ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία: Χαρακτηριστικά ποιότητας ανάφλεξης και σύστασης ναυτιλιακών Diesel

Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών ΕΜΠ

Επιβλέπων : Δ. Καρώνης Επίκουρος Καθηγητής

Ονοματεπώνυμο : Κοντός Γεώργιος
Αριθμός Μητρώου : 08104609

Περιεχόμενα

Περίληψη 4

Θεωρητικό Μέρος

Ναυτιλιακά Καύσιμα: Γενικά – Ιστορική αναδρομή 5-6
Πετρέλαιο Diesel (Gasoil) 7-8
Πετρέλαιο Μαζούτ 9-10
Καύση του πετρελαίου σε ναυτικούς κινητήρες: Καύση γενικά, φάσεις καύσης 11-12
Ποιότητα αναφλέξεως 13
Αριθμός Κετανίου: Άμεσοι ή μηχανικοί τρόποι, Έμμεσοι ή εργαστηριακοί τρόποι 14-16
Δείκτης Αρωματικότητας CCAI (Calculated Carbon Aromaticity Index) 17-20

Πειραματικό Μέρος

Πρότυπη μέθοδος για την απόσταξη πετρελαιοειδών προϊόντων σε ατμοσφαιρική πίεση (ASTM D 86) 22-28
Πρότυπη μέθοδος μέτρηση δυναμικού ιξώδες και πυκνότητας με το ιξωδόμετρο της Stabinger και υπολογισμός του κινηματικού ιξώδους (ASTM D 7042) 29-32
Πρότυπη μέθοδος για τον υπολογισμό το δείκτη κετανίου σε αποσταγμένα καύσιμα (ASTM D 976-06 και ASTM D 4737) 33-35
Προσδιορισμός κατηγορίας αρωματικών υδρογονανθράκων σε μέσα κλάσματα πετρελαίου. Μέθοδος υγρής χρωματογραφίας υψηλής πίεσης με ανιχνευτή δείκτη διάθλασης (IP 397)..... 36-40
Προσδιορισμός Θείου με την μέθοδο του Φθορισμού ακτίνων Χ 41-43

Διαγράμματα-Πίνακες

Καμπύλες Απόσταξης Βασικών καυσίμων (M.D.O.,V.B.G.O., H.G.O.,L.C.O.) 44-45
Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 50%-50% 46-47
Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 75%-25% 48-49
Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 25%-75% 50-51
Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 50%-25%-25% 52-55
Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 40%-30%-30% 56-59
Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 60%-20%-20% 60-63
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτων κετανίου (ASTM D 976) – δεικτών αρωματικότητας 64
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη κετανίου (CCI) (ASTM D 976) – πυκνότητας στους 15°C ... 65
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη κετανίου (CCI) (ASTM D 4737) – πυκνότητας στους 15°C 66
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη κετανίου (CCI) (ASTM D 976) – κινηματικού ξώδες στους 40°C 67
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη κετανίου (CCI) (ASTM D 4737) – Κινηματικού ξώδες στους 40°C 68
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη κετανίου (CCI) (ASTM D 976) – Μονοαρωματικών υδρογονανθράκων (MA) 69
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη κετανίου (CCI) (ASTM D 4737) – Μονοαρωματικών υδρογονανθράκων (MA) 70
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη κετανίου (CCI) (ASTM D 976) – Διαρωματικών υδρογονανθράκων (DA) 71
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη κετανίου (CCI) (ASTM D 4737) – Διαρωματικών υδρογονανθράκων (DA) 72
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη κετανίου (CCI) (ASTM D 976) – Τριαρωματικών υδρογονανθράκων (TR) 73

Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη κετανίου (CCI) (ASTM D 4737) – Τριαρωματικών υδρογονανθράκων (TR) ……..…. 74
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη κετανίου(CCI) (ASTM D 976) – Πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (POLY-AH) ……..... 75
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη κετανίου(CCI) (ASTM D 4737) – Πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (POLY-AH) ……..... 76
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη κετανίου (ASTM D 976) – Αρωματικών υδρογονανθράκων (MA+DA+TR) ……. 77
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη κετανίου (ASTM D 4737) – Αρωματικών υδρογονανθράκων (MA+DA+TR) ……. 78
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη αρωματικότητας (CCAI) - πυκνότητας στους 15°C……... 79
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη αρωματικότητας (CCAI) – κινηματικού ξώδες στους 40°C .. 80
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη αρωματικότητας (CCAI) - Μονοαρωματικών υδρογονανθράκων (MA) …….. 81
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη αρωματικότητας (CCAI) - Διαρωματικών υδρογονανθράκων (DA) …….. 82
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη αρωματικότητας (CCAI) - Τριαρωματικών υδρογονανθράκων (TR) …….. 83
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη αρωματικότητας (CCAI) - Πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (POLY-AH) …….. 84
Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη αρωματικότητας (CCAI) - Αρωματικών υδρογονανθράκων (MA+DA+TR) ……...…….. 85
Διάγραμμα συσχέτισης αρωματικών υδρογονανθράκων (MA+DA+TR) - κινηματικού ιξώδες στους 40°C ..……. 86
Διάγραμμα συσχέτισης αρωματικών υδρογονανθράκων (MA+DA+TR) – πυκνότητας στους 15°C ……..…. 87
Πίνακας μετρήσεων αρωματικών υδρογονανθράκων ……..... 88-89

Συμπεράσματα 90-91

Ευχαριστίες 92

Βιβλιογραφία 93-94

Π ε ρ ί λ η ψ η

Η ποιότητα ανάφλεξης (Ignition Quality) των ναυτιλιακών καυσίμων (Marine Fuel Oils) ιδίως μετά την επικράτηση της μηχανής diesel έναντι του ατμοστροβίλου από τις αρχές της δεκαετία του `60 και μετά αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία.

Τα ναυτιλιακά καύσιμα σύμφωνα με το σχετικό ISO 8217 διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: πετρέλαιο diesel και μαζούτ. Πρόκειται για δύο κατηγορίες καυσίμων οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς τις φυσικές ιδιότητες τους και τον τρόπο χρήσης τους. Ωστόσο είτε για λειτουργικούς είτε για οικονομικούς λόγους στις προωστήριες εγκαταστάσεις με μηχανές diesel χρησιμοποιούνται καύσιμα των δύο κατηγόριων είτε εναλλάξ, είτε σε μείγματα.

Η χρήση των καυσίμων αυτών με τον ένα ή τον άλλο τρόπο επηρεάζει την ποιότητα ανάφλεξης στους κινητήρες diesel. Για τον προσδιορισμό της ποιότητας ανάφλεξης αρχικά μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του ’70 χρησιμοποιούταν ο αριθμός και ο δείκτης κετανίου (CCI-Calculated Cetane Index) για τον προσδιορισμό του οποίου υπάρχουν άμεσοι ή μηχανικοί και έμμεσοι ή εργαστηριακοί τρόποι. Μετά τις αρχές της δεκαετίας του `80 και συγκεκριμένα το 1982 όπου έγινε η πρώτη προσπάθεια θέσπισης ορίων για τα ναυτιλιακά καύσιμα κατέστη ακόμα μεγαλύτερη η σημασία της ποιότητας ανάφλεξης. Αυτό οδήγησε ένα χρόνο μετά και κατόπιν μιας σειράς πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν από τον A.P. Zeelenberg την διαπίστωση μιας μαθηματικής σχέσης η οποία συνδέει την αρωματικότητα των καυσίμων με τη ποιότητα ανάφλεξης τους. Έτσι εισάχθηκε ένα νεο ποιοτικό εργαλείο για τον χαρακτηρισμό της ανάφλεξης ο δείκτης αρωματικότητας (CCAI-Calculated Carbon Aromaticity Index).

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας ασχοληθήκαμε με τους δείκτες κετανίου και αρωματικότητας, όπου πραγματοποιήθηκαν συνολικά 58 πειράματα σύμφωνα με πρότυπες μεθόδους, όπως αυτές ορίζονται κατά ASTM. Με βάση τα πειράματα αυτά καταγράφηκαν τα χαρακτηριστικά βρασμού των τεσσάρων καυσίμων βάσεως και των πενηντατεσσάρων μειγμάτων που προέκυψαν από αυτά σε έξι διαφορετικές κατ’ όγκο αναλογίες σύμφωνα με την μέθοδο ASMT D 86. Η πυκνότητα και το ιξώδες των μειγμάτων μετρήθηκε σύμφωνα με την μέθοδο ASTM 7042. Η κατηγορία των αρωματικών υδρογονανθράκων των καυσίμων βάσεως μετρήθηκε με την μέθοδο υγρής χρωματογραφίας υψηλής πίεσης με ανιχνευτή δείκτη διάθλασης σύμφωνα με την μέθοδο IP391 και το θείο με την μέθοδο φθορισμού ακτινών Χ.

Από τις καταγραφόμενες τιμές εξάχθηκαν οι δείκτες κετανίου (CCI), κατά ASM D 4737, ASTM D 976 και αρωματικότητας (CCAI) οι οποίοι συγκρίθηκαν με την κατά βάρος περιεκτικότητα των δειγμάτων σε μονοαρωματικούς, διαρωματικούς , τριαρωματικούς, ποκυκυκλικούς υδρογονάνθρακες, το σύνολο των αρωματικών υδρογονανθράκων, την πυκνότητα και το ιξώδες των μειγμάτων.

Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε στην συγκεκριμένη εργασία είναι πως και οι δύο δείκτες είναι ισχυρά συνδεδεμένοι με την κατά βάρος περιεκτικότητα των δειγμάτων σε διαρωματικούς και τριαρωματικούς υδρογονάνθρακες, επίσης διαπιστώθηκε η ύπαρξη αναλογικής σχέσης μεταξύ των δύο αυτών δεικτών και της πυκνότητας των δειγμάτων.

Ναυτιλιακά Καύσιμα

Γενικά – Ιστορική αναδρομή

Μέχρι την δεκαετία 1950-1960 στην πρόωση πλοίων Ε.Ν. υπερτερούσε ο ατμοστρόβιλος σε σύγκριση με την μηχανή diesel, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 1). Έκτοτε η πρόωση με diesel άρχισε να εκτοπίζει τον ατμοστρόβιλο.

Πίνακας 1-- Σύγκριση αριθμών ατμοστροβίλου - Diesel για την πρόωση πλοίων (έτη 1950 - 1980)

Έτος	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΛΙΟΩΝ		ΟΛΙΚΟ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ (10^6 τον)	
	Ατμοστρόβιλος	Diesel	Ατμοστρόβιλος	Diesel
1950	20000	11500	60	12
1955	17000	16000	70	30
1960	15500	155000	75	50
1965	10000	30000	85	80
1970	8000	43000	90	125
1975	6000	55000	120	225
1980	5000	65000	140	250

Συγκρίνοντας τα προωστήρια συστήματα πλοίων με ατμοστρόβιλο ή Diesel μπορούμε να αναφέρουμε ως πλεονεκτήματα:

α) Για τον ατμοστρόβιλο:
- Απλούστερη και ευκολότερη συντήρηση.
- Μικρότερο αρχικό κόστος.

β) Για την Μηχανή diesel:
- Καλύτερος βαθμός αποδόσεως.
- Καλύτερη σχέση βάρους – ισχύος.
- Μικρότερος όγκος της προωστήριας εγκαταστάσεως.
- Άμεση ετοιμότητα λειτουργίας.

Ένας από του λόγους για τους οποίους ο ατμοστρόβιλος παρέμεινε πολλά χρόνια το σπουδαιότερο προωστήριο σύστημα των εμπορικών πλοίων ήταν και το γεγονός ότι χρησιμοποιούσε φθηνά καύσιμα (μαζούτ) ενώ η μηχανή diesel απαιτούσε καύσιμα υψηλής ποιότητας τα οποία επιβάρυναν σημαντικά το κόστος των θαλάσσιων μεταφορών.

Από τις αρχές της δεκαετίας 1950-1960 άρχισε να δοκιμάζεται η λειτουργία των πετρελαιομηχανών με μαζούτ και γενικά με καύσιμα που ήταν μείγμα μαζούτ και gasoil, των οποίων το κόστος ήταν πολύ χαμηλότερο από το κόστος του μέχρι τότε χρησιμοποιημένου πετρελαίου diesel. Οι δοκιμές ήταν ενθαρρυντικές, γιατί οι ποιοτικές απαιτήσεις σε καύσιμο για τις βαριές και αργόστροφες μηχανές του εμπορικού ναυτικού μπορούσαν να ικανοποιηθούν και με τα υπολείμματα αποστάξεως, δηλαδή με μαζούτ, που έγινε το κύριο καύσιμο για τις ναυτικές πετρελαιομηχανές. Υπάρχουν εντούτοις περιπτώσεις όπου το μαζούτ δεν μπορεί να ανταποκριθεί ικανοποιητικά στις απαιτήσεις καύσεως όπως συμβαίνει σε περιπτώσεις χειρισμού του πλοίου το λιμάνι, όπου απαιτείται γρήγορη προσαρμογή της καύσεως στο φορτίο της μηχανής στις οποίες μόνο το diesel μπορεί να ανταποκριθεί ικανοποιητικά. Επίσης ορισμένοι τύποι μηχανών diesel απαιτούν καύσιμο με ορισμένες προδιαγραφές τις οποίες καθορίζει ο κατασκευαστής. Έτσι σήμερα υπάρχει μια πολύ μεγάλη ποικιλία καυσίμων για ναυτιλιακές πετρελαιομηχανές. Η επιλογή του κατάλληλου καυσίμου

ανάγεται κυρίως στην ευθύνη του αρχιμηχανικού της εταιρείας, στην οποία ανήκει το πλοίο και εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

α) Τύπος και χαρακτηριστικά της μηχανής.
β) Κατάσταση της μηχανής.
γ) Κόστος και διαθεσιμότητα καυσίμων.

Η επιλογή του κατάλληλου καυσίμου, με στόχο την μείωση του κόστους λειτουργίας ενός πλοίου, αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία, αν ληφθεί υπόψη ότι το κόστος των καυσίμων το 1980 κάλυπτε ποσοστό 30% των δαπανών της λειτουργίας και το οποίο διαχρονικά αυξήθηκε σε σημαντικό βαθμό γεγονός το οποίο οδήγησε σε χρήση ολοένα και χαμηλότερης ποιότητας καύσιμα έτσι ώστε να αντισταθμιστεί αυτή η αύξηση.

Δεδομένου όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ότι τα καύσιμα που επικράτησαν στην ναυτιλία ήταν το πετρέλαιο diesel (gasoil) και το μαζούτ ας δούμε ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά τους.

Πετρέλαιο Diesel (Gasoil)

Το καύσιμο αυτό οφείλει το όνομα του στο γεγονός ότι αρχικά ήταν το μόνο καύσιμο που χρησιμοποιούταν στις μηχανές diesel λόγω των ιδιοτήτων του κυρίως:

- Του χαμηλού ιξώδους, που επέτρεπε καλύτερο διασκορπισμό.
- Του υψηλού βαθμού καθαρότητας, που εξασφάλιζε καύση χωρίς επιβλαβή κατάλοιπα.

Σήμερα χρησιμοποιείται στο εμπόριο μόνο για ταχύστροφες μηχανές μικρής σχετικά ισχύος, φερόμενο στο εμπόριο με το όνομα gasoil ή diesel oil. Σε όλες τις άλλες κατηγορίες μηχανών μεγάλης ισχύος και κυρίως τις ναυτικές μηχανές χρησιμοποιούνται βαρέα καύσιμα με βάση το μαζούτ. Το **gasoil**, οφείλεται στο γεγονός ότι πρόκειται για έλαιο (oil) που με εξαερίωση (πυρόλυση) παράγει αέριο (gas).

Κύριο χαρακτηριστικό του, με το οποίο διακρίνεται από τις άλλες κατηγορίες πετρελαίου που χρησιμοποιούνται τις μηχανές Diesel, είναι ότι αποτελεί **απόσταγμα** του φυσικού πετρελαίου, ανήκει δηλαδή στα ευγενή προϊόντα του. Αυτό έχει ως συνέπεια να κατατάσσεται στα καλύτερα και ακριβότερα καύσιμα ΜΕΚ. Χρησιμοποιείται λοιπόν ως καύσιμο μηχανών diesel, όταν υπάρχουν ειδικοί λόγοι, που αποκλείουν τη χρήση βαρύτερων καυσίμων, που παράγονται με βάση το μαζούτ όπως π.χ.

α) Υψηλή ταχύτητα περιστροφής.
β) Μικρές ιπποδυνάμεις.
γ) Ευχέρεια προσαρμογής καύσεως στις απαιτήσεις φορτίου της μηχανής, όπως συμβαίνει κατά τους χειρισμούς απόπλου ή κατάπλου ενός σκάφους και γενικά ενός δύσκολου ή ειδικού πλου, όπου απαιτείται γρήγορη αυξομείωση της ισχύος της μηχανής, στην οποία μόνο το diesel μπορεί με ευχέρεια να ανταποκριθεί.

Το πετρέλαιο diesel αποτελεί το τελευταίο κλάσμα του φυσικού πετρελαίου, και έχει όρια θερμοκρασιών ζέσεως 200 °C – 360 °C. Συνήθως δεν χρειάζεται άλλη επεξεργασία μετά την απόσταξη, και χρησιμοποιείται όπως λαμβάνεται από τον πύργο αποστάξεως. Η εξέλιξη των πετρελαιομηχανών επιβάλλει για το πετρέλαιο diesel ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες που εξασφαλίζονται με τις αντίστοιχες προδιαγραφές κατά ISO 8217(Πίνακας 2).

Πίνακας 2 - Προδιαγραφές Ναυτιλιακών Diesel κατά ISO 8217

Χαρακτηριστικά	Μονάδα	Όρια	Κατηγορία ISO-F				Μέθοδος
			DMX	DMA	DMB	DMC[1]	
Πυκνότητα στους 15°C	kg/m^3	μέγ.	-	890,0	900,0	920,0	ISO 3675 ή ISO 12185
Ιξώδες στους 40°C	mm^2/s^2	μεγ.	1,40	1,50	-	-	ISO 3104
		ελαχ.	5,50	6,00	11,0	14,0	ISO 3104
Σημείο ανάφλεξης	°C	ελαχ.	-	60	60	60	ISO 2719
Σημείο ροής (ανώτερο)[3]		ελαχ.	43	-	-	-	
-χειμερινό	°C	μεγ.	-	-6	0	0	ISO 3016
-θερινό		μεγ.	-	0	6	6	ISO 3016
Σημείο θόλωσης	°C	μεγ.	-16	-	-	-	ISO 3015
Θείο[4]	% κ.β.	μεγ.	1,00	1,50	2,00[5]	2,00	
Δείκτης Κετανίου	-	ελαχ.	45	40	35	-	ISO 4264
Εξανθράκωμα σε 10% υπόλειμμα σε δείγμα ως έχει	% κ.β.	μεγ.	0,30	0,30	-	-	ISO 10370
		μεγ.	-	-	0,30	2,50	ISO 10370
Τέφρα	% κ.β.	μεγ.	0,01	0,01	0,01	0,05	ISO 6245
Εμφάνιση[6]	-	-	Καθαρό και Διαυγές[6]			-	
Ολικό Υπόστημα	% κ.β.	μεγ.	-	-	0,10[6]	0,10	ISO 10307-1
Νερό	% κ.ο.	μεγ.	-	-	0,30[6]	0,30	ISO 3733
Βανάδιο	mg/kg	μεγ.	-	-	-	100	ISO 14597 or IP 501 or IP 470
Αργίλιο Και Πυρίτιο	mg/kg	μεγ.	-	-	-	25	ISO 10478 or IP 501 or IP 470
Ελεύθερο χρησιμοποιημένου λιπαντικού Ψευδάργυρος	mg/kg	μεγ.	-	-	-	15[7]	IP 501 or IP 470
Φώσφορος	mg/kg	μεγ.	-	-	-	15	IP 501 or IP 500
Ασβέστιο	mg/kg	μεγ.	-	-	-	30	IP 501 or IP 470

Οι ιδιότητες που αναφέρονται παραπάνω σχετίζονται με τα κύρια λειτουργικά γνωρίσματα των πετρελαιομηχανών: Την **έγχυση,** την **ανάφλεξη**, και την **καύση**.

[1] Σημειώνεται πως παρόλο που η σύσταση των αποσταγμένων καυσίμων υπερτερεί, η σύνθεση των υπολειμματικών καυσίμων μπορεί να είναι και αυτή αξιοσημείωτη.
[2] 1 mm^2/s = 1 cSt
[3] Οι αγοραστές θα πρέπει να εξασφαλίζουν πως το συγκεκριμένο σημείο ροής είναι κατάλληλο για τον εξοπλισμό που υπάρχει επί του πλοίου, ιδιαίτερα για τις περιπτώσεις πλοίων τα οποία πλέουν και στα δύο ημισφαίρια.
[4] Το καύσιμο αυτό είναι κατάλληλο για χρήση χωρίς προθέρμανση σε συνήθης θερμοκρασίες περιβάλλοντος κάτω από -16°C.
[5] Το όριο περιεκτικότητας σε θείο 1,5 % κ.β. θα εφαρμόζεται σε περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών SO_x όπως αυτές θα καθορίζονται από τον Διεθνή Οργανισμό Ναυτιλίας (IMO) με την ενεργοποίηση του σχετικού νομοθετικού πρωτοκόλλου. Θα υπάρχουν τοπικές διαφοροποιήσεις .
[6] Εάν το δείγμα του καυσίμου είναι καθαρό και χωρίς ορατό υπόστημα ή νερό η δοκιμές ολικού υποστήματος και νερού δεν είναι υποχρεωτικές.
[7] Ένα καύσιμο θα πρέπει να θεωρείται ότι είναι ελεύθερο χρησιμοποιημένου λιπαντικού εάν ένα ή περισσότερα από τα στοιχεία: ψευδάργυρου, φωσφόρου και ασβεστίου βρίσκονται σε περιεκτικότητα μικρότερη ή ίση των αναφερόμενων ορίων. Για να χαρακτηριστεί – κριθεί ότι ένα καύσιμο περιέχει χρησιμοποιημένο λιπαντικό θα πρέπει και τα τρία αυτά στοιχεία να ξεπερνούν το ίδιο όριο.

Πετρέλαιο Μαζούτ

Πρόκειται για το μέρος του φυσικού πετρελαίου που δεν αποστάζει ως τους 360 °C το οποίο εξέρχεται από την βάση του πύργου αποστάξεως του διυλιστηρίου, το γενικό όνομα του μαζούτ είναι **υπόλειμμα αποστάξεως** (residual fuel oil) και είναι ένα πολύτιμο καύσιμο. Είναι πολύτιμο για του εξής λόγους:

α) Αποτελεί περίπου του 50% του φυσικού πετρελαίου.
β) Είναι φθηνό (περίπου το ½ της τιμής του diesel).
γ) Έχει ευρύτατη εφαρμογή σαν καύσιμο πετρελαιομηχανών αλλά και λεβήτων

Ο γενικός τύπος με τον οποίο διακινείται το μαζούτ είναι Marine Fuel Oil. Γενικά το μαζούτ είναι μαύρο και παχύρευστο στις συνήθεις θερμοκρασίες (θερμοκρασία περιβάλλοντος), για αυτό για να διατηρείται σε ρευστή κατάσταση στις δεξαμενές χρειάζεται προθέρμανση σε θερμοκρασία τουλάχιστον 15 – 45 °C για την άντληση και την εύκολη ροή στους σωλήνες των δικτύων. Το μαζούτ αποτελεί την πρώτη ύλη για την παραγωγή των λιπαντικών. Παλαιότερα αναφερόταν ως πετρέλαιο λεβήτων λόγω του ότι αρχικά, πριν χρησιμοποιηθεί στις μηχανές Diesel, είχε χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο λεβήτων, δηλαδή στις μηχανές ατμού όπου και είχε εκτοπίσει την χρήση γαιανθράκων.

Το μαζούτ είναι χαμηλότερης ποιότητας σε όλη την έκταση των φυσικοχημικών του χαρακτηριστικών από το diesel, όπως φαίνεται και από τον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 3) με αποτέλεσμα η μετάπτωση από diesel σε μαζούτ στους ναυτικούς κινητήρες να συνοδεύεται από πολλά προβλήματα λειτουργίας των πετρελαιομηχανών τα οποία καλούνται να αντιμετωπίσουν τόσο οι κατασκευαστές κινητήρων όσο και οι πλοιοκτήτες με δύο τρόπους:

α) Κατασκευαστικοί τρόποι: Οι σύγχρονες ναυτικές πετρελαιομηχανές είναι γενικά αργόστροφες και με μεγάλη ιπποδύναμη, εξοπλισμένες με συστήματα έντονου καθαρισμού και επεξεργασίας των καυσίμων, ώστε οι δυσμενείς επιδράσεις από την χαμηλή ποιότητα των καυσίμων να περιορίζονται στο ελάχιστο.

β) Λειτουργικοί τρόποι: Περιλαμβάνουν σειρά μέτρων που εκμηδενίζουν ή τουλάχιστον ελαχιστοποιούν τα προβλήματα από την ποιότητα του καυσίμου όπως είναι η χρήση φυγοκεντρικών καθαριστήρων, η τοποθέτηση φίλτρων και η προθέρμανση του καυσίμου για την διατήρηση του ιξώδες στα κατάλληλα επίπεδα.

Πίνακας 3-Προδιαγραφές Μαζούτ κατά ISO 8217

Χαρακτηριστικά	Μονάδα	Όρια	Κατηγορία ISO – F										Μέθοδος
			RMA 30	RMB 30	RMD 80	RME 180	RMF 180	RMG 380	RMH 380	RMK 380	RMH 700	RMK 700	
Πυκνότητα στους 15°C	Kg/m^3	μεγ.	960,0	975,0	980,0	991,0		991,0		1010,0	991,0	1010,0	ISO 3675 or ISO 12185
Κινηματικό Ιξώδες στους 50°C	mm^2/s[8]	μεγ.	30,0		80,0	180,0		380,0			700,0		ISO 3104
Σημείο ανάφλεξης	°C	ελαχ.	60		60	60		60			60		ISO 2719
Σημείο ροής (ανώτερο)[9]													
-χειμερινό	°C	μεγ.	0	24	30	30		30			30		ISO 3016
-θερινό	°C	μεγ.	6	24	30	30		30			30		ISO 3016
Εξανθράκωμα	% κ.β.	μεγ.	10		14	15	20	18	22		22		ISO 10370
Τέφρα	% κ.β.	μεγ.	0,10		0,10	0,10	0,15	0,15			0,15		ISO 6245
Νερό	% κ.ο.	μεγ.	0,5		0,5	0,5		0,5			0,5		ISO 3733
Θείο[10]	% κ.β.	μεγ.	3,50		4,00	4,50		4,50			4,50		ISO 8754 or ISO 14596
Βανάδιο	mg/kg	μεγ.	150		350	200	500	300	600		600		ISO 1459 or
Ολικό Δυνητικό Υπόστημα	%% κ.β	μεγ.	0,10		0,10	0,10		0,10			0,10		ISO 10307-2
Αργίλιο + Πυρίτιο	mg/kg	μεγ.	80		80	80		80			80		ISO 10478 or IP 501 IP 470
Ελεύθερο χρησιμοποιημένου			Το καύσιμο θα πρέπει να είναι ελεύθερο χρησιμοποιημένου λιπαντικού[11]										
Ψευδάργυρος	mg/kg	μεγ.	15										IP 501 or IP 470
Φώσφορος	mg/kg	μεγ.	15										IP 501 or IP 500
Ασβέστιο	mg/kg	μεγ.	30										IP 501 or IP 470

[8] Το Annex C δίνει έναν περιληπτικό πίνακα Ιξώδους/Θερμοκρασίας για ενημερωτικό σκοπό μόνο 1 mm2/s = 1 cSt.

[9] Οι αγοραστές θα πρέπει να εξασφαλίζουν πως το συγκεκριμένο σημείο ροής είναι κατάλληλο για τον εξοπλισμό που υπάρχει επί του πλοίου, ιδιαίτερα για τις περιπτώσεις πλοίων τα οποία πλέουν και στα δύο ημισφαίρια.

[10] Το όριο του θείο 1,5 % κ.β. θα εφαρμόζεται σε περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών SO_x όπως αυτές θα καθορίζονται από τον Διεθνή Οργανισμό Ναυτιλίας (IMO) με την ενεργοποίηση του σχετικού νομοθετικού πρωτοκόλλου. Θα υπάρχουν τοπικές διαφοροποιήσεις όπως για παράδειγμα στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης οι απαιτήσεις περιεκτικότητας σε Θείο ορισμένων αποσταγματικών καυσίμων περιορίζονται στο 0,2% κ.β. για συγκεκριμένες χρήσεις.

[11] Ένα καύσιμο θα πρέπει να θεωρείται ότι είναι ελεύθερο χρησιμοποιημένου λιπαντικού εάν ένα ή περισσότερα από τα στοιχεία: ψευδάργυρου, φωσφόρου και ασβεστίου βρίσκονται σε περιεκτικότητα μικρότερη ή ίση των αναφερόμενων ορίων. Για να χαρακτηριστεί – κριθεί ότι ένα καύσιμο περιέχει χρησιμοποιημένο λιπαντικό θα πρέπει και τα τρία αυτά στοιχεία να ξεπερνούν το ίδιο όριο.

Καύση του πετρελαίου σε ναυτικούς κινητήρες

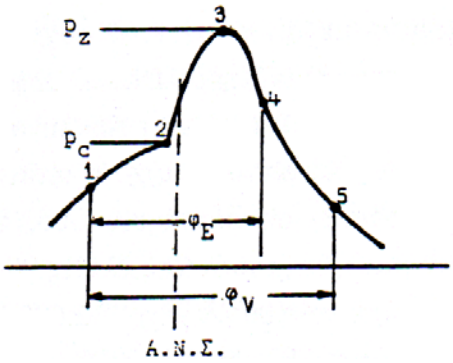
Καύση γενικά, φάσεις καύσης

Για την στοιχειομετρική καύση απαιτείται ελάχιστη ποσότητα αέρα που δίνεται από την εξής σχέση (εξίσωση καύσεως):

$$m_{min} = 11,5 \cdot C + 34,2 \cdot H + 4,3 \cdot S - 4,3 \cdot O \qquad (1)$$

όπου τα C, H, S και O είναι η ποσοστιαία περιεκτικότητα των βασικών στοιχείων στο καύσιμο.

Το καύσιμο αυταναφλέγεται, εκτοξευόμενο στον κύλινδρο (αέρα υψηλής πιέσεως και θερμοκρασίας). Συνήθως παρακολουθούμε την πίεση της οποίας συνάρτηση είναι η θερμοκρασία.



Σχήμα 1 - Διάγραμμα Καύσεως Κινητήρα Diesel (P,φ)

Η έναρξη καύσεως γίνεται 0 ως 5° προ του Α.Ν.Σ. Στο τέλος της συμπιέσεως επικρατεί η πίεση συμπιέσεως p_c (περίπου 40 έως 110 bar, 115 σε μεσόστροφο) ενώ η μεγαλύτερη πίεση καύσεως είναι η p_2 (περίπου 55 έως 125 bar, 150 σε μεσόστροφο). Ο συνολικός χρόνος καύσεως φ_v, περιλαμβάνει το διασκορπισμό του καυσίμου και την καθ' εαυτό καύση. Αν π.χ. η γωνία 1 (αρχή εκτοξεύσεως καυσίμου) – 5 (τέλος καύσης) είναι: $\varphi_v = 30°$ στροφαλοφόρου τότε ο χρόνος καύσης είναι:

$$t_v = \frac{\phi_v}{6 \times n} = 0,05 \text{ sec}, \text{ n} = 100 \text{ RPM}$$

1 : Έναρξη διασκορπισμού, 5 έως 30° στρ προ Α.Ν.Σ.
Πίεση ανοίγματος διασκορπιστών : 200 – 400 bar, στη συνέχεια αύξηση της πιέσεως διασκορπισμού σε : 400 – 1000 bar.

1-2 : Καθυστέρηση αναφλέξεως. Εξαρτάται από τα p_c, T_c και από τον αριθμό κετανίου του καυσίμου για τα πετρέλαια diesel (αποστάγματα) ή από τον δείκτη αρωματικότητας υδρογονανθράκων (CCAI) για βαρέα καύσιμα. Αυξάνει για μικρό αριθμό κετανίου και μεγάλο CCAI.
Η καθυστέρηση αναφλέξεως σε πραγματικό χρόνο είναι 1 έως 12 msec επί του συνολικού χρόνου καύσεως 5 έως 20 msec.

2-3 : Πρώτη φάση καύσεως με απότομη αύξηση της πιέσεως.

Ορίζουμε τη μέση ταχύτητα καύσεως ως: $w_m = \frac{p_3 - p_2}{\phi_3 - \phi_2}$, bar/°στρ (2)

Για ομαλή καύση w_m>5 bar/°στρ
Κατά την καύση βαρέος πετρελαίου αυξάνει το w_m λόγω μεγαλύτερης καθυστερήσεως αναφλέξεως. Σε κινητήρες που είναι κατασκευασμένοι ειδικά για την καύση βαρέος πετρελαίου (Βραδύστροφοι και Μεσόστροφοι) οριακή τιμή θεωρείται w_m= 15 bar/°στρ.
Σε ταχύστροφους κινητήρες υψηλής ισχύος w_m< 10 bar/°στρ.

3-4 : Ελεγχόμενη καύση. Στη φάση αυτή καίγεται το 40 έως 60% του καυσίμου στο πλήρες φορτίο. Επιτυγχάνεται η μέγιστη πίεση καύσεως p_z, που είναι περίπου 30% μεγαλύτερη από την p_c. Οι τιμές p_z σε ταχύστροφους κινητήρες μπορούν να φθάσουν 180 bar.

4-5 : Στην τρίτη και τελευταία φάση της καύσεως καίγεται λίγο ποσοστό καυσίμου σε βραδύστροφους κινητήρες αλλά σημαντικό σε ταχύστροφους, δηλαδή:

Βραδύστροφοι	<10%
Μεσόστροφοι	10-25%
Ταχύστροφοι	15-35%

Η καύση βαρέος πετρελαίου σε ταχύστροφους κινητήρες είναι δύσκολη γιατί δεν υπάρχει αρκετός χρόνος για την τέλεια καύση του πετρελαίου.

Σημασία της καύσεως

Η καύση έχει πρωταρχική σημασία σε κάθε θερμική μηχανή, της οποίας την απόδοση επηρεάζει με δύο τρόπους:

α) Ποσοτικά, γιατί η τέλεια καύση εξασφαλίζει και μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως της μηχανής.

β) Ποιοτικά, γιατί μεταξύ των προϊόντων καύσεως μπορεί να υπάρχουν και συστατικά επικίνδυνα για την μηχανή, όπως π.χ. τα εξανθρακώματα, παρουσία των οποίων εξαρτάται βέβαια από την αρχική ποιότητα του καυσίμου, αλλά και από τις συνθήκες καύσεως.

Η καύση του πετρελαίου στις μηχανές Diesel παρουσιάζει συχνά αρκετά προβλήματα. Τα προβλήματα αυτά εξαρτώνται κυρίως από τους εξής παράγοντες:

α) Ποιότητα καυσίμου.
β) Συνθήκες καύσεως.
γ) Σύστημα εγχύσεως.
δ) Λειτουργικά χαρακτηριστικά της μηχανής.

Ποιότητα αναφλέξεως

Η ποιότητα αναφλέξεως του πετρελαίου diesel καθορίζεται από την ταχύτητα με την οποία αναφλέγεται μέσα στον κύλινδρο της μηχανής μετά την εκτόξευση από τον εγχυτήρα (καυστήρα). Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ εκτοξεύσεως και εναύσεως πρέπει να είναι κατά το δυνατόν μικρότερος. Επιβράδυνση της εναύσεως θα έχει ως αποτέλεσμα την συγκέντρωση στον θάλαμο καύσεως αρκετού πετρελαίου, που απότομη ανάφλεξη του δημιουργεί απότομες αυξήσεις πιέσεως. Οι αυξήσεις αυτές γίνονται αντιληπτές σαν κτύπημα (Knocking), δηλαδή κραδασμοί και δονήσεις που επιδρούν καταστρεπτικά στη μηχανή και μειώνουν την απόδοση της. Ο χρόνος μεταξύ εκτοξεύσεως και εναύσεως που είναι γνωστός σαν **καθυστέρηση αναφλέξεως** (delay period) και ο οποίος επηρεάζει την εξέλιξη όλου του φαινομένου εξαρτάται:

α) Από την ποιότητα του καυσίμου (αριθμός κετανίου), δηλαδή από το είδος και την αναλογία υδρογονανθράκων που έχει.

β) Από τις συνθήκες που δημιουργούνται μέσα στον κύλινδρο κατά την στιγμή της εγχύσεως. Είναι γνωστό ότι στην πετρελαιομηχανή η ανάφλεξη γίνεται χωρίς σπινθηριστή, έχουμε **αυτανάφλεξη,** που για να συμβεί πρέπει να εξασφαλίσουμε τις κατάλληλες συνθήκες πιέσεως και θερμοκρασίας. Ο βαθμός συμπιέσεως σε μια πετρελαιομηχανή κυμαίνεται από 14:1 ως 20:1, γεγονός το οποίο ανεβάζει την θερμοκρασία του αέρα στο τέλος τη συμπιέσεως σε 450 – 500 °C, αρκετή ώστε το καύσιμο, που ψεκάζεται λίγες μοίρες πριν από το Α.Ν.Σ. να υποστεί αυτανάφλεξη. Η αυτανάφλεξη αυτή που προκαλεί την καύση δεν είναι ακαριαία γιατί το καύσιμο στην μηχανή diesel βρίσκεται σε μορφή λεπτών σταγονιδίων, δηλαδή σε υγρή κατάσταση και πρέπει πριν την ανάφλεξη να προηγηθούν άλλες διεργασίες, όπως:
   - Πλήρης ανάμιξη των σταγονιδίων με τον αέρα.
   - Εξαέρωση των σταγονιδίων.
   - Ανάμιξη των ατμών του καυσίμου με τον αέρα.
   - Προφλογική οξείδωση του καυσίμου.
   - Τοπική ανάφλεξη κλπ.

   μετά από τις οποίες ακολουθεί η καύση όλου του μείγματος.

Με τις ίδιες λειτουργικές και μηχανικές συνθήκες, η εξέλιξη του φαινομένου της καύσεως εξαρτάται από το καύσιμο και την ιδιότητα του που χαρακτηρίζεται σαν **ποιότητα αναφλέξεως,** η οποία μετράται με τον **αριθμό κετανίου.**

Αριθμός Κετανίου

Η μέτρηση του αριθμού κετανίου του πετρελαίου μπορεί να γίνει πολλούς τρόπους που κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

α) Άμεσοι ή μηχανικοί τρόποι.
β) Έμμεσοι ή εργαστηριακοί τρόποι.

Άμεσοι ή μηχανικοί τρόποι.

α) Μέθοδος καθυστερήσεως αναφλέξεως

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε μηχανή diesel που λειτουργεί με σταθερό φορτίο και σταθερή ταχύτητα. Με ηλεκτρικό μετρητή μετράται η πραγματική καθυστέρηση αναφλέξεως, δηλαδή ο χρόνος που μεσολαβεί από τη στιγμή που ανεβαίνει η βελόνα του εκνεφωτή ως την στιγμή ενάρξεως της αναφλέξεως. Κάτω από τις ίδιες συνθήκες και στην ίδια μηχανή αναζητείται από την σειρά πρότυπων καυσίμων, δηλαδή με γνωστό αριθμό κετανίου εκείνο το καύσιμο που έχει την ίδια ακριβώς καθυστέρηση αναφλέξεως με το μετρούμενο δείγμα. Ο αριθμός κετανίου του πρότυπου αυτού καυσίμου είναι ο ζητούμενος αριθμός κετανίου του μετρούμενου δείγματος.

Τα δύο βασικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των διάφορων μιγμάτων είναι:

α) το κ-δεκαεξάνιο (n-$C_{16}H_{34}$ n-cetane) με αριθμό κετανίου = 100
β) το επταμέθυλο-εννεάνιο (2,2,4,46,8,8 $C_{16}H_{34}$) με αριθμό κετάνιου = 15

Όταν το υπό δοκιμή καύσιμο παρουσιάζει ίδια ποιότητα ανάφλεξης με μείγμα γνωστής σύστασης των δύο καυσίμων αναφοράς τότε:

$$\text{ΑΚ} = \%\ \text{κ-δεκαεξάνιο} + 0{,}15\cdot(\%\ \text{επταμέθυλο-εννεάνιο})$$

Αντί του επταμέθυλο-εννεανίου χρησιμοποιείται και η α-μέθυλο-ναφθαλίνη ($C_{16}H_7$-CH_3) με αριθμό κετανίου = 0. Η α-μέθυλο-ναφθαλίνη είναι η πρώτη ουσία που χρησιμοποιήθηκε ως καύσιμο αναφοράς για τον αριθμό κετανίου, η οποία σταμάτησε να χρησιμοποιείται επειδή παρουσίαζε πολύ μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης και πολύ έντονο κτύπημα στον κινητήρα.

β) Μέθοδος ASTM

Για την μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται μηχανή diesel στην οποία ο βαθμός συμπιέσεως μπορεί να μεταβάλλεται, ώστε η ανάφλεξη να γίνεται πάντοτε στο ΑΝΣ και ακριβώς 13° μετά την έγχυση. Η έγχυση δηλαδή γίνεται 13° πριν από το ΑΝΣ και η συμπίεση ρυθμίζεται έτσι ώστε η ανάφλεξη να γίνεται ακριβώς μετά 13°, δηλαδή τη στιγμή που το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ. Είναι ευνόητο ότι κάθε καύσιμο απαιτεί διαφορετική συμπίεση για να εξασφαλισθεί ανάφλεξη στην διαδρομή 13° – 0° (0° = ΑΝΣ): θα χρειασθεί τόσο λιγότερη συμπίεση όσο πιο εύκολα αναφλέγεται το καύσιμο, δηλαδή όσο μεγαλύτερη αριθμό κετανίου έχει. Αντίθετα, καύσιμα με μικρό αριθμό κετανίου, που αναφλέγονται δυσκολότερα, απαιτούν μεγαλύτερη συμπίεση για να εξασφαλισθεί ανάφλεξη ακριβώς στα όρια της διαδρομής στροφάλου 13° – 0°. Αναζητείται λοιπόν το πρότυπο καύσιμο, που απαιτεί την ίδια συμπίεση για την καθυστέρησης

αναφλέξεως 13°, όση και το μετρούμενο δείγμα. Ο αριθμός κετανίου του πρότυπου αυτού καυσίμου είναι και ο αριθμός κετανίου του αγνώστου δείγματος.

