

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΩΝ ΩΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΕΣ ΣΕ
ΜΙΓΜΑΤΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΟΥ ΝΤΗΖΕΛ ΜΕ ΑΙΘΑΝΟΛΗ

Ιωάννης-Νικόλαος Χαρίτος
Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτριος Καρώνης

Αθήνα, Ιανουάριος 2024

Περιεχόμενα

Πρόλογος	5
Περίληψη.....	6
Abstract.....	8
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	10
Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο	12
2.1. Ναυτιλιακά Καύσιμα	12
2.1.1. Γενικά Στοιχεία περί Ναυτιλιακών Καυσίμων.....	12
2.1.2. Ιδιότητες Ναυτιλιακών Καυσίμων Diesel	13
2.1.2.1. Σημείο Θόλωσης.....	13
2.1.2.2. Σημείο Ροής.....	13
2.1.2.3. Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου.....	13
2.1.2.4. Ιξώδες.....	13
2.1.2.5. Πυκνότητα	14
2.1.2.6. Πτητικότητα.....	14
2.1.2.7. Αριθμός Κετανίου.....	14
2.1.2.8. Δείκτης Κετανίου	14
2.1.2.9. Λιπαντική Ικανότητα	15
2.1.2.10. Περιεκτικότητα σε Θείο	15
2.1.2.11. Σημείο Ανάφλεξης	15
2.1.2.12. Τέφρα.....	15
2.1.2.13. Εξανθράκωμα	16
2.1.2.14. Διαβρωτικότητα.....	16
2.1.2.15. Θερμογόνος Δύναμη.....	16
2.2. Αιθανόλη	17
2.2.1. Γενικά Στοιχεία περί Αιθανόλης	17
2.2.2. Επίδραση Αιθανόλης στις Εκπομπές Ρύπων.....	17
2.2.3. Επίδραση της Αιθανόλης στις Ιδιότητες των Καυσίμων.....	18
2.3. Φυτικά Έλαια.....	19
2.3.1. Αραβοσιτέλαιο.....	19
2.3.2. Βαμβακέλαιο	19
2.3.3. Ηλιέλαιο	19

2.3.4. Πυρηνέλαιο	19
2.3.5. Σογιέλαιο.....	20
2.4. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Μελετών Προσθέτων στα Μίγματα Diesel/Αιθανόλης	21
Κεφάλαιο 3: Συστατικά – Πειραματική Διαδικασία.....	22
3.1. Συστατικά	22
3.1.1. Καύσιμα Βάσης.....	22
3.1.2. Φυτικά Έλαια	22
3.1.3. Αιθανόλη.....	22
3.2. Πειραματική Διαδικασία	23
3.2.1. Διαγράμματα Ισορροπίας Φάσεων.....	23
3.2.2. Μετρήσεις Ιδιοτήτων των Μιγμάτων.....	24
3.2.2.1. Επιλογή και Προετοιμασία Δειγμάτων για τις Μετρήσεις των Ιδιοτήτων ..	24
3.2.2.2 Σημείο Θόλωσης.....	24
3.2.2.3. Σημείο Ροής.....	25
3.2.2.4. Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου.....	25
3.2.2.5. Ιξώδες.....	25
3.2.2.6. Πυκνότητα	26
3.2.2.7. Απόσταξη.....	26
3.2.2.8. Αριθμός Κετανίου.....	27
3.2.2.9. Δείκτης Κετανίου	27
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα – Σχολιασμός Αποτελεσμάτων	29
4.1. Αποτελέσματα	29
4.1.1. Διαγράμματα Ισορροπίας Φάσεων.....	29
4.1.1.1. TK-35/Αραβοσιτέλαιο/Αιθανόλη	30
4.1.1.2. 8758-B/Αραβοσιτέλαιο/Αιθανόλη	31
4.1.1.3. TK-35/Βαμβακέλαιο/Αιθανόλη	32
4.1.1.4. 8758-B/Βαμβακέλαιο/Αιθανόλη.....	33
4.1.1.5. TK-35/Ηλιέλαιο/Αιθανόλη.....	34
4.1.1.6. 8758-B/Ηλιέλαιο/Αιθανόλη.....	35
4.1.1.7. TK-35/Πυρηνέλαιο/Αιθανόλη	36
4.1.1.8. 8758-B/Πυρηνέλαιο/Αιθανόλη.....	37
4.1.1.9. TK-35/Σογιέλαιο/Αιθανόλη	38

4.1.1.10. 8758-B/Σογιέλαιο/Αιθανόλη	39
4.1.2. Αποτελέσματα Μετρήσεων.....	40
4.1.2.1. TK-35.....	41
4.1.2.2. 8758-B.....	43
4.1.2.3. TK-35 (97.5% v/v) / Αιθανόλη (2.5% v/v).....	45
4.1.2.4. 8758-B (97.5% v/v) / Αιθανόλη (2.5% v/v).....	48
4.1.2.5. TK-35 (90% v/v) / Αραβοσιτέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v).....	50
4.1.2.6. 8758-B (85% v/v) / Αραβοσιτέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v).....	52
4.1.2.7. TK-35 (90% v/v) / Βαμβακέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v).....	54
4.1.2.8. 8758-B (85% v/v) / Βαμβακέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v).....	56
4.1.2.9. TK-35 (90% v/v) / Ηλιέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v).....	58
4.1.2.10. 8758-B (85% v/v) / Ηλιέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v).....	60
4.1.2.11. TK-35 (90% v/v) / Πυρηνέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v).....	62
4.1.2.12. 8758-B (85% v/v) / Πυρηνέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v).....	64
4.1.2.13. TK-35 (90% v/v) / Σογιέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v).....	66
4.1.2.14. 8758-B (85% v/v) / Σογιέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v).....	68
4.2. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων	70
4.2.1. Διαγράμματα Ισορροπίας Φάσεων.....	74
4.2.1.1. Αραβοσιτέλαιο	74
4.2.1.2. Βαμβακέλαιο.....	74
4.2.1.3. Ηλιέλαιο	74
4.2.1.4. Πυρηνέλαιο	75
4.2.1.5. Σογιέλαιο	75
4.2.1.6. Αναμιξιμότητα Καυσίμου Βάσης / Αιθανόλης	75
4.2.1.7. Αναμιξιμότητα Φυτικών Ελαίων / Αιθανόλης	76
4.2.1.8. Σύγκριση Φυτικών Ελαίων.....	76
4.2.2. Αξιολόγηση Ιδιοτήτων Μιγμάτων Καυσίμου Βάσης/Φυτικών Ελαίων/Αιθανόλης	78
4.2.2.1. Σημείο Θόλωσης.....	78
4.2.2.2. Σημείο Ροής.....	78
4.2.2.3. Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου.....	79
4.2.2.4. Ιξώδες.....	79
4.2.2.5. Πυκνότητα	80

4.2.2.6. Απόσταξη.....	80
4.2.2.7. Αριθμός Κετανίου.....	81
4.2.2.8. Δείκτης Κετανίου.....	81
5. Συμπεράσματα.....	83
Αναφορές.....	85

Πρόλογος

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κύριο Δημήτριο Καρώνη, υπό την επίβλεψη του οποίου ανέλαβα και έφερα εις πέρας την παρούσα διπλωματική εργασία. Οι γνώσεις και η αρωγή που μου παρείχε και το κλίμα αμεσότητας και συνεννόησης μέσα στο οποίο έγινε η εκπόνηση της εργασίας, είναι στοιχεία δίχως τα οποία αυτή δεν θα ήταν εφικτή.

Ευχαριστώ το προσωπικό του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών για τη βοήθειά τους, την προθυμία τους και την πάντα καλή τους διάθεση, η οποία κατέστησε δυνατή και εύκολη την προσαρμογή και τη χρήση του χώρου του Εργαστηρίου.

Θέλω να ευχαριστήσω την αγαπημένη μου οικογένεια, η στήριξη και η αγάπη της οποίας μου δίνει πάντα τη δύναμη να συνεχίζω.

Περίληψη

Η ναυτιλία είναι ένας από τους μεγαλύτερους κλάδους της οικονομίας παγκοσμίως και συμμετέχει σε ένα ή περισσότερα στάδια της παραγωγικής αλυσίδας των περισσότερων προϊόντων. Η ναυτιλία βασίζεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στα ορυκτά καύσιμα, ως εκ τούτου το περιβαλλοντικό αποτύπωμα αυτής είναι σημαντικό. Η δυνατότητα χρήσης εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα της ναυτιλίας θα έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση του περιβαλλοντικού αυτού αποτυπώματος. Στην παρούσα εργασία μελετάται η αιθανόλη ως υποκατάστατο του ναυτιλιακού diesel με χρήση φυτικών ελαίων ως συνδιαλύτες. Η χρήση συνδιαλύτη καθίσταται απαραίτητη καθώς η αιθανόλη εμφανίζει προβλήματα αναμιξιμότητας με το diesel. Για την αξιολόγηση της δυνατότητας χρήσης των φυτικών ελαίων ως συνδιαλύτες εξετάζεται η ισορροπία φάσεων των μιγμάτων ναυτιλιακού diesel/φυτικού ελαίου/αιθανόλης μέσω της κατάστρωσης των σχετικών διαγραμμάτων ισορροπίας φάσεων. Επίσης, μελετώνται οι ιδιότητες των μιγμάτων αυτών, ούτως ώστε να προβλεφθεί η συμπεριφορά τους κατά τη χρήση σε έναν κινητήρα diesel.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η ισορροπία φάσης των μιγμάτων ναυτιλιακού diesel/φυτικού ελαίου/αιθανόλης, χρησιμοποιώντας δυο δείγματα Gasoil που παραχωρήθηκαν από τα Ελληνικά Πετρέλαια ως καύσιμα βάσης. Τα φυτικά έλαια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα αραβοσιτέλαιο, βαμβακέλαιο, ηλιέλαιο, πυρηνέλαιο και σογιέλαιο. Η αιθανόλη ήταν υψηλής καθαρότητας. Η μελέτη της ισορροπίας φάσεων ήταν απαραίτητη ούτως ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τη σταθερότητα των μιγμάτων, η οποία είναι αναγκαία κατά τη χρήση ενός καυσίμου σε έναν κινητήρα. Η μελέτη της ισορροπίας φάσεων πραγματοποιήθηκε μέσω της κατασκευής των διαγραμμάτων ισορροπίας φάσεων των μιγμάτων καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου/αιθανόλης. Συνολικά κατασκευάστηκαν 10 διαγράμματα.

Από την μελέτη της ισορροπίας φάσεων προέκυψε το συμπέρασμα ότι όλα τα υπό εξέταση φυτικά έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς ως συνδιαλύτες. Το ηλιέλαιο εμφανίζεται ως το φυτικό έλαιο το οποίο επιτρέπει τη μέγιστη δυνατή διαλυτότητα αιθανόλης στα μίγματα. Βρέθηκε ότι για τα χρησιμοποιηθέντα καύσιμα βάσης δεν ήταν απαραίτητος ο συνδιαλύτης για την ισορροπία του μίγματος όταν το περιεχόμενο της αιθανόλης είναι στο 2.5% v/v. Στο επίπεδο προσθήκης 5% v/v αιθανόλης ο συνδιαλύτης ήταν απαραίτητος και όλα τα φυτικά έλαια μπόρεσαν επιτυχώς να διατελέσουν αυτόν τον ρόλο με τη χαμηλότερη ποσότητα απαιτούμενης προσθήκης φυτικού ελαίου να αντιστοιχεί στο ηλιέλαιο. Στο επίπεδο περιεκτικότητας 10% v/v αιθανόλης παρατηρήθηκε ότι απαιτούνται πολύ υψηλές ποσότητες φυτικού ελαίου για τη σταθεροποίηση του μίγματος, κάτι το οποίο περιορίζει σημαντικά την δυνατότητα αξιοποίησης του μίγματος ως καύσιμο.

Για την αξιολόγηση των ιδιοτήτων των μιγμάτων παρασκευάστηκαν 14 δείγματα. Τα δείγματα αυτά περιλάμβαναν τα 2 δείγματα καυσίμου βάσης, 2 δείγματα καυσίμου βάσης/αιθανόλης και 10 δείγματα καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου/αιθανόλης. Τα μίγματα καυσίμου βάσης/αιθανόλης περιείχαν αιθανόλη σε ποσοστό 2.5% v/v, ενώ τα μίγματα καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου/αιθανόλης περιείχαν αιθανόλη σε ποσοστό 5% v/v.

Οι ιδιότητες ψυχρής ροής των μιγμάτων αφορούν στη συμπεριφορά του μίγματος σε χαμηλές θερμοκρασίες και μελετήθηκαν μέσω της διεξαγωγής των μετρήσεων του σημείου θόλωσης, του σημείου απόφραξης ψυχρού φίλτρου και του σημείου ροής. Η θερμοκρασία του σημείου θόλωσης αυξάνεται εξαιτίας του διαχωρισμού των φάσεων του μίγματος και όχι του σχηματισμού κρυστάλλων παραφίνης. Από τις μετρήσεις του σημείου απόφραξης ψυχρού φίλτρου και του σημείου ροής βρέθηκε ότι οι αυτές οι ιδιότητες των μιγμάτων δεν επηρεάζονται σημαντικά από τα προστιθέμενα συστατικά (φυτικά έλαια και αιθανόλη), αλλά καθορίζονται από τα αντίστοιχα καύσιμα βάσης. Παρατηρήθηκε μία εξαίρεση στον παραπάνω κανόνα στο μίγμα του ηλιέλαιου με ένα μόνο από τα δύο καύσιμα βάσης, όπου η θερμοκρασία του σημείου απόφραξης ψυχρού φίλτρου μειώθηκε σημαντικά, προσδίδοντας έτσι σε αυτό το μίγμα καλύτερα χαρακτηριστικά ψυχρής ροής.

Το ιξώδες των καυσίμων είναι ιδιότητα που σχετίζεται με τη ροή του καυσίμου και στα υπό εξέταση μίγματα δεν βρέθηκαν σημαντικές αποκλίσεις από τα καύσιμα βάσης εξαιτίας της χαμηλής ποσότητας προσθήκης αυτών. Βρέθηκε ότι το πυρηνέλαιο αυξάνει περισσότερο το ιξώδες από οποιοδήποτε άλλο φυτικό έλαιο.

Η πυκνότητα των δειγμάτων που μελετήθηκαν βρέθηκε ότι αυξάνεται στα μίγματα καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου/αιθανόλης λαμβάνοντας παραπλήσιες τιμές ανεξάρτητα από το προστιθέμενο φυτικό έλαιο.

Ο αριθμός και ο δείκτης κετανίου μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν για λόγους σύγκρισης αντίστοιχα και βρέθηκε ότι σε όλα τα μίγματα είναι χαμηλότεροι από τα αρχικά καύσιμα βάσης. Ο υψηλότερος αριθμός κετανίου μεταξύ των μιγμάτων καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου/αιθανόλης παρατηρήθηκε για το βαμβακέλαιο, ενώ ο υψηλότερος δείκτης κετανίου για το μίγμα που περιείχε αραβοσιτέλαιο.

Οι ιδιότητες των μιγμάτων που μετρήθηκαν βρίσκονται εντός των ορίων που προβλέπονται από τις προδιαγραφές του διεθνούς προτύπου ISO 8217 για τα ναυτιλιακά καύσιμα τύπου DMB. Τα μίγματα δεν πληρούν όλες τις προδιαγραφές για τα καύσιμα τύπου DMA/DMZ.

Abstract

The maritime trading industry is one of the largest sectors of the worldwide economy and it is typically involved in some stage of the production chains of most of the produced goods. The shipping industry is almost exclusively reliant on fossil fuels which in turn makes its environmental footprint sizable. The possibility of alternative fuels usage in this industry would lead to a significant reduction of said environmental footprint. In this study, ethanol is investigated as a substitute for marine diesel fuel with the use of vegetable oils as cosolvents. The use of a cosolvent is necessary due to immiscibility problems that are present in diesel/ethanol blends. For the assessment of the capability of vegetable oils to act as cosolvents the phase stability of marine diesel/vegetable oil/ethanol blends is examined by constructing the relevant phase diagrams. The blends' properties are also examined, with the goal of predicting their behavior when used as fuels for a diesel engine.

In the present dissertation the phase equilibrium of marine diesel/vegetable oil/ethanol blends was investigated using two Gasoil samples that were supplied by Hellenic Petroleum as base fuels. The vegetable oils that were used were corn oil, cotton seed oil, sunflower seed oil, olive pomace oil and soybean oil. The ethanol that was used was of high purity. The study of the phase equilibrium was necessary to draw conclusions on blend stability, which must be achieved to facilitate the use of the blend as fuel in an engine. The phase equilibrium was studied via the plotting of the phase equilibrium charts of the base fuel/vegetable oil/ethanol blends. In total, 10 charts were plotted.

Based on the phase equilibrium investigation it was concluded that all the examined vegetable oils were able to be used successfully as cosolvents. Sunflower seed oil was found to enable the maximum possible miscibility of ethanol in the blends. It was also found that the use of cosolvent was rendered redundant for ethanol concentration of 2.5% v/v. For ethanol contents of 5% v/v the use of cosolvent was necessary and all the vegetable oils successfully fulfilled that role, while the use of sunflower seed oil allowed for the minimum requirement of vegetable oil addition. At 10% v/v levels of ethanol present in the blend it was observed that significantly high amounts of vegetable oils were required to achieve blend stability, which drastically impairs the usability of these blends as fuels.

For the purpose of assessing the properties of the blends 14 samples were prepared. These samples were 2 samples of base fuel, 2 samples of base fuel/ethanol blends and 10 samples of base fuel/vegetable oil/ethanol blends. The blends of base fuel/ethanol contained 2.5% v/v ethanol, whereas the blends of base fuel/vegetable oil/ethanol contained 5% v/v ethanol.

The cold flow properties of the blends are linked to the behavior of the blends at lower temperatures and they were assessed by the measurement of the cloud point, the cold filter plugging point and the pour point. The cloud point temperature of the blends was increased due to phase separation and not the formation of paraffin crystals. The measurement of the cold filter plugging point and of the pour point showed that these properties are not significantly altered by the addition of ethanol and vegetable oil and were mostly dictated by the base fuel properties. The exception to the above rule was the blend of

sunflower seed oil with one the base fuels, which lead to a significant reduction in the temperature of the cold filter plugging point, giving that specific blend better cold flow characteristics.

The viscosity of fuels is a property that is associated with the flow of said fuels and in the examined blends it was not significantly affected by the addition of ethanol and vegetable oils, due to the low amounts that were added. Olive pomace oil increased the viscosity of the blends more than any other vegetable oil.

The density of the samples was increased in the base fuel/vegetable oil/ethanol blends and the measurements did not exhibit significant differences between the different vegetable oils.

The cetane number was measured, while the cetane index was calculated for comparison purposes and it was found that they were both lower for the blends compared to the base fuels. The highest cetane number of the blends corresponds to cotton seed oil, whereas the highest cetane index corresponds to corn oil.

The properties of the blends are found to be within the allowed values as is described in the ISO 8217 international standard for the category of DMB marine fuels. The blends do not meet the all of the criteria for the category of DMA/DMZ marine fuels.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος της μεταφοράς εμπορευμάτων στο παγκόσμιο εμπόριο πραγματοποιείται δια μέσω θαλάσσης. Το 2019 η αξία του παγκόσμιου εμπορίου μέσω ναυτιλίας υπολογιζόταν ως άνω των 14 τρισεκατομμυρίων δολαρίων.¹ Το 2021 μεταφέρθηκαν μέσω της ναυσιπλοΐας 11 δισεκατομμύρια τόνοι αγαθών παγκοσμίως, ποσότητα που αναλογεί σε περίπου 80% του συνολικού παγκόσμιου εμπορίου.^{2,3} Στην Ευρωπαϊκή Ένωση το ναυτιλιακό εμπόριο προσεγγίζει τα τρία τέταρτα του συνολικού εμπορίου σε βάρος.⁴ Η Ελλάδα κατέχει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια ναυτιλία, καθώς είναι ιδιοκτήτρια του δεύτερου μεγαλύτερου ναυτιλιακού στόλου παγκοσμίως, αμέσως μετά την Κίνα, ενώ είναι πρώτη όσον αφορά στη χωρητικότητα παγκοσμίως.⁵ Το εμπόριο μέσω ναυτιλίας στην Ελλάδα κατέχει τον κομβικό ρόλο της διασύνδεσης των πολλών νησιών της χώρας με την ηπειρωτική Ελλάδα, διασφαλίζοντας έτσι την κοινωνική συνοχή και την αμοιβαία ανάπτυξη μέσω της συνεργασίας, αξιοποιώντας τα επί μέρους χαρακτηριστικά των δύο πλευρών. Η ναυτιλία αποτελεί το πιο φθηνό μέσο μεταφοράς των αγαθών και διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στις τιμές όλων των αγαθών, καθώς συνδέεται με το κόστος των τελικών προϊόντων, όπως και το κόστος των πρώτων υλών ή των ενδιάμεσων προϊόντων. Η ναυτιλία είναι το μέσο εκείνο, το οποίο συνδέει όλες τις περιοχές του πλανήτη, συμβάλλοντας έτσι σημαντικά στην παγκοσμιοποίηση. Η διασύνδεση των παγκόσμιων αγορών είναι αυτή που οδηγεί στην οικονομική ανάπτυξη των χωρών, η οποία είναι απαραίτητο βήμα για τη βελτίωση των συνθηκών ζωής των ανθρώπων. Μέσω της οικονομικής ανάπτυξης μία κοινωνία καθίσταται ικανή να εξασφαλίσει τους απαραίτητους πόρους για την οικοδόμηση των υποδομών εκείνων που αυξάνουν την ποιότητα ζωής και διασφαλίζουν την υγεία των μελών της. Συνεπώς, το παγκόσμιο εμπόριο ήταν, είναι και θα παραμείνει ζωτικής σημασίας για την εύρυθμη λειτουργία της παγκόσμιας οικονομίας και τη συνεχιζόμενη ανάπτυξη των υπό ανάπτυξη, καθώς και των μη ανεπτυγμένων, περιοχών του πλανήτη.

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα του πλανήτη, το οποίο αφορά τόσο το παρόν όσο και το μέλλον, είναι το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Η κλιματική αλλαγή είναι γεγονός και ήδη είναι ορατές οι επιπτώσεις αυτής. Δίχως τη λήψη κατάλληλων μέτρων το φαινόμενο θα κλιμακωθεί και θα έχει μη αντιστρεπτές συνέπειες. Επομένως, είναι απαραίτητο η κλιματική αλλαγή να αντιμετωπιστεί όσο το δυνατόν συντομότερα και αποτελεσματικότερα. Το εμπόριο μέσω ναυτιλίας είναι υπεύθυνο για το 3% τον παγκόσμιων ρύπων του φαινομένου του θερμοκηπίου, ενώ έχει παρατηρηθεί συγκριτική αύξηση αυτών την τελευταία δεκαετία.⁶ Το 98.8% του παγκόσμιου στόλου κινείται με ορυκτά καύσιμα,⁶ γεγονός το οποίο καθιστά απαραίτητη τη εύρεση φιλικών προς το περιβάλλον εναλλακτικών καυσίμων, τα οποία θα είναι ταυτόχρονα συμβατά με τις υπάρχουσες μηχανές των πλοίων, ούτως ώστε να είναι οικονομικά εφικτή η μετάβαση. Ήδη έχουν θεσπιστεί όρια, όσον αφορά στην μέγιστη επιτρεπτή περιεκτικότητα των ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο από το Διεθνή Οργανισμό Ναυσιπλοΐας, τα οποία σύμφωνα με την οδηγία IMO 2020 είναι 0.5% κατά βάρος περιεκτικότητα σε θείο σε όλα τα ναυτιλιακά καύσιμα.

Λαμβάνοντας τα παραπάνω υπόψιν εξάγεται το συμπέρασμα ότι καθώς η ναυτιλία είναι αδιαμφισβήτητα απαραίτητη και μη αντικαταστάσιμη, θα πρέπει να βρεθούν εναλλακτικά καύσιμα, τα οποία θα συμβάλλουν στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής μέσω της

μείωσης των ρύπων. Εκτιμάται ότι το διοξείδιο του άνθρακα που εκπέμπεται από την ναυτιλία μπορεί να μειωθεί αν τα ναυτιλιακά καύσιμα υποκατασταθούν από μίγματα ναυτιλιακών καυσίμων και αιθανόλης. Το αποτέλεσμα θα είναι η μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων. Εξαιτίας της πολύ υψηλής κατανάλωσης ναυτιλιακών καυσίμων, ακόμη και μικρές μειώσεις στην κατανάλωση ορυκτών καυσίμων εκτιμάται ότι θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Η χρήση της αιθανόλης σε συνδυασμό με το diesel έχει μελετηθεί στη διεθνή βιβλιογραφία, παρουσιάζοντας πρόβλημα στην διαλυτότητα της πρώτης στο μίγμα. Ως λύσεις σε αυτό το πρόβλημα έχει μελετηθεί η προσθήκη διάφορων ουσιών, οι οποίες δρουν ως συνδιαλύτες αυξάνοντας τη διαλυτότητα της αιθανόλης στο μίγμα. Πέρα από τη διαλυτότητα, η οποία είναι σημαντικός παράγοντας για τη σταθερότητα του μίγματος, είναι απαραίτητη η αξιολόγηση των ιδιοτήτων του μίγματος, ούτως ώστε να εξακριβωθεί η δυνατότητα χρήσης του σε έναν κινητήρα.

Το κόστος των εναλλακτικών καυσίμων είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας, καθώς είναι απαραίτητο ταυτόχρονα με την προστασία του περιβάλλοντος να διασφαλιστεί η ομαλή διεξαγωγή του παγκόσμιου εμπορίου, το οποίο είναι στυλοβάτης της παγκόσμιας οικονομίας. Ένα υψηλό κόστος καυσίμου θα είχε αρνητική επίδραση στο εμπόριο, καθώς θα οδηγούσε σε αύξηση τιμών, επηρεάζοντας την παγκόσμια οικονομία. Μία συρρίκνωση της παγκόσμιας οικονομίας θα επιδρούσε αρνητικά στη δυνατότητα επένδυσης των χωρών σε άλλες υποδομές που χρησιμοποιούνται για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, όπως οι υποδομές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα θα καθιστούσε επισφαλή την ανάπτυξη των πιο ευάλωτων οικονομιών του πλανήτη. Έτσι, καθίσταται σαφές ότι θα πρέπει να επιτευχθεί μία ισορροπία μεταξύ κόστους και περιβαλλοντικής προστασίας, τέτοια ώστε να εξασφαλιστεί ένα συνολικό όφελος για τους ανθρώπους και το περιβάλλον.

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1. Ναυτιλιακά Καύσιμα

2.1.1. Γενικά Στοιχεία περί Ναυτιλιακών Καυσίμων

Τα ναυτιλιακά καύσιμα είναι καύσιμα τύπου diesel, αλλά και υπολειμματικά καύσιμα, τα οποία προορίζονται για χρήση στις κύριες μηχανές των πλοίων. Ο όρος ναυτιλιακά καύσιμα εμπεριέχει μία ευρεία συλλογή καυσίμων και ως εκ τούτου τα ναυτιλιακά καύσιμα κατηγοριοποιούνται σε υποκατηγορίες. Αρχικά, διαχωρίζονται σε ελαφριά αποστάγματα του αργού πετρελαίου και σε βαριά υπολειμματικά καύσιμα. Τα ελαφριά αποστάγματα μπορούν να διακριθούν περαιτέρω σε ναυτιλιακό gasoil και σε ελαφριά και βαριά ναυτιλιακά καύσιμα diesel. Τα υπολειμματικά καύσιμα διακρίνονται ανάλογα με την προέλευσή τους σε υπολείμματα ατμοσφαιρικής απόσταξης, απόσταξης υπό κενό, καταλυτικής πυρόλυσης και ιξωδόλυσης.

Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 8217 αναγνωρίζονται 14 διαφορετικές ποιότητες ναυτιλιακών καυσίμων ως εξής:

- 1 ναυτιλιακό gasoil (Marine Gas Oil/MGO): DMX
- 3 ναυτιλιακά diesel (Marine Diesel Oil/MDO): DMA, DMZ, DMB
- 11 υπολειμματικά καύσιμα (Residual Fuels, Heavy Fuel Oil/HFO): RMA10, RMB30, RMD80, RME180, RMG180, RMG380, RMG500, RMG700, RMK380, RMK500, RMK700

Τα ναυτιλιακά καύσιμα κατατάσσονται επίσης και σε κατηγορίες IFO (intermediate fuel oil) με βάση το κινηματικό ιξώδες των καυσίμων σε θερμοκρασία 50°C. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής: IFO30, IFO40, IFO60, IFO80, IFO100, IFO120, IFO150, IFO180, IFO240, IFO320, IFO380.

Στην πράξη δεν παράγονται απευθείας όλα τα προϊόντα, καθώς αυτό θα καθιστούσε δύσκολη και μη συμφέρουσα την αποθήκευση όλων των διαφορετικών καυσίμων. Για αυτόν τον λόγο παράγονται 3 προϊόντα: MDO, IFO180 και IFO380, τα οποία στη συνέχεια αναμιγνύονται στις κατάλληλες αναλογίες ούτως ώστε να παραχθούν τα επιθυμητά προϊόντα.

Το είδος καυσίμου καθώς και το ιξώδες που απαιτεί ο κάθε τύπος ναυτικού κινητήρα υποδεικνύεται κάθε φορά από τον κατασκευαστή του.⁷

2.1.2. Ιδιότητες Ναυτιλιακών Καυσίμων Diesel

2.1.2.1. Σημείο Θόλωσης

Το σημείο θόλωσης είναι μία από τις ιδιότητες ψυχρής ροής των καυσίμων. Ορίζεται ως η ανώτερη θερμοκρασία στην οποία ο διαχωρισμός κρυστάλλων παραφίνης είναι παρατηρήσιμος για πρώτη φορά. Το σημείο θόλωσης δεν παρέχει επαρκείς πληροφορίες για τη συμπεριφορά του καυσίμου σε χαμηλές θερμοκρασίες, καθώς ο σχηματισμός των πρώτων κρυστάλλων παραφίνης δεν επηρεάζει τη δυνατότητα ροής του καυσίμου.⁸

Ο προσδιορισμός του γίνεται με ψύξη του καυσίμου υπό τις συνθήκες που περιγράφονται στο πρότυπο ISO 3015.

2.1.2.2. Σημείο Ροής

Το σημείο ροής ανήκει στις ιδιότητες ψυχρής ροής των καυσίμων. Είναι η θερμοκρασία στην οποία το καύσιμο παύει να είναι ρευστό εξαιτίας του διαχωρισμού των παραφινών. Σε αντίθεση με το σημείο θόλωσης του καυσίμου, το σημείο ροής αναφέρεται σε μία κατάσταση του καυσίμου όπου πλέον είναι αδύνατον να χρησιμοποιηθεί σε μηχανή.⁸

Προσδιορίζεται με ψύξη του καυσίμου μέσω του προτύπου ISO 3016.

