (TDi), κλάσης εκπομπών Euro 2. Ο κινητήρας αυτός είναι ένας αρκετά διαδεδομένος κινητήρας στην Ευρώπη και συναντάται σε οχήματα Diesel διαφόρων κατηγοριών (από επιβατηγά μέχρι μεσαία επαγγελματικά φορτηγά LDV Class II).

Το όχημα τροφοδοτήθηκε με τέσσερα διαφορετικά καύσιμα μίγματα Diesel – βαμβακελαίου:

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

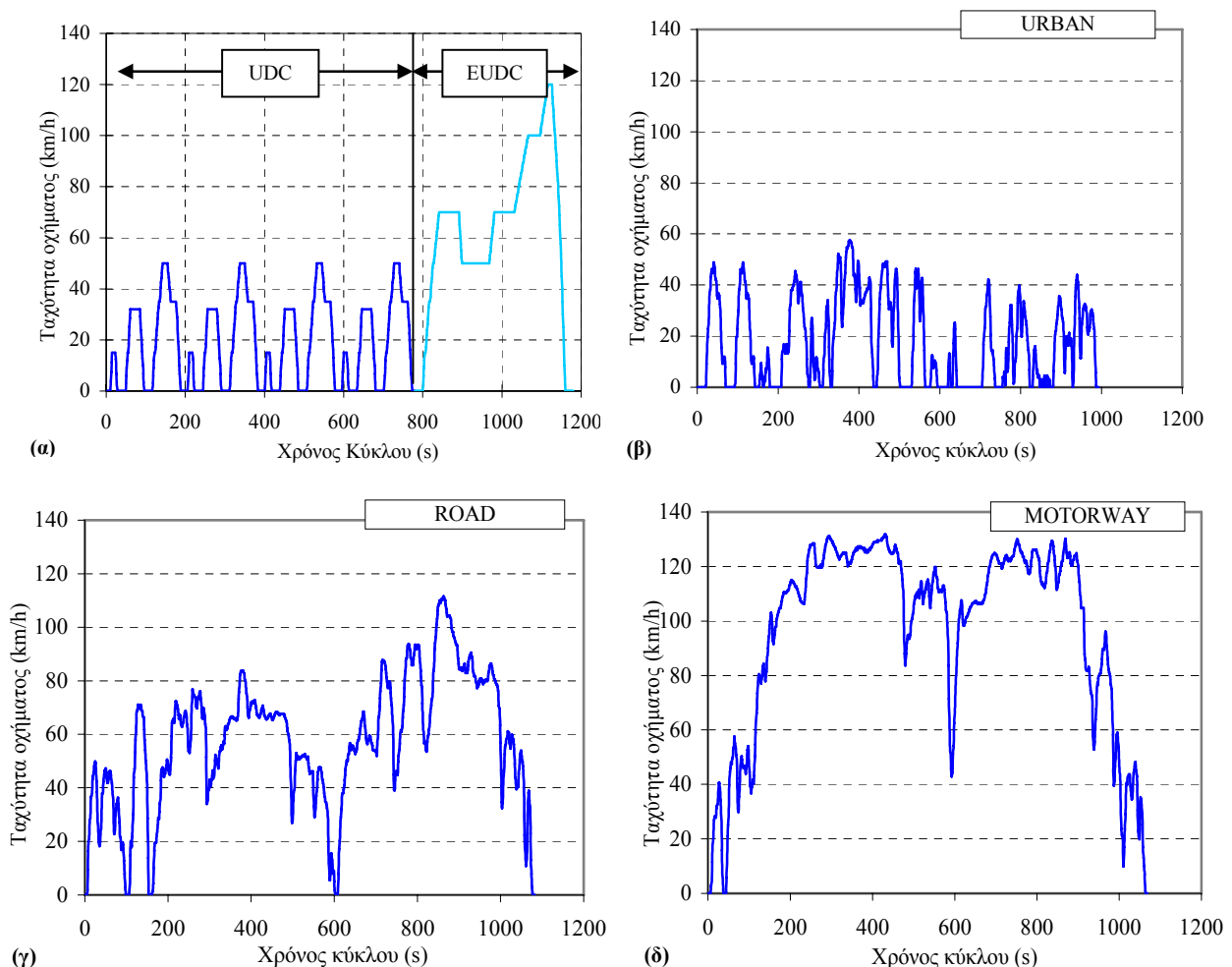
Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η περιεκτικότητα 10% είναι αυτή κατά την οποία πληρούνται όλες οι βασικές νομοθετημένες προδιαγραφές ως προς τις φυσικές ιδιότητες του καυσίμου, ενώ η περιεκτικότητα 20% επιλέχθηκε ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά του οχήματος σε πιο ακραίες συνθήκες και να ενισχυθούν 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. Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3-1, το βήμα αυτό του προγράμματος εξελίχθηκε ως εξής:

- Service, 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

Για όλα τα πειραματικά καύσιμα, όπως επίσης και για το καύσιμο αναφοράς, πραγματοποιήθηκαν δύο επαναλήψεις μετρήσεων των εκπεμπόμενων ρύπων (CO₂, NO_x,

HC, CO, σωματίδια), της κατανάλωσης καυσίμου και της ελαστικότητας του κινητήρα, σύμφωνα με το πρωτόκολλο που παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Για την αξιολόγηση του οχήματος αναφορικά με τις εκπομπές ρύπων και την κατανάλωση καυσίμου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος 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 8-1α. 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.

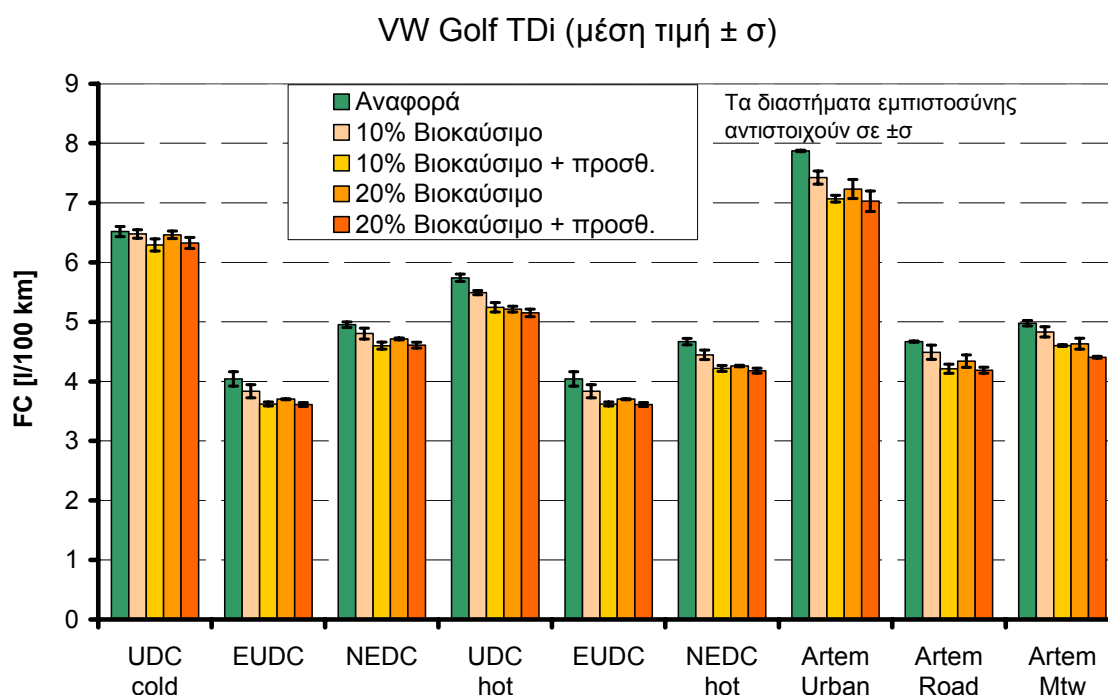


Εικόνα 8-1 Κύκλοι οδήγησης που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις. (α) Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης (NEDC), (β) Αστικός κύκλος ARTEMIS, (γ) Περιαστικός κύκλος ARTEMIS, (δ) Υπεραστικός κύκλος ARTEMIS

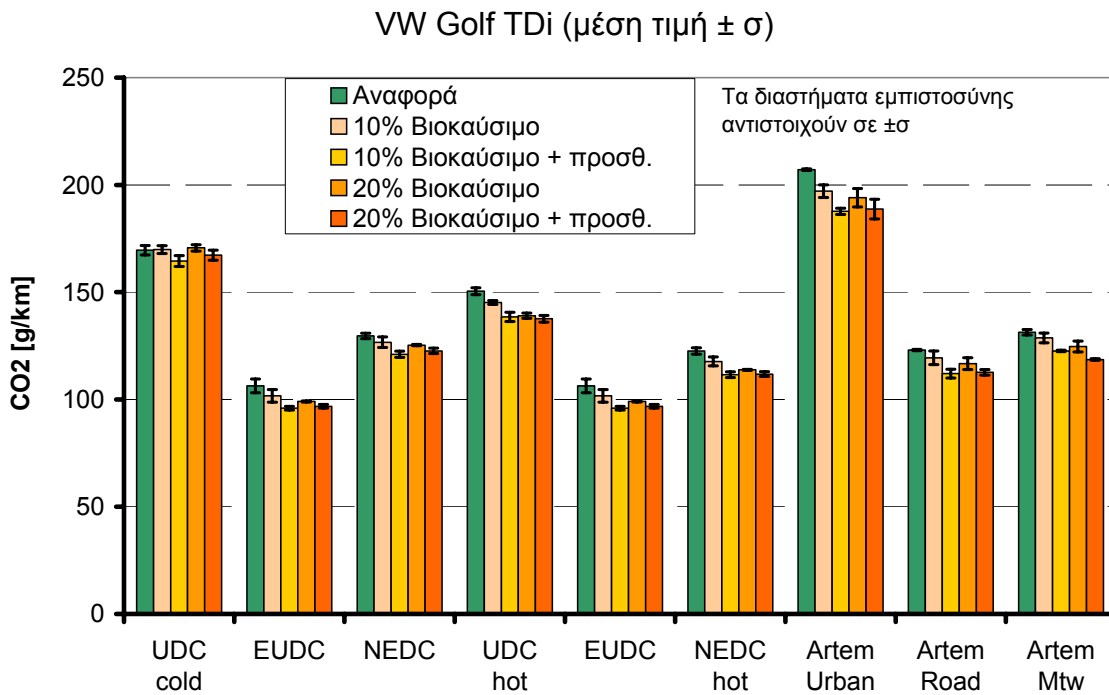
Κύριος στόχος των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν ήταν η ποσοτικοποίηση των εκπομπών αερίων ρύπων του οχήματος, όχι μόνο στις συνθήκες οδήγησης που εφαρμόζονται κατά τη δοκιμή έγκρισης τύπου αλλά και σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι κύκλοι οδήγησης Artemis που δημιουργήθηκαν στα πλαίσια του ομώνυμου ερευνητικού προγράμματος [André 2004]. Οι κύκλοι προσομοιώνουν διαφορετικές συνθήκες κίνησης του αυτοκινήτου σε αστική οδήγηση (URBAN), σε περιαστική οδήγηση (ROAD) που αντιστοιχεί σε κίνηση σε 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 8-1β έως δ. Το συνολικό πρωτόκολλο μέτρησης περιελάμβανε έναν NEDC ψυχρής εκκίνησης, έναν UDC θερμής εκκίνησης και ακολούθως τους τρεις μη νομοθετημένους κύκλους.