γ) Πρότυπη μηχανή CFR (F_5)

Η μηχανή αυτή βασίζεται στην ίδια αρχή που βασίζονται και οι μηχανές CFR (Cooperative Fuel Research) για την μέτρηση του αριθμού οκτανίου. Με ειδική ηλεκτρική συσκευή που διαθέτουν (knocmeter) συγκρίνονται τα κτυπήματα που παρουσιάζει η μηχανή όταν λειτουργεί με το άγνωστο καύσιμο, με τα κτυπήματα που με τις ίδιες συνθήκες καταγράφονται, όταν η μηχανή λειτουργεί με καύσιμο γνωστού αριθμού κετανίου.

Έμμεσοι ή εργαστηριακοί τρόποι

Με μικρότερη ακρίβεια ο αριθμός κετανίου του πετρελαίου μπορεί να εκτιμηθεί με εργαστηριακές μεθόδους, που είναι πολύ απλούστερες από τις προηγούμενες. Η μέτρηση αυτή είναι έμμεση, δηλαδή βασίζεται σε άλλες ιδιότητες του πετρελαίου, που εξαρτώνται από την δομή των υδρογονανθράκων που το αποτελούν και που, ως γνωστό, βρίσκεται σε άμεση σχέση με την ποιότητα αναφλέξεως, δηλαδή τον αριθμό κετανίου. Οι ιδιότητες αυτές είναι:

α) Το ειδικό βάρος σε μονάδες API

$$API = \frac{141,5}{\rho} - 131,5$$

όπου: ρ η πυκνότητα σε μονάδες μετρικού συστήματος (g/cm^3 ή kg/l).

β) Το σημείο ανιλίνης (°C), δηλαδή η ελάχιστη θερμοκρασία σε βαθμούς °C, πάνω από την οποία ίσοι όγκοι ανιλίνης και πετρελαίου αναμιγνύονται πλήρως σχηματίζοντας ομοιογενές διαφανές διάλυμα.

γ) Η θερμοκρασία (T50), δηλαδή η θερμοκρασία στην οποία αποστάζει το 50% του πετρελαίου σε (°C).

Με βάση τις παραπάνω ιδιότητες η ποιότητα καύσεως του πετρελαίου μπορεί να εκφρασθεί με δύο τρόπους:

1. Δείκτης Diesel (DI = Diesel Index)

Βρίσκεται από την σχέση:

$$DI = \frac{A.P.(°F) \times API}{100}$$

όπου: AP το σημείο ανιλίνης (Aniline Point) σε βαθμούς °F, που εύκολα μετράται στο εργαστήριο.
API το ειδικό βάρος στην ομώνυμη κλίμακα 60°F.

Ο δείκτης Diesel στρογγυλοποιείται στον πλησιέστερο ακέραιο.
Ο δείκτης Diesel μετατρέπεται σε αριθμό κετανίου με τις εμπειρικές σχέσεις:

$$CN = DI - 3$$

ή

$$CN = 0{,}72DI + 10$$

2. Υπολογιστικός Δείκτης κετανίου (CCI – Calculated Cetane Index)

Υπάρχουν δύο σχέσεις υπολογισμού του δείκτη κετανίου, μα βάση τις πρότυπες μεθόδους ASTM D 976 και ASTM D 4737. Οι σχέσεις που εφαρμόζονται είναι:

$CCI = 454{,}74 - 1641{,}416 \cdot D + 774{,}74 \cdot D^2 - 0{,}554 \cdot T_{50} + 97{,}803 \cdot (\log T_{50})^2$ (D 976)

$$CCI = 45{,}2 + 0{,}0892 \cdot (T_{10} - 215) + 0{,}131 \cdot (T_{50} - 260) + 0{,}00049 \cdot (T_{90} - 310) + 0{,}901 \cdot B \cdot (T_{50} - 260) - 0{,}420 \cdot B \cdot (T_{90} - 310) + 0{,}00049 \cdot (T_{10} - 215)^2 - 0{,}00049 \cdot (T_{90} - 310)^2 + 107{,}0 \cdot B + 60{,}0 \cdot B^2 \quad \text{(D 4737)}$$

όπου $B = \exp[-3.5 \cdot (D - 0{,}85)] - 1$

D = Πυκνότητα (g/ml, 15°C)

T_i = θερμοκρασία ανάκτησης (°C) (i=10%, 50%, 90%)

Η μέθοδος ASTM D 4737 είναι πιο πρόσφατη και δίνει καλύτερη προσέγγιση του αριθμού κετανίου σε σχέση με την ASTM D 976.

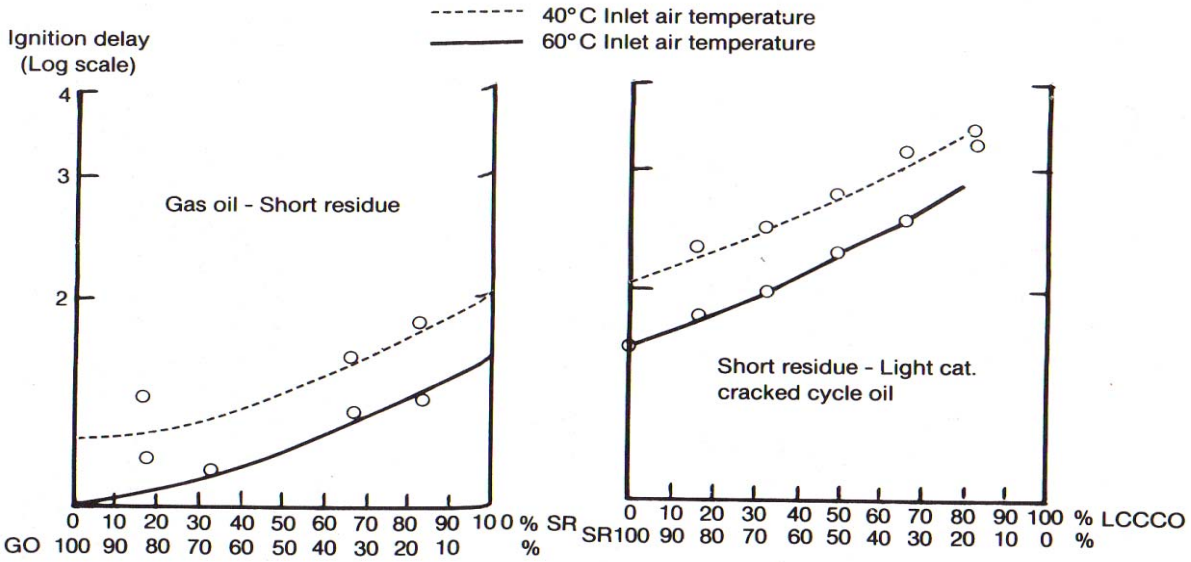
Ο δείκτης κετανίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τον αριθμό κετανίου για την εύρεση υπερβολικής ποσότητας βελτιωτικού αριθμού κετανίου ώστε το καύσιμο να πληροί τις όποιες προδιαγραφές μπορεί να τεθούν.

Δείκτης Αρωματικότητας CCAI (Calculated Carbon Aromaticity Index)

Η σημασία ποιότητας ανάφλεξης (Ignition Quality) στα ναυτιλιακά καύσιμα (Marine Fuel Oils) γίνεται όλο και πιο σημαντική λόγω των αυξημένων περιστατικών του φαινομένου «κτυπήματος» στους κινητήρες (Engine Knocking) και των εξαιρετικά μεγάλων πιέσεων καύσης που εμφανίζονται σε εκτεταμένο εύρος του φορτίου των κινητήρων για ορισμένα καύσιμα. Η σημασία της ποιότητας ανάφλεξης πρωτοαναγνωρίστηκε σε συνέδριο που πραγματοποιήθηκε το 1982, τόσο από το Βρετανικό Ινστιτούτο Πιστοποίησης ναυτιλιακών καυσίμων (BS MA 100 – British Standard Institution Marine Series 100) όσο και από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Πιστοποίησης (ISO – International Organization for Standardization). Στις προτάσεις που κατέθεσαν για τον καθορισμό προτύπων και ορίων για τα ναυτιλιακά καύσιμα χωρίς όμως τότε να ορίσουν και συγκεκριμένο τρόπο καθορισμού ή μέτρησης της ποιότητας ανάφλεξης των υπολειμματικών καυσίμων που στο πλήθος τους αποτελούσαν τα ναυτιλιακά καύσιμα μετά τις δύο πετρελαϊκές κρίσεις στην δεκαετία του ‘70 (1973 – 1979).

Μια πρώτη προσεγγιστική εκτίμηση της ποιότητας ανάφλεξης ήταν η μέτρηση του αριθμού κετανίου αποσταγμένου δείγματος καυσίμου και ορισμός της τιμής αυτής για όλη την ποσότητα του καυσίμου. Όμως η προσέγγιση αυτή ήταν ανεπαρκής στο να δείξει ικανοποιητική σύνδεση μεταξύ του αποσταγμένου δείγματος του καυσίμου και της ποιότητας ανάφλεξης σε σημαντικό βαθμό.

Στο Σχήμα 2 φαίνεται η επίδραση που υπάρχει μεταξύ της ανάμειξης καυσίμων και της καθυστέρησης ανάφλεξης.



Σχήμα 2 - Η επίδραση της ανάμειξης καυσίμων στην καθυστέρηση ανάφλεξης

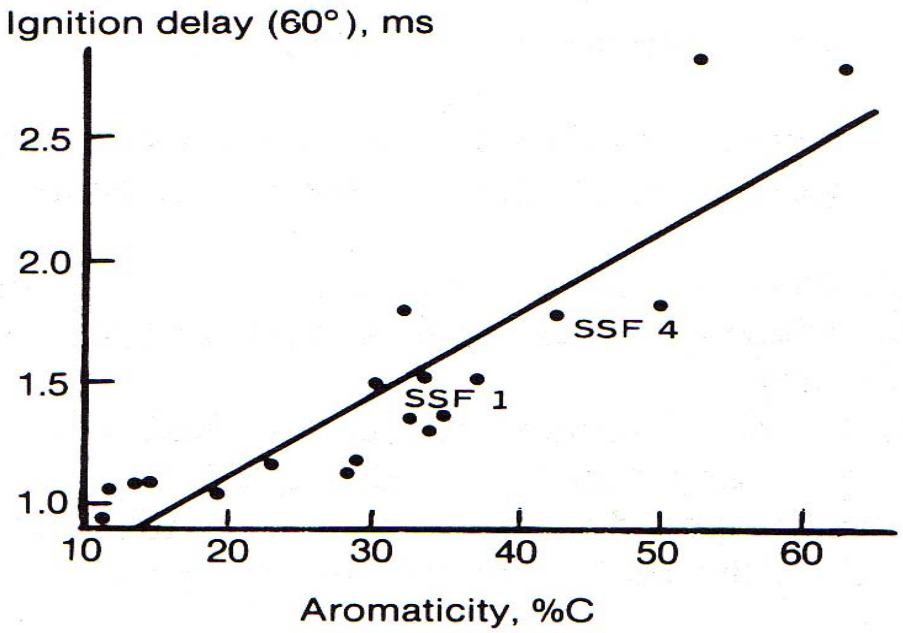
Θα πρέπει να σημειωθεί πώς το ατμοσφαιρικό gasoil μειώνει την καθυστέρηση ανάφλεξης, βελτιώνει την ποιότητα ανάφλεξης ενός μείγματος ενώ αντίθετα το καύσιμο που προέρχεται από καταλυτική πυρόλυση (light catalytic cracked cycle oil) παρουσιάζει αύξηση στην καθυστέρηση ανάφλεξης.

Από εργαστηριακή έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 1983 από την εταιρεία πετρελαιοειδών Shell βρέθηκε ότι η καθυστέρηση ανάφλεξης (Ignition Delay) στα ναυτιλιακά

καύσιμα (MFO) σχετίζεται στενά με την αρωματικότητα των καυσίμων αυτών που εκφράζεται ως αρωματικότητα άνθρακα (πρόκειται για το επί της εκατό ποσοστό ατόμων άνθρακα που είναι ενσωματωμένα σε αρωματικούς δακτύλιους).

Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες αυξάνουν την καθυστέρηση ανάφλεξης επειδή εμφανίζουν ιδιαίτερα αυξημένη θερμική σταθερότητα στην αέρια φάση. Αυξημένη καθυστέρηση ανάφλεξης μπορεί να σημαίνει προβληματική καύση και απρόβλεπτη μεταβολή της πίεσης στον θάλαμο καύσης μετά την επίτευξη της ανάφλεξης.

Στο Σχήμα 3 δείχνεται η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην καθυστέρηση ανάφλεξης και την αρωματικότητα για διάφορα ναυτιλιακά καύσιμα.



Σχήμα 3 - Σχέση μεταξύ καθυστέρησης ανάφλεξης και αρωματικότητας

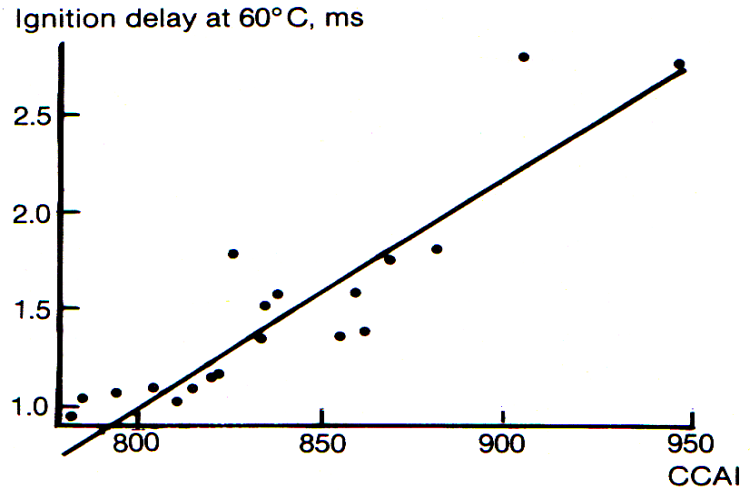
Η σχέση ανάμεσα στην καθυστέρηση ανάφλεξης και την αρωματικότητα των καυσίμων είναι ελαφρώς πρακτική στις καθημερινές εργασίες και αυτό οφείλεται στο γεγονός πως για την ακριβή μέτρηση της αρωματικότητας των καυσίμων απαιτείται η χρήση εξειδικευμένου εργαστηριακού εξοπλισμού (χρωματογράφο) από έμπειρο προσωπικό.

Για αυτό και έγινε μια προσπάθεια στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε από την Shell να υπάρξει ένας συσχετισμός της αρωματικότητας των καυσίμων με αξιόπιστες διαθέσιμες ιδιότητες τους. Έτσι βρέθηκε μια πολύ καλή συσχέτιση της αρωματικότητας των καυσίμων και μιας συνάρτησης της πυκνότητας και του ιξώδες τους. Η συνάρτηση αυτή ονομάζεται Υπολογιστικός Δείκτης Αρωματικότητας Άνθρακα (CCAI – Calculated Carbon Aromaticity Index) και η σχέση που προτάθηκε από την Shell το 1983 είναι:

$$CCAI = d - 80{,}6 - 140{,}6 \cdot \log\log(v+0{,}85) - 483 \cdot \log(T/323)$$

όπου d : πυκνότητα (kg/m^3) στους 15°C
v : κινηματικό ιξώδες (cSt) στους 15°C
T : Θερμοκρασία μέτρησης του κινηματικού ιξώδους (K)

Η σχέση ανάμεσα σε CCAI και καθυστέρηση ανάφλεξης φαίνεται στο Σχήμα 4, όπως καθορίστηκε κατά την διεξαγωγή της έρευνας με την χρήση εργαστηριακής μηχανής.



Σχήμα 4 - Σχέση μεταξύ καθυστέρησης ανάφλεξης και CCAI

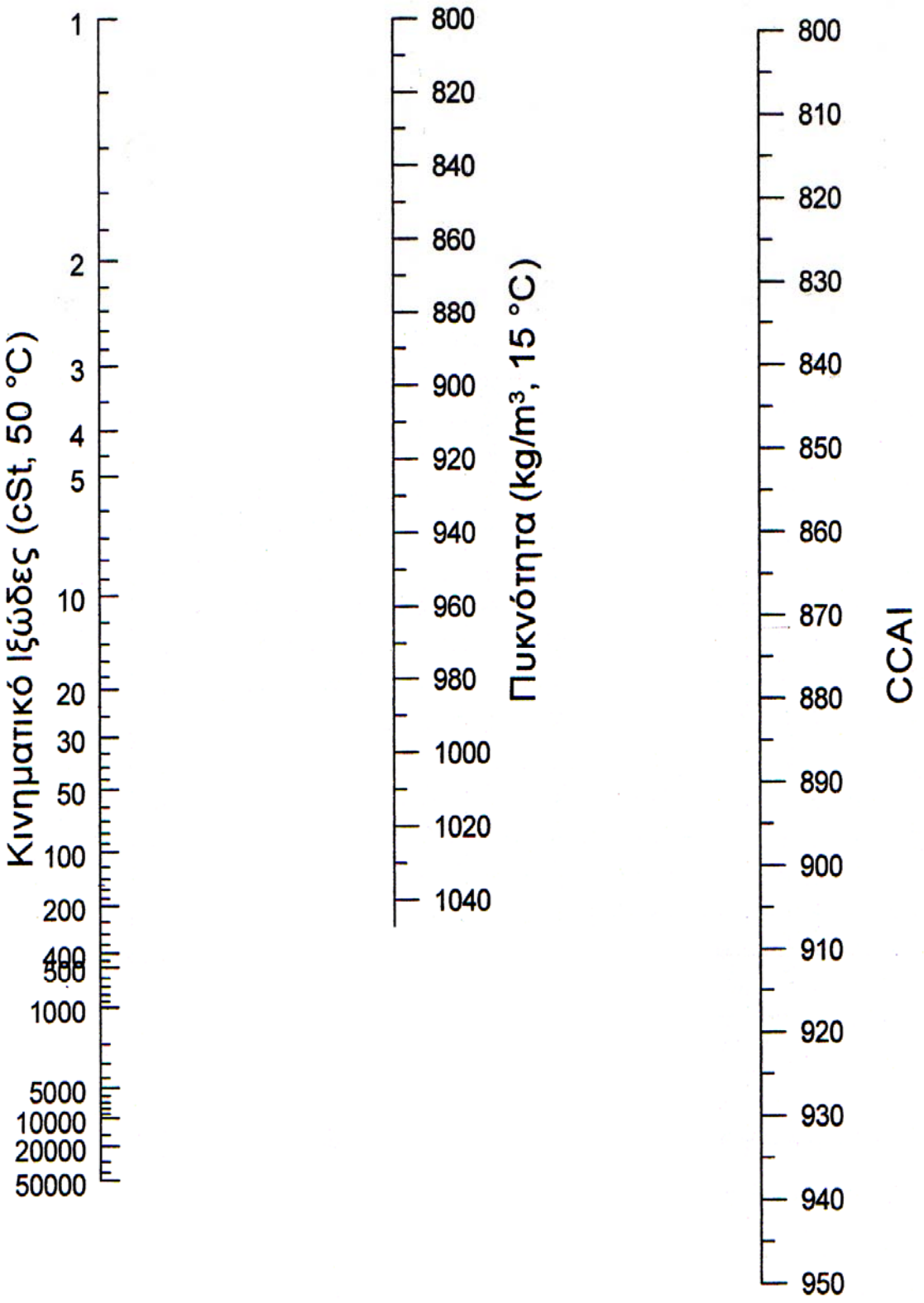
Ο δείκτης αρωματικότητας επιτρέπει την κατάταξη των ναυτιλιακών καυσίμων με σεβασμό στην διαδικασία της ανάφλεξης χρησιμοποιώντας ιδιότητες των καυσίμων οι οποίες μπορούν εύκολα να προσδιοριστούν: πυκνότητα και ιξώδες. Υψηλή τιμή του CCAI υποδηλώνει χαμηλής ποιότητας ανάφλεξη, Η κατάταξη των ναυτιλιακών καυσίμων με βάση των δείκτη αρωματικότητας τους έχει ως εξής:

Τιμή CCAI	Ποιότητα Ανάφλεξης
790 - 830	Πολύ Καλή έως καλή
830 – 850	Καλή ως Ικανοποιητική
850 – 870	Μέτρια ως Κακή
870 – 950	Κακή ως Μη Αποδεκτή

Καύσιμα τα οποία τείνουν να εμφανίσουν προβλήματα ανάφλεξης είναι εκείνα τα οποία παρουσιάζουν υψηλή πυκνότητα και χαμηλό ιξώδες.

Ο CCAI αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο τόσο για τους κατασκευαστές ναυτικών κινητήρων όσο για τους χειριστές επί των πλοίων και τους προμηθευτές καυσίμων. Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο δείκτης αρωματικότητας δίνει απλά μια ένδειξη της ποιότητας ανάφλεξης και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως απόλυτα αξιόπιστη μέθοδος για τον χαρακτηρισμό ενός καυσίμου γενικά.

Στο Σχήμα 5 δείχνεται το νομογράφημα υπολογισμού του δείκτη αρωματικότητας (CCAI).



Σχήμα 5 - Νομογράφημα υπολογισμού δείκτη αρωματικότητας CCAI)

Πειραματικό Μέρος

Κατά την διεξαγωγή της συγκεκριμένης εργασίας πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις σε συνολικά 58 δείγματα. Τα τέσσερα από αυτά ήταν τα βασικά καύσιμα(M.D.O., V.B.G.O.,H.G.O., L.C.O.) και πενήντατέσσερα ήταν μείγματα των βασικών καυσίμων σε έξι διαφορετικές αναλογίες. Σε κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν οι εξής μετρήσεις σύμφωνα με πρότυπες μεθόδους όπως αυτές καθορίζονται από την ASTM.

- Πρότυπη μέθοδος για την απόσταξη προϊόντων πετρελαίου σε ατμοσφαιρική πίεση (ASTM D 86)
- Πρότυπη μέθοδος μέτρηση δυναμικού ιξώδους και πυκνότητας με το ιξωδόμετρο της Stabinger και υπολογισμός του κινηματικού ιξώδους (ASTM D 7042)
- Πρότυπη μέθοδος για τον υπολογισμό το δείκτη κετανίου σε αποσταγμένα καύσιμα (ASTM D 976 και ASTM D 4737)
- Προσδιορισμός περιεκτικότητας αρωματικών υδρογονανθράκων σε μέσα αποστάγματα πετρελαίου. Μέθοδος υγρής χρωματογραφίας υψηλής πίεσης με ανιχνευτή δείκτη διάθλασης (IP 391).
- Προσδιορισμός θείου με την μέθοδο του φθορισμού ακτινών Χ

Αναλυτικότερα για την κάθε μια από τις παραπάνω μεθόδους θα αναφέρουμε τον σκοπό, περιγραφή της διαδικασίας, περιγραφή της χρησιμοποιούμενης συσκευής καθώς και την διαδικασία προετοιμασίας του δείγματος που πραγματοποιήθηκε σε κάθε περίπτωση.

Πρότυπη μέθοδος για την απόσταξη προϊόντων πετρελαίου σε ατμοσφαιρική πίεση (ASTM D 86)

Σκοπός

Η συγκεκριμένη μέθοδος καλύπτει την απόσταξη προϊόντων πετρελαίου με την χρήση εργαστηριακής συσκευής απόσταξης για τον ποσοτικό προσδιορισμό του εύρους των χαρακτηριστικών βρασμού σε ελαφριά ή μεσαίου τύπου αποστάγματα όπως είναι τα καύσιμα κίνησης για κινητήρες με σπινθηριστή (βενζίνες), ναυτιλιακά καύσιμα, αεροπορικά καύσιμα, καύσιμα αεριοστρόβιλων, ντήζελ, καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, ειδικά πετρελαιοειδή προϊόντα, αλκοολούχα διαλύματα, κηροζίνες, καύσιμα καυστήρων $1^{ης}$ και $2^{ης}$ κατηγορίας.

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι σχεδιασμένη για την ανάλυση αποσταγμένων καυσίμων και δεν μπορεί να εφαρμοστεί προϊόντα τα οποία περιέχουν σημαντικές ποσότητες υπολείμματος.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να διεξαχθεί χειροκίνητα με την παρουσία χρήστη ο οποίος και παίζει σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα που θα εξαχθούν αλλά και με αυτοματοποιημένη συσκευή στην οποία η όλη διαδικασία πραγματοποιείται μηχανικά. Στην συγκεκριμένη εργασία το σύνολο των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε χειροκίνητα.

Ορολογία

Για να γίνει κατανοητή η όλη διαδικασία τόσο ως προς τον τρόπο διεξαγωγής της όσο και ως προς τα εξαχθέντα αποτελέσματα και το νόημα τους είναι χρήσιμο να δώσουμε τους ορισμούς κάποιων από τους χρησιμοποιούμενους όρους. Έτσι λοιπόν έχουμε:

Όγκος πληρώσεως (Charge Volume): ο όγκος του δείγματος με το οποίο γεμίζεται ο κλασματήρας σε θερμοκρασία όχι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Αποσύνθεση (Decomposition): η πυρόλυση ή το σπάσιμο ενός μορίου υδρογονάνθρακα σε επιμέρους μικρότερα μόρια τα οποία παρουσιάζουν κατ' αντιστοιχία χαμηλότερα σημεία βρασμού σε σχέση με το σημείο βρασμού του αρχικού μορίου. Χαρακτηριστικές ενδείξεις της θερμικής αποσύνθεσης είναι η ανάπτυξη αναθυμιάσεων και ασυνήθιστων θερμοκρασιών οι οποίες εμφανίζονται μετά από κάθε προσπάθεια ρύθμισης της θέρμανσης του δείγματος κατά την διεξαγωγή της απόσταξης.

Σημείο Αποσύνθεσης (Decomposition Point): πρόκειται για την θερμοκρασία στην οποία εμφανίζονται και παρατηρούμε τις πρώτες ενδείξεις θερμικής αποσύνθεσης του υγρού δείγματος μέσα στον κλασματήρα. Θα πρέπει να σημειωθεί πως το συγκεκριμένο σημείο αποσύνθεσης όπως ορίζεται στην συγκεκριμένη μέθοδο δεν συμπίπτει εν γένει με το σημείο αποσύνθεσης και για άλλες μεθόδους, ο εδώ ορισμός του αφορά στην συγκεκριμένη μέθοδο και μόνο.

Σημείο ξηρού (Dry Point): η διορθωμένη θερμοκρασία την στιγμή που η τελευταία σταγόνα εξατμίζεται από το κατώτερο σημείο του κλασματήρα.

Μια διαφοροποίηση του σημείου ξηρού βρασμού (Dry Point) είναι το *τελικό σημείο βρασμού (Final Boiling Point)* το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εργασία και γενικότερα χρήζει ευρύτερης εφαρμογής από το σημείο ξηρού.

Το τελικό σημείο βρασμού στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιείται αντί του ξηρού σημείου λόγω του ότι δεν μπορεί να υπάρξει επαρκώς ακριβής τρόπος προσδιορισμού του ξηρού σημείου με τέτοιο επίπεδο ακρίβειας που να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις της συγκεκριμένη πρότυπης μεθόδου.

Αρχικό Σημείο Βρασμού (Initial Boiling Point): Η θερμοκρασία που καταγράφουμε ακριβώς τη στιγμή που πέφτει η πρώτη σταγόνα συμπυκνώματος στον υποδοχέα.

Τελικό Σημείο ή Τελικό Σημείο Βρασμού (End Point or End Boiling Point – EBP): Είναι η μέγιστη θερμοκρασία που καταγράφουμε κατά την διεξαγωγή της απόσταξης, η θερμοκρασία στην οποία αντιστοιχεί το μεγαλύτερης ποσοστό ανακτήσεως δείγματος.

Δυναμική Κατακράτηση (Dynamic Holdup): πρόκειται για την ποσότητα δείγματος που παραμένει στον λαιμό του κλασματήρα στην πλευρά του βραχίονα στήριξης και στον αυλό συμπύκνωσης κατά την διεξαγωγή της απόσταξης.

Μετωπική Απώλεια (Front End Loss): Πρόκειται για τις απώλειες που έχουμε κατά την μετάγγιση του δείγματος από τον ογκομετρικό κύλινδρο (υποδοχέα) στον κλασματήρα απόσταξης, τις απώλειες που παρουσιάζονται κατά την διάρκεια της απόσταξης λόγω διαρροών και τις απώλειες λόγω μη συμπυκνωμένων ατμών στον κλασματήρα.

Επί Τοις Εκατό Ποσοστό εξατμίσεως (Percent Evaporated): Το άθροισμα του ποσοστού που ανακτήθηκε και του αντίστοιχου ποσοστού απωλειών.

Επί τοις Εκατό Ποσοστό Απωλειών ή Παρατηρούμενες απώλειες (Percent Loss or Observed Loss): Εκατό μείον το ποσοστό ανάκτησης του δείγματος.

Ποσοστό Ανάκτησης (Percent Recovered): Ο όγκος του συμπυκνώματος που έχει συλλεχθεί στον κυλινδρικό ογκομετρικό σωλήνα (υποδοχέα) εκφρασμένος σε επί τοις εκατό ποσοστό του όγκου πληρώσεως (Charge Volume) συσχετιζόμενο με την αντίστοιχη καταγεγραμμένη θερμοκρασία.

Επί Τοις Εκατό Ποσοστό Υπολείμματος (Percent Residue): Ο όγκος υπολείμματος στον κλασματήρα. Για την μέτρηση του όγκου αυτού ψύχουμε επαρκώς τον κλασματήρα και στην συνέχεια τον αποσυνδέουμε από τον συμπυκνωτή. Το περιεχόμενο του κλασματήρα αδειάζεται σε ένα βαθμονομημένο ογκομετρικό σωλήνα των 5 ml. Ο κλασματήρας στερεώνεται πάνω από τον ογκομετρικό αυτό σωλήνα και αφήνεται να αδειάσει μέχρις ότου να μην παρατηρείται πλέον σημαντική μεταβολή στην στάθμη του συγκεντρωμένου υγρού εντός του ογκομετρικού σωλήνα. Η ένδειξη στην οποία τελικώς καταλήγουμε στον ογκομετρικό σωλήνα, με απόκλιση της τάξεως του 0,1 ml την καταγράφουμε ως υπόλειμμα δείγματος.

Το *όργανο μέτρησης θερμοκρασίας (Temperature measurement device)* που χρησιμοποιήθηκε κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων ήταν γυάλινο υδραργυρικό θερμόμετρο με αδρανές αέριο βαθμονομημένο στο στέλεχος του και θερμοκρασιακό εύρος 0 - 400 °C . Το συγκεκριμένο θερμόμετρο πληρεί τις προδιαγραφές των πρότυπων μεθόδων ανάλυσης Ε1 και IP, δοκιμών πετρελαιοειδών και συναφών προϊόντων όπως ορίζεται από την ASTM.

Σε ότι αφορά την ανάγνωση της θερμοκρασίας από το μετρητικό όργανο η θερμοκρασία αυτή είναι η θερμοκρασία του κεκορεσμένου ατμού του δείγματος στο λαιμό του κλασματήρα κάτω από τον σωλήνα ατμών όπως καθορίζεται από την μέθοδο.

Περίληψη

Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στην σύνθεση του δείγματος την πίεση ατμοποιήσεως του και τον προσδιορισμό του εσωτερικού ή τελικού σημείου βρασμού ή συνδυασμό και των δύο.

Η απόσταξη διεξάγεται σε μια εργαστηριακή συσκευή απόσταξης σε ατμοσφαιρική πίεση και με βάση τις προδιαγραφόμενες συνθήκες που παρέχουν μια θεωρητική βαθμίδα κλασμάτωσης. Οι συστηματικές παρατηρήσεις και ο τρόπος καταγραφής θερμοκρασιών καθώς και οι αντίστοιχοι όγκοι ανακτώμενου δείγματος εξαρτώνται από τις ανάγκες του χρήστης της συσκευής και το πλήθος πληροφοριών που θέλει να συγκεντρώσει. Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν καταγράφηκαν θερμοκρασίες για ποσοστά ανάκτησης: 0% (Αρχικό Σημείο Βρασμού), 5%,10%,20%,30%,40%,50%,60%,65%,70%,80%,85%,90%, 95% (Τελικό Σημείο Βρασμού). Επίσης καταγράφηκαν σύμφωνα με την μέθοδο ο όγκος υπολείμματος και το αντίστοιχο ποσοστό απωλειών.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου για το πλήθος των μειγμάτων στα οποία εφαρμόστηκε εκφράζονται ως επί τοις εκατό ποσοστό εξάτμισης ή ανάκτησης κατ' αντιστοιχία των θερμοκρασιών για κάθε ποσοστό σε ένα πίνακα και γραφικά ως η καμπύλη απόσταξης όπως φαίνεται στα διαγράμματα των επόμενων σελίδων (Διαγράμματα 4-13).

Σημασία Και Χρήση Της Μεθόδου

Αξίζει να αναφερθεί πώς η βασική μέθοδος προσδιορισμού του εύρους των χαρακτηριστικών βρασμού ενός προϊόντος πετρελαίου με την διεξαγωγή απόσταξης είναι από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία πετρελαιοειδών από τότε που υπάρχει. Πρόκειται για μια από τις παλαιότερες μεθόδους που βρίσκεται κάτω από την δικαιοδοσία της επιτροπής DO2 της ASTM και χρονολογείται από τότε που ακόμα αναφερόταν ως απόσταξη του Engler.

Τα χαρακτηριστικά απόσταξης (χαρακτηριστικά πτητικότητας) των υδρογονανθράκων έχουν σημαντική επίδραση στην ασφάλεια και προετοιμασία ιδιαίτερα για τις περιπτώσεις διαλυτών και καυσίμων. Το εύρος βρασμού τους δίνει πληροφορίες σχετικά με την σύσταση, τις ιδιότητες, την συμπεριφορά του κατά την αποθήκευση και την χρήση τους. Η πτητικότητα είναι ο κύριος παράγοντας της τάση ενός μείγματος υδρογονανθράκων να παράγουν εκρηκτικούς ατμούς.

Τα χαρακτηριστικά απόσταξης των καυσίμων, ναυτιλιακών καυσίμων, καυσίμων αυτοκίνητων και αεροπορικών καυσίμων είναι κρίσιμης σημασίας αφού επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την εκκίνηση, προθέρμανση και τάση ατμόφραξης σε υψηλά επίπεδα λειτουργίας, μεγάλα υψόμετρα ή συνδυασμό και των δύο. Η ύπαρξη συστατικών με υψηλό σημείο βρασμού στα καύσιμα μπορεί σε σημαντικό βαθμό να επηρεάσει το επίπεδο σχηματισμού στερεών σωματιδίων καύσης.

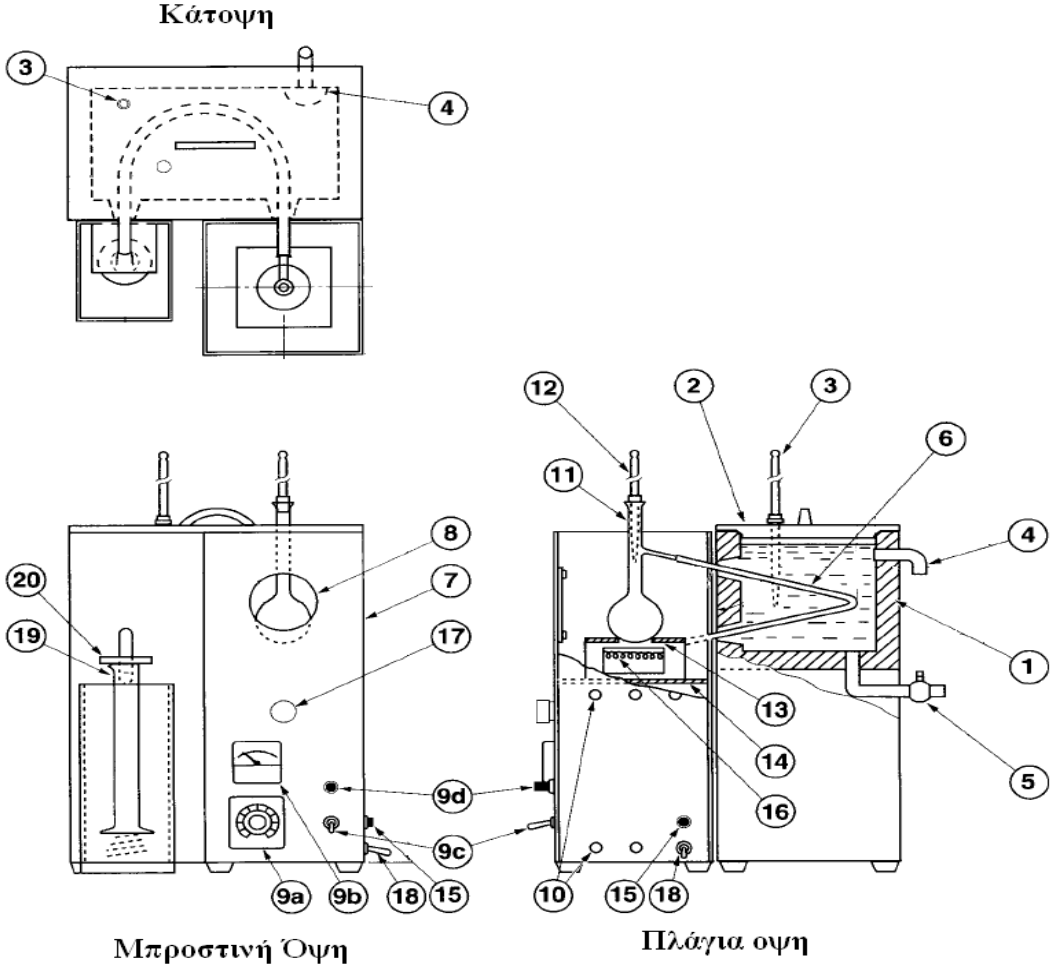
Τα όρια απόσταξης συχνά περιλαμβάνονται στις προδιαγραφές πετρελαιοειδών προϊόντων, σε συμβόλαια συμφωνιών, διαδικασίες διύλισης, εφαρμογές ελέγχου και συμφωνίας με βάση ρυθμιστικούς κανονισμούς.

Συσκευή

Τα βασικά μέρη της συσκευής[12] απόσταξης που χρησιμοποιήθηκε κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι:

- Κλασματήρας απόσταξης
- Συμπυκνωτής και το αντίστοιχο λουτρό ψύξης
- Μεταλλικό περίβλημα για τον κλασματήρα απόσταξης
- Πηγή θέρμανσης (ηλεκτρική)
- Θερμόμετρο
- Ογκομετρικός κυλινδρικός σωλήνας συλλογής αποστάγματος (υποδοχέας)

Στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 6) φαίνονται όλα τα τμήματα-εξαρτήματα της συσκευής που χρησιμοποιήθηκε.



Σχήμα 6-Πλήρης Διάταξη και των τριών όψεων της μηχανής απόσταξης

[12] Η συσκευή απόσταξης που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρίας Stanhope Seta και πληρεί τις προϋποθέσεις της πρότυπης μεθόδου.

1.Λουτρό Συμπυκνώματος
2.Κάλυμα Λουτρού
3.Θερμόμετρο Λουτρού
4.Υπερχείλιση Λουτρού
5.Κρουνός Εκκένωσης Λουτρού
6.Αυλός Συμπυκνωτή
7.Προστατευτικό Περίβλημα
8.Παράθυρο Παρακολούθησης
9a.Ρυθμιστής Τάσης Ρεύματος
9b.Βολτόμετρο
9c.Διακόπτης Συσκευής
9d.Ενδεικτική Λυχνία Λειτουργιάς
10.Οπές Εξαερισμού
11.Κλασματήρας Απόσταξης
12.Θερμόμετρο Ατμών Αποστάγματος
13.Στήριγμα Φλάσκας Στην Βάση Της
14.Πλατφόρμα Στηρίξεως Φλάσκας
15.Σύνδεση Γείωσης
16.Ηλεκτρική Αντίσταση Θέρμανσης Δείγματος
17.Ρυθμιστής Κατακόρυφης Θέσης Στηρίγματος Φλάσκας
18.Καλώδιο Παροχής Ρεύματος
19.Ογκομετρικός Κύλινδρος Συγκέντρωσης Αποστάγματος
20.Κάλυμα Συλλέκτη

Δειγματοληψία, Αποθήκευση Και Αερισμός Δειγμάτων

Η συλλογή όλων των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και το καθένα από τα δείγμα τοποθετήθηκαν σε δοχεία τα οποία κλείνανε αεροστεγώς όπως άλλωστε ορίζεται από την από την πρότυπη μέθοδο.

Η αποθήκευση των δειγμάτων λόγω του ότι όλες οι μετρήσεις δεν πραγματοποιήθηκαν σε μια μέρα αλλά σε ένα χρονικό διάστημα 4 μηνών συνολικά γινόταν σε χώρο κλειστό μακριά από πηγές θερμότητας και την ηλιακή ακτινοβολία.

Η παρασκευή των δειγμάτων σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται στην πρότυπη μέθοδο γινόταν σε θερμοκρασία ίση ή μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος.

