



ΙΔΡΥΜΑ (Φορέας Υλοποίησης) : ΤΕΙ Σερρών

ΤΜΗΜΑ: Μηχανολογίας

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: Γεώργιος Μήλτσιος

ΘΕΜΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ: Διερεύνηση της επίπτωσης της σύστασης των λιπαντικών στα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των εκπομπών σωματιδίων κινητήρων diesel

Πακέτα Εργασίας 1 & 2

Βιβλιογραφική Διερεύνηση - Δημιουργία μητρώου λιπαντικών –
παραγωγή δειγμάτων

Ηλίας Βουίτσης, Ζήσης Σαμαράς, Γεώργιος Μήλτσιος

Μάρτιος 2005

Εισαγωγή

Η σχετιζόμενη με την καύση ορυκτών καυσίμων σωματιδιακή ύλη (ΣΥ) έχει προκαλέσει έντονο ενδιαφέρον λόγω των επιδράσεων της στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Οι πετρελαιοκινητήρες αποτελούν μια από τις σημαντικότερες πηγές, υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις συσχέτισης της εκπεμπόμενης από αυτούς ΣΥ με καρκινογένεση και προβλήματα του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος (EPA, 2002) και υπόκεινται σε νομοθετικό περιορισμό. Το λιπαντικό (πιο συγκεκριμένα η κατανάλωσή του), πάντα αποτελούσε μια σημαντική πηγή υδρογονανθράκων και ΣΥ. Με δεδομένη την τεχνολογική εξέλιξη του κινητήρα, τη θέσπιση ολοένα και αυστηρότερων ορίων εκπομπής, τη μείωση του περιεχόμενου θείου στο καύσιμο (DIRECTIVE 2003/17/EC) και την εισαγωγή νέων τεχνολογιών επεξεργασίας του καυσαερίου, η επίδραση του λιπαντικού στις σωματιδιακές εκπομπές αναμένεται πιο έντονη και αποτελεί ένα από τα πεδία στα οποία θα κατευθυνθεί η έρευνα τα επόμενα χρόνια.

Τα Πακέτα Εργασίας 1 & 2 του υποέργου «*Διερεύνηση της επίπτωσης της σύστασης των λιπαντικών στα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των εκπομπών σωματιδίων κινητήρων diesel*» στοχεύει στη συλλογή και μελέτη της σχετικής με τα αντικείμενα του έργου διεθνούς βιβλιογραφίας, τη σύνθεση των ευρημάτων και την, με βάση αυτά, δημιουργία προδιαγραφών για τα δείγματα λιπαντικών που θα δημιουργηθούν και θα υποστούν την προκαταρκτική αξιολόγηση και τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων τους. Η άρθρωσή του έχει ως εξής: Αρχικά συνοψίζεται η βασική γνώση πάνω στο πρόβλημα ακολουθούμενη από μια σύνοψη των πλέον πρόσφατων δεδομένων και υποθέσεων, με εστίαση στη συνεισφορά του λιπαντικού. Στη συνέχεια, και με βάση την παραπάνω σύνοψη, γίνεται μια χαρτογράφηση προδιαγραφών των λιπαντικών που θα ερευνηθούν στα πλαίσια του υποέργου.

1. Σωματιδιακές εκπομπές πετρελαιοκινητήρων

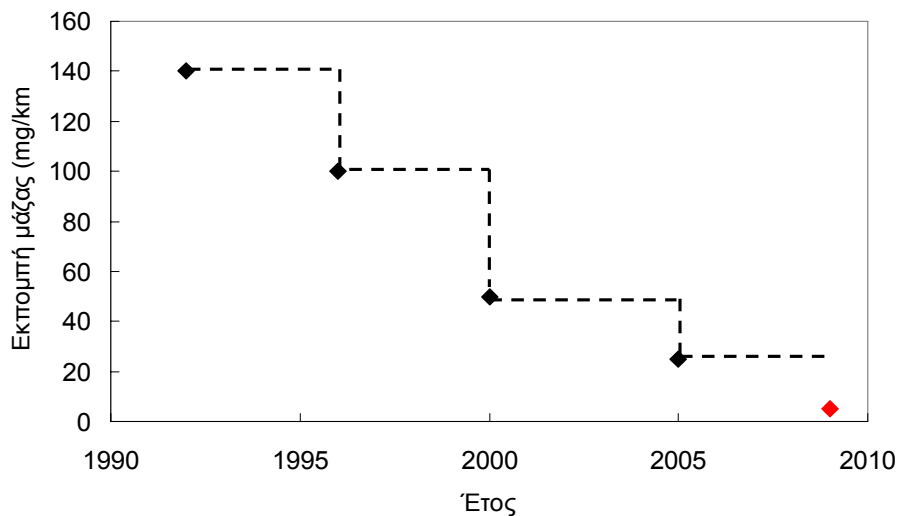
Δεν υπάρχει ακριβής ορισμός της εκπεμπόμενης από τους κινητήρες ντίζελ ΣΥ. Ο ορισμός καθορίζεται από τη μέθοδο δειγματοληψίας, η οποία καθεαυτή αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της νομοθεσίας (Vouitsis et al. 2003). Η νομοθεσία προδιαγράφει

μεταφορά του καυσαερίου σε αγωγό αραίωσης, αραίωση με φιλτραρισμένο αέρα, ισοκινητική παραλαβή δείγματος και διέλευση αυτού από φίλτρο που βρίσκεται σε θερμοκρασία μικρότερη των 52 °C. Η εκπομπή μάζας προσδιορίζεται με ζύγιση του φίλτρου μετά από σταθεροποίηση σε ειδικό θάλαμο. Με βάση τη νομοθετημένη μέθοδο δειγματοληψίας, η ΣΥ των ντίζελ αποτελείται από σωματίδια άνθρακα τα οποία έχουν υποστεί συσσωμάτωση και πάνω τους έχουν προσροφηθεί ανόργανες και οργανικές ενώσεις. Ένα ποσοστό της ΣΥ αντιστοιχεί σε μεταλλικές ενώσεις.

Είναι προφανές ότι οποιαδήποτε αλλαγή στη διαδικασία μπορεί να δώσει διαφορετικά αποτελέσματα και η τυποποίηση της μεθόδου είναι μεγίστης σημασίας για τη σύγκριση δεδομένων από διαφορετικά εργαστήρια. Τέτοια τυποποίηση υπάρχει μόνο για την μέτρηση μάζας και γίνεται εντατική έρευνα για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων τυποποίησης μεθόδου δειγματοληψίας – ορισμού - μέτρησης και άλλων παραμέτρων (αριθμός, μέγεθος, ειδική επιφάνεια) (PARTICULATES, PMP, Ntziacristos et al. 2003, Thompson et al. 2004).

