



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στατιστική επεξεργασία πειραματικών δεδομένων εκπομπών CO₂ και κατανάλωσης καυσίμου κατά τη διάρκεια Κύκλων Πόλης με χρήση μιγμάτων πετρελαίου-βιοντίζελ



Ζάχος-Σιάγκος Ηρακλής

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Ε.Γ. ΓΙΑΚΟΥΜΗΣ, ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

Πρόλογος

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ευάγγελο Γιακουμή για την ανάθεση του θέματος και για την συνεχή και πολύτιμη καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της μελέτης αυτής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κύριο Κ. Ρακόπουλο και τον καθηγητή κύριο Δ. Χουντάλα, οι οποίοι συνδιδάσκουν τα μαθήματα που αφορούν τις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους και την πολύτιμη συνεισφορά τους σε κάθε μου βήμα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μια στατιστική ανάλυση σχετικά με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και την κατανάλωση καυσίμου, κατά τη διάρκεια κύκλων πόλης με χρήση μιγμάτων βιοντίζελ. Οι κύκλοι πόλης παρουσιάζουν έντονη μεταβατική λειτουργία, με την ταχύτητα του οχήματος και το φορτίο του κινητήρα να αλλάζουν συνεχώς, προσομοιάζοντας ρεαλιστικά πραγματικές συνθήκες λειτουργίας κινητήρων που προορίζονται για οχήματα μεταφορών.

Η στατιστική ανάλυση βασίστηκε πάνω σε πειραματικές μετρήσεις της τελευταίας εικοσαετίας διαφόρων ερευνητών ανά τον κόσμο. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα δείχνουν ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα δεν παρουσιάζουν συσχέτιση με το ποσοστό ανάμιξης βιοντίζελ, τον τύπο του κινητήρα, του κύκλου πόλης ή του φυτικού ελαίου προέλευσης του βιοντίζελ, ενώ από την άλλη η κατανάλωση δείχνει μια ολοφάνερη αύξηση καθώς το ποσοστό ανάμιξης του βιοντίζελ μεγαλώνει.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ.....	8
Κεφάλαιο 1 – Βιοντίζελ.....	9
1.1 Γενικά για το βιοντίζελ.....	9
1.1.1 Σύσταση.....	9
1.1.2 Ιστορική Αναδρομή.....	10
1.1.3 Ατμοσφαιρική ρύπανση.....	12
1.1.4 Διοξείδιο του άνθρακα.....	13
1.1.5 Προγράμματα χρήσης βιοντίζελ – Στόχοι.....	15
1.2 Φυσικοχημικές ιδιότητες του βιοντίζελ.....	17
1.3 Παραγωγή.....	24
1.3.1 Μέθοδοι Παρασκευής.....	24
1.3.2 Πρώτες Ύλες.....	24
1.3.3 Μετεστεροποίηση.....	28
1.3.4 Σύγκριση με το συμβατικό πετρέλαιο.....	29
1.4 Έρευνα ως Σήμερα.....	33
1.4.1 Συμπεράσματα.....	33
1.3.2 Συγκεντρωτικές μελέτες.....	34
1.4.3 Προβλήματα και λύσεις ως σήμερα.....	36
Κεφάλαιο 2 – Περιγραφή εργασίας.....	38
2.1 Διαδικασία.....	38
2.1.1 Συγκέντρωση και επιλογή της βιβλιογραφίας.....	38
2.1.2 Καταγραφή στοιχείων κάθε δημοσίευσης.....	39
2.1.3 Καταγραφή αριθμητικών αποτελεσμάτων.....	39
2.1.4 Κατηγοριοποίηση αποτελεσμάτων.....	40
2.2 Επισκόπηση των δημοσιεύσεων.....	40
2.2.1 Πειραματικές διατάξεις.....	40
2.2.2 Μίγματα καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν.....	43
2.2.3 Κύκλοι πόλης.....	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Αποτελέσματα.....	49
3.1 Παρουσίαση πινάκων και επεξηγήσεις.....	49
3.1.1 Πίνακας στοιχείων των δημοσιεύσεων.....	49
3.2 Πίνακες αριθμητικών αποτελεσμάτων των δημοσιεύσεων.....	56
3.3 Συγκεντρωτικά διαγράμματα – Αξιολόγηση – Συμπεράσματα.....	80
3.3.1 Διαγράμματα για διοξείδιο του άνθρακα.....	81
3.3.2 Διαγράμματα κατανάλωσης καυσίμου.....	87
3.3.3 Συγκριτικά διαγράμματα.....	93
3.3.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	95
 Βιβλιογραφία.....	 99

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ

MEK	Μηχανή Εσωτερικής Καύσης
FAEE	Fatty acid ethyl ester, Εθυλεστέρας λιπαρού οξέος
FAME	Fatty acid methyl ester, Μεθυλεστέρας λιπαρού οξέος
CP	Cloud point, Σημείο θόλωσης
CFPP	Cold filter plugging point, Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου
CN	Cetane number, Αριθμός κετανίου
CSFT	Cold soak filtration test, Τεστ ικανότητας φιλτραρίσματος σε χαμηλή θερμοκρασία
EPA	USA Environmental Protection Agency
CRC	Coordinating research council
SME	Soy methyl ester, Μεθυλεστέρας από σογιέλαιο
RME	Rapeseed methyl ester, Μεθυλεστέρας από ελαιοκράμβη
CFR	USA Code of Federal Regulations
EGR	Exhaust gas recirculation, Ανακυκλοφορία καυσαερίων
DOC	Diesel oxidation catalyst, Οξειδωτικός καταλύτης
DPF	Diesel particulate filter, Παγίδα αιθάλης
EHN	Ethyl-hexyl-nitrate
DTBP	Di-tert-butyl peroxide
DI	Direct Injection, Άμεσος ψεκασμός
IDI	Indirect Injection, Έμμεσος ψεκασμός

Κεφάλαιο 1 – Βιοντίζελ

1.1 Γενικά για το βιοντίζελ

1.1.1 Σύσταση

Το βιοντίζελ είναι βιοκαύσιμο, παραγόμενο από βιομάζα, όπως φυτικά έλαια και ζωικά λίπη. Συγκεκριμένα, βιοντίζελ αποτελούν οι αλκυλεστέρες λιπαρών οξέων (fatty acid esters), αν και συνηθίζεται ο όρος να αναφέρεται στους μεθυλεστέρες που προέρχονται από οργανικά έλαια. Το βιοντίζελ είναι ισοδύναμο του συμβατικού ορυκτού ντίζελ που χρησιμοποιείται ευρέως ως τώρα σε κινητήρες diesel και μπορεί είτε να χρησιμοποιείται αυτούσιο, είτε σε κάποια αναλογία μαζί με το ορυκτό πετρέλαιο. Το βιοντίζελ συνήθως παράγεται μέσω της αντίδρασης λιπαρών οξέων με μια αλκοόλη (όπως η αιθανόλη ή η μεθανόλη, που χρησιμοποιούνται συνήθως), παρουσία κάποιου καταλύτη (συνήθως βάση). Αυτή η αντίδραση μετεστεροποίησης δίνει ως προϊόντα αιθυλεστέρες (Fatty-Acid Ethyl Esters, FAEE) ή μεθυλεστέρες (Fatty-Acid Methyl Esters, FAME) λιπαρού οξέως αντίστοιχα, τα οποία αποτελούν και τις χημικές ονομασίες του βιοντίζελ, και γλυκερόλη (επίσης αποκαλούμενη ως γλυκερίνη) που χρησιμοποιείται στην παραγωγή σαπουνιών. Συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη αλκοόλη για την αντίδραση μετεστεροποίησης είναι η μεθανόλη, που έχει χαμηλότερο κόστος, είναι πιο δραστική από την αιθανόλη και το βιοντίζελ που παράγεται (FAME) παρουσιάζει μεγαλύτερη πτητικότητα, χαρακτηριστικό πολύ επιθυμητό για τους κινητήρες εσωτερικής καύσης.

Παρόλο που το βιοντίζελ που παράγεται από την μετεστεροποίηση τριγλυκεριδίων (πρόκειται για μεγάλη κατηγορία λιπιδίων, συγκεκριμένα ενώσεις εστέρων της γλυκερόλης με λιπαρά οξέα) περιέχει διάφορα ξεχωριστά είδη μεθυλεστέρων, ωστόσο σε κάθε διαφορετικό καύσιμο συνήθως κυριαρχούν λίγα συγκεκριμένα είδη. Τα πέντε πιο κυρίαρχα

είδη λιπαρών οξέων που παρατηρούμε στο βιοντίζελ από φυτικά έλαια και ζωικά λίπη, είναι το παλμιτικό (16:0), το στεαρικό (18:0), το ολεϊκό (18:1), το λινελαϊκό (18:2) και το λινολενικό (18:3). Υπάρχουν πολλά ακόμα λιπαρά οξέα τα οποία βρίσκονται μαζί με τα προαναφερθέντα. Παράδειγμα, το λαυρικό οξύ βρίσκεται στο έλαιο της καρύδας, το μυριστοελαϊκό βρίσκεται στα λίπη των πουλερικών και στο βόειο λίπος κτλ. Επίσης, σε πολλά φυτά η σύσταση του ελαίου σε λιπαρά οξέα για το ίδιο φυτό μπορεί να είναι διαφορετική ανάλογα με το τμήμα του φυτού. Η μελέτη της σύστασης των λιπαρών οξέων βοήθησε στο να προβλεφθεί η ποιότητα των μεθυλεστέρων που θα προκύψουν κατά την παραγωγή βιοντίζελ από τα συγκεκριμένα έλαια. Επειδή τα λιπαρά οξέα αποτελούν το 94-96% του συνολικού βάρους του γλυκεριδίου, η χημεία των λιπών και των ελαίων έχει άμεση σχέση με τη χημεία και τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των λιπαρών οξέων.

1.1.2 Ιστορική Αναδρομή

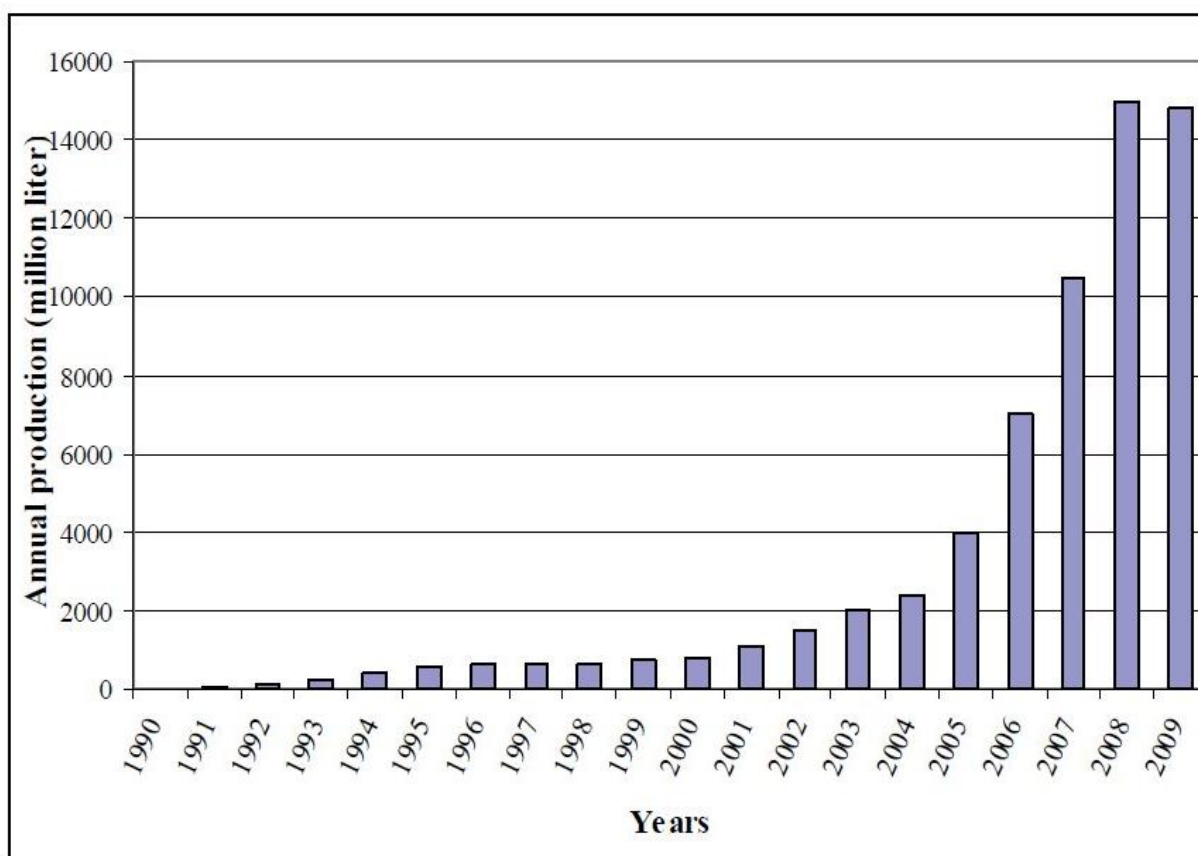
Τα φυτικά έλαια και τα ζωικά λίπη είχαν αποτελέσει αντικείμενο έρευνας για την χρήση τους ως καύσιμα ντίζελ αρκετά πριν την ενεργειακή κρίση του 1970, με ιδιαίτερα έντονο ενδιαφέρον από τις αρχές του 1980. Ο ίδιος ο Rudolf Diesel (1858-1913), εφευρέτης της μηχανής συμπίεσης, ερευνούσε τα φυτικά έλαια ως καύσιμα Μ.Ε.Κ. και είχε αναφέρει ότι “Η χρήση των φυτικών ελαίων ως καύσιμα μηχανών μπορεί να φαντάζει σήμερα ασήμαντη, αλλά τέτοια έλαια στο μέλλον μπορεί να γίνουν τόσο σημαντικά όσο και τα πετρελαϊκά καύσιμα”, με τα λόγια του να αναδεικνύονται προφητικά κατά την πάροδο του χρόνου [73].

Εξετάζοντας το παρελθόν της παραγωγής του βιοντίζελ παρατηρούμε ότι αυτό δεν είναι ένα καινούργιο καύσιμο, αφού οι πρώτες προσπάθειες έγιναν το 1981 στη Νότια Αφρική. Στην Ευρώπη, οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή είναι η Αυστρία και η Γερμανία. Στην Αυστρία, η παραγωγή του πρώτου βιοντίζελ πραγματοποιήθηκε σε μια πιλοτική μονάδα το 1985, ενώ το 1990 ξεκίνησε η εμπορευματοποίησή του. Το 1991 το βιοντίζελ έγινε ευρέως αποδεκτό για πρώτη φορά, εξασφαλίζοντας υψηλή ποιότητα καυσίμου. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του βιοντίζελ ήταν κυρίως το έλαιο ελαιοκράμβης, που θεωρείται ιδανική πρώτη ύλη για το ευρωπαϊκό κλίμα.

Επίσης χρησιμοποιήθηκε το ηλιέλαιο, κυρίως στη Γαλλία και την Ιταλία. Σε άλλες περιοχές χρησιμοποιήθηκε το φοινικέλαιο (Μαλαισία) και το σογιέλαιο (Αμερική) [87].

Τα βιοκαύσιμα που παράγονται από πρώτη ύλη ανταγωνιστική με τις πρώτες ύλες παραγωγής τροφίμων έχουν κατά καιρούς προβληματίσει την διεθνή κοινότητα, αφού αποτελούν ανταγωνιστικό περιορισμό στη διαθεσιμότητα εδάφους με τη βιομηχανία τροφίμων, δεδομένου ότι το καλλιεργήσιμο έδαφος πλέον διεκδικείται τόσο από τις καλλιέργειες προς βρώση όσο και από τις καλλιέργειες καυσίμων. Η συνεχής και σε μεγάλη κλίμακα παραγωγή βιοντίζελ από βρώσιμα έλαια, αν γίνεται χωρίς κατάλληλο προγραμματισμό, μπορεί να επιφέρει αρνητικό αντίκτυπο, αφού είναι πιθανό να μειωθεί η επάρκεια σε γεωργικά τρόφιμα και συνεπώς να αυξηθούν οι τιμές τους.

Στο Σχήμα 1.1 παρουσιάζεται η παγκόσμια ετήσια παραγωγή βιοντίζελ από το 1990 ως το 2009.



Σχήμα 1.1 – Η παγκόσμια παραγωγή βιοντίζελ μέχρι το 2009 [76]

1.1.3 Ατμοσφαιρική ρύπανση

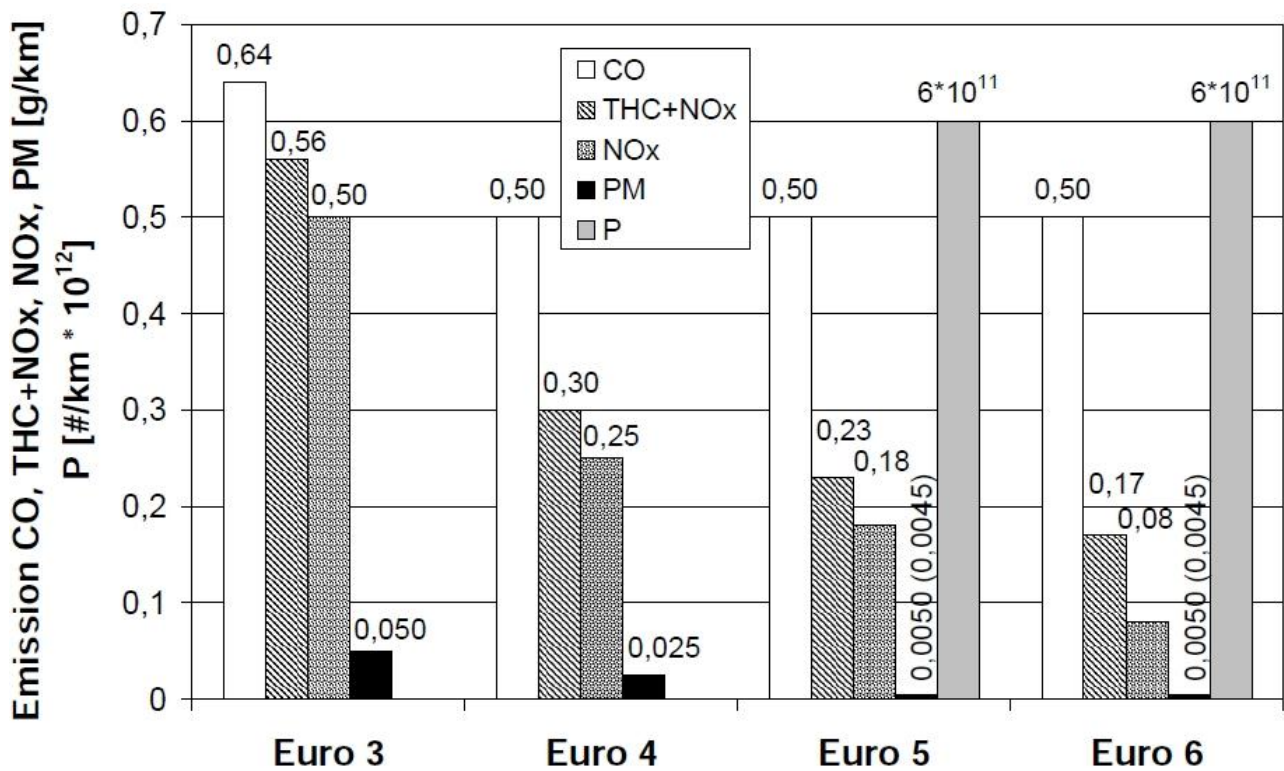
Η ανάγκη χρήσης βιοντίζελ και γενικά βιοκαυσίμων στις μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) των αυτοκινούμενων οχημάτων, προκύπτει από την υψηλή συνεισφορά του τομέα των μεταφορών στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οι οποίες ανέρχονται στο 21% των συνολικών [52].

Τα τελευταία χρόνια έρευνες πολλών οργανισμών προβλέπουν μια αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης σε ενέργεια της τάξης του 50-60% από το 2005 ως το 2030. Όπως φαίνεται, κύρια πηγή ενέργειας σε αυτό το διάστημα θα συνεχίσουν να είναι τα ορυκτά καύσιμα, το φυσικό αέριο και ο γαιάνθρακας. Τα ορυκτά καύσιμα θα παραμείνουν η πιο σημαντική πηγή ενέργειας στις μεταφορές, ωστόσο η επάρκεια του συμβατικού πετρελαίου είναι πιθανό να αποτελέσει ένα προβληματικό ζήτημα [78].

Αν λάβουμε υπ' όψιν τις προβλέψεις για αύξηση της ενεργειακής ζήτησης στα επόμενα χρόνια μέχρι το 2030 αλλά και την αναμενόμενη κυρίαρχη θέση των ορυκτών καυσίμων, οι ανθρωπογενείς εκπομπές πρόκειται να αυξηθούν αρκετά, συνεχίζοντας να επιδεινώνουν τα ήδη ορατά ατμοσφαιρικά προβλήματα.

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι πιο σημαντικό και πιο ορατό στα μεγάλα αστικά κέντρα σε όλη την υδρόγειο, αλλά και σε μεγάλες βιομηχανικές περιοχές, όπου η πτωχή ποιότητα του αέρα θέτει σε κίνδυνο την δημόσια υγεία αλλά και τη φύση. Σημαντικό ρόλο στο πρόβλημα παίζουν όχι μόνο τα βαρέα οχήματα (heavy duty) αλλά επίσης και τα μικρότερα και επιβατηγά οχήματα (light duty, passenger cars) κυρίως στις αστικές περιοχές. Για τη μείωση των ρύπων έχουν θεσπιστεί προδιαγραφές για τις εκπομπές των οχημάτων στην Ευρώπη, Αμερική και Ασία.

Στην Ευρώπη μέχρι στιγμής έχουν θεσπιστεί προδιαγραφές για τα επιβατηγά και τα ελαφρά επαγγελματικά αυτοκίνητα, η τελευταία των οποίων είναι το Euro 5. Το Euro 6 είναι ήδη προγραμματισμένο να μπει σε ισχύ το 2015. Στο Σχήμα 1.2 φαίνονται σχηματικά οι ισχύουσες προδιαγραφές στην Ευρώπη τα τελευταία χρόνια:



Σχήμα 1.2 – Οι ευρωπαϊκές προδιαγραφές ρύπων από το 2000 μέχρι σήμερα [64, 86]

1.1.4 Διοξείδιο του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), είναι ο κυριότερος συντελεστής του φαινομένου του θερμοκηπίου. Είναι μια χημική ένωση που αποτελείται από δύο άτομα οξυγόνου ενωμένα με ένα άτομο άνθρακα. Είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Διαπερνάται μεν από το ορατό φώς αλλά απορροφά έντονα τις ακτινοβολίες που βρίσκονται στην υπέρυθη και εγγύς υπέρυθη περιοχή του φάσματος.

Στη Γη υπάρχουν πεπερασμένες ποσότητες άνθρακα, οι οποίες όπως και το νερό, ανακυκλώνονται με τον “κύκλο του άνθρακα”. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο σύστημα στο οποίο ο άνθρακας κινείται μεταξύ της ατμόσφαιρας, της επίγειας βιόσφαιρας, της υδρόσφαιρας και των ωκεανών. Οι ανταλλαγές πραγματοποιούνται με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένης και της αναπνοής, της εφίδρωσης της καύσης και της αποσύνθεσης. Για παράδειγμα, τα φυτά απορροφούν CO₂ από την ατμόσφαιρα κατά τη

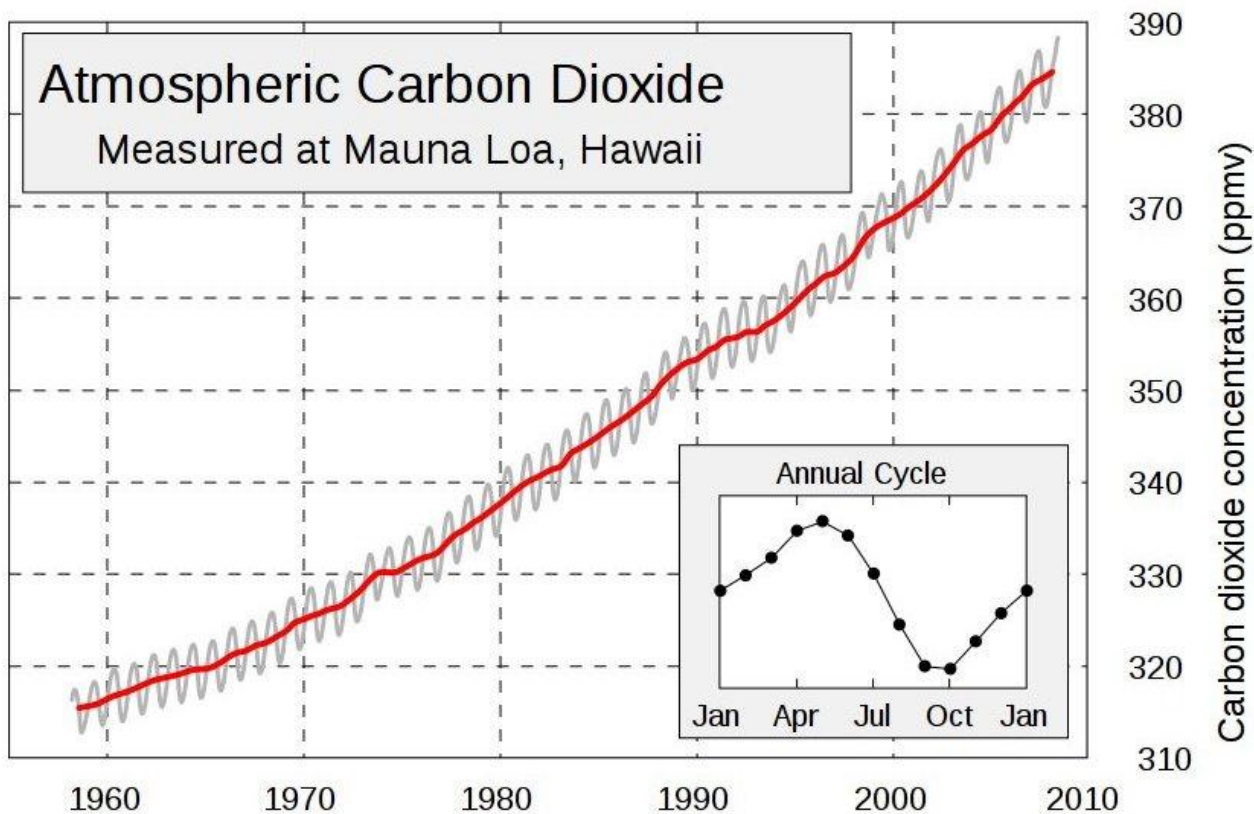
φωτοσύνθεση, χρησιμοποιούν τον άνθρακα για να συνθέσουν τους ιστούς τους και τον απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα όταν ξεραίνονται και αποσυντίθενται. Επίσης, τα ορυκτά καύσιμα είναι τα απολιθωμένα υπολείμματα νεκρών ζώων και φυτών, τα οποία συντίθενται υπό συγκεκριμένες συνθήκες σε διάστημα εκατομμυρίων ετών και συνεπώς έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα.

Το CO₂ αποτελεί υποπροϊόν όλων των καύσεων οργανικών ενώσεων (ορυκτά καύσιμα, βιοντίζελ, βιοαέριο, ξύλο, πλαστικό κλπ). Παράγεται επίσης από την διαδικασία αποσύνθεσης οργανικών ουσιών (νεκρά φυτά, ζώα). Μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα εκπέμπονται επίσης από τα ηφαίστεια και από θερμές πηγές αλλά και από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων. Ενωμένο, με τη μορφή ανθρακικών αλάτων, βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στο στερεό φλοιό της γης. Παράγεται επίσης από την αναπνοή των φυτών και των ζώων και από τους μύκητες και άλλους μικροοργανισμούς που εξαρτώνται άμεσα ή έμμεσα από τα φυτά για την τροφή τους.

Τα τρία τέταρτα της ανθρωπογενούς παραγωγής του CO₂ οφείλεται στη χρήση ορυκτών καυσίμων. Από αυτή την ποσότητα, το 50% διαλύεται στους ωκεανούς και απορροφάται από τα επίγεια οικοσυστήματα και το υπόλοιπο 50% διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων και η αποψίλωση των δασών έχουν προκαλέσει αύξηση της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης του CO₂ κατά περίπου 35% από την αρχή της εποχής της εκβιομηχάνισης. Οι εκπομπές του CO₂ από τις ανθρώπινες δραστηριότητες ανέρχονται σήμερα περίπου σε 27 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως και είναι πολύ περισσότερες από τις ποσότητες που εκλύονται από άλλες φυσικές δραστηριότητες (π.χ. Ηφαίστεια).

Στο Σχήμα 1.3 φαίνεται η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα και η διακύμανσή της ανάλογα με την εποχή του έτους. Η διακύμανση οφείλεται κατά κύριο λόγο στην εποχική ανάπτυξη των φυτών στο βόρειο ημισφαίριο. Αναλυτικότερα, έχει παρατηρηθεί ότι οι συγκεντρώσεις του CO₂ στο βορρά μειώνονται κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού καθώς το καταναλώνουν τα φυτά για την ανάπτυξή τους και αυξάνονται το φθινόπωρο και το χειμώνα όταν τα φυτά πεθαίνουν και αποσυντίθενται. Στις αστικές περιοχές οι συγκεντρώσεις είναι γενικά υψηλότερες λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.



Σχήμα 1.3 – Μετρήσεις συγκεντρώσεων CO₂ από το παρατηρητήριο Mauna Loa στη Χαβάη [πηγή: www.esrl.noaa.gov]

1.1.5 Προγράμματα χρήσης βιοντίζελ – Στόχοι

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση βιοκαυσίμων (πχ βιοντίζελ ή μίγματα βενζίνης με αιθανόλη), όπως υπαγορεύουν οι οδηγίες 2003/30/EC, 2003/96/EC και πιο πρόσφατα η 2009/28/EC, αλλά και η ανάγκη για μείωση των ανθρωπογενών εκπομπών. Η ευρωπαϊκή επιτροπή έθεσε ως στόχο την αντικατάσταση του 20% των συμβατικών καυσίμων με εναλλακτικά καύσιμα (βιοκαύσιμα, φυσικό αέριο και υδρογόνο) στον τομέα των χερσαίων μεταφορών και μετακινήσεων, μέχρι το 2020. Συγκεκριμένα, για τα βιοκαύσιμα ο στόχος ήταν αντικατάσταση του 2% των συμβατικών καυσίμων μέχρι το 2005, του 5.75% μέχρι το 2010 και του 8% μέχρι το 2020. Ο στόχος του 2005 δεν επιτεύχθηκε και παρά το γεγονός ότι στα επόμενα χρόνια μέχρι το 2010 η παραγωγή βιοκαυσίμων γνώρισε σημαντική αύξηση, στη διάρκεια 2010-2011

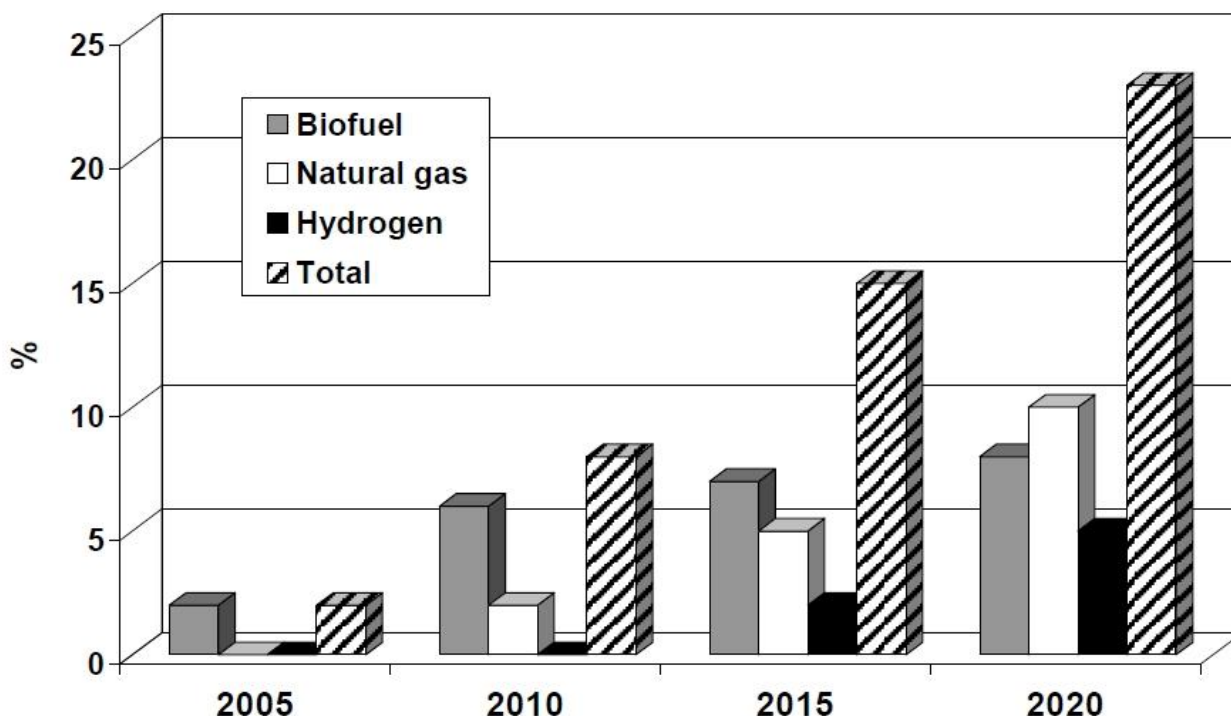
παρατηρήθηκε μείωση του ρυθμού ανάπτυξης της παραγωγής. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί για την εκπλήρωση του επόμενου στόχου για το 2012 [52].

Στην τελική έκθεση του συμβουλίου βιοκαυσίμων (Biofuels Advisory Council) φαίνεται η πρόθεση για την κάλυψη 25% των αναγκών για καύσιμα στις χερσαίες μεταφορές στην Ευρώπη, από βιοκαύσιμα [92]. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναφέρει ότι τα βιοκαύσιμα θα παίξουν στο μέλλον πολύ σημαντικό ρόλο σαν εναλλακτική πηγή σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, κυρίως στον τομέα των μεταφορών.

Καθιερώθηκαν έτσι επτά στρατηγικές που εμπεριέχουν μέτρα για την ανάπτυξη των βιοκαυσίμων στον τομέα των μεταφορών στην Ευρώπη:

1. Ενθάρρυνση της ζήτησης για βιοκαύσιμα
2. Επίτευξη περιβαλλοντικών οφελών (η καύση βιοκαυσίμων δεν προσθέτει καινούργιες ποσότητες CO₂ στην ατμόσφαιρα)
3. Ανάπτυξη της παραγωγής και διανομής των βιοκαυσίμων
4. Επέκταση προμήθειας πρώτων υλών
5. Βελτίωση των ευκαιριών στο εμπόριο των βιοκαυσίμων (επιδοτήσεις, φορολογία ορυκτών καυσίμων κλπ)
6. Υποστήριξη της ανάπτυξης κρατών με υψηλή δυνητικότητα για την παραγωγή βιοκαυσίμων
7. Υποστήριξη στον τομέα της έρευνας για την βελτίωση των μεθόδων παραγωγής και τη μείωση του κόστους

Στο Σχήμα 1.4 φαίνονται οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη χρήση βιοκαυσίμων, μέχρι το 2020.