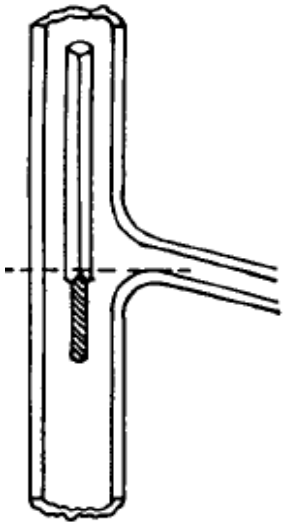
Διεξαγωγή της Μέτρησης

Το πρώτο που κάνουμε πριν ξεκινήσουμε το οτιδήποτε είναι να εξετάσουμε αν η θερμοκρασία των δειγμάτων είναι ανάλογη του περιβάλλοντος. Στην συνέχεια προκειμένου να προετοιμάσουμε το μείγμα που θέλουμε να αποστάξουμε ρίχνουμε στον κυλινδρικό ογκομετρικό σωλήνα (υποδοχέα) τις αντίστοιχες ποσότητες από τα καύσιμα βάσεως που θέλουμε έτσι ώστε να παρασκευάσουμε το μείγμα με την επιθυμητή σύνθεση. Η συνολική ποσότητα του παρασκευαζόμενου μείγματος-δείγματος δεν θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να ξεπέρνα σε όγκο τα 100 ml.

Έχοντας ετοιμάσει το δείγμα που θέλουμε να αποστάξουμε μεταγγίζουμε την αντίστοιχη ποσότητα από τον ογκομετρικό σωλήνα στον κλασματήρα, κατά την μετάγγιση δίνεται μεγάλη προσοχή έτσι ώστε να μην διαφύγει ποσότητα του δείγματος στον αγωγό ατμών.

Το επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση του μετρητικού οργάνου θερμοκρασίας, που στην περίπτωση μας όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω είναι γυάλινο υδραργυρικό θερμόμετρο το οποίο τοποθετείται έτσι ώστε οι βολβός να βρίσκεται στο κέντρο του λαιμού του κλασματήρα και το κατώτερο ακραίο σημείο του τριχοειδούς να είναι στο ίδιο επίπεδο με το εσωτερικό τοίχωμα του αυλού ατμών όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 7). Θα πρέπει να σημειωθεί πως η στεγανοποίηση μεταξύ θερμομέτρου και κλασματήρα γίνεται με την χρήση κατάλληλα διαμορφωμένου φελλού για τον περιορισμό των απωλειών.

Στην συνέχεια τοποθετούμε τον αυλό ατμών του κλασματήρα, χρησιμοποιώντας και εδώ για στεγανοποίηση φελλό, εσωτερικά στον αυλό του συμπυκνωτή κατά τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής στεγανότητα. Τοποθετούμε τον κλασματήρα κατά τρόπο τέτοιο ώστε αυτός και το θερμόμετρο να είναι σε κατακόρυφη θέση. Εν συνεχεία ανυψώνουμε και ρυθμίζουμε το στήριγμα του κλασματήρα στην βάση του έτσι ώστε να έχουμε άνετη εφαρμογή του κλασματήρα και της πλατφόρμας στήριξης του. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι αποφεύγεται η υπερβολική ανύψωση της βάσης του κλασματήρα γιατί οδηγεί σε θραύση του λαιμού του.



Σχήμα 7-Τοποθέτηση Θερμομέτρου στον κλασματήρα

Ο ογκομετρικός κυλινδρικός σωλήνας που αρχικά χρησιμοποιήθηκε στην παρασκευή του δείγματος τοποθετείται χωρίς να σκουπιστεί από τυχόν κατάλοιπα του δείγματος, πριν την απόσταξη του, κάτω από το κατώτερο σημείο του αυλού συμπύκνωσης. Ο κυλινδρικός ογκομετρικό σωλήνας τοποθετείται έτσι ώστε το άκρο του αυλού συμπυκνώσεως να βρίσκεται στο κέντρο του ογκομετρικού σωλήνα και να εισέρχεται σε αυτόν για τουλάχιστον 25 mm αλλά όχι πιο κάτω από την ένδειξη των 100 ml.

Για να μειώσουμε το ποσοστό απωλειών εξάτμισης της απόσταξης καλύπτουμε το ανοικτό πάνω άκρο του ογκομετρικού σωλήνα με ένα διηθητικό χαρτί το οποίο διαμορφώνεται έτσι ώστε να εφαρμόζει άνετα στον αυλό συμπύκνωσης .

Ξεκινάμε την διαδικασία απόσταξης παρέχοντας θερμότητα στο δείγμα, ρυθμίζουμε την συσκευή έτσι ώστε ο χρόνος ανάμεσα στην έναρξη παροχής θερμότητας στο δείγμα και την στιγμή καταγραφής του αρχικού σημείου βρασμού του (Initial Boiling Point) να κυμαίνεται μεταξύ 60 έως 100 sec ανά 5 ml. Ομοίως ρυθμίζουμε την παρεχόμενη θερμότητα μεταξύ του εσωτερικού σημείου βρασμού και των ποσοστών ανάκτησης 5% και 10% ο χρόνος να κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα.

Συνεχίζοντας την απόσταξη του δείγματος και καθώς αυξάνει το ποσοστό ανάκτησης εξακολουθούμε να ρυθμίζουμε την παρεχόμενη θερμότητα έτσι ώστε ο ρυθμός ανάκτησης να διατηρείται στα 4-5 ml το λεπτό.

Θα πρέπει να αναφερθεί πως λόγω διαμόρφωσης του κλασματήρα και των συνθηκών κάτω από τις οποίες διεξάγεται η απόσταξη οι ατμοί και υγρό του δείγματος γύρω από το θερμόμετρο δεν βρίσκονται σε θερμοδυναμική ισορροπία και αυτό έχει ως συνέπεια ο ρυθμός απόσταξης να έχει σημαντική επίδραση στις καταγραφόμενες θερμοκρασίες. Για τον λόγο αυτό ο ρυθμός απόσταξης του δείγματος είναι σημαντικό να διατηρείται σταθερός σε όλη την διάρκεια της απόσταξης.

Προς το τέλος της απόσταξης παρατηρούμε με προσοχή το θερμόμετρο και καταγράφουμε την αντίστοιχη θερμοκρασία του τελικού σημείου βρασμού. Αφού καταγράψουμε την θερμοκρασία του τελικού σημείου βρασμού κλείνουμε την παροχή θερμότητας στο δείγμα και θέτουμε σε λειτουργία την διάταξη ψύξεως του κλασματήρα,

παράλληλα αφήνουμε το ογκομετρικό κυλινδρικό σωλήνα στην ίδια θέση ώστε να στραγγίσει όλη η ποσότητα του δείγματος που υπάρχει μέσα στον αυλό συμπύκνωσης.

Κατά ην διάρκεια του στραγγίσματος παρατηρούμε την στάθμη του αποστάγματος στον ογκομετρικό σωλήνα και καταγράφουμε τις αντίστοιχες τιμές που εμφανίζονται για 2 λεπτά μέχρι να δούμε ότι οι καταγραφόμενες τιμές συγκλίνουν ή συμπίπτουν σε μια.

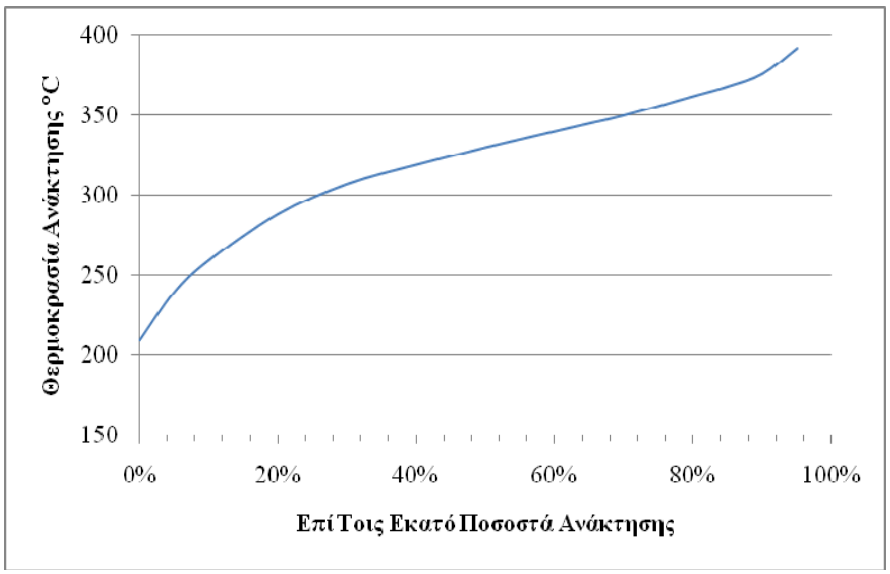
Τερματίζοντας την διαδικασία της απόσταξης καταγράφουμε τον όγκο αποστάγματος που τελικά έχει συλλέγει στον ογκομετρικό σωλήνα ως επί τοις εκατό ποσοστό ανάκτησης.

Έχοντας αφήσει τον κλασματήρα να ψυχθεί επαρκώς έτσι ώστε να μην παρατηρούνται πλέον ατμοί στο εσωτερικό του αποσυνδέουμε τον κλασματηρα από τον συμπυκνωτή και αδειάζουμε το περιεχόμενο του σε ένα ογκομετρικό σωλήνα 5 ml. Διατηρούμε τον κλασματήρα πάνω από τον ογκομετρικό σωλήνα μέχρις ότου να μην παρατηρείται μεταβολή στην στάθμη του όγκου του υγρού. Εν συνεχεία καταγράφουμε τον όγκο που υπάρχει εντός του κυλίνδρου με επιτρεπτή ακρίβεια ±0,1 ml ως υπόλειμμα απόσταξης του συγκεκριμένου δείγματος.

Για τις περιπτώσεις όπου ο όγκος υπολείμματος ξεπερνάει τα 5 ml πραγματοποιείται έλεγχος αν η παρεχόμενη θερμότητα κατά την διεξαγωγή της μεθόδου ήταν αφενός επαρκής αφετέρου σύμφωνη με τα όσα προδιαγράφονται από την μέθοδο. Στις περιπτώσεις όπου διαπιστώθηκαν αποκλίσεις επαναλήφθηκε η όλη διαδικασία της απόσταξης από την αρχή με μεγαλύτερη προσοχή ώστε να τηρηθούν όλες οι προϋποθέσεις.

Όλα τα παραπάνω για κάθε δείγμα συνοψίζονται σε πίνακα μορφής όπως φαίνεται παρακάτω και απεικονίζονται γραφικά με την αντίστοιχη καμπύλη απόσταξης.

Ποσοστά Ανάκτησης	Θερμοκρασίες
0%	209
5%	239
10%	259
20%	288
30%	307
40%	319
50%	330
60%	340
65%	345
70%	350
80%	362
85%	368
90%	376
95%	392
Ανάκτηση	98,0%
Υπόλειμα	1,2%
Απώλειες	0,8%



Διάγραμμα 1-Τυπική Καμπύλη Απόσταξης

Πρότυπη μέθοδος μέτρησης δυναμικού ιξώδους και πυκνότητας με το ιξωδόμετρο της Stabinger και υπολογισμός του κινηματικού ιξώδους (ASTM D 7042)

Σκοπός

Η συγκεκριμένη μέθοδος καθορίζει την διαδικασία για την παράλληλη μέτρηση του δυναμικού ιξώδες **η** και της πυκνότητας **ρ** υγρών προϊόντων πετρελαίου, ακατέργαστων πετρελαίων διαφανών και αδιάφανων.

Το κινηματικό ιξώδες **ν** μπορεί να προσδιοριστεί με την διαίρεση του δυναμικού ιξώδες **η** από την πυκνότητα **ρ** στην ίδια θερμοκρασία αναφοράς: $\nu = \frac{\eta}{\rho}$.

Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από την συγκεκριμένη μέθοδο εξαρτώνται από την συμπεριφορά του δείγματος για αυτό είναι προτιμότερο η μέθοδος αυτή να εφαρμόζεται σε υγρά στα οποία οι διατμητικές τάσεις είναι αναλογικές (Νευτωνική συμπεριφορά ροής).

Πριν από την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου το εύρος προσδιορισμού του ιξώδους για τα βασικά καύσιμα ήταν μεταξύ 2,05–456 mPa·s στην θερμοκρασία των 40°C και μεταξύ 0,83-31,6 mPa·s στην θερμοκρασία των 100 °C. Αντίστοιχα το εύρος προσδιορισμού της πυκνότητας ήταν στα 0,82-0,92 g/ml στην θερμοκρασία των 15 °C . Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα μεγαλύτερο εύρος υλικών, ιξώδους, πυκνότητας και θερμοκρασιών.

Οι τιμές που προκύπτουν από την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου αναφέρονται σε μονάδες του διεθνούς συστήματος και θα πρέπει να λαμβάνονται ως πρότυπες. Οι αποδεκτές μονάδες μέτρησης της πυκνότητας είναι g/ml ή kg/m^3.

Ορολογία

Ας δώσουμε τους ορισμούς των μετρούμενων ή υπολογίσιμων μεγεθών ώστε στην συνέχεια να είναι κατανοητή η όλη διαδικασία τόσο ως προς τον τρόπο διεξαγωγής της όσο και ως προς τα εξαχθέντα αποτελέσματα και το νόημα τους.

Δυναμικό Ιξώδες (Dynamic Viscosity): είναι η αναλογία μεταξύ των ασκούμενων διατμητικών δυνάμεων και του βαθμού διατμήσεως του υγρού. Συνήθως ο όρος δυναμικό ιξώδες καλείται συντελεστής δυναμικού ιξώδες ή απλά ιξώδες. Το ιξώδες είναι το μέτρο αντίστασης της ροής ή παραμόρφωσης του υγρού κάτω από την επίδραση διατμητικών δυνάμεων.

Κινηματικό Ιξώδες (Kinimatic Viscosity): Η αναλογία του δυναμικού ιξώδες στην πυκνότητα ενός υγρού.

Πυκνότητα (Density): Μάζα ανά μονάδα όγκου.

Περίληψη

Το δείγμα εισάγεται στις μετρητικές κυψέλες οι οποίες είναι αυστηρώς ελεγχόμενες και σε γνωστή θερμοκρασία. Οι μετρητικές αυτές κυψέλες αποτελούνται από ένα ζεύγος περιστρεφόμενων ομόκεντρων κυλίνδρων και έναν αιωρούμενο αυλό σχήματος U. Το δυναμικό ιξώδες προσδιορίζεται από την εξισορρόπηση της περιστροφικής ταχύτητας του εσωτερικού κυλίνδρου κάτω από την επίδραση των διατμητικών δυνάμεων του υπό εξέταση δείγματος, η περιστροφή του κυλίνδρου σταματάται με τον συνδυασμό εισαγωγής ενός ρεύματος δινών και της επιθυμητής τιμής μέτρησης δυναμικού ιξώδες. Η πυκνότητα προσδιορίζεται με βάση την συχνότητα ταλάντωσης του αυλού σχήματος U σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή ρύθμισης. Το δε κινηματικό ιξώδες υπολογίζεται όπως αναφέραμε από την διαίρεση του δυναμικού ιξώδες με την πυκνότητα.

Σημασία και Χρήση της Μεθόδου

Πολλά από τα πετρελαιοειδή αλλά και ορισμένα μη πετρελαιοειδή προϊόντα χρησιμοποιούνται ως λιπαντικά και η σωστή λειτουργία του εξοπλισμού στον οποίο χρησιμοποιούνται εξαρτάται από το σωστό ιξώδες του χρησιμοποιούμενου υγρού. Επιπλέον, το ιξώδες σε ορισμένα πετρελαιοειδή καύσιμα είναι σημαντικό για τον προσδιορισμό του βέλτιστου τρόπου αποθήκευσης και συνθηκών χρήσης. Για αυτό ο ακριβής καθορισμός του ιξώδους είναι ουσιώδης στις προδιαγραφές πολλών προϊόντων.

Το ιξώδες είναι μια βασική φυσική ιδιότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλες ιδιότητες για να χαρακτηρίσει τόσο τα ελαφριά όσο και τα βαριά κλάσματα του πετρελαίου.

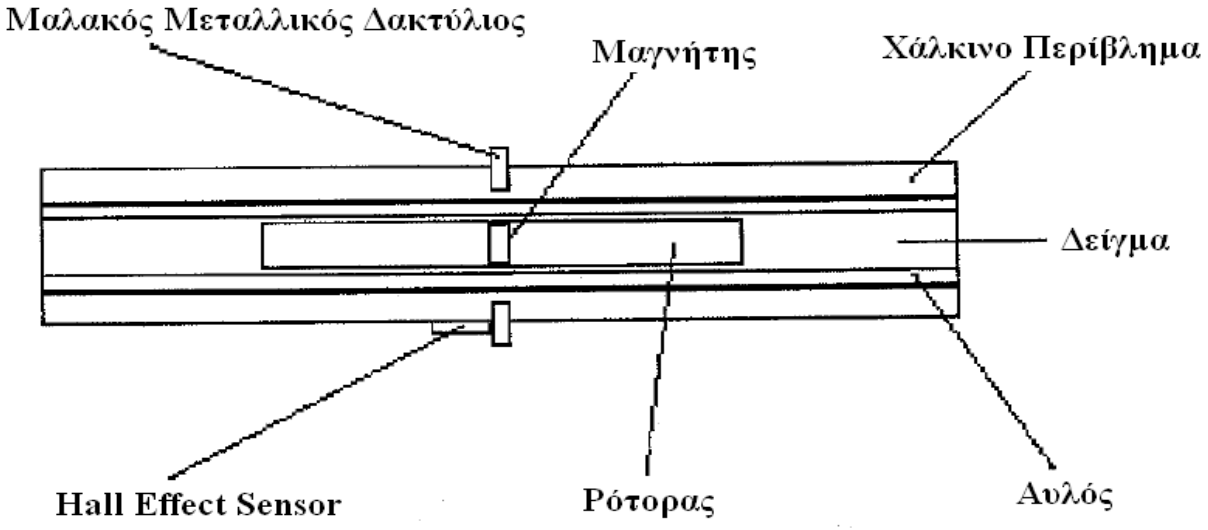
Ο καθορισμός της πυκνότητας και της σχετικής πυκνότητας ενός πετρελαιοειδούς προϊόντος είναι απαραίτητα για την τροποποίηση μετρούμενων όγκων στους αντίστοιχους όγκους για την πρότυπη θερμοκρασία των 15°C.

Συσκευή (Ιξωδόμετρο Stabinger SVM 300)

Μέτρηση του Ιξώδους: Το ιξωδόμετρο της Stabinger χρησιμοποιεί ένα περιστροφικό ομοαξονικό κυλινδρικό σύστημα μέτρησης. Ο εξωτερικός κύλινδρος (αυλός) κινείται από ένα κινητήρα με μια σταθερή και γνωστή περιστροφική ταχύτητα. Ο χαμηλού ιξώδους εσωτερικός κύλινδρος (ρότορας) συγκρατείται στον άξονα περιστροφής από τις φυγόκεντρες δυνάμεις του υψηλότερης πυκνότητας δείγματος και ή κατά το διάμηκες θέση του εξασφαλίζεται με την ύπαρξη ενός μαγνήτη και ενός δακτυλίου από μαλακό σίδηρο. Συνεπώς, η όλη διάταξη λειτουργεί χωρίς την χρήση εδράνων τριβής.

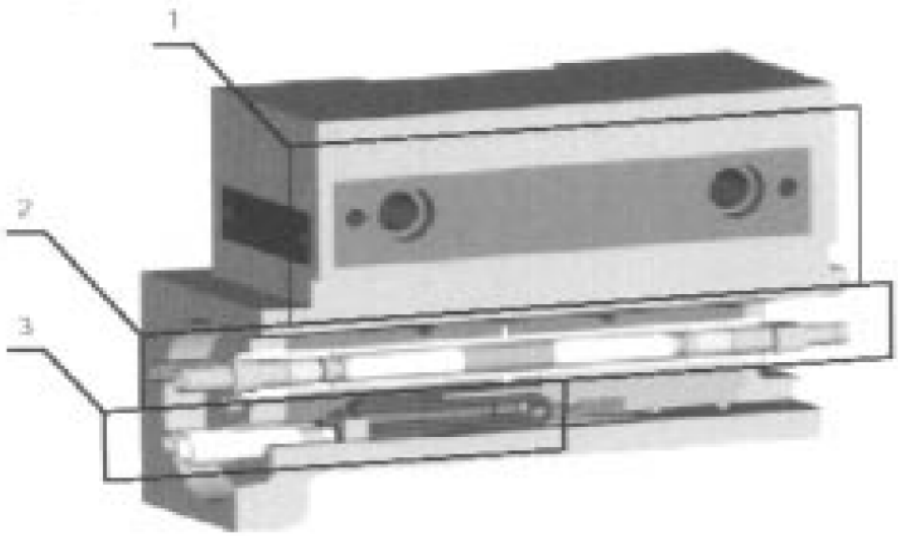
Ο μόνιμος μαγνήτης εισάγει ένα ρεύμα δινών στο χάλκινο περίβλημα. Η περιστροφική ταχύτητα του εσωτερικού κυλίνδρου αναπτύσσεται ως αποτέλεσμα της εξισορρόπησης ανάμεσα στην ασκούμενη, από τις εσωτερικές δυνάμεις, ροπή και την ροπή του επιβραδυντικού ρεύματος δινών. Αυτή η περιστροφική ταχύτητα μετράται από ένα ηλεκτρονικό σύστημα (Hall effect Sensor) το οποίο μετράει την συχνότητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.

Τα μέρη της κυψέλης προσδιορισμού του ιξώδους φαίνονται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8-Κυψέλη Μέτρησης του Ιξώδους

Μέτρηση Πυκνότητας: Ο ψηφιακός αναλυτής πυκνότητας χρησιμοποιεί έναν ταλαντούμενο αυλό σχήματος U στον οποίο εισάγεται το δείγμα και ένα σύστημα ηλεκτρονική διέγερσης και μέτρησης της συχνότητας.



Σχήμα 9-Συνολικό Μπλοκ Κυψελών Μέτρησης Δυναμικού Ιξώδους και Πυκνότητας

Έλεγχος θερμοκρασίας: Ένα χάλκινο μπλοκ περιβάλει τις μετρητικές κυψέλες κατά τέτοιο τρόπο ώστε και οι δύο κυψέλες να διατηρούνται στην ίδια θερμοκρασία. Ένα θερμοηλεκτρικό σύστημα θέρμανσης και ψύξης (Σχήμα 9 No.1) εξασφαλίζει την σταθερότητα θερμοκρασίας του χάλκινου περιβλήματος-μπλόκ στο οποίο περιέχονται οι δύο μετρητικές κυψέλες με απόκλιση από την επιθυμητή τιμή θερμοκρασίας ±0,005 °C σε όλο το εύρος των θερμοκρασιών. Η απόκλιση από την επιθυμητή θερμοκρασία δεν μπορεί να ξεπέρνα τους ±0,03 °C στο εύρος των θερμοκρασιών μεταξύ 15-100 °C. Η απόκλιση εκτός του συγκεκριμένου θερμοκρασιακού εύρους δεν μπορεί αν ξεπερνά τους ±0,05 °C.

Ο χρόνος θερμικής εξισορρόπησης εξαρτάται από την θερμοχωρητικότητα και την αγωγιμότητα του υγρού καθώς επίσης και από την διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στην θερμοκρασία εισαγωγής του δείγματος στις μετρητικές κυψέλες και την θερμοκρασία για την οποία επιθυμούμε μέτρηση του δυναμικού ιξώδες και της πυκνότητας. Η επαρκής θερμοκρασιακή εξισορρόπηση του δείγματος εξασφαλίζεται αυτόματα από την συσκευή όταν επιτευχθούν οι επιθυμητές τιμές ιξώδες με επιτρεπτή απόκλιση ±0,007 % για πάνω από ένα λεπτό.

Αντίστοιχα για την πυκνότητα θερμική εξισορρόπηση έχουμε όταν από το ιξωδόμετρο επιτυγχάνονται οι επιθυμητές τιμές και παραμένουν σταθερές με μια απόκλιση ±0,00003 gr/ml για χρόνο μεγαλύτερο του ενός λεπτού.

Δειγματοληψία

Το προς μέτρηση δείγμα λαμβάνεται σε θερμοκρασία και πίεση περιβάλλοντος, πριν από την εισαγωγή του στις κυψέλες του ιξωδόμετρου προκειμένου να εξασφαλίσουμε ομοιογένεια του το αναδεύουμε σε ένα δοχείο. Στην συνέχεια με την χρήση σύριγγας εμπορικού τύπου της οποίας το υλικό κατασκευής να είναι συμβατό με το δείγμα εισάγουμε το δείγμα μέσω της ειδικά διαμορφωμένης οπής του ιξωδόμετρου στις μετρητικές κυψέλες.

Διεξαγωγή της Μέτρησης

Αρχικά θέτουμε το ιξωδόμετρο στην επιθυμητή θερμοκρασία για την οποία θα πραγματοποιήσουμε τις αντίστοιχες μετρήσεις. Στην συνέχεια βεβαιωνόμαστε πως οι μετρητικές κυψέλες είναι καθαρές και στεγνές πριν εισάγουμε το προς μέτρηση δείγμα. Σε περίπτωση όπου οι κυψέλες χρειάζονται καθαρισμό και αφύγρανση τις καθαρίζουμε χρησιμοποιώντας αμόλυβδη βενζίνη την οποία εισάγουμε από την οπή πληρώσεως των κυψελών, όπως ακριβώς εισάγουμε το δείγμα, με την μόνη διαφορά πώς εδώ εισάγουμε μια αρκετά μεγάλη ποσότητα βενζίνης ώστε να ξεπλυθούν επαρκώς οι κυψέλες και να αφαιρεθούν τυχόν κατάλοιπα προηγούμενων δειγμάτων. Στην συνέχεια προκειμένου να στεγνώσουμε τις κυψέλες και να αφαιρέσουμε την βενζίνη χρησιμοποιούμε την αεραντλία με την οποία είναι εφοδιασμένο το ιξωδόμετρο και εισάγουμε αέρα από την οπή. Εισάγουμε αέρα μέχρι την στιγμή που η ένδειξη της πυκνότητας του αέρα γίνει μικρότερη από 0,0020 gr/ml.

Έτσι έχοντας καθαρό το ιξωδόμετρο εισάγουμε το δείγμα και περιμένουμε μέχρις ότου το ιξωδόμετρο να πετύχει σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του δείγματος, εντός των προαναφερθέντων ορίων.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε δείγμα της συγκεκριμένης εργασίας ήταν στους 15° C, 40° C και 50° C και καταγράφηκαν αντίστοιχα το Δυναμικό Ιξώδες, η Πυκνότητα και το εξαχθέν Κινηματικό Ιξώδες σε πινακοποιημένη μορφή όπως η ακόλουθη:

η_{50C}(mPa s)	
v_{50C} (mm^2/s)	
ρ_{50C} (gr/cm^3)	
η_{40C}(mPa s)	
v_{40C} (mm^2/s)	
ρ_{40C} (gr/cm^3)	
η_{15C}(mPa s)	
v_{15C} (mm^2/s)	
ρ_{15C} (gr/cm^3)	

Πρότυπη μέθοδος για τον υπολογισμό το δείκτη κετανίου σε αποσταγμένα καύσιμα (ASTM D 976-06 και ASTM D 4737-04)

Σκοπός

Η συγκεκριμένη μέθοδος καλύπτει την σχέση υπολογισμού του δείκτη κετανίου ο οποίος αντιπροσωπεύει ένα τρόπο άμεσης εκτίμησης του δείκτη κετανίου της ASTM για τα αποσταγμένα καύσιμα από την API βαρύτητα και το μέσο σημείο βρασμού. Η τιμή του δείκτη όπως υπολογίζεται από την σχέση ορίζεται ως «Δείκτης Κετανίου Από Υπολογισμό».

Ο δείκτης κετανίου από υπολογισμό δεν είναι μια προαιρετική μέθοδος έκφρασης του αριθμού κετανίου κατά ASTM είναι ένα συμπληρωματικό εργαλείο για τον υπολογισμό του αριθμού κετανίου.

Η σχέση του δείκτη κετανίου από υπολογισμό χρησιμοποιείται για gasoil ατμοσφαιρικής απόσταξης, καταλυτικής πυρόλυσης ή και μείγματα των δύο αυτών κατηγόριων.

Σημασία Και Χρήση Της Μεθόδου

Ο δείκτης κετανίου από υπολογισμό είναι ένα διαθέσιμο εργαλείο υπολογισμού του αριθμού κετανίου κατά ASTM στις περιπτώσεις όπου δεν είναι διαθέσιμη μηχανή δοκιμών για τον προσδιορισμό αυτής της ιδιότητας του καυσίμου. Μπορεί να χρησιμοποιείται ως προσεγγιστική εκτίμηση του αριθμού κετανίου στις περιπτώσεις όπου η ποσότητα του δείγματος του καυσίμου είναι ανεπαρκής για την κατάταξη του καυσίμου με την χρήση μηχανής.

Για τις περιπτώσεις των καυσίμων όπου ο αριθμός κετανίου ενός καυσίμου έχει αρχικά προσδιοριστεί, ο δείκτης κετανίου είναι χρήσιμος για την πραγματοποίηση ελέγχου μεταγενέστερα σε δείγματα από το ίδιο καύσιμο.

Η μέθοδος ASTM D 4737 υπολογισμού του δείκτη κετανίου μπορεί να εφαρμοστεί σε καύσιμα diesel.

Η μέθοδος ASTM D 4737 έχει αναπτυχθεί ως αποτέλεσμα διεύρυνσης των ορίων εφαρμογής της μεθόδου ASTM D 976.

Γενικώς, έχει βρεθεί πως η χρήση της μεθόδου ASTM D 4737 δίνει αποτελέσματα με μικρότερες αποκλίσεις από την μέθοδο ASTM D 976 χωρίς όμως αυτό να είναι απόλυτο γιατί υπάρχουν και περιπτώσεις δειγμάτων όπου αυτό το γενικό συμπέρασμα καταρρίπτεται ή ακόμα και αντιστρέφεται.

Εξισώσεις για τον υπολογισμό του Δείκτη Κετανίου με τις μεθόδους ASTM D 976-06 και ASTM D 4737-04

Ο υπολογισμός του δείκτη κετανίου μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες εξισώσεις:

- **ASTM D 976-06**

$$\text{Δείκτης Κετανίου Από Υπολογισμό} = -420{,}34+0{,}016G^2 +0{,}192G\,(\log M) + 65{,}01\,(\log M)^2 - 0{,}0001809\,M^2$$

$$\text{Δείκτης Κετανίου Από Υπολογισμό} = 454{,}74-1641{,}416D-1641{,}416D+774{,}74D^2-0{,}554B+ 97{,}803(\log B)^2$$

όπου,

G : API βάρος
M : θερμοκρασία μέσου σημείου βρασμού °F
D : πυκνότητα στους 15° C (gr/ml)
B : θερμοκρασία μέσου σημείου βρασμού °C

- **ASTM D 4737-04**

$$\text{Δείκτης Κετανίου Από Υπολογισμό} = 45{,}2+(0{,}0892)(T_{10N})+[0{,}131+(0{,}901)(B)][T_{50N}]+[0{,}0523-(0{,}420(B)][T_{90N}]+[0{,}00049][(T_{10N})^2-(T90N)^2]+107(B)+60(B)^2$$

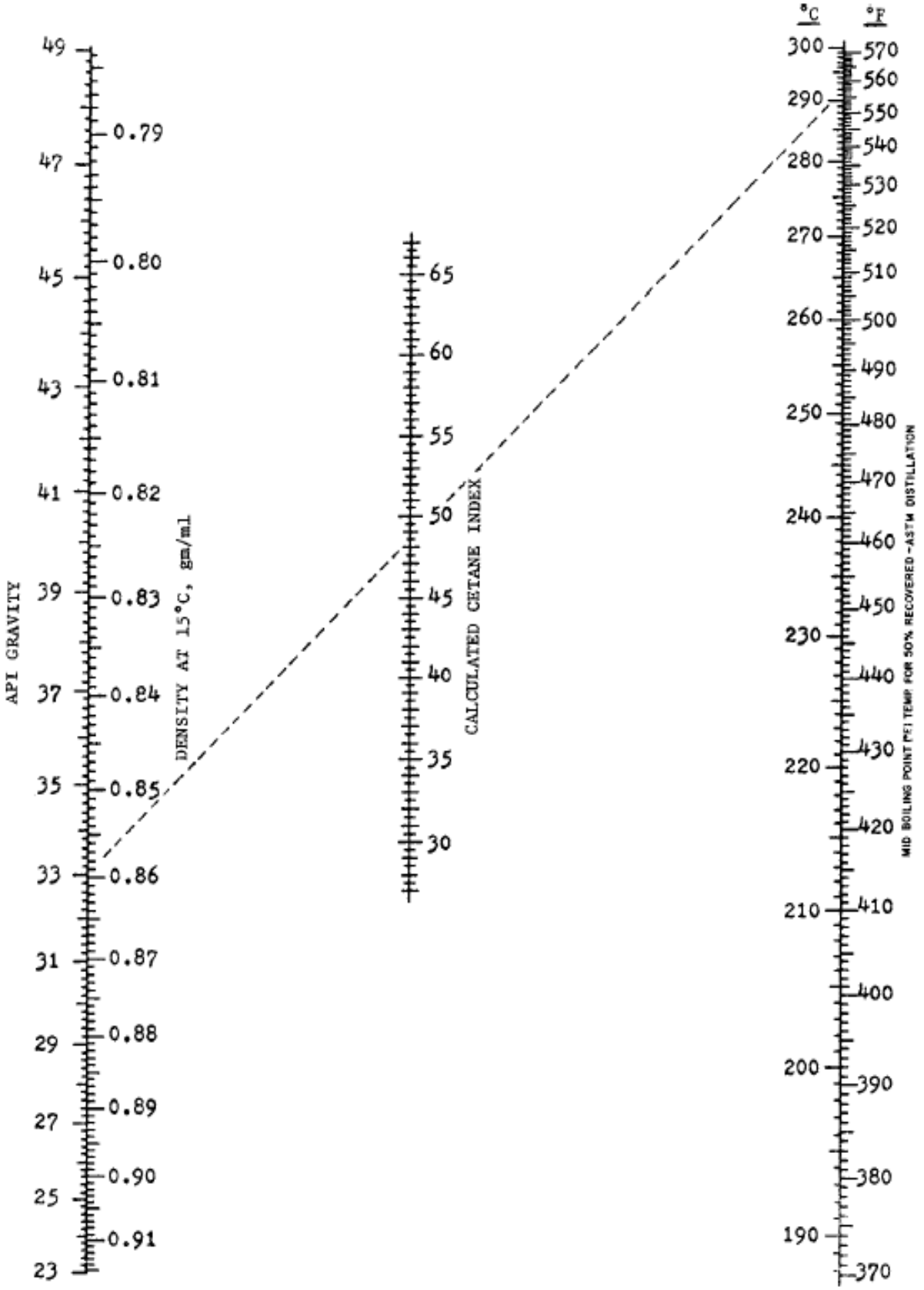
όπου,

D : πυκνότητα στους 15° C (gr/ml)
$DN = D - 0{,}85$
$B = [e^{(-3,5)(DN)}] - 1$
T_{10} : Θερμοκρασία στην οποία έχει ανακτηθεί το 10% του δείγματος
$T_{10N} = T_{10}-215$
T_{50} : Θερμοκρασία στην οποία έχει ανακτηθεί το 50% του δείγματος
$T_{50N} = T_{50}-260$
T_{90} : Θερμοκρασία στην οποία έχει ανακτηθεί το 90% του δείγματος
$T_{90N} = T_{90}-310$

Ένας εύκολος τρόπος προσδιορισμού του δείκτη κετανίου για αποσταγμένα καύσιμα είναι χρησιμοποιώντας το νομογράφημα του (Διάγραμμα 2) όπου δεν χρειάζεται να πραγματοποιηθεί κανένας υπολογισμός χρειάζεται να γνωρίζουμε τις τιμές του API βάρους και του μέσου σημείου βρασμού του καυσίμου.

Οι συγκεκριμένες εξισώσεις έχουν ορισμένους περιορισμούς ως προς την εφαρμογή τους:

- Δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε καύσιμα τα οποία περιέχουν πρόσθετα βελτίωσης του αριθμού κετανίου τους.
- Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό δείκτη κετανίου καθαρών υδρογονανθράκων και συνθετικών καυσίμων.



Διάγραμμα 2-Νομογράφημα Δείκτη Κετανίου (CCI)

Προσδιορισμός κατηγορίας αρωματικών υδρογονανθράκων σε μέσα κλάσματα πετρελαίου. Μέθοδος υγρής χρωματογραφίας υψηλής πίεσης με ανιχνευτή δείκτη διάθλασης (IP 391).

Σκοπός

Η συγκεκριμένη μέθοδος καθορίστηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό προτύπων για τον προσδιορισμό της ποσότητας μονοαρωτικών, διαρωματικών, τριαρωματικών υδρογονανθράκων, σε καύσιμα diesel, στα οποία πιθανόν να περιέχονται μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη του 5% κατ' όγκο και πετρελαιοειδή αποστάγματα με θερμοκρασιακό εύρος βρασμού μεταξύ 150 °C και 400 °C. Η ποσότητα των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων υπολογίζεται από το άθροισμα των διαρωματικών και τριαρωματικών υδρογονανθράκων.

Η παρουσία θείου, αζώτου και οξυγόνου στα προς μέτρηση δείγματα είναι πιθανόν να επηρεάσει τον καθορισμό των υδρογονανθράκων αντίθετα η ύπαρξη μονοαλκενίων δεν επιφέρει καμία επίπτωση όπως πιθανότατα μπορεί να έχουν τα συζευγμένα διαλκένια και πολυαλακένια.

Η έκφραση των αποτελεσμάτων της μεθόδου σε επί τοις εκατό ποσοστό καθιερώθηκε για καύσιμα diesel με ή χωρίς μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων (FAME) με την περιεκτικότητα σε μονοαρωματικούς υδρογονάνθρακες να κυμαίνεται μεταξύ του 6% - 30% κ.β. για τους διαρωματικούς 1%-10%, τους τριαρωματικούς 0%-2%, τους πολυαρωματικούς1%-12% και συνολική περιεκτικότητα σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες 7-42% κ.β.

Ορολογία

Μη αρωματικοί υδρογονάνθρακες (Non – aromatic hydrocarbon): χημικές ενώσεις που παρουσιάζουν μικρότερο χρόνο έκλουσης στην συγκεκριμένη πολική στήλη από την πλειονότητα των μονοαρωματικών υδρογονανθράκων.

Μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες (Mono-aromatic hydrocarbon MAH): χημικές ενώσεις που παρουσιάζουν μεγαλύτερο χρόνο έκλουσης στην συγκεκριμένη πολική στήλη από την πλειονότητα των μη- αρωματικών υδρογονανθράκων αλλά όχι μικρότερο χρόνο έκλουσης από την πλειονότητα των διαρωματικών υδρογονανθράκων.

Διαρωματικοί υδρογονάνθρακες(Di-aromatic hydrocarbon DAH): χημικές ενώσεις που παρουσιάζουν μεγαλύτερο χρόνο έκλουσης από την πλειονότητα των μονοαρωματικών υδρογονανθράκων αλλά όχι μικρότερο χρόνο έκλουσης από την πλειονότητα των τριαρωματικών υδρογονανθράκων.

Τριαρωματικοί υδρογονάνθρακες (Tri-aromatic hydrocarbon T+AH): χημικές ενώσεις που παρουσιάζουν μεγαλύτερο χρόνο έκλουσης από την πλειονότητα των διαρωματικών υδρογονανθράκων αλλά όχι μικρότερο χρόνο έκλουσης από την πλειονότητα των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων.

Πολυκυκλικοί αρωματικού υδρογονάνθρακες (Polycyclic aromatic hydrocarbon POLY-AH): το άθροισμα των διαρωματικών και τριαρωματικών υδρογονανθράκων.

Σύνολο αρωματικών υδρογονανθράκων (Total aromatic hydrocarbon): το άθροισμα μονοαρωματικών, διαρωματικών και τριαρωματικών υδρογονανθράκων.

Αρχή Λειτουργίας

Αραιώνουμε μια γνωστή ποσότητα δείγματος σε επτάνιο έτσι ώστε να προκύψει ένας καθορισμένος όγκος διαλύματος τον οποίο στην συνέχεια εισάγουμε σε ένα υγρό χρωματογράφο υψηλής αποδόσεως ο οποίος είναι εξοπλισμένος με μια πολική στήλη. Η στήλη αυτή παρουσιάζει μια σχετικά μικρή έλξη για τους μη αρωματικούς υδρογονάνθρακες ενώ δείχνει μια εξαιρετικά μεγάλη εκλεκτικότητα προς τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Ως αποτέλεσμα αυτής της εκλεκτικότητας οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες διαχωρίζονται από τους μη αρωματικούς σε μια ευδιάκριτη λωρίδα σύμφωνα με την δομή του αρωματικού δακτύλιου.

Η πολική στήλη αυτή συνδέεται σε έναν ανιχνευτή δείκτη διάθλασης ο οποίος ανιχνεύει τα συστατικά όπως αποχωρούν από την στήλη. Το ηλεκτρονικό σήμα του ανιχνευτή είναι συνεχώς υπό παρακολούθηση από ένα επεξεργαστή δεδομένων. Τα πλάτη σημάτων των αρωματικών του δείγματος συγκρίνονται με τα αντίστοιχα πλάτη πρότυπων δειγμάτων με βάση τα οποία έχει βαθμονομηθεί η συσκευή έτσι ώστε να υπολογίζει την κλασματική μάζα των μονοαρωματικών, διαρωματικών και τριαρωματικών υδρογονανθράκων.

Συσκευή

Ο υγρός χρωματογράφος αποτελείται από ένα όργανο υψηλής απόδοσης ικανό για την άντληση της κινούμενης φάσης σε ρυθμούς ροής μεταξύ 0,5 ml/min έως 1,5 ml/min με ακρίβεια καλύτερης του 0,5% και διακύμανση μικρότερη από το 1%.

Το σύστημα έγχυσης δείγματος με το οποίο είναι εφοδιασμένος ο χρωματογράφος είναι ικανό να παρέχει έγχυση διαλύματος 10 μl με αξιοπιστία καλύτερη του 1%.

Για την κατακράτηση των αδιάλυτων συστατικών του διαλύματος του δείγματος υπάρχει ένα πορώδες μικροφίλτρο με αραίωση 0,45μm ή και λιγότερο κατασκευασμένο από χημικά αδρανές προς τα διαλύματα υλικό.