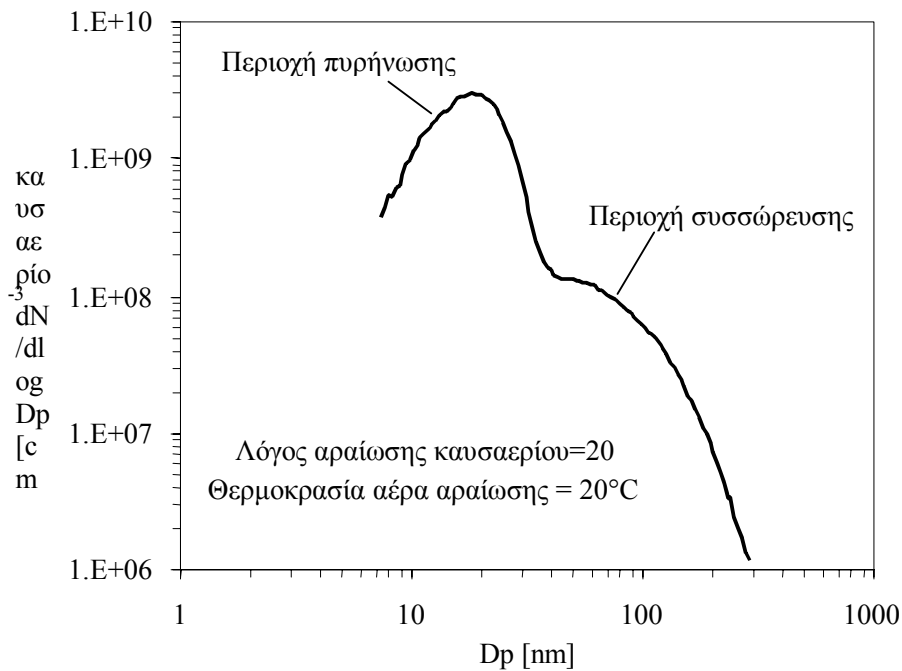
Η εξέλιξη της τεχνολογίας έδωσε τη δυνατότητα θεαματικής μείωσης της εκπεμπόμενης σωματιδιακής μάζας σύμφωνα με τις απαιτήσεις της νομοθεσίας (**Εικόνα 2-1**). Απαιτήσεις για περαιτέρω μείωση, οδηγούν στην ανάγκη εφαρμογής τεχνολογιών επεξεργασίας του καυσαερίου (π.χ., φίλτρα ΣΥ). Οι τεχνολογίες αυτές που μειώνουν την εκπεμπόμενη ΣΥ σε ποσοστό μεγαλύτερο από 99% (Mayer et al. 2002) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην ποιότητα του καυσίμου (ειδικά στο περιεχόμενο θείου) και στον τύπο και την ποιότητα του λιπαντικού.

Με βάση πειραματικές και μη αυστηρά τυποποιημένες μεθόδους δειγματοληψίας - μέτρησης, η ΣΥ των πετρελαιοκίνητων οχημάτων μπορεί να οριστεί ως ένα μεικτό σύστημα σωματιδίων με το μέγιστο της αριθμητικής συγκέντρωσης στην περιοχή πυρήνων (nucleation mode, μέση διάμετρος < 30 nm) και το μέγιστο της συγκέντρωσης μάζας στην περιοχή συσσώρευσης (accumulation mode, μέση διάμετρος = 30 – 100 nm) (Εικόνα 2-2).

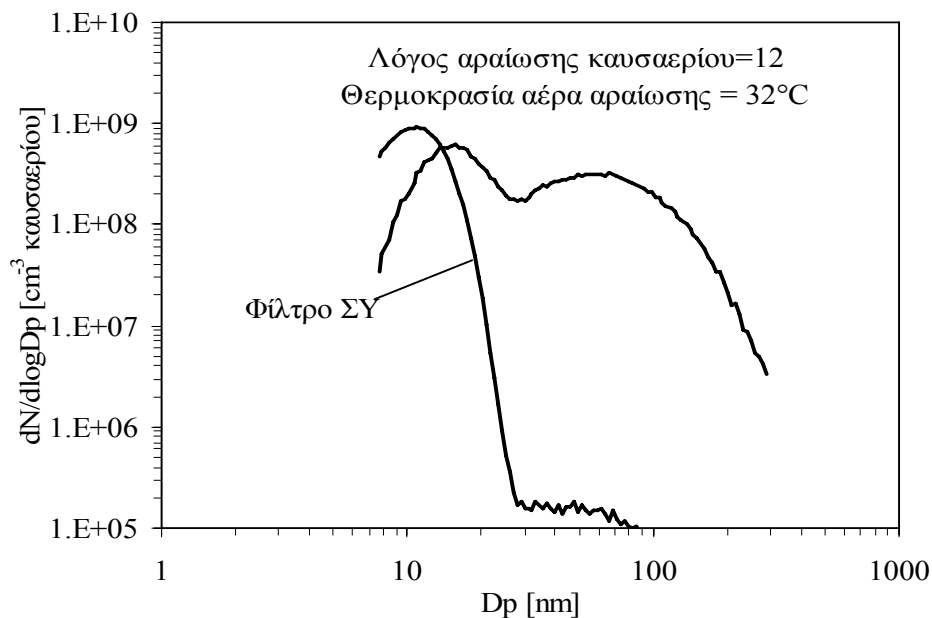


Εικόνα 2-1. Διαχρονική εξέλιξη της ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα όρια εκπομπής ΣΥ από οχήματα ντίζελ ελαφρού καθήκοντος. Το όριο εκπομπής για το 2009 (Euro V) δεν έχει ακόμη αποφασιστεί. Η Γερμανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος (UBA) προτείνει 2,5 mg/km, η Ένωση Ευρωπαίων Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (ACEA) προτείνει ένα όριο μεταξύ 9 και 11,5 mg/km. Πιθανότερη τιμή, ένας συμβιβασμός στα 5 mg/km.

Τα σωματίδια της περιοχής πυρήνων αναφέρονται και ως νανοσωματίδια αν και οι δύο όροι δεν είναι ταυτόσημοι (τα νανοσωματίδια ορίζονται ως τα σωματίδια με μέση διάμετρο < 50 nm (Pui and Chen, 1997) και περιλαμβάνουν όλα τα σωματίδια της περιοχής πυρήνων αλλά και μέρος των σωματιδίων συσσώρευσης). Η φύση των σωματιδίων της περιοχής πυρήνων είναι ακόμη υπό διερεύνηση αν και υποδεικνύεται έντονα ότι τα σωματίδια αυτά είναι πτητικά (ένυδρο θειικό οξύ και παραφίνες). Θεωρείται ότι σχηματίζονται από αέρια πρόδρομα συστατικά κατά την αραίωση - ψύξη του καυσαερίου. Η συγκέντρωσή τους εξαρτάται σημαντικά από τις συνθήκες αραίωσης – σταθεροποίησης του δείγματος (Vouitsis et al. 2005, Abdul - Khalek et al. 1998). Ένα μικρό ποσοστό της περιοχής αυτής μπορεί να είναι και στερεό (άνθρακας ή / και μεταλλικά οξείδια από τα πρόσθετα του λιπαντικού) (Sakurai et al. 2003, Sgro et al. 2003, Kittelson 1998). Προς το παρόν γίνεται η υπόθεση ότι το θειικό οξύ μαζί με το νερό συμπυκνώνονται τόσο ομογενώς, δίνοντας πυρήνες σωματιδίων, όσο και ετερογενώς πάνω στην ανθρακική επιφάνεια. Στη συνέχεια, βαρείς υδρογονάνθρακες, προερχόμενοι από το λιπαντικό και από άκαυστο καύσιμο, συμπυκνώνονται ή προσροφώνται στην διαθέσιμη υγρή και ανθρακική



Εικόνα 2-2. Κατανομή μεγέθους ΣΥ καυσασερίου επιβατηγού οχήματος ντίζελ (Euro I). Καύσιμο: European diesel fuel specification EN-590 (περιεχόμενο θείο=250 ppm). (PARTICULATES)



Εικόνα 2-3. Κατανομή μεγέθους ΣΥ καυσασερίου επιβατηγού οχήματος ντίζελ (Euro III) με και χωρίς φίλτρο ΣΥ. Καύσιμο: European diesel fuel specification EN-590 (περιεχόμενο θείο=50 ppm). (PARTICULATES)