Σχήμα 1.4 – Στόχοι χρήσης βιοκαυσίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση [πηγή: directives 2003/30/EC & 2003/96/EC]

1.2 Φυσικοχημικές ιδιότητες του βιοντίζελ

Το βιοντίζελ πρέπει να πληροί κάποιες προδιαγραφές οι οποίες διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Στην Ευρώπη έχει επικρατήσει το πρότυπο EN14214, ενώ στην Αμερική το πρότυπο ASTM D6751.

Αυτές οι προδιαγραφές (Πίνακας 1.1), περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων την περιεκτικότητα σε θείο, το κινηματικό ιξώδες, την πυκνότητα, το σημείο ανάφλεξης, τον αριθμό κετανίου (cetane number), τον αριθμό ιωδίου (iodine number), τη θερμογόνο δύναμη, το σημείο θόλωσης (cloud point, CP), το σημείο ροής (pour point, PP) και το σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (cold filter plugging point, CFPP).

Επιπλέον ιδιότητες του βιοντίζελ είναι σημαντικές για την ποιότητα του καυσίμου, αλλά εξαρτώνται περισσότερο από τη διαδικασία παρασκευής, τον καθαρισμό και την διαδικασία αποθήκευσης, παρά από τη σύνθεση των ίδιων των λιπαρών οξέων από όπου

προέρχεται το καύσιμο. Αυτές οι ιδιότητες περιλαμβάνουν την αντοχή στην οξείδωση (oxidation stability), την περιεκτικότητα σε νερό και ιζήματα, την περιεκτικότητα σε μεθανόλη, τέφρα, μέταλλα, τον βαθμό οξύτητας (acid value), την περιεκτικότητα σε γλυκερίνη και την ικανότητα φιλτραρίσματος σε χαμηλή θερμοκρασία (Cold Soak Filtration Test, CSFT).

Δύο ακόμα “ιδιότητες” του βιοντίζελ υπολογίζονται με βάση τη σύνθεση των μεθυλεστέρων που προέρχονται από φυτικά έλαια και ζωικά λίπη: Το μέσο μήκος ανθρακικής αλυσίδας (carbon chain length) και ο μέσος βαθμός ακορεστότητας (degree of unsaturation). Τα περισσότερα βιοντίζελ έχουν μέσο μήκος αλυσίδας 17-19 άνθρακες ανά μόριο, και μέσο βαθμό ακορεστότητας 0.5-1.8 διπλούς δεσμούς ανά μόριο, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στον Πίνακα 1.2. Η μέση ακορεστότητα είναι ιδιαίτερα σχετιζόμενη με αρκετές άλλες ιδιότητες, όπως το ιξώδες, η πυκνότητα, ο αριθμός ιωδίου, το CP, το PP και το CFPP.

Κάποιες από τις ιδιότητες του βιοντίζελ εξηγούνται σε μεγάλο βαθμό από το προφίλ των λιπαρών οξέων από όπου αυτό προέρχεται. Για παράδειγμα, ο αριθμός κετανίου είναι υψηλότερος για μεθυλεστέρες με μεγαλύτερο βαθμό κορεσμού (όπως συμβαίνει σε καύσιμα προερχόμενα από καρύδα, φοίνικα ή ζωικό λίπος, βλ. Σχήμα 1.5) και χαμηλότερος για μεθυλεστέρες με μεγαλύτερο βαθμό ακορεστότητας (προερχόμενα από Camelina, κάρδαμο, σόγια και ηλιέλαιο).

Παρομοίως, ο βαθμός ιωδίου είναι υψηλός για ιδιαίτερα ακόρεστους μεθυλεστέρες και χαμηλός για ιδιαίτερα κορεσμένους (Σχήμα 1.6). Οι τρεις χαρακτηριστικές ιδιότητες σε χαμηλές θερμοκρασίες (CP, PP και CFPP) είναι σημαντικά σχετιζόμενες μεταξύ τους (Σχήμα 1.7). Οι πολύ κορεσμένοι μεθυλεστέρες χαρακτηρίζονται από πτωχή απόδοση και στις τρεις ιδιότητες χαμηλών θερμοκρασιών [93].

Σε καθαρούς μεθυλεστέρες, το μέσο μήκος ανθρακικής αλυσίδας φαίνεται να σχετίζεται με άλλες ιδιότητες του καυσίμου, όπως ο αριθμός κετανίου, η θερμογόνος δύναμη και η απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο, σε πολυσύνθετα μίγματα βιοντίζελ, οι επιδράσεις του μέσου μήκους αλυσίδας δεν είναι ιδιαίτερα αντιληπτές. Αυτό συμβαίνει επειδή το μέσο μήκος αλυσίδας δεν παρουσιάζει διάκριση μεταξύ κορεσμένων και ακόρεστων ομάδων μεθυλεστέρων (βλ. Πίνακα 1.2). Τελικά οι περισσότερες ιδιότητες εξαρτώνται πολύ περισσότερο από τις ισχυρές επιδράσεις του βαθμού ακορεστότητας, παρά από εκείνες του μέσου μήκους αλυσίδας.

Η χρησιμότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες, είναι από τα πιο σημαντικά κριτήρια για

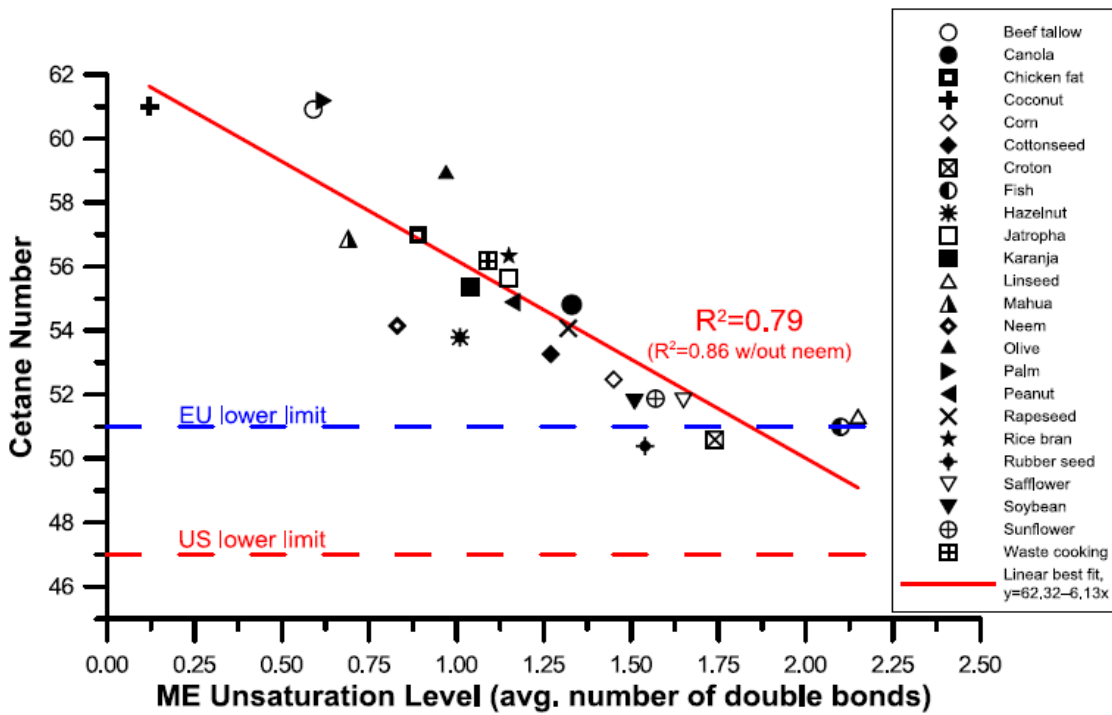
εφαρμογές με βιοντίζελ. Πτωχές ιδιότητες ροής του καυσίμου υπό χαμηλή θερμοκρασία οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην παρουσία μεγάλων αλυσίδων κορεσμένων εστέρων μέσα στο βιοντίζελ. Γενικά, όσο μεγαλύτερο το μήκος της ανθρακικής αλυσίδας, τόσο χειρότερος ο χειρισμός του καυσίμου σε χαμηλές θερμοκρασίες. Το φαινόμενο επιδεινώνεται, όπως ανακαλύφθηκε πρόσφατα, από τον σχηματισμό αδιάλυτων σωματιδίων κατά την αποθήκευση σε ψυχρό περιβάλλον. Αυτά τα σωματίδια προκύπτουν από την καθίζηση ακαθαρσιών που δεν έχουν σχέση με τα βασικά συστατικά των μεθυλεστέρων.

Η αντοχή στην οξείδωση είναι ακόμα μια ιδιότητα που επηρεάζει την απόδοση του βιοντίζελ κατά τη χρήση. Η αντοχή στην οξείδωση σχετίζεται με τον βαθμό ακορεστότητας, όπου υψηλή ακορεστότητα (και ιδιαίτερα πολυακορεστότητα) οδηγεί σε χαμηλότερη αντοχή. Κάποιες φυτικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή καυσίμων τα οποία περιέχουν πάνω από 50% πολυακόρεστους μεθυλεστέρες είναι οι *camelina*, καλαμπόκι, κάρδαμο, σόγια και ηλίανθος. Έτσι, είναι αναμενόμενο το βιοντίζελ που προέρχεται από τα παραπάνω να έχει χαμηλότερη σταθερότητα οξείδωσης από εκείνο που προέρχεται από *canola*, καρύδα, *jatropha*, φοίνικα και ελαιοκράμβη (*rapeseed*).

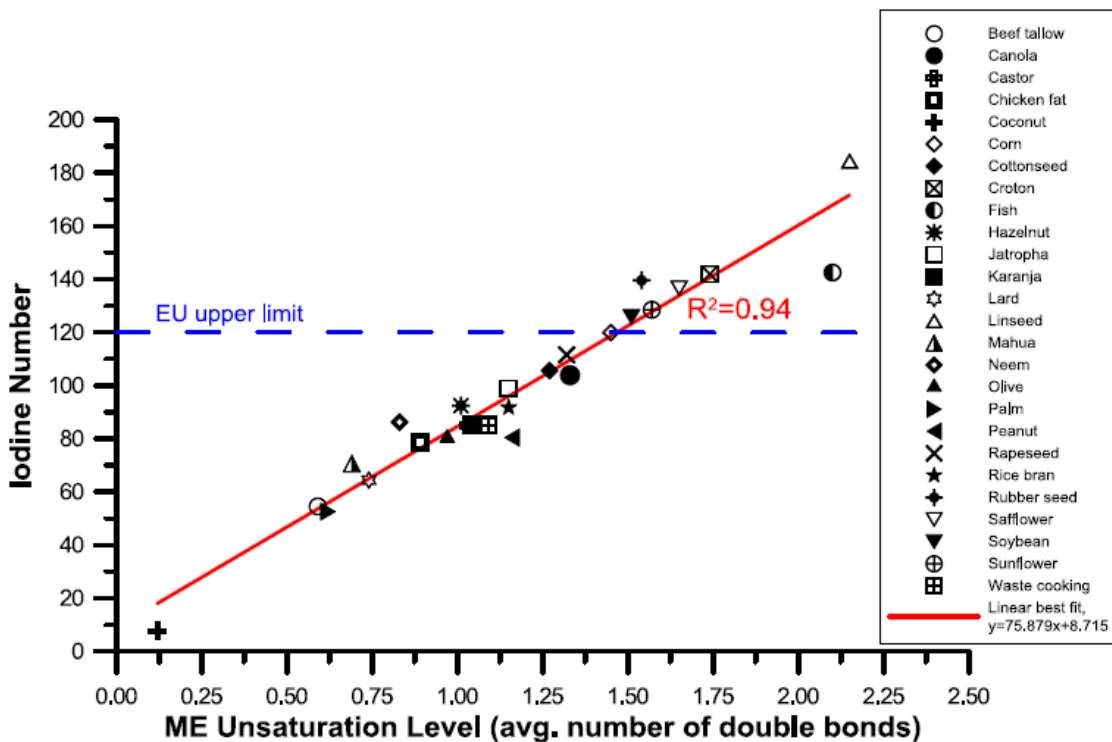
Αλλαγές σε ένα μεμονωμένο χαρακτηριστικό (όπως μήκος ανθρακικής αλυσίδας, διακλαδώσεις της αλυσίδας, ακορεστότητα κλπ) συνήθως προξενούν και επιθυμητά και ανεπιθύμητα αποτελέσματα στο παραγόμενο βιοντίζελ. Για παράδειγμα, παράγοντες που ευνοούν καλή αντοχή στην οξείδωση, οδηγούν ταυτόχρονα σε προβλήματα κατά τη χρήση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Λόγω των αντικρουόμενων επιδράσεων αυτών των χαρακτηριστικών στο τελικό καύσιμο, είναι αδύνατο να καθορίσει κανείς μια συγκεκριμένη χημική σύνθεση βιοντίζελ που να είναι βέλτιστη για όλες τις σημαντικές ιδιότητες του καυσίμου [80, 93].

Biodiesel Standards		EUROPE	USA	PETROLEUM DIESEL
Specification		EN 14214:2008	ASTM D 6751-07b	EN 590:1999
Applies to		FAME	FAAE	Diesel
Density 15°C	g/cm ³	0.86-0.90		0.82-0.845
Viscosity 40°C	mm ² /s	3.5-5.0	1.9-6.0	2.0-4.5
Distillation	% @ °C		90%,360°C	85%,350°C - 95%,360°C
Flashpoint (Fp)	°C	101 min	93 min	55 min
CFPP	°C	* country specific		* country specific
Cloud point	°C		* report	
Sulphur	mg/kg	10 max	15 max	350 max
CCR 100%	%mass		0.05 max	
Carbon residue (10%dist.residue)	%mass	0.3 max		0.3 max
Sulphated ash	%mass	0.02 max	0.02 max	
Oxid ash	%mass			0.1 max
Water	mg/kg	500 max	500 max	200 max
Total contamination	mg/kg	24 max		24 max
Cu corrosion max	3h/50°C	1	3	1
Oxidation stability	hrs,110°C	6 hours min	3 hours min	N/A (25 g/m3)
Cetane number		51 min	47 min	51 min
Acid value	mgKOH /g	0.5 max	0.5 max	
Methanol	%mass	0.20 max	0.2 max or Fp <130°C	
Ester content	%mass	96.5 min		
Monoglyceride	%mass	0.8 max		
Diglyceride	%mass	0.2 max		
Triglyceride	%mass	0.2 max		
Free glycerol	%mass	0.02 max	0.02 max	
Total glycerol	%mass	0.25 max	0.24 max	
Iodine value		120 max		
Linolenic acid ME	%mass	12 max		
C(x:4) & greater unsaturated esters	%mass	1 max		
Phosphorus	mg/kg	4 max	10 max	
Alkalinity	mg/kg			
Gp I metals (Na,K)	mg/kg	5 max	5 max	
GpII metals (Ca,Mg)	mg/kg	5 max	5 max	
PAHs	%mass			11 max
Lubricity / wear	µm at 60°C			460 max

Πίνακας 1.1 – Τα πρότυπα ιδιοτήτων του βιοντίζελ και του συμβατικού πετρελαίου σε Ευρώπη και ΗΠΑ [89].



Σχήμα 1.5 – Συσχέτιση του βαθμού ακορεστότητας διαφόρων ελαίων με το βαθμό κετανίου των αντίστοιχων μεθυλεστέρων [93]



Σχήμα 1.6 – Συσχέτιση του βαθμού ακορεστότητας διαφόρων ελαίων με το βαθμό ιωδίου των αντίστοιχων μεθυλεστέρων [93]

Table 4
Degree of unsaturation of the fatty acid oils considered, and its correlation with the FAME iodine number.

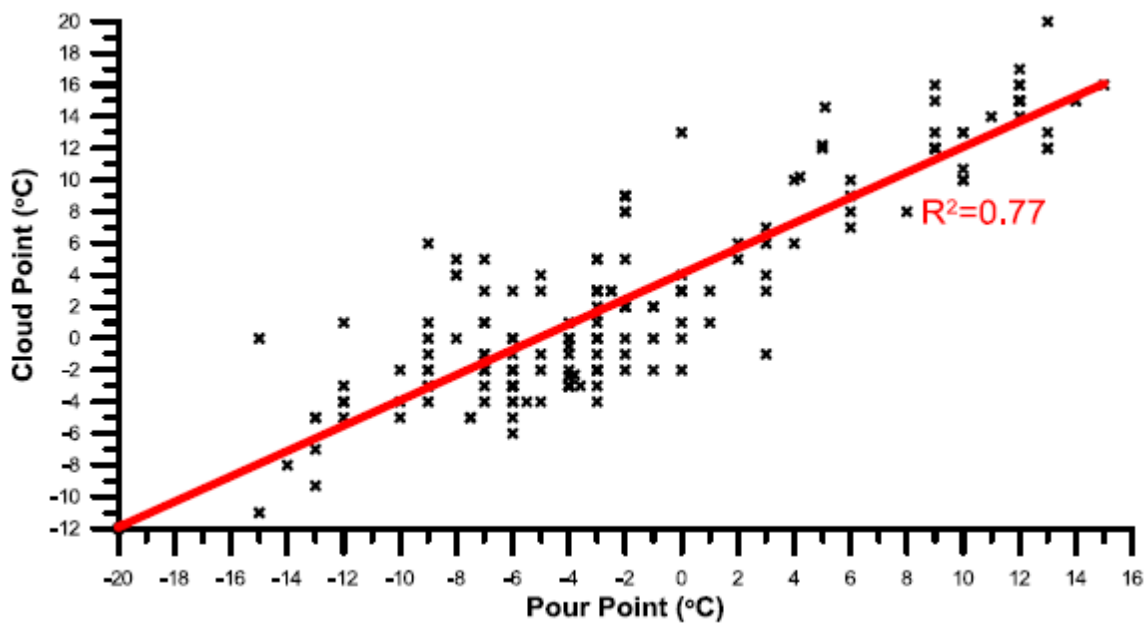
Animal fat or vegetable oil	'Unweighted' degree of unsaturation (%) ^a	'Partially weighted' degree of unsaturation ^b	'Fully weighted' degree of unsaturation (average number of double bonds) ^c	Chain length	FAME iodine number
Beef tallow	0.52	0.58	0.59	17.37	54.5
Chicken fat	0.68	0.88	0.89	17.42	78.7
Canola	0.92	1.24	1.33	17.99	104
Castor	0.97	1.03	1.03	17.99	85.2
Coconut	0.09	0.12	0.12	13.12	7.8
Corn	0.86	1.45	1.45	17.79	120.3
Cottonseed	0.71	1.27	1.27	17.46	105.7
Croton	0.90	1.76	1.74	17.86	142
Fish	0.96	1.15	2.10	16.72	142.6
Hazelnut	0.90	1.01	1.01	17.87	92.5
Jatropha	0.78	1.15	1.15	17.79	99
Karanja	0.75	1.02	1.04	18.08	85.2
Lard	0.60	0.74	0.74	17.40	64.5
Linseed	0.91	1.61	2.15	17.91	184.5
Mahua	0.54	0.69	0.69	17.57	70.8
Neem	0.64	0.83	0.83	17.66	86.3
Olive	0.85	0.96	0.97	17.79	80.3
Palm	0.51	0.62	0.62	17.08	53.1
Peanut	0.82	1.16	1.16	18.04	80.5
Rapeseed	0.93	1.24	1.32	18.08	111.7
Rice bran	0.78	1.14	1.15	17.64	93.2
Rubber seed	0.80	1.36	1.54	17.80	139.7
Safflower	0.90	1.65	1.65	17.85	136.7
Soybean	0.84	1.44	1.51	17.79	126.2
Sunflower	0.89	1.57	1.57	17.92	128.6
Waste cooking	0.76	1.07	1.09	17.69	85.2
Ground-animal fat (cumulative)	0.60	0.73	0.74	17.40	65.9
Vegetable oil (cumulative)	0.78	1.16	1.20	17.58	101.6
Overall average values	0.76	1.10	1.18	17.53	98.4
Correlation with iodine number	$R^2 = 0.612$	$R^2 = 0.836$	$R^2 = 0.942$	$R^2 = 0.295$	—

^a All unsaturated fatty acids assumed to have the same percentage weight.

^b All unsaturated XX:y ($y \geq 2$) fatty acids have a percentage weight of 2.

^c XX:2 fatty acids have a weight percentage of 2, XX:3 fatty acids a weight percentage of 3 etc.

Πίνακας 1.2 – Συσχέτιση βαθμού ακορεστότητας διαφόρων ελαίων με το βαθμό ιωδίου των αντίστοιχων μεθυλεστέρων [93]



Σχήμα 1.7 – Συσχέτιση μεταξύ CP (Σημείο Θόλωσης) και PP (Σημείο Ροής) [93]

1.3 Παραγωγή

1.3.1 Μέθοδοι Παρασκευής

Έχουν καταβληθεί σημαντικές προσπάθειες για την ανάπτυξη παραγώγων φυτικών ελαίων που προσεγγίζουν τις ιδιότητες και τις επιδόσεις των καυσίμων ντίζελ. Τα προβλήματα με την αντικατάσταση του πετρελαίου από φυτικά σχετίζονται ως επί το πλείστον με το υψηλό ιξώδες τους, την χαμηλή μεταβλητότητα και τον πολυακόρεστο χαρακτήρα τους. Αυτό μπορεί να αλλάξει με τουλάχιστον τέσσερις τρόπους:

1. Πυρόλυση
2. Μικρογαλακτωματοποιήσεις
3. Αραίωση
4. Μετεστεροποίηση

Μέχρι στιγμής, η επικρατούσα είναι η αντίδραση μετεστεροποίησης μέσω της οποίας παράγεται το βιοντίζελ, η οποία θα περιγραφεί παρακάτω.

1.3.2 Πρώτες Ύλες

Τα εναλλακτικά καύσιμα ντίζελ παράγονται από φυσικές, ανανεώσιμες πηγές όπως τα φυτικά έλαια και λίπη. Η ποικιλία βιολιπιδίων από την οποία μπορεί να παραχθεί βιοντίζελ είναι κυρίως:

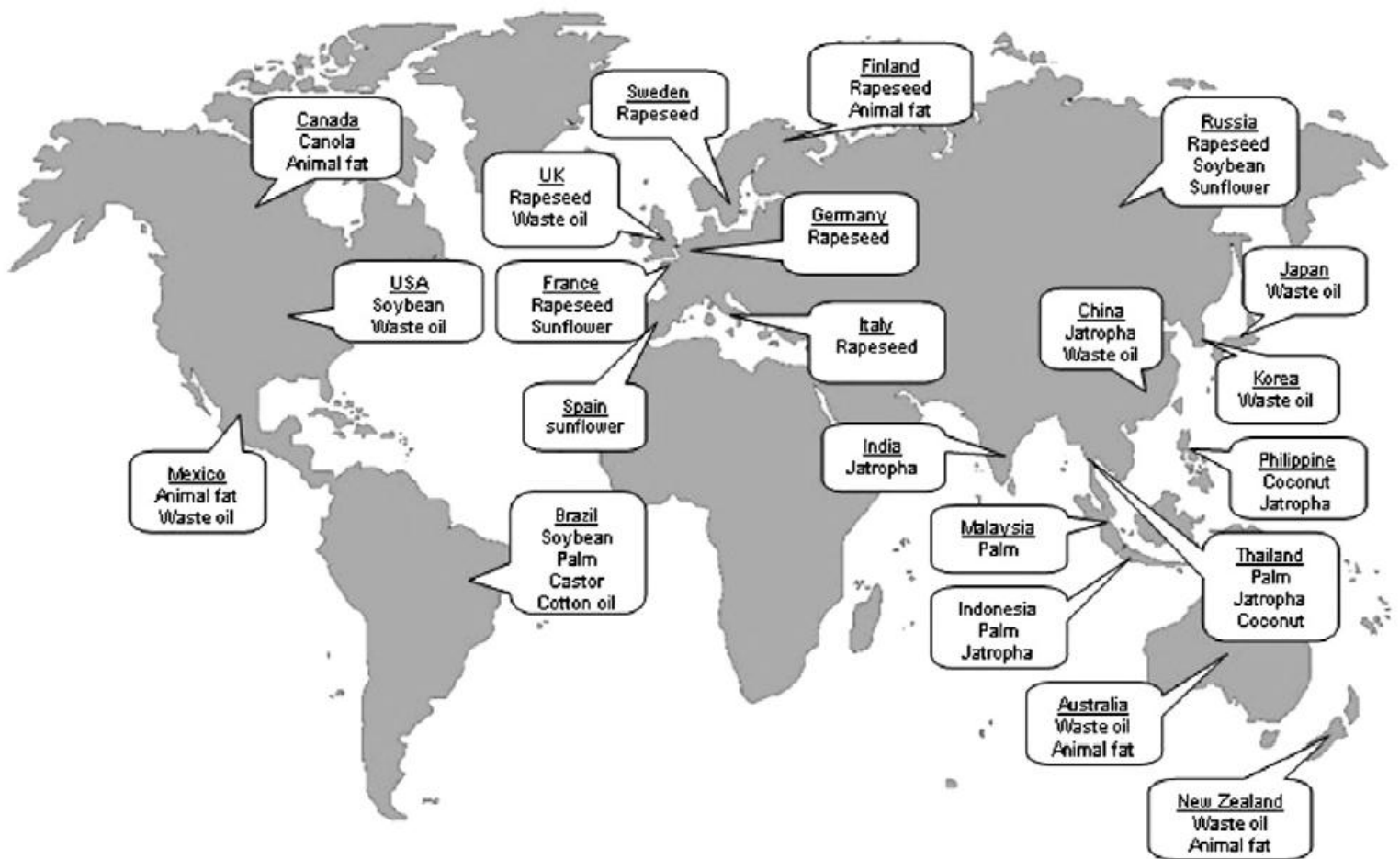
1. τα παρθένα φυτικά έλαια

2. τα απόβλητα φυτικά έλαια
3. μη εδώδιμα έλαια

Τα πιο συνηθισμένα έλαια για την παραγωγή βιοντίζελ είναι το σογιέλαιο, το ηλιέλαιο, ελαιοκράμβη, jatropha, βαμβακέλαιο, παλμέλαιο. Επειδή οι τιμές των εδώδιμων φυτικών ελαίων είναι υψηλότερες από αυτές του ντίζελ, τα μη εδώδιμα και ακατέργαστα έλαια καθώς και τα απόβλητα φυτικά λάδια είναι προτιμότερες πηγές βιοντίζελ εξαιτίας του χαμηλότερου κόστους. Επίσης, η χρήση βρώσιμων ελαίων για παραγωγή βιοντίζελ σε πολλές χώρες δεν είναι εφικτή αν λάβουμε υπόψη τις μεγάλες απαιτήσεις για τα εδώδιμα έλαια. Υπό αυτές τις συνθήκες τα μόνα φυτά που μπορούν να καλλιεργηθούν για βιοντίζελ, σε μεγάλες ποσότητες, είναι αυτά που παράγουν μη εδώδιμα έλαια και μπορούν να αναπτυχθούν σε περιοχές απομακρυσμένες, πιο άγονες και σε μεγάλη κλίμακα. Τα ζωικά λίπη αν και αναφέρονται συχνά, δεν έχουν μελετηθεί τόσο όσο τα φυτικά έλαια κυρίως λόγω των διαφορών τους στις ιδιότητες. Τα ζωικά λίπη περιέχουν σε μεγαλύτερο ποσοστό κορεσμένα λιπαρά οξέα και για αυτό βρίσκονται σε στερεή μορφή στη θερμοκρασία δωματίου.

Οι πηγές του βιοντίζελ συνήθως εξαρτώνται από το κατά πόσο ευδοκιμούν οι σοδειές στο τοπικό κλίμα. Μια πηγή για την παραγωγή βιοντίζελ θεωρείται κατάλληλη, όταν δεν ανταγωνίζεται άλλες εφαρμογές που μπορεί να αυξήσουν την τιμή της, όπως για παράδειγμα, φαρμακευτικές πρώτες ύλες. Οι απαιτήσεις στις φαρμακευτικές πρώτες ύλες πρέπει να είναι χαμηλότερες από ότι στα καύσιμα. Οι πηγές για την παραγωγή βιοντίζελ θα πρέπει να ακολουθούν όσο το δυνατό περισσότερο δύο απαιτήσεις: χαμηλό κόστος παραγωγής και ταυτόχρονα παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα. Τα επεξεργασμένα έλαια έχουν υψηλό κόστος παραγωγής και χαμηλή παραγωγικότητα. Στην αντίθετη πλευρά βρίσκονται οι μη βρώσιμοι σπόροι (πχ jatropha, karanja κλπ), τα φύκη και τα μικροφύκη, τα οποία έχουν χαμηλά κόστη παραγωγής και βρίσκονται σε μεγαλύτερη διαθεσιμότητα από ότι τα επεξεργασμένα ή ανακυκλωμένα λάδια. Μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους για μια πηγή βιοντίζελ είναι το ποσοστό ελαίου και η σοδιά ανά εκτάριο.

Παρακάτω φαίνονται οι πιο συνηθισμένες καλλιέργειες ανά περιοχή του κόσμου (Σχήμα 1.8), πηγές από τις οποίες μπορεί να παραχθεί βιοντίζελ (Πίνακας 1.3) και η αποδοτικότητα κάποιων πηγών για την παραγωγή (Πίνακας 1.4).



Σχήμα 1.8 – Καλλιέργειες για την παραγωγή βιοντίζελ ανά τον κόσμο [77]

Vegetable oils	Non-edible oils	Animal Fats	Other Sources
Soybeans	Almond	Lard	Bacteria
Rapeseed	<i>Abutilon muticum</i>	Tallow	Algae
Canola	Andiroba	Poultry Fat	Fungi
Safflower	Babassu	Fishoil	Micro algae
Barley	<i>Brassica carinata</i>		Terpenes
Coconut	<i>B. napus</i>		Latexes
Copra	Camelina		Cooking Oil (Yellow Grease)
Cotton seed	Cumaru		Microalgae (<i>Chlorellavulgaris</i>)
Groundnut	<i>Cynara cardunculus</i>		
Oat	<i>Jatropha curcas</i>		
Rice	<i>Jatropha nana</i>		
Sorghum	Jojoba oil		
Wheat	Pongamiaglabra		
Winter rapeseed oil	Laurel		
	Lesquerellafendleri		
	Mahua		
	Piqui		
	Palm		
	Karang		
	Tobacco seed		
	Rubber plant		
	Rice bran		
	Sesame		
	Salmon oil		

Πίνακας 1.3 – Πηγές πρώτης ύλης για την παραγωγή βιοντίζελ. [79]

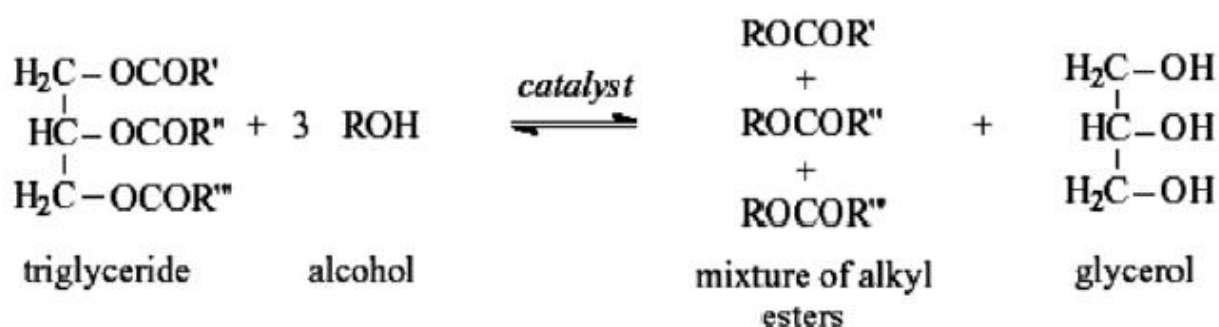
Species	Oil fraction (%)	Seed estimate (10 ⁶ tones/y)	Oil (tons/ha/y)
Castor	45–50	0.25	0.5–1.0
Jatropha	50–60	0.20	2.0–3.0
Mahua	35–40	0.20	1.0–4.0
Sal	10–12	0.20	1.0–2.0
Linseed	35–45	0.15	0.5–1.0
Neem	20–30	0.10	2.0–3.0
Pongamia (Karanja)	30–40	0.06	2.0–4.0
Others	10–50	0.50	0.5–2.0
Others	10–50	0.50	0.5–2.0

Πίνακας 1.4 – Ικανότητα κάποιων πηγών για παραγωγή πρώτης ύλης [79]
(ha: εκτάριο = 10⁴ m²).

1.3.3 Μετεστεροποίηση

Η μετεστεροποίηση είναι η εκ νέου δράση ενός λίπους ή λαδιού με αλκοόλη για να σχηματίσει εστέρες και γλυκερίνη. Ένας καταλύτης χρησιμοποιείται συνήθως για να βελτιώσει την ταχύτητα αντίδρασης και την απόδοση. Επειδή η αντίδραση είναι αναστρέψιμη, η κατανάλωση περίσσειας αλκοόλης χρησιμοποιείται για να μετατοπιστεί η ισορροπία προς την πλευρά των προϊόντων [73].

Η αντίδραση παρουσιάζεται στην Εξίσωση 1.1:



Εξίσωση 1.1 – Η αντίδραση μετεστεροποίησης

Στα φυτικά έλαια, το τμήμα της γλυκερίνης στα μόρια των τριγλυκεριδίων ανταλλάσσεται με ελαφρύτερες αλκοόλες όπως η μεθανόλη ή η αιθανόλη. Συγκεκριμένα, για έλαια σόγιας αυτό μπορεί να επιτευχθεί [60] ζεσταίνοντας το έλαιο στους 80 °C και προσθέτοντας 1.6 επιπλέον γραμμομόρια μεθανόλης και διαλύματος 0.5% KOH σε μεθανόλη. Μοριακή αναλογία 3:1 (μεθανόλη:φυτικό έλαιο) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε κάποιες περιπτώσεις.

Το μίγμα έπειτα ανακατεύεται για 30 λεπτά και αφήνεται να ηρεμήσει. Μετά από περίπου 4 ώρες, το στρώμα της γλυκερίνης διαχωρίζεται, και στον εστέρα προσθέτουμε 0.1% φωσφορικό οξύ. Ο εστέρας πλένεται με νερό μέχρι το νερό να είναι ουδέτερο. Σε αυτό το στάδιο, ο εστέρας ζεσταίνεται στους 85 °C περίπου με άζωτο που περνάει μέσα από το μίγμα και έπειτα πλένεται με ζεστό νερό στους 90 °C. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το νερό απόπλυσης να είναι καθαρό. Ο εστέρας έπειτα ξηραίνεται

για να εξαλειφθεί και το τελευταίο ίχνος υγρασίας.

Υπάρχουν φυσικά και άλλες βιομηχανικές υλοποιήσεις της μετεστεροποίησης για την παραγωγή FAME [60]. Συνήθως το προϊόν είναι περίπου κατά 97% καθαρό (βλ. Πίνακα 1.1, "ester content"). Οι εναπομείνουσες ακαθαρσίες στο βιοντίζελ μπορούν πλέον να απομακρυνθούν με τη μέθοδο της απόσταξης.