Η *στήλη συστήματος* αποτελείται από ανοξείδωτες στήλες στερεωμένες με ένα κοινό κολλητό στήριγμα, το μήκος των στηλών κυμαίνεται μεταξύ 150 mm - 300 mm με εσωτερική διάμετρο 4 mm – 5 mm προκειμένου να έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Η θερμοκρασία του δείγματος στον χρωματογράφο ελέγχεται από ένα μπλοκ θέρμανσης.

Σε ότι αφορά τον ανιχνευτή δείκτη διάθλασης είναι ικανός έτσι ώστε να λειτουργεί σε ένα εύρος διάθλασης μεταξύ 1,3 – 1,6, να δίνει μια γραμμική απόκριση γύρω από το εύρος στο οποίο έχει βαθμονομηθεί και να παράγει ένα κατάλληλο σήμα που να ερμηνεύεται σε βάση δεδομένων. Επίσης, υπάρχει ένας ολοκληρωτικός επεξεργαστής συμβατός με τον ανιχνευτή με ελάχιστο χρόνο δειγματοληψίας 1Hz.

Διαδικασία

Αρχικά ζυγίζουμε μια ποσότητα δείγματος η οποία να κυμαίνεται μεταξύ 0,9-1,1 gr με αποδεκτή απόκλιση 0,001 gr. Την ποσότητα αυτή την εισάγουμε στον ογκομετρικό κλασματήρα, ο οποίος μπορεί να είναι περιεκτικότητας 10 και 100 ml, και εν συνεχεία συμπληρώνουμε στον κλασματήρα επτάνιο μέχρι την αντίστοιχη ένδειξη. Κινούμε ελαφρώς το διάλυμα έτσι ώστε να αναμειχθεί και να έχει ομοιογένεια. Εν συνεχεία το αφήνουμε να «ηρεμήσει» για 10 λεπτά.

Όταν οι λειτουργικές συνθήκες είναι σταθερές και ιδανικές εισάγουμε με σύριγγα 10 μl του διαλύματος στο χρωματογράφο. Θα πρέπει να γίνει σωστή δήλωση των μονοαρωματικών, διαρωματικών και τριαρωματικών υδρογονανθράκων με βάση τον χρόνο έκλουσής[13] τους:

- Μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι οι ενώσεις που έχουν χρόνο έκλουσης ανάμεσα σε t_b και t_c.
- Διαρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι οι ενώσεις που έχουν χρόνο έκλουσης ανάμεσα σε t_c και t_d.
- Μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι οι ενώσεις που έχουν χρόνο έκλουσης ανάμεσα σε t_d και t_e.

Έχοντας το χρωματογράφημα χαράσσουμε μια ευθεία ακριβώς πριν από το σημείο όπου ξεκινάει η κορυφή των μονοαρωματικών υδρογονανθράκων (Σημείο Α, t_a, στο Διάγραμμα 3) μέχρι το σημείο ακριβώς μετά από τους τριαρωματικούς υδρογονάνθρακες (Σημείο Ε, t_e, στο Διάγραμμα 3), όπου το σήμα έχει επιστρέψει πάλι στην αρχική του τιμή, στην βασική γραμμή.

Στην συνέχεια φέρουμε μια κατακόρυφη γραμμή από την κοιλάδα που υπάρχει ανάμεσα στου μη αρωματικούς και μονοαρωματικούς υδρογονάνθρακες (Σημείο Β, t_b, στο Διάγραμμα 3) και στην βασική γραμμή. Ακολουθώντας την ίδια ακριβώς διαδικασία φέρουμε κατακόρυφες ευθείες στις γραμμές βάσης που υπάρχουν μεταξύ μονοαρωματικών – διαρωματικών και διαρωματικών –τριαρωματικών υδρογονανθράκων.

Εν συνεχεία ολοκληρώνουμε τις περιοχές λόγο των μονοαρωματικών υδρογονανθράκων από το σημείο Β μέχρι το C και το ίδιο ακριβώς πραγματοποιούμε για τις περιοχές των διαρωματικών υδρογονανθράκων σημεία C και D και τριαρωματικών σημεία D και Ε.

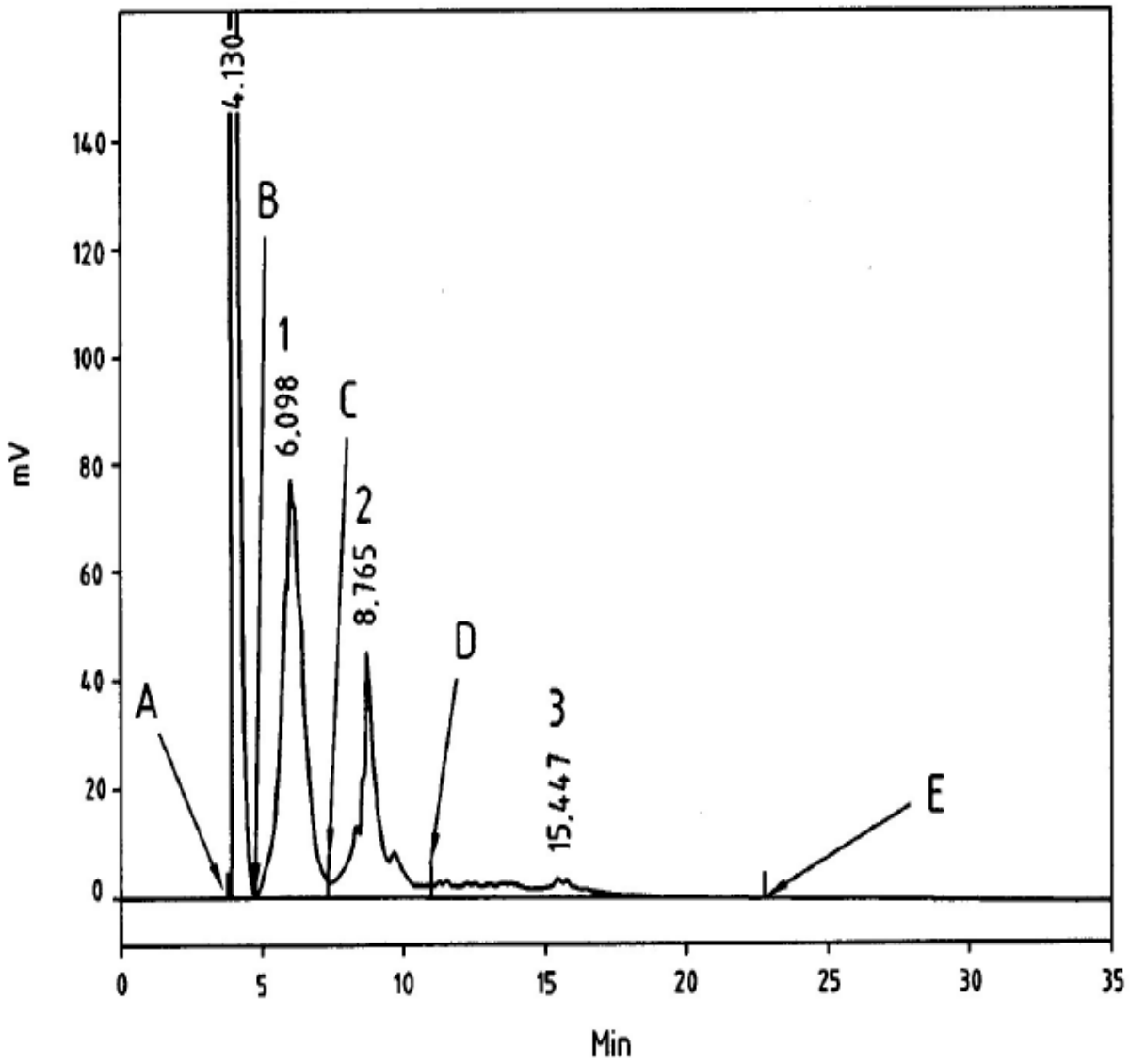
Υπολογισμοί

Χρόνοι αναφοράς

Οι χρόνοι έκλουσης που μετρούνται από το χρωματογράφημα είναι:

Ο χρόνος έκλουσης του κυκλοεξανίου t_1 σε sec.
Ο χρόνος έκλουσης του φαινυλοδωδεκανίου t_2 σε sec.
Ο χρόνος έκλουσης του διμεθυλοβενζολίου 1,2 t_3 σε sec.
Ο χρόνος έκλουσης του εξαμεθυλοβενζολίου t_4 σε sec.
Ο χρόνος έκλουσης του διβενζοθειοφαινίου t_6 σε sec.
Ο χρόνος έκλουσης του μεθυλοανθρακένιου t_7 σε sec.

[13] Σύμφωνα με το χρωματογράφημα που φαίνεται στο Διάγραμμα 3.



Διάγραμμα 3-Χρωματογράφημα

Ανάλυση Στήλης (Column Resolution)

Η ανάλυση R ανάμεσα στο κυκλοεξάνιο και το 1,2 διμεθυλοβενζόλιο υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση:

$$R = \frac{2 \cdot (t_3 - t_1)}{1{,}699 \cdot (y_1 + y_3)}$$

όπου,

y_1 : το πλάτος στο μισό του ύψους της κορυφής του κυκλοεξανίου, σε sec.
y_2 : το πλάτος στο μισό του ύψους της κορυφής του 1,2 διμεθυλοβενζολίου, σε sec.

Χρόνοι Διαχωρισμού

Ο προσδιορισμός των χρόνων t_a,t_b,t_c,t_dκαι t_e σε sec γίνεται χρησιμοποιώντας τα ακόλουθα:

t_a : το σημείο στην βασική γραμμή ακριβώς πριν από την κορυφή των μη αρωματικών.
t_b : $0,5(t_1 + t_2)$
t_c : t_4
t_d : $t_6+0,4(t_7-t_6)$
t_e : το σημείο στην γραμμή αναφοράς όταν όλοι οι τριαρωματικοί υδρογονάνθρακες έχουν αποχωριστεί με έκπλυση.

Αρωματικοί υδρογονάνθρακες τύπος περιεχομένου

$$C = \frac{\left[\left(A \times S\right)+1\right]\times V}{M}$$

όπου,

A : το εμβαδόν περιοχής κορυφής μονοαρωματικών, διαρωματικών, τριαρωματικών υδρογονανθράκων του δείγματος.
S : η κλίση των μονοαρωματικών, διαρωματικών, τριαρωματικών υδρογονανθράκων του διαγράμματος βαθμονόμησης.
I : η διαφορά ύψους των μονοαρωματικών, διαρωματικών, τριαρωματικών υδρογονανθράκων στο διάγραμμα βαθμονόμησης.
M : η μάζα του δείγματος σε gr.
V : ο όγκος του διαλύματος του δείγματος σε ml.

Προσδιορισμός Θείου με την μέθοδο του Φθορισμού ακτίνων Χ

Σκοπός

Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει την περιεκτικότητα ενός δείγματος σε θείο, με φθορισμό ακτινών Χ (X-Ray Fluorescence, XRF). Με την μέθοδο αυτή προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε θείο, ανεξάρτητα του είδους της ένωσης στην οποία βρίσκεται αυτό μέσα στο δείγμα.

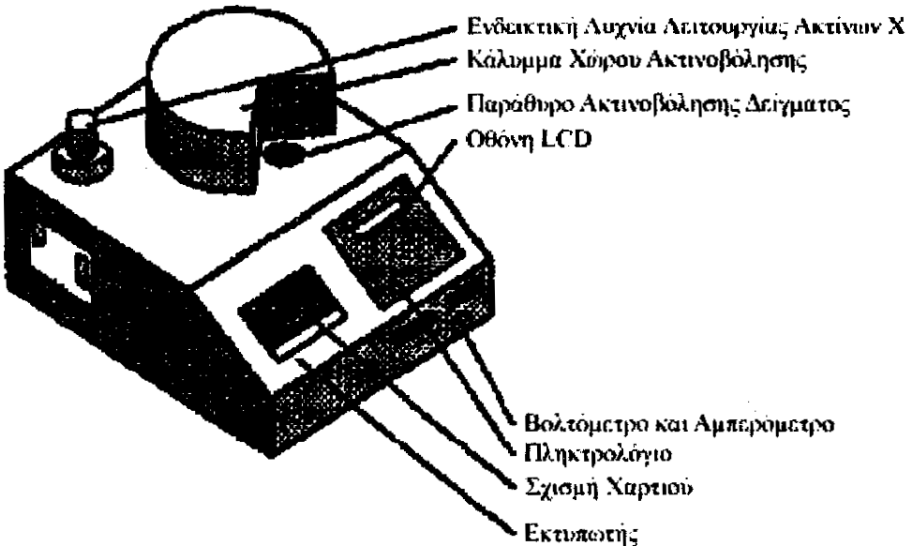
Περίληψη

Το δείγμα ακτινοβολείται με ακτίνες Χ από μια πηγή χαμηλής ενέργειας, οπότε το προς μέτρησης στοιχείο διεγείρεται και μεταπίπτοντας στην αρχική του κατάσταση εκπέμπει ακτινοβολία (φθορίζει). Η ενέργεια της φθορίζουσας ακτινοβολίας είναι χαρακτηριστική για κάθε στοιχείο και η ένταση της ανάλογη της συγκέντρωσης του στοιχείου στο δείγμα.

Συσκευή

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε είναι η Asoma 200T. Η συσκευή αυτή περιλαμβάνει τέσσερα βασικά τμήματα που φαίνονται στην Εικόνα 1. Τα τμήματα αυτά είναι:

α) Χώρος Ακτινοβόλησης του Δείγματος
β) Ενδεικτική Λυχνία Λειτουργία Ακτινών Χ
γ) Πληκτρολόγιο και Οθόνη
δ) Εκτυπωτής

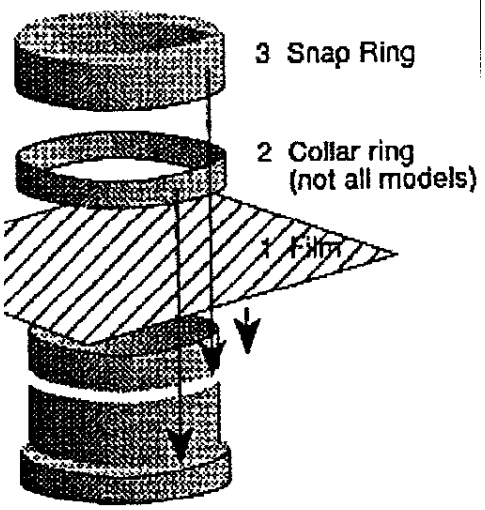


Εικόνα 1-Βασικά Τμήματα της Συσκευής Asoma 200T

Υποδοχέας Δείγματος – Μεμβράνη

Οι υποδοχείς των δειγμάτων είναι κατασκευασμένοι από λευκό πλαστικό. Είναι κυλινδρικοί και ανοιχτοί από την μια πλευρά. Ένας δακτύλιος μικρού ύψους χρησιμεύει για να κλείσει το ανοιχτό άκρο όταν τοποθετηθεί η διαφανής μεμβράνη η οποία επιτρέπει την ακτινοβόληση του δείγματος.

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται η επιλογή της μεμβράνης, ώστε να εξασφαλιστεί η συμβατότητα της με το προς μέτρηση δείγμα. Η τοποθέτηση μεμβράνης στον υποδοχέα δείχνεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2-Τοποθέτηση Μεμβράνης στον Υποδοχέα

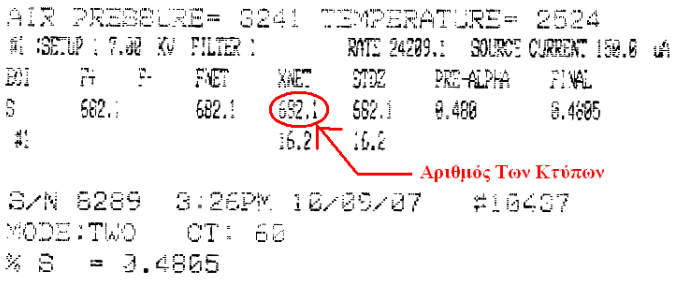
Διαδικασία

Προετοιμασία συσκευής: Ανοίγουμε τη συσκευή θέτοντας τον διακόπτη στην θέση ON και περιμένουμε για 30 λεπτά περίπου για να σταθεροποιηθεί. Από τις δέκα μεθόδους μέτρησης που διαθέτει η συγκεκριμένη συσκευή αυτή που μας ενδιαφέρει και επιλέγουμε είναι η μέθοδος 2 (Mode 2).

Προετοιμασία Δείγματος: Η σωστή προετοιμασία του δείγματος ώστε να εξασφαλιστεί η ομογενοποίηση του, είναι πολύ σημαντική για την σωστή μέτρηση. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται ώστε να παραμείνει καθαρό το παράθυρο διέλευσης της ακτινοβολίας, για να μην υπάρξει πρόβλημα στη βαθμονόμηση και τη μέτρηση. Κατά την προετοιμασία του υποδοχέα με το δείγμα θα πρέπει να εξασφαλίζονται τα εξής: επαρκής στεγανότητα ώστε να μην διαρρεύσει το δείγμα στο παράθυρο διέλευσης και η μεμβράνη να είναι τεντωμένη επάνω στον υποδοχέα γιατί σε περίπτωση όπου παρουσιάζονται πτυχώσεις (ζάρες) έχουμε αύξηση της απόστασης μεταξύ του δείγματος και του ανιχνευτή και αυτό μπορεί να επιφέρει λανθασμένη μέτρηση από την συσκευή. Σημαντικό είναι επίσης η μεμβράνη να είναι καθαρή από τυχόν δακτυλικά αποτυπώματα γιατί και αυτά είναι πολύ πιθανό να επιφέρουν αλλοίωση της τελικής μέτρησης.

Διεξαγωγή της Μέτρησης

Έχοντας πραγματοποιήσει όλες τις παραπάνω προετοιμασίες τόσο για την συσκευή όσο και για το δείγμα και έχοντας επιλέξει την μέθοδο μέτρησης που επιθυμούμε τοποθετούμε τον υποδοχέα με το δείγμα στον χώρο ακτινοβόλησης και από το πληκτρολόγιο της συσκευής πιέζουμε το πλήκτρο Analyze. Το κάλυμα του χώρου ακτινοβόλησης κλείνει και η συσκευή ξεκινά την μέτρηση με βάση την μέθοδο που έχουμε επιλέξει δείχνοντας μας στην οθόνη τον υπολειπόμενο χρόνο μέχρι την περάτωση της μέτρησης. Με την ολοκλήρωση της μέτρησης το κάλυμα του χώρου ακτινοβόλησης ανοίγει και ταυτόχρονα στον εκτυπωτή τυπώνονται τα αποτελέσματα. Μια από τις εκτυπώσεις των μετρήσεων που πήραμε κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων για το MDO φαίνεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3-Εκτύπωση Αποτελέσματος

Για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας των τεσσάρων βασικών καυσιμών σε θείο πραγματοποιείται η παραπάνω διαδικασία για το κάθε ένα ξεχωριστά. Όμως για τον καθορισμό της περιεκτικότητας σε θείο του καθενός από τα βασικά καύσιμα δεν χρησιμοποιήσαμε το ποσοστό θείου που προκύπτει από την εκτύπωση του φασματογράφου αλλά τον αριθμό των κτύπων. Για να προσδιορίσουμε την περιεκτικότητα σε θείο με βάση τον αριθμό των κτύπων πραγματοποιήσαμε μέτρηση του θείου σε 6 πρότυπα καύσιμα των οποίων η περιεκτικότητα σε θείο είναι γνωστή. Οι τιμές που προέκυψαν για τα βασικά καύσιμα υπολογίστηκαν με γραμμική παρεμβολή ως προς τους κτύπους των προτύπων.

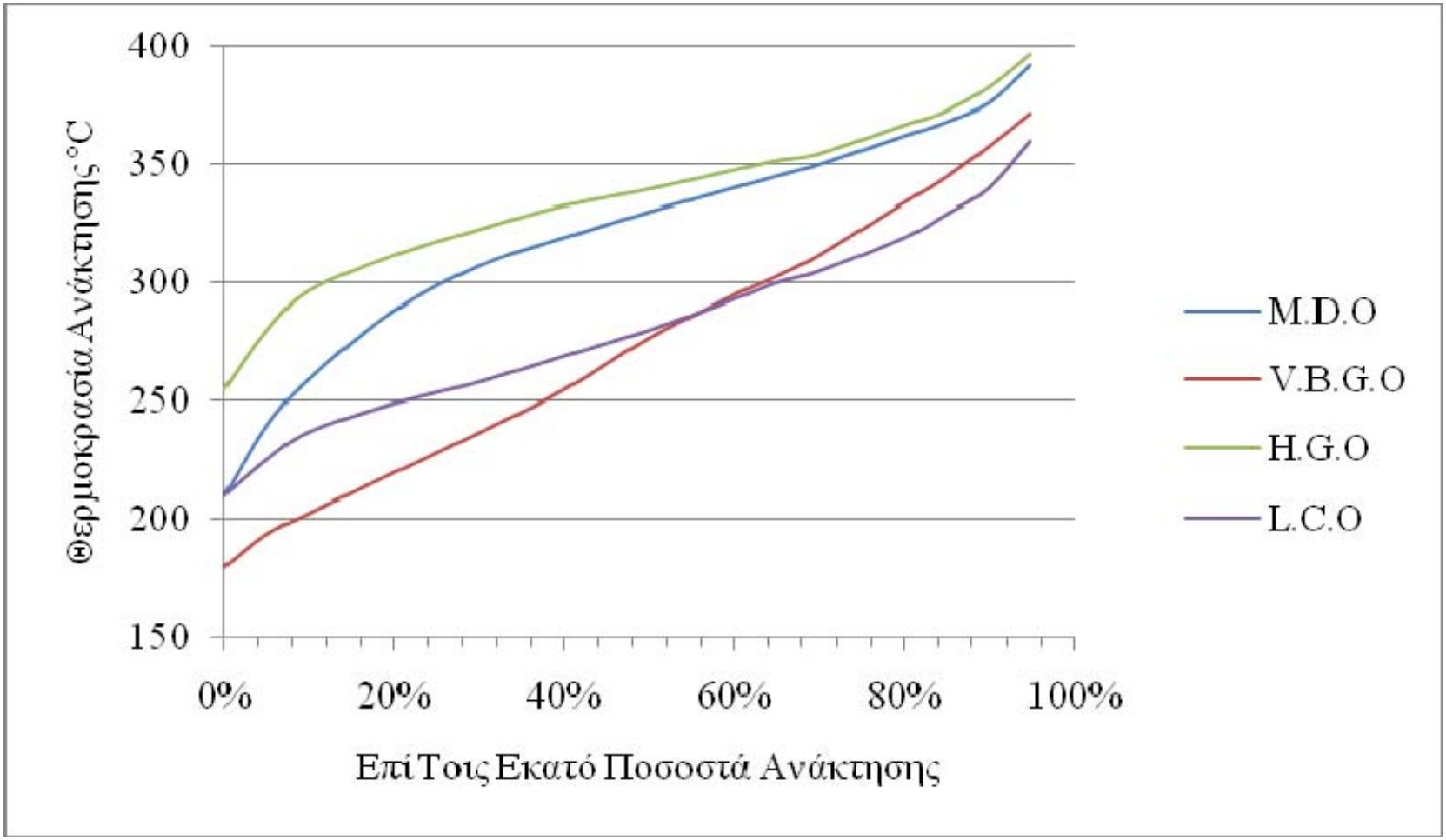
Η περιεκτικότητα των πρότυπων καυσίμων και ο αντίστοιχος αριθμός κτύπων που μετρήθηκαν φαίνονται στον πίνακα

Πίνακας 4-Ποσοστά Περιεκτικότητας σε Θείο πρότυπων καυσίμων και αριθμός κτύπων

0,530 % S	→	682,1 χτύποι
1,010% S	→	1.093,6 χτύποι
2,00% S	→	1.563,5 χτύποι
3,00% S	→	1.697,8 χτύποι
4,00% S	→	3.211,2 χτύποι
5,04%S	→	3.760,0 χτύποι

Τα αντίστοιχα ποσοστά περιεκτικότητας σε θείο των βασικών καυσίμων όπως υπολογίστηκαν είναι:

MDO : 1,00%
VBGO : 3,86%
HGO : 1,48%
LCO : 1,60%

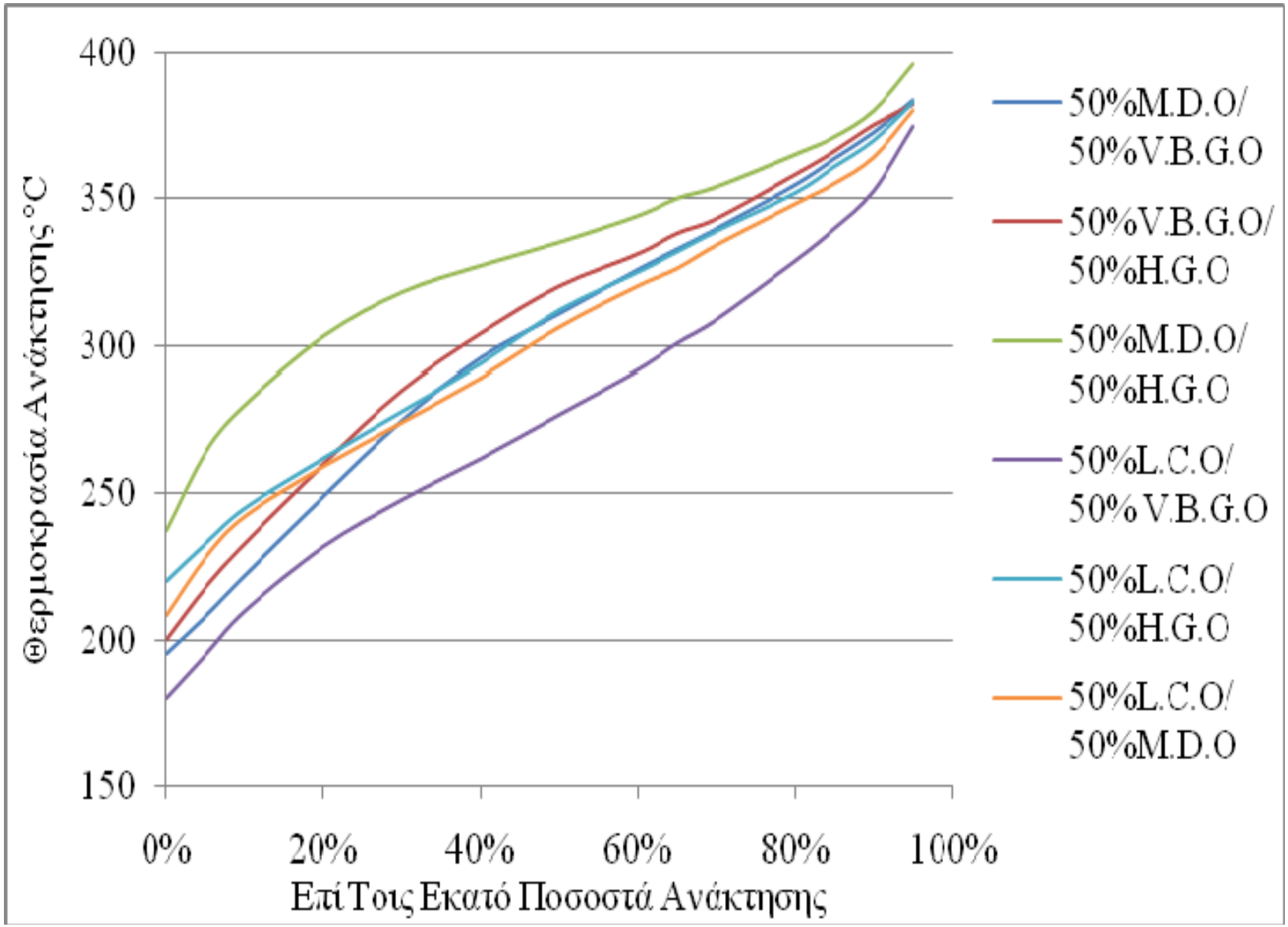


Διάγραμμα 4-Καμπύλες Απόσταξης Βασικών καυσίμων (M.D.O.,V.B.G.O. H.G.O.,L.C.O.)

Σχόλιο: Στα διαγράμματα 4-13 αναπαριστούνται γραφικά οι καμπύλες απόσταξης των τεσσάρων βασικών καυσίμων (Διάγραμμα 4) και των 54 μειγμάτων που δημιουργήθηκαν από αυτά, στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, σε αναλογίες 50%-50% (Διάγραμμα 5), 75%-25% (Διάγραμμα 6), 25%-75% (Διάγραμμα 7),50%-25%-25% (Διαγράμματα 8,9), 40%-30%-30% (Διαγράμματα 10-11) και 60%-20%-20% (Διαγράμματα 12-13). Μετά από κάθε διάγραμμα δίνεται και ο σχετικός πίνακας δεδομένων όπως αυτά καταγράφηκαν κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων σύμφωνα με τα όσα ορίζονται και αναφέραμε παραπάνω στην πρότυπη μέθοδο ASTM D 86.

Πίνακας 5-Μετρήσεις Βασικών Καυσίμων

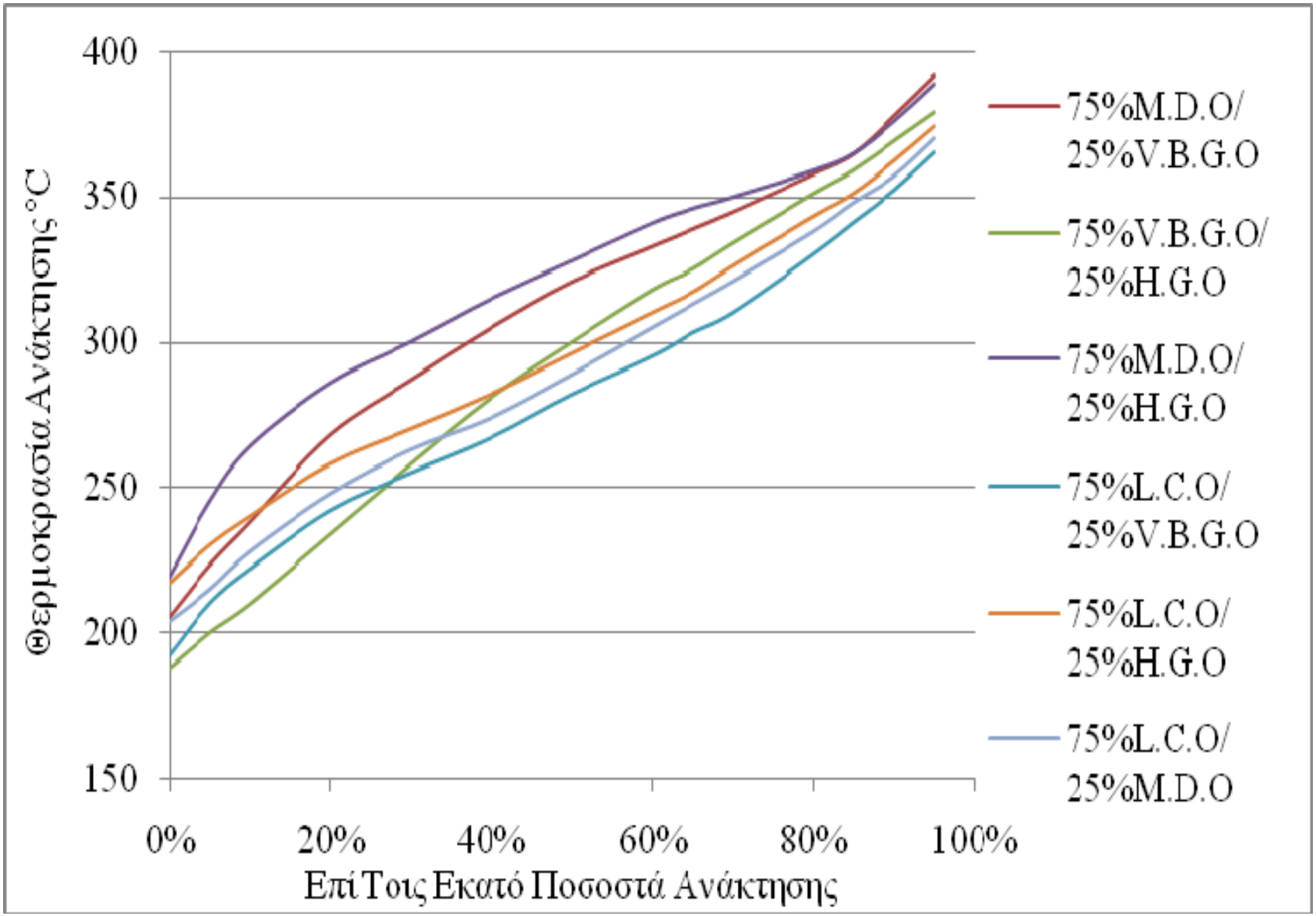
Καύσιμο	M.D.O	V.B.G.O	H.G.O	L.C.O
0%	209	180	255	210
5%	239	194	280	225
10%	259	203	297	237
20%	288	220	312	249
30%	307	237	323	258
40%	319	255	333	269
50%	330	277	340	280
60%	340	295	348	293
65%	345	303	352	300
70%	350	312	355	305
80%	362	334	367	319
85%	368	345	373	329
90%	376	358	383	340
95%	392	372	397	360
Ανάκτηση	98,0%	98,0%	98,0%	98,0%
Υπόλειμα	1,2%	0,7%	1,5%	0,7%
Απώλειες	0,8%	1,3%	0,5%	1,3%
η_{50C}(mPa s)	4,15	2,24	5,69	2,52
v_{50C} (mm^2/s)	4,92	2,69	6,68	2,72
ρ_{50C} (gr/cm^3)	0,8433	0,8333	0,8514	0,9267
η_{40C}(mPa s)	5,41	2,76	7,59	3,14
v_{40C} (mm^2/s)	6,37	3,29	8,85	3,36
ρ_{40C} (gr/cm^3)	0,8494	0,8403	0,8575	0,9340
η_{15C}(mPa s)	12,55	5,29	19,13	6,42
v_{15C} (mm^2/s)	14,49	6,17	21,88	6,75
ρ_{15C} (gr/cm^3)	0,8663	0,8574	0,8743	0,9514
S (%)	1,00	3,86	1,48	1,60
CCAI	799,2	811,0	799,0	902,5
Κατάταξη Ποιότητας Ανάφλεξης	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Κακή ως Μη Αποδεκτή
CCI (ASTM D 976)	51,7	46,9	50,3	24,9
CCI (ASTM D 4737)	52,8	45,2	55,8	22,9



Διάγραμμα 5-Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 50%-50%

Πίνακας 6-Μετρήσεις Μειγμάτων Με Αναλογία 50%-50%

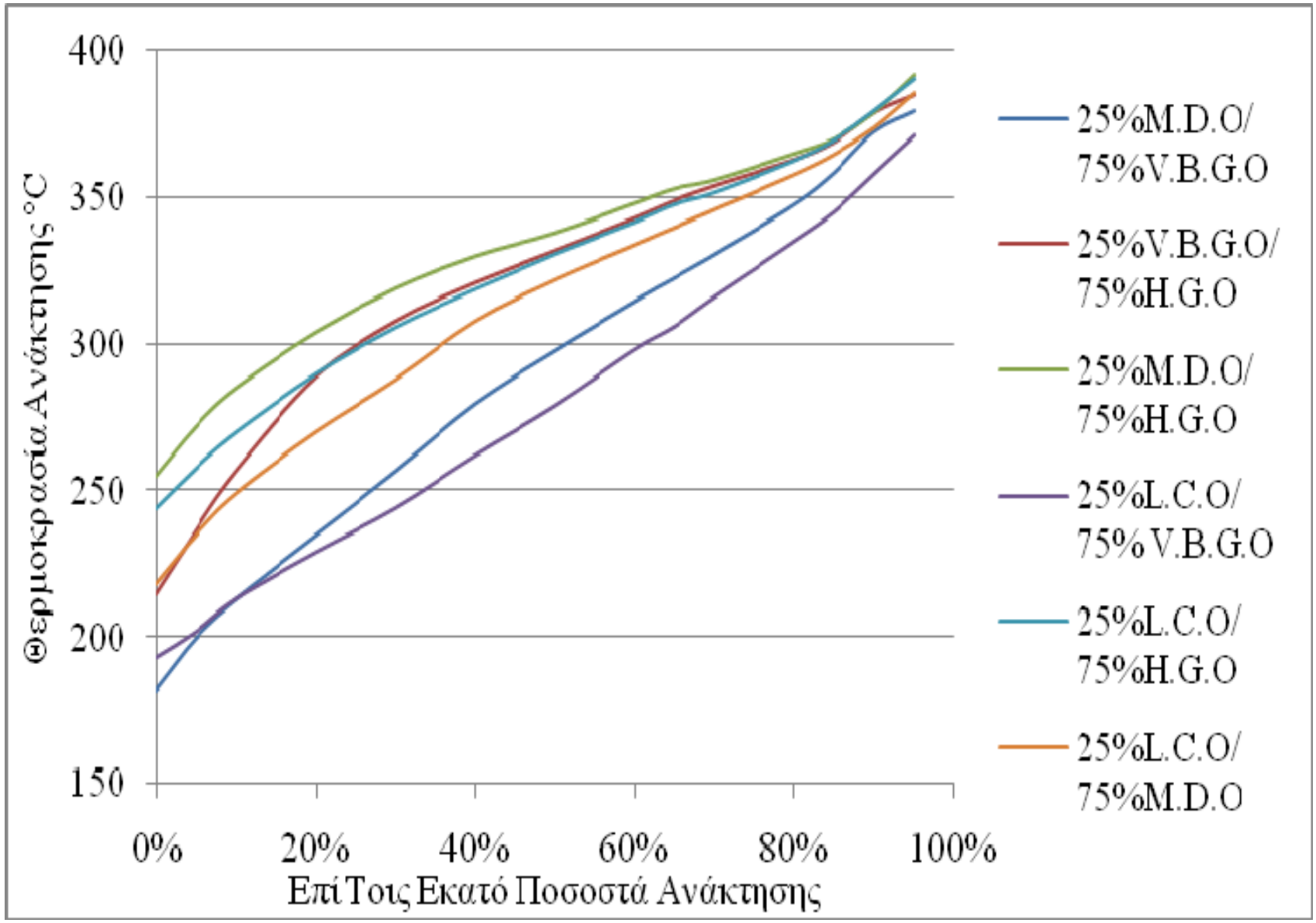
Καύσιμο	50%M.D.O/ 50%V.B.G.O	50%V.B.G.O/ 50%H.G.O	50%M.D.O/ 50%H.G.O	50%L.C.O/ 50% V.B.G.O	50%L.C.O/ 50%H.G.O	50%L.C.O/ 50%M.D.O
0%	195	200	237	180	220	208
5%	208	218	264	195	233	228
10%	222	233	280	210	245	242
20%	249	260	303	232	262	259
30%	275	285	318	248	278	274
40%	296	304	327	262	294	289
50%	311	320	335	277	312	306
60%	326	331	344	292	325	320
65%	333	338	350	301	332	326
70%	340	343	354	309	339	334
80%	355	358	365	329	352	348
85%	364	366	371	340	361	355
90%	373	375	380	353	370	364
95%	384	382	396	375	383	380
Ανάκτηση	97,0%	98,0%	97,5%	98,0%	97,0%	97,5%
Υπόλειμα	1,8%	1,3%	0,9%	0,9%	1,2%	1,4%
Απώλειες	1,2%	0,7%	1,6%	1,1%	1,8%	1,1%
η_{50C}(mPa s)	3,09	3,44	4,74	2,26	3,48	3,09
v_{50C} (mm^2/s)	3,68	4,08	5,60	2,58	3,92	3,49
ρ_{50C} (gr/cm^3)	0,8386	0,8433	0,8479	0,8717	0,8887	0,8848
η_{40C}(mPa s)	3,87	4,41	6,26	2,78	4,48	3,92
v_{40C} (mm^2/s)	4,58	5,18	7,32	3,16	5,01	4,40
ρ_{40C} (gr/cm^3)	0,8454	0,8503	0,8547	0,8789	0,8956	0,8913
η_{15C}(mPa s)	8,09	9,61	15,21	5,40	10,10	8,42
v_{15C} (mm^2/s)	9,38	11,09	17,46	6,02	11,07	9,27
ρ_{15C} (gr/cm^3)	0,8621	0,8670	0,8709	0,8962	0,9123	0,9085
S (%)	2,42	2,66	1,24	2,70	1,54	1,31
CCAI	804,9	805,8	800,0	850,4	851,2	851,5
Κατάταξη Ποιότητας Ανάφλεξης	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Μέτρια ως Κακή	Μέτρια ως Κακή	Μέτρια ως Κακή
CCI (ASTM D 976)	50,9	50,5	50,8	36,0	37,7	37,7
CCI (ASTM D 4737)	48,7	48,6	54,2	34,1	33,6	34,1