επιφάνεια, αυξάνουν το μέγεθος των υγρών πυρήνων και των ανθρακικών σωματιδίων και σχηματίζουν το οργανικό κλάσμα της ΣΥ (Vouitsis et al. 2005, Sakurai et al. 2003, Tobias et al. 2001). Η συνεισφορά των σωματιδίων της περιοχής πυρήνων στην εκπεμπόμενη σωματιδιακή μάζα είναι μικρή (<10%). Υπό προϋποθέσεις, η εφαρμογή φίλτρων ΣΥ για τη μείωση της εκπεμπόμενης μάζας (σε συνδυασμό με ή χωρίς οξειδωτικό καταλύτη) είναι δυνατό να οδηγήσει σε αύξηση του αριθμού των εκπεμπόμενων σωματιδίων λόγω ενίσχυσης του δυναμικού πυρηνογένεσης ένυδρου θειικού οξέος (Εικόνα 2-3). Ο οξειδωτικός καταλύτης μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της μάζας του πτητικού μέρους της ΣΥ και παράλληλα σε αύξηση της συνολικής αριθμητικής συγκέντρωσης, μέσω ενίσχυσης της οξείδωσης του διοξειδίου του θείου προς τριοξείδιο του θείου και θειικό οξύ. Η χρήση καυσίμων μειωμένης περιεκτικότητας σε θείο κάνει την πιθανότητα επίδρασης του λιπαντικού στο φαινόμενο ισχυρή (Vaaraslahti et al. 2004).

Τα σωματίδια της περιοχής συσσώρευσης είναι ουσιαστικά αυτά που ορίζονται ως ΣΥ από τη νομοθετημένη μέθοδο (βλ. παραπάνω). Οι προσροφημένες οργανικές ενώσεις προέρχονται από άκαυστο καύσιμο και το λιπαντικό, ενώ οι μεταλλικές ενώσεις προέρχονται κατά βάση από το λιπαντικό χωρίς να αποκλείεται συνεισφορά της μηχανής λόγω φθοράς. Το οργανικό κλάσμα, ανάλογα με τον τρόπο προσδιορισμού του, αναφέρεται είτε ως διαλυτό οργανικό κλάσμα (εκχύλιση με οργανικό διαλύτη) είτε ως πτητικό οργανικό κλάσμα (θέρμανση). Το θειικό οξύ, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα σε μεταλλικής βάσης ενώσεις (καύσιμο και πρωτίστως λιπαντικό) μπορεί να σχηματίσει αντίστοιχα θειικά άλατα (μη πτητικά). Για τις μεταλλικές ενώσεις υποτίθεται ομογενής πυρηνογένεση πτητικής μεταλλικής στάχτης κατά το χρόνο της εκτόνωσης, η οποία συσσωματώνεται και απαντά έτσι στην περιοχή συσσώρευσης. Φυσικά, και ανάλογα με το ρυθμό της συσσωμάτωσης, τα μεταλλικά σωματίδια μπορεί να απαντούν και στην περιοχή πυρήνων. Να σημειωθεί ότι το ποσοστό των μεταλλικών ενώσεων αναμένεται να αυξηθεί σε μηχανές βελτιστοποιημένες σε μειωμένη εκπομπή ανθρακικών σωματιδίων λόγω ενίσχυσης του δυναμικού ομογενούς πυρηνογένεσης.

2. Επίδραση του λιπαντικού

Στα πλαίσια αυτά, κυβερνήσεις και βιομηχανία ενδιαφέρονται ιδιαίτερα για την επίτευξη βέλτιστων συνδυασμών καυσίμων χαμηλού θείου, λιπαντικών, κινητήρων και τεχνολογιών επεξεργασίας του καυσαερίου, με στόχο την ικανοποίηση των αυστηρών μελλοντικών ορίων εκπομπών. Τα ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν σχετικά με το λιπαντικό έχουν ως εξής!

- Υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις εκπομπές και κατά πόσο μπορούν να αποδοθούν στο λιπαντικό;
- Αν ναι, κατά πόσο αυτό οφείλεται στο βασικό τύπο του λιπαντικού και κατά πόσο στα χρησιμοποιούμενα πρόσθετα;
- Είναι δυνατή η πρόβλεψη συγκεκριμένων εκπομπών (πιθανότερα οξειδίων μετάλλων) από τις ιδιότητες του λιπαντικού και του καυσίμου;
- Είναι δυνατή η ταυτοποίηση εμπειρικής σχέσης μεταξύ ιδιοτήτων λιπαντικού και εκπομπών;
- Ποια η επίδραση του λιπαντικού στην απόδοση και τον ωφέλιμο χρόνο ζωής των συσκευών μετεπεξεργασίας καυσαερίου;

Τα ερωτήματα αυτά διαμορφώνουν ουσιαστικά ένα πεδίο που σε μεγάλο βαθμό είναι αδιερεύνητο και οι επιμέρους απαντήσεις απαιτούν χρονοβόρες και αυξημένου κόστους πειραματικές διερευνήσεις. Όπως υποδεικνύεται από ήδη αναφερθέντα, η επίδραση του λιπαντικού μπορεί να διερευνηθεί τόσο σε συλλεγμένη σε φίλτρο ΣΥ όσο και σε ΣΥ σε διασπορά στο καυσαέριο.

Η συνεισφορά του λιπαντικού σε ΣΥ συλλεγμένη σε φίλτρο μπορεί να προσμετρηθεί με χημική ανάλυση (ανίχνευση μεταλλικών στοιχείων γνωστής περιεκτικότητας στο λιπαντικό, χαρτογράφηση πολυαρωματικού περιεχομένου στη ΣΥ και σύγκριση με το προφίλ των πολυαρωματικών στο καύσιμο και στο λιπαντικό). Η σχετική έρευνα σε παλιότερους κινητήρες έχει δείξει ότι το λιπαντικό συνεισφέρει κατά σημαντικό ποσοστό στις σωματιδιακές εκπομπές, τόσο στο πτητικό όσο και στο μη-πτητικό (ανθρακικό)

κλάσμα. Όσον αφορά το τελευταίο, αναφέρεται συνεισφορά του λιπαντικού 15-25% (Mayer et al. 1980, Hilden et al. 1984, Williams et al. 1987, Cartellieri and Wachter 1987, Essig et al. 1990, Cooke 1990, Krieger et al. 1991) ενώ όσον αφορά το πτητικό κλάσμα αναφέρεται συνεισφορά 19–88% (Mayer et al. 1980, Cartellieri and Tritthart 1984, Andrews et al. 1993). Σε κάθε περίπτωση, η επίδραση ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα και τις συνθήκες λειτουργίας, το καύσιμο και τη σύνθεση του λιπαντικού και το σύστημα επεξεργασίας του καυσαερίου (Johnson 2003, Johnson 2004).