8.2 Νομοθετημένες εκπομπές και κατανάλωση καυσίμου

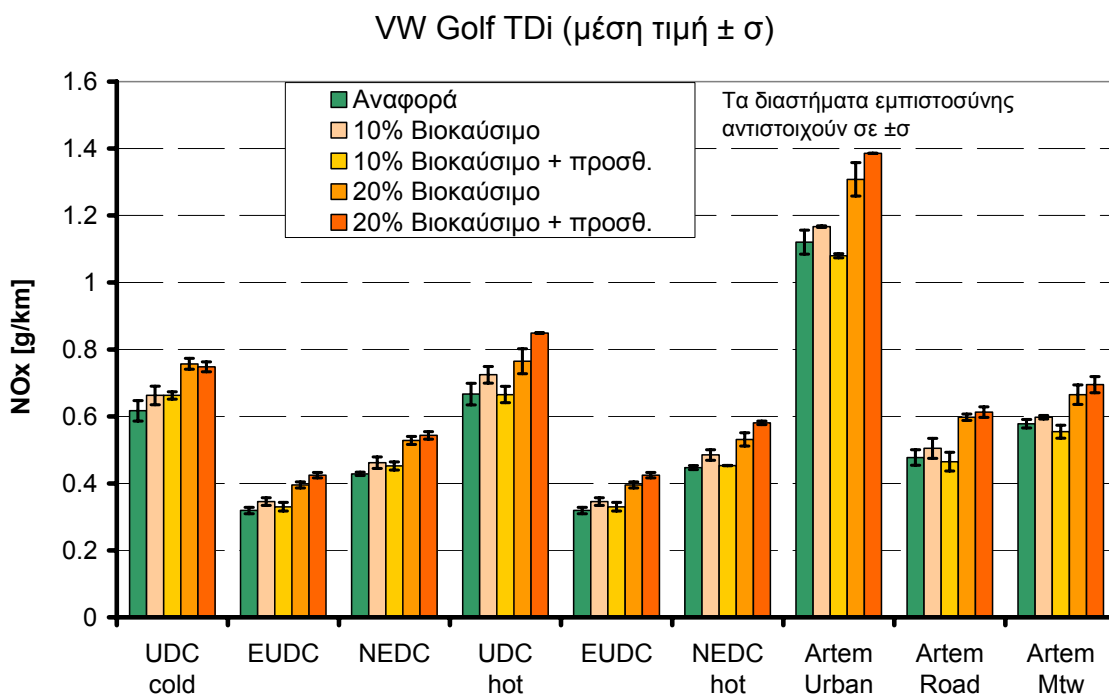
Οι μέσες τιμές και η διασπορά των αποτελεσμάτων των μετρήσεων παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 8-2 έως Εικόνα 8-7). Στο παράρτημα παρατίθενται αναλυτικά τα αποτελέσματα όλων των μετρήσεων.



Εικόνα 8-2 Αποτελέσματα μετρήσεων κατανάλωσης καυσίμου

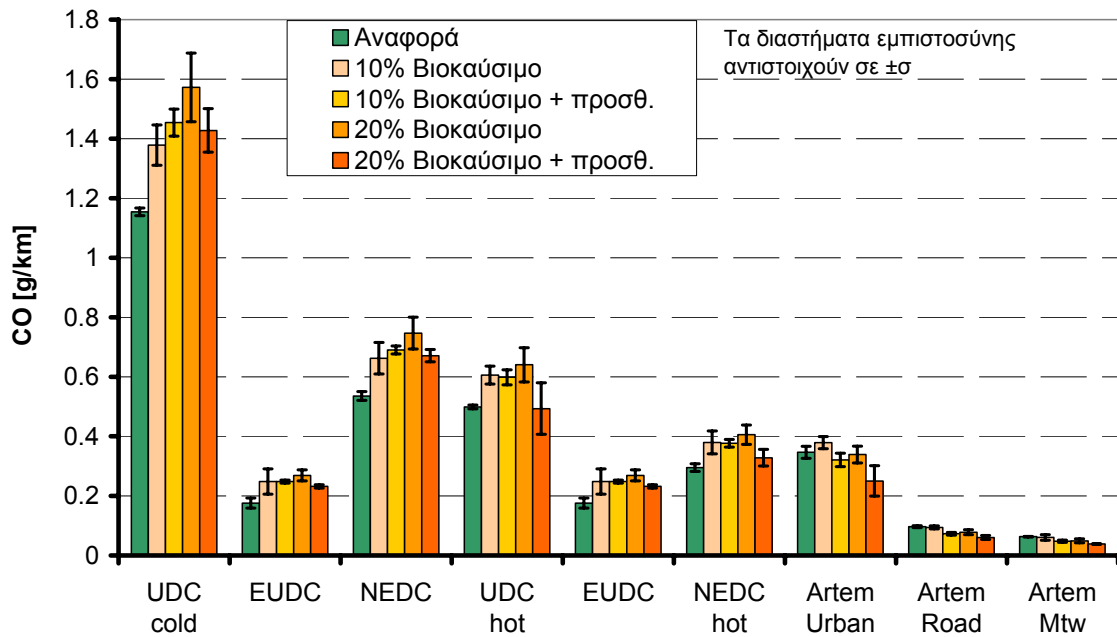


Εικόνα 8-3 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών CO₂



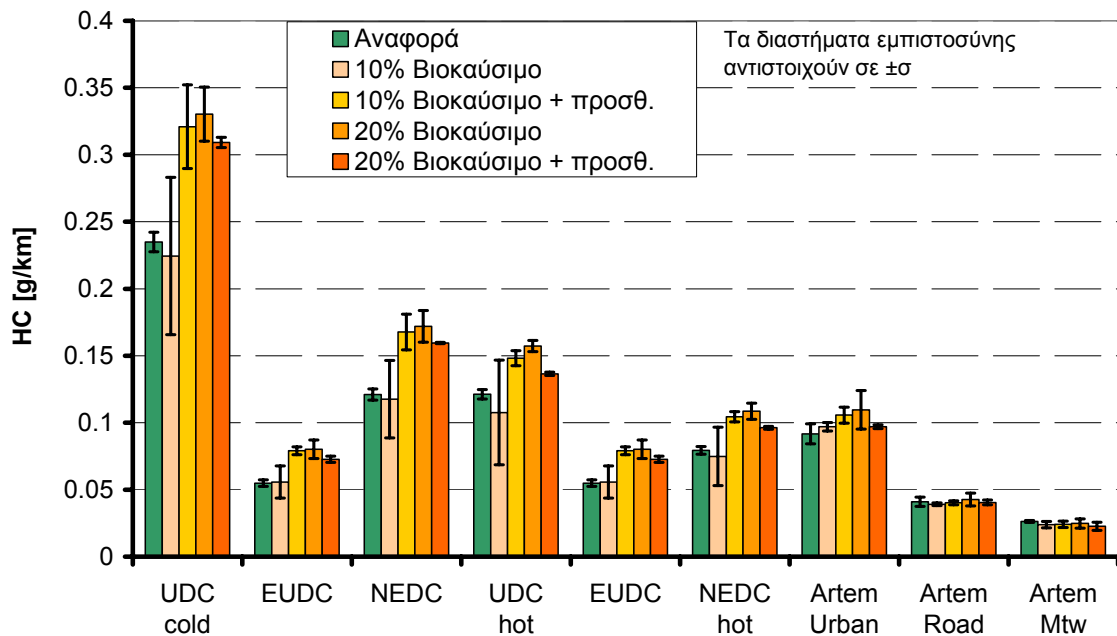
Εικόνα 8-4 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών NO_x

VW Golf TDi (μέση τιμή ± σ)