2.1.2.3. Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου

Οι δύο προηγούμενες ιδιότητες ψυχρής ροής περιγράφουν δύο ακραίες καταστάσεις, αδυνατώντας να δώσουν επαρκείς πληροφορίες για τη συμπεριφορά του καυσίμου υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας σε μία μηχανή. Η ενδιάμεση θερμοκρασία στην οποία το καύσιμο παύει να είναι λειτουργικό σε πρακτικές συνθήκες ορίζεται ως το σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου. Στη θερμοκρασία αυτή το καύσιμο είναι μεν ρευστό, αλλά η δυνατότητα ροής του έχει μειωθεί σε βαθμό που δεν μπορεί να περάσει δια μέσω του φίλτρου στο προκαθορισμένο χρονικό διάστημα των 60 s.⁸

Για τον προσδιορισμό του σημείου απόφραξης ψυχρού φίλτρου χρησιμοποιείται η μέθοδος που περιγράφεται στο πρότυπο EN 116.

2.1.2.4. Ιξώδες

Το ιξώδες είναι η ιδιότητα του καυσίμου που σχετίζεται με την αντίσταση του καυσίμου στη ροή και εξαρτάται από τη θερμοκρασία του με αντιστρόφως ανάλογη σχέση. Εκφράζεται ως απόλυτο ή κινηματικό ιξώδες και οι δύο αυτές εκφράσεις συνδέονται μέσω της πυκνότητας. Η τιμή του ιξώδους είναι ενδεικτική της δυνατότητας άντλησης, κυκλοφορίας και ψεκασμού του καυσίμου, επηρεάζοντας έτσι σε μεγάλο βαθμό την λειτουργία της μηχανής στην οποία χρησιμοποιείται. Το ιξώδες δίνει επίσης ενδείξεις για τη σύσταση του καυσίμου και για το εξανθράκωμά του. Όσο χαμηλότερο είναι το ιξώδες ενός καυσίμου, τόσο χαμηλότερη είναι η αντίσταση αυτού του καυσίμου στη ροή, ενώ η αύξηση του ιξώδους καθιστά δυσκολότερο τον διαχωρισμό του νερού και των στερεών σωματιδίων και επιβάλλει τη θέρμανση του καυσίμου πριν τη χρήση του.^{7,8}

Το κινηματικό ιξώδες προσδιορίζεται μέσω της πρότυπης μεθόδου ISO 3104 και αναφέρεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, η οποία για τα ναυτιλιακά καύσιμα Diesel είναι 40°C.

2.1.2.5. Πυκνότητα

Η πυκνότητα του καυσίμου είναι η ιδιότητα που δείχνει τη μάζα ενός συγκεκριμένου όγκου καυσίμου και αποτελεί ένδειξη της σύστασής του, δίνοντας πληροφορίες και για το εξανθράκωμά του. Η πυκνότητα σχετίζεται επίσης με το μέγεθος και το είδος των υδρογονανθράκων που περιέχονται στο καύσιμο. Η πυκνότητα παρέχει ενδείξεις και για την ποιότητα ανάφλεξης, την οικονομία, τις ιδιότητες ροής σε χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά και για την τάση σχηματισμού καπνού. Επιπλέον, η πυκνότητα είναι αυτή που καθορίζει τη θέση του εμβόλου στη μηχανή, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται σταθερή ισχύς.^{7,8}

Για τον προσδιορισμό της πυκνότητας χρησιμοποιείται η πρότυπη μέθοδος ISO 3675 και το αποτέλεσμα αναφέρεται στη θερμοκρασία των 15°C.

2.1.2.6. Πτητικότητα

Η πτητικότητα του καυσίμου diesel σχετίζεται με τη συμπεριφορά του κατά την απόσταξη του δίνοντας πληροφορίες για την ποιότητά του. Συγκεκριμένα, μπορούν από την απόσταξη του καυσίμου να εξαχθούν πληροφορίες σχετικά με το ιξώδες, το σημείο ανάφλεξης, τη θερμοκρασία αυτανάφλεξης, τον αριθμό κετανίου και την πυκνότητα. Η απόσταξη, επίσης παρέχει τα απαραίτητα δεδομένα για τον σχεδιασμό της καμπύλης απόσταξης, όπως επίσης και για τον υπολογισμό του δείκτη κετανίου. Ακόμη, η απόσταξη είναι ενδεικτική του μεγέθους των μορίων υδρογονανθράκων, καθώς με το σημείο ζέσης αυτών αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των μορίων της αλυσίδας. Μέσω της απόσταξης συλλέγονται τα δεδομένα του αρχικού και τελικού σημείου βρασμού, καθώς επίσης και του ποσοστών ανάκτησης συμπυκνώματος και υπολείμματος μη πτητικού υλικού.⁸

Η απόσταξη λαμβάνει χώρα με χρήση της πρότυπης μεθόδου ISO 3405.

2.1.2.7. Αριθμός Κετανίου

Ο αριθμός κετανίου είναι η ιδιότητα του καυσίμου που σχετίζεται με την ευκολία της ανάφλεξής του. Συγκεκριμένα, όσο υψηλότερος είναι ο αριθμός κετανίου, τόσο πιο εύκολα αυτό αναφλέγεται όταν ψεκάζεται στον κινητήρα Diesel.⁸

Ο αριθμός μετράται σε πρότυπο Κινητήρα Μέτρησης Κετανίου CFR, σύμφωνα με τη μέθοδο ISO 5165. Εναλλακτικά, ο αριθμός κετανίου προσδιορίζεται με χρήση θαλάμου καύσης σταθερού όγκου σύμφωνα με τη μέθοδο EN 15195.

2.1.2.8. Δείκτης Κετανίου

Ο δείκτης κετανίου είναι μία ιδιότητα του καυσίμου diesel, η οποία δεν μετράται αλλά υπολογίζεται με βάση τα δεδομένα από άλλες μετρήσεις. Αναλυτικότερα, για τον δείκτη κετανίου είναι απαραίτητα τα δεδομένα της πυκνότητας, καθώς επίσης και της απόσταξης. Ο δείκτης κετανίου χρησιμοποιείται για την πρόβλεψή του αριθμού κετανίου, με απώτερο

σκοπό την αποφυγή χρήσης του πρότυπου κινητήρα που είναι απαραίτητος για τον πειραματικό προσδιορισμό του αριθμού κετανίου.⁸

Η εξίσωση υπολογισμού του δείκτη κετανίου προβλέπεται από το πρότυπο ISO 4264.

2.1.2.9. Λιπαντική Ικανότητα

Το καύσιμο κατά τη λειτουργία του κινητήρα συμβάλλει στη λίπανση πολλών εκ των εξαρτημάτων του συστήματος έγχυσης. Συστατικά τα οποία ενισχύουν τη λιπαντική ικανότητα είναι μεταξύ άλλων το θείο, αζωτούχες και πολυαρωματικές ενώσεις, οι οποίες όμως αφαιρούνται από το καύσιμο με την αύξηση της έντασης της μονάδας υδρογονοαποθείωσης.⁸

Για τη μέτρηση της λιπαντικής ικανότητας του καυσίμου χρησιμοποιείται η πρότυπη μέθοδος ISO 12156-1 με χρήση συσκευής HFFR (High Frequency Reciprocating Rig).

2.1.2.10. Περιεκτικότητα σε Θείο

Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο εξαρτάται από το εκάστοτε αργό πετρέλαιο που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή αυτού. Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο μειώνεται μέσω της διεργασίας της υδρογονοαποθείωσης, με σκοπό να επιτευχθούν τα προβλεπόμενα από τις προδιαγραφές όρια. Απώτερος σκοπός της μείωσης της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο είναι η προστασία του περιβάλλοντος τόσο από τα θειικά άλατα, όσο και από τα όξινα θειικά καυσαέρια.⁸

Η περιεκτικότητα σε θείο προσδιορίζεται για τα ναυτιλιακά καύσιμα μέσω της πρότυπης μεθόδου ISO 8754 με φθορισμό ακτίνων Χ.

2.1.2.11. Σημείο Ανάφλεξης

Το σημείο ανάφλεξης αποτελεί μία προδιαγραφή ασφαλείας στα καύσιμα diesel για τις συνθήκες αποθήκευσης και μεταφοράς. Καθορίζει, εμμέσως, τα ελαφρύτερα συστατικά τα οποία επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά στην παραγωγή του καυσίμου.⁸

Το σημείο ανάφλεξης προσδιορίζεται με τη μέθοδο ISO 2719.

2.1.2.12. Τέφρα

Η τέφρα στο diesel προέρχεται από την πιθανή περιεκτικότητα σε ποσότητες υλικών, οι οποίες κατά την καύση του καυσίμου αποτίθενται στο σύστημα ψεκασμού. Επίσης, προκαλούν φθορές στο έμβολο και τα ελατήρια.⁸

Η τέφρα προσδιορίζεται μέσω της μεθόδου ISO 6245.

2.1.2.13. Εξανθράκωμα

Το εξανθράκωμα σχετίζεται με την περιεκτικότητα του καυσίμου σε βαρέα συστατικά, τα οποία δεν καίγονται, αλλά πολυμερίζονται και σχηματίζουν αιθάλη. Είναι επίσης ένδειξη της τάσης του καυσίμου να δημιουργεί αποθέσεις.⁸

Ο προσδιορισμός του γίνεται μέσω της πρότυπης μεθόδου ISO 10370.

2.1.2.14. Διαβρωτικότητα

Η διάβρωση των μετάλλων με τα οποία έρχεται σε επαφή το diesel οφείλεται σε συγκεκριμένες ενώσεις θείου που αυτό ενδέχεται να περιέχει.⁸

Η διαβρωτικότητα του καυσίμου προσδιορίζεται μέσω της μεθόδου διάβρωσης χάλκινου ελάσματος, η οποία είναι προτυποποιημένη κατά ISO 2160.

2.1.2.15. Θερμογόνος Δύναμη

Η θερμογόνος δύναμη του καυσίμου είναι η έκφραση του ενεργειακού του περιεχομένου σε μονάδες ενέργειας ανά μάζα ή όγκο καυσίμου και είναι βασική στον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του καυσίμου. Η θερμογόνος δύναμη του καυσίμου χωρίζεται σε ανώτερη και κατώτερη, όπου στην πρώτη οι παραγόμενοι υδρατμοί κατά την καύση βρίσκονται σε υγρή κατάσταση, ενώ στη δεύτερη σε αέρια. Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο, νερό και τέφρα έχει επίδραση στην τελική τιμή της θερμογόνου δύναμης.⁸

Ο προσδιορισμός της θερμογόνου δύναμης γίνεται με χρήση ειδικού θερμιδόμετρου σύμφωνα με τη πρότυπη μέθοδο ISO 1928.

2.2. Αιθανόλη

2.2.1. Γενικά Στοιχεία περί Αιθανόλης

Η αιθανόλη είναι οργανική ένωση και συγκεκριμένα είναι αλκοόλη με 2 άτομα άνθρακα στο μόριό της. Ο μοριακός της τύπος είναι $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, είναι άχρωμη και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος συναντάται σε υγρή κατάσταση. Στα πλεονεκτήματα της χρήσης αιθανόλης ως καύσιμο συγκαταλέγονται η καλύτερη σχέση άνθρακα προς υδρογόνο ($\text{C}:\text{H} = 1:3$) σε σύγκριση με τα συμβατικά υγρά καύσιμα που προέρχονται από το πετρέλαιο, όπως η βενζίνη και το diesel. Το μειονέκτημα στη χρήση της αιθανόλης ως καύσιμο έγκειται στη διαβρωτικότητα της, το οποίο καθιστά απαραίτητο να γίνουν οι κατάλληλες μετατροπές στα υφιστάμενα κυκλώματα των κινητήρων των οχημάτων ή να σχεδιασθούν νέα, ούτως ώστε να είναι ικανά να ανταπεξέρχονται σε αυτή τη διαβρωτικότητα.⁹

Η ετήσια παραγωγή αιθανόλης για χρήση ως καύσιμο κατά τα έτη 2018-2022 σε εκατομμύρια γαλόνια φαίνεται στον επόμενο πίνακα.¹⁰

Πίνακας 1. Ετήσια παραγωγή αιθανόλης για χρήση ως καύσιμο κατά τα έτη 2018-2022 σε εκατομμύρια γαλόνια

Περιοχή	2018	2019	2020	2021	2022	% επί του συνόλου
Η.Π.Α.	16,091	15,778	13,941	15,016	15,361	54%
Βραζιλία	8,060	8,860	8,100	7,320	7,500	26%
Ε.Ε.	1,350	1,380	1,330	1,410	1,460	5%
Ινδία	450	500	520	870	1,220	4%
Κίνα	810	1,020	990	870	920	3%
Καναδάς	460	497	429	434	447	2%
Ταϊλάνδη	390	430	390	360	380	1%
Αργεντινή	290	290	210	270	310	1%
Υπόλοιπες	709	655	770	810	832	3%
Σύνολο	28,610	29,410	26,680	27,360	28,430	

2.2.2. Επίδραση Αιθανόλης στις Εκπομπές Ρύπων

Η χρήση αιθανόλης σε μίγμα με diesel έχει βρεθεί να οδηγεί γενικά σε μείωση των ρύπων NO_x ,^{11,12,13} έχει όμως παρατηρηθεί ότι σε υψηλότερες ταχύτητες δεν υπάρχει σαφής τάση, καθώς έχει παρατηρηθεί τόσο αύξηση όσο και μείωση άλλες φορές.¹⁴

Όσον αφορά στις εκπομπές CO_2 αυτές αναμένονται να μειωθούν με την προσθήκη της αιθανόλης στο καύσιμο.¹³

Το εκπεμπόμενο CO σε έρευνες που έχουν διεξαχθεί εμφανίζεται άλλοτε να αυξάνεται και άλλοτε να μειώνεται με την προσθήκη της αιθανόλης.^{11,12,13} Έχει καταγραφεί στη

βιβλιογραφία η συσχέτιση του φορτίου του κινητήρα με τις εκπομπές CO, όπου φαίνεται ότι σε χαμηλότερα φορτία μειώνονται, ενώ σε υψηλότερα αυξάνονται.¹⁴

Στη βιβλιογραφία έχουν μελετηθεί περιπτώσεις όπου οι εκπομπές των άκαυστων υδρογονανθράκων εμφανίζονται αυξημένες, ενώ άλλες φορές εμφανίζονται μειωμένες.^{11,12} Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες φαίνεται να εξαρτώνται και αυτοί από το φορτίο του κινητήρα, όπου σε χαμηλότερα φορτία αυξάνονται οι εκπομπές τους, ενώ μειώνονται σε υψηλότερα φορτία.¹⁴

Με τη χρήση της αιθανόλης σε μίγματα με diesel είναι κοινώς αποδεκτό ότι μειώνονται οι εκπομπές καπνού κατά τη λειτουργία της μηχανής σε κάθε περίπτωση.^{11,12,13,14}

2.2.3. Επίδραση της Αιθανόλης στις Ιδιότητες των Καυσίμων

Η επίδραση της αιθανόλης στις ιδιότητες των καυσίμων όταν αναμιγνύεται με το diesel έχει γίνει αντικείμενο μελέτης στη βιβλιογραφία. Έχει βρεθεί ότι όσον αφορά στις ιδιότητες ψυχρής ροής, το σημείο θόλωσης αναμένεται να αυξάνεται, ενώ το σημείο ροής αναμένεται να μειώνεται εξαιτίας της προσθήκης αιθανόλης, όταν αυτή ξεπερνάει το 5% v/v. Η αιθανόλη δεν έχει βρεθεί να έχει σημαντική επίδραση στο σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου.¹⁵

Το ιξώδες μιγμάτων diesel/αιθανόλης, όπως και η πυκνότητα έχουν βρεθεί μειωμένα σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των diesel εξαιτίας της προσθήκης αιθανόλης, της οποίας οι τιμές ιξώδους και πυκνότητας είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες του diesel.^{15,16}

Στη βιβλιογραφία έχει καταγραφεί ότι το αρχικό σημείο βρασμού του μίγματος diesel/αιθανόλης μεταβάλλεται σε σχέση με αυτό του diesel και συγκεκριμένα μειώνεται και ταυτίζεται με αυτό της αιθανόλης.¹⁵

Ο αριθμός κετανίου της αιθανόλης έχει εκτιμηθεί ότι λαμβάνει τιμή 5-15,¹⁷ κάτι το οποίο αναμένεται να έχει αρνητική επίδραση στον αριθμό κετανίου ενός μίγματος diesel/αιθανόλης.

Η λιπαντική ικανότητα αναφέρεται ότι αυξάνεται με την προσθήκη αιθανόλης.^{15,18,19}

Το σημείο ανάφλεξης σύμφωνα με τη βιβλιογραφία μειώνεται με τη προσθήκη της αιθανόλης.¹⁵

Η διαβρωτικότητα του καυσίμου δεν φαίνεται να επηρεάζεται από την προσθήκη αιθανόλης, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία.^{15,20,21}

Η θερμογόνος δύναμη του μίγματος έχει βρεθεί ότι μειώνεται εξαιτίας της προσθήκης της αιθανόλης στο μίγμα.²²

2.3. Φυτικά Έλαια

2.3.1. Αραβοσιτέλαιο

Το αραβοσιτέλαιο είναι φυτικό έλαιο, το οποίο εξάγεται από τους κόκκους του αραβοσίτου (καλαμποκιού). Ο αραβόσιτος παράγεται παγκοσμίως, ενώ η περιεκτικότητά του σε έλαιο είναι συνήθως ίση με 4%.²³

Η ετήσια παραγωγή του αραβοσιτελαίου κατά το έτος 2021 ήταν με 2,914,798.5 τόνους σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ για την Ελλάδα αντίστοιχα ίση με 5,300 τόνοι.²⁴

2.3.2. Βαμβακέλαιο

Το βαμβακέλαιο παράγεται από το βαμβάκι, του οποίου η περιεκτικότητα σε έλαιο είναι ίση με 15-20%.²⁵ Το βαμβάκι καλλιεργείται στην Ινδία, το Πακιστάν, την Κίνα και τη Βραζιλία.

Παγκοσμίως η ετήσια παραγωγή βαμβακελαίου κατά το έτος 2021 ανήλθε σε 4,305,035.02 τόνους, ενώ για την Ελλάδα το ύψος της παραγωγής ήταν ίσο με 25,400 τόνους.²⁴

2.3.3. Ηλιέλαιο

Το ηλιέλαιο είναι το φυτικό έλαιο που παράγεται από τον ηλίανθο, ο οποίος καλλιεργείται σε μεγαλύτερες ποσότητες στη Ρωσία, ακολουθούμενη από την παραγωγή στην Ανατολική Ευρώπη, την Αργεντινή και την Ε.Ε.. Ο ηλίανθος περιέχει έλαιο σε ποσοστό 35-42%.²⁶

Η ετήσια παραγωγή ηλιέλαιου σε παγκόσμιο επίπεδο το 2021 έφτασε τους 18,495,059.68 τόνους, ενώ στην Ελλάδα παράχθηκαν 71,400 τόνοι.²⁴

2.3.4. Πυρηνέλαιο

Το πυρηνέλαιο είναι φυτικό έλαιο, το οποίο παράγεται από το υπόλειμμα του ελαιόλαδου μετά από επεξεργασία. Το πυρηνέλαιο είναι παραπροϊόν της παραγωγής ελαιόλαδου, καθώς το τελευταίο αποτελεί το κύριο προϊόν της επεξεργασίας της ελιάς.

2.3.5. Σογιέλαιο

Το σογιέλαιο είναι φυτικό έλαιο, το οποίο παράγεται από το φυτό της σόγιας, το οποίο περιέχει 18-22%.²⁷ Η σόγια καλλιεργείται στην Ανατολική Ασία, τις Η.Π.Α. και στη Βόρεια Λατινική Αμερική.

Η παγκόσμια ετήσια παραγωγή του έτους 2021 ήταν ίση με 61,571,661.26 τόνους, ενώ για την Ελλάδα ανήλθε σε 39,800 κατά το ίδιο έτος.²⁴

2.4. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Μελετών Προσθέτων στα Μίγματα Diesel/Αιθανόλης

Στη βιβλιογραφία έχουν μελετηθεί ήδη τα μίγματα diesel/αιθανόλης και η επίδραση της αιθανόλης στις ιδιότητες, αλλά και στις εκπομπές, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω. Έχουν επίσης διεξαχθεί έρευνες σχετικά με την καταλληλότητα διαφορετικών προσθέτων ως συνδιαλύτες στα μίγματα diesel/αιθανόλη, με σκοπό την αύξηση της σταθερότητας του μίγματος, αλλά και τη βελτίωση των ιδιοτήτων του.

Ως συνδιαλύτες στα μίγματα diesel/αιθανόλης έχουν δοκιμαστεί διαφορετικοί τύποι αλκοολών (κ-βουτανόλη, κ-εξανόλη, κ-οκτανόλη, κ-δωδεκανόλη, 2-βουτανόλη, ισο-βουτανόλη, τριτ-βουτανόλη, κυκλο-εξανόλη) και έχει μελετηθεί η επίδρασή τους στη σταθερότητα του μίγματος. Συγκεκριμένα, έχει βρεθεί ότι η αύξηση του μεγέθους της αλυσίδας οδηγεί σε αύξηση της διαλυτότητάς της αιθανόλης, καθώς και ότι οι ευθείες αλυσίδες είναι πιο αποτελεσματικές από τις διακλαδωμένες.²⁸

Το biodiesel ως συνδιαλύτης στα μίγματα diesel/αιθανόλης αυξάνει τη διαλυτότητα της αιθανόλης στο σύστημα, μέσω του σχηματισμού δεσμών υδρογόνου με την αιθανόλη.²⁹

Η επίδραση του biodiesel στις ιδιότητες των μιγμάτων diesel/αιθανόλης έχει μελετηθεί στη βιβλιογραφία από πολλαπλούς μελετητές.^{21,30,31,32} Γενικά, έχει βρεθεί ότι όλες οι ιδιότητες επηρεάζονται, αλλά παραμένουν εντός των προδιαγραφών για τα diesel. Η επίδραση στις ιδιότητες εξαρτάται από τα συστατικά και το ποσοστό ανάμιξής τους. Όσον αφορά στις εκπομπές των μιγμάτων, έχει βρεθεί ότι το CO και οι υδρογονάνθρακες μειώνονται, όμως τα NO_x αυξάνονται σε υψηλά φορτία μηχανής.³²

Έρευνες έχουν διεξαχθεί για την αξιολόγηση άλλων προσθέτων, όπως οργανικές ενώσεις γλυκερίνης ενωμένης με ετεροάτομα, και αμινο-αιθέρες, υδροξυλομάδες, νιτρικές και νιτροαμινικές χαρακτηριστικές ομάδες,³³ καθώς και για αιθέρες, συγκεκριμένα ETBE και TAEΕ.³⁴ Τα δύο προαναφερθέντα συστήματα αποδείχθηκαν ικανά να δράσουν ως συνδιαλύτες στα μίγματα diesel/αιθανόλης. Από τους δύο αιθέρες ο TAEΕ εμφανίζει καλύτερες φυσικοχημικές ιδιότητες και απόδοση στη μηχανή.³⁴

Κεφάλαιο 3: Συστατικά – Πειραματική Διαδικασία

3.1. Συστατικά

3.1.1. Καύσιμα Βάσης

Τα καύσιμα βάσης με κωδικούς TK-35 και 8758-B, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο πειραματικό σκέλος της παρούσας εργασίας, προέρχονταν από το Διυλιστήριο Ελευσίνας και το Διυλιστήριο Ασπροπύργου των Ελληνικών Πετρελαίων. Τόσο το TK-35, όσο και το 8758-B ήταν δείγματα Gasoil συμβατά με τις προδιαγραφές του ISO 8217:2017 για τα ναυτιλιακά καύσιμα τύπου DMB.

3.1.2. Φυτικά Έλαια

Για τους σκοπούς της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν αραβοσιτέλαιο, βαμβάκελαιο, ηλιέλαιο, πυρηνέλαιο και σογιέλαιο.

3.1.3. Αιθανόλη

Η αιθανόλη που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων ήταν υψηλής καθαρότητας, κατάλληλη για χρήση ως καύσιμο.

3.2. Πειραματική Διαδικασία

3.2.1. Διαγράμματα Ισορροπίας Φάσεων

Για τη σωστή λειτουργία ενός καυσίμου σε κινητήρα diesel θα πρέπει αυτό να είναι σταθερό. Επομένως, είναι απαραίτητο το μίγμα που θα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο να βρίσκεται σε ομοιογενή κατάσταση, χωρίς να παρουσιάζεται, δηλαδή, διαχωρισμός φάσεων. Για τον σκοπό αυτό, κρίθηκε απαραίτητη η μελέτη της ισορροπίας φάσεων των μιγμάτων καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου/αιθανόλης, η οποία πραγματοποιήθηκε με την κατασκευή των αντίστοιχων διαγραμμάτων ισορροπίας φάσεων.

Για την κατασκευή των διαγραμμάτων ισορροπίας φάσεων των μιγμάτων καυσίμου βάσης /φυτικού ελαίου/αιθανόλης, αρχικά παρασκευάστηκε ένα μίγμα καυσίμου και φυτικού ελαίου σε προκαθορισμένες αναλογίες και συνολικό όγκο 50 mL εντός κωνικής φιάλης όγκου 100 mL, με τη χρήση σιφωνίων των 5, 10, 25 mL. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας μία προχοΐδα των 25 mL, προστίθετο στο μίγμα αιθανόλη στάγδην, υπό καθεστώς ανάδευσης με τη χρήση μαγνητικού αναδευτήρα. Η προσθήκη της αιθανόλης τερματιζόταν κάθε φορά που το μίγμα έπαυε να είναι διαυγές. Στο σημείο εκείνο, καταγραφόταν ο προστιθέμενος όγκος αιθανόλης και υπολογίζονταν οι κατά όγκο περιεκτικότητες των τριών συστατικών του μίγματος. Τα εν λόγω πειράματα διεξήχθησαν τη χειμερινή περίοδο σε θερμοκρασία χώρου $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Για κάθε διάγραμμα ισορροπίας φάσεων επελέγησαν τα εξής αρχικά δείγματα καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου:

- 49 mL καυσίμου βάσης / 1 mL φυτικού ελαίου
- 48 mL καυσίμου βάσης / 2 mL φυτικού ελαίου
- 47 mL καυσίμου βάσης / 3 mL φυτικού ελαίου
- 46 mL καυσίμου βάσης / 4 mL φυτικού ελαίου
- 45 mL καυσίμου βάσης / 5 mL φυτικού ελαίου
- 40 mL καυσίμου βάσης / 10 mL φυτικού ελαίου
- 35 mL καυσίμου βάσης / 15 mL φυτικού ελαίου
- 30 mL καυσίμου βάσης / 20 mL φυτικού ελαίου
- 25 mL καυσίμου βάσης / 25 mL φυτικού ελαίου
- 20 mL καυσίμου βάσης / 30 mL φυτικού ελαίου
- 15 mL καυσίμου βάσης / 35 mL φυτικού ελαίου
- 10 mL καυσίμου βάσης / 40 mL φυτικού ελαίου
- 5 mL καυσίμου βάσης / 45 mL φυτικού ελαίου

Επιπλέον, προετοιμάστηκαν δείγματα 50 mL από κάθε καύσιμο βάσης, καθώς επίσης και δείγματα 50 mL από κάθε φυτικό έλαιο. Σε αυτά προστέθηκε αιθανόλη και ακολουθήθηκε η προηγούμενη διαδικασία με σκοπό αυτή τη φορά τη μελέτη των οριακών περιπτώσεων.

3.2.2. Μετρήσεις Ιδιοτήτων των Μιγμάτων

3.2.2.1. Επιλογή και Προετοιμασία Δειγμάτων για τις Μετρήσεις των Ιδιοτήτων

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων για την αξιολόγηση των ιδιοτήτων των μιγμάτων καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου/αιθανόλης παρασκευάστηκαν 14 δείγματα, έπειτα από μελέτη των διαγραμμάτων ισορροπίας φάσεων. Τα εν λόγω δείγματα επελέγησαν με τρόπο τέτοιο ούτως ώστε να βρίσκονται εντός της περιοχής του διαγράμματος στην οποία αντιστοιχεί ομοιογενές μίγμα, χωρίς όμως ταυτόχρονα να βρίσκονται πλησίον της οριακής περιοχής. Όπως προέκυψε κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, τα χρησιμοποιηθέντα καύσιμα βάσης μπορούν να αναμιχθούν με αιθανόλη σε ποσοστό προσθήκης 2.5% v/v, χωρίς να είναι απαραίτητη η προσθήκη φυτικού ελαίου για την ομογενοποίηση του μίγματος. Σε ποσοστό προσθήκης 5% v/v αιθανόλης η προσθήκη φυτικού ελαίου ήταν απαραίτητη και επιλέχθηκε για κάθε καύσιμο βάσης να προστεθεί η ίδια ποσότητα κατ'όγκο φυτικού ελαίου, ούτως ώστε να διευκολυνθούν οι συγκρίσεις μεταξύ των ελαίων.

Τα δείγματα που προετοιμάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή των μετρήσεων για τις ιδιότητες των μιγμάτων είναι τα ακόλουθα:

- TK-35
- 8758-B
- TK-35 (97.5% v/v) / Αιθανόλη (2.5% v/v)
- 8758-B (97.5% v/v) / Αιθανόλη (2.5% v/v)
- TK-35 (90% v/v) / Αραβοσιτέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)
- 8758-B (85% v/v) / Αραβοσιτέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)
- TK-35 (90% v/v) / Βαμβακέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)
- 8758-B (85% v/v) / Βαμβακέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)
- TK-35 (90% v/v) / Ηλιέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)
- 8758-B (85% v/v) / Ηλιέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)
- TK-35 (90% v/v) / Πυρηνέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)
- 8758-B (85% v/v) / Πυρηνέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)
- TK-35 (90% v/v) / Σογιέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)
- 8758-B (85% v/v) / Σογιέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Για το καθένα από τα παραπάνω δείγματα παρασκευάστηκε ποσότητα όγκου 250 mL με τη χρήση κωνικής φιάλης 250 mL, σιφωνίων 5, 10, 25 mL και ογκομετρικού κυλίνδρου 100 mL.