Από τις πιο πρόσφατες δημοσιεύσεις σε νεότερους κινητήρες, μπορεί να διακρίνει κανείς κάποια αντιφατικότητα στα αναφερόμενα αποτελέσματα. Οι Lechner et al. (2002), εξέτασαν την επίδραση του λιπαντικού σε πρότυπο κινητήρα με καύσιμο 500 ppm θείου, εφαρμόζοντας ένα εκτεταμένο μητρώο που συμπεριλάμβανε 12 λιπαντικά (4 διαμορφώσεις βασικών λιπαντικών, 2 συνθετικά και 2 συμβατικά πετρελαιογενούς προέλευσης, με το ίδιο χαρμάνι προσθέτων και χωρίς τροποποιητές τριβής και 8 διαμορφώσεις με τροποποιητές τριβής, 4 διαμορφώσεις οργανικής βάσης (χωρίς μεταλλικά στοιχεία) και 4 διαμορφώσεις ανόργανης βάσης). Όσον αφορά τις σωματιδιακές εκπομπές (μάζα) δεν αναφέρουν κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των λιπαντικών. Σε ορισμένα σημεία λειτουργίας, το λιπαντικό βρέθηκε να συνεισφέρει έως και 50% στη σωματιδιακή μάζα χωρίς να ανιχνεύεται ξεκάθαρη επίδραση στο αδιάλυτο οργανικό κλάσμα αυτής. Περαιτέρω αναφέρουν ότι οι διαμορφώσεις με χαμηλό δείκτη ιξώδους συνεισέφεραν λιγότερο στη σωματιδιακή μάζα. Επίσης, τα συνθετικά λιπαντικά βρέθηκαν να συνεισφέρουν λιγότερο στο πτητικό κλάσμα. Οι Froelund et al. (2000) εξέτασαν την επίδραση του λιπαντικού σε κινητήρα ελαφρού καθήκοντος στις νομοθετημένες εκπομπές χρησιμοποιώντας τρία διαφορετικά λιπαντικά και δύο διαφορετικά καύσιμα. Τα συνθετικά, υψηλού δείκτη ιξώδους, λιπαντικά έδωσαν μειωμένες σωματιδιακές εκπομπές συγκριτικά με τα συμβατικά, αλλά η επίδρασή τους ήταν πολύ λιγότερο έντονη από αυτή των ιδιοτήτων του καυσίμου. Οι Jefferd et al. (2000) διερεύνησαν ένα ημι – συνθετικό και δύο συνθετικά λιπαντικά με ένα καύσιμο σε κινητήρα βαρέως καθήκοντος. Οι εκπομπές με το ημι – συνθετικό λιπαντικό ήταν χαμηλότερες κατά 20%. Οι Manni et al. (1997) διερεύνησαν την επίδραση τριών διαφορετικών λιπαντικών στις εκπομπές ενός μονοκύλινδρου κινητήρα απευθείας έγχυσης σε συνθήκες λειτουργίας κοντά στο πλήρες φορτίο. Με βάση τα

αποτελέσματά τους ανέπτυξαν ένα πρωτότυπο λιπαντικό χαμηλού δείκτη ιξώδους με το οποίο ο κινητήρας μπορούσε να λειτουργεί με μεγαλύτερο λόγο αέρα σε σταθερό φορτίο και έδινε μειωμένες σωματιδιακές εκπομπές κατά 22%. Οι ίδιοι ερευνητές (Manni et al. 1995) εξέτασαν την επίδραση των φυσικών ιδιοτήτων διαφόρων λιπαντικών (τρία συμβατικά, ένα ημι – συνθετικό και ένα συνθετικό) με ένα καύσιμο σε κινητήρα βαρέως καθήκοντος και δεν αναφέρουν επίδραση στις σωματιδιακές εκπομπές. Αναφέρουν ακόμη ότι τα λιπαντικά χαμηλότερου δείκτη ιξώδους έδωσαν σωματιδιακές εκπομπές, και πιο συγκεκριμένα πτητικό μέρος, με χαμηλότερη συνεισφορά του λιπαντικού και πιο έντονη του άκαυστου καυσίμου. Οι Kytö et al. (2002), εξέτασαν μια σειρά λιπαντικών με το ίδιο καύσιμο. Τα λιπαντικά διαφοροποιούνταν τόσο στο βασικό τύπο όσο και στα πρόσθετα. Προσθέτοντας λιπαντικό στο καύσιμο (2% κ.β.), βρήκαν μια σημαντική αύξηση στην εκπεμπόμενη σωματιδιακή μάζα αλλά με σημαντική διαφοροποίηση από λιπαντικό σε λιπαντικό: τα λιπαντικά με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (2 ppm), σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε μεταλλικά στοιχεία και υψηλό δείκτη ιξώδους (ACEA E5 class low-ash oil) δεν έδειξαν σημαντική συμμετοχή στην εκπεμπόμενη μάζα, ενώ τα τυπικά λιπαντικά υψηλής συγκέντρωσης σε θείο και μεταλλικά στοιχεία έδωσαν πολλαπλάσια εκπομπή μάζας (από 70 – 100%). Περαιτέρω, είδαν ότι τα μεταλλικά στοιχεία των λιπαντικών, αν και επηρεάζουν την εκπομπή, δεν μπορούν να εξηγήσουν τη μεγάλη διαφορά αφού η μεταξύ τους διαφοροποίηση στην περιεκτικότητα στο λιπαντικό δεν ξεπερνούσε το 30% και υπέθεσαν ότι είναι σημαντικά και επιμέρους χαρακτηριστικά της καύσης αλλά και το περιεχόμενο θείο. Αντίστοιχα αποτελέσματα έδειξαν και οι Kahandawala et al. (2004) σε πείραμα καύσης όπου μελέτησαν τους υποτιθέμενους μηχανισμούς συνεισφοράς του λιπαντικού στη σχηματιζόμενη ΣΥ: τον μηχανισμό πυρόλυσης και πολυμερισμού σταγονιδίων υδρογονανθράκων χαμηλής τάσης ατμών (στην περίπτωση αυτή οι υδρογονάνθρακες του λιπαντικού λόγω του μεγαλύτερου μοριακού βάρους μπορεί να δώσουν περισσότερη ΣΥ από το καύσιμο), μηχανισμός που συνήθως αναφέρεται ως μηχανισμός καύσης (Williams, 1990), και το μηχανισμό προσρόφησης (Mayer et al. 1980) (όταν η πτώση πίεσης μετά την καύση ωθεί λιπαντικό που έχει παγιδευτεί σε στενώσεις, στις βαλβίδες ή και στα τοιχώματα του κυλίνδρου, και έχει αποφύγει την καύση σε προσρόφηση πάνω στα υπάρχοντα σωματίδια). Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν το μηχανισμό προσρόφησης ως τον κυρίαρχο μηχανισμό

μέσω του οποίου το λιπαντικό συμμετέχει στη σωματιδιακή εκπομπή. Διαρροές μέσω των οδηγών των βαλβίδων εξαγωγής και κυριότερα η κατανάλωση του λιπαντικού των τοιχωμάτων του κυλίνδρου κατά τη διάρκεια της καύσης θεωρήθηκαν οι κυριότερες αιτίες. Για την επίτευξη μειωμένων σωματιδιακών εκπομπών οι νεώτεροι κινητήρες σχεδιάζονται έτσι ώστε να λειτουργούν με λεπτότερο φιλμ λιπαντικού και να ελαχιστοποιούν τη διαρροή από τα ελατήρια του εμβόλου. Οι σχεδιαστικές τροποποιήσεις όμως μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένο ρυθμό φθοράς, να αυξήσουν τις θερμοκρασίες λειτουργίας και το ρυθμό σχηματισμού επικαθήσεων.

Όλες οι εκπομπές και ιδιαίτερα η εκπομπή πολυαρωματικών (PAH) και μεταλλικών ενώσεων σχετίζονται με το λιπαντικό και πιο συγκεκριμένα με την κατανάλωση αυτού. Η κατανάλωση του λιπαντικού είναι από τους πιο αξιόπιστους δείκτες εκτίμησης της επίδρασης του λιπαντικού τόσο στη λειτουργία του κινητήρα όσο και στις εκπομπές του. Είναι γνωστό ότι υπό μόνιμες συνθήκες λειτουργίας το λιπαντικό καταναλώνεται σε μικρές αλλά όχι αμελητέες ποσότητες (Essig et al. 1990, Stetter et al. 2003). Ο ρυθμός κατανάλωσης εξαρτάται τόσο από το σύστημα κυλίνδρου – εμβόλου – βαλβίδων (De Petris et al. 1996, Mori et al. 1996) όσο και από ρεολογικά χαρακτηριστικά του βασικού λιπαντικού (ιξώδες) (Manni et al. 1995, Van Dam and Kleiser 1995). Στην περίπτωση μεταβατικών συνθηκών λειτουργίας η κατανάλωση εμφανίζεται αυξημένη και ποικίλει ανάλογα με το σχεδιασμό του συστήματος στεγανοποίησης εμβόλου – κυλίνδρου (ελατήριο λαδιού) (Bailey and Ariga 1990, Ariga 1996).