Διάγραμμα 6-Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 75%-25%

Πίνακας 7-Μετρήσεις Μειγμάτων Με Αναλογία 75%-25%

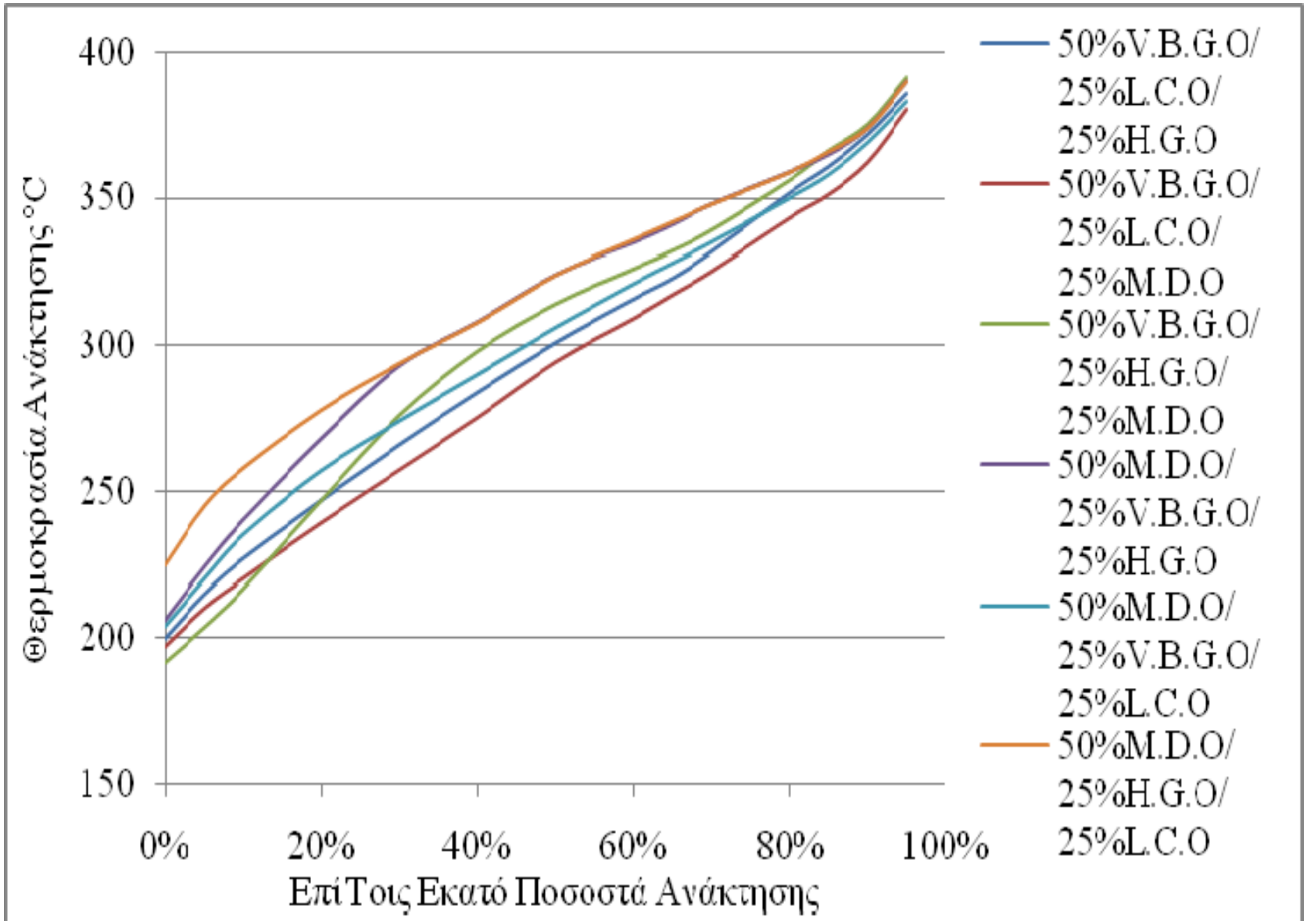
Καύσιμο	75%M.D.O/ 25%V.B.G.O	75%V.B.G.O/ 25%H.G.O	75%M.D.O/ 25%H.G.O	75%L.C.O/ 25%V.B.G.O	75%L.C.O/ 25%H.G.O	75%L.C.O/ 25%M.D.O
0%	205	188	219	192	217	204
5%	223	200	245	210	230	215
10%	238	210	264	222	240	228
20%	268	234	286	242	258	248
30%	287	258	300	255	270	263
40%	305	281	315	267	282	274
50%	321	300	328	282	296	289
60%	333	318	341	295	310	305
65%	339	325	346	303	317	313
70%	345	334	350	310	326	321
80%	358	351	359	330	343	338
85%	365	359	365	341	351	348
90%	378	369	376	352	362	357
95%	392	379	389	365	374	370
Ανάκτηση	97,5%	96,0%	96,5%	98,0%	97,5%	97,5%
Υπόλειμα	0,1%	3,9%	1,8%	0,4%	1,0%	0,9%
Απώλειες	2,4%	0,1%	1,7%	1,6%	1,5%	1,6%
η_{50C}(mPa s)	3,66	2,80	4,44	2,40	2,91	2,75
ν_{50C} (mm^2/s)	4,35	3,34	5,24	2,66	3,21	3,04
ρ_{50C} (gr/cm^3)	0,8409	0,8391	0,8462	0,9041	0,9074	0,9049
η_{40C}(mPa s)	4,65	3,51	5,81	2,96	3,68	3,45
ν_{40C} (mm^2/s)	5,49	4,15	6,81	3,25	4,02	3,78
ρ_{40C} (gr/cm^3)	0,8471	0,8454	0,8529	0,9107	7,8514	0,9120
η_{15C}(mPa s)	10,10	7,13	13,81	5,88	8,43	7,18
ν_{15C} (mm^2/s)	11,68	8,26	15,90	6,34	8,43	7,73
ρ_{15C} (gr/cm^3)	0,8644	0,8630	0,8690	0,9286	0,9316	0,9292
S (%)	1,71	3,25	1,12	2,12	1,57	1,46
CCAI	802,0	808,9	800,0	881,4	877,0	876,7
Κατάταξη Ποιότητας Ανάφλεξης	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Κακή ως Μη Αποδεκτή	Κακή ως Μη Αποδεκτή	Κακή ως Μη Αποδεκτή
CCI (ASTM D 976)	51,4	49,1	50,7	29,5	31,3	30,6
CCI (ASTM D 4737)	50,4	46,2	52,2	27,3	28,3	27,7



Διάγραμμα 7-Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 25%-75%

Πίνακας 8-Μετρήσεις Μειγμάτων Με Αναλογία 25%-75%

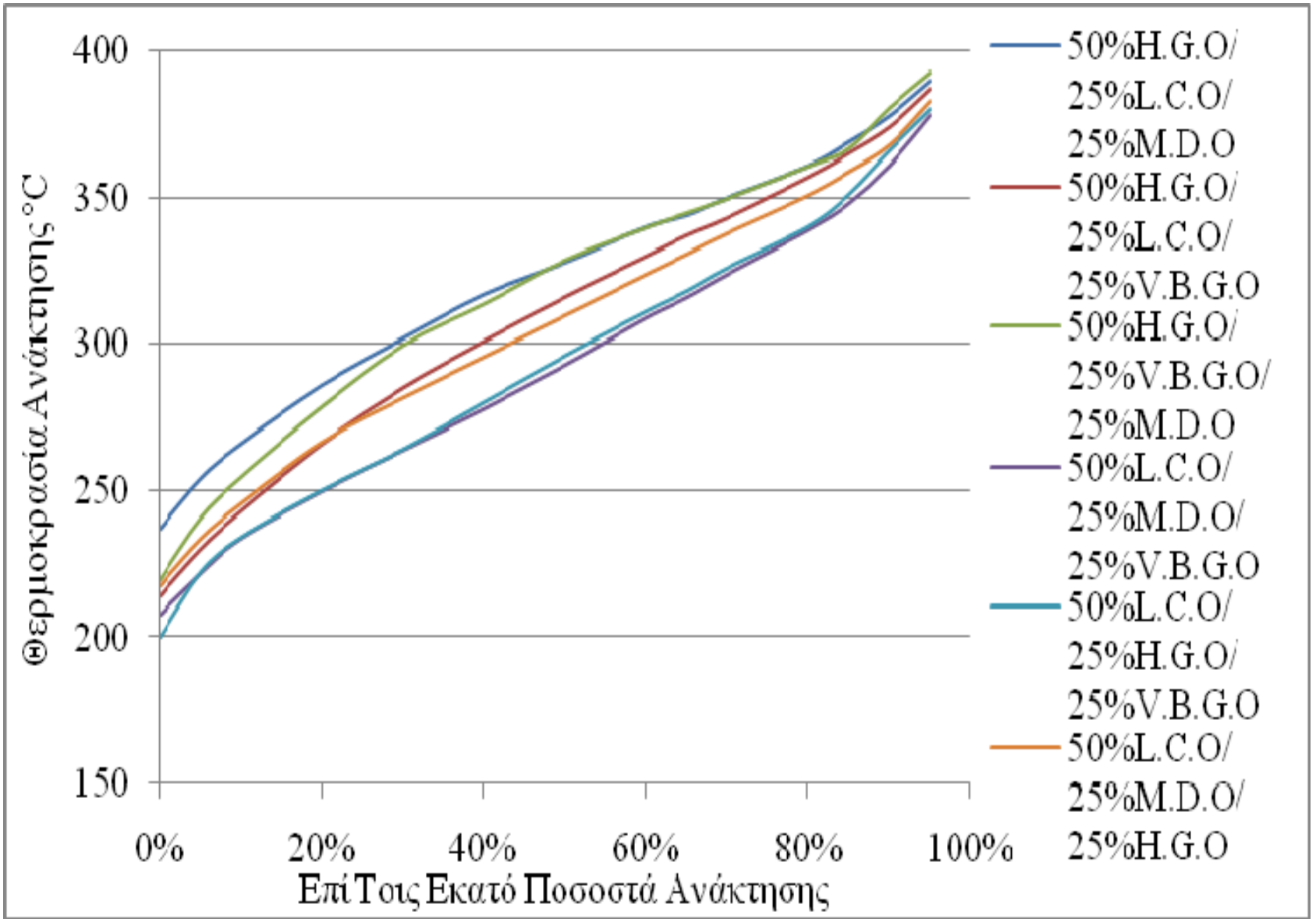
Καύσιμο	25%M.D.O/ 75%V.B.G.O	25%V.B.G.O/ 75%H.G.O	25%M.D.O/ 75%H.G.O	25%L.C.O/ 75% V.B.G.O	25%L.C.O/ 75%H.G.O	25%L.C.O/ 75%M.D.O
0%	182	215	255	193	244	218
5%	200	237	272	202	258	235
10%	213	257	285	213	270	249
20%	235	289	304	229	290	270
30%	257	308	319	244	306	288
40%	280	321	330	262	319	308
50%	298	332	338	279	331	322
60%	315	343	348	298	342	334
65%	323	349	353	306	348	340
70%	331	354	356	316	352	346
80%	348	363	365	335	363	358
85%	359	369	370	345	370	365
90%	373	379	379	358	380	374
95%	380	385	392	371	391	386
Ανάκτηση	96,5%	96,0%	97,0%	96,5%	96,5%	95,0%
Υπόλειμα	1,0%	1,9%	1,9%	1,8%	1,4%	1,4%
Απώλειες	2,5%	2,1%	1,1%	1,7%	2,1%	3,6%
η_{50C}(mPa s)	2,63	4,11	5,08	2,28	4,26	3,55
ν_{50C} (mm^2/s)	3,14	4,85	5,98	2,66	4,90	4,11
ρ_{50C} (gr/cm^3)	0,8363	0,8473	0,8500	0,8577	0,8698	0,8634
η_{40C}(mPa s)	3,28	5,36	6,75	2,82	5,62	4,55
ν_{40C} (mm^2/s)	3,89	6,27	7,89	3,26	6,41	5,23
ρ_{40C} (gr/cm^3)	0,8424	0,8544	0,8560	0,8640	0,8766	0,8703
η_{15C}(mPa s)	6,53	12,08	16,84	5,44	13,42	10,19
ν_{15C} (mm^2/s)	7,60	13,87	19,29	6,17	15,03	11,49
ρ_{15C} (gr/cm^3)	0,8598	0,8709	0,8727	0,8817	0,8931	0,8869
S (%)	3,14	2,06	1,36	3,25	1,51	1,16
CCAI	807,8	804,8	799,8	835,2	825,3	824,9
Κατάταξη Ποιότητας Ανάφλεξης	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Καλή ως Ικανοποιητική	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή
CCI (ASTM D 976)	49,8	50,6	50,6	40,2	44,4	45,1
CCI (ASTM D 4737)	47,5	50,7	54,4	38,6	43,5	42,7



Διάγραμμα 8-Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 50%-25%-25% (1/2)

Πίνακας 9-Μετρήσεις Μειγμάτων Με Αναλογία 50%-25%-25%(1/2)

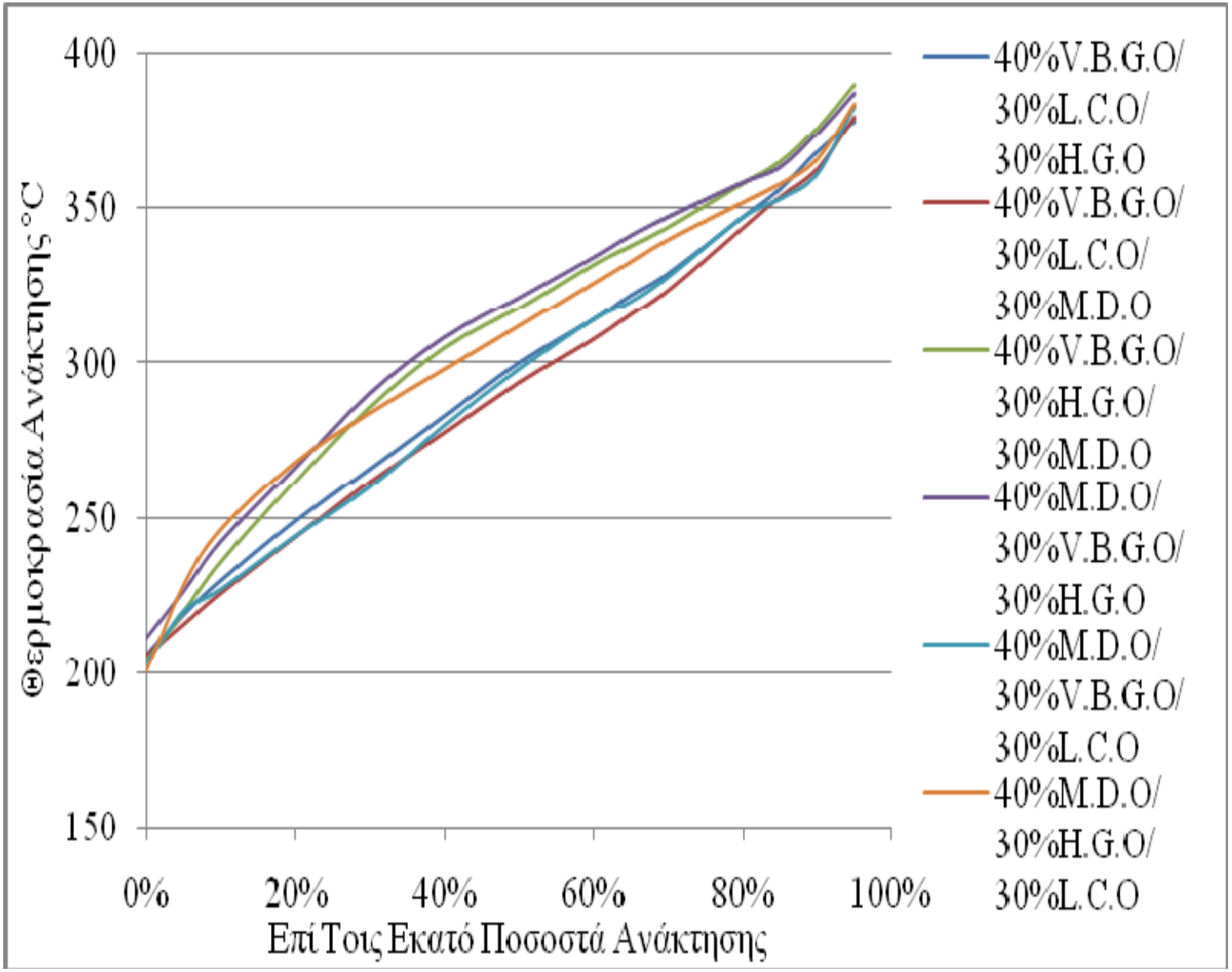
Καύσιμο	50%V.B.G.O/ 25%L.C.O/ 25%H.G.O	50%V.B.G.O/ 25%L.C.O/ 25%M.D.O	50%V.B.G.O/ 25%H.G.O/ 25%M.D.O	50%M.D.O/ 25%V.B.G.O/ 25%H.G.O	50%M.D.O/ 25%V.B.G.O/ 25%L.C.O	50%M.D.O/ 25%H.G.O/ 25%L.C.O
0%	200	197	192	206	204	225
5%	215	210	204	224	220	245
10%	227	220	217	240	235	258
20%	247	239	247	268	257	278
30%	266	257	276	293	274	294
40%	284	275	298	308	290	308
50%	301	294	314	324	306	324
60%	316	309	326	335	321	336
65%	323	317	332	341	328	342
70%	332	325	339	348	335	348
80%	352	343	356	359	350	359
85%	361	351	366	365	358	366
90%	372	362	375	374	369	374
95%	386	380	391	390	383	390
Ανάκτηση	97,0%	98,0%	97,5%	98,0%	98,0%	97,5%
Υπόλειμα	1,4%	1,2%	1,2%	2,0%	1,3%	1,1%
Απώλειες	1,6%	0,8%	1,3%	0,0%	0,7%	1,4%
η_{50C}(mPa s)	2,81	2,65	3,21	3,80	3,09	3,87
ν_{50C} (mm^2/s)	3,26	3,08	3,82	4,50	3,59	4,47
ρ_{50C} (gr/cm^3)	0,8613	0,8592	0,8410	0,8434	0,8621	0,8655
η_{40C}(mPa s)	3,53	3,33	4,08	4,91	3,93	5,02
ν_{40C} (mm^2/s)	4,07	3,84	4,82	5,78	4,53	5,75
ρ_{40C} (gr/cm^3)	0,8678	0,8663	0,8472	0,8498	0,8690	0,8722
η_{15C}(mPa s)	7,29	6,77	8,70	11,01	8,45	11,52
ν_{15C} (mm^2/s)	8,24	7,66	10,06	12,71	9,52	12,96
ρ_{15C} (gr/cm^3)	0,8850	0,8831	0,8841	0,8667	0,8859	0,8890
S (%)	2,54	2,55	2,48	1,89	1,85	1,28
CCAI	830,9	830,9	825,2	802,5	828,3	824,3
Κατάταξη Ποιότητας Ανάφλεξης	Καλή ως Ικανοποιητική	Καλή ως Ικανοποιητική	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή
CCI (ASTM D 976)	43,0	42,4	44,9	51,0	43,4	44,8
CCI (ASTM D 4737)	40,3	39,5	40,1	49,8	40,8	43,1



Διάγραμμα 9-Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 50%-25%-25% (2/2)

Πίνακας 10-Μετρήσεις Μειγμάτων Με Αναλογία 50%-25%-25%(2/2)

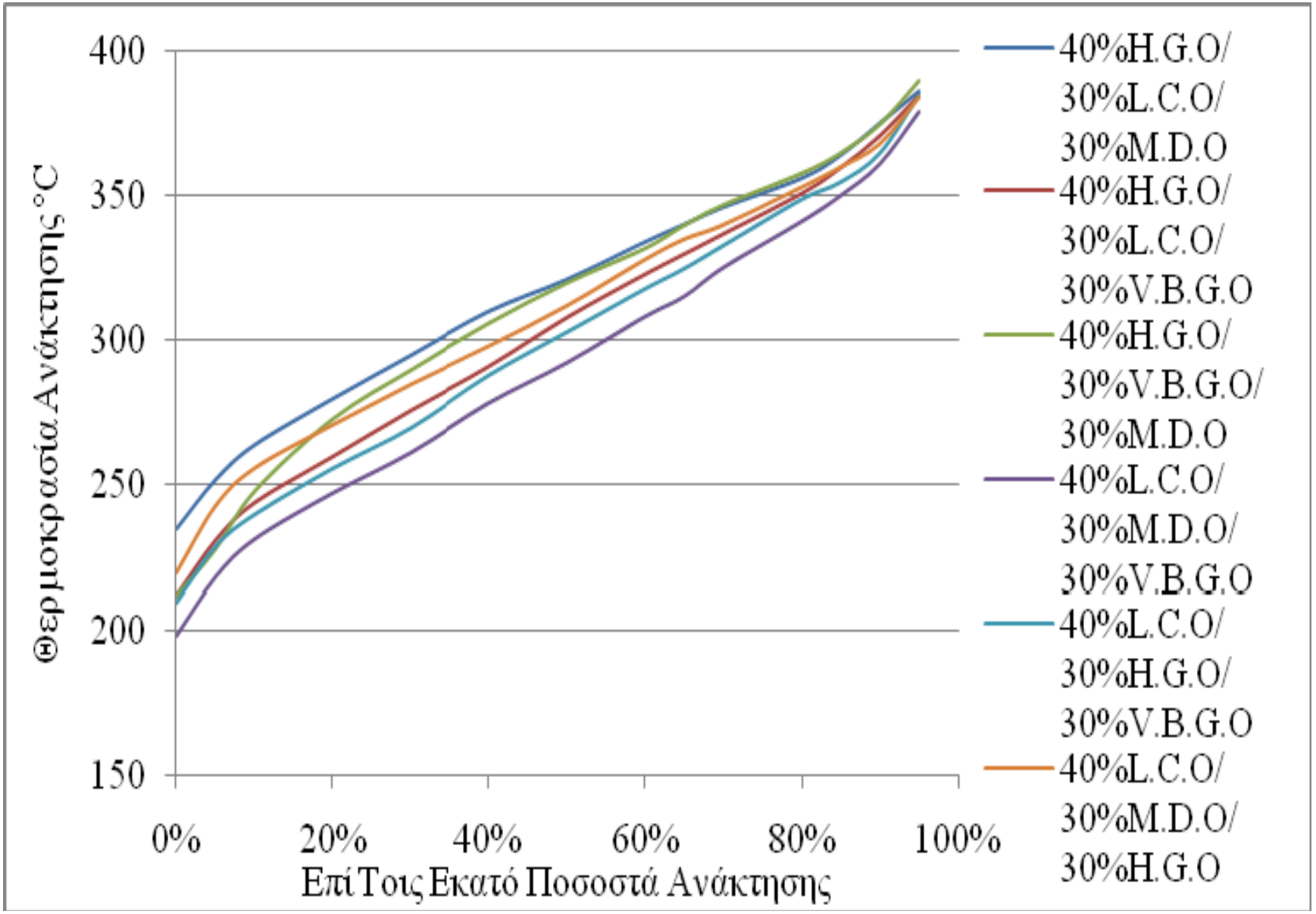
Καύσιμο	50%H.G.O/ 25%L.C.O/ 25%M.D.O	50%H.G.O/ 25%L.C.O/ 25%V.B.G.O	50%H.G.O/ 25%V.B.G.O/ 25%M.D.O	50%L.C.O/ 25%M.D.O/ 25%V.B.G.O	50%L.C.O/ 25%H.G.O/ 25%V.B.G.O	50%L.C.O/ 25%M.D.O/ 25%H.G.O
0%	237	214	220	208	200	218
5%	254	230	241	222	222	234
10%	266	243	255	234	234	246
20%	286	266	279	250	250	267
30%	302	285	300	264	264	282
40%	317	301	314	278	280	296
50%	328	316	329	293	296	310
60%	340	330	340	309	311	324
65%	344	337	345	316	318	331
70%	350	343	350	324	326	338
80%	361	357	361	339	340	351
85%	369	365	367	348	351	359
90%	378	374	381	361	366	368
95%	390	387	393	378	380	383
Ανάκτηση	96,0%	97,5%	96,5%	97,5%	97,5%	97,0%
Υπόλειμα	1,6%	1,7%	1,9%	2,2%	1,0%	1,8%
Απώλειες	2,4%	0,8%	1,6%	0,3%	1,5%	1,2%
η_{50C}(mPa s)	3,87	3,47	4,11	2,65	2,83	3,25
ν_{50C} (mm^2/s)	4,47	4,02	4,86	30042,00	3,20	3,66
ρ_{50C} (gr/cm^3)	0,8655	0,8649	0,8455	0,8836	0,8846	0,8878
η_{40C}(mPa s)	5,02	4,46	5,36	3,33	3,57	4,14
ν_{40C} (mm^2/s)	5,75	5,11	6,29	3,74	4,00	4,63
ρ_{40C} (gr/cm^3)	0,8722	0,8719	0,8523	0,8907	0,8909	0,8942
η_{15C}(mPa s)	11,52	9,80	12,43	6,87	7,45	9,08
ν_{15C} (mm^2/s)	12,96	11,03	14,31	7,56	8,20	9,95
ρ_{15C} (gr/cm^3)	0,8890	0,8884	0,8686	0,9078	0,9086	0,9118
S (%)	1,40	1,40	1,95	1,99	2,10	1,42
CCAI	824,3	827,3	801,8	855,9	854,7	853,1
Κατάταξη Ποιότητας Ανάφλεξης	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Μέτρια ως Κακή	Μέτρια ως Κακή	Μέτρια ως Κακή
CCI (ASTM D 976)	45,2	44,0	51,0	36,0	36,3	37,5
CCI (ASTM D 4737)	44,4	41,3	51,3	33,7	33,7	33,8



Διάγραμμα 10-Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 40%-30%-30% (1/2)

Πίνακας 11-Μετρήσεις Μειγμάτων Με Αναλογία 40%-30%-30%(1/2)

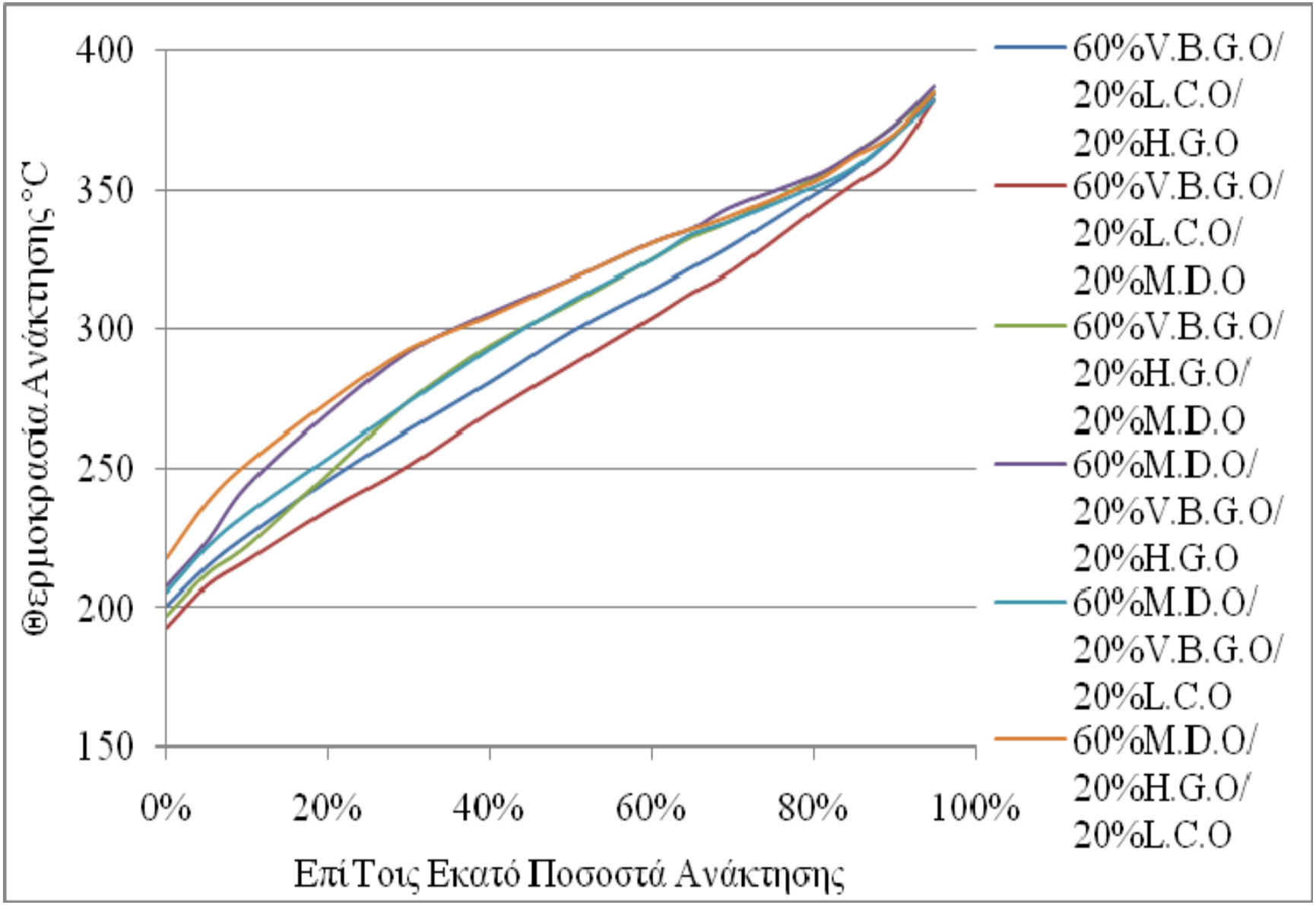
Καύσιμο	40%V.B.G.O/ 30%L.C.O/ 30%H.G.O	40%V.B.G.O/ 30%L.C.O/ 30%M.D.O	40%V.B.G.O/ 30%H.G.O/ 30%M.D.O	40%M.D.O/ 30%V.B.G.O/ 30%H.G.O	40%M.D.O/ 30%V.B.G.O/ 30%L.C.O	40%M.D.O/ 30%H.G.O/ 30%L.C.O
0%	206	206	204	211	203	200
5%	219	216	220	226	220	228
10%	230	226	236	242	227	246
20%	249	244	262	266	244	268
30%	266	262	286	290	260	284
40%	283	278	305	308	280	298
50%	300	294	318	321	298	312
60%	314	308	332	334	314	326
65%	322	316	338	341	320	333
70%	329	324	344	347	328	340
80%	347	344	358	358	347	352
85%	356	354	365	363	353	358
90%	368	363	376	374	361	366
95%	378	380	390	387	383	384
Ανάκτηση	97,0%	97,0%	98,0%	96,0%	97,5%	97,5%
Υπόλειμα	1,7%	2,1%	1,5%	2,2%	1,2%	2,0%
Απώλειες	1,3%	0,9%	0,5%	1,8%	1,3%	0,5%
η_{50C}(mPa s)	2,99	2,76	3,73	3,71	2,92	3,80
ν_{50C} (mm^2/s)	3,45	3,19	4,29	4,40	3,37	4,37
ρ_{50C} (gr/cm^3)	0,8671	0,8633	0,8704	0,8432	0,8658	0,8703
η_{40C}(mPa s)	3,79	3,46	4,81	4,76	3,64	4,91
ν_{40C} (mm^2/s)	4,33	3,97	5,49	5,60	4,17	5,59
ρ_{40C} (gr/cm^3)	0,8744	0,8714	0,8764	0,8490	0,8727	0,8768
η_{15C}(mPa s)	7,93	7,11	10,90	10,57	7,58	11,13
ν_{15C} (mm^2/s)	8,90	8,00	12,20	12,20	8,52	12,45
ρ_{15C} (gr/cm^3)	0,8909	0,8891	0,8936	0,8664	0,8897	0,8940
S (%)	2,43	2,29	2,21	1,99	2,02	1,33
CCAI	834,9	835,8	830,3	803,1	834,8	830,2
Κατάταξη Ποιότητας Ανάφλεξης	Καλή ως Ικανοποιητική	Καλή ως Ικανοποιητική	Καλή ως Ικανοποιητική	Πολύ Καλή έως Καλή	Καλή ως Ικανοποιητική	Καλή ως Ικανοποιητική
CCI (ASTM D 976)	41,2	40,8	42,9	50,8	41,3	42,1
CCI (ASTM D 4737)	38,5	38,3	38,8	49,9	38,2	39,2



Διάγραμμα 11-Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 40%-30%-30% (2/2)

Πίνακας 12-Μετρήσεις Μειγμάτων Με Αναλογία 40%-30%-30%(2/2)

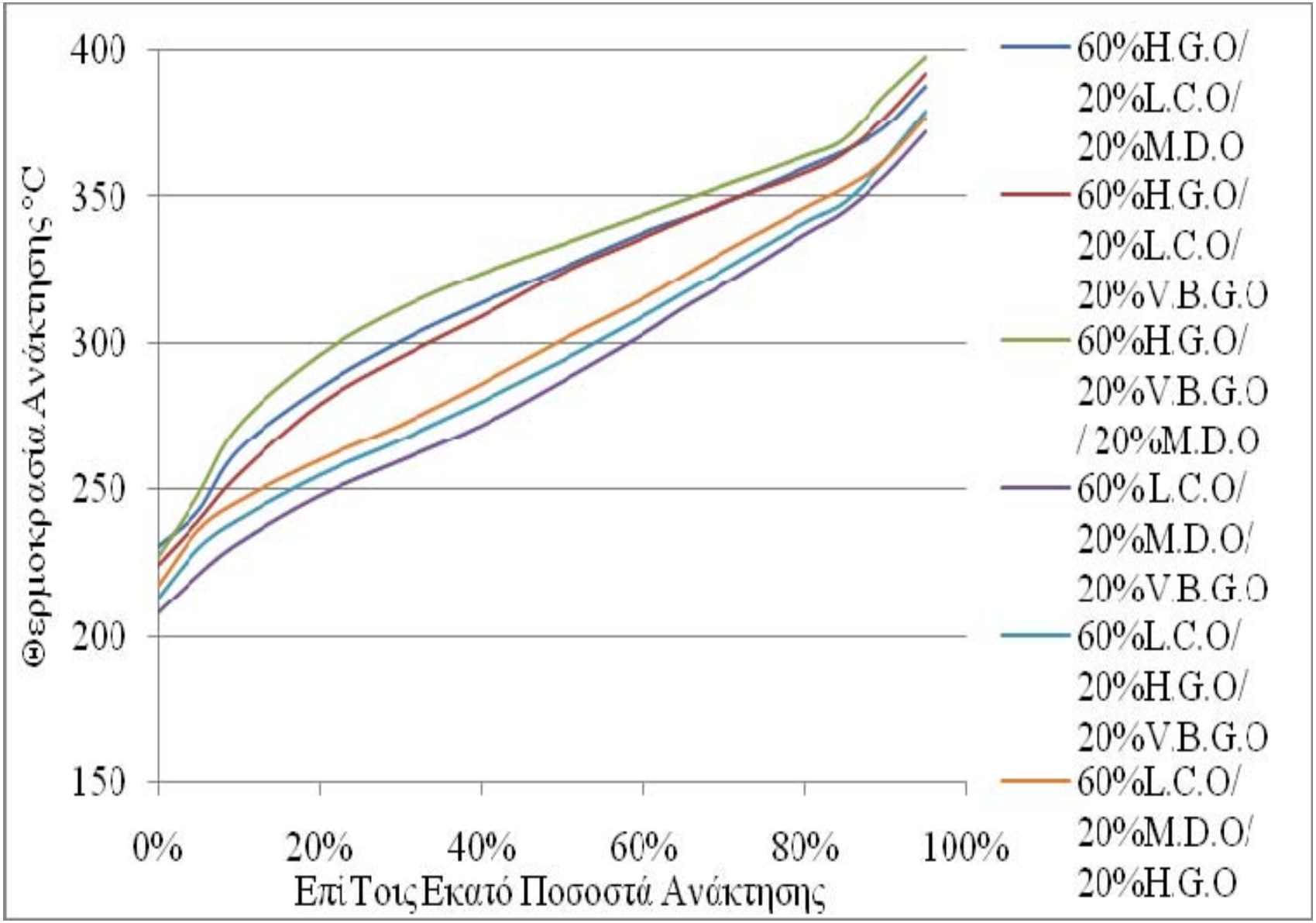
Καύσιμο	40%H.G.O/ 30%L.C.O/ 30%M.D.O	40%H.G.O/ 30%L.C.O/ 30%V.B.G.O	40%H.G.O/ 30%V.B.G.O/ 30%M.D.O	40%L.C.O/ 30%M.D.O/ 30%V.B.G.O	40%L.C.O/ 30%H.G.O/ 30%V.B.G.O	40%L.C.O/ 30%M.D.O/ 30%H.G.O
0%	235	212	212	198	210	220
5%	252	231	228	218	229	243
10%	264	244	248	231	240	256
20%	280	260	273	247	256	271
30%	295	276	290	261	270	285
40%	310	291	306	278	288	298
50%	321	308	320	292	303	312
60%	334	323	332	308	318	328
65%	340	330	340	315	325	335
70%	346	337	347	325	333	340
80%	356	351	358	341	349	353
85%	364	360	365	350	355	360
90%	375	371	375	361	365	368
95%	386	385	390	379	385	384
Ανάκτηση	96,0%	97,5%	98,0%	98,0%	97,0%	98,0%
Υπόλειμα	2,3%	1,9%	1,9%	1,9%	1,4%	1,6%
Απώλειες	1,7%	0,6%	0,1%	0,1%	1,6%	0,4%
η_{50C}(mPa s)	3,88	3,24	3,85	2,77	4,23	3,45
ν_{50C} (mm^2/s)	4,44	3,73	4,56	3,17	4,83	3,91
ρ_{50C} (gr/cm^3)	0,8720	0,8685	0,8438	0,8743	0,8770	0,8819
η_{40C}(mPa s)	5,01	4,08	4,94	3,49	3,93	4,41
ν_{40C} (mm^2/s)	5,70	4,67	5,81	3,96	4,45	4,96
ρ_{40C} (gr/cm^3)	0,8788	0,8745	0,8503	0,8813	0,8839	0,8888
η_{15C}(mPa s)	11,43	8,76	11,04	7,23	9,44	9,77
ν_{15C} (mm^2/s)	12,76	9,82	12,74	8,04	10,46	10,78
ρ_{15C} (gr/cm^3)	0,8955	0,8920	0,8669	0,8988	0,9014	0,9061
S (%)	1,38	2,20	2,04	2,07	2,21	1,38
CCAI	831,2	833,7	802,6	845,4	841,6	845,6
Κατάταξη Ποιότητας Ανάφλεξης	Καλή ως Ικανοποιητική	Καλή ως Ικανοποιητική	Πολύ Καλή έως Καλή	Καλή ως Ικανοποιητική	Καλή ως Ικανοποιητική	Καλή ως Ικανοποιητική
CCI (ASTM D 976)	42,8	42,1	50,5	38,0	39,0	39,1
CCI (ASTM D 4737)	41,5	39,9	50,4	35,8	36,2	36,7



Διάγραμμα 12-Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 60%-20%-20% (1/2)

Πίνακας 13-Μετρήσεις Μειγμάτων Με Αναλογία 60%-20%-20%(1/2)

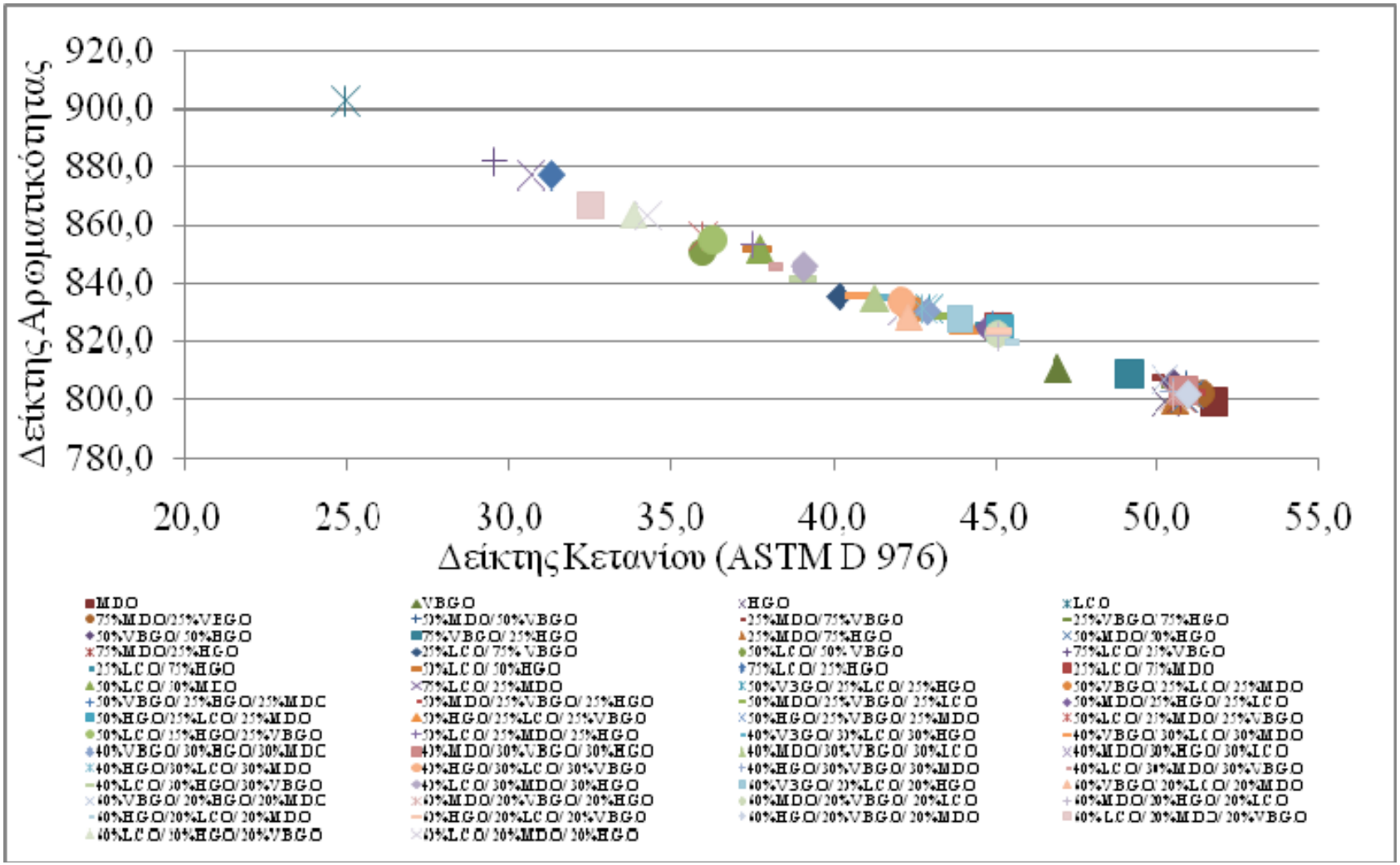
Καύσιμο	60%V.B.G.O/ 20%L.C.O/ 20%H.G.O	60%V.B.G.O/ 20%L.C.O/ 20%M.D.O	60%V.B.G.O/ 20%H.G.O/ 20%M.D.O	60%M.D.O/ 20%V.B.G.O/ 20%H.G.O	60%M.D.O/ 20%V.B.G.O/ 20%L.C.O	60%M.D.O/ 20%H.G.O/ 20%L.C.O
0%	201	193	197	208	206	218
5%	215	208	212	224	222	238
10%	226	217	222	244	234	252
20%	246	235	248	270	254	274
30%	264	251	274	292	274	293
40%	281	270	294	306	293	305
50%	299	287	309	318	310	318
60%	314	304	325	331	325	331
65%	322	313	333	336	334	336
70%	330	321	339	344	339	341
80%	348	342	354	355	351	353
85%	357	352	363	363	358	362
90%	369	362	373	373	369	370
95%	384	382	385	387	382	385
Ανάκτηση	96,5%	97,5%	96,5%	97,5%	97,0%	98,0%
Υπόλειμα	2,1%	1,4%	1,8%	2,4%	1,7%	1,3%
Απώλειες	1,4%	1,1%	1,7%	0,1%	1,3%	0,7%
η_{50C}(mPa s)	2,72	2,60	3,02	3,94	3,29	3,82
v_{50C} (mm^2/s)	3,17	3,05	3,59	4,67	3,83	4,43
ρ_{50C} (gr/cm^3)	0,8562	0,8547	0,8394	0,8430	0,8581	0,8620
η_{40C}(mPa s)	3,39	3,24	3,80	5,07	4,20	4,90
v_{40C} (mm^2/s)	3,93	3,76	4,50	5,97	4,86	5,65
ρ_{40C} (gr/cm^3)	0,8632	0,8617	0,8463	0,8497	0,8649	0,8682
η_{15C}(mPa s)	6,93	6,44	7,93	11,52	9,11	10,97
v_{15C} (mm^2/s)	7,87	7,32	9,18	13,29	10,33	12,40
ρ_{15C} (gr/cm^3)	0,8805	0,8792	0,8635	0,8663	0,8818	0,8853
S (%)	2,90	2,63	2,80	1,66	1,68	1,22
CCAI	827,6	828,2	806,8	801,1	822,3	821,6
Κατάταξη Ποιότητας Ανάφλεξης	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή
CCI (ASTM D 976)	43,9	42,3	50,2	50,5	45,1	45,1
CCI (ASTM D 4737)	41,5	40,2	48,0	50,0	42,3	43,4