3.2.2.2 Σημείο Θόλωσης

Το σημείο θόλωσης των δειγμάτων μετρήθηκε σε ψυγείο παρατηρώντας το δείγμα ανά 1°C μείωσης της θερμοκρασίας, όπως αναγράφεται στο πρότυπο ISO 3015:2019. Σημειώνεται ότι το εν λόγω πρότυπο δεν τηρήθηκε στο ακέραιο, καθότι πριν τις μετρήσεις των σημείων θόλωσης τα δείγματα δεν θερμαίνονταν, αλλά εισάγονταν εντός του ψυγείου, βρισκόμενα αρχικά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ένας γυάλινος σωλήνας πληρωνόταν με το υπό εξέταση δείγμα ως την χαραγή και στη συνέχεια σφραγιζόταν με πώμα. Το

Θερμόμετρο τοποθετείτο στη βάση του σωλήνα χωρίς όμως να εφάπτεται σε αυτόν. Το δείγμα τοποθετείτο πρώτα στο λουτρό θερμοκρασίας 0°C και αν δεν εμφάνιζε σημείο θόλωσης μέχρι τους 9°C, τότε μεταφερόταν στο επόμενο λουτρό θερμοκρασίας -18°C. Τα υπό εξέταση δείγματα δεν χρειάστηκε να μεταφερθούν στο τρίτο λουτρό, καθώς όλα είχαν εμφανίσει σημείο θόλωσης πριν τους -6°C, θερμοκρασία στην οποία θα ήταν απαραίτητη η μεταφορά τους στο επόμενο λουτρό. Ο προσδιορισμός του σημείου θόλωσης γινόταν με αφαίρεση του σωλήνα από το λουτρό και οπτική παρατήρηση. Η διαδικασία της παρατήρησης γινόταν με τρόπο που δεν διατάρασσε το δείγμα και η μέγιστη χρονική διάρκεια αυτής ήταν τα 3 s. Η μέτρηση ολοκληρωνόταν όταν παρατηρείτο θόλωση του δείγματος.

3.2.2.3. Σημείο Ροής

Το σημείο ροής μετρήθηκε στο ίδιο ψυγείο με το σημείο θόλωσης συνεχίζοντας με την ίδια ποσότητα δείγματος που μετρήθηκε το σημείο θόλωσης, με τη διαφορά ότι η παρατήρηση λάμβανε χώρα κάθε 3°C μείωσης της θερμοκρασίας. Επισημαίνεται ότι για τις μετρήσεις αυτές το θερμόμετρο τοποθετήθηκε ελάχιστα κάτω από την επιφάνεια του υγρού. Ως βάση για τις μετρήσεις του σημείου ροής χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο ISO 3016:2019, το οποίο όμως δεν ήταν δυνατόν να τηρηθεί στο ακέραιο, καθώς στο ψυγείο που χρησιμοποιήθηκε δεν υπήρχε η δυνατότητα χρήσης του λουτρού -33°C. Αντί αυτού τα δείγματα όταν έφταναν στη θερμοκρασία των -6°C, χωρίς να έχει σταματήσει η ροή τους, τοποθετούνταν στο λουτρό των -51°C, στο οποίο κανονικά θα έπρεπε να εισέρχονται όταν έχουν φτάσει στη θερμοκρασία των -24°C. Η διαδικασία εξακρίβωσης του σημείου ροής γινόταν με αφαίρεση του σωλήνα από το λουτρό και οπτική παρατήρηση με σταδιακή κλίση του σωλήνα. Αν έπειτα από περιστροφή 90°, δεν παρατηρείτο ροή του δείγματος, τότε η μέτρηση τερματιζόταν. Η περιστροφή του σωλήνα γινόταν προσεκτικά, χωρίς δηλαδή να προκαλείται διατάραξη του δείγματος και συνολικά δεν διαρκούσε πάνω από 3 s.

3.2.2.4. Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου

Το σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου μετρήθηκε στη συσκευή FPP 5G της εταιρείας Instrumentation Scientifique de Laboratoire (ISL). Αρχικά, τα υπό εξέταση δείγματα υποβάλλονταν σε διήθηση, με τη χρήση διηθητικού χαρτιού. Στη συνέχεια ο γυάλινος σωλήνας πληρωνόταν με το δείγμα ως τη χαραγή και τοποθετείτο εντός της συσκευής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Κατά τη λειτουργία του οργάνου σε κάθε 1°C μείωσης της θερμοκρασίας αντλείτο αυτόματα ποσότητα δείγματος ικανή να πληρώσει πιπέτα των 20 mL διερχόμενη από ένα φίλτρο 45 μm και αυτός είναι ο λόγος που προηγείτο η διήθηση. Όταν το δείγμα δεν μπορούσε να διέλθει από το φίλτρο εντός 60 s ή δεν επέστρεφε στον δοκιμαστικό σωλήνα εντός του ίδιου χρονικού πλαισίου, τότε ολοκληρωνόταν η μέτρηση.

3.2.2.5. Ιξώδες

Το κινηματικό ιξώδες των δειγμάτων μετρήθηκε με τη χρήση του οργάνου SVM-3000 Stabinger Viscometer της εταιρείας Anton Paar GmbH στη θερμοκρασία των 40°C. Με σύριγγα των 5 mL λαμβανόταν κάθε φορά ποσότητα του υπό εξέταση δείγματος και με αυτή πληρωνόταν το όργανο μέτρησης. Η μέτρηση στο όργανο γινόταν με την πλήρωση του σωλήνα του μετρητικού κελιού του οργάνου, ο οποίος περιστρεφόταν με σταθερό ρυθμό. Εντός του δείγματος επέπλεε ένα στροφέιο, του οποίου η ταχύτητα περιστροφής ήταν

αυτή που χρησιμοποιείται από το όργανο για τον υπολογισμό του δυναμικού ιξώδους. Οι τιμές του κινηματικού ιξώδους υπολογίζονται από το όργανο μέσω των τιμών της πυκνότητας που το όργανο μετρούσε ταυτόχρονα.

3.2.2.6. Πυκνότητα

Η πυκνότητα των δειγμάτων μετρήθηκε με τη χρήση του οργάνου SVM-3000 Stabinger Viscometer της εταιρείας Anton Paar GmbH στη θερμοκρασία των 15°C. Για τη μέτρηση της πυκνότητας χρησιμοποιείται η ίδια ποσότητα δείγματος με αυτή για τη μέτρηση του ιξώδους, αλλάζοντας τη θερμοκρασία μέσω του προγράμματος του οργάνου. Η μέτρηση της πυκνότητας από το όργανο γινόταν με χρήση της μεθόδου του ταλαντευόμενου σωλήνα τύπου U.

3.2.2.7. Απόσταξη

Για την κατασκευή της καμπύλης απόσταξης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ISO 3405 και συγκεκριμένα οι παράμετροι που αντιστοιχούν στο Group 4. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το ADU 5 της εταιρείας Anton Paar GmbH (Automatic Distillation Unit, αυτόματη απόσταξη), καθώς επίσης και συσκευή χειροκίνητης απόσταξης της εταιρείας Precision Scientific.

Σε ογκομετρικό κύλινδρο των 100 mL μεταφέρονταν 100 mL από το κάθε φορά υπό εξέταση δείγμα, τα οποία στη συνέχεια μεταγγίζονταν στον κλασματήρα. Στον κλασματήρα προστίθεντο πυρήνες βρασμού με σκοπό την εξασφάλιση της ομαλούς απόσταξης. Επίσης, σε αυτόν εφαρμοζόταν δακτύλιος στο σημείο προσαρμογής του με το όργανο για την αποφυγή απωλειών και τοποθετείτο το θερμοστοιχείο/θερμόμετρο στην κορυφή για την καταγραφή της θερμοκρασίας των ατμών. Στον ογκομετρικό κύλινδρο που αρχικά είχε χρησιμοποιηθεί για την λήψη της απαιτούμενης ποσότητας δείγματος εφαρμοζόταν το εξάρτημα ενστάλαξης. Στην περίπτωση της αυτόματης απόσταξης τα απαραίτητα δεδομένα για την καμπύλη απόσταξης καταγράφονταν αυτόματα από το όργανο, ενώ στην περίπτωση της χειροκίνητης απόσταξης η θερμοκρασία καταγραφόταν ανά 5 mL ανακτώμενου όγκου του δείγματος.

Στην περίπτωση της χειροκίνητης απόσταξης δεν κατέστη εφικτό να προσδιορισθούν το αρχικό σημείο της απόσταξης και η θερμοκρασία στην οποία ανακτήθηκε το 5% v/v του δείγματος, καθότι σε εκείνο το θερμοκρασιακό εύρος η ένδειξη του θερμόμετρου καλυπτόταν από το δακτύλιο σιλικόνης, που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή του θερμόμετρου στον κλασματήρα. Μετά την ολοκλήρωση της απόσταξης σε κάθε περίπτωση το υπόλειμμα της απόσταξης μετρείτο με την προσθήκη ποσότητας 5 mL τολουολίου στον κλασματήρα και τη χρήση ογκομετρικού κυλίνδρου 10 mL. Η ποσότητα του υπολείμματος προέκυπτε από την αφαίρεση της ποσότητας του τολουολίου από την τελική ποσότητα. Οι απώλειες προσδιορίζονταν από την αφαίρεση της ανακτηθείσας ποσότητας και του υπολείμματος από την αρχική ποσότητα του δείγματος.

Κατά την πειραματική διαδικασία αποδείχθηκε ανέφικτο να διεξαχθούν οι αποστάξεις όλων των υπό μελέτη δειγμάτων στη συσκευή της αυτόματης απόσταξης. Συγκεκριμένα, δεν μπόρεσαν να διεξαχθούν στην αυτόματη συσκευή οι μετρήσεις όλων των μιγμάτων

του καυσίμου βάσης 8758-B (με μόνη εξαίρεση το μίγμα που περιείχε αραβοσιτέλαιο). Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι το καύσιμο βάσης 8758-B έχει υψηλότερο αρχικό σημείο βρασμού από το TK-35 και ως εκ τούτου δημιουργείται ένα μεγαλύτερο θερμοκρασιακό διάστημα μεταξύ των σημείων βρασμού των συστατικών του μίγματος. Αυτό οδήγησε την αυτόματη συσκευή στη διακοπή της μέτρησης, καθώς αυτό λαμβανόταν ως ένδειξη πυρόλυσης από το λογισμικό του οργάνου με βάση την επιλεγθείσα μέθοδο. Για αυτό τον λόγο κρίθηκε απαραίτητη η χρήση της χειροκίνητης απόσταξης, παρά το γεγονός ότι δεν ήταν δυνατή η καταγραφή των αρχικών θερμοκρασιών βρασμού σε αυτή.

3.2.2.8. Αριθμός Κετανίου

Για τη μέτρηση του αριθμού κετανίου των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν το πρότυπο EN 15195 και το όργανο IQT™-LM της εταιρείας CFR Engines Canada ULC. Το όργανο αρχικά προθερμαινόταν με τη χρήση του σχετικού προγράμματος του οργάνου και στη συνέχεια λάμβαναν χώρα μετρήσεις με επτανίο, ούτως ώστε να επιβεβαιωθεί η βαθμονόμησή του. Αυτό συνέβαινε όταν η μετρούμενη καθυστέρηση ανάφλεξης του επτανίου ήταν εντός του διαστήματος 3.72-3.84 ms. Η διαδικασία πλήρωσης του οργάνου ξεκινούσε με τη διοχέτευση σε αυτό μιας ποσότητας δείγματος αρκετής ούτως ώστε να πληρωθεί το σύστημα με το δείγμα. Η πλήρωση του συστήματος επιβεβαιωνόταν παρατηρώντας τους σωλήνες μέσω των οποίων έρεε το δείγμα. Στη συνέχεια, συμπληρωνόταν δείγμα μέχρι περίπου 1.3 cm από την κορυφή και εισαγόταν το έμβολο που πιεζόταν προς τα κάτω μέχρι να απομακρυνθούν από το σύστημα οι φυσαλίδες. Μετά το πέρας της μέτρησης, το έμβολο αφαιρείτο και το δείγμα απομακρυνόταν από το σύστημα με τη χρήση του αερίου αζώτου. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης από το όργανο καταγραφόταν η καθυστέρηση στην ανάφλεξη του καυσίμου εντός θαλάμου σταθερού όγκου.

3.2.2.9. Δείκτης Κετανίου

Ο δείκτης κετανίου των μιγμάτων υπολογίστηκε με τη χρήση της πυκνότητας, καθώς επίσης και των δεδομένων της απόσταξης, συγκεκριμένα των θερμοκρασιών ανάκτησης του 10, 50 και 90% v/v του δείγματος. Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή που ορίζεται από το πρότυπο ASTM D4737-03, δηλαδή η:

$$CCI = 45.2 + 0.0892 \cdot T_{10N} + (0.131 + 0.901 \cdot B) \cdot T_{50N} + (0.0523 - 0.420 \cdot B) \cdot T_{90N} + 0.00049 \cdot (T_{10N}^2 - T_{90N}^2) + 107 \cdot B + 60 \cdot B^2$$

όπου:

- CCI: Δείκτης Κετανίου
- D: πυκνότητα στους 15°C εκφρασμένη σε g/mL
- $DN = D - 0.85$
- $B = \exp(-3.5 \cdot DN) - 1$
- T_{10} : θερμοκρασία ανάκτησης του 10% v/v εκφρασμένη σε °C
- $T_{10N} = T_{10} - 215$
- T_{50} : θερμοκρασία ανάκτησης του 50% v/v εκφρασμένη σε °C
- $T_{50N} = T_{50} - 260$
- T_{90} : θερμοκρασία ανάκτησης του 90% v/v εκφρασμένη σε °C

- $T_{90N} = T_{90} - 310$

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα – Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

4.1. Αποτελέσματα

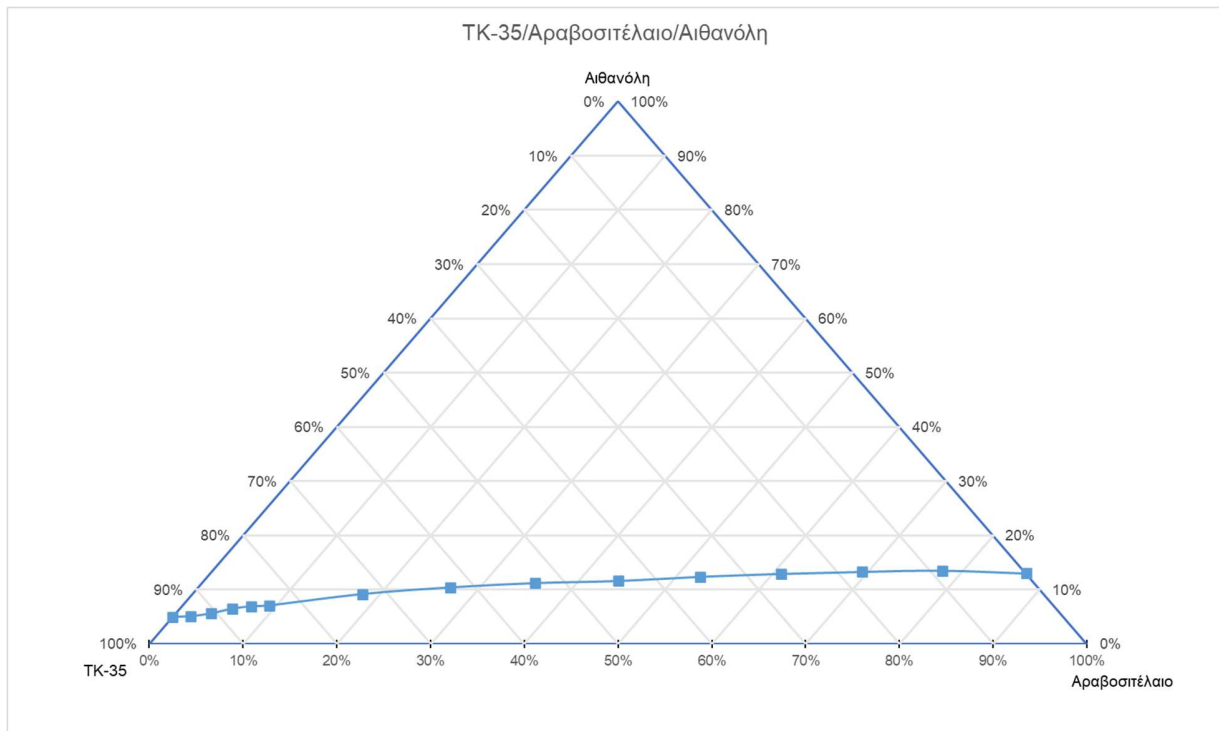
4.1.1. Διαγράμματα Ισορροπίας Φάσεων

Στις επόμενες σελίδες παρατίθενται τα διαγράμματα ισορροπίας φάσεων των καυσίμων βάσης/φυτικών ελαίων/αιθανόλης, καθώς επίσης και οι πίνακες των πειραματικών δεδομένων βάσει των οποίων σχηματίστηκαν αυτά.

4.1.1.1. ΤΚ-35/Αραβοσιτέλαιο/Αιθανόλη

Πίνακας 2. Δεδομένα ισορροπίας φάσεων ΤΚ-35/Αραβοσιτέλαιο/Αιθανόλη

ΤΚ-35		Αραβοσιτέλαιο		Αιθανόλη	
mL	% v/v	mL	% v/v	mL	% v/v
49.0	93.1%	1.0	1.9%	2.65	5.0%
48.0	90.7%	2.0	3.8%	2.95	5.6%
47.0	87.9%	3.0	5.6%	3.45	6.5%
46.0	85.7%	4.0	7.4%	3.70	6.9%
45.0	83.6%	5.0	9.3%	3.80	7.1%
40.0	72.7%	10.0	18.2%	5.05	9.2%
35.0	62.7%	15.0	26.9%	5.80	10.4%
30.0	53.3%	20.0	35.5%	6.30	11.2%
25.0	44.2%	25.0	44.2%	6.55	11.6%
20.0	35.1%	30.0	52.6%	7.05	12.4%
15.0	26.1%	35.0	61.0%	7.40	12.9%
10.0	17.3%	40.0	69.4%	7.65	13.3%
5.0	8.7%	45.0	77.8%	7.80	13.5%

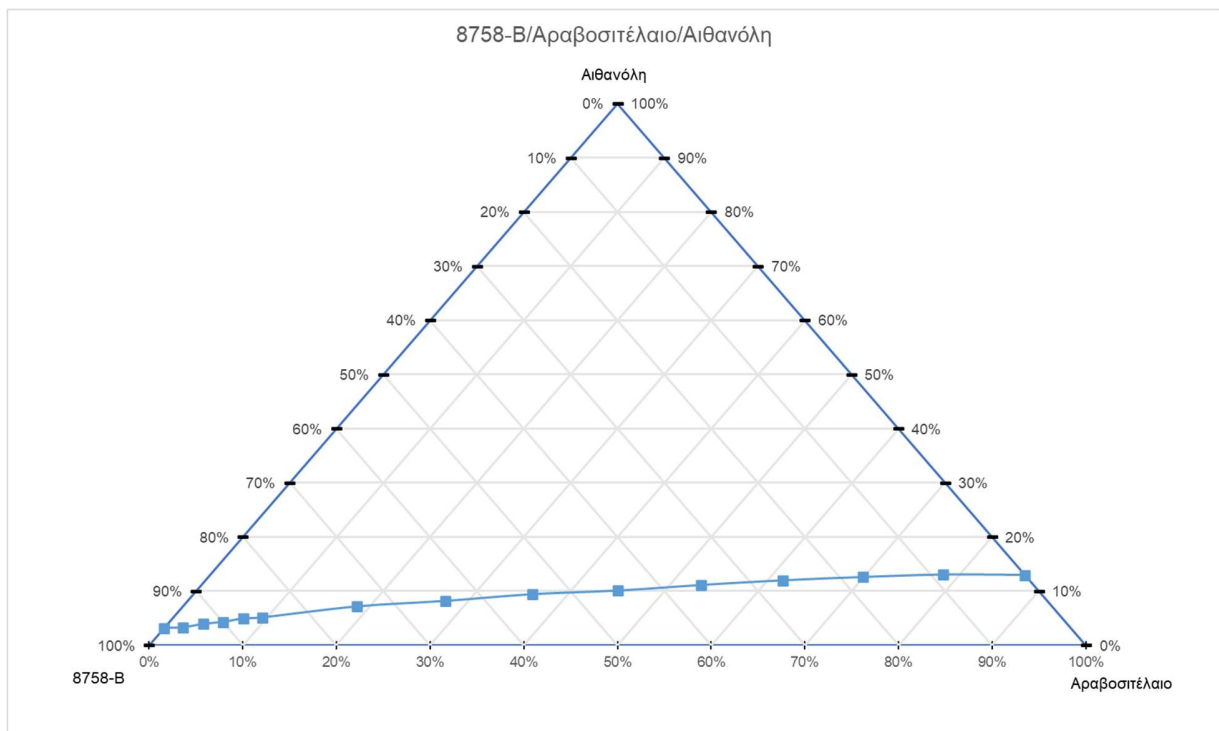


Σχήμα 1. Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων ΤΚ-35/Αραβοσιτέλαιο/Αιθανόλη

4.1.1.2. 8758-B/Αραβοσιτέλαιο/Αιθανόλη

Πίνακας 3. Δεδομένα ισορροπίας φάσεων 8758-B/Αραβοσιτέλαιο/Αιθανόλη

8758-B		Αραβοσιτέλαιο		Αιθανόλη	
mL	% v/v	mL	% v/v	mL	% v/v
49.0	94.8%	1.0	1.9%	1.70	3.3%
48.0	92.2%	2.0	3.8%	2.05	3.9%
47.0	90.0%	3.0	5.7%	2.25	4.3%
46.0	87.5%	4.0	7.6%	2.60	4.9%
45.0	85.4%	5.0	9.5%	2.70	5.1%
40.0	74.3%	10.0	18.6%	3.85	7.1%
35.0	64.3%	15.0	27.5%	4.45	8.2%
30.0	54.3%	20.0	36.2%	5.20	9.4%
25.0	45.0%	25.0	45.0%	5.60	10.1%
20.0	35.6%	30.0	53.3%	6.25	11.1%
15.0	26.4%	35.0	61.6%	6.80	12.0%
10.0	17.5%	40.0	69.9%	7.20	12.6%
5.0	8.7%	45.0	78.3%	7.50	13.0%

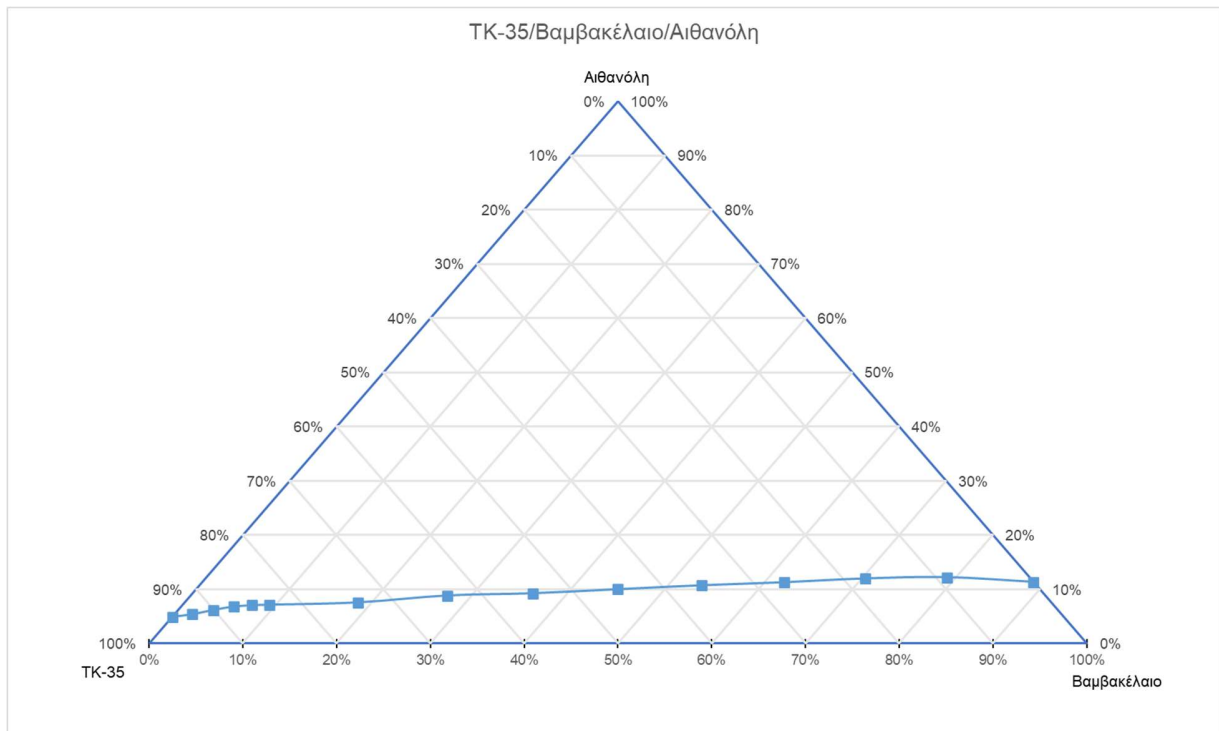


Σχήμα 2. Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων 8758-B/Αραβοσιτέλαιο/Αιθανόλη

4.1.1.3. ΤΚ-35/Βαμβακέλαιο/Αιθανόλη

Πίνακας 4. Δεδομένα ισορροπίας φάσεων ΤΚ-35/Βαμβακέλαιο/Αιθανόλη

ΤΚ-35		Βαμβακέλαιο		Αιθανόλη	
mL	% v/v	mL	% v/v	mL	% v/v
49.0	92.7%	1.0	1.9%	2.85	5.4%
48.0	90.1%	2.0	3.8%	3.30	6.2%
47.0	87.6%	3.0	5.6%	3.65	6.8%
46.0	85.5%	4.0	7.4%	3.80	7.1%
45.0	83.6%	5.0	9.3%	3.85	7.1%
40.0	73.9%	10.0	18.5%	4.10	7.6%
35.0	63.8%	15.0	27.3%	4.85	8.8%
30.0	54.4%	20.0	36.3%	5.10	9.3%
25.0	45.0%	25.0	45.0%	5.55	10.0%
20.0	35.7%	30.0	53.6%	6.00	10.7%
15.0	26.6%	35.0	62.1%	6.35	11.3%
10.0	17.6%	40.0	70.4%	6.80	12.0%
5.0	8.8%	45.0	79.0%	6.95	12.2%

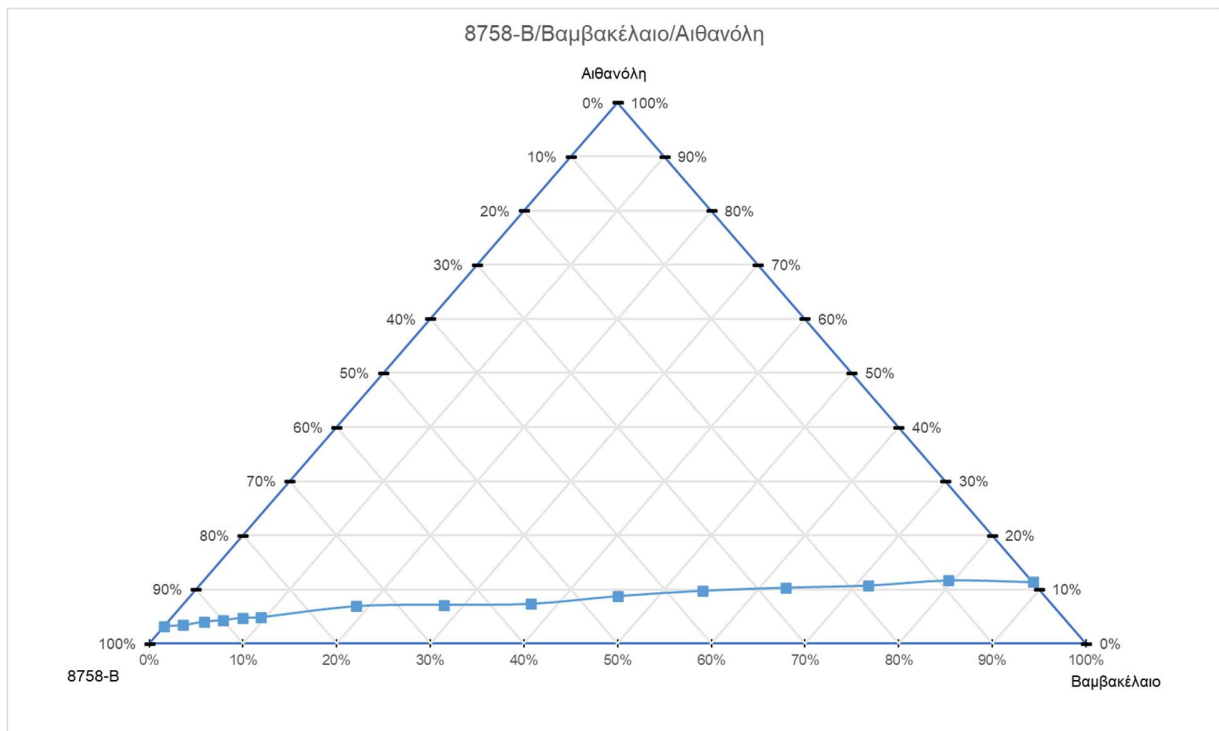


Σχήμα 3. Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων ΤΚ-35/Βαμβακέλαιο/Αιθανόλη

4.1.1.4. 8758-B/Βαμβακέλαιο/Αιθανόλη

Πίνακας 5. Δεδομένα ισορροπίας φάσεων 8758-B/Βαμβακέλαιο/Αιθανόλη

8758-B		Βαμβακέλαιο		Αιθανόλη	
mL	% v/v	mL	% v/v	mL	% v/v
49.0	94.7%	1.0	1.9%	1.75	3.4%
48.0	92.1%	2.0	3.8%	2.10	4.0%
47.0	90.0%	3.0	5.7%	2.25	4.3%
46.0	87.6%	4.0	7.6%	2.50	4.8%
45.0	85.6%	5.0	9.5%	2.55	4.9%
40.0	74.5%	10.0	18.6%	3.70	6.9%
35.0	65.0%	15.0	27.9%	3.85	7.1%
30.0	55.6%	20.0	37.1%	3.95	7.3%
25.0	45.6%	25.0	45.6%	4.80	8.8%
20.0	36.1%	30.0	54.2%	5.40	9.7%
15.0	26.9%	35.0	62.8%	5.75	10.3%
10.0	17.9%	40.0	71.4%	6.00	10.7%
5.0	8.8%	45.0	79.5%	6.60	11.7%