Στη δεύτερη περίπτωση (ΣΥ σε διασπορά στο καυσαέριο), η έρευνα είναι σε πρωταρχικό στάδιο και πολύ λίγες εργασίες έχουν δημοσιευθεί. Όπως αναφέρθηκε, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι η συμμετοχή του λιπαντικού στη δημιουργία σωματιδίων της περιοχής πυρήνων είναι πιθανότατα σημαντική. Οι νέες σχεδιάσεις κινητήρα δημιουργούν συνθήκες λειτουργίας για το λιπαντικό λιγότερο φιλικές. Η μείωση του περιεχόμενου στο καύσιμο θείου και η εφαρμογή τεχνολογιών επεξεργασίας του καυσαερίου υποστηρίζουν, επίσης, υποθέσεις για συμμετοχή του λιπαντικού στο σχηματισμό σωματιδίων της περιοχής πυρήνων, είτε μέσω εκπομπής μεταλλικών οξειδίων που διαφεύγουν τη συσσωμάτωση είτε μέσω του περιεχόμενου θείου και των περιεχόμενων οργανικών ενώσεων που μπορεί να συμμετέχουν σε ομογενή πυρηνόγνεση μετά από φίλτρο σωματιδίων. Το πλέον σημαντικό εύρημα ήταν ότι το

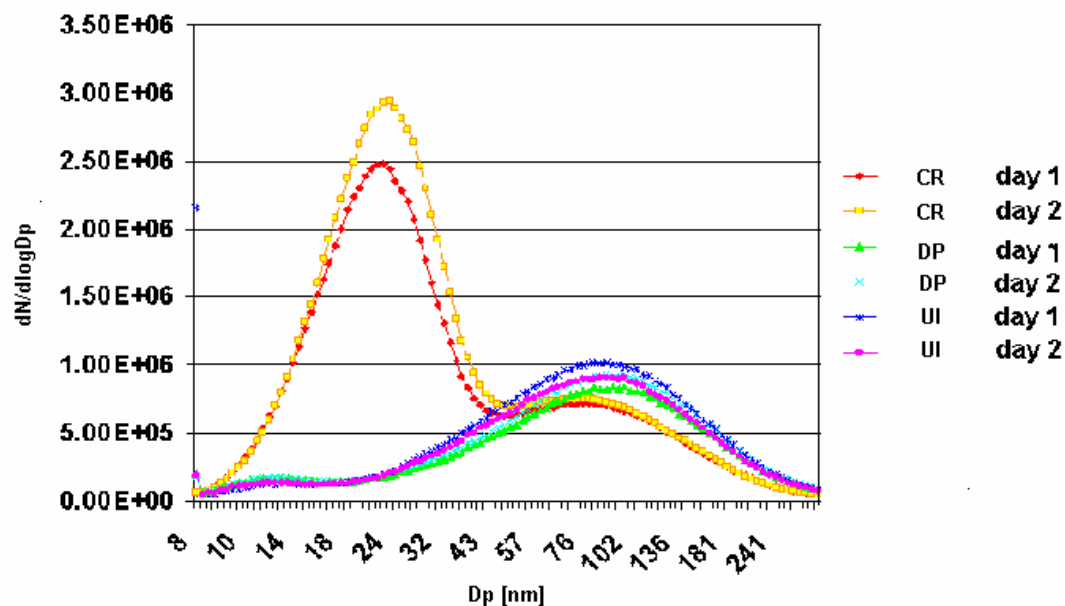
λιπαντικό που έδινε τη χαμηλότερη εκπομπή μάζας ήταν και αυτό που έδινε την υψηλότερη εκπομπή αριθμού σωματιδίων (Kytö et al. 2002). Οι ερευνητές εξήγησαν το φαινόμενο θεωρώντας ότι η μείωση της σωματιδιακής μάζας οδηγεί σε χαμηλότερο ρυθμό συσσωμάτωσης των μικρότερων σωματιδίων στα μεγαλύτερα.

Από τις ελάχιστες εργασίες που αναφέρονται στην επίδραση του λιπαντικού στη κατανομή μεγέθους της εκπεμπόμενης ΣΥ, και ιδιαίτερα στα σωματίδια περιοχής πυρήνων, είναι οι εργασίες των Preston et al. (2004) και Vaaraslathi et al. (2004). Οι Preston et al. (2004) διερεύνησαν την επίδραση του καυσίμου και του λιπαντικού στα σωματίδια περιοχής πυρήνων πάνω σε τρεις διαφορετικούς κινητήρες ελαφρού καθήκοντος (με σύστημα κοινής τροφοδοσίας, με σύστημα μοναδιαίου εγχυτήρα και με ηλεκτρονικά ελεγχόμενη αντλία καυσίμου) με φίλτρο και χωρίς φίλτρο ΣΥ, με εντυπωσιακά αποτελέσματα. Χρησιμοποιήθηκαν καύσιμα με τρεις διαφορετικές περιεκτικότητες σε θείο (50 ppm, 10 ppm και 1 ppm) και τέσσερις διαμορφώσεις λιπαντικών (χαμηλού θείου / υψηλού φωσφόρου (LS / HP), χαμηλού θείου / χαμηλού φωσφόρου (LS / LP), υψηλού θείου / υψηλού φωσφόρου (HS / HP), μέσου θείου / μέσου φωσφόρου (IS / IP)). Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

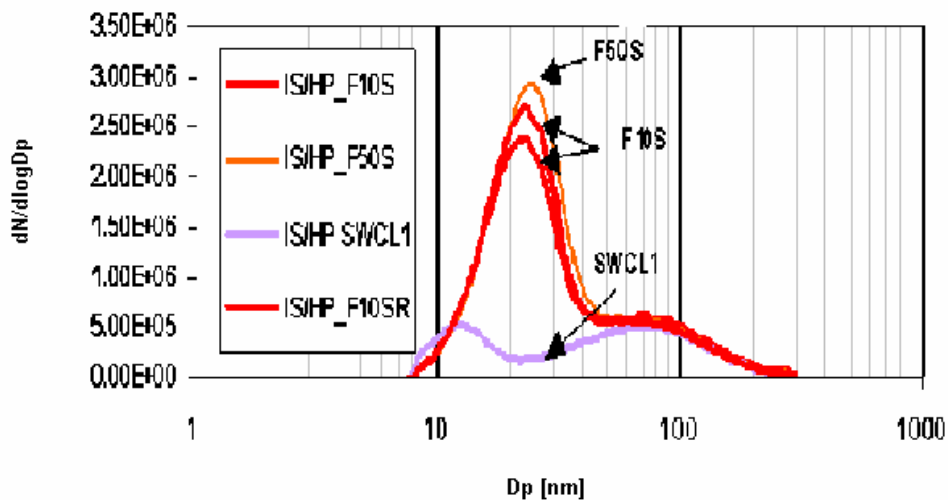
- Η τεχνολογία ψεκασμού του καυσίμου είναι σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το σχηματισμό σωματιδίων περιοχής πυρήνων (Εικόνα 3-1 και Εικόνα 3-2).
- Το σχεδόν μηδενικού θείου καύσιμο μειώνει σημαντικά τον αριθμό των σωματιδίων περιοχής πυρήνων.
- Τα σωματίδια περιοχής πυρήνων εμφανίζονται σε υψηλές συγκεντρώσεις σε συνθήκες ρελαντί και κατά την επιβράδυνση.
- Τα σωματίδια περιοχής συσώρευσης είναι κυρίαρχα κατά την επιτάχυνση.
- Τα φίλτρα ΣΥ εμφάνισαν υψηλή απόδοση κατακράτησης (>99.9%) αλλά υπήρξε σημαντική μεταβλητότητα από φίλτρο σε φίλτρο.
- Το θείο και ο φωσφόρος του λιπαντικού είχαν σημαντική επίδραση στα σωματίδια περιοχής πυρήνων.

- Το φίλτρο κορδιερίτη έδειξε μεγαλύτερη επίδραση στα σωματίδια περιοχής πυρήνων.
- Ανάλυση ΣΥ σε φίλτρο συλλεγμένης σε συνθήκες αστικού ευρωπαϊκού κύκλου οδήγησης (EUDC) δεν έδειξε παρουσία του λιπαντικού στις συνθήκες όπου τα σωματίδια περιοχής πυρήνων ήταν κυρίαρχα.
- Η μεταλλική στάχτη κατακρατείται πλήρως όταν χρησιμοποιείται φίλτρο καρβιδίου του πυριτίου (SiC) και, κατά συνέπεια, δεν μπορεί να θεωρηθεί ως πρόδρομο στοιχείο πυρινογένεσης.
- Το θείο του λιπαντικού μπορεί να προσμετρηθεί με ανάλυση των επικαθήσεων σε μη καταλυτικό φίλτρο SiC.
- Το θείο του καυσίμου δεν επικάθεται σε μη καταλυτικό φίλτρο SiC.

Οι Vaaraslathi et al. (2005) διερεύνησαν την επίδραση του λιπαντικού στο σχηματισμό σωματιδίων περιοχής πυρήνων σε κινητήρα βαρέως καθήκοντος με φίλτρο και χωρίς φίλτρο ΣΥ, σε μόνιμες συνθήκες λειτουργίας, με καύσιμο πολύ χαμηλού θείου (<1 ppm) και τέσσερα διαφορετικά λιπαντικά. Όσον αφορά τις νομοθετημένες εκπομπές, οι



Εικόνα 3-1. Κατανομές ΣΥ σε διαφορετικές ημέρες και σε συνθήκες ρελαντί για τρεις κινητήρες διαφορετικής τεχνολογίας ψεκασμού καυσίμου (common rail (CR), distributor pump (DP), unit injector (UI)). Περιεκτικότητα σε θείο του χρησιμοποιούμενου καυσίμου = 50 ppm.



Εικόνα 3-2. Κατανομή μεγέθους εκπεμπόμενης ΣΥ από κινητήρα common rail με καύσιμο τριών περιεκτικότητων σε θείο και ένα λιπαντικό.

διαφορές μεταξύ των λιπαντικών ήταν μικρές. Οι μεγαλύτερες διαφορές εντοπίστηκαν στην εκπομπή ΣΥ και υδρογονανθράκων στα χαμηλά φορτία λειτουργίας. Όσον αφορά την κατανομή μεγέθους, βρέθηκε ότι σωματίδια περιοχής πυρήνων σχηματίζονται σε χαμηλά φορτία λειτουργίας όταν δεν χρησιμοποιείται φίλτρο. Δε βρέθηκε κάποια συσχέτιση μεταξύ των σωματιδίων αυτών και του θείου του λιπαντικού αφού παρατηρήθηκε υψηλή συγκέντρωση με χρήση λιπαντικού χαμηλού θείου, κάτι που δεν έγινε με χρήση λιπαντικού υψηλότερου θείου. Πιο ενδιαφέροντα ήταν τα αποτελέσματα όταν χρησιμοποιούνταν φίλτρο ΣΥ. Στην περίπτωση αυτή, σωματίδια περιοχής πυρήνων παρατηρήθηκαν με όλα τα λιπαντικά σε υψηλά φορτία λειτουργίας, υπήρξε μάλιστα μια καλή συσχέτιση με το περιεχόμενο θείο. Η συγκέντρωση των σωματιδίων περιοχής πυρήνων έβαινε μειούμενη με τον αριθμό των επαναλήψεων, φαινόμενο που αποδόθηκε σε αποθήκευση θείου στον οξειδωτικό καταλύτη του φίλτρου και απελευθέρωσή του σε υψηλές θερμοκρασίες. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η περίπτωση του λιπαντικού που, όπως αναφέρθηκε, ενώ είχε υψηλότερη περιεκτικότητα σε θείο δεν έδωσε σωματίδια περιοχής πυρήνων στην περίπτωση του πειράματος χωρίς φίλτρο ΣΥ. Η στοιχειακή ανάλυση του λιπαντικού δεν έδωσε κάποια εξήγηση στο φαινόμενο. Οι συγγραφείς απέδωσαν το σχηματισμό σωματιδίων περιοχής πυρήνων σε συμπύκνωση οργανικού υλικού και υπέδειξαν περαιτέρω έρευνα χαρτογράφησης του οργανικού υλικού των λιπαντικών (ιδιαίτερα των βαρέων υδρογονανθράκων) για την εξαγωγή συσχέτισης μεταξύ αυτών και των σωματιδίων περιοχής πυρήνων. Σε κάθε περίπτωση (πείραμα με φίλτρο και χωρίς φίλτρο), η περιοχή συσσώρευσης δεν επηρεάζεται από το είδος του λιπαντικού που χρησιμοποιείται.

Παρόμοια αποτελέσματα δίνονται και από τους Givens et al. (2003), Kurihara et al. (2004) και Nemoto et al. (2004). Οι συγγραφείς αυτοί αναφέρουν ότι το κύριο συστατικό της στάχτης που επικάθεται σε φίλτρο σωματιδίων είναι το ανθρακικό ασβέστιο (με τη μορφή θεικών και φωσφορικών αλάτων αλλά και οξειδίων). Οι Givens et al. (2003) βρήκαν ότι η ποσότητα της στάχτης στο φίλτρο είναι απευθείας ανάλογη της συγκέντρωσης προσθέτων του λιπαντικού με βάση το θείο. Οι Kurihara et al. (2004) και Nemoto et al. (2004) αναφέρουν μικρή συσσώρευση στάχτης στο φίλτρο όταν γίνεται χρήση λιπαντικών με χαμηλή συγκέντρωση προσθέτων θείου. Οι Givens et al. (2003)

που διερεύνησαν και την κατανομή μεγέθους δεν ανίχνευσαν σωματίδια περιοχής πυρήνων.

Οι Hall et al (2003), που διερεύνησαν την επίδραση καυσίμου και λιπαντικού με χαμηλές περιεκτικότητες θείου στην κατανομή μεγέθους της εκπεμπόμενης ΣΥ από κινητήρα βαρέως καθήκοντος εξοπλισμένου με καταλυτικό φίλτρο σωματιδίων, βρήκαν ότι τα σωματίδια περιοχής πυρήνων ουσιαστικά εξαφανίζονται.