1.3.4 Σύγκριση με το συμβατικό πετρέλαιο

Ως προϊόν ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, το βιοντίζελ είναι καθαρό, μη τοξικό και βιοαποικοδομήσιμο καύσιμο, δεν περιέχει αρωματικές ενώσεις και οι εκπομπές των ρυπαντών οξειδίων του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα, άκαυστων υδρογονανθράκων και αιθάλης που προέρχονται από την καύση του στις μηχανές ντίζελ είναι πολύ χαμηλές. Η παρουσία του θείου στα καύσιμα ευθύνεται για τα οξείδια του θείου (SO_x) στα καυσαέρια. Στο βιοντίζελ η περιεκτικότητα σε θείο είναι πάρα πολύ μικρή, σχεδόν μηδενική. Και στο συμβατικό πετρέλαιο όμως, η σταδιακή αποθείωσή του έχει οδηγήσει σε μηδαμινές εκπομπές SO_x από οχήματα. Επίσης, το βιοντίζελ περιέχει αρκετό οξυγόνο (περίπου 10% κ.β.) που καθιστά την καύση λιγότερο ατελή, με αποτέλεσμα η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO), σε άκαυστους υδρογονάνθρακες (H/C) και σε αιθάλη να είναι πολύ μικρότερη από ότι στο συμβατικό ντίζελ. Επιπλέον, η καύση του βιοντίζελ δεν αυξάνει το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (το οποίο είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου), αφού η ποσότητα του CO₂ που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης αφομοιώνεται στη συνέχεια από το φυτό κατά τη φωτοσύνθεση.

Ο Πίνακας 1.5 συνοψίζει το τυπικό προφίλ εκπομπών από την καύση του πλέον συνηθισμένου μίγματος βιοντίζελ με συμβατικό ντίζελ το οποίο αποτελείται από 20% βιοντίζελ και 80% ντίζελ (B20) αλλά και 100% βιοντίζελ (B100), χρησιμοποιώντας ως αναφορά τις εκπομπές από την καύση του πετρελαϊκού ντίζελ.

Comparative emission results from biodiesel combustion relative to neat diesel operation for European and American engine and vehicle test cycles from various review studies.

Engine type/model year	Data up to	Biodiesel blend	NO _x (%)	PM (%)	CO (%)	HC (%)
EPA [7] ^a	2000	B20	2.0	-10.1	-11.0	-21.1
Lindhjem and Pollack [80] ^b	2000		2.5	-9.0	-13.3	-18.2
Yanowitz and McCormick [81] ^c	2006		1.0	-17.0	-16.0	-16.0
Anderson [82] ^d	2009		4.7	-14.5	-5.4	-4.9
Current study ^e	2011		2.0	-13.1	-9.7	-11.7
EPA [7] ^a	2000	B100	10.0	-48.0	-48.0	-67.0
Lindhjem and Pollack [80] ^b	2000		11.8	-51.0	-42.0	-69.7
Anderson [82] ^c	2009		7.5	-	-	-13.4
Current study ^d	2011		7.4	-39.9	-29.5	-46.1

^a 86% of the EPA PM and 83% of the EPA NO_x database observations concern the FTP cycle; SME was the biodiesel used in almost 75% of the cases examined, which also included some ECE R49 stationary cycle results as well as many two-stroke engines data. Moreover, only 1.8% of the observations correspond to newer than 1998 engines, whereas 29% of the data are from engines manufactured during the 1980s.

^b Engine dynamometer tests only; two-stroke engines included.

^c North-American, four-stroke, heavy-duty engines only.

^d Average values from light-duty and heavy-duty dynamometer tests.

^e Four-stroke engines only from all heavy-duty and light-duty engine and chassis dynamometer tests.

Πίνακας 1.5 – Επίδραση στις εκπομπές ρύπων για B20 και B100 (στοιχεία από πρόσφατη έρευνα) [91].

Αν και το βιοντίζελ δεν μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως τις ενεργειακές απαιτήσεις που καλύπτονται από το πετρέλαιο, υπάρχουν αρκετοί λόγοι που δικαιολογούν τη ραγδαία ανάπτυξη του [67, 94].

1. Παρέχει μια αγορά για την πλεονάζουσα παραγωγή των φυτικών ελαίων και των ζωικών λιπών.
2. Μειώνει, αν και δεν εξαλείφει την εξάρτηση των χωρών από το εισαγόμενο πετρέλαιο.
3. Είναι ανανεώσιμο και δεν συμβάλλει στη παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του κλειστού κύκλου του άνθρακα. Μια ανάλυση του κύκλου ζωής του βιοντίζελ έδειξε ότι οι συνολικές εκπομπές του CO₂ μειώθηκαν κατά τουλάχιστον 70% έναντι των καυσίμων που βασίζονται στο πετρέλαιο.
4. Οι εκπομπές εξάτμισης του μονοξειδίου του άνθρακα και των αιωρούμενων σωματιδίων από το βιοντίζελ είναι χαμηλότερες από ότι αυτές των ορυκτών καυσίμων.
5. Κατά την πρόσμιξη του με συμβατικά καύσιμα ακόμη και σε χαμηλό ποσοστό της τάξεως 1-2% μπορεί να μετατρέψει τα καύσιμα που χαρακτηρίζονται από χαμηλή λιπαντική ικανότητα, όπως τα σύγχρονα καύσιμα με ελάχιστο θείο (ultra-low-sulfur diesel fuel), σε αποδεκτά καύσιμα.

Σε πρόσφατη βιβλιογραφική μελέτη [66] παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα πλεονεκτήματα του βιοντίζελ έναντι των καυσίμων τα οποία προέρχονται από ορυκτά καύσιμα. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι η άμεση διαθεσιμότητα, η ανανεωσιμότητα, η υψηλή αποδοτικότητα καύσης, το χαμηλότερο ποσοστό θείου και αρωματικών ενώσεων [68, 73], ο υψηλότερος αριθμός κανονικού εξαδεκανίου και η υψηλότερη βιοαποδομησιμότητα [69, 70, 71].

Τα κύρια πλεονεκτήματα του βιοντίζελ που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία περιλαμβάνουν την εγχώρια προέλευση του, μέσω της οποίας μειώνεται η εξάρτηση του από το εισαγόμενο πετρέλαιο, τη βιοδιασπασιμότητα του, το υψηλό σημείο ανάφλεξης και τη φυσική λιπαντική ιδιότητα κατά την επεξεργασμένη του μορφή [72, 73].

Σημαντικά μειονεκτήματα του βιοντίζελ είναι αναπόφευκτα η υψηλότερη τιμή του, η οποία σε πολλές χώρες αντισταθμίζεται από νομικές παρεμβάσεις και κανονισμούς υπό τη μορφή μείωσης φόρων και επιχορηγήσεων σε ποσοστό επί της παραγωγής και των αρχικών επενδύσεων. Σχετικά με τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του βιοντίζελ, μειονεκτήματα αποτελούν το υψηλότερο ιξώδες, το χαμηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο, τα υψηλότερα σημεία ροής και θόλωσης [93]. Το “καθαρό” βιοντίζελ και τα μίγματα του αυξάνουν τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x), έναντι των καυσίμων ντίζελ, όταν χρησιμοποιούνται σε κινητήρες ντίζελ χωρίς μετατροπή [90, 91]. Σημαντικά λειτουργικά μειονεκτήματα του βιοντίζελ επίσης είναι τα προβλήματα ψυχρής εκκίνησης, η ταχύτερη διάβρωση/οξειδωση καθώς και η δυσκολία άντλησης του καυσίμου λόγω μεγαλύτερου ιξώδους. Επιπρόσθετα, η χαμηλότερη δύναμη και ροπή του κινητήρα (το βιοντίζελ κατά μέσο όρο μειώνει την ισχύ κατά 5 % [65]), η επικάθιση άνθρακα στον εγχυτήρα της μηχανής, η μη συμβατότητα των κινητήρων και το υψηλότερο κόστος κινητήρων αποτελούν σημαντικούς περιοριστικούς παράγοντες.

Στον Πίνακα 1.6 παρουσιάζονται συγκριτικά κάποιες ιδιότητες βιοντίζελ και ορυκτού πετρελαίου. Οι τιμές των ιδιοτήτων παρουσιάζονται είτε σε εύρος τιμών, είτε σε μέσες τιμές διαφόρων μετρήσεων. Παρατηρούμε την μεγαλύτερη πυκνότητα και κινηματική συνεκτικότητα που χαρακτηρίζουν το βιοντίζελ, καθώς επίσης και την κατώτερη θερμογόνο ικανότητά του σε σχέση με το πετρέλαιο. Από την άλλη, το βιοντίζελ χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο και χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο.

	Low-sulfur automotive diesel fuel	Biodiesel
Density/15 °C (kg/m ³)	820–850	870–890
Kinematic viscosity/40 °C (cSt)	2–3.5	3.5–6.2
Cetane number	~ 50	46–65
Lower heating value (kJ/kg)	~ 43,000	36,500–39,500
Oxygen content (% weight)	0	10–12
Sulfur content (ppm)	<50	<10
	<15 for ultra low-sulfur diesel fuel	
Air–fuel equivalence ratio	~ 15	12.5 ^a
Latent heat of evaporation (kJ/kg)	265	230 ^a
Molecular weight (kg/kmol)	~ 170	290 ^a
Surface tension/40 °C (N/m)	0.026	0.0285 ^a
Boiling point (°C)	180–360	345 ^a
Bulk modulus of elasticity (bar)	16,000	17,500 ^a
Flash point (°C)	50–90	140–180

^a Average values.

Πίνακας 1.6 – Σύγκριση συνηθισμένων τιμών κάποιων ιδιοτήτων βιοντίζελ και πετρελαίου [94]

1.4 Έρευνα ως Σήμερα

1.4.1 Συμπεράσματα

Η έρευνα για το βιοντίζελ διεξάγεται σε πολλές χώρες του κόσμου εδώ και τουλάχιστον μια εικοσαετία, και οι στόχοι είναι η εύρεση των πιο κατάλληλων ενεργειακών καλλιεργείων ή πρώτων υλών, η βελτιστοποίηση της παραγωγής και του τελικού προϊόντος, η ανάπτυξη της μεταφοράς και διάθεσης, η μελέτη των προβλημάτων κατά τη χρήση σε κινητήρες diesel και η ανάπτυξη μεθόδων για την καταπολέμηση των παραπάνω προβλημάτων.

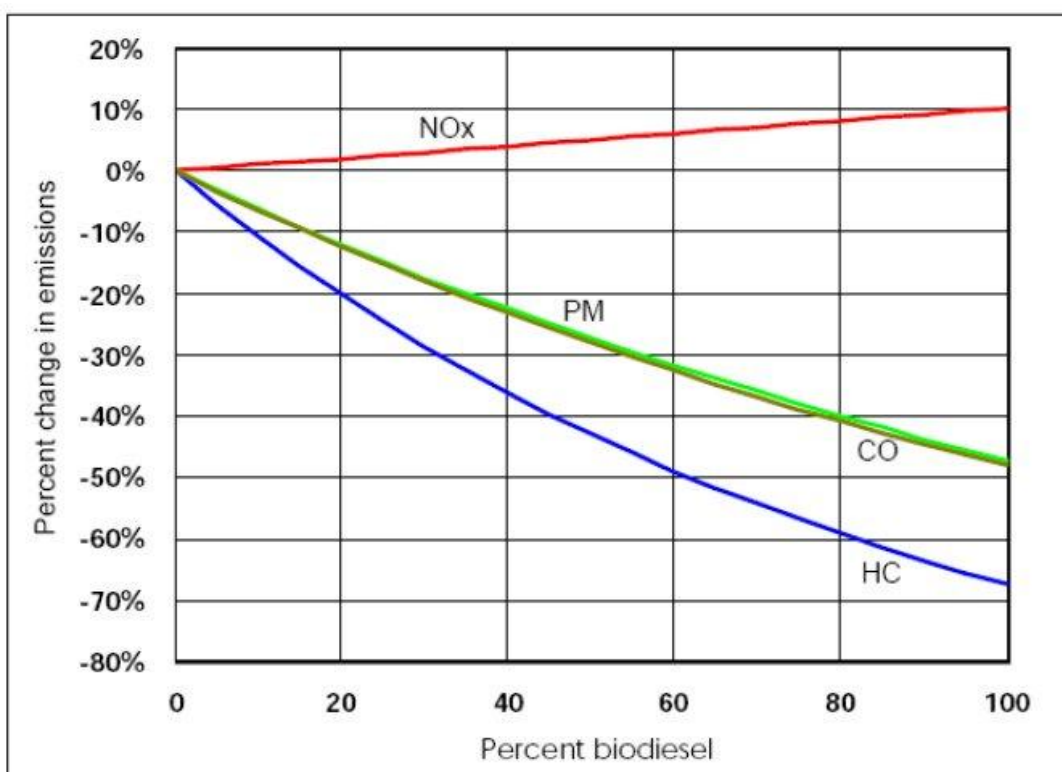
Από τη στιγμή που το βιοντίζελ καλείται να καλύψει μέρος της ενεργειακής ζήτησης στον τομέα των μεταφορών και μετακινήσεων, είναι φανερό πως θα πρέπει κανείς να κατανοήσει την συμπεριφορά του κατά την χρήση σε ΜΕΚ που χρησιμοποιούνται σε βαρέα οχήματα (φορτηγά, λεωφορεία, οικοδομικά και αγροτικά οχήματα κλπ) έως ελαφρά οχήματα (αυτοκίνητα ΙΧ, μικρά επαγγελματικά αυτοκίνητα) τα οποία χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις χερσαίες μεταφορές φορτίων και μετακινήσεις.

Οι κινητήρες αυτοί πριν την ανάγκη για προώθηση υγρών βιοκαυσίμων, σχεδιάστηκαν για τη χρήση με συμβατικό ντίζελ το οποίο έχει διαφορετικές ιδιότητες σε σχέση με το βιοντίζελ και άρα η μελέτη των αποτελεσμάτων σε συγκριτική ανάλυση και η προσπάθεια συσχέτισης τους με τις διαφορές των δύο καυσίμων σε χημικό επίπεδο κρίνεται απαραίτητη. Έτσι, γίνεται ο εντοπισμός των ιδιοτήτων του βιοντίζελ που είναι επιθυμητές, αλλά και εκείνων που προκαλούνε κατώτερες επιδόσεις σε κάποιους τομείς. Έπειτα, ερευνώνται λύσεις για την αντιμετώπιση των παραπάνω ζητημάτων.

1.3.2 Συγκεντρωτικές μελέτες

Το 2002 η EPA (United States Environmental Protection Agency) δημοσίευσε μια εκτενή έρευνα για το βιοντίζελ [90] και τους παραγόμενους ρύπους από τη χρήση του σε ΜΕΚ βαρέων οχημάτων, συγκριτικά με το συμβατικό ντίζελ. Συγκεντρώθηκαν αποτελέσματα από μετρήσεις κινητήρων σε δυναμόμετρο που είχαν πραγματοποιηθεί σε προηγούμενες μελέτες από διάφορους ερευνητές και τα αποτελέσματα για διάφορα ποσοστά ανάμιξης βιοντίζελ με ορυκτό ντίζελ, παρουσιάζονται σε διαγράμματα.

Το Σχήμα 1.9 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της έρευνας της EPA για κάποιους βασικούς ρύπους:

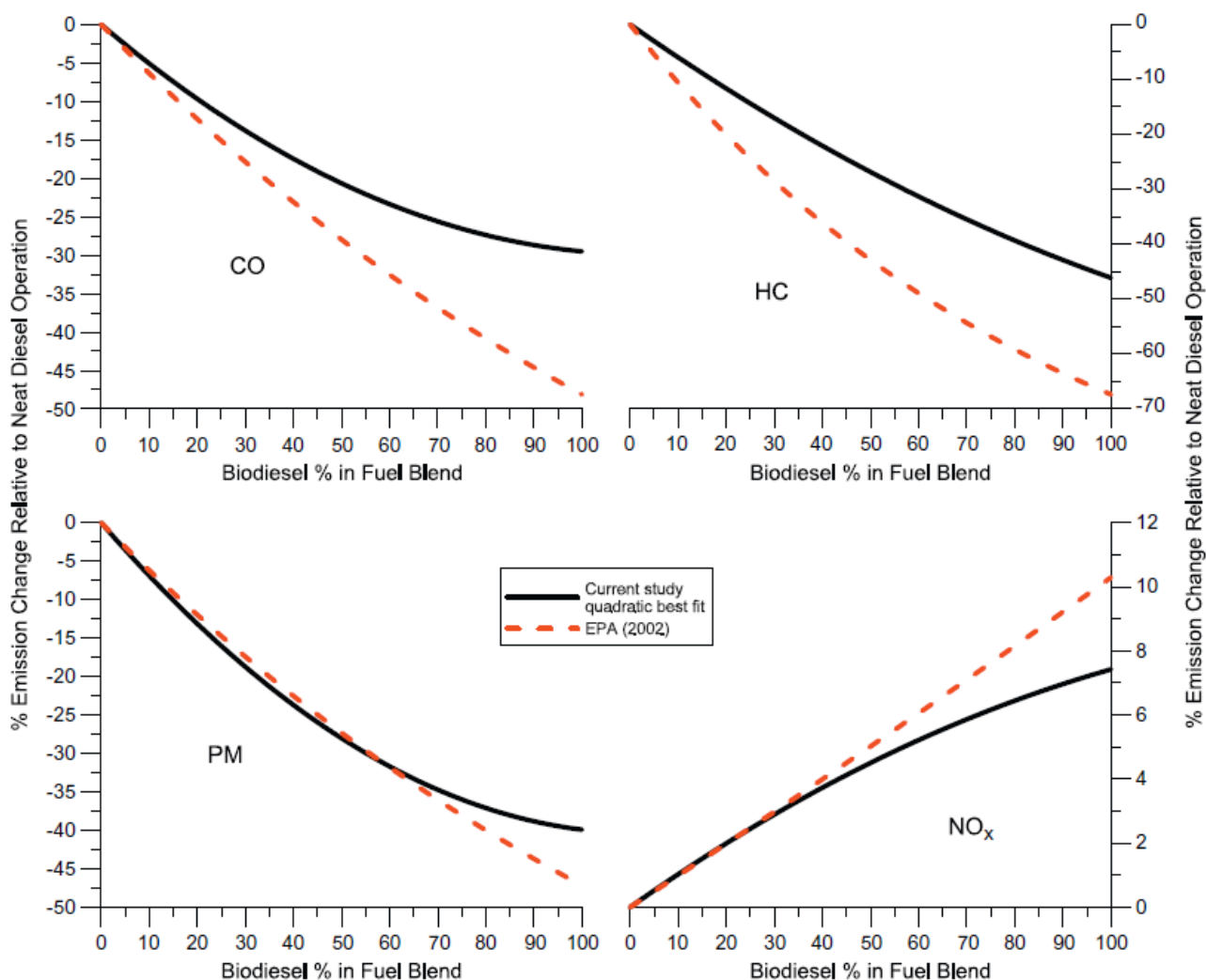


Σχήμα 1.9 – Διαγράμματα ποσοστιαίας μεταβολής ρύπων για μίγματα με βιοντίζελ σε σχέση με την καύση καθαρού πετρελαίου [90].

Πιο πρόσφατη μελέτη [91] (με στοιχεία έως και του τέλους του 2011) παρουσιάζει τα οφέλη της χρήσης του βιοντίζελ όσον αφορά στους εκπεμπόμενους ρύπους μειωμένα, σε σχέση με την έρευνα της EPA. Αυτό συμβαίνει γιατί πολλές από τις παραμέτρους των πειραμάτων μέτρησης ρύπων αλλάζουν με το πέρασμα των χρόνων, πχ. κινητήρες (σύστημα έγχυσης, συστήματα αντιρύπανσης, πχ. EGR και DOC), βελτίωση του συμβατικού πετρελαίου όσον αφορά το περιεχόμενο θείου κλπ. Στο Σχήμα 1.10 φαίνονται συγκριτικά αποτελέσματα της έρευνας της EPA το 2002 με την πιο πρόσφατη στατιστική μελέτη [91].

Το 2005 εκδόθηκε το “Biodiesel Handbook” μια δουλειά των G. Knothe, J.V. Gerpen και J. Krahl, ερευνητών που ασχολήθηκαν πολύ με τη μελέτη του βιοντίζελ [73]. Η εργασία αυτή συγκεντρώνει τα τεχνικά προβλήματα που προκύπτουν από τη χρήση του βιοντίζελ στους κινητήρες diesel από μελέτες πολλών ερευνητών από όλο τον κόσμο. Επίσης συγκεντρώνει τις λύσεις που έχουν εφαρμοστεί ή έχουν προταθεί για την καταπολέμηση των παραπάνω προβλημάτων.

Το 2011 το Coordinating Research Council (CRC) έκδωσε μια μελέτη [80] η οποία συγκεντρώνοντας αποτελέσματα ερευνών ως τώρα, εστιάζει στην συσχέτιση μεταξύ των χημικών ιδιοτήτων του βιοντίζελ και την επίδραση αυτών στην χρήση του ως καύσιμο (ιδιότητες καυσίμου, επιδόσεις, εκπομπές ρύπων). Επίσης εξετάζονται οι διαφορές στις ιδιότητες του βιοντίζελ που παράγεται σε διάφορες χώρες, λόγω διαφορετικών πρώτων υλών και βιομηχανικής παραγωγής, αποθήκευσης και διάθεσης. Τέλος αναλύονται κάποια σενάρια για τη μελλοντική χρήση βιοντίζελ και τα αποτελέσματα στα παραγόμενα αέρια του θερμοκηπίου.



Σχήμα 1.10 – Σύγκριση των καμπυλών της στατιστικής ανάλυσης της EPA (2002) με πιο πρόσφατη ανάλυση (2012) [91]

1.4.3 Προβλήματα και λύσεις ως σήμερα

Τα συνηθέστερα προβλήματα κατά τη χρήση του βιοντίζελ ως καύσιμο έχουν σχέση με την ρευστότητά του σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, την αντοχή του στην οξείδωση και την έκλυση οξειδίων του αζώτου (NO_x).

Η ρευστότητα του βιοντίζελ γενικά μικραίνει όσο μεγαλώνει το μήκος της ανθρακικής

αλυσίδας και όσο μικραίνει ο βαθμός ακορεστότητας του. Με βάση την διαθέσιμη τεχνολογία, η βελτίωση της ρευστότητας αντιμετωπίζεται, με την ανάμιξη με συμβατικό ντίζελ, με τη χρήση πρόσθετων που ως τώρα χρησιμοποιούνταν για συμβατικό ντίζελ, με την ανάπτυξη καινούριων πρόσθετων ειδικά σχεδιασμένων για βιοντίζελ, με την χρήση αλκοολών μεγάλης ανθρακικής αλυσίδας κατά τη μετεστεροποίηση και με την διάσπαση της κρυστάλλωσης. [80]

Η αντοχή στην οξειδωση (oxidative stability) είναι μια ιδιότητα που επηρεάζει το τελικό καύσιμο. Το βιοντίζελ είναι ευπαθές στην οξειδωση όταν εκτίθεται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Το πρόβλημα της οξειδωσης έχει γίνει αντικείμενο σημαντικής έρευνας μέχρι σήμερα [73]. Έχει βρεθεί ότι το μεγαλύτερο μέρος της οξειδωσης του καυσίμου λαμβάνει χώρα κατά τη μακρόχρονη αποθήκευσή του. Η έκθεση στον ατμοσφαιρικό αέρα, στο φως, αλλά και η ύπαρξη μετάλλων και υψηλών θερμοκρασιών διευκολύνουν την οξειδωση. Η προσθήκη αντιοξειδωτικών τόσο φυσικής όσο και συνθετικής προέλευσης μελετώνται για την βελτίωση της αντοχής του βιοντίζελ στην οξειδωση.

Τα εκλυόμενα οξείδια του αζώτου από τη χρήση βιοντίζελ αποτελούν ένα εμπόδιο στην εξάπλωσή του στον τομέα των μεταφορών. Μέχρι στιγμής το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με ειδικές ρυθμίσεις τόσο στην προπορεία ανάφλεξης, όσο και στον χρονισμό και πίεση του ψεκασμού μέσα στον κύλινδρο. Η χρήση της ανακυκλοφορίας καυσαερίων (Exhaust Gas Recirculation, EGR) έχει μελετηθεί επίσης σε διάφορα μίγματα βιοντίζελ για την επίδραση στην μείωση των NO_x . Διάφορα πρόσθετα βελτιωτικά του αριθμού κετανίου όπως το EHN (ethyl-hexyl-nitrate) ή το DTBP (di-tert-butyl peroxide) δείχνουν θετικά αποτελέσματα, όπως επίσης και η ανάμιξη με καύσιμα χαμηλού αρωματικού περιεχομένου [73].

Κεφάλαιο 2 – Περιγραφή εργασίας

2.1 Διαδικασία

2.1.1 Συγκέντρωση και επιλογή της βιβλιογραφίας

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει μια στατιστική ανάλυση των **εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)** και των επιδράσεων στην **κατανάλωση καυσίμου**, σε κινητήρες που τροφοδοτήθηκαν με βιοντίζελ και μίγματα αυτού με συμβατικό ντίζελ, κατά τη λειτουργία σε κύκλους πόλης.

Το πρώτο βήμα ήταν να συλλεγεί η υπάρχουσα βιβλιογραφία με όλες τις σχετικές δημοσιεύσεις από Περιοδικά, Συνέδρια και Reports αναγνωρισμένων ερευνητικών κέντρων που αναφέρονται σε λειτουργία κύκλων πόλης με χρήση μιγμάτων βιοντίζελ-πετρελαίου.

Αφού συγκεντρώθηκε η βιβλιογραφία, εξετάστηκε η κάθε εργασία χωριστά για να διαπιστωθεί αν πληροί κάποια κριτήρια: το βασικό κριτήριο ήταν η κάθε δημοσίευση να περιλαμβάνει στοιχεία από μεταβατικούς κύκλους (transient tests) ή πραγματική χρήση μεταβατικής φύσης (κίνηση στην πόλη, γεωργικές εργασίες, χωματουργικές εργασίες κλπ). Κάθε δουλειά θα έπρεπε να περιλαμβάνει αποτελέσματα τόσο για τα μίγματα βιοντίζελ (BXXX, όπου το B υποδηλώνει την ανάμιξη βιοντίζελ με το συμβατικό ντίζελ και το XXX υποδηλώνει το ποσοστό του βιοντίζελ στο συμβατικό, από 0 έως 100) όσο και για το καύσιμο αναφοράς (baseline fuel), συνήθως συμβατικό ντίζελ, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των δυο.

2.1.2 Καταγραφή στοιχείων κάθε δημοσίευσης

Κάθε δημοσίευση μελετήθηκε και οι βασικές παράμετροι των πειραμάτων καταγράφηκαν σε πίνακες. Στοιχεία όπως τα ονόματα των συγγραφέων, η ημερομηνία δημοσίευσης και ο εκδότης, μπορούν να βοηθήσουν τον αναγνώστη ή τον ερευνητή να εντοπίσουν γρήγορα τη δημοσίευση που θέλουν να μελετήσουν. Στον Πίνακα 3.1 του επόμενου κεφαλαίου, περιλαμβάνονται στοιχεία για τους κινητήρες που δοκιμάστηκαν, όπως ο κατασκευαστής του οχήματος, το μοντέλο του κινητήρα, ο κυβισμός, η ημερομηνία κατασκευής ή οι προδιαγραφές ρύπων (Euro I, II, κλπ), το σύστημα έγχυσης καυσίμου, η χρήση ή μη οξειδωτικού καταλύτη (Diesel Oxidation Catalyst, DOC), ανακλυκλοφορίας καυσαερίων (Exhaust Gas Recirculation, EGR), παγίδας αιθάλης (Diesel Particulate Filter, DPF), ο τύπος αναπνοής του κινητήρα (υπερπλήρωση ή φυσικής αναπνοής) κλπ. Αναφέρονται επίσης οι μεταβατικοί κύκλοι που εφαρμόστηκαν κατά τα πειράματα, όπως επίσης και οι ρύποι που μετρήθηκαν. Τέλος, στους πίνακες περιλαμβάνονται επιπλέον στοιχεία τα οποία κρίθηκαν ενδιαφέροντα από ερευνητικής σκοπιάς, όπως η χρήση ή μη πρόσθετων, αναφορά κύκλων πόλης που αναπτύχθηκαν για κάποια συγκεκριμένη αστική περιοχή, αναφορά διάφορων υλοποιήσεων μετεπεξεργασίας καυσαερίων, πειραματισμοί με τον χρονισμό ψεκασμού, χρήση συνθετικών καυσίμων (όπως Fischer-Tropsch), καθώς και άλλες λεπτομέρειες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον.

2.1.3 Καταγραφή αριθμητικών αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των δημοσιεύσεων καταγράφηκαν για κάθε δημοσίευση. Από τα απόλυτα νούμερα προέκυψαν οι ποσοστιαίες μεταβολές στην εκπομπή CO₂ και στην κατανάλωση καυσίμου, συγκριτικά με το καύσιμο αναφοράς (συμβατικό πετρέλαιο). Στον Πίνακα 3.7 του επόμενου κεφαλαίου αναγράφονται οι ποσοστιαίες για κάθε εργασία.

2.1.4 Κατηγοριοποίηση αποτελεσμάτων

Οι ποσοστιαίες μεταβολές στις εκπομπές CO₂ και στην κατανάλωση καυσίμου στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε ξεχωριστούς πίνακες ανάλογα με το ποσοστό βιοντίζελ στο εκάστοτε μίγμα καυσίμου. Οι περιπτώσεις όπου χρησιμοποιήθηκαν πρόσθετα αναγράφονται χωριστά για να μπορεί κανείς να μελετήσει τα αποτελέσματα χρήσης τους στο μίγμα καυσίμου.

Δημιουργήθηκαν πέντε κατηγοριοποιήσεις, για αποτελέσματα πειραμάτων με:

- SME (soybean methyl esters – μεθυλεστέρες από σογιέλαιο),
- RME (rapeseed methyl esters – μεθυλεστέρες από ελαιοκράμβη),
- μοντέλα κινητήρων μεταγενέστερων του 2000,
- βαρέα οχήματα (heavy duty) και
- ελαφρά οχήματα/επιβατηγά (light duty/passenger cars).

Επίσης εμφανίζονται συνολικά όλα τα αποτελέσματα.

2.2 Επισκόπηση των δημοσιεύσεων

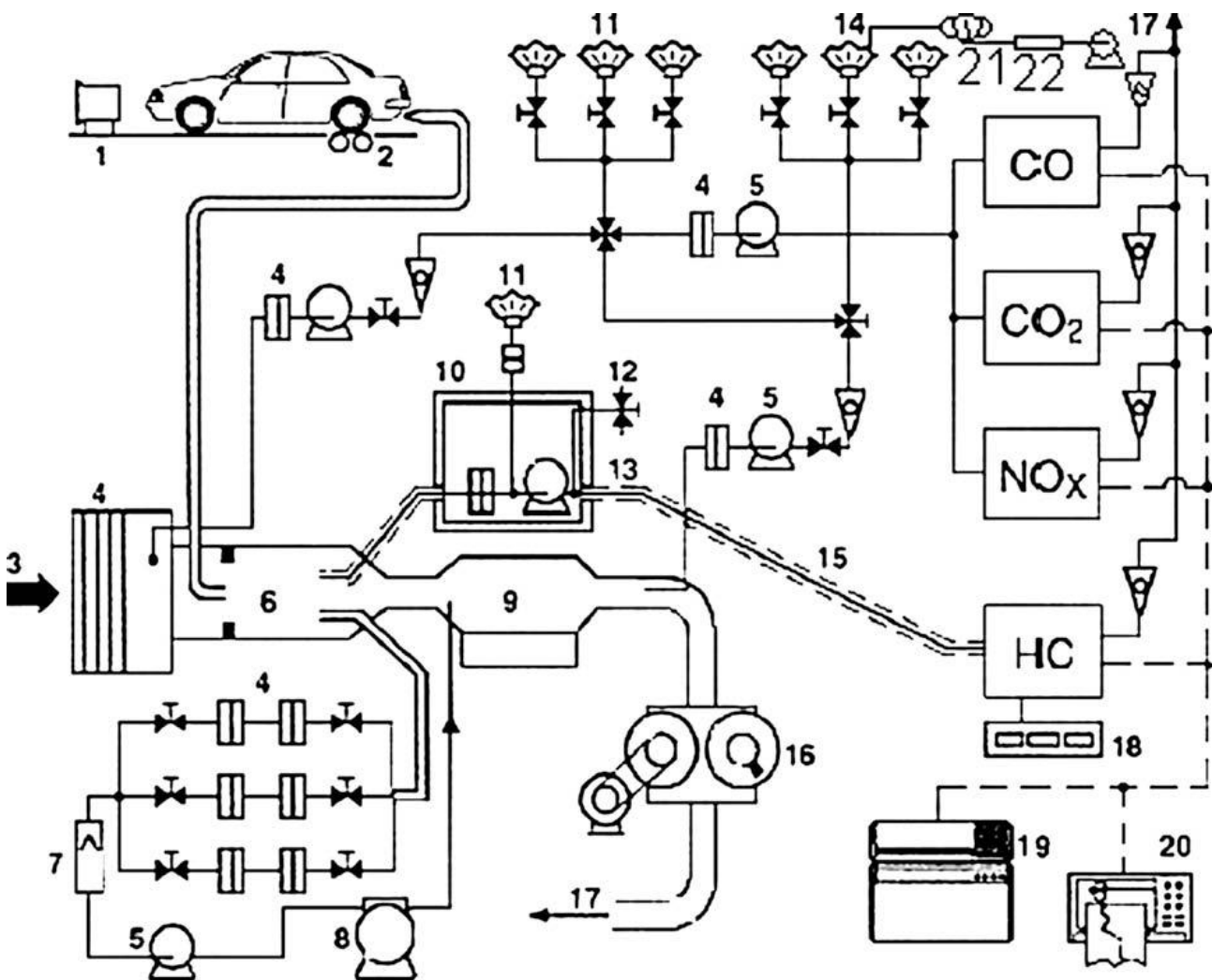
2.2.1 Πειραματικές διατάξεις

Στις περισσότερες μελέτες, χρησιμοποιήθηκαν δυναμόμετρα (chassis dynamometers) πάνω στα οποία προσδένεται το όχημα και στη συνέχεια καλείται να ανταποκριθεί σε ένα φορτίο το οποίο υποβάλλεται από το ίδιο το δυναμόμετρο σύμφωνα με τον μεταβατικό κύκλο που εξετάζεται. Ταυτόχρονα τα καυσαέρια οδηγούνται σε συστήματα μέτρησης ρύπων, αισθητήρες μετράνε διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα αλλά και του περιβάλλοντος, και τέλος όλα τα στοιχεία καταγράφονται σε

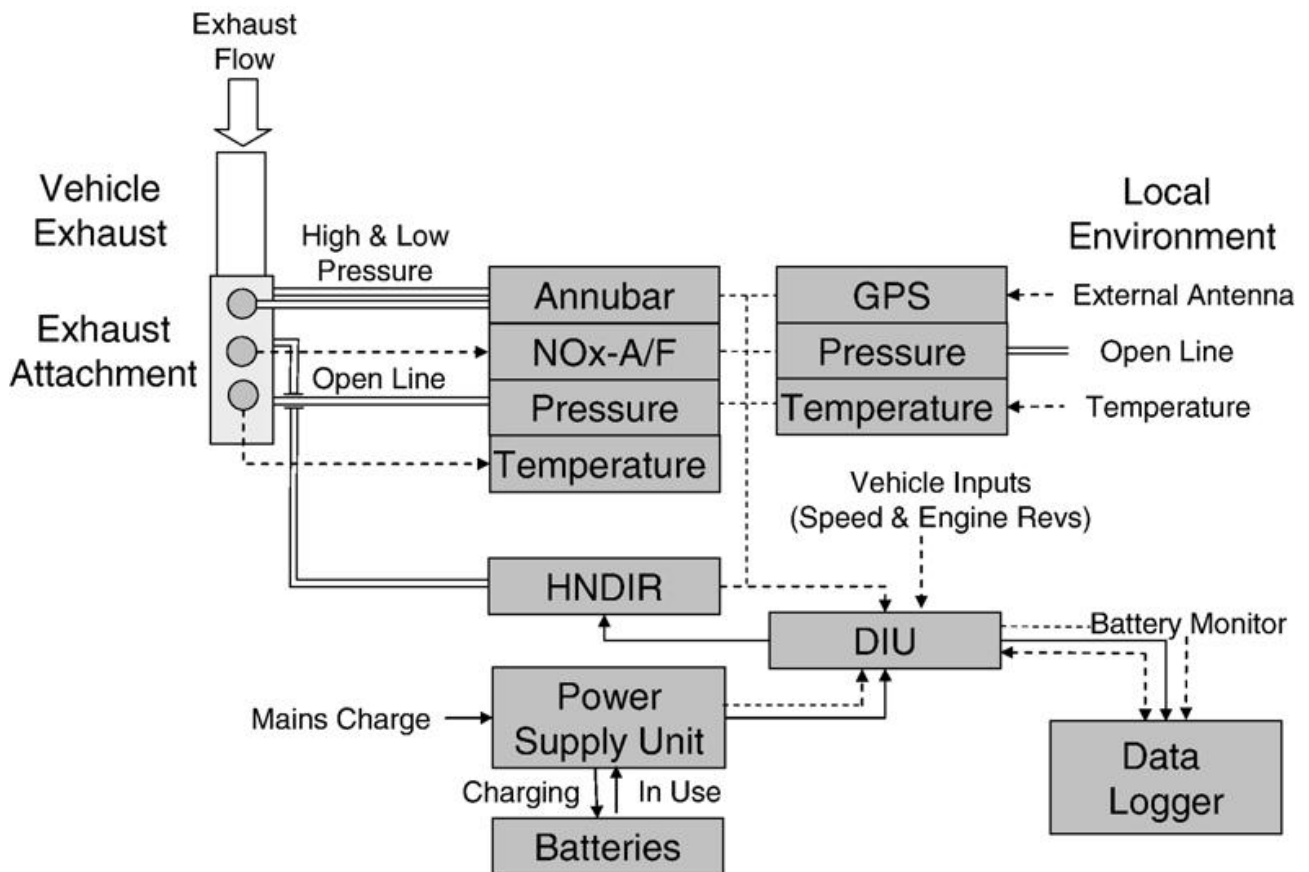
ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Κάποιες μελέτες περιελάμβαναν αποτελέσματα από την πραγματική χρήση των οχημάτων, αντί για δοκιμή με κάποια προσομοίωση χρήσης (κύκλο πόλης). Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο κατάλληλος εξοπλισμός προσδένεται πάνω στο προς δοκιμή όχημα, συμπεριλαμβανομένου και συστήματος ανίχνευσης θέσης (GPS) για τη μέτρηση των αποστάσεων.