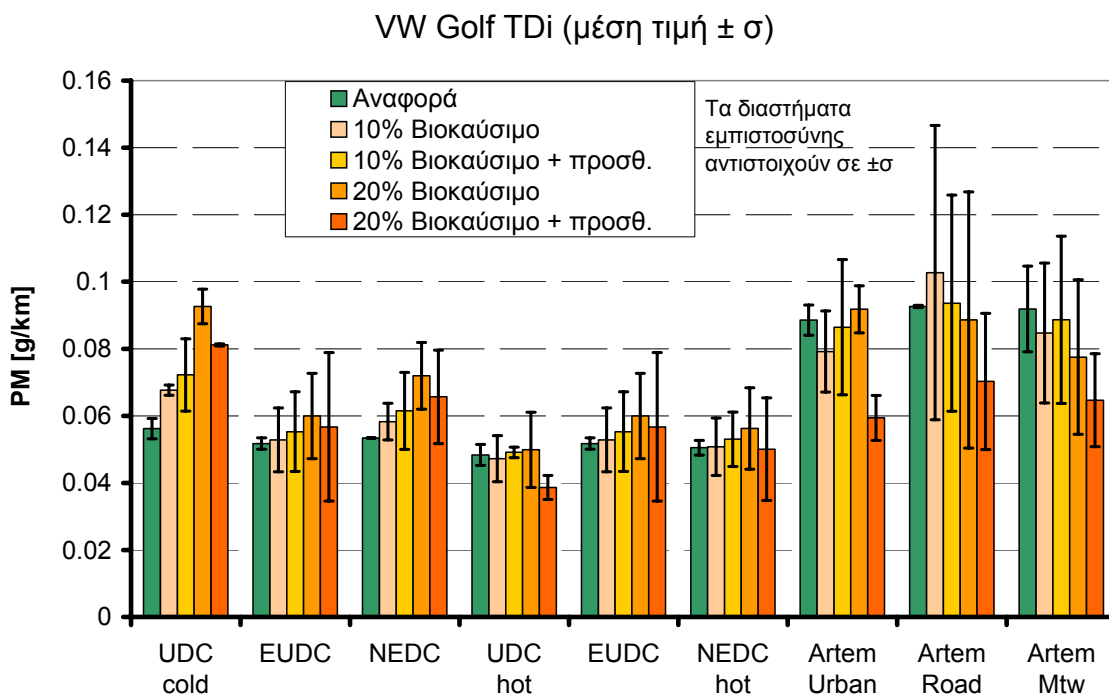


Εικόνα 8-5 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών CO

VW Golf TDi (μέση τιμή ± σ)



Εικόνα 8-6 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών HC



Εικόνα 8-7 Αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών σωματιδίων

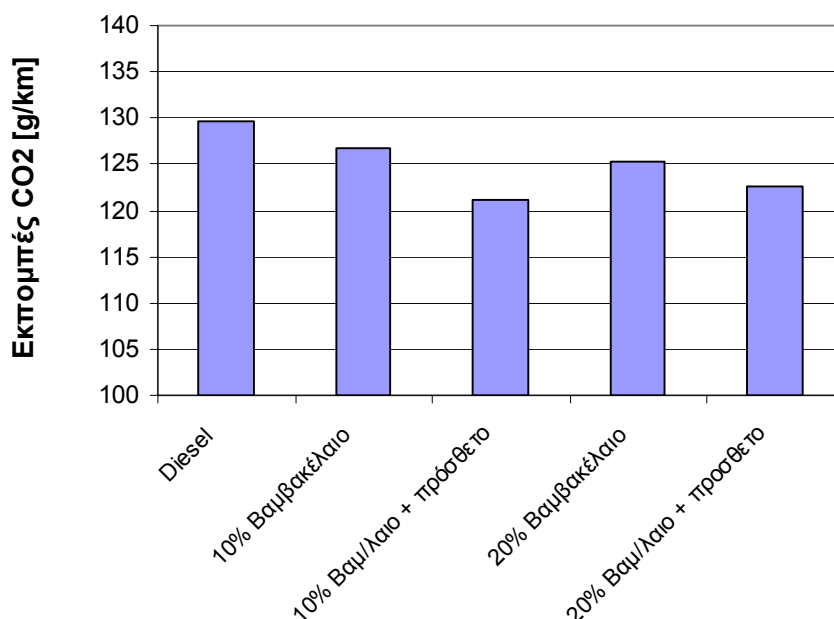
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που παρουσιάζονται στα παραπάνω διαγράμματα δεν έδειξαν σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στο καύσιμο αναφοράς και στα μίγματα πετρελαίου και βαμβακελαίου σε ό,τι αφορά τις εκπομπές του οχήματος. Όλες οι μεταβολές ευρίσκονται τις περισσότερες φορές εντός των ορίων επαναληψιμότητας των μετρήσεων.

Στην Εικόνα 8-8 έως και την Εικόνα 8-11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εκπομπών αερίων ρύπων στον κύκλο NEDC. Ο NEDC επιλέχθηκε για τον σχολιασμό των μετρήσεων επειδή πρόκειται για τον κύκλο οδήγησης του Ευρωπαϊκού τεστ έγκρισης τύπου και αποτελεί κύκλο αναφοράς. Τα συμπεράσματα εντούτοις που αναφέρονται παρακάτω ισχύουν για όλους τους κύκλους οδήγησης που πραγματοποιήθηκαν.

Στην Εικόνα 8-8 παρουσιάζονται οι εκπομπές CO₂ του οχήματος. Οι εκπομπές CO₂ παρουσιάζουν τις συστηματικότερες διακυμάνσεις ανάμεσα στα διάφορα καύσιμα, διακυμάνσεις οι οποίες, σε αντίθεση με αυτές που παρατηρούνται για τους νομοθετημένους ρύπους, είναι αρκετά μεγάλες ώστε να μην επηρεάζονται από την ακρίβεια των μετρήσεων.

Η Εικόνα 8-8 δείχνει καθαρά ότι η αύξηση της περιεκτικότητας σε βαμβακέλαιο στα καύσιμα οδηγεί σε μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 3 g/km για τα μίγματα με 10% βαμβακέλαιο και κατά 5 g/km για μίγματα με 20% βαμβακέλαιο. Οι μεταβολές αυτές αντιστοιχούν σε μειώσεις της τάξης του 2,5% και 3,8% αντίστοιχα, οι οποίες συνεπάγονται και ανάλογης έκτασης μειώσεις στην κατανάλωση καυσίμου. Το πρόσθετο φαίνεται να βελτιώνει ακόμα περισσότερο τις εκπομπές, ειδικά στην περίπτωση

του μίγματος με 10% βαμβακέλαιο περιορίζοντας τις εκπομπές κατά περίπου 6% σε σχέση με αυτές του συμβατικού Diesel.



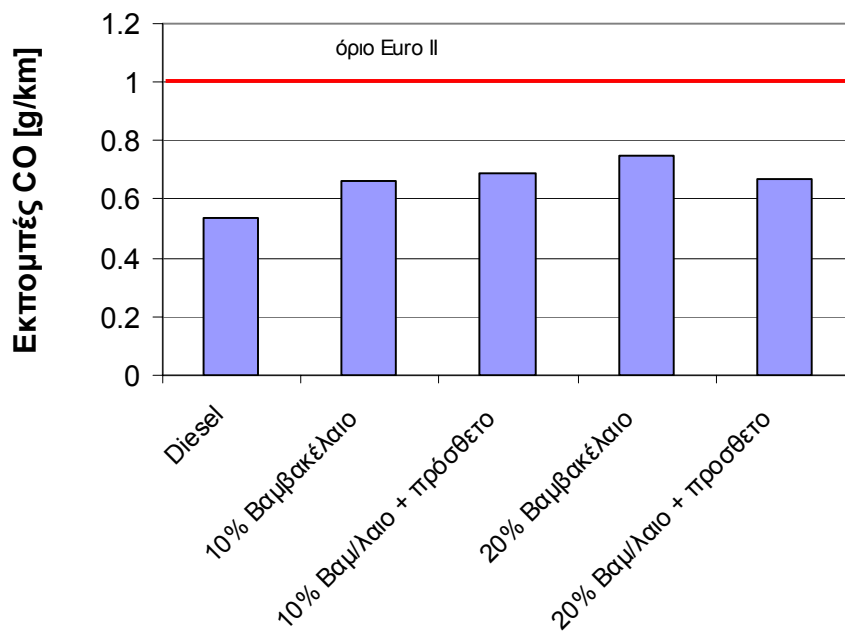
Εικόνα 8-8 Εκπομπές CO₂ για τα διάφορα καύσιμα σε κύκλο NEDC

Οι μειώσεις στο εκπεμπόμενο CO₂ οφείλονται στην αποδοτικότερη λειτουργία του κινητήρα του οχήματος. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο ότι τα μίγματα βαμβακελαίου Diesel βρέθηκαν να έχουν μεγαλύτερο αριθμό κετανίου, με αποτέλεσμα βελτιωμένη ποιότητα της καύσης. Παράλληλα, η ελαφρά αύξηση της πυκνότητας του καυσίμου μπορεί να ευνοεί την καλύτερη λειτουργία της αντλίας υψηλής πίεσης που τροφοδοτεί τον κινητήρα εξοικονομώντας ενέργεια. Τέλος, η παρουσία προσθέτου φαίνεται πως βελτιώνει ακόμα περισσότερο την απόδοση, πιθανώς δημιουργώντας καλύτερες συνθήκες ροής του καυσίμου κατά την τροφοδοσία και ενισχύοντας τον διαμερισμό του κατά τον ψεκασμό του στον κύλινδρο.