3. Μητρώο λιπαντικών - Προσχέδιο πρωτοκόλλου διερεύνησης επίδρασης του λιπαντικού στις σωματιδιακές εκπομπές

Όπως έχει γίνει φανερό, μια πλήρης διερεύνηση της επίδρασης του λιπαντικού στις σωματιδιακές εκπομπές απαιτεί έλεγχο τριών παραμέτρων:

- i. Κινητήρας (+συσκευές μετεπεξεργασίας)
- ii. Καύσιμο
- iii. Λιπαντικό

Αν και οι υποπαραμέτροι των τριών αυτών παραμέτρων (Κινητήρας: με προθάλαμο καύσης – IDI, υπερπληρούμενος απ' ευθείας εγχύσεως – TDI – με ηλεκτρονικά ελεγχόμενη αντλία καυσίμου και ανακύκλωση καυσαερίου και κινητήρας τεχνολογίας κοινής τροφοδοσίας (common rail), Καύσιμο: διαφορετική περιεκτικότητα σε θείο (σημερινό καύσιμο – 50 ppm S, καύσιμο μελλοντικών προδιαγραφών – 10 ppm S) με ή χωρίς πρόσμιξη biodiesel, Λιπαντικό: διάφορες ιδιότητες που θα συζητηθούν παρακάτω) ορίζουν ένα μεγάλο πεδίο πειραματικών δοκιμών, το πρόβλημα μπορεί να απλοποιηθεί σημαντικά απλοποιώντας τις παραμέτρους κινητήρας (+συσκευές μετεπεξεργασίας) και καύσιμο. Για το σκοπό αυτό έγιναν προκαταρκτικές μετρήσεις με στόχο τη διερεύνηση συσχέτισης σωματιδιακών εκπομπών – συσκευών μετεπεξεργασίας σε κινητήρα diesel Euro 1) και διερεύνηση συσχέτισης σωματιδιακών εκπομπών – καυσίμου σε κινητήρα diesel Euro 3. Οι μετρήσεις υπέδειξαν ότι για να είναι διακριτή η επίδραση του λιπαντικού απαιτείται κινητήρας σύγχρονης τεχνολογίας με φίλτρο σωματιδίων και καύσιμο με περιεχόμενο θείο είτε 50 ppm (σημερινά επίπεδα) είτε 10 ppm, (ανάλογα με

τη διαθεσιμότητα των ελληνικών πρατηρίων και το κόστος της συνολικής μέτρησης που είναι χρονοβόρα και εξαιρετικά ευαίσθητη).

Απομένει έτσι η παράμετρος λιπαντικό στην οποία και θα επικεντρωθεί το έργο. Στα πλαίσια του υποέργου θα εξεταστούν δύο διαφορετικοί βασικοί τύποι λιπαντικού (συμβατικό και συνθετικό), διαφοροποιημένης περιεκτικότητας σε θείο τα οποία θα αναμειγνύονται με διαφορετικά πρόσθετα και βελτιωτικά. Για κάθε τύπο λιπαντικού προσδιορίστηκαν, με βάση τυποποιημένες διαδικασίες προσδιορισμού τα τυπικά χαρακτηριστικά του (Πίνακας 1).

Η επίδραση των λιπαντικών θα εξεταστεί σύμφωνα με τα παραπάνω (σε κινητήρα σύγχρονης τεχνολογίας με φίλτρο σωματιδίων και σύγχρονο ή μελλοντικό καύσιμο κατά τον Νέο Ευρωπαϊκό Κύκλο Οδήγησης (NEDC) και άλλους πιο ρεαλιστικούς κύκλους οδήγησης (κύκλοι οδήγησης του Ευρωπαϊκού προγράμματος ARTEMIS οι οποίοι προσομοιώνουν την κίνηση σε αστικές περιοχές – ARTEMIS urban, σε περιαστικές ARTEMIS rural, σε αυτοκινητόδρομο – ARTEMIS highway). Θα γίνονται μετρήσεις εκπομπής των αερίων ρύπων (μονοξείδιο του άνθρακα, άκαυστοι υδρογονάνθρακες, οξείδια του αζώτου, διοξείδιο του άνθρακα), κατανάλωσης καυσίμου και σωματιδιακών εκπομπών (συνολική μάζα, αριθμός και κατανομή μεγέθους). Περαιτέρω, θα μετρηθεί η περιεκτικότητα των παραγόμενων σωματιδίων σε πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAH) και η επίδραση της γήρανσης του λιπαντικού σε όλα τα ως άνω μετρούμενα χαρακτηριστικά. Θα γίνει διερεύνηση της συσχέτισης των ενώσεων που ανιχνεύονται στα σωματίδια με ενώσεις που θα ανιχνεύονται στο καύσιμο και τα λιπαντικά (καινούργιο και γηρασμένο).

Πίνακας-1. Μητρώο λιπαντικών

Ιδιότητα	Συμβατικό	Συνθετικό
Φυσική κατάσταση	Υγρό	Υγρό
Σημείο ανάφλεξης	> 200 °C (Κλειστό κύπελλο)	> 205 °C (Ανοιχτό κύπελλο)
Χρώμα	Φαιοκίτρινο	Καφέ
Περιεχόμενο θείου (% w/w)	0,8	0,2
Οσμή	Ελαιώδης	Ελαιώδης
Πυκνότητα	887 kg/m ³ (15 °C)	840 kg/m ³ (20 °C)
Ιξώδες	14,7 mm ² /s (14,7 cSt) σε 100 °C	12,9 mm ² /s (12,9 cSt) σε 100 °C
Διαλυτότητα	Αδιάλυτο στο νερό	Αδιάλυτο στο νερό
Συντελεστής οκτανόλης – νερού (LogK _{ow})	>3 (περισσότερο διαλυτό σε οκτανόλη)	>3 (περισσότερο διαλυτό σε οκτανόλη)
Πρόσθετα	Διθειοφωσφορικός άλκυλο ψευδάργυρος	Διθειοφωσφορικός άλκυλο ψευδάργυρος & αλκυλ σαλικυλικό ασβέστιο
Σημείο ροής	-36 °C	

4. Βιβλιογραφία

1. Abdul - Khalek, I.S., Kittelson, D.B., Graskow, B.R., Wei, Q., and Brear, F., 1998. Diesel exhaust particle Size: Measurement issues and trends, *SAE Technical Paper* No. 980525.
2. Andrews, G. E., Abdelhalim, A. and Williams, P.T. (1993). The influence of lubricating oil age on emissions from an IDI diesel, *SAE Technical Paper* No. 931003.
3. Ariga, S., 1996. Observation of transient oil consumption with in-cylinder variables, *SAE Technical Paper* No. 961910
4. Baily, B.K. and Ariga, S. On – line diesel oil consumption measurement, *SAE Technical Paper* No. 902113.
5. Cartellieri, W. and Tritthart, P., 1984. Particulate analysis of light duty diesel engines with particular reference to the lube oil particulate fraction, *SAE Technical Paper* No. 840418.
6. Cartellieri, W. P., W.F. Wachter, 1987. Status Report on Preliminary Survey of Strategies to Meet US-1991 HD Diesel Emission Standards Without Exhaust Gas Aftertreatment, *SAE Technical Paper* No 870342.
7. Cooke, V.B., 1990. Lubrication of low emission diesel engines – Part 1 and Part 2, *SAE Technical Paper* No. 900814.
8. De Petris, C., Giglio, V. and Police, G. (1996). Some insights on mechanisms of oil consumption. *SAE Technical Paper* No. 961216.
9. DIRECTIVE 2003/17/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 3 March 2003 amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels.
10. Essig, G., Kamp, H. and Wacker, E., 1990. Diesel engines emissions reduction-the benefits of low oil consumption, *SAE Technical Paper* No. 900591.
11. Froelund, K., Owens, E., Frame, E., Buckingham ,J., Garbak, J., Tseregounis S., Jackson, A., 2000. Impact of lubricant oil on regulated emission of a light-duty Mercedes-Benz OM611 CIDI engine, *SAE Technical Paper* No. 2000-01-1901.
12. Hall, D., Colin D., 2003. The Effect of Sulphur-Free Diesel Fuel on the Measurement of the Number and Size Distribution of Particles Emitted from a Heavy-Duty Diesel Engine Equipped with a Catalysed Particulate Filter, *SAE Technical Paper* 2003-01-3167.

13. Hilden, D.L. and Mayer, W.L., 1984. The contribution of engine oil to diesel particulate exhaust emissions from light duty powered vehicles, *SAE Technical Paper* No. 841395.
14. Givens, W. A., Buck, W. H., Jackson, A. Kaldor, A., Hertzberg, A., Moehrmann, W., Mueller-Lunz, S., Pelz N., Wenninger, G., 2003. Lube Formulation Effects on Transfer of Elements to Exhaust After-Treatment System Components, *SAE Technical Paper* 2003-01-3109
15. Jefferd, K.M., Rogerson, J.S., Copp, D.E., Brundle, R.L., Huntly, M.A. 2000. The impact of lubricants on heavy duty diesel engine fuel economy and exhaust emission, *SAE Technical Paper* No. 2000-01-1983.
16. Johnson, T.V., 2003. Diesel emission control in review - The Last 12 Months, *SAE Technical Paper* No. 2003-01-0039.
17. Johnson, T.V., 2004. Diesel emission control technology –2003 in review, *SAE Technical Paper* No. 2004- 01-0070.
18. Kahandawala, M.S.P., Graham, J.L. and Sidhu, S.S., 2004. Impact of lubricating oil on particulates formed during combustion of diesel fuel – a shock tube study, *Fuel* 83, pp. 1829-1835.
19. Kittelson, D.B., 1998. Engines and nanoparticles: A review. *Journal of Aerosol Science* 29, pp. 575–588.
20. Krieger, W., Schweinzer, F. and Cartellier, W., 1991. Strategies to meet worldwide heavy-duty emissions standards, Institute of Mechanical Engineers, *Paper* C435/006.
21. Kurihara, I., Takeshima, S., Yahima, H., 2004. Development of Low-Ash-Type, Heavy-Duty Diesel Engine Oil for After-Treatment Devices, *SAE Technical Paper* No. 2004-01-1955
22. Kytö, M., Aakko, P., Nylund, N.-O., Niemi, A., 2002. Effect of lubricant on particulate emissions of heavy duty diesel engines, *SAE Technical Paper* No. 2002-01-2770.
23. Lechner, G., Knaf, A., Assanis, D., Tseregounis, S.I., McMillan, M.L., Tung, S.C., Mulawa, P.A., Bardasz E., Cowling, S., 2002. Engine Oil Effects on the Friction and Emissions of a Light-Duty, 2.2L Direct - Injection - Diesel Engine Part 1- Engine Test Results, *SAE Technical Paper* No. 2002-01-2681.
24. Manni, M., Gommellini, C. and Sabbioni, G., 1995. Effect of physical characteristics of lubricating oils on emissions, fuel economy and oil consumption in a light duty diesel engine, *SAE Technical Paper* No. 952552.

25. Manni, M., Florio, S., & Gommellini, C. 1997. An Investigation on the Reduction of Lubricating Oil Impact on Diesel Exhaust Emissions. *SAE Technical Paper* No. 972956
26. Mayer, A., Czerwinski J., Legerer F., Wyser M., 2002. VERT particulate trap verification, *SAE Technical Paper* No. 2002-01-0435.
27. Mayer, W.L., Lechman, D.C., and Hilden, D.L., 1980. The contribution of engine oil to diesel particulate emissions, *SAE Technical Paper* No. 800256.
28. Mori, G., Umeki, T, Ueno, Y and Ohishi, T. (1996). Engine valve stem seal, oil leakage control technology and performance, *SAE Technical Paper* No. 960208.
29. Nemoto, S., Kishi, Y., 2004. Impact of Oil-Derived Ash on Continuous Regeneration-Type Diesel Particulate Filter-Jcapii Oil Wg Reportt, *SAE Technical Paper* No. 2004-01-1887.
30. Ntziachristos, L, Giechaskiel, B, Pistikopoulos, P, Fysikas, E, Samaras Z., 2003. Particle emissions characteristics of different onroad vehicles. *SAE Technical Paper* No. 2003-01-1888.
31. Particle Measurement Programme. Report of the GRPE Particle Measurement Programme (PMP) Government Sponsored Work Programmes July 2003.
 Διαδικτυακή σύνδεση: <http://www.unece.org/trans/doc/2002/wp29grpe/TRANS-WP29-GRPE-44-inf05e.pdf>.
32. PARTICULATES – Characterisation of Exhaust Particulates from Motor Vehicles. 5FP Project of the European Commission in the Competitive and Sustainable Growth (GROWTH) Programme, sponsored by DG TREN Contract No: 2000-RD.10429.
 Διαδικτυακή σύνδεση: <http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/particulates/>.
33. Preston W.H., Brett, P.S., Andersson, J., 2004. Oil derived nucleation particles, *Cambridge Particle Meeting* 13th April 2004.
34. Pui, D.Y.H., and Chen, D-R. (1997). Nanometer particles: A new frontier for multidisciplinary research, *Journal of Aerosol Science* 28, pp. 539 544.
35. Sakurai, H., Tobias, H.J., Park, K., Zarling, D., Docherty, K.S., Kittelson, D.B., McMurry, P.H., and Ziemann, P.J. (2003). On-line measurements of diesel nanoparticle composition and volatility, *Atmospheric Environment* 37, 1199–1210.
36. Sgro, L.A., Basile, G., Barone, A. C., D’Anna, A., Minutolo, P., Borghese, A., and D’Alessio, A. (2003). Detection of combustion formed nanoparticles, *Chemosphere* 51, 1079-1090.

37. Stetter, J., Ghandhi, J., Forster, N., Forster, D., 2003. The impact of oil consumption on diesel exhaust particle size distributions and detailed exhaust chemical composition. *DEER Conference*, August 24, 2003, Newport RI.
38. Tobias, H.J., Beving, D.E., Ziemann, P.J., Sakurai, H., Zuk, M., McMurry, P.H., Zarling, D., Waytulonis, R., Kittelson, D.B., 2001. Chemical analysis of diesel engine nanoparticles using a Nano-DMA/thermal desorption particle beam mass spectrometer, *Environmental Science and Technology* 35, 2233–2243.
39. Thompson, N., Ntziachristos, L., Samaras, Z., Aako, P., Wass, U., Hausberger, S. and Sams, T., 2004. Overview of the European "Particulates" project on the characterization of exhaust particulate emissions from road vehicles: Results for heavy – duty engines. *SAE Technology Paper No. 2004-01-1986*.
40. Vaaraslahti K., Virtanen A., Ristimäki J., Keskinen J., 2004. Nucleation mode formation in heavy duty diesel exhaust with and without a particulate filter, *Environmental Science and Technology* 38, 4884 -4890.
41. Vaaraslahti, K., Keskinen, J., Giechaskiel, B., Solla, A., 2005. Effect of Lubricant on the Formation of Heavy Duty Diesel Exhaust Nanoparticles, submitted to *Environmental Science and Technology*.
42. Van Dam, W. and Kleiser, W.M., 1995. Lubricant related factors controlling oil consumption in diesel engines. SAE Technical Paper No. 952547
43. Vouitsis, E., Ntziachristos, L., and Samaras, Z. (2003). Particulate matter mass measurements for low emitting diesel powered engines: what's next? *Progress in Energy and Combustion Science* 29, 635–672.
44. Vouitsis, E., Ntziachristos, L., and Samaras, Z. (2005). Modelling of diesel exhaust aerosol during laboratory sampling, *Atmospheric Environment* , uncorrected proof
45. Williams, P.T, Andrews, G.E., Bartle, K.D. (1987). The Role of Lubricating Oil in Diesel Particulate and Particulate PAH Emissions, *SAE Technical Paper No 872084*.

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος του Υποέργου

Γεώργιος Μήλτσιος
Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός
Καθηγητής