Παρακάτω φαίνονται δύο τυπικά σχεδιαγράμματα το πρώτο για δοκιμή σε δυναμόμετρο (Σχήμα 2.1) και το δεύτερο για δοκιμή σε πραγματική χρήση (Σχήμα 2.2):



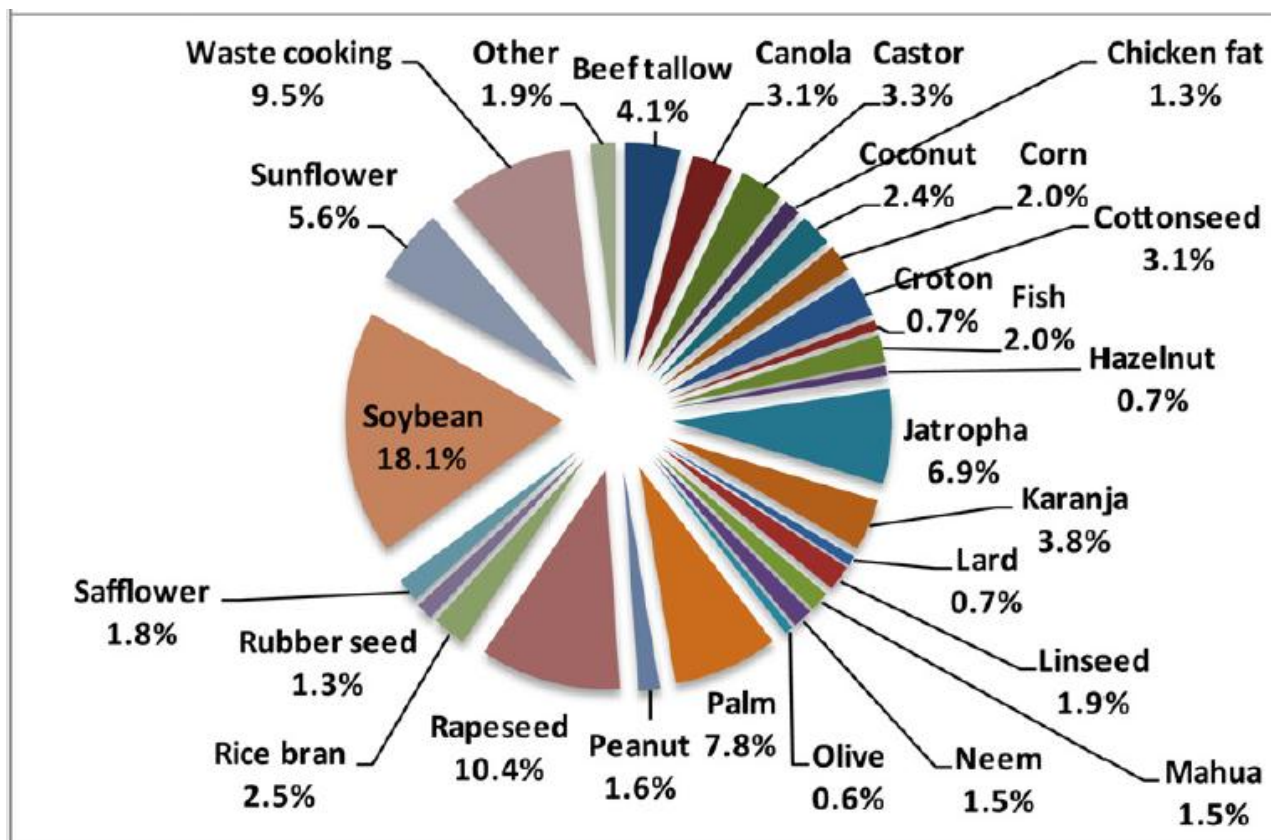
Σχήμα 2.1 – Τυπικό σχεδιάγραμμα πειραματικής διάταξης για μετρήσεις σε δυναμόμετρο [39].



Σχήμα 2.2 – Τυπικό σχεδιάγραμμα φορητής πειραματικής διάταξης μέτρησης ρύπων, εγκατεστημένης στο προς εξέταση όχημα [38].

2.2.2 Μίγματα καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν

Όπως έχει αναφερθεί πιο πάνω, η διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την προέλευση του τελικού βιοντίζελ σε κάθε διαφορετική περιοχή του κόσμου. Με βάση αυτά, οι περισσότερες αμερικανικές μελέτες χρησιμοποιούσαν σογιέλαιο, ενώ οι ευρωπαϊκές ελαιοκράμβη. Ασιατικές έρευνες δείχνουν να εστιάζουν στην δυνατότητα χρησιμοποίησης χρησιμοποιημένων μαγειρικών λαδιών (waste cooking oil) και στο φοινικέλαιο ως πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοντίζελ. Τα παραπάνω φυσικά δεν αποτελούν αυστηρό κανόνα, καθώς υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την έρευνα πάνω σε διαφορετικές πηγές πρώτης ύλης και τις επιδράσεις τους στο τελικό προϊόν. Έτσι βλέπουμε πολλοί ερευνητές να ασχολούνται με πηγές όπως καρύδα, φοίνικα, βαμβάκι, λαρδιά, ελαιόλαδο, ηλιοτρόπια, canola κλπ (Σχήμα 2.3).



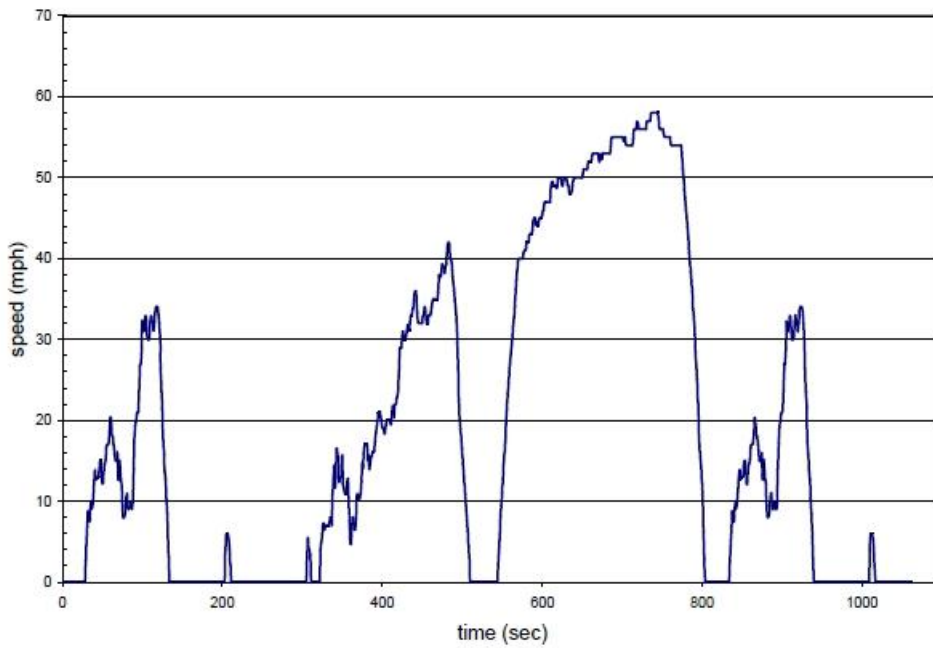
Σχήμα 2.3 – Ποσοστό ερευνών που έχουν ασχοληθεί με διάφορους τύπους βιοντίζελ [93]

Τα ποσοστά ανάμιξης που έχουν μελετηθεί περισσότερο είναι ποσοστά B10, B20, B30, B50, τα οποία απαιτούν μικρές ή καθόλου μετατροπές ή αλλαγές στις ρυθμίσεις των ΜΕΚ. Πολλές μετρήσεις έχουν γίνει και για B100. Τα ποσοστά ανάμιξης που έχουν μελετηθεί αντιπροσωπεύουν όχι μόνο την σημερινή χρήση του βιοντίζελ, αλλά και την αναμενόμενη χρήση του στο μέλλον, αν λάβει κανείς υπ' όψιν τους στόχους για τη διεύθυνση των βιοκαυσίμων στις μεταφορές, ανά τον κόσμο.

2.2.3 Κύκλοι πόλης

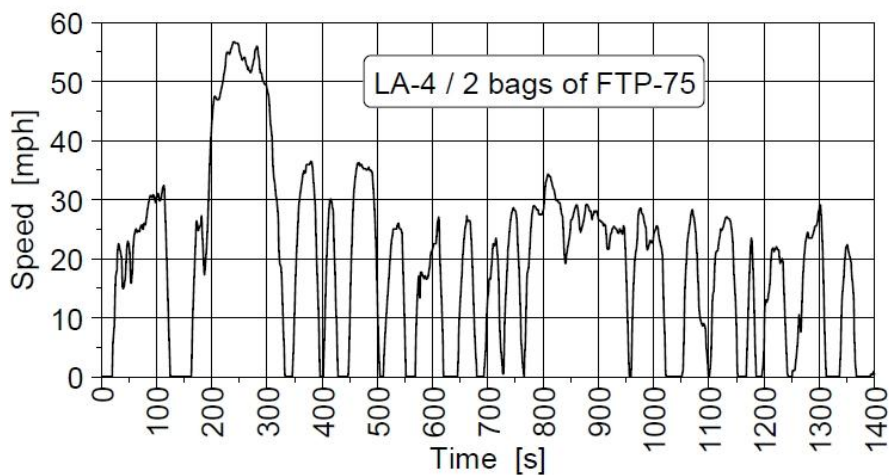
Μια μεγάλη γκάμα μεταβατικών κύκλων λειτουργίας έχει εφαρμοστεί στις μετρήσεις με δυναμόμετρο, όπως επίσης και μετρήσεις σε πραγματικές συνθήκες που αναμένεται να δίνουν πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα για εκπαιδευμένους ρύπους οχημάτων που εκτελούν το ίδιο δρομολόγιο καθημερινά, στο ίδιο αστικό περιβάλλον, όπως για παράδειγμα δρομολόγια λεωφορείων. Κάποιοι ερευνητές έχουν αναπτύξει δικούς τους κύκλους πόλης για συγκεκριμένη περιοχή, όπως ο ADC (Athens Driving Cycle) [20], ο MOL30 (βασισμένος σε πραγματικά στοιχεία της κυκλοφορίας γύρω από το Mol, στο Βέλγιο) [44], ή ο RUCSBC (Rowan University Composite School Bus Cycle) [55, 57].

Κάποιοι από τους πιο συνηθισμένους κύκλους που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και κάποιες περιπτώσεις πραγματικών δρομολογίων και κύκλων που αναφέρονται σε συγκεκριμένες περιοχές, παρουσιάζονται στα σχήματα παρακάτω.



Σχήμα 2.4 – EPA UDDS [86]

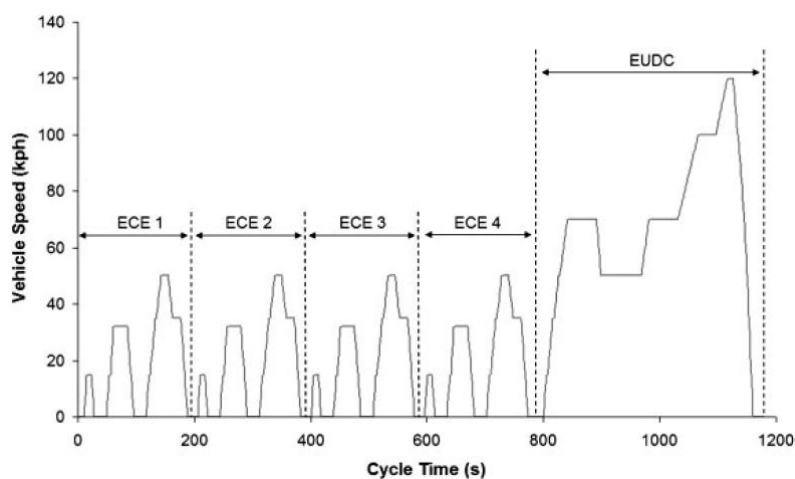
Ο κύκλος UDDS (Urban Dynamometer Driving Schedule, Σχήμα 2.4) που αναπτύχθηκε από την EPA, σχεδιάστηκε για τη δοκιμή βαρέων οχημάτων σε δυναμόμετρο, σύμφωνα με τις υπαγορεύσεις του άρθρου 40 του Κώδικα Ομοσπονδιακών Κανονισμών των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (Code of Federal Regulations, CFR 40).



Σχήμα 2.5 – FTP 75 [86]

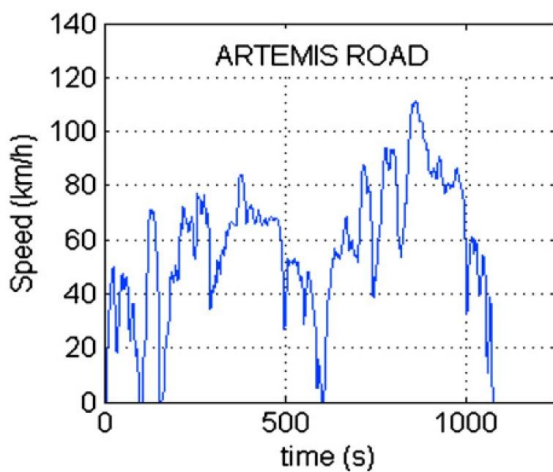
Ο κύκλος FTP-75 (Σχήμα 2.5) χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση ελαφρών οχημάτων στις ΗΠΑ. Αποτελείται από ένα τμήμα ψυχρής εκκίνησης (cold start) διάρκειας 505 δευτερολέπτων, ένα τμήμα μεταβατικής λειτουργίας διάρκειας 864 δευτερολέπτων και τέλος ένα τμήμα θερμής εκκίνησης πανομοιότυπο με το πρώτο τμήμα, αλλά με εκκίνηση με ζεστό κινητήρα. Στο διάγραμμα παραπάνω παρουσιάζονται τα δύο πρώτα τμήματα.

Ο κύκλος NEDC (New European Driving Cycle, Σχήμα 2.6) χρησιμοποιείται στην Ευρώπη για την πιστοποίηση ρύπων ελαφρών οχημάτων (*EEC Directive 90/C81/01*). Ο κύκλος στην ουσία αποτελείται από πέντε τμήματα. Αρχικά εφαρμόζεται ο κύκλος ECE 15 γνωστός και σαν UDC (Urban Driving Cycle), ο οποίος επαναλαμβάνεται τέσσερις φορές και έπειτα ο κύκλος EUDC (Extra Urban Driving Cycle). Απο το 2000 και μετά στην μέτρηση των ρύπων περιλαμβάνεται και ο αρχικός χρόνος που η μηχανή δουλεύει στο ρελαντί.

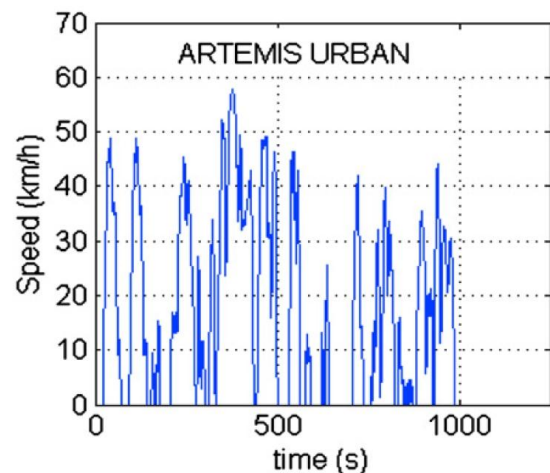


Σχήμα 2.6 – NEDC [86]

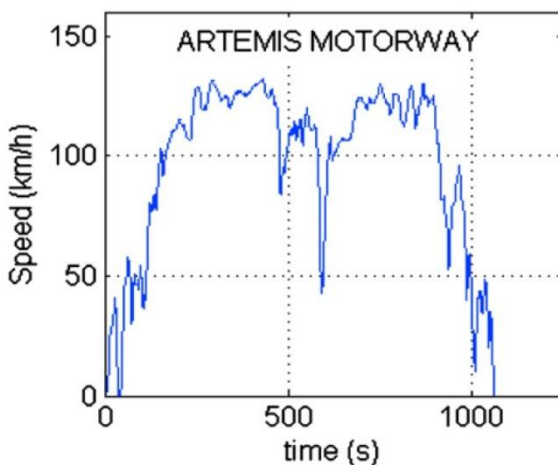
Οι μη θεσμοθετημένοι (αν και σαφώς πιο ρεαλιστικοί σε σχέση με τον NEDC), κύκλοι ARTEMIS (CADC, Common Artemis Driving Cycles, Σχήματα 2.7-2.9) εφαρμόζονται σε δυναμόμετρο και αναπτύχθηκαν από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems). Βασίζονται σε στατιστική ανάλυση μεγάλης βάσης δεδομένων ευρωπαϊκών προτύπων πραγματικής οδήγησης. Οι κύκλοι αυτοί αποτελούνται από τρεις επιμέρους κύκλους: Αυτοκινητόδρομος (motorway), επαρχιακός (rural road) και αστικός (urban). Χρησιμοποιούνται δύο παραλλαγές του κύκλου για αυτοκινητόδρομο, με μέγιστες ταχύτητες 130 και 150 km/h αντίστοιχα.



Σχήμα 2.7 – Artemis Road [86]



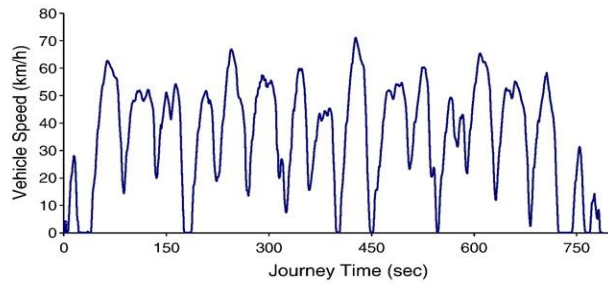
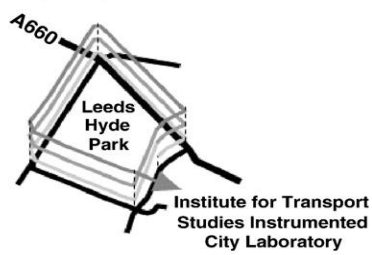
Σχήμα 2.8 – Artemis Urban [86]



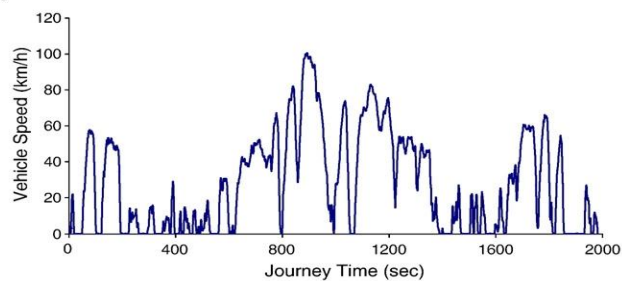
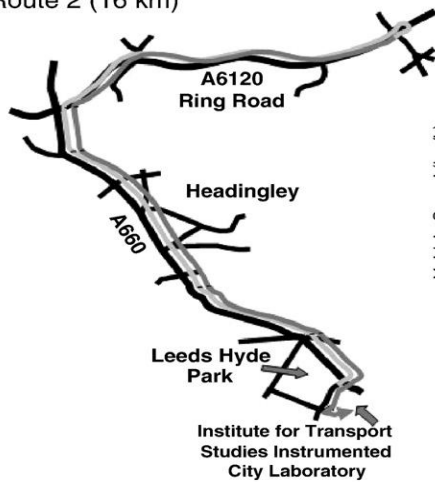
Σχήμα 2.9 – Artemis Motorway [86]

Τέλος, στο Σχήμα 2.10 παρουσιάζεται μία περίπτωση από πραγματικές διαδρομές που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση ρύπων [38]. Στη συγκεκριμένη δημοσίευση, το όχημα εξοπλίστηκε πλήρως με φορητά συστήματα μέτρησης ρύπων και GPS (Global Positioning System) για την καταγραφή των διαδρομών.

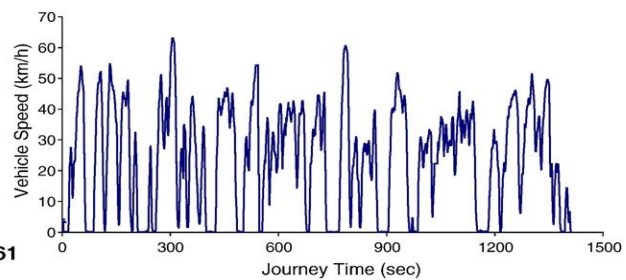
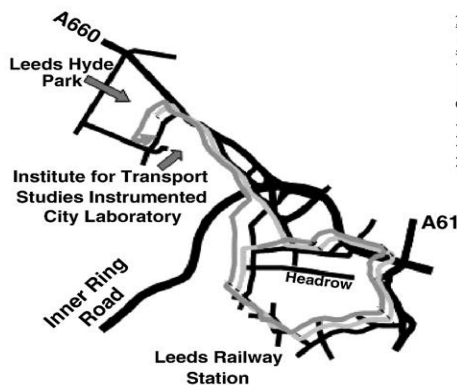
(A) Route 1 (6 km)



(B) Route 2 (16 km)



(C) Route 3 (10 km)



Σχήμα 2.10 – Πραγματικές διαδρομές [38]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Αποτελέσματα

3.1 Παρουσίαση πινάκων και επεξηγήσεις

3.1.1 Πίνακας στοιχείων των δημοσιεύσεων

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας 3.1 που συγκεντρώνει τα λεπτομερή στοιχεία της κάθε δημοσίευσης.

Στην πρώτη στήλη αναγράφεται ο αύξων αριθμός της δημοσίευσης, **ο οποίος επίσης αναφέρεται και στον αντίστοιχο αριθμό βιβλιογραφικής παραπομπής**. Στις επόμενες τρεις στήλες αναφέρονται τα στοιχεία της δημοσίευσης, όπως οι συγγραφείς, ο εκδοτικός οίκος και η ημερομηνία δημοσίευσης. Η πέμπτη και έκτη στήλη αφορούν στα ποσοστά ανάμιξης βιοντίζελ που χρησιμοποιήθηκαν, επιπλέον εναλλακτικά καύσιμα που ενδεχομένως μελετήθηκαν (όπως Fischer-Tropsch ή αλκοόλες), μίγματα με πρόσθετα, και η προέλευση του βιοντίζελ (σόγια, ελαιοκράμβη, κλπ). Ακολουθούν έξι στήλες με στοιχεία για τους κινητήρες όπως κυβισμός, σύστημα έγχυσης, προδιαγραφές καυσαερίων, σύστημα επεξεργασίας καυσαερίων. Τέλος, δίνονται στήλες με τους κύκλους πόλης που μελετήθηκαν, τους ρύπους που μετρήθηκαν και διάφορες παρατηρήσεις με σημαντικές λεπτομέρειες για την κάθε δημοσίευση.

Πίνακας 3.1 – Στοιχεία δημοσιεύσεων (1)

Ref. Number	Authors	Publisher	Year	% Biodiesel	Source	Engine/Vehicle	Model Year	EGR	oxydation catalyst	DPF	Injection	Test Cycle	Pollutants	Comments
1	Charles L. Peterson Daryl L. Reece	University of Idaho	1994	0 RME100 REE100 RME50 REE50 RME20 REE20 100 80/10/10 90/10	diesel RME REE hydrogenated soy oil D/ree/ethanol ree/arco dtbg	Dodge pickup (heavy duty)	1994	no	-	-	DI	arterial EPA UDDS	HC NOx CO CO2 O2	additive ethanol additive arco dtbg
2	Leon G. Schumacher	American Public Transit Association Bus Operations And Technology Conference Reno, Nevada	1995	0 20 35 65 100	-	DDC Series 60 (heavy duty)	1991	no	-	-	DI	FTP	NOx THC CO PM	
3	L.G. Schumacher S.C. Borgelt D. Fossehn W. Goetz W.G. Hires	Bioresource Technology, Elsevier Science Limited	1996	0 10 20 30 40	LSD1, LSD2 SME	DDC 6V92TA (heavy duty)	1991	no	yes	-	-	FTP	NOx CO CO2 THC/BHC PM	2stroke
4	Robert L. McCormick Jeffrey D. Ross Michael S. Graboski	Environ Sci. Technol.	1997	- - -	SME decanoic acid 1-octanol	DDC 6V92 (heavy duty) DDC Series 60 (heavy duty)	1988 1988	no no	- -	- -	- -	FTP FTP	THC CO NOx PM	2stroke
5	C.L. Peterson J.S. Taberski J.C. Thompson C.L. Chase	ASAE	2000	20 100	CoconutEE used hydrogenated soy methyl ester REE MustardEE SafflowerEE SME	Dodge pickup Cummins B5.9L (heavy duty)	1994	no	no	no	DI	FTP	HC CO NOx PM CO2	turbo intercooler
6	Thomas D. Durbin John R. Collins Joseph M. Norbeck Matthew R. Smith	ACS	2000	20 100	- -	Dodge Ram2500 PU (heavy duty) Ford F350 PU (heavy duty) Dodge Ram250 PU (heavy duty) Ford F250 PU (heavy duty)	1996 1995 1990 1988	no no no no	yes yes no no	no no no no	DI DI DI IDI	FTP	PM THC CO NOx	turbo turbo turbo Non-turbo
7	W.G. Wang D.W. Lyons N.N. Clark M. Gautam	Environ Sci. Technol.	2000	35	SME	Cummins 855 (heavy duty) Cummins 855 (heavy duty) Cummins 855 (heavy duty) Cummins 855 (heavy duty) Cummins 855 (heavy duty) Cummins 855 (heavy duty) DDC Series 60 (heavy duty) DDC Series 60 (heavy duty) DDC Series 60 (heavy duty)	1987 1988 1987 1992 1989 1989 1994 1994 1993	no no no no no no no no no	no no no no no no no no no	- - - - - - - - -	- - - - - - - - -	WVU WVU 5-mi	CO NOx HC PM FC	WVU truck driving cycle WVU: West Virginia University
8	Michael J. Haas Karen M. Scott Teresa L. Alleman Robert L. McCormick	Energy & Fuels	2001	20	SoapstockME SME	DDC Series 60 (heavy duty)	1991	no	-	-	DI	FTP	HC NOx CO PM VOF BSFC	turbo intercooler volatile organic fraction of PM BSFC g/bhp-h
9	Robert L. McCormick Michael S. Graboski Teresa L. Alleman Andrew M. Herring	Environ Sci. Technol., NREL report	2001	0 20 100	methyl soy edible methyl tallow inedible methyl tallow methyl candia methyl lard methyl LFFAG methyl HFFAG (Bio3000) methyl laurate (C12:0) methyl palmitate (C16:0) methyl stearate (C18:0) ethyl stearate (C18:0) methyl oleate (C18:1) methyl linoleate (C18:2) ethyl linoleate (C18:2) methyl linolenate (C18:3) ethyl linseed methyl soy (soyagold) methyl hydrogenated soy ethyl soy ethyl hydrogenated soy 1,2 M-stearate:M-linseed	DDC series 60 11.1L (heavy duty)	1991	no	-	-	DI	FTP	NOx PM THC CO CO2 FE	turbo intercooler data from NREL report 2003 Fuel Economy
10	Thomas D. Durbin Joseph M. Norbeck	Environ Sci. Technol.	2002	20	yellow grease Soy-based	Ford F350 PU (heavy duty) Ford F350 Van (heavy duty) Chevy 2500 PU (heavy duty) Chevy 2500 PU (heavy duty) Chevy C30 PU (heavy duty) Chevy C20 PU (heavy duty) Ford F250 PU (heavy duty)	1993 1990 1990 1989 1987 1985 1983	no no no no no no no	- - - - - - -	- - - - - - -	- - - - - - -	FTP	THC PM CO NOx	FTP for light-duty

Πίνακας 3.1 – Στοιχεία δημοσιεύσεων (2)

Ref. Number	Authors	Publisher	Year	% Biodiesel	Source	Engine/Vehicle	Model Year	EGR	oxydation catalyst	DPF	Injection	Test Cycle	Pollutants	Comments
11	L. Zou S. Atkinson	Environmental Technology	2003	20 40 60 80 100	canola oil	Toyota Helix Utility 3.0L (medium duty) VW golf 1.6L (passenger car)	2003 1979	- no	yes no	- -	- -	ECE (euro 2)	NOx HC CO CO2 PAHs PPAH smoke	only real time diagrams Particulate PAH
12	Ralph McGill John Storey Robert Wagner	SAE	2003	30 100	rapeseed methyl ester soybean methyl ester used vegetable oil methyl ester	VW 1.9L TDI (passenger car) Audi 1.9L TDI (passenger car) Navistar 7.3L DI (heavy duty truck) Volvo DH10A-285 (heavy duty, bus)	Euro2	yes - - -	yes yes no yes	- - - yes	DI DI DI DI	steady state FTP 75 Steady & AVL 8-mode Steady & ECE R49 13-mode	NOx PM PAHs SOF	turbo, intercooler turbo, intercooler turbo, intercooler, steady cycles turbo, intercooler, steady cycles Not all data from transient test
13	Gerhard Knothe Christopher A. Sharp Thomas W. Ryan	Energy & Fuels	2005	100	neat methyl laurate neat methyl palmitate technical grade methyl oleate methyl soyate	DDC Series 60 (heavy duty)	2003	yes	no	no	DI	CFR 40	HC CO NOx PM BSFC CO2	turbo, intercooler
14	Robert L. McCormick Christopher J. Tennant R. Robert Hayes Stuart Black John Ireland Tom McDaniel Aaron Williams Mike Fraley	SAE	2005	20 100	soybean oil canola oil yellow grease beef tallow	Cummins ISB (heavy duty) DDC Series 60 (heavy duty)	2004 2004	yes yes	no no	no no	DI DI	CFR 40	NOx HC CO PM FC	turbo, intercooler turbo, intercooler additive EHN
15	Thomas D. Durbin David R. Cocker Aniket A. Sawant-Kent Johnson J. Wayne Miller Bruce B. Holden Norman L. Helgeson Jason A. Jack	Science Direct, Atmospheric Environment	2007	20 50 70 100	used vegetable oil/yellow grease yellow grease Soy-based	Humvee GM 6.5L A2 (heavy duty) Ford F350 PU (heavy duty) Hyster 65 Forklift Perkins 2.8L (medium duty) Halaran aircraft tow Cummins C6 3.9L (medium duty) Humvee GM 6.2L A1 (heavy duty)	2004 1999 2001 1999 1987	- - - - -	yes yes - - -	- - - - -	- - - - -	FTP US06 FTP US06 real use real use real use	THC CO NOx PM	
16	Y.X. Li N.B. McLaughlin B.S. Patterson S.D. Burt	Canadian Biosystems Engineering	2006	0 20 50 100	soybean	instrumented research tractor (heavy duty)	-	-	-	-	-	real use	CO2 NOx BSFC	CO2 calculated
17	Hsi-Hsien Yang Shu-Mei Chien Mei-Yu Lo John Chi-Wei Lan Wen-Chang Lu Yong-Yuan Ku	Science Direct, Atmospheric Environment	2007	0 20	waste cooking oil	Mitsubishi 4M40-2AT1 2.8L (medium duty)	2007	-	-	-	no	FTP	CO HC NOx PM PAHs	turbo
18	M. Tatur H. Nanjundaswamy D. Tomazic	NREL	2008	0 5 20	SME	2.15L (passenger car)	Euro4	EGR	DOC	DPF	DI	FTP 75 HWFET SFTP US06	NOx CO HC FC	NOx absorber catalyst turbo Data not presented analytically
19	Chung-Shin Yuan Yuan-Chung Lin Cheng-Hsien Tsai Chia-Chieh Wu Yu-Sheng Lin	Science Direct, Atmospheric Environment	2009	P0 P20 PF95-P05 PF80-P20	palm paraffinic fuel	Mitsubishi 6D14 6.56L (heavy duty)	-	-	-	-	DI	US-HDD transient	PAHs	
20	George Karavalakis Stamoulis Stourmas Evangelos Bakeas	Science of the Total environment	2009	0 RME5 RME10 RME20 PME5 PME10 PME20	rapeseed palm	Toyota Corolla 2.0 TD (passenger car)	1998 Euro2	no	no	no	no	NEDC ADC	NOx PM HC CO CO2 FC	turbo athens driving Cycle
21	Georgios Fontaras Georgios Karavalakis Marina Kousolidou Theodoros Tzamkiozis Leonidas Ntziachristos Evangelos Bakeas Stamoulis Stourmas Zisis Samaras	Fuel	2009	0 (2 turbo) B50 B100	SME	VW Golf 1.9 TDI (passenger car)	Euro2	no	DOC	no	DI	NEDC ARTEMIS	FC CO2 HC CO NOx PM	turbo
22	H. Christopher Frey Kangwook Kim	Transportation Research	2009	0 B20	SME	Cummins ISM-350 10.8L (heavy duty)	2006	-	-	-	-	real use (unloaded) real use (loaded)	FC CO2 NO PM HC CO	turbo cement mixer trucks MAP manifold absolute pressure NO as NO2
23	J.M. Lujan V. Bermudez B. Tormos B. Pla	Science Direct, Biomass and Bioenergy	2009	0 B30 B50 B100	-	(light duty)	-	-	DOC	DPF	-	MVEG-A (NEDC)	CO2 NOx PM HC	missing part1 of paper