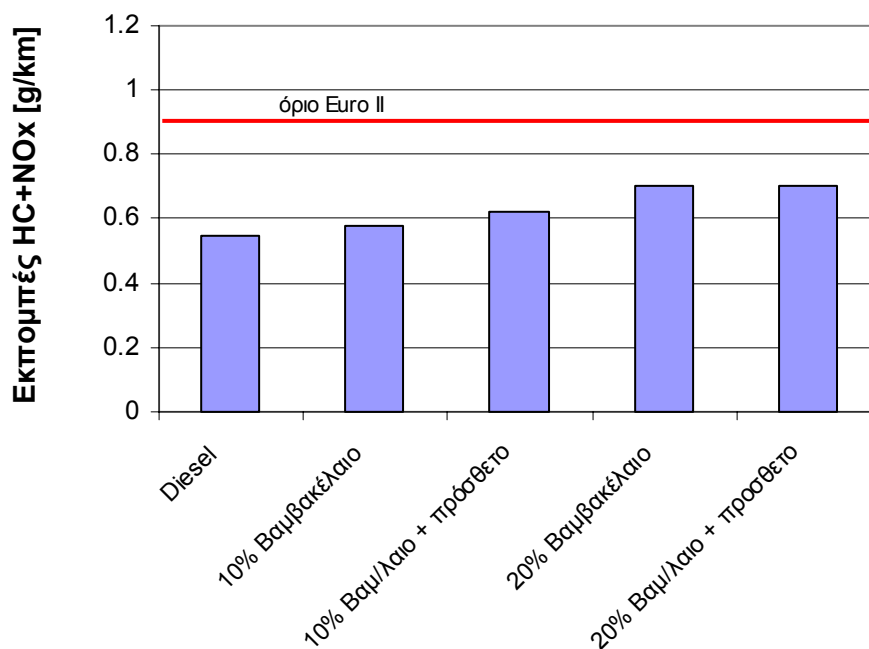
Αν και δεν έχει θεσπιστεί ανώτατο όριο στις εκπομπές CO₂ των οχημάτων, εντούτοις το CO₂ όντας αέριο θερμοκηπίου αποτελεί ρύπο στον οποίο η ΕΕ δίνει πλέον ιδιαίτερη σημασία. Έτσι, αν και μια μείωση της τάξης του 3,8% φαίνεται αρχικά μικρή, αποτελεί σημαντική συνεισφορά στην προσπάθεια περιορισμού των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου σύμφωνα με τις δεσμεύσεις του πρωτοκόλλου του Κυότο. Τέλος μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 5% έχει σημαντικά οικονομικά οφέλη κυρίως σε επαγγελματικά οχήματα που πραγματοποιούν μεγάλο αριθμό χιλιομέτρων σε ετήσια βάση. Από τα στοιχεία αυτά γίνεται σαφές ότι η αποδοτικότερη λειτουργία του κινητήρα με την χρήση καυσίμων μίγματος βαμβακελαίου παρουσιάζει σημαντικό επιστημονικό ενδιαφέρον και πρέπει να μελετηθεί αναλυτικότερα. Στην κατεύθυνση αυτή θα βοηθήσει η εφαρμογή των καυσίμων σε κινητήρα σε πέδη και η ανάλυση της γραμμής καύσης.

Στην Εικόνα 8-9 και στην Εικόνα 8-10 παρουσιάζονται οι εκπομπές CO και το άθροισμα των εκπομπών NO_x και HC αντίστοιχα (το τελευταίο προδιαγράφεται 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. 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. Για την εξαγωγή οποιουδήποτε συμπεράσματος σχετικού με την επίδραση των καυσίμων στη λειτουργία του καταλύτη του οχήματος απαιτούνται συστηματικότερες στοχευμένες μετρήσεις.

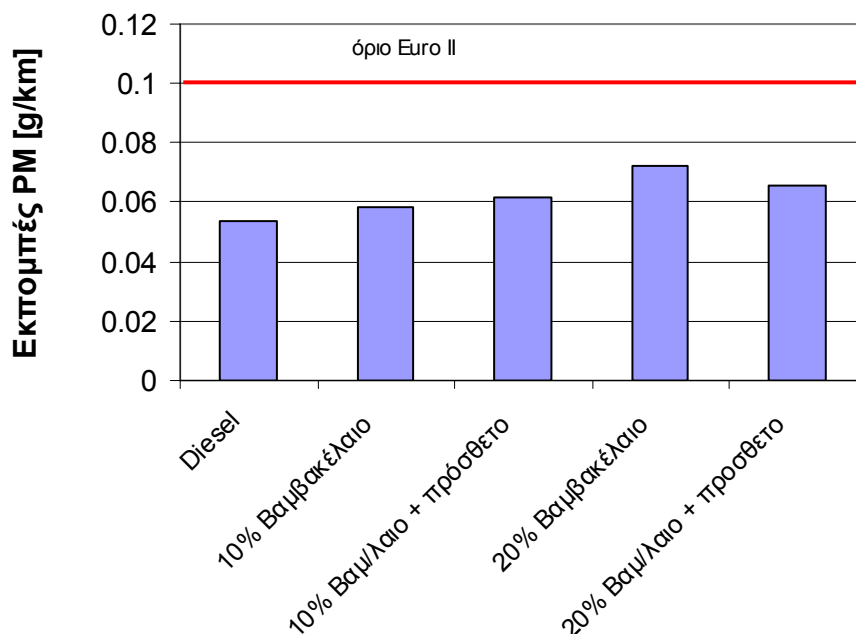


Εικόνα 8-9 Εκπομπές CO για τα διάφορα καύσιμα σε κύκλο NEDC



Εικόνα 8-10 Εκπομπές HC + NOx για τα διάφορα καύσιμα σε κύκλο NEDC

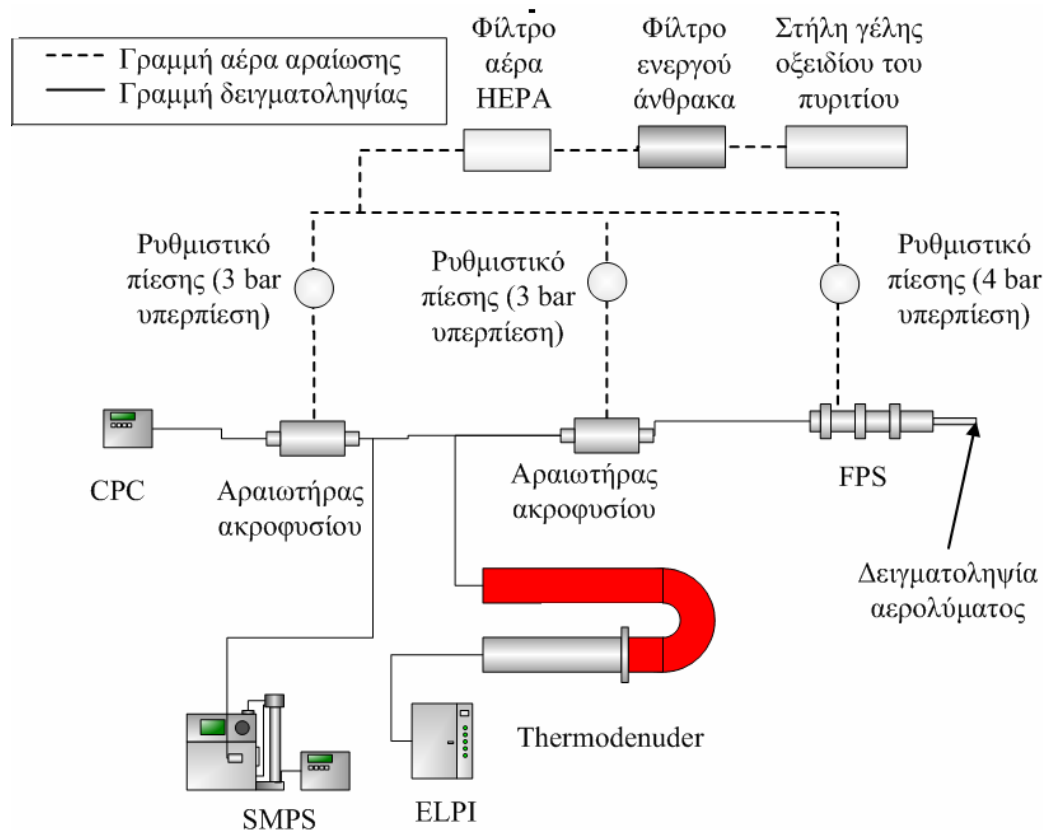
Οι εκπομπές σωματιδιακής μάζας για τα διάφορα καύσιμα παρουσιάζονται στην Εικόνα 8-11. Όπως και στις περιπτώσεις των άλλων ρύπων, έτσι και για τα σωματίδια οι εκπομπές παραμένουν σε κάθε περίπτωση κάτω από τα προδιαγεγραμμένα όρια. Ως γενικό συμπέρασμα μπορεί να ειπωθεί πως υπάρχει μια ελαφρώς αυξητική τάση η οποία όμως είναι αρκετά μικρή, ώστε η επίδραση των καυσίμων στις εκπομπές σωματιδιακής μάζας να θεωρηθεί επίσης αμελητέα.



Εικόνα 8-11 Εκπομπές σωματιδίων για τα διάφορα καύσιμα σε κύκλο NEDC

8.3 Μη νομοθετημένες σωματιδιακές εκπομπές

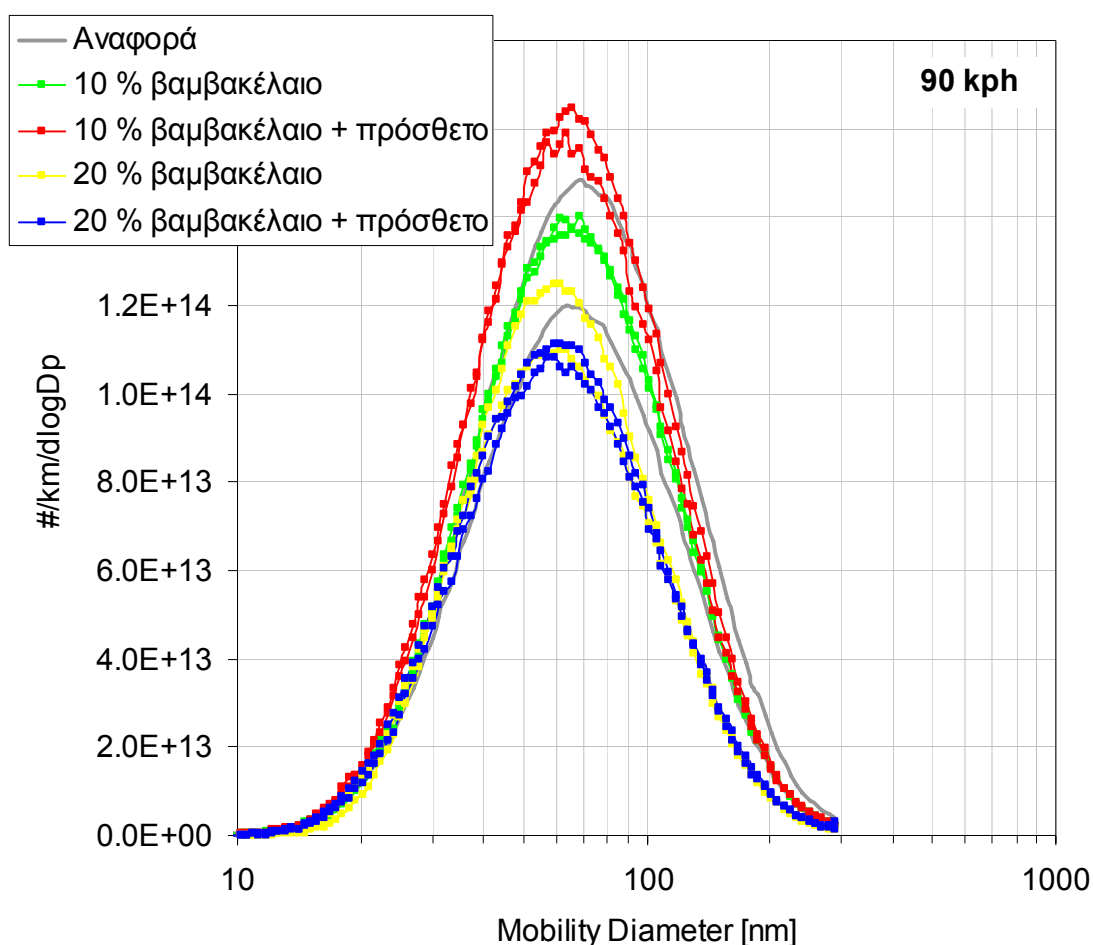
Δεδομένου του ενδιαφέροντος το οποίο παρουσιάζουν οι εκπομπές σωματιδίων από επιστημονικής πλευράς, αλλά και λόγω των σημαντικών επιπτώσεων των τελευταίων στην ανθρώπινη υγεία, οι μετρήσεις σωματιδίων επεκτάθηκαν και σε μη νομοθετημένα μεγέθη. Για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε η διάταξη αραίωσης και δειγματοληψίας που παρουσιάζεται στην Εικόνα 8-12. 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 έπαιρνε δείγμα 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 8-12: Σχηματική απεικόνιση του συστήματος δειγματοληψίας για τον χαρακτηρισμό μη νομοθετημένων σωματιδιακών εκπομπών