Διάγραμμα 13-Καμπύλες Απόσταξης Μειγμάτων Με Αναλογία 60%-20%-20% (2/2)

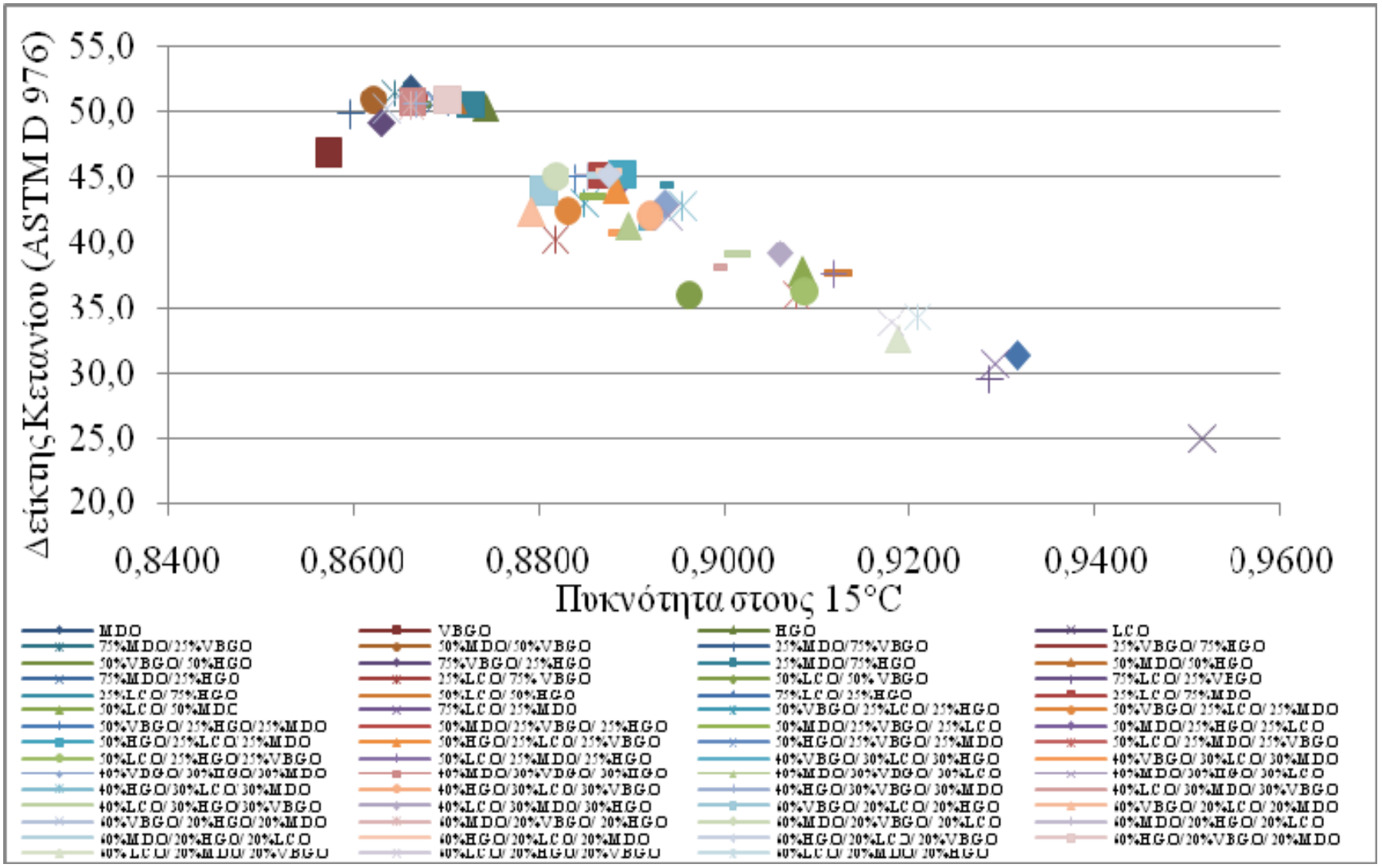
Πίνακας 14-Μετρήσεις Μειγμάτων Με Αναλογία 60%-20%-20%(2/2)

Καύσιμο	60%H.G.O/ 20%L.C.O/ 20%M.D.O	60%H.G.O/ 20%L.C.O/ 20%V.B.G.O	60%H.G.O/ 20%V.B.G.O/ 20%M.D.O	60% L.C.O/ 20%M.D.O/ 20%V.B.G.O	60%L.C.O/ 20%H.G.O/ 20%V.B.G.O	60%L.C.O/ 20%M.D.O/ 20%H.G.O
0%	231	224	227	208	213	217
5%	243	239	248	221	230	236
10%	264	255	272	232	240	246
20%	285	279	296	248	255	260
30%	301	295	312	260	267	272
40%	314	309	324	272	280	286
50%	326	324	334	287	294	301
60%	338	336	344	303	309	315
65%	343	342	349	312	317	323
70%	348	348	354	320	325	331
80%	360	358	364	337	341	346
85%	366	365	370	345	348	353
90%	374	377	385	357	362	362
95%	388	392	398	372	379	377
Ανάκτηση	97,0%	98,0%	97,0%	97,5%	97,5%	37,0%
Υπόλειμα	1,9%	1,5%	1,4%	2,3%	1,1%	2,1%
Απώλειες	1,1%	0,5%	1,6%	0,2%	1,4%	60,9%
η_{50C}(mPa s)	4,37	3,82	4,44	2,72	2,92	3,15
v_{50C} (mm^2/s)	5,06	4,42	5,24	3,04	3,27	3,51
ρ_{50C} (gr/cm^3)	0,8646	0,8641	0,8469	0,8936	0,8936	0,8969
η_{40C}(mPa s)	5,74	4,96	5,80	3,88	3,65	4,02
v_{40C} (mm^2/s)	6,58	5,69	6,79	3,76	4,06	4,45
ρ_{40C} (gr/cm^3)	0,8715	0,8708	0,8532	0,9001	0,9007	0,9040
η_{15C}(mPa s)	13,73	11,34	13,64	6,98	7,67	8,78
v_{15C} (mm^2/s)	15,47	12,77	15,68	7,60	8,35	9,53
ρ_{15C} (gr/cm^3)	0,8876	0,8876	0,8702	0,9187	0,9180	0,9209
S (%)	1,41	1,96	1,85	1,46	2,00	1,46
CCAI	819,2	823,3	801,5	866,7	863,6	863,3
Κατάταξη Ποιότητας Ανάφλεξης	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Πολύ Καλή έως Καλή	Μέτρια ως Κακή	Μέτρια ως Κακή	Μέτρια ως Κακή
CCI (ASTM D 976)	45,3	45,1	51,0	32,5	33,8	34,3
CCI (ASTM D 4737)	44,4	43,3	53,3	30,6	31,7	31,2



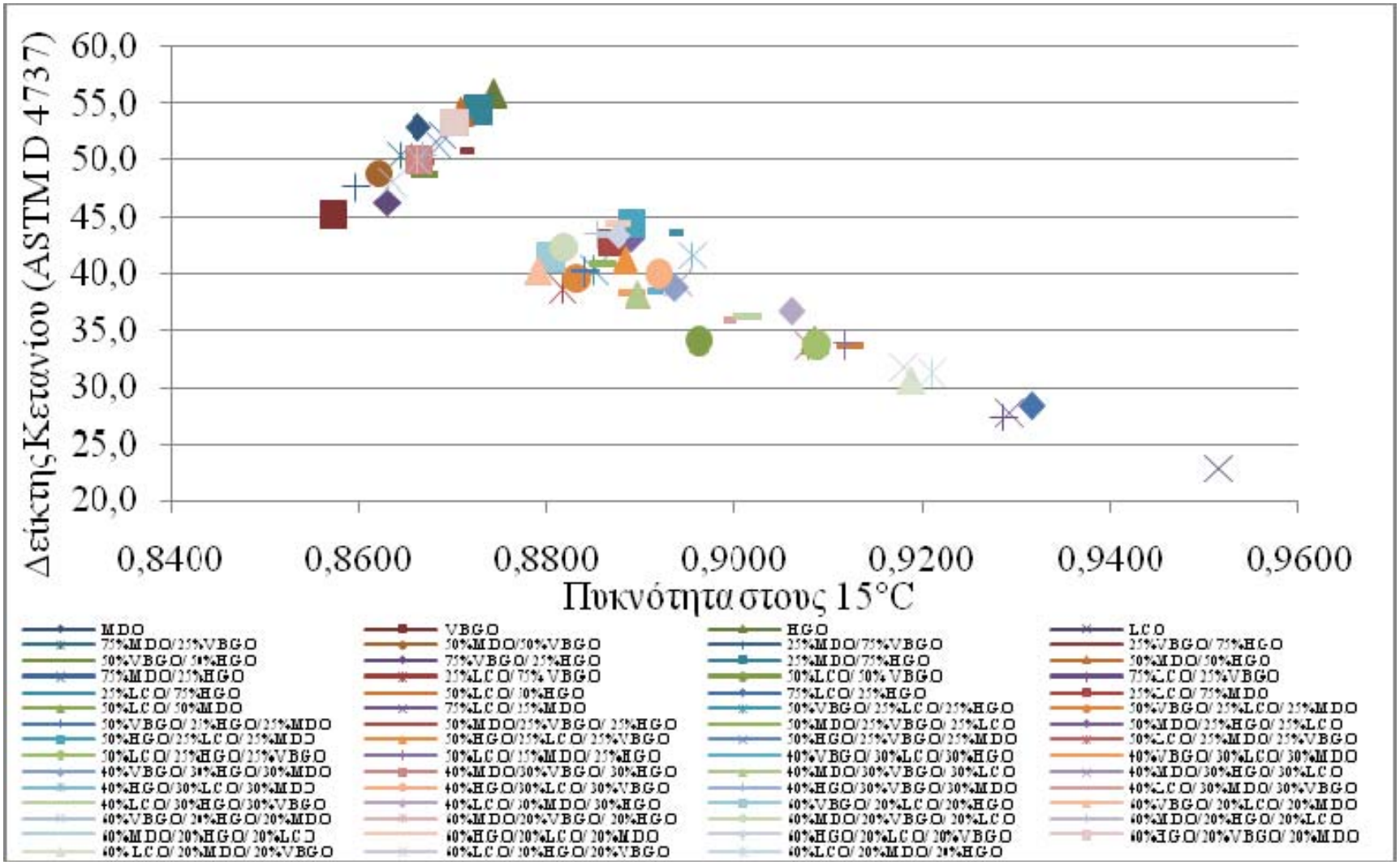
Διάγραμμα 14-Συσχέτιση Δείκτη αρωματικότητας - Δείκτη κετανίου (ASTM D 976)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 14 δείχνεται η συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των δεικτών αρωματικότητας (CCAI) και κετανίου (CCI) των μειγμάτων που δημιουργήθηκαν στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας. Παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ τους με δηλαδή, για μεγάλες τιμές του δείκτης αρωματικότητας έχουμε αντίστοιχα μικρές τιμές του δείκτη κετανίου και αντίστροφα.



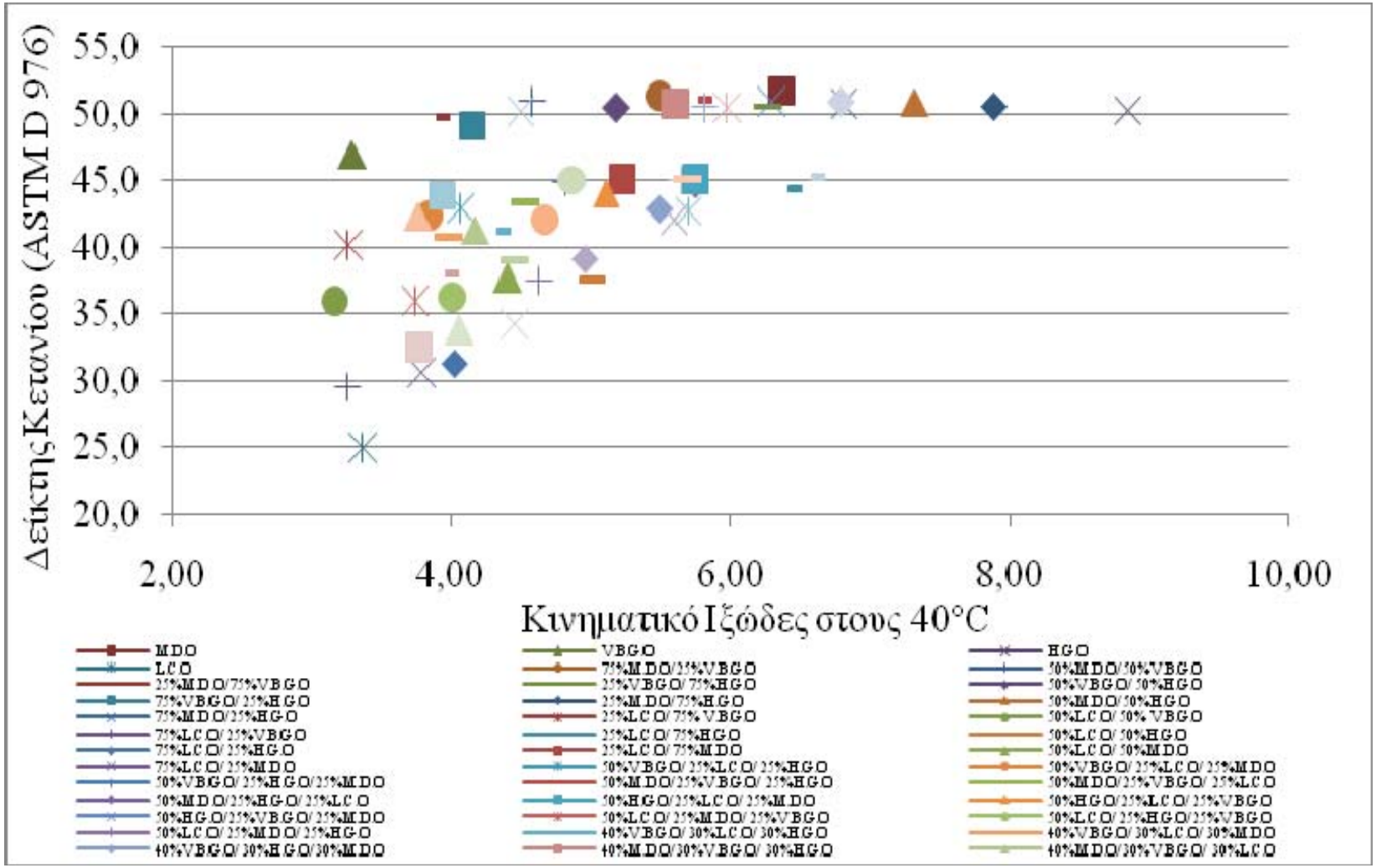
Διάγραμμα 15-Συσχέτιση Δείκτη κετανίου (ASTM D 976) - Πυκνότητας στους 15 °C

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 15 δείχνεται η συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των δεικτών κετανίου κατά ASTM D 976 και της πυκνότητας των μειγμάτων, στους 15 °C. Παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων. Στα μείγματα με χαμηλή πυκνότητα έχουμε μεγάλες τιμές του δείκτη κετανίου και αντίστροφα.



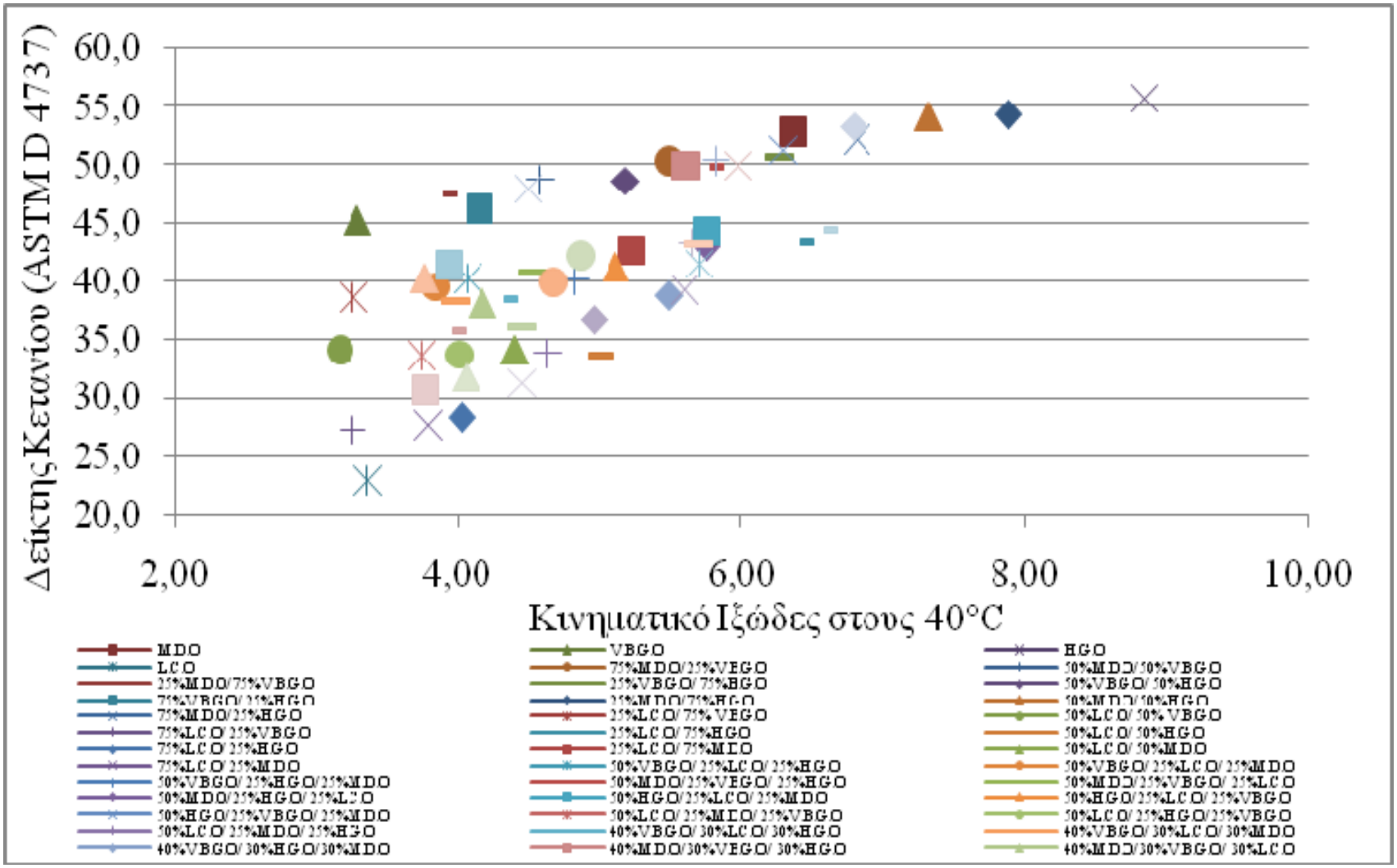
Διάγραμμα 16-Συσχέτιση Δείκτη κετανίου (ASTM D 4737) - Πυκνότητας στους 15 °C

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 16 δείχνεται η συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των δεικτών κετανίου κατά ASTM D 4737 και της πυκνότητας των μειγμάτων, στους 15 °C. Παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων. Στα μείγματα με χαμηλή πυκνότητα έχουμε μεγάλες τιμές του δείκτη κετανίου και αντίστροφα.



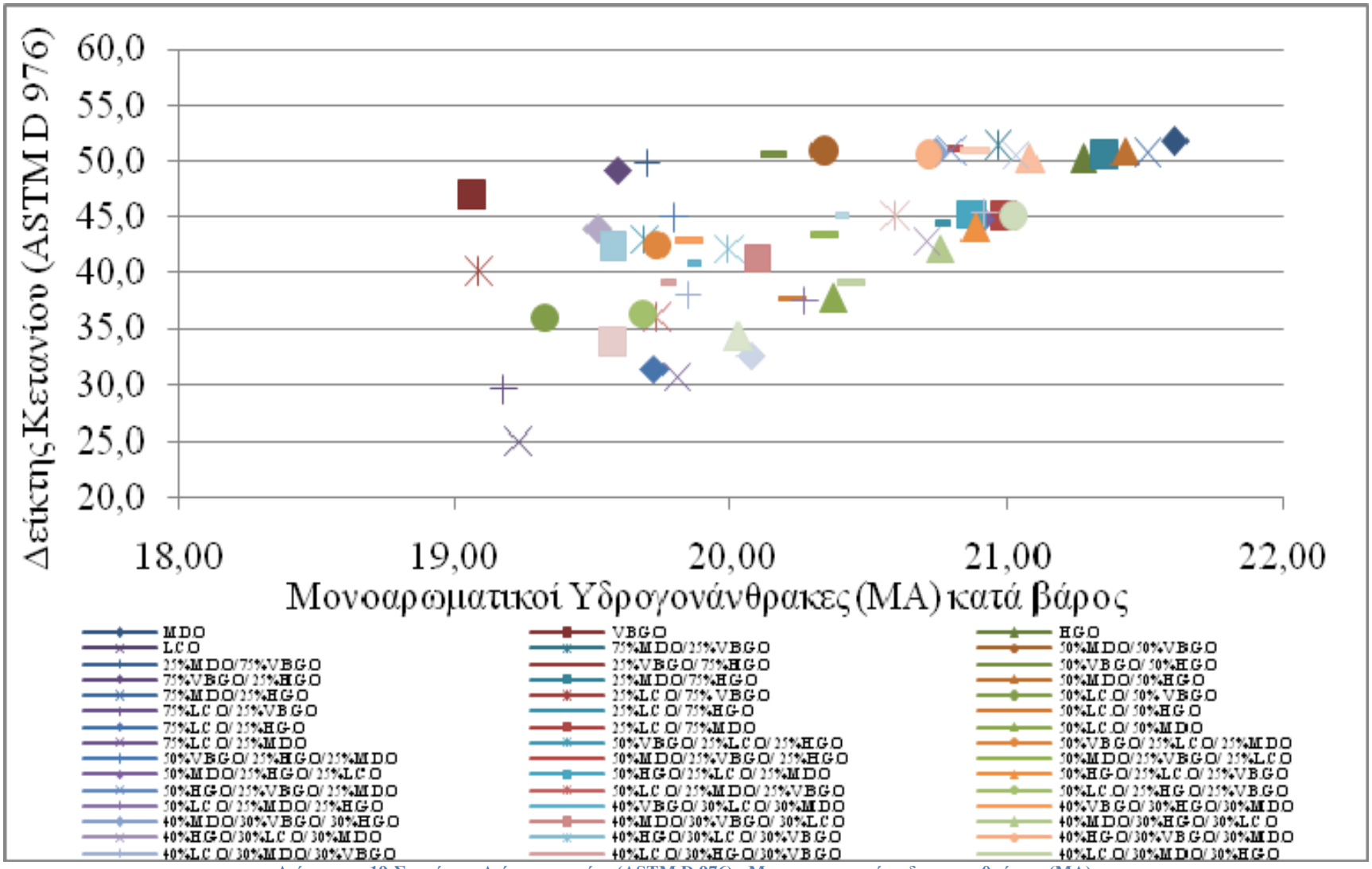
Διάγραμμα 17-Συσχέτιση Δείκτη κετανίου (ASTM D 976) – Κινηματικό Ιξώδες στους 40 °C

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 17 δείχνεται η συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των δεικτών κετανίου, κατά ASTM D 976, των μειγμάτων και του κινηματικού ιξώδες τους, στους 40°C. Παρατηρείται ότι υπάρχει έντονη διασπορά των δύο παραμέτρων στις τιμές μεταξύ 20,0-55,0 για τον δείκτη κετανίου και 3,00-10,00 για το Κινηματικό ιξώδες.



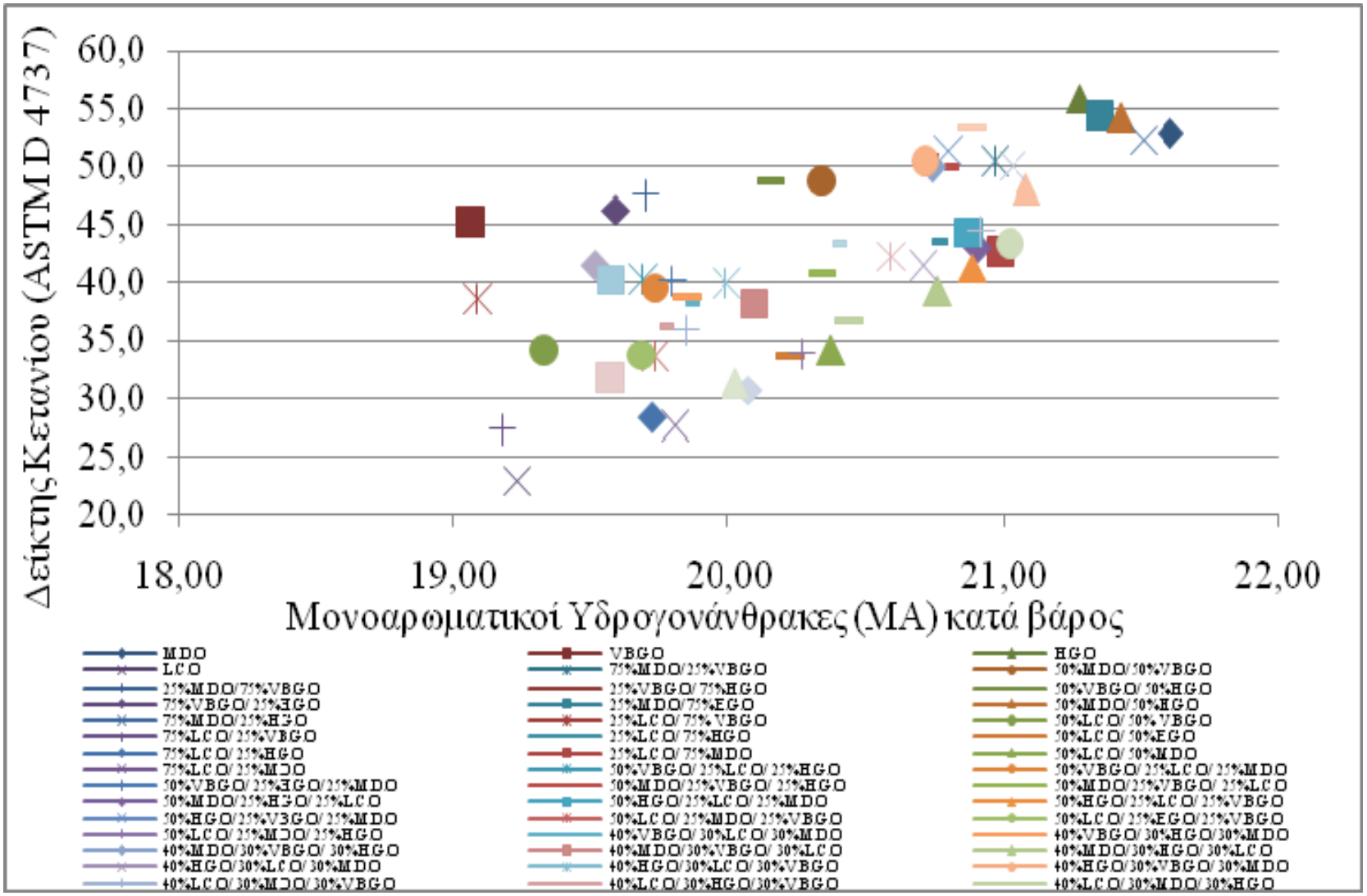
Διάγραμμα 18-Συσχέτιση Δείκτη κετανίου (ASTM D 4737) – Κινηματικό Ιξώδες στους 40 °C

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 18 δείχνεται η συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των δεικτών κετανίου, κατά ASTM D 4737, των μειγμάτων και του κινηματικού ιξώδες τους, στους 40 °C. Παρατηρείται ότι υπάρχει έντονη διασπορά των δύο παραμέτρων στις τιμές μεταξύ 20,0-55,0 για τον δείκτη κετανίου και 3,00-10,00 για το κινηματικό ιξώδες.



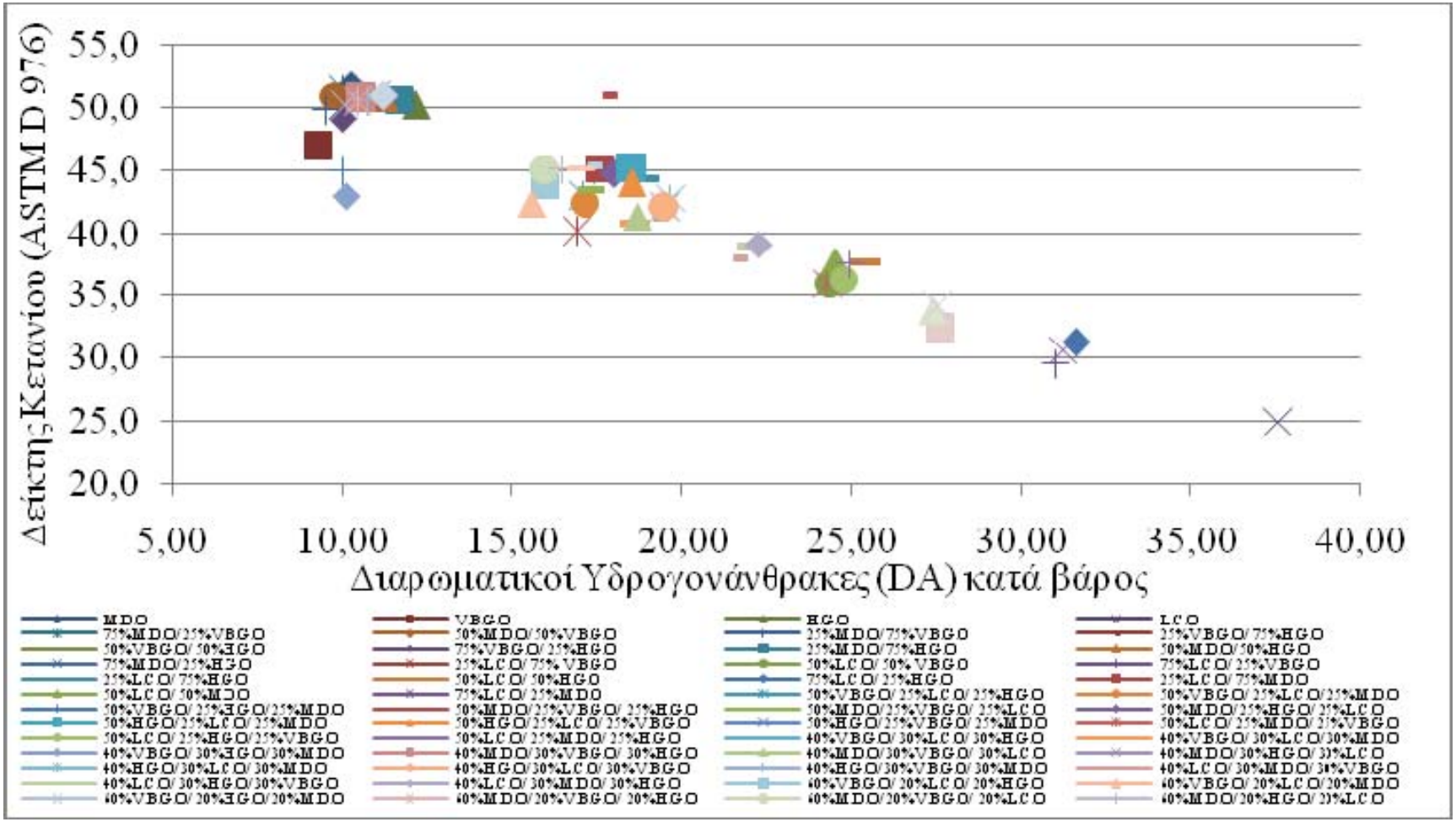
Διάγραμμα 19-Συσχέτιση Δείκτη κετανίου (ASTM D 976) - Μονοαρωματικών υδρογονανθράκων (MA)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 19 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών κετανίου, κατά ASTM D 976 και των μονοαρωματικών υδρογονανθράκων των μειγμάτων. Παρατηρείται εκτεταμένη διασπορά μεταξύ των δύο παραμέτρων στις τιμές μεταξύ 20,0-60,0 για τον δείκτη κετανίου και 19,00-22,00 για την περιεκτικότητα κατά βάρος των μειγμάτων σε μονοαρωματικούς υδρογονάνθρακες.



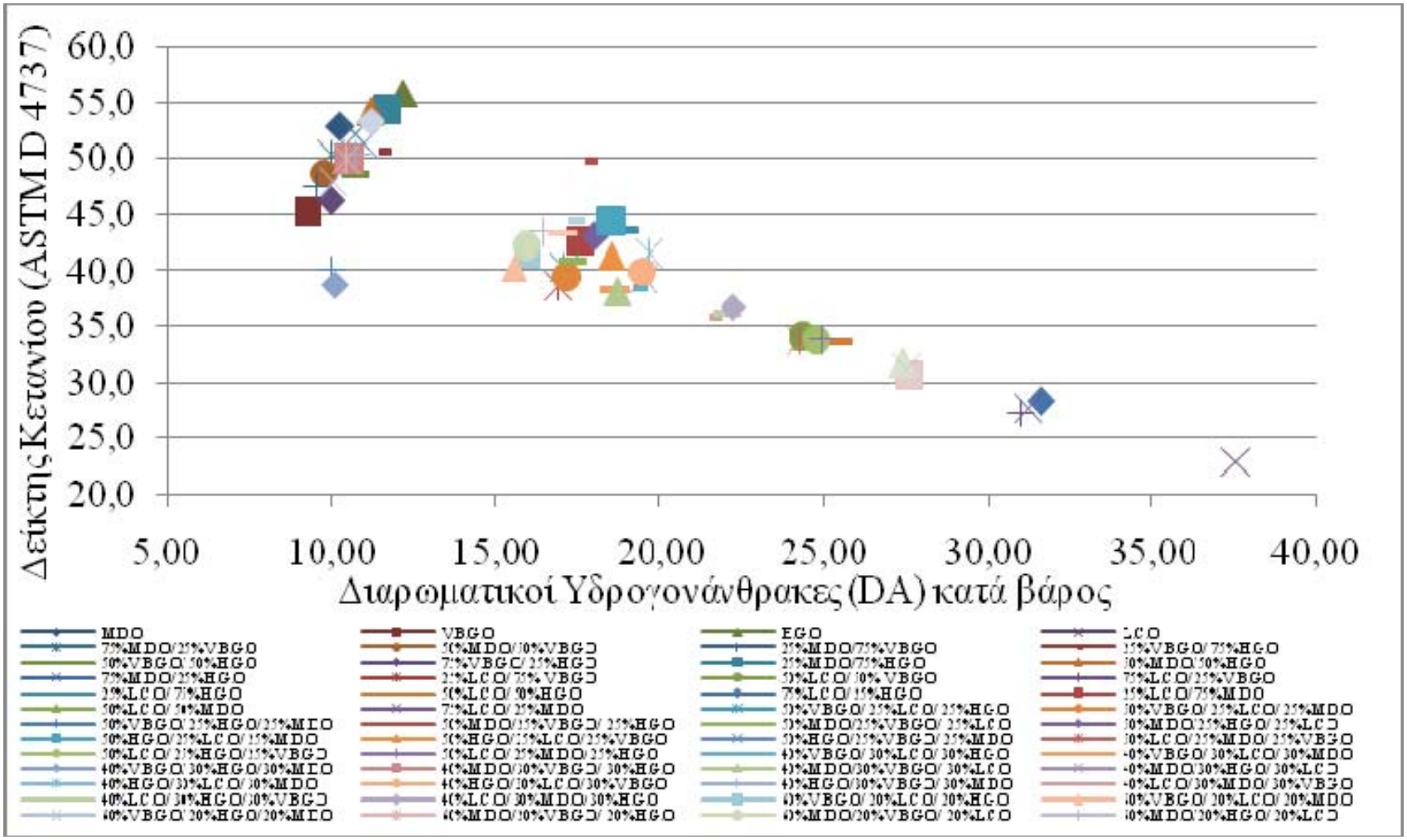
Διάγραμμα 20-Συσχέτιση Δείκτη κετανίου (ASTM D 4373) - Μονοαρωματικών υδρογονανθράκων (MA)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 20 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών κετανίου, κατά ASTM D 4737 και των μονοαρωματικών υδρογονανθράκων των μειγμάτων. Παρατηρείται εκτεταμένη διασπορά μεταξύ των δύο παραμέτρων στις τιμές μεταξύ 20,0-60,0 για τον δείκτη κετανίου και 19,00-22,00 για την περιεκτικότητα κατά βάρος των μειγμάτων σε μονοαρωματικούς υδρογονάνθρακες.



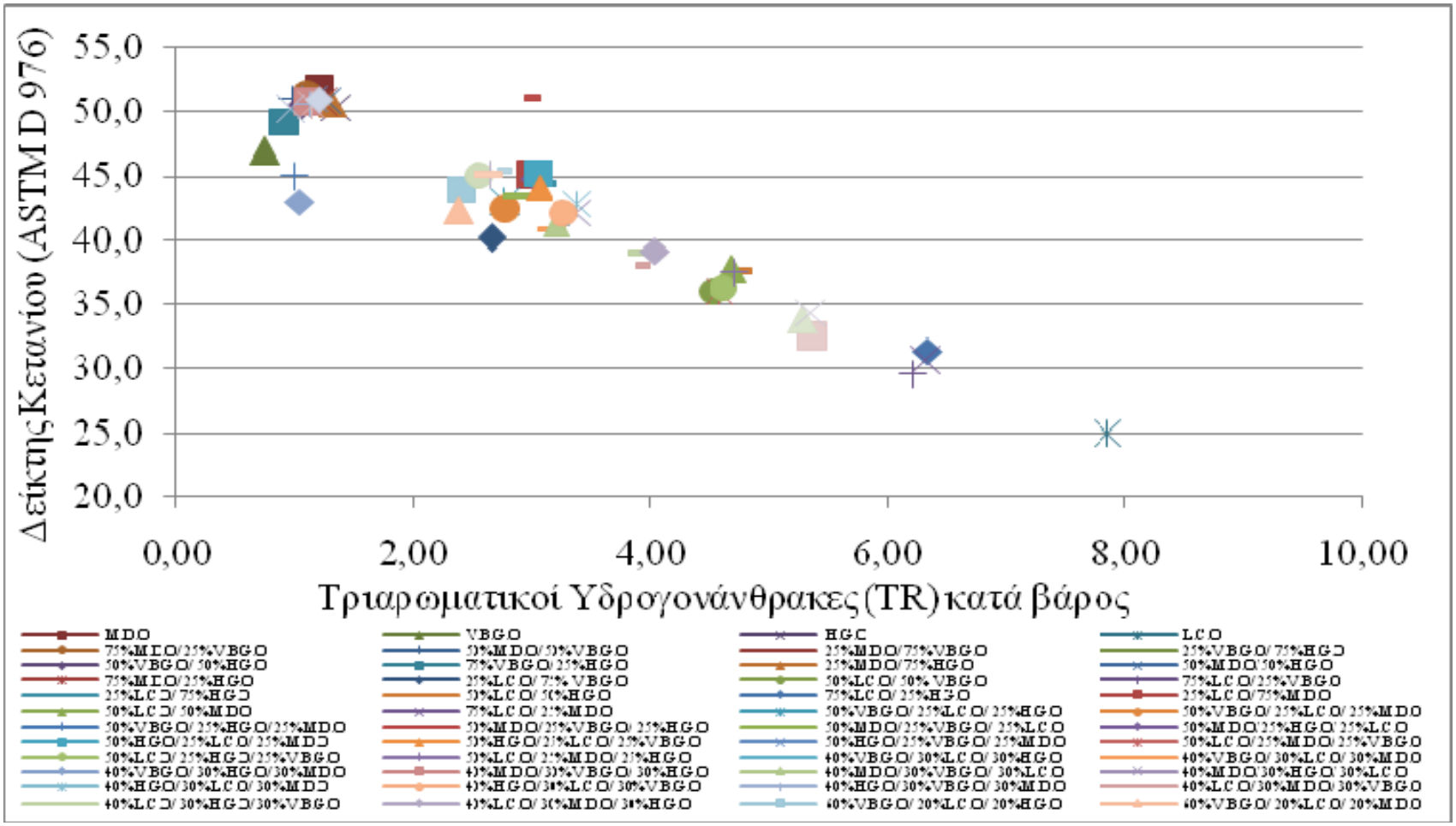
Διάγραμμα 21-Συσχέτιση Δείκτη κετανίου (ASTM D 976) - Διαρωματικών υδρογονανθράκων (DA)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 21 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών κετανίου, κατά ASTM D 976 και των διαρωματικών υδρογονανθράκων των μειγμάτων. Παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων, για μεγάλες τιμές του δείκτη κετανίου τα μείγματα κατά βάρος περιέχουν αντίστοιχα υψηλές ποσότητες διαρωματικών υδρογονανθράκων ενώ, αντίστοιχα για μικρές τιμές του δείκτη κετανίου τα μείγματα περιέχουν μικρές ποσότητες διαρωματικών υδρογονανθράκων.