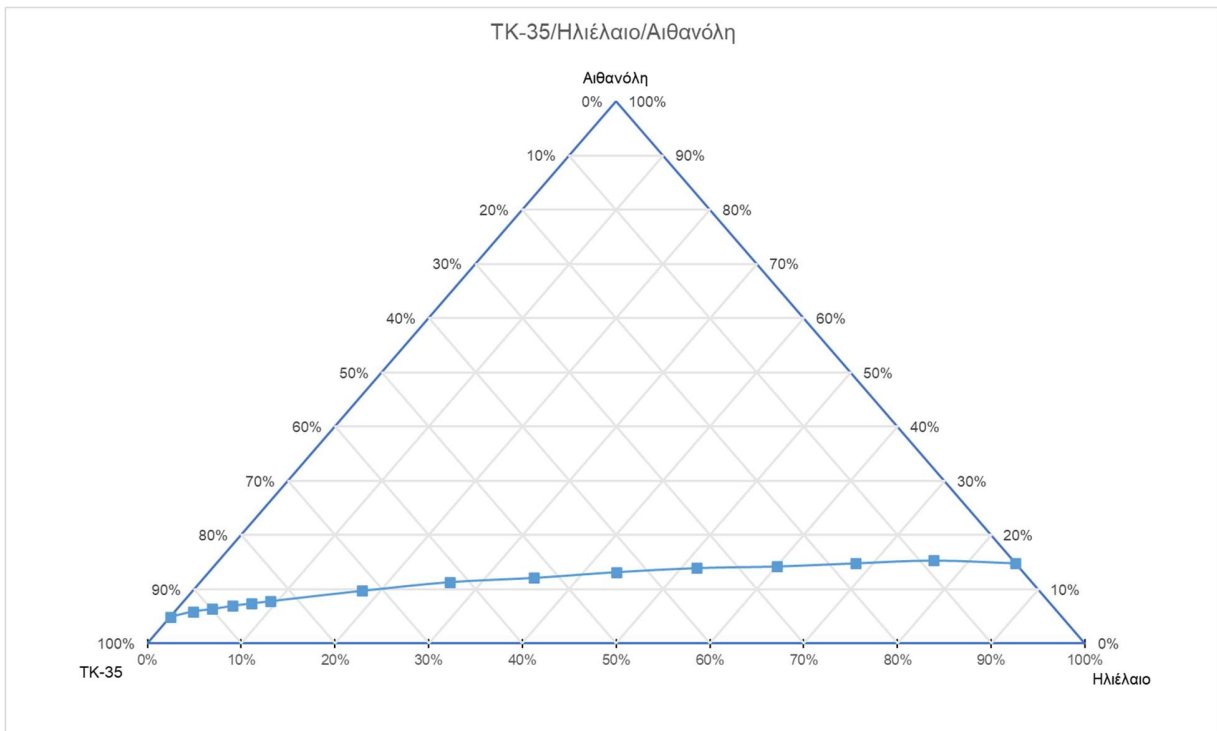


Σχήμα 4. Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων 8758-B/Βαμβακέλαιο/Αιθανόλη

4.1.1.5. ΤΚ-35/Ηλιέλαιο/Αιθανόλη

Πίνακας 6. Δεδομένα ισορροπίας φάσεων ΤΚ-35/Ηλιέλαιο/Αιθανόλη

ΤΚ-35		Ηλιέλαιο		Αιθανόλη	
mL	% v/v	mL	% v/v	mL	% v/v
49.0	92.2%	1.0	1.9%	3.15	5.9%
48.0	89.9%	2.0	3.7%	3.40	6.4%
47.0	87.4%	3.0	5.6%	3.75	7.0%
46.0	85.2%	4.0	7.4%	4.00	7.4%
45.0	82.9%	5.0	9.2%	4.25	7.8%
40.0	72.2%	10.0	18.1%	5.40	9.7%
35.0	62.1%	15.0	26.6%	6.40	11.3%
30.0	52.7%	20.0	35.1%	6.90	12.1%
25.0	43.4%	25.0	43.4%	7.60	13.2%
20.0	34.4%	30.0	51.6%	8.10	13.9%
15.0	25.7%	35.0	60.0%	8.30	14.2%
10.0	17.0%	40.0	68.1%	8.70	14.8%
5.0	8.5%	45.0	76.2%	9.05	15.3%

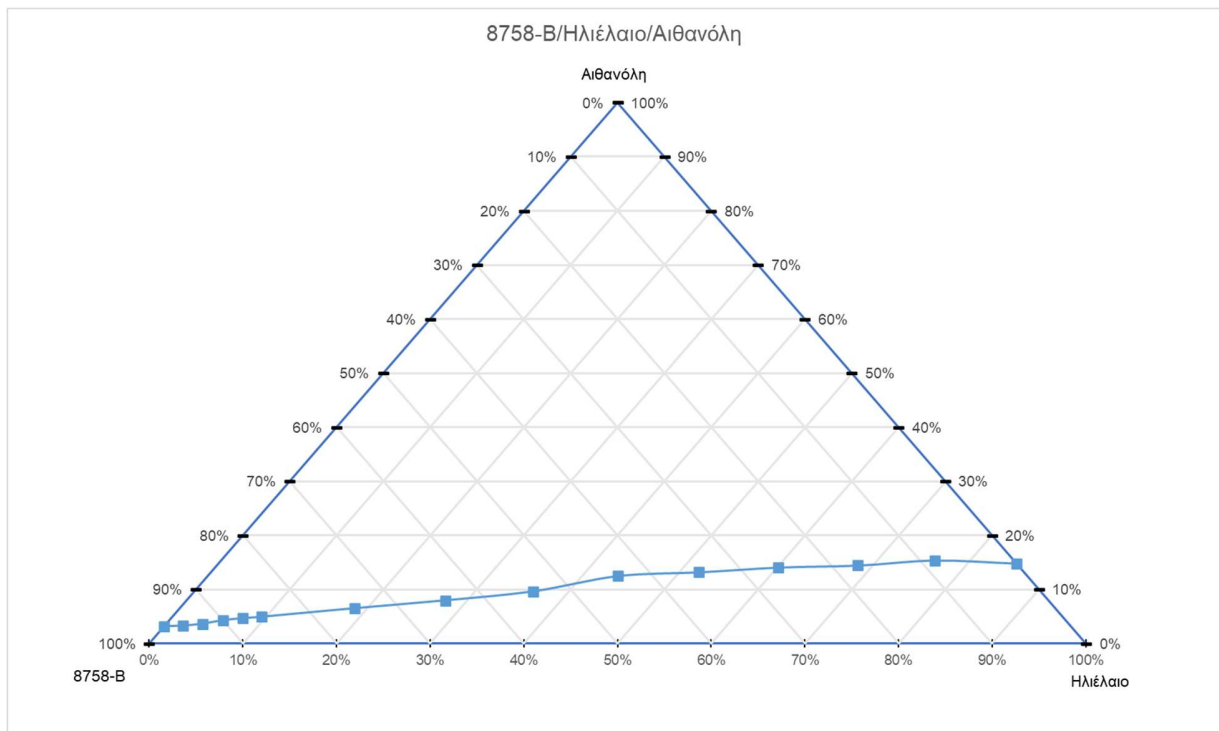


Σχήμα 5. Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων ΤΚ-35/Ηλιέλαιο/Αιθανόλη

4.1.1.6. 8758-B/Ηλιέλαιο/Αιθανόλη

Πίνακας 7. Δεδομένα ισορροπίας φάσεων 8758-B/Ηλιέλαιο/Αιθανόλη

8758-B		Ηλιέλαιο		Αιθανόλη	
mL	% v/v	mL	% v/v	mL	% v/v
49.0	94.8%	1.0	1.9%	1.70	3.3%
48.0	92.5%	2.0	3.9%	1.90	3.7%
47.0	90.0%	3.0	5.7%	2.25	4.3%
46.0	87.7%	4.0	7.6%	2.45	4.7%
45.0	85.6%	5.0	9.5%	2.60	4.9%
40.0	74.8%	10.0	18.7%	3.50	6.5%
35.0	64.4%	15.0	27.6%	4.35	8.0%
30.0	54.2%	20.0	36.1%	5.35	9.7%
25.0	43.7%	25.0	43.7%	7.15	12.5%
20.0	34.7%	30.0	52.1%	7.60	13.2%
15.0	25.8%	35.0	60.1%	8.20	14.1%
10.0	17.1%	40.0	68.4%	8.45	14.5%
5.0	8.5%	45.0	76.1%	9.10	15.4%

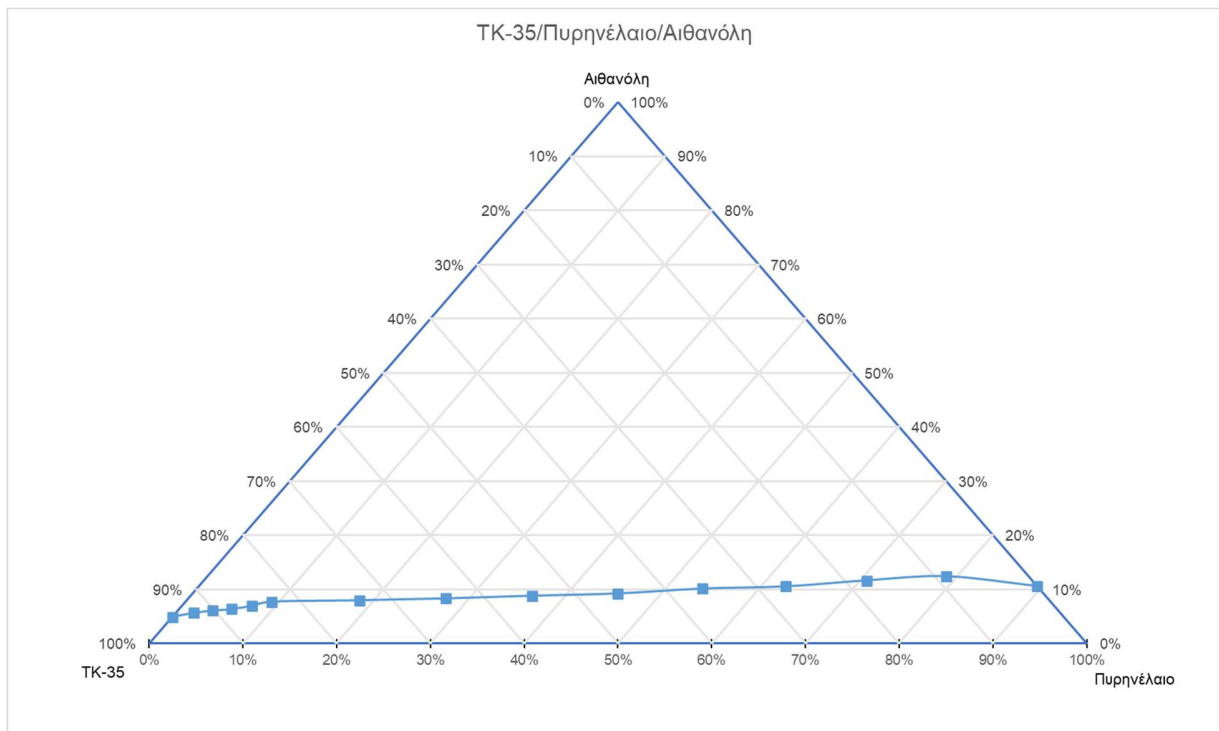


Σχήμα 6. Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων 8758-B/Ηλιέλαιο/Αιθανόλη

4.1.1.7. ΤΚ-35/Πυρηνέλαιο/Αιθανόλη

Πίνακας 8. Δεδομένα ισορροπίας φάσεων ΤΚ-35/Πυρηνέλαιο/Αιθανόλη

ΤΚ-35		Πυρηνέλαιο		Αιθανόλη	
mL	% v/v	mL	% v/v	mL	% v/v
49.0	92.5%	1.0	1.9%	3.00	5.7%
48.0	90.1%	2.0	3.8%	3.25	6.1%
47.0	88.0%	3.0	5.6%	3.40	6.4%
46.0	85.6%	4.0	7.4%	3.75	7.0%
45.0	83.0%	5.0	9.2%	4.20	7.7%
40.0	73.6%	10.0	18.4%	4.35	8.0%
35.0	64.2%	15.0	27.5%	4.55	8.3%
30.0	54.7%	20.0	36.5%	4.85	8.8%
25.0	45.4%	25.0	45.4%	5.10	9.3%
20.0	35.9%	30.0	53.9%	5.65	10.2%
15.0	26.8%	35.0	62.6%	5.90	10.6%
10.0	17.7%	40.0	70.7%	6.60	11.7%
5.0	8.8%	45.0	78.8%	7.10	12.4%

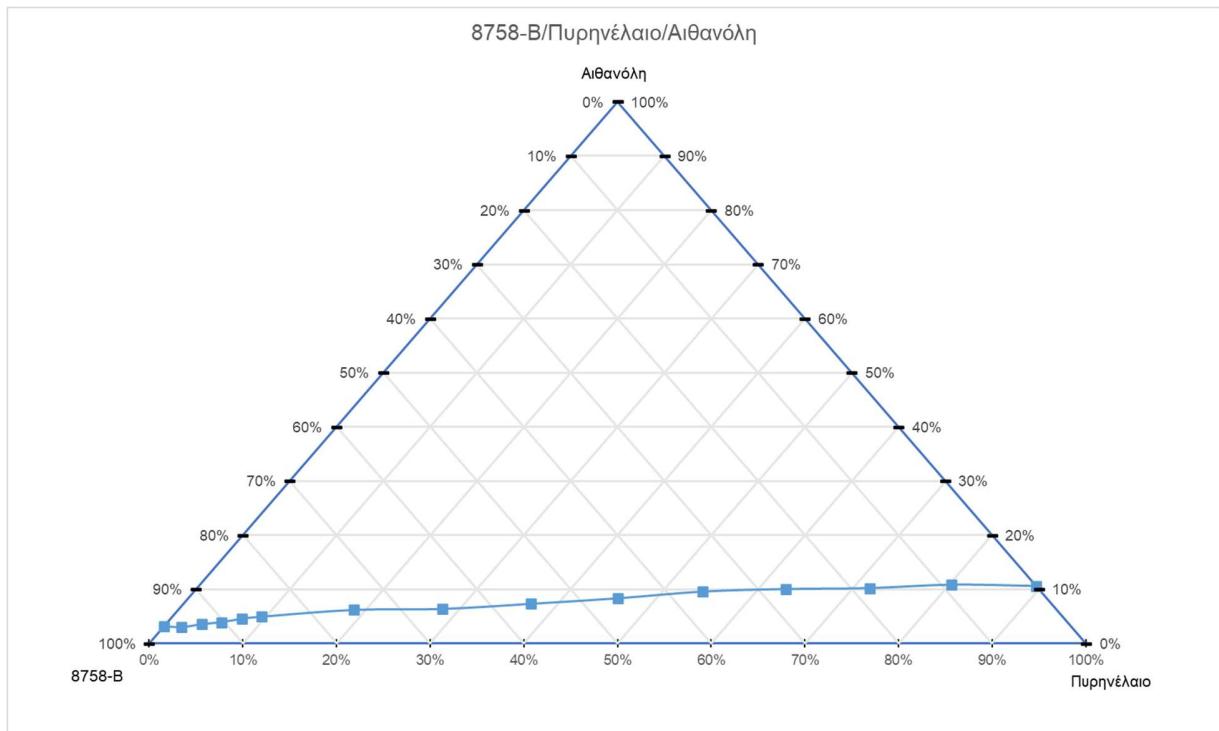


Σχήμα 7. Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων ΤΚ-35/Πυρηνέλαιο/Αιθανόλη

4.1.1.8. 8758-B/Πυρηνέλαιο/Αιθανόλη

Πίνακας 9. Δεδομένα ισορροπίας φάσεων 8758-B/Πυρηνέλαιο/Αιθανόλη

TK-35		Πυρηνέλαιο		Αιθανόλη	
mL	% v/v	mL	% v/v	mL	% v/v
49.0	95.1%	1.0	1.9%	1.55	3.0%
48.0	92.6%	2.0	3.9%	1.85	3.6%
47.0	90.3%	3.0	5.8%	2.05	3.9%
46.0	87.8%	4.0	7.6%	2.40	4.6%
45.0	85.6%	5.0	9.5%	2.60	4.9%
40.0	75.0%	10.0	18.8%	3.30	6.2%
35.0	65.5%	15.0	28.1%	3.40	6.4%
30.0	55.6%	20.0	37.1%	3.95	7.3%
25.0	45.8%	25.0	45.8%	4.55	8.3%
20.0	36.2%	30.0	54.2%	5.30	9.6%
15.0	27.0%	35.0	62.9%	5.60	10.1%
10.0	18.0%	40.0	71.8%	5.70	10.2%
5.0	8.9%	45.0	80.2%	6.10	10.9%

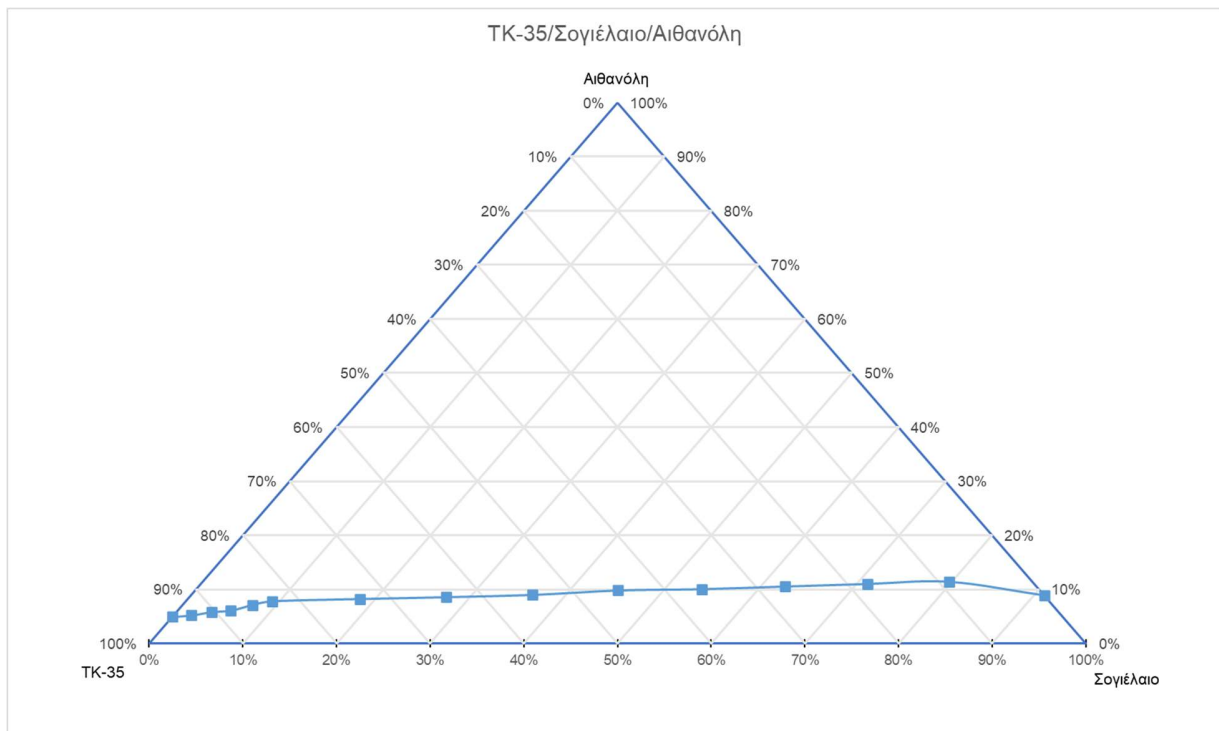


Σχήμα 8. Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων 8758-B/Πυρηνέλαιο/Αιθανόλη

4.1.1.9. ΤΚ-35/Σογιέλαιο/Αιθανόλη

Πίνακας 10. Δεδομένα ισορροπίας φάσεων ΤΚ-35/Σογιέλαιο/Αιθανόλη

ΤΚ-35		Σογιέλαιο		Αιθανόλη	
mL	% v/v	mL	% v/v	mL	% v/v
49.0	92.9%	1.0	1.9%	2.75	5.2%
48.0	90.4%	2.0	3.8%	3.10	5.8%
47.0	88.3%	3.0	5.6%	3.25	6.1%
46.0	85.4%	4.0	7.4%	3.85	7.1%
45.0	82.9%	5.0	9.2%	4.25	7.8%
40.0	73.4%	10.0	18.3%	4.50	8.3%
35.0	64.0%	15.0	27.4%	4.70	8.6%
30.0	54.6%	20.0	36.4%	4.95	9.0%
25.0	45.1%	25.0	45.1%	5.45	9.8%
20.0	36.0%	30.0	54.0%	5.60	10.1%
15.0	26.8%	35.0	62.6%	5.90	10.6%
10.0	17.8%	40.0	71.2%	6.20	11.0%
5.0	8.9%	45.0	79.7%	6.45	11.4%

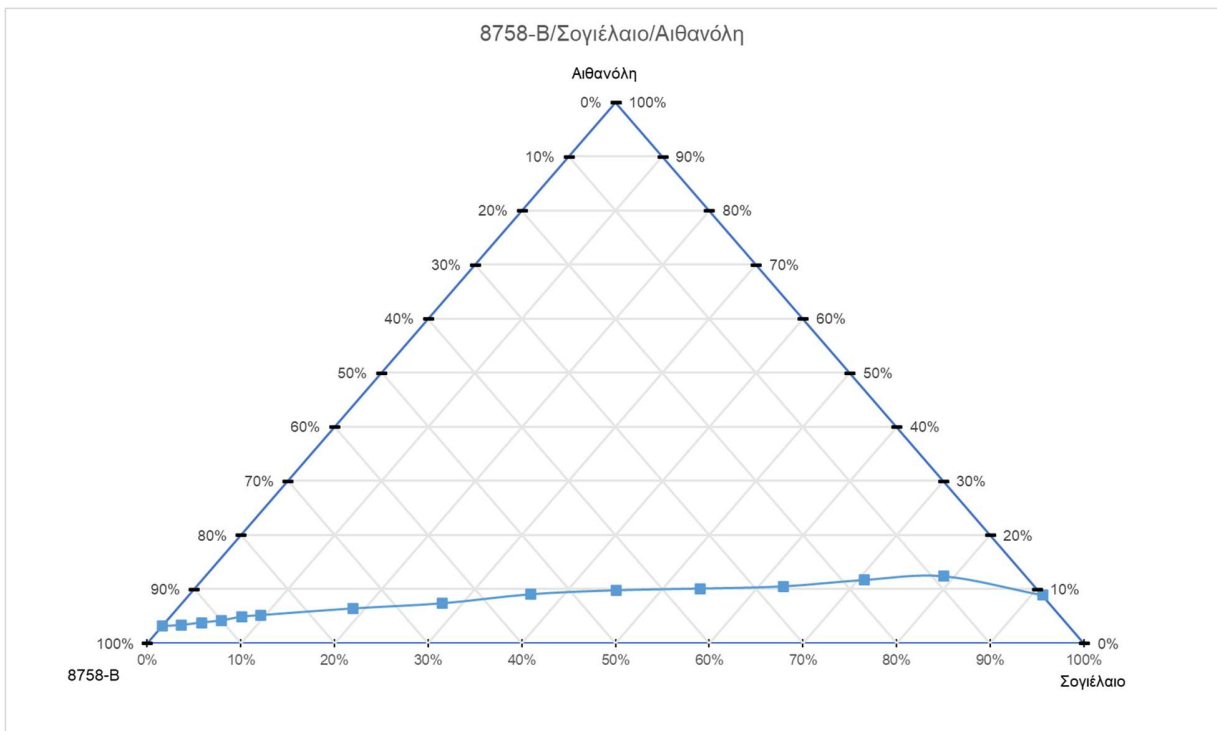


Σχήμα 9. Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων ΤΚ-35/Σογιέλαιο/Αιθανόλη

4.1.1.10. 8758-B/Σογιέλαιο/Αιθανόλη

Πίνακας 11. Δεδομένα ισορροπίας φάσεων 8758-B/Σογιέλαιο/Αιθανόλη

TK-35		Σογιέλαιο		Αιθανόλη	
mL	% v/v	mL	% v/v	mL	% v/v
49.0	94.7%	1.0	1.9%	1.75	3.4%
48.0	92.3%	2.0	3.8%	2.00	3.8%
47.0	90.0%	3.0	5.7%	2.20	4.2%
46.0	87.5%	4.0	7.6%	2.60	4.9%
45.0	85.3%	5.0	9.5%	2.75	5.2%
40.0	74.8%	10.0	18.7%	3.45	6.5%
35.0	64.8%	15.0	27.8%	4.00	7.4%
30.0	54.5%	20.0	36.4%	5.00	9.1%
25.0	45.1%	25.0	45.1%	5.45	9.8%
20.0	35.9%	30.0	53.9%	5.65	10.2%
15.0	26.8%	35.0	62.6%	5.90	10.6%
10.0	17.7%	40.0	70.6%	6.65	11.7%
5.0	8.8%	45.0	78.8%	7.10	12.4%



Σχήμα 10. Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων 8758-B/Σογιέλαιο/Αιθανόλη

4.1.2. Αποτελέσματα Μετρήσεων

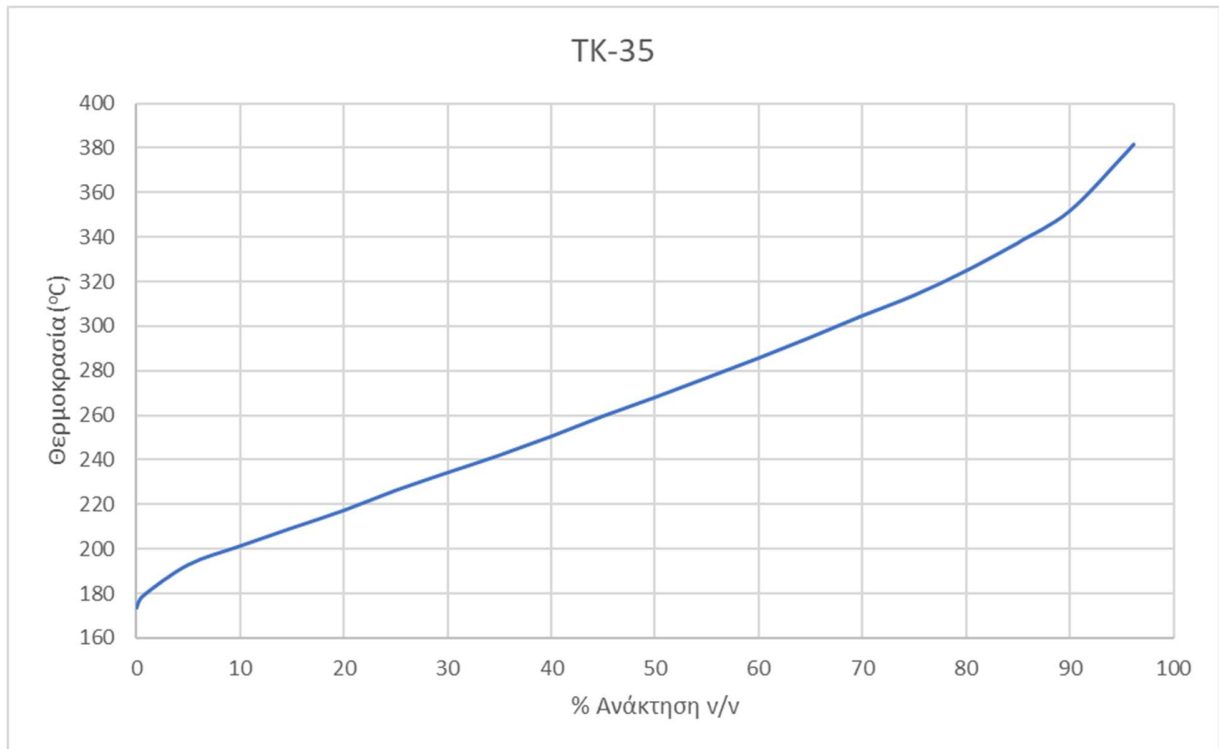
Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ιδιοτήτων των καυσίμων βάσης, των μιγμάτων καυσίμων βάσης/αιθανόλης, όπως και των μιγμάτων καυσίμων βάσης/φυτικών ελαίων/αιθανόλης. Παρατίθενται, επίσης, οι καμπύλες απόσταξης.

4.1.2.1. TK-35

Πίνακας 12. Αποτελέσματα μετρήσεων TK-35

Μετρήσεις Ιδιοτήτων	
Σημείο Θόλωσης	1°C
Θερμοκρασία Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	-4°C
Σημείο Ροής	-24°C
Ιξώδες (40°C)	2.775 mm ² /s
Πυκνότητα (15°C)	838.4 kg/m ³
Αριθμός Κετανίου	50.3
Δείκτης Κετανίου	50.6
Δεδομένα Απόσταξης	
Ανάκτηση	97.2%
Υπόλειμμα	1.6%
Απώλειες	1.2%
Ανάκτηση (% v/v)	Θερμοκρασία (°C)
0.0 (IBP)	173.5
0.6	178.8
5.0	192.9
10.0	201.3
15.0	209.4
20.0	217.3
25.0	226.3
30.0	234.3
35.0	242.1
40.0	250.6
45.0	259.7
50.0	268.1
55.0	276.9
60.0	285.8
65.0	295.1
70.0	304.8
75.0	314.0
80.0	325.0
85.0	337.5
85.3	338.4
90.0	351.8
95.0	375.8
96.2 (FBP)	381.9
Περιεκτικότητα Αρωματικών Υδρογονανθράκων	
Μονοαρωματικά	25.0% w/w
Διαρωματικά	5.3% w/w
Τριαρωματικά	0.1% w/w

Σημείωση: Οι μετρήσεις της περιεκτικότητας των αρωματικών υδρογονανθράκων έλαβαν χώρα στις εγκαταστάσεις των Ελληνικών Πετρελαίων με την μέθοδο της υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης και παραχωρήθηκαν τα αποτελέσματα αυτής στον συγγραφέα.