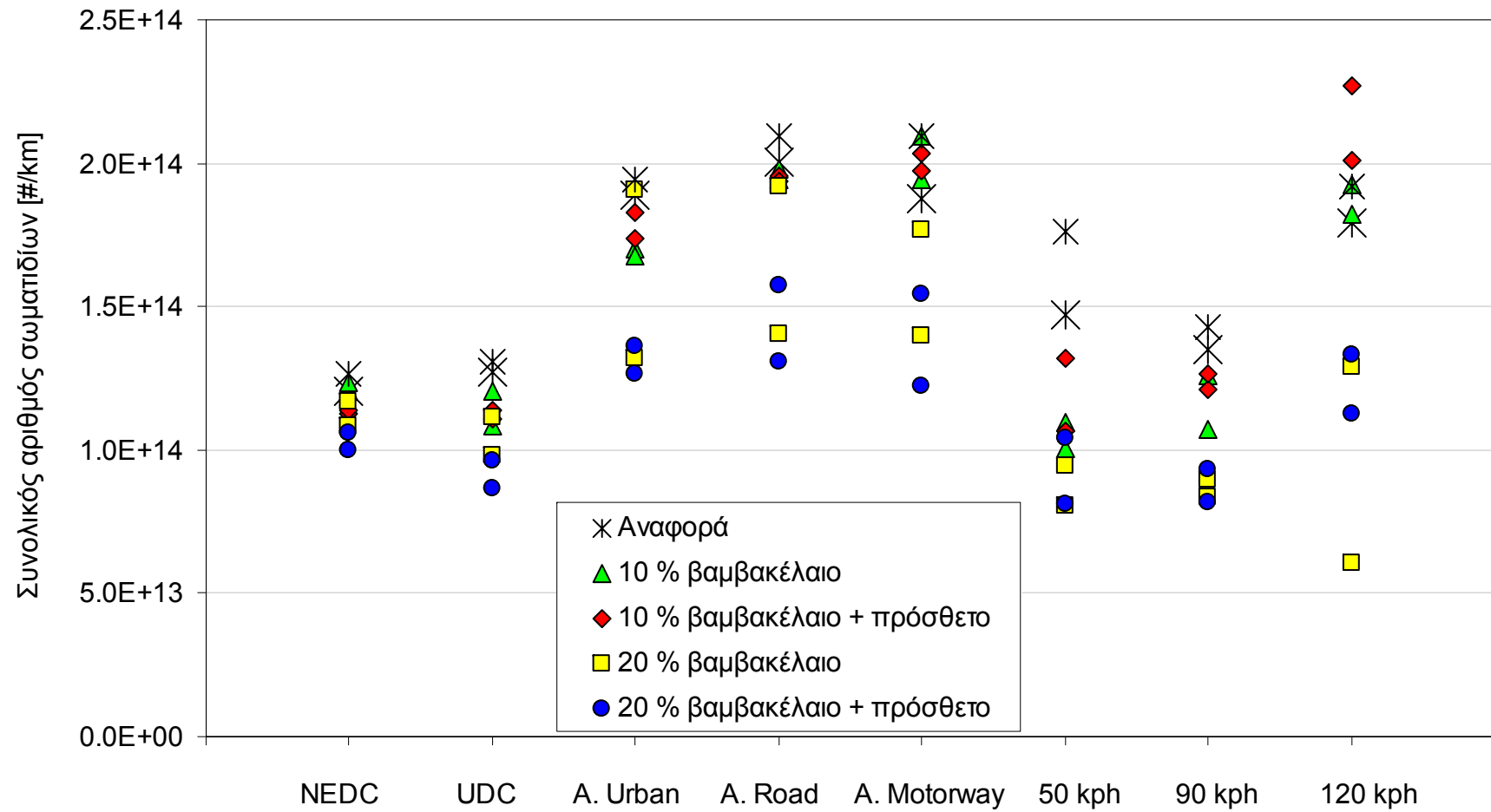
Σε αντιστοιχία με τη σωματιδιακή μάζα, οι εκπομπές αριθμού σωματιδίων έχουν εκφρασθεί ανά διανυθέν χιλιόμετρο. Πρέπει να σημειωθεί ότι, σε αντίθεση με τον απαριθμητή σωματιδίων, η αναγωγή των ενδείξεων του ELPI (ρεύμα) σε αριθμητική συγκέντρωση δεν είναι άμεση αλλά απαιτεί τη γνώση της ενεργού πυκνότητας 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. Οι προσδιοριζόμενες εκπομπές του αριθμού στερεών και του συνολικού αριθμού σωματιδίων συνοψίζονται στην Εικόνα 8-14 και στην Εικόνα 8-15 αντίστοιχα.

Στην Εικόνα 8-13 παρατίθενται οι κατανομές του συνολικού αριθμού σωματιδίων, όπως μετρήθηκαν με το SMPS στα 90 km/h για 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 61 και 68 nm. Παρόμοιες τάσεις παρουσιάστηκαν και στα υπόλοιπα σταθερά σημεία που εξετάστηκαν.

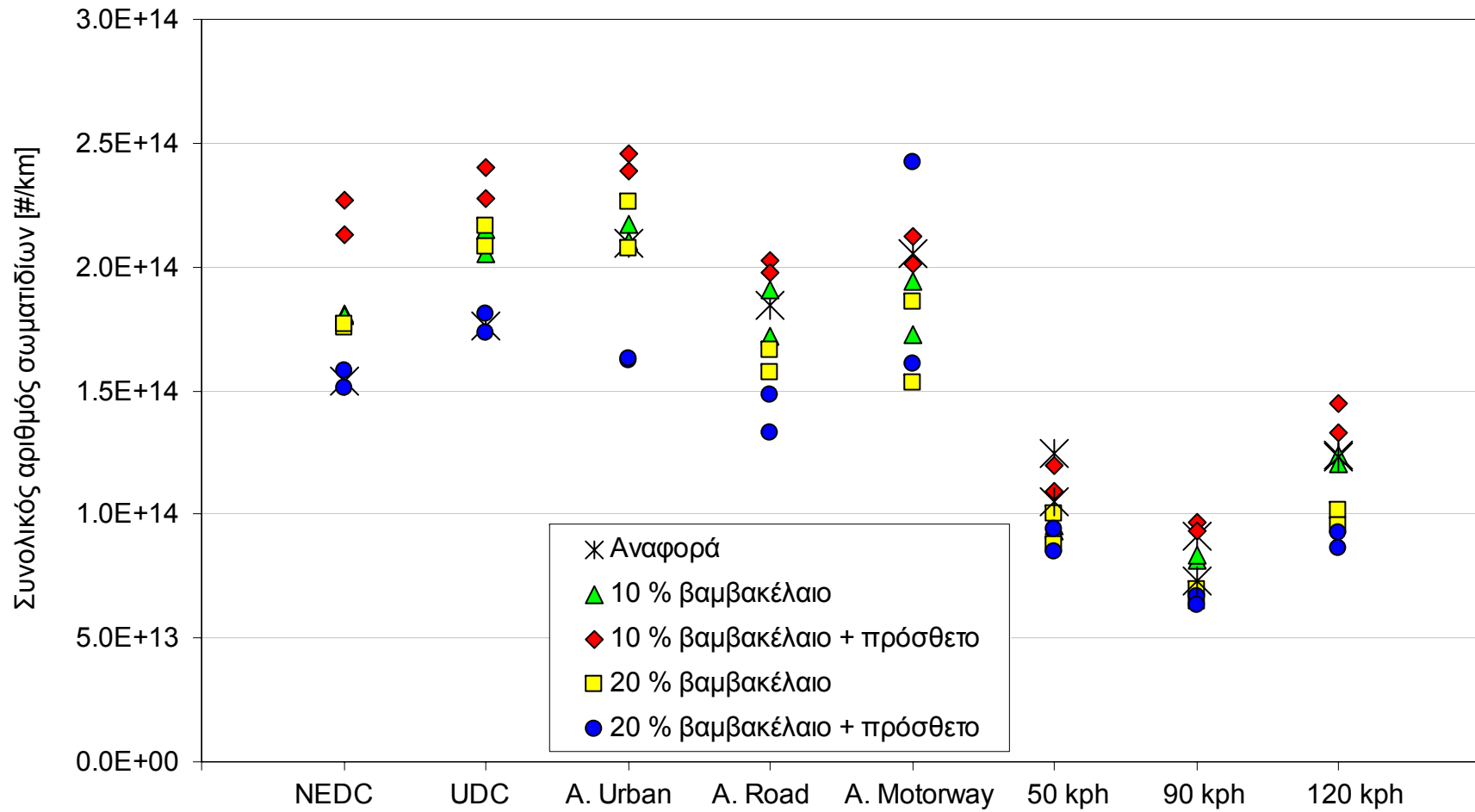


Εικόνα 8-13 Κατανομές συνολικού αριθμού σωματιδίων στα 90 km/h για τα καύσιμα που μελετήθηκαν