Πίνακας 3.1 – Στοιχεία δημοσιεύσεων (3)

Ref. Number	Authors	Publisher	Year	% Biodiesel	Source	Engine/Vehicle	Model Year	EGR	oxydation catalyst	DPF	Injection	Test Cycle	Pollutants	Comments
24	Jose Maria Lopez Felipe Jimenez Francisco Aparicio Nuria Flores	Science Direct, Transportation Research	2009	0 B20 B100	-	Bus 10.5L (heavy duty) Bus 7.8L (heavy duty)	euro4 euro4	EGR no	no SCR+urea	DPF no	CR DI	real use real use	CO CO2 THC NOx PM FC	turbo selective catalytic reduction intercooler
25	Shu-Mei Chien Yuh-Jeen Huang Shunn-Cheng Chuang Hsi-Hsien Yang	Aerosol and Air Quality Research	2009	0 B20 B60 B100	waste cooking oil	Mitsubishi 6M60-1AT2 7.5L (heavy duty)	-	-	-	-	no	CFR 40	PM PAHs	turbo
26	Ingeborg M. Kooter Marcel A.T.M. van Vugt Aleksandra D. Jedynska Peter C. Tromp Marc M.G. Houtzager Ruud P. Verbeek Gerrit Kadijk Mariska Mulderij Cyrille A.M. Krul	Atmospheric Environment	2010	0 B5 B10 B20 B100 P100	- palm oil	truck engine 12L (heavy duty)	euro3	-	-	DPF	-	ETC	PAHs NOx PM	
27	C D Bannister J G Hawley H M Ali C J Chuck P Price S S Chrysafi A Brown W Pickford	SAGE, Journal of Automobile engineering	2010	0 B5 B10 B20 B30 B50	RME	Ford Transit 125 T260 2.0L (medium duty)	2002 euro3	EGR	DOC	no	DI	NEDC	CO THC NOx PM FC	turbo Pre & post catalyst ambient temperature
28	George Karavalakis George Deves Georgios Fontaras Stamoulis Stourmas Zissis Samaras Evangelos Bakeas	Science Direct, Fuel	2010	0 B50 B100	soya seed oil	VW 1.9L TDI (passenger car)	Euro2	-	DOC	no	DI	NEDC ARTEMIS	PAHs	turbo
29	Georgios Fontaras Marina Kousoulidou Georgios Karavalakis Theodoros Tzamkiozis Panayotis Pistikopoulos Leonidas Ntziachristos Evangelos Bakeas Stamoulis Stourmas Zissis Samaras	Environmental Pollution	2010	B10 B10 B10 B10 B10 0	RME SME sunflower palm used fried oils	Renault Laguna 1.9L dCi (passenger car)	2001 Euro3	EGR	DOC	-	CR DI	NEDC ARTEMIS	CO2 CO HC NOx PM FC	DPF: DOC also used for PM control turbo
30	Mario L. Randazzo Jose R. Sodre	Fuel	2010	B3 B5 B10 B20 B20E2 B20E5	SME	production station wagon 1.2L (passenger car)	-	EGR	DOC	-	DI	NEDC	CO2 CO HC PM NOx	turbo intercooler Platinum-rhodium catalytic converter additive anhydrous ethanol no baseline fuel data
31	A. Macor F. Avella D. Faedo	Applied Energy	2011	0 B30	RME	Renault Master 2.5L (light duty) Renault Traffic 1.9L (light duty)	euro3 euro3	EGR EGR	DOC DOC	- -	CR DI CR DI	UDC EUDC ARTEMIS	CO HC NOx PM FC PAHs aldehydes	
32	Evangelos Bakeas Georgios Karavalakis Georgios Fontaras Stamos Stourmas	Fuel	2011	0 SME30 SME50 SME80 PME30 PME50 PME80 UFOME30 UFOME50 UFOME80	Soy-based Palm-based used fried oils	Mitsubishi L-200 2.5L (light duty)	2007 euro4	-	DOC	-	DI	NEDC ARTEMIS	CO2 NOx PM CO HC PAHs FC	
33	Evangelos Bakeas Georgios Karavalakis Stamoulis Stourmas	Science of the Total environment	2011	0 SMEP10 SMEP20 SMEP30 AFME10 AFME20 AFME30 UFOME10 UFOME20 UFOME30 OME10 OME20 OME30	Soy-palm-based animal fat used fried oils olive oil	Hyundai i-10 1.1L (passenger car)	2007 euro4	-	DOC	-	CR, DI	NEDC ARTEMIS	NOx PM HC CO CO2 FC	

Πίνακας 3.1 – Στοιχεία δημοσιεύσεων (4)

Ref. Number	Authors	Publisher	Year	% Biodiesel	Source	Engine/Vehicle	Model Year	EGR	oxydation catalyst	DPF	Injection	Test Cycle	Pollutants	Comments
34	Robert J. Best Jason M. Kennedy D. John Morrow Brendan Fox	transactions of Sustainable energy	2011	0 B100	rapeseed	Perkins 50-KVA 4L (generator set)	-	-	-	-	-	real use	-	
35	Vicente Bermudez Jose M. Lujan Benjamin Pla Waldemar G. Linares	Biomass and Bioenergy	2011	0 SME100 RME100 PMR100 FT100	SME RME palm oil fischer tropisch	HSDI 2L (passenger car)	euro4	EGR	no	-	DI	NEDC	CO2 FC NOx THC CO unregulated	high speed direct injection HSDI VGT turbo intercooler fischer tropisch fuel
36	Georgios Karavalakis Evangelos Bakeas Georgios Fontaras Stamos Stourmas	energy	2011	0 SME10 SME20 SME30 PME10 PME20 PME30 RME10 RME20 RME30	Soy-based Palm-based-coconut oil Rapeseed-sunflower-waste cooking oil	Hyundai i-10 1.1L (passenger car)	2007 euro4	-	DOC	-	DI	NEDC ARTEMIS	CO2 FC CO NOx HC PM PAHs	Only average for CO2 B10,20,30
37	Yuan-Chung Lin Kuo-Hsiang Hsu Chung-Bang Chen	energy	2011	0 WCOB5 WCOB10 WCOB20 WCOB30	waste cooking oil	Cummins B5.9-160 6L (heavy duty)	1994	-	-	-	DI	CFR 40	HC CO CO2 NOx PM PAHs BSFC	US-HDD transient
38	Karl Ropkins Robert Quinn Joe Beebe-Hu Li Basil Daham James Tate Margaret Bell Gordon Andrews	Science of the Total environment	2006	0 B5	RME	Ford Monder LX TD 1.8L (passenger car)	1995 euro1	EGR	DOC	-	DI	real use	CO CO2 HC NOx FC	turbo intercooler
39	George Karavalakis Stamoulis Stourmas Evangelos Bakeas	Atmospheric Environment	2008	0 B5 B10 B20	SME	Toyota Corolla 2.0 TD (passenger car)	1998 Euro2	no	no	no	no	NEDC ADC	NOx PM CO HC CO2 FC	turbo athens driving Cycle
40	Rachel L. Muncrief Charles W. Rooks Miguel Cruz Michael P. Harold	Energy & Fuels	2008	0 BS100 BC100 BC20 BC50	SME Cotton seed	Volvo refuse truck (medium duty)	1999	EGR	DOC	DPF	-	RUDC	PM NOx CO2 CO HC FC	turbo intercooler real use drive cycle
41	Georgios Karavalakis Evangelos Bakeas Stamos Stourmas	Environ Sci. Technol.	2010	0 SME20 SME30 SME50 UFOME20 UFOME30 UFOME50	SME used fried oils	Subaru Forester 2.0D XS (passenger car)	2007 euro4	-	DOC	DPF	DI	NEDC ARTEMIS	CO2 FC NOx PM HC CO PAHs	
42	Marina Kousoulidou Georgios Fontaras Leonidas Ntziachristos Zissis Samaras	Fuel	2010	0 PME10 RME10	PME RME	2.2L PSA DW12A TED (passenger car) Renault Laguna 1.9L dCi (passenger car)	euro3 euro3	EGR EGR	no DOC	no no	CR, DI CR	NEDC ARTEMIS	CO2 CO FC HC NOx PM	turbo intercooler
43	Mark Tinsdale Phil Price Rui Chen	SAE	2010	0 B5 B10 B30	FAME	CD-class model 2.0L (passenger car)	euro4	-	-	no	DI	NEDC FTP75	PM NOx	DPF was removed
44	L Pelkmans G Lenaers J Bruyninx K Scheepers I De Vlieger	SAGE Journal of Automobile engineering	2011	0 B5 B10 B30 B100	FAME	Volvo V50 1.8f (passenger car) Saab 9.5 2.3i (passenger car) VW Golf Plus 1.4 TSI (passenger car) VW Crafter 2.5 TDi (light duty) Citroen C4 1.6 HDi (passenger car) Truck Scania P230 (heavy duty) City Bus VanHool A360 (medium duty)	2008 2008 2008 2007 euro4 2007 euro4 2007 euro4 2003 euro3	- - - no no EGR EGR	- - - DOC DOC no no	- - - DPF DPF DI DI	no no DI DI DI DI	NEDC MOL30 FIGE (ETC)	FC NOx THC PM CO2 CO	Bio-ethanol Bio-ethanol Bio-ethanol mol30: test cycle, based on real traffic recordings around Mol, Belgium
45	Daisuke Kawano Norifumi Mizushima Hajime Ishii Yuichi Goto	SAE	2010	0 B5 B20 B80 B100	waste cooking oil	Garbage truck 4.89L (medium duty) Old Bus 7.8L (heavy duty) Garbage truck 4.89L (medium duty) New Bus 7.8L (heavy duty) Bus 9.2L (heavy duty) Cargo truck 4L (medium duty)	2003 2003 2005 2005 2005 2005	- - - - - -	DOC DOC DOC DOC DOC, urea-SCR DOC	no no DPF DPF no DPF	DI DI DI DI DI DI	JE05	CO NMHC NOx PM SFC	turbo turbo turbo turbo turbo SFC-specific fuel consumption

Πίνακας 3.1 – Στοιχεία δημοσιεύσεων (5)

Ref. Number	Authors	Publisher	Year	% Biodiesel	Source	Engine/Vehicle	Model Year	EGR	oxydation catalyst	DPF	Injection	Test Cycle	Pollutants	Comments
46	Kenneth D Rose Liesbeth Jansen Diane Hall Richard Clark Peter J Zemroch Maria Dolores Cardenas Almena Cassandra Higham Nigel Elliott Georgios Fontaras Maria Katogiou Zissis Samaras	SAE	2010	0 RME10 RME30 RME50	RME	2.15L (light duty) 2.2L (light duty) 2.0L (light duty)	2009, euro4 2004, euro4 2005, euro4	EGR EGR EGR	DOC DOC DOC	DPF no DPF	CR, DI CR, DI CR, DI	NEDC ARTEMIS	CO2 NOx CO HC PM PN FC	No artemis results presented in this paper turbo turbo turbo
47	Jürgen Krahl Axel Murack Yvonne Ruschel Olaf Schröder	SAE	2010	RME100 0	RME	MAN D08 36 LFL51 6.9L (heavy duty)	euro4	EGR	DOC	COPF	CR	ETC	CO HC NOx FC PM PN	COPF-continuously operating particle filter turbo intercooler The COPF incorporates an oxidation catalyst
48	M. S. Graboski J. D. Ross R. L. McCormick	SAE	1996	0 SME20 SME35 SME65 SME100	SME	DDC Series 60 (heavy duty)	1991	no	no	no	-	CFR 40	THC NOx CO PM BSFC	turbo intercooler
49	Christopher A. Sharp Steve A. Howell Joe Jobe	SAE	2000	0 SME20 SME100	SME	Cummins N14 (heavy duty) DDC series 50 (heavy duty) Cummins B5.9 (heavy duty)	1997 1997 1995	- - -	no DOC DOC	- - -	DI DI DI	FTP heavy duty trans	HC CO NOx PM BSFC	turbo, intercooler turbo, intercooler turbo, intercooler
50	Michael E. Starr	SAE	1997	0 SME20	SME	DDC Series 60 12.7L (heavy duty)	1993	-	-	-	DI	FTP heavy duty trans	HC CO NOx PM CO2 BSFC	additive di-tertiary butyl peroxide (DTBP) additive EHN turbo intercooler electronically controlled injection system (DDEC II) various injection timings
51	Chien Sze Joan K. Whininan Brian A. Olson Charles R. Schenk Rafal A. Sobotowski	SAE	2007	0 SME5 SME10 SME20 SME50 SME100	SME	Cummins ISB 5.9L (heavy duty)	2006	EGR	-	-	CR	FTP UDDS 28k UDDS 6k HWY HWY 172 NRTC WHTC	NOx PM CO THC CO2 FC	common rail capable of multiple injections VGT turbo (variable geometry) intercooler fuel consumption not analytically
52	Piotr Bielażyc Andrzej Szczotka	SAE	2008	0 RME5 RME20 RME30	RME	1.4 L (passenger car)	euro4	EGR	DOC	-	CR, DI	NEDC	HC CO NOx PM CO2 FC BSFC	FAME-fatty acid methyl ester turbo intercooler full load tests
53	Piotr Bielażyc Andrzej Szczotka	SAE	2009	0 RME30 RME50 RME100	RME	1.4 L (passenger car)	euro4	EGR	DOC	-	CR, DI	NEDC	CO HC NOx PM CO2	turbo intercooler
54	Robert L. McCormick Javier R. Alvarez Michael S. Graboski	SAE	2002	0 20 100	SME yellow grease fischer tropsch	DDC series 60 11.1L (heavy duty)	1991	-	-	-	DI	CFR 40	THC NOx CO PM BSFC	turbo intercooler additive EHN additive di-tertiary butyl peroxide (DTBP) 10% aromatic diesel fischer tropsch fuel additive paraffine lubricity in FT fuel additive ferrocene To CO2 cmo to report "NOx solutions" BI03000=YG Soygold=SME data taken from "NOx report" page10.14
55	R.L. McCormick A. Williams J. Ireland M. Brimhall R.R. Hayes	NREL	2006	0 20	SME	Motor Coach Cummins ISB300 5.9L (heavy duty) Freightliner class8 DDC series 60 12.7L (heavy duty) Conventional school bus International D285 7.6L (heavy duty) Green diesel school bus International DG285 7.6L (heavy duty) International class8 Cummins ISM330 10.8L (heavy duty) Transit Bus #1 Cummins ISM280 10.8L (heavy duty) Transit Bus #2 Cummins ISM280 10.8L (heavy duty) Transit Bus #3 Cummins ISM280 10.8L (heavy duty)	2003 2000 2004 2006 2005 2000 2000 2000	- - - - - - - -	- - DOC - - - - -	- - - DPF - - - -	- - - - - - - -	CSHVC UDDS CILCC mod RUCSBC Freeway	NOx PM CO HC FC	City-Suburban Heavy-Vehicle Cycle Combined International Local & Commuter Cycle Rowan University Composite School Bus Cycle
56	Frey Kwangwook	CTE/NC DOT	2005	0 20	SME	Tier1 Single Rear-Axle Dump Truck (heavy duty) Tier2 Single Rear-Axle Dump Truck (heavy duty) Tier1 Tandem Dump Truck (heavy duty) Tier2 Tandem Dump Truck (heavy duty)	2000-2001 2004 1998-2000 2004	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	real use	NO HC CO CO2 PM FC	turbo

3.2 Πίνακες αριθμητικών αποτελεσμάτων των δημοσιεύσεων

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες των αριθμητικών αποτελεσμάτων για κάθε δημοσίευση. Τα αριθμητικά αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ποσοστιαίες αλλαγές στο διοξείδιο του άνθρακα ή στην κατανάλωση καυσίμου για διάφορα μίγματα βιοντίζελ, σε σχέση με τη λειτουργία με συμβατικό πετρέλαιο.

Υπάρχει ένας πίνακας για κάθε κατηγοριοποίηση (βλ. Κεφάλαιο 2.1.4) όπου αναφέρονται τα νούμερα ξεχωριστά για κάθε δημοσίευση, ώστε ο αναγνώστης να μπορεί να ανατρέξει στη βιβλιογραφία για λεπτομερή μελέτη και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Ο Πίνακας 3.2 παρουσιάζει αποτελέσματα για SME (soybean methyl esters), ο Πίνακας 3.3 παρουσιάζει αποτελέσματα για RME (rapeseed methyl esters), ο Πίνακας 3.4 παρουσιάζει αποτελέσματα για μοντέλα κινητήρων μεταγενέστερα του 2000, ο Πίνακας 3.5 παρουσιάζει αποτελέσματα για βαρέα οχήματα (heavy duty), ο Πίνακας 3.6 παρουσιάζει αποτελέσματα για ελαφρά και επιβατηγά οχήματα (light duty/passenger) και ο Πίνακας 3.7 παρουσιάζει συνολικά όλα τα δεδομένα.

Πίνακας 3.2 – Αποτελέσματα για SME (1)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend								
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	35	40	50	65	100
[1]	Peterson 2000			-8.7					-19.8									13
[7]	Wang 2000													2				
														0.6				
[8]	Haas 2001																	14.9
[13]	Knothe 2005								0.01									12.3
[14]	McCormick 2005										1	2.5				6.4		14.4
												2.2						13.6
												2.2						
[16]	Li 2006			-16.2	-37.8				-76.8			-1.2				1		2.9
[21]	Fontaras 2009						5.3		9.5							9.3		16.7
							-0.2		3.4							3.8		12.7
							0.2		2.1							6.3		10.4
							1.1		1.8							5.8		9.6
[22]	Frey 2009			0.5								0.5						
[29]	Fontaras 2010		-1															
			1															
			-1															
			-3															
[32]	Bakeas 2011				1.1		3.2	4.2										
					0.4		1.2	2.1										
					1.2		2.4	4.9										
					0.6		2.9	3.6										
[35]	Bermudez 2011								5.4									4.85
[36]	Karavalakis 2011										0	8.3	4.2					
											0	2.2	6.5					
											0	2.4	9.5					
											0	4.5	6.8					
[39]	Karavalakis 2008	-1	-4.7	-4.7						1.3	4.5	5.9						
		1.2	0.6	-2.4						0.1	4.5	6.6						
[40]	Muncrief 2008								-1.3									5.7
									-0.1									8.6
[41]	Karavalakis 2010			2.2	3.2		4.3					1.5	3.1			4.6		
				0.8	3		4.2					1.1	1.5			2.9		
				1.2	2.4		5.5					1.6	3.1			4.7		
				1.2	1.7		3.4					1.4	2.9			5.8		
[48]	Graboski 1996											1.3		2.8			7.9	12.7

Πίνακας 3.2 – Αποτελέσματα για SME (2)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend								
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	35	40	50	65	100
[49]	Sharp 2000											-3.7						12.8
												1.8						14.3
												1.8						12.3
												6.6						18.9
												5.1						15.9
[50]	Starr 1997			-3.2				0.2				-2						
[51]	Sze 2007			0.1				0.1										
				0.4				0.3										
				0.2				0.7										
				0														
				0.5														
[55]	McCormick 2006											2						
												2.4						
												2.7						
												2.8						
												2.9						
												3						
												2.8						
												2.9						
												2.6						
												1.4						
												1.4						
												1.9						
												1.7						
[56]	Frey 2005			17								19						
				-5.2								-6.4						
				0.1								-0.7						
				4.2								10						
[58]	Clark 1999			-0.7				-1.4		-0.4								
[59]	Karavalakis 2008	0.7		7.5		-0.7					0						-3.2	
		2.7		4.5		-0.9					1.9						-1.9	
[60]	Purcell 1995													4				13
[62]	Williams 2006													2.72				
														2.87				
[54]	McCormick 2002			0.3						0.3				3.8				22.4

Πίνακας 3.2 – Αποτελέσματα για SME (3)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend								
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	35	40	50	65	100
[9]	McCormick 2001			-0.2					1.9									
									0.2									
									4.9									
	ADDITIVES																	
[54]	McCormick 2002 10%Ar			-0.9								0.3						
	0.5DTBP			0								1.5						
	1DTBP			0.2								1.3						
	1.5DTBP			-0.5								2						
	Ar+1DTBP			-0.9								0.8						
	0.5EHN			-2.8								1.3						
	1EHN			-2.6								1.5						
	500Ferrocene											1.5						

Πίνακας 3.3 – Αποτελέσματα για RME

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend						% Fuel Consumption change for each biodiesel blend						
		5	10	20	30	50	100	5	10	20	30	50	100	
[1]	Peterson 1994			0		0.7	0.7							
				1.6			0.7							
[20]	Karavalakis 2009	-2.9	-5.8	0				4.2	1.47	4.2				
		-1.4	0	-3.7				1.8	1.8	4.2				
[27]	Bannister 2010							0.8	0.4	2.2	4.5	7.2		
[29]	Fontaras 2010		0											
			-5											
			0											
			0											
[31]	Macor 2011				0						1.6			
					1.4						2.8			
					-1.2						1.1			
					-0.5						0			
					-0.3						1.6			
					1.4						4.7			
[35]	Bermudez 2011						4.8							2.7
[36]	Karavalakis 2011								0	4.2	8.3			
									4.3	4.3	7.6			
									4.8	4.8	7.1			
									0	0	4.5			
[38]	Ropkins 2006	0						7.5						
[42]	Kousoulidou 2010		3						3.1					
			-5.3						-3.3					
			2.6						1.8					
			-1.6						-0.3					
[46]	Rose 2010		0.5		1.3	1.9			0.8		2.6	4.1		
[47]	Krahl 2010													0
[52]	Bielaczyc 2008	2.6		2.7	2.6			2.3		1.4	0.7			
[53]	Bielaczyc 2009				2.6	2.8	2.9							
[63]	Lofvenberg 2009	6.83						-0.78						
		0.38						1.28						
	ADDITIVES													
[63]	Lofvenberg 2009 ethanol	-2.34						2.86						
		5.2						4.09						

Πίνακας 3.4 – Αποτελέσματα για μοντέλα μεταγενέστερα του 2000 (1)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend						
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	40	50	100
[13]	Knothe 2005								0.01							12.3
									-0.4							11.7
									-3.2							9.7
									-4.5							8.8
[14]	McCormick 2005										1	2.5			6.4	14.4
												2.2				13.6
												1.7				13.6
												1.7				13.8
												2.2				14.1
												2.2				
												2.7				
												3.4				
												2.5				
[22]	Frey 2009			0.5								0.5				
[24]	Lopez 2009			1.4					4.5			4				13.2
				2.6					2.8			4.9				11
[27]	Bannister 2010									0.8	0.4	2.2	4.5		7.2	

Πίνακας 3.4 – Αποτελέσματα για μοντέλα μεταγενέστερα του 2000 (2)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend						
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	40	50	100
[29]	Fontaras 2010		-4													
			0													
			3								-1					
			-3								1					
			-1								0					
			1													
			-5													
			5													
			0													
			1													
			-3													
			0													
			5													
			-2													
			-1													
			1													
			0													
			3													
			-2													
			-3													
[31]	Macor 2011				0								1.6			
					1.4								2.8			
					-1.2								1.1			
					-0.5								0			
					-0.3								1.6			
					1.4								4.7			
[32]	Bakeas 2011				1.1		3.2	4.2								
					1.1		3.7	4.8								
					1.1		2.1	4.8								
					0.4		1.2	2.1								
					0.4		1.5	2.9								
					0.4		1.2	2.5								
					1.2		2.4	4.9								
					1.2		2.4	8.6								
					2.4		4.3	5.3								
					0.6		2.9	3.9								
					-1.2		1.8	3.5								
					0.6		2.7	3.9								

Πίνακας 3.4 – Αποτελέσματα για μοντέλα μεταγενέστερα του 2000 (3)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend						
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	40	50	100
[33]	Bakeas 2011		1.7	1.7	3.3						1.3	2.6	4.7			
			-1.6	0	0						3.4	5.4	7.1			
			-0.8	0.8	1.7						2.6	5.4	7.5			
			1.7	2.1	1.7						6.2	6.9	8.2			
			-1	1.8	2.3						1.6	3.1	4			
			1.4	1.7	2.8						0.4	1.2	3.7			
			1.8	2.3	2.8						2.8	5.4	7.6			
			0.4	1.8	2.6						6	6.1	7.8			
			0.8	1.6	2						1.4	6.9	7.1			
			2.2	2.4	3.2						2.1	6.9	8.3			
			1.6	0.8	1.6						2.1	5.2	7.3			
			-0.3	1.6	2.4						5.9	6.6	8			
			-1.2	-1.2	-0.5						0.5	3.4	4.8			
			0.7	2.5	2.3						0.5	3.4	4.6			
			-1.5	-1.5	-3.7						0.2	1.8	4.6			
			-2.5	-3.6	-4.4						3.2	3.4	5.9			
[35]	Bermudez 2011							5.4								4.85
								4.8								2.7
								11.3								6.23
[36]	Karavalakis 2011		0.46	1.41	2.52						2.1	4.2	6.3			
											0	8.3	4.2			
											0	4.2	8.3			
											1.1	4.3	5.4			
											0	2.2	6.5			
											4.3	4.3	7.6			
											2.4	4.8	7.1			
											0	2.4	9.5			
											4.8	4.8	7.1			
											0	4.5	6.8			
											0	4.5	6.8			
											0	0	4.5			
[41]	Karavalakis 2010			2.2	3.2		4.3					1.5	3.1		4.6	
				1.6	2.2		5.4					2.3	3.1		6.9	
				0.8	3		4.2					1.1	1.5		2.9	
				1.5	3		4.9					0.7	1.5		4.4	
				1.2	2.4		5.5					1.6	3.1		4.7	
				0	2.2		4.9					0.8	3.1		4.7	
				1.2	1.7		3.4					1.4	2.9		5.8	
				1.2	2.3		4					1.4	2.2		5.8	

Πίνακας 3.4 – Αποτελέσματα για μοντέλα μεταγενέστερα του 2000 (4)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend						
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	40	50	100
[42]	Kousoulidou 2010		-3.1								-4					
			3								3.1					
			-1.1								0					
			-3.2								-3.7					
			-0.8								1.6					
			-5.3								-3.3					
			-2.6								1.8					
			-1.6								-0.3					
[44]	Pelkmans 2011	4.6	2.6		-0.7				-1.3	4.1	2.6		1			4.8
		1.1	0		-1.7				-2.2	0.6	-0.3		-0.3			4.1
		-2.7	-2.1		-3.3				-2.7	-3.2	-2.2		-1.8			3
		-0.8	-0.8		-0.8				-1	-1	-0.8		0.8			4.8
		1.1	3.9		1.8				-0.8	0.8	2.7		2.4			4.3
[45]	Kawano 2010									1.9		4.3				14
										1.9		3.8				16
										1.8		4.7				6.3
												3.6				14.8
												3.8				14.5
																15.1
[46]	Rose 2010		0.5		1.3		1.9				0.8		2.6		4.1	
[47]	Krahl 2010															0
[51]	Sze 2007			0.1			0.2									
				0.4			0.1									
				0.2			0.3									
				0			0.7									
				0.5												
[52]	Bielaczyc 2008	2.6		2.7	2.6					2.3		1.4	0.7			
[53]	Bielaczyc 2009				2.6		2.8		2.9							

Πίνακας 3.4 – Αποτελέσματα για μοντέλα μεταγενέστερα του 2000 (5)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend						
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	40	50	100
[55]	McCormick 2006											2				
												2.4				
												2.7				
												2.8				
												2.9				
												3				
												2.8				
												2.9				
												2.6				
												1.4				
												1.4				
												1.9				
												1.7				
[56]	Frey 2005			17								19				
				-5.2								-6.4				
				4.2								10				
[59]	Karavalakis 2008	0.7		7.5		-0.7				0		6.3		-3.2		
		2.7		4.5		-0.9				1.9		2.9		-1.9		
[62]	Williams 2006											2.72				
												2.87				
[63]	Lofvenberg 2009	6.83								-0.78						
		0.38								1.28						
	ADDITIVES															
[14]	McCormick 2005 EHN											3.2				
												3.2				
[63]	Lofvenberg 2009 ethanol	-2.34								2.86						
		5.2								4.09						

Πίνακας 3.5 – Αποτελέσματα για βαρέα οχήματα (1)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend						% Fuel Consumption change for each biodiesel blend							
		5	10	20	30	50	100	5	10	20	30	35	50	65	100
[1]	Peterson 1994			0.3		0.9	1								
				1.5		0.1	1.2								
				0		0.7	0.7								
				1.6			0.7								
[5]	Peterson 2000			-9.2			-2.9								17.2
				-2.1			-4.8								13
				-4.6			-5.5								11.6
				-8.7			-19.8								13
							-0.1								15.3
							-2.3								14.4
[7]	Wang 2000											2			
												0.6			
[8]	Haas 2001									0					14.9
															17.6
	Knothe 2005						0.01								12.3
							-0.4								11.7
							-3.2								9.7
							-4.5								8.8
[14]	McCormick 2005								1	2.5			6.4		14.4
										2.2					13.6
										1.7					13.6
										1.7					13.8
										2.2					14.1
										2.2					
										2.7					
										3.4					
										2.5					
[16]	Li 2006			-16.2		-37.8	-76.8			-1.2			1		2.9
[22]	Frey 2009			0.5						0.5					
[24]	Lopez 2009			1.4			4.5			4					13.2
				2.6			2.8			4.9					11
[37]	Lin 2011	0.1	0.4	0.8	1.1			0.385	1.06	1.71	3.42				
[44]	Pelkmans 2011	1.1	3.9		1.8		-0.8	0.8	2.7		2.4				4.3

Πίνακας 3.5 – Αποτελέσματα για βαρέα οχήματα (2)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend						% Fuel Consumption change for each biodiesel blend							
		5	10	20	30	50	100	5	10	20	30	35	50	65	100
[45]	Kawano 2010							1.9		3.8					16
								1.9		3.6					14.8
								1.8							14.5
[47]	Krahl 2010														0
[48]	Graboski 1996									1.3		2.8		7.9	12.7
[49]	Sharp 2000									-3.7					12.8
										1.8					14.3
										1.8					12.3
										6.6					18.9
										5.1					15.9
[50]	Starr 1997			-3.2						-2					
[51]	Sze 2007			0.1		0.2									
				0.4		0.1									
				0.2		0.3									
				0		0.7									
				0.5											
[55]	McCormick 2006									2					
										2.4					
										2.7					
										2.8					
										2.9					
										3					
										2.8					
										2.9					
										2.6					
										1.4					
										1.4					
										1.9					
										1.7					
[56]	Frey 2005			17						19					
				-5.2						-6.4					
				0.1						-0.7					
				4.2						10					
[57]	Hearne 2003			-1											
				2											
				1											
				-6											
				-8											

Πίνακας 3.5 – Αποτελέσματα για βαρέα οχήματα (3)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend						% Fuel Consumption change for each biodiesel blend							
		5	10	20	30	50	100	5	10	20	30	35	50	65	100
[58]	Clark 1999			-0.7		-1.4	-0.4								
[60]	Purcell 1995										4				13
	Williams 2006									2.72					
										2.87					
[63]	Lofvenberg 2009	6.83						-0.78							
		0.38						1.28							
[54]	McCormick 2002			0.3			0.3			3.8					22.4
				0.5			0.3			2.3					13.5
[9]	McCormick 2001			-0.2			1.9								
							0.2								
							4.9								
				-0.4			0.7								
				3.2			3								
				0.2			-1.2								
							-0.4								
							0.5								
							-1.8								
							2.6								
	ADDITIVES														
[14]	McCormick 2005 EHN									3.2					
										3.2					
[50]	Starr 1997 DTBP			-1.8						-1.8					
[63]	Lofvenberg 2009 ethanol	-2.34						2.86							
		5.2						4.09							
[54]	McCormick 2002 10%Ar			-0.9						0.3					
	0.5DTBP			0						1.5					
	1DTBP			0.2						1.3					
	1.5DTBP			-0.5						2					
	Ar+1DTBP			-0.9						0.8					
	0.5EHN			-2.8						1.3					
	1EHN			-2.6						1.5					
	500Ferrocene									1.5					
	10%Ar			-1						0.5					
	1DTBP			0						1.8					
	Ar+1DTBP			-1.4						3.1					

Πίνακας 3.6 – Αποτελέσματα για ελαφρά και επιβατηγά οχήματα (1)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend						
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	40	50	100
[20]	Karavalakis 2009	-2.9	-5.8	0						4.2	1.47	4.2				
		-1.4	0	-3.7						1.8	1.8	4.4				
		-2.9	-8.7	1.4						4.2	4.2	7.14				
		1.6	-2.7	1						1.8	5.2	5.5				
[21]	Fontaras 2009						5.3		9.5						9.3	16.7
							-0.2		3.4						3.8	12.7
							0.2		2.1						6.3	10.4
							1.1		1.8						5.8	9.6
[27]	Bannister 2010									0.8	0.4	2.2	4.5		7.2	
[29]	Fontaras 2010		-4													
			0													
			3								-1					
			-3								1					
			-1								0					
			1													
			-5													
			5													
			0													
			1													
			-3													
			0													
			5													
			-2													
			-1													
			1													
			0													
			3													
			-2													
			-3													

Πίνακας 3.6 – Αποτελέσματα για ελαφρά και επιβατηγά οχήματα (2)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend						
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	40	50	100
[31]	Macor 2011				0								1.6			
					1.4								2.8			
					-1.2								1.1			
					-0.5								0			
					-0.3								1.6			
					1.4								4.7			
[32]	Bakeas 2011				1.1		3.2	4.2								
					1.1		3.7	4.8								
					1.1		2.1	4.8								
					0.4		1.2	2.1								
					0.4		1.5	2.9								
					0.4		1.2	2.5								
					1.2		2.4	4.9								
					1.2		2.4	8.6								
					2.4		4.3	5.3								
					0.6		2.9	3.9								
					-1.2		1.8	3.5								
					0.6		2.7	3.9								
[33]	Bakeas 2011	1.7	1.7	3.3							1.3	2.6	4.7			
		-1.6	0	0							3.4	5.4	7.1			
		-0.8	0.8	1.7							2.6	5.4	7.5			
		1.7	2.1	1.7							6.2	6.9	8.2			
		-1	1.8	2.3							1.6	3.1	4			
		1.4	1.7	2.8							0.4	1.2	3.7			
		1.8	2.3	2.8							2.8	5.4	7.6			
		0.4	1.8	2.6							6	6.1	7.8			
		0.8	1.6	2							1.4	6.9	7.1			
		2.2	2.4	3.2							2.1	6.9	8.3			
		1.6	0.8	1.6							2.1	5.2	7.3			
		-0.3	1.6	2.4							5.9	6.6	8			
		-1.2	-1.2	-0.5							0.5	3.4	4.8			
		0.7	2.5	2.3							0.5	3.4	4.6			
		-1.5	-1.5	-3.7							0.2	1.8	4.6			
		-2.5	-3.6	-4.4							3.2	3.4	5.9			
[35]	Bermudez 2011								5.4							4.85
									4.8							2.7
									11.3							6.23

Πίνακας 3.6 – Αποτελέσματα για ελαφρά και επιβατηγά οχήματα (3)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend						
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	40	50	100
[36]	Karavalakis 2011		0.46	1.41	2.52						2.1	4.2	6.3			
											0	8.3	4.2			
											0	4.2	8.3			
											1.1	4.3	5.4			
											0	2.2	6.5			
											4.3	4.3	7.6			
											2.4	4.8	7.1			
											0	2.4	9.5			
											4.8	4.8	7.1			
											0	4.5	6.8			
											0	4.5	6.8			
											0	0	4.5			
[38]	Ropkins 2006	0								7.5						
[39]	Karavalakis 2008	-1	-4.7	-4.7						1.3	4.5	5.9				
		1.2	0.6	-2.4						0.1	4.5	6.6				
	Muncrief 2008			-1.4			-1.8	-1.4				0			2.7	8.7
				-0.4			-3	-0.5				2.7			5.5	8.6
								-1.3								5.7
								-0.1								8.6
[40]	Karavalakis 2010			2.2	3.2		4.3					1.5	3.1		4.6	
				1.6	2.2		5.4					2.3	3.1		6.9	
				0.8	3		4.2					1.1	1.5		2.9	
				1.5	3		4.9					0.7	1.5		4.4	
				1.2	2.4		5.5					1.6	3.1		4.7	
				0	2.2		4.9					0.8	3.1		4.7	
				1.2	1.7		3.4					1.4	2.9		5.8	
				1.2	2.3		4					1.4	2.2		5.8	
[42]	Kousoulidou 2010		-3.1								-4					
			3								3.1					
			-1.1								0					
			-3.2								-3.7					
			-0.8								1.6					
			-5.3								-3.3					
			-2.6								1.8					
			-1.6								-0.3					

Πίνακας 3.6 – Αποτελέσματα για ελαφρά και επιβατηγά οχήματα (4)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend						
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	40	50	100
[44]	Pelkmans 2011	4.6	2.6		-0.7				-1.3	4.1	2.6		1			4.8
		1.1	0		-1.7				-2.2	0.6	-0.3		-0.3			4.1
		-2.7	-2.1		-3.3				-2.7	-3.2	-2.2		-1.8			3
[45]	Kawano 2010	-0.8	-0.8		-0.8				-1	-1	-0.8		0.8			4.8
												4.3				14
												4.7				6.3
											3.8				15.1	
[46]	Rose 2010		0.5		1.3		1.9				0.8		2.6		4.1	
[52]	Bielaczyc 2008	2.6		2.7	2.6					2.3		1.4	0.7			
[53]	Bielaczyc 2009				2.6		2.8		2.9							
[59]	Karavalakis 2008	0.7		7.5		-0.7				0		6.3		-3.2		
		2.7		4.5		-0.9				1.9		2.9		-1.9		

Πίνακας 3.7 – Συγκενρωτικά αποτελέσματα για όλα τα μίγματα και όλα τα οχήματα (1)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend								
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	35	40	50	65	100
[1]	Peterson 1994			0.3			0.9		1									
				1.5			0.1		1.2									
				0			0.7		0.7									
				1.6					0.7									
[5]	Peterson 2000			-9.2					-2.9									17.2
				-2.1					-4.8									13
				-4.6					-5.5									11.6
				-8.7					-19.8									13
									-0.1									15.3
									-2.3									14.4
[7]	Wang 2000												2					
													0.6					
[8]	Haas 2001										0							14.9
																		17.6
[13]	Knothe 2005								0.01									12.3
									-0.4									11.7
									-3.2									9.7
									-4.5									8.8
[14]	McCormick 2005										1	2.5				6.4		14.4
												2.2						13.6
												1.7						13.6
												1.7						13.8
												2.2						14.1
												2.2						
												2.7						
												3.4						
												2.5						
[16]	Li 2006			-16.2			-37.8		-76.8			-1.2				1		2.9
[20]	Karavalakis 2009	-2.9	-5.8	0						4.2	1.47	4.2						
		-1.4	0	-3.7						1.8	1.8	4.4						
		-2.9	-8.7	1.4						4.2	4.2	7.14						
		1.6	-2.7	1						1.8	5.2	5.5						

Πίνακας 3.7 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για όλα τα μίγματα και όλα τα οχήματα (2)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend								
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	35	40	50	65	100
[21]	Fontaras 2009						5.3		9.5							9.3		16.7
							-0.2		3.4							3.8		12.7
							0.2		2.1							6.3		10.4
							1.1		1.8							5.8		9.6
[22]	Frey 2009			0.5								0.5						
[24]	Lopez 2009			1.4					4.5			4						13.2
				2.6					2.8			4.9						11
[27]	Bannister 2010									0.8	0.4	2.2	4.5			7.2		
[29]	Fontaras 2010		-4															
			0															
			3									-1						
			-3									1						
			-1									0						
			1															
			-5															
			5															
			0															
			1															
			-3															
			0															
			5															
			-2															
			-1															
			1															
			0															
			3															
			-2															
			-3															
[31]	Macor 2011				0								1.6					
					1.4								2.8					
					-1.2								1.1					
					-0.5								0					
					-0.3								1.6					
					1.4								4.7					

Πίνακας 3.7 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για όλα τα μίγματα και όλα τα οχήματα (3)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend								
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	35	40	50	65	100
[32]	Bakeas 2011				1.1		3.2	4.2										
					1.1		3.7	4.8										
					1.1		2.1	4.8										
					0.4		1.2	2.1										
					0.4		1.5	2.9										
					0.4		1.2	2.5										
					1.2		2.4	4.9										
					1.2		2.4	8.6										
					2.4		4.3	5.3										
					0.6		2.9	3.9										
					-1.2		1.8	3.5										
					0.6		2.7	3.9										
[33]	Bakeas 2011	1.7	1.7	3.3						1.3	2.6	4.7						
		-1.6	0	0						3.4	5.4	7.1						
		-0.8	0.8	1.7						2.6	5.4	7.5						
		1.7	2.1	1.7						6.2	6.9	8.2						
		-1	1.8	2.3						1.6	3.1	4						
		1.4	1.7	2.8						0.4	1.2	3.7						
		1.8	2.3	2.8						2.8	5.4	7.6						
		0.4	1.8	2.6						6	6.1	7.8						
		0.8	1.6	2						1.4	6.9	7.1						
		2.2	2.4	3.2						2.1	6.9	8.3						
		1.6	0.8	1.6						2.1	5.2	7.3						
		-0.3	1.6	2.4						5.9	6.6	8						
		-1.2	-1.2	-0.5						0.5	3.4	4.8						
		0.7	2.5	2.3						0.5	3.4	4.6						
		-1.5	-1.5	-3.7						0.2	1.8	4.6						
		-2.5	-3.6	-4.4						3.2	3.4	5.9						
[35]	Bermudez 2011								5.4									4.85
									4.8									2.7
									11.3									6.23

Πίνακας 3.7 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για όλα τα μίγματα και όλα τα οχήματα (4)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend								
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	35	40	50	65	100
[36]	Karavalakis 2011		0.46	1.41	2.52						2.1	4.2	6.3					
											0	8.3	4.2					
											0	4.2	8.3					
											1.1	4.3	5.4					
											0	2.2	6.5					
											4.3	4.3	7.6					
											2.4	4.8	7.1					
											0	2.4	9.5					
											4.8	4.8	7.1					
											0	4.5	6.8					
											0	4.5	6.8					
											0	0	4.5					
[37]	Lin 2011	0.1	0.4	0.8	1.1					0.385	1.06	1.71	3.42					
[38]	Ropkins 2006	0								7.5								
[39]	Karavalakis 2008	-1	-4.7	-4.7						1.3	4.5	5.9						
		1.2	0.6	-2.4						0.1	4.5	6.6						
[40]	Muncrief 2008			-1.4			-1.8		-1.4			0				2.7		8.7
				-0.4			-3		-0.5			2.7				5.5		8.6
									-1.3									5.7
									-0.1									8.6
[41]	Karavalakis 2010			2.2	3.2		4.3					1.5	3.1			4.6		
				1.6	2.2		5.4					2.3	3.1			6.9		
				0.8	3		4.2					1.1	1.5			2.9		
				1.5	3		4.9					0.7	1.5			4.4		
				1.2	2.4		5.5					1.6	3.1			4.7		
				0	2.2		4.9					0.8	3.1			4.7		
				1.2	1.7		3.4					1.4	2.9			5.8		
				1.2	2.3		4					1.4	2.2			5.8		
[42]	Kousoulidou 2010		-3.1								-4							
			3								3.1							
			-1.1								0							
			-3.2								-3.7							
			-0.8								1.6							
			-5.3								-3.3							
			-2.6								1.8							
			-1.6								-0.3							

Πίνακας 3.7 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για όλα τα μίγματα και όλα τα οχήματα (5)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend								
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	35	40	50	65	100
[44]	Pelkmans 2011	4.6	2.6		-0.7				-1.3	4.1	2.6		1					4.8
		1.1	0		-1.7				-2.2	0.6	-0.3		-0.3					4.1
		-2.7	-2.1		-3.3				-2.7	-3.2	-2.2		-1.8					3
		-0.8	-0.8		-0.8				-1	-1	-0.8		0.8					4.8
		1.1	3.9		1.8				-0.8	0.8	2.7		2.4					4.3
[45]	Kawano 2010									1.9		4.3						14
										1.9		3.8						16
										1.8		4.7						6.3
												3.6						14.8
												3.8						14.5
																		15.1
[46]	Rose 2010		0.5		1.3		1.9				0.8		2.6			4.1		
[47]	Krahl 2010																	0
[48]	Graboski 1996											1.3		2.8			7.9	12.7
[49]	Sharp 2000											-3.7						12.8
												1.8						14.3
												1.8						12.3
												6.6						18.9
												5.1						15.9
[50]	Starr 1997			-3.2								-2						
[51]	Sze 2007			0.1			0.2											
				0.4			0.1											
				0.2			0.3											
				0			0.7											
				0.5														
[52]	Bielaczyc 2008	2.6		2.7	2.6					2.3		1.4	0.7					
[53]	Bielaczyc 2009				2.6		2.8		2.9									

Πίνακας 3.7 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για όλα τα μίγματα και όλα τα οχήματα (6)

Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend								
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	35	40	50	65	100
[55]	McCormick 2006											2						
												2.4						
												2.7						
												2.8						
												2.9						
												3						
												2.8						
												2.9						
												2.6						
												1.4						
												1.4						
												1.9						
												1.7						
[56]	Frey 2005			17								19						
				-5.2								-6.4						
				0.1								-0.7						
				4.2								10						
[57]	Hearne 2003			-1														
				2														
				1														
				-6														
				-8														
[58]	Clark 1999			-0.7			-1.4		-0.4									
[59]	Karavalakis 2008	0.7		7.5		-0.7				0		6.3			-3.2			
		2.7		4.5		-0.9				1.9		2.9			-1.9			
[60]	Purcell 1995												4					13
[62]	Williams 2006											2.72						
												2.87						
[63]	Lofvenberg 2009	6.83								-0.78								
		0.38								1.28								
[54]	McCormick 2002			0.3					0.3			3.8						22.4
				0.5					0.3			2.3						13.5

Πίνακας 3.7 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για όλα τα μίγματα και όλα τα οχήματα (7)

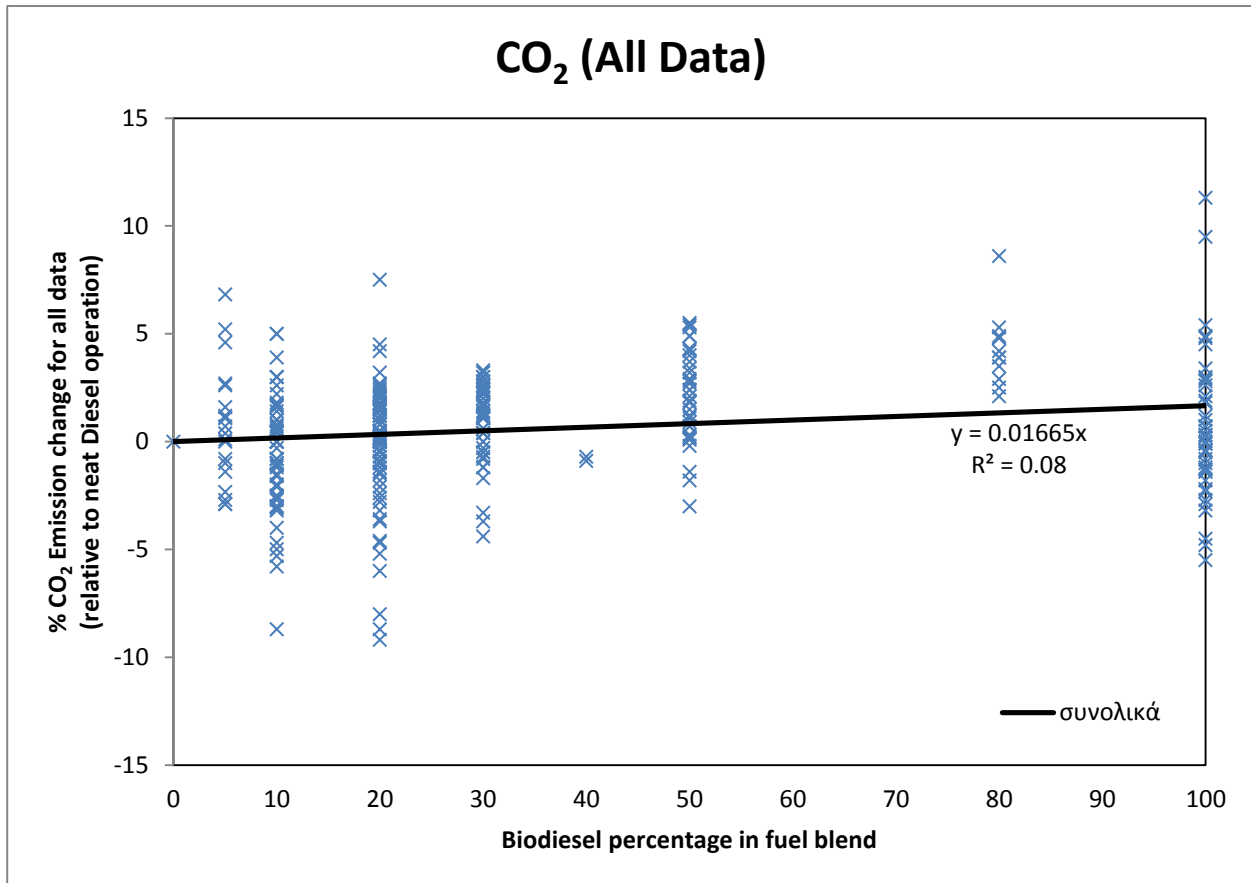
Ref. Number	Author/year	% CO ₂ change for each biodiesel blend								% Fuel Consumption change for each biodiesel blend								
		5	10	20	30	40	50	80	100	5	10	20	30	35	40	50	65	100
[9]	McCormick 2001			-0.2					1.9									
									0.2									
									4.9									
				-0.4					0.7									
				3.2					3									
				0.2					-1.2									
									-0.4									
									0.5									
									-1.8									
									2.6									
	ADDITIVES																	
[54]	McCormick 2005 EHN											3.2						
												3.2						
[50]	Starr 1997 DTBP			-1.8								-1.8						
[63]	Lofvenberg 2009 ethanol	-2.34									2.86							
		5.2									4.09							
[54]	McCormick 2002 10%Ar			-0.9								0.3						
	0.5DTBP			0								1.5						
	1DTBP			0.2								1.3						
	1.5DTBP			-0.5								2						
	Ar+1DTBP			-0.9								0.8						
	0.5EHN			-2.8								1.3						
	1EHN			-2.6								1.5						
	500Ferrocene											1.5						
	10%Ar			-1								0.5						
	1DTBP			0								1.8						
	Ar+1DTBP			-1.4								3.1						

3.3 Συγκεντρωτικά διαγράμματα – Αξιολόγηση – Συμπεράσματα

Από τους παραπάνω πίνακες αριθμητικών αποτελεσμάτων εξήχθησαν τα παρακάτω διαγράμματα για την πιο εύκολη κατανόησή τους. Τα διαγράμματα περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα κάθε δημοσίευσης σε μορφή σημείων. Από τα παραπάνω νούμερα δεν ελήφθησαν υπόψη κάποιες «εξόφθαλμα» ακραίες τιμές. Με το Data Analysis Tool του Microsoft Excel υπολογίστηκαν η ευθεία προσαρμογής και ο συντελεστής πολλαπλής συσχέτισης, τα οποία αναγράφονται στο κάθε διάγραμμα.

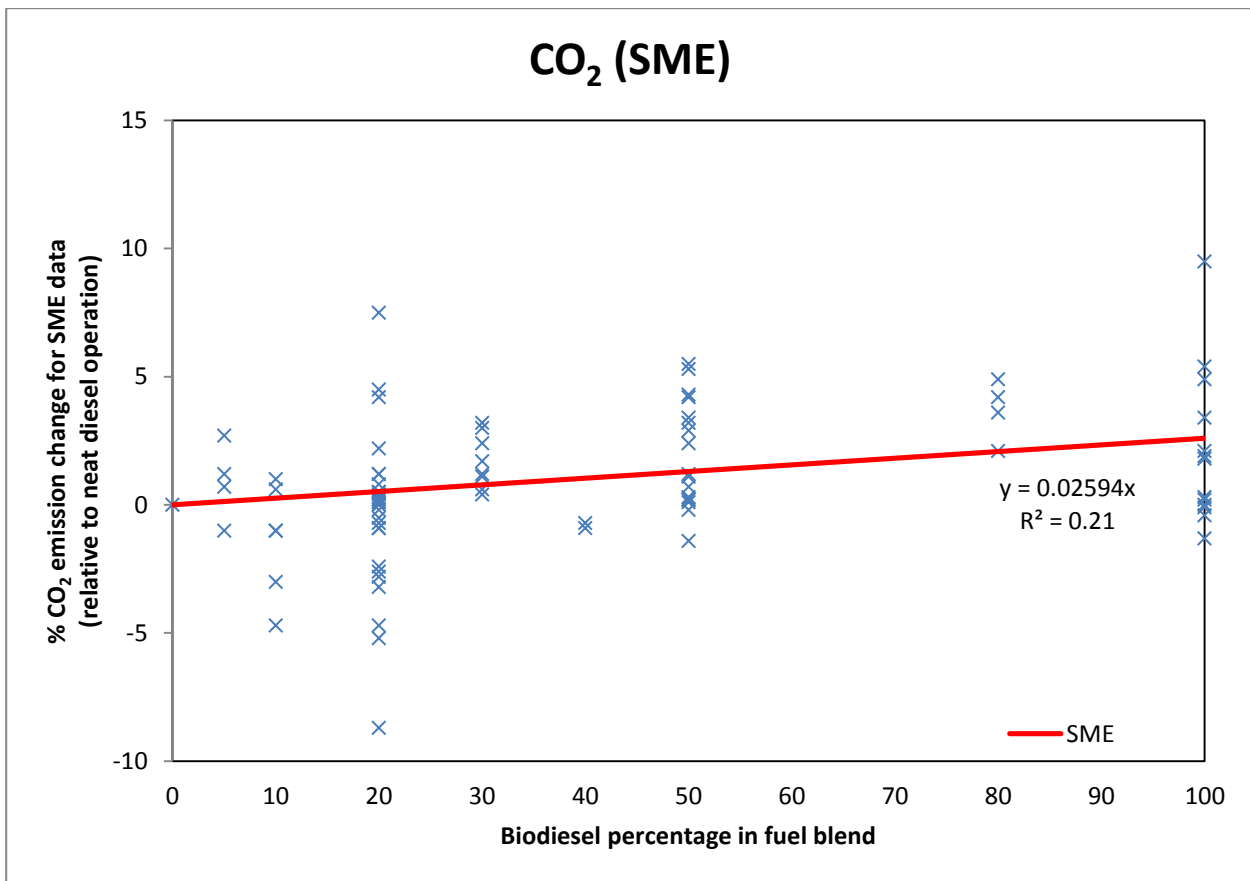
Τα διαγράμματα παρουσιάζονται παρακάτω πρώτα για το διοξείδιο του άνθρακα (Παράγραφος 3.3.1) και στη συνέχεια για την κατανάλωση καυσίμου (Παράγραφος 3.3.2):

3.3.1 Διαγράμματα για διοξείδιο του άνθρακα



Σχήμα 3.1 - Ποσοστιαία μεταβολή εκπεμπόμενου CO₂ σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο, για όλες τις πηγές βιοντίζελ και όλους τους κινητήρες

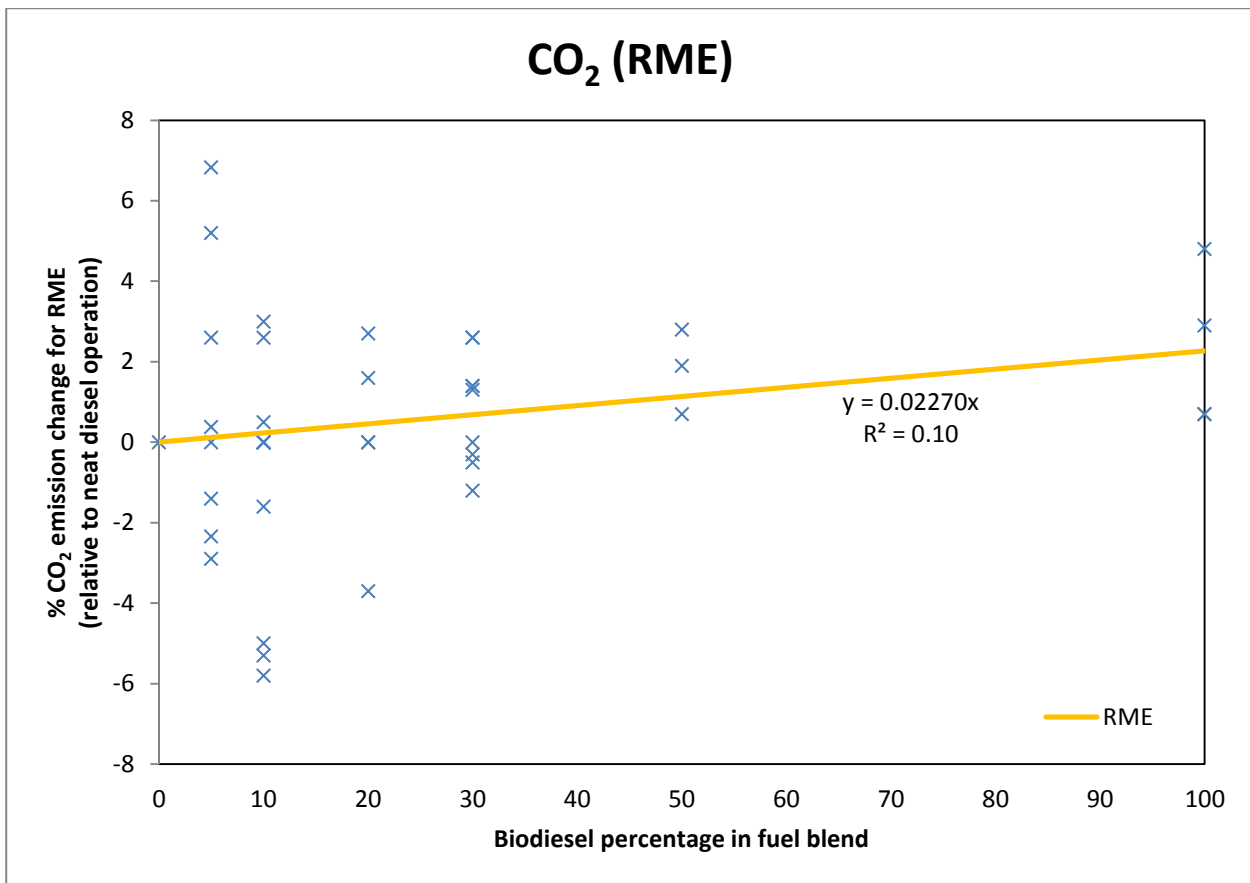
Το Σχήμα 3.1 παρουσιάζει την μεταβολή στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για όλα τα μίγματα βιοντίζελ και όλους τους κινητήρες που εξετάστηκαν πειραματικά στις μελετηθείσες εργασίες. Βλέπουμε πολλές μετρήσεις να δείχνουν μικρή αύξηση στις εκπομπές CO₂, αλλά επίσης έχουμε μεγάλη διασπορά τιμών, με αρκετά πειράματα να δείχνουν μείωση των εκπομπών κυρίως για μικρά ποσοστά ανάμιξης (B10 και B20). Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τιμές για ποσοστό ανάμιξης B100, που δείχνουν μείωση του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα. Η μεγάλη διασπορά των τιμών και τα αντικρουόμενα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων οδηγούν και σε χαμηλή συσχέτιση των αποτελεσμάτων ($R^2=0.08$).



Σχήμα 3.2 – ποσοστιαία μεταβολή εκπεμπόμενου CO₂, για μίγματα SME σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο

Στο Σχήμα 3.2, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων που αφορούσαν στην μεταβολή του CO₂ με χρήση βιοντίζελ από σογιέλαιο στο μίγμα καυσίμου. Τα σημεία στο διάγραμμα αντιπροσωπεύουν την ποσοστιαία αλλαγή κάθε πειραματικής μέτρησης για το εκπεμπόμενο CO₂ σε σύγκριση με τη λειτουργία με συμβατικό πετρέλαιο.

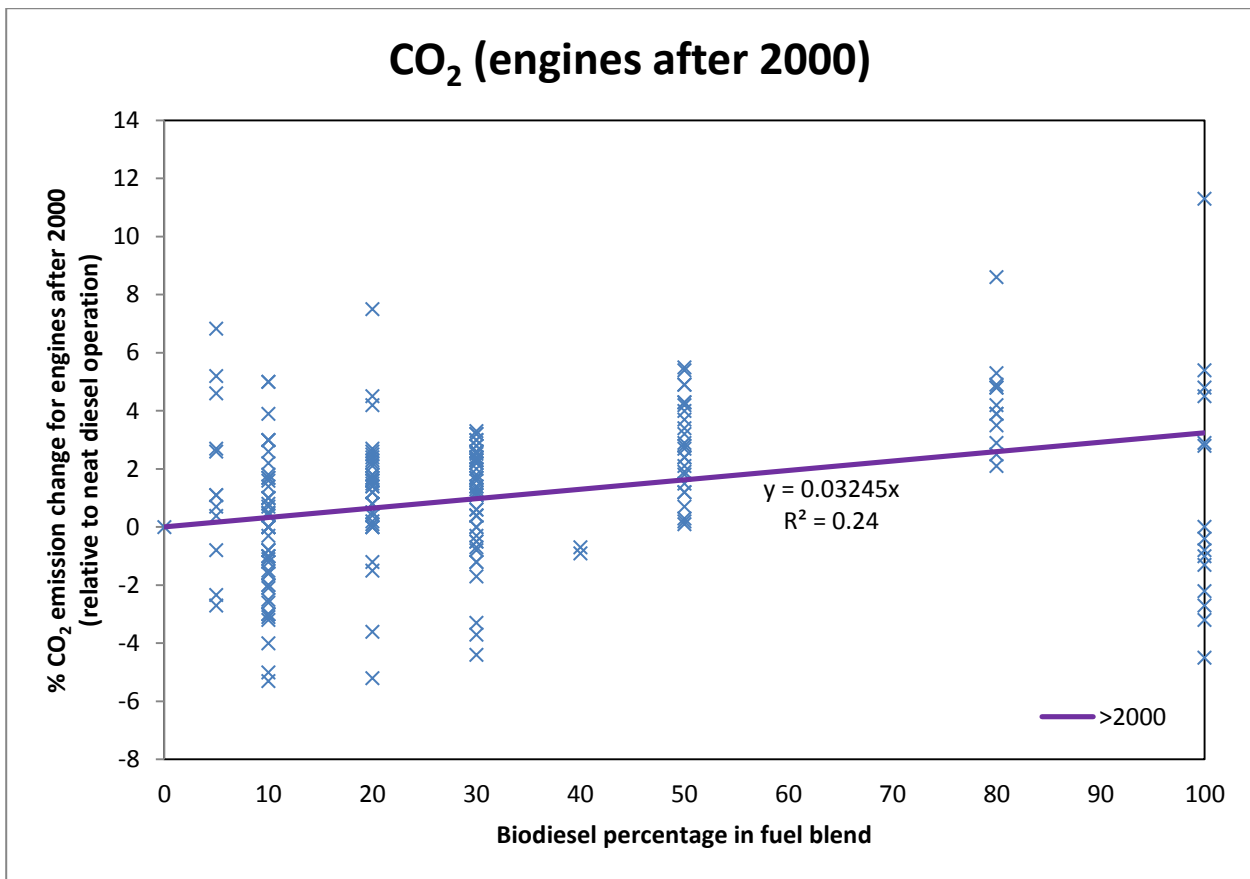
Έχει προστεθεί η ευθεία προσαρμογής στα σημεία όπου βλέπουμε μια μικρή αύξηση του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα όσο το ποσοστό του βιοντίζελ στο μίγμα καυσίμου αυξάνεται. Η ποσοστιαία μεταβολή δείχνει να έχει χαμηλή συσχέτιση με το ποσοστό ανάμιξης.



Σχήμα 3.3 – Ποσοστιαία μεταβολή εκπεμπόμενου CO₂, για μίγματα RME σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο

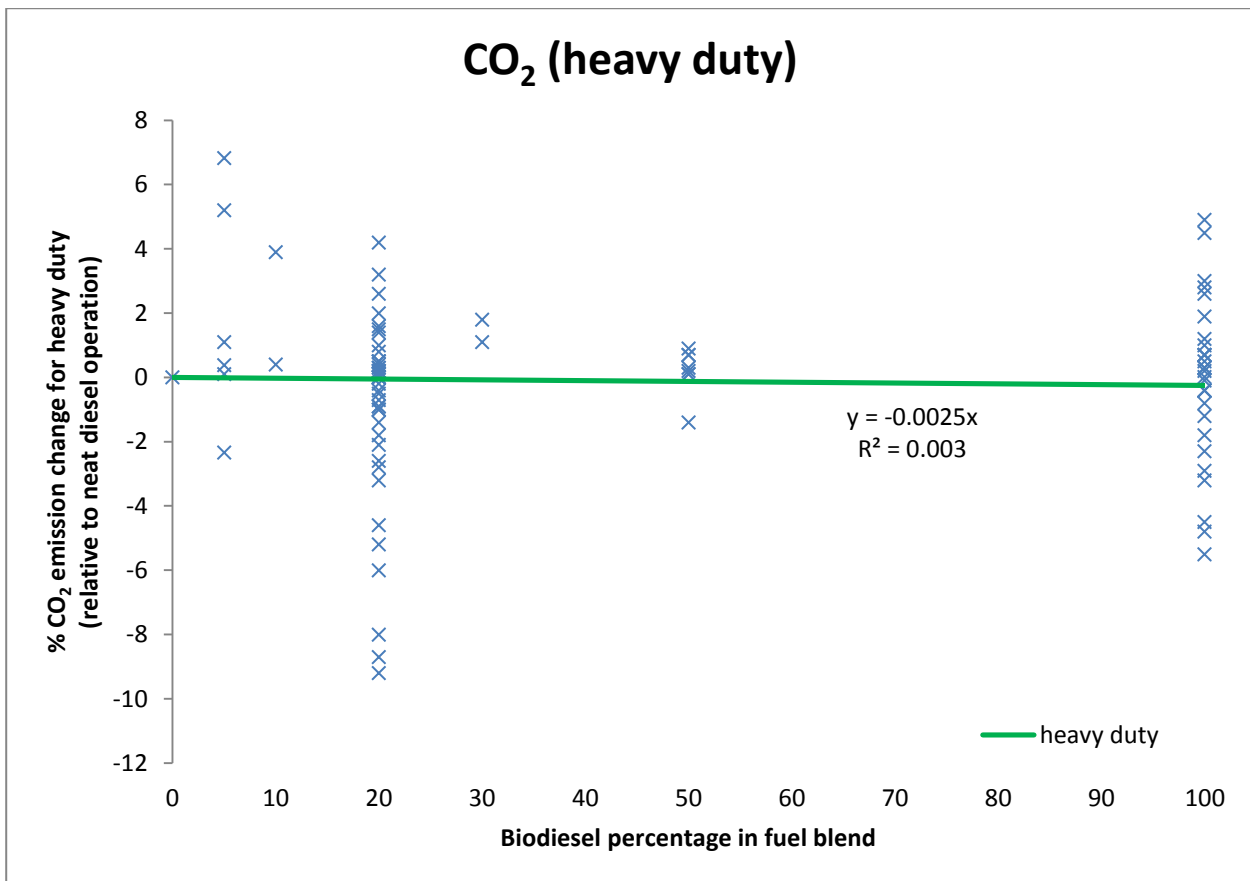
Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται η ποσοστιαία αλλαγή διοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με λειτουργία με συμβατικό πετρέλαιο, για βιοντίζελ προερχόμενο από ελαιοκράμβη.

Όπως και για τα μίγματα με βιοντίζελ από σόγια, παρατηρούμε μια μικρή αύξηση όσο μεγαλώνει το ποσοστό ανάμιξης του βιοντίζελ. Η συσχέτιση των αποτελεσμάτων είναι και εδώ χαμηλή.



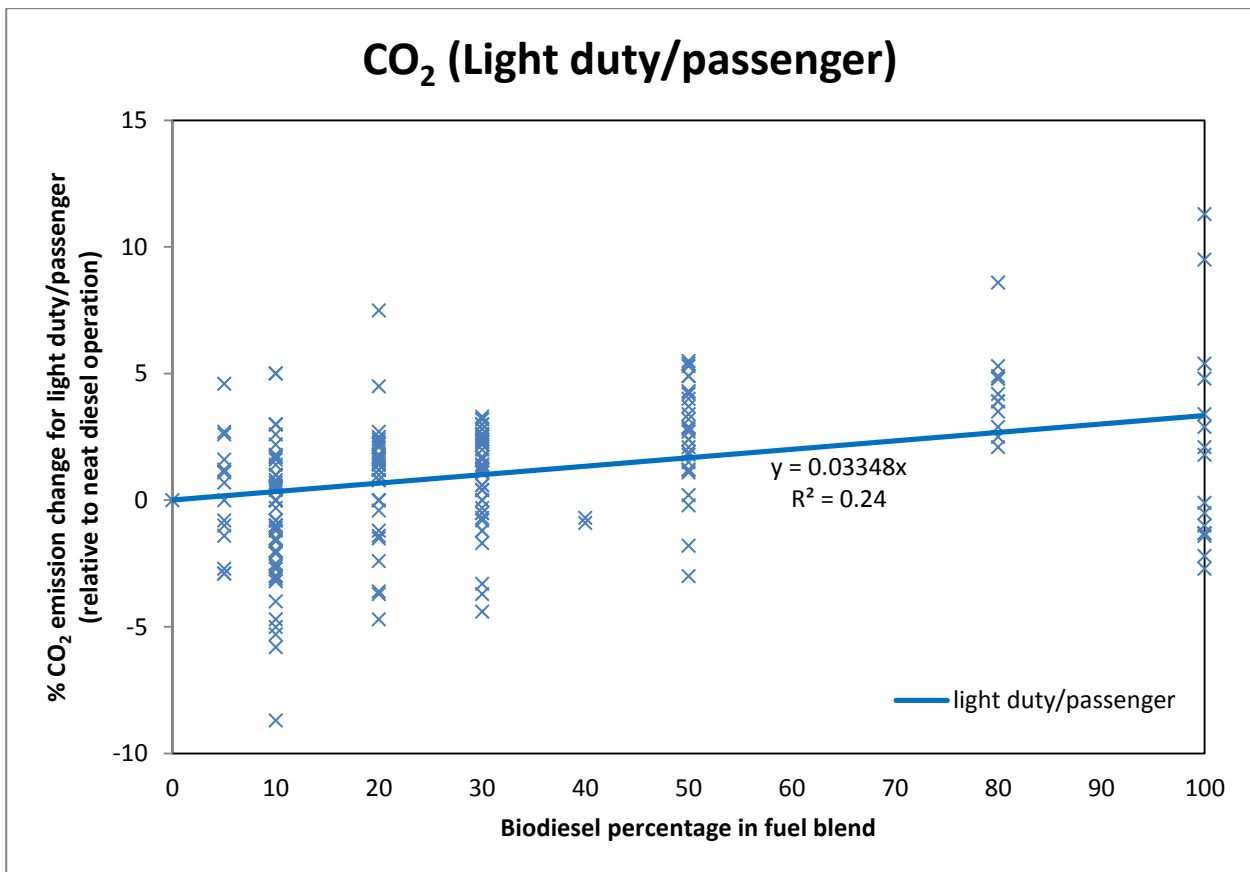
Σχήμα 3.4 - Ποσοστιαία μεταβολή εκπεμπόμενου CO₂ σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο, για κινητήρες του 2000 ή μεταγενέστερους

Το Σχήμα 3.4 παρουσιάζει την ποσοστιαία μεταβολή στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα όπως προκύπτει από πειράματα που διεξήχθησαν σε κινητήρες του 2000 ή πιο πρόσφατους και για κινητήρες που ικανοποιούν πρότυπα ρύπων Euro 3 (2000) και νεότερα. Βλέπουμε κι εδώ την αναμενόμενη μικρή αύξηση στις εκπομπές, με χαμηλή συσχέτιση των αποτελεσμάτων. Ενδιαφέρον προκαλεί το πλήθος μετρήσεων που δείχνουν μείωση του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα, για μικρά ποσοστά ανάμειξης (B10) αλλά και για μεγάλα (B100).



Σχήμα 3.5 - Ποσοστιαία μεταβολή εκπεμπόμενου CO₂ σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο, για κινητήρες βαρέων οχημάτων

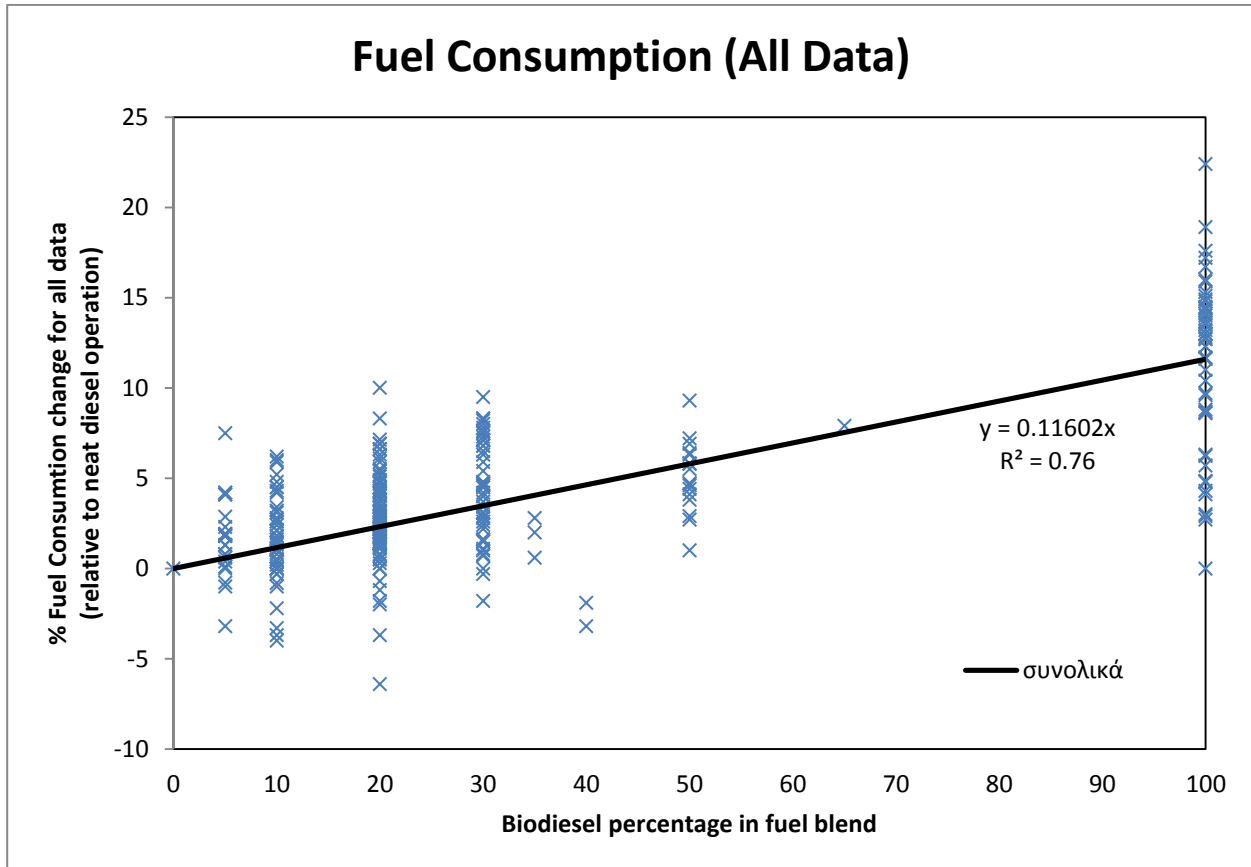
Το Σχήμα 3.5 παρουσιάζει τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων για τη μεταβολή του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα, με χρήση μιγμάτων βιοντίζελ σε βαρέα οχήματα. Παρατηρούμε μεγαλύτερο αριθμό σημείων να υποδεικνύει μικρή μεταβολή σε σχέση με το συμβατικό πετρέλαιο, αλλά επίσης υπάρχει μεγάλη διασπορά των σημείων, και αρκετές τιμές που υποδεικνύουν τόσο αύξηση του εκπεμπόμενου CO₂ όσο και μείωση. Αναμενόμενη λοιπόν η χαμηλή συσχέτιση των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 3.6 - Ποσοστιαία μεταβολή εκπεμπόμενου CO₂ σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο, για κινητήρες ελαφρών και επιβατηγών οχημάτων

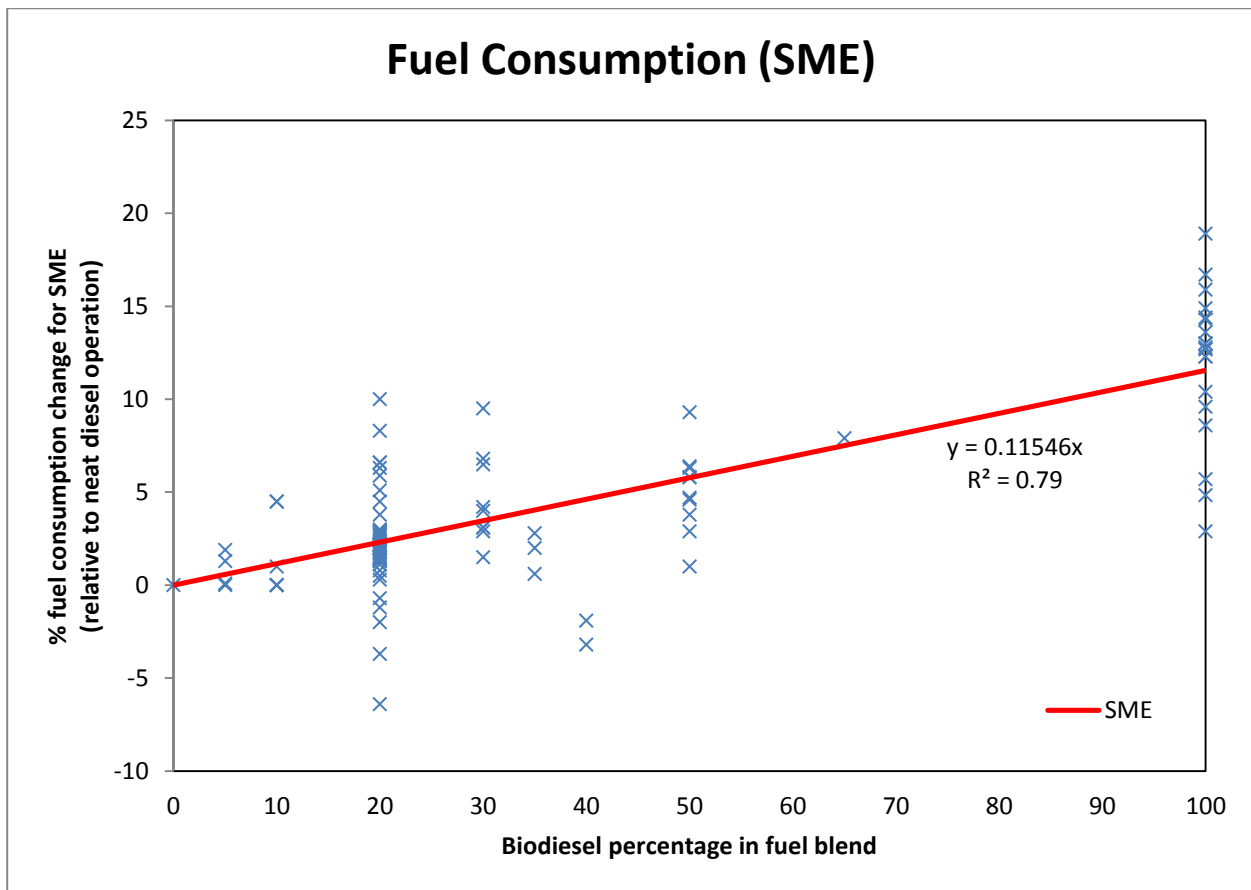
Στο Σχήμα 3.6 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα για μίγματα βιοντίζελ σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο. Η ευθεία προσαρμογής υποδεικνύει ένα σαφώς μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης του εκπεμπόμενου ρύπου καθώς το ποσοστό ανάμιξης μεγαλώνει, σε σχέση με τους κινητήρες βαρέων οχημάτων (heavy duty). Συγκριτικά με το Σχήμα 3.7, εδώ παρατηρούμε μεγαλύτερο ενδιαφέρον των ερευνητών για ποσοστά ανάμιξης μεγαλύτερα του B20. Αυτό βέβαια δεν ισχύει για ποσοστό ανάμιξης B100. Στο Σχήμα 3.9, παρατηρούμε επίσης πολλές μετρήσεις να δείχνουν μείωση του εκπεμπόμενου CO₂ κυρίως για χαμηλότερα ποσοστά ανάμιξης.

3.3.2 Διαγράμματα κατανάλωσης καυσίμου



Σχήμα 3.7 - Ποσοστιαία μεταβολή κατανάλωσης καυσίμου μίγματος βιοντίζελ σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο, για όλες τις πηγές βιοντίζελ και όλους τους κινητήρες

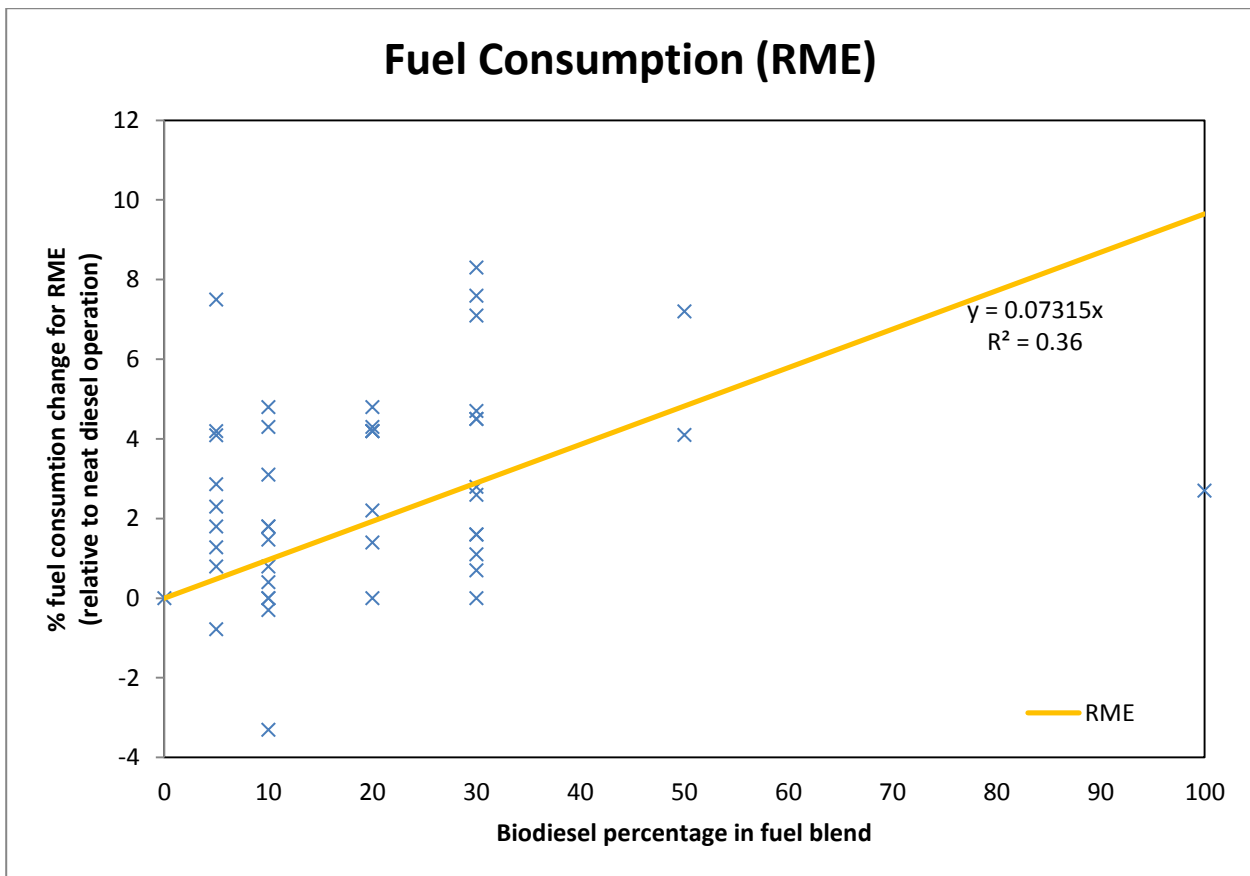
Το Σχήμα 3.7 παρουσιάζει την ποσοστιαία μεταβολή της κατανάλωσης καυσίμου μίγματος βιοντίζελ σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο, για όλους τους κινητήρες και όλα τα μίγματα βιοντίζελ. Είναι εμφανής η αύξηση στην κατανάλωση, καθώς μεγάλη πλειοψηφία των τιμών μεταβολής είναι θετικές (βλ. Σχήμα 3.16 παρακάτω). Ωστόσο υπάρχουν πολλά πειράματα που έδειξαν πολύ μικρή μεταβολή της κατανάλωσης καυσίμου, κυρίως για μικρά ποσοστά ανάμιξης (έως B30). Η συσχέτιση των αποτελεσμάτων (R^2) είναι αρκετά υψηλή και μας δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα για την επίδραση του ποσοστού ανάμιξης βιοντίζελ στην κατανάλωση καυσίμου.



Σχήμα 3.8 – Ποσοστιαία μεταβολή κατανάλωσης καυσίμου μίγματος SME σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο

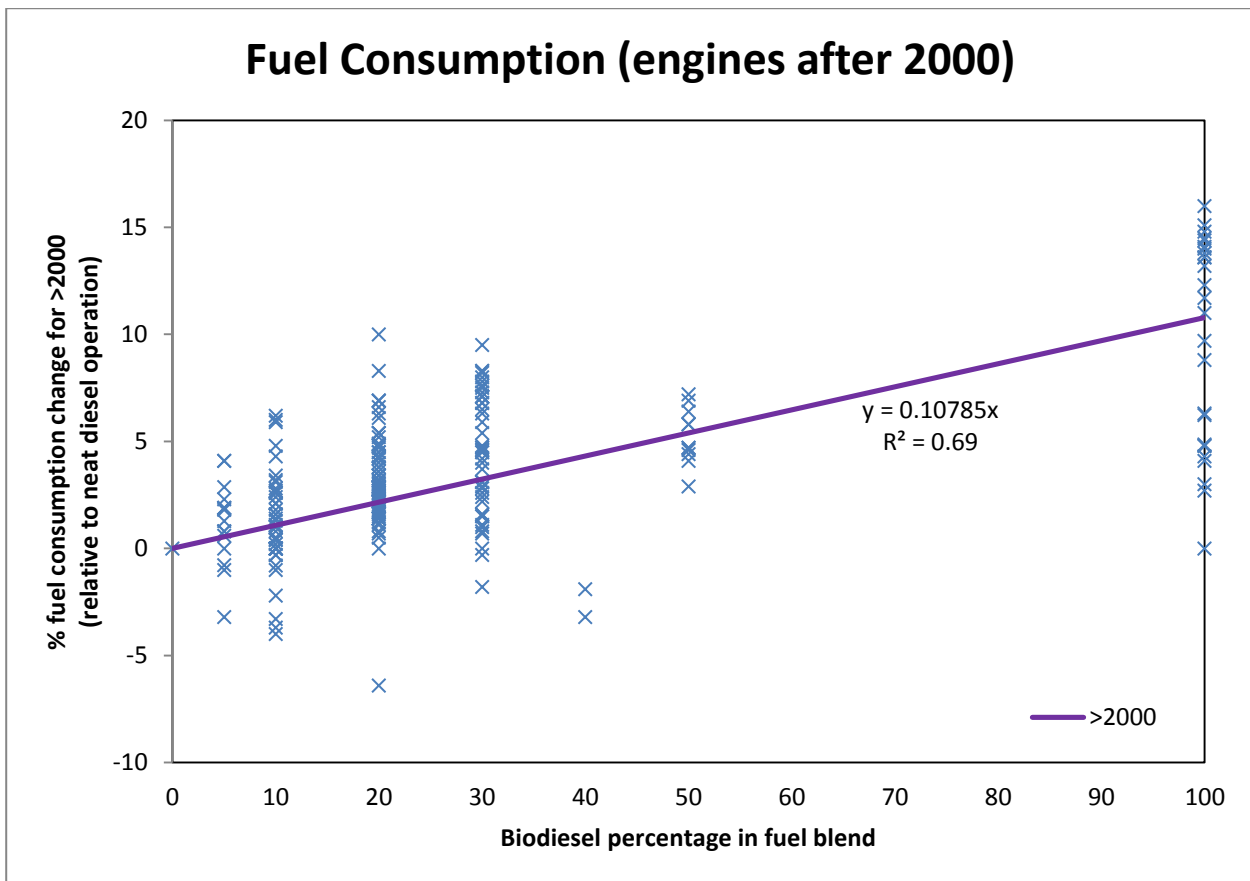
Στο Σχήμα 3.8 φαίνεται η ποσοστιαία αλλαγή της κατανάλωσης καυσίμου μίγματος βιοντίζελ από σόγια και συμβατικού πετρελαίου, σε συνάρτηση με το ποσοστό ανάμιξης του βιοντίζελ στο μίγμα.

Η κατανάλωση φαίνεται να αυξάνει αρκετά καθώς το ποσοστό ανάμιξης του βιοντίζελ στο μίγμα μεγαλώνει, κάτι που εν μέρει είναι αναμενόμενο λόγω και του χαμηλότερου ενεργειακού περιεχομένου του βιοντίζελ σε σύγκριση με το συμβατικό πετρέλαιο (βλ. Πίνακα 1.6). Η ποσοστιαία μεταβολή δείχνει να έχει αρκετά υψηλή συσχέτιση με το ποσοστό ανάμιξης.



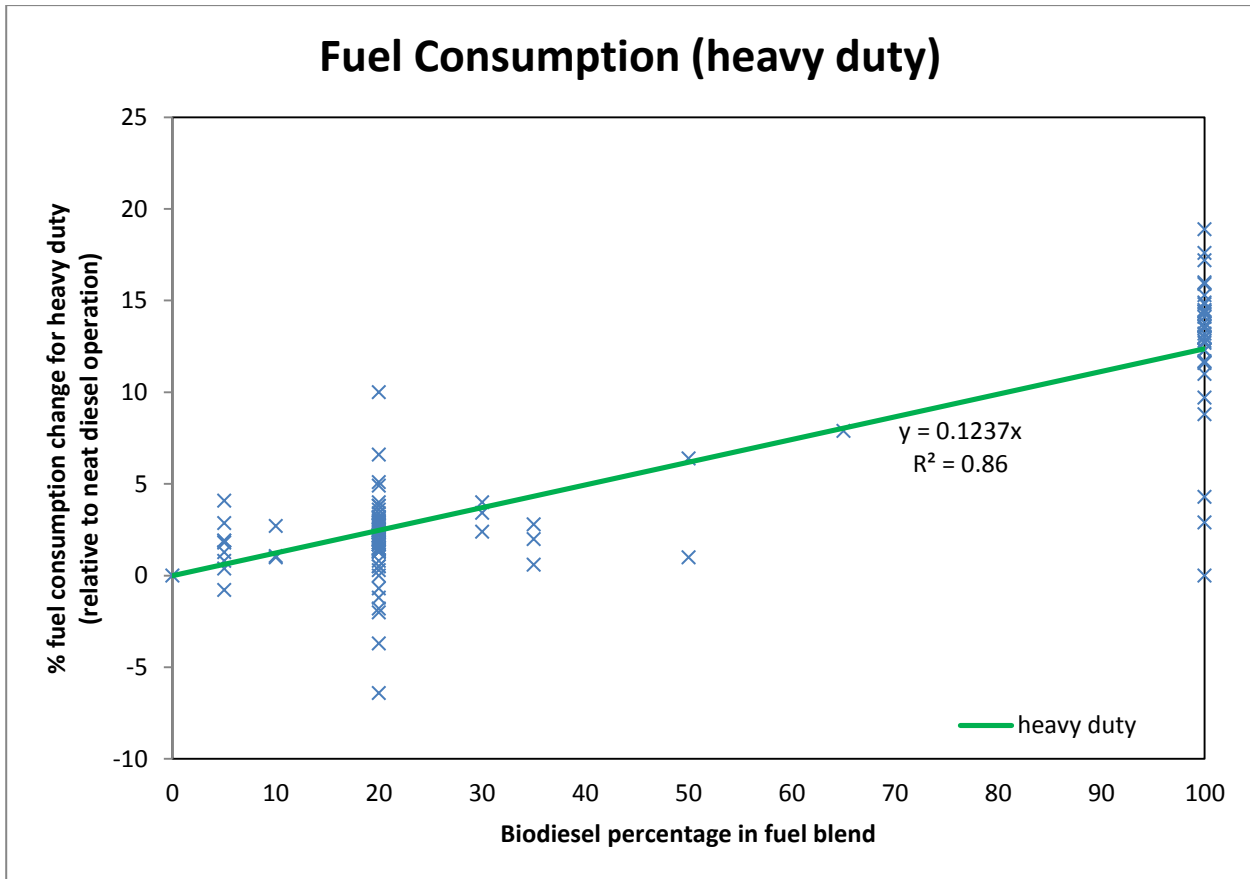
Σχήμα 3.9 – Ποσοστιαία μεταβολή κατανάλωσης καυσίμου μίγματος RME σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο

Στο Σχήμα 3.9 παρουσιάζεται η μεταβολή της κατανάλωσης καυσίμου των μιγμάτων RME σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο. Παρατηρούμε αρκετά σημαντική αύξηση, αλλά μεγάλη διασπορά των πειραματικών αποτελεσμάτων. Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν με χρήση μιγμάτων βιοντίζελ ελαιοκράμβης (RME) ήταν περιορισμένα σε αριθμό (βλ. Πίνακα 3.8) και έτσι δε μπορούμε να έχουμε μια απολύτως συμπαγή εικόνα για την επίδραση του RME στην κατανάλωση καυσίμου, πέρα από την αναμενόμενη αύξηση.



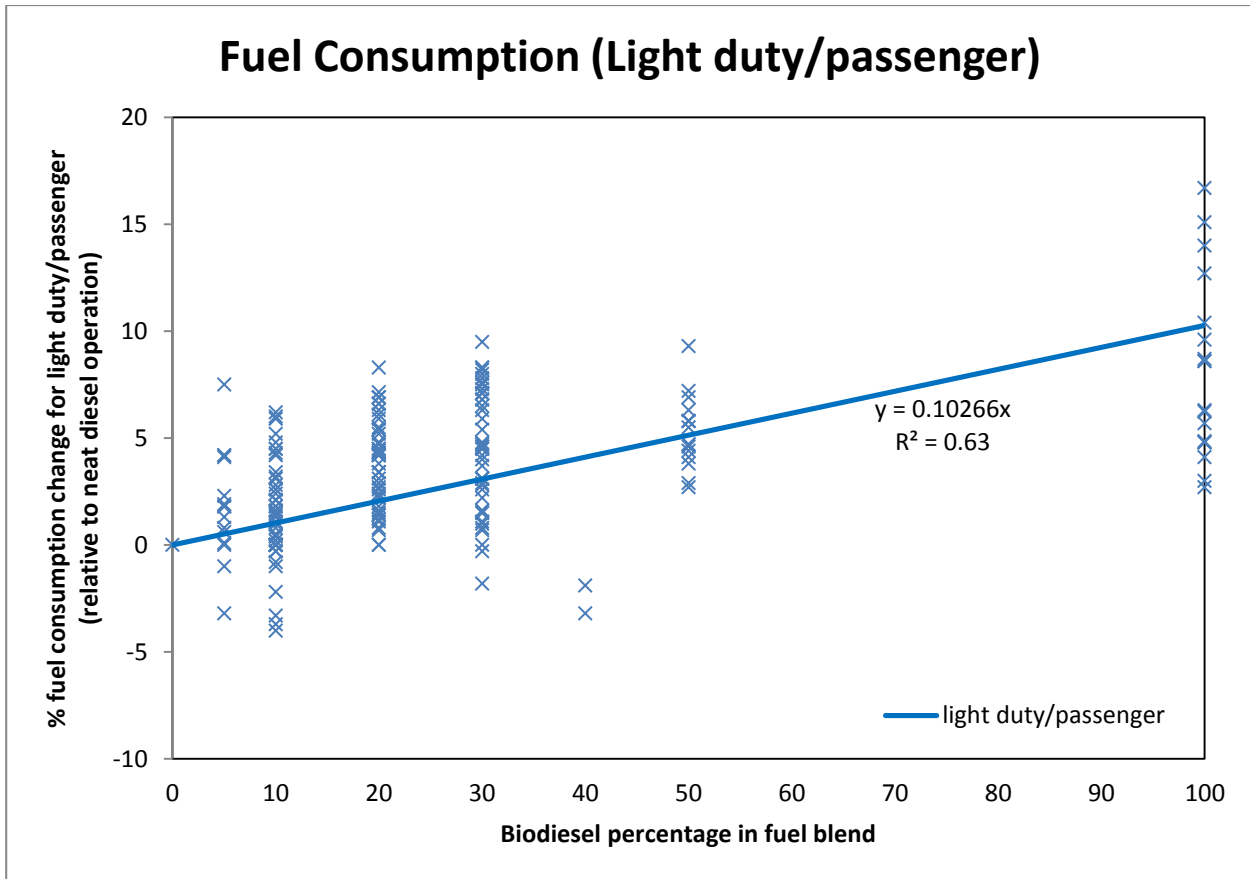
Σχήμα 3.10 – Ποσοστιαία μεταβολή κατανάλωσης καυσίμου μίγματος βιοντίζελ σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο, για κινητήρες του 2000 ή μεταγενέστερους

Το Σχήμα 3.10 δείχνει την ποσοστιαία μεταβολή της κατανάλωσης καυσίμου, για κινητήρες μεταγενέστερους του 2000 (Euro 3 και νεώτεροι για Ευρώπη). Κι εδώ βλέπουμε την αναμενόμενη αύξηση στην κατανάλωση, με τις πειραματικές τιμές όμως να χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη συσχέτιση, σε σχέση με τις τιμές που αφορούσαν μόνο σε χρήση μιγμάτων SME. Αρκετές τιμές εδώ, υποδεικνύουν μείωση της κατανάλωσης, κυρίως για μίγματα έως B10 και B100.



Σχήμα 3.11 - Ποσοστιαία μεταβολή κατανάλωσης καυσίμου μίγματος βιοντίζελ σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο, για κινητήρες βαρέων οχημάτων

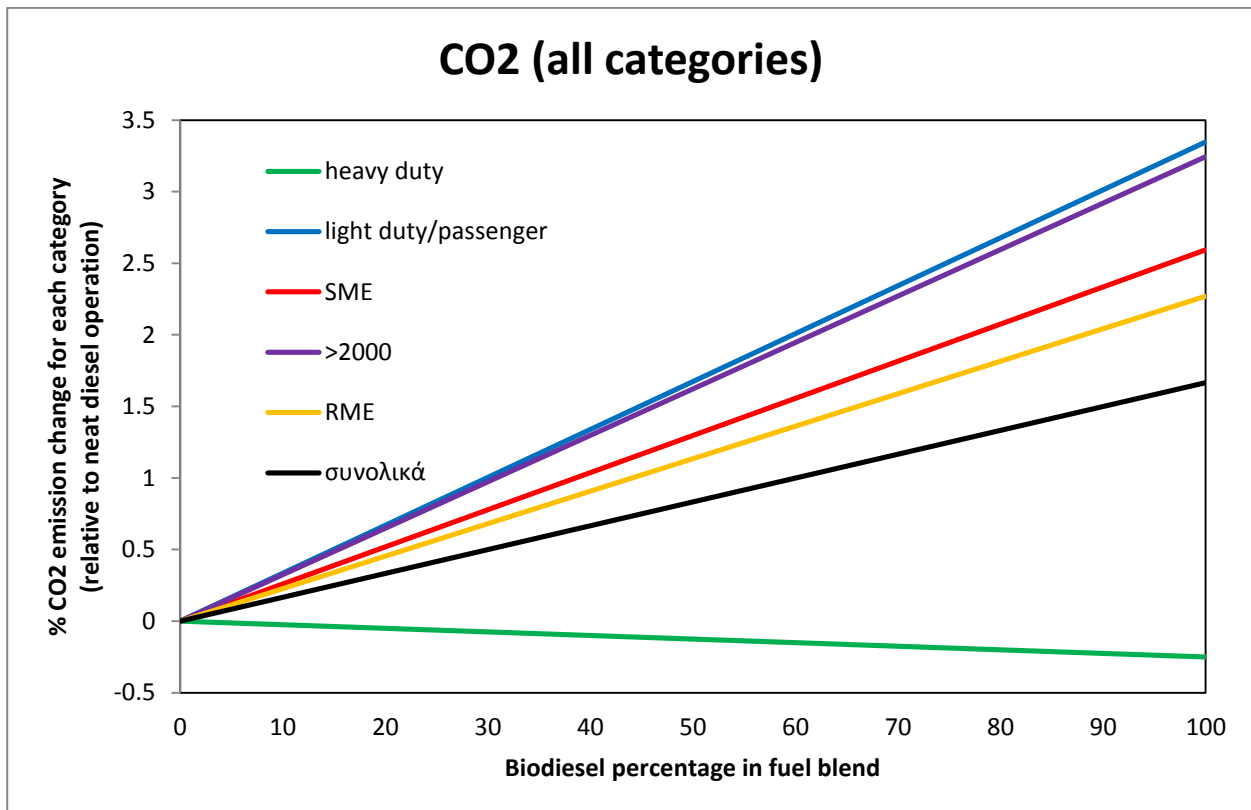
Στο Σχήμα 3.11 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της κατανάλωσης καυσίμου μίγματος βιοντίζελ σε σχέση με συμβατικό πετρέλαιο, για κινητήρες βαρέων οχημάτων (heavy duty). Η αύξηση εδώ ξεπερνάει το 10% για μίγματα B100. Η εικόνα που παίρνουμε είναι αρκετά ξεκάθαρη, με τις περισσότερες τιμές να υποδεικνύουν αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου. Τα αποτελέσματα λοιπόν χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό συσχέτισης.



Σχήμα 3.12 - Ποσοστιαία μεταβολή κατανάλωσης καυσίμου μίγματος βιοντίζελ σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο, για κινητήρες ελαφρών και επιβατηγών οχημάτων

Το Σχήμα 3.12 παρουσιάζει την ποσοστιαία μεταβολή της κατανάλωσης καυσίμου μίγματος βιοντίζελ σε σύγκριση με συμβατικό πετρέλαιο, για κινητήρες ελαφρών (light duty) και επιβατηγών (passenger) οχημάτων. Η αύξηση που υποδεικνύει η ευθεία προσαρμογής είναι αντίστοιχη με την αύξηση του Σχήματος 3.8 για βαρέα οχήματα, όμως εδώ έχουμε χαμηλότερη συσχέτιση αποτελεσμάτων, καθώς υπάρχουν και πολλά αποτελέσματα που αναφέρουν μικρή αύξηση ή ακόμα σε κάποιες περιπτώσεις και μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

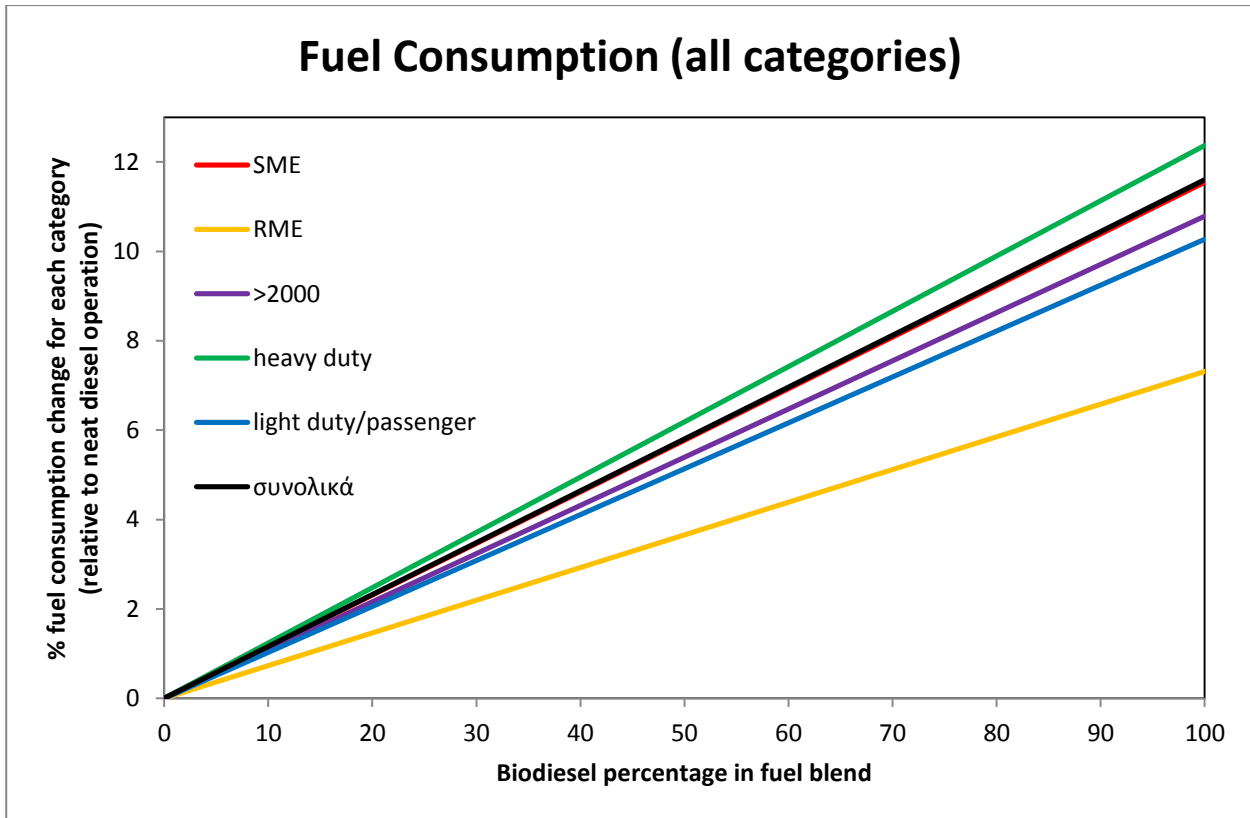
3.3.3 Συγκριτικά διαγράμματα



Σχήμα 3.13 – Συγκριτική παράθεση των ευθειών προσαρμογής των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για κάθε κατηγορία

Στο Σχήμα 3.13 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι ευθείες γραμμικής προσαρμογής για το εκπεμπόμενο **διοξείδιο του άνθρακα** και για κάθε κατηγορία. Παρατηρούμε μια γενική τάση για αύξηση των εκπομπών, αν εξαιρέσουμε τους κινητήρες βαρέων οχημάτων που δείχνουν μια μικρή μείωση. Σ' αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι μεγάλο ποσοστό των πειραμάτων με κινητήρες heavy duty έχει πραγματοποιηθεί σε παλιότερες δημοσιεύσεις (δεκαετία του 1990), με πολλές παραμέτρους εκείνων των πειραμάτων να έχουν, στο μεταξύ, αλλάξει [91].

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα δείχνουν μια ανοδική τάση, σχετικά μικρή όμως, ακόμα και για μίγματα B100.



Σχήμα 3.14 – Συγκριτική παράθεση των ευθειών προσαρμογής της κατανάλωσης καυσίμου για κάθε κατηγορία

Το Σχήμα 3.14, αντίστοιχα με το Σχήμα 3.13, παραθέτει συγκριτικά τις ευθείες γραμμικής παρεμβολής για την **κατανάλωση καυσίμου** κάθε κατηγορίας. Παρατηρούμε μια ποσοστιαία αύξηση κατανάλωσης που κυμαίνεται από περίπου 7% έως 12% για μίγματα B100. Τα μίγματα με RME δείχνουν να κρατάνε χαμηλότερα την κατανάλωση, όμως τα αριθμητικά αποτελέσματα αυτής της κατηγορίας δεν επαρκούν για να βγάλουμε κάποιο απόλυτο συμπέρασμα. Αν εξαιρέσει κανείς τα μίγματα RME, οι υπόλοιπες κατηγορίες εμφανίζουν πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ τους στην ποσοστιαία μεταβολή της κατανάλωσης καυσίμου.

3.3.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

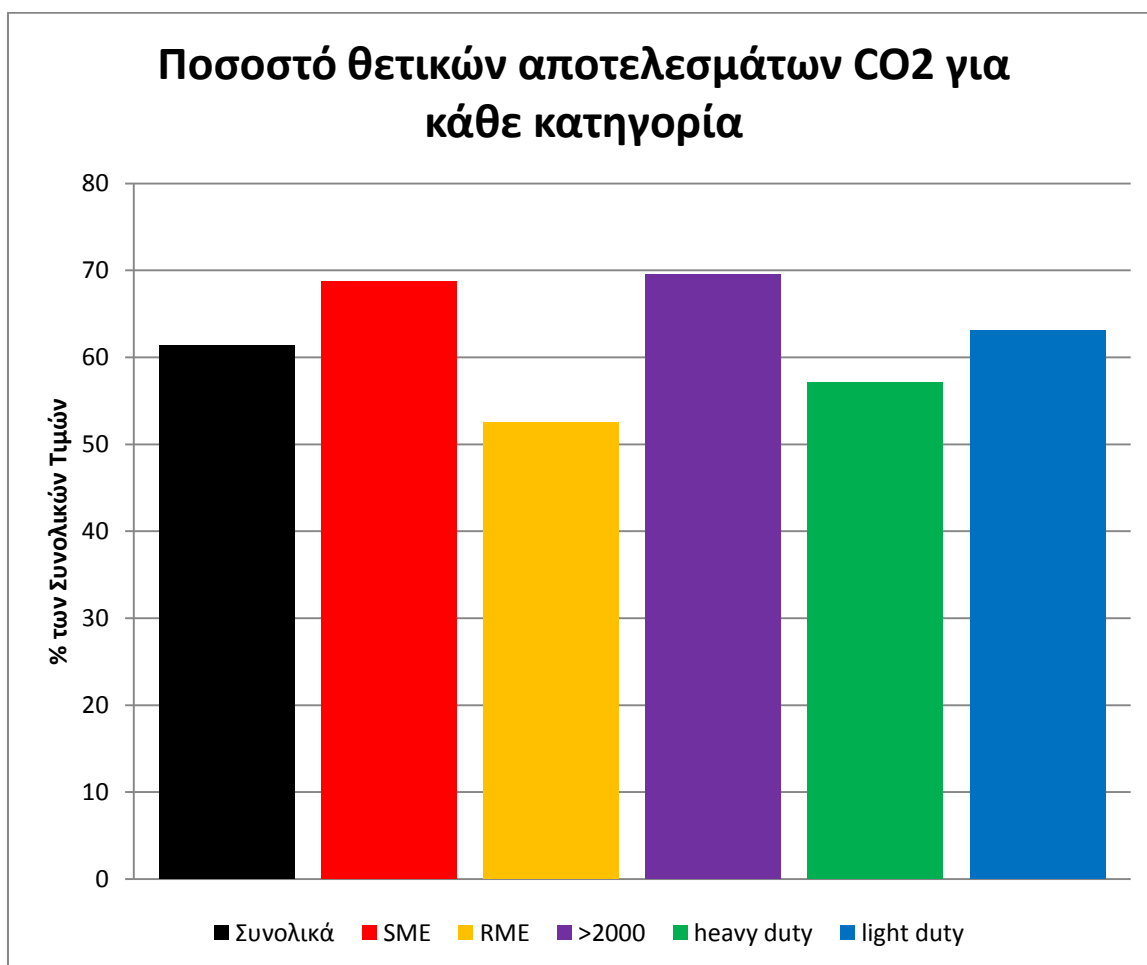
	CO ₂	Κατανάλωση Καυσίμου
SME	$y=0.02594x$	$y=0.1155x$
	$R^2=0.21$	$R^2=0.79$
	Σχετικό σφάλμα: 2.60	Σχετικό σφάλμα: 2.95
	Πλήθος αποτελεσμάτων: 83	Πλήθος αποτελεσμάτων: 107
RME	$y=0.0277x$	$y=0.07315x$
	$R^2=0.10$	$R^2=0.36$
	Σχετικό σφάλμα: 2.58	Σχετικό σφάλμα: 2.98
	Πλήθος αποτελεσμάτων: 40	Πλήθος αποτελεσμάτων: 46
>2000	$y=0.0324x$	$y=0.1079x$
	$R^2=0.24$	$R^2=0.69$
	Σχετικό σφάλμα: 2.45	Σχετικό σφάλμα: 2.90
	Πλήθος αποτελεσμάτων: 207	Πλήθος αποτελεσμάτων: 228
Heavy Duty	$y=-0.0025x$	$y=0.1237x$
	$R^2=0.003$	$R^2=0.86$
	Σχετικό σφάλμα: 2.74	Σχετικό σφάλμα: 2.82
	Πλήθος αποτελεσμάτων: 91	Πλήθος αποτελεσμάτων: 112
Light Duty/Passenger	$y=0.0335x$	$y=0.1027x$
	$R^2=0.24$	$R^2=0.63$
	Σχετικό σφάλμα: 2.51	Σχετικό σφάλμα: 2.96
	Πλήθος αποτελεσμάτων: 214	Πλήθος αποτελεσμάτων: 202
Συνολικά	$y=0.0167x$	$y=0.116x$
	$R^2=0.08$	$R^2=0.76$
	Σχετικό σφάλμα: 2.72	Σχετικό σφάλμα: 3.00
	Πλήθος αποτελεσμάτων: 305	Πλήθος αποτελεσμάτων: 315

Πίνακας 3.8 – Ευθείες προσαρμογής και R^2 όλων των κατηγοριών, για εκπομπές CO₂ και κατανάλωση καυσίμου

Ο Πίνακας 3.8 συνοψίζει τις ευθείες προσαρμογής, το R^2 , το σχετικό σφάλμα και το πλήθος των εξετασθέντων μετρήσεων για κάθε κατηγορία απο αυτές που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Με μια ματιά, μπορούμε να διαπιστώσουμε την μεγαλύτερη κλίση που τείνουν να έχουν οι ευθείες προσαρμογής της κατανάλωσης καυσίμου, σε σχέση με τις μικρές κλίσεις των ευθειών προσαρμογής του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα κάθε κατηγορίας. Το R^2 είναι σημαντικά υψηλότερο όσον αφορά στην

κατανάλωση καυσίμου, ενώ αντιθέτως τα αποτελέσματα για το εκπεμπόμενο CO₂ δείχνουν να χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή συσχέτιση γενικά, άρα δε φαίνεται να υπάρχει στατιστική εξάρτηση με το ποσοστό ή το είδος του βιοντίζελ ή του κινητήρα.

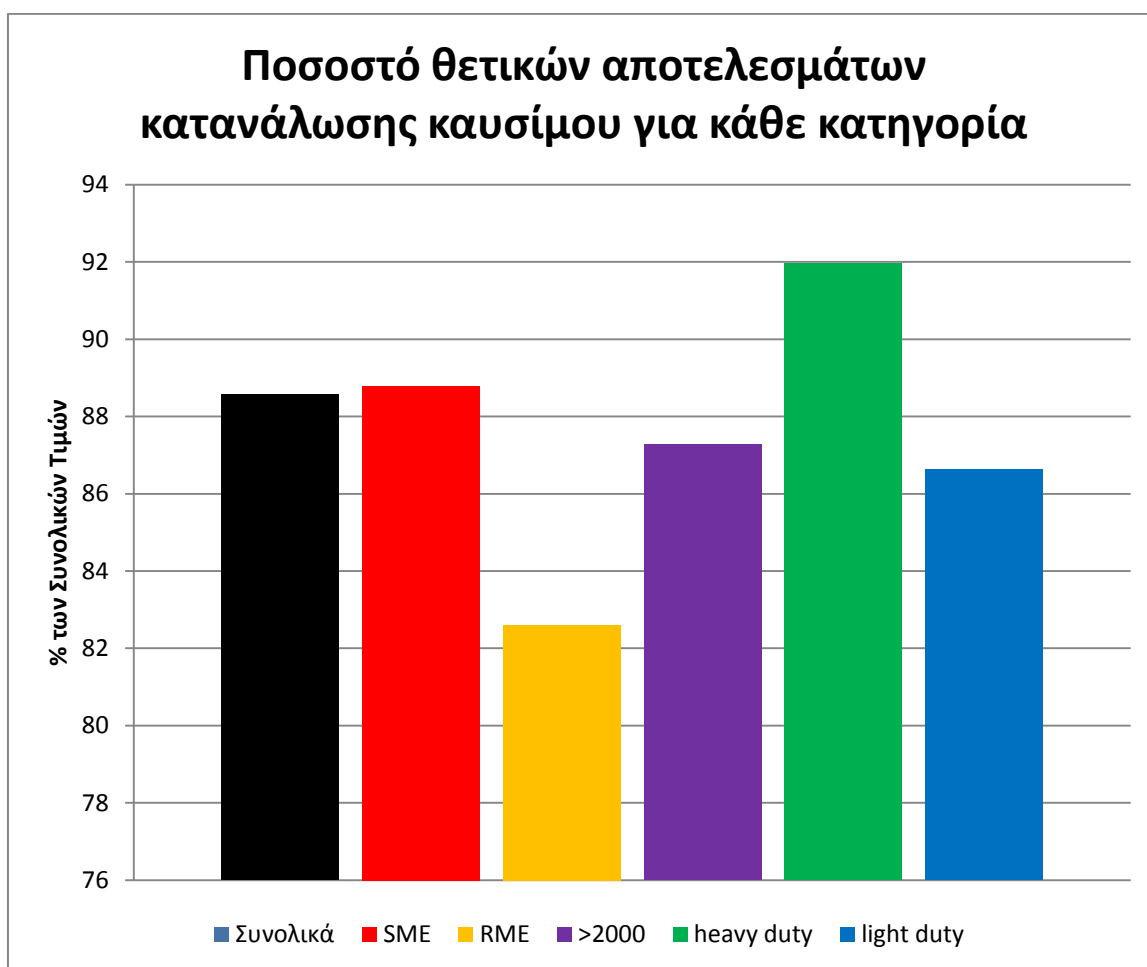
Ειδικότερα, φαίνεται ότι τα αποτελέσματα για βιοντίζελ σογιέλαιου καθώς και αυτά που αναφέρονται σε κινητήρες βαρέος τύπου (συνήθως με χρήση βιοντίζελ σογιέλαιου, όπως προκύπτει από τις μελετηθείσες εργασίες), παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη στατιστική συσχέτιση. Μέχρι ένα σημείο, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι συγκεκριμένες μετρήσεις αφορούν κυρίως σχετικά μικρό εύρος κινητήρων στις ΗΠΑ. Αντιθέτως, οι μετρήσεις κατανάλωσης σε κινητήρες επιβατηγών εμφανίζουν αρκετά μικρότερη στατιστική συσχέτιση ($R^2 = 0.63$) λόγω του πλήθους των κινητήρων αλλά και της ποικιλίας των χρησιμοποιηθέντων τύπων βιοντίζελ.



Σχήμα 3.15 – Ποσοστό συνολικών θετικών αποτελεσμάτων εκπομπών CO₂ για κάθε κατηγορία

Στο Σχήμα 3.15 παρουσιάζονται για το διοξείδιο του άνθρακα, τα ποσοστά θετικών αποτελεσμάτων (δηλαδή αύξησης του CO₂ σε σχέση με τη λειτουργία με καθαρό

πετρέλαιο) για κάθε εξεταζόμενη κατηγορία. Είναι φανερό ότι το πλήθος των τιμών που υποδηλώνουν αύξηση του εκπεμπόμενου CO₂ καλύπτουν ανά κατηγορία ποσοστά από 52% έως 70%, το οποίο δικαιολογεί εν μέρει (μαζί με την μεγάλη διασπορά των αποτελεσμάτων) και τον χαμηλό βαθμό συσχέτισης που παρατηρήσαμε προηγουμένως, όσον αφορά στις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα.



Σχήμα 3.16 – Ποσοστό συνολικών θετικών αποτελεσμάτων κατανάλωσης καυσίμου για κάθε κατηγορία

Παρομοίως, στο Σχήμα 3.16 βλέπουμε για την κατανάλωση καυσίμου, τα ποσοστά των θετικών αποτελεσμάτων ως προς τον αριθμό των συνολικών μετρήσεων κάθε κατηγορίας. Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι συντριπτικά μεγαλύτερο πλήθος αποτελεσμάτων (83% έως 92%) υποδηλώνει αύξηση της κατανάλωσης, καθώς και στον Πίνακα 3.8 φαίνεται σχετικά αυξημένη συσχέτιση αποτελεσμάτων και υψηλότερες κλίσεις των ευθειών προσαρμογής, όσον αφορά στην κατανάλωση καυσίμου.

Τέλος, στον Πίνακα 3.9 παρουσιάζονται συνοπτικά βασικά στατιστικά στοιχεία για την εκπομπή CO₂ και την κατανάλωση καυσίμου για τα πιο συνηθισμένα ποσοστά ανάμιξης βιοντίζελ με συμβατικό πετρέλαιο (B5, B10, B20, B30, B50 και B100). Εκτός από το B100, τα στοιχεία για το διοξείδιο του άνθρακα εμφανίζουν μεγαλύτερη τυπική απόκλιση σε σχέση με αυτά για την κατανάλωση καυσίμου. Παρατηρούμε επίσης την μέση τιμή των αποτελεσμάτων για την κατανάλωση καυσίμου να αυξάνει καθώς μεγαλώνει το ποσοστό ανάμιξης, κάτι που δε συμβαίνει με τις μέσες τιμές για το CO₂.

		CO ₂	Fuel Consumption
B5	Μέση τιμή	0.7035	1.69
	σ^2	2.64	2.11
	Ελάχιστο-Μέγιστο	-2.9 έως 6.83	-3.2 έως 7.5
	Πλήθος αποτελεσμάτων	20	24
B10	Μέση τιμή	-0.56	1.43
	σ^2	2.62	2.26
	Ελάχιστο-Μέγιστο	-8.7 έως 5	-4 έως 6.2
	Πλήθος αποτελεσμάτων	58	54
B20	Μέση τιμή	-0.11	2.84
	σ^2	2.74	2.36
	Ελάχιστο-Μέγιστο	-9.2 έως 7.5	-6.4 έως 10
	Πλήθος αποτελεσμάτων	80	109
B30	Μέση τιμή	1.07	4.44
	σ^2	1.75	2.68
	Ελάχιστο-Μέγιστο	-4.4 έως 3.3	-1.8 έως 9.5
	Πλήθος αποτελεσμάτων	52	52
B50	Μέση τιμή	2.05	5.11
	σ^2	2.10	1.84
	Ελάχιστο-Μέγιστο	-3 έως 5.5	1 έως 9.3
	Πλήθος αποτελεσμάτων	36	18
B100	Μέση τιμή	0.62	11.32
	σ^2	3.26	4.73
	Ελάχιστο-Μέγιστο	-5.5 έως 11.3	0 έως 22.4
	Πλήθος αποτελεσμάτων	45	52

Πίνακας 3.9 – Βασικά στατιστικά στοιχεία για την εκπομπή CO₂ και την κατανάλωση καυσίμου για τα πιο συνηθισμένα ποσοστά ανάμιξης βιοντίζελ

Βιβλιογραφία

- 1) Peterson C., Reece D (1991), Emissions Tests with an On-Road Vehicle Fueled with Methyl and Ethyl Esters of Rapeseed Oil, University of Idaho.
- 2) Schumacher L. (1995), Biodiesel Emissions Data From Series 60 DDC Engines, American Public Transit Association Bus Operations And Technology Conference Reno, Nevada.
- 3) Schumacher L. (1996), Heavy-duty engine exhaust emission tests using methyl ester soybean oil/diesel fuel blends, *Bioresource Technology* 57:31-36.
- 4) McCormick R. (1997), Effect of Several Oxygenates on Regulated Emissions from Heavy-Duty Diesel Engines, *Environ Sci. Technol.* 31:1144-1150.
- 5) Peterson C. (2000), The effect of biodiesel feedstock on regulated emissions in chassis dynamometer tests of a pickup truck, *ASAE* 43(6):1371-1381.
- 6) Durbin T. (2000), Effects of Biodiesel, Biodiesel Blends, and a Synthetic Diesel on Emissions from Light Heavy-Duty Diesel Vehicles, *ACS* 34:349-355.
- 7) Wang W. (2000), Emissions from Nine Heavy Trucks Fueled by Diesel and Biodiesel Blend without Engine Modification, *Environ Sci Technol* 34:933-939.
- 8) Haas M. (2001), Engine Performance of Biodiesel Fuel Prepared from Soybean Soapstock: A High Quality Renewable Fuel Produced from a Waste Feedstock, *Energy & Fuels* 15:1207-1212.
- 9) McCormick R. (2001), Impact of Biodiesel Source Material and Chemical Structure on Emissions of Criteria Pollutants from a Heavy-Duty Engine, *Environ Sci. Technol.* 35:1742-1747.
- 10) Durbin T. (2002), Effects of Biodiesel Blends and Arco EC-Diesel on Emissions from Light Heavy-Duty Diesel Vehicles, *Environ Sci. Technol.* 36:1686-1691.
- 11) Zou L. (2003), Characterising vehicle emissions from the burning of biodiesel made from vegetable oil, *Environmental Technology*, 24:1253-1260.
- 12) McGill R. (2003), Emission performance of selected biodiesel fuels, SAE paper 2003-01-1866.
- 13) Knothe G. (2005), Exhaust Emissions of Biodiesel, Petrodiesel, Neat Methyl Esters, and Alkanes in a New Technology Engine, *Energy & Fuels* 20:403-408.
- 14) McCormick R. (2005), Regulated Emissions from Biodiesel Tested in Heavy-Duty Engines Meeting 2004 Emission Standards, SAE paper 2005-01-2200.
- 15) Durbin T. (2007), Regulated emissions from biodiesel fuels from on/off-road applications, *Atmospheric Environment* 41:5647-5658.
- 16) Li Y.X. (2006), Fuel efficiency and exhaust emissions for biodiesel blends in an agricultural tractor, *Canadian Biosystems Engineering* 48:2.15-2.22.
- 17) Yang H.H. (2007), Effects of biodiesel on emissions of regulated air pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons under engine durability testing, *Atmospheric Environment* 41:7232-7240.
- 18) Tatur M. (2008), Effects of Biodiesel Operation on Light-Duty Tier 2 Engine and Emission Control Systems, Conference Paper NREL/CP-540-42928.
- 19) Yuan C.S. (2009), Reducing carbonyl emissions from a heavy-duty diesel engine at US transient cycle test by use of paraffinic/biodiesel blends, *Atmospheric Environment* 43:6175-6181.
- 20) Karavalakis G. (2009), Light vehicle regulated and unregulated emissions from different biodiesels, *Science of the Total Environment* 407:3338-3346.

- 21) Fontaras G. (2009), Effects of biodiesel on passenger car fuel consumption, regulated and non-regulated pollutant emissions over legislated and real-world driving cycles, *Fuel* 88:1608-1617.
- 22) Frey C. (2009), In-use measurement of the activity, fuel use, and emissions of eight cement mixer trucks operated on each of petroleum diesel and soy-based B20 biodiesel, *Transportation Research Part D* 14:585-592.
- 23) Lujan J. (2009), Comparative analysis of a DI diesel engine fuelled with biodiesel blends during the European MVEG-A cycle: Performance and emissions (II), *Biomass and Bioenergy* 33:948-956.
- 24) Lopez J. (2009), On-road emissions from urban buses with SCR + Urea and EGR + DPF systems using diesel and biodiesel, *Transportation Research part D* 14:1-5.
- 25) Chien S.M. (2009), Effects of Biodiesel Blending on Particulate and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Emissions in Nano/Ultrafine/Fine/Coarse Ranges from Diesel Engine, *Aerosol and Air Quality Research* 9:18-31.
- 26) Kooter I. (2010), Toxicological characterization of diesel engine emissions using biodiesel and a closed soot filter, *Atmospheric Environment* 45:1574-1580.
- 27) Bannister C. (2010), The impact of biodiesel blend ratio on vehicle performance and emissions, *Journal of Automobile Engineering* 224:405-421.
- 28) Karavalakis G. (2010), The impact of soy-based biodiesel on PAH, nitro-PAH and oxy-PAH emissions from a passenger car operated over regulated and nonregulated driving cycles, *Fuel* 89:3876-3883.
- 29) Fontaras G. (2010), Effects of low concentration biodiesel blend application on modern passenger cars. Part 1: Feedstock impact on regulated pollutants, fuel consumption and particle emissions, *Environmental Pollution* 158:1451-1460.
- 30) Randazzo M. (2010), Exhaust emissions from a diesel powered vehicle fuelled by soybean biodiesel blends (B3–B20) with ethanol as an additive (B20E2–B20E5), *Fuel* 90:98-103.
- 31) Macor A. (2011), Effects of 30% v/v biodiesel/diesel fuel blend on regulated and unregulated pollutant emissions from diesel engines, *Applied Energy* 88:4989-5001.
- 32) Bakeas E. (2011), An experimental study on the impact of biodiesel origin on the regulated and PAH emissions from a Euro 4 light-duty vehicle, *Fuel* 90:3200-3208.
- 33) Bakeas E. (2011), Biodiesel emissions profile in modern diesel vehicles. Part 1: Effect of biodiesel origin on the criteria emissions, *Science of the Total Environment* 409:1670-1676.
- 34) Best R. (2011), Steady-State and Transient Performance of Biodiesel-Fueled Compression-Ignition-Based Electrical Generation, *Transactions of Sustainable Energy* 2:20-27.
- 35) Bermudez V. (2011), Comparative study of regulated and unregulated gaseous emissions during NEDC in a light-duty diesel engine fuelled with Fischer Tropsch and biodiesel fuels, *Biomass & Bioenergy* 35:789-798.
- 36) Karavalakis G. (2011), Effect of biodiesel origin on regulated and particle-bound PAH (polycyclic aromatic hydrocarbon) emissions from a Euro 4 passenger car, *Energy* 36:5328-5337.
- 37) Lin Y.C. (2011), Experimental investigation of the performance and emissions of a heavy-duty diesel engine fueled with waste cooking oil biodiesel/ultra-low sulfur diesel blends, *Energy* 36:241-248.
- 38) Ropkins K. (2006), Real-world comparison of probe vehicle emissions and fuel consumption using diesel and 5% biodiesel (B5) blend, *Science of the Total Environment* 376:267-284.
- 39) Karavalakis G. (2008), Effects of diesel/biodiesel blends on regulated and unregulated pollutants from a passenger vehicle operated over the European and the Athens driving cycles, *Atmospheric Environment* 43:1745-1752.

- 40) Muncrief R. (2008), Combining Biodiesel and Exhaust Gas Recirculation for Reduction in NO_x and Particulate Emissions, *Energy & Fuels* 22:1285-1296.
- 41) Karavalakis G. (2010), Influence of Oxidized Biodiesel Blends on Regulated and Unregulated Emissions from a Diesel Passenger Car, *Environ. Sci. Technol.* 44:5306-5312.
- 42) Kousoulidou M. (2010), Biodiesel blend effects on common-rail diesel combustion and emissions, *Fuel* 89:3442-3449.
- 43) Tinsdale M. (2010), The Impact of Biodiesel on Particle Number, Size and Mass Emissions from a Euro4 Diesel Vehicle, SAE paper 2010-01-0796.
- 44) Pelkmans L. (2011), Impact of biofuel blends on the emissions of modern vehicles, *Journal of Automobile Engineering* 225:1204-1221.
- 45) Kawano D. (2010), Exhaust Emission Characteristics of Commercial Vehicles Fuelled with Biodiesel, SAE paper 2010-01-2276.
- 46) Rose K. (2010), Impact of Biodiesel Blends on Fuel Consumption and Emissions in Euro 4 Compliant Vehicles, SAE paper 2010-01-1484.
- 47) Krahl J. (2010), Impact of Biodiesel Blends on Fuel Consumption and Emissions in Euro 4 Compliant Vehicles, SAE paper 2010-01-2270.
- 48) Graboski M. (1996), Transient Emissions from No. 2 Diesel and Biodiesel Blends in a DDC Series 60 Engine, SAE paper 961166.
- 49) Sharp C. (2000), The Effect of Biodiesel Fuels on Transient Emissions from Modern Diesel Engines, Part I Regulated Emissions and Performance, SAE paper 2000-01-1967.
- 50) Starr M. (1997), Influence on Transient Emissions at Various Injection Timings, Using Cetane Improvers, Bio-Diesel and Low Aromatic Fuels, SAE paper 972904.
- 51) Sze C. (2007), Impact of Test Cycle and Biodiesel Concentration on Emissions, SAE paper 2007-01-4040.
- 52) Bielaczyc P. (2008), A Study of RME-Based Biodiesel Blend Influence on Performance, Reliability and Emissions from Modern Light-Duty Diesel Engines, SAE paper 2008-01-1398.
- 53) Bielaczyc P. (2009), The Effect of Pure RME and Biodiesel Blends with High RME Content on Exhaust Emissions from a Light Duty Diesel Engine, SAE paper 2009-01-2653.
- 54) McCormick R. (2002), Fuel Additive and Blending Approaches to Reducing NO_x Emissions from Biodiesel, SAE paper 2002-01-1658.
- 55) McCormick R. (2006), Effects of Biodiesel Blends on Vehicle Emissions, Milestone Report NREL/MP-540-40554.
- 56) Frey C. (2005), Operational Evaluation of Emissions and Fuel Use of B20 Versus Diesel Fueled Dump Trucks, CTE/NCDOT, research project No. 2004-18 FHWA/NC/2005-07.
- 57) Hearne J. (2003), school bus idling and mobile diesel emissions testing: effect of fuel type and development of a mobile test cycle, a thesis presented to the faculty of rowan university in candidacy for the degree of master of science.
- 58) Clark N. (1999), Transient Emissions Comparisons of Alternative Compression Ignition Fuels, SAE paper 1999-01-1117.
- 59) Karavalakis G. (2008), Regulated and unregulated emissions of a light duty vehicle operated on diesel/palm-based methyl ester blends over NEDC and a non-legislated driving cycle, *Fuel* 88:1078-1085.
- 60) Purcell D. (1995), Transient Testing of Soy Methyl Ester Fuels in an Indirect Injection, Compression Ignition Engine, *JAOCS* 73:381-388.

- 61) Mazzoleni C. (2007), A case study of real-world tailpipe emissions for school buses using a 20% biodiesel blend, *Science of the Total Environment* 385:146-159.
- 62) Williams A. (2006), Biodiesel Effects on Diesel Particle Filter Performance, Milestone Report NREL/TP-540-39606.
- 63) Lofvenberg U. (2009), Short report from emission test using low blend of ethanol derivative in diesel fuel, BioEthanol for Sustainable Transport project no3.08.
- 64) C.D. Rakopoulos, E.G. Giakoumis (2009), Diesel engine transient operation, Springer, London.
- 65) Demirbas (2006), Biodiesel production via non-catalytic SCF method and biodiesel fuel characteristics, *Energy Conversion and Management* 47, pp. 2271–2282.
- 66) Dermibas (2007), The influence of temperature on the yields of compounds existing in bio oil obtained from biomass samples via pyrolysis, *Fuel Processing Technology* 88, pp. 591–597.
- 67) Van Gerpen (2005), Biodiesel processing and production, *Fuel Processing Technology* 86, pp. 1097–1107.
- 68) Ma and Hanna (1999), Biodiesel production: a review, *Bioresource Technology* 70, pp. 1–15.
- 69) Mudge and Pereira (1999), Stimulating the biodegradation of crude oil with biodiesel preliminary results, *Spill Science and Technology Bulletin* 5, pp. 353–355.
- 70) Speidel H (2000), Biodegradability of new engineered fuels compared to conventional petroleum fuels and alternative fuels in current use, *Applied Biochemistry and Biotechnology* 84–86, pp. 879–897.
- 71) Zhang Y (2003), Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis, *Bioresource Technology* 90, pp. 229–240.
- 72) Mittelbach M and Remschmidt C (2004), Biodiesels–The Comprehensive Handbook, Karl-Franzens University, Graz, Austria.
- 73) Knothe G et al. (2005), The Biodiesel Handbook, AOCS Press, Champaign, IL.
- 74) Prakash C (1998), A critical review of biodiesel as a transportation fuel in Canada, A Technical Report, GCSI—Global Change Strategies International Inc., Canada.
- 75) Didem O (2011), Novel Methods in Biodiesel Production, Biofuel's Engineering Process Technology, INTECH Europe.
- 76) Licht, F.O. (2009), World-Biodiesel Production, *World Ethanol and Biofuels Report*, (4), 16:365.
- 77) Lin L (2010), Opportunities and challenges for biodiesel fuel, *Applied Energy* 88:1020-1031.
- 78) Bielaczyc P (2008), Clean and energy efficient vehicle powertrains and fuels – from today to 2030 vision, Environment Friendly Surface Transport, PolSCA Meeting, Brus-sels, 10.04.2008.
- 79) S.N. Naik (2010), Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14:578–597.
- 80) Hoekman K (2011), Investigation of Biodiesel Chemistry, Carbon Footprint and Regional Fuel Quality, Desert Research Institute, Coordinating Research Council.
- 81) Κ. Δ. Ρακόπουλος (1988), «Αρχές εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης. Εισαγωγή–Λειτουργία–Θερμοδυναμική», Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα.
- 82) Κ. Δ. Ρακόπουλος (2000), «'Εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης II. Εμβάθυνση στην κατασκευή και λειτουργία», Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα.

- 83) Κ. Δ. Ρακόπουλος (1994) «Εργαστηριακές δοκιμές και μετρήσεις εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης», Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα.
- 84) Κ.Δ. Ρακόπουλος, Δ.Θ. Χουντάλας (1998) «Καύση ρύπανση εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης», Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- 85) Κ.Δ. Ρακόπουλος, Ε.Γ. Γιακουμής (2006) «Εναλλαγή αερίων και υπερπλήρωση ΜΕΚ», Εκδόσεις ΕΜΠ.
- 86) www.dieselnet.com
- 87) www.biofuels.gr
- 88) www.biology-online.org
- 89) www.biofuelsystems.com
- 90) (2002), A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions, Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality U.S. Environmental Protection Agency.
- 91) Giakoumis E (2012), A statistical investigation of biodiesel effects on regulated exhaust emissions during transient cycles, Applied Energy 98:273-291.
- 92) European Commission (2006), Community research. Biofuels in the European Union, A vision for 2030 and beyond.
- 93) Giakoumis E (2012), A statistical investigation of biodiesel physical and chemical properties, and their correlation with the degree of unsaturation, Renewable Energy 50:858-878.
- 94) Giakoumis E (2012), Exhaust emissions of diesel engines operating under transient conditions with biodiesel fuel blends, Progress in Energy and Combustion Science 38:691-715.