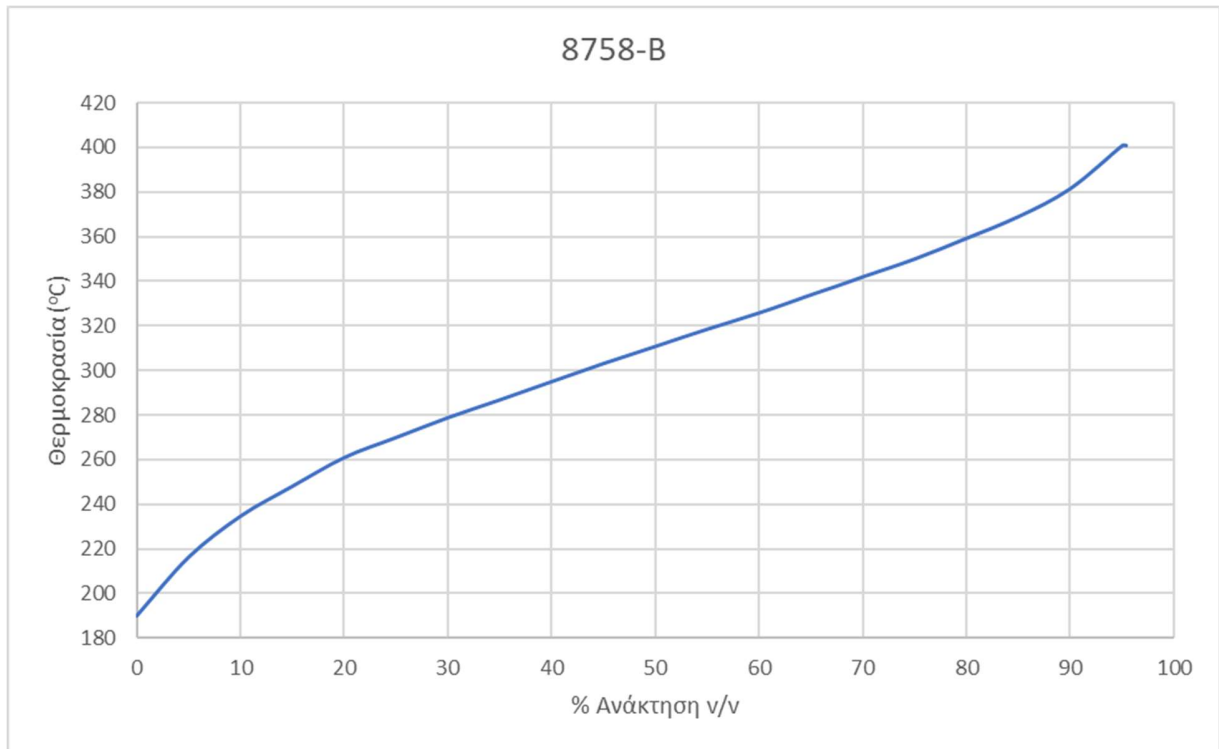
Σχήμα 11. Καμπύλη απόσταξης TK-35

4.1.2.2. 8758-B

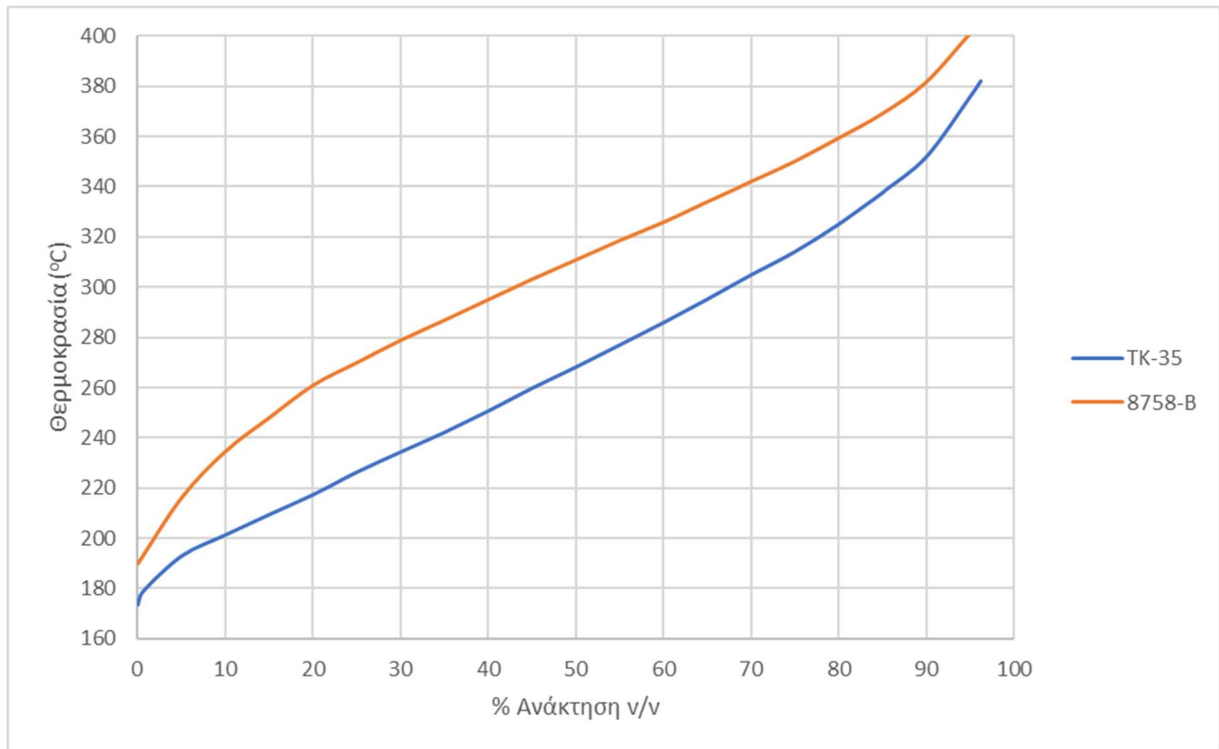
Πίνακας 13. Αποτελέσματα μετρήσεων 8758-B

Μετρήσεις Ιδιοτήτων	
Σημείο Θόλωσης	14°C
Θερμοκρασία Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	9°C
Σημείο Ροής	-3°C
Ιξώδες (40°C)	4.678 mm ² /s
Πυκνότητα (15°C)	863.3 kg/m ³
Αριθμός Κετανίου	49.9
Δείκτης Κετανίου	49.5
Δεδομένα Απόσταξης	
Ανάκτηση	96.1%
Υπόλειμμα	2.0%
Απώλειες	1.9%
Ανάκτηση (% v/v)	Θερμοκρασία (°C)
0.0 (IBP)	189.8
5.0	216.1
10.0	234.5
15.0	247.9
20.0	260.8
25.0	269.8
30.0	278.7
35.0	286.7
40.0	294.9
45.0	303.0
50.0	310.7
55.0	318.4
60.0	325.7
65.0	333.8
67.9	338.4
70.0	341.9
75.0	349.9
80.0	359.2
85.0	368.9
90.0	381.4
95.0	400.7
95.4 (FBP)	400.8
Περιεκτικότητα Αρωματικών Υδρογονανθράκων	
Μονοαρωματικά	32.5% w/w
Διαρωματικά	9.3% w/w
Τριαρωματικά	0.2% w/w

Σημείωση: Οι μετρήσεις της περιεκτικότητας των αρωματικών υδρογονανθράκων έλαβαν χώρα στις εγκαταστάσεις των Ελληνικών Πετρελαίων με την μέθοδο της υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης και παραχωρήθηκαν τα αποτελέσματα αυτής στον συγγραφέα



Σχήμα 12. Καμπύλη απόσταξης 8758-B



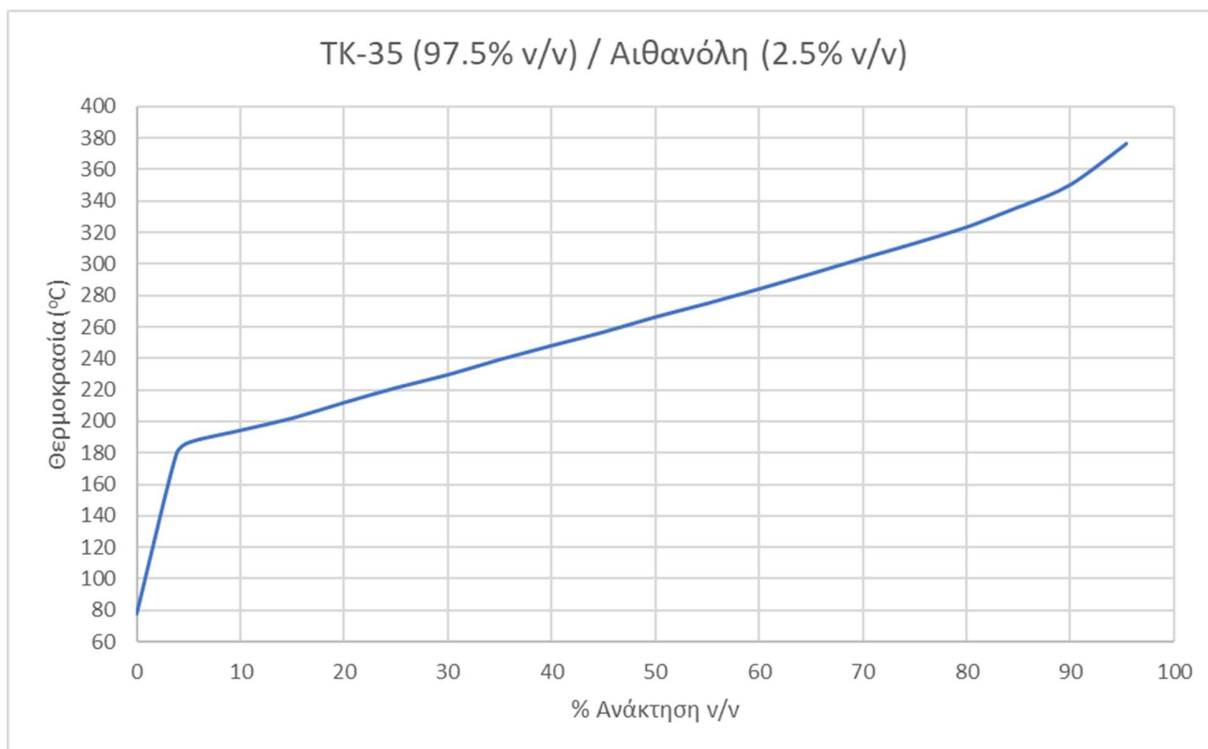
Σχήμα 13. Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών απόσταξης των δύο καυσίμων βάσης

Σημείωση: Από το παρόν διάγραμμα καθίσταται σαφές ότι το καύσιμο βάσης 8758-B είναι λιγότερο πτητικό από το καύσιμο βάσης TK-35.

4.1.2.3. TK-35 (97.5% v/v) / Αιθανόλη (2.5% v/v)

Πίνακας 14. Αποτελέσματα μετρήσεων TK-35 (97.5% v/v) / Αιθανόλη (2.5% v/v)

Μετρήσεις Ιδιοτήτων	
Σημείο Θόλωσης	16°C
Θερμοκρασία Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	-4°C
Σημείο Ροής	-24°C
Ιξώδες (40°C)	2.597 mm ² /s
Πυκνότητα (15°C)	836.9 kg/m ³
Αριθμός Κετανίου	48.5
Δείκτης Κετανίου	50.3
Δεδομένα Απόσταξης	
Ανάκτηση	96.5%
Υπόλειμμα	2.4%
Απώλειες	1.1%
Ανάκτηση (% v/v)	Θερμοκρασία (°C)
0.0 (IBP)	77.9
3.8	178.8
5.0	186.6
10.0	194.4
15.0	202.1
20.0	212.0
25.0	221.4
30.0	229.7
35.0	239.3
40.0	248.2
45.0	256.8
50.0	266.4
55.0	275.0
60.0	284.2
65.0	293.8
70.0	303.7
75.0	313.2
80.0	323.5
85.0	336.2
85.9	338.4
90.0	350.4
95.0	374.4
95.4 (FBP)	376.6

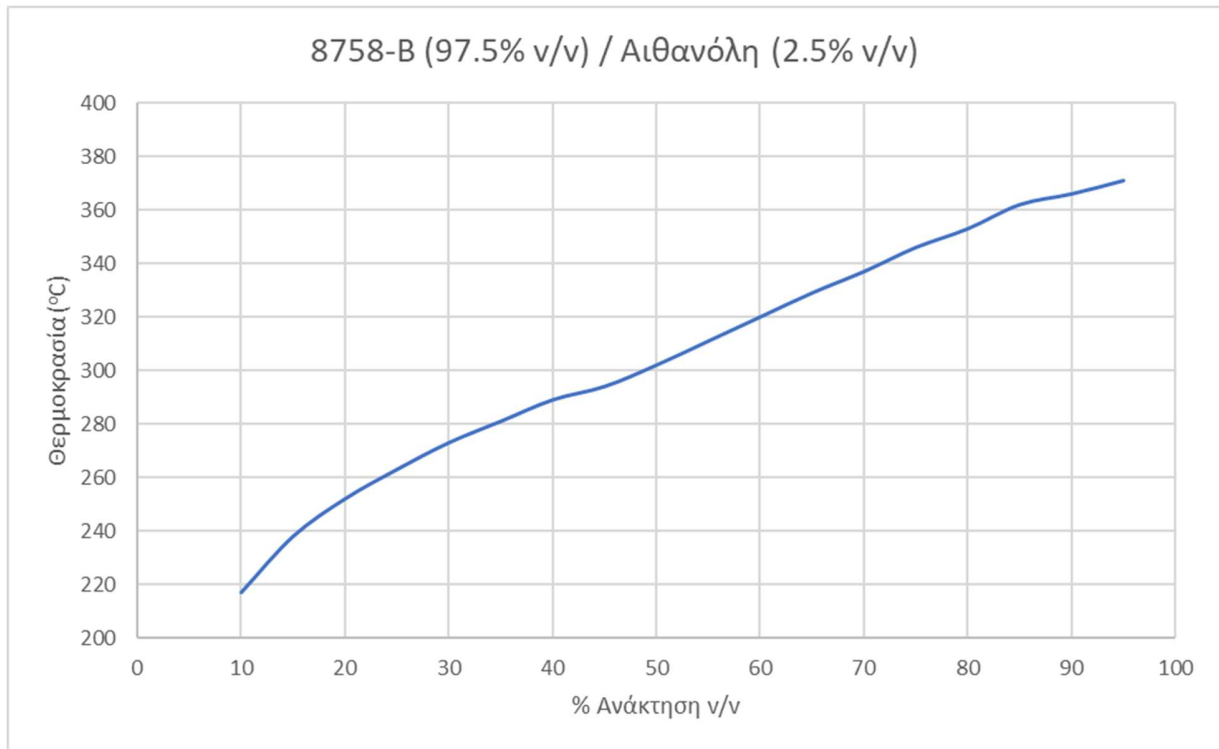


Σχήμα 14. Καμπύλη απόσταξης TK-35 (97.5% v/v)/Αιθανόλη (2.5% v/v)

4.1.2.4. 8758-B (97.5% v/v) / Αιθανόλη (2.5% v/v)

Πίνακας 15. Αποτελέσματα μετρήσεων 8758-B (97.5% v/v) / Αιθανόλη (2.5% v/v)

Μετρήσεις Ιδιοτήτων	
Σημείο Θόλωσης	16°C
Θερμοκρασία Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	11°C
Σημείο Ροής	-3°C
Ιξώδες (40°C)	4.259 mm ² /s
Πυκνότητα (15°C)	861.3 kg/m ³
Αριθμός Κετανίου	47.3
Δείκτης Κετανίου	47.7
Δεδομένα Απόσταξης	
Ανάκτηση	97.0%
Υπόλειμμα	2.0%
Απώλειες	1.0%
Ανάκτηση (% v/v)	Θερμοκρασία (°C)
10	217
15	238
20	252
25	263
30	273
35	281
40	289
45	294
50	302
55	311
60	320
65	329
70	337
75	346
80	353
85	362
90	366
95	371

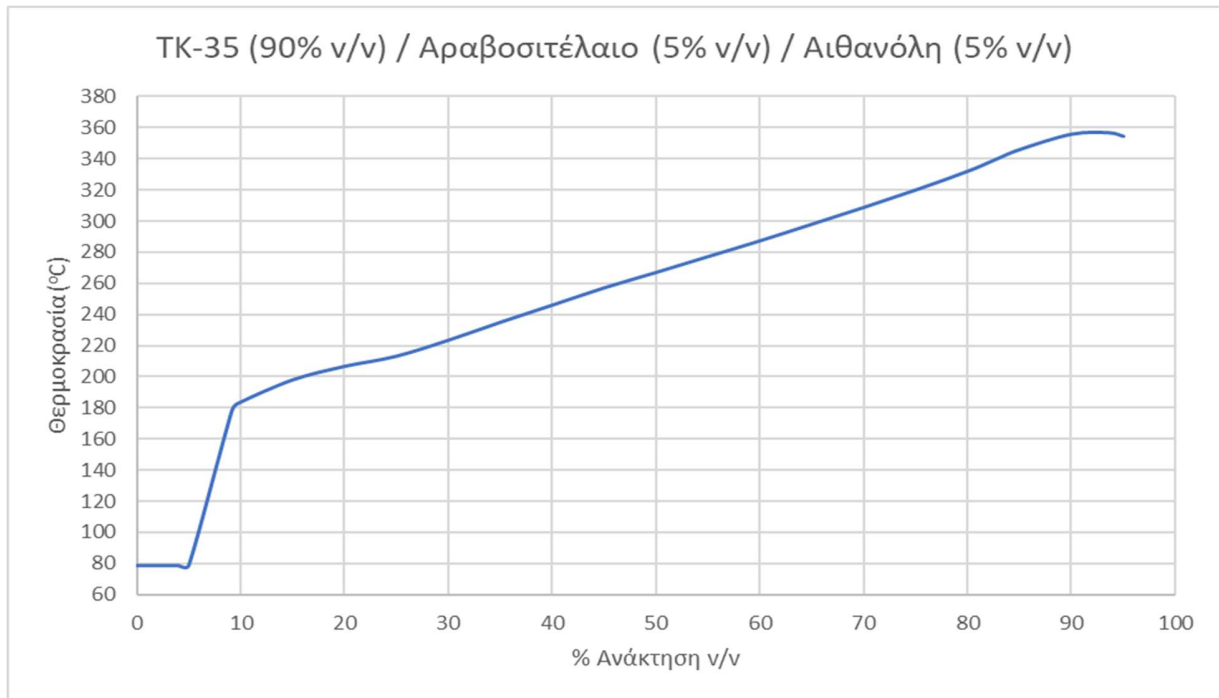


Σχήμα 15. Καμπύλη απόσταξης 8758-B (97.5% v/v) / Αιθανόλη (2.5% v/v)

4.1.2.5. TK-35 (90% v/v) / Αραβοσιτέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Πίνακας 16. Αποτελέσματα μετρήσεων TK-35 (90% v/v) / Αραβοσιτέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Μετρήσεις Ιδιοτήτων	
Σημείο Θόλωσης	17°C
Θερμοκρασία Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	-5°C
Σημείο Ροής	-21°C
Ιξώδες (40°C)	2.827 mm ² /s
Πυκνότητα (15°C)	839.9 kg/m ³
Αριθμός Κετανίου	47.9
Δείκτης Κετανίου	48.6
Δεδομένα Απόσταξης	
Ανάκτηση	96.7%
Υπόλειμμα	2.0%
Απώλειες	1.3%
Ανάκτηση (% v/v)	Θερμοκρασία (°C)
0.0 (IBP)	78.7
5.0	78.6
9.2	178.9
10.0	183.6
15.0	197.9
20.0	206.6
25.0	213.1
30.0	223.4
35.0	234.9
40.0	245.9
45.0	257.0
50.0	266.9
55.0	277.1
60.0	287.2
65.0	297.9
70.0	308.7
75.0	319.9
80.0	331.9
82.4	338.6
85.0	345.8
90.0	355.7
93.6 (FBP)	356.6
95.0	354.3

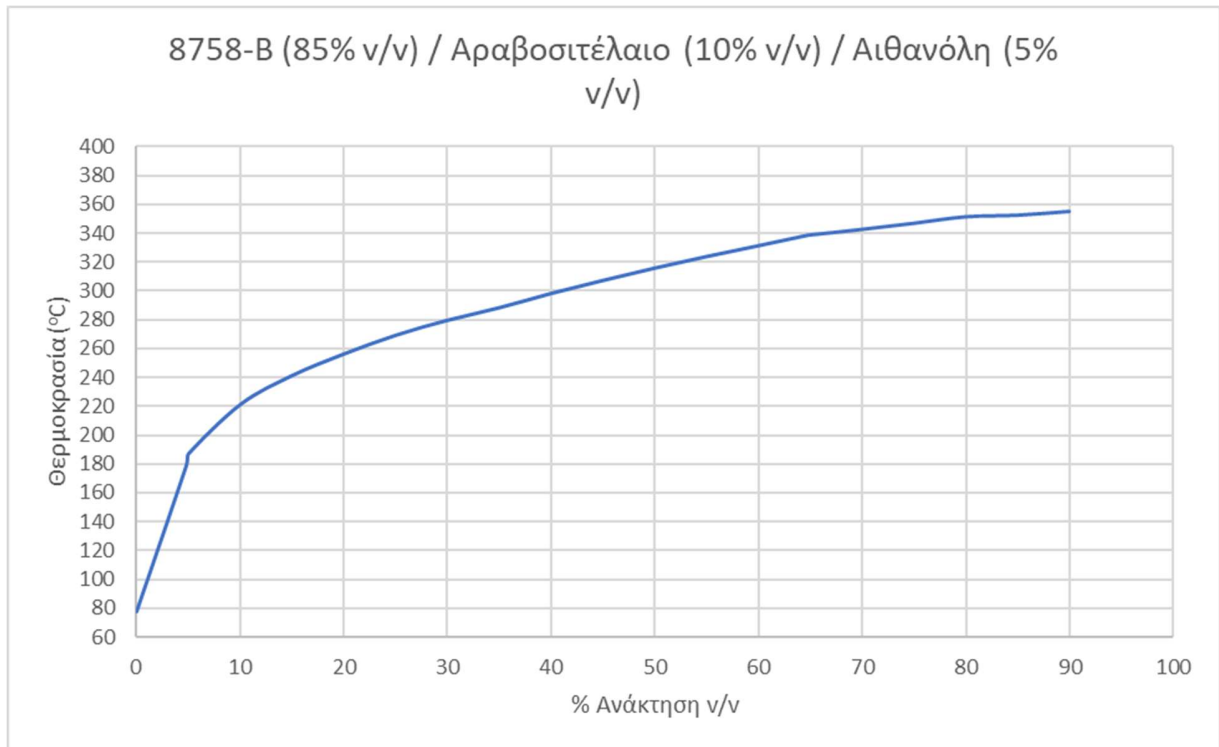


Σχήμα 16. Καμπύλη απόσταξης TK-35 (90% v/v) / Αραβοσιτέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

4.1.2.6. 8758-B (85% v/v) / Αραβοσιτέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Πίνακας 17. Αποτελέσματα μετρήσεων 8758-B (85% v/v) / Αραβοσιτέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Μετρήσεις Ιδιοτήτων	
Σημείο Θόλωσης	17°C
Θερμοκρασία Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	10°C
Σημείο Ροής	-3°C
Ιξώδες (40°C)	4.810 mm ² /s
Πυκνότητα (15°C)	865.1 kg/m ³
Αριθμός Κετανίου	46.2
Δείκτης Κετανίου	47.5
Δεδομένα Απόσταξης	
Ανάκτηση	93.1%
Υπόλειμμα	5.6%
Απώλειες	1.3%
Ανάκτηση (% v/v)	Θερμοκρασία (°C)
0.0 (IBP)	77.5
4.8	178.9
5.0	186.9
10.0	221.1
15.0	241.2
20.0	256.2
25.0	269.2
30.0	279.6
35.0	288.3
40.0	298.2
45.0	307.2
50.0	315.8
55.0	323.8
60.0	331.3
64.7	338.5
65.0	338.8
70.0	342.7
75.0	346.9
80.0	351.4
85.0	352.5
90.0	355.1

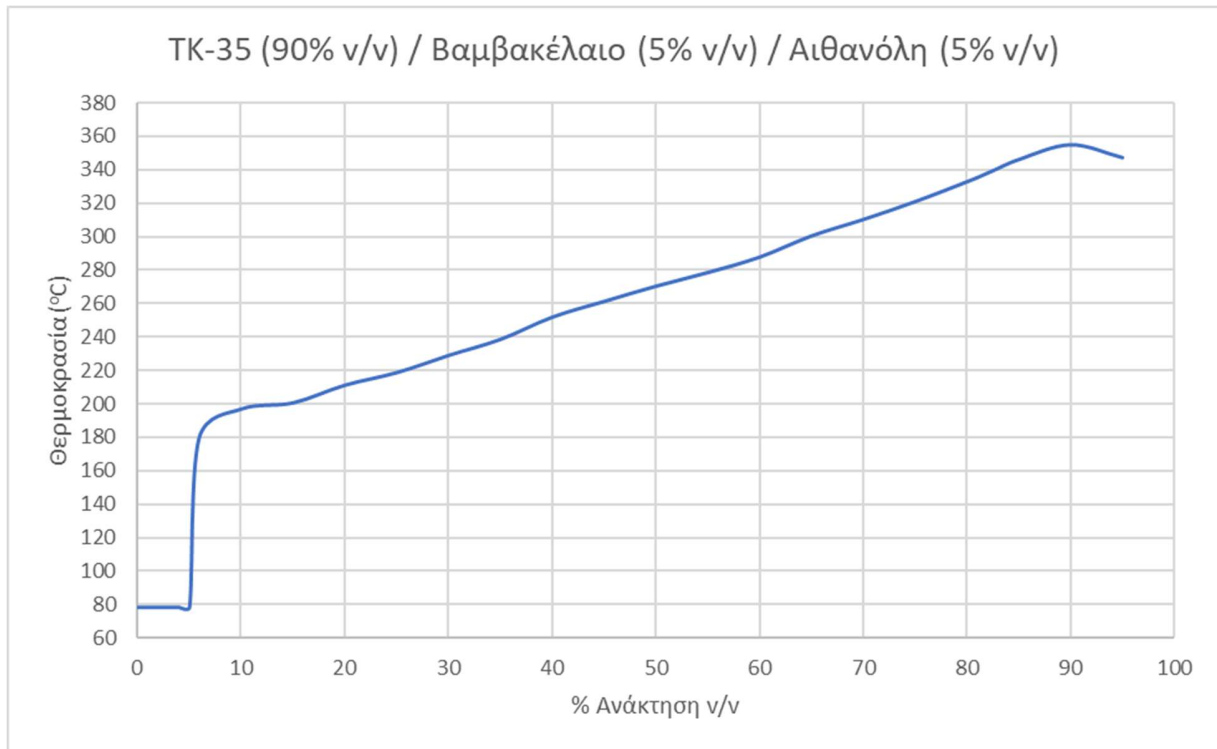


Σχήμα 17. Καμπύλη απόσταξης 8758-B (85% v/v) / Αραβοσιτέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

4.1.2.7. TK-35 (90% v/v) / Βαμβακέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Πίνακας 18. Αποτελέσματα μετρήσεων TK-35 (90% v/v) / Βαμβακέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Μετρήσεις Ιδιοτήτων	
Σημείο Θόλωσης	17°C
Θερμοκρασία Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	-5°C
Σημείο Ροής	-18°C
Ιξώδες (40°C)	2.769 mm ² /s
Πυκνότητα (15°C)	839.8 kg/m ³
Αριθμός Κετανίου	47.7
Δείκτης Κετανίου	50.0
Δεδομένα Απόσταξης	
Ανάκτηση	96.1%
Υπόλειμμα	2.8%
Απώλειες	1.1%
Ανάκτηση (% v/v)	Θερμοκρασία (°C)
0.0 (IBP)	77.9
5.0	78.1
5.9	178.9
10.0	196.6
15.0	200.3
20.0	210.9
25.0	218.4
30.0	228.7
35.0	238.3
40.0	251.6
45.0	261.0
50.0	270.1
55.0	278.3
60.0	287.5
65.0	300.2
70.0	310.0
75.0	320.7
80.0	332.6
82.3	338.6
85.0	345.9
90.0	354.7
95.0	347.0

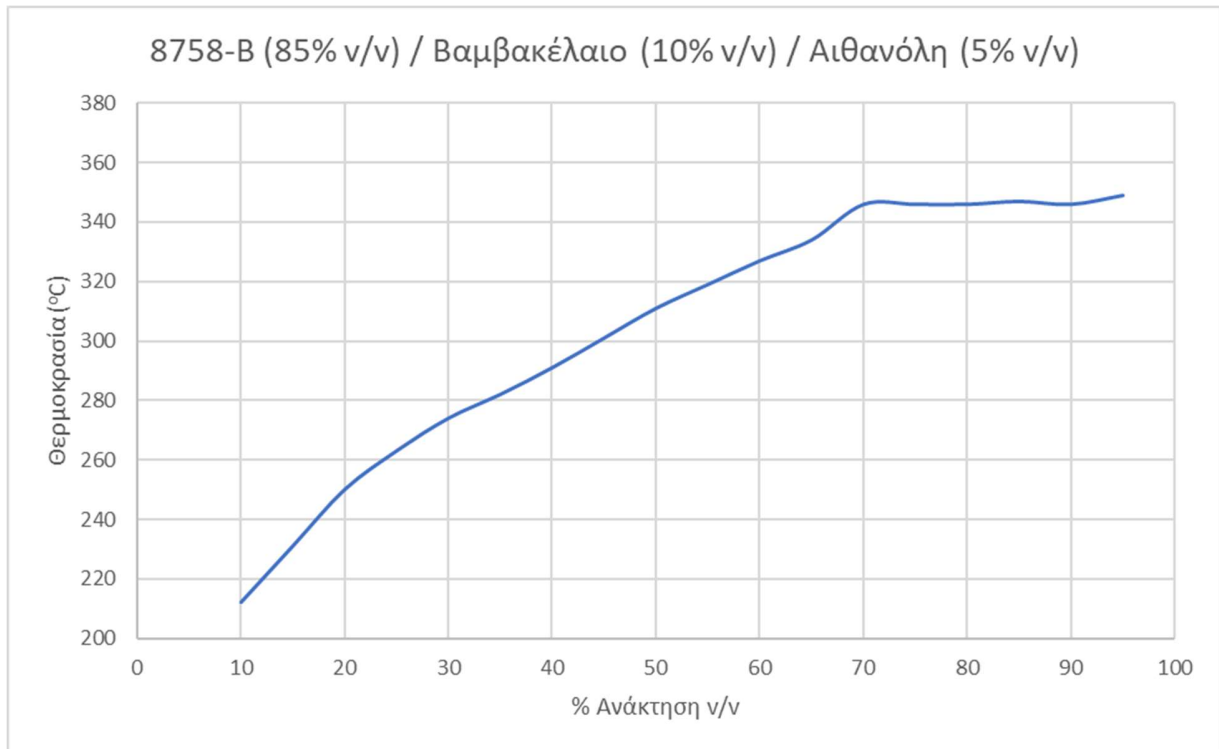


Σχήμα 18. Καμπύλη απόσταξης TK-35 (90% v/v) / Βαμβακέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

4.1.2.8. 8758-B (85% v/v) / Βαμβακέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Πίνακας 19. Αποτελέσματα μετρήσεων 8758-B (85% v/v) / Βαμβακέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Μετρήσεις Ιδιοτήτων	
Σημείο Θόλωσης	17°C
Θερμοκρασία Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	10°C
Σημείο Ροής	-3°C
Ιξώδες (40°C)	4.839 mm ² /s
Πυκνότητα (15°C)	865.1 kg/m ³
Αριθμός Κετανίου	47.4
Δείκτης Κετανίου	45.9
Δεδομένα Απόσταξης	
Ανάκτηση	96.0%
Υπόλειμμα	3.6%
Απώλειες	0.4%
Ανάκτηση (% v/v)	Θερμοκρασία (°C)
10	212
15	231
20	250
25	263
30	274
35	282
40	291
45	301
50	311
55	319
60	327
65	334
70	346
75	346
80	346
85	347
90	346
95	349