Οι προσδιοριζόμενες εκπομπές αριθμού στερεών σωματιδίων συνοψίζονται στην Εικόνα 8-14. 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. Η προσθήκη 10% βαμβακελαίου με ή χωρίς πρόσθετο στο καύσιμο είχε αμελητέα επίπτωση στις εκπομπές στερεών σωματιδίων, με τα επίπεδα να διαφοροποιούνται κατά $\pm 10\%$ αν και στα 50 km/h καταγράφηκε σημαντική μείωση της τάξης του 30%. Αντίθετα, η προσθήκη 20% βαμβακελαίου στο καύσιμο οδήγησε σε συστηματικά χαμηλότερες εκπομπές στερεών σωματιδίων (κατά μέσο όρο 25 %). Αντίστοιχη μείωση (κατά μέσο όρο 30%) παρατηρήθηκε και στις μετρήσεις όπου χρησιμοποιήθηκε 20% βαμβακέλαιο και πρόσθετο.



Εικόνα 8-14: Εκπομπές αριθμού στερεών σωματιδίων.



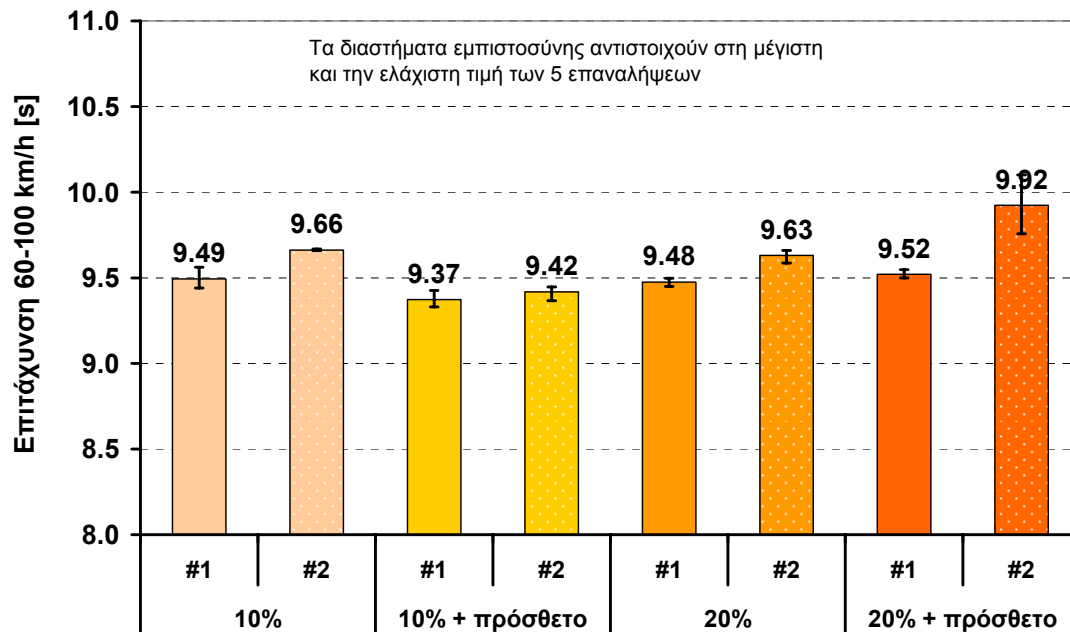
Εικόνα 8-15: Εκπομπές συνολικού αριθμού σωματιδίων

Οι προσδιοριζόμενες εκπομπές συνολικού αριθμού σωματιδίων συνοψίζονται στην Εικόνα 8-15. Ο συνολικός αριθμός εκπεμπόμενων σωματιδίων χρησιμοποιώντας το καύσιμο αναφοράς κυμάνθηκε μεταξύ 7.3×10^{13} και 2.1×10^{14} #/km¹. Η επίπτωση της χρήσης μιγμάτων βαμβακελαίου στο συνολικό εκπεμπόμενο αριθμό σωματιδίων δεν ήταν σύμφωνη για τις διάφορες συνθήκες οδήγησης που εξετάστηκαν. Συγκεκριμένα, η προσθήκη 10% βαμβακελαίου στο καύσιμο αναφοράς οδήγησε σε 25% μείωση των εκπομπών στα 50 km/h, αλλά και σε 20 % αύξηση των εκπομπών στον νομοθετημένο κύκλο (NEDC). Οι σχετικές διαφοροποιήσεις με χρήση 10 % βαμβακελαίου με πρόσθετο ήταν -8% (50 km/h) και 40% (NEDC). Παρόμοιες τάσεις παρατηρήθηκαν όταν το ποσοστό του βαμβακελαίου αυξήθηκε στα 20% με (15% αύξηση στον NEDC και 25% μείωση στα 50 km/h) ή χωρίς πρόσθετο (πολύ μικρή αύξηση στον NEDC και 25% μείωση στα 50 km/h).

¹ 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.

9 Ελαστικότητα του κινητήρα

Για τη διερεύνηση της επίδρασης των καυσίμων στην ισχύ του κινητήρα πραγματοποιήθηκαν τεστ επιτάχυνσης, ως μέτρο της ελαστικότητας του κινητήρα. Κατά το τεστ επιτάχυνσης το όχημα επιταχύνεται από τα 60km/h στα 100km/h με 4^η ταχύτητα και με τη θέση του επιταχυντή στο μέγιστο (φούλ γκάζι). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 9-1.



Εικόνα 9-1 Αποτελέσματα δοκιμών επιταχύνσεων για τα διάφορα καύσιμα

Όπως φαίνεται από την εικόνα, τα αποτελέσματα όλων των μετρήσεων βρίσκονται εντός του ορίου του 5% της επαναληψιμότητας της μέτρησης. Επίσης δεν παρατηρείται κάποια τάση βελτίωσης ή επιδείνωσης. Συμπεραίνεται λοιπόν πως η αύξηση της περιεκτικότητας σε βαμβακέλαιο ή η παρουσία προσθέτου δεν επιδρούν στην αποδιδόμενη ισχύ.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως από το παραπάνω διάγραμμα απουσιάζει η επίδοση του οχήματος με συμβατικό καύσιμο. Η μέτρηση αυτή έχει προγραμματιστεί και θα πραγματοποιηθεί σε επόμενο στάδιο της έρευνας. Τα συμπεράσματα εντούτοις τα οποία διατυπώθηκαν στην παράγραφο αυτή δεν αναμένεται να αλλάξουν.

10 Σύνοψη - Συμπεράσματα

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η αξία του βαμβακελαίου, 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.
 - Οι σημαντικότερες φυσικές ιδιότητες των μιγμάτων βαμβακελαίου – Diesel μετρήθηκαν και επαληθεύτηκε ότι τα μίγματα αυτά πληρούν τις νομοθετημένες προδιαγραφές για χρήση σε κινητήρες έναυσης με συμπίεση.
 - Σχετικά με τον αριθμό κετανίου δείχθηκε πως τα μίγματα βαμβακελαίου - Diesel σε συγκεντρώσεις ως 30% κατ' όγκο σε βαμβακέλαιο βελτιώνουν τον αριθμό κετανίου του βασικού καυσίμου.
 - Η πυκνότητα του βαμβακελαίου είναι υψηλή, γεγονός το οποίο μπορεί να δημιουργήσει λειτουργικά προβλήματα στους κινητήρες. 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 του βαμβακελαίου είναι πολύ μεγάλο κάτι που θα δημιουργούσε προβλήματα κατά την χρήση του ως καυσίμου. Το ιξώδες εντούτοις των μιγμάτων βαμβακελαίου – Diesel με περιεκτικότητα σε λάδι ως και 20% παραμένει εντός των προδιαγραφών και δεν αναμένεται να επηρεάσει τη λειτουργία του κινητήρα.
 - Μετρήσεις της βιβλιογραφίας δείχνουν ότι οι ιδιότητες ψυχρής ροής των μιγμάτων βαμβακελαίου – Diesel με λάδι έως 10% δεν επηρεάζονται σημαντικά και παραμένουν εντός των προδιαγραφών της νομοθεσίας.
 - Η εφαρμογή βαμβακελαίου σε κινητήρα Diesel πραγματικού οχήματος ξεκίνησε και συνεχίζεται χωρίς προβλήματα.
 - Σε περιπτώσεις χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος παρουσιάστηκε δυσκολία στην εκκίνηση του κρύου κινητήρα, η οποία επιδεινώθηκε με την αύξηση της περιεκτικότητας σε βαμβακέλαιο. Η εισαγωγή προσθέτου στα καύσιμα εξάλειψε
-

πλήρως το φαινόμενο αυτό, ενώ η εκκίνηση του κινητήρα πραγματοποιήθηκε χωρίς πρόβλημα ακόμα και στους -5°C .