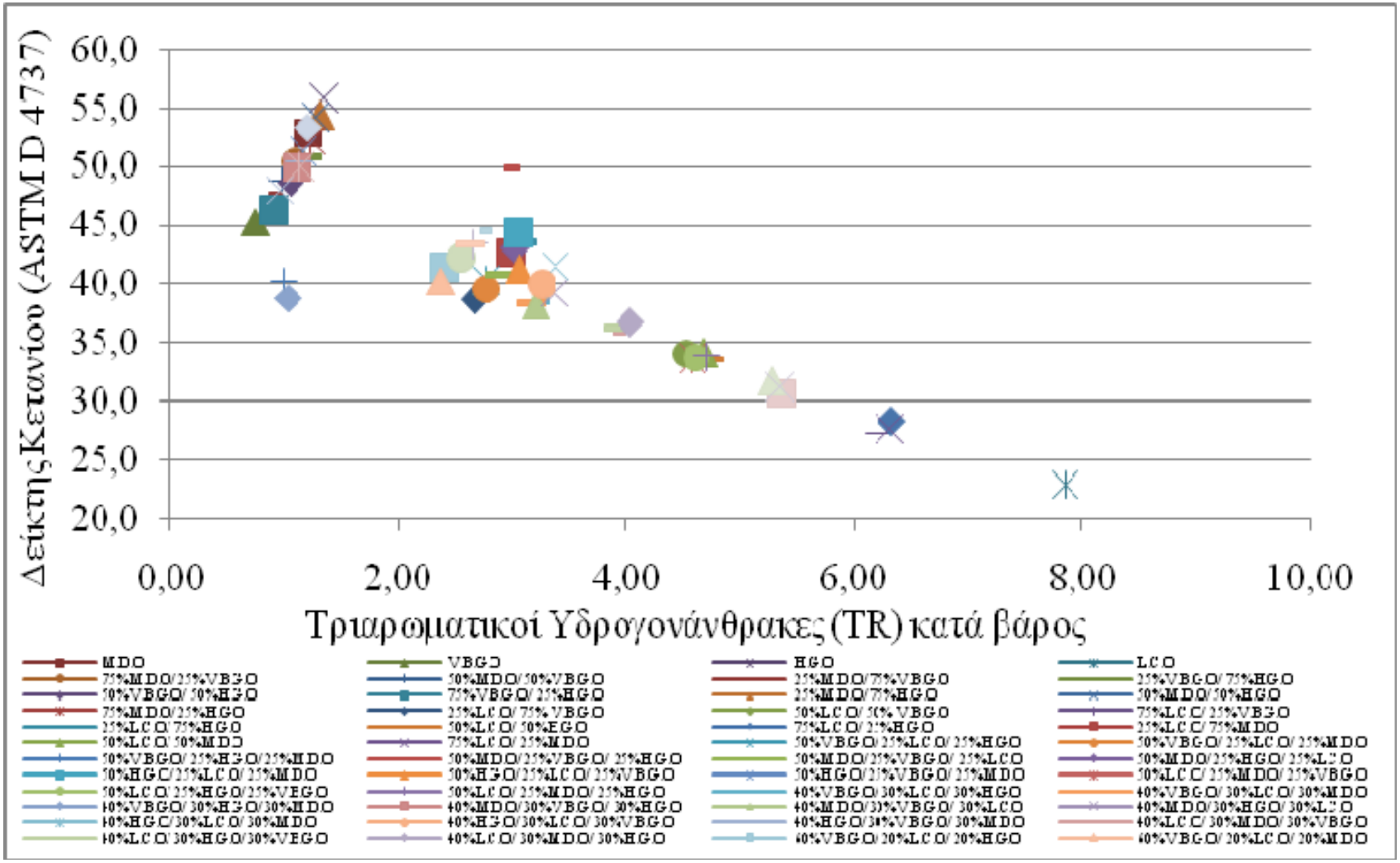
Διάγραμμα 22-Συσχέτιση Δείκτη κετανίου (ASTM D 4737) - Διαρωματικών υδρογονανθράκων (DA)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 22 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών κετανίου, κατά ASTM D 4737 και των διαρωματικών υδρογονανθράκων των μειγμάτων. Παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων, για μεγάλες τιμές του δείκτη κετανίου τα μείγματα κατά βάρος περιέχουν αντίστοιχα υψηλές ποσότητες διαρωματικών υδρογονανθράκων ενώ, αντίστοιχα για μικρές τιμές του δείκτη κετανίου τα μείγματα περιέχουν μικρές ποσότητες διαρωματικών υδρογονανθράκων.



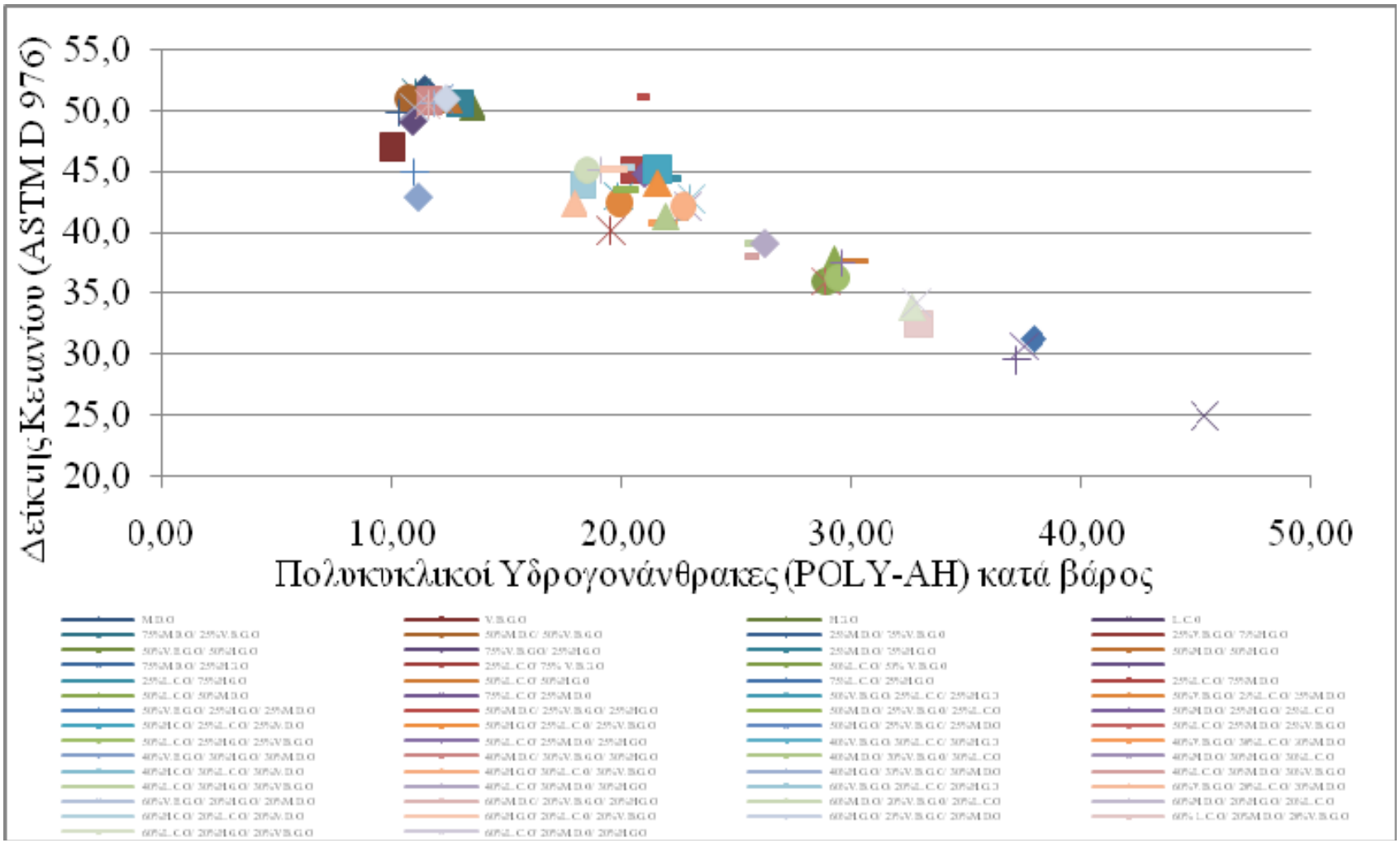
Διάγραμμα 23-Συσχέτιση Δείκτη κετανίου (ASTM D 976) - Τριαρωματικών υδρογονανθράκων (TR)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 23 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών κετανίου, κατά ASTM D 976 και των τριαρωματικών υδρογονανθράκων των μειγμάτων. Παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων, για μεγάλες τιμές του δείκτη κετανίου τα μείγματα κατά βάρος περιέχουν αντίστοιχα υψηλές ποσότητες τριαρωματικών υδρογονανθράκων ενώ, αντίστοιχα για μικρές τιμές του δείκτη κετανίου τα μείγματα περιέχουν μικρές ποσότητες τριαρωματικών υδρογονανθράκων.



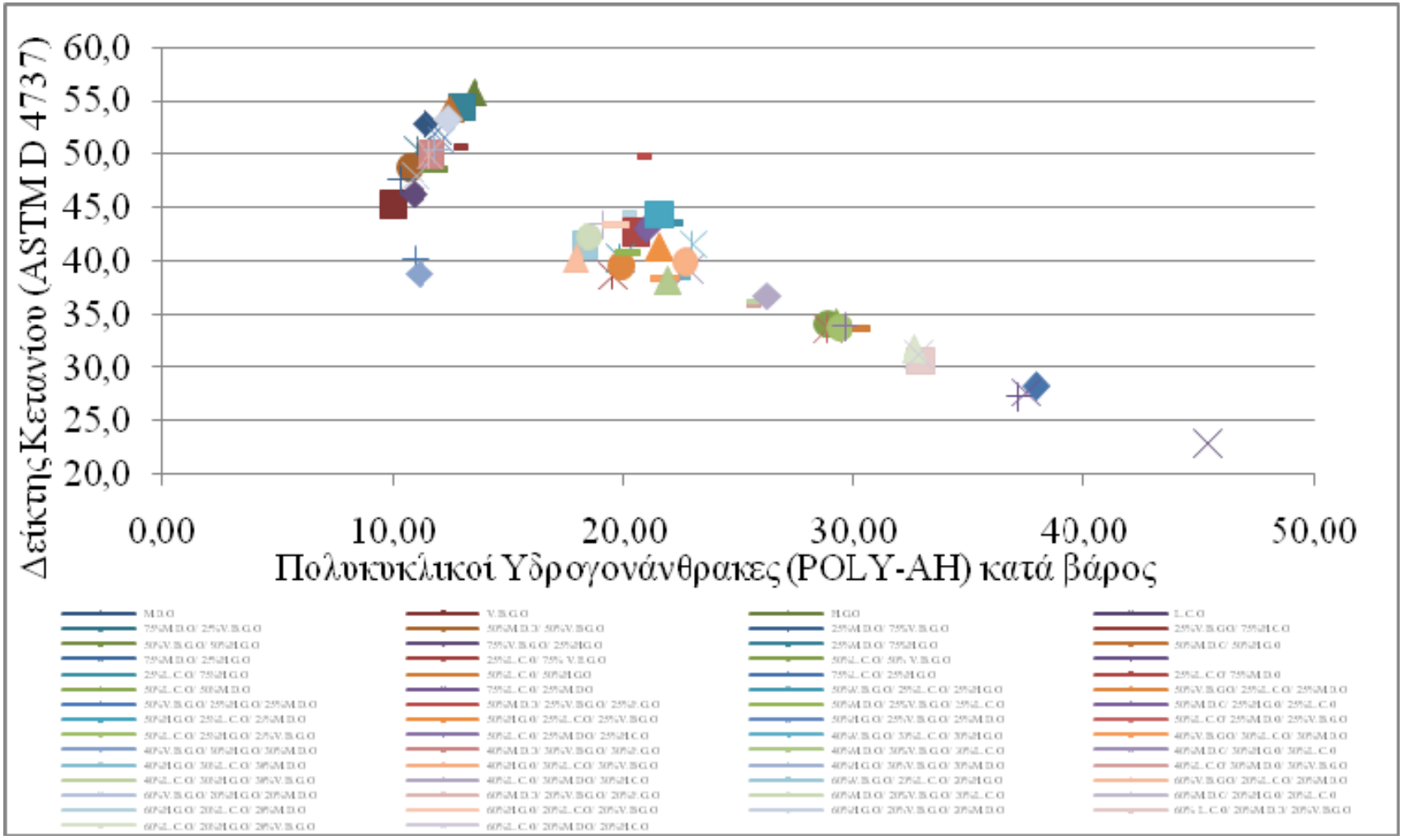
Διάγραμμα 24-Συσχέτιση Δείκτη κετανίου (ASTM D 4737) - Τριαρωματικών υδρογονανθράκων (TR)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 24 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών κετανίου, κατά ASTM D 4737 και των τριαρωματικών υδρογονανθράκων των μειγμάτων. Παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων, για μεγάλες τιμές του δείκτη κετανίου τα μείγματα κατά βάρος περιέχουν αντίστοιχα υψηλές ποσότητες τριαρωματικών υδρογονανθράκων ενώ, αντίστοιχα για μικρές τιμές του δείκτη κετανίου τα μείγματα περιέχουν μικρές ποσότητες τριαρωματικών υδρογονανθράκων.



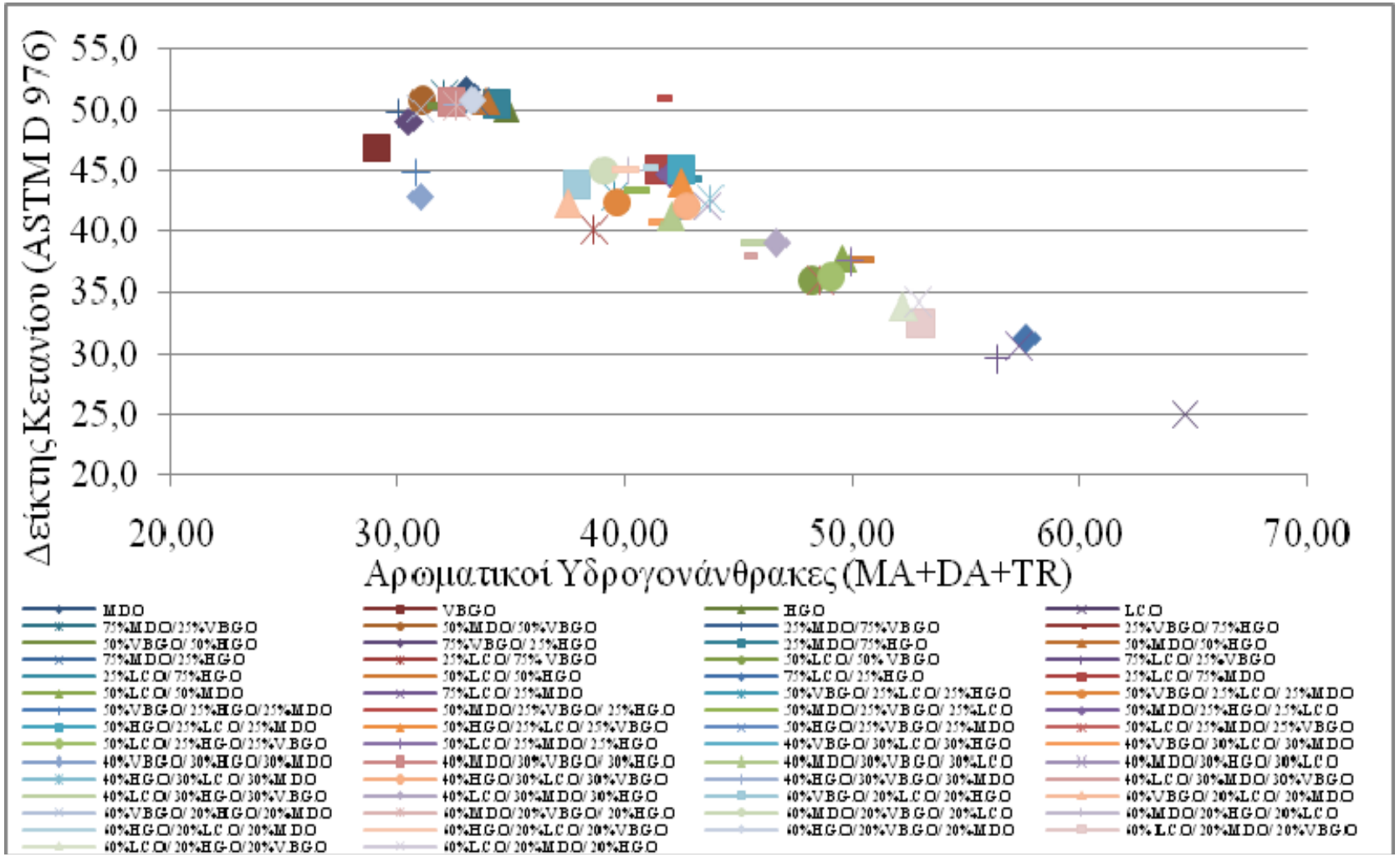
Διάγραμμα 25-Συσχέτιση Δείκτη κετανίου (ASTM D 976) – Πολυκυκλικών υδρογονανθράκων (POLY-AH)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 25 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών κετανίου, κατά ASTM D 976 και των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων, που είναι το άθροισμα των διαρωματικών και τριαρωματικών υδρογονανθράκων των μειγμάτων (Διαγράμματα 21 και 23). Παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων όπου στις υψηλές τιμές του δείκτη κετανίου τα μείγματα κατά βάρος περιέχουν υψηλές ποσότητες πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων ενώ, αντίστοιχα για μικρές τιμές του δείκτη κετανίου τα μείγματα περιέχουν μικρές ποσότητες πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων.



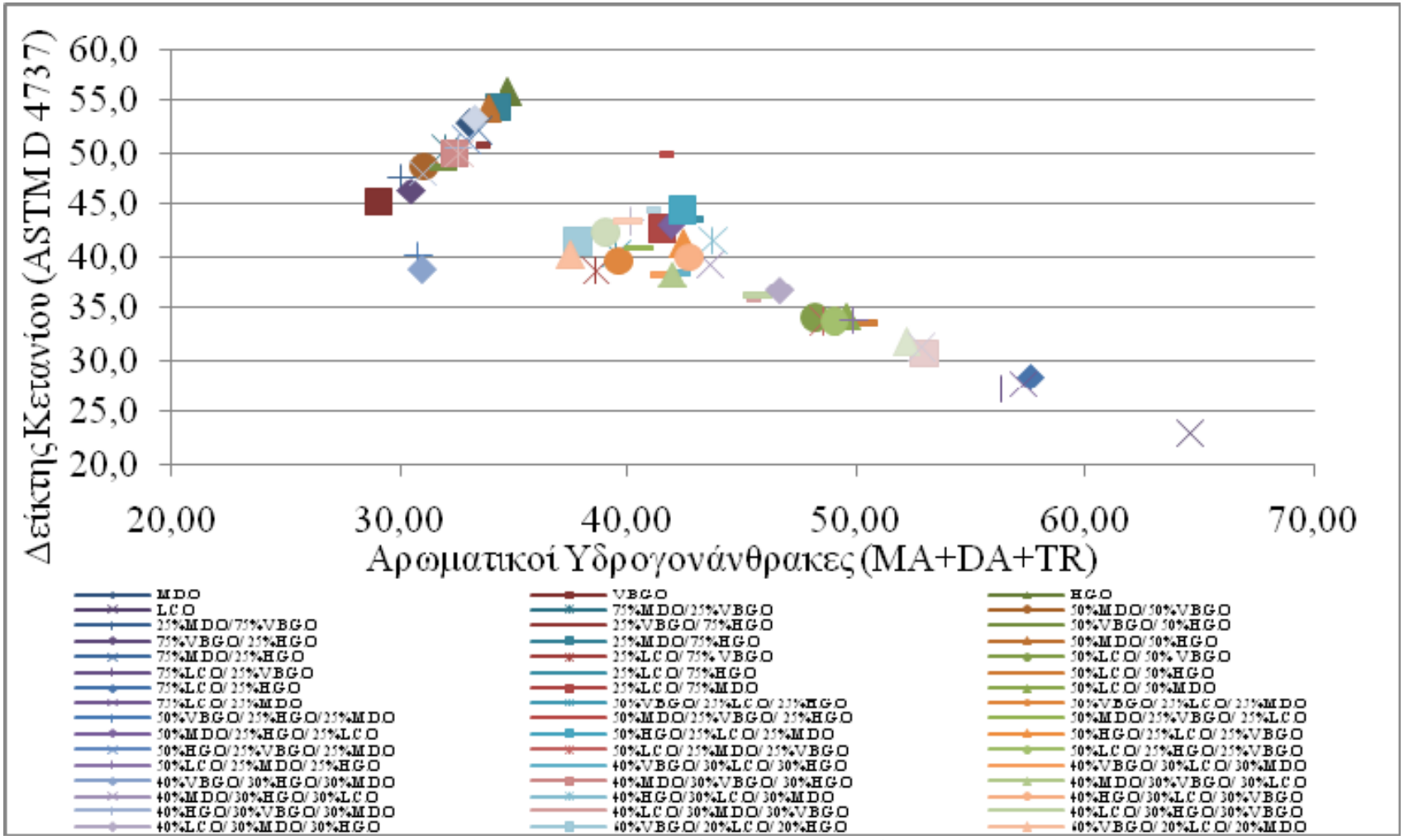
Διάγραμμα 26-Συσχέτιση Δείκτη κετανίου (ASTM D 4737) – Πολυκυκλικών υδρογονανθράκων (POLY-AH)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 26 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών κετανίου, κατά ASTM D 4737 και των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων, που είναι το άθροισμα των διαρωματικών και τριαρωματικών υδρογονανθράκων των μειγμάτων (Διαγράμματα 22 και 24). Παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων όπου στις υψηλές τιμές του δείκτη κετανίου τα μείγματα κατά βάρος περιέχουν υψηλές ποσότητες πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων ενώ, αντίστοιχα για μικρές τιμές του δείκτη κετανίου τα μείγματα περιέχουν μικρές ποσότητες πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων.



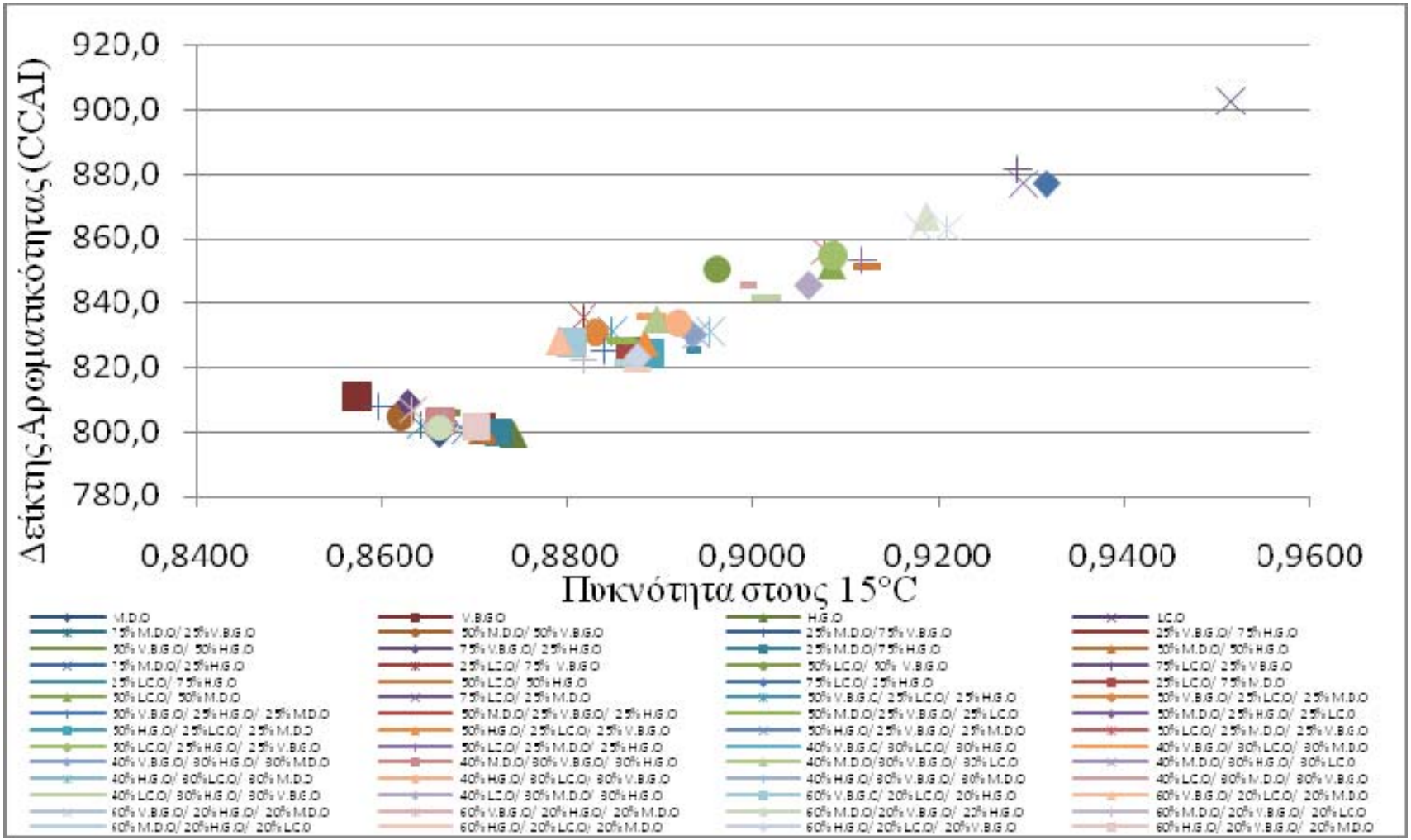
Διάγραμμα 27-Συσχέτιση Δείκτη κετανίου (ASTM D 976) - Αρωματικών υδρογονανθράκων (MA+DA+TR)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 27 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών κετανίου, κατά ASTM D 976 και του συνολικό κατά βάρος περιεχομένου των μειγμάτων σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες, όπου παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ τους των δύο παραμέτρων. Στα μείγματα με υψηλό δείκτη κετανίου έχουμε μικρή περιεκτικότητα σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες και αντίστροφα σε μείγματα που παρουσιάζουν μικρό δείκτη κετανίου η κατά βάρος περιεκτικότητα σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες είναι μεγάλη.



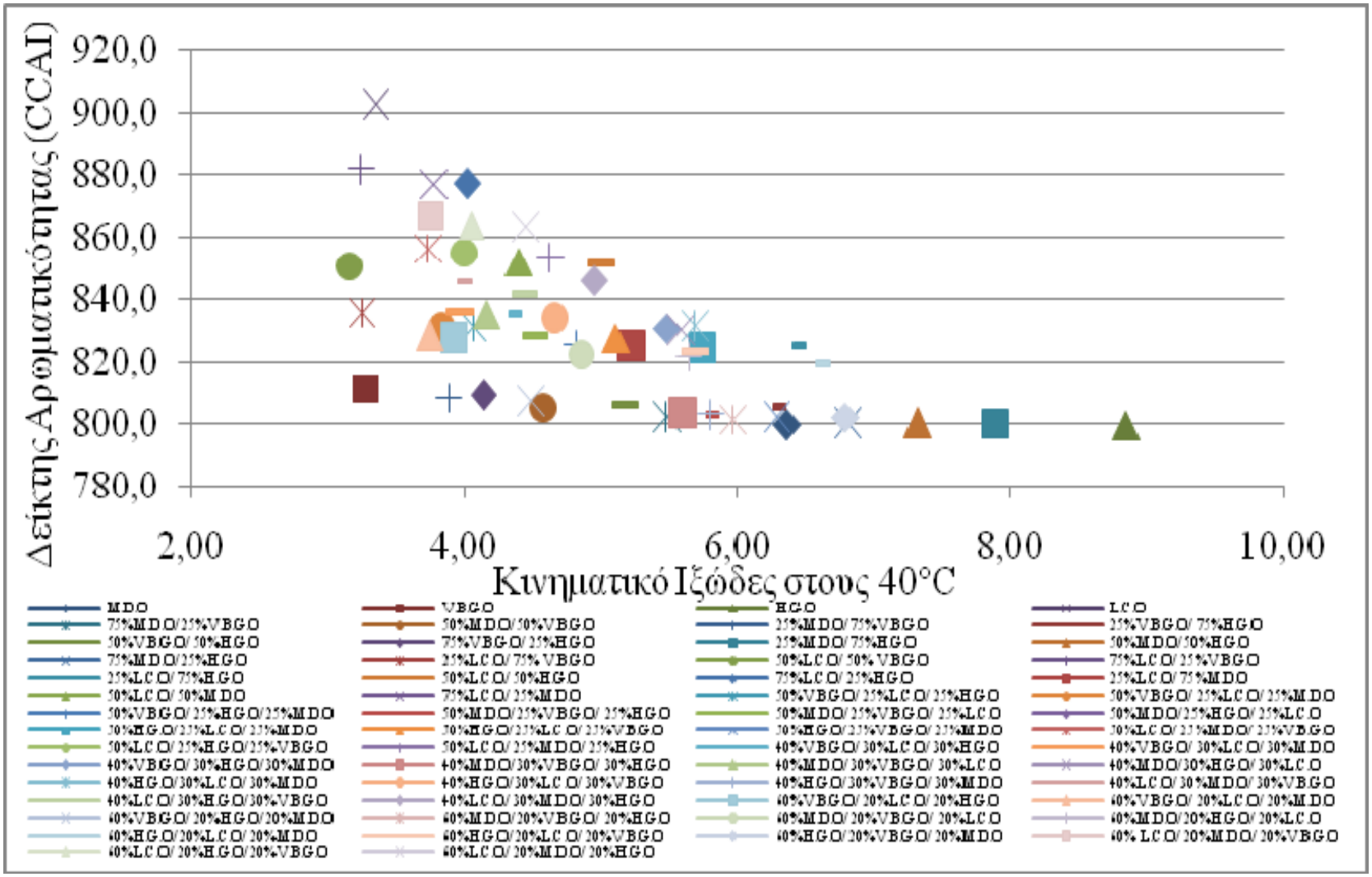
Διάγραμμα 28-Συσχέτιση Δείκτη κετανίου (ASTM D 4737) - Αρωματικών υδρογονανθράκων (MA+DA+TR)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 28 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών κετανίου, κατά ASTM D 4737 και του συνολικό κατά βάρος περιεχομένου των μειγμάτων σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες, όπου παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ τους. Στα μείγματα με υψηλό δείκτη κετανίου έχουμε μικρή περιεκτικότητα σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες και αντίστροφα σε μείγματα που παρουσιάζουν μικρό δείκτη κετανίου η κατά βάρος περιεκτικότητα σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες είναι μεγάλη.



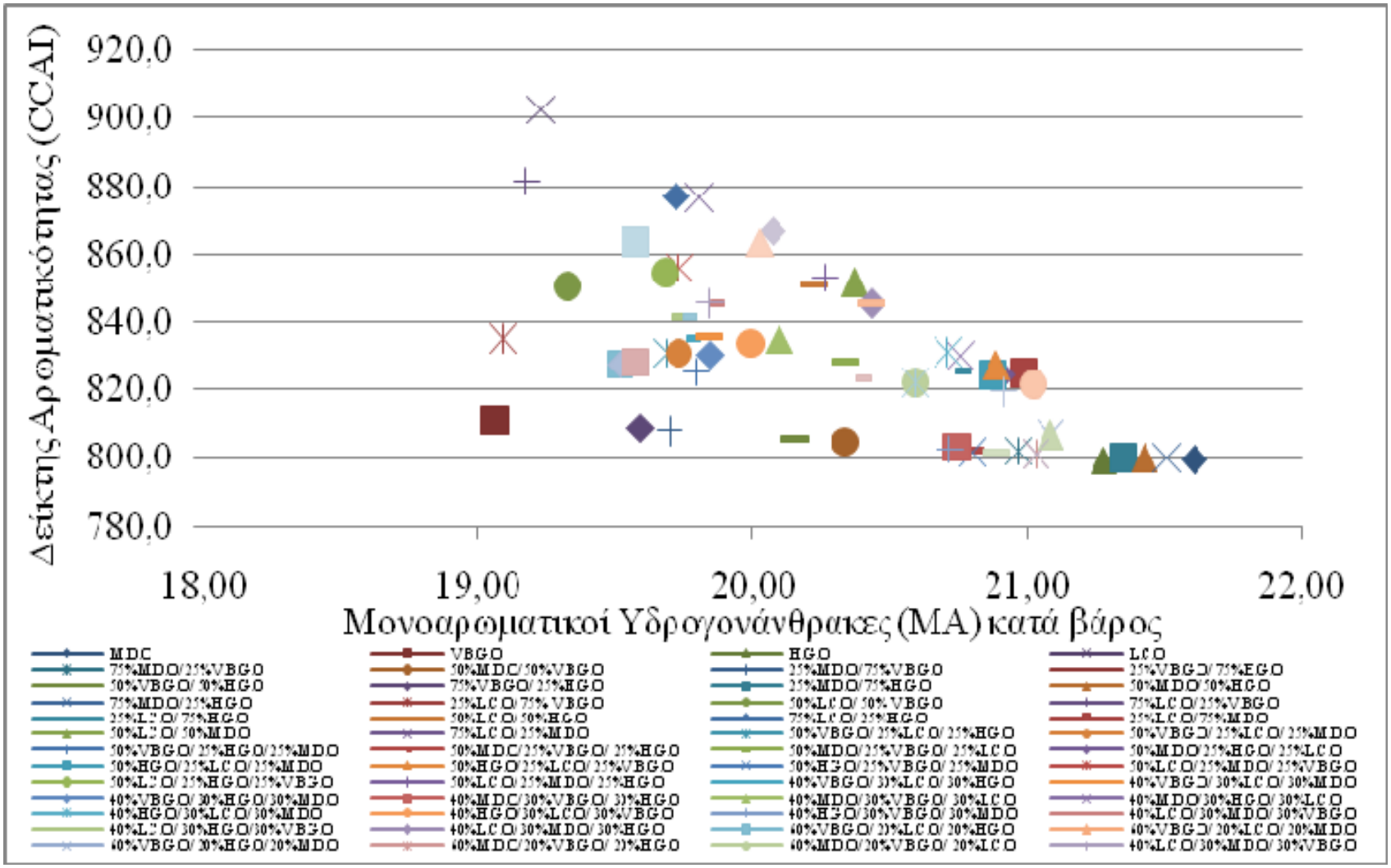
Διάγραμμα 29-Συσχέτιση Δείκτη αρωματικότητας (CCAI) - Πυκνότητας στους 15 °C

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 29 δείχνεται η συσχέτιση του δείκτη αρωματικότητας (CCAI) και της πυκνότητας των μειγμάτων στους 15 °C που δημιουργήθηκαν στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας. Παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων, για μικρές τιμές του δείκτη αρωματικότητας έχουμε αντίστοιχα μικρές τιμές πυκνότητας των μειγμάτων, όσο αυξάνουν οι τιμές του δείκτη αρωματικότητας έχουμε αντίστοιχα αύξηση της πυκνότητας.



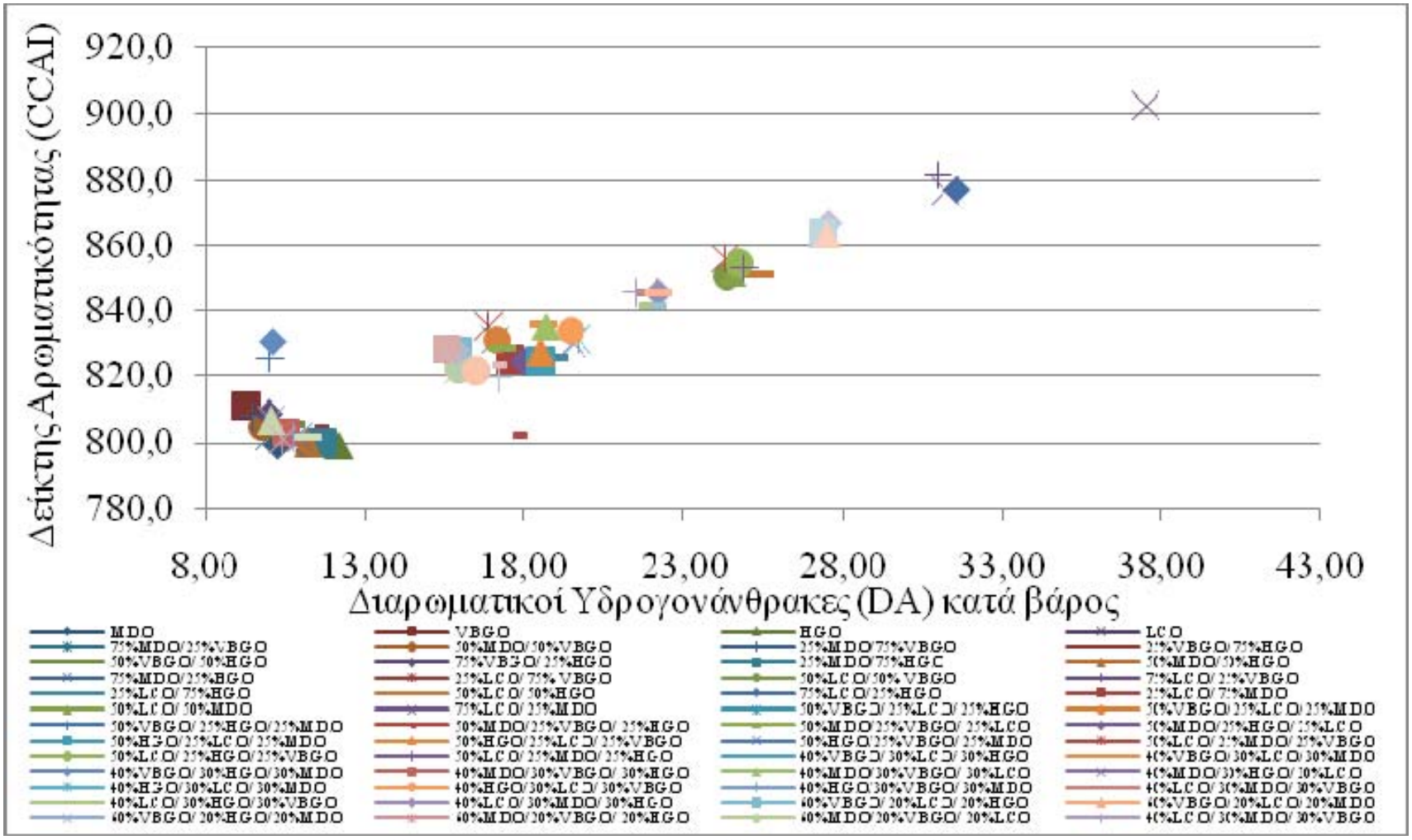
Διάγραμμα 30-Συσχέτιση Δείκτη αρωματικότητας (CCAI) –Κινηματικού Ιξώδες στους 40 °C

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 30 δείχνεται η συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ του δείκτη αρωματικότητας και του κινηματικού Ιξώδες στους 40 °C των μειγμάτων. Παρατηρείται μια έντονη διασπορά μεταξύ των δύο παραμέτρων χωρίς να προκύπτει κάποιος συσχετισμός τους, για το εύρος τιμών μεταξύ 790,0-900,0 για τον δείκτη αρωματικότητας και 3,00-9,00 για το κινηματικό ιξώδες.