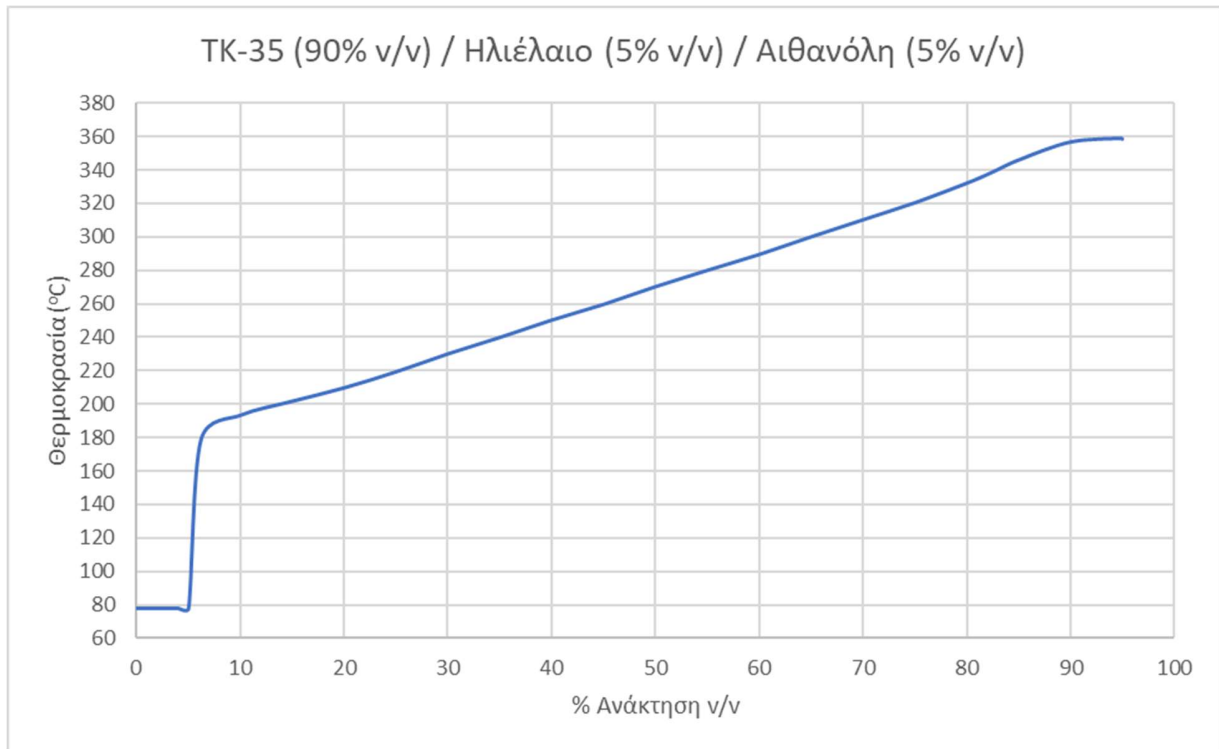


Σχήμα 19. Καμπύλη απόσταξης 8758-B (985% v/v) / Βαμβακέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

4.1.2.9. TK-35 (90% v/v) / Ηλιέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Πίνακας 20. Αποτελέσματα μετρήσεων TK-35 (90% v/v) / Ηλιέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Μετρήσεις Ιδιοτήτων	
Σημείο Θόλωσης	17°C
Θερμοκρασία Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	-13°C
Σημείο Ροής	-18°C
Ιξώδες (40°C)	2.835 mm ² /s
Πυκνότητα (15°C)	840.0 kg/m ³
Αριθμός Κετανίου	47.0
Δείκτης Κετανίου	49.8
Δεδομένα Απόσταξης	
Ανάκτηση	97.7%
Υπόλειμμα	1.6%
Απώλειες	0.7%
Ανάκτηση (% v/v)	Θερμοκρασία (°C)
0.0 (IBP)	77.7
5.0	75.8
6.2	178.9
10.0	193.4
15.0	201.8
20.0	209.8
25.0	219.4
30.0	230.2
35.0	240.0
40.0	250.4
45.0	259.8
50.0	270.4
55.0	280.2
60.0	289.7
65.0	300.3
70.0	310.5
75.0	320.7
80.0	332.4
82.3	338.5
85.0	346.3
90.0	357.1
94.9 (FBP)	359.3
95.0	358.9

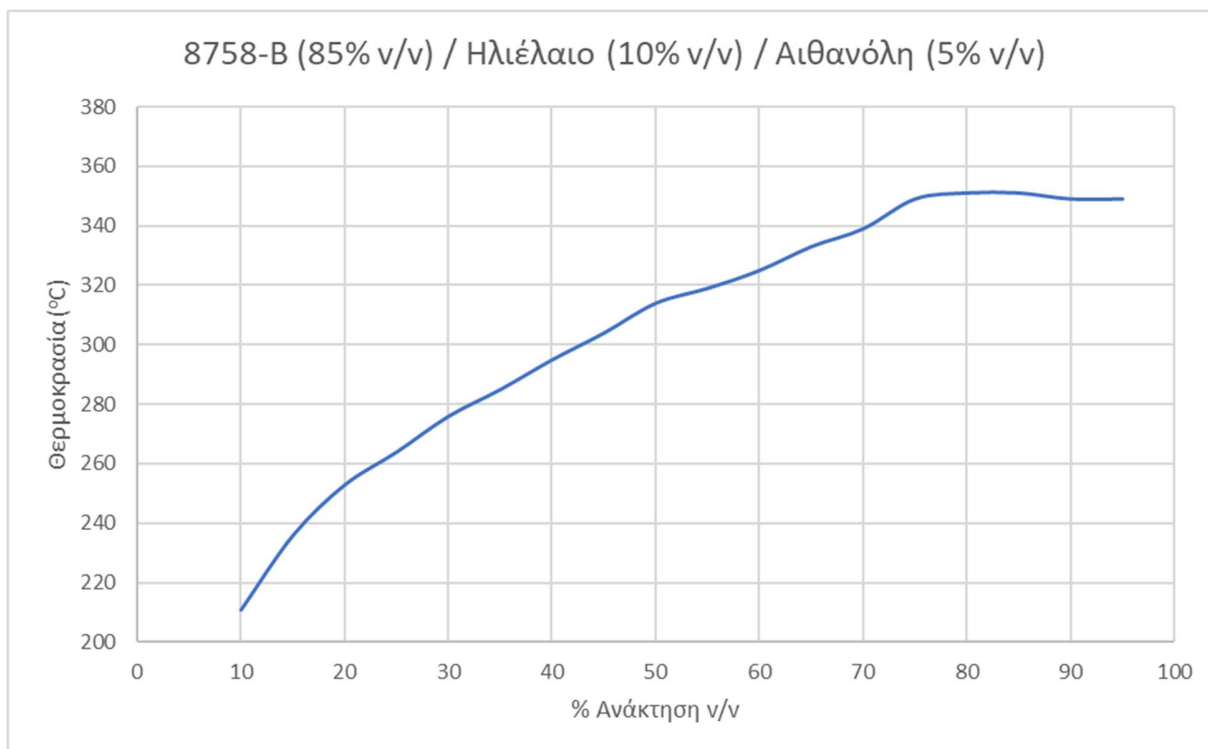


Σχήμα 20. Καμπύλη απόσταξης TK-35 (90% v/v) / Ηλιέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

4.1.2.10. 8758-B (85% v/v) / Ηλιέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Πίνακας 21. Αποτελέσματα μετρήσεων 8758-B (85% v/v) / Ηλιέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Μετρήσεις Ιδιοτήτων	
Σημείο Θόλωσης	17°C
Θερμοκρασία Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	10°C
Σημείο Ροής	-3°C
Ιξώδες (40°C)	4.782 mm ² /s
Πυκνότητα (15°C)	864.9 kg/m ³
Αριθμός Κετανίου	45.5
Δείκτης Κετανίου	46.3
Δεδομένα Απόσταξης	
Ανάκτηση	95.0%
Υπόλειμμα	3.0%
Απώλειες	2.0%
Ανάκτηση (% v/v)	Θερμοκρασία (°C)
10	211
15	236
20	253
25	264
30	276
35	285
40	295
45	304
50	314
55	319
60	325
65	333
70	339
75	349
80	351
85	351
90	349
95	349

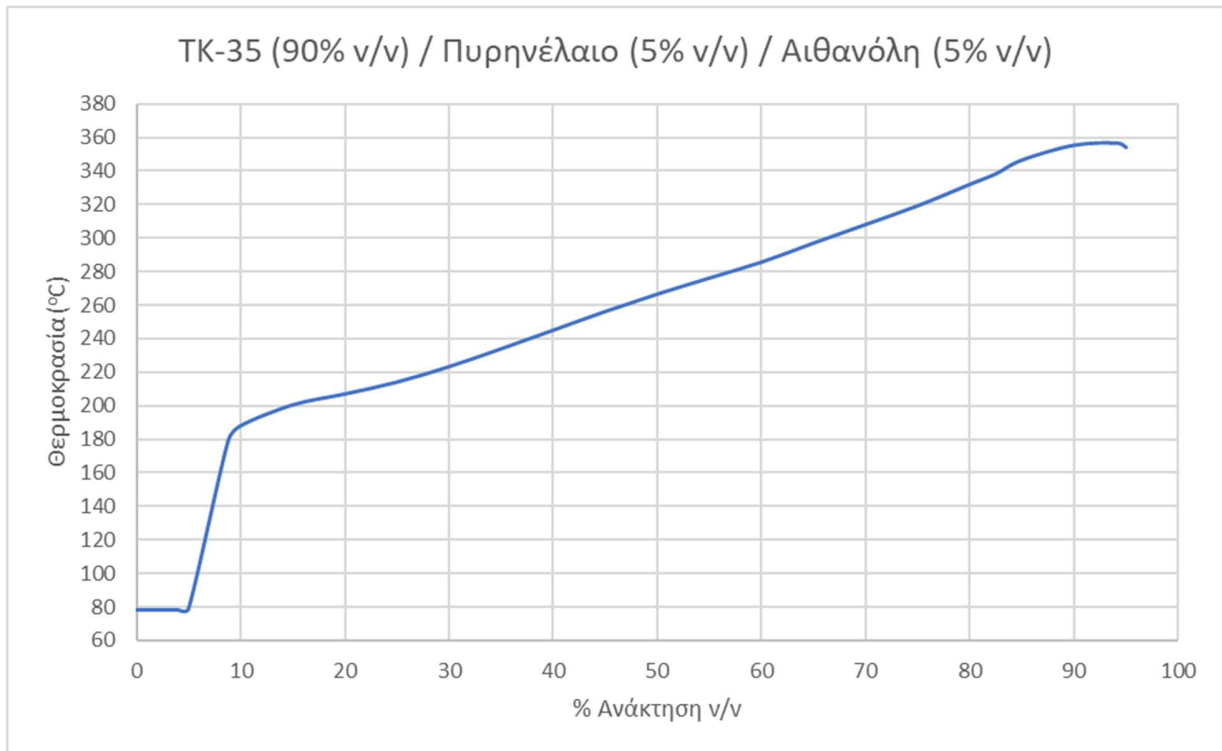


Σχήμα 21. Καμπύλη απόσταξης 8758-B (85% v/v) / Ηλιέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

4.1.2.11. TK-35 (90% v/v) / Πυρηνέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Πίνακας 22. Αποτελέσματα μετρήσεων TK-35 (90% v/v) / Πυρηνέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Μετρήσεις Ιδιοτήτων	
Σημείο Θόλωσης	18°C
Θερμοκρασία Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	-5°C
Σημείο Ροής	-18°C
Ιξώδες (40°C)	2.846 mm ² /s
Πυκνότητα (15°C)	839.8 kg/m ³
Αριθμός Κετανίου	46.6
Δείκτης Κετανίου	48.9
Δεδομένα Απόσταξης	
Ανάκτηση	96.5%
Υπόλειμμα	2.2%
Απώλειες	1.3%
Ανάκτηση (% v/v)	Θερμοκρασία (°C)
0.0 (IBP)	77.9
5.0	78.6
8.8	179.0
10.0	188.0
15.0	200.5
20.0	207.0
25.0	214.1
30.0	223.3
35.0	234.0
40.0	245.1
45.0	256.3
50.0	266.7
55.0	276.3
60.0	285.8
65.0	297.2
70.0	308.3
75.0	319.5
80.0	332.3
82.5	338.6
85.0	346.8
90.0	355.7
95.0	354.4
94.2 (FBP)	356.9

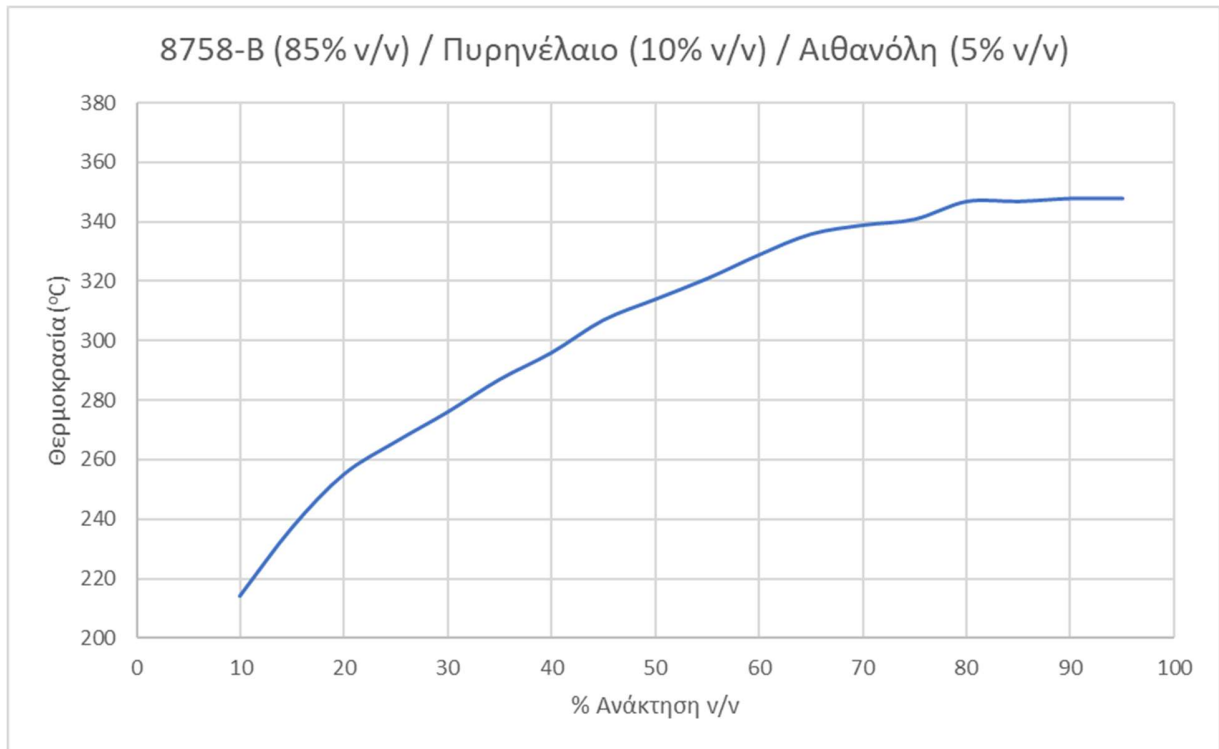


Σχήμα 22. Καμπύλη απόσταξης TK-35 (90% v/v) / Πυρηνέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

4.1.2.12. 8758-B (85% v/v) / Πυρηνέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Πίνακας 23. Αποτελέσματα μετρήσεων 8758-B (85% v/v) / Πυρηνέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Μετρήσεις Ιδιοτήτων	
Σημείο Θόλωσης	18°C
Θερμοκρασία Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	11°C
Σημείο Ροής	-3°C
Ιξώδες (40°C)	4.9128 mm ² /s
Πυκνότητα (15°C)	864.7 kg/m ³
Αριθμός Κετανίου	45.9
Δείκτης Κετανίου	46.6
Δεδομένα Απόσταξης	
Ανάκτηση	96.0%
Υπόλειμμα	2.8%
Απώλειες	1.2%
Ανάκτηση (% v/v)	Θερμοκρασία (°C)
10	214
15	237
20	255
25	266
30	276
35	287
40	296
45	307
50	314
55	321
60	329
65	336
70	339
75	341
80	347
85	347
90	348
95	348

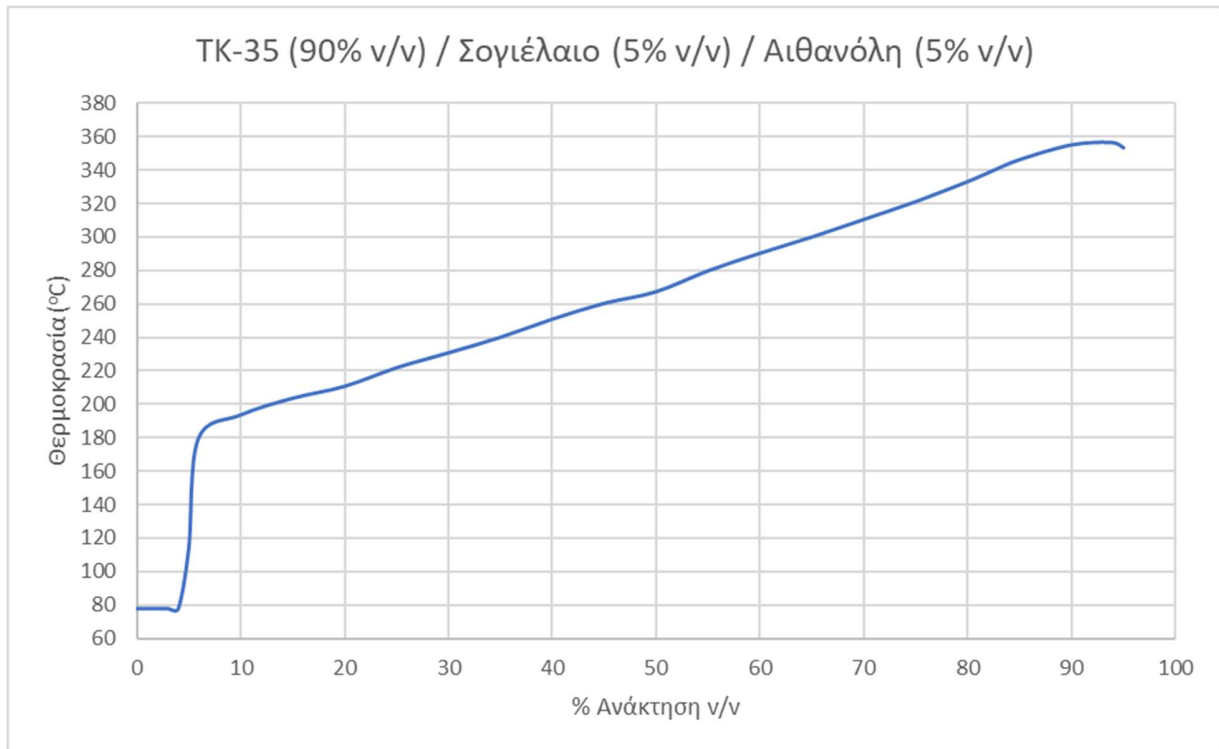


Σχήμα 23. Καμπύλη απόσταξης 8758-B (85% v/v) / Πυρηνέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

4.1.2.13. ΤΚ-35 (90% v/v) / Σογιέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Πίνακας 24. Αποτελέσματα μετρήσεων ΤΚ-35 (90% v/v) / Σογιέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Μετρήσεις Ιδιοτήτων	
Σημείο Θόλωσης	18°C
Θερμοκρασία Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	-4°C
Σημείο Ροής	-15°C
Ιξώδες (40°C)	2.780 mm ² /s
Πυκνότητα (15°C)	839.8 kg/m ³
Αριθμός Κετανίου	48.7
Δείκτης Κετανίου	49.3
Δεδομένα Απόσταξης	
Ανάκτηση	96.6%
Υπόλειμμα	2.4%
Απώλειες	1.0%
Ανάκτηση (% v/v)	Θερμοκρασία (°C)
0.0 (IBP)	78.0
5.0	113.7
5.9	179.0
10.0	193.6
15.0	203.6
20.0	210.7
25.0	221.8
30.0	230.7
35.0	240.0
40.0	250.8
45.0	260.3
50.0	267.2
55.0	279.7
60.0	290.2
65.0	299.9
70.0	310.4
75.0	321.0
80.0	333.0
82.1	338.6
85.0	346.1
90.0	354.9
95.0	353.2
93.9 (FBP)	356.3

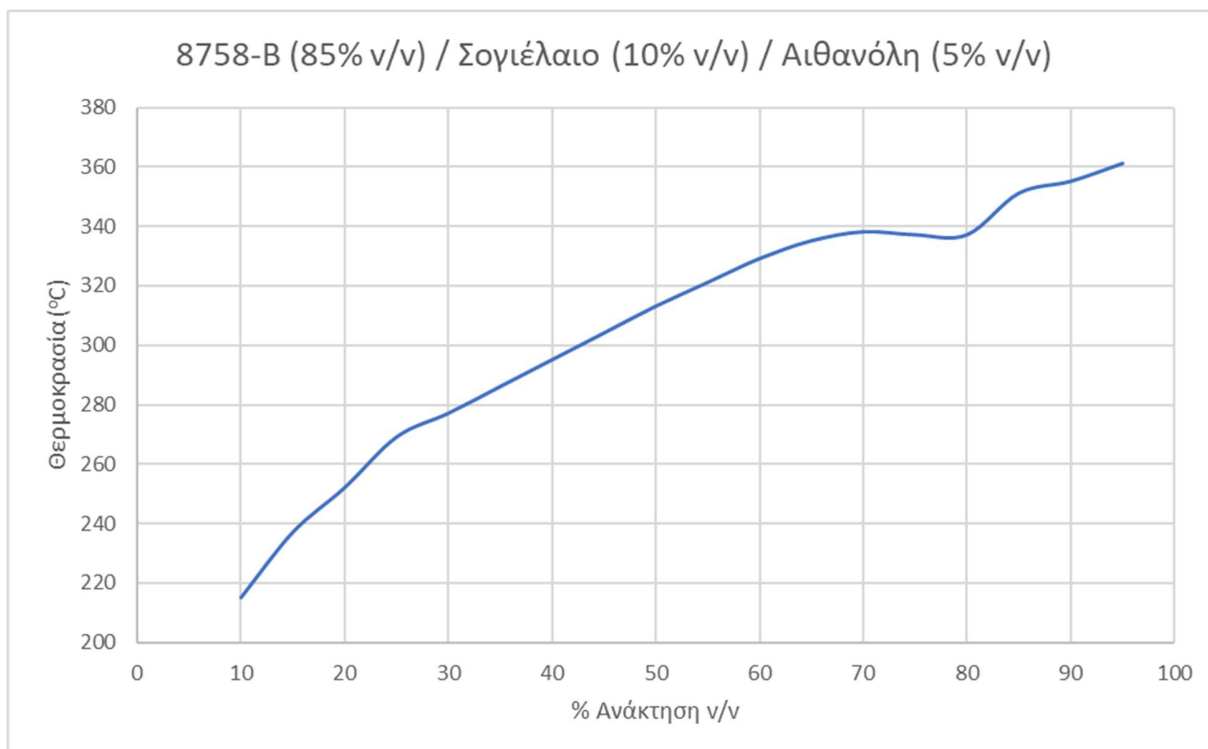


Σχήμα 24. Καμπύλη απόσταξης TK-35 (90% v/v) / Σογιέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

4.1.2.14. 8758-B (85% v/v) / Σογιέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Πίνακας 25. Αποτελέσματα μετρήσεων 8758-B (85% v/v) / Σογιέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

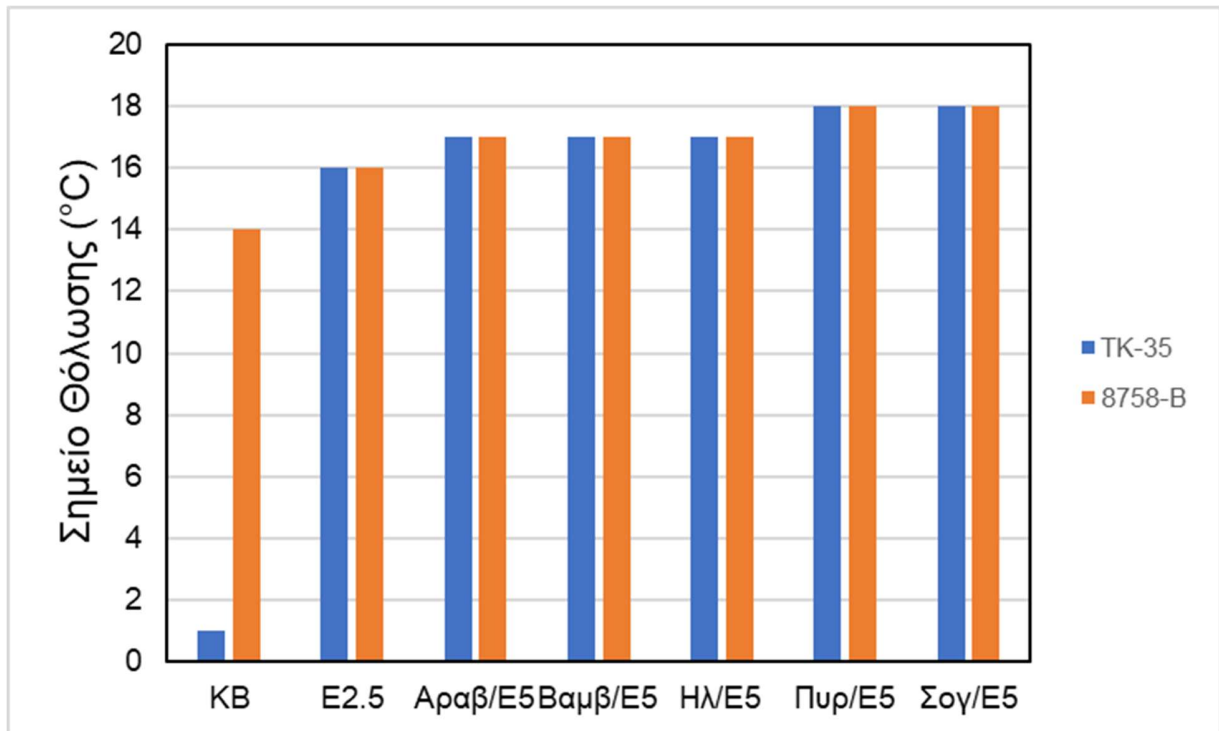
Μετρήσεις Ιδιοτήτων	
Σημείο Θόλωσης	18°C
Θερμοκρασία Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	9°C
Σημείο Ροής	-3°C
Ιξώδες (40°C)	4.784 mm ² /s
Πυκνότητα (15°C)	864.9 kg/m ³
Αριθμός Κετανίου	46.8
Δείκτης Κετανίου	46.8
Δεδομένα Απόσταξης	
Ανάκτηση	97.0%
Υπόλειμμα	1.8%
Απώλειες	1.2%
Ανάκτηση (% v/v)	Θερμοκρασία (°C)
10	215
15	237
20	252
25	269
30	277
35	286
40	295
45	304
50	313
55	321
60	329
65	335
70	338
75	337
80	337
85	351
90	355
95	361



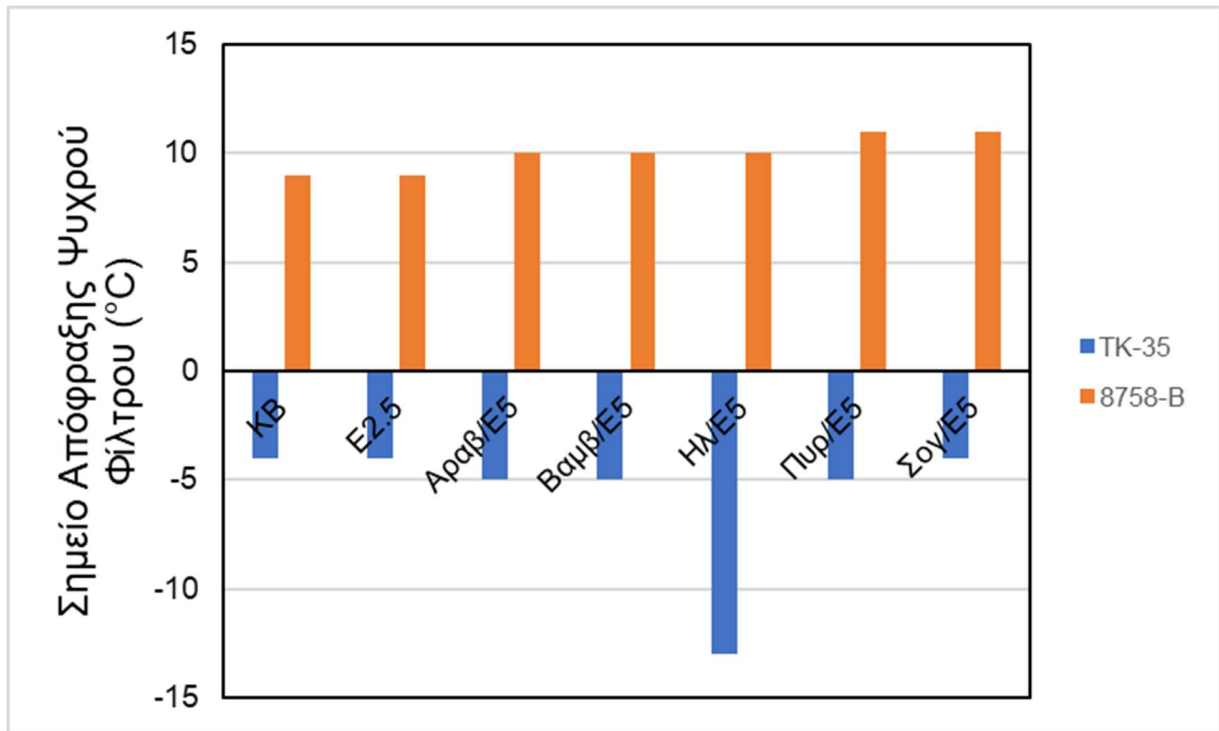
Σχήμα 25. Καμπύλη απόσταξης 8758-B (85% v/v) / Σογιέλαιο (10% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v)

Πίνακας 26. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων ιδιοτήτων των δειγμάτων