- Το βαμβακέλαιο στο καύσιμο σε συγκεντρώσεις ως 20% φαίνεται να επιδρά θετικά στις εκπομπές CO_2 και στην κατανάλωση καυσίμου του οχήματος οδηγώντας σε μειώσεις της τάξεως του 3%. Η χρήση προσθέτου οδηγεί σε περαιτέρω βελτιώσεις της τάξεως του 6%.
 - Το βαμβακέλαιο στο καύσιμο σε συγκεντρώσεις ως 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 στα όρια ακρίβειας των μετρήσεων.
 - Η παρουσία βαμβακελαίου αλλά και προσθέτου δεν επηρεάζει τις εκπομπές σωματιδίων τόσο ως προς τη μάζα όσο και ως προς τον αριθμό.
 - Η χρήση των πειραματικών καυσίμων δεν βρέθηκε να έχει επίδραση στην ισχύ του κινητήρα, όπως αυτό πιστοποιήθηκε από μετρήσεις ελαστικότητας (επιτάχυνσης).
-

11 Επόμενα βήματα

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

- Συνέχιση και ολοκλήρωση των μετρήσεων στο Golf TDi βάσει του υφισταμένου προγράμματος (πραγματοποίηση χιλιομέτρων, επιπρόσθετες μετρήσεις, άνοιγμα του κινητήρα και έλεγχος για επιπτώσεις στο σύστημα τροφοδοσίας).
 - Επιλογή και εφαρμογή μίγματος βαμβακελαίου – Diesel – προσθέτου σε αυτοκίνητο σύγχρονης τεχνολογίας με σύστημα έγχυσης Common Rail. Μελέτη της επίδρασης του καυσίμου στη λειτουργία αλλά και στις εκπομπές του οχήματος.
 - Εμβάθυνση στην καύση των συγκεκριμένων καυσίμων μέσω πειραματικών μετρήσεων σε εργαστηριακό κινητήρα. Ανάλυση γραμμής καύσης – σύγκριση με την αντίστοιχη συμβατικού καυσίμου.
-

12 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
- [Καρβαλάκης et al.] Γ. Καρβαλάκης, 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"
- [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
- [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
- [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
- [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*
- [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. Charoenphonphanich, 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

[Zaher et al. 2003]

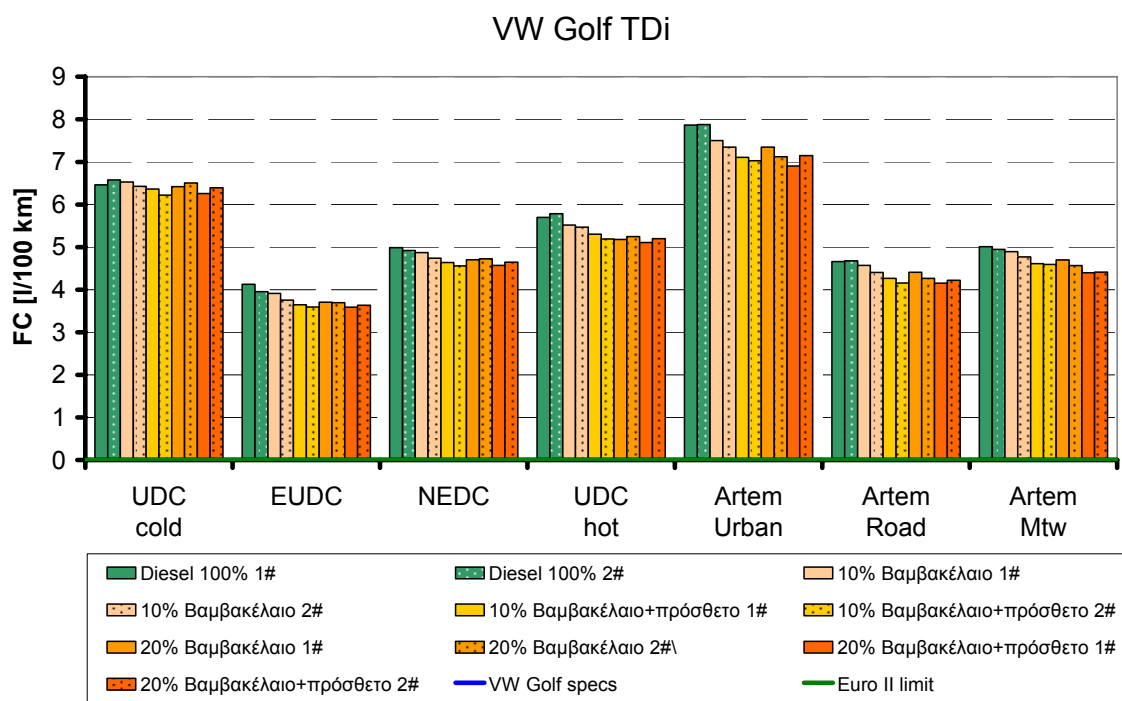
F. A. Zaher, O. A. Megahed, O. S. EL Kinawy, "Utilization of Used Frying Oil as Diesel Engine Fuel", Energy Sources, 25:819–826, 2003

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος του Υποέργου

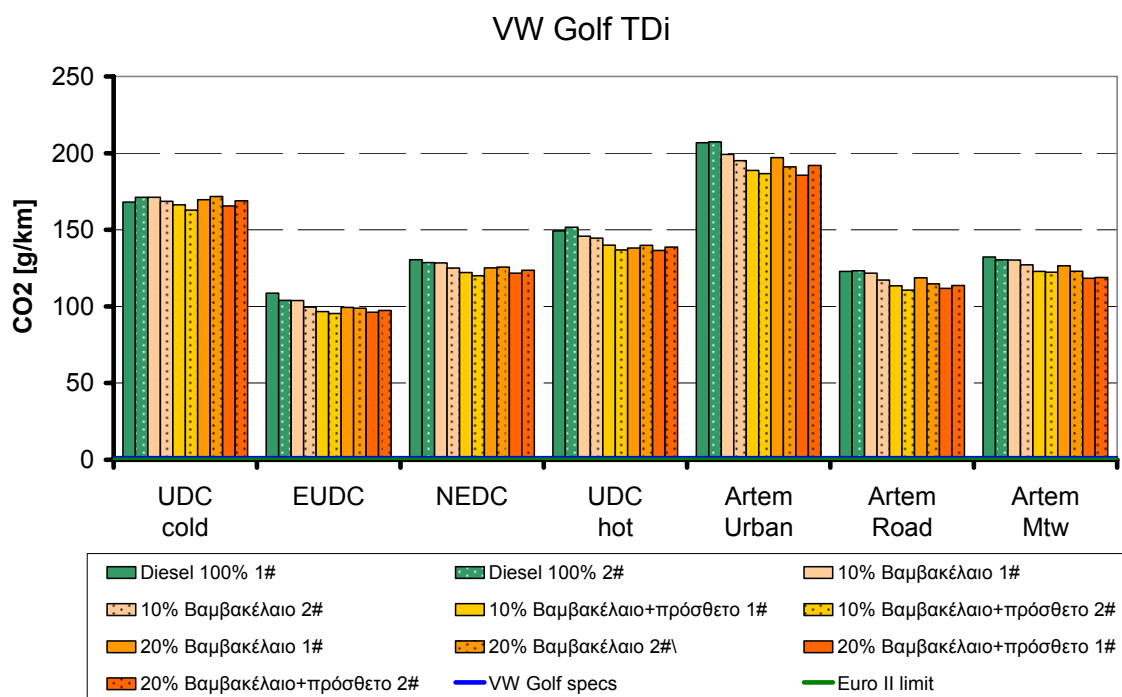
Αναστάσιος Μωυσιάδης
Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός
Καθηγητής

Παράρτημα

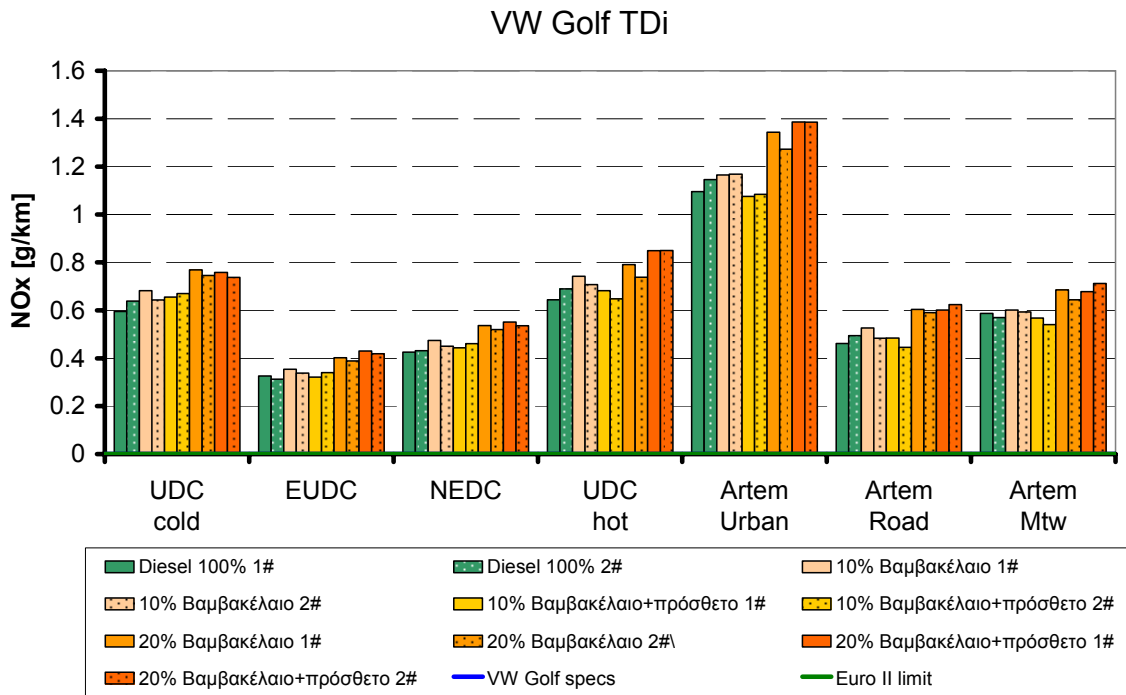
Αναλυτικά ποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών αερίων ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου.



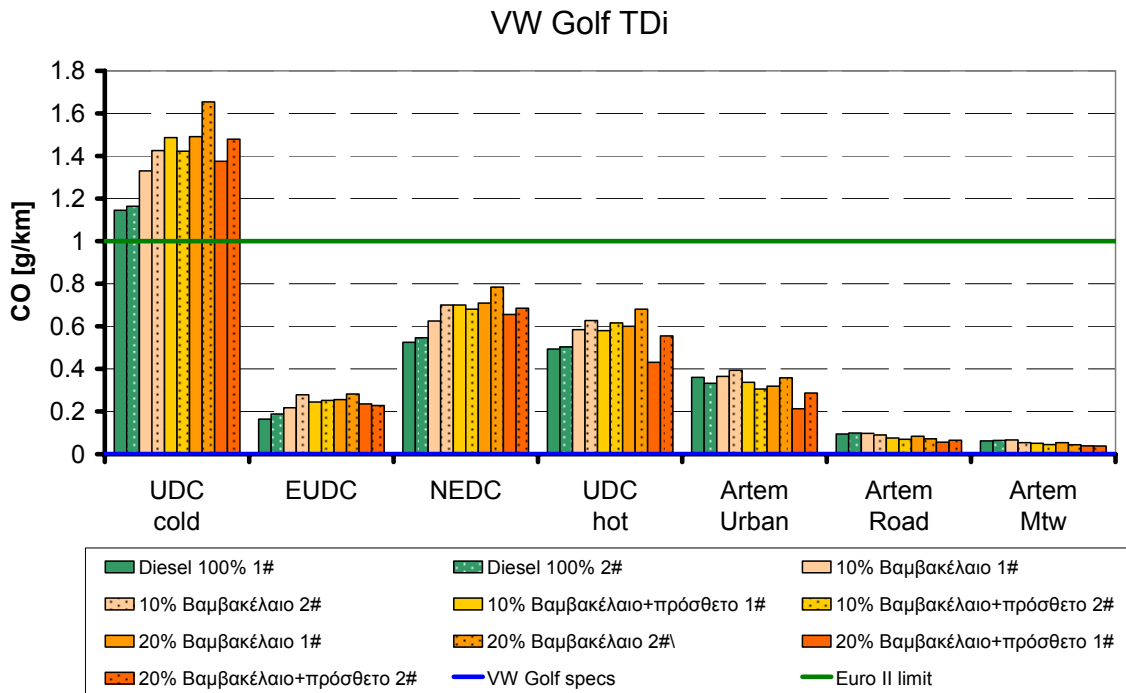
Εικόνα 0-1 Μετρήσεις κατανάλωσης καυσίμου



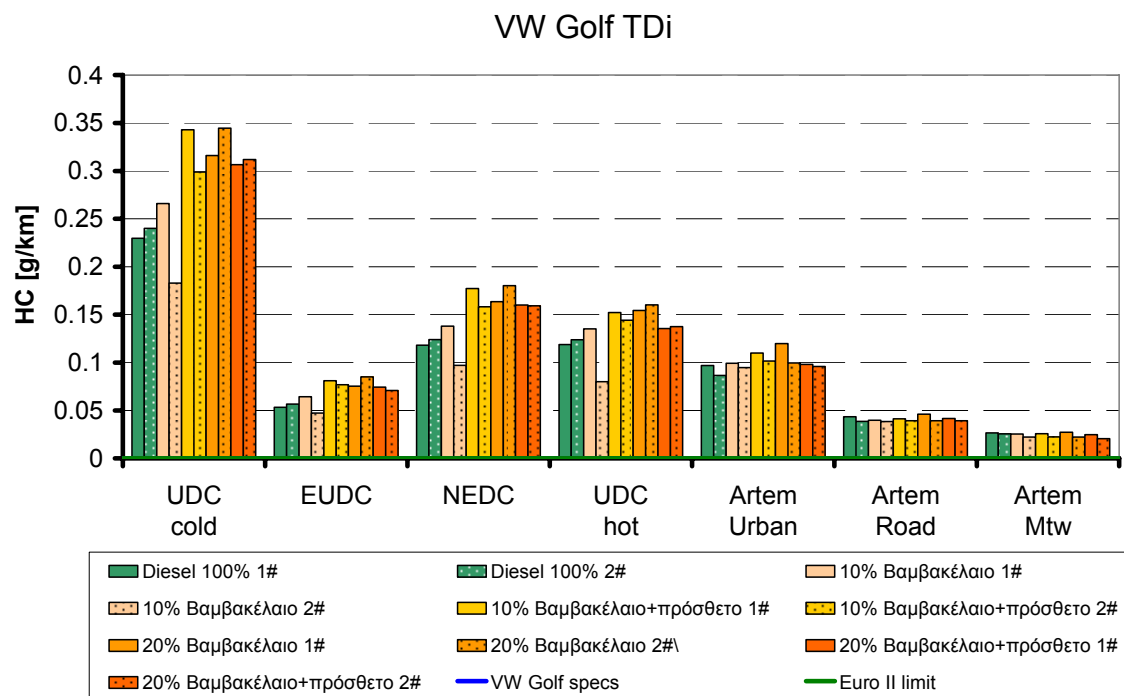
Εικόνα 0-2 Μετρήσεις εκπομπών CO₂



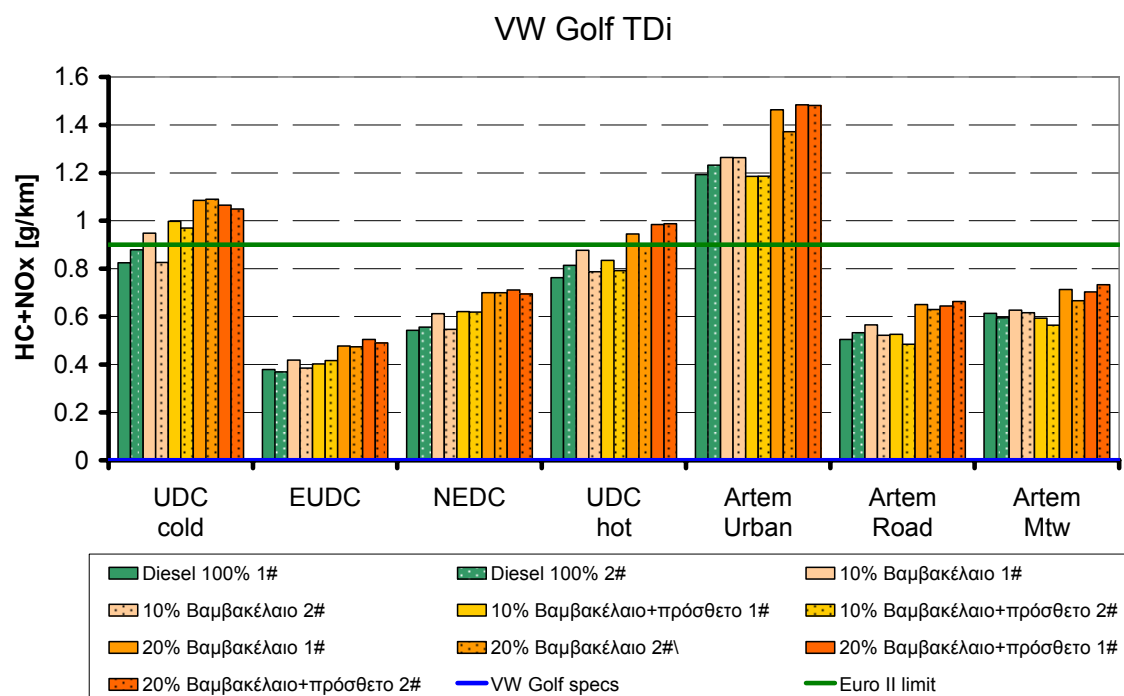
Εικόνα 0-3 Μετρήσεις εκπομπών NO_x



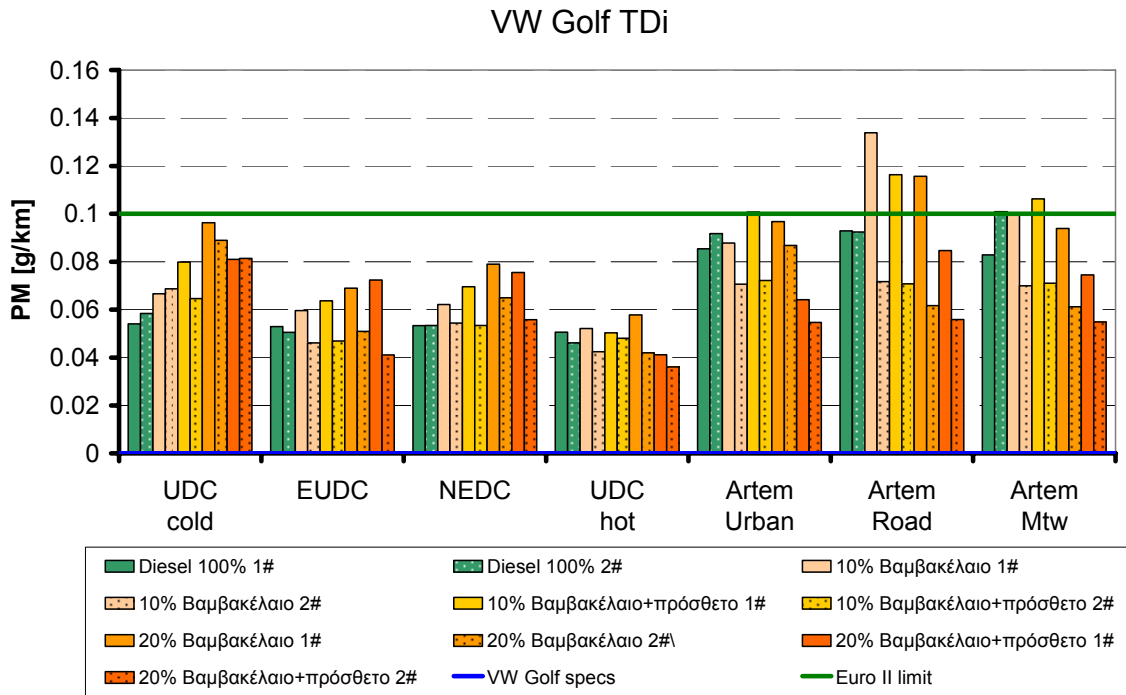
Εικόνα 0-4 Μετρήσεις εκπομπών CO



Εικόνα 0-5 Μετρήσεις εκπομπών HC



Εικόνα 0-6 Μετρήσεις εκπομπών NO_x + HC



Εικόνα 0-7 Μετρήσεις εκπομπών PM

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος του Υποέργου

Αναστάσιος Μωυσιάδης
Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός
Καθηγητής