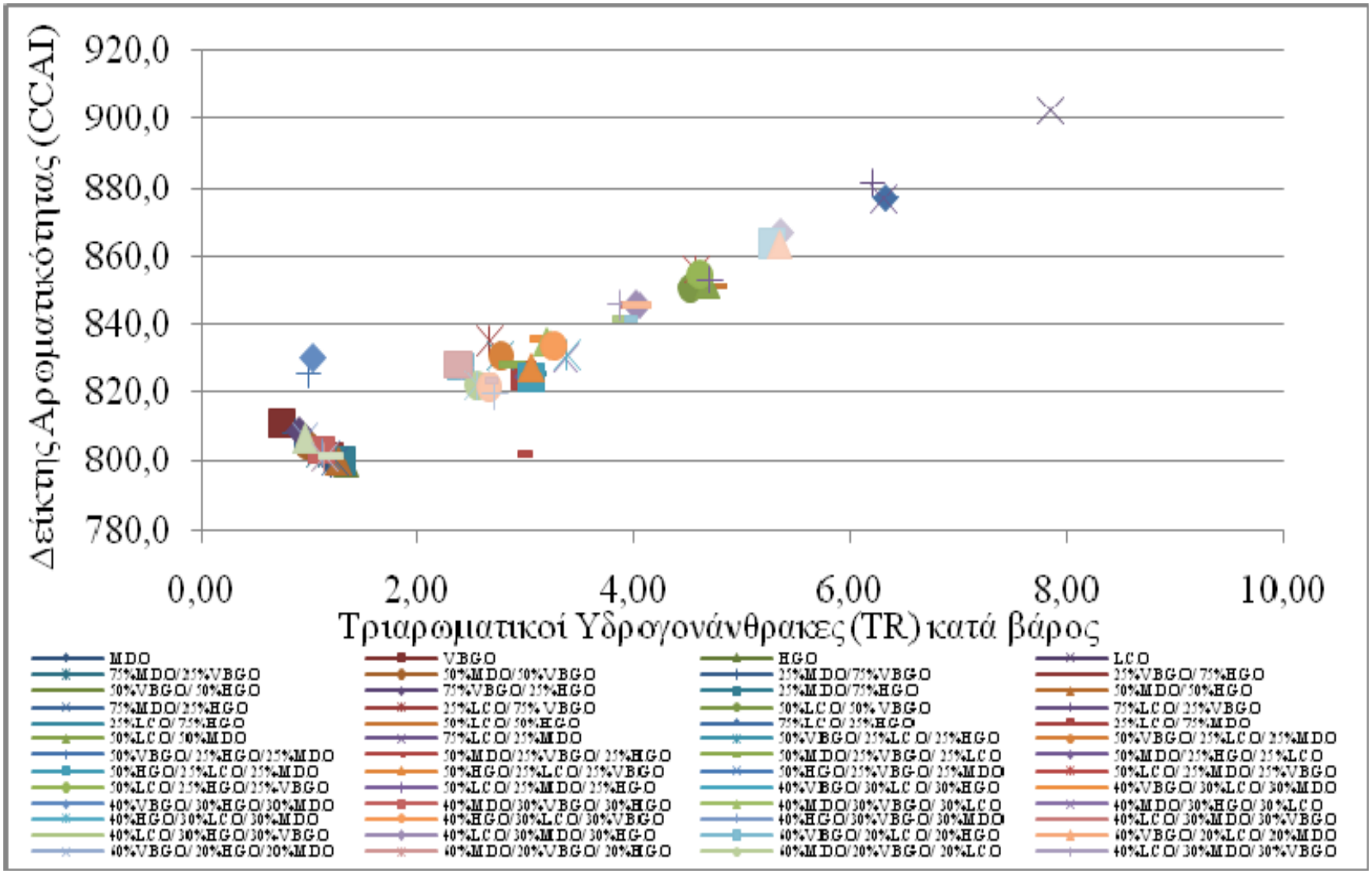
Διάγραμμα 31-Συσχέτιση Δείκτη αρωματικότητας (CCAI) - Μονοαρωματικών υδρογονανθράκων (MA)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 31 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών αρωματικότητας και των μονοαρωματικών υδρογονανθράκων των μειγμάτων. Παρατηρείται εκτεταμένη διασπορά μεταξύ των δύο παραμέτρων για τις τιμές μεταξύ 800,0-900,0 για τον δείκτη αρωματικότητας και 19,00-22,00 για την κατά βάρος περιεκτικότητα των μειγμάτων σε μονοαρωματικούς υδρογονάνθρακες.



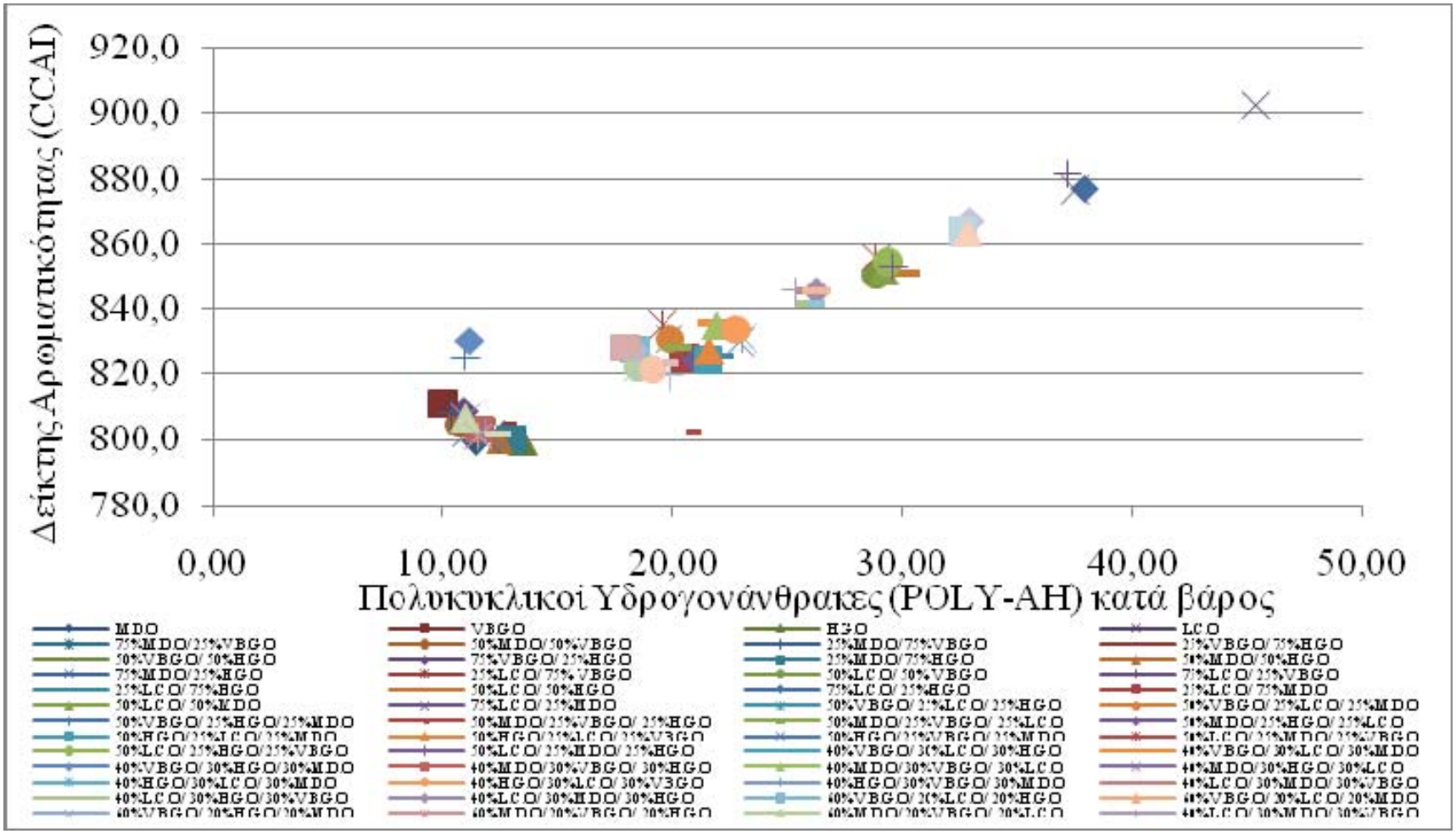
Διάγραμμα 32-Συσχέτιση Δείκτη αρωματικότητας (CCAI) - Διαρωματικών υδρογονανθράκων (DA)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 32 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών αρωματικότητας και των διαρωματικών υδρογονανθράκων των μειγμάτων. Παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων, για μικρές τιμές του δείκτη αρωματικότητας τα μείγματα κατά βάρος περιέχουν αντίστοιχα μικρές ποσότητες διαρωματικών υδρογονανθράκων ενώ, αντίστοιχα για μεγάλες τιμές του δείκτη αρωματικότητας τα μείγματα περιέχουν μεγάλες ποσότητες διαρωματικών υδρογονανθράκων.



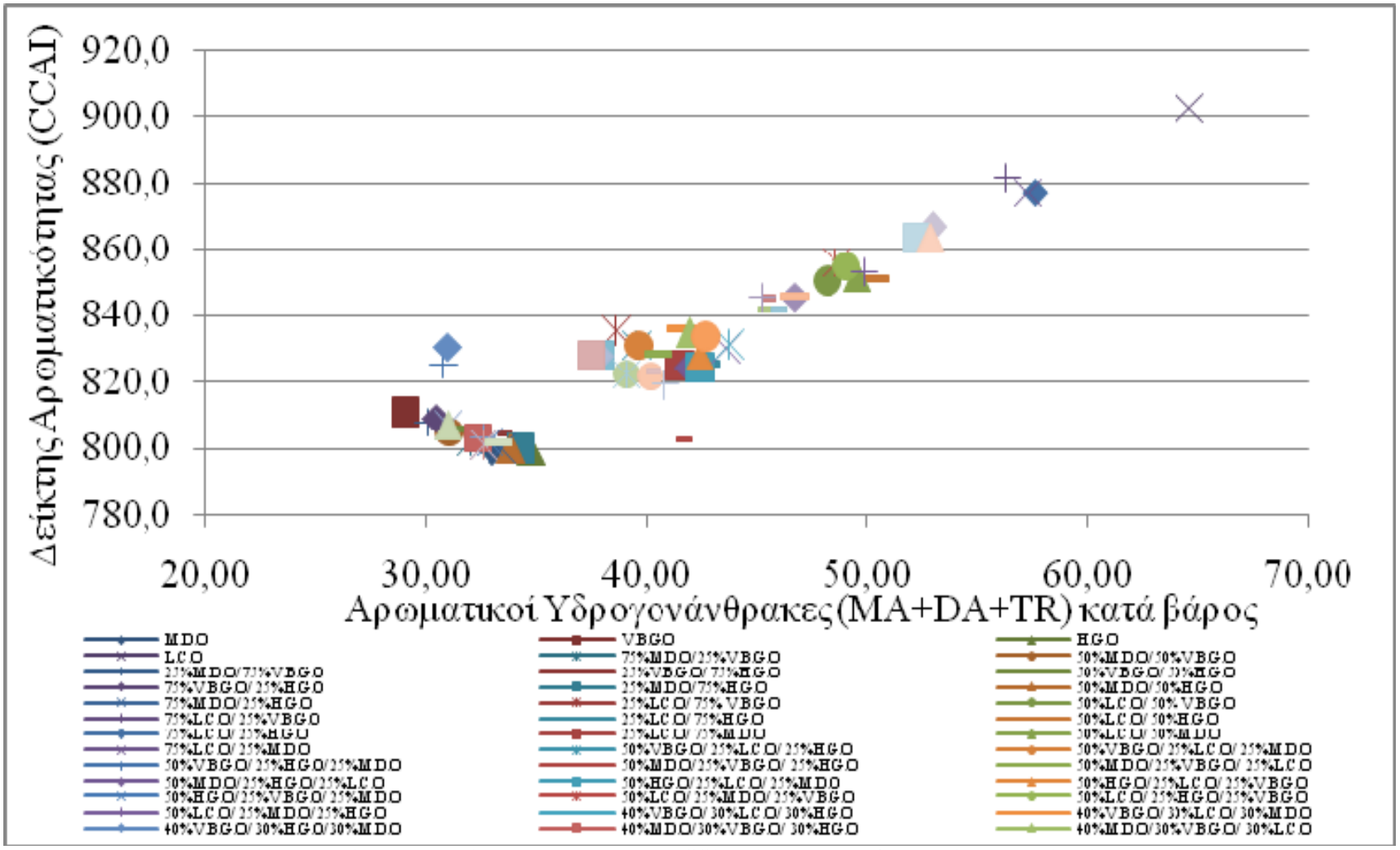
Διάγραμμα 33-Συσχέτιση Δείκτη αρωματικότητας (CCAI) - Τριαρωματικών υδρογονανθράκων (TR)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 33 συσχέτιση η σχέση μεταξύ των δεικτών αρωματικότητας και των τριαρωματικών υδρογονανθράκων των μειγμάτων. Παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων, για μικρές τιμές του δείκτη αρωματικότητας η κατά βάρος περιεκτικότητα των μειγμάτων σε τριαρωματικούς υδρογονάνθρακες είναι μικρή και αναλογικά όσο αυξάνουν η τιμές του δείκτη αρωματικότητας των μειγμάτων αυξάνει και η κατά βάρος περιεκτικότητα σε τριαρωματικούς υδρογονανθράκες.



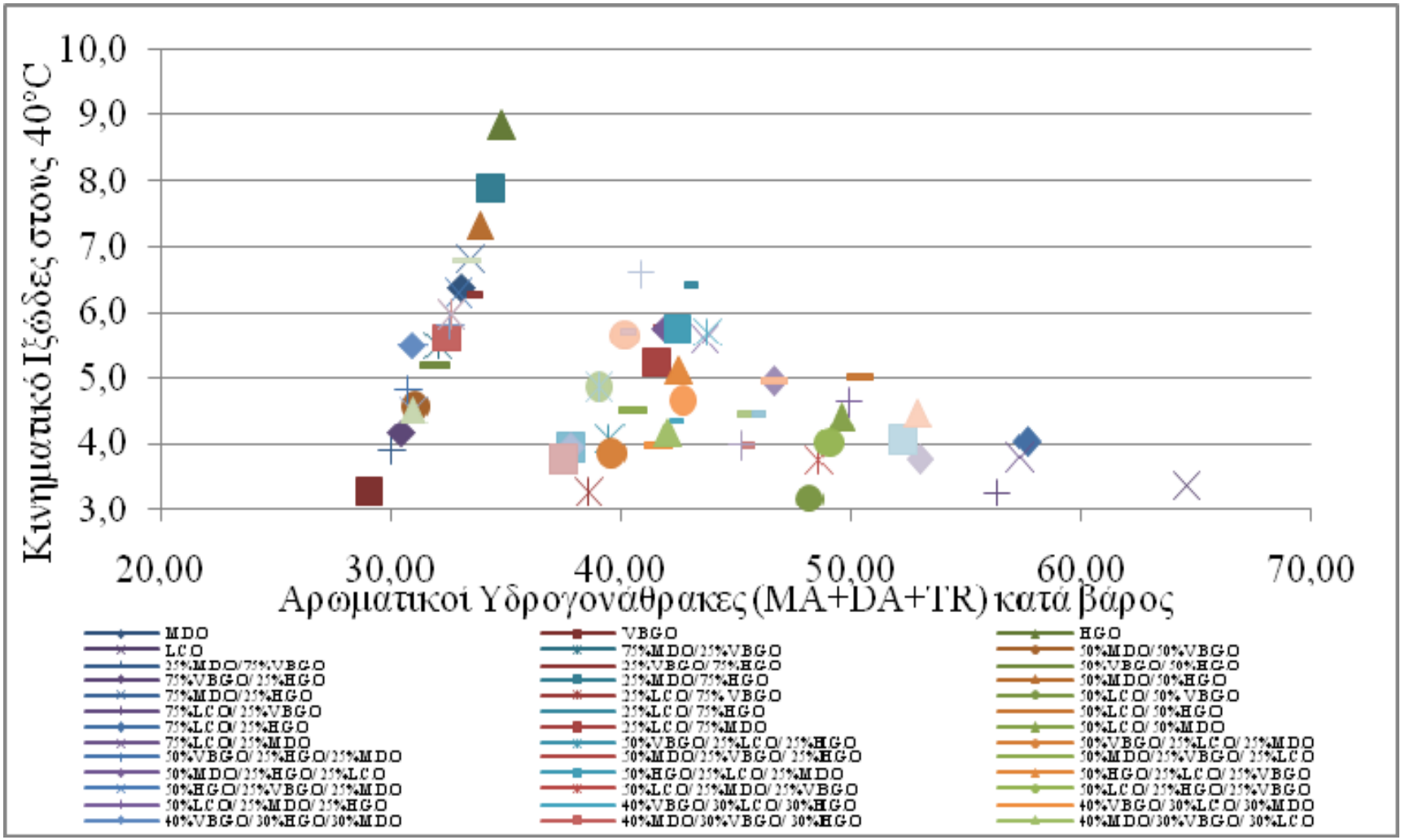
Διάγραμμα 34-Συσχέτιση Δείκτη αρωματικότητας (CCAI) – Πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (POLY-AH)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 34 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών αρωματικότητας και των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων, που είναι το άθροισμα των διαρωματικών και τριαρωματικών υδρογονανθράκων των μειγμάτων (Διαγράμματα 32 και 33). Παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων όπου στις χαμηλές τιμές του δείκτη αρωματικότητας η κατά βάρος περιεκτικότητα των μειγμάτων σε πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες είναι μικρή και καθ' όσον αυξάνει τιμή του δείκτη αρωματικότητας έχουμε αντίστοιχη αύξηση της περιεκτικότητα των μειγμάτων σε πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες.



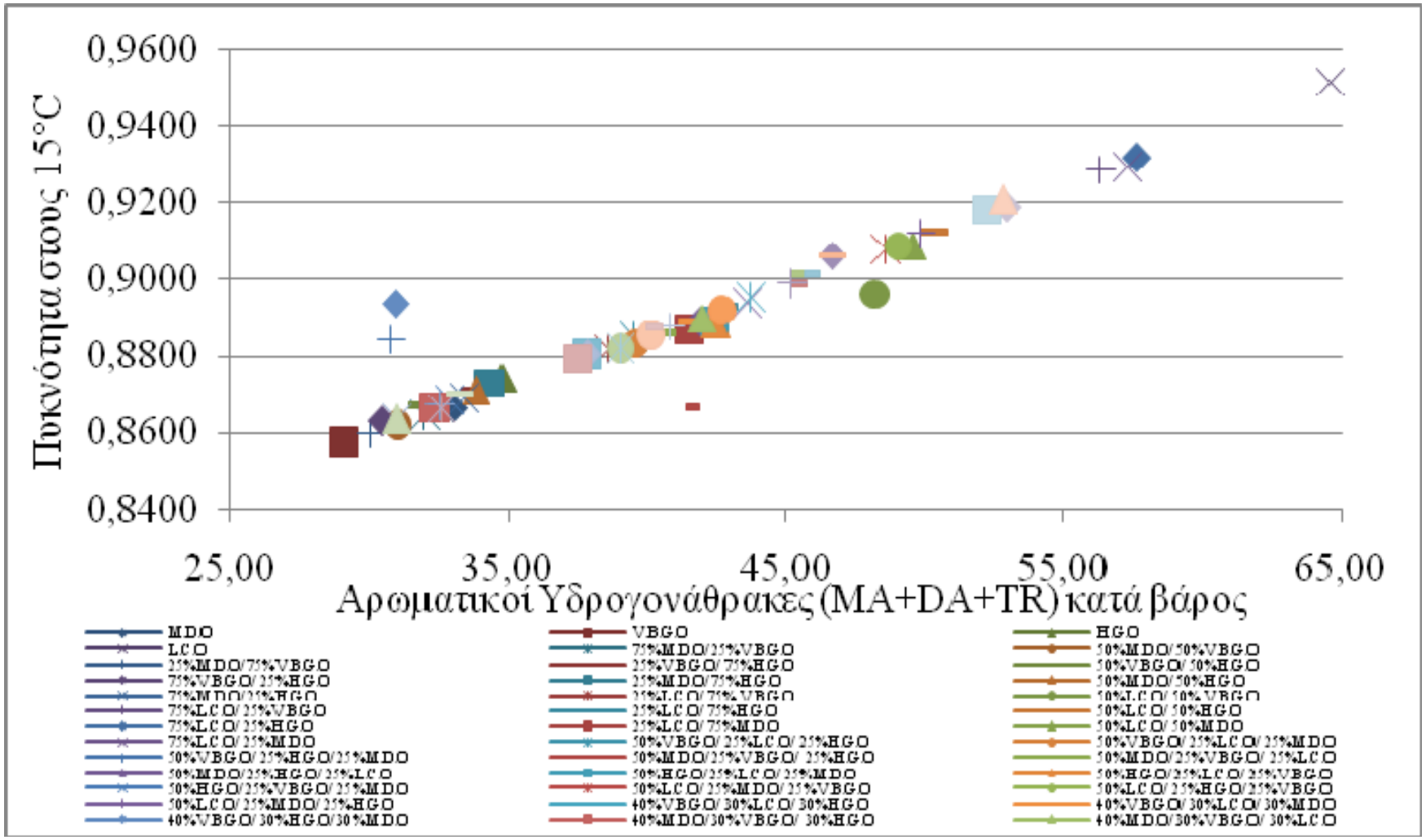
Διάγραμμα 35-Συσχέτιση Δείκτη αρωματικότητας (CCAI) –Αρωματικών υδρογονανθράκων (MA+DA+TR)

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 35 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών αρωματικότητας και του συνολικό κατά βάρος περιεχομένου των μειγμάτων σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Παρατηρείται μια γραμμική σχέση μεταξύ τους. Στις χαμηλές τιμές των δεικτών αρωματικότητας αντιστοιχούν χαμηλές τιμές κατά βάρους περιεκτικότητας των μειγμάτων σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες και όσο αυξάνουν οι τιμές του δείκτη αρωματικότητας αυξάνει κατ' αντιστοιχία η κατά βάρος περιεκτικότητα των μειγμάτων σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες.



Διάγραμμα 36-Συσχέτιση Αρωματικών υδρογονανθράκων - Κινηματικού Ιξώδες στους 40 °C

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 36 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ της κατά βάρος περιεκτικότητας των μειγμάτων σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες με το κινηματικό ιξώδες των μειγμάτων. Παρατηρείται εκτεταμένη διασπορά μεταξύ των δύο παραμέτρων.



Διάγραμμα 37-Συσχέτιση Αρωματικών υδρογονανθράκων - Πυκνότητας στους 15 °C

Σχόλιο: Στο διάγραμμα 37 δείχνεται η συσχέτιση μεταξύ της κατά βάρος περιεκτικότητας των μειγμάτων σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες με την πυκνότητα τους. Παρατηρείται μια έντονα γραμμική σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων όπου για τις μικρές τιμές κατά βάρους περιεκτικότητας αρωματικών υδρογονανθράκων αντιστοιχούν εξίσου χαμηλής πυκνότητας μείγματα.

Πίνακας 15--Πίνακας Μετρήσεων Αρωματικών Υδρογονανθράκων (1/2)

Καύσιμο	$\nu_{40°C}$	ρ_{15C}	CCAI	CCI		Αρωματικοί Υδρογονάναθρακες				
	(mm^2/s)	(gr/cm^3)		D 976	D 4737	MA	DA	TR	DA+TR	TOTAL
M.D.O	6,37	0,8663	799,2	51,74	52,85	21,61	10,23	1,20	11,43	33,04
V.B.G.O	3,29	0,8574	811,0	46,93	45,23	19,06	9,28	0,75	10,03	29,09
H.G.O	8,85	0,8743	799,0	50,26	55,79	21,28	12,16	1,35	13,51	34,79
L.C.O	3,36	0,9514	902,5	24,94	22,89	19,23	37,54	7,85	45,39	64,62
75%M.D.O/25%V.B.G.O	5,49	0,8644	802,0	51,40	50,38	20,97	9,99	1,09	11,08	32,05
50%M.D.O/50%V.B.G.O	4,58	0,8621	804,9	50,91	48,73	20,34	9,75	0,98	10,73	31,07
25%M.D.O/75%V.B.G.O	3,89	0,8598	807,8	49,81	47,55	19,70	9,52	0,86	10,38	30,08
25%V.B.G.O/75%H.G.O	6,27	0,8709	804,8	50,57	50,73	20,71	11,44	1,20	12,64	33,35
50%V.B.G.O/50%H.G.O	5,18	0,8670	805,8	50,51	48,62	20,15	10,72	1,05	11,77	31,92
75%V.B.G.O/25%H.G.O	4,15	0,8630	808,9	49,13	46,24	19,59	9,99	0,90	10,89	30,48
25%M.D.O/75%H.G.O	7,89	0,8727	799,8	50,56	54,36	21,35	11,68	1,31	12,99	34,34
50%M.D.O/50%H.G.O	7,32	0,8709	800,0	50,83	54,21	21,43	11,19	1,27	12,47	33,90
75%M.D.O/25%H.G.O	6,81	0,8690	800,0	50,75	52,17	21,51	10,71	1,24	11,94	33,45
25%L.C.O/75%V.B.G.O	3,26	0,8817	835,2	40,17	38,63	19,09	16,89	2,66	19,56	38,65
50%L.C.O/50%V.B.G.O	3,16	0,8962	850,4	35,96	34,10	19,32	24,36	4,52	28,89	48,21
75%L.C.O/25%V.B.G.O	3,25	0,9286	881,4	29,53	27,26	19,18	30,99	6,20	37,19	56,37
25%L.C.O/75%H.G.O	6,41	0,8931	825,3	44,37	43,49	20,75	18,93	3,08	22,01	42,75
50%L.C.O/50%H.G.O	5,01	0,9123	851,2	37,65	33,59	20,22	25,40	4,74	30,14	50,36
75%L.C.O/25%H.G.O	4,02	0,9316	877,0	31,30	28,32	19,72	31,61	6,33	37,94	57,66
25%L.C.O/75%M.D.O	5,23	0,8869	824,9	45,10	42,66	20,99	17,56	2,99	20,55	41,54
50%L.C.O/50%M.D.O	4,40	0,9085	851,5	37,74	34,14	20,37	24,53	4,68	29,22	49,59
75%L.C.O/25%M.D.O	3,78	0,9292	876,7	30,65	27,66	19,80	31,21	6,31	37,52	57,32
50%V.B.G.O/25%L.C.O/25%H.G.O	4,07	0,8850	830,9	42,96	40,27	19,69	17,09	2,77	19,85	39,54
50%V.B.G.O/25%L.C.O/25%M.D.O	3,84	0,8831	830,9	42,41	39,55	19,73	17,12	2,77	19,90	39,63
50%V.B.G.O/25%H.G.O/25%M.D.O	4,82	0,8841	825,2	44,94	40,09	19,80	10,01	0,99	11,00	30,80
50%M.D.O/25%V.B.G.O/25%H.G.O	5,78	0,8667	802,5	51,03	49,83	20,79	17,71	2,94	20,65	41,44
50%M.D.O/25%V.B.G.O/25%L.C.O	4,53	0,8859	828,3	43,42	40,81	20,34	17,33	2,88	20,20	40,54
50%M.D.O/25%H.G.O/25%L.C.O	5,75	0,8890	824,3	44,75	43,05	20,91	18,02	3,02	21,04	41,94
50%H.G.O/25%L.C.O/25%M.D.O	5,75	0,8890	824,3	45,16	44,36	20,87	18,52	3,06	21,57	42,44
50%H.G.O/25%L.C.O/25%V.B.G.O	5,11	0,8884	827,3	44,02	41,28	20,89	18,53	3,06	21,59	42,47
50%H.G.O/25%V.B.G.O/25%M.D.O	6,29	0,8686	801,8	50,96	51,28	20,80	10,96	1,16	12,12	32,92
50%L.C.O/25%M.D.O/25%V.B.G.O	3,74	0,9078	855,9	35,98	33,67	19,73	24,30	4,58	28,88	48,61
50%L.C.O/25%H.G.O/25%V.B.G.O	4,00	0,9086	854,7	36,27	33,73	19,68	24,77	4,61	29,38	49,06
50%L.C.O/25%M.D.O/25%H.G.O	4,63	0,9118	853,1	37,51	33,79	20,27	24,93	4,70	29,63	49,90
40%V.B.G.O/30%L.C.O/30%H.G.O	4,33	0,8909	834,9	41,25	38,50	19,76	19,18	3,20	22,38	42,14
40%V.B.G.O/30%L.C.O/30%M.D.O	3,97	0,8891	835,8	40,80	38,31	19,84	18,62	3,16	21,78	41,62
40%V.B.G.O/30%H.G.O/30%M.D.O	5,49	0,8936	830,3	42,90	38,78	19,85	10,11	1,03	11,14	30,98
40%M.D.O/30%V.B.G.O/30%H.G.O	5,60	0,8664	803,1	50,79	49,94	20,74	10,53	1,11	11,64	32,38
40%M.D.O/30%V.B.G.O/30%L.C.O	4,17	0,8897	834,8	41,26	38,17	20,10	18,71	3,20	21,91	42,01
40%M.D.O/30%H.G.O/30%L.C.O	5,59	0,8940	830,2	42,08	39,25	20,76	19,52	3,37	22,89	43,64
40%H.G.O/30%L.C.O/30%M.D.O	5,70	0,8955	831,2	42,75	41,53	20,71	19,68	3,38	23,06	43,77
40%H.G.O/30%L.C.O/30%V.B.G.O	4,67	0,8920	833,7	42,08	39,93	19,99	19,45	3,26	22,71	42,70
40%H.G.O/30%V.B.G.O/30%M.D.O	5,81	0,8669	802,6	50,54	50,38	20,72	10,73	1,13	11,85	32,57
40%L.C.O/30%M.D.O/30%V.B.G.O	3,96	0,8988	845,4	37,99	35,84	19,85	21,51	3,89	25,39	45,24
40%L.C.O/30%H.G.O/30%V.B.G.O	4,45	0,9014	841,6	39,03	36,18	19,75	22,03	3,92	25,95	45,70
40%L.C.O/30%M.D.O/30%H.G.O	4,96	0,9061	845,6	39,09	36,69	20,43	22,22	4,03	26,25	46,69
60%V.B.G.O/20%L.C.O/20%H.G.O	3,93	0,8805	827,6	43,90	41,45	19,52	15,95	2,40	18,35	37,87

Πίνακας 16--Πίνακας Μετρήσεων Αρωματικών Υδρογονανθράκων (2/2)

Καύσιμο	$v_{40°C}$	ρ_{15C}	CCAI	CCI		Αρωματικοί Υδρογονάναθρακες				
	(mm^2/s)	(gr/cm^3)		D 976	D 4737	MA	DA	TR	DA+TR	TOTAL
60%V.B.G.O/20%L.C.O/20%M.D.O	3,76	0,8792	828,2	42,32	40,23	15,74	13,75	2,16	15,92	31,66
60%V.B.G.O/20%H.G.O/20%M.D.O	4,50	0,8635	806,8	50,23	47,99	16,10	8,20	0,74	8,94	25,04
60%M.D.O/20%V.B.G.O/20%H.G.O	5,97	0,8663	801,1	50,49	49,96	21,03	10,43	1,14	11,57	32,60
60%M.D.O/20%V.B.G.O/20%L.C.O	4,86	0,8818	822,3	45,07	42,25	20,59	15,93	2,55	18,48	39,08
60%M.D.O/20%H.G.O/20%L.C.O	5,65	0,8853	821,6	45,09	43,36	21,02	16,48	2,66	19,14	40,16
60%H.G.O/20%L.C.O/20%M.D.O	6,58	0,8876	819,2	45,33	44,42	20,92	17,23	2,71	19,95	40,86
60%H.G.O/20%L.C.O/20%V.B.G.O	5,69	0,8876	823,3	45,13	43,31	20,38	17,03	2,62	19,65	40,03
60%H.G.O/20%V.B.G.O/20%M.D.O	6,79	0,8702	801,5	50,95	53,31	20,89	11,20	1,20	12,39	33,28
60%L.C.O/20%M.D.O/20%V.B.G.O	3,76	0,9187	866,7	32,51	30,65	20,07	27,57	5,36	32,93	53,00
60%L.C.O/20%H.G.O/20%V.B.G.O	4,06	0,9180	863,6	33,82	31,73	19,57	27,39	5,28	32,67	52,24
60%L.C.O/20%M.D.O/20%H.G.O	4,45	0,9209	863,3	34,26	31,25	20,03	27,50	5,35	32,85	52,88

Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα τα οποία μπορούν να εξαχθούν από την συγκεκριμένη εργασία είναι τα ακόλουθα.

- Οι δείκτες αρωματικότητας και κετανίου για το σύνολο των δειγμάτων – μειγμάτων της συγκεκριμένης εργασίας δίνουν τον ίδιο χαρακτηρισμό ποιότητας ανάφλεξης. Αυτό είναι εμφανές στο διάγραμμα 14 όπου για μεγάλες τιμές του δείκτης αρωματικότητας οι οποίες συνεπάγονται κακή ποιότητα ανάφλεξης των μειγμάτων έχουμε αντίστοιχα μικρές τιμές του δείκτη κετανίου, οι οποίες ερμηνεύονται ως μεγάλοι χρόνοι καθυστέρησης ανάφλεξης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο μέν δείκτης αρωματικότητας ερμηνεύει την περιεκτικότητα των μειγμάτων σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες και ο δε δείκτης κετανίου έτσι όπως ορίζεται και υπολογίζεται από τις πρότυπες μεθόδους λαμβάνει υπόψη του τα χαρακτηριστικά βρασμού και την πυκνότητα των μειγμάτων - δειγμάτων. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες τόσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση ανάφλεξης και τόσο μικρότερος ο αριθμός κετανίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες, τόσο περισσότερη ενέργεια απαιτείται για την διάσπαση των αρωματικών δακτυλίων γεγονός το οποίο οδηγεί σε μεγαλύτερες καταγραφόμενες τιμές καθυστέρησης ανάφλεξης και κατ` επέκταση σε χαμηλότερες τιμές του δείκτη κετανίου.

- Οι δείκτες κετανίου και αρωματικότητας όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 15, 16 και 29 παρουσιάζουν μια γραμμική – αναλογική σχέση με την πυκνότητα των μειγμάτων.
  Όπου σύμφωνα με τα διαγράμματα 15, 16 όσο μικραίνουν οι τιμές του δείκτη κετανίου η πυκνότητα των μειγμάτων αυξάνει. Επίσης, όσο αυξάνει η πυκνότητα των μειγμάτων τόσο αυξάνει και η τιμή των δεικτών αρωματικότητας (διάγραμμα 29). Και στις δύο περιπτώσεις τα μείγματα με υψηλότερη πυκνότητα δίνουν χαμηλότερη ποιότητα ανάφλεξης και αυτό οφείλεται στο ότι τα μείγματα που έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα περιέχουν περισσότερους αρωματικούς υδρογονάνθρακες, άρα «καίγονται πιο αργά» και απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο και ενέργεια για την ολοκλήρωση της καύσης τους.

- Σε ότι αφορά την σχέση των δύο δεικτών με το ιξώδες των μειγμάτων όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα 17, 18 και 30 υπάρχει μια έντονη διασπορά από όπου δεν μπορούμε να καταλήξουμε σε συμπέρασμα σχετικό με την ποιότητα ανάφλεξης. Το συμπέρασμα στο οποίο μπορούμε να καταλήξουμε από την γενική εικόνα των διαγραμμάτων είναι πώς τόσο ο δείκτης κετανίου όσο και ο δείκτης αρωματικότητας έχουν την ίδια «σύνδεση» με το ιξώδες το μειγμάτων.

- Ένα ακόμα συμπέρασμα σε σχέση με τους δείκτες αρωματικότητας και κετανίου με το κινηματικό είναι ότι στον μεν πρώτο δείκτη η συσχέτιση με το ιξώδες μπορεί να είναι εμφανής αφού λαμβάνεται υπόψη στην σχέση υπολογισμού του. Στον δείκτη κετανίου σύμφωνα με τις σχέσεις υπολογισμού των πρότυπων μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν δεν χρησιμοποιείται άμεσα η ιδιότητα του ιξώδες έτσι ώστε να μπορούμε να έχουμε μια απευθείας σύνδεση. Η σύνδεση αυτή προκύπτει με βάση την δομή των μειγμάτων από την οποία εξαρτάται και το ιξώδες τους.

- Από τα διαγράμματα 19,20 και 31 όπου δείχνεται η συσχέτιση των δεικτών κετανίου και αρωματικότητας με την κατά βάρος περιεκτικότητα των μειγμάτων σε μονοαρωματικούς υδρογονάνθρακες βλέπουμε και στις δύο περιπτώσεις έντονη διασπορά. Αυτή η «ασυμφωνία» μεταξύ των δύο δεικτών και των μονοαρωματικών υδρογονανθράκων οφείλεται στο γεγονός ότι η κατά βάρος περιεκτικότητα σε μονοαρωματικούς υδρογονάνθρακες είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την περιεκτικότητα στις υπόλοιπες κατηγορίες υδρογονανθράκων για όλα δείγματα. Αυτή η υψηλή περιεκτικότητα σε μονοαρωματικούς υδρογονάνθρακες μπορεί ερμηνευτεί από το γεγονός ότι υπάρχει πληθώρα σχηματισμών μονοαρωματικών υδρογονανθράκων. Επίσης, ως αιτία για την έντονη διασπορά μπορεί να ληφθεί το γεγονός ότι η ενεργειακές απαιτήσεις για την διάσπαση των μονοαρωματικών υδρογονανθράκων είναι μικρότερες από τις απαιτήσεις των υδρογονανθράκων των υπολοίπων κατηγόριων (διαρωματικών και τριαρωματικών) και έτσι χάνονται στο τελικό αποτέλεσμα που δίνουν οι δύο δείκτες αρωματικότητας και κετανίου.

- Από τα διαγράμματα 21-26 και 32-35 όπου έχουμε την συσχέτιση μεταξύ των διαρωματικών, τριαρωματικών υδρογονανθράκων και του συνόλου τους (πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες) με τους δείκτες κετανίου και αρωματικότητας το συμπέρασμα που εξάγουμε και για τους δύο δείκτες είναι ότι είναι ισχυρά εξαρτώμενοι από την περιεκτικότητα των μειγμάτων – δειγμάτων σε διαρωματικούς και τριαρωματικούς υδρογονάνθρακες. Αυτό ερμηνεύεται από το γεγονός ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις για την διάσπαση των διαρωματικών και τριαρωματικών υδρογονανθράκων είναι υψηλότερες και παίζουν κυρίαρχο ρόλο στην ανάφλεξη του μείγματος και κατ επέκταση την ποιότητα ανάφλεξης του.

- Στο σύνολο των αρωματικών υδρογονανθράκων, όπου λαμβάνονται υπόψιν και οι μονοχρωματικοί υδρογονάνθρακες όπως δείχνεται στα διαγράμματα 27, 28 και 35 παρατηρείται γραμμικότητα μεταξύ των δύο δεικτών και του κατά βάρος περιεχομένου των μειγμάτων, σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Στα συγκεκριμένα διαγράμματα δεν διακρίνεται καμία επίδραση των μονοαρωματικών, ως προς την έντονη διασπορά τους, αφού όπως έχουμε αναφέρει οι χαμηλές ενεργειακές τους απαιτήσεις τους «χάνονται» στο σύνολο των ενεργειακών απαιτήσεων για την διάσπαση των αρωματικών υδρογονανθράκων και έτσι παρατηρείται μια συνολική συμφωνία μεταξύ των δεικτών, του χαρακτηρισμού της ποιότητας ανάφλεξης που αυτοί δίνουν και της περιεκτικότητας των μειγμάτων σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες.

- Από τα διαγράμματα 36 και 37 φαίνεται η σχέση που υπάρχει μεταξύ των αρωματικών υδρογονανθράκων με το ιξώδες και την πυκνότητα. Μεταξύ αρωματικών υδρογονανθράκων και ιξώδους υπάρχει έντονη διασπορά ενώ μεταξύ των αρωματικών υδρογονανθράκων και της πυκνότητας παρατηρείται μια έντονα γραμμική σχέση. Και οι δύο συσχετίσεις έχουν να κάνουν με την δομή των μειγμάτων.

Ευχαριστίες

- Τον κ. Δ. Καρώνη επιβλέποντα Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ και το προσωπικό του εργαστηριού Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών του ΕΜΠ για την βοήθεια τους στην διεξαγωγή της συγκεκριμένης εργασίας και την επίλυση ερωτημάτων και δυσκολιών που προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά την διεξαγωγή της συγκεκριμένη διπλωματικής εργασίας.

- Την κα Martina Pelzer γραμματέα της CIMAC για την παροχή άδειας πρόσβασης στην βάση τεχνικών εγγράφων του οργανισμού για την εύρεση πληροφοριών σχετικά με το συγκεκριμένο θέμα.

- Το προσωπικό του Χημείου της εταιρείας Ελληνικά πετρέλαια Α.Ε. για την μέτρηση των αρωματικών υδρογονανθράκων στα βασικά καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εργασία.

Βιβλιογραφία – Πηγές

1. A.P. Zeelenberg, H.J. Fijn van Draat an H.l. Barker, “The ignition performance of fuel oils in marine diesel engine”, 15th CIMAC conference, Paris 1983, Paper D13.2.

2. H.C.A. Brandt and A.P. Zeelenbegr, “Quality of residual fuels in relation to fuel constitution” 10th Anniversary of the Dutch National CIMAC Committee, Amsterdam, November 1988.

3. Dvid P. and Denham M.j. “The Measurement and Prediction of Ignition Quality of Residual Fuel Oils”, Trans. I. Mar. E. vol.96, p.66 (1984).

4. K. Groth and A. Hesse,”Contribution to the determination of ignition quality of heavy fuel”, 16th CIMAC conference, Oslo, 1983, paper D120

5. Symposium of Bunker (1999) Las Palmas de Gran Canarias 16 y 17 de Novembre.

6. ISO 8217(1996 Petroleum Products Fuel Clase F (specification of Marine fuels) Codigo ISM (2000) Chapter 10.

7. Marine Fuels: A symposium sponsored by ASTM Committee D-2 on Petroleum Products and Lubricants Miami, Florida,7-8 Dec. 1983 – Cletus H. Jones STP 878 – 1983.

8. EN 590:2004/AC 2005,Automotive fuels – Diesel - Requirements and test methods.

9. EN ISO 4259: 1995, Petroleum products – Determination and application of precision data in relation to methods of test (ISO 4259:1992/Cor 1:1993).

10. Ναυτικοί Μηχανές, Τεύχος 1, Γενικά Κινητήρες Diesel – Ι.Π. Ιωαννίδη Καθηγητή ΕΜΠ, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2005.

11. Καύσιμα – Λιπαντικά – Τριαντάφυλλος Ι. Παπαευαγγέλου Χημικός Αρχιπλοίαρχος Π.Ν. ε.α. Καθηγητής Ναυτικής Σχολής Π.Ν. και Ε.Ν. Εκδόσεις Ευγενίδιου Ιδρύματος, Αθήνα 2002.

12. Τεχνολογία καυσίμων και λιπαντικών για φοιτητές Σχολών Μηχανολόγων Μηχανικών και Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών – Σ. Στούρνας Καθηγητής ΕΜΠ, Ε. Λόης Καθηγητής ΕΜΠ, Φ. Ζαννίκος Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ,
Δ. Καρώνης Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2003.

13. Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, Ευθ. Α Βούσουρα Υποναυάρχου Τεχνικού Π.Ν. Ηλ. Μηχαν. ΕΜΠ, Αθήνα 1996.