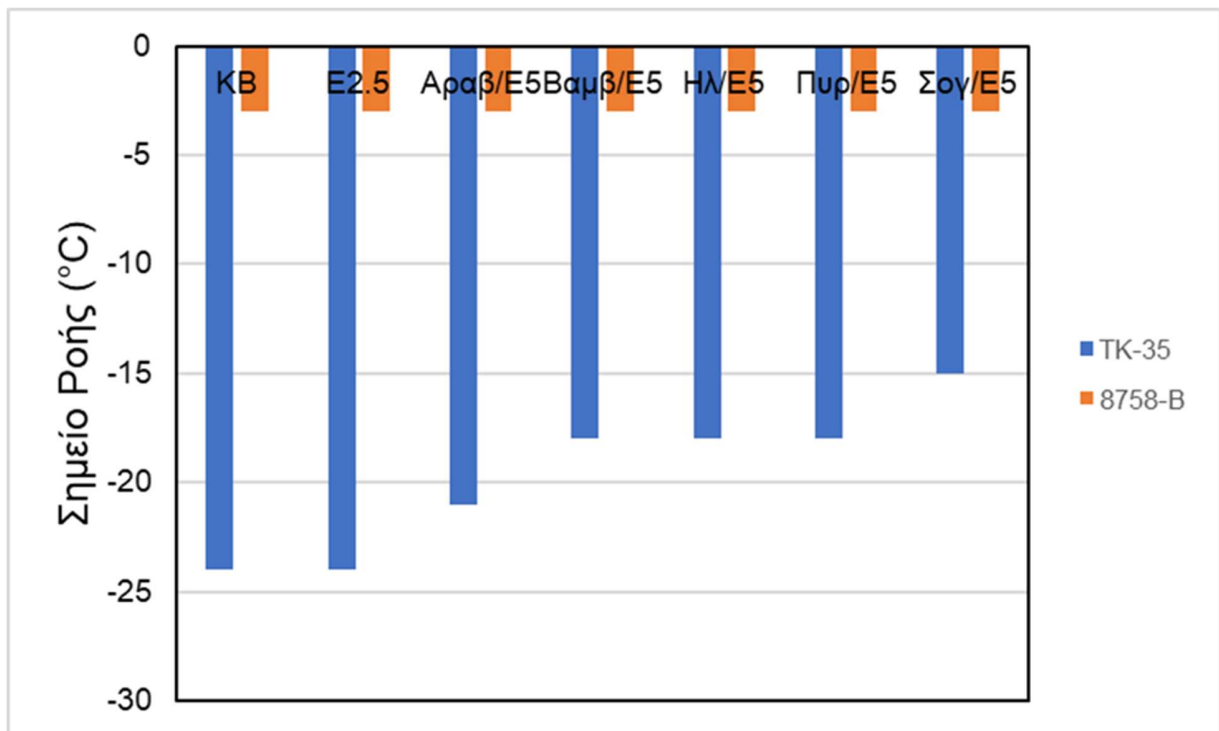
		Σ.Θ. (°C)	Σ.Α.Ψ.Φ. (°C)	Σ.Ρ. (°C)	Ιξώδες (mm ² /s)	Πυκνότητα (kg/m ³)	Αριθμός Κετανίου	Δείκτης Κετανίου
TK-35	-	1	-4	-24	2.775	838.4	50.3	50.6
	E2.5	16	-4	-24	2.597	836.9	48.5	50.3
	A5/E5	17	-5	-21	2.827	839.9	47.9	48.6
	B5/E5	17	-5	-18	2.769	839.8	47.7	50.0
	H5/E5	17	-13	-18	2.835	840.0	47.0	49.8
	Π5/E5	18	-5	-18	2.846	839.8	46.6	48.9
	Σ5/E5	18	-4	-15	2.780	839.8	48.7	49.3
8758-B	-	14	9	-3	4.678	863.3	49.9	49.5
	E2.5	16	9	-3	4.259	861.3	47.3	47.7
	A10/E5	17	10	-3	4.810	865.1	46.2	47.5
	B10/E5	17	10	-3	4.839	865.1	47.4	45.9
	H10/E5	17	10	-3	4.782	864.9	45.5	46.3
	Π10/E5	18	11	-3	4.913	864.7	45.9	46.6
	Σ10/E5	18	11	-3	4.784	864.9	46.8	46.8



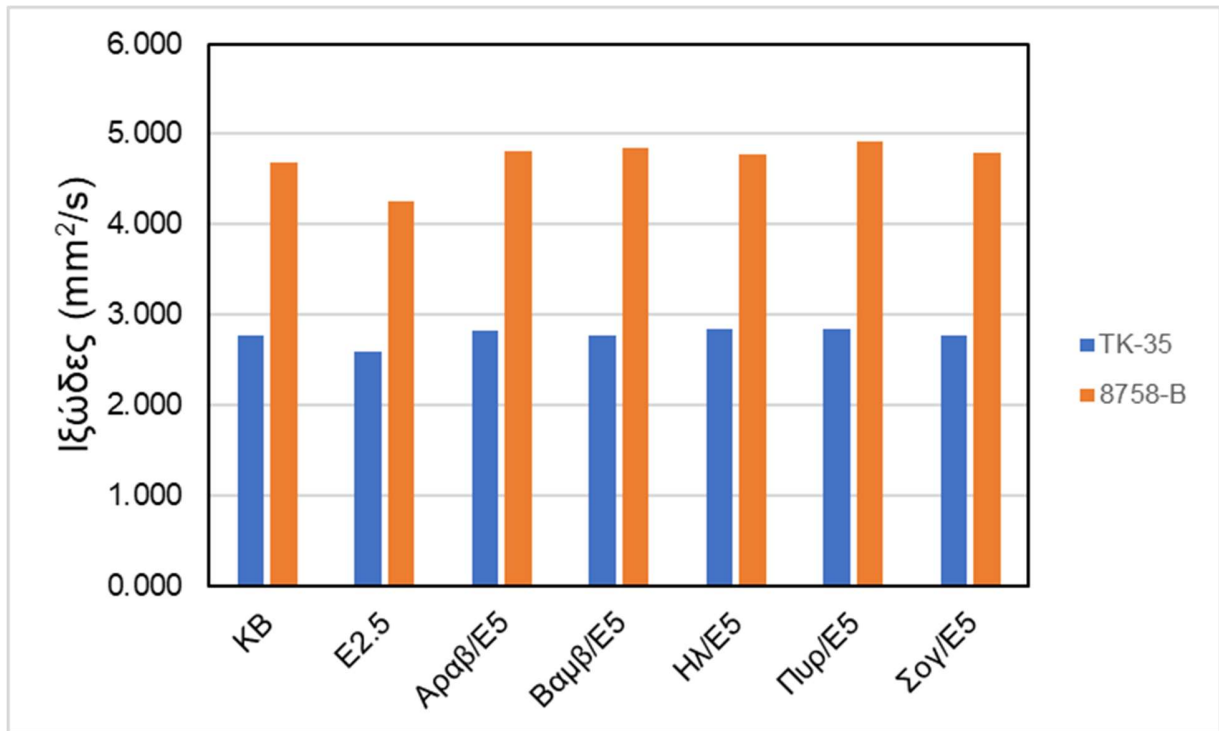
Σχήμα 26. Συγκριτικό διάγραμμα για το σημείο θόλωσης



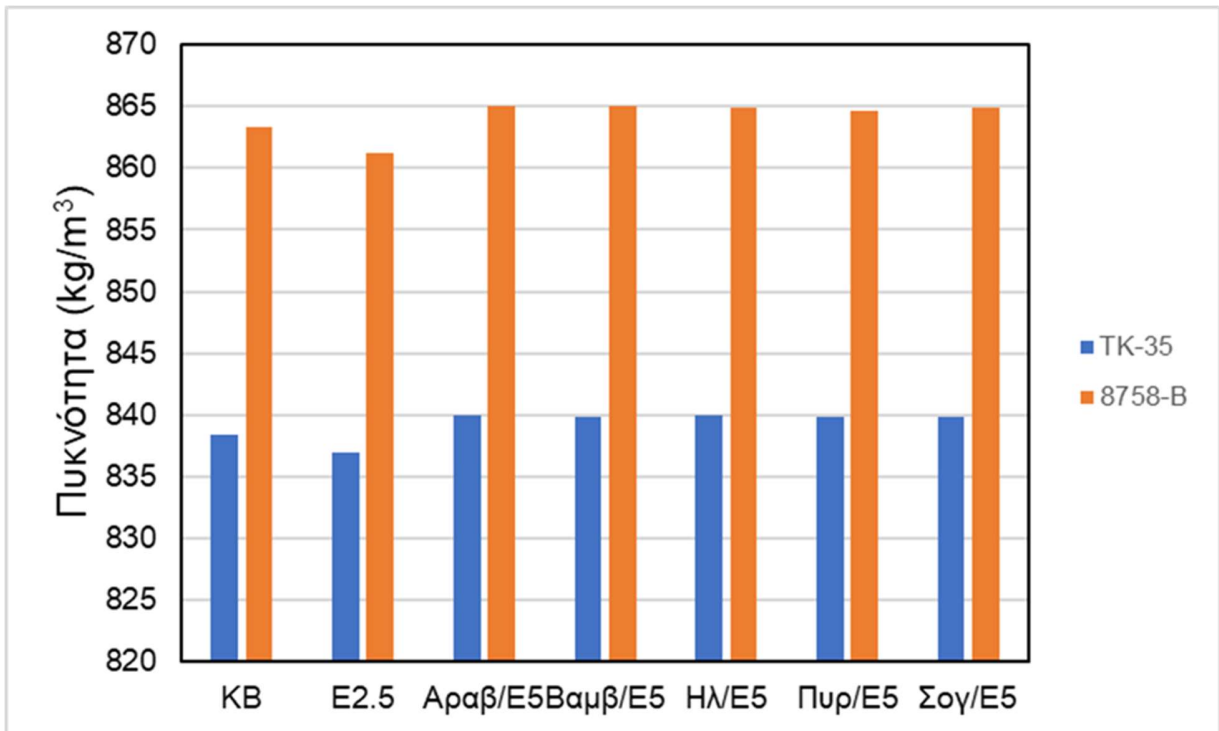
Σχήμα 27. Συγκριτικό διάγραμμα για το σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου



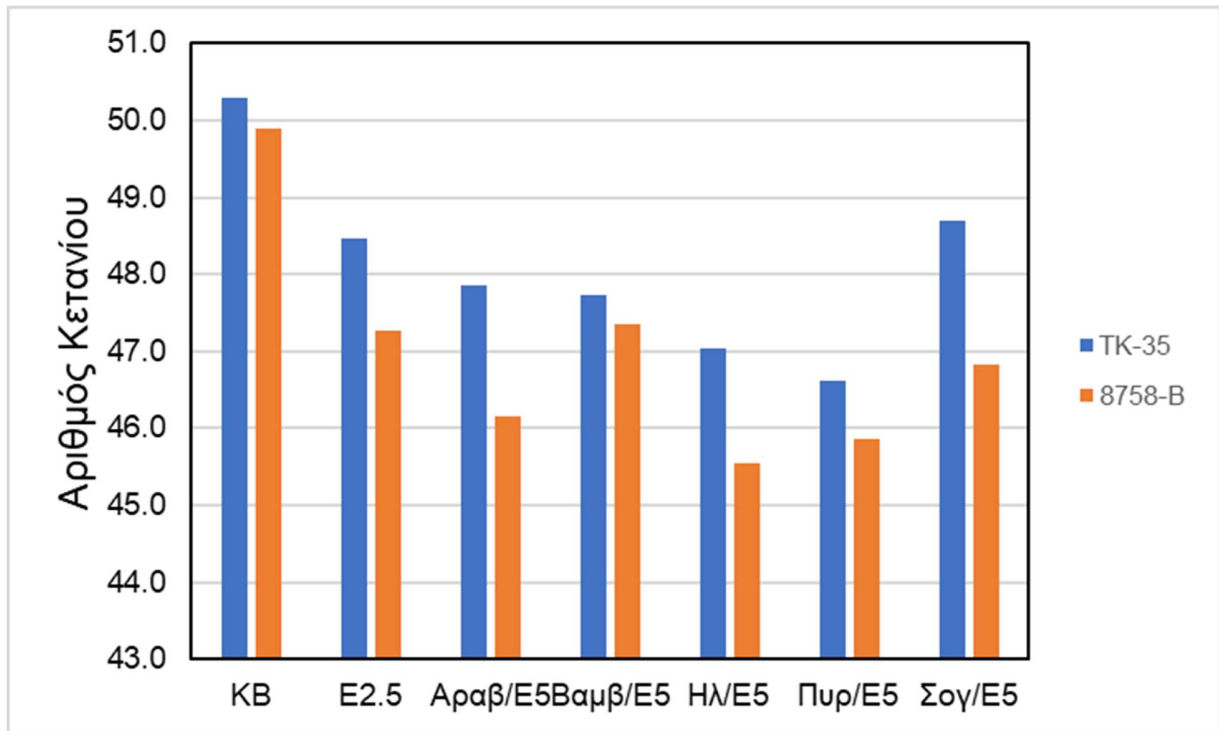
Σχήμα 28. Συγκριτικό διάγραμμα για το σημείο ροής



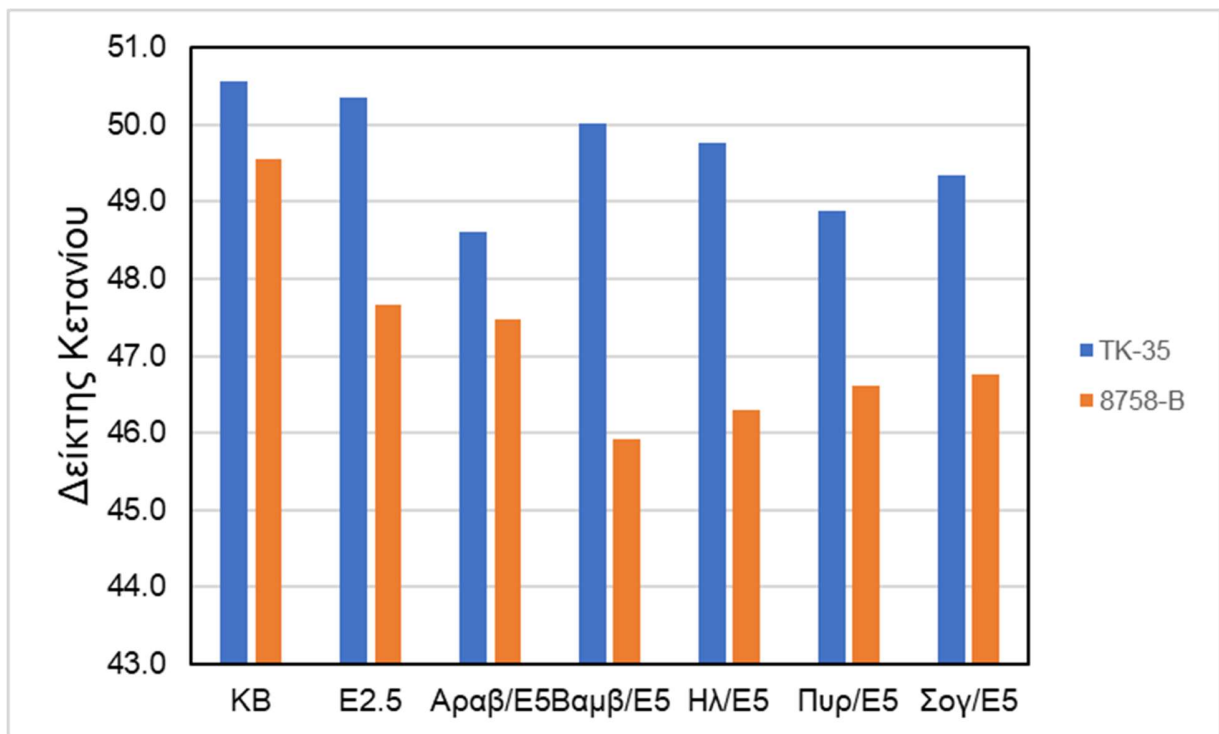
Σχήμα 29. Συγκριτικό διάγραμμα για το ιξώδες



Σχήμα 30. Συγκριτικό διάγραμμα για την πικνότητα



Σχήμα 31. Συγκριτικό διάγραμμα για τον αριθμό κετανίου



Σχήμα 32. Συγκριτικό διάγραμμα για το δείκτη κετανίου

4.2. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

4.2.1. Διαγράμματα Ισορροπίας Φάσεων

4.2.1.1. Αραβοσιτέλαιο

Τα διαγράμματα ισορροπίας φάσεων καυσίμου βάσης/αραβοσιτέλαιου/αιθανόλης αποδεικνύουν ότι η αύξηση της περιεκτικότητας του μίγματος σε φυτικό έλαιο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας της αιθανόλης που μπορεί να προστεθεί στο μίγμα χωρίς να διαταράσσεται η ομοιογένεια αυτού. Επίσης, από το διάγραμμα φαίνεται ότι η απουσία καυσίμου βάσης οδηγεί σε ελάττωση της διαλυτότητας της αιθανόλης. Επιπλέον, στο διάγραμμα η μέγιστη διαλυτότητα αιθανόλης εμφανίζεται ότι επιτυγχάνεται στα μίγματα TK-35 (8.7% v/v) / Αραβοσιτέλαιο (78.3% v/v) / Αιθανόλη (13.5% v/v) και 8758-B (8.7% v/v) / Αραβοσιτέλαιο (78.3% v/v) / Αιθανόλη (13.0% v/v). Παρατηρείται, ακόμη, ότι ο συνδυασμός του καυσίμου βάσης TK-35/αραβοσιτέλαιου παρουσιάζει μεγαλύτερη ανοχή στην προσθήκη αιθανόλης, δηλαδή σε αυτόν διαλύονται μεγαλύτερες ποσότητες αιθανόλης από ότι στον συνδυασμό 8758-B/αραβοσιτέλαιου στις ίδιες αναλογίες.

4.2.1.2. Βαμβακέλαιο

Τα διαγράμματα ισορροπίας φάσεων για το βαμβακέλαιο αποδεικνύουν ότι η αύξηση της περιεκτικότητας του μίγματος σε βαμβακέλαιο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διαλυτότητας της αιθανόλης. Επίσης, η απουσία καυσίμου έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της ποσότητας αιθανόλης που διαλύεται. Επιπλέον, η μέγιστη διαλυτότητα αιθανόλης επιτυγχάνεται στα μίγματα TK-35 (8.8% v/v) / Βαμβακέλαιο (79.0% v/v) / Αιθανόλη (12.2% v/v) και 8758-B (8.8% v/v) / Βαμβακέλαιο (79.5% v/v) / Αιθανόλη (11.7% v/v). Ακόμη, ο συνδυασμός TK-35/βαμβακέλαιου εμφανίζεται ικανός να απορροφήσει την αιθανόλη σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από ότι ο συνδυασμός 8758-B/βαμβακέλαιου στις ίδιες αναλογίες καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου.

4.2.1.3. Ηλιέλαιο

Τα διαγράμματα ισορροπίας φάσεων για το ηλιέλαιο αποδεικνύουν ότι η αύξηση της περιεκτικότητας του μίγματος σε ηλιέλαιο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διαλυτότητας της αιθανόλης. Επίσης, η απουσία καυσίμου βάσης έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της περιεκτικότητας της αιθανόλης που διαλύεται. Επιπλέον, η μέγιστη διαλυτότητα αιθανόλης επιτυγχάνεται στα μίγματα TK-35 (8.5% v/v) / Ηλιέλαιο (76.2% v/v) / Αιθανόλη (15.3% v/v) και 8758-B (8.5% v/v) / Ηλιέλαιο (76.1% v/v) / Αιθανόλη (15.4% v/v). Ακόμη, ο συνδυασμός TK-35/ηλιέλαιου εμφανίζεται ικανός να απορροφήσει την αιθανόλη σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από ότι ο συνδυασμός 8758-B/ηλιέλαιου στις ίδιες αναλογίες καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου.

4.2.1.4. Πυρηνέλαιο

Τα διαγράμματα ισορροπίας φάσεων για το πυρηνέλαιο αποδεικνύουν ότι η αύξηση της περιεκτικότητας του μίγματος σε πυρηνέλαιο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διαλυτότητας της αιθανόλης. Επίσης, η απουσία καυσίμου βάσης έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της περιεκτικότητας της αιθανόλης που διαλύεται. Επιπλέον, η μέγιστη διαλυτότητα αιθανόλης επιτυγχάνεται στα μίγματα TK-35 (8.9% v/v) / Πυρηνέλαιο (78.8% v/v) / Αιθανόλη (12.4% v/v) και 8758-B (8.8% v/v) / Πυρηνέλαιο (80.2% v/v) / Αιθανόλη (10.9% v/v). Ακόμη, ο συνδυασμός TK-35/πυρηνέλαιου εμφανίζεται ικανός να απορροφήσει την αιθανόλη σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από ότι ο συνδυασμός 8758-B/πυρηνέλαιου στις ίδιες αναλογίες καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου.

4.2.1.5. Σογιέλαιο

Τα διαγράμματα ισορροπίας φάσεων για το σογιέλαιο αποδεικνύουν ότι η αύξηση της περιεκτικότητας του μίγματος σε σογιέλαιο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διαλυτότητας της αιθανόλης. Επίσης, η απουσία καυσίμου βάσης έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της περιεκτικότητας της αιθανόλης που διαλύεται. Επιπλέον, η μέγιστη διαλυτότητα αιθανόλης επιτυγχάνεται στα μίγματα TK-35 (8.9% v/v) / Αραβοσιτέλαιο (79.7% v/v) / Αιθανόλη (11.4% v/v) και 8758-B (8.8% v/v) / Αραβοσιτέλαιο (78.8% v/v) / Αιθανόλη (12.4% v/v). Ακόμη, ο συνδυασμός TK-35/ηλιέλαιου εμφανίζεται ικανός να απορροφήσει την αιθανόλη σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από ότι ο συνδυασμός 8758-B/ηλιέλαιου στις ίδιες αναλογίες καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου, συμπεριφορά η οποία αναστρέφεται όταν η περιεκτικότητα του μίγματος είναι υψηλότερη από 62.6% v/v.

4.2.1.6. Αναμιξιμότητα Καυσίμου Βάσης / Αιθανόλης

Από τα διαγράμματα ισορροπίας φάσεων είναι φανερό ότι τα καύσιμα βάσης και η αιθανόλη παρουσιάζουν αναμιξιμότητα μεταξύ τους χωρίς την ανάγκη προσθήκης φυτικού ελαίου όταν η ποσότητα προστιθέμενης αιθανόλης είναι χαμηλή. Συγκεκριμένα, για το καύσιμο βάσης TK-35 παρατηρείται ότι μπορεί να δημιουργηθεί ομοιογενές μίγμα TK-35/αιθανόλης με μέγιστο ποσοστό προσθήκης αιθανόλης ίσο με 4.9% v/v. Σημειώνεται, όμως, ότι η ισορροπία αυτή δεν είναι ευσταθής και είναι ευάλωτη ακόμα και σε πολύ μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας. Το ίδιο ισχύει και για το καύσιμο βάσης 8758-B, το οποίο δημιουργεί ομοιογενές μίγμα με την αιθανόλη με μέγιστο ποσοστό προσθήκης το 3.2% v/v.

Οι Gerdes και Suppes³⁵ έχουν αποδείξει ότι η περιεκτικότητα του καυσίμου Diesel σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες συνδέεται με την διαλυτότητα της αιθανόλης σε αυτό. Συγκεκριμένα, η αύξηση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διαλυτότητας της αιθανόλης. Τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας δεν επιβεβαιώνουν αυτό το δεδομένο, καθώς παρότι το καύσιμο βάσης 8758-B έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες, η διαλυτότητα της αιθανόλης σε αυτό είναι χαμηλότερη. Η απόκλιση από την αναμενόμενη συμπεριφορά αποδίδεται στο μέγεθος των αλυσίδων των υδρογονανθράκων. Οι αλυσίδες υδρογονανθράκων στο καύσιμο βάσης TK-35 αναμένεται να είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες του καυσίμου βάσης 8758-B, καθώς σε αυτό συνηγορούν οι μετρήσεις των ιδιοτήτων. Αναλυτικότερα, από τις καμπύλες απόσταξης των καυσίμων βάσης

φαίνεται ότι οι ίδιες ποσότητες όγκου ανακτώνται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες στην περίπτωση του καυσίμου βάσης TK-35. Επίσης, η πυκνότητα του καυσίμου βάσης TK-35 βρέθηκε χαμηλότερη από αυτή του 8758-B. Συμπεραίνεται ότι τόσο η περιεκτικότητα σε αρωματικά, όσο και το μέγεθος των μορίων των υδρογονανθράκων επηρεάζουν τη διαλυτότητα της αιθανόλης στο καύσιμο βάσης.

4.2.1.7. Αναμιξιμότητα Φυτικών Ελαίων / Αιθανόλης

Τα διαγράμματα ισορροπίας φάσεων αποδεικνύουν ότι η αιθανόλη σχηματίζει ομοιογενές μίγμα με όλα τα υπό μελέτη φυτικά έλαια. Ειδικότερα, το υψηλότερο ποσοστό προσθήκης εμφανίζεται στην ανάμιξη με το ηλιέλαιο (14.8% v/v), ενώ το χαμηλότερο αντιστοιχεί στο μίγμα με σογιέλαιο (8.9% v/v). Τα μίγματα αιθανόλης με αραβοσιτέλαιο, βαμβακέλαιο, πυρηνέλαιο εμφανίζουν μέγιστη περιεκτικότητα σε αιθανόλη 13.0%, 11.3%, 10.6% v/v αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι η διαλυτότητα της αιθανόλης στα φυτικά έλαια είναι σαφώς υψηλότερη από ότι στα καύσιμα βάσης. Βάσει αυτού μπορεί να ερμηνευτεί η αύξηση της διαλυτότητας της αιθανόλης στα μίγματα καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου/αιθανόλης.

4.2.1.8. Σύγκριση Φυτικών Ελαίων

Στην περίπτωση χρήσης του TK-35 ως καυσίμου βάσης απορρόφηση αιθανόλης από τα μίγματα καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου/αιθανόλης είναι μέγιστη όταν χρησιμοποιείται ηλιέλαιο. Η αμέσως καλύτερη επίδοση παρατηρείται κατά τη χρήση αραβοσιτέλαιου, ενώ ακολουθούν χωρίς ουσιαστικές διαφορές το βαμβακέλαιο, το πυρηνέλαιο και το σογιέλαιο, των οποίων η συμπεριφορά εμφανίζει διαφοροποίηση στην περιοχή υψηλών συγκεντρώσεων φυτικού ελαίου, στην οποία δεν υφίσταται πρακτικό ενδιαφέρον για την αξιοποίηση του μίγματος ως καύσιμο. Συγκεκριμένα, στις περιοχές με πρακτικό ενδιαφέρον η απορρόφηση αιθανόλης από τα μίγματα είναι μέγιστη στην περίπτωση του ηλιέλαιου. Την δεύτερη μεγαλύτερη απορρόφηση παρουσιάζει το βαμβακέλαιο, ενώ ακολουθούν πυρηνέλαιο, αραβοσιτέλαιο και σογιέλαιο. Στα μίγματα που βρίσκονται στην περιοχή περιεκτικότητας 10% v/v σε αιθανόλη, η περιεκτικότητα σε φυτικό έλαιο κυμαίνεται κατά προσέγγιση από 25% έως 55%. Τα χαμηλότερα ποσοστά προσθήκης φυτικού ελαίου για τη σταθεροποίηση του μίγματος στην περιοχή αυτή αντιστοιχούν στη χρήση ηλιέλαιου και αραβοσιτέλαιου.

Στην περίπτωση που το καύσιμο βάσης είναι το 8758-B η απορρόφηση αιθανόλης από τα μίγματα καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου/αιθανόλης είναι μέγιστη στην περίπτωση του ηλιέλαιου. Η δεύτερη μεγαλύτερη απορρόφηση παρατηρείται κατά τη χρήση αραβοσιτέλαιου, ενώ η τρίτη καλύτερη επίδοση αντιστοιχεί στη χρήση σογιέλαιου. Το βαμβακέλαιο και το πυρηνέλαιο παρουσιάζουν όμοια συμπεριφορά σε χαμηλές συγκεντρώσεις φυτικού ελαίου, με τη διαφοροποίηση μεταξύ τους να εμφανίζεται στις περιοχές υψηλής συγκέντρωσης φυτικού ελαίου, όπου ευνοείται το βαμβακέλαιο. Ειδικότερα, στις περιοχές πρακτικού ενδιαφέροντος δεν εμφανίζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ των φυτικών ελαίων όσον αφορά στην απορρόφηση αιθανόλης, με μόνη εξαίρεση το πυρηνέλαιο που εμφανίζει τη χαμηλότερη ικανότητα απορρόφησης αιθανόλης. Στα μίγματα στην περιοχή περιεκτικότητας σε αιθανόλη 10% v/v η περιεκτικότητα σε φυτικό έλαιο κυμαίνεται προσεγγιστικά από 40% έως 60%. Το ηλιέλαιο και το αραβοσιτέλαιο είναι τα φυτικά έλαια από τα

οποία απαιτήθηκε χαμηλότερη ποσότητα για τη σταθεροποίηση του μίγματος στην περιοχή αυτή.

4.2.2. Αξιολόγηση Ιδιοτήτων Μιγμάτων Καυσίμου Βάσης/Φυτικών Ελαίων/Αιθανόλης

4.2.2.1. Σημείο Θόλωσης

Η ανάμιξη των καυσίμων βάσης τόσο με αιθανόλη όσο και με φυτικά έλαια/αιθανόλη οδηγεί σε μεταβολή του σημείου θόλωσης σε σχέση με αυτό του καυσίμου βάσης και συγκεκριμένα σε αύξηση της θερμοκρασίας στην οποία αυτό παρατηρείται. Όλα τα σημεία θόλωσης των μιγμάτων έχουν παραπλήσιες τιμές, εκ των οποίων οι χαμηλότερες αντιστοιχούν στα μίγματα καυσίμου βάσης/αιθανόλης και είναι ίσες με 16°C, ενώ για τα μίγματα καυσίμων βάσης/φυτικών ελαίων/αιθανόλης τα σημεία θόλωσης λαμβάνονται σε θερμοκρασίες 17-18°C. Επομένως, φαίνεται ότι τα φυτικά έλαια δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους όσον αφορά στην επίδρασή τους στο σημείο θόλωσης. Επιπλέον, παρατηρείται ότι για κάθε φυτικό έλαιο τα δύο μίγματα τα οποία αντιστοιχούν σε αυτό παρουσιάζουν ίδια σημεία θόλωσης, ανεξάρτητα δηλαδή από το καύσιμο βάσης και τη περιεκτικότητα των φυτικών ελαίων. Ακόμη, προκύπτει ότι η διαφορά του σημείου θόλωσης των καυσίμων βάσης (1°C για το TK-35 και 14°C για το 8758-B) δεν μεταφέρεται στα μίγματα αυτών.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του σημείου θόλωσης αποδίδεται στην διατάραξη της ισορροπίας φάσεων των μιγμάτων σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και όχι στο διαχωρισμό κρυστάλλων παραφίνης. Συνεπώς, συμπεραίνεται ότι δεν μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια το σημείο θόλωσης, διότι δεν το επιτρέπει ο διαχωρισμός φάσεων, ο οποίος προηγείται.

4.2.2.2. Σημείο Ροής

Τα μίγματα καυσίμου βάσης/αιθανόλης παρουσιάζουν τα ίδια σημεία ροής με το καύσιμο βάσης. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι το ποσοστό προσθήκης της αιθανόλης στο μίγμα είναι χαμηλό και συνεπώς δεν αρκεί ούτως ώστε να επηρεάσει το σημείο ροής του μίγματος.

Παρατηρείται ότι στα μίγματα με βάση το TK-35 η προσθήκη φυτικού ελαίου και αιθανόλης οδηγεί σε αύξηση του σημείου ροής. Τα μίγματα TK-35/φυτικού ελαίου/αιθανόλης παρουσιάζουν σημεία ροής στους -18°C με εξαίρεση το μίγμα με αραβοσιτέλαιο που παρουσιάζει σημείο ροής στους -21°C και το μίγμα με σογιέλαιο που παρουσιάζει σημείο ροής στους -15°C. Η αύξηση της θερμοκρασίας του σημείου ροής σε αυτά τα μίγματα αποδίδεται στην παρουσία των φυτικών ελαίων. Από την άλλη, όλα τα μίγματά του καυσίμου βάσης 8758-B παρουσιάζουν σημείο ροής στους -3°C, συνεπώς δεν καταγράφεται επίδραση των φυτικών ελαίων και της αιθανόλης στο σημείο ροής αυτών των μιγμάτων, κάτι το οποίο αποδίδεται στο υψηλότερο σημείο ροής τους καυσίμου βάσης 8758-B σε σχέση με το TK-35.

Ο Γιακουμής Ε.³⁶ έχει δημοσιεύσει ότι ο βαθμός ακορεστότητας των φυτικών ελαίων επιδρά στις ιδιότητες ψυχρής ροής αυτών και συγκεκριμένα έχει δείξει ότι η αύξηση του βαθμού ακορεστότητας οδηγεί στη μείωση της θερμοκρασίας του σημείου ροής του φυτικού ελαίου. Από τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας φαίνεται ότι δεν μπορεί να

προβλεφθεί με ακρίβεια εκ των προτέρων η επίδραση της προσθήκης του φυτικού ελαίου στο μίγμα, καθώς δεν παρουσιάζεται ο ίδιος συσχετισμός μεταξύ των σημείων ροής των μιγμάτων με των αντίστοιχων φυτικών ελαίων.

Σε κάθε ένα από τα μίγματα των οποίων μετρήθηκε το σημείο ροής, αυτό βρέθηκε κάτω του ανώτερου ορίου θερμοκρασίας, τόσο για τη χειμερινή, όσο και για τη θερινή περίοδο (0°C και 6°C αντίστοιχα), όπως προκύπτει από το πρότυπο ISO 8217:2017 για τα καύσιμα τύπου DMB. Τα μίγματα με καύσιμο βάσης το TK-35 βρέθηκαν εντός της προδιαγραφής του ίδιου προτύπου για τα καύσιμα τύπου DMA/DMZ για θερινή και χειμερινή περίοδο, ενώ τα μίγματα με βάση το 8758-B κάλυπταν την ίδια προδιαγραφή μόνο για τη θερινή περίοδο.

4.2.2.3. Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου

Από τις μετρήσεις του σημείου απόφραξης ψυχρού φίλτρου προκύπτει ότι τα μίγματα έχουν παραπλήσια συμπεριφορά με αυτή του αντίστοιχου καυσίμου βάσης. Εξαιρέση στο παραπάνω αποτελεί το μίγμα TK-35 (90% v/v) / Ηλιέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v), το οποίο παρουσιάζει το χαμηλότερο σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου από οποιοδήποτε άλλο μίγμα, συγκεκριμένα -13°C, δηλαδή 8°C χαμηλότερο από τα αμέσως επόμενα. Τα υπόλοιπα μίγματα με καύσιμο βάσης το TK-35 παρουσιάζουν σημεία απόφραξης ψυχρού φίλτρου (-5)-(-4)°C, ενώ για το καύσιμο βάσης TK-35 η θερμοκρασία αυτή είναι -4°C. Τα μίγματα με καύσιμο βάσης το 8758-B εμφανίζουν σημεία απόφραξης ψυχρού φίλτρου στην περιοχή 9-11°C, όταν για το καύσιμο βάσης 8758-B το σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου είναι ίσο με 9°C. Συμπεραίνεται ότι, η παρουσία των φυτικών ελαίων και της αιθανόλης δεν έχει σημαντική επίδραση στο σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου των μιγμάτων, αλλά ότι αυτό καθορίζεται από το καύσιμο βάσης, με μόνη εξαίρεση την ήδη προαναφερθείσα. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στα χαμηλά ποσοστά προσθήκης των υπόλοιπων συστατικών. Η εξαίρεση που έχει αναφερθεί δεν αποδίδεται αποκλειστικά στο ηλιέλαιο, καθώς δεν παρατηρείται αντίστοιχη επίδραση στην ανάμιξή του με το καύσιμο βάσης 8758-B, στο οποίο μάλιστα είναι αναμεμιγμένο σε μεγαλύτερη αναλογία, αλλά στον συνδυασμό του καυσίμου βάσης TK-35 και του ηλιελαίου.

4.2.2.4. Ιξώδες

Τα μίγματα καυσίμων βάσης/αιθανόλης παρουσιάζουν τιμές ιξώδους χαμηλότερες από τις αντίστοιχες των καυσίμων βάσης, κάτι το οποίο οφείλεται στην παρουσία της αιθανόλης. Για τα μίγματα καυσίμου βάσης TK-35/φυτικών ελαίων/αιθανόλης παρατηρείται ότι το υψηλότερο ιξώδες εμφανίζεται στο μίγμα με το πυρηνέλαιο, ακολουθούμενο από τα μίγματα με ηλιέλαιο και μετά αραβοσιτέλαιο. Τα μίγματα αυτά παρουσιάζουν ιξώδες μεγαλύτερο από το ιξώδες του καυσίμου βάσης. Τα μίγματα με βαμβακέλαιο και σογιέλαιο εμφανίζουν ιξώδη χαμηλότερα από το αντίστοιχο καύσιμο βάσης, μεταξύ των οποίων το μίγμα με βαμβακέλαιο έχει χαμηλότερο ιξώδες. Τα μίγματα καυσίμου βάσης 8758-B/φυτικών ελαίων/αιθανόλης παρουσιάζουν όλα υψηλότερο ιξώδες από το καύσιμο βάσης. Το ιξώδες αυτών ακολουθεί την εξής φθίνουσα σχέση: πυρηνέλαιο, βαμβακέλαιο, αραβοσιτέλαιο, σογιέλαιο, ηλιέλαιο. Η διαφορετική αυτή συμπεριφορά αποδίδεται στο γεγονός ότι τα μίγματα με καύσιμο βάσης το 8758-B έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε φυτικά έλαια, ως εκ τούτου είναι μεγαλύτερη η επίδραση αυτών στο ιξώδες του μίγματος. Ακόμη, φαίνεται

ότι και στις δύο περιπτώσεις τα μίγματα με το πυρηνέλαιο εμφανίζουν το υψηλότερο ιξώδες.

Σε κάθε περίπτωση τα μίγματα βρίσκονται εντός των αποδεκτών ορίων για καύσιμα τύπου DMB, όπως ορίζει το πρότυπο ISO 8217:2017 (2.000-11.00 mm²/s). Τα μίγματα με βάση το TK-35 βρίσκονταν εντός προδιαγραφών για τα καύσιμα τύπου DMA (2.000-6.00 mm²/s), όχι όμως για τύπου DMZ (3.000-6.00 mm²/s), καθώς το ιξώδες όλων αυτών μετρήθηκε μικρότερο του κατώτατου ορίου. Τα μίγματα με βάση το 8758-B βρέθηκαν εντός των αποδεκτών ορίων για το ιξώδες για τα καύσιμα τύπου DMA/DMZ.

4.2.2.5. Πυκνότητα

Στα μίγματα καυσίμου βάσης/αιθανόλης, η προσθήκη αιθανόλης οδηγεί σε ελάττωση της τιμής της πυκνότητας σε σχέση με το καύσιμο βάσης. Στα μίγματα καυσίμου βάσης/φυτικών ελαίων/αιθανόλης παρατηρείται ότι η παρουσία των φυτικών ελαίων οδηγεί σε αύξηση της πυκνότητας συγκριτικά με το αντίστοιχο καύσιμο βάσης και για τις δύο περιπτώσεις. Στην περίπτωση του TK-35 όλα τα μίγματα με φυτικά έλαια παρουσιάζουν παραπλήσιες τιμές μεταξύ τους (839.8-840.0 kg/m³), όπως συμβαίνει και με το 8758-B (864.7-865.1 kg/m³). Επομένως, συμπεραίνεται ότι τα φυτικά έλαια δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους στον τρόπο με τον οποίο επηρεάζουν την τελική τιμή της πυκνότητας του μίγματος.

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217:2017 για τα καύσιμα τύπου DMB η ανώτατη επιτρεπτή τιμή της πυκνότητας ορίζεται στα 900.0 kg/m³, προδιαγραφή η οποία καλύπτεται από όλα τα εξεταζόμενα μίγματα. Για τα καύσιμα τύπου DMA/DMZ η αντίστοιχη τιμή είναι 890.0 kg/m³, η οποία επίσης καλύπτεται από όλα τα μίγματα.

4.2.2.6. Απόσταξη

Όλες οι καμπύλες απόσταξης καταδεικνύουν το αναμενόμενο, δηλαδή ότι στα μίγματα όπου περιέχεται αιθανόλη, όλη η ποσότητα αυτής εξατμίζεται από το μίγμα, πριν εξατμιστεί κάποιο άλλο συστατικό. Είναι, επίσης, εμφανές ότι το καύσιμο βάσης TK-35 αποτελείται από πιο πτητικά συστατικά από το καύσιμο βάσης 8758-B και ως εκ τούτου ίδιες ποσότητες ανάκτησης παρουσιάζονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες για το καύσιμο βάσης TK-35. Τα μίγματα των καυσίμων βάσης με την αιθανόλη εμφανίζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες στα ίδια ποσοστά ανάκτησης από τα αντίστοιχα καύσιμα βάσης, χωρίς αυτές να είναι σημαντικές. Τα μίγματα των καυσίμων βάσης με φυτικά έλαια και αιθανόλη παρουσιάζουν χαμηλότερα τελικά σημεία βρασμού, καθώς λόγω της ύπαρξης των φυτικών ελαίων, η εκκίνηση της πυρόλυσης, η οποία σηματοδοτεί τη λήξη της απόσταξης, λαμβάνει χώρα νωρίτερα. Για κάθε καύσιμο βάσης τα αντίστοιχα μίγματα καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου/αιθανόλης δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Τα μίγματα αυτά δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές στην καμπύλη απόσταξης σε σύγκριση με το αντίστοιχο καύσιμο βάσης, πέρα από το τελικό σημείο, όπως αναφέρθηκε. Στις καμπύλες απόσταξης των μιγμάτων που περιέχουν φυτικό έλαιο παρατηρείται στο τέλος της καμπύλης απόκλιση από το αναμενόμενο σχήμα αυτής. Αυτό συμβαίνει διότι στην περιοχή εκείνη λαμβάνει χώρα πυρόλυση των φυτικών ελαίων, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας των ατμών.

4.2.2.7. Αριθμός Κετανίου

Ο αριθμός κετανίου των μιγμάτων καυσίμου βάσης/αιθανόλης εμφανίζεται μειωμένος σε σύγκριση με αυτόν των αντίστοιχων καυσίμων βάσης, κάτι το οποίο αποδίδεται στην παρουσία αιθανόλης. Ο αριθμός κετανίου των μιγμάτων καυσίμου βάσης/φυτικών ελαίων/αιθανόλης εμφανίζεται μικρότερος και από εκείνον των μιγμάτων καυσίμου βάσης αιθανόλης, με μόνη εξαίρεση το μίγμα TK-35 (90% v/v) / Σογιέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v), ο οποίος όμως είναι μικρότερος από αυτόν του αντίστοιχου καυσίμου βάσης. Στην περίπτωση του TK-35 ο αριθμός κετανίου από τον υψηλότερο προς τον χαμηλότερο για τα μίγματα με φυτικά έλαια ακολουθεί την εξής φθίνουσα σειρά: σογιέλαιο, αραβοσιτέλαιο, βαμβακέλαιο, ηλιέλαιο, πυρηνέλαιο. Στην περίπτωση του καυσίμου βάσης 8758-B η αντίστοιχη σειρά είναι: βαμβακέλαιο, σογιέλαιο, αραβοσιτέλαιο, πυρηνέλαιο, ηλιέλαιο. Οι δύο αυτές σειρές δεν ταυτίζονται, πράγμα το οποίο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα μίγματα καυσίμων βάσης/φυτικών ελαίων είναι αυτά που επηρεάζουν τον αριθμό κετανίου και όχι τα φυτικά έλαια αυτά καθαυτά. Σε κάθε περίπτωση τα μίγματα των καυσίμων βάσης, τόσο με αιθανόλη, όσο και με φυτικά έλαια και αιθανόλη, εμφανίζουν αριθμό κετανίου χαμηλότερο από τον αντίστοιχο αριθμό κετανίου του καυσίμου βάσης.

Ο Γιακουμής Ε.³⁶ συνέδεσε τον βαθμό ακορεστότητας των φυτικών ελαίων με τις ιδιότητες αυτών. Συγκεκριμένα για τον αριθμό κετανίου έχει αποδείξει ότι η αύξηση της ακορεστότητας οδηγεί σε μείωση του αριθμού κετανίου του φυτικού ελαίου. Τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας της παρούσας εργασίας δείχνουν ότι δεν ισχύει το ίδιο για τα μίγματα αυτών. Συγκεκριμένα, δεν εμφανίζεται η ίδια συσχέτιση μεταξύ των αριθμών κετανίου των μιγμάτων με αυτούς των αντίστοιχων φυτικών ελαίων. Αυτό συνηγορεί στο πιο πάνω συμπέρασμα, ότι δηλαδή οι συνδυασμοί καυσίμου βάσης/φυτικών ελαίων είναι αυτοί που καθορίζουν τον αριθμό κετανίου των μιγμάτων και όχι τα φυτικά έλαια από μόνα τους.

4.2.2.8. Δείκτης Κετανίου

Ο δείκτης κετανίου δεν δύναται να αναφέρεται σε μίγματα καυσίμου με προσμίξεις αιθανόλης και φυτικού ελαίου. Παρόλα αυτά αναφέρεται για λόγους σύγκρισης, λαμβάνοντας υπόψιν την χαμηλή ακρίβεια στη μέτρηση του δείκτη κετανίου της αιθανόλης, καθώς ακόμη και τα προβλήματα πυρόλυσης εξαιτίας της παρουσίας των φυτικών ελαίων.

Ο δείκτης κετανίου των μιγμάτων καυσίμου βάσης/αιθανόλης παρουσιάζει ελάττωση συγκρινόμενος με το δείκτη κετανίου των αντίστοιχων καυσίμων βάσης, εξαιτίας της προσθήκης αιθανόλης. Ο δείκτης κετανίου των μιγμάτων καυσίμου βάσης/φυτικών ελαίων/αιθανόλης εμφανίζεται μικρότερος από το δείκτη κετανίου των μιγμάτων καυσίμου βάσης/αιθανόλης. Για την περίπτωση του καυσίμου βάσης TK-35 στα μίγματα με τα φυτικά έλαια οι δείκτες κετανίου ακολουθούν την εξής φθίνουσα σειρά: βαμβακέλαιο, ηλιέλαιο, σογιέλαιο, πυρηνέλαιο, αραβοσιτέλαιο. Στα μίγματα καυσίμου βάσης 8758-B στα οποία είναι παρόντα τα φυτικά έλαια οι δείκτες κετανίου ακολουθούν την εξής φθίνουσα σειρά: αραβοσιτέλαιο, σογιέλαιο, πυρηνέλαιο, ηλιέλαιο, βαμβακέλαιο. Εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός του καυσίμου βάσης/φυτικού ελαίου είναι αυτός που επηρεάζει τον δείκτη κετανίου και όχι το φυτικό έλαιο από μόνο του. Οι δείκτες κετανίου όλων των μιγμάτων βρέθηκαν χαμηλότεροι από τους δείκτες κετανίου των αντίστοιχων καυσίμων βάσης.

Σε όλα τα μίγματα οι δείκτες κετανίου βρέθηκαν υψηλότεροι από το κατώτερο επιτρεπτό όριο του 35, όπως ορίζει το πρότυπο ISO 8217:2017, για καύσιμα τύπου DMB. Οι δείκτες κετανίου των μιγμάτων βρέθηκαν επίσης υψηλότεροι από το κατώτερο όριο του 40, το οποίο ισχύει για τα καύσιμα τύπου DMA/DMZ.

5. Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε η ισορροπία φάσης μιγμάτων ναυτιλιακού gasoil/φυτικού ελαίου/αιθανόλης, καθώς επίσης και οι ιδιότητες αυτών.

Καταστρώθηκαν τα διαγράμματα ισορροπίας φάσεων των μιγμάτων ναυτιλιακού gasoil/φυτικού ελαίου/αιθανόλης χρησιμοποιώντας 2 διαφορετικά καύσιμα βάσης και πέντε διαφορετικά φυτικά έλαια. Συνολικά, καταστρώθηκαν 10 διαγράμματα.

Μετρήθηκαν οι ιδιότητες μιγμάτων με προσθήκη 2.5% αιθανόλης σε ναυτιλιακό gasoil και μιγμάτων με προσθήκη 5% αιθανόλης σε ναυτιλιακό gasoil παρουσία φυτικών ελαίων (5% ή 10% προσθήκη, ανάλογα με το καύσιμο βάσης). Οι ιδιότητες που μετρήθηκαν ήταν το σημείο θάλωσης, το σημείο ροής, το σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου, το ιξώδες, η πυκνότητα, ο αριθμός κετανίου και υπολογίστηκε ο δείκτης κετανίου με χρήση των δεδομένων της απόσταξης.

Από τα διαγράμματα ισορροπίας φάσεων έγινε διακριτό ότι το ηλιέλαιο παρουσιάζει τη βέλτιστη συμπεριφορά, δηλαδή είναι αυτό που επιτρέπει την μέγιστη διαλυτότητα αιθανόλης.

Οι προαναφερθείσες ιδιότητες όλων των μιγμάτων βρέθηκαν εντός των ορίων που προβλέπονται από το πρότυπο ISO 8217:2017 για τα ναυτιλιακά καύσιμα που εμπίπτουν στην κατηγορία DMB.

Δεν παρουσιάστηκε σημαντική απόκλιση μεταξύ των μιγμάτων που εξετάστηκαν όσον αφορά στις ιδιότητες ψυχρής ροής, με μόνη εξαίρεση το μίγμα TK-35 (90% v/v) / Ηλιέλαιο (5% v/v) / Αιθανόλη (5% v/v), το οποίο παρουσιάζει το χαμηλότερο σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου από οποιοδήποτε άλλο μίγμα, συγκεκριμένα -13°C .

Όσον αφορά στο ιξώδες και την πυκνότητα, οι αποκλίσεις μεταξύ των τιμών των υπό εξέταση μιγμάτων δεν είναι σημαντικές.

Ο αριθμός κετανίου των μιγμάτων βρέθηκε να μειώνεται σε σχέση με τον αριθμό κετανίου του καυσίμου βάσης εξαιτίας των προστιθέμενων ουσιών. Το ίδιο ισχύει για τον δείκτη κετανίου. Φαίνεται από την πειραματική διαδικασία ότι ο συνδυασμός καυσίμων βάσης και φυτικών ελαίων είναι αυτός που καθορίζει τις πιο πάνω ιδιότητες, εννοώντας ότι οι τιμές των ιδιοτήτων των μιγμάτων δεν συσχετίζονται με τον ίδιο τρόπο που συσχετίζονται στα φυτικά έλαια. Δεν παρατηρήθηκε μεγάλη απόκλιση μεταξύ των τιμών αυτών των ιδιοτήτων στα υπό εξέταση μίγματα. Η μείωση των τιμών του αριθμού κετανίου και του δείκτη κετανίου είναι ένδειξη ότι μειώνεται η ποιότητα καύσης του καυσίμου στον κινητήρα, επομένως και η απόδοσή του.

Συμπεραίνεται ότι τα υπό εξέταση φυτικά έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συνδυαζόμενα σε μίγματα ναυτιλιακού gasoil/αιθανόλης, επιτυγχάνοντας την αύξηση της διαλυτότητας της τελευταίας, χωρίς να θέτουν τις ιδιότητες που μετρήθηκαν στην παρούσα εργασία εκτός προδιαγραφών.

Στο μέλλον, θα πρέπει να εξεταστεί να εξακριβωθεί η δυνητική αύξηση της κατανάλωσης και να εκτιμηθεί η πραγματική επίδραση στο περιβάλλον.

Μελλοντικά, είναι αναγκαίο να εξεταστούν οι λοιπές ιδιότητες των μιγμάτων, όπως το σημείο ανάφλεξης, το οποίο επηρεάζεται δραστικά από την παρουσία αιθανόλης. Συγκεκριμένα, εξαιτίας της παρουσίας αιθανόλης στο μίγμα αυτό αναμένεται να είναι μειωμένο κατά πολύ και ότι θα βρίσκεται κάτω από το κατώτατο επιτρεπτό όριο. Το σημείο ανάφλεξης δεν μετρήθηκε στην παρούσα εργασία εξαιτίας της επικινδυνότητας για τον χειριστή.

Είναι, επίσης, απαραίτητο να εξεταστεί η χρήση των διαφόρων προσθέτων, όπως είναι τα βελτιωτικά του αριθμού κετανίου. Τέλος, θα πρέπει να διεξαχθεί μελέτη των ρύπων των μιγμάτων αυτών, όσον αφορά στο είδος και την ποσότητα αυτών.

Αναφορές

- (1) *International Chamber of Shipping*. <https://www.ics-shipping.org/shipping-fact/shipping-and-world-trade-driving-prosperity/#:~:text=For%20an%20economic%20region%20such,than%2014%20trillion%20US%20Dollars.> (accessed 2024-01-23).
- (2) *United Nations Conference on Trade and Development*. <https://hbs.unctad.org/world-seaborne-trade/> (accessed 2024-01-23).
- (3) *Statista*. <https://www.statista.com/topics/1728/ocean-shipping/> (accessed 2024-01-23).
- (4) *European Maritime Safety Agency*. <https://www.emsa.europa.eu/eumaritimeprofile/section-1-overview-on-the-eu-maritime-economy.html> (accessed 2024-01-23).
- (5) *United Nations Conference on Trade and Development*. <https://hbs.unctad.org/merchant-fleet/> (accessed 2024-01-23).
- (6) *United Nations Conference on Trade and Development*. <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023> (accessed 2024-01-23).
- (7) Λόης, Ε.; Ζαννίκος, Φ.; Καρώνης, Δ. Κεφάλαιο 8. Καύσιμα Ναυτιλίας. In *Τεχνολογία Καυσίμων και Λιπαντικών*; Ε.Μ.Π.: Αθήνα, 2014; pp 213–221.
- (8) Λόης, Ε.; Ζαννίκος, Φ.; Καρώνης, Δ. Κεφάλαιο 5. Πετρέλαιο Ντήζελ. In *Τεχνολογία Καυσίμων και Λιπαντικών*; Ε.Μ.Π.: Αθήνα, 2014; pp 105–168.
- (9) Λόης, Ε.; Ζαννίκος, Φ.; Καρώνης, Δ. Κεφάλαιο 4. Βενζίνη. In *Τεχνολογία Καυσίμων και Λιπαντικών*; Ε.Μ.Π.: Αθήνα, 2014; pp 58–104.
- (10) *Renewable Fuels Association*. <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production/> (accessed 2024-01-23).
- (11) Rakopoulos, D. C.; Rakopoulos, C. D.; Kakaras, E. C.; Giakoumis, E. G. Effects of Ethanol–Diesel Fuel Blends on the Performance and Exhaust Emissions of Heavy Duty DI Diesel Engine. *Energy Convers. Manag.* **2008**, *49* (11), 3155–3162. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.05.023>.
- (12) Kim, H. Y.; Ge, J. C.; Choi, N. J. Effects of Ethanol–Diesel on the Combustion and Emissions from a Diesel Engine at a Low Idle Speed. *Appl. Sci. (Basel)* **2020**, *10* (12), 4153. <https://doi.org/10.3390/app10124153>.
- (13) He, B.-Q.; Shuai, S.-J.; Wang, J.-X.; He, H. The Effect of Ethanol Blended Diesel Fuels on Emissions from a Diesel Engine. *Atmos. Environ. (1994)* **2003**, *37* (35), 4965–4971. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.08.029>.
- (14) Huang, J.; Wang, Y.; Li, S.; Roskilly, A. P.; Yu, H.; Li, H. Experimental Investigation on the Performance and Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Ethanol–Diesel Blends. *Appl. Therm. Eng.* **2009**, *29* (11–12), 2484–2490. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.12.016>.
- (15) Torres-Jimenez, E.; Jerman, M. S.; Gregorc, A.; Lisec, I.; Dorado, M. P.; Kegl, B. Physical and Chemical Properties of Ethanol–Diesel Fuel Blends. *Fuel (Lond.)* **2011**, *90* (2), 795–802. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.09.045>.
- (16) K. E. Wrage; C. E. Goering. Technical Feasibility of Diesohol. *Trans. ASAE* **1980**, *23* (6), 1338–1343. <https://doi.org/10.13031/2013.34775>.
- (17) Hardenberg, H. O.; Ehnert, E. R. Ignition Quality Determination Problems with Alternative Fuels for Compression Ignition Engines. In *SAE Technical Paper Series*; SAE International: 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States, 1981.
- (18) Speidel, H. K.; Ahmed, I. Biodegradability Characteristics of Current and Newly-Developed Alternative Fuels. In *SAE Technical Paper Series*; SAE International: 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States, 1999.
- (19) Lapuerta, M.; García-Contreras, R.; Agudelo, J. R. Lubricity of Ethanol-Biodiesel-Diesel Fuel Blends. *Energy Fuels* **2010**, *24* (2), 1374–1379. <https://doi.org/10.1021/ef901082k>.
- (20) Rahimi, H.; Ghobadian, B.; Yusaf, T.; Najafi, G.; Khatamifar, M. Diesterol: An Environment-Friendly IC Engine Fuel. *Renew. Energy* **2009**, *34* (1), 335–342. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.031>.

- (21) Ghobadian, B.; Rahimi, H.; Tavakkoli Hashjin, T.; Khatamifar, M. Production of Bioethanol and Sunflower Methyl Ester and Investigation of Fuel Blend Properties. *Journal of Agricultural Science and Technology* **2008**, *10* (3), 225–232.
- (22) Jamrozik, A. The Effect of the Alcohol Content in the Fuel Mixture on the Performance and Emissions of a Direct Injection Diesel Engine Fueled with Diesel-Methanol and Diesel-Ethanol Blends. *Energy Convers. Manag.* **2017**, *148*, 461–476. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.06.030>.
- (23) Barrera-Arellano, D.; Badan-Ribeiro, A. P.; Serna-Saldivar, S. O. Corn Oil: Composition, Processing, and Utilization. In *Corn*; Elsevier, 2019; pp 593–613.
- (24) *Food and Agriculture organization of the United Nations*. <https://www.fao.org/faostat/en/> (accessed 2024-01-23).
- (25) Sekhar, S. C.; Rao, B. V. K. Cottonseed Oil as Health Oil. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci* **2011**, *34* (1), 17–24.
- (26) Premnath, A.; Narayana, M.; Ramakrishnan, C.; Kuppusamy, S.; Chockalingam, V. Mapping Quantitative Trait Loci Controlling Oil Content, Oleic Acid and Linoleic Acid Content in Sunflower (*Helianthus Annuus* L.). *Mol. Breed.* **2016**, *36* (7). <https://doi.org/10.1007/s11032-016-0527-2>.
- (27) Patil, G.; Vuong, T. D.; Kale, S.; Valliyodan, B.; Deshmukh, R.; Zhu, C.; Wu, X.; Bai, Y.; Yungbluth, D.; Lu, F.; Kumpatla, S.; Shannon, J. G.; Varshney, R. K.; Nguyen, H. T. Dissecting Genomic Hotspots Underlying Seed Protein, Oil, and Sucrose Content in an Interspecific Mapping Population of Soybean Using High-density Linkage Mapping. *Plant Biotechnol. J.* **2018**, *16* (11), 1939–1953. <https://doi.org/10.1111/pbi.12929>.
- (28) Liu, H.; Hu, B.; Jin, C. Effects of Different Alcohols Additives on Solubility of Hydrous Ethanol/Diesel Fuel Blends. *Fuel (Lond.)* **2016**, *184*, 440–448. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.07.037>.
- (29) Pires de Oliveira, I.; Caires, A. R. L.; Baskar, K.; Ponnusamy, S.; Lakshmanan, P.; Veerappan, V. Biodiesel as an Additive for Diesel-Ethanol (Diesohol) Blend: Physical-Chemical Parameters and Origin of the Fuels' Miscibility. *Fuel (Lond.)* **2020**, *263* (116753), 116753. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116753>.
- (30) Barabás, I.; Todoruț, A. I. Key Fuel Properties of Biodiesel-Diesel Fuel-Ethanol Blends. In *SAE Technical Paper Series*; SAE International: 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States, 2009.
- (31) Pradelle, F.; Leal Braga, S.; Fonseca de Aguiar Martins, A. R.; Turkovics, F.; Nohra Char Pradelle, R. Experimental Assessment of Some Key Physicochemical Properties of Diesel-Biodiesel-Ethanol (DBE) Blends for Use in Compression Ignition Engines. *Fuel (Lond.)* **2019**, *248*, 241–253. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.03.087>.
- (32) Kwanchareon, P.; Luengnaruemitchai, A.; Jai-In, S. Solubility of a Diesel–Biodiesel–Ethanol Blend, Its Fuel Properties, and Its Emission Characteristics from Diesel Engine. *Fuel (Lond.)* **2007**, *86* (7–8), 1053–1061. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.09.034>.
- (33) Satgé de Caro, P. Interest of Combining an Additive with Diesel–Ethanol Blends for Use in Diesel Engines. *Fuel (Lond.)* **2001**, *80* (4), 565–574. [https://doi.org/10.1016/s0016-2361\(00\)00117-4](https://doi.org/10.1016/s0016-2361(00)00117-4).
- (34) Weber de Menezes, E.; Silva, R.; Cataluna, R.; Ortega, R. Effect of Ethers and Ether/Ethanol Additives on the Physicochemical Properties of Diesel Fuel and on Engine Tests. *Fuel (Lond.)* **2006**, *85* (5–6), 815–822. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2005.08.027>.
- (35) Gerdes, K. R.; Suppes, G. J. Miscibility of Ethanol in Diesel Fuels. *Ind. Eng. Chem. Res.* **2001**, *40* (3), 949–956. <https://doi.org/10.1021/ie000566w>.
- (36) Giakoumis, E. G. Analysis of 22 Vegetable Oils' Physico-Chemical Properties and Fatty Acid Composition on a Statistical Basis, and Correlation with the Degree of Unsaturation. *Renew. Energy* **2018**, *126*, 403–419. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